



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**FARKLI YAPILARDAKİ SERAMİK
MALZEMELERİN MİKROŞERİT ANTEN
OLARAK TASARIMLARI VE ELEKTRİKSEL
PERFORMANSLARININ ANALİZİ**

Mahammad ISAYEV

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YAPILARDAKİ SERAMİK MALZEMELERİN MİKROŞERİT ANTEN OLARAK TASARIMLARI VE ELEKTRİKSEL PERFORMANSLARININ ANALİZİ

Mahammad ISAYEV

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

2021, 88 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN
Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN
Dr. Öğr. Dilek UZER**

Mikroşerit yama antenler küçük, hafif, kullanışlı ve üretimlerinin ucuz olmalarının yanında, rezonans frekansı, bant genişliği, geri dönüş kaybı, kazanç ve verim gibi elektriksel parametrelerinin elde edilebilmesinde güçlükler vardır. Özellikle yüksek frekanslarda, kullanılan malzemenin dielektrik özelliği mikroşerit antenlerin sayılan tüm parametrelerini değiştirebilmekte ve anten performansını büyük oranda etkileyebilmektedir. Uygun fiziksel koşul ve yapılarda istenilen anten performansını elde edebilmek için günümüzde araştırmacılar farklı malzemeler üzerinde çalışmalar yapmakta ve performansı yüksek bir anten için optimizasyon teknikleri kullanmaktadır.

Son yıllarda araştırmacılar, yüksek bant genişliği ve yüksek kazançları, düşük geri dönüş kayıpları nedeniyle seramik malzemeler üzerinde çalışmaları yoğunlaştırmışlardır. Bu çalışmaların artmasının bir nedeni de seramik malzemelerin sıcaklık değerlerinin yüksek olması ve dayanıklı olmalarıdır.

Bu tez çalışmasında da seramik malzemeler üzerinde mikroşerit anten yapılarının performansları değerlendirilmiş, karşılaştırmaları yapılmış ve literatüre sunulmuştur. Çalışmalar dikdörtgen şekilli yama üzerine yapılmış ve tasarım denklemleri kullanılarak yama ve toprak boyutları, özellikle besleme noktası konumu hesaplanarak simüle edilmiş ve tasarlanmıştır. Tasarımı ve üretimi yapılan antenlerin kalınlıkları aynı alınarak beş farklı seramik malzeme üzerine yapılmış ve performansları incelenmiştir. Seramik malzemelerle tasarlanıp simüle edilen ve üretilen antenlerin tümü için, 2.4 GHz (Wi-Fi), 5.8 Ghz (Wimax) ve 10 GHz (X-Band) frekanslarında çalışılmıştır.

Tasarlanıp simülasyonları yapılarak üretilen antenlerin bant genişliği, geri dönüş kaybı, kazancı ve duran dalga oranı gibi elektriksel parametrelerinin ölçümleri yapılmış, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, seramik malzemelerin Wi-Fi, Wimax ve X-Band gibi kablosuz haberleşmede yoğun olarak kullanılan bandlarda kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik, ISM band, X band, Wimax, Wi-Fi, kazanç.

ABSTRACT

MS THESIS

MICROSTRIP ANTENNA DESIGNS AND ELECTRICAL PERFORMANCE ANALYSIS OF CERAMICS IN DIFFERENT STRUCTURES

Mahammad ISAYEV

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical Electronics Engineering**

Advisor

Doç.Dr.Seyfettin Sinan GULTEKIN

2021, 88 Pages

Jury

Dr. Öğr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Dr. Öğr. Dilek UZER

Although microstrip patch antennas are small, light, convenient and inexpensive to manufacture, there are difficulties in obtaining electrical parameters such as resonance frequency, bandwidth, return loss, gain and efficiency. Especially at high frequencies, the dielectric property of the material used can change all the parameters of microstrip antennas and can greatly affect the antenna performance. In order to achieve the desired antenna performance in suitable physical conditions and structures, researchers are currently working on different materials and using optimization techniques for a high-performance antenna.

In recent years, researchers have focused on ceramic materials due to their high bandwidth, high gain, and low return losses. One of the reasons for the increase in these studies is that the temperature values of ceramic materials are high, and they are durable.

In this thesis, the performances of microstrip antenna structures on ceramic materials were evaluated, compared, and presented to the literature. The studies were carried out on a rectangular patch, and the patch and soil dimensions, especially the feed point location, were calculated using design equations and simulated and designed.

The thicknesses of the designed and produced antennas were taken the same, they were made on five different ceramic materials and their performances were examined. All of the antennas designed, simulated, and manufactured with ceramic materials were operated at 2.4 GHz (Wi-Fi), 5.8 GHz (Wimax) and 10 GHz (X-Band) frequencies.

Measurements of electrical parameters such as bandwidth, return loss, gain and standing wave ratio of the antennas produced by designing and simulating were made and compared with the simulation results. The results showed that ceramic materials can be used in bands that are used extensively in wireless communication such as Wi-Fi, Wimax and X-Band.

Keywords: Ceramic, ISM band, X band, Wimax, Wi-Fi, gain.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlanması ve tamamlanması süresince sabırla ve büyük bir ilgiyle benden esirgemediği engin bilgi ve tecrübeleri için saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. S. Sinan Gültekin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Maddi ve manevi anlamda bana faydalı olabilmek için elinizden gelenin fazlasını sunduğunuz için size her zaman minnettar olacağım.

Çalışmamın gerçekleşmesinde beni yönlendiren ve pratik eğitimimde bilgilerini eksik etmeyen sayın hocalarım Dr. Öğr. Dilek Uzer'e ve Mehmet Yerlikaya'ya çok teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca manevi desteğini ve yardımlarını benden hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Erdem Yelken'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca manevi desteğini benden hiçbir zaman eksik etmeyen ve her konuda yardımcı olan müstakbel nişanlım Leman Musayeva'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü fedakarlıktan kaçınmayan sevgi ve destekleriyle bugünlere gelmemde çok büyük katkıları olan aileme özellikle sevgili annem Xoşbext İsayeva'ya ve babam Nebi İsayev'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Mahammad Isayev
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması	2
2. MİKROŞERİT ANTENLER.....	12
2.1. Mikroşerit Anten Tasarım Parametreleri	12
2.1.1. Avantajlar ve dezavantajlar	14
2.1.2. Mikroşerit antenlerin analiz yöntemleri.....	15
2.2. Mikroşerit Yama Antenlerde Saçaklanma Etkileri	15
2.3. Besleme Teknikleri	17
2.3.1. Mikroşerit hat besleme.....	17
2.3.2. Koaksiyel prob besleme	18
2.3.3. Açıklık bağlaşımlı besleme.....	19
2.3.4. Yakınlık bağlaşımlı besleme.....	19
2.3.5. Besleme noktası konumu	20
2.4. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Tasarımı.....	20
2.4.1. Toprak düzlemi boyutları hesaplanması (L_g , W_g)	22
2.4.2. Besleme noktası konumu belirlenmesi (X_f , Y_f)	23
2.5. Temel Anten Karakteristikleri	23
2.5.1. Giriş empedansı (Z)	24
2.5.2. Verimlilik (e_0)	25
2.5.3. Yönlülük (D).....	26
2.5.4. Kazanç (G).....	26
2.5.5. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)	27
2.5.6. Geri dönüş kaybı (S_{11}).....	27
2.5.7. Bant genişliği (BW).....	28
2.5.8. MYA' de bant genişliğini artırmak için kullanılan yöntemler	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Seramikler. Özellikleri ve Tarihi	31
3.2. Seramiklerin Kullanım Alanları.....	33
3.3. MYA' in Yapımında Kullanılan Malzemeler	34
3.3.1. Rogers Malzemeleri.....	34
3.3.2. Rogers3006	35
3.3.3. Rogers4003C	36
3.3.4. Rogers4350B.....	36

3.3.5. Rogers RT / Duroid6006 – 6010LM	37
3.3.6. Rogers TMM6	38
3.3.7. Alüminyum Oksit (Al_2O_3).....	38
3.4. Seramik Tabanlı MYA' in Çalışma Frekansları	41
3.4.1. ISM bant. 2.4 GHz, 5.8 GHz frekansların kullanım alanları	41
3.4.2. Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN)	43
3.4.3. IEEE 802.11b	43
3.4.4. IEEE 802.11g	44
3.4.5. IEEE 802.11d	44
3.4.6. Kablosuz Metropol Alan Ağı (WMAN) Wimax	44
3.4.7. IEEE 802.16d	45
3.4.8. IEEE 802.16e	46
3.5. X-Bant. 10GHz Çalışma Frekansının Kullanım Alanları.....	47
4. DMYA'LARIN FARKLI SERAMİK ALT TABAKA MALZEMELERİ İÇİN 2.4GHz, 5.8GHz, 10GHz REZONANS FREKANSLARINDA SİMÜLASYON VE TASARIMI	48
4.1. IE3D Anten Simülasyon Programı	48
4.2. Mikroşerit Yama Anten Üretimi ve Ölçümü	50
4.3. Al ₂ O ₃ Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Simülasyon Sonuçları	52
4.3.1. Al ₂ O ₃ Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans frekansında sonuçları	52
4.3.2. Al ₂ O ₃ Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans frekansında sonuçları	54
4.3.3. Al ₂ O ₃ Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans frekansında alınan sonuçlar.....	55
4.5. Rogers3006 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Simülasyon Sonuçları. 56	
4.4.1. Rogers3006 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	57
4.4.2. Rogers3006 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	58
4.4.3. Rogers3006 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	60
4.5. Rogers4003 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Simülasyon Sonuçları. 61	
4.5.1. Rogers4003 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	61
4.5.2. Rogers4003 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	63
4.5.3. Rogers4003 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	64
4.6. Rogers TMM6 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları.....	66
4.6.1. Rogers TMM6 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar....	66
4.6.2. RogersTMM6 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	68
4.6.3. Rogers TMM6 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.....	69
4.7. Duroid6006 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları	70
4.7.2. Duroid6006 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar	71
4.7.2. Duroid6006 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar	72
4.8. Duroid6010LM Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları.....	73
4.8.1. Duroid6010 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar	74
4.8.2. Duroid6010 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.	75
4.9. Rogers4350B Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları	77
4.9.1. Rogers4350B Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.	77
4.9.2. Rogers4350B Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
5.1 Sonuçlar	81
5.2 Öneriler	84

KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	88



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

λ_0	: Boş Alan Dalga Boyu
h	: Dielektrik Alt Tabakanın Yüksekliği
ϵ_r	: Alt Tabakanın Dielektrik Sabiti
ϵ_{reff}	: Etkin Dielektrik Sabiti
ΔL	: Yamanın Her İki Ucunda Genişleme Mesafesi
W	: Dikdörtgen Mikroşerit Anten İçin Yama Genişliği
L	: Dikdörtgen Mikroşerit Anten İçin Yama Uzunluğu
W_g	: Toprak Düzlemi Genişliği
L_g	: Toprak Düzlemi Uzunluğu
D	: Anten Yönlülüğü
U	: Anten Işıma Şiddeti
e_r	: Anten Verimliliği
e_0	: Antenin Toplam Verimliliği
U_0	: Yön Bağımsız Kaynağın Işıma Şiddeti
G	: Anten Kazancı
P_{rad}	: Antendeki Toplam Işıyan Güç
Z	: Anten Giriş Empedansı
Γ	: Yansıma Katsayısı,
Z_L	: Yük Empedansı,
Z_0	: İletim Hattının Karakteristik Empedansıdır
V_{max}	: Duran Dalga Geriliminin Maksimum Değeri
V_{min}	: Duran Dalga Geriliminin Minimum Değeri
f_r	: Çalışma (Rezonans) Frekansı
f_{max}	: Antenin Etkili Bir Şekilde Çalıştığı Maksimum Frekans
f_{min}	: Antenin Etkili Bir Şekilde Çalıştığı Minimum Frekans
c	: Işık Hızı
μ_0	: Geçirgenlik Sabiti
X_f	: X Koordinatında Besleme Noktası
Y_f	: Y Koordinatında Besleme Noktası

Kısaltmalar

MYA	: Mikroşerit Yama Anten
MoM	: Momentler Yöntemi
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
FIM	: Sonlu İntegral Yöntemi
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio; Voltaj duran dalga oranı
BW	: Band Width; Bant Genişliği
RL	: Return Loss, Geri dönüş kaybı
Wi-Fi	: Kablosuz Ağ Protokolü
GPS	: Global Positioning System ; Küresel Konumlama Sistemi
GSM	: Mobil iletişim için küresel sistem
WLAN	: Wireless Local Area Network; Kablosuz yerel alan ağı
WPAN	: Wireless Personal Area Network / Kablosuz Kişisel Alan Ağı
WiMAX	: Kablosuz Geniş Bant Haberleşme Standartı
WMAN	: Wireless Metropolitan Area Network/ Kablosuz Metropol Alan Ağı
WWAN	: Wireless Wide Area Network / Kablosuz Geniş Alan Ağı
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
IE3D	: Mentor Graphics / Elektromanyetik simülasyon
EM	: Elektromanyetik
LTCC	: Düşük Sıcaklıkta Ortak Ateşlemeli Seramik
CST	: Microwave Studio; Mikrodalga Stüdyosu
ISM	: Industrial Scientific Medical; Bilimsel, Endüstriyel ve Tıbbi
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
RF	: Radyo Frekansı
ITU	: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
ITU-RR	: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Şartname Önerisi
UWB	: Çok Geniş bantlı
FDM	: Frequency Division Multiplexing / Frekans bölmeli
MAC	: Media Access Control / Medya Erişim Kontrolü
LOS	: Line of Sight / Görüş Hattı
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Ortogonal Frekans Bölmeli
MIMO	: Multi-Input Multi-Output / Çok Girişli Çok Çıkışlı

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme, iletişim endüstrisinin hızla büyüyen bir parçasıdır. Kablosuz iletişim cihazları toplumun yoğun kullandığı ve günlük hayatın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Gelişmekte olan elektronik cihazlar, yeni ihtiyaçları ve yeni fikirleri ortaya çıkarmaktadır. Mikroşerit Yama Antenleri (MYA) ise bu gelişen teknolojiye yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu antenler ise, düşük profil, kolay üretim ve elektronik düzenlerle entegrasyonu, araçlara kolayca monte edilebilir olmaları gibi çeşitli özellikleri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir. MYA'ın bu muhteşem özellikleri, füze, uzay aracı, uçak gibi askeri uygulamaların yanı sıra hücresel mobil iletişim, mobil uydu sistemi ve küresel konumlandırma sistemi gibi ticari alanlarda da kullanımları oldukça yoğunudur. Uygun bir antenin seçimi, maliyet, boyut, kazanç, bant genişliği, verimlilik, radyasyon modeli, frekans bandı ve kapsama alanı gibi uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak ve güç tüketimini azaltacak şekilde tasarımları, iletim verimliliğini artıracaktır (Kumar, 2020).

Wi-Fi, kullanıcılara geniş bir kapsama alanı içinde hareket etme ve yine de ağa bağlı olma hareketliliği, özgürlüğü ve esnekliği sağlayan modern kablosuz iletişimin en hızlı büyüyen parçasıdır. Dünya çapında elektromanyetik spektrum, antenlerin kablosuz yerel alan ağı bağlantıları (*WLAN*) ve uydu vb. uygulamalarına göre çalışabildiği *EM* dalga boylarına ve frekanslarına dayalı her tür elektromanyetik (*EM*) radyasyon için tahsis edilmiştir. Çalışma frekansının seçimi, anteni üretmek için kullanılabilecek malzemeyi kısmen belirler.

Mikroşerit anten çalışmalarında kullanılan alt tabaka malzemesi büyük bir önem taşıdığı için çalışmalar dielektrik malzemeler üzerinden yaygın şekilde bulunmaktadır. Dayanıklılık, imal olunma şartlarına göre farklı dielektrik malzemeler vardır. Lakin hem maliyet, hem performans nedeniyle mikroşerit antenlerin verimliliği önemle istenmektedir. Bu nedenle farklı dielektrik malzemeler, günümüzün esas talebi olan yüksek frekanslar için çalışmaların yapılabilmesidir. RT Duroid, Rogers, seramik, çelik levha gibi antenlerde kullanılan pek çok malzeme vardır ve doğada bulunmayan alışılmadık özellikler sergileyen meta-malzemeler olarakta bilinen yeni yapay malzemeler tanıtılmıştır. Anten performansı meta malzemelerle tasarlanarak geliştirilebilir. Bununla birlikte anten, radyo frekansı (*RF*) tasarımının en karmaşık yönlerinden biridir. Bir *RF* bağlantısının menzili ve performansı büyük ölçüde antene bağlıdır (Padhi ve ark., 2003).

Son zamanlarda ise farklı dielektrik malzemeler arayışı ile seramik malzemeler üzerinden çalışmalar artmıştır. Uzun ömürlülükleri ve dayanırlıkları ile seramik malzeme sınıfları dikkat çekmektedir. Bunun için kimyasal bileşimler, kimyasal çalışmalar ve mikroşerit antenler için kullanılabilen kimyasal seramik alt tabaka malzemeler ön plandadır. Bu sebepler Yüksek Lisans Tez çalışmasında farklı seramik tabanlı malzemeler üzerinde, mikroşerit antenlerin performansları farklı rezonans frekanslarında özgün tasarımları yapılarak ve üretilerek performansları incelenmiştir.

Bu bağlamda, *ISM* bant *Wi-Fi* uygulamaları *WLAN* (802.11 /a/b/g) ve *Wimax* uygulamaları *WMAN* (802.16 /d/e), *X* bant radar uygulamaları frekans bantlarında çalışacak şekilde yeni bir modifiyeli dikdörtgen şekilli mikroşerit yama anteni (MYA) tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Dielektrik tabanlı malzeme ve seramik yapıdaki alt tabaka olarak Al_2O_3 (Alüminyum Oksit), Rogers şirketler grubuna mahsus farklı dielektrik sabitine sahip farklı kayıp tanjanı ve firmanın üretim sağladığı kalınlık standartlarında birbirlerine yakın kalınlıklarda Ro3006, Ro4003C, Ro4350B, TMM6, Duroid6006, Duroid6010LM gibi seramik tabanlı malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Tez çalışmasında yüksek rezonans frekansları 2.4 GHz, 5.8 GHz ve 10 GHz için *IE3D* simülasyon yazılımı programı ile simülasyonlar yapılmıştır. Özellikle simülasyon ve uygulama yapılan MYA'leri her frekans için 5 malzeme olacak şekilde yapılmış ve literatürde yer alan denklemler kullanılarak, yama ve toprak boyutları hesaplanmıştır. Aynı zamanda tüm seramik tabanlı dikdörtgen mikroşerit antenlerin beslemeleri için, söz edilen 3 rezonans frekansı için “koaksiyel besleme yöntemi” kullanılmıştır. Simülasyonlarda *IE3D* programı kullanılmış ve Geri Dönüş kaybı (S_{11}), Bant genişliği (BW), Kazanç (G), Duran Dalga Oranı (VSWR) ve Işıma Paterni simüle edilmiştir.

1.1. Kaynak Araştırması

“Wlan Uygulaması İçin Farklı Alt Yapı Malzemeleri Kullanılarak Dikdörtgen MYA' in Performans Analizi” isimli bu makalede; MYA' in performansını analiz etmek için Alümina (Al_2O_3), Bakalit, Berilyum oksit (BeO), Galyum Arsenit (GaAs), RT-Duroid ve FR-4, altı farklı alt tabaka malzemeleri kullanılarak dikdörtgen bir mikroşerit yama anteni tasarlanmıştır. Anten çalışmasında 5.8 GHz rezonans frekansında farklı alt tabaka malzemeleri için dikdörtgen MYA' in performansları üzerine çalışma sağlanmıştır. Bu karşılaştırmalı çalışma, simülasyon parametreleri HFSS kullanılarak incelenmiş,

hangi alt tabaka malzemesinin daha iyi performans sağladığını aktarmıştır. Anten tasarımının simülasyon çıktıları, önerilen anten tasarımının, azaltılmış dielektrik sabiti olan alt tabaka için en iyi geri dönüş kaybını ve bant genişliğini sağladığını bildirmiştir. Bu nedenle, bu makalede RT-Duroid alt tabakadan yapılan dikdörtgen MYA tasarımının diğer alt tabakalarla kıyasla %23 daha iyi sonuçlar sağladığı sonucu görülmüştür (Aravindraj ve ark., 2017).

“Al₂O₃ Üzerinde Değiştirilmiş W Şeklinde Yama Anteninin Tasarımı. Ku-Band İçin Seramik Malzeme Alt Yüzey” isimli makalede; Al₂O₃ seramik alt tabaka malzemesi üzerinde modifiye edilmiş bir W-şekilli Ka bant anten tasarımı sunulmuştur. Anten minyatürleştirilmesi için yüksek dielektrik sabiti 9,8 ve 1,5 mm kalınlığında Alüminyum oksit (Al₂O₃) ve 3,3 mm x 5,5 mm yama ile yapılan seramik malzeme üzerinde W şeklinde elektriksel olarak küçük koaksiyel prob beslemeli bir anten tasarlanmış ve bu makalede analiz edilmiştir. Ku-bant uydu uygulaması için 17.27 GHz rezonans frekansında tasarlanmış önerilen anten. 4.53 dB ve 1.2 GHz bant genişliği ortalama kazancı, simüle edilmiş frekans bandının %60’ı ve tüm Ku-Bandın (12 GHz-18 GHz) %20’si önerilen W şekilli oluklu antenden elde edilmiştir. Makalede önerilen minyatürleştirilmiş anten ayrıca 16.7 GHz ila 17.95 GHz çalışma frekansı bandında maksimum 4.89 dB kazanç ile kararlı radyasyon performansı elde edilmiştir. Öngörülen anten, Ansoft’un 3D tam dalga elektromanyetik alan yazılımı HFSS kullanılarak tasarlandığı ve simüle edildiği ve elde edilen dönüş kaybı 16.7 GHz’den 17.9 GHz’e -10dB’nin altında olduğu gösterilmiştir (Ullah ve Islam, 2012).

“Al₂O₃ Üzerinde Kompakt Çok Bantlı Anten Tasarımı. Seramik Alt Tabaka Malzeme” isimli bu çalışmada; Kompakt, elektriksel olarak küçük, dikdörtgen şekilli bir mikroşerit yama anteni üç farklı frekans uygulaması için alüminyum oksit yüksek dielektrik seramik alt tabaka malzemesi üzerine 13 x 10 mm yayılan bakır yama ile tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Anten, sonlu elemanlar yöntemi 3D tam dalga elektromanyetik yüksek frekans yapı simülatörü kullanılarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Makalede elde edilen sonuca bakılırsa 4.7, 9.05 ve 13.2 GHz rezonans frekansları için -10 dB’ in altındaki kazanç sırasıyla 2.53 dB, 6.72 dB, 1.95 dB olarak bulunmuştur. Al₂O₃ seramik alt tabaka üzerinde tasarlanmış olan MYA kablolu cihazlara entegre edilebilirliği sunulmuştur. Önerilen anten, mevcut diğer çok bantlı

antenlere kıyasla küçük çok teknolojik kablosuz cihazlarla benimsenmesi gereken mevcut ihtiyaçlar için rekabetçi bir çözüm olabilirliği sunulmuştur (Ullah ve ark., 2012).

“Seramik Yüzey Üzerinde Küçük Boyutlu ve Geniş Bantlı T-şekilli Yama Anten Tasarımı” isimli çalışmada; Al_2O_3 seramik alt tabaka malzemesi üzerinde geniş bantlı bir T-şekilli yama anten (2.45 GHz) incelenmiştir. ISM band için tasarlanmış Al_2O_3 seramiğinin dielektrik sabitine ($\epsilon_r = 9.8$) sahip yama anteninin boyutu $25\text{ mm} \times 32\text{ mm}$ olarak ölçülmüştür. Yama boyutunun ve iletim hattının uzunluğunun geri dönüş kaybını (S_{11}) ve imal edilmiş yama antenlerinin rezonans frekansını etkileyeceği bulunmuştur. Tasarlanan antenin çalışma frekansı 2.45 GHz civarında olup ayarlanabilir, Bluetooth Sisteminde ve Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) bandı için kullanılabilirliği sunulmuştur. Mikroşerit hattı ve iletim hattının uzunluğunun varyasyonundan, bu antenin rezonans frekansı ve bant genişliği ayarlanabilir olarak gösterilmiştir (Yang ve ark., 2007).

“WLAN / Wi-Fi Uygulamaları İçin Metalik Halkalı Mikroşerit Yama Dizisi Anteninin Kazanç ve Yönlülüğünü Geliştirme” isimli makalede; WLAN/Wi-Fi uygulaması için, metal halkalı mikroşerit yama dizisi anteninin yeni bir kazanç ve yönlülük geliştirmesi sunulmuştur. Tercih edilen frekansta gerekli empedans dönüşümünü elde etmek için U-slot tekniği kullanılmıştır. Yapının topolojisi, geleneksel mikroşerit yama anteninden farklıdır. Alt tabaka malzemesi olarak Rogers4003 seramik tabanlı malzemesi kullanılmıştır. Dielektrik seramik alt tabaka üzerindeki yamanın etrafında metal halka kullanılması, kazanç artışı ve iyileştirilmiş geri dönüş kaybı sağlamıştır. Makalede kullanılan Ro4003 malzemesinin kalınlığı $h = 1.3\text{ mm}$ seçilmiş ve dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$ olarak belirlenmiştir. Anten yapısı CST Mikrodalga stüdyosu kullanılarak tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Simüle edilen geri dönüş kaybı, 5.9 GHz ve 5.96 GHz merkez frekanslarında -10 dB ’ den fazladır. Bu mikro şerit yama anten dizisinde, geleneksel olana kıyasla $\%150\text{ dB}$ ve $\%157.89\text{ dB}$ frekanslarına referansla mikro şerit yama anteninin kazanımı ve yönlendirilmesi için iyileştirme tasarlanmıştır. Öngörülen antenin, dielektrik seramik alt tabaka üzerine yerleştirilmiş metalik halka ve dizinin bağlanması yoluyla daha iyi kazanç ve yönlülük geliştirmesi sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda makalede kullanılan anten yapısının imalatı kolay ve daha iyi empedans uyumu, kararlı radyasyon modeli ve iyi geri dönüş kaybı elde edildiği

belirlenmiştir. Antenin çoğunlukla *WLAN / Wi-Fi/RLAN* uygulamaları için kullanışlı olduğu sunulmuştur (Meena ve Meena, 2015).

“X-Band Uygulamaları için Farklı Alt Tabakalar Kullanan Mikroşerit Yama Anten Dizisinin Tasarımı ve Analizi” isimli yayında; yüksek kazançlı dar bantlı dikdörtgen mikro şerit yamaları önerilmiştir. Dizinin her bir elemanı dikdörtgen şeklindedir. Alt tabaka malzemesi olarak dielektrik sabiti 4.4 ve 6.51, kayıp tanjantı 0.002 ve kalınlığı 1 mm olan FR4 ve Rogers3006 malzemesi kullanılmıştır. Besleme, mikroşerit hattı beslemesi kullanılarak yapılmıştır. Rogers3006 kullanan 8x1 yama dizili anten tasarımı için önerilen 10 GHz’ lik kesin frekansta X-band uygulamasında FR4 ile karşılaştırıldığında antenin kazanımı söz konusu olduğunda daha iyi sonuçlar verildiği sunulmuştur. X-bant için tasarlanmış anten çalışmasına bakıldığında Mikroşerit beslemesinin daha iyi eşleşmesi ve daha iyi kazanç sağladığı görülmüştür. Rogers RO3006, makalede kullanılan iki alt tabaka malzemeleri arasında geri dönüş kaybı ve kazanç açısından daha iyi performans gösterirken, FR4 bant genişliği açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir (Patel ve ark., 2017).

“RT Duroid 5880 alt tabakası ve RO4003 alt tabakası üzerinde Yaygın Kablosuz İletişim için Yeni Çok Bantlı E-Şekilli Mikroşerit Yama Anteni” isimli çalışmada; İki farklı alt tabaka malzemeleri üzerinde, Rogers-Corp’ tan dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.4$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.002$ sahip olan Ro4003 ve dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.2$, $\tan\delta = 0.004$ kayıp tanjantına sahip Duroid5880 laminatları ile önerilen anten tasarımı yapılmıştır. Önerilen antenlerin optimum sonuçları IE3D SIMULATOR programı ile doğrulanmış ve test edilmiştir. E-Şekilli çok bantlı mikroşerit anten, X - Band’ da simüle edilen Rogers4003 alt tabaka malzemesi, yaygın kablosuz iletişim için 5GHz, 8GHz ve 10GHz frekans aralığında etkili bir şekilde çalışır. 10 GHz rezonans frekansında IE3D anten simülatör programı ile simüle edilen antenin Geri dönüş kaybı $S_{11} = -21.34 \text{ dB}$, VSWR = 1.192, Yönlülük = 8 dBi’ dir. Önerilen anten, çift yama uzunluğuna, yama genişliğine ve daha fazla besleme hattı uzunluğuna sahiptir. Diğer alt tabaka malzemesi Duroid5880, E-Şekilli çok bantlı mikro şerit anten çalışması, 7 GHz, 12 GHz, 14 GHz (Ku Band) rezonans frekansları arasında, yaygın kablosuz iletişim için çok etkili bir şekilde çalıştığı sunulmuştur. Önerilen antenin optimum sonuçları IE3D SIMULATOR’ da doğrulanmış ve test edilmiştir. 14 GHz’ de simüle edilen anten sonuçlarına bakıldığı zaman geri dönüş kaybı $S_{11} = -10.35 \text{ dB}$, VSWR = 1.872, Yönlülük = 8 dB olduğu

görülmüştür. Bu makalede farklı alt tabakalar kullanarak yaygın kablosuz iletişim için basit ve düşük maliyetli yama anten tasarlanmıştır. İletim hattı modeli, çeşitli parametrelerin değiştirilmesinin bant genişliği etkilerini göstermede en öğretici gibi görülmüştür (Khare ve ark., 2010).

“Alt Tabaka Malzemesinin ve Kalınlığının Değiştirilmesinin Mikroşerit Hat Beslemeli Mikroşerit Yama Anteninin Performansına Etkisi” isimli bu makale; Alt tabaka malzemesini ve kalınlığını değiştirdiğimizde anten performansının nasıl değiştiğini gösterilmiştir. Tasarlanan içten beslemeli dikdörtgen mikro şerit yama anteni 2.4 GHz (ISM bandı) ile çalışır. Mikroşerit anten çalışmasında, farklı alt tabaka malzemeleri (RT Duroid 5880, GML 1000, RO4003 ve FR4) ve aynı alt tabaka malzemesi üzerinde iç içe beslemeli dikdörtgen yama anteninin değişken alt tabaka kalınlığına göre bir dizi simülasyonu ve ölçümleri sunulmuştur. Antenlerin performansı 2.4 GHz çalışma frekansı için gelişmiş tasarım sistemi ADS2009 momentum 3D düzlemsel elektromanyetik simülatör ile içten besleme tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Her farklı alt tabaka malzemesi için rezonans frekansı, yönlülük, kazanç, geri dönüş kaybı gibi anten performans parametrelerini belirlenmiştir. Mikroşerit yama anten tasarımında daha yüksek dielektrik sabiti olan alt tabaka malzemesinin kullanılmasının anten performansının düşmesine neden olduğu ancak antenin boyutunun azaldığı sonucuna varabiliriz (Paul ve ark., 2015).

“RFID Uygulamaları için Mikroşerit Etiket Anteni Sağlık hizmeti” isimli çalışmada; Sağlık hizmetlerinde RFID uygulaması için bir etiket anteni olarak çalışmak ve bir biyopsi kasetine uygulanmak üzere bir mikro şerit anten tasarlanmıştır. Önerilen anten Momentum ADS ve HFWorks ile tasarlanmıştır. Dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, kalınlığı $h = 0.635$ mm, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.002$ olan Rogers3006 dielektrik seramik tabanlı alt tabaka malzemesi üzerinde S-parametresi ve uzak alan radyasyon ölçümlerini gerçekleştirmek üzere bir palmiye ağacı şekilli, mikroşerit yama anteni üretilmiştir. 5,6 GHz’de, $G = 2,94$ dB ile ölçülen kazanç ve $S_{11} = -30$ dB geri dönüş kaybı ile iyi radyasyon özellikleri elde edilmiştir. Etiket zorlu ortamlara uygun hale getirmek için bu RFID etiketini Düşük Sıcaklıkta Ortak Ateşlemeli Seramik (LTCC) üzerine oluşturulmuştur. Anten, bir Biyopsi kasetinin ön yüzüne uyacak şekilde üretilmiştir. Geri dönüş kaybı performansları, boyutu ve yayılma özellikleri, önerilen etiket anteninin,

RFID sisteminin çalışması için uygulama gereksinimlerini karşılamak için ümit verici bir çözüm olduğu gösterilmiştir (Moussa ve Kouki, 2011).

“Kablosuz Uygulamalar için Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu” isimli bu makalede; Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi (*CST*) Mikrodalga Stüdyosu kullanılarak 2.4 *GHz* ve 5.2 *GHz* bantlarında çalışmak üzere iki dikdörtgen mikro şerit yama anteni tasarlanmıştır. Tasarlanan anten endüstriyel, bilimsel ve tıbbi (*ISM*) bant uygulamaları için kullanılabilir. Rogers Corporation alt tabaka malzemesi Ro4350B hidrokarbon seramik laminatlar, antenlerin dielektrik alt tabaka tasarımında seçilmiştir. Önerilen Ro4350B alt tabaka malzemesi, $h = 0.762 \text{ mm}$ kalınlığında $\epsilon_r = 3.66$ dielektrik sabitine sahiptir. Seçilen dielektrik alt tabaka malzemesinin kalınlığı çok daha incedir; bu nedenle antenin ağırlığında, boyutunda ve dielektrik kaybında azalma avantajına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu makalede tasarlanan antenin 2.4 *GHz* rezonans frekansı için bant genişliği 23.19 *MHz* iken, 5.2 *GHz* rezonans frekansı için ise bant genişliği 93.433 *MHz* olarak gösterilmiştir. Bu nedenle önerilen tasarımların, *ISM* bantlarında bulunan sensör ağırları gibi dar bant genişliği gerektiren kablosuz sistemlerin tasarımında çok faydalı olabileceği düşünülmüştür (Ahmed ve Abdullah, 2017).

“5G İletişimi için Mikroşerit Anten: Tasarım ve Performans Analizi” bu çalışmada; *IEEE802.11ad* standardında *ISM* frekans bandını kapsayan 5G mobil iletişim için yeni bir mikroşerit anten tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Saç tokası şeklindeki yayılan yama, üç farklı alt tabaka malzemesi üzerinde analiz edilmiştir; FR4, Rogers RO4350B ve Arlon AD255C. 60 *GHz* çalışma frekansı için bu üç dielektrik katman arasından en uygun alt tabaka malzemesini seçmek için geçirgenliğe dayalı yön ve bant genişliği analizleri gerçekleştirilmiştir. 60 *GHz* için optimum boyut parametreleri, FR4, Rogers RO4350B ve Arlon AD255C için *CST Stüdyo* optimizasyon aracı ile elde edilmiştir. Optimal boyutlar ile bu üç farklı dielektrik katman için bant genişliği, geri dönüş kaybı ve yönlülük analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Bant genişliği ve geri dönüş kaybı için en uygun veriler Rogers RO4350B ile elde edilirken, yönlülük için en iyi değer Arlon AD255C ile elde edilmiştir. Önerilen anten dört farklı kalınlıktaki Rogers RO4350B üzerinde analiz edilmiş ve en iyi performans 1,2 *mm*'de gözlemlenmiştir (Tütüncü, 2020).

“2.45 GHz’ de Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Tasarımı” isimli yayında; Dikdörtgen mikroşerit yama anteninin tasarımı ve analizi incelenmiştir. Antenin uyarılması için koaksiyel besleme yöntemi kullanılır. *ISM* bandı için tasarlanan anten çalışması 2.45 GHz rezonans frekansında *Ansoft HFSS* anten yazılım programı kullanılarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Koaksiyel besleme tekniğinin karşılaştırılması yapılmış, doğru besleme durumunda, iyi bir empedans uyumu elde etmek için deneme yanılma yöntemleri uygulanmıştır. Mikroşerit anten tasarımı için kullanılan dielektrik alt tabaka malzemesi *Duroid6010*’un dielektrik sabiti $\epsilon_r = 10,2$ ve kalınlığı $h = 0,254$ mm’dir. Çalışmada önerilen antenin yamasının genişliği $W = 26.411$ mm, uzunluğu $L = 19.5881$ mm olarak belirlenmiştir. Simüle edilmiş dikdörtgen mikroşerit yama anteninin geri dönüş kaybı, optimum empedans eşleşmesini gösteren 2.38 GHz frekansında $S_{11} = -21.60$ dB’ dir. Bu, antene aktarılan gücün %99,21 olduğunu gösterir. Rezonans frekansında *VSWR*’ nin 1.07 olduğu, besleme noktasında iyi empedans uyumu gösterildiği bulunmuştur. Antenin bant genişliğinin çok dar olduğu fark edilmiştir (Bhongale, 2015).

“Farklı Alt Katmanlar Kullanan Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu” isimli bu makalede; Koaksiyel prob aracılığıyla beslenen dielektrik alt tabaka malzemeleri olarak Silikon, Rogers TMM6, FR4 ve GaAs kullanan Sonnet Yazılımı kullanılarak dikdörtgen bir mikroşerit yama anteni tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Simüle edilmiş antenler, mobil iletişim için kullanılan 1.9 GHz frekansında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dört farklı yüzey alt tabaka malzemesi Silikon, FR4, Rogers TMM6 ve GaAs, dielektrik sabitinin antenin çalışması üzerindeki etkilerini göstermek için anten tasarımında kullanılmıştır. Geri dönüş kaybı ve kazancının doğru bir şekilde karşılaştırılması için tüm yüzeylerin yüksekliği 1,5 mm alınmıştır. Benzer şekilde, geri dönüş kaybı Silikon için $S_{11} = 22$ dB Rogers TMM6 için $S_{11} = 25$ dB, FR4 için $S_{11} = 28,5$ dB ve GaAs için $S_{11} = 19,5$ dB değerlerinde olduğu görülmüştür. 1.9 GHz’ de rezonans frekansı geri dönüş kaybının TMM6 alt tabaka malzemesi için minimum olduğu bulunmuştur (Bano ve ark., 2014).

“Farklı Yüzeyleri Kullanan Eşkenar Üçgen Mikroşerit Yama Anteni” isimli çalışmada; C bandında çalıştırılan eşkenar üçgen mikro şerit yama anteni, farklı dielektrik sabitlerine sahip 4 adet farklı alt tabaka malzemeleri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu karşılaştırmalı çalışma, simülasyon parametreleri *HFSS* kullanılarak incelenmiş, alt

tabaka malzemelerinin değişmesiyle bant genişliği değişiklikleri öne alınmıştır. İlk alt tabaka malzemesi dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.2$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.0009$ olan Duroid 5880, -10 dB 'nin altındaki tek bant genişliğini göstermektedir, ve geri dönüş kaybı $S_{11} = -19.67 \text{ dB}$ 'dir. 3.42 GHz rezonans frekansında çalışabilirliği görülen bu malzeme %34.23 bant genişliğine ve 1.26 VSWR değerine sahip olunduğu bulunmuştur. İkinci alt tabaka malzemesi $\epsilon_r = 4.4$ dielektrik sabitine ve $\tan\delta = 0.002$ kayıp tanjantına sahip FR4'ün ölçülen geri dönüş kaybı değeri $S_{11} = -18 \text{ dB}$, bant genişliğinin ise %32 olduğu görülmüştür. Dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.0023$ olan Rogers TMM6'nın alt tabaka malzemesi olarak kullanılmasıyla, 2.68 GHz ve 4.88 GHz rezonans frekanslarında olan çift bant elde edilmiştir. Bu durumda ölçülen geri dönüş kaybı sırasıyla -17.43 dB ve -20.33 dB , bant genişliği ise %30.85 ve % 6.25 olarak ölçülmüştür. Kullanılan diğer malzemelerle kıyasla yüksek dielektrik sabitine $\epsilon_r = 10.2$ ve $\tan\delta = 0.0023$ kayıp tanjantı değerine sahip Duroid 6010 alt tabaka malzemesinde de 2.29 GHz ve 3.87 GHz rezonans frekanslarında olan çift bant elde edilmiştir. HFSS simülatör programı kullanılarak ölçülen -16.1 dB ve -20.33 dB , bant genişliği ise % 27 ve % 6.47 olarak bulunmuştur (Pandey, 2018).

“HFSS Kullanarak Yama Anteninin En İyi Besleme Noktasının Konumunu Bulma” isimli bu makalede; Ansoft HFSS yazılımını kullanarak yama anteni için en uygun besleme konumunun bulunmasını açıklamaktadır. Yama anteninin boyutları üç temel parametreye göre hesaplanmış ve çalışma frekansı 2.4 GHz olarak tasarlanmıştır. LaAlO_3 , 23.5 dielektrik sabiti ve 1.5 mm yüksekliğiyle tasarlanan yama anteni için bir alt tabaka malzemesi olarak seçilmiştir. Malzemeler, alt tabaka bloğundan bir kesik alan ile yama ve zemin düzlemi için mükemmel bir iletken olarak seçilmiştir. Yamanın ve alt tabakanın merkezi, x - y düzleminin başlangıç koordinatlarında ve alt tabakanın z -yönündeki yüksekliğinde bulunmaktadır. Bu makalenin amacı, tasarlanan anten için en yüksek performansı sağlayan en iyi besleme noktası konumunu bulmaktır. En iyi besleme noktası, orijinden itibaren (X_m, Y_n) konumunda bulunur. Mikroşerit yama anteni için besleme noktasının empedansı, besleme noktasının konumu değiştirilerek kontrol edilebilir. Koaksiyel prob besleme tekniği, en düşük giriş empedansının yanı sıra yüksek eşleme dahilinde yama anteninin geliştirilmesini sağlamak için kullanıldı. Besleme noktası konumunun doğru seçimi, yama anteni için giriş empedansını azaltır ve dönüş kaybını, kazancı, verimliliği ve yönlendirmeyi artırır (Jasim ve ark., 2015).

“S-Bandında Çalışmak için Koaksiyel Prob Besleme Tekniğini Kullanan Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anteni” isimli makalede: 2 GHz ila 2.5 GHz frekans aralığında çalışmak üzere dikdörtgen bir mikro şerit yama anteninin tasarımını sunar. Yaklaşık 4.4 dielektrik sabiti olan 1.6 mm Alev Geciktirici 4 (FR4) alt tabaka malzemesinin kalınlığına dayanan bu anten, bir sonda beslemesidir ve kısmi bir yer düzlemine sahiptir. Simülasyon sonrasında anten giriş empedansı, VSWR, Dönüş Kaybı ve Akım Yoğunluğu gibi anten performans özellikleri elde edilir. Dikdörtgen yama anteninin bu tasarımının, frekans aralığı içinde kararlı bir yayılma modeli ile yaklaşık %2’lik bir bant genişliği ürettiği gösterilmiştir. Tasarım anteni, merkez frekansta yaklaşık 50 Ω ’luk iyi bir empedans uyumu sergiler. Bu anten, küçük boyutu ve kalınlığı nedeniyle alt tabaka malzemesi üzerinde kolayca üretilebilir. Önerilen antenin tasarımı için kullanılan basit besleme tekniği, bu anteni birçok iletişim sisteminde iyi bir seçim haline getirmiştir(Majumder, 2013).

“5.8 GHz ISM ve 10 GHz X-Bant Uygulamaları için Yüksek Kazançlı, Çift Bantlı ve İki Katmanlı Minyatürleştirilmiş Mikroşerit Antenin Geliştirilmesi” isimli bu çalışmada; Yama antenlerin performans iyileştirmesi için literatürde kullanılan birkaç farklı yöntem birleştirilerek, 5.8 GHz ISM bandı (5.725 ila 5.875 GHz) ve 10 GHz X bandı (9.623 ila 10.427 GHz) çalışan minyatürleştirilmiş çift bantlı bir MYA’ in kazancının adım adım nasıl artırılacağı açıklanmıştır. Anteni tasarlamak ve üretmek için yaygın olarak kullanılan 1.575 mm kalınlığa, 4.4 nispi geçirgenliğe ve 0.019 kayıp tanjantına sahip FR4 alt tabaka malzemesi tercih edilmiştir. Yayılma elemanı olarak 0.035 mm kalınlığa sahip bakır yama kullanılmıştır. MYA, sinyal iletimi ve anten simülasyonu için 50 Ω SMA konektörü ile sonlandırılan bir mikro şerit besleme hattı kullanılarak beslenilmiştir. Prototip yapısının elektromanyetik modellemesi, sayısal analizi ve optimizasyonu için ANSYS HFSS kullanılmıştır. Önerilen antenin performansı, geri dönüş kaybı (S_{11}), yüzey akımı dağılımı, radyasyon modelleri ve kazanç / yönlülük açısından değerlendirilmiştir. Çalışmayı doğrulamak için simülasyon sonuçları anten prototipi üzerinden alınan ölçümlerle karşılaştırılmış ve iyi bir uyum sağlanmıştır. Antenin 5.8 GHz ve 10 GHz’ deki tepe kazanç değerleri sırasıyla 4.11 dB ve 7.15 dB olarak elde edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının uyumluluğu, tasarlanan antenin kompakt boyutu (23 mm $\times$ 30 mm), basit yapısı ve düşük maliyeti, önerilen anteni pratik uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Ataş ve ark., 2019).

“Kablosuz Sistemler için X-band Mikroşerit Yama Anteninin Değerlendirmeli Değerlendirmesi” isimli çalışmada; *CST Microwave Studio* kullanan kablosuz sistemler için bir X-band MYA’ in performansını tasarlar ve analiz eder. Rezonans frekansı 10 GHz olan anten çalışmasında alt tabaka malzemesi olarak dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$, kalınlığı $h = 1.6 \text{ mm}$. olan FR4 seçilmiştir. Yer düzlemi de dahil olmak üzere önerilen tasarım, kablosuz sistemler için uygun olan $17 \text{ mm} \times 17 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm}$ ’ lik düşük profilli bir yapıya sahiptir. Önerilen tasarım ayrıca 7,2 dB’ lik bir kazanç sergileyen çok yönlü bir radyasyon modeli ile 10 GHz’ lik bir frekansta rezonansa girmektedir. Geri Dönüş Kaybı, VSWR, Kazanç ve Radyasyon Modeli bu araştırmada kullanılan performans göstergeleridir. Önerilen MYA tasarımı, 5G uygulamaları için tasarlanmış benzer bir MYA ile kıyaslandığında belirgin performans artışı gösterir. Gelecekteki olası bir araştırma yönü olarak, mobil cihazlara gömülü antenlerin spesifik soğurma oranı (SAR) ile ilişkili sağlık ve güvenlik sorunlarını gidermek için temassız besleme yönteminin uygulanması önerilmektedir. Alternatif minyatürleştirme tekniklerini keşfetmek için başka yama şekilleri de uygulanabilir (Salami ve ark., 2017).

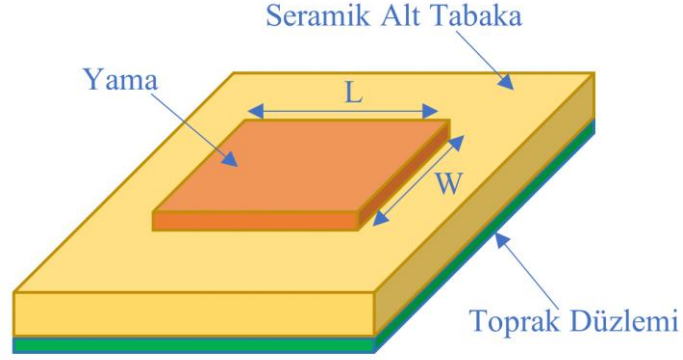
2. MİKROŞERİT ANTENLER

Mikroşerit antenler 1970 yılında elektronik devre minyatürleştirme ve büyük ölçekli entegrasyondaki devrime kadar gelişmemiştir. Bu yüzden birçok yazar, farklı konfigürasyonlar için bir dielektrik alt tabaka tarafından yer düzleminde gelen radyasyonu tanımlamıştır. Munson' un roketler ve füzeler üzerinde düşük profilli gömme montajlı antenler mikro şerit antenler üzerindeki ilk çalışması, bunun birçok anten sistemi probleminde kullanım için pratik bir konsept olduğunu gösterdi. Bu anten için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiş ve uygulamaları diğer birçok alana yayılmıştır. Bu antenler hakkında son on yıldır dergilerde yayınlanan makale sayısı ile, MYA önemini göstermektedir. Mikro şerit antenler, günümüzde anten tasarımcılarının tercihidir (Balanis, 2016).

Kablosuz iletişimin hızla gelişmesiyle birlikte küçük, çekici, hafif ve kıvrımlı mobil cihazlar için büyük bir talep var. Bireysel iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler aynı zamanda birden fazla kablosuz hizmet seçeneğinin tek bir kompakt modülde birleştirilmesini gerektirmektedir. Bu, cihazda yerleşik olan antenlere sahip cihazın çoğalmasıyla sonuçlanmıştır. Son kablosuz teknolojiler, sistemin cep telefonu, *GPS*, hava durumu tahmini, *IP* tabanlı *TV*, *WLAN* vb. Gibi çok bantlı uygulamaları çalıştırmak istemesi nedeniyle tek cihazda çoklu frekans bantlarının çalıştırılmasında artan gereksinime yol açmaktadır. Küçük ve kompakt bir kablosuz cihaz tasarlamak için anten boyutunun buna göre küçültülmesi zorunludur. Çok bantlı antenler için geniş bant genişliği, daha ucuz, minyatür boyut, sabit radyasyon modelleri ve tutarlı kazanç gibi çok sayıda gereksinim vardır. Anten minyatürleştirilmesi için uygulanan birkaç yol vardır. Anten minyatürleştirmenin en etkili yollarından biri dielektrik seramik alt tabaka malzemesi kullanmaktır (Ullah ve ark., 2012).

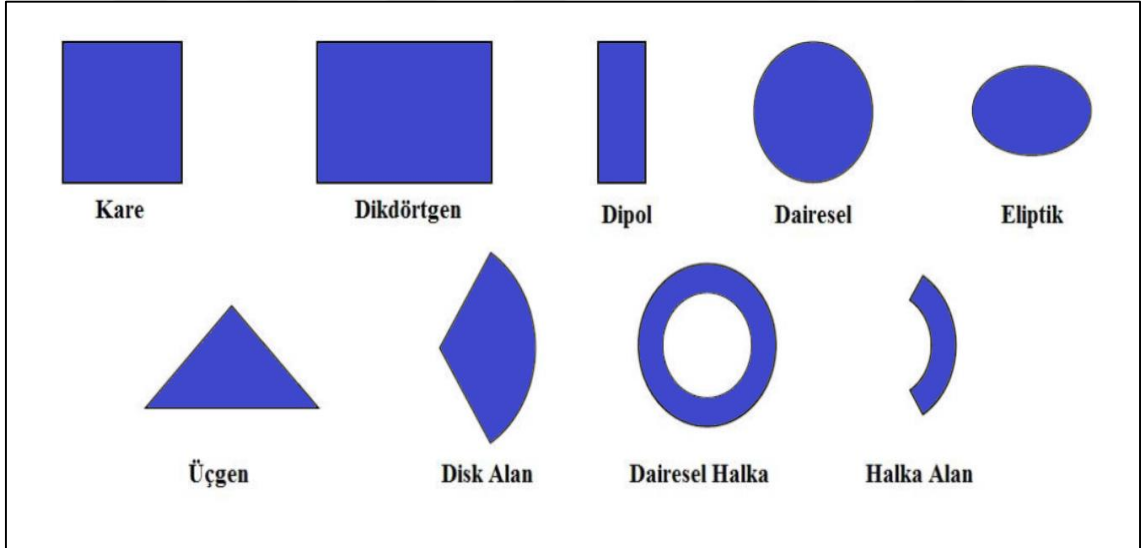
2.1. Mikroşerit Anten Tasarım Parametreleri

En temel haliyle, bir mikroşerit yama anteni, Şekil 2.1'de gösterildiği alt tarafında bir iletken tabaka, diğer tarafında bir zemin düzlemine sahip olan bir dielektrik alt tabaka, bir tarafında yayılan bir yamadan oluşur. Yama genellikle bakır veya altın gibi iletken malzemeden yapılır ve olası herhangi bir şekli alabilir. Işıma yapan yama ve besleme hatları genellikle dielektrik alt tabaka üzerine baskı devre teknikleri kullanılarak oluşturulur.



Sekil 2.1. Dikdörtgen Şekilli MYA

Analiz ve performans tahminini basitleştirmek için yama, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi genellikle kare, dikdörtgen, dairesel, üçgen, eliptik ve daha birçok şekillerde üretilebilir. Dikdörtgen bir yama için, yamanın uzunluğu L genellikle $0.3333\lambda_0 < L < 0.5\lambda_0$ ’dır, burada λ_0 boş alan dalga boyudur. Yama, $t \ll \lambda_0$ (t yama kalınlığı) çok ince olacak şekilde seçilir. Dielektrik alt tabakanın yüksekliği h genellikle $0.003 \lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ ’dır. Alt tabakanın (ϵ_r) dielektrik sabiti tipik olarak $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında olur, lakin daha yüksek dielektrik değerinde olan birçok çalışmalar da az değildir.



Şekil 2.2. Mikroşerit Anten Geometri şekilleri.

Mikroşerit yama antenleri, esas olarak yama kenarı ile zemin düzlemi arasındaki saçaklanma alanları nedeniyle yayılır. İyi anten performansı için, daha iyi verimlilik, daha geniş bant genişliği ve daha iyi radyasyon sağladığı için düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir dielektrik alt tabaka tercih edilir. Bununla birlikte, böyle bir konfigürasyon daha büyük bir anten boyutuna yol açar. Kompakt bir MYA tasarlamak için, daha az verimli

olan ve daha dar bant genişliği sağlayan daha yüksek dielektrik sabitleri kullanılmalıdır. Bu nedenle anten boyutları ve anten performansı arasında bir uygunluk aranmalıdır (Hadian ve Hassani, 2007).

2.1.1. Avantajlar ve dezavantajlar

Mikroşerit antenler, geleneksel mikrodalga antenlerle kıyaslandığında birçok avantaj sağlamaktadırlar. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir;

- Mikroşerit antenler küçük boyutludurlar.
- Baskı devre teknolojisi kullanılarak seri üretimlerinin yapılabilmesi düşük maliyet sağlar.
- Diğer mikrodalga devrelerle aynı katman üzerinde üretilebilirler.
- Hem dairesel hem de doğrusal polarizasyona izin verirler
- Kişisel mobil haberleşmede kullanılabilmesi boyutları dolayısıyla mümkündür.
- Düşük ağırlığa sahip olması
- Yarım dalga boyunda ya da daha azında ayrılabilen geniş dizi oluşturmada kolaylık sağlaması gibidir.

Mikroşerit antenlerin avantajlarının yanı sıra bazı önemli dezavantajları da bulunmaktadır bunlar;

- Dar bant genişliği
- Düşük kazanç
- Güç aktarabilme kapasitesinin düşüklüğüdür

Mikroşerit antenlerin yaygınlaşmasının önündeki en önemli engel olan dar bant genişliğinin aşılabilmesi, bu konudaki en önemli çalışma alanlarından birisidir. Son yıllardaki çalışmalar, mikroşerit antenlerle yüzde 70'lere varan bant genişliklerine ulaşılmasını sağlamıştır. Bu gelişmeyi sağlayan en önemli değişiklik, kalın ve düşük elektrik geçirgenliğine sahip yalıtkan katmanların kullanılmasıdır. Mikroşerit antenin boyutları frekansıyla ters orantılıdır. Mikrodalgadan daha küçük frekanslarda, mikroşerit yamalar boyut gereksinimleri sebebiyle kullanıma uygun değildir.

2.1.2. Mikroşerit antenlerin analiz yöntemleri

Mikroşerit antenleri analiz etmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasındaki en çok kullanılan yöntemler;

- İletim (Transmisyon) Hattı Modeli
 - Boşluk (Kavite) Modeli
 - Tam Dalga Modeli
- Momentler Yöntemi (MoM)
 - Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)
 - Sonlu İntegral Yöntemi (FIM)'dur.

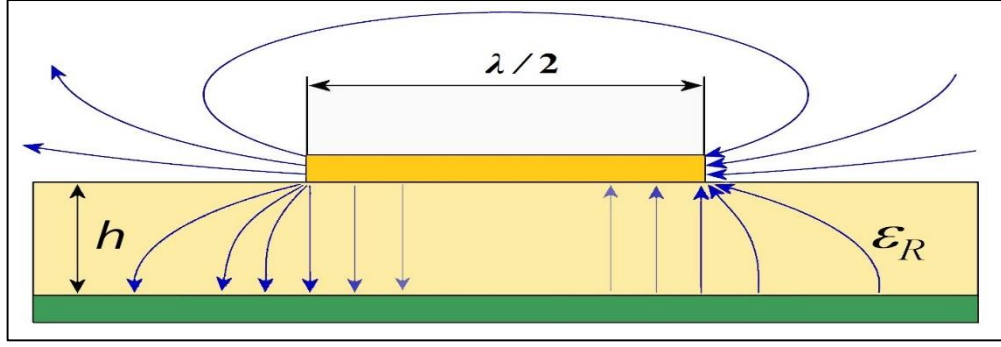
İletim (Transmisyon) hattı modeli, diğer yöntemlere kıyasla daha basittir ve iyi bir fiziksel bakış açısı sağlar. İletim hattı modelinin eksik yanı, doğruluğunun az olmasıdır. Diğer modellere nazaran daha az karmaşık olması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemlerden biridir.

Boşluk modeli, iletim hattı modeline nazaran daha kesin ve doğru sonuçlar verir. Fakat iletim hattı modelinden daha karmaşıktır.

Tam dalga modeli ise, yöntemler arasında en doğru sonuçları veren ve en karmaşık yapıya sahip olan metottur. İletim hattı ve boşluk modeli kılavuz dalga ya da yarı dalga kullanırken, tam dalga modeli tam dalga analizini baz alır. Bu nedenle sonuçları %100'e yakın doğruluk gösterir. Elektromanyetik simülasyon yazılımları bu modeli kullanarak çözümlerini gerçekleştirirler.

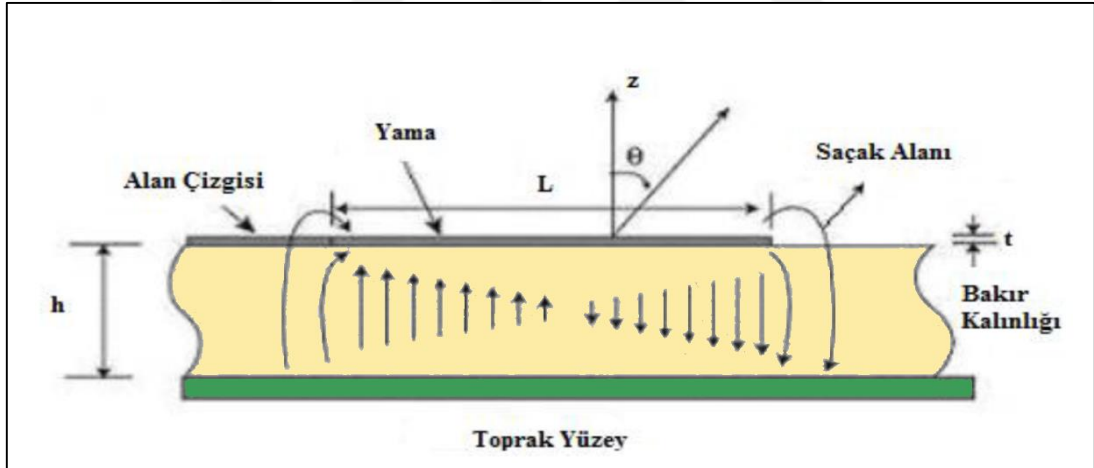
2.2. Mikroşerit Yama Antenlerde Saçaklanma Etkileri

Anten yamasının boyutları uzunluk ve genişlik boyunca sınırlı olduğundan, yamanın kenarlarındaki alanlar toprağa doğru saçaklanırlar. Saçaklanma miktarını, yamanın boyutları ve kullanılan taban malzemesinin yüksekliği belirler. Saçaklanma etkisi, yamanın genişliği ve uzunluğu boyunca gözlenir. Saçaklanma etkileri Şekil 2.3 ve 2.4'te gösterilmiştir.



Sekil 2.3. Saçaklanma Etkili Mikroşerit Yama Anten

Temel E -düzlemi (x_y - düzlemi) için saçaklanma; yama uzunluğu L 'in, taban malzemesinin yüksekliği h 'ye oranının (L/h) ve taban malzemesinin dielektrik sabiti (ϵ_r)'in bir fonksiyonudur. Mikroşerit antenler için $L/h \gg 1$ olduğu durumlarda, saçaklanma azalır. Saçaklanma etkisinin antenin rezonans frekansına etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Saçaklanma etkisi nedeniyle; mikroşerit anten yaması elektriksel olarak, fiziksel boyutlarından daha büyük gözükür (Balanis, 2016)



Sekil 2.4. Işıyan Mikroşerit Yama Anteni

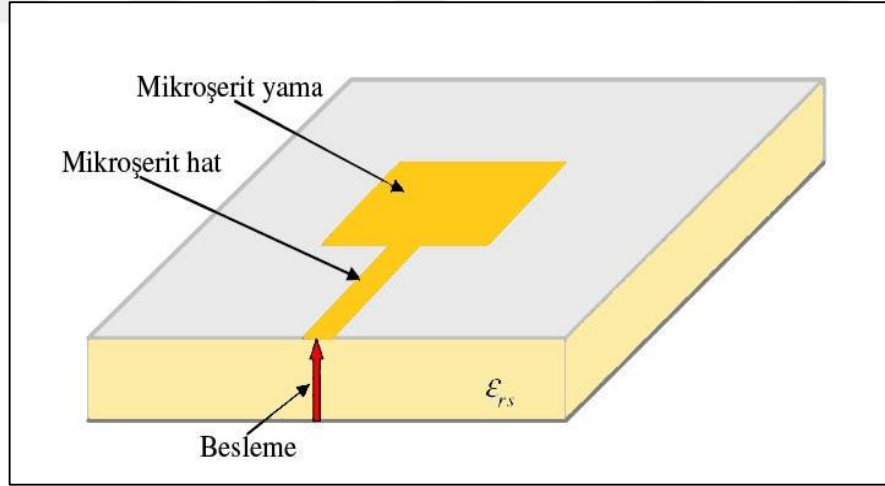
Dalgaların bazılarının tabanda, bazılarının ise havada hareket etmesi nedeniyle saçaklanma ve mikroşerit hattaki dalga yayılımını hesaba katabilmek adına etkin dielektrik sabiti (ϵ_{reff}) tanımlanır. Taban malzemesinin üzerindeki malzemesi hava olan bir mikroşerit hat için, etkin dielektrik sabiti değerleri $1 \leq \epsilon_{\text{reff}} \leq \epsilon_r$ aralığındadır. $\epsilon_r \gg 1$ olan birçok uygulama için, ϵ_{reff} değeri ϵ_r 'ye çok yakındır. ϵ_{reff} frekansın da bir fonksiyonudur. Düşük frekanslarda ϵ_{reff} genellikle sabittir. Orta frekanslarda ise değeri monoton bir şekilde artarak ϵ_r 'ye yaklaşır. Etkin dielektrik sabitinin nasıl hesaplandığı mikroşerit anten tasarımı başlığı altında gösterilecektir.

2.3. Besleme Teknikleri

Mikroşerit yapılarında kullanılan besleme yöntemleri antenin giriş empedansı ve polarizasyonu üzerinde büyük önem taşır. Besleme yöntemleri temel olarak bağlantılı ve bağlantısız olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlantılı olanda güç doğrudan ışıma yapacak olan yamaya iletilir. Diğer durumda ise güç, bağlantılı olmayan mikroşerit hat ve yama arasında oluşan elektromanyetik alan vasıtasıyla taşınır. Mikroşerit yama antenlerin beslenmesinde bir çok yöntem kullanılabilir. Bunların en popülerleri, bağlantılı yöntemlerden mikroşerit ve koaksiyel besleme, bağlantısız yöntemlerden açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlı besleme yöntemleridir (Balanis, 2016).

2.3.1. Mikroşerit hat besleme

Bu tür besleme tekniğinde, bir iletken şerit, Şekil 2.5’de gösterildiği gibi mikroşerit yamanın kenarına doğrudan bağlanır. İletken şeridin genişliği, yama ile karşılaştırıldığında daha küçüktür ve bu tür besleme düzenlemesi, düzlemsel bir yapı sağlamak için beslemenin aynı alt tabaka üzerinde yapılabilmesi avantajına sahiptir.



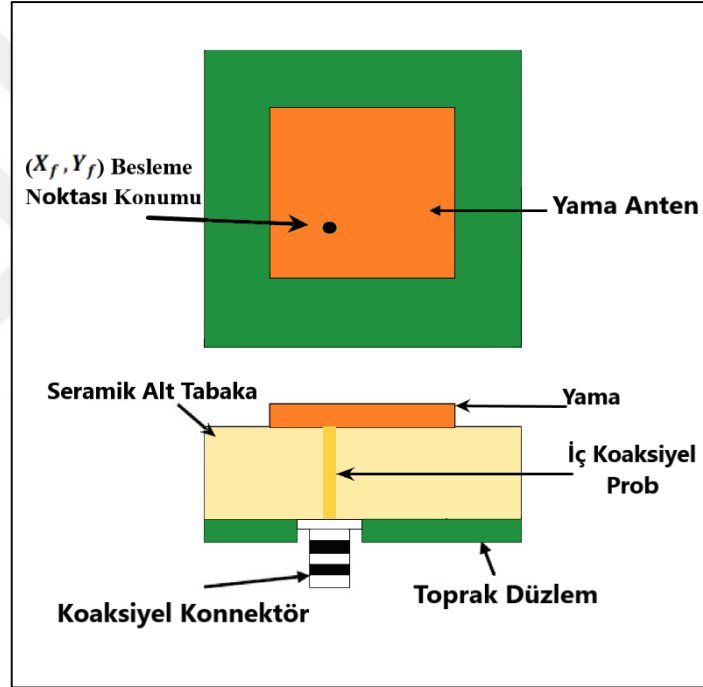
Şekil 2.5. Mikroşerit Besleme.

Yamadaki gömme kesimin amacı, besleme hattının empedansını herhangi bir ek eşleştirme elemanına ihtiyaç duymadan yama ile eşleştirmektir. Bu, etkin uygun şekilde kontrol edilmesiyle elde edilir. Dolayısıyla, bu kolay bir besleme şemasıdır. Çünkü modellemeye ve empedans eşleştirmeye basitlik ve imalat kolaylığı sağlar (Balanis, 2016).

Bununla birlikte, kullanılan dielektrik alt tabakanın kalınlığı arttıkça, yüzey dalgaları ve sahte besleme radyasyonu da artar, bu da antenin bant genişliğini engeller. Besleme radyasyonu ayrıca istenmeyen çapraz polarize radyasyona yol açar.

2.3.2. Koaksiyel prob besleme

Koaksiyel besleme veya prob beslemesi, mikroşerit yama antenlerini beslemek için kullanılan çok yaygın bir tekniktir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi, koaksiyel konektörün iç iletkeni dielektrik boyunca uzanır ve yayılan parçaya lehimlenirken, dış iletken yer düzlemine bağlanır.

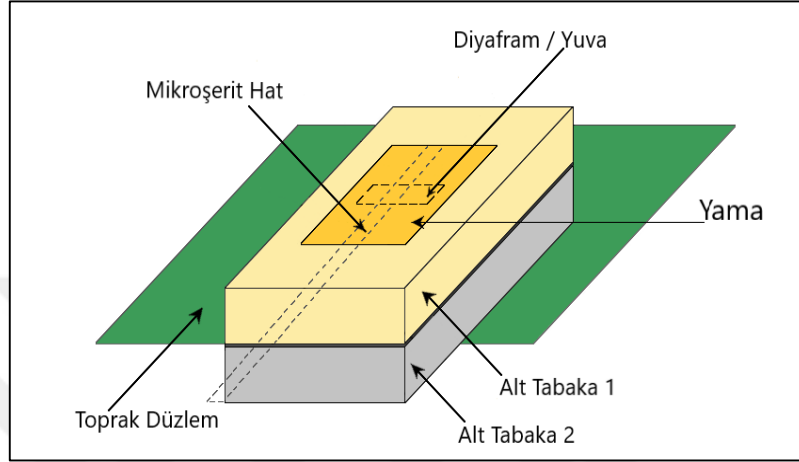


Şekil 2.6. Koaksiyel Prob Besleme

Bu tür besleme düzeninin esas avantajı, beslemenin giriş empedansına uyması için yama içinde istenen herhangi bir konuma yerleştirilebilmesidir. Koaksiyel besleme yönteminin imal edilmesi kolaydır ve düşük sahte radyasyona sahiptir. Bununla birlikte, büyük bir dezavantajı, dar bant genişliği sağlaması ve alt tabakada bir delik açılması gerektiğinden, konektörün zemin düzleminin dışına çıkması nedeniyle modellemenin zor olmasıdır. Bu sebeple kalın alt tabakalar ($h > 0.02\lambda_0$) için tamamen düzlemsel hale getirilmez. Ayrıca, daha kalın alt tabakalar için, artan prob uzunluğu giriş empedansını daha endüktif hale getirerek eşleştirme sorunlarına yol açar (Kumar ve Ray, 2003).

2.3.3. Açıklık bağlaşımlı besleme

Bu tür besleme tekniğinde, yayılan yama ve mikro şerit besleme hattı Şekil 2.7’de gösterildiği gibi zemin düzlemi ile ayrılır. Yama ve besleme arasında bağlantı çizgi, zemin düzlemindeki bir yarık veya açıklıktan yapılır.



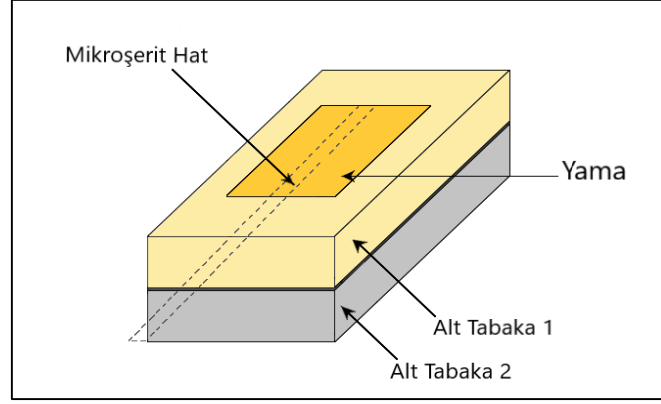
Şekil 2.7. Açıklık Bağlaşımlı Besleme.

Bağlantı açıklığı genellikle yamanın altında ortalır. Bu da konfigürasyonun simetrisinden dolayı daha düşük çapraz kutuplaşmaya yol açar. Besleme hattından parçaya olan bağlantı miktarı, açıklığın şekli, boyutu ve konumuna göre belirlenir. Toprak düzlemi, yama ve besleme hattını ayırdığı için sahte radyasyon en az hale indirilir. Genel olarak, alt tabaka için yüksek bir dielektrik malzeme kullanılır ve yamadan radyasyonu optimize etmek için üst tabaka için kalın, düşük dielektrik sabit bir malzeme kullanılır. Bu besleme tekniğinin en büyük dezavantajı, birden çok katmandan dolayı imal edilmesinin zor olması ve bu da anten kalınlığının artmasıdır. Bu besleme tekniği ayrıca olarak dar bant genişliği sağlar (Balanis, 2016).

2.3.4. Yakınlık bağlaşımlı besleme

Bu tür besleme tekniği, elektromanyetik bağlantı şeması olarak da adlandırılır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, besleme hattı iki dielektrik alt tabaka arasında olacak ve yayılan yama alt tabakanın üstünde olacak şekilde kullanılır. Bu besleme tekniğinin esas avantajı, sahte besleme radyasyonunu ortadan kaldırması ve MYA kalınlığındaki genel artış nedeniyle çok yüksek bant genişliği (%13 kadar yüksek) sağlamasıdır. Bu şema

ayrıca, bireysel performansları optimize etmek için biri yama için diğeri besleme hattı için olmak üzere iki farklı dielektrik ortam arasında seçenekler sunar (Nakar, 2004).



Sekil 2.8. Yakınlık Bağlısımlı Besleme.

Eşleştirme, besleme hattının uzunluğu ve yamanın genişlik-çizgi oranı kontrol edilerek gerçekleştirilebilir. Bu besleme şemasının en büyük dezavantajı, uygun hizalamaya ihtiyaç duyan iki dielektrik katman nedeniyle imal edilmesinin zor olmasıdır. Ayrıca, antenin genel kalınlığında bir artış olacaktır.

2.3.5. Besleme noktası konumu

Seçilmiş alt tabaka için L ve W sabit ölçümlerinin seçilmesinin ardından, jeneratör empedansı ile sabit bileşenin bilgi empedansı arasında yeterli bir empedans koordinatı elde etmek için besleme noktası çözümlenmelidir. Besleme alanındaki ayarlama, bilgi empedansındaki bir ayarlamaya yükselme sağlar ve sonuç olarak empedans koordinasyonuna temel bir teknik verir. Besleme noktası tipik olarak $50\ \Omega$ olarak alınan besleme hattı empedansına eşdeğer olması hedefiyle seçilir (Mahfuzur Rahman ve Azharul Islam, 2020).

2.4. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

MYA tasarımı yapılırken öncelikle MA denklemlerine dayanarak anten boyutlarının hesaplanması gerekmektedir. Formülleri kullanarak bulacağımız boyutlar tez çalışmamızda anten deneyimlerini ve simülasyon çalışmamızı ileri sürmemiz için bize kolaylık sağlayacaktır. Daha sonra anten boyutları üzerinde yapılacak küçük

değişikliklerle istenen sonuçlara ulaşılabilir. Anten tasarımında kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir(Urme ve ark., 2013).

Yama genişliği, rezonans frekansı ve radyasyon modelini daha az etkiler, ancak bant genişliğini önemli ölçüde etkiler. Yama genişliğindeki artış, bant genişliğinde ve radyasyon veriminde artışa yol açar. Yama genişliği (2.11)'deki denklemde gösterildiği gibi hesaplanabilir:

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (2.11)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-1/2} \quad (2.12)$$

$$\Delta L = 0.412h \times \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (2.13)$$

Alanlar tamamen yama ile sınırlı değildir. Alanların bir kısmı, saçaklı alanlar olarak adlandırılan yamanın fiziksel boyutlarının dışında yer alır. Saçaklanma alan etkisi, etkili dielektrik sabiti ϵ_{reff} ile dahil edilebilir. Yamanın uzunluğu 2.14'teki denklemde gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2.14)$$

$$f_r = \frac{c}{2Le\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.15)$$

Burada: W = Yamanın genişliği,

L = Yamanın uzunluğu,

f_r = Çalışma (Rezonans) frekansı,

ϵ_r = Taban malzemenin dielektrik sabiti,

ϵ_{reff} = Taban malzemenin etkin dielektrik sabiti,

h = Dielektrik malzemenin kalınlığı,

ΔL = Yamanın her iki ucunda genişleme mesafesi,

c = Işık hızı $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$,

$$\mu_0 = 1.266 \times 10^{-6} \text{ Weber},$$

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ Farad / m}^2 \text{ dir.}$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak dikdörtgen yamalı bir mikroşerit antenin pratik tasarımı yapılabilir. Tasarımı gerçekleştirebilmek için; taban malzemenin dielektrik sabiti (ϵ_r), taban malzemenin kalınlığı (h) ve çalışma (rezonans) frekansı (f_r) bilinmelidir. Bu parametrelere istinaden yamanın genişliği (W) ve uzunluğu (L) bulunabilir. Yamanın genişliği ve uzunluğunu bulabilmek için sırasıyla aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmelidir.

- Etkin bir ışıma için yama genişliği (W) eşitlik (2.11) kullanılarak hesaplanır.
- Eşitlik (2.12) kullanılarak mikroşerit antenin etkin dielektrik sabiti bulunur.
- Yamanın her iki ucunda meydana gelen genişleme uzunluğu (ΔL), eşitlik (2.13) kullanılarak belirlenir.
- Eşitlik (2.14) kullanılarak yamanın gerçek uzunluğu (L) hesaplanır.
- Çalışma (Rezonans) frekansı (2.15) denkleme dayanarak bulunur.

Esas amaç, belirli bir frekansta çalışan dikdörtgen şekilli yama ile temel bir mikroşerit anten tasarlamaktır. Alt tabaka malzemesi dielektrik sabitine, kayıp tanjantına ve kalınlığa göre uygun geometrinin seçilmesi bu süreçte çok önemlidir. Alt tabaka malzemesi dielektrik sabiti düşük olduğunda, yama etrafındaki saçak alanları artacak ve dolayısıyla yayılan güç artacaktır. Yüksek kayıp tanjant değeri ile anten verimi düşecektir (Balanis, 2016).

2.4.1. Toprak düzlemi boyutları hesaplanması (L_g, W_g)

Pratik hususlar için, tüm yama anten tasarımı, iletken bir malzeme türü ile sınırlı bir zemin düzlemine sahip olmalıdır. Toprak düzlemi, alt tabakanın benzer boyutuna sahiptir, ancak bunlar, çevrenin her yerinde alt tabaka kalınlığının altı katı kadar yama anten boyutlarından daha büyüktür. Sonuç olarak, alt tabaka ve zemin düzlemi için boyutlar aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir (Balanis, 2016).

$$W_g = W_p + 6h \quad (2.16)$$

$$L_g = L_p + 6h \quad (2.17)$$

Burada W_p = Yamanın genişliği,
 L_p = Yamanın uzunluğu,
 W_g = Toprak düzlemi genişliği,
 L_g = Toprak düzlemi uzunluğu,
 h = Alt tabaka malzemenin kalınlığıdır.

2.4.2. Besleme noktası konumu belirlenmesi (X_f , Y_f)

Besleme noktası, yamanın üzerinde, belirlenen rezonans frekansı için giriş empedansının 50 *ohm* olduğu noktaya yerleştirilmelidir. Bu nedenle, besleme noktasını bulmak için bir deneme yanılma yöntemi kullanılır. Besleme noktası koordinatı X_f , Y_f farklı konumları için, geri dönüş kaybı (S_{11}) kaydedilir ve bu besleme noktası, S_{11} 'nin en negatif olduğu, yani -10dB'den küçük veya ona eşit olduğu optimum nokta olarak seçilir.

Besleme noktası konumu, Şekil 2.6'da gösterildiği gibi x - y koordinatlarında (X_f , Y_f) noktasında yer alabilir. Konum noktaları Denklemler (2.18) ve (2.19) ile verilmiştir.

$$X_f = \frac{L}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.18)$$

$$Y_f = \frac{W}{2} \quad (2.19)$$

Besleme noktası, yamanın besleme gücünü aldığı teslim noktasını temsil ettiğinden, besleme noktası konumunun doğru seçilmesi, yama anteni için giriş empedansını azaltır. Sonuç olarak, yama anteninin daha yüksek performansı daha iyi besleme konumlu noktalar ile görüntülenir. Daha önce açıklandığı gibi, en iyi besleme noktası en yüksek geri dönüş kaybında bulunmalıdır. Ayrıca, normal durumda yama antenini çalıştırmak için, yama anteninin uzunluğu $\lambda/2$ 'ye eşit veya daha az olmalıdır. Burada λ , dielektrik ortamın dalga boyudur (Jasim ve ark., 2015).

2.5. Temel Anten Karakteristikleri

Elektrik enerjisi, dönüştürücü gibi çalışan bir antenle Elektromanyetik enerjiye dönüşür ve bunun tersi de geçerlidir. Anten tasarımının iyi mi kötü mü olduğunu belirlemek için bazı ölçülebilir özellikler hakkında bilgi sahibi olunması gerekir.

Tasarımın gücünü ve zayıflığını anlamaya yardımcı olan antenler hakkında bazı parametrelerin bilinmesi gerekir. Bunlardan en önemlileri; Anten Giriş Empedansı (Z), Verimliliği (e_0), Yönlülüğü (D), Kazancı (G), Gerilim Duran Dalga oranı ($VSWR$), Geri Dönüş Kaybı (S_{11}), Bant Genişliği (BW) gibi temel parametreleridir (Balanis, 2016). Bu parametreler birbirleri ile ilişkili biçimde yer alırlar. Sonuç olarak, tüm parametreler, tasarım aşamasında optimize edilebilir olmalıdır. Örneğin, Geri Dönüş Kaybı (S_{11}) -10 dB'den büyükse, tasarım anteni ışıma yaptığı rezonans frekansında çalışmayacak ve Duran Dalga Oranı ($VSWR$) değeri 2'den fazla olacaktır.

2.5.1. Giriş empedansı (Z)

Bir antenin giriş empedansı; anten terminallerindeki gerilimin akıma oranı veya bir noktadaki elektrik alanın manyetik alana oranı olarak tanımlanır (Balanis, 2016). Antenin Giriş Empedansı giriş direnci ve giriş reaktansı olmak üzere 2 parametreden oluşur.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.20)$$

Burada Z_A = Anten giriş empedansı,

R_A = Giriş direnci,

jX_A = Giriş reaktansıdır.

Denklemden gösterilen giriş direnci (R_A) de 2 parametre ile belirlenir.

$$R_A = R_R + R_L \quad (2.21)$$

Burada R_R = Antenin ışıma direnci,

R_L = Antenin kayıp direncidir.

Bir antenin iç empedansı $Z_g = R_g + jX_g$ olan bir üretece bağlandığını farz edersek, ki burada R_g üreteç empedansının direnci X_g üreteç empedansının reaktansı olmak üzere, üreteçten antene maksimum güç aktarımının gerçekleşebilmesi için, eşlenik uyumlandırma şartının gerçekleşmesi gerekir. Eşlenik uyumlandırma şartı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R_g = R_R + R_L \quad (2.22)$$

$$X_A = -X_g$$

Eşlenik uyumlandırma şartının sağlandığı durumda dahi; üretic tarafından sağlanan gücün yarısı, üreticinin iç direncinde ısı olarak kaybolur, diğer yarısı antene aktarılır.

2.5.2. Verimlilik (e_0)

Bir antenle ilgili olarak birkaç tane verimlilikten söz edilebilir. Bir antenin toplam verimliliği; antenin yaydığı ışıma gücünün, antene uygulanan elektriksel güce oranıdır ve e_0 ile gösterilir. Anten çıkışında elde edilen gücün, anten girişindeki güce oranı verimliliği verir.

$$e_0 = \frac{P_{ışma}}{P_{giriş}} \quad (2.23)$$

Anten kayıpları; anten ve iletim hattının uyumsuzluğundan kaynaklanan yansımalar ve iletim ve dielektrik kayıplarından meydana gelir. Besleme kaynağı ile yama arasındaki empedans uyumuna bağlı olarak gönderilen enerjinin hepsi antene aktarılamayacak bir kısmı geri yansıma yapacaktır. Yansıma kayıplarının neden olduğu bu durum, e_r yansıma verimliliği olarak tanımlanmaktadır. İletken verimliliğinden kaynaklı kayıplar için e_c ve son olarak dielektrik malzeme kaynaklı kayıplar için e_d olarak ifade edilmektedir. Toplam verimlilik aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.24)$$

Anteni çevreleyen elektronik bileşenler, antenden yayılan gücün belirli bir kısmını soğurur ve ısıya dönüştürürler. Bu durum anten verimliliğinin azalmasına neden olur. Anten kayıplarının bir ölçüsü olan verimlilik, 0-1 arasında değişen değerler alır. Anten verimliliğinin 1'e eşit olması istenir fakat bu durum fiziksel olarak imkânsızdır. Yansıma verimliliği de aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2 \quad (2.25)$$

2.5.3. Yönlülük (D)

Antenin maksimum ışıma yaptığı yöndeki güç yoğunluğunun; aynı güçteki bir izotropik antenin, aynı uzaklıkta oluşturduğu güç yoğunluğa oranıdır. Başka bir deyişle, antenin uzak alandaki maksimum güç yoğunluğunun ortalama güç yoğunluğuna oranıdır D ile gösterilir ve birimsizdir. Bir antenin yönlülüğü ne kadar büyükse, anten o kadar dar hüzmeli bir ışıma yapar. Yönlülük önemli bir anten parametresidir. Çünkü birçok anten ve sistem elektromanyetik dalgaları belirli bir yönde ve dar hüzmeye yaymak ister. Bir antenin yönlülüğü aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanır.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.26)$$

Burada D = Yönlülük (Birimsiz),

U = Işıma şiddeti ($W / \text{Birim katı açı}$),

U_0 = Yön bağımsız kaynağın ışıma şiddeti ($W / \text{Birim katı açı}$),

P_{rad} = Toplam ışıyan güç (W)' tür.

2.5.4. Kazanç (G)

Antenin kazancı, yönlülüğü ve verimliliğinin çarpımına eşittir ve G ile gösterilir. Kayıpsız bir antenin kazancı, yönlülüğüne eşittir. Genellikle verimlilik 1'den küçük olduğu için, anten kazancı da yönlülükten küçük olur. Anten kazancı kavramından anlaşılması gereken husus, asla antene uygulanan güce göre daha büyük bir çıkış gücünün elde edilmesi değildir. Anten kazancı, sadece anten çıkış gücünün belirli bir yöne doğru yönlendirilmesidir. Böyle olduğu zaman ışıma gücü istenen yönde artırılırken, diğer yönlerde de azalacaktır.

Bir anten ile ilgili olarak çeşitli kazanç tanımları yapılabilir. Yönlendiricilik kazancı, antenin ışıma şiddeti yoğunluğunun, izotropik bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğuna oranıdır. Antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \phi)$, yayınladığı toplam güç $P_{ışıma}$ olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve özdeş birimlerde iki büyüklüğün bölümünden elde edildiği için birimsizdir.

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{ışıma}} \quad (2.27)$$

2.5.5. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)

Bir antenin verimli çalışabilmesi için kaynaktan antene transfer edilen gücün maksimum olması gerekmektedir. Bu koşul kaynak ile anten arasındaki empedans uyumuna bağlıdır. Besleme kaynağı ile anten arasında empedans uyumu tam olarak sağlanamayan yapılarda geriye yansıyan dalgalar, ilerleyen dalgalar ile girişim oluşturur bu da hat üzerinde duran dalga oluşmasına neden olur. Voltaj duran dalga oranı (*Voltage Standing Wave Ratio*, VSWR) hat üzerindeki gerilim seviyesinin maksimum genliği ile minimum genliğinin oranıdır. Aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$VSWR = \frac{V_{Max}}{V_{Min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.28)$$

Yansıma katsayısı (Γ) 0 ve 1 arasında değişen değerler alırken, VSWR yansımanın durumuna göre 1 ve ∞ arasında değişen değerler alır. Fiziksel olarak mümkün olmasa da, empedans uyumu mükemmel bir şekilde sağlandığında, $\Gamma = 0$ ve VSWR = 1 olur, gücün tamamen aktarımı sağlanır. Dolayısıyla yansıma katsayısının 0'a, VSWR' in ise 1'e yakın olduğu durumlar istenen durumlardır. Genel olarak kabul edilebilir VSWR değeri 2'dir. VSWR değeri 2'den büyük olmamalıdır.

2.5.6. Geri dönüş kaybı (S_{11})

Radio haberleşme sisteminde akım ve voltaj iletimi portlar aracılığıyla olmaktadır. S_{11} parametresi besleme portundan antene güç iletiminde ki verimi göstermektedir. Bu değer doğrudan antene iletilen ve yansıyan güç oranı hakkında bilgi verir. Eğer S_{11} değeri 0 dB ise antene gelen tüm güç yansıyor. Bu da o demektir ki, S_{11} değeri anten tarafından kabul edilen gücü ifade eder. Ancak bu ifade ışınan güç anlamına gelmemektedir. Çünkü ışınan güç antenin verimi ile alakalı olup anten tasarımında kullanılan malzemelerin özellikleriyle alakalıdır. Dolayısıyla hem S_{11} değerinin hem de VSWR değeri tek başına bir anten tasarımında yeterli değildir. S_{11} değerinin anten tasarımında yaklaşık -20dB olması beklenmektedir. Tüm bu özelliklerle beraber S_{11} değeri band genişliği içinde önemli bir parametredir. Çünkü band genişliği merkez frekansının çalışma bölgesinde ki S_{11} değerinden elde edilmektedir. S_{11} Değeri merkez frekansında vadi çizer. Bu vadinin düşüşteki aralıklarında -10dB değerleri

saptanır ve bu değerlere sahip frekanslar tespit edilir. Bu iki frekans arasında ki değer band genişliğini vermektedir (Balanis, 2016).

Geri dönüş kaybının değişik formülleri aşağıda sıralanmıştır.

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.29)$$

$$RL = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_L + Z_0}{Z_L - Z_0} \right| \quad (2.30)$$

$$RL = 20 \log_{10} \left| \frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right| \quad (2.31)$$

Burada RL = Geri dönüş kaybı (*Return Loss*),

$|\Gamma|$ = Yansıtma katsayısı,

Z_L = Yük empedansı,

Z_0 = İletim hattının karakteristik empedansıdır.

Örneğin $VSWR = 2$ olduğunda, $RL = -9.54 \text{ dB}$ olur. $VSWR$ 'in 2'den küçük olması, RL değerini eksi 9,54'den küçük yapar. Bu da antenin o frekans aralığında çalışabildiğini gösterir. Empedans uyumu tam olarak sağlandığında; yansıtma katsayısı $|\Gamma| = 0$, $VSWR = 1$ ve $RL = \infty$ olur (Bird, 2009).

2.5.7. Bant genişliği (BW)

Bir antenin bant genişliği, anten karakteristiklerinin (giriş empedansı, kazanç, ışıma, polarizasyon vb.) kabul edilebilir değerlerde olduğu merkez frekansının, her iki yanı arasındaki frekansların arası olarak kabul edilir (Balanis, 2016). Geniş bantlı, bir antenin bant genişliği, kabul edilebilir çalışmanın f_{max} / f_{min} frekanslarının oranı olarak tanımlanabilir. Dar bantlı bir antenin bant genişliği, merkez frekans üzerindeki frekans farkının yüzdesi olarak tanımlanabilir.

Anten performansında minimum frekans aralığından maksimum frekansa olan mesafeye bantgenişliği denir. Bir antenin bantgenişliğine, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi geri dönüş kaybı (*Return loss*, S_{11}) -10 dB' in altında olan frekans aralığına bakılır. Farklı parametre türlerine bağlı olarak birkaç çeşit bant genişliği vardır. Bunların arasında

empedans bant genişliği sabittir ve Etkililik bant genişliği ve Yönlendirme bant genişliği de kazanç bant genişliği olarak adlandırılır. Empedans bant genişliği, Dielektrik malzemeler, yer düzleminin boyutu gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Empedans bant genişliği -6 dB' lik dönüş kaybı dahilinde ölçülmüştür. Bant genişliği aşağıdaki gibi sırasıyla mutlak ve oransal olarak iki şekilde ifade edilmektedir (Nakar, 2004).

$$BW = f_{max} - f_{min} \quad (2.32)$$

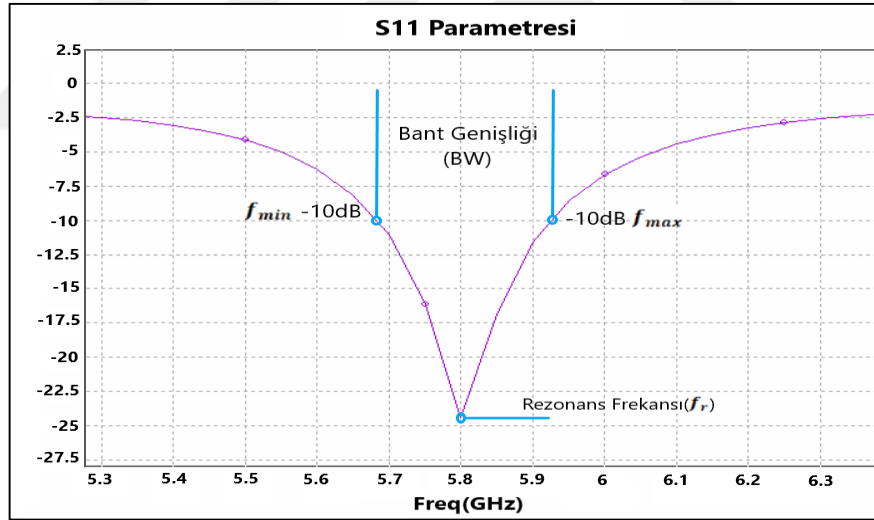
$$\%BW = \left(\frac{f_{max} - f_{min}}{f_r} \right) \times 100 \quad (2.33)$$

Burada: BW = Bant genişliği (*Band Width*),

f_r = Antenin rezonans frekansı,

f_{max} = Antenin etkili bir şekilde çalıştığı maksimum frekans,

f_{min} = Antenin etkili bir şekilde çalıştığı minimum frekansdır.



Sekil 2.9. Bant Genişliği (BW)

2.5.8. MYA' de bant genişliğini artırmak için kullanılan yöntemler

Mikroşerit yama antenlerin dar bantlı ve düşük verimliliği bilinmektedir. Her ne kadar bu özellikler mikroşerit yapıların genel özellikleri olsa da, anten boyutlarında bazı oynamalar yapılarak iyileştirme sağlanabilir. Örneğin kullanılan dielektrik yapının kalınlığı artırılarak verimlilik %90 (yüzey dalgalarını oluşmaması durumunda), bant genişliği ise %35 oranlarında artırılabilir. Ancak bu yükseklik artışı aynı zamanda yüzey

dalgalarının oluşmasına neden olarak köşelerden ve süreksizlik noktalarında ışıma gerçekleşmesine ve doğal olarak da güç kaybına, verimliliğin düşmesine, istenilen ışıma ve polarizasyon karakteristiklerinin bozulmasına sebep olur (Balanis, 2016). Aynı zamanda Geri Dönüş kaybının iyi sonuç elde edilmesi için besleme noktalarını değiştirmekle bulmak mümkündür. Eğer rezonans frekansında kaymalar olursa çalışılan rezonans frekansını bulmak için yama boyunlarını artırıp azaltmakla, rezonans frekansını yakalamak mümkündür. Bu nedenle verimlilik artışı sağlayacak farklı yöntemler de göz önünde bulundurulmalıdır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Seramikler, Özellikleri ve Tarihi

Spesifik olarak seramik, çok çeşitli oranlarda ve düzenlemelerde gözeneklilik ile kombinasyon halinde kristal ve camsı fazların bir karışımıdır. Kingery vd. Seramik fikrini şu şekilde tanımlıyor: Seramikler büyük ölçüde inorganik, metalik olmayan malzemelerden yapılmış katı maddeler yapma ve kullanma sanatı ve bilimidir.

Seramikler genellikle kil, toprak elementleri, tozlar ve su karışımları alınarak istenilen formlara getirilerek yapılır. Seramik şekillendirildikten sonra, fırın olarak bilinen yüksek sıcaklıktaki bir fırında pişirilir. Genellikle seramikler, sır olarak bilinen dekoratif, su geçirmez, boya benzeri maddelerle kaplanır.

Seramik malzemelerdeki atomlar kimyasal bir bağ ile bir arada tutulur. Seramik malzemeler için en yaygın iki kimyasal bağ kovalent ve iyoniktir. Metaller için kimyasal bağa metalik bağ denir. Atomların birbirine bağlanması, kovalent ve iyonik bağda metaliklere göre çok daha güçlüdür. Bu nedenle, genel olarak konuşursak, metaller sünektir ve seramikler kırılıgandır.

Seramiklerin Tipik Özellikleri:

- Yüksek sertlik
- Yüksek elastik modül
- Düşük süneklik
- Yüksek boyutsal kararlılık
- İyi aşınma direnci
- Korozyona ve kimyasal saldırılara karşı yüksek direnç
- Yüksek hava direnci
- Yüksek erime noktası
- Yüksek çalışma sıcaklığı
- Düşük termal genleşme
- Düşük iletkenliği
- İyi elektrik yalıtımı
- Düşük iletkenlik
- Yüksek basınç dayanımı

- Orta işlenebilirlik
- Opaklık
- Kırılgenlık
- Zayıf darbe dayanımı
- Düşük termal şok direnci

Seramik malzemeler çok çeşitli özellikleri nedeniyle, çok sayıda uygulama için kullanılırlar. Küresel elektronik endüstrisi, seramikler olmadan var olamazdı. Akıllı telefonlar, bilgisayarlar, televizyonlar, otomotiv elektroniği ve tıbbi cihazlar gibi ürünlerde seramik esaslı bileşenler vazgeçilmezdir.

Seramik geleneksel olarak yalıtım malzemeleri olarak görülse de, II.Dünya Savaşı'ndan sonra malzeme bilimindeki araştırmalar, yarı iletken, süper iletken, piezoelektrik ve manyetik özellikler sergileyen yeni seramik formülasyonlarının geliştirilmesine yol açtı.

Gelişmiş Seramiklerin Tarihine bakmış olursak.

- 1900'lerin ortası: Telgraflar ve elektrik enerjisi dağıtımı için etkili cam ve seramik izolatörlerin geliştirilmesi.
- 1940'lar: Hoparlörler ve elektrik motorları gibi şeyler için ferrit mıknatısların geliştirilmesi.
- 1986: IBM'den Georg Bednorz ve K. Alex Müller tarafından keşfedilen yüksek sıcaklık süper iletkenleri biliniyor.

Gelişmiş seramikler, oldukça özel uygulamalar için (çoğunlukla 20. yüzyılın başlarından beri) tasarlanmış olanlardır. Örneğin, silikon nitrürler ve tungsten karbürler, son derece sert, yüksek performanslı kesme aletleri yapmak için tasarlanmıştır - ancak bunların başka kullanımları da vardır. Modern mühendislik ürünü seramiklerin çoğu, metal oksitler, karbürler ve nitrürlerdir; bu , bir metalin atomlarını oksijen, karbon veya nitrojen atomları ile birleştirerek yapılan bileşikler olduğu anlamına gelir . Örneğin, sert, kesici takım seramikleri olan tungsten karbür, silikon karbür ve bor nitrür var, entegre devrelerin ("mikroçipler") yapımında alüminyum oksit (alümina) ve silikon dioksit kullanılır; ve lityum silikon oksit, ısı koruyucu burun konilerini yapmak için kullanılır(Tiwari ve ark., 2016).

Uzay roketleri yüksek sıcaklık süperiletkenleri, itriyum, baryum, bakır ve oksijen kristallerinden yapılır. Genel olarak seramikler bu kimyasal bileşenlerden oluşur: Alümina, Alüminyum nitrür, Alüminyum silikat veya sillimanit, Baryum neodimyum titanat, Baryum stronsiyum titanat (BST), Baryum tantale, Baryum titanat (BT), Bor nitrür, Kalsiyum titanat, Kordiyerit / magnezyum alüminyum silikat, Forsterit / magnezyum silikat, Lityum niyobat (LN), veya niyobyum oksit(Richerson, 2012).

3.2. Seramiklerin Kullanım Alanları

Modern karasal iletişim (yani, mobil, kablosuz ve sabit iletişim) ve uydu iletişimi, elektrik, radyo ve optik sinyalleri iletmek, yükseltmek, anahtarlama, filtrelemek, durdurmak ve dönüştürmek için bir dizi bileşen gerektirir. Seramik ayarlanabilir dielektrik sabiti, düşük dielektrik kaybı, düşük sıcaklık katsayısı, düşük ısı genleşme katsayısı, yüksek darbe direnci ve yüksek dayanıklılığı nedeniyle iletişim sektöründe kullanılmaktadır. Uydu iletişimi, aşırı ısıya ve zorlu ortamlara dayanması gereken elektronik cihazlar oluşturmak için seramiğin yüksek aşınma ve korozyon direnci özelliklerinden yararlanır.

Bu malzemelere dayalı ürünler arasında öncelikle devre cihazları, pasif bileşenler ve optik filtreler bulunur. Devre cihazları, yüksek ve düşük sıcaklıkta birlikte ateşlenen seramiklerden, baskılı alt tabakalardan ve optoelektronik entegre devrelerden oluşur.

İletişimde kullanılan elektronik devreler, tek ve çok katmanlı seramik kapasitörler, dirençler, varistörler ve indüktörler gibi pasif bileşenleri içerir . Diğer bileşenler seramikten metale sızdırmaz paketler, çok yongalı modüller, geçişler, yarı iletken ambalajlar , ısı emiciler ve ince film alt tabakalardır.

Seramikler bilginin elektrik sinyalleri veya radyo dalgaları yerine ışık kullanılarak iletildiği bir iletişim yöntemi olan optik kablosuz iletişimde de uygulanmaktadır. Optik kablosuz iletişim, sinyalleri ışığa dönüştürmek, ışığı iletmek ve tekrar elektrik sinyaline dönüştürmek için çeşitli bileşenler gerektirir.

Son yıllarda, geniş bant uygulamaları ve lazer iletişim pencereleri için optik dalga kılavuzları üretmek için şeffaf seramikler piyasaya sürülmüştür. Alümina ve zirkonya seramikleri, optik fiberler için yalıtım malzemeleri, manşonlar, konektör bileşenleri, alt montajlar, paketleme malzemeleri, radyo frekansı emici kapaklar ve optik izolatörler olarak uygulama bulur.

Uydu iletişimi, rezonatörler, filtreler ve osilatörler biçiminde mikrodalga uygulamaları için formüle edilmiş dielektrik malzemeleri kullanır. Piezoelektrik seramikler ayrıca titreşim kontrolü ve konumlandırma kontrolü gibi işlevler için ve sinyal kalitesini iyileştirmek için yaygındır.

3.3. MYA' in Yapımında Kullanılan Malzemeler

3.3.1. Rogers Malzemeleri

Onlarca yıldır tasarım mühendisleri, en zorlu koşullarda bile ticari uçak ve havacılık ve savunma sistemlerini etkinleştirmek için *Rogers'* in gelişmiş malzemelerine güveniyorlar. Bugün, yüksek güvenilirlikli, yüksek performanslı çözümler, dünyadaki ticari ve askeri uçakların çoğunda bulunabilir. Radar ve navigasyon sistemleri için yüksek frekanslı devre malzemeleri, performansı artıran ve ısıyı dağıtan lamine baralar ve aşırı sızdırmazlık ve koruma için conta çözümleri için seramik malzemeler özellikle tercih ediliyor. Uydu güç kaynağı tasarımının benzersiz zorluklarını ele alan seramik alt tabakalar, uzun ömür, yüksek güvenilirlik ve sağlamlık gerektiren zorlu uygulamalarda mükemmeldir.

Mobil ağlar dahil mikrodalga ve *RF* uygulamalarını etkinleştirmek için iyi kontrol edilen dielektrik özelliklere sahip düşük kayıplı, yüksek frekanslı malzemeler. Yüksek frekanslı malzeme portföyü, *GSM'*den *4G LTE'* ye, frekanslara iyi bir şekilde milimetre dalga bantlarına ulaşacak gelişmekte olan *5G* sistemlerine kadar, mobil ağların devam eden evriminde kilit bir rol oynamıştır. Kontrollü dielektrik sabiti, düşük kayıplı malzemeleri, kablosuz altyapı antenleri, güç amplifikatörleri, mikrodalga ana taşıyıcı radyoları ve küçük hücreler için temel oluşturur. *Rogers*, askeri anten sistemlerinin ve gelişmiş otomotiv radar sistemlerinin zorlu gereksinimleri de dahil olmak üzere anten tasarımcılarının karşılaştığı birçok zorluğu karşılamak için benzersiz bir anten sınıfı oluşturmuştur. Yüksek frekanslarda düşük devre kayıpları ile yüksek güvenilirlik ve tutarlı performans için tasarlanan bu malzeme çözümleri, antenler, besleme ağları, aşamalı diziler ve yayılan elemanlar için çeşitli dielektrik ürünler sunar. Yama Antenleri herhangi bir tasarım frekansında bant genişliği, kazanç ve alan gereksinimlerine ulaşmak için geniş bir dielektrik sabiti ve kalınlık yelpazesi sunar. Seçenekler ayrıca, kalın anten yapıları ve uyumlu antenler için sıcaklık üzerinde dielektrik sabit kararlılığı ve hassas kalınlık kontrolünü içerir.

İletişim sistemlerinde kullanılan *RF* alt sistemleri arasında güç amplifikatörleri, düşük gürültülü amplifikatörler ve dijital iletişim kontrol devresi bulunur. Yenilikçi malzemeler, *RF* ve mikrodalga teknolojisinde ilerlemeler sağlar ve mikrodalga iletişim sistemlerinin performansını optimize eder. Birçok *RF* alt sistemi uygulamasında, malzeme için dielektrik sabitinin kontrolü, alt tabaka malzemenin kalınlığının kontrolü kadar kritik olabilir. Düşük kayıp, yüksek termal iletkenlik, sıcaklık üzerinde stabilite ve ısı altında mükemmel uzun vadeli yaşlanma özellikleri, mümkün olan verimliliği ve maksimum güç çıkışını sağlar.

Seramik alt tabaka araştırmalarımızda *Rogers* malzemeleri üzerinden bir çok çalışmalar mevcuttur. Farklı dielektrik sabiti, dielektrik kaybı, seçenekli kalınlıklar ve anten çalışma frekansına göre çeşitli seramik alt tabaka malzemeli laminatlar bulunmaktadır. Tüm bu özelliklere göre iyi bir araştırmalar neticesinde, deneme yanılma yöntemleri ile doğru kalınlık ve doğru laminat olarak *Rogers* sınıfı seramik alt tabaka malzemeleri tez çalışmamızda kullanılmıştır(Sheet, 2011).

3.3.2. *Rogers3006*

Rogers3006 yüksek frekanslı devre malzemeleri, ticari mikrodalga, *RF* uygulamalarında ve radyo frekans ticari uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmış seramik dolgulu *PTFE* kompozitlerdir. *Rogers3000* laminat ailesi olan *Rogers3006* olağanüstü elektriksel ve mekanik stabiliteye sahiptir. Alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti (ϵ_r) ne olursa olsun tutarlı mekanik özelliklere sahip devre malzemeleridir. Bu, tasarımcının güvenilirlik problemleriyle karşılaşmadan ayrı katmanlar için farklı dielektrik sabit malzemeleri kullanan çok katmanlı pano tasarımları geliştirmesine olanak tanır. Ek olarak, *RO3000* serisinin dielektrik sabiti geniş bir sıcaklık aralığında sabittir(Laminates, 1998).

Dikdörtgen şekilli MYA tez çalışmasında kullanılan seramik yapılı malzemenin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.002$ belirlenmiştir. *Rogers* tüm malzemeleri için sunduğu farklı kalınlıklar aynı zamanda *Rogers3006*'ı için de geçerlidir. Dikdörtgen MYA hesaplanma formüllerinde gösterildiği gibi doğru kalınlık denklemlerle hesaplanarak ve deneme yanılma yöntemi ile ele edilmiş malzemenin kalınlığı $h = 1.27$ olarak belirlenmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, *Rogers*' in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur.

MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz, 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

3.3.3. Rogers4003C

Rogers4003C hidrokarbon seramik laminatlar, üstün yüksek frekans performansı ve düşük maliyetli devre imalatı sunmak için tasarlanmıştır. Tipik olarak anten tasarımları için mevcut olan laminatların seçimi, standart frekanslar 500MHZ ve üstüne çıktığında önemli ölçüde azaltılır. Rogers4003C malzemesi, RF mikrodalga devreleri ve eşleşen ağlar ve kontrollü empedans iletim hatları tasarımlarında da ihtiyaç duyulan özelliklere sahiptir.

Düşük dielektrik kaybı, RO4000 serisi malzemenin, daha yüksek çalışma frekanslarının geleneksel devre kartı laminatlarının kullanımını sınırladığı birçok uygulamada kullanılmasına izin verir. Dielektrik sabitinin sıcaklık katsayısı, herhangi bir devre kartı malzemesinin en düşükleri arasındadır ve dielektrik sabiti geniş bir frekans aralığında sabittir. Bu, onu geniş bant uygulamaları için ideal bir alt tabaka haline getirir(series Datasheet, 2015).

Alt tabakaların dielektrik sabiti anten performansını etkiler. Düşük bir dielektrik sabitine sahip olan alt tabaka, yüksek bir dielektrik sabitine sahip olan alt tabakadan daha iyi radyasyonlar verecektir. Rogers4003C alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.38$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0027$ olarak belirlenmiştir. Dielektrik kayıplar devre konfigürasyonuna, dielektrik sabitine, frekansa ve kayıp tanjantına bağlıdır. Dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı, çalışma sıcaklığı değişiklikleri ve nem seviyelerine göre değişir(Khan ve Nema, 2012).

Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre Rogers4003C seramik alt tabaka malzemenin kalınlığı $h = 1.52 \text{ mm}$ olarak seçilmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers'in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz, 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

3.3.4. Rogers4350B

Rogers şirketinin alt tabakalarından Rogers4350B hidrokarbon seramik laminatlar, antenlerin dielektrik alt tabaka tasarımında seçilmiştir. Tasarlanan MYA,

düşük profilli, düşük maliyetli, kolay imalat ve iyi izolasyona sahiptir. Standart olarak (alüminyum veya ince preslenmiş fenolik) malzemeleri, *Rogers4350B* ve kullanılabilir. *Rogers4350B* laminatlar mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında kullanılan düşük kayıplı malzeme, devre imalatında daha kolay kullanım ve geleneksel *PTFE* malzemelere göre aerodinamik özellikler sunar.

Rogers4350B laminatlar, dielektrik sabiti (ϵ_r) üzerinde sıkı kontrol sağlar ve seramikler ile aynı işleme yöntemini kullanırken düşük kaybı korur. *Rogers4350B* malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.48$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0037$ 'dir. Geleneksel mikrodalga laminatlara göre çok daha düşük bir maliyetle mevcut olan alt tabaka malzemesi, seramik bazlı malzemeler olarak aktif cihazlar ve yüksek güçlü *RF* tasarımları için derecelendirilmiştir. Bu seramik alt tabaka malzemenin kalınlığı $h = 0.77\text{mm}$. diğer malzemelere göre daha ince seçilmiştir. Örnek karşılaştırma olarak ince kalınlık seçilerek rezonans frekanslarına göre diğer malzemeler ile karşılaştırılacaktır. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers' in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz , 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

3.3.5. *Rogers RT / Duroid6006 – 6010LM*

Rogers RT / Duroid yüksek frekanslı malzemeleri, yüksek güvenilirlik, havacılık ve savunma uygulamalarında kullanım için doldurulmuş alt tabaka malzemeleridir. Duroid serisi, üstün performansa sahip yüksek güvenilirliğe sahip malzemeler sağlama konusunda uzun bir endüstri varlığına sahiptir. *Rogers RT / Duroid 6006* ve *6010LM* laminatlar, yüksek bir dielektrik sabiti gerektiren elektronik ve mikrodalga devre uygulamaları için tasarlanmış seramik-*PTFE* kompozitlerdir.

RT / Duroid 6006 ve *6010LM* laminatlar, devre boyutunun küçültülmesini sağlamak için yüksek dielektrik sabitleri (ϵ_r) sağlar. Bu malzemelerin her ikisi de düşük kayıplıdır ve X-bandında veya altında çalışmak için idealdir. *RT / Duroid 6006* dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0027$ olarak belirlenmiştir. *RT / Duroid 6010LM* $\epsilon_r=10.2$ dielektrik sabitine $\tan\delta = 0.0023$ dielektrik kaybına sahiptir.

RT / Duroid 6006 / 6010LM laminatlar, her iki tarafı 0.35μ standart ve ters işlem görmüş elektro birikimli bakır folyo ile kaplanmış olarak sağlanır. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre alt tabaka malzemeleri *RT / Duroid 6006 / 6010LM*

kalınlıkları $h = 1.27mm$ olarak seçilmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers' in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz, 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

3.3.6. Rogers TMM6

Rogers TMM6 termoset mikrodalga malzemeleri, şerit hattı ve mikro şerit uygulamaları için tasarlanmış seramik, hidrokarbon, termoset polimer kompozitlerdir. TMM6 laminatları, çok çeşitli dielektrik sabitleri ve kaplamalarda mevcuttur. TMM6 laminatlarının elektriksel ve mekanik özellikleri, hem seramik hem de geleneksel PTFE mikrodalga devre laminatlarının faydalarının çoğunu, bu malzemeler için ortak olan özel üretim tekniklerini gerektirmeden birleştirir.

TMM6 laminatlar, hem seramik hem de geleneksel PTFE mikrodalga devre laminatlarının, bu malzemeler için ortak olan özel üretim tekniklerini gerektirmeden, tümü ürün ailesindeki diğer malzemelerle karşılaştırıldığında benzersiz bir dielektrik sabitinde olan avantajlarının bir kombinasyonunu sunar. Mikroşerit uygulamaları için tasarlanmış seramik alt tabaka TMM6, yüksek frekans bantlarında çalışması için ideal bir tasarım malzemesidir. Dielektrik sabiti anten performansını etkiler. Düşük bir dielektrik sabitine sahip olan alt tabaka, yüksek bir dielektrik sabitine sahip olan alt tabakadan daha iyi radyasyonlar verecektir. TMM6 alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0023$ 'dir. Dielektrik kayıplar devre konfigürasyonuna, dielektrik sabitine, frekansa ve kayıp tanjantına bağlıdır. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre alt tabaka malzemeleri Rogers TMM6 kalınlığı $h = 1.27mm$ olarak seçilmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers' in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz, 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

3.3.7. Alüminyum Oksit (Al_2O_3)

Seramik malzemelerin özellikleri, tüm malzemeler gibi, mevcut atom türlerine, atomlar arasındaki bağ türlerine ve atomların birlikte paketlenme şekline göre belirlenir. Bu, atomik ölçekli yapı olarak bilinir. Seramiklerin çoğu iki veya daha fazla

elementten oluşur. Buna bileşik denir. Örneğin, alüminyum oksit (Al_2O_3), alüminyum atomu ve oksijen atomundan yapılmış bir bileşiktir. Alüminyum oksit, yüksek ısı iletkenliği ve korozyon direncine sahip bir elektrik yalıtkanıdır. Düşük elektriksel iletkenlik, yüksek mukavemet ve kimyasal saldırılara karşı direnç sağlar. Entegre devre, buji izolatörleri, kompakt flüoresan lambalar, kemik ve diş implantları, taşıma taşları, refrakter astarlar gibi yüksek performanslı uygulamalarda ve ayrıca kozmetik endüstrilerinde kullanılır (Ullah ve Islam, 2012).

Anten minyatürleştirilmesi için uygulanan birkaç yol vardır. Anten minyatürleştirmenin en etkili yollarından biri, dielektrik seramik alt tabaka malzemesi kullanmaktır ve antenin toplam boyutu, düşük kayıp ve yüksek dielektrik sabiti nedeniyle önemli ölçüde azalır. Dielektrik sabiti $\epsilon_r = 9.8$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.0023$ olan Alüminyum oksit (Al_2O_3) seramik malzeme MYA' de alt tabaka olarak kullanmak için iyi bir adaydır. Tez çalışmamızda kullandığımız alt tabaka malzemesi alüminyum oksit %96 saflık içerir. Tüm frekanslar için aynı kalınlık ($h = 1.6$) seçilmiştir. Bu tez çalışmasında belirtilen rezonans frekanslarına dayanarak oluşturulan MYA' in yama boyutları, toprak zemin boyutu ve besleme noktası formüller ile hesaplanarak simüle edilmiş ve uygulanmıştır. Hesaplanan MYA' in toprak ve yama boyutları, besleme noktaları 2.4GHz, 5.8GHz ve 10GHz rezonans frekanslarına göre çizelge 1, 2, 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1. 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Anten Boyutları ve Besleme Noktaları

ALT TABAKA MALZEMELERİ	(W _g) Toprak Gen.	(L _g) Toprak Uzun.	(W _p) Yama Gen.	(L _p) Yama Uzun.	Besleme Noktaları		(h)
					X _f	Y _f	
Rogers3006($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.002$)	40.6	32.6	33	25	4.4	14.5	1.27
TMM6($\epsilon_r=6$) ($\tan\delta=0.0023$)	41	32.9	33.4	25.3	11	16.7	1.27
Duroid6006($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.0027$)	40.7	32.7	33	25	8.9	16.5	1.27
Duroid6010LM ($\epsilon_r=10.2$) ($\tan\delta=0.0023$)	34	27	26.4	19.4	6.4	13.2	1.27
Rogers4350B($\epsilon_r=3.48$) ($\tan\delta=0.0037$)	46.4	38	41.7	33.3	8.4	10.2	0.77
Rogers4003C($\epsilon_r=3.38$) ($\tan\delta=0.0027$)	51.3	42.6	42.2	33.5	6.8	10.1	1.52
Al_2O_3 ($\epsilon_r=9.8$) ($\tan\delta=0.0009$)	36.6	29.6	27	20	5.6	11.7	1.6

Çizelge 2. 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Anten Boyutları ve Besleme Noktaları

Alt Tabaka Malzemeleri	(W_g) Toprak Gen.	(L_g) Toprak Uzun.	(W_p) Yama Gen.	(L_p) Yama Uzun.	Besleme Noktaları		(h)
					X_f	Y_f	
<i>Rogers3006</i> ($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.002$)	21.3	17.6	13.6	9.5	2.3	4.8	1.27
<i>TMM6</i> ($\epsilon_r=6$) ($\tan\delta=0.0023$)	21.4	17.8	13.8	10.2	3.6	6.9	1.27
<i>Duroid6006</i> ($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.0027$)	21.3	17.6	13.6	10	3.8	7.2	1.27
<i>Duroid6010LM</i> ($\epsilon_r=10.2$) ($\tan\delta=0.0023$)	18.5	15.3	10.9	7.7	2.1	4.7	1.27
<i>Rogers4350B</i> ($\epsilon_r=3.48$) ($\tan\delta=0.0037$)	22	18.5	17.3	13.6	2.9	4.8	0.77
<i>Rogers4003C</i> ($\epsilon_r=3.38$) ($\tan\delta=0.0027$)	26.5	22.5	17.4	13.4	2.8	3.7	1.52
<i>Al₂O₃</i> ($\epsilon_r=9.8$) ($\tan\delta=0.0009$)	20.8	17.4	11.1	7.8	2.4	5.1	1.6

Çizelge 3. 10 GHz Rezonans Frekansı için Anten Boyutları ve Besleme Noktaları

ALT TABAKA MALZEMELERİ	(W_g) Toprak Gen.	(L_g) Toprak Uzun.	(W_p) Yama Gen.	(L_p) Yama Uzun.	Besleme Noktaları		(h)
					X_f	Y_f	
<i>Rogers3006</i> ($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.002$)	15.5	13.1	7.9	5.5	2.2	3.5	1.27
<i>TMM6</i> ($\epsilon_r=6$) ($\tan\delta=0.0023$)	15.6	13.2	8	5.6	2.5	4	1.27
<i>Duroid6006</i> ($\epsilon_r=6.15$) ($\tan\delta=0.0027$)	15.5	13.2	7.9	5.6	2.2	3.4	1.27
<i>Duroid6010LM</i> ($\epsilon_r=10.2$) ($\tan\delta=0.0023$)	21	11.8	6.3	4.2	1.3	2.4	1.27
<i>Rogers4350B</i> ($\epsilon_r=3.48$) ($\tan\delta=0.0037$)	14.6	12.3	10	7.75	2	3	0.77
<i>Rogers4003C</i> ($\epsilon_r=3.38$) ($\tan\delta=0.0027$)	19.2	16.5	10.1	7.4	3	4	1.52
<i>Al₂O₃</i> ($\epsilon_r=9.8$) ($\tan\delta=0.0009$)	16	13.7	6.4	3.7	1.2	2.6	1.6

3.4. Seramik Tabanlı MYA' in Çalışma Frekansları

3.4.1. ISM bant. 2.4 GHz, 5.8 GHz frekansların kullanım alanları

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) dünya çapında değişik teknolojilerin standartlarını belirler. Çalışmalarını üretici firmalarla birlikte yürüten bu kuruluş 1980 yılında 802 numaralı bir komisyon oluşturdu. Komisyonun görevi bilgisayar ağları ile ilgili çeşitli standartlar ortaya koymaktır. *IEEE*' in değişik kodlu başka komisyonları diğer teknolojiler üzerinde çalışmaya devam etmektedir. Örneğin *IEEE* 1284 paralel iletişim ile ilgili çalışırken, *IEEE* 1394 Firewire bağlantı standardını oluşturmuştur. Kablosuz iletişim standartları ve arasındaki farklar incelenecek olduğunda: 802.11 standartlarının *ISM (Industrial Scientific Medical)* bantları olarak da adlandırılan 2.4 GHz (2.4 - 2.4835 GHz) frekans bandı ile 5.8 GHz (5.15 - 5.825 GHz) bandında çalıştığı söylenebilir(Tansarıkaya, 2007).

Mikroşerit antenlerin uygulamalarında kullanımı lisans alınmasına gerek olmayan *ISM* bantları (bilimsel, endüstriyel ve tıbbi) çoğunlukla tercih edilmektedir. *ISM* bantları *ITU* (uluslararası telekomünikasyon birliği) tarafından 13560 KHz, 27120 KHz, 40.6 MHz, 915 MHz, 2450 MHz, 5800 MHz ve 24.125 GHz merkez frekanslarında dünya genelinde tahsis edilmiştir. 900 MHz bandı sadece *ITU-RR* (uluslararası telekomünikasyon birliği şartname önerisi) ikinci bölge için *ISM* bandı olarak belirlenmiştir. Bu nedenle *ITU-RR* birinci bölgede yer alan Türkiye'de *GSM* (mobil iletişim için küresel sistem) için tahsis edilmiş olup; kablosuz yerel alan ağ haberleşme sistemlerinde kullanılmamaktadır (Ardıç, 2010).

Endüstriyel, bilimsel ve medikal (*ISM*) frekans bantları, *ITU* Radyo Yönetmeliklerinde tanımlanan şekilde radyo frekansı bantları olarak adlandırılır. Bu frekans bantları, telekomünikasyon dışındaki amaçlar için *RF* kullanımı için ayrılmıştır. Bu nedenle, telekomünikasyon için *ISM* bantlarının kullanılması mümkündür, ancak bu frekansları kullanan telekomünikasyon cihazları, mikrodalga fırınlar, *RF* ısıtma ve diğer potansiyel olarak elektromanyetik girişim üreten cihazlar gibi diğer *RF* ve mikrodalga teknolojilerinden kaynaklanan girişime dayanabilmelidir. *ITU* uluslararası bant atamalarını belirlese de, ülkeler *ISM* bant frekansları farklılık gösterebilir.

Başlangıçta iletişim dışı amaçlar için bir kenara bırakılmış olsa da, birçok kısa menzilli, düşük güçlü, lisanslı veya lisanssız hataya toleranslı iletişim sistemleri *ISM* bandı içinde çalışır. İletişim dışındaki en yaygın kullanımlardan biri endüstriyel ve ev

uygulamaları için indüksiyonla ısıtma, endüstriyel ve ev uygulamaları için mikrodalga ısıtma ve diatermi, hipertermi tedavisi ve kardiyak ablasyon gibi tıbbi amaçlar için *RF* ve mikrodalga ısıtmadır. Son zamanlarda, *ISM* bantlarında, özellikle de 2.4 *GHz ISM* bandında, bu frekanslar için mevcut olan ve kolayca elde edilebilen ucuz kablosuz *IC*'ler nedeniyle çalışan radar sistemleri de geliştirilmiştir.

ISM bantlarının en yaygın günlük kullanımları, *WiFi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, kablosuz telefonlar, *RFID* ve *NFC* gibi düşük güçlü ve kısa menzilli telekomünikasyon sistemleridir. ABD'de çoğu *WiFi* ve *Bluetooth* iletişimi bu bantlarda çalıştığı için 2.4 *GHz ISM* bandına aşınadır, ancak son zamanlarda 5 *GHz WiFi* sistemleri daha kullanılabilir hale gelmiştir. Ayrıca 13.553 *MHz* ila 13.567 *MHz ISM* bandında 13.56 *MHz* kullanan birçok yaygın *RFID* ve *NFC* sistemi vardır ve birçok kredi kartı, güvenli erişim, personel tanımlama ve kablosuz ödeme sistemleri bu teknolojileri kullanır. Aynı zamanda en yeni akıllı ev ve amatör elektronik cihazların çoğu, düşük güçlü ve kısa menzilli iletişim için 915 *MHz* ve 2.4 *GHz ISM* bantlarında *Zigbee* teknolojisini kullanır. Önümüzdeki birkaç yıl içinde, 60 *GHz ISM* bandında çalışan 60 *GHz WiFi* (*WiGig*, *IEEE 802.11ad* olarak bilinir), son derece yüksek verimli cihazdan cihaza iletişim için popülerlik kazanacaktır. Bu uygulamanın bazı örnekleri yüksek tanımlı, 4k, video akışı ve cihazdan cihaza son derece hızlı kablosuz veri aktarımları olabilir (Ardıç, 2010).

Kablosuz haberleşme sistemleri ve ürünleri dünyanın her yerinde uyumluluğu sağlamak amacıyla uluslararası bilimsel ve teknik standartlaştırma kurumları tarafından standartlara oturtulmuştur. Bu kurumların içerisinde dünya çapında geçerliliği olan kurum *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)*'dir. Şekil3.1'de *IEEE* kablosuz haberleşme sistemlerini kapsadığı alanlara göre sınıflandırmıştır. Bunlar;

- *WPAN (Wireless Personal Area Network / Kablosuz Kişisel Alan Ağı)*
- *WLAN (Wireless Local Area Network / Kablosuz Yerel Alan Ağı)*
- *WMAN (Wireless Metropolitan Area Network/Kablosuz Metropol Alan Ağı)*
- *WWAN (Wireless Wide Area Network / Kablosuz Geniş Alan Ağı)*

Bu kapsadığı alan veya kullanıcı miktarına göre sınıflandırılan kablosuz haberleşme sistemlerinden *WAN IEEE 802.20* standardını, *WMAN 802.16* standardını, *WLAN 802.11* standardını ve *WPAN 802.15* standardını kullanmaktadır. Bu sistemlere örnek vermemiz gerekirse; *WPAN* sistemler *Bluetooth*, *Zigbee*, *WLAN* sistemler, *Wi-Fi (Wireless Fidelity)*, *WMAN* sistemler, *WiMAX*, *WWAN* sistemler, Hücresel sistemler, *Nomadic*, *Handoff* vb. şeklindedir (Güngör ve ark., 2009)

3.4.2. Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN)

Son yıllarda daha hızlı veri transferi yapmak amacı ile birçok modülasyon tipi geliştirilmiş ve değişik kablolu/kablosuz protokoller oluşturulmuştur. Cep telefonu sistemlerinin yaygınlaşması ile dikkat çekmeye başlayan kablosuz haberleşme sistemleri, daha hızlı veri alışverişine olanak sağlayan yapıları ile yeni oluşturulan protokoller içerisinde kullanımı en hızlı artan sistemler olmuşlardır. Kablosuz sistemler, özellikle kısa mesafe veri iletişim sistemleri içerisinde, en az kablolu olanlar kadar hızlı ve güvenilir olmaktadır. Kablosuz yerel alan ağ (WLAN) sistemleri entegre devre teknolojileri ile üretilebilmekte ve böylelikle düşük maliyetli sistemler oluşturulabilmektedir. Kısa mesafe, hızlı veri alışverişine uygun kablosuz haberleşme protokolü olan *IEEE 802.11b/g*, 2.4-2.5 GHz bandında çalışmakta ve geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. “Çok Geniş bantlı” (UWB - WiMAX) haberleşme sistemleri, ihtiyaçlara cevap olabilecek düzeyde kapasiteye sahiptir ve geleceğin önemli haberleşme sistemleri olmaya aday protokollerdir(Öztürk, 2004).

MYA’ in, özellikle çift yönlü ışıma özellikleri sebebiyle tercih edildiği uygulamaların başında, geleneksel ağ teknolojilerinin bütün özelliklerini kablolarla gerek duymadan telsiz sunan kablosuz yerel alan ağları (WLAN) yer almaktadır. WLAN uygulamaları için 802.11 standardının *IEEE* tarafından 1997 yılında onaylanmasıyla, bilinen yaygın adıyla *Wi-Fi* teknolojisi hayatımıza girmiştir. Bugün 802.11 standardı, bina içi veya dışı haberleşmede bir noktadan çok noktaya veya bir noktadan diğer bir noktaya haberleşme için kullanılmaktadır. Kablosuz yerel alan ağları 2.4 GHz ve 5.8 GHz frekans bantlarında 30 metre uzaklığa kadar maksimum 54 Mb/s veri iletim hızı sunmaktadır. Günümüzde WLAN uygulamaları için 802.11a/b/g (2.4/5 GHz), *HiperLAN* (5.8 GHz) ve *Bluetooth* (2.45 GHz) standartları kullanılmaktadır(Yılmaz ve Öztürk, 2007).

3.4.3. IEEE 802.11b

- Standartlar arasında en uzun mesafede çalışabilen, dayanıklı, kararlı ve maliyeti en düşük olanıdır. 2.4 GHz frekans bandında çalışması diğer cihazlardan (mikrodalga fırın, telsiz telefon vb.) kaynaklanan karışımlara karşı onu dayanıksız kılmakta olup güvenlik açıkları mevcuttur
- Birbirine karışım vermeden çalışabilecek erişim noktası (*access point*) sayısı 3 dür.

- Üç tanesi örtüşmeyen (non-overlapping) olan toplam 11 tane kanal mevcut olup 1Mb den 11Mb ye kadar veri hızını desteklemektedir.
- Doğru Dizili Yayılı Spektrum (*Direct Sequence Spread Spectrum-DSSS*) teknolojisini kullanmaktadır.

3.4.4. IEEE 802.11g

- 802.11.b standardının genişletilmiş şekli olup aynı şekilde güvenlik ve karışım sorunları mevcuttur.
- 802.11.b den daha kısa mesafeler için uygundur.
- Çoklu kanal yapısına sahip olduğundan dolayı değişik ve yüksek veri hızlarında çalışmaya müsait esnek bir yapısı vardır fakat erişim noktası kısıtlaması mevcuttur (sadece 1 tane).
- 54Mb veri hızını destekleyebilmektedir.
- Frekans bölmeli (*Frequency Division Multiplexing -FDM*) tekniğini kullanmaktadır.

3.4.5. IEEE 802.11d

- 11b ve 11g standartlarından tamamıyla farklıdır.
- Çoklu kanal yapısına sahip olduğundan dolayı farklı ve yüksek veri hızlarında çalışmaya müsait esnek bir yapısı vardır fakat erişim noktalarının karışma neden olmayacak şekilde düzenlenmesi gerekir.
- 5GHz frekansında çalıştığı için diğer cihazlardan kaynaklanan karışımlardan daha az etkilenir.
- 8 tanesi örtüşmeyen (non-overlapping) olmak üzere 12 kanalı mevcuttur.
- Frekans bölmeli (*FDM*) tekniğini kullanmaktadır(YILMAZ ve ÖZTÜRK, 2007).

3.4.6. Kablosuz Metropol Alan Ağı (WMAN) Wimax

MYA' in kullanıldığı bir diğer uygulama alanı olarak, Wimax kablosuz haberleşme teknolojisini gösterebiliriz. IEEE 802.16 standartlarını kullanan ve kablosuz hızlı internet erişimi için öngörülmüş Wimax teknolojisi, verici antenden yaklaşık 50 km mesafeye kadar kapsama (etki) alanı içinde 75 Mb/s indirme (download) hızına sahip kablosuz haberleşmeye olanak sağlamaktadır(Ardıç, 2010).

En küçük ölçekli şebeke kişisel alan şebekesi *PAN* (*personal area network*). Bluetooth ve Zigbee gibi kısa mesafelerde cihazların birbirleriyle iletişim kurmasına imkân tanır. Şebeke ölçeği açısından bir ileri adım, yerel alan ağıdır (*local area network, LAN*). Yerel alan ağının en bilineni *Wi-Fi*'dir. *Wimax* ise sonraki adım olan kentsel alan şebekesidir (*metropolitan area network, MAN*).

En hızlı *Wimax* bağlantısı saniyede 70 Mb iletim hızına ulaşabilmektedir. 70 megabit birkaç düzine işyeri ya da yüzlerce ev kullanıcı arasında dağıtılsa bile, *Wimax* kablo modemin her bir kullanıcıya sağladığı en küçük transfer hızlarına eşit bir hız sağlayacaktır. *Wimax*'ın *Wi-Fi*'den en büyük farkı hız değil kapsama alanıdır. *Wimax* *Wi-Fi*'den çok daha geniş bir mesafeye iletim yapabilmektedir. *Wimax* kablosuz erişim ile teorik olarak 50 km yarıçapında bir kapsamaya sahiptir.

Wimax, IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) tarafından geliştirilen standartlardan 802 serisinin bir üyesi olup, IEEE 802.16 standartlarını temel alan bir kablosuz geniş bant erişim teknolojisidir. İlk sürümü Ekim 2001'de tamamlanan IEEE 802.16 standardı, WMAN teknolojisi olarak, kullanıcılara kablosuz ortamda ses ve yüksek hızda veri sağlamak amacıyla bir hava ara yüzü ve Ortam Erişim Kontrolü (*Media Access Control / MAC*) sağlamaktadır. IEEE 802.16 standardı PMP mimarisinde çalışan kablosuz geniş bant erişim sistemlerinin modern sürümüdür. Daha sonra geliştirilen 802.16a/d sürümleri örülü ağ (*Mesh Network*) şebeke mimarisini de desteklemektedir. Başlangıç sürümü 10–66 GHz arasında çok sayıda çalışan kablosuz geniş bant erişim sistemlerin yayılım ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Sonraki sürümlerin 2–11 GHz ve bunun ardından da 2-6 GHz arasında çalışan sistemler standartlaştırılmıştır(Tripathi, 2011).

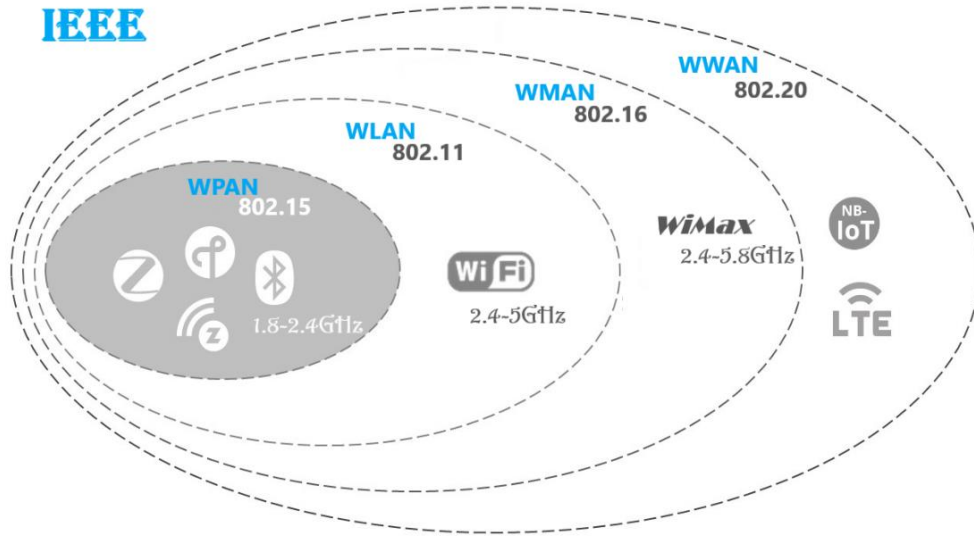
3.4.7. IEEE 802.16d

Omurga şebeke olarak kullanılmanın yanı sıra, bakır kablonun olmadığı ya da kablo döşemenin ekonomik olmadığı yerlerde ses ve genişbant hizmetleri sağlamak veya mevcut DSL ve Kablo Modem gibi genişbant teknolojilerle rekabet etmek amacıyla geliştirilmiş sabit ve göçebe uygulamaları sağlayabilen bir kablosuz genişbant standardıdır. 802.16d standardı ile lisanslı ve lisanssız 2–11 GHz bantlarında IP tabanlı şebekeler üzerinden noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya LOS (*Line of Sight*) veya kapsama alanı içerisinde herhangi bir noktaya NLOS ses, veri ve görüntünün iletimini

yapmak mümkündür. Teorik olarak 50 km'ye kadar 70 Mb'lık iletim hızını mümkün kılmaktadır(GÜNGÖR ve ark., 2009).

3.4.8. IEEE 802.16e

Ses ve genişbant hizmetleri sağlamak amacıyla 802.16d standardının temel özellikleri arasında bulunmayan taşınabilirlik ve nihayetinde tam mobilitayı amaçlayan bir mobil kablosuz genişbant standardıdır. *Wimax*'te *NLOS* uygulama *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) teknolojisi ve *MIMO* (*multi-input multi-output*) alıcı teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. *OFDM* teknolojisi birçok yeni nesil *GTE* sistemi tarafından kullanılmaktadır. *OFDM* teknolojisi yüksek hızdaki verinin minimum bant genişliği ile engebeli alanlarda elde edilmesi için kullanılan en etkin yöntemdir. *OFDM* teknolojisinin kullanılmasındaki temel amaç çoklu yol yansımalarından kaynaklanan problemlerin azaltılmasıdır. Bu problemler özellikle 7GHz'in altındaki frekanslarda görülmektedir. *OFDM*, abone istasyonlarının sinyal gürültü oranını (*SNR*) artırma, enterferansı minimize etme ve bina dışı ortamlarda esneklik geliştirme gibi faydalar sağlamaktadır. *MIMO* ise kablosuz sistemlerde hızın, sistem performansının ve güvenilirliğin artırılmasını sağlamaktadır. *MIMO*'nun teorik kapasitesi kullanılan anten sayısı arttıkça artmaktadır(Güngör ve ark., 2009).



Şekil 3.1 IEEE kablosuz haberleşme sistemlerini kapsadığı alanlar

3.5. X-Bant. 10GHz Çalışma Frekansının Kullanım Alanları

Güvenli ve düzenlenmiş X-bandı frekans aralığı (8-12GHz) yalnızca deniz, askeri ve resmi kullanım için tahsis edilmiştir. Sürekli dalga, darbeli, tek polarizasyon, çift polarizasyon, sentetik açıklıklı radar ve aşamalı diziler dahil radar uygulamalarında kullanılır. X-bant radar frekansı alt bantları, sivil, askeri ve devlet kurumlarında hava durumu izleme, hava trafik kontrolü, denizcilik gemi trafik kontrolü, savunma takibi ve kolluk kuvvetleri için araç hız tespiti için kullanılmaktadır(Jijesh ve ark., 2017).

X-bant radarı, yüzey hedeflerinin aranması ve izlenmesi dahil olmak üzere deniz operasyonları için vazgeçilmezdir, X-bant iletişim anten sistemleri ise operasyonel ve mürettebat kullanımı için *e-posta* ve internet erişimi sağlar. X-bant VSAT frekansları, diğer olumsuz hava koşullarının neden olduğu yağmur solmasına ve sinyal sorunlarına karşı dirençlidir. Ek olarak, X-bant hizmetlerinde yüksek performans sağlamak için daha küçük antenler kullanılabilir, bu nedenle donanım ve bant genişliği maliyetleri nispeten düşük olabilir(Navya ve John).

Radara ek olarak, X-Bandı uydu ve karasal iletişim için de kullanılır. 8.175 ile 8.215 GHz arasındaki frekans aralığı, genellikle hava koşullarını izlemek için meteorolojik uydular tarafından kullanılır. ITU ayrıca amatör radyo operasyonları için 10 ila 10,5 GHz ve amatör uydu operasyonları için 10,45 ila 10,5 GHz ayırmıştır. X Bandı, 10 GHz üzerindeki frekanslara kıyasla son derece düşük atmosferik zayıflama oranlarına sahiptir, bu da bu bandı en sert hava koşulları için uygun kılar ve SATCOM ve hava durumu izleme radar çözümleri için olağanüstü yüksek bağlantı kullanılabilirliği sağlar.

Nispeten küçük antenlerle, havadan radar olarak askeri kullanımı kolaylaştıran yeterli açısal doğruluk elde edilebilir. Öte yandan, dalga boyuna göre çok büyük olan füze kontrol radar sistemlerinin antenleri hala konuşlandırılabilir olarak değerlendirilebilecek kadar kullanışlıdır. Bu frekans bandı esas olarak deniz seyrüsefer radar sistemleri için sivil ve askeri uygulamalarda kullanılır. Küçük, ucuz ve hızlı dönen antenler, çok iyi hassasiyetle yeterli aralıklar sunar. Antenler, basit yuvalı radyatörler veya yama antenler olarak yapılabilir. Bu frekans bandı, hem askeri elektronik istihbarat hem de sivil coğrafi haritalama için Sentetik Açıklık Radarına (SAR) dayalı uzayda veya havadan gelen görüntüleme radarları için de popülerdir. Ters Sentetik Açıklık Radarının (ISAR) özel bir uygulaması, çevre kirliliğini önlemek için okyanusların izlenmesidir(Salami ve ark., 2017).

4. DMYA'LARIN FARKLI SERAMİK ALT TABAKA MALZEMELERİ İÇİN 2.4GHz, 5.8GHz, 10GHz REZONANS FREKANSLARINDA SİMÜLASYON VE TASARIMI

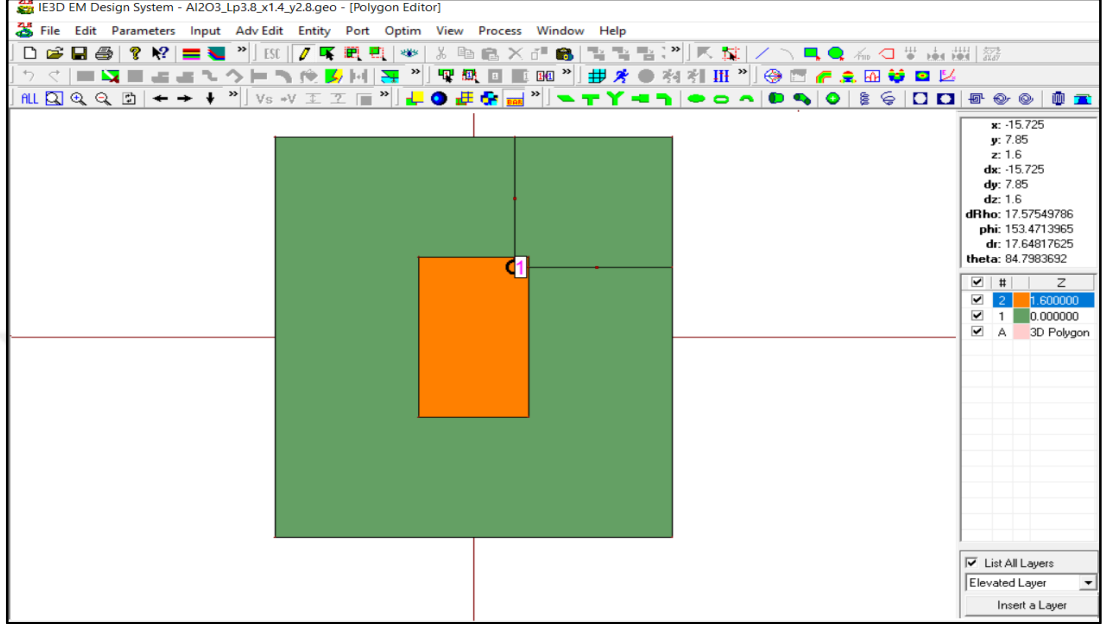
4.1. IE3D Anten Simülasyon Programı

Mentor Graphics IE3D; Elektromanyetik simülasyon, karmaşık mikrodalga ve RF baskılı devre, antenler, yüksek hızlı dijital devreler ve diğer elektronik bileşenlerin yüksek doğrulukta analizini ve tasarımını sağlayan gelişmiş bir teknolojidir. *IE3D*, 3D ve düzlemsel mikrodalga devreleri, *MMIC*, *RFIC*, *RFID*, antenler, dijital devreler ve yüksek hızlı baskılı devre kartlarının (*PCB*) analizi ve tasarımı için bir tam dalga elektromanyetik simülasyon ve optimizasyon programıdır. *IE3D*, en çok kolay kullanımı, verimli ve doğru elektromanyetik simülasyon aracı haline getirilmiştir. *RFIC* tasarımı, tam dalga *EM* tasarımlarının çok önemli bir yönü haline geldi. *IE3D*'de, *IE3D* simülasyonlarından toplu devre eşdeğer devresinin otomatik çıkarılmasını ve optimizasyonunu uygulanmıştır. Bu özellikler, *IE3D RFIC* tasarımcıları için çok kullanışlı hale getirir. *IE3D* programında; mikrodalga devreleri ve *MMIC*' ler, *RF* devreleri, *LTCC* devreleri ve *RF IC*' ler, mikrodalga, *RF* ve kablolu antenler, *RFID* etiket antenleri, *HTS* filtreleri, elektronik paketlenme ve sinyal bütünlüğü, düşük ila yüksek frekanslı diğer birçok yapı tasarlana ve simüle edilebilir.

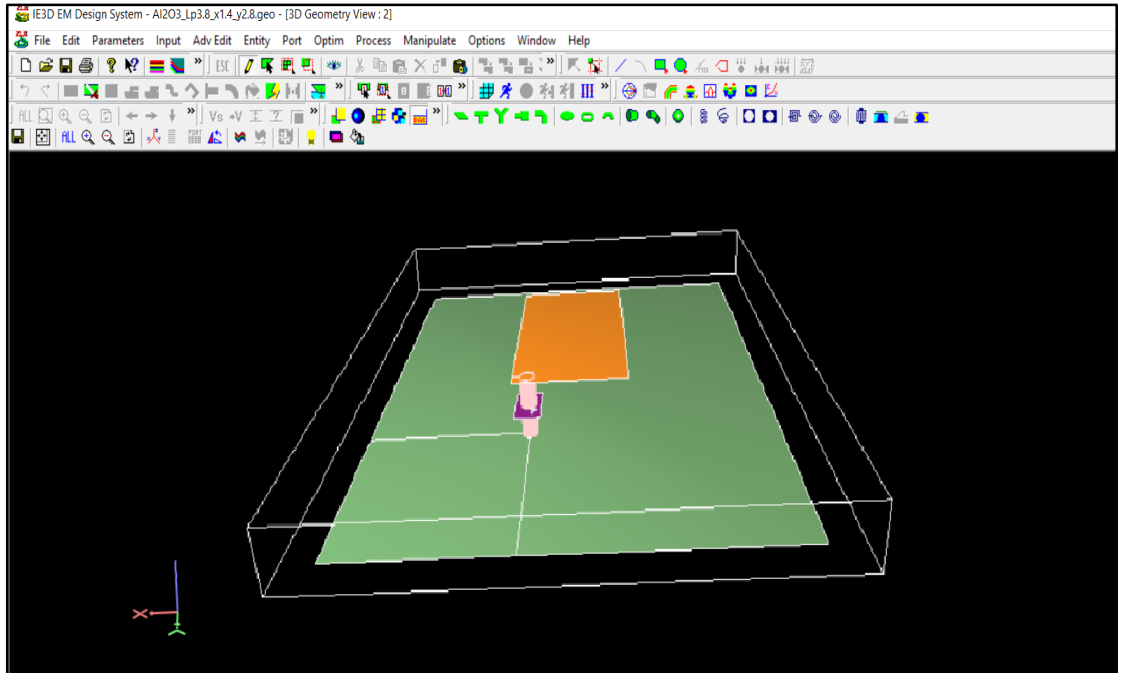
IE3D 1 Hz' den 10 THz' ye kadar daha geniş frekans aralığını kapsamaya izin veren gelişmiş ekstraksiyon özelliğinin sunuyor. *IE3D*, yüksek frekanslı yapıların doğru simülasyonuna izin verir. Ayrıca, kullanıcıların izole edilmiş bir bağlantı noktasının referans düzlemini doğru ve verimli bir şekilde kaydırmasına olanak tanır. *IE3D* bağlı ve diferansiyel portlar için referans düzlemlerinin kaydırılmasıyla *S*-parametrelerinin doğru ve otomatik olarak çıkarılmasını gerçekleştirmiştir. *IE3D*, moment tabanlı *EM* simülatörünün integral denklemi ve yöntemidir. Temelde katmanlı dielektrik ortamlarda genel düzlemsel ve 3B metalik yapılara odaklanır. Bu tür yapılar için çok verimli, doğru ve esnektir. Sonlu alt tabakalara ve dielektrik rezonatör antenlere sahip yama antenleri gibi 3D dielektrik yapıları da modelleyebilir.

Mikroşerit yama antenin simülasyonunu gerçeklemek için *Mentor Graphics* firmasının *IE3D* yazılımı kullanılmıştır. *IE3D* moment metodunu kullanan tam dalga elektromanyetik simülasyon programıdır. Antenin S_{11} parametresi, *VSWR*, akım dağılımı ve ısıma örüntüsü gibi özelliklerini hesaplamada kullanılır. *IE3D*'de dikdörtgen yamanın

üzerine düzensiz ızgara temel fonksiyonu uygulanmıştır. Düzensiz bir ızgara tabanlı simülatör bir probleme daha iyi bir şekilde yaklaşır. Kullanıcı ilk olarak yerleşim editörü üzerine bir devre çizer. Daha sonra simülatör devreye düzensiz bir dikdörtgen bir örgü uydurmayı dener.



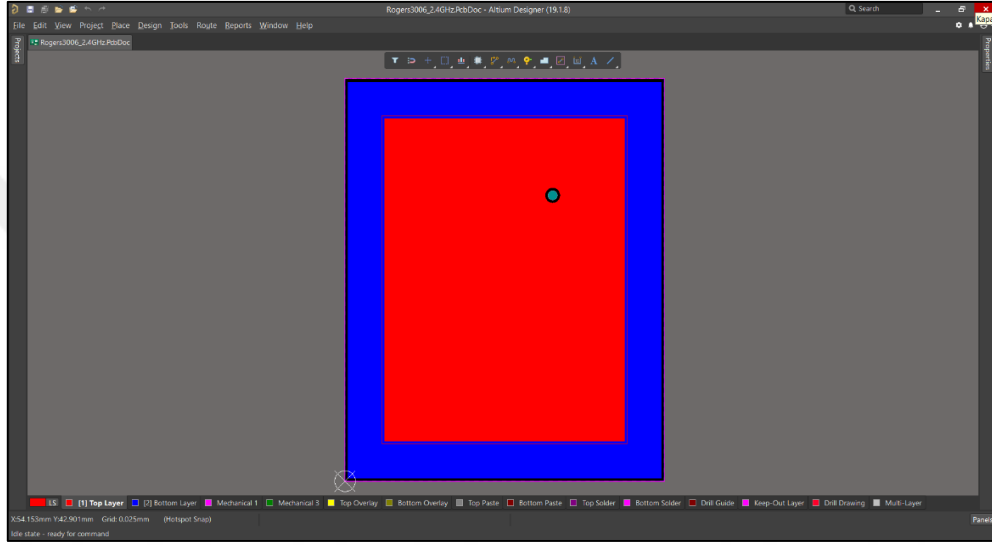
Şekil 4.1. IE3D programı ile simüle edilmiş dikdörtgen MYA



Şekil 4.2. IE3D programı ile simüle edilmiş MYA' in 3d görünüşü

4.2. Mikroşerit Yama Anten Üretimi ve Ölçümü

Dikdörtgen mikroşerit yama antenlerimiz toprak boyutu üzerinden şekil 4.2.1.' de gösterildiği gibi Altium *PCB* devre programı ile Gerber dosyaları hazırlanmış, *PCB* kesim makinesi ile kesilmiş ve besleme noktası delinmiştir. *PCB* kesiminden sonra antenler laboratuvar ortamında baskı devre usulü ile yama basılmış daha sonra kimyasal birleşenler vasıtasıyla yama çıkarılmıştır.

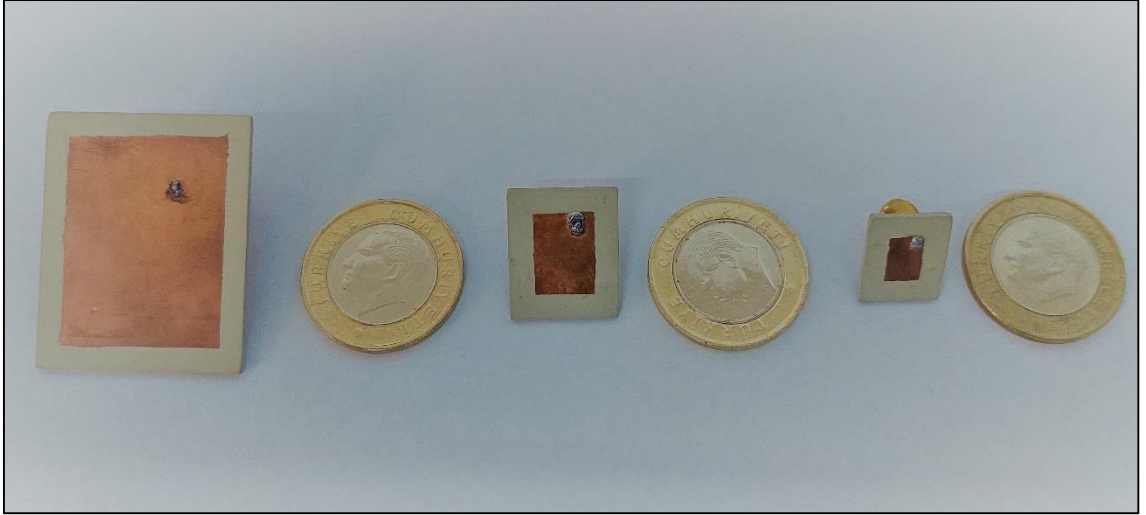


Şekil 4.3. Dikdörtgen MYA' in Altium PCB devre şeması

Koaksiyel yöntemi ile beslenen antenler şekil 4.2.2.'de gösterildiği gibi çapı 1mm olan 180 derecelik *SMA* konektörle beslenmiş ve ölçülmüştür. 2.4GHz, 5.8GHz, 10GHz rezonans frekansında üretilen MYA şekil 4.2.3'de gösterildiği gibi antenlerin yama boyutu küçüldükçe rezonans frekansının arttığı gözlemlenmiştir.

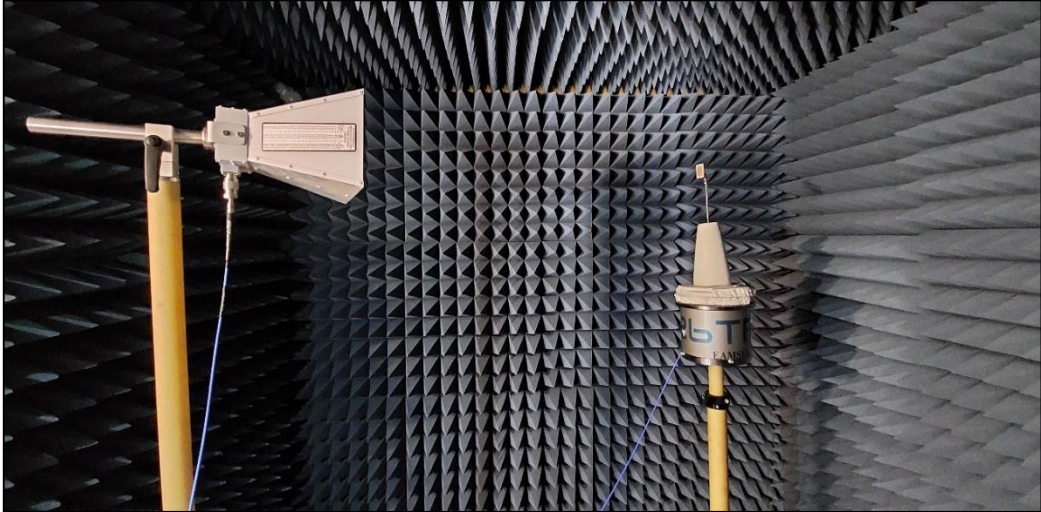


Şekil 4.4. 180 derecelik *SMA* konektörle beslenen MYA

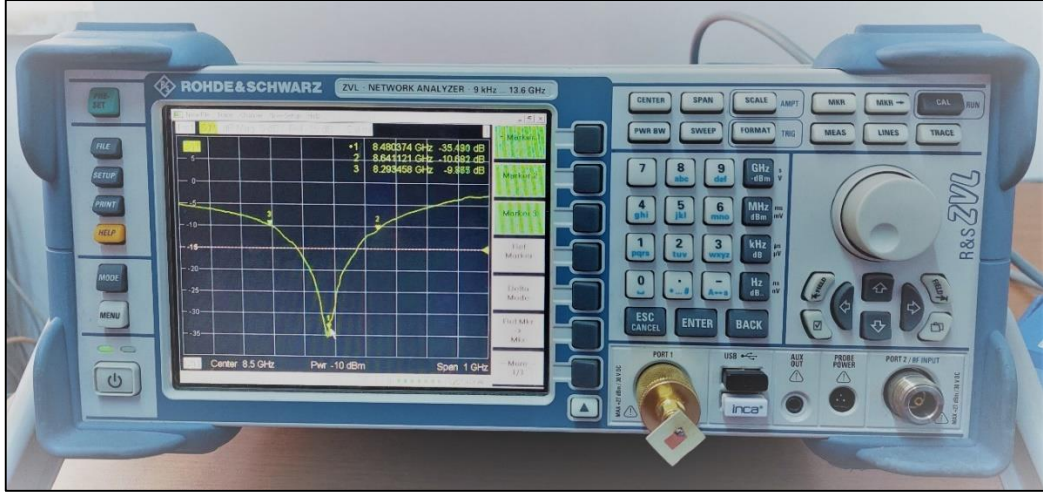


Şekil 4.5. 2.4GHz, 5.8GHz, 10GHz rezonans frekansında üretilen MYA.

Üretilen antenler izole edilmiş ve laboratuvar ortamında 2 farklı VNA ölçüm cihazı ile ölçülmüş geri dönüş kaybı (S_{11}), duran dalga oranı (VSWR), bant genişliği (BW), kazancı ölçülmüştür.



Şekil 4.6. İzole edilmiş ortamda Anten kazancı Ölçümü



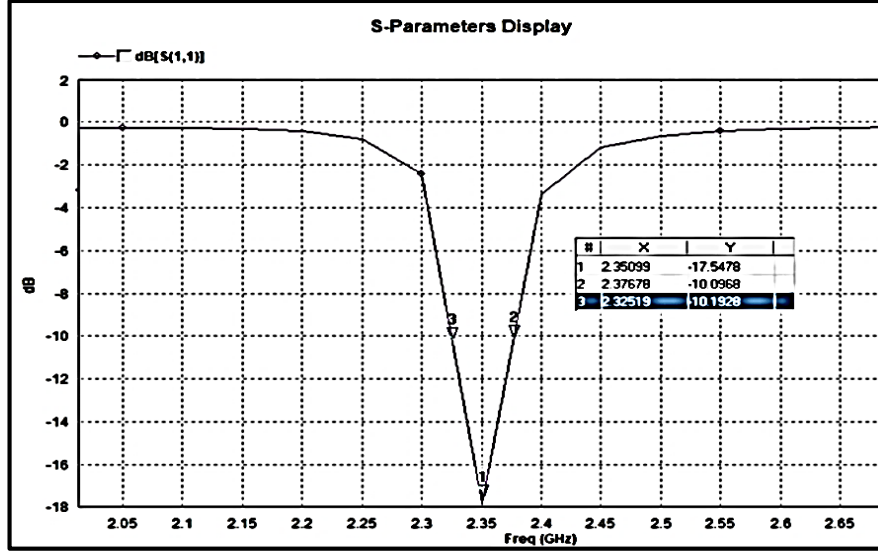
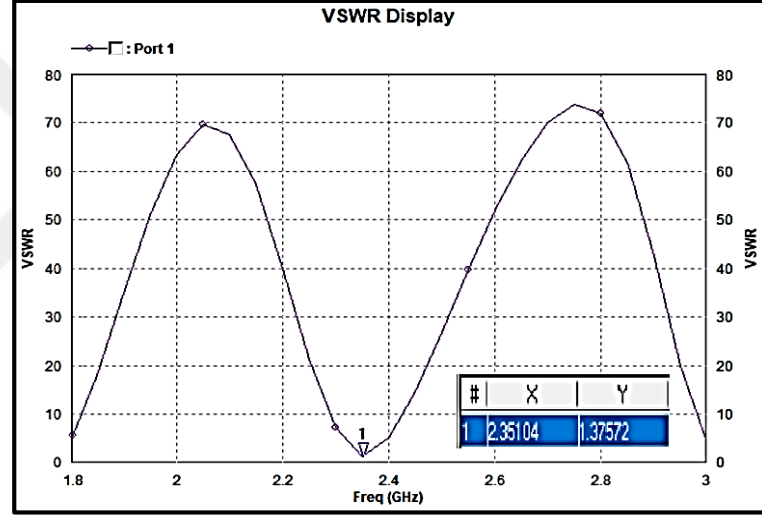
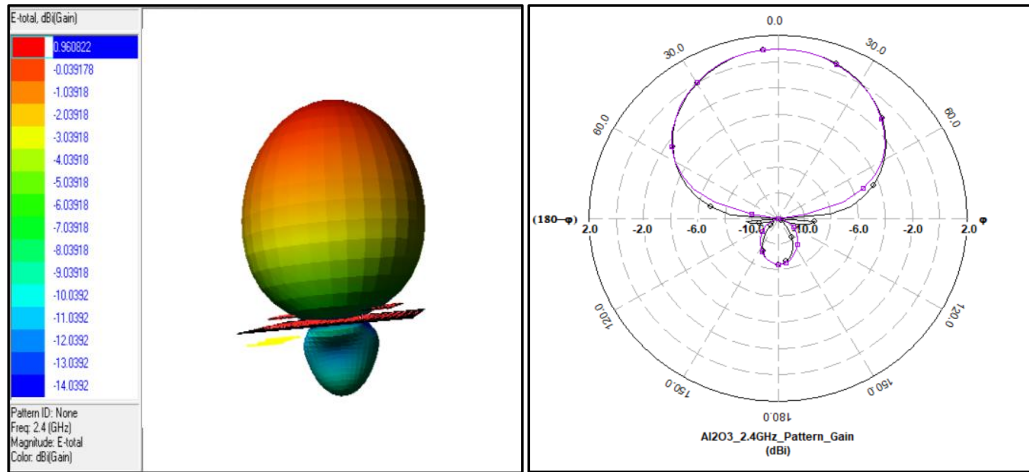
Şekil 4.7. VNA ölçüm cihazı ile MYA ölçümü

4.3. Al₂O₃ Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Simülasyon Sonuçları

Alüminyum Oksit (Al₂O₃), alüminyum atomu ve oksijen atomundan yapılmış bir bileşiktir. Alüminyum oksit, yüksek ısı iletkenliği ve korozyon direncine sahip bir elektrik yalıtkanıdır. Seramik alt tabaka malzeme %96 saflık içeren Alüminyum Oksit (Al₂O₃)'in dielektrik sabiti $\epsilon_r = 9.8$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.0009$ olarak belirlenmiştir. Tüm frekanslar için aynı kalınlık ($h = 1.6$) seçilmiştir.

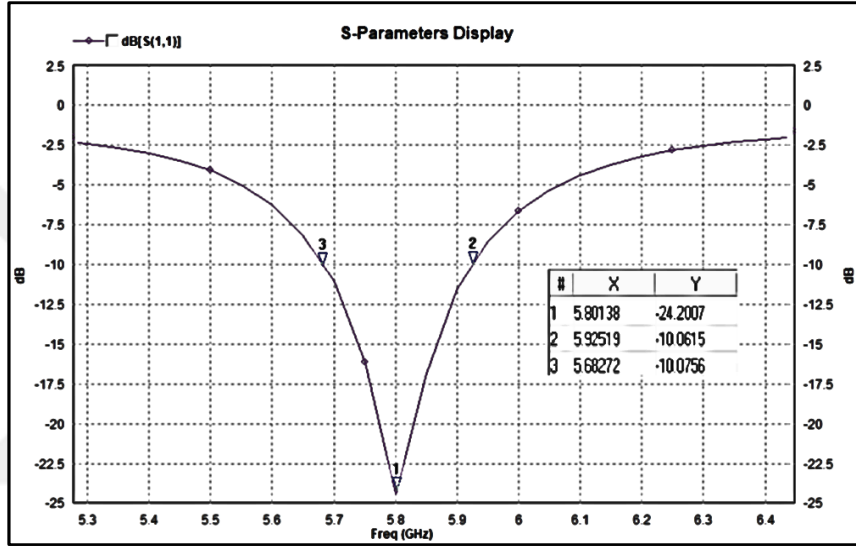
4.3.1. Al₂O₃ Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans frekansında sonuçları

2.4 GHz rezonans frekansında Al₂O₃ için bulunan toprak genişliği $W_g = 36.5 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 29.4 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 26.9 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 19.7 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 5.6$, $Y_f = 11.7$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 2.4 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 2.35 GHz'de değer vererek $S_{11} = -17.5 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.37 \text{ dB}$, bant genişliği yüzdesi $BW = \%2.19$, antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 0.96 olarak bulunmuştur.

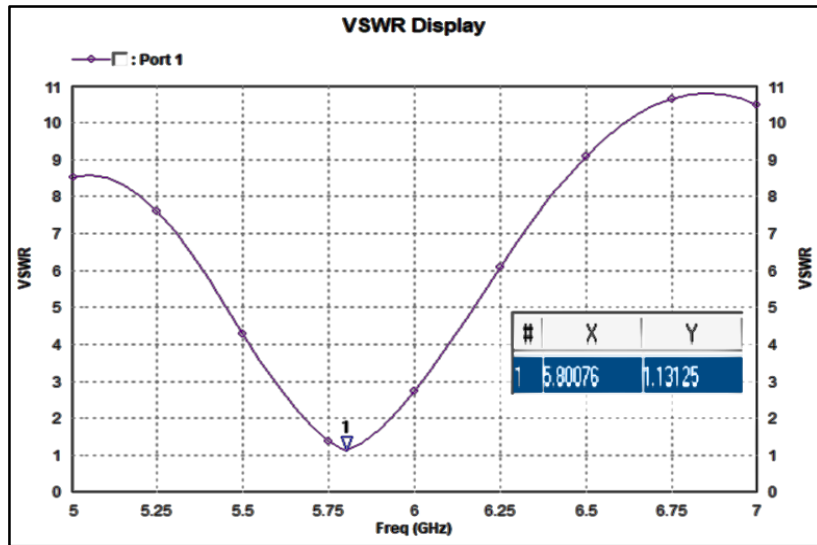
Şekil 4.8. Al_2O_3 2.4GHz'de S_{11} sonucuŞekil 4.9. Al_2O_3 2.4 GHz VSWR görüntüsüŞekil 4.10. Al_2O_3 2.4 GHz Anten Kazancı görüntüsü

4.3.2. Al_2O_3 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans frekansında sonuçları

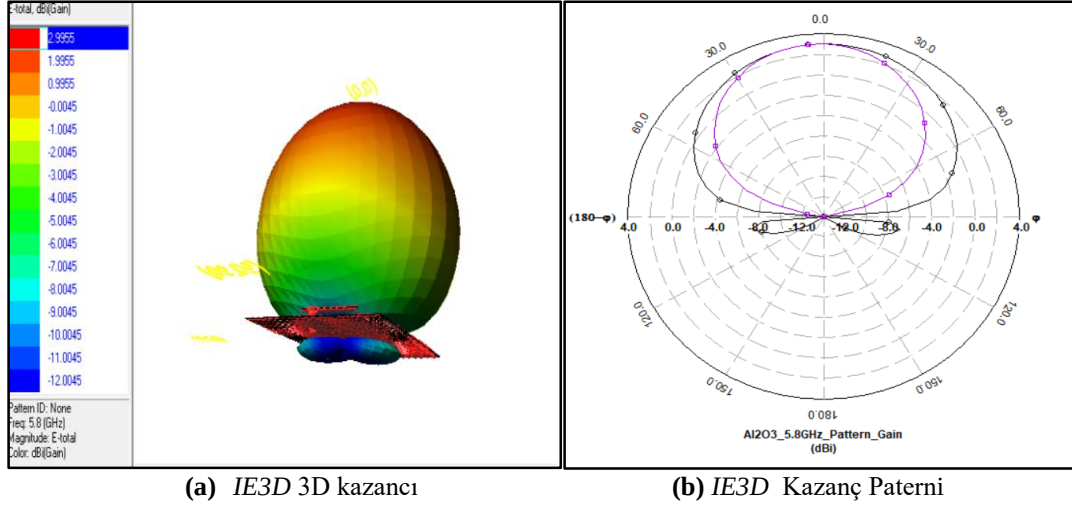
5.8 GHz rezonans frekansında Al_2O_3 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 20.8$ mm, toprak uzunluğu $L_g = 17.4$ mm, yama genişliği $W_p = 11.1$ mm, yama uzunluğu $L_p = 7.8$ mm ve besleme noktaları $X_f = 2.4$, $Y_f = 5.1$ olarak simüle edilmiştir. 5.8 GHz rezonans frekansında simüle edilmiş antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -24.2$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.13$ dB, bant genişliği yüzdesi $BW = \%4.18$, antenin kazanç değeri ise 2.99 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11. Al_2O_3 5.8 GHz S_{11} grafiği



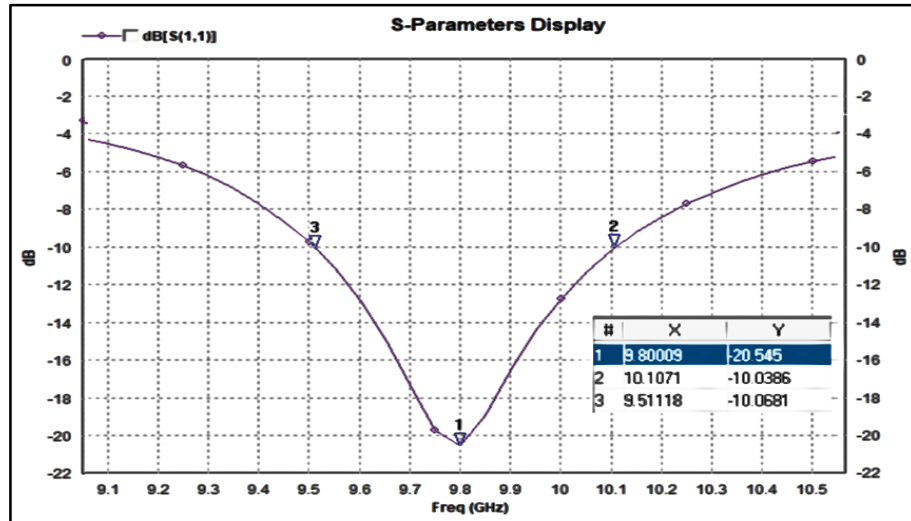
Şekil 4.12. Al_2O_3 5.8 GHz VSWR sonucu



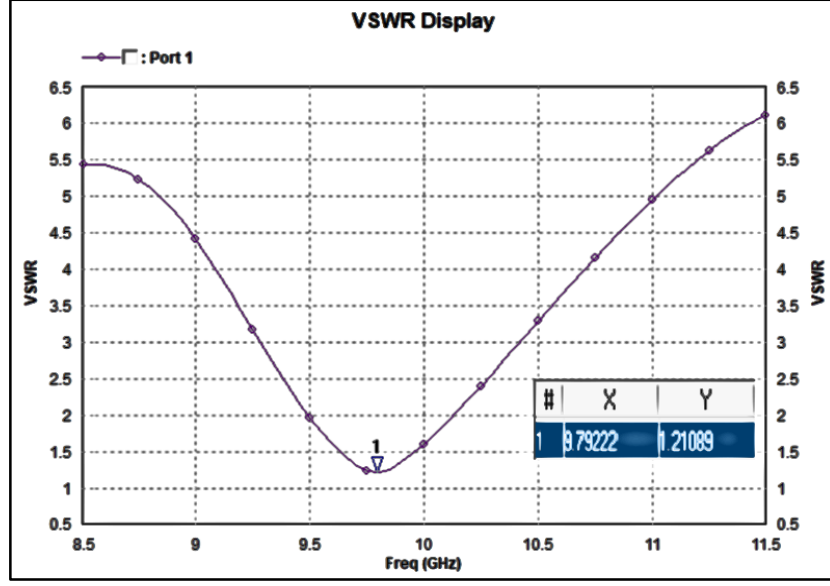
Şekil 4.13. Al_2O_3 5.8 GHz anten kazanç sonucu

4.3.3. Al_2O_3 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans frekansında alınan sonuçlar

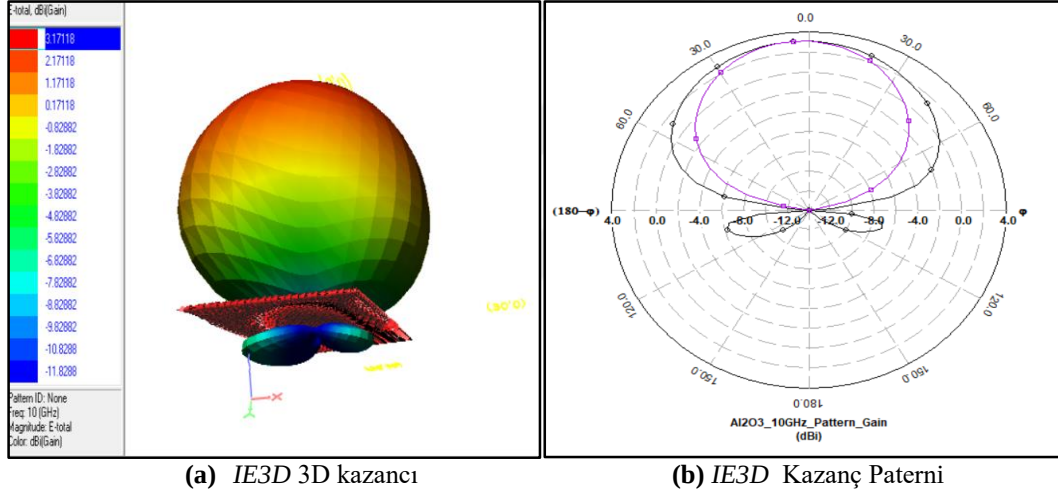
10 GHz rezonans frekansında Al_2O_3 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 16 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 13.7 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 6.4 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 3.7 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 1.2$, $Y_f = 2.6$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenen budur ki, 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 9.8 GHz’de değer vererek $S_{11} = -20.5 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.21 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%6.08$, antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 3.17 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Al_2O_3 10 GHz anten S_{11} sonucu



Şekil 4.15. Al_2O_3 10 GHz anten VSWR sonucu



Şekil 4.16. Al_2O_3 10 GHz anten kazancı

Çizelge 4.1. Al_2O_3 IE3D program ile simüle edilmiş dikdörtgen MYA sonuçları

Al_2O_3	S_{11}	VSWR	%BW	Kazanç
2.4 GHz	-17.5dB	1.37	2.19	0.99
5.8 GHz	-24.2dB	1.13	4.18	2.99
10 GHz	-20.5dB	1.21	6.08	3.17

4.5. Rogers3006 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

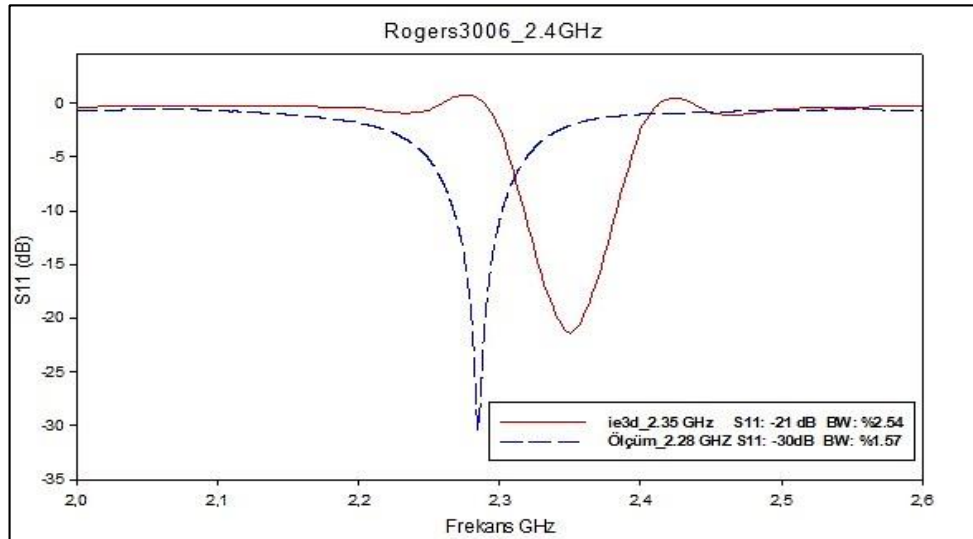
Dikdörtgen şekilli MYA tez çalışmasında kullanılan seramik yapılmış malzeme Rogers3006 dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.002$ olarak belirlenmiştir.

Rogers tüm malzemeleri için sunduğu farklı kalınlıklar aynı zamanda *Rogers3006*'ı için de geçerlidir. Dikdörtgen MYA hesaplanma formüllerinde gösterildiği gibi doğru kalınlık denklemlerle hesaplanarak ve deneme yanılma yöntemi ile ele edilmiş malzemenin kalınlığı $h = 1,27$ olarak belirlenmiştir.

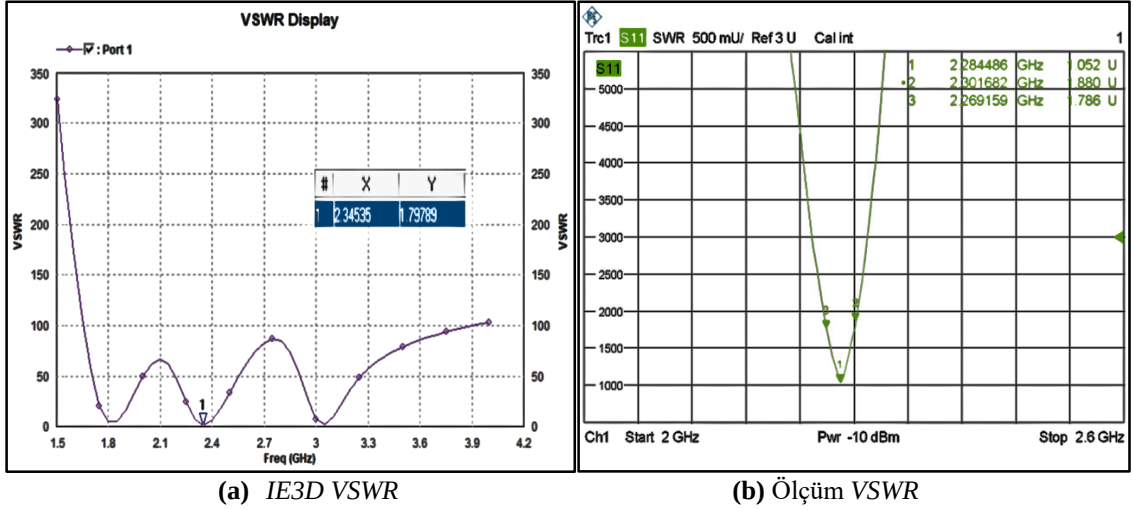
4.4.1. Rogers3006 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

2.4 GHz rezonans frekansında *Rogers3006* alt tabaka için bulunan toprak genişliği $W_g = 40.6 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 32.6 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 33 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 25 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 4.4$, $Y_f = 14.5$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenen budur ki, 2.4 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 2.35 GHz' de değer vererek $S_{11} = -21 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.79 \text{ dB}$, bant genişliği yüzdesi $BW = \%2.54$, antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 0.45 olarak bulunmuştur.

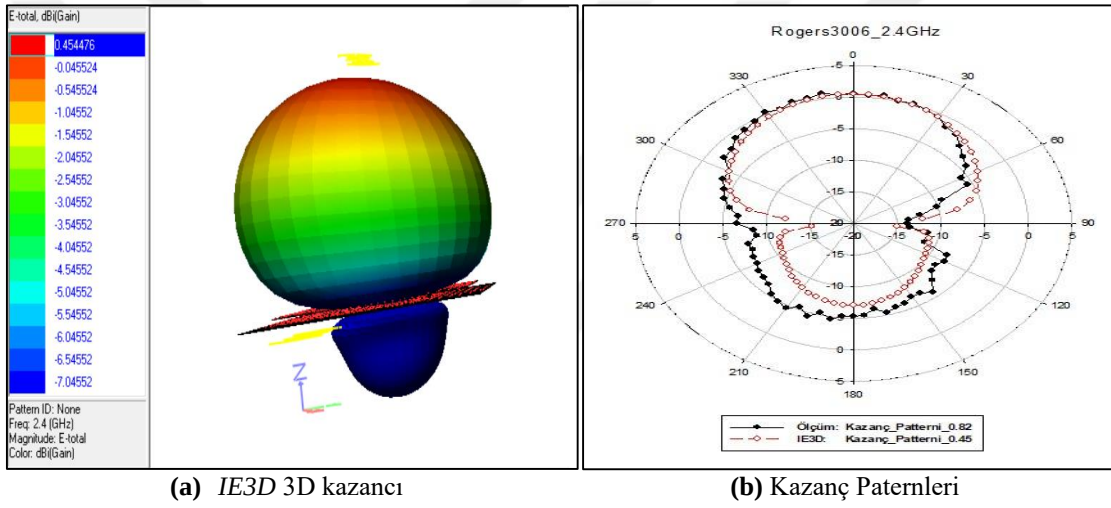
Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 2.4 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 2.28 GHz' de değer vererek $S_{11} = -30.36 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.052 \text{ dB}$, dar bant genişliğine sahip olan antenin ,bant genişliği yüzdesi $BW = \%1.57$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 0.81 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.17. Rogers3006 2.4GHz'de S_{11} sonucu



Şekil 4.18. Rogers3006 2.4GHz’de VSWR sonucu



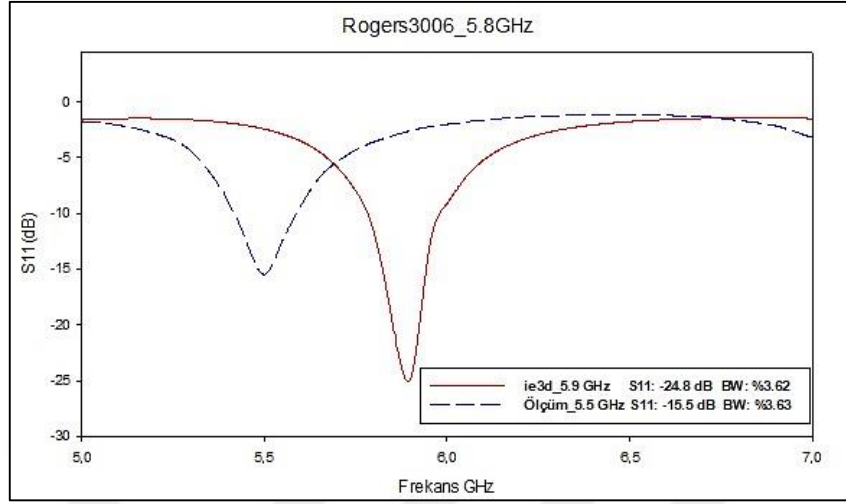
Şekil 4.19. Rogers3006 2.4GHz’de anten kazancı

4.4.2. Rogers3006 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

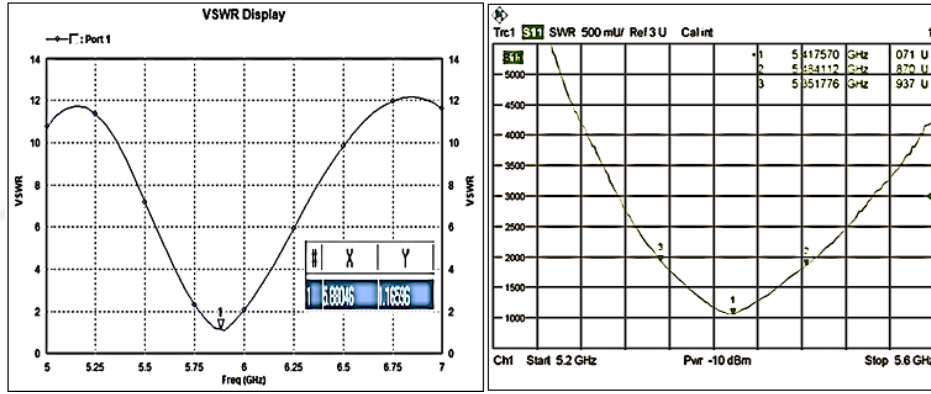
5.8 GHz rezonans frekansında Rogers3006 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 21.3 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 17.6 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 13.6 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 9.5 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.1$, $Y_f = 4.8$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 5.89 GHz’de değer vererek $S_{11} = -24.6 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.16 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%3.6$ antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 4.51 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 5.8 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 5.56 GHz’de değer vererek $S_{11} = -15.5 \text{ dB}$, duran

dalga oranı $VSWR = 1.071 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%3.63$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 4.57 olarak bulunmuştur.



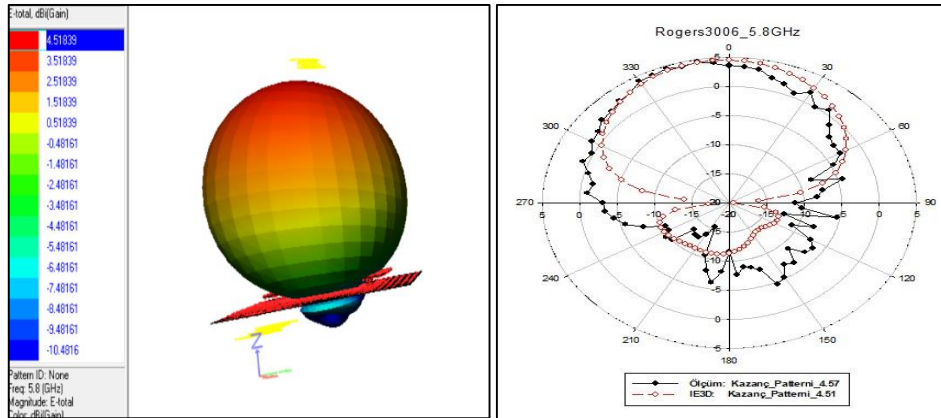
Şekil 4.20. Rogers3006 5.8GHz'de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.21. Rogers3006 5.8 GHz'de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

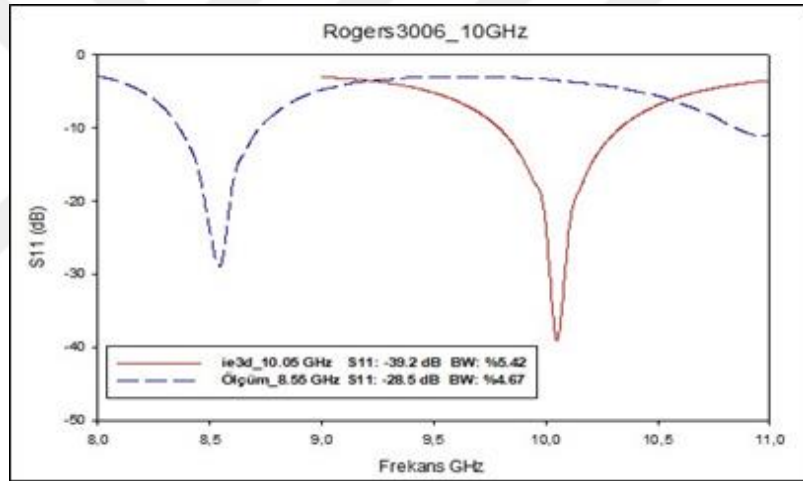
(b) Kazanç Paternleri

Şekil 4.22. Rogers3006 5.8GHz'de anten kazancı

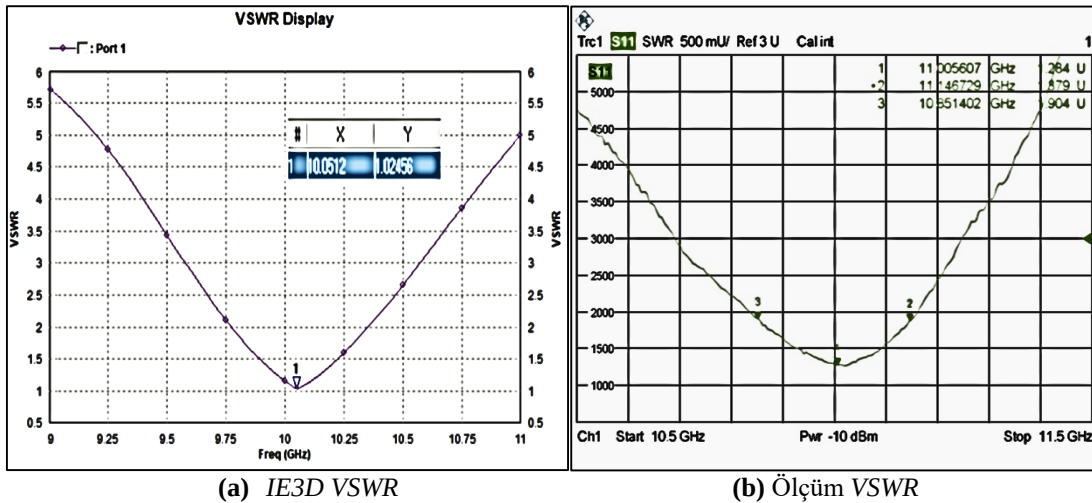
4.4.3. Rogers3006 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

10 GHz rezonans frekansında Rogers3006 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 15.5 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 13.1 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 7.9 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 5.5 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.2$, $Y_f = 3.5$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında simüle edilmiş antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -39 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.02 \text{ dB}$, bant genişliği yüzdesi $BW = \%5.42$, antenin kazanç değeri ise 4.78 olarak bulunmuştur.

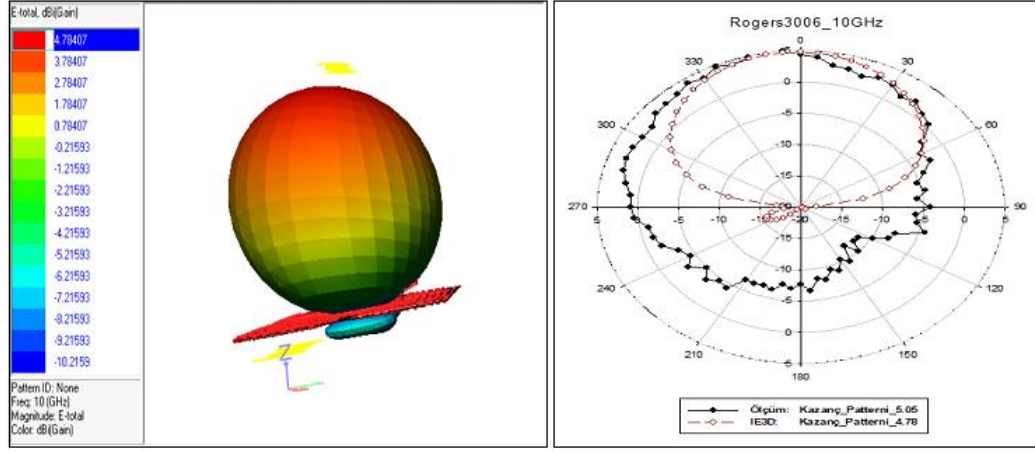
Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 10 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 8.55 GHz’de değer vererek $S_{11} = -28.56 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.264 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%4.67$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 4.67 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.23. Rogers3006 10 GHz’de S_{11} sonucu



Şekil 4.24. Rogers3006 10’de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

(b) Kazanç Paternleri

Şekil 4.25. Rogers3006 10 GHz'de anten kazancı

Çizelge 4.2. Rogers3006 Alt tabaka malzemesinin dikdörtgen MYA simülasyon ve ölçüm sonuçları

Rogers 3006	IE3D					Ölçüm				
	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç
2.4GHz	2.35	-21	1.79	2.54	0.45	2.28	-30.36	1.052	1.57	0.82
5.8GHz	5.89	-24.6	1.16	3.62	4.51	5.5	-15.5	1.071	3.63	4.57
10GHz	10.05	-39	1.02	5.42	4.78	8.55	-28.56	1.264	4.67	5.05

4.5. Rogers4003 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

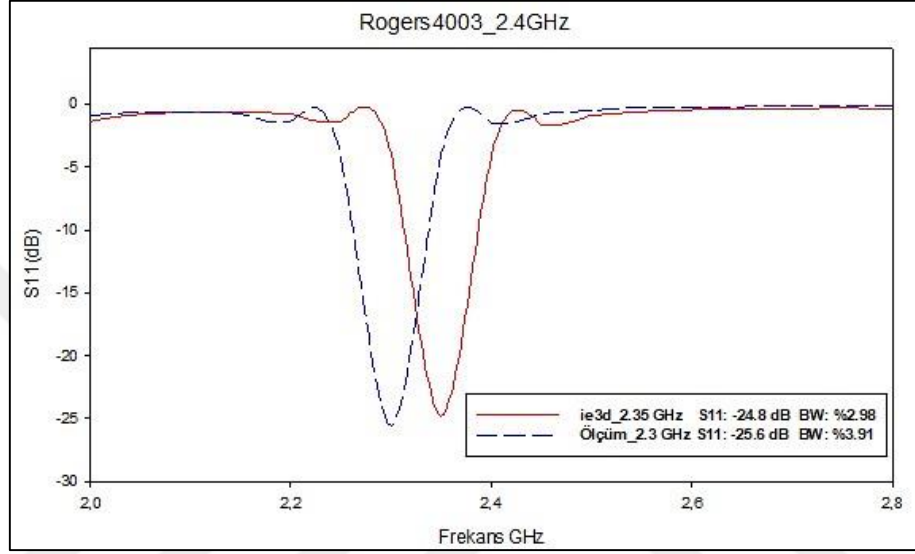
Rogers4003C alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.38$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0027$ olarak belirlenmiştir. Dielektrik kayıplar devre konfigürasyonuna, dielektrik sabitine, frekansa ve kayıp tanjantına bağlıdır. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre Rogers4003C seramik alt tabaka malzemenin kalınlığı $h = 1.52 \text{ mm}$ olarak seçilmiştir.

4.5.1. Rogers4003 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

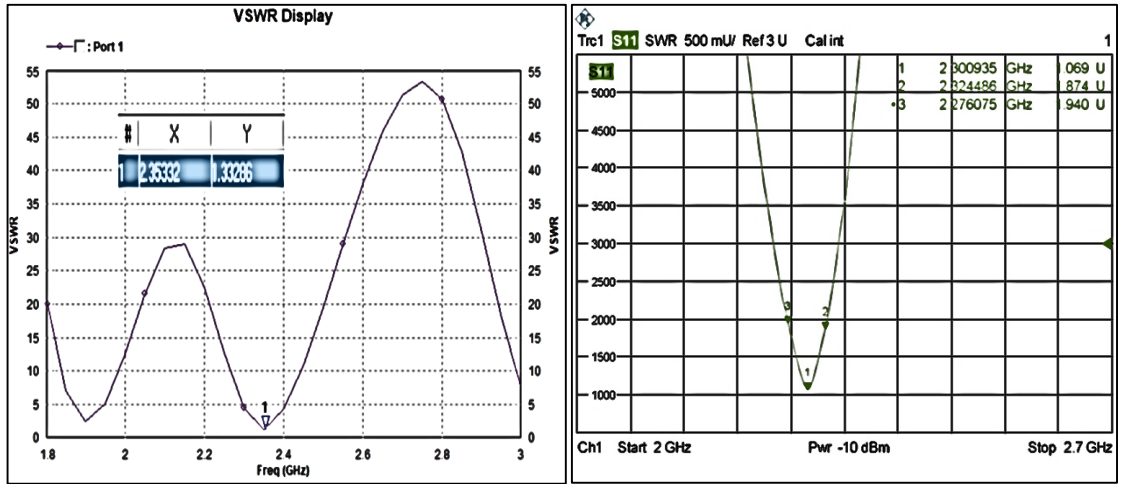
2.4 GHz rezonans frekansında Rogers4003C alt tabaka için bulunan toprak genişliği $W_g = 51.3 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 42.6 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 42.2 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 33.5 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 6.8$, $Y_f = 10.1$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 2.4 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 2.35 GHz'de değer vererek $S_{11} = -24.5 \text{ dB}$,

duran dalga oranı $VSWR = 1.33 \text{ dB}$, bant genişliği yüzdesi $BW = \%2.98$ antenin kazanç değeri ise 3.27 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 2.4 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 2.3 GHz’de değer vererek $S_{11} = -25.6 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.069 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%3.91$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 2.05 olarak bulunmuştur.



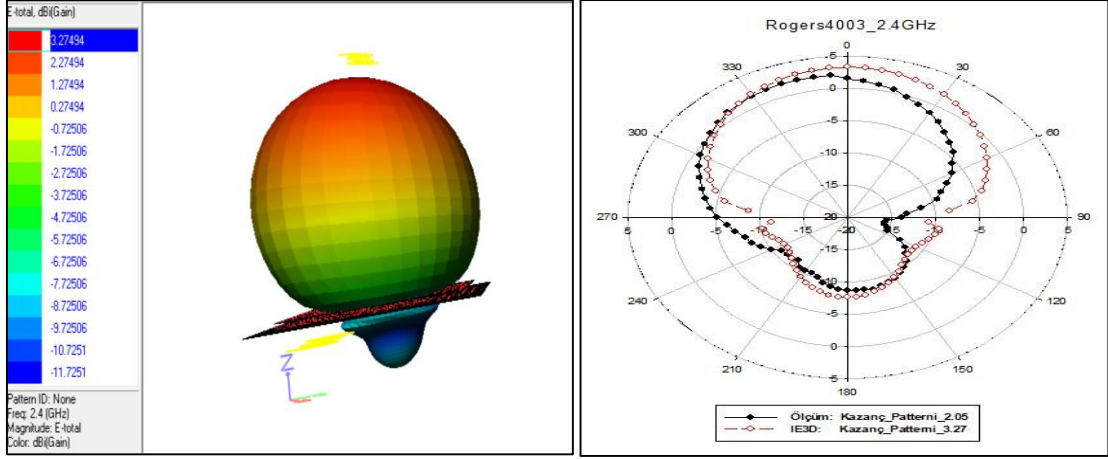
Şekil 4.26. Rogers4003C 2.4 GHz’de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.27. Rogers4003C 2.4 GHz’de VSWR sonucu

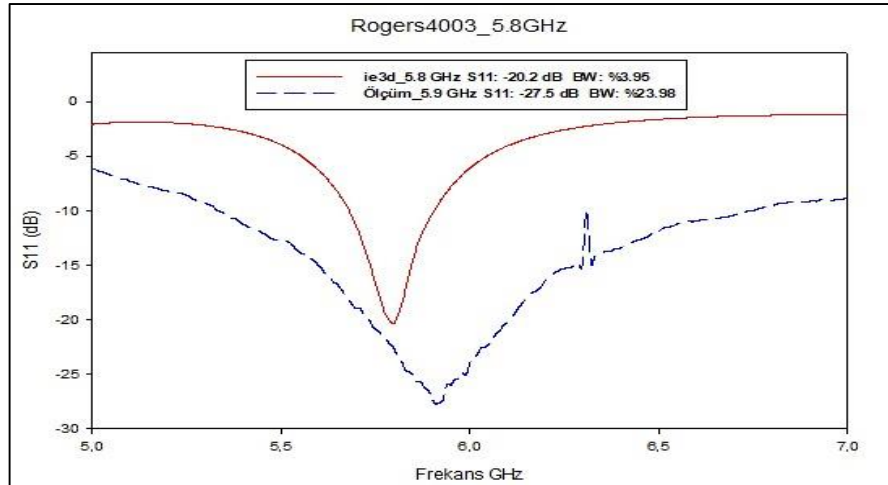


(a) IE3D 3D kazancı (b) Kazanç Paternleri
Şekil 4.28. Rogers4003C 2.4 GHz’de anten kazancı

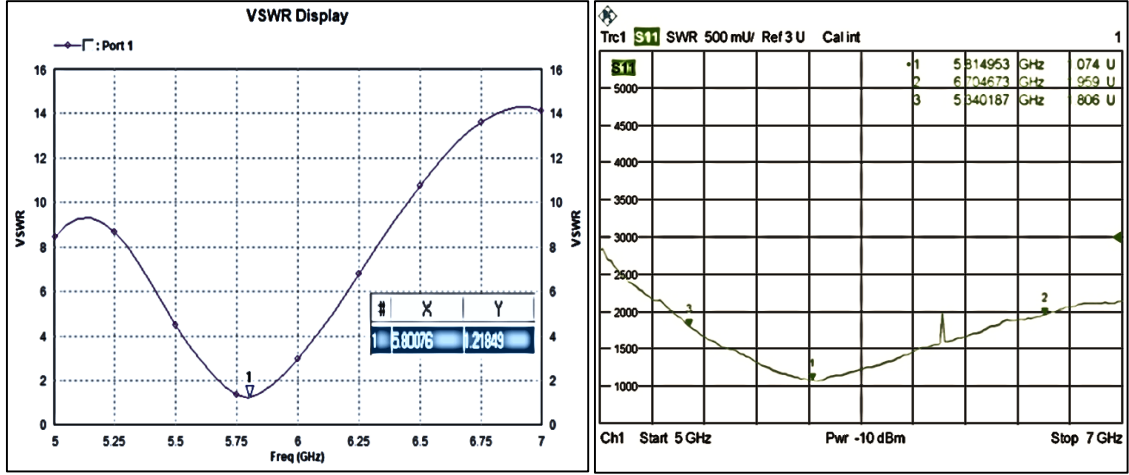
4.5.2. Rogers4003 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

5.8 GHz rezonans frekansında Rogers4003C için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 26.5 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 22.5 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 17.4 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 13.4 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.8$, $Y_f = 3.7$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -20.2 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.21 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%3.95$, antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 6.08 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 5.8 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 5.92 GHz’de değer vererek $S_{11} = -27.5 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.074 \text{ dB}$, geniş bant genişliğine sahip antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%23.98$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 6.05 olarak bulunmuştur.



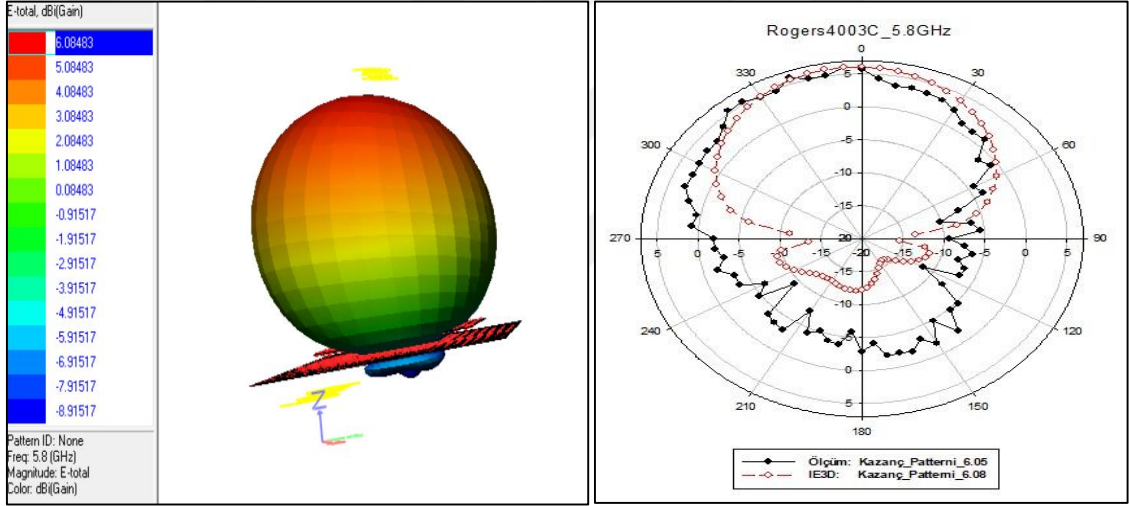
Şekil 4.29. Rogers4003C 5.8 GHz’de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.30. Rogers4003C 5.8 GHz'de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

(b) Kazanç Paternleri

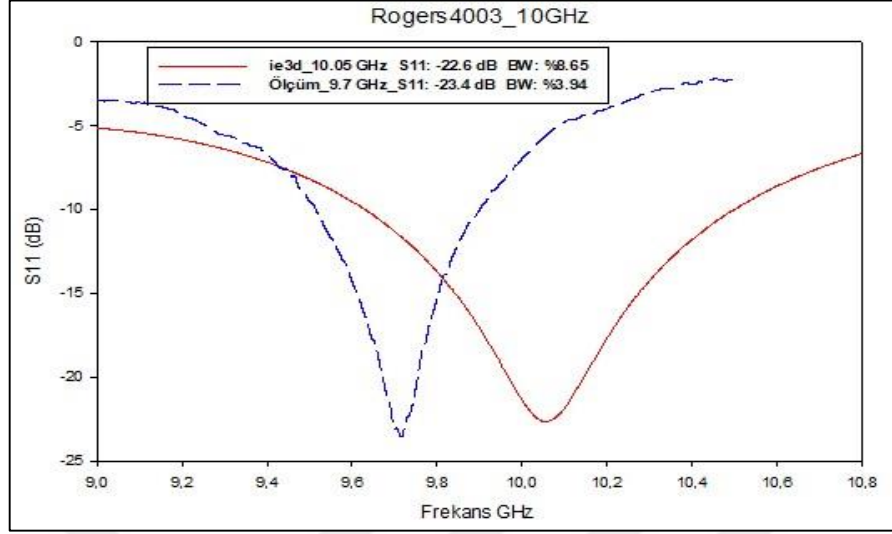
Şekil 4.31. Rogers4003C 5.8 GHz'de anten kazancı

4.5.3. Rogers4003 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

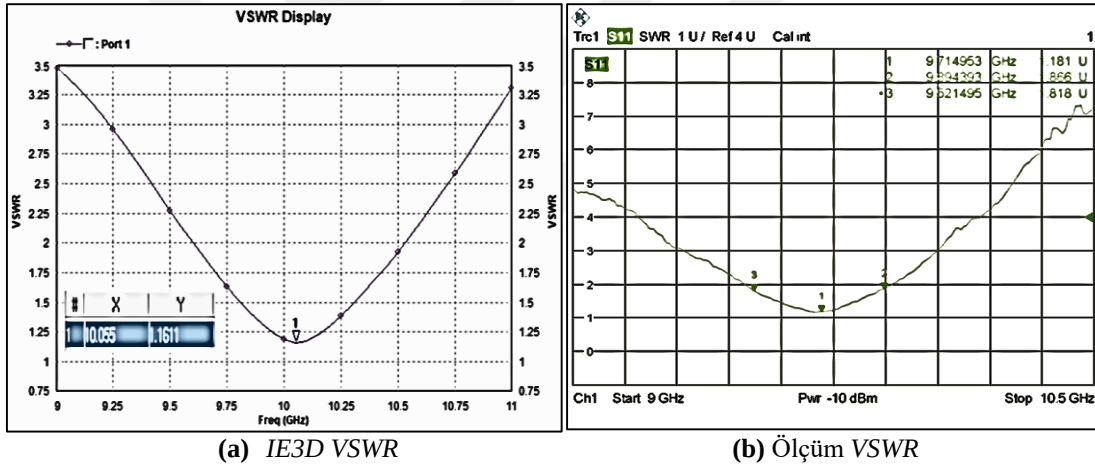
10 GHz rezonans frekansında Rogers4003C için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 19.2 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 16.5 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 10.1 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 7.4 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 3$, $Y_f = 4$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -22.6 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.16 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%8.65$ antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 6.05 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 10 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 9.7 GHz'de değer vererek $S_{11} = -23.4 \text{ dB}$, duran

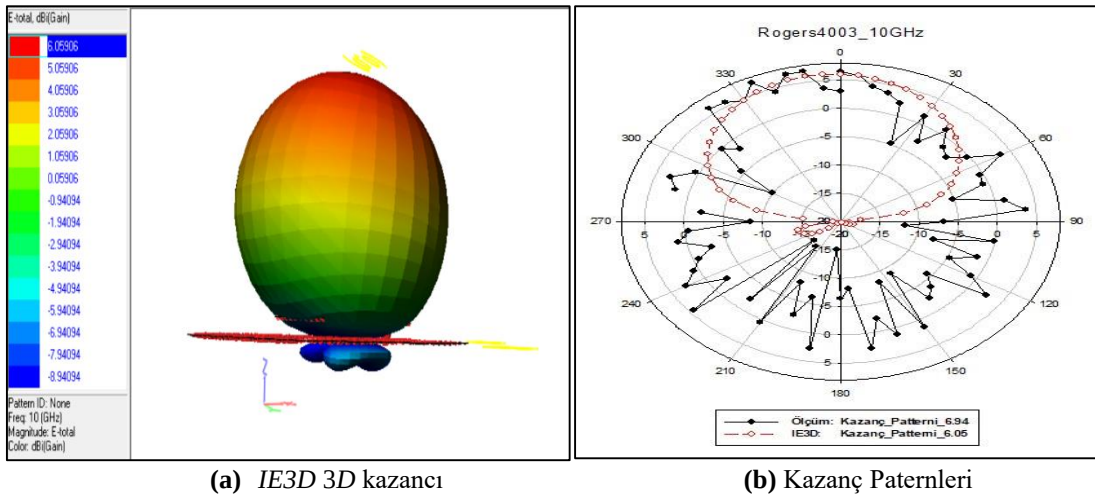
dalga oranı $VSWR = 1.181 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%3.94$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 6.94 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.32. Rogers4003C 10 GHz’de S_{11} sonucu



Şekil 4.33. Rogers4003C 10 GHz’de VSWR sonucu



Şekil 4.34. Rogers4003C 10 GHz’de anten kazancı

Çizelge 4.3. Rogers4003C Alt tabaka malzemesinin dikdörtgen MYA simülasyon ve ölçüm sonuçları

Rogers 4003C	IE3D					Ölçüm				
	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç
2.4GHz	2.35	-24.5	1.33	2.98	3.27	2.3	-25.6	1.069	3.91	2.05
5.8GHz	5.79	-20.2	1.21	3.95	6.08	5.92	-27.6	1.074	23.9	6.05
10GHz	10.04	-22.6	1.16	8.65	6.05	9.7	-23.4	1.18	3.94	6.94

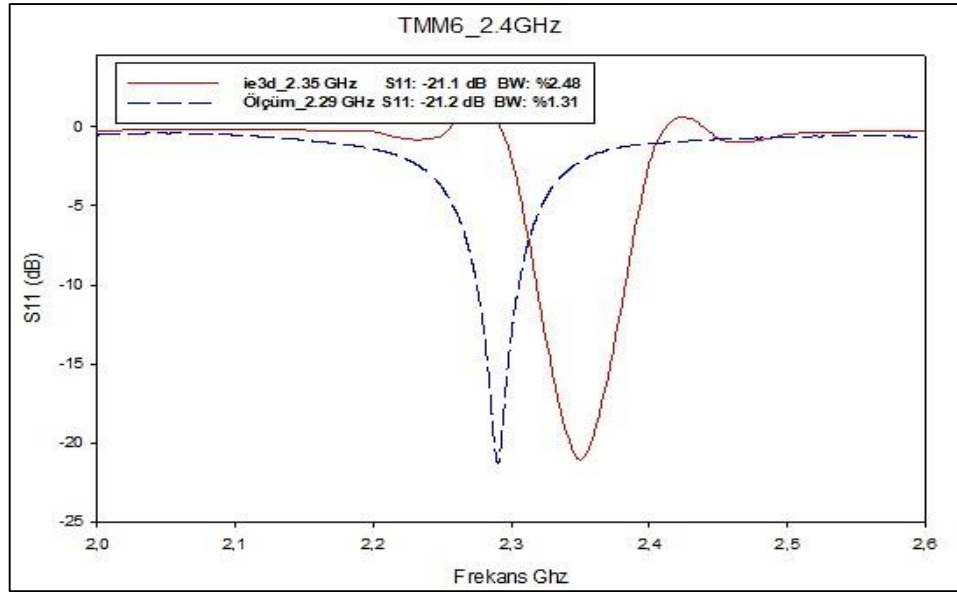
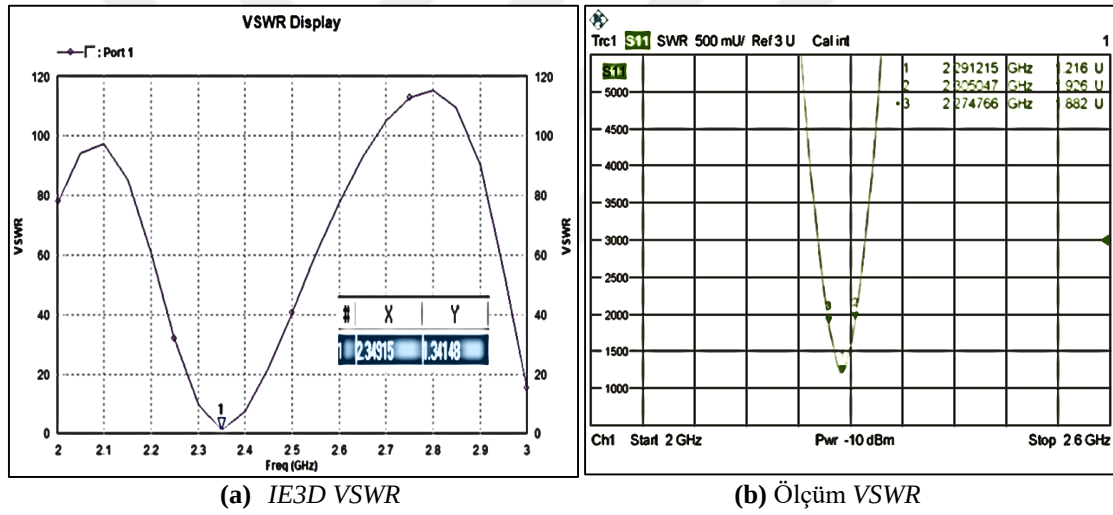
4.6. Rogers TMM6 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

TMM6 alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0023$ 'dir. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre alt tabaka malzemeleri Rogers TMM6 kalınlığı $h = 1.27\text{mm}$ olarak seçilmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers'in sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur.

4.6.1. Rogers TMM6 Alt Tabakasının 2.4 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.

2.4 GHz rezonans frekansında TMM6 alt tabaka için bulunan toprak genişliği $W_g = 41\text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 32.9\text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 33.4\text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 25.3\text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 11$, $Y_f = 16.7$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 2.4 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 2.35 GHz'de değer vererek $S_{11} = -20.8\text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.31\text{ dB}$, bant genişliği yüzdesi $BW = \%2.48$, antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 0.19 olarak bulunmuştur.

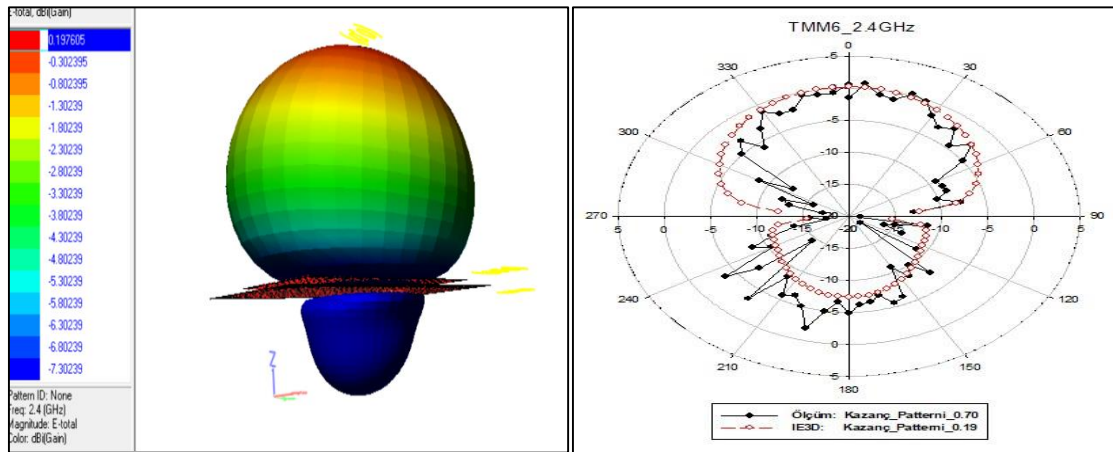
Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 2.4 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 2.29 GHz'de değer vererek $S_{11} = -21.2\text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.216\text{ dB}$, dar bant genişliğine sahip olan antenin ,bant genişliği yüzdesi $BW = \%1.31$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazanç değeri ise beklenen değerlerin altında yani 0.70 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.35. TMM6 2.4 GHz'de S_{11} sonucu

(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.36. TMM6 2.4 GHz'de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

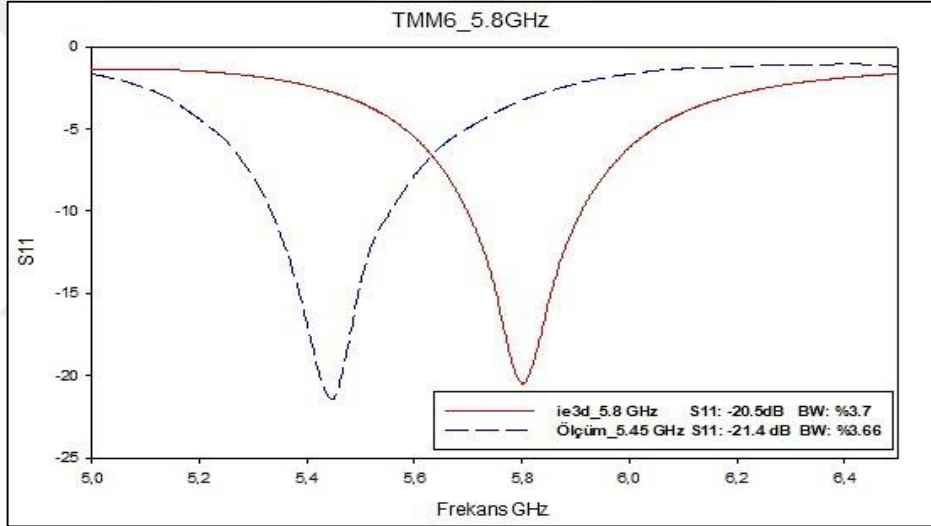
(b) Kazanç Paternleri

Şekil 4.37. TMM6 2.4 GHz'de anten kazancı

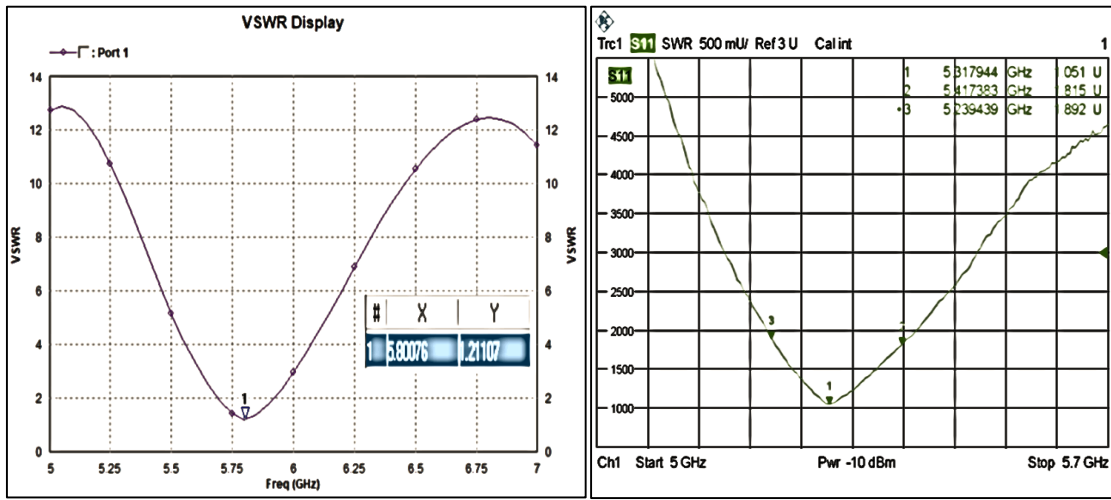
4.6.2. RogersTMM6 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

5.8 GHz rezonans frekansında TMM6 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 21.4$ mm, toprak uzunluğu $L_g = 17.8$ mm, yama genişliği $W_p = 13.8$ mm, yama uzunluğu $L_p = 10.2$ mm ve besleme noktaları $X_f = 3.6$, $Y_f = 6.9$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -20.4$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.21$ dB, bant genişliği $BW = \%3.7$, antenin kazanç değeri ise 4.8 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 5.8 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 5.45 GHz’de değer vererek $S_{11} = -21.4$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.051$ dB, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%3.66$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 5.71 olarak bulunmuştur.



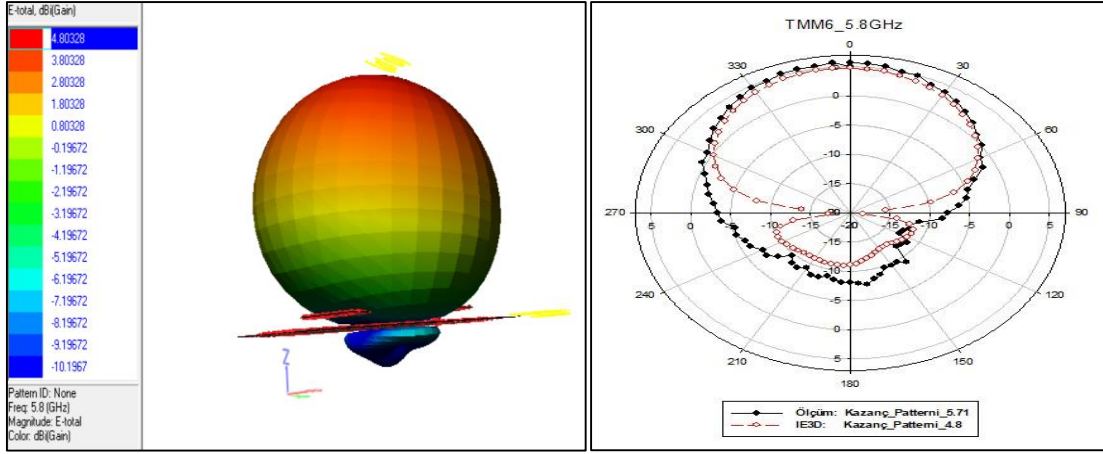
Şekil 4.38. TMM6 5.8 GHz’de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.39. TMM6 5.8 GHz’de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

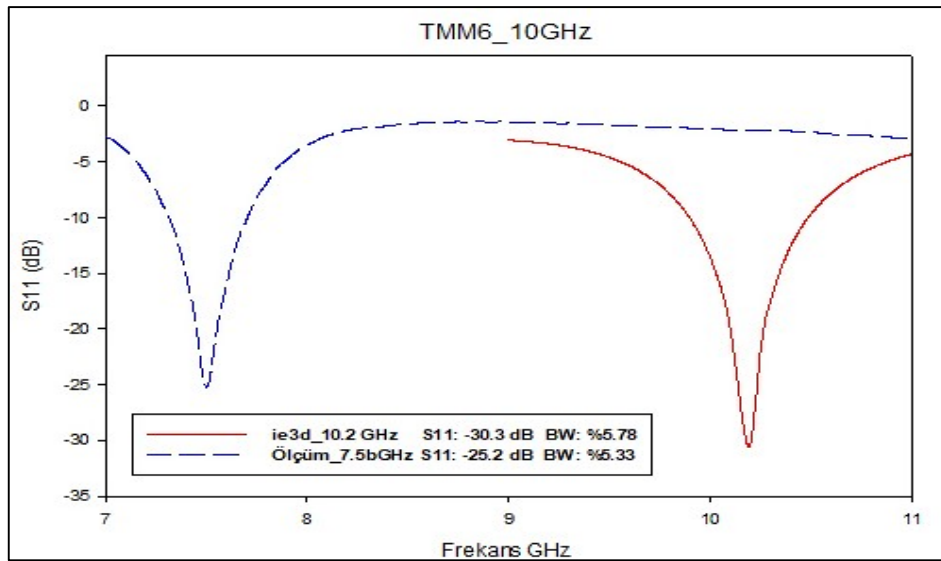
(b) Kazanç Paternleri

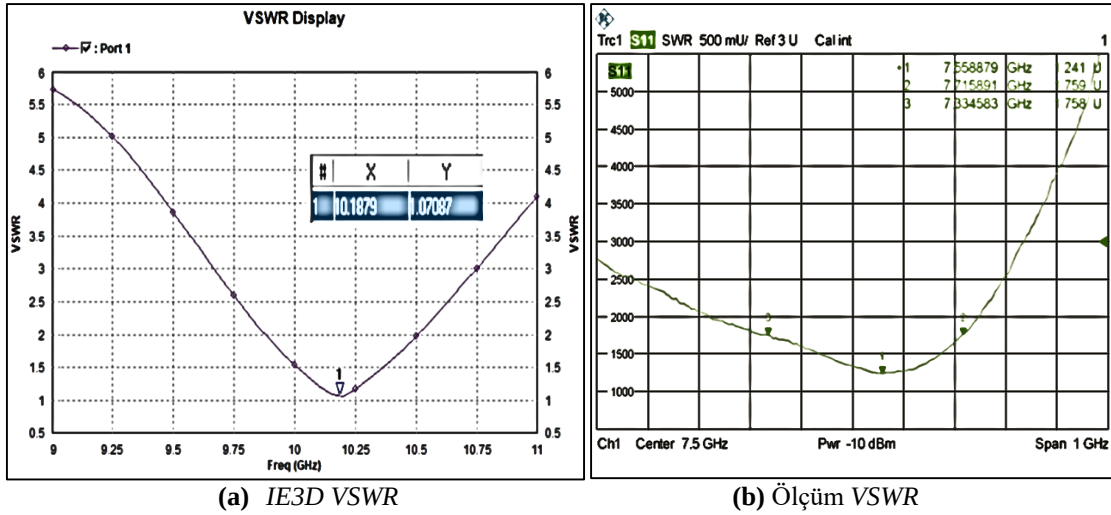
Şekil 4.40. TMM6 5.8 GHz'de anten kazancı

4.6.3. Rogers TMM6 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

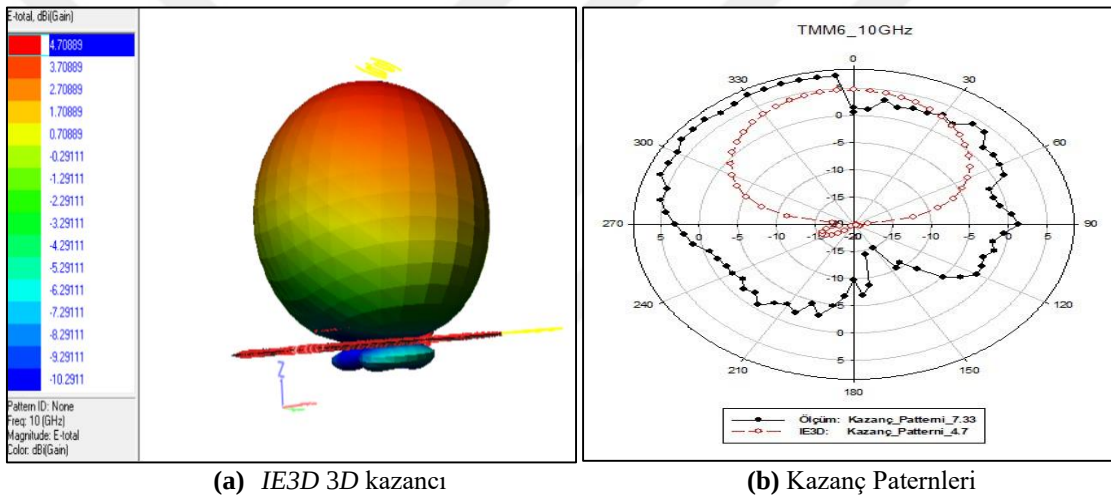
10 GHz rezonans frekansında TMM6 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 15.6$ mm, toprak uzunluğu $L_g = 13.2$ mm, yama genişliği $W_p = 8$ mm, yama uzunluğu $L_p = 5.6$ mm ve besleme noktaları $X_f = 2.5$, $Y_f = 4$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -30.2$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.07$ dB, bant genişliği $BW = \%5.78$, antenin kazanç değeri ise 4.7 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 10 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 7.5 GHz'de değer vererek $S_{11} = -25.2$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.241$ dB, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%5.33$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 7.33 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.41. TMM6 10 GHz'de S_{11} sonucu



Şekil 4.42. TMM6 10 GHz’de VSWR sonucu



Şekil 4.43. TMM6 10 GHz’de anten kazancı

Çizelge 4.4. TMM6 Alt tabaka malzemesinin dikdörtgen MYA simülasyon ve ölçüm sonuçları

TMM6	IE3D					Ölçüm				
	Frekans (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç	Frekans (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç
2.4GHz	2.35	-20.8	1.31	2.48	0.19	2.29	-21.2	1.216	1.31	0.70
5.8GHz	5.8	-20.4	1.21	3.7	4.8	5.45	-21.4	1.051	3.66	5.71
10GHz	10.19	-30.2	1.07	5.78	4.7	7.5	-25.2	1.241	5.33	7.33

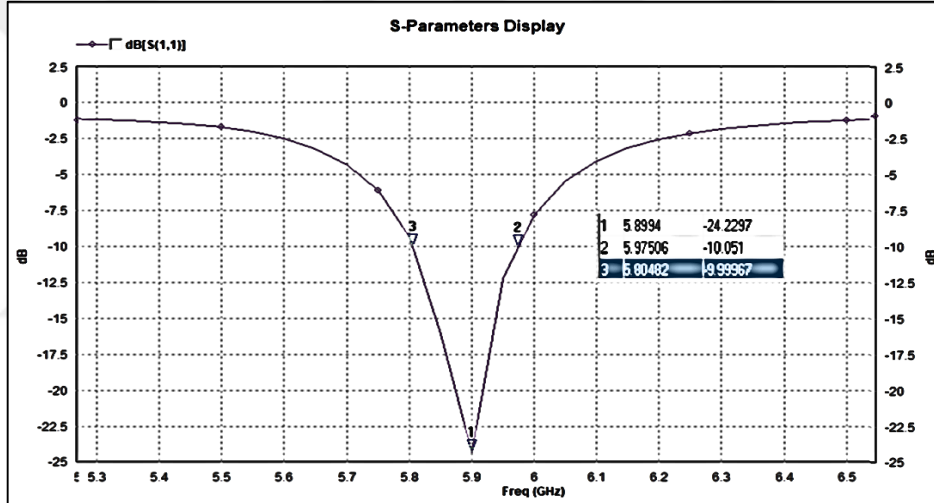
4.7. Duroid6006 Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

Duroid6006 dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0027$ ’dir. Bu alt tabaka malzemesi her iki tarafı 0.35μ ’luk standart ve ters işlem görmüş elektro

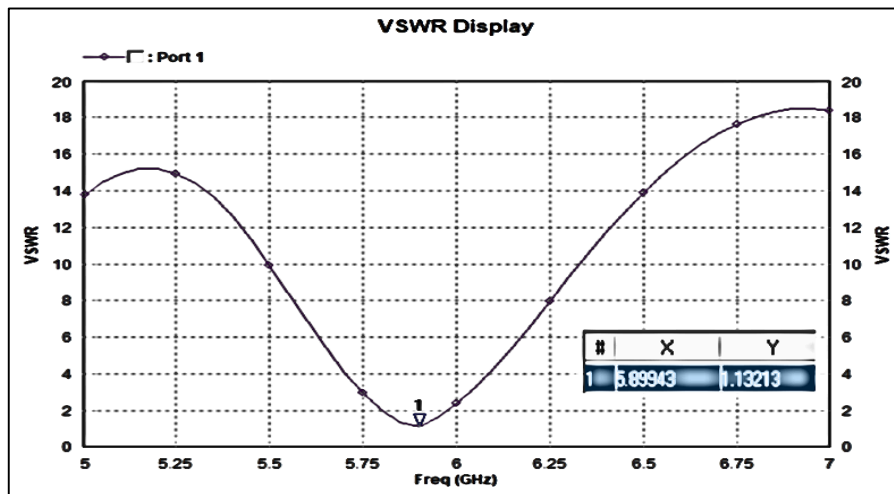
birikimli bakır folyo ile kaplanmış olarak sağlanır. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre alt tabaka malzemeleri *Duroid6006* kalınlığı $h = 1.27 \text{ mm}$ olarak seçilmiştir.

4.7.2. *Duroid6006* Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

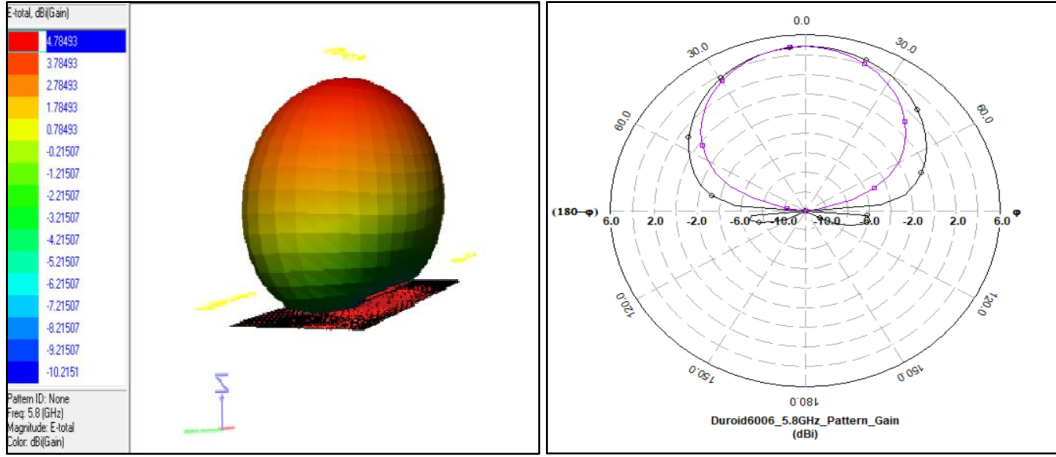
5.8 GHz rezonans frekansında *Duroid6006* alt tabaka için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 21.3 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 17.6 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 13.6 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 10 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 3.8$, $Y_f = 7.2$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -24.2 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.13 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%2.89$ antenin kazanç değeri ise 4.78 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.44. *Duroid6006* 5.8 GHz'de S_{11} sonucu



Şekil 4.45. *Duroid6006* 5.8 GHz'de VSWR sonucu



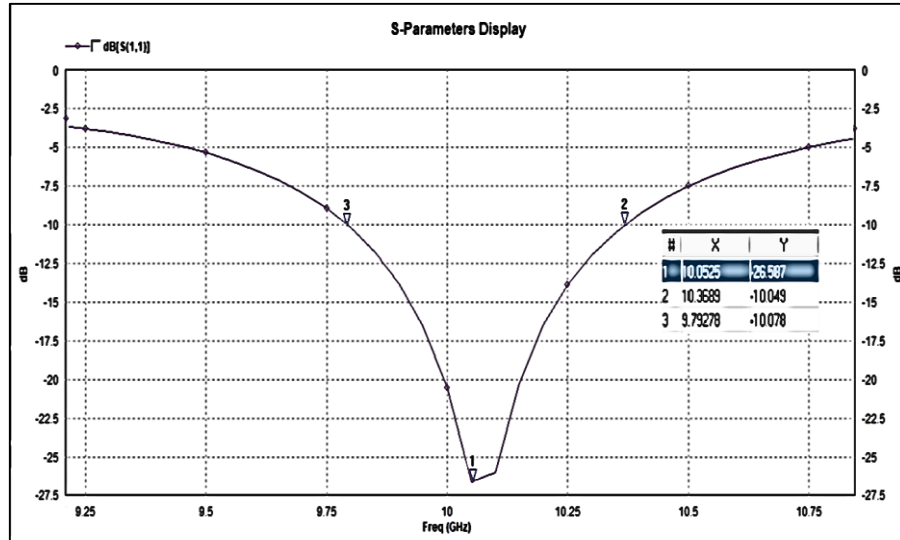
(a) IE3D 3D kazancı

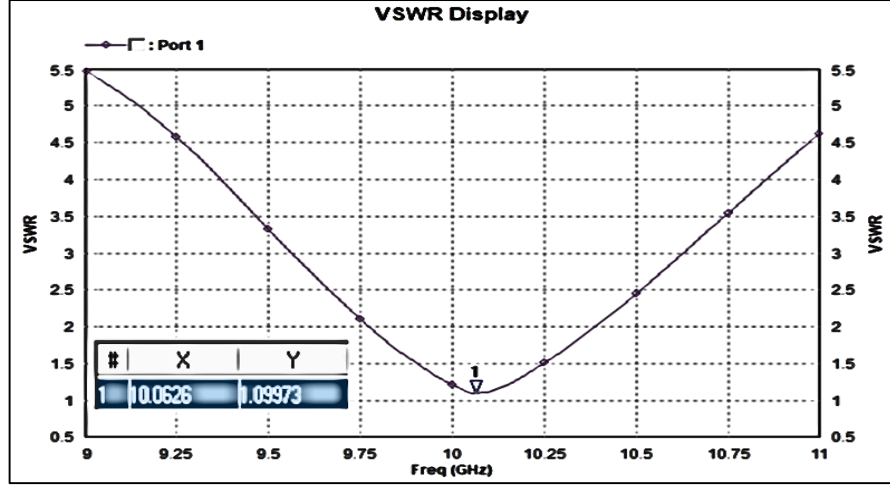
(b) IE3D Kazanç Paterni

Şekil 4.46. Duroid6006 5.8 GHz’de anten kazancı

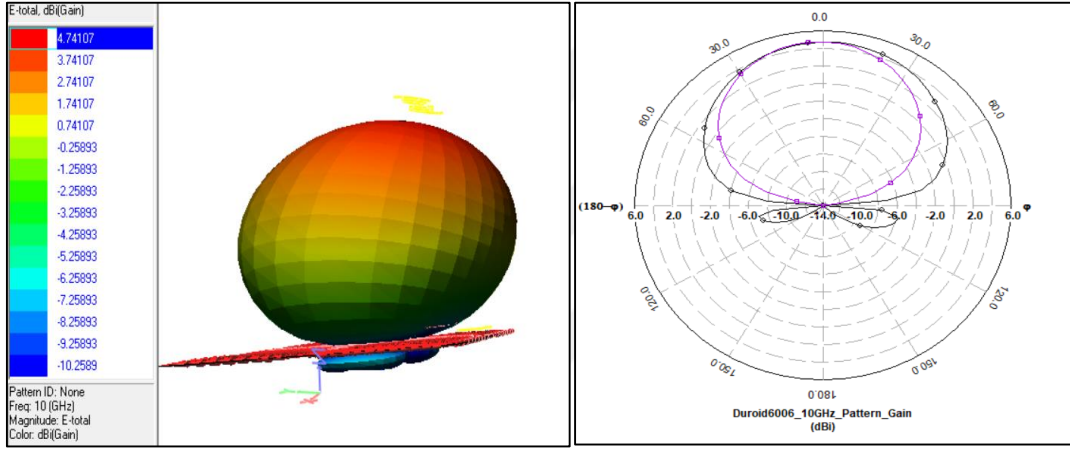
4.7.2. Duroid6006 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

10 GHz rezonans frekansında Duroid6006 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 15.5 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 13.2 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 7.9 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 5.6 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.2$, $Y_f = 3.4$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -26.5 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.09 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%5.73$ antenin kazanç değeri ise 4.74 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.47. Duroid6006 10 GHz’de S_{11} sonucu



Şekil 4.48. Duroid6006 10 GHz’de VSWR sonucu



Şekil 4.49. Duroid6006 10 GHz’de anten kazancı

Çizelge 4.5. Duroid6006 IE3D program ile simüle edilmiş dikdörtgen MYA sonuçları

Duroid6006	S_{11}	VSWR	%BW	Kazanç
5.8 GHz	-24.2dB	1.13	2.89	4.78
10 GHz	-26.5dB	1.09	5.73	4.74

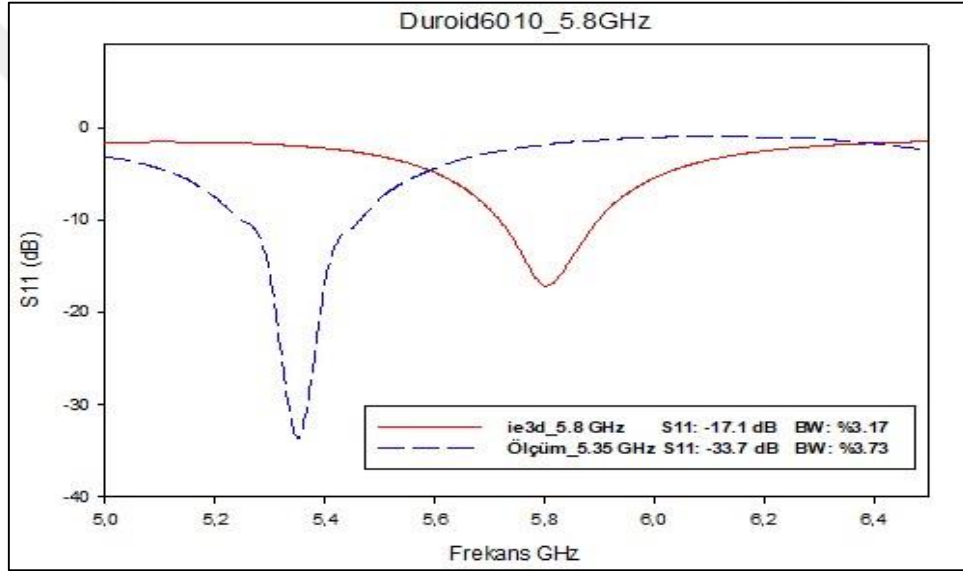
4.8. Duroid6010LM Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

Duroid6010LM dielektrik sabiti $\epsilon_r = 10.2$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0023$ ’dir. Bu alt tabaka malzemesi her iki tarafı $0.35\mu'$ luk standart ve ters işlem görmüş elektro birikimli bakır folyo ile kaplanmış olarak sağlanır. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre Duroid6010’un kalınlığı $h = 1.27mm$ olarak seçilmiştir.

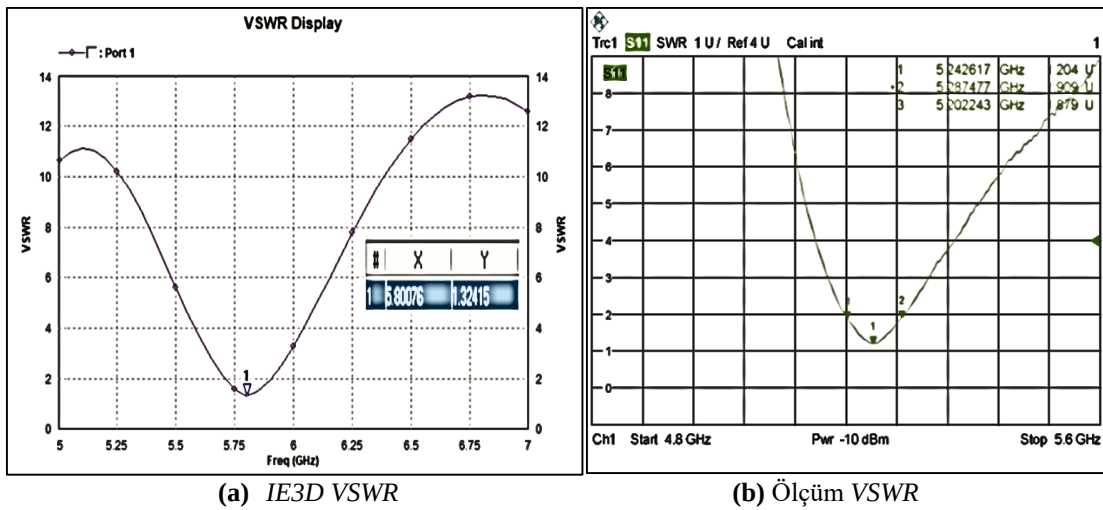
4.8.1. Duroid6010 Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar

5.8 GHz rezonans frekansında *Duroid6010LM* alt tabaka için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 18.5 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 15.3 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 10.9 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 7.7 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.2$, $Y_f = 4.7$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -17 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.32 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%3.17$, antenin kazanç değeri ise 3.27 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 5.8 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 5.35 GHz’de değer vererek $S_{11} = -33.7 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.204 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%3.73$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 3.26 olarak bulunmuştur.



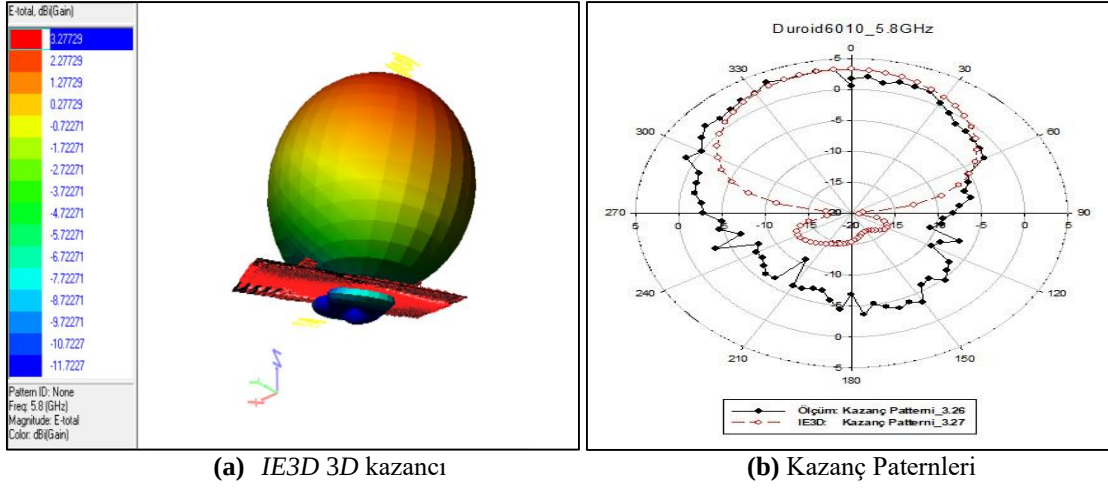
Şekil 4.50. *Duroid6010LM* 5.8 GHz’de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.51. *Duroid6010LM* 5.8 GHz’de VSWR sonucu

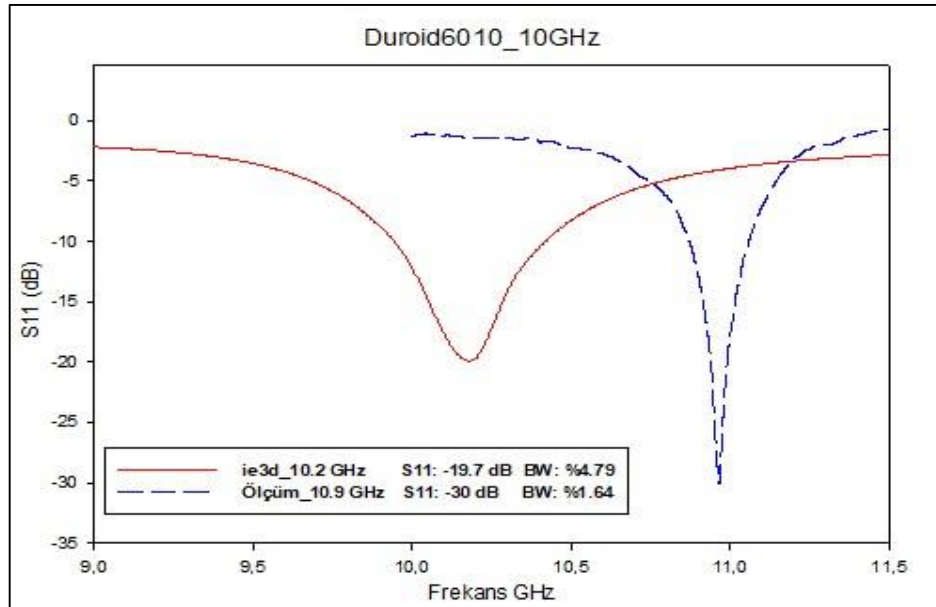


Şekil 4.52. Duroid6010LM 5.8 GHz’de anten kazancı

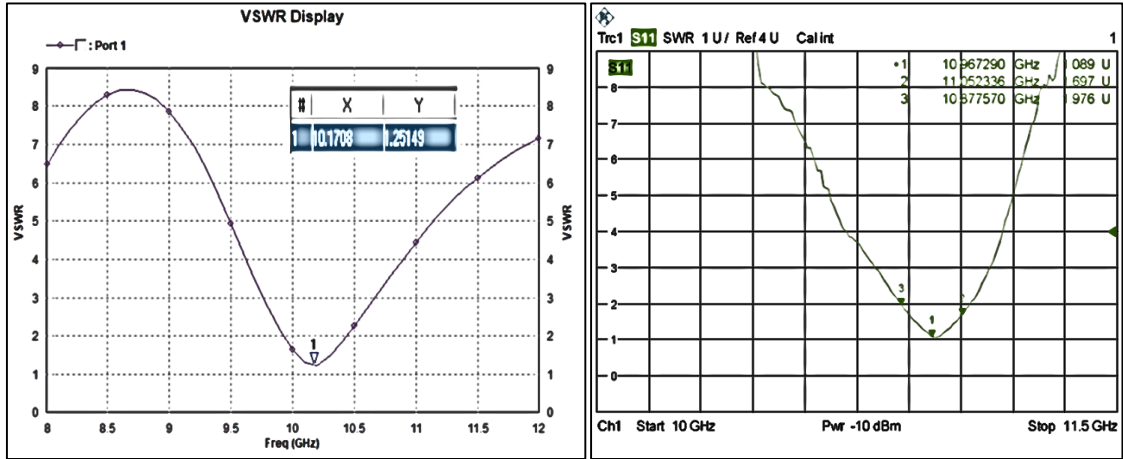
4.8.2. Duroid6010 Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.

10 GHz rezonans frekansında Duroid6010 için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 13.9 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 11.8 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 6.3 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 3.8 \text{ mm}$ ve besleme notaları $X_f = 1.3$, $Y_f = 2.3$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı $S_{11} = -19.9 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.25 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%4.79$ antenin kazanç değeri ise 3.46 olarak bulunmuştur.

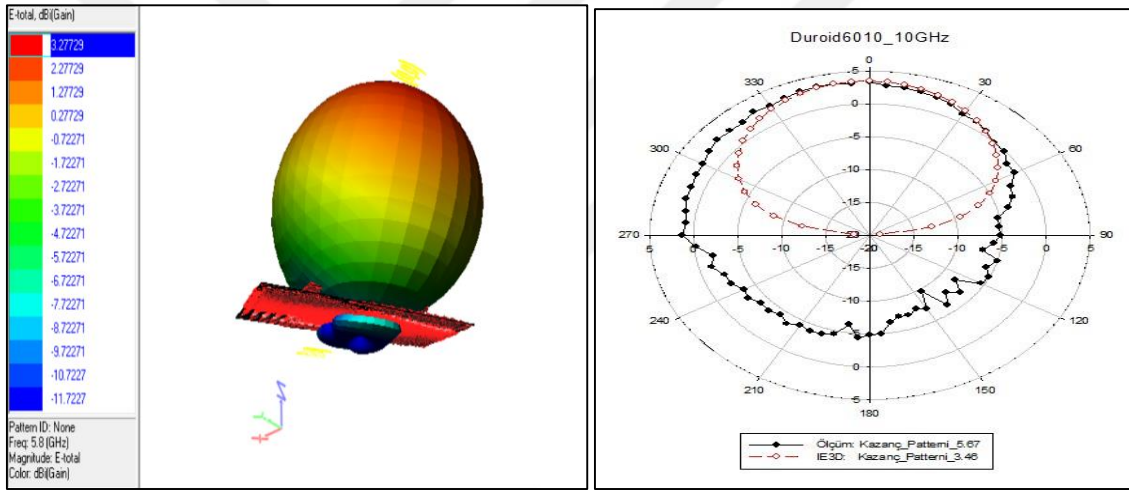
Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 10 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 10.96 GHz’de değer vererek $S_{11} = -30.07 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.204 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%1.64$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 3.37 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.53. Duroid6010, 10GHz’de S_{11} sonucu



Şekil 4.54. Duroid6010, 10GHz’de VSWR sonucu



Şekil 4.55. Duroid6010, 10GHz’de anten kazancı

Çizelge 4.6. Duroid6010 Alt tabakasının dikdörtgen MYA simülasyon ve ölçüm sonuçları

Duroid 6010	IE3D					Ölçüm				
	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç	Frekans (GHz)	S11 (dB)	VSWR	BW (%)	Kazanç
5.8GHz	5.8	-17	1.32	3.17	3.27	5.35	-33.7	1.204	3.73	3.26
10GHz	10.19	-19.9	1.25	4.79	3.46	10.96	-30	1.069	5.08	5.67

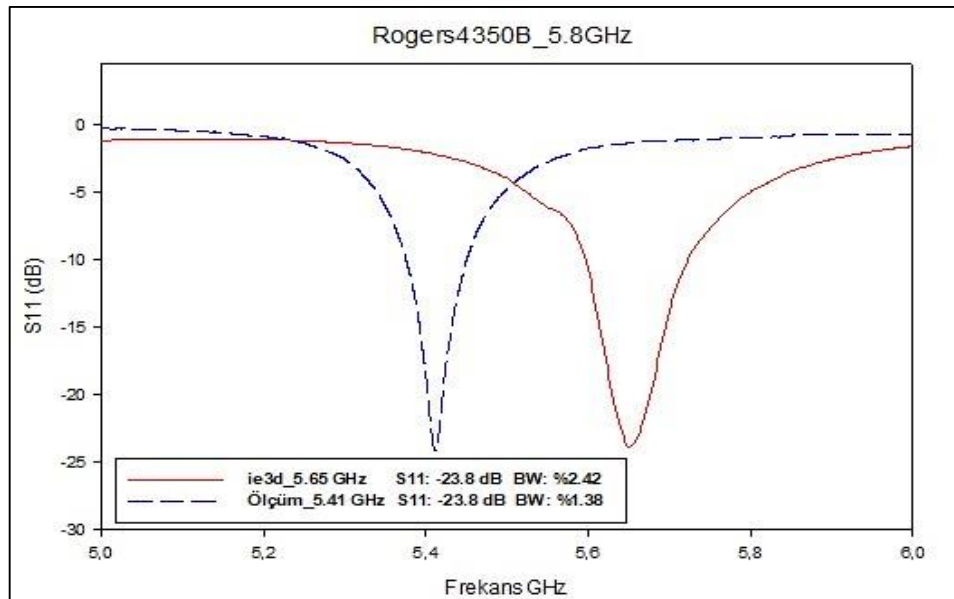
4.9. Rogers4350B Alt Tabakasının Rezonans Frekansları için Sonuçları

Rogers4350B malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.48$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0037$ 'dir. Geleneksel mikrodalga laminatlara göre çok daha düşük bir maliyetle mevcut olan Rogers4350B laminatlar, seramik bazlı malzemeler olarak aktif cihazlar ve yüksek güçlü RF tasarımları için derecelendirilmiştir. Bu seramik alt tabaka malzemenin kalınlığı $h = 0.77\text{mm}$ diğer malzemelere göre daha ince seçilmiştir. Örnek karşılaştırma olarak ince kalınlık seçilerek rezonans frekanslarına göre diğer malzemeler ile karşılaştırılacaktır

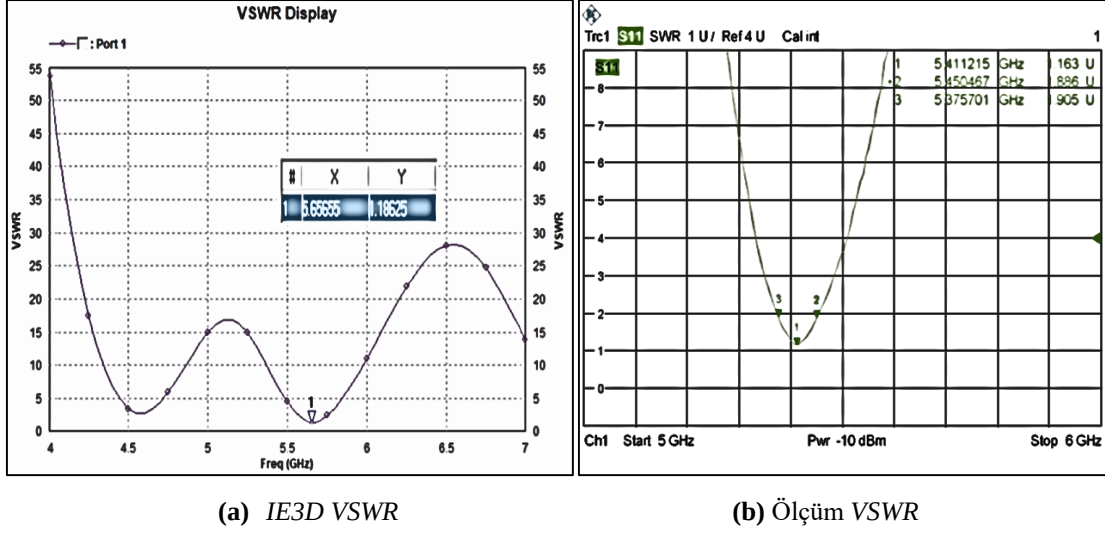
4.9.1. Rogers4350B Alt Tabakasının 5.8 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.

5.8 GHz rezonans frekansında Rogers4350B alt tabaka için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 22\text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 18.5\text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 17.3\text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 13.6\text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2.9$, $Y_f = 4.8$ olarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlara baktığımız zaman izlenilen budur ki, 5.8 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 5.64 GHz'de değer vererek $S_{11} = -23.3\text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.18\text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%2.42$, antenin kazanç değeri ise 3.78 olarak bulunmuştur.

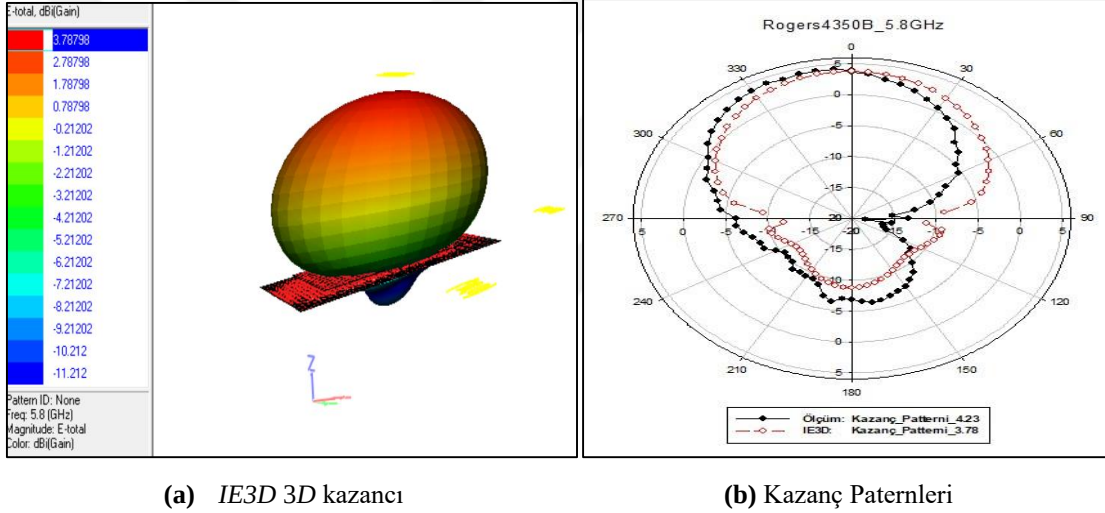
Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 5.8 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 5.41 GHz'de değer vererek $S_{11} = -23.8\text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.163\text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%1.38$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 4.23 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.56. Rogers4350B 5.8 GHz'de S_{11} sonucu



Şekil 4.57. Rogers4350B 5.8 GHz'de VSWR sonucu



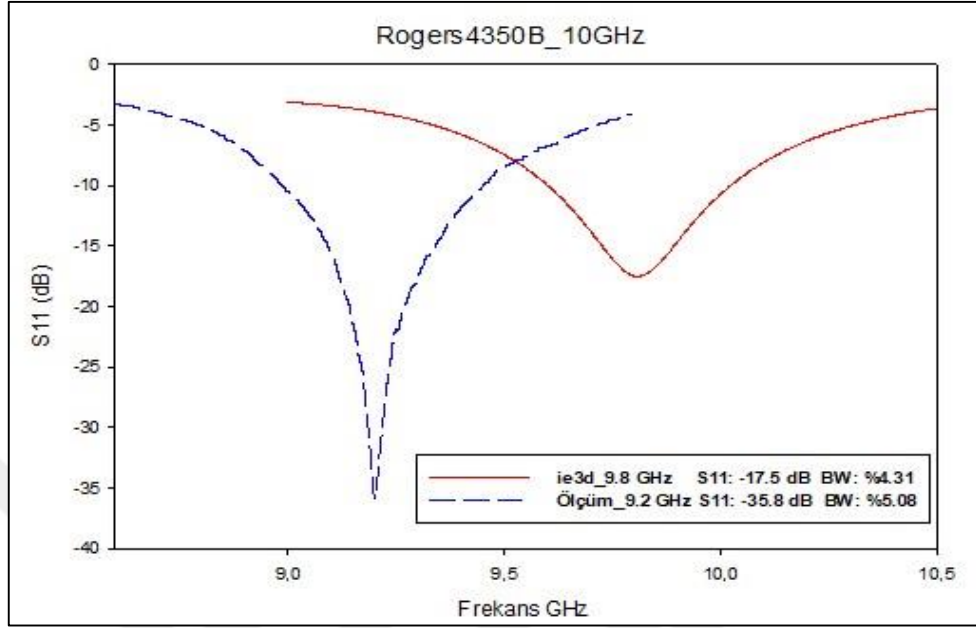
Şekil 4.58. Rogers4350B 5.8 GHz'de anten kazancı

4.9.2. Rogers4350B Alt Tabakasının 10 GHz Rezonans Frekansı için Sonuçlar.

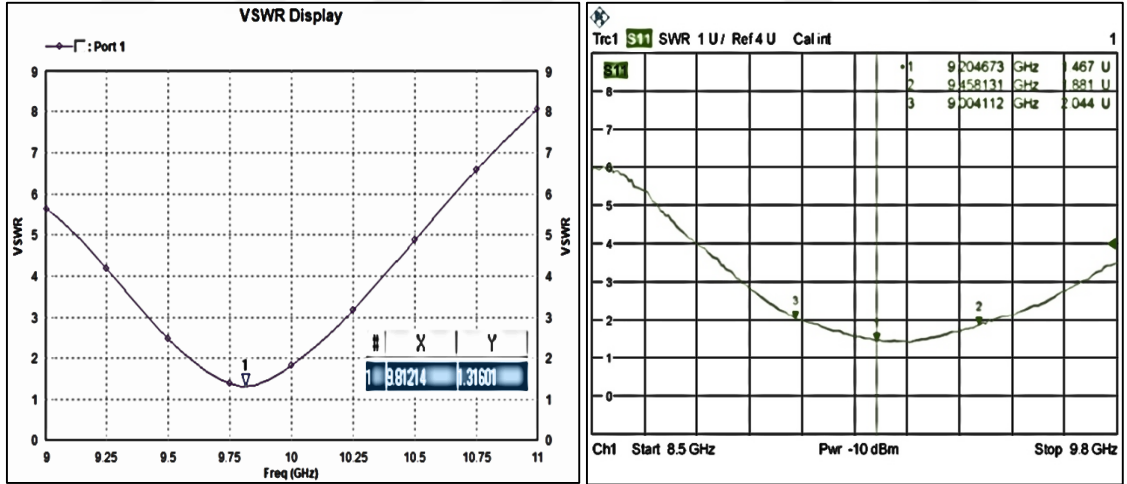
10 GHz rezonans frekansında Rogers4350B için hesaplanan toprak genişliği $W_g = 14.6 \text{ mm}$, toprak uzunluğu $L_g = 12.3 \text{ mm}$, yama genişliği $W_p = 10 \text{ mm}$, yama uzunluğu $L_p = 7.75 \text{ mm}$ ve besleme noktaları $X_f = 2$, $Y_f = 3$ olarak simüle edilmiştir. 10 GHz rezonans frekansında antenin geri dönüş kaybı 9.79 GHz'de sonuç vererek $S_{11} = -17.4 \text{ dB}$, duran dalga oranı $VSWR = 1.31 \text{ dB}$, bant genişliği $BW = \%4.31$, antenin kazanç değeri ise 5.42 olarak bulunmuştur.

Vector Network Analyzer (VNA) ölçüm cihazı ile ölçülmüş antenlerin 10 GHz rezonans frekansında geri dönüş kaybı 9.2 GHz'de değer vererek $S_{11} = -35.8 \text{ dB}$, duran

dalga oranı $VSWR = 1.467 \text{ dB}$, antenin bant genişliği yüzdesi $BW = \%5.08$, izole edilmiş ortamda ölçülen antenin kazancı 5.67 olarak bulunmuştur.



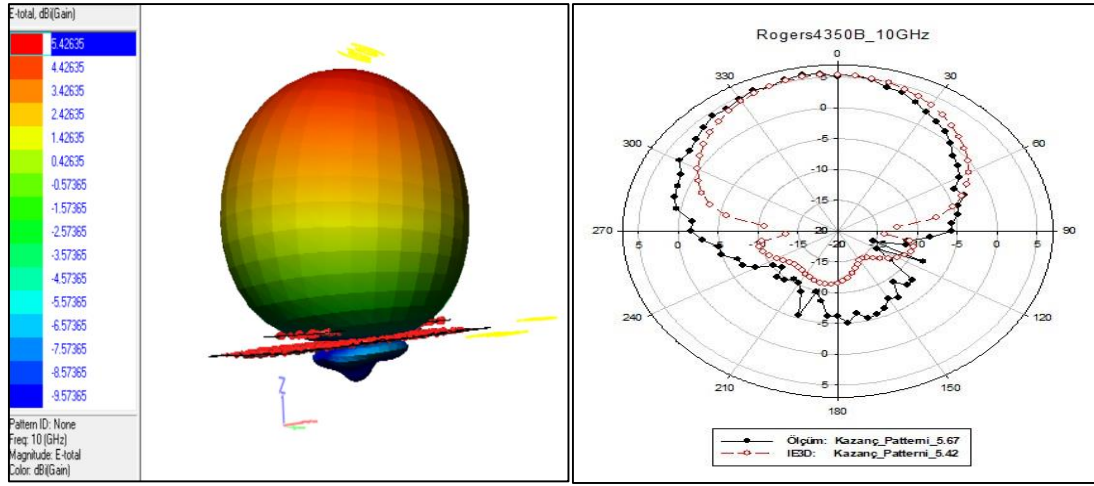
Şekil 4.59. Rogers4350B 10 GHz'de S_{11} sonucu



(a) IE3D VSWR

(b) Ölçüm VSWR

Şekil 4.60. Rogers4350B 10 GHz'de VSWR sonucu



(a) IE3D 3D kazancı

(b) Kazanç Paternleri

Şekil 4.61. Rogers4350B 10 GHz'de anten kazancı

Çizelge 4.7. Rogers4350B Alt tabaka malzemesinin dikdörtgen MYA simülasyon ve ölçüm sonuçları

Rogers 4350B	IE3D					Ölçüm				
	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	G (dB)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	G (dB)
5.8 GHz	5.64	-23.3	1.18	2.32	3.78	5.41	-23.8	1.16	1.38	4.23
10 GHz	9.79	-17.4	1.31	4.31	5.42	9.2	-35.8	1.46	5.08	5.67

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çizelge 5. Alt tabaka malzemelerinin dikdörtgen MYA toplam simülasyon ve ölçüm sonuçları

f_r	Seramik Malzemeler	IE3D					Ölçüm				
		f_r (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	G (dB)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	G (dB)
2.4 GHz	Al_2O_3		-17.5	1.37	2.19	0.99	-	-	-	-	-
	Rogers3006	2.35	-21.0	1.79	2.54	0.45	2.28	-30.36	1.052	1.57	0.82
	Rogers4003	2.35	-24.5	1.33	2.98	3.27	2.30	-25.60	1.069	3.91	2.05
	TMM6	2.35	-20.8	1.31	2.48	0.19	2.29	-21.20	1.216	1.31	0.70
5.8 GHz	Al_2O_3		-24.2	1.13	4.18	2.99	-	-	-	-	-
	Rogers3006	5.89	-24.6	1.16	3.62	4.51	5.50	-15.50	1.071	3.63	4.57
	Rogers4003	5.79	-20.2	1.21	3.95	6.08	5.92	-27.60	1.074	23.9	6.05
	TMM6	5.80	-20.4	1.21	3.70	4.80	5.45	-21.40	1.051	3.66	5.71
	Duroid6010	5.80	-17.0	1.32	3.17	3.27	5.35	-33.70	1.204	3.73	3.26
	Duroid6006		-24.2	1.13	2.89	4.78					
	Rogers4350 B	5.64	-23.3	1.18	2.32	3.78	5.41	-23.80	1.160	1.38	4.23
10 GHz	Al_2O_3		-20.5	1.21	6.08	3.17	-	-	-	-	-
	Rogers3006	10.05	-39.0	1.02	5.42	4.78	8.55	-28.56	1.264	4.67	5.05
	Rogers4003	10.04	-22.6	1.16	8.65	6.05	9.70	-23.40	1.180	3.94	6.94
	TMM6	10.19	-30.2	1.07	5.78	4.70	7.50	-25.20	1.241	5.33	7.33
	Duroid6010	10.19	-19.9	1.25	4.79	3.46	10.96	-30.00	1.069	5.08	5.67
	Duroid6006		-26.5	1.09	5.73	4.74	-	-	-	-	-
	Rogers4350 B	9.79	-17.4	1.31	4.31	5.42	9.20	-35.80	1.460	5.08	5.67

Not: Tabloda en iyi değerler **bold** olarak gösterilmiştir.

Seramik alt tabaka malzemeleri incelenerek MYA dikdörtgen yama üzerinde simüle edilmiş ve tasarlanmıştır. Al_2O_3 malzemesi simüle edilmiş lakin malzeme çok hassas ve kırılğan olduğu için mevcut şartlarda üretilenmemiştir. Simülasyon sonuçları ise Çizelge 5'te verilmiştir. Al_2O_3 seramik alt tabaka malzemesi saflık değeri arttıkça kayıp tanjant değeri de arttığı görülmüştür. Bu nedenle %96 saflık içeren dielektrik sabiti 9.8 olan Alüminyum Oksit baz alınarak simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, en iyi geri dönüş kaybı 5.8 GHz'de -24.2 dB, en iyi bant genişliği ve kazancı 10 GHz'de %6.08 bant genişliği ve 3.17 kazanç değerine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Rogers firmasının sunduğu laminatlar içerisinde seramik tabanlı malzemeler araştırılmış tez çalışmasında kullanılmıştır. *Rogers3006* seramik alt tabaka malzemesi dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6.15$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.002$ olarak sunulmuştur. Rogers tüm malzemeleri için sunduğu farklı kalınlıklar aynı zamanda *Rogers3006*'ı için de geçerlidir. Malzemenin kalınlığı $h = 1.27$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerlere bakıldığında 2.4 GHz 'de çok da iyi sonuç alınamamıştır, lakin en iyi sonucun 10 GHz 'de vermesi gözlemlenmiştir. Koaksiyel beslemeli MYA'nın frekans arttıkça yamanın küçülmesi antenin daha iyi ışıma yapmasına neden olmuştur. Tüm bu nedenlerle seramik *Rogers3006*, 10 GHz 'deki ölçüm değerlerine bakıldığında -28.56 dB geri dönüş kaybı değerine $\%4.67$ bant genişliğine ve 5.05 kazanç değerine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Rogers4003C seramik alt tabaka malzemesi dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.38$, dielektrik kaybı $\tan\delta = 0.0027$ olarak gösterilmiştir. Rogers tüm malzemeleri için sunduğu farklı kalınlıklar aynı zamanda *Rogers4003* için de geçerlidir. Malzemenin kalınlığı $h = 1.27$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm değerlerine bakıldığında antenin en iyi geri dönüş kayıp değeri 5.8 GHz 'de -27.6 dB , en iyi bant genişliği 5.8 GHz 'de geniş bant genişliğine sahip $\%8.65$, en iyi kazanç değeri ise 10 GHz 'de 6.94 olarak ölçülmüştür (Çizelge 5).

TMM6 alt tabaka malzemesinin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 6$, dielektrik kaybı ise $\tan\delta = 0.0023$ 'dir. Kullanılan tüm rezonans frekanslarına göre alt tabaka malzemeleri Rogers *TMM6* kalınlığı $h = 1.27\text{ mm}$ olarak seçilmiştir. Doğru kalınlık rezonans frekansına göre, Rogers'ın sunduğu çeşitli kalınlıklar içinden, formüllere dayanarak ve deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Elde edilen değerlere bakıldığı zaman antenin 2.4 GHz 'de çok da iyi sonuç vermemesi lakin en iyi sonucun 10 GHz 'de vermesi gözlemlenmiştir. Koaksiyel beslemeli MYA'nın frekans arttıkça yamanın küçülmesi antenin daha iyi ışıma yapmasına neden olmuştur. Tüm bu nedenlerle anten 10 GHz 'de -25.2 dB geri dönüş kaybı değerine $\%5.33$ bant genişliğine ve 7.33 kazanç değerine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Seramik malzemelerde *Duroid6010* bir diğer alt tabaka malzemeleri gibi kalınlığı $h = 1.27$ olarak seçilmiştir. Dielektrik değeri diğer malzemelerle kıyasla daha yüksektir ($\epsilon_r = 10.2$) ve Rogers firması tarafından üretilmiştir. Simülasyon ve ölçüm değerleri karşılaştırıldığında antenin 2.4 GHz 'de sonuç vermediği gözlemlenmiştir. *Duroid6010* seramik yapılı alt tabaka malzemesi, 5.8 GHz ve 10 GHz 'de iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 5'de gösterildiği gibi en iyi geri dönüş kaybı 5.8 GHz 'de $-33,7\text{ dB}$, en iyi bant

genişliği 10 GHz’ de %5.08, en iyi kazancında 10 GHz’de 5.67 olarak ölçölmüřtür (Çizelge 5).

Rogers markasının bir diğer seramik alt tabaka malzemesi Rogers4350B, 1.27 mm kalınlıklı seramik alt tabaka malzemesinden farklı olarak bu çalışmada daha ince bir kalınlık seçilmiştir ($h = 0.77$). Dielektrik değeri Rogers’ in bir diğer 4000 serili alt tabaka malzemesi olan Rogers4003C’ye daha yakın bir dielektrik değere sahiptir ($\epsilon_r = 3.48$). Bu malzeme için alınan simölasyon ve ölçüm değeri, 2.4 GHz’ de bir sonuç vermediği gözlemlenmiştir. Buna karşın 10 GHz’de alınan ölçüm sonuçları oldukça iyidir. Çizelge 5’de gösterildiği gibi S_{11} , BW ve G değeri, en iyi ölçüm sonuçları sırasıyla -35,8 dB, %5.08 5.67’dir (Çizelge 5).

Hesaplanan değeri Mentor Graphics Simulation Technology (IE3D) programı ile tasarlanarak simöl edilmiş ve Vektör Network Analizör ölçüm cihazı ile ölçümleri yapılmıştır. Simölasyon ve ölçümler, antenlerin performanslarını belirleyen S_{11} , VSWR, BW ve G gibi parametrelerin değeri, bakılarak yapılmıştır (Çizelge 5).

Tez çalışması ile özğün şekilde tasarlanan ve üretilen Çizelge 6’da sonuçları literatürle oldukça uyumlu olduğu, Wi-Fi, Wimax ve X-Band gibi kablosuz haberleşme uygulamalarında yoğun olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 6. Yapılan Tez Çalışmasının Literatürle uyumluluğunu gösteren karşılaştırma tablosu

Literatür	Seramik Malzeme	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	BW (%)	G (dB)
Aravindraj ve ark., 2017	Al ₂ O ₃	5.8	-19.07	1.250	3.62	-
Ahmed ve Abdullah, 2017	Rogers4350B	5.2	-32.1	1.051	1.73	6.35
Pandey, 2018	TMM6	4.88	-20.33	1.160	6.25	-
Meena ve Meena, 2015	Rogers4003	5.9	-33	-	0.67	5.4
Khare ve ark., 2010	Rogers4003	10	-21.34	1.192	-	8
Tez Çalışması	Al ₂ O ₃	5.8	-24.2	1.130	4.18	2.99
	Rogers4350B	5.41	-23.80	1.160	1.38	4.23
	TMM6	5.45	-21.40	1.051	3.66	5.71
	Rogers4003	5.92	-27.60	1.074	23.9	6.05
	Rogers4003	9.70	-23.40	1.180	3.94	6.94

5.2 Öneriler

Seramik malzemelerin sıcaklık dayanımlarına karşın kırılğan bir yapıyada sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı, özellikle üretim süreci azami dikkat istemektedir. PCB kesim makinesi kullanıldığında malzeme kalınlığının 1 - 2 mm arasında olması önerilir. Ya da daha özellikli kesim makinesi kullanılması gerekmektedir. Bu durumda özellikle yama bölgesinin asit kullanılarak elde edilmesi tercih edilmelidir.

Çalışmalarda görüldü ki koaksiyel besleme daha iyi sonuç vermektedir. Fakat kırılğan ve hassasiyetten dolayı mikroşerit hat besleme yöntemi daha avantajlı olacaktır. Bu nedenle besleme kalınlığının olabildiğince ince olması sonuçların daha iyi olmasını sağlayacaktır.

Seramik tabanlı malzemeleri temel alan bu tez çalışmasında 3 (2.4, 5.8, 10 GHz) rezonans frekansı üzerine çalışılmıştır. Simülasyon ve ölçüm değerlerine bakıldığında en iyi değerlerin genellikle 10 GHz'de olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada literatürde yaygın olarak kullanıldığı ve uygulamalarının daha pratik olması sebebiyle yama şekli olarak dikdörtgen seçilmiştir. Fakat hem bu tezde seçilen rezonans frekansı bölgeleri için, hemde diğer tahsisli rezonans frekansı bölgeleri için farklı yama yapıları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aravindraj, E., Ayyappan, K. ve Kumar, R., 2017, Performance analysis of rectangular MPA using different substrate materials for wlan application, *ICTACT Journal on Communication Technology*, 8 (1), 1447-1452.
- Ardıç, S. B., 2010, 2.4 ghz ISM bandı kablosuz haberleşme sistemleri için yükselteç tipi aktif mikroşerit anten tasarımı, sayısal simülasyonu ve gerçekleşmesi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ataş, İ., Abbasov, T. ve Kurt, M. B., 2019, Development of a High Gain, Dual-Band and Two-Layer Miniaturized Microstrip Antenna for 5.8 GHz ISM and 10 GHz X-Band Applications, *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 34 (10).
- Balanis, C. A., 2016, Antenna theory: analysis and design, John wiley & sons, p.
- Bano, M., Rastogi, A. ve Sharma, S., 2014, Design and simulation of microstrip patch antenna using different substrates, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 3 (11), 3871-3875.
- Bhongale, S., 2015, Design of coaxial feeding rectangular microstrip patch antenna at 2.45 GHz, *Int J Innov Res Comput Commun Eng*, 8, 7245-7249.
- Bird, T. S., 2009, Definition and misuse of return loss [report of the transactions editor-in-chief], *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51 (2), 166-167.
- Güngör, M., Tekin, M. A. Ve Yılmaz, R., 2009, WiMAX: Diğer Genişbant Telsiz Erişim (GTE) Teknolojileri ile Karşılaştırılması, *BTK, SAS Raporları, Ankara*.
- Hadian, A. ve Hassani, H., 2007, Wideband rectangular microstrip patch antenna with U-slot, *The Second European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007*, 1-5.
- Jasim, S., Jusoh, M., Mazwir, M. ve Mahmud, S., 2015, Finding the best feeding point location of patch antenna using HFSS, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10 (23), 17444-17449.
- Jijesh, J., Anusha, S. ve Guna, K., 2017, Design and development of band pass filter for X-band RADAR receiver system, *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 2065-2070.
- Khan, A. ve Nema, R., 2012, Analysis of five different dielectric substrates on microstrip patch antenna, *International Journal of Computer Applications*, 55 (14).

- Khare, A., Nema, R., Gour, P. ve Thakur, R. K., 2010, New multiband E-shape microstrip patch antenna on RT DUROID 5880 substrate and RO4003 substrate for pervasive wireless communication, *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.
- Kumar, G. ve Ray, K. P., 2003, Broadband microstrip antennas, Artech house, p.
- Kumar, S., 2020, Design and Analysis of T-shape Microstrip Antenna for WLAN and C Band Application.
- Laminates, H. F., 1998, RO3000® Series Circuit Materials, *ROGERS corporation, USA*.
- Mahfuzur Rahman, K. ve Azharul Islam, S., 2020, Optimization of E-shaped Microstrip Patch Antenna for C Band Application.
- Majumder, A., 2013, Rectangular microstrip patch antenna using coaxial probe feeding technique to operate in S-band, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4 (4), 1206-1210.
- Meena, D. ve Meena, R., 2015, Gain and directivity enhancement of microstrip patch array antenna with metallic ring for WLAN/Wi-Fi applications, *2015 Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS)*, 9-11.
- Moussa, M. S. ve Kouki, A. B., 2011, A microstrip tag antenna for RFID applications in health care, *ICM 2011 Proceeding*, 1-6.
- Nakar, P. S., 2004, Design of a compact microstrip patch antenna for use in wireless/cellular devices.
- Navya, Y. ve John, D. A., Design of Rectangular Microstrip Patch Antenna Array with Coaxial Feeding for X-Band Communications.
- Öztürk, E., 2004, WLAN kablosuz yerel alan ağları (wireless local area networks) teknolojisinin incelenmesi, mevcut düzenlemelerin değerlendirilmesi ve ülkemize yönelik düzenleme önerisi, *Uzmanlık Tezi. Ankara*.
- Padhi, S. K., Karmakar, N. C., Law, C. ve Aditya, S., 2003, A dual polarized aperture coupled circular patch antenna using a C-shaped coupling slot, *IEEE transactions on antennas and propagation*, 51 (12), 3295-3298.
- Pandey, A., 2018, Equilateral Triangular Microstrip Patch Antenna using Different Substrates, *Global Journal of Research In Engineering*.
- Patel, M., Kuchhal, P., Lal, K. ve Mishra, R., 2017, Design and analysis of microstrip patch antenna array using different substrates for X-band applications, *Int. J. Appl. Eng. Res*, 12 (19), 8577-8581.
- Paul, L. C., Hosain, M. S., Sarker, S., Prio, M. H., Morshed, M. ve Sarkar, A. K., 2015, The effect of changing substrate material and thickness on the performance of inset feed microstrip patch antenna, *American Journal of Networks and Communications*, 4 (3), 54-58.

- Richerson, D. W., 2012, The magic of ceramics, John Wiley & Sons, p.
- Salami, A. F., Zakariyya, O. S., Sadiq, B. O. ve Abdulrahman, O. A., 2017, Evaluative Assessment of an X-band Microstrip Patch Antenna for Wireless Systems, *arXiv preprint arXiv:1709.00613*.
- Series Datasheet, R. R., 2015, Rogers Corporation Advanced Connectivity Solutions, *Chandler, USA*.
- Sheet, D., 2011, Rogers Corporation, Revised.
- Tansarıkaya, İ., 2007, Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Tiwari, A., Gerhardt, R. A. ve Szutkowska, M., 2016, Advanced Ceramic Materials, John Wiley & Sons, p.
- Tripathi, R. K., 2011, Dual Frequency Wideband Rectangular Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication Systems.
- Tütüncü, B., 2020, Microstrip Antenna for 5G Communication: Design and Performance Analysis, *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1-4.
- Ullah, M. H. ve Islam, M., 2012, Design of a modified W-shaped patch antenna on Al₂O₃ ceramic material substrate for Ku-Band, *Chalcogenide Letters*, 9 (2), 61-66.
- Ullah, M. H., Islam, M. T., Mandeep, J. ve Misran, N., 2012, Design of a compact multiband antenna on Al₂O₃ ceramic material substrate, *2012 15th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, 221-224.
- Urme, S. L., Monsur, S. ve Jannat, A., 2013, Advance Technic of Rectangular Microstrip Patch Antenna with Ebgs, *American Academic & Scholarly Research Journal*, 5 (5), 88.
- Yang, C.-F., Hsieh, C.-Y. ve Cheng, C.-M., 2007, Design Small-Size and Wide-Band T-Shaped Patch Antenna on Ceramic Substrate, *2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2919-2922.
- Yılmaz, E. Ve Öztürk, E., 2007, Yeni Nesil Kablosuz İletişim Teknolojileri Karşılaştırmalı Analizi, EMO III. Geliştirme Teknolojileri Ulusal Sempozyumunda sunuldu (GTUSEM 2007