İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YARIKLI MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZAYNI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Emre ÇETME

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

Şubat 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YARIKLI MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZAYNI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Emre ÇETME
(504061315)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ali YAPAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim AKDUMAN (İTÜ)
Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ (YTÜ)

Şubat 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, yüksek lisans eğitimim konusunda bana en büyük desteği ve morali veren, bugün yanımda olamasa da hissedeceğini düşündüğüm, maneviyatıyla bana uzaklardan güç aşılayan ve en önemlisi beni bugünlere getiren rahmetli anneme, minnet duygularımla ithaf ediyorum.

Yüksek lisans eğitimim boyunca; akademik başarıları bir yana, mükemmel kişilikleri ile tanışmak ve birlikte çalışmaktan onur duyduğum hocalarım Ali YAPAR ve Funda AKLEMAN'a, iş hayatının yorucu temposu içerisinde desteğini daima hissettiğim yöneticim Ömer BORANCI'ya, en yoğun ve yorucu günlerimde bu süreci neredeyse benimle birlikte yaşayan ev arkadaşım Tolga AY'a, tezin hazırlanışı esnasında zamanını ayırıp, tecrübelerini benden esirgemeyen arkadaşım Nuran DEMİRCİ'ye, varlığıyla beni hayata bağlayan dünya tatlısı yeğenim Efe UŞMAN'a, bir eğitimci olarak gururla, sevinci birlikte yaşacağına inandığım babam Muzaffer ÇETME'ye, en dar günlerimde sağladığı karşılıksız burs ile bu yolda beni yalnız bırakmayan TÜBİTAK-Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na, sunduğu olanaklar, kazandırdığı vasıf ve güçlü akademik birikimi ile ufkumu genişleten İstanbul Teknik Üniversitesi'ne en içten duygularla teşekkür ederim, sizler olmasaydınız herşey çok daha zor olurdu.

Aralık 2008

Emre ÇETME

Elektronik ve Haberleşme Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR ..... **iv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
SEMBOL LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **ix**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER **5**
2.1 Mikroşerit Yama Antenlerin Özellikleri 5
2.2 Mikroşerit Yama Antenlerin Avantajları ve Deazavantajları 7
2.3 Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Teknikleri 8
2.3.1 Mikroşerit besleme 8
2.4 Mikroşerit Yama Antenlerin Analiz Metotları 9
2.4.1 Transmiyon hat modeli 9
2.4.1.1 Saçaklama etkisi 9
2.4.1.2 Etkin uzunluk, rezonans frekansı ve etkin genişlik 10
2.4.1.3 Rezonans giriş empedansı 11
2.5 Kalite Faktörü, Band Genişliği ve Verimlilik 14
3. MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZAYNI **17**
3.1 Ansoft HFSS Paket Programı 17
3.1.1 Ansoft HFFS'in özellikleri 18
3.2 Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Dizaynı 19
3.2.1 Dikdörtgensel mikroşerit yama anten dizayn temel parametreleri 19
3.2.1.1 Operasyon frekansı 19
3.2.1.2 Dielektrik sabiti 20
3.2.1.3 Dielektrik profilin yüksekliği 20
3.2.2 Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten dizaynı 20
3.2.3 U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten dizaynı 28
3.2.4 U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten dizaynı 35
3.2.5 Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten dizaynı 41
3.2.6 Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten dizaynı 48
4. SONUÇ VE ÖNERİLER **57**
KAYNAKLAR **61**
ÖZGEÇMİŞ **63**

KISALTMALAR

ALPS **:** Adaptive Lanczos Pade Scan
BW **:** Band Width
FEM **:** Finite Element Method
GSM **:** Global System for Mobile Communication
HFSS **:** High Frequency Structure Simulator
HPBW **:** Half Power Beam Width
IC **:** Integrated Circuit
ISM **:** Industrial Scientific Medical Band
PCB **:** Printed Circuit Board
RF **:** Radio Frequency
SAR **:** Specific Absorption Rate
SPICE : Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
TDR **:** Time Domain Reflectometer
TLM **:** Transmission Line Method
UHF **:** Ultra High Frequency
UMTS **:** Universal Mobile Teleommunications System
VHF **:** Very High Frequency
VSWR : Voltage Standing Wave Ratio

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : 1.79 GHz için parametrik sonuçlar.....26
Çizelge 3.2 : 2.45 GHz için parametrik sonuçlar.....33
Çizelge 3.3 : 1.36 GHz için parametrik sonuçlar.....33
Çizelge 3.4 : 1.81 GHz için parametrik sonuçlar.....40
Çizelge 3.5 : 2.02 GHz için parametrik sonuçlar.....40
Çizelge 3.6 : 1.98 GHz için parametrik sonuçlar.....46
Çizelge 3.7 : 2.42 GHz için parametrik sonuçlar.....54
Çizelge 3.8 : 1.52 GHz için parametrik sonuçlar.....54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Mikroşerit yama antenin yapısı. 5
Şekil 2.2 : Mikroşerit yama antenlerde kullanılan temel yama şekilleri. 6
Şekil 2.3 : Mikroşerit besleme. 8
Şekil 2.4 : Empedans dönüştürücü yarıklar. 13
Şekil 3.1 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten. 21
Şekil 3.2 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten S_{11} grafiği. 22
Şekil 3.3 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten VSWR grafiği. 23
Şekil 3.4 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten Z_i grafiği. 24
Şekil 3.5 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 3-boyutlu. uzak alan yönlendiricilik (ışıma) paterni. 25
Şekil 3.6 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2-boyutlu uzak alan yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni-1.79 GHz. 26
Şekil 3.7 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten. 27
Şekil 3.8 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten S_{11} grafiği. 28
Şekil 3.9 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten VSWR grafiği. 29
Şekil 3.10 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten Z_i grafiği. 30
Şekil 3.11 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2.45 GHz ve 1.365 GHz'de 3-boyutlu uzak alan yönlendiricilik (ışıma) paterni. 31
Şekil 3.12 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2-boyutlu uzak alan yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni-2.45 GHz. 32
Şekil 3.13 : U-tipi yarıklı dikdörtgenlsel mikroşerit yama antenin 2-boyutlu uzak alan yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni-1.365. 32
Şekil 3.14 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten. 34
Şekil 3.15 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten S_{11} grafiği. 35
Şekil 3.16 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten VSWR grafiği. 36
Şekil 3.17 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten Z_i grafiği. 37
Şekil 3.18 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.81 GHz ve 2.02 GHz'de 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni. 38
Şekil 3.19 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.81 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni. 39
Şekil 3.20 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.02 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni. 39
Şekil 3.21 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten. 41
Şekil 3.22 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten S_{11} grafiği. 42
Şekil 3.23 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten VSWR grafiği. 43
Şekil 3.24 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten Z_i grafiği 44
Şekil 3.25 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama antenin 1.98 GHz'de 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni. 45
Şekil 3.26 : Simterik U-tipi yarıklı mikroşerit yama antenin 1.98 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni. 46
Şekil 3.27 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten. 47
Şekil 3.28 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten S_{11} grafiği. 48

Sayfa

Şekil 3.29 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten VSWR grafiği.49
Şekil 3.30 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten Z_i grafiği. 50
Şekil 3.31 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.42 GHz ve 1.52 GHz'de 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni. 52
Şekil 3.32 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.42GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni. 53
Şekil 3.33 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.52 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni. 53

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{D_{max}}$	: Maksimum anten yönlendiriciliği
$\mathbf{E_1}$	: Birinci yarığın oluşturduğu elektrik alan
$\mathbf{e_{rad}}$	: Işıma verimliliği
$\mathbf{f_0}, \mathbf{f_{rc}}$	: Operasyon ve rezonans frekansı
$\mathbf{G_{max}}$	: Maksimum anten kazancı
G_1, G_{12}, G_t	: Giriş, çıkış-giriş transfer ve toplam iletkenlik
$\mathbf{H_2}$	: İkinci yarığın oluşturduğu manyetik alan
$HPBW_H$	: Yatay düzlemde yarım güç demet genişliği
$HPBW_V$	: Dikey düzlemde yarım güç demet genişliği
$\mathbf{h}$	: Dielektrik profilin yüksekliği
$\mathbf{k_0}$	: Boş uzay propagasyon sabiti
$\mathbf{L}$	: Dikdörtgen yamanın uzunluğu
Q_t, Q_{rad}, Q_c..	: Toplam, ışıma, iletkenlik, dielektrikve yüzey dalgaları kalite faktörleri
$\mathbf{R_{in}}$	: Giriş rezistansı
$\mathbf{S_{11}}$	: Geri yansıma kaybı
$\mathbf{t}$	: Yama kalınlığı
VSWR	: Voltaj duran dalga oranı
$\mathbf{V_0}$	: İki yarık arasındaki gerilim farkı
$\mathbf{W}, \mathbf{w_0}, \mathbf{w_1}$	: Dikdörtgen yamanın genişliği, mikroşerit hattın genişliği ve uzunluğu
w_2, w_3, w_4..	: Dikdörtgen yama üzerindeki yarıkların ölçüleri
y_0, y_1	: Empedans dönüştürme yarığının uzunluğu ve genişliği
$\mathbf{Y_{in}}$	: Anten giriş admitansı
Z_i, Z_{in}, Z_c	: Anten giriş empedansı, iletim hattı karakteristik empedansı
$\mathcal{E}_0, \mathcal{E}_r, \mathcal{E}_{eff}$	: Boş uzay dielektrik katsayısı, malzeme dielektrik sabiti, etkin dielektrik sabiti
μ_0	: Boş uzay manyetik geçirgenlik katsayısı
v_0	: Boş uzay ışık hızı
λ_0	: Boş uzay dalga boyu
$\boldsymbol{\varphi}$	: Küresel koordinat sistemi boylam açısı
$\boldsymbol{\theta}$	: Küresel koordinat sistemi enlem açısı

YARIKLI MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZAYNI

ÖZET

Bu çalışmada, mobil haberleşme cihazlarının gereksinimlerini karşılayabilecek özelliklerde mikroşerit yama anten tasarımı amaçlanmıştır. Mobil haberleşme teknolojileri, günümüzde hızla gelişirken, mobil ekipmanlar da bu değişime ayak uydurabilmek amacıyla daha komplike problemlere cevap verebilecek donanıma gereksinim duymaktadır. Mobil cihazlar günümüzde, boyut olarak küçülmekte, birden çok servisi aynı anda sunmakta, yüksek data indirme potansiyeline sahip geniş band iletişimi desteklemektedir. Bununla birlikte insan sağlığına olan etkileri minimuma indirgenecek şekilde dizayn edilmektedir.

Bu gereksinimleri sağlamak için en uygun anten modeli mikroşerit yama antenlerdir. İlk mikroşerit yama anten 1953 yılında çizilerek patenti alınmasına rağmen, asıl gelişimi 1970'li yıllarda gerçekleşti. Mikroşerit yama antenler, günümüz mobil haberleşme teknolojisinin gereksinimlerini karşılayabilme potansiyeli nedeniyle bilim camiasının odağında yer almaktadır. Küçük profilli düzlemsel yapısı, hafifliği, dayanıklılığı, montaj kolaylığı, baskılı devre teknolojisi ile kolay ve ucuza yüksek sayılarda üretilebilmesi, yama üzerinde yapılabilen konfigürasyon değişiklikleri ile çeşitli parametrik özelliklerin elde edilebilmesi mikroşerit yama antenleri ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte düşük ışıma verimliliği, düşük güçlü yapısı, yüksek kalite faktörü, yetersiz polarizasyon saflığı, sahte besleme ışıması, yetersiz band genişliği oranları başlıca dezavantajlarıdır. Çeşitli teknikler kullanılarak dezavantajları bertaraf edilebilmektedir.

Çalışmada mikroşerit beslemeli, dikdörtgensel yama antelere odaklanılmıştır. İletim hat modeli (TLM) hesaplamaları baz alınarak 1800 MHz'de rezonansa gelen bir konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten dizayn edilmiştir. Dizayn belirtimi gereği, belli bir yükseklikte, Fr-4 epoxy dielektrik profil kullanılarak operasyon frekansı belirlenmiştir. Bu belirtimler doğrultusunda, iletim hat modeli formülasyonları kullanılarak dikdörtgensel yamanın boyutları hesaplandı. Ansoft HFSS paket programı yardımıyla dizayn, optimizasyon ve simülasyon süreçleri gerçekleştirilerek, parametrik sonuçlar tartışılmıştır.

Çalışmanın sonraki aşamalarında, mevcut konvansiyonel mikroşerit yama antenin boyutları değiştirilmeden, üzerinde oluşturulan yarıklı yapılar vasıtasıyla rezonans frekansının farklı bir banda kaydırılması, ek rezonans frekansları oluşturularak, yapıya çoklu-band operasyon yeteneğinin kazandırılması, band genişliği, yönlendiricilik, ışıma verimliliği ve kazanç başta olmak üzere parametrik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

İlk aşamada, U-tipi yarık oluşturularak 2.45 GHz ve 1.365 GHz'de rezonansa gelen dual-band bir tasarım elde edilmiştir. Yapı, 2.45 GHz'de ISM-2.4 bandını tümünü kapsayabilecek band genişliği, yüksek ışıma verimliliği ve yönlendiricilik değerleri ile ışımaktadır. Fakat 1.365 GHz 'de ışıma verimliliği ve kazanç değerleri geliştirilmelidir.

Bir sonraki adımda, U-tipi yarığın konumu değiştirilerek, rezonans frekansları 1.81 GHz ve 2.02 GHz değerlerine kaydırılmıştır. Bu frekans değerlerinin, GSM-1800 ve UMTS-2000 bandlarının merkezinde olması önem teşkil etmektedir. Fakat, band genişlikleri ve 2.02 GHz'deki ışıma verimliliği değeri geliştirilmelidir.

Dördüncü aşamada, mevcut yarıklı yapıya ters simetrik U-tipi bir yarık daha eklenerek, rezonans frekansı 1.98 GHz'e kaydırılmıştır. Bu değerde empedans uygunlaştırma başarıyla gerçekleştirilmesine rağmen malzeme kayıpları ve yüksek kalite faktöründen kaynaklandığını düşündüğümüz ışıma verimliliği ve dolayısıyla kazanç değeri beklenenin altında çıkmıştır.

Son aşamada simetrik U-tipi yarığın konumu değiştirilerek 2.42 GHz ve 1.52 GHz frekans değerlerinde rezonansa gelen dual-bandlı bir yapı elde edilmiştir. 2.42 GHz frekansında ISM-2.4 bandını kaplayabilecek band genişliği oranında, yüksek verimlilik ve yönlendiricilik değerleri elde edilirken, 1.52 GHz frekansında empedans uygunlaştırma işleminin tam yapılamaması nedeniyle ışıma verimliliği ve kazanç değerleri beklenenin altındadır.

Çalışmada, GSM-1800, UMTS-2000 ve ISM-2.4 bantlarında rezonasa gelen tek ve dual band operasyon yeteneğine sahip, çeşitli özelliklerde antenler tasarlanmıştır. Çalışmanın amacı, konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten tasarımı sonrasında, anten boyutları değiştirilmeden, yama üzerinde oluşturulabilen yarıklı yapılar ile antenlerin ışıma özelliklerinin geliştirilebileceğinin gösterilmesidir. Bu yöntemle, rezonans frekansları istenen frekans bandlarına kaydırılmış, mevcut yapıya dual band operasyon yeteneği kazandırılmış, band genişliği, ışıma verimliliği, yönlendiricilik ve kazanç değerleri incelenmiştir.

Özellikle, dual band yapılarda ikinci rezonans frekansında ışıma verimliliği ve kazanç değerleri düşük performans göstermiştir. Bunun yanında düşük band genişliği oranları da uygun teknikler kullanılarak arttırılabilmektedir. Gözlemlediğimiz her iki problem de mikroşerit yama antenlerin doğasından kaynaklanan karakteristik özellikleridir. Özel teknikler ile bu değerler geliştirilebilmektedir.

SLOTTED MICROSTRIP PATCH ANTENNA DESIGN

SUMMARY

In this project, antenna design which has the specialities that will be able to satisfy the necessity of mobie communication devices, is aimed. While mobile communication technologies have been developing since last years, mobile devices that to be able to adapt the development, needs equipments which has the skill to be able to solve more complicated problems. Mobile devices have been becoming smaller as the volume and offering one more mobile services in the same time. Broadband communication which has the high data rates, have been becoming widespread. Besides, they have been designing as reduced the effects on human health.

Microstrip antennas will be able to provide the necessity are the most appropriate option. Although the first microstrip patch antenna was traced and got a patent in 1955, they started to be developed and received considerable attention in the 1970s. Because of the potential that will be able to meet the requirement of the mobile communication technology, they are in the focus of the science community in our age. These antennas are low profile, light, planar, conformable to planar and non-planar surfaces, simple and inexpensive to manifacture using modern printed circuit technology, mechanically robust when mounted on rigid surfaces, when the particular patch shape and mode selected they are versatile. Due to these specifications, they have been receiving the considerable attention. In addition, major operational disadvantages of microstrip antennas are their low efficiency, low power, high quality factor, poor polarization purity, spurious feed radiation and very narrow bandwidth. However, there are methods to be able to eliminate these disadvantages.

In this project, we have focused rectangular patch antenna, fed by microstrip line. A convantional rectangular microstrip patch antenna which has resonance at 1800 MHz, has been designed using transmission line method formulations. Firstly, we have determined substrate height, dielectric constant and operation frequency in the limitations. Through these specifications, the dimensions of patch have been calculated. After this period, we have designed and simulated it using Ansoft HFSS that is a standart packet software for microwave applications.

In the following stages of the project, we have not changed dimensions of the microstrip patch antenna but shifted resonance frequency on the another band and created the another resonance frequencies to be able to have multiband operation skill, delevelop bandwidth, directivity, radiation efficiency and gain by constructing slots on the patch.

Firstly, we have a dual-band design which has resonance at 1.365 GHz and 2.45 GHz by constructing U-type slot. This new designed slotted antenna have bandwidth to be able to cover ISM-2.4 band whose center frequency is 2.45 GHz, high radiation efficiency and directivity. But unfortunately, it operates with low radiation efficiency and low gain at 1.365 GHz.

In the third stage, we have shifted the resonance frequencies to 1.81 GHz and 2.02 GHz by changing the position of the U-type slot on the patch. It is important that these frequency values are about at the center of GSM-1800 and UMTS-2000 bands that are the most widespread mobil technology standarts in the worldwide. But, bandwidth fractions and radiation efficiency at 2.02 GHz must be developed.

In the fourth stage, we have shifted the resonance frequency to 1.98 GHz by adding an inverse symmetrical U-type slot on available U-type slotted patch antenna. Although empdance matching was applied successfully on this antenna, we had low radiation efficiency and gain values undesiredly. However, we have thought material losses caused it.

In the last stage, we have had a dualband antenna which has resonance at 1.52 GHz and 2.42 GHz frequencies by changing the position of the available symmetrical U-type slot. It radiates by a high bandwidth that will be able to cover ISM-2.4 band, high efficiency and direcitivity values at 2.42 GHz. Unfortunately, radiation efficiency and gain values are low due to unsuccessed empedance matching enough sensitively, at 1.52 GHz.

In the project, single-band and dual-band various antennas which has resonance frequncies in the GSM-1800, UMTS-2000 and ISM2.4 bands, have been designed. The aim of the Project was firstly designing convantional rectangular patch antenna using transmission line method and proving the development ability of the radiation specifications of microstrip patch antennas by using different shaped, dimensioned and positioned slots on the patch. Applying this method, we have shifted resonance frequencies on the desired bands, had dual band operation and lastly analysed bandwidth, radiation efficiency, directivity and gain performances.

Especially, we have observed that radiation efficiency and gain values at the second resonance frequency values of the dual band antennas, have exhibited low performance. In addition, bandwidth values should be increased by using appropriate techniques. Two problems we have observed and determined before, have been characteristic specialities, welded inherent of the microstrip patch antennas. These negative effects of them can be eliminated by using appropriate techniques.

1. GİRİŞ

Mikroşerit yama antenler, ilk defa 1953 yılında keşfedilmesine ve 1955 yılında patenti alınmasına rağmen, 1970'li yıllarda dikkat çekerek popülaritesini arttırmaya başladı. İlk etapta uçak, uzay mekiği, uydu ve füze uygulamaları gibi, boyut , ağırlık, performans, montaj kolaylığı açısından kısıtlayıcı uygulamalarda, ardından mobil radyo ve kablosuz haberleşme gibi, ticari ve kamusal uygulamalarda küçük profilli antenlere gereksinim duyulmaya başlandı. Bu gereksinimi karşılayabilmek amacıyla mikroşerit yama antenler için geniş bir kullanım alanı doğdu ve bu süreçte bilimsel araştırmalar için de bir odak noktası haline geldi. Küçük profilli, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uyumlu basit yapıları, modern baskılı devre teknolojisi ile ucuza üretilebilmeleri, sert yüzeylere monte edildiklerinde mekanik anlamda sağlamlıkları en önemli avantajlarıdır. Basit yapıları, dilektrik profil tabaka üzerine çeşitli geometri ve konfigürasyonlarda ışıma amaçlı yapıştırılan yama ve alt yüzeyine yapıştırılan topraklama yamasından ibarettir. Yamanın beslemesi, genellikle genişliği yamanın genişliğine kıyasla oldukça dar olan iletken mikroşerit hat ile ya da yamanın uygun bir noktasından uygulanan prop vasıtasıyla yapılır. Özellikle yamanın şekli ve modu uygun seçildiğinde, rezonans frekansı, polarizasyon, ışıma paterni ve empedans açısından çok yönlüdürler. Yama ile toprak arasına eklenebilen pin, varaktör diyot gibi yükler vasıtasıyla çeşitli rezonans frekansı, empedans, polarizasyon ve ışıma paterni ile dizayn edilebilirler.

Bunun yanında, en önemli operasyonel dezavantajları ise düşük verimli, düşük güçlü yapıları, yüksek kalite faktörü, düşük polarizasyon saflığı ve tarama performansı, sahte besleme ışıması ve çok düşük yüzde oranlarında, dar yapılı frekans band genişliğidir. Bununla birlikte, kamusal güvenlik sistemleri gibi bazı uygulamalarda dar-band genişliği tercih sebebi olabilmektedir. Verimliliği (yaklaşık %90) ve band genişliğini (yaklaşık % 35) arttırabilmek amacıyla, dielektrik profilin yüksekliğini arttırmak gibi teknikler mevcuttur. Fakat, dielektrik profilin yüksekliğinin arttırılmasıyla, ışıma gücünün azalması nedeniyle, istenmeyen yüzey dalgaları oluşmaktadır. Yüzey dalgaları, dielektrik profil üzerinde yayılır; köşe noktaları,

kıvrım ve topraklama noktası gibi süreksizlikler içeren noktalarda saçılarak, antenin ışıma ve polarizasyon özelliklerini bozarlar. Oyuklu yapılar vasıtasıyla, geniş band yapısı korunarak, yüzey dalgaları bertaraf edilebilir. Yığınlama (stacking) gibi çeşitli metotlarla band genişlikleri arttırılabilir. VHF ve UHF bandlarında ise, anten boyutlarının artması nedeniyle tercih edilmezler.

Bu çalışmada, mobil haberleşme cihazlarında kullanmak amacıyla çeşitli dikdörtgensel mikroşerit yama anten tasarımları yapılmıştır. Bu antenlerde ise özellikle yarıklı yapılara odaklanılmıştır. Tasarlanan antenlerin karakteristik özellikleri parametrik açıdan incelenerek, performansları tartışılmıştır. Tasarım aşamasında, endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda standart olarak kabul edilen, Ansoft HFSS paket dizayn programı kullanılmıştır. Tasarlanan antene ait performansı tayin eden tüm sayısal veriler ve grafikler HFSS'ten sağlanmıştır. Bu doğrultuda, ilk adımda konvansiyonel dikdötgensel mikroşerit yama anten dizayn edilmiştir. Dizayn esnasında, transmisyon hat metodu (TLM) formülasyonları kullanılarak, dizayn parametreleri belirlenmiştir. Öncelikle, kullanılacak dielektrik profilin türü (dielektrik sabiti), yüksekliği ve operasyon frekansı belirlenerek, TLM formülasyonları ile dikdörtgen yamanın boyutları (uzunluğu ve genişliği) hesaplanmıştır. Konvansiyonel mikroşerit yama antenin 1800 MHz frekans bandında rezonansa gelmesi amaçlanmıştır. Burada mikroşerit hattın genişliği, mikroşerit hattın karakteristik empedansını tayin edecek şekilde belirlenmiştir. Mikroşerit hat kenarındaki paralel yarıklar empedans uygunlaştırma amacıyla oluşturulmuştur. Bu yarıklar empedans dönüştürme formülü gereği, rezonans frekansında antenin giriş empendansını hattın karakteristik empedansına dönüştürerek, hattan antene doğru verimli güç transferi yapılmasını sağlar. Konvansiyonel yama anten dizaynında, yamanın boyu rezonans frekansına, genişliği ise rezonans giriş empendasını doğrudan etkiler. Yamanın uzunluğu rezonans frekansının dalga boyu ile doğru orantılı, genişliği ise rezonans giriş empedansı değeri ile ters orantılıdır. Kullanılan dilelektrik profilin dielektrik sabiti ve yüksekliği de anten boyutlarını etkileyen faktörlerdir.

Dizayn esnasında optimum yükseklikte, yaygın kullanılan FR-4 epoxy dielektrik profil tercih edilmiştir. Çalışmanın esas aşamasında, konvansiyonel dikdörtgensel yamanın üzerine yarıklar oluşturularak yarıklı yapının etkileri gözlenmiştir. Öncelikle, mevcut yamanın boyutlarını değiştirmeden U-tipi yarık oluşturulmuştur. Mevcut rezonans frekansı 2450 MHz ile ISM-2.4 bandına kaydırılarak, band genişliği arttırılmış ve 1365 MHz'de ek rezonans frekansı oluşturularak, dual bandlı bir anten elde edilmiştir. Üçüncü aşamada, mevcut U-tipi yarığın konumu x-düzleminde ötelenerek ve boyutları optimize edilerek, dual bandlı antenin rezonans frekansları 1810 ve 2020 MHz bandlarına (GSM-1800 ve UMTS-2000 bandları) kaydırılmış, mevcut antenin parametrik performansı incelenmiştir. Dördüncü aşamada U-tipi yarığın ters simetriği yapıya eklenerek, 1980 MHz frekansında rezonansa gelmesi sağlanmıştır. Beşinci ve son aşamada ise simetrik U-tipi yarık modifiye edilerek, rezonans frekansı 1520 MHz ve 2420 MHz olan dual bandlı bir yapı elde edilmiştir.

Dizayn aşamalarında izlenen yöntem, konvansiyonel anten üzerine çeşitli şekillerde oluşturulan yarıklar optimize edilerek rezonans frekanslarındaki değişmelerin gözlenmesi, rezonans frekansının istenen operasyon frekansında oluşturulması ve ek rezonans frekansları oluşturularak çoklu bant yapıların elde edilmesi olarak ifade edilebilir. Tasarlanan antenlerin performansı; S_{11}, VSWR, giriş empedansı, yönlendiricilik, kazanç, ışıma verimliliği, yatay ve dikey hüzme genişliği, ışıma paterni grafikleri gibi parametreler aracılığıyla incelenmiştir. Yarıklı yapının en belirgin avantajı, mevcut yamanın boyutlarını değiştirmeden yarığın boyutlarını optimize ederek, rezonans frekansının kaydırılabilmesi, ek rezonans frekansları oluşturularak çoklu band özelliği elde edilebilmesi ve empedans band genişliği oranlarının arttırılabilmesidir. Yama antenin boyutlarını koruyarak, operasyon bandının kaydırılabilmesi günümüz kablosuz mobil haberleşme teknolojisinde, kısıtlayıcı faktörlerden biri olan boyut sorununa çözüm getirebilme açısından önem taşımaktadır. Günümüz mobil haberleşme teknolojisinde son gelişmeler, mobil cihazları ve ekipmanlarını daha komplike hale getirmektedir. Çoklu band uygulaması bir mobil cihazın birden fazla servisi aynı anda sağlayabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yarıklı yapının getirdiği ek avantajlardan biri de yapıya, mevcut rezonans frekansına ek rezonans frekansları kazandırmasıdır. Bu sayede birden çok operasyon bandında ışıyan yarıklı yama antenler, bu tür mobil cihazların

gereksinimlerine cevap verebilmektedir. Dizaynda, gözlemlenen bir olumlu gelişme de, yarıklı yapının mevcut konvansiyonel antenin band genişliğini arttırmasıdır. Geniş bant teknolojisi, yüksek data indirme kapasitesi gerektiren mobil cihazların ihtiyaçlarına geniş bantlı bu tür ekipmanlar ile cevap verecektir. Yarıklı yapının bir önemli özelliği de bu avantajları sağlarken, kullanım, dayanıklılık ve montaj kolaylığı açısından önem taşıyan düzlemsel yapıyı korumasıdır. Yarıklı yamada, düzlemsel yama anten yapısı korunmaktadır.

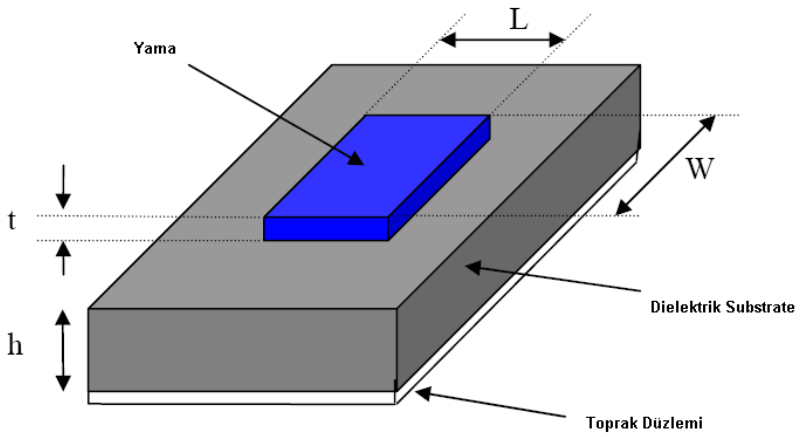
Çalışmanın ikinci bölümünde mikroşerit yama antenlerle ilgili temel bilgiler verilmiştir. Konvansiyonel mikroşerit yama anten yapısı, temel yama çeşitleri, mikroşerit antenlerin sunduğu avantaj ve devazantajlar, mikroşerit besleme, transmisyon hat modeli, saçaklama etkisi, temel mikroşerit yama anten parametreleri konularına değinilmiştir. Üçüncü bölümde, dizayn için kullanılan Ansoft HFSS programı hakkında bilgi verildikten sonra, yukarıda bahsedilen mikroşerit yama anten dizaynları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle 1800 MHz bandında standart mikroşerit yama anten dizaynı gerçekleştirilmiş daha sonraki adımlarda yamanın boyutları değiştirilmeden, U-tipi ve simetrik U-tipi yarıklı yapılar kullanılarak yeni antenler dizayn edilmiş ve parametrik performansları incelenmiştir. Dördüncü bölümde, dizayn edilen antenlerin genel değerlendirmesi yapılarak, pozitif katkıları ve geliştirilmesi gereken yönleri belirtilmiştir.

2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Bu bölümde mikroşerit yama antenlerin karakteristik özellikleri, yapıları, parametreleri, besleme teknikleri ve analiz metotları ile ilgili temel bilgiler verilerek, tartışılacaktır.

2.1 Mikroşerit Yama Antenlerin Özellikleri

Mikroşerit yama anten, en temel biçimiyle iki paralel iletkenin ince bir dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Üst yüzeyde ışıma amaçlı, alt yüzeyinde topraklama amaçlı paralel iletken metaryaller kullanılır. Bakır veya altın gibi iletkenlik özelliği taşıyan metaryellerin, çeşitli şekilleri baz alınarak farklı özelliklerde ışıyan antenler elde edilebilir [3]. Şekil 2.1'de mikroşerit yama antenin yapısı gösterilmektedir.

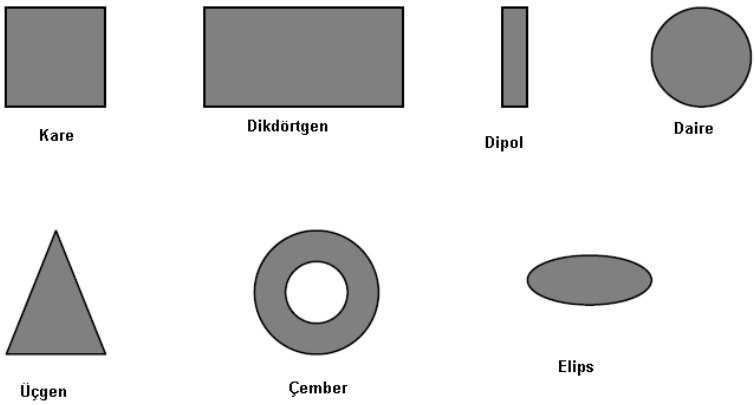


Şekil 2.1: Mikroşerit yama antenin yapısı

Mikroşerit yama antenlerde analiz ve performans hesaplamalarını sade hale getirmek amacıyla kare, dikdörtgen, daire, eliptik, üçgen gibi temel şekillerde yama iletkenler tercih edilir.

Dikdörtgensel mikroşerit yama antenlerde *t*, kalınlığındaki bir yamada $t << \lambda_0$ $(boş\ uzay\ dalgaboyu)$, *h (toprak ile ışıyan yama arasındaki mesafe)*

yüksekliğindeki dielektrik profil yüksekliği için, $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$, $\mathcal{E}_r$ değerindeki dileketrik sabiti için $2.2 \leq \mathcal{E}_r \leq 12$, L uzunluğundaki dikdörtgen yama için ise $0.333\lambda_0 \leq L \leq 0.5\lambda_0$ eşitsizlikleri geçerlidir. Mikroşerit yama antenin ışıma paterninin maksimumu genellikle yamanın normali doğrultusundadır [1]. Şekil 2.2'de mikroşerit yama antenlerde kullanılan temel yama şekilleri yer almaktadır.



Şekil 2.2: Mikroşerit yama antenlerde kullanılan temel yama şekilleri

Mikroşerit yama antenler üst yüzeydeki iletken yamanın kenarlarından, toprak düzlemine doğru oluşan enine alanlar ile ışıma yaparlar. Kaliteli bir ışıma performansı, kalın bir dielektrik profil, düşük dielektrik sabiti ile sağlanır. Bu durumda band genişliği ve verimlilik artacak anten daha yüksek performansla ışıyacaktır. Fakat bu özelliklerdeki bir mikroşerit yama antenin boyutları artabilir. Bundan dolayı, kompakt mikroşerit yama anten dizaynında daha yüksek dielektrik sabiti seçimi yapılarak, daha düşük verim daha dar bant genişliği elde edilebilir. Sonuç olarak anten boyutları ile performansı arasında optimum nokta yakalanmaya çalışılmalıdır [1].

Mikroşerit yama antenler rezonant antenler olarak sınıflandırılırlar. UHF bandından düşük frekans aralıklarında boyutlarının artmasından dolayı, genellikle 1-100 GHz aralıklarında kullanılırlar [2].

2.2 Mikroşerit Yama Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Mikroşerit yama antenler, küçük profilli yapıları ile kablosuz uygulamalarda popülariteleri artarak devam etmektedir. Entegre sistemlere uyumlu olmaları nedeniyle, cep telefonları, laptoplar gibi kablosuz cihazlarda, füzelerde, uzay mekiklerinde, uçaklarda telemetri ve haberleşme antenleri olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte uydu haberleşmesi diğer yaygın kullanım alanlarından başlıcasıdır. Başlıca avantajları;

- Hafiflikleri ve düşük hacimli yapıları
- Küçük profilli düzlemsel yapıları nedeniyle, yüzeylere kolayca uyumlu monte edilebilmeleri
- Düşük fabrikasyon maliyeti ile yüksek miktarlarda üretilebilmeleri
- Lineer ve dairesel polarizasyonun her ikisini de sağlamaları
- Mikrodalga entegre devrelere (*MICs*) kolayca entegre edilmeleri
- Dual veya çoklu band operasyon yetenekleri
- Düz yüzeylere monte edildiğinde yüksek mekaniksel dayanıklılıklarıdır.

Konvansiyonel antenlerle kıyaslandığına başlıca deazavantajları;

- Dar bant genişliği
- Düşük verimlilik
- Düşük kazanç
- Besleme ve eklem kısımlarındaki istenmeyen ışımalar
- Düşük güç işleme kapasitesi
- Yüzey dalgaları uyarımıdır.

Mikroşerit yama antenler, yüksek kalite faktörüne (Q) sahiptirler. Q, antenin birleşim noktalarındaki kayıpları temsil eder. Büyük Q değerleri, dar band genişliği ve düşük verimlilik gibi anten performansında tercih edilmeyen sonuçlar verir. Dielektrik profilin kalınlığı arttırılarak, Q değeri düşürülebilir. Fakat kalınlığın arttırılması, kaynaktan iletilen toplam gücün yüksek oranlarda yüzey dalgalarına dönüşmesine neden olur. Yüzey dalgaları ise, dielektrik devamsızlık noktalarında yüksek

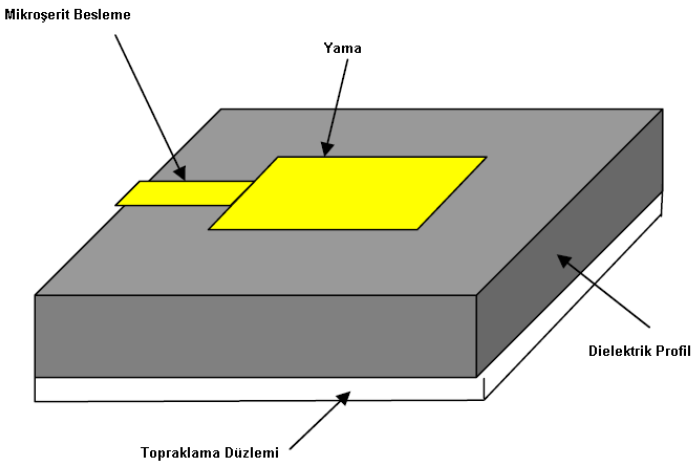
miktarlarda saçılmalara, anten karakteristiklerinde bozulmalara ve istenmeyen güç kayıplarına neden olur. Fotonik bant boşluklu (*kavite*) yapıların kullanımıyla geniş bant genişlikleri korunarak, minimize edilebilirler. Düşük kazanç ve düşük güç işleme kapasitesi gibi sorunlar ise dizi konfigürasyonlar ile çözülebilir. Dielektrik profilin boyu arttırılarak,verimlilik %90, bant genişliği %35 oranlarında arttırılabilmektedir [1].

2.3 Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Teknikleri

Mikroşerit yama antenler çeşitli metotlarla beslenirler. Bu metotlar, temaslı ve temassız olmak üzere iki sınıfta incelenir. Temaslı metotta, kaynaktan gelen güç, ışıma yapan yamaya doğrudan temas eden bir yapı ile iletilir.(örneğin mikroşerit hat) Temassız metotta ise güç iletimi ışıyan yama ile mikroşerit hat arasında elektromanyetik kuplaj ile gerçekleşir. En popüler besleme teknikleri; mikroşerit hat, kuaksiyel prop (ilk ikisi temaslı), açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlıdır.(son ikisi temassız)

2.3.1 Mikroşerit Besleme

Bu tür beslemede, iletim hattı mikroşerit yamanın kenarına doğrudan bağlıdır. İletim hattının genişliği ışıyan yamaya göre daha incedir. Avantajı, beslemeninde aynı düzlem üzerine basılması dolayısıyla düzlemsel bir yapı sunmasıdır. Şekil 2.3'de mikroşerit beslemeli yama anten gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Mikroşerit besleme

Girişteki yarığın amacı besleme hattını ek bir empedans uygunlaştırma elemanı kullanmadan ışıyan yamanın empedansına uygunlaştırmaktır. Bu durum, girişin pozisyonunu kontrol ederek sağlanır. Mikroşerit hat, kolay fabrikasyonu, modelleme sadeliği, empedans uygunlaştırma kolaylığından dolayı tercih edilen bir besleme tekniğidir. Fakat, dielektrik profilin kalınlığı arttıkça, yüzey dalgaları ve sahte besleme ışıması da artar, dolayısıyla antenin bant genişliğini düşürür. Besleme ışıması aynı zamanda istenmeyen çapraz polarize ışıması oluşturur [1].

2.4 Mikroşerit Yama Antenlerin Analiz Metotları

Mikroşerit yama antenler için birçok analiz metodu mevcuttur. En popüler modeller transmisyon hat (*TLM*), kavite ve tam-dalga metotlarıdır. İletim hat modeli, en kolay, fiziksel çözümleme yeteneği yüksek, kesinlik payı diğerlerine kıyasen daha düşük, kuplaj modellemesi daha zor olan bir modeldir [1].

2.4.1 Transmisyon Hat Modeli

Dikdörtgensel yamalar, en yaygın kullanılan yama konfigürasyonlarıdır. Transmisyon hat modeli ince dielektrik profiller için kesinlik payı en yüksek olan iki metottan biridir. Modele göre, bir dikdörtgensel mikroşerit yama anten , W genişliğinde, h yüksekliğinde, L mesafesinde ışıyan iki dar yarık dizisi ile temsil edilebilir. Temel olarak, transmisyon hat modeli mikroşerit yama anteni L uzunluğundaki iletim hattını, Z_c gibi düşük bir empedans değeri ile ayıran iki yarık ile temsil eder [1].

2.4.1.1 Saçaklama Etkisi

Yamanın boyutlarının, sonlu uzunluk ve genişlikte olması nedeniyle, yama kenarlarındaki alanlar toprağa doğru saçaklama etkisi gösterir. Saçaklama etkisi yamanın uzunluğu ve genişliği boyunca gözlemlenir. Saçaklama miktarı, dielektrik profilin yüksekliği ve yamanın boyutlarının fonksiyonudur. *E*-düzleminde (*xy-düzlemi*), saçaklama yamanın uzunluğunun, dielektrik profilin yüksekliğine oranı (L/h) ve dielektrik profilin dielektrik sabitinin ($\mathcal{E}_r$) fonksiyonudur. $L/h \gg 1$ koşulu sağlandığında, saçaklama etkisi azalır. Saçaklama etkisinin anten rezonans frekansına etkisi, hesaba katılmalıdır.Saçaklanma durumunda, elektrik alan bileşenleri hava ve dielektrik profil olmak üzere iki dilelektriği içeren homojen

olmayan bir hatta yayılırlar. Bileşenlerin büyük bir kısmı dielektrik profil içerisine nüfuz ederken, bir kısmı havada yayılır. *W/h* ≫ *1* ve $\mathcal{E}_r \gg 1$ koşulunda, elektrik alan bileşenleri dielektrik profil içerisine konsantre olur. Bu durumda, saçaklama etkisi nedeniyle mikroşerit hattın elektriksel boyutları fiziksel boyutlarından daha büyüktür. Dalgaların bir kısmı dielektrik profil içerisinde, bir kısmı havada yayılırken, hat üzerindeki dalga propagasyonunu ve saçaklama etkisini hesaba katmak için etkin dielektrik sabiti ($\mathcal{E}_{eff}$) tanımlanır. Tanım yapılırken, mikroşerit hattın merkez iletkeni, orijinal boyutları ve yüksekliği ile bir dielektrik profilin içersine yerleştirildiği varsayılır. Bu durumda gerçek iletim hattının elektriksel karakteristikleri ve propagasyon sabitine sahip olan üniform dielektrik metaryalin dielektrik sabiti, etkin dielektrik sabiti olarak tanımlanır. Dielektrik profil üzerinde havayla teması olan bir iletim hattı için etkin dielektrik sabiti, $1 < \mathcal{E}_{eff} < \mathcal{E}_r$ koşulunu sağlamalıdır. $\mathcal{E}_r \gg 1$ koşulundaki uygulamalarda, $\mathcal{E}_{eff}$ değeri dielektrik profilin gerçek dielektrik sabiti değeri $\mathcal{E}_r$'ye daha yakındır. Etkin dielektrik sabiti frekansın bir fonksiyonudur. Operasyon frekansı arttığında, elektrik alan bileşenlerin çoğu, dielektrik profilin içerisine konsantre olacağından, mikroşerit hat tek dielektrikten oluşan (dielektrik profil) daha homojen bir hat gibi davranır. Bu durumda, etkin dielektrik sabiti $\mathcal{E}_{eff}$, dielektrik profilin dielektrik sabiti $\mathcal{E}_r$'ye ulaşır.

Düşük frekanslarda, etkin dielektrik sabiti genellikle sabittir. Anlık frekanslarda ise değeri monotonik şekilde artar ve dielektrik profilin dielektrik sabitine ulaşır. Etkin dielektrik sabitinin ilk değerleri statik değerler olarak ifade edilir [1].

W/h > *1* için,

$$\mathcal{E}_{eff} = \frac{\mathcal{E}_r + 1}{2} + \frac{\mathcal{E}_r - 1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-1/2} \qquad (\mathbf{2.1})$$

2.4.1.2 Etkin Uzunluk, Rezonans Frekansı ve Etkin Genişlik

Saçaklama etkisi nedeniyle yamanın elektriksel boyutları, fiziksel boyutlarından daha büyük görünmektedir. *E*-düzleminde (*xy-düzlemi*) yamanın uzunluğu boyunca her iki kenarından ΔL kadar artar. ΔL, etkin dielektrik sabiti $\mathcal{E}_{eff}$ ve genişlik-yükseklik oranı *W/h*'ın fonksiyonudur. Normalize uzunluk artışı için yaklaşık ifade,

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412\frac{(\mathcal{E}_{eff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\mathcal{E}_{eff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} \qquad (\mathbf{2.2})$$

şeklindedir. Yama, uzunluğu boyunca her kenarından ΔL kadar genişlediği için, yamanın etkin uzunluğu, (Saçaklamanın olmadığı baskın mod için, $L = \frac{\lambda}{2}$ 'dir.)

$$L_{eff} = L + \Delta L \qquad (\mathbf{2.3})$$

Saçaklama etkisi dikkate alındığında mikroşerit yama antenin rezonans frekansı etkin uzunluğunun fonksiyonudur.

$$f_{rc010} = \frac{1}{2(L + \Delta L)\sqrt{\mathcal{E}_{eff}}\sqrt{\mu_0 \mathcal{E}_0}} \qquad (\mathbf{2.4})$$

Bu formüllerden yamanın genişliği ve uzunluğu,

$$W = \frac{\mathcal{v}_0}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\mathcal{E}_r + 1}} \qquad (\mathbf{2.5})$$

$$L = \frac{\mathcal{v}_0}{2f_r\sqrt{\mathcal{E}_{eff}}} - 2\Delta L \qquad (\mathbf{2.6})$$

$\mathcal{v}_0$: serbest uzay ışık hızı

olarak verilir. İletim hat modelinde, $\mathcal{E}_r$, f_r *(Hz)* ve h içim belirtim yapılarak, dikdörtgensel yamanın boyutları W ve L değerleri hesaplanır [1].

2.4.1.3 Rezonans Giriş Empendansı

Her ışıyan yarık paralel eşdeğer admitans devresi ile temsil edilir. Sonlu W genişliğindeki birinci yarık için, $\frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$ koşulunda ilk yarığın iletkenliği,

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0}\left[1 - \frac{1}{24}(k_0 h)^2\right] \qquad (\mathbf{2.7})$$

olmaktadır.

k_0: boş uzay propagasyon sabiti

h: dilektrik profilin yüksekliği

W: yama genişliği

Empedans uygunlaştırma her iki yarığın sanal kısımları eşit büyüklükte zıt yönde olması nedenilye toplam eşdeğer admitans hesaplamasında sanal kısımlar birbirini götürürür. Dolayısıyla girişten görülen toplam admitans ve empedans değerleri,

$$Y_{in} = 2G_1 \qquad (\mathbf{2.8})$$

$$Z_{in} = R_{in} = \frac{1}{2G_1} \qquad (\mathbf{2.9})$$

Yarıklar arasındaki karşılıklı etki hesaba katıldığında,

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \qquad (\mathbf{2.10})$$

olarak hesaplanabilir. Burada artı (+) işareti rezonans tek voltaj dağılım modları için geçerliyken, eksi (-) işareti ise çift rezonans voltaj dağılım modları için geçerlidir. Uzak alan için karşılıklı iletkenlik,

$$G_{12} = \frac{1}{|V_0|^2} Re \iint E_1 x H_2^*.dS \qquad (\mathbf{2.11})$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi} \int_0^{\pi} [\frac{sin\,(\frac{k_0 W}{2} cos\theta)}{cos\theta}]\, J_0(k_0 L sin\theta) sin^3\theta d\theta \qquad (\mathbf{2.12})$$

olarak verilir. Burada E_1 ilk yarıktan ışınan elektrik alan, H_2 ise ikinci yarıktan ışınan manyetik alan, V_0 ise iki yarık arasındaki voltajdır.

Hesaplamalardan görüleceği gibi, giriş rezistansı dieklektrik profilin yüksekliğine *(h),* güçlü bir şekilde bağlı değildir. Hatta küçük *h* değerleri için $k_0 h \ll 1$ koşulunda, giriş rezistansı dielektrik profil yüksekliğine bağlı değildir. Fakat, yamanın genişliği *W* arttırılarak, *W/L* oranının 2'yi aşmaması koşuluyla, giriş rezistans değeri düşürülebilir.

İlk yarık referans alındığında giriş rezistansı, giriş besleme yarığı kullanılarak değiştirilebilir. Bu teknik ile yamanın giriş empedansı mikroşerit hattın karakteristik empedansı ile uygunlaştırılabilir. Mikroşerit hattın karakteristik empedansı,

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\mathcal{E}_{eff}}} \left[\frac{8h}{w_0} + \frac{w_0}{4h}\right] \quad ; \ \frac{w_0}{h} \leq 1 \qquad (\mathbf{2.13})$$

$$Z_c = \sqrt{\mathcal{E}_{eff}}\, [\frac{w_0}{h} + 1.393 + 0.667 ln\,(\frac{w_0}{h} + 1.444)] \quad ; \ \frac{w_0}{h} > 1 \qquad (\mathbf{2.14})$$

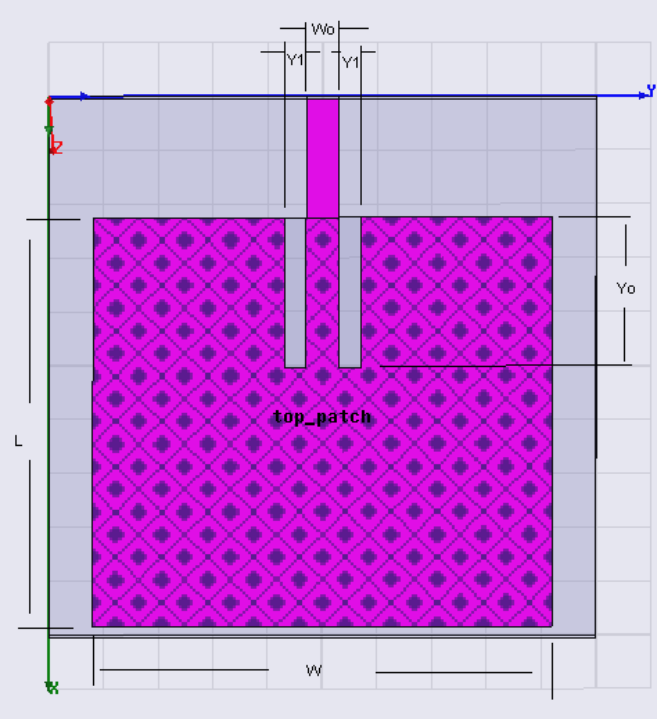
olarak verilebilir. Formülasyondan da anlaşılacağı gibi mikroşerit hattın karakteristik empedansı, mikroşerit hattın genişliği w_0, etkin dielektrik sabiti $\mathcal{E}_{eff}$ ve dielektrik

profilin yüksekliği *h*'a bağlıdır. Bu durumda girişteki yarığın empedans dönüştürme özelliği,

$$R_{in}(y = y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (\mathbf{2.15})$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (\mathbf{2.16})$$

Giriş beslemesinin yanındaki fiziksel yarıklar giriş kapasitansı oluşturur. Bu kapasitans değeri rezonans frekansını %1 civarında etkileyebilir. Şekil 2.4'de mikroşerit beslemeli yama anten üzerinde, empedans dönüştürücü yarıklar gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Empedans dönüştürücü yarıklar

Yamanın kenarında ($y_0 = 0$) noktasında voltaj maksimum, akım minimumdur. Giriş empedansı bu noktada maksimum değerindedir. (*150-300 ohm*) Minimum değer, voltajın sıfır akımın maksimum olduğu yamanın merkez ($y_0 = L/2$) noktasıda elde edilir. Giriş besleme yarığı, yamanın kenarından merkezine doğru hareket ettiğinde, rezonans giriş empedansı monotonik şekilde azalarak, merkezde sıfır değerine ulaşır [1].

2.5 Kalite Faktörü, Band Genişliği ve Verimlilik

Kalite faktörü, band genişliği ve verimlilik antenin birbirleriyle bağlantılı özellikleridir. Birbirlerinden bağımsız olarak optimize edilemezler. Optimum anten performasına ulaşabilmek için birbirleri arasında daima kısıtlama söz konusudur. Birini optimize ederken, diğerinin performansı düşebilmektedir.

Kalite faktörü, anten kayıplarını temsil eder. Bunlar, ışıma, iletkenlik, dielektrik ve yüzey dalgası kayıplarıdır. Toplam kalite faktörü Q_t bu kayıpların hepsini temsil eder.

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \qquad (\mathbf{2.17})$$

Q_t: toplam kalite faktörü

Q_{rad}: boş uzay ışıma kayıpları nedeniyle oluşan kalite faktörü

Q_c: iletkenlik kayıpları nedeniyle oluşan kalite faktörü

Q_d: dielektrik kayıpları nedeniyle oluşan kalite faktörü

Q_{sw}: yüzey dalgaları nedeniyle oluşan kalite faktörü

Çok ince dielektrik profillerde yüzey dalgaları ihmal edilebilecek küçüklüktedir. Kalın dielektrik profillerde hesaba katılmalıdır. Fakat, kaviteler kullanılarak bu kayıp bertaraf edilebilir. Çok ince dielektrik profillerde $(h \ll \lambda_0)$ kayıpları temsil eden, kalite faktörü formülleri,

$$Q_c = h\sqrt{\pi f \mu \sigma} \qquad (\mathbf{2.18})$$

$$Q_d = \frac{1}{tan\delta} \qquad (\mathbf{2.19})$$

$$Q_{rad} = \frac{2w\mathcal{E}_r}{hG_t/l}K \qquad (\mathbf{2.20})$$

$tan\delta$ dielektrik profilin kayıp tanjantı, σ yama ve toprak iletkenlerinin iletkenliği, G_t/l ışıma açıklığının birim uzunluğu için toplam iletkenliğidir. Baskın moddaki dikdörtgensel açıklık için,

$$K = \frac{L}{4} \qquad (\mathbf{2.21})$$

$$G_{t/l} = \frac{G_{rad}}{W} \qquad (\mathbf{2.22})$$

Q_{rad}, dielektrik profilin yüksekliği ile ters orantılıdır. İnce dielektrik profillerde genellikle baskın faktördür.

Antenin oransal band genişliği, toplam kalite faktörü ile ters orantıldır.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_t} \qquad (\mathbf{2.23})$$

Antenin giriş terminallerindeki empedans uygunlaştırma durumunu da hesaba katmak gerekecektir. Bunun için operasyon frekansında VSWR'ın birim değerde olduğu ve anten giriş terminallerinde istenen değerin altında olmasını sağlayacak oransal band genişliğinin belirlenmesi daha anlamlı olacaktır. Empedan uygunlaştırması hesaba katılarak,

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{VSWR - 1}{Q_t\sqrt{VSWR}} \qquad (\mathbf{2.24})$$

Genel bir ifadeyle dikdörtgensel mikroşerit yama antende sabit bir rezonans frekansında band genişliği, antenin hacmi ile orantıldır.

BW ~ hacim = alan x yükseklik = uzunluk x genişlik x yükseklik

$$BW \sim \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{\varepsilon_r} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (\mathbf{2.25})$$

Band genişliği, dielektrik profilin dielektrik sabitinin karekökü ile ters orantıldır. Benzer şekilde, bir mikroşerit antenin band genişliği dielektrik profilin normalize yüksekliğinin fonsiyonudur. Dielektrik profilin yüksekliği arttıkça, band genişliği de artacaktır.

Antenin ışıma verimliliği, anten giriş gücü üzerinden ışınan güç ile tanımlanabilir. Kalite faktörleri ile şu şekilde ifade edilir;

$$e_{cdsw} = \frac{1/Q_{rad}}{1/Q_t} = \frac{Q_t}{Q_{rad}} \qquad (\mathbf{2.26})$$

Antenin verimliliği, mikroşerit yama antenlerde dielektrik profilin yüksekliğinin bir fonksiyonudur [1].

3. MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZAYNI

Bu bölümde, anten dizaynında kullanılan Ansoft HFSS dizayn ve simülasyon paket programı yardımıyla mikroşerit yama anten dizaynları yapılarak, simüle edilecek ve simülasyon verileri incelenerek antenlerin parametrik ve karakteristik özellikleri tartışılacaktır. İlk aşamada konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit anten tasarlanacak, sonraki aşamalarda mevcut antenin boyutları değiştirilmeden, yama üzerinde oluşturulan çeşitli şekil, boyut ve konumdaki yarıkların optimizasyonu ile rezonans frekansları farklı bandlara kaydırılacak, ek rezonans frekansları oluşturularak yapıya çoklu-band yeteneği kazandılacak ve parametrik performansları tartışılacaktır.

3.1 Ansoft HFSS Paket Programı

HFSS, Microsoft Windows'un grafiksel kullanıcı arayüzünün avantajlarını kullanarak, 3-boyutlu pasif cihazları modelleyen yüksek performanslı Tam Dalga (Full-Wave) elektromanyetik alan simülatörüdür.

HFSS, yüksek frekanslı elektriksel komponentlerin elektromanyetik simülasyonunu yüksek hızla yapabilme yeteneğine sahiptir. Çip üzerine gömülü pasif elektriksel ekipmanın, PCB çoklu bağlantılarının, antenlerin, RF/mikroldalga komopnentlerinin ve yüksek frekanslı IC paketlerin dizaynında yaygın olarak kullanılır.

HFSS, verilen yapının elektromanyetik davranışını hesaplayabilmek için 3-boyutlu tam dalga sonlu elemanlar metodunu (FEM) kullanır. HFSS ile, parazitik parametreler (*S, Y, Z*) çıkartılabilir, 3-boyutlu elektromanyetik alanlar (yakın ve uzak alan) çizdirilebilir, genişbant *SPICE* modeller oluşturulabilir ve dizayn performansları optimize edilebilir.

HFSS, hesaplamaları esnasında sinyal kalitesi, iletim yol kayıpları, empedans uyumsuzluğu nedeniyle oluşan yansıma kayıpları, parazitik kuplajlama ve ışıma durumlarını etkin bir şekilde değerlendirir.

HFSS, basit bir monopol antenden, kompleks dizilerin dizaynında, optimizasyonunda ve performans görüntülemesinde tercih edilen bir yazılımdır. Antenlerin ışıma paternleri, demet genişliği, uzak-yakın alan istatistikleri, *S* parametreleri, VSWR, Smith Abağı gösterimleri gibi birçok elektriksel özellikleri HFSS ile görüntülenebilir ve optimize edilebilir [4].

3.1.1 Ansoft HFSS'in Özellikleri

Sonlu Elemanlar Methodunu (FEM) kullanarak 3-boyutlu tam dalga elektromanyetik alan simülasyon ve analizi:

- Sahte modları gidermek için tanjant vektörü sonlu elemanları
- Hızlı frekans taramaları için Adaptif Lanczos Pade Taraması (*ALPS*)
- Deri etkisi, kaybı ve frekans bağımlılığını dahil etme

Çözüm datası:

- *S* parametreleri
- Uzak alan hesaplaması (2 ve 3-boyutlu, kazanç, açısal hüzme genişliği)
- Giriş modu ve empedans hesaplaması
- SAR hesaplaması
- Mod dönüştürümü
- Malzeme kayıpları
- Işıma kayıpları

Data sunumu/görsel sonuçlar:

- *S, Y, Z* parametre matrisi, 2-boyutlu çizimleri
- Smith Charts
- Port yüzey giriş empedansı
- Farksal *S* parametresi

- *TDR* gösterimi
- Her yüzey için 3-boyutlu statik ve dinamik alan çizimleri (akım, elekrik ve manyetik alan, ışıma paterni, emisyon testi, vektör gösterimi, büyüklük gösterimi)

Optimizasyon ve parametrik çözümler:

- Geometri ve malzeme parametrizasyonu (parametrik tarama sonuçlar için N-boyutlu data çizimleri)
- Optimizasyon, hassasiyet ve istatistiksel analiz [4].

3.2 Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

Bu çalışmada gerçekleştirilecek dizaynlar esnasında odak noktası dikdörtgensel mikroşerit beslemeli yama antenler ve yarıklı modifikasyonlar olacaktır. Bu doğrultuda öncelikle konvansiyonel dikdörtgensel yama anten tasarımı yapılacak, daha sonra yama üzerinde yarıklı yapılar oluşturularak, anten modifiye edilecek ve elde edilen yapıların sonuçları irdelenecektir. Konvansiyonel anten tasarımında transmisyon hat modelinden faydalanılacaktır. Antenlerin, mobil haberleşme cihazlarında kullanılabilecek özellikleri taşıması hedeflenecektir. Bu nedenle elektriksel özelliklerinin yanında; boyut, düzlemsellik, montaj kolaylığı, dayanılıklılık gibi kriterler, dizaynda kısıtlayıcı olacaktır.

3.2.1 Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Dizayn Temel Parametreleri

Konvansiyonel yama anten dizaynında belirlenmesi gereken parametreler operasyon frekansı, dielektrik sabiti ve dielektrik profilin yüksekliğidir.

3.2.1.1 Operasyon Frekansı

Antenin kullanılacağı standartın yer aldığı frekans bandının merkezi, antenin operasyon frekansını belirleyecektir. Bir başka deyişle, operasyon frekansı antenin rezonansa gelmesi istenilen frekans olacaktır. Operasyonun merkez frekansı baz alınarak antenin, entegre edileceği sistemin gereksinim duyduğu frekans bandını kapsayacak band genişliğini sağlaması ve yeterince verimle ışıma yapması hedeflenir. VHF ve UHF frekansları ve altında boyutları çok fazla arttığı için

mikroşerit yama antenler tercih edilmemektedir. Operasyon frekansı, genellikle antenin rezonans frekansına eşit olacak, f_0 ile ifade edilecektir [1].

3.2.1.2 Dielektrik Sabiti

Seçilecek dielektrik profilin dielektrik sabiti sistem performansında oldukça etkilidir. Mikroşerit anten tasarımında tercih edilen dielektrik profillerin dielektrik sabitleri genellikle $2.2 \leq \mathcal{E}_r \leq 12$ aralığındadır. Burada $\mathcal{E}_r$ relatif dielektrik sabitini göstermektedir. Antenin (yamanın) boyutları dielektrik sabitine göre hesaplanır. Yüksek dielektrik sabiti seçimi, antenin boyutlarını küçültür. Benzer şekilde yamanın kenarlarında oluşan saçaklama etkisini arttırarak, antenin elektriksel uzunluğunu arttıracaktır. Fakat boyutları arttırma pahasına, düşük dielektrik sabitine sahip dielektrik profiller ile yapılan dizaynlarda daha yüksek verim ve bant genişliği elde edilmektedir [1].

3.2.1.3 Dielektrik Profilin Yüksekliği

Dielektrik profil, topraklama yüzeyi ile yama arasındaki dilelektrik tabakadır. Yüksekliği genellikle $h \ll \lambda_0$ olmak üzere $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ *(λ_0: boş uzay dalga uzunluğu*) aralığında seçilir. Dielektrik profil yüksekliğinin arttırılması (yüzey dalgalarının olmadığı durumlarda) verimliliği %90'lara, bant genişliğini ise %35'lere kadar arttırabilmektedir. Fakat yüksekliğin artmasıyla birlikte, yüzey dalgaları oluşumu istenmeyen bir durumdur. Işıma için mevcut güç yüzey dalgalarında harcanarak, dielektrik profilin köşeleri gibi devamsızlık içeren noktalarda saçılmalar oluşturacak, anten ışıma paterni ve polarizasyon karakteristiklerinde bozulmalara neden olacaktır. Çeşitli yöntemlerle yüzey dalgaları giderilerek, yüksek bant genişliği değerleri korunur [1].

3.2.2 Konvansiyonel Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

Konvansyionel dikdörtgensel mikroşerit yama anten, düzlemsel yapısı, hafifliği, küçük boyutları nedeniyle GSM 1800 mobil haberleşme cihazlarında tercih edilmektedir. GSM 1800 için operasyon frekansı 1800 MHz seçilmiştir. Kolay bulunabilir olması nedeniyle, dielektrik profil için FR4 epoxy tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, dizayn parametreleri şu şekilde seçilmiştir.

- $f_o = 1800\ MHz$
- $\mathcal{E}_r = 4.4\ (FR4\ Epoxy)$
- $h = 0.1587\ mm$

Transmisyon Hat Modeli (TLM) formülasyonları kullanılarak, yamanın boyutları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- $Yama\ genişliği\ (W) = 42\ mm$
- $Yama\ uzunluğu\ (L) = 38\ mm$

Mikroşerit beslemeli yama antenlerde, besleme probu mikroşerit hattın başlangıç noktasına yerleştirilir. Güç akışı probtan, mikroşerit hat boyunca yamaya yayılır. Bu durumda maksimum verimle güç akışını sağlamak, geri yansıma kayıplarını minimize etmek amacıyla empedans uygunlaştırması yapmak elzemdir [2].

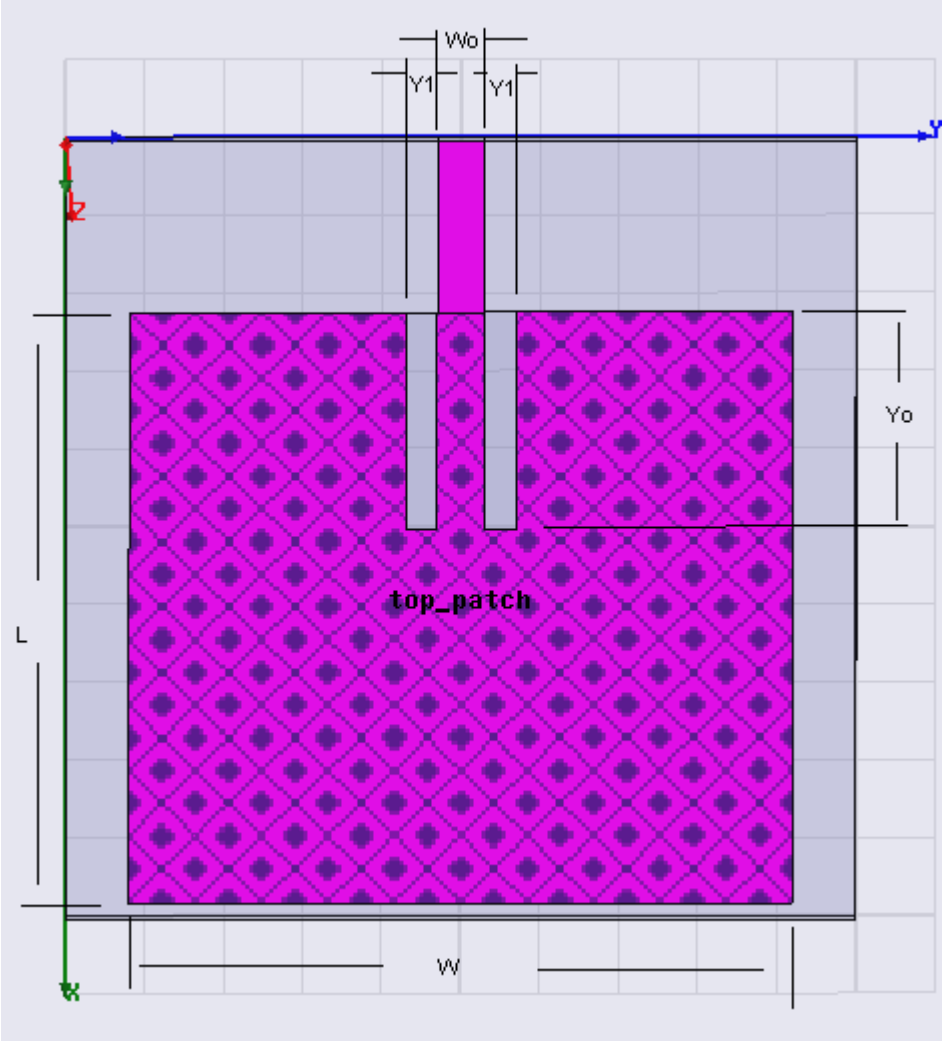
Empedans uygunlaştırma işleminde probun besleme direnci, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve dolayısıyla yamanın giriş empedansı eşitlenmelidir. Genellikle empedansın kapasitif değeri, rezistif değerine göre ihmal edilebilecek küçüklükte olması nedeniyle konjuge empedans uygunlaştırma prensibi gereği, rezistif değerler birbirine eşdeğer olacak şekilde empedans uygunlaştırması yoluna gidilir. Piyasada 50Ω direncinde problar yaygın şekilde kullanıldığı için uygunlaştırma değerimiz dolayısıyla mikroşeritin karakteristik empedansı ve yamanın rezonans giriş empedansının bu değerde olması sağlanacaktır.

Yamanın kenar noktalarında gerilim maksimum akım sıfır ($y_0 = 0$, *açık devre*), orta noktasında ise gerilim sıfır, akım maksimum değerdedir ($y_0 = L/2$, *kısa devre*). Tipik olarak mikroşerit ile yamanın birleşme noktasında yamanın giriş empedans değeri *150*Ω-*300*Ω aralığındadır [1].

Empedans dönüştürme formülüne göre, empedans uyumu sağlayabilmek için mikroşerit hat yamayla birleştirilirken yanında yer alan iki paralel uzunluklu yarıkla istenen rezonans giriş empedans değerini elde edene dek besleme noktası y_0 uzunluğu kadar ötelenerek empedans dönüşümü sağlanır. y_0 değeri değiştirilerek, mevcut anten rezonans giriş empedansı değiştirililir, dolayısıyla bu yolla empedans uygunlaştırması (dönüşümü) yapılır [1].

Yamanın genişliği (W) ve çok fazla olmamakla beraber dielektrik profilin yüksekliği (h) antenin giriş empedansını etkileyen büyüklüklerdir. Yamanın genişliği (W) arttırılarak arttırılarak, antenin giriş rezistansı düşürülebilir, fakat açıklık verimliliğinin düşmemesi için $W/L < 2$ eşitsizliğini aşmaması gerekir. Bunlarla birlikte operasyon (rezonans) frekansı ve dielektrik profilin dielektrik sabiti $\mathcal{E}_r$ de giriş empedansı değerini değiştirecektir.

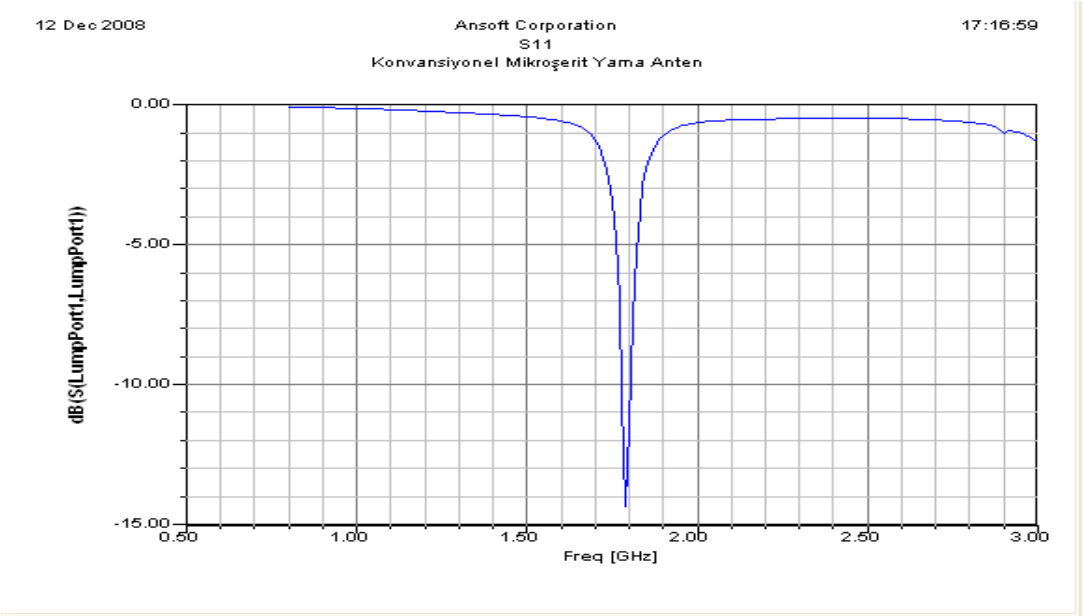
Benzer şekilde mikroşerit genişliği w_0, etkin dileketrik sabiti $\mathcal{E}_{eff}$ ve substrate yüksekliği h mikroşeritin karakteristik empedansını etkileyen büyüklüklerdir.



Şekil 3.1 Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten

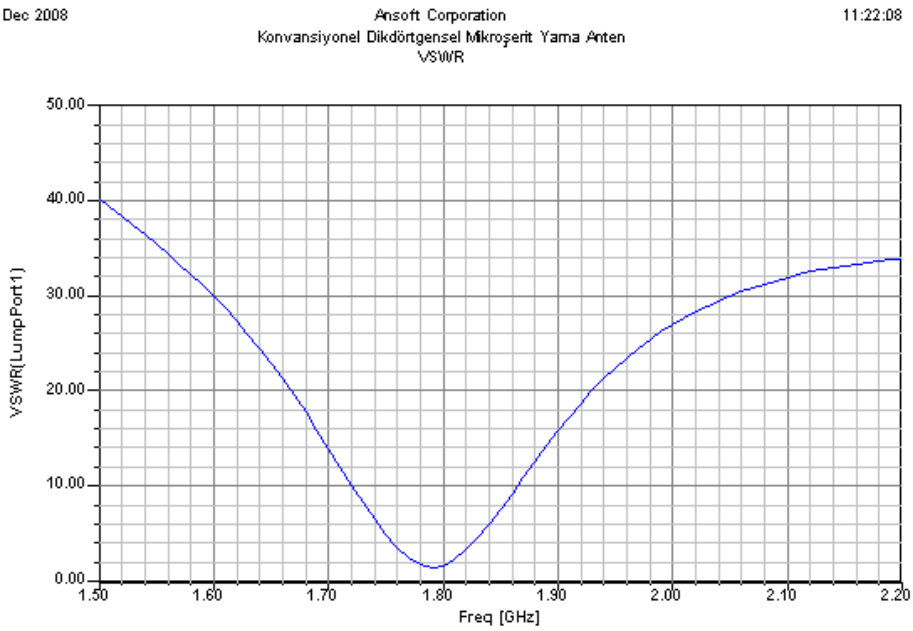
Şekil 3.1'de yer alan konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama antenin ölçüleri; $y_0 = 14\ mm,\ y_1 = 2\ mm,\ w_0 = 3\ mm,\ w_1 = 11\ mm$'dir. $50x50\ mm^{2'}$lik dielekrik profil kullanılmıştır. Profilin altında $50x50\ mm^{2'}$lik topraklama amaçlı yama

mevcuttur. Besleme mikroşerit hattın başlangıç noktasında, toprak ile hat arasında takılan konnektör ile yapılmaktadır.



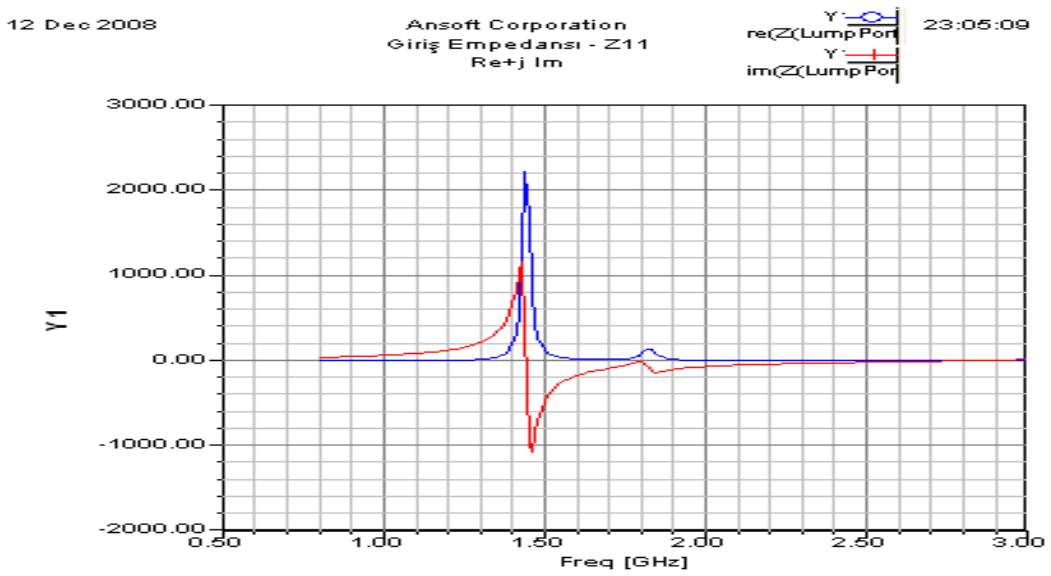
Şekil 3.2 Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Şekil 3.2'de tasarlanan antene ilişkin S_{11} değişimi gösterilmektedir. Değişim için 0.8-3 GHz aralığı alınmıştır. Antenimizin ışıması için geçerli koşul VSWR$\leq$ 2 ve RL (Geri dönüş kaybı), $S_{11} \leq$ *-9.5 dB* aralığında olmasıdır. Antenin rezonansa geldiği değer yaklaşık 1.79 GHz'dir. Bu değerde $S_{11} = -14.34\, dB$'dir. Teorikte $S_{11} \leq$ *-9.5 dB* koşulu geçerli olmasına karşın, literatürde bant genişliği hesaplamalarında $S_{11} \leq$ *-5 dB* olarak alınmaktadır. Bu durumda, 1.79 GHz merkez (rezonans) frekansında yaklaşık 1.83- 1.76 GHz aralığında, 70 MHz'lik bant genişliği değeri elde edilmektedir. Bu da yaklaşık %3.9'luk bir orana tekabül etmektedir. GSM 1800 için gereken 1880-1710 MHz için bant genişliği dardır. Yama antenlerin en tipik sorunu bant genişliklerinin darlığı olup, özel teknikler ile arttırılabilmektedir.



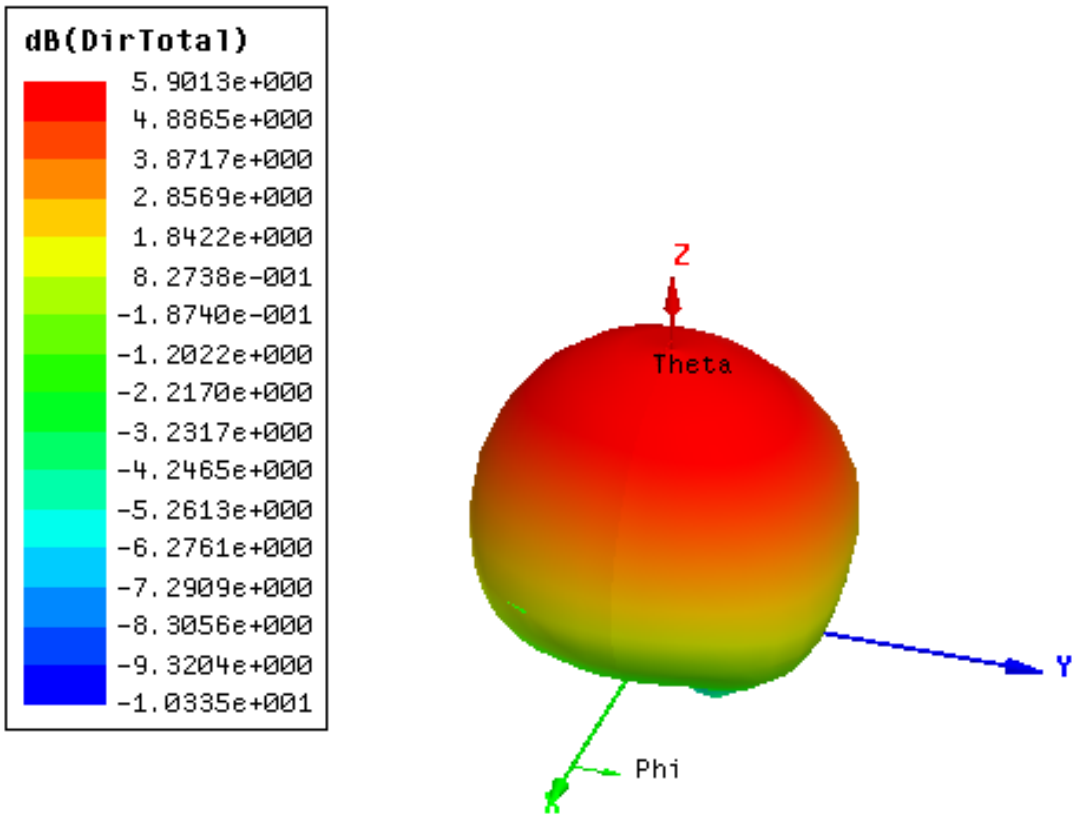
Şekil 3.3 Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten VSWR grafiği

Şekil 3.3'de frekans tarama aralığında VSWR (duran dalga oranı) değişimi yer almaktadır. ($1 \leq VSWR < \infty$ aralığında değişir, en ideal değer empedans uyumunun tam olduğu VSWR=1 değeridir. Bu durumda anten ile iletim hattı arasında geri yansıma yoktur [5].) Mevcut bant genişliği içerisinde VSWR değerlerinin çok küçük değerlerde olduğu, empedans uygunlaştırmasının mevcut rezonans (operasyon) frekansı için oldukça iyi yapıldığı, mikroşerit iletim hattında geri yansımaların ve duran dalga oranlarının minimum değerlere yakınsadığı gözlenmektedir. Rezonans frekansı 1.79 GHz için VSWR değeri 1.47'dir.



Şekil 3.4 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten Z_i Grafiği

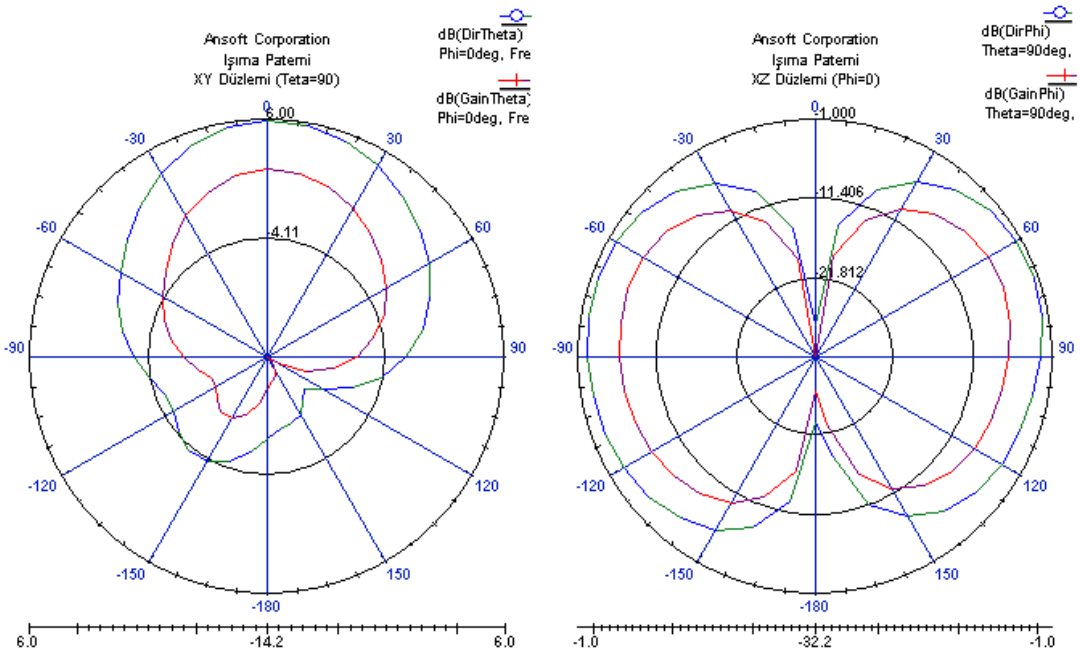
Şekil 3.4'de giriş empedansının *(Z_i)* frekansa göre değişimi yer almaktadır. Empedans uygunlaştırması esnasında konnektör empedans değeri, mikroşerit hat karakteristik empedansı 50 Ω civarlarında rezistif etkisinin baskın olduğu dikkate alınarak, paralel empedans uygunlaştırıcı besleme yarıklarının uzunluğu, rezonans giriş empedansını bu değere yakınlaştıracak şekilde ayarlanmıştır. Dolayısıyla, 1.79 GHz için $Re(Z_i)$ değeri 57.8 Ω, $Im(Z_i)$ değeri ise -19.5'dur.



Şekil 3.5: Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten 3-boyutlu uzak alan yönlendiricilik (ışıma) paterni – 1.79 GHz

Şekil 3.5'de 1.79 GHz merkez frekansı için yönlendiricilik-ışıma paterni (3-boyutlu polar çizim) yer almaktadır. Antenin xy düzleminde, z ekseni (normal) doğrultusunda 5.9 dBi'lık yönlendiricilik özelliği bulunmaktadır. Arka kısmına yaydığı enerji minimum değerlerde olup, mobil haberleşme cihazlarında SAR değerlerini düşürmek için ideal ışıma paterni bu şekildedir. Normal doğrultusunda maksimum yönlendiricilik, arka lobta minimum enerji yayılımı hedeflenmektedir. Dolayısıyla dizayn bu beklentiyi karşılamaktadır.

Anten, 1.79 GHz merkez frekansında 5.9 dBi maksimum yönlendiricilik değerinde, 0.37 (%37) ışıma verimliliğiyle 1.7 dBi'lik kazanç değerine ulaşmaktadır.



Şekil 3.6 : Konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten 2- boyutlu uzak alan yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni – 1.79 GHz

Şekil 3.6'da 1.79 GHz merkez frekansında antene paralel ve dikey yüzeylerde, ışıma paterninin 2-boyutlu görüntüsü yer almaktadır. Küresel koordinat sisteminde, maksimum değerleri içeren, $\varphi = 0°$ (xz-düzlemi) ve $\theta = 90°$ (xy-düzlemi) düzlemleri baz alınmıştır.

Antenin içerisinde bulunduğu düzleme dik olan $\varphi = 0°$ düzleminde antenin yönlendiricilik özelliği dikkat çekmektedir. Bu düzlemde $\theta = 0°$ (normal) doğrultusunda 5.9 dBi yönlendiricliğe sahipken, arka lobunda $\theta = 180°$ doğrultusunda bu değer -7dB değerlerine düşmekte, ön lob ile arka lob arasında 12.9 dB'lik bir ışıma şiddeti oranı mevcuttur.

$\varphi = 0°$ dikey düzlemde, antenin dikey hüzme genişliği (HPBW) yaklaşık 135°, $\theta = 90°$ yatay düzlemde, antenin yatay hüzme genişliği (HPBW) yaklaşık 95°'dir.

Çizelge 3.1 : 1.79 GHz için parametrik sonuçlar

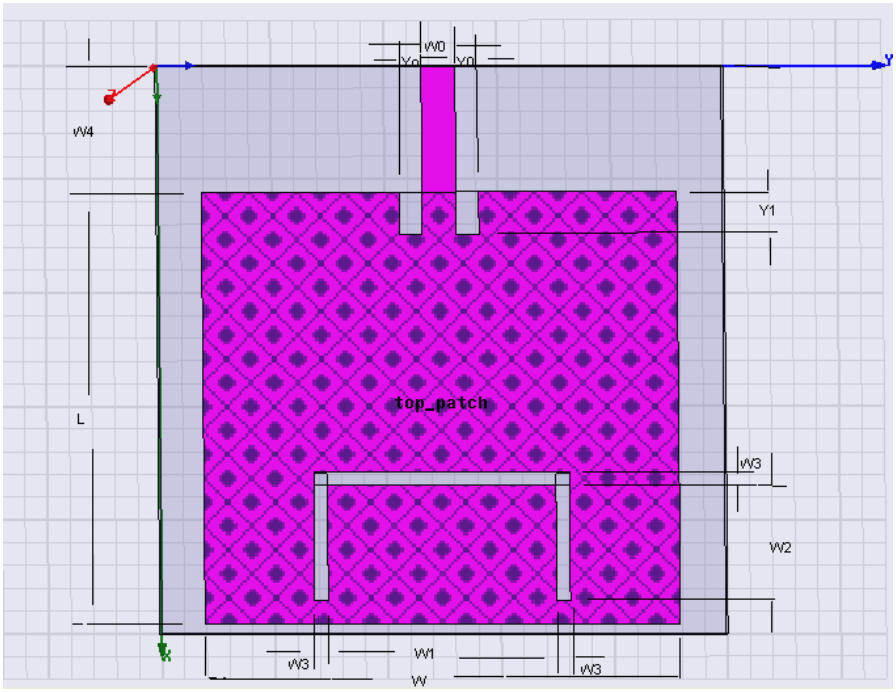
BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	FBR	$HPBW_v$	$HPBW_h$
70 MHz	3.9	-14.34 dB	1.47	57.8-j19.5	5.9 dBi	1.7 dBi	0.37	12.9 dB	135°	95°

3.2.3 U-Tipi Yarıklı Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

Bu bölümde, bir önceki bölümde 50x50mm^2'lik dielektrik profil üzerine tasarladığımız konvansiyonel dikdörtgensel yama antenin boyutlarını değiştirmeden yama üzerine U-tipi bir yarık oluşturarak, mevcut anten modifiye edilecektir.

Yarığın şekli, uzunlukları, genişliği, yama üzerindeki konumu değiştirilerek, mevcut anteni optimize etmek, ISM 2.4 bandında kullanılabilecek boyut ve performans değerlerinde tasarlamak hedeflenmektedir.

Bu doğrultuda bahsettiğimiz optimizasyon parametrelerini değiştirerek, antenin rezonans frekansını (operasyon frekansı) değiştirmek, mümkünse ek rezonans frekansları elde etmek ve bant genişliklerini arttırmak hedeflenmektedir.

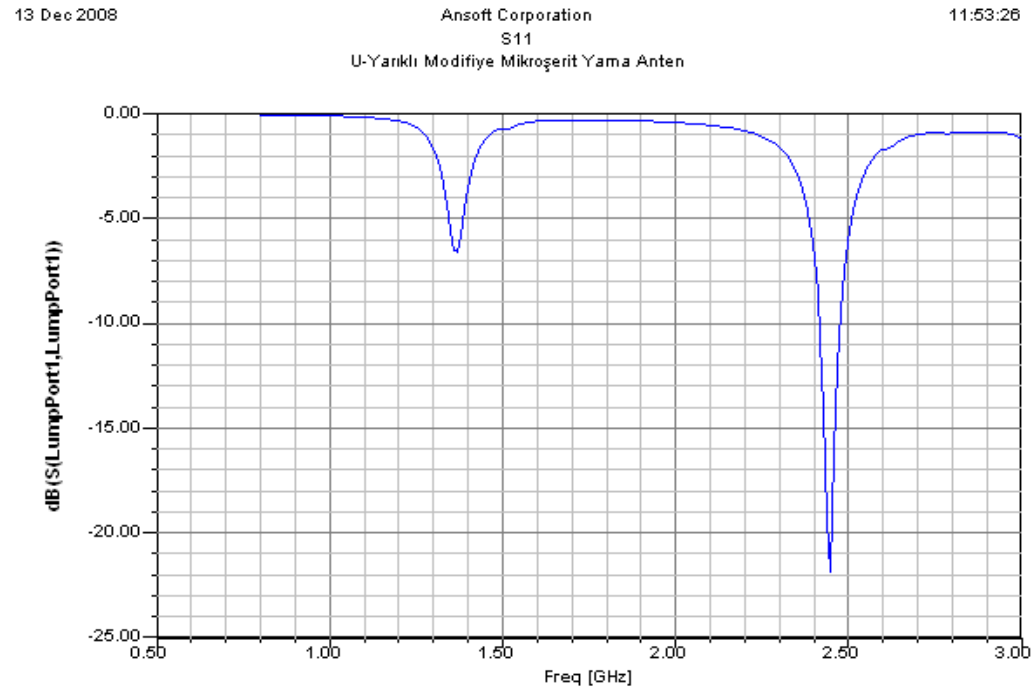


Şekil 3.7 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten

Şekil 3.7'de, tasarlanan U-tipi yarıklı yama anten görülmektedir. Antenimiz mevcut 50x50mm^2'lik h = 1.587 mm yüksekliğindeki FR4 Epoxy dielektrik profil üzerindedir. Dielektrik profilin altında 50x50mm^2'lik topraklama yaması mevcuttur.

Antenin ölçüleri; L= 38 mm, W= 42 mm, $w_0 = 3\,mm$, $w_1 = 20.2\,mm, w_2 = 11.2\,mm, w_3 = 1.2\,mm, w_4 = 11\,mm, y_0 = 2\,mm, y_1 = 3.8\,mm$'dir. Bunlar rezonans frekansı ve diğer parametrik çıktılar için deneme yanılma yöntemi ile optimize edilmiş değerlerdir.

Dizaynda *W, L, h* ve $\mathcal{E}_r$ değerleri değiştirilmemiştir, yani antenin ebatları sabit kalmıştır. Bununla birlikte yarığın konumu ve w_1, w_2, w_3, y_0 değerleri optimizasyon için, y_1 değeri empedans dönüştürme amacı için, w_0 mikroşerit hattın karakteristik empedansı için kullanılmıştır.



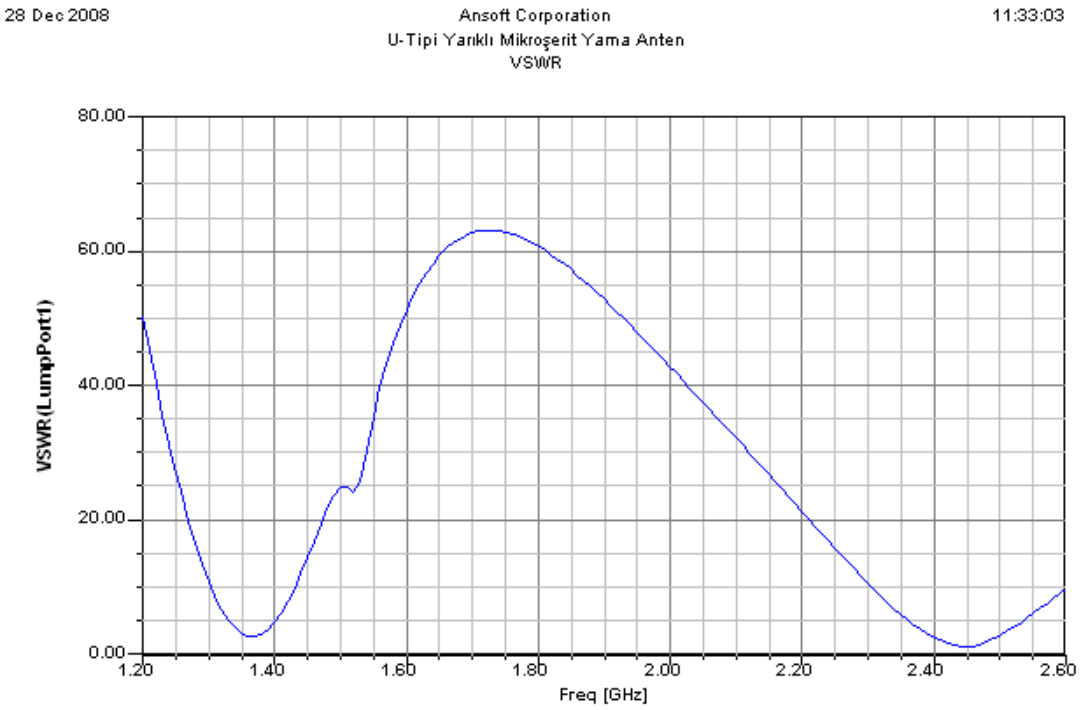
Şekil 3.8 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Şekil 3.8'de antenin 0.8-3 GHz aralığında S_{11} değişimi yer almaktadır. Antenimizin ışıması için geçerli koşul VSWR$\leq$ 2 ve RL (Geri dönüş kaybı) = $S_{11} \leq$ *-9.5 dB* aralığında olmasıdır. Teoride $S_{11} \leq$ *-9.5 dB* koşulu geçerli olmasına karşın, literatürde bant genişliği hesaplamalarında $S_{11} \leq$ *-5 dB* eşitsizliği referans alınmaktadır.

Antenimiz 2.45 GHz frekansında rezonans durumundadır. 2.45 GHz rezonans frekansında, S_{11}= *-21.82 dB* ile minimum değerini almaktadır. 2.45 GHz merkez (rezonans) frekansında 140 MHz ile 2.38-2.52 GHz aralığında %5.7'lik empedans band genişliğine sahiptir. Bu değerler 2.4-2.5 GHz frekans aralığını kullanan ISM 2.4 bandının gereksinimlerini karşılayabilmektedir.

Anten ikinci olarak, 1.34- 1.39 GHz bandı ve 1.365 GHz merkez frekansında $S_{11} \leq$ *-5 dB* eşitsizliğini sağlamakta, bu frekansta S_{11}= *-6.6 dB* değerini almaktadır.

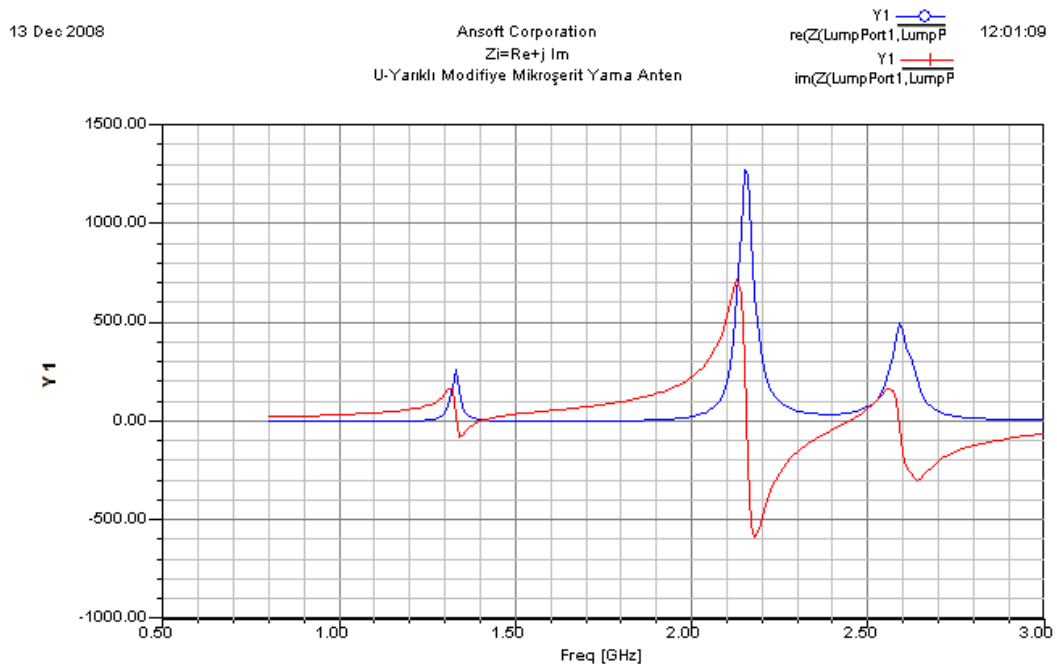
50MHz ile % 3.7'lik bir band genişliği sunmaktadır. Buradaki S_{11} değeri ve bant genişliğinin boyutu verimli bir operasyon için yetersiz kalacaktır.



Şekil 3.9 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten VSWR grafiği

Şekil 3.9'da 0.8-3 GHz frekans aralığında VSWR (duran dalga oranı) değişimi yer almaktadır. 2.45 GHz rezonans frekansında VSWR = 1.2 değerindedir. Grafiktende görüleceği gibi, 2.4-2.5 band aralığında VSWR değerleri minimumdadır. Bu aralıkta empedans uygunlaştırması sonucu, geri yansımalar mimimuma indirgenmiştir. Dolayısıyla mikroşerit hat üzerinde duran dalgalar oluşmamaktadır.

Antenin rezonansa uğradığı kısmen daha vasat ışıdığı, 1.365 GHz rezonans frekansında ise VSWR = 2.75 değerini almaktadır. Bu değer, ikinci rezonans frekansında empedans uyumunun tam olarak sağlanamadığını göstermektedir.

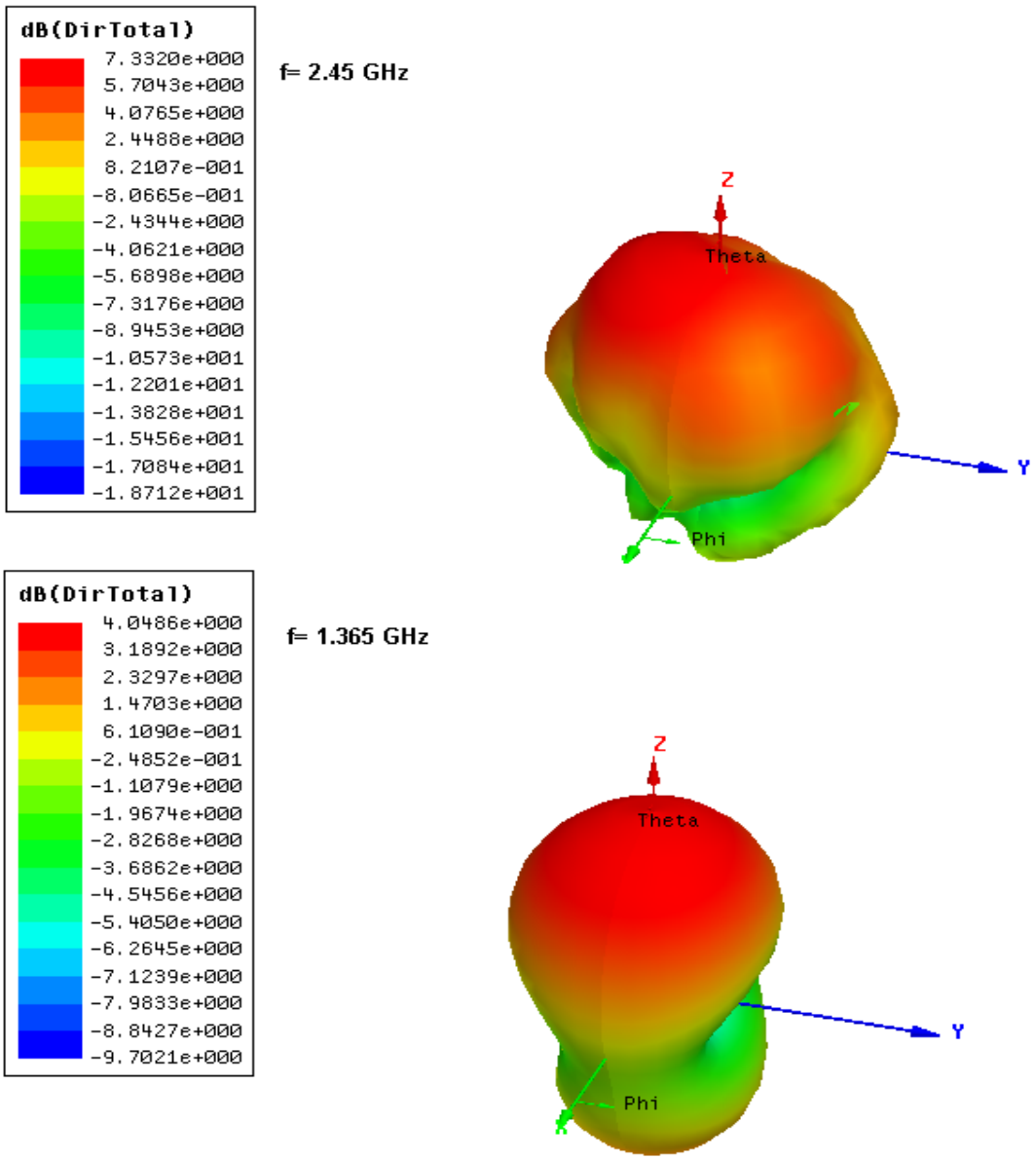


Şekil 3.10 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama anten Z_i grafiği

Şekil 3.10'da yama antenin giriş empedansının (Z_i) 0.8-3 GHz frekans aralığındaki değişimi yer almaktadır. Konnektörün empedans değeri 50 Ω olması nedeniyle, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve yama antenin giriş empedans değeri 50Ω değerlerine çekilerek empedans uygunlaştırması yapılır. Giriş empedansı rezistif karakterde olduğu için, sanal bileşen genellikle ihmal edilir.

2.45 GHz rezonans (merkez) frekansında $Re(Z_i)$ = 44 Ω, $Im(Z_i)$ = 4.8 değerindedir. Değerlerden de anlaşılacağı gibi rezonans frekansında rezistif değer daha baskın ve 50 Ω'a yakın değerlerde, sanal kısım ise ihmal edilebilecek küçük değerlerdedir.

1.365 GHz ikinci rezonans frekansında $Re(Z_i) = 42$ Ω, $Im(Z_i)$ = -48.5 değerindedir. Bu frekans değerinde giriş empedansıda reaktif bileşenler de devreye girmektedir.

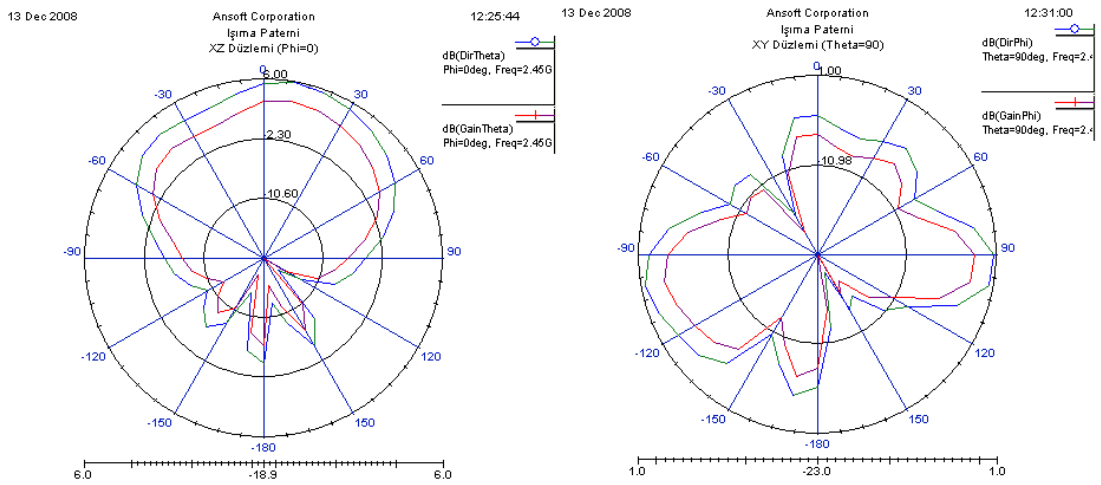


Şekil 3.11 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2.45 GHz ve 1.365 GHz'de 3-Boyutlu uzak alan yönlendiricilik (ışıma) paterni

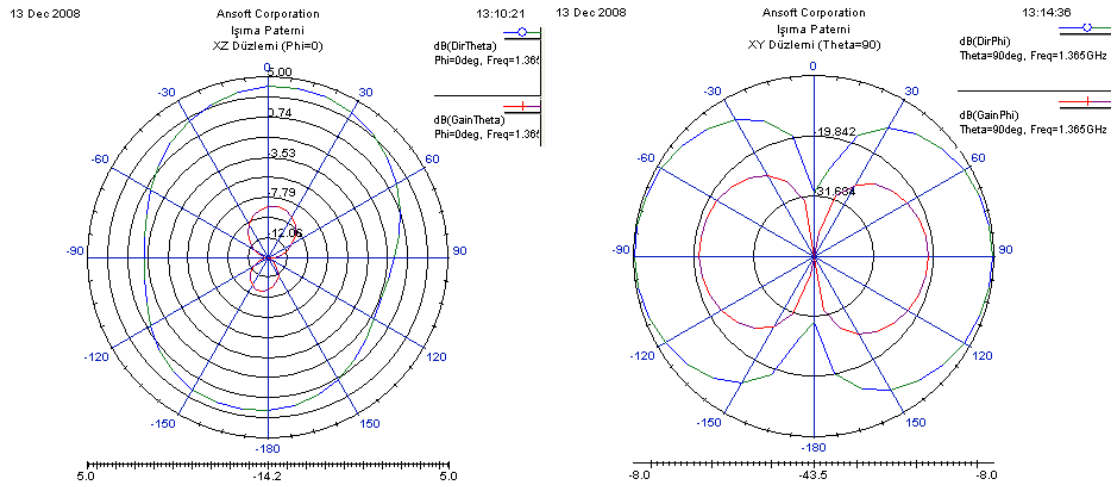
Şekil 3.11'de U-tipi yarıklı yama antenin 2.45 GHz ve 1.365 GHz değerlerindeki 3-boyutlu yönlendiricilik paterni yer almaktadır.

2.45 GHz frekansında anten, 7.3 dBi'lık maksimum yönlendiriciliğe, aynı yönde 4.75 dBi maksimum kazanca sahiptir. Dolayısıyla % 55 ışıma verimliliği ile ışımaktadır.

1.365 GHz frekansında ise, 4 dBi'lık maksimum yönlendiriciğe ve -8.6 dBi maksimum kazanca sahiptir. Bu frekans değerinde % 5.4 ışıma verimliliği ile ışımaktadır.



Şekil 3.12 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni - 2.45 GHz



Şekil 3.13 : U-tipi yarıklı dikdörtgensel mikroşerit yama antenin 2-boyutlu uzak alan yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni – 1.365 GHz

Şekil 3.12 ve 3.13'de U-tipi yarıklı yama antenin dikey (xz) ve yatay (xy) düzlemlerde 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç grafikleri yer almaktadır. Her iki düzlemde de ışıma paternlerinin maksimum değerlerinin içeren $\varphi = 0°$ (*xz-düzlemi*) ve $\theta = 90°$ (*xy-düzlemi*) düzlemleri baz alınmıştır.

2.45 GHz'de Şekil 3.12'den de görüleceği gibi yönlendiricilik ve kazanç çizimleri biribirine çok yakındır. Bu durum antenin yüksek ışıma verimliliğiyle ışıdığını göstermektedir.

Aynı durum Şekil 3.13'de 1.365 GHz'deki geçerli değildir. 1.365 GHz'de U-tipi yarıklı modifiye anten düşük verimle ışıdığından dolayı kazanç değerleriyle yönlendiricilik değerleri arasında daha büyük farklar gözlenmektedir.

2.45 GHz'de φ = 0° (dikey düzlem) düzleminde dikey hüzme genişliği 105° , θ = 90° (yatay düzlem) düzleminde yatay hüzme genişliği 30°'dir.

1.365 GHz'de φ = 0° (dikey düzlem) düzleminde dikey hüzme genişliği 105° , θ = 90° (yatay düzlem) düzleminde yatay hüzme genişliği 100°'dir.

Çizelge 3.2 : 2.45 GHz için parametrik sonuçlar

BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
140 MHz	5.7	-21.82 dB	1.2	44+j4.8 Ω	5.9 dBi	1.7 dBi	0.55	105°	30°

Çizelge 3.3 : 1.365 GHz için parametrik sonuçlar

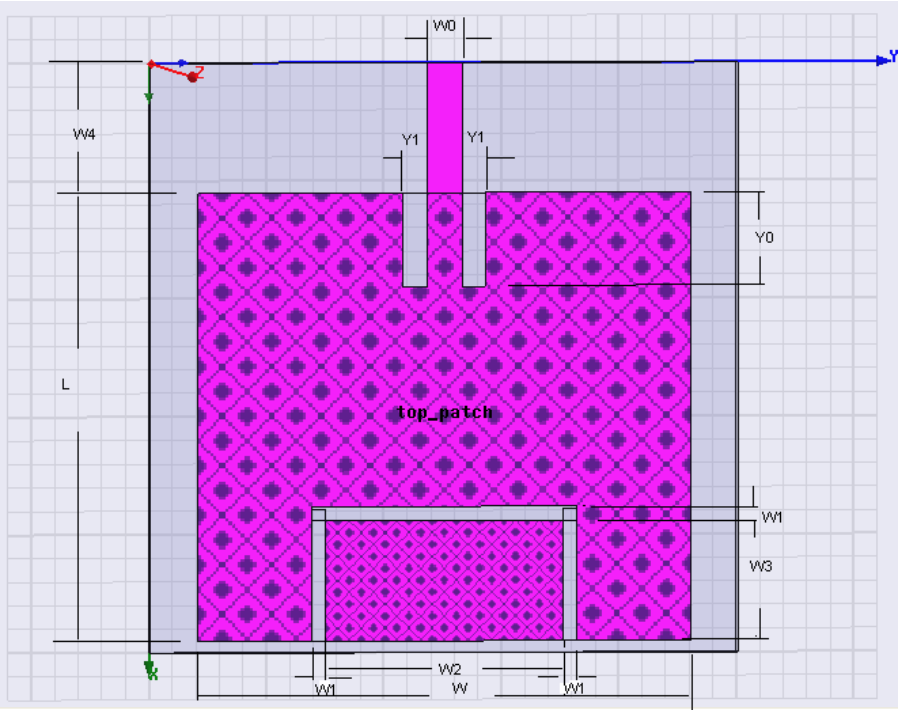
BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
50 MHz	3.7	-6.6 dB	2.75	42-j48.5 Ω	4 dBi	-8.6 dBi	0.054	105°	100°

Çizelge 3.2 ve 3.3'den gözlenebileceği gibi, U-tipi yarıklı yama anten, 2.45 GHz frekansında oldukça verimli bir şekilde ışımakta, fakat 1.365 GHz frekansında ise başarısız performans göstermektedir. 1.365 GHz'de $S_{11} \leq -9.5\ dB$ koşulunu sağlamamaktaydı, BW (bant genişliği) dardı, VSWR değeri yüksekti. Dolayısıyla düşük kazanç ve düşük ışıma verimliliğinden de görünüyor ki bu frekans değerinde U- tipi yarıklı modifiyenin performansı düşüktür. Fakat, 2.45 GHz frekansı ve bandında antenimiz oldukça yüksek kazanç ve yönlendirilikle, yüksek verimle ışımakta, ISM 2.4 bandının tümünü kaplayabilecek bant genişliği sunmaktadır. Özetle, ISM bandının gereksinimlerini sağlayacak performansı göstermektedir.

3.2.4 U-Tipi Yarıklı Modifiye Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

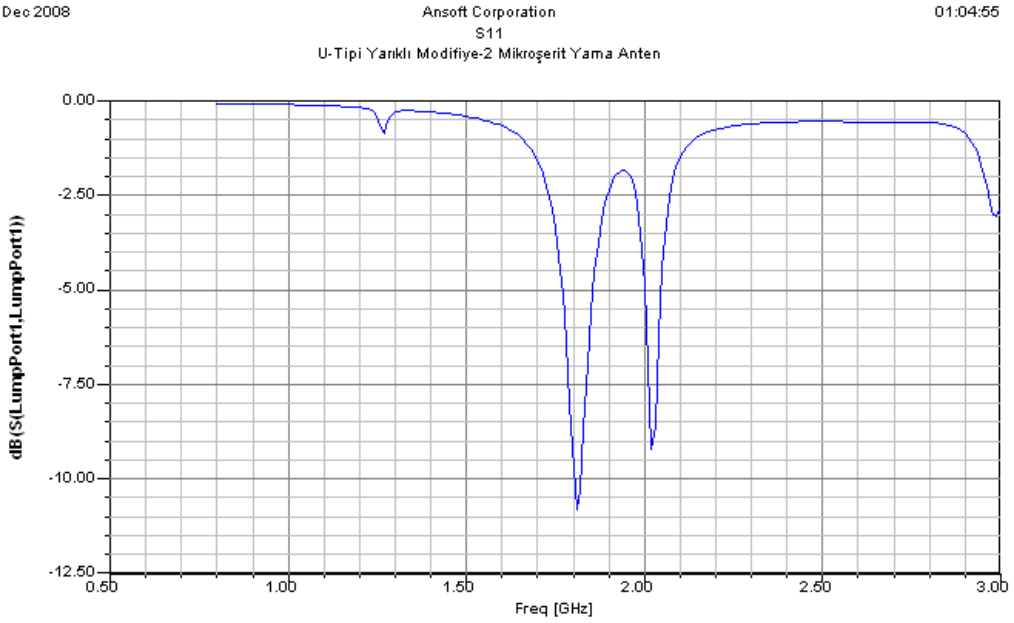
Bu bölümde mevcut U-tipi yarıklı yama antenin modifiye edilerek, antenin rezonans frekansının kaydırılması, ikinci bir rezonans frekansı üretilerek, yapıya dual-band operasyon yeteneği kazandırılması hedeflenmektedir. Dual bandlı operasyonun, mobil haberleşme frekans bandlarında servis verebilecek merkez frekanslarına ve yeterli band genişliklerine sahip olması ikinci hedefimiz olacaktır. Hedeflenen parametrik özelliklere sahip anten tasarlanırken, boyutlarında herhangi bir değişim yapılmaması, mevcut boyutlardaki dielektrik profil ve yamanın değiştirilmemesi önem taşımaktadır. Bunun yerine optimizasyon amaçlı yarıklar kullanılacaktır. Yarıklar yardımıyla rezonans frekansı farklı bir banda kaydırılacak, ek rezonans frekansları ile yeterli band genişliği oranlarında dual-bandlı bir yapı elde edilmeye çalışılacaktır.

Bu doğrultuda, bölüm 3.2.3'deki mevcut U-tipi yarıklı yama antenin U-tipi yarığı x-ekseni doğrultusunda ötelenmiştir. U-tipi yarığın yama üzerinde, y-ekseni doğrultusundaki simetrisi korunmuştur.



Şekil 3.14: U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten

Antenin ölçüleri; $W = 42\ mm, L = 38\ mm, y_0 = 8\ mm, y_1 = 2\ mm, w_0 = 3\ mm, w_4 = 11\ mm, w_2 = 20.4\ mm, w_1 = 1{,}2\ mm, w_3 = 11.2\ mm$ olup, $h = 1{,}587\ mm$ yüksekliğinde 50x50 mm^2 boyutlarında FR-4 epoxy dielektrik profil kullanılarak, alt yüzeyi topraklama amaçlı 50x50 mm^2'lik yama ile kaplanmıştır.

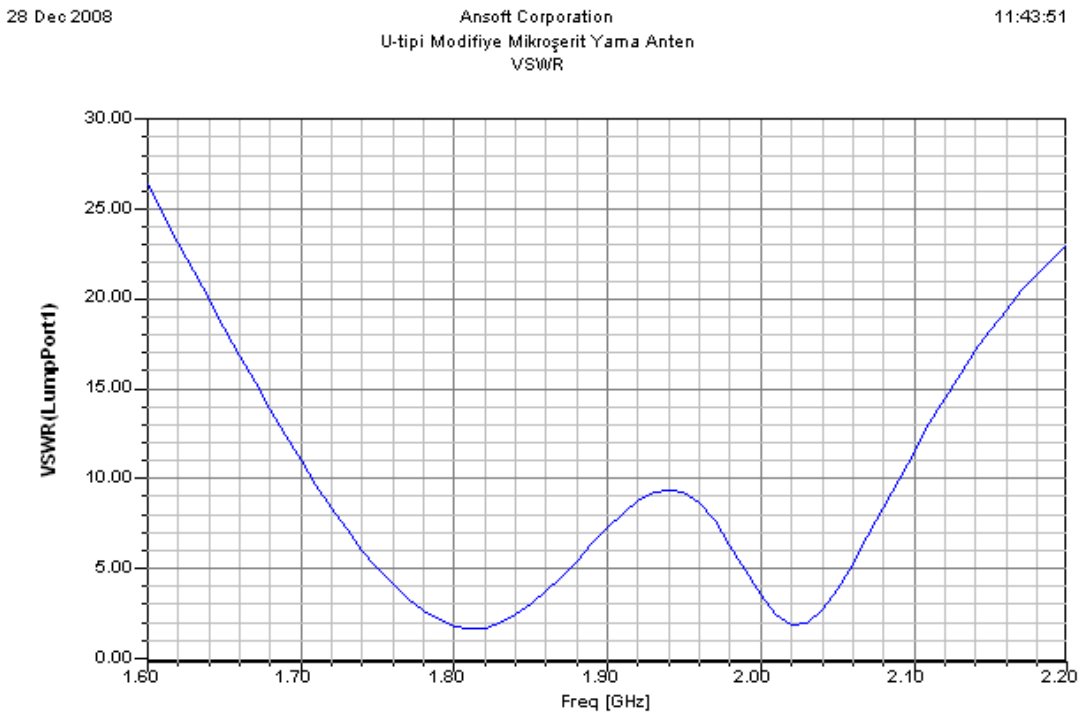


Şekil 3.15 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Şekil 3.15'de 0.8-3 GHz aralığında U-tipi yarıklı modifiye yama antenin S_{11} değişimi yer almaktadır. Işıması için geçerli koşul VSWR≤ 2 ve RL (Geri dönüş kaybı) = $S_{11} \leq$ -9.5 dB aralığında olmasıdır. Teorikte $S_{11} \leq$ -9.5 dB koşulu geçerli olmasına karşın, literatürde bant genişliği hesaplamalarında $S_{11} \leq$ -5 dB olarak alınmaktadır.

Anten ilk olarak $S_{11} = -10.8\ dB$ değeriyle 1.81 GHz frekansında, ikinci olarak da $S_{11} = -9.2\ dB$ değeriyle 2.02 GHz frekansında rezonansa gelmektedir.

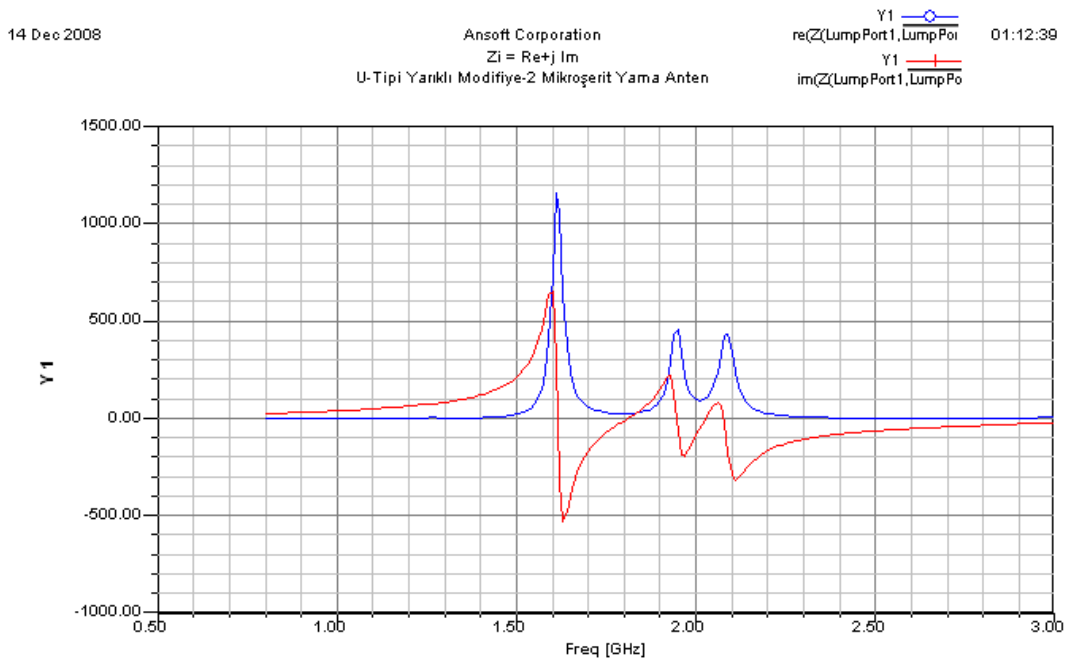
1.81 GHz merkez (rezonans) frekansında, 90 MHz değeri ile % 5 oranla, 2.02 GHz merkez (rezonans) frekansında ise 50 MHz ile % 2.5'luk bir oranla empedans band genişliği sunmaktadır. Anten, S_{11} değeri ve empedans band genişliği değerleri ile, 1.81 GHz rezonans frekansında daha başarılı bir performans göstermektedir.



Şekil 3.16 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten VSWR grafiği

Şekil 3.15'de 0.8-3 GHz aralığında U-tipi yarıklı modifiye yama antenin VSWR (duran dalga oranı) değişimi yer almaktadır. VSWR, bize mevcut band ve operasyon frekanslarında empedans uygunlaştırma işleminin başarımı hakkında fikir verir [2]. Empedans uyumunun olmadığı frekans değerlerinde, iletim hattı ile anten arasında güç transferi geri yansımalarla verimsizleşecektir. Bu durum, iletim hattında duran dalgalar oluşturarak, güç kaybına neden olacak, güç iletimini verimsizleştirecek, antenin mevcut frekansta verimli ışımasını engelleyecektir.

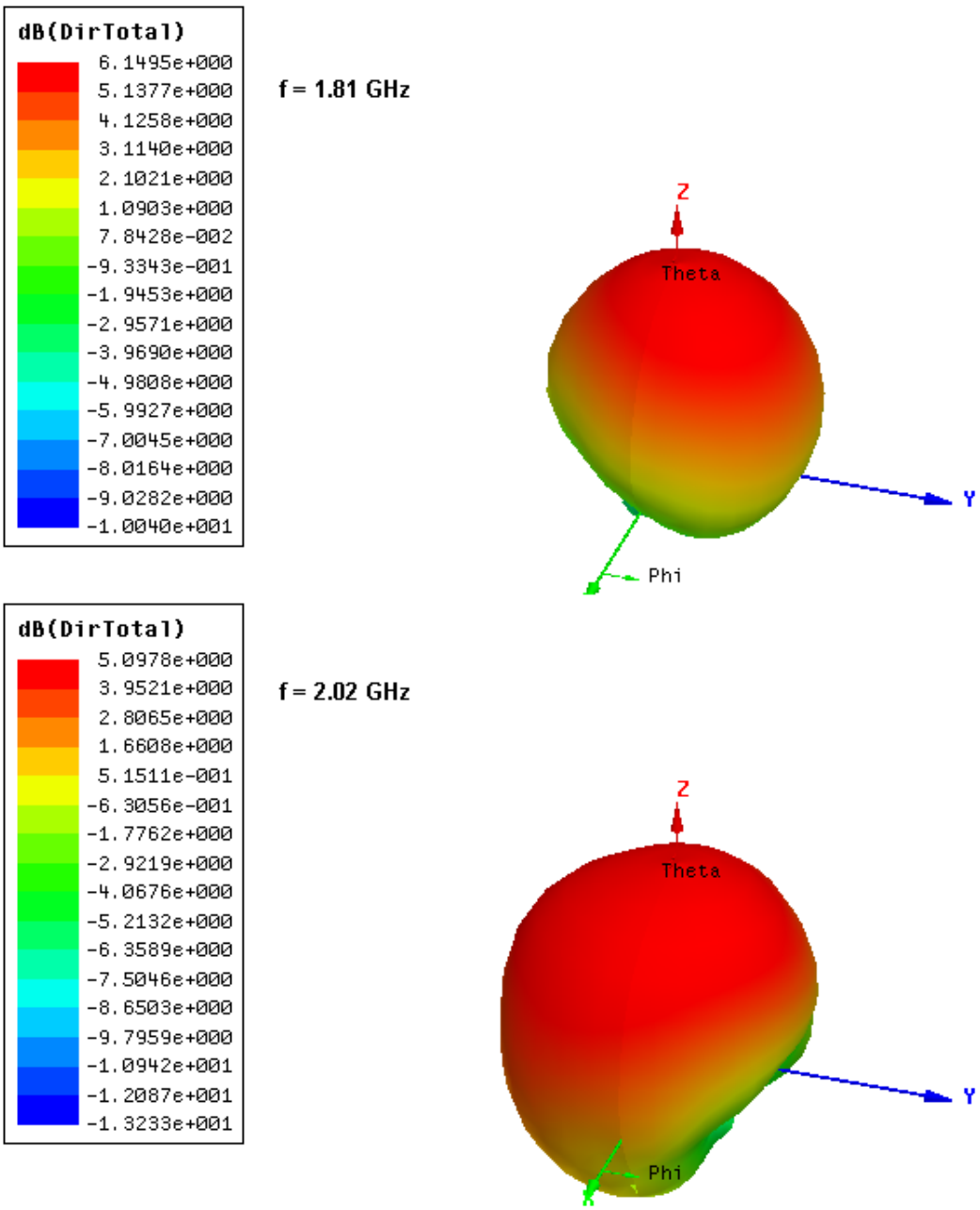
U-tipi yarıklı modifiye yama anten, rezonansa uğradığı 1.81 GHz frekansında VSWR = 1.8, 2.02 GHz frekansında ise VSWR = 2 değerini almaktadır. Dolayısıyla, 1.81 GHz frekansında mikroşerit hatta daha düşük oranlarda duran dalgalar oluşmakta, yani geri yansımalar azalmakta, güç transferi daha verimli olmaktadır.



Şekil 3.17 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten Z_i grafiği

Şekil 3.17'de U-tipi yarıklı modifiye yama antenin 0.8-3 GHz frekans aralığında giriş empedansı değişimi yer almaktadır. Besleme konnektörü, mikroşerit hat ve antenin giriş empedans değerleri arasında, verimli güç transferi sağlayabilmek amacıyla empedans uygunlaştırması yapılır. Genelde konnektör iç direnci 50 Ω değerinde rezistif ağırlıklı olması nedeniyle, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve antenin giriş empedansı bu değere eşitlenir. Empedans, sanal bileşenleri rezistif kısımlarının yanında ihmal edilebilecek değerlerdedir [1].

1.81 GHz frekansında rezonans giriş empedansı $Z_i = 27.6 - j0.3$ Ω, 2.02 GHz frekansında ise $Z_i = 96.6 - j21.5$ Ω değerindedir. Her iki rezonans frekansında rezistif bileşen değerleri, 50 Ω'dan farklıdır. Bu durum, güç transferinin verimini düşürebilir. 1.81 GHz frekansında empedansın rekatif bileşeni ihmal edilebilecek küçüklükte iken, 2.02 GHz frekansında reaktif bileşen değeri yükselmektedir. Bu durum empedans uyumunu olumsuz etkileyecektir. Bu etkiyi gidermek için mikroşerit hatta bu büyükülkte indüktif bileşen yaratmak gerekebilir.



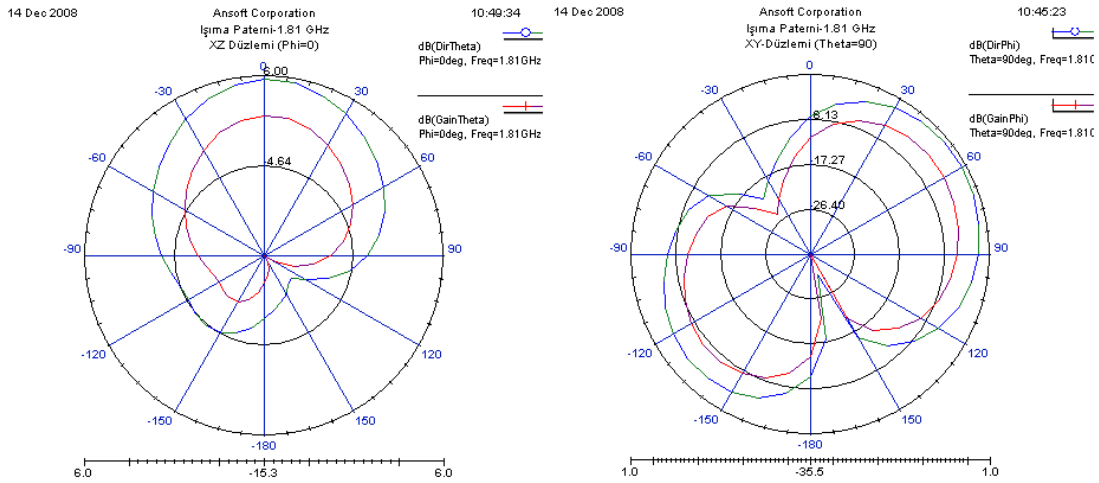
Şekil 3.18 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.81 GHz ve 2.02 GHz'de 3-Boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni

Şekil 3.18'de U-tipi yarıklı modifiye yama antenin her iki rezonans frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni yer almaktadır.

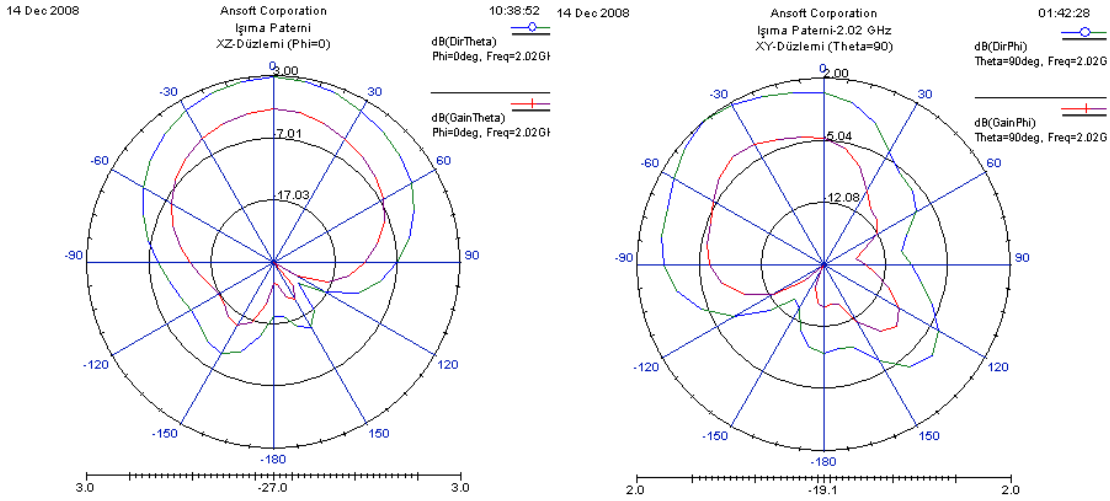
1.81 GHz frekansında, 6.15 dBi'lık maksimum yönlendiricilik ve %38 ışıma verimliliği ile 1.9 dBi'lık maksimum kazanç değerini almaktadır.

2.02 GHz frekasında, 5.1 dBi'lık maksimum yönlendiricilik ve %30 ışıma verimliliği ile -0.06 dBi'lık maksimum kazanç değerini almaktadır.

Dolayısıyla U-tipi yarıklı modifiye yama anten, ışıma verimliliği, yönlendiriciliği ve dolayısıyla kazancı dikkate alınarak, 1.81 GHz rezonans frekansında daha yüksek performans göstermektedir.



Şekil 3.19 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.81 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni



Şekil 3.20 : U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.02 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni

Şekil 3.19'da U-tipi yarıklı modifiye yama antenin 1.81 GHz frekansında küresel koordinat sistemine gore $\varphi = 0°$ (xz-dikey düzlem) ve $\theta = 90°$ (xy-yatay düzlem) düzlemlerinde 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç patern kesitleri üst üste çizdirilmiştir. Aynı grafikler, şekil 3.20'de 2.02 GHz frekansı için verilmiştir. Maksimum ışınan enerji $\varphi = 0°$ düzleminde, $\theta = 0°$ açısı yönündedir.

1.81 GHz frekansında, $\theta = 90°$ düzleminde 90° yatay hüzme genişliği, $\varphi = 0°$ düzleminde ise 80° dikey hüzme genişliğine sahiptir.

2.02 GHz frekansında ise, θ = 90° düzleminde 105° yatay hüzme genişliği, φ = 0° düzleminde ise 90° dikey hüzme genişliğine sahiptir.

Çizelge 3.4 : 1.81 GHz için parametrik sonuçlar

BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
90 MHz	5	-10.8 dB	1.8	28-j0.3 Ω	6.15 dBi	1.9 dBi	0.38	80°	90°

Çizelge 3.5 : 2.02 GHz için parametrik sonuçlar

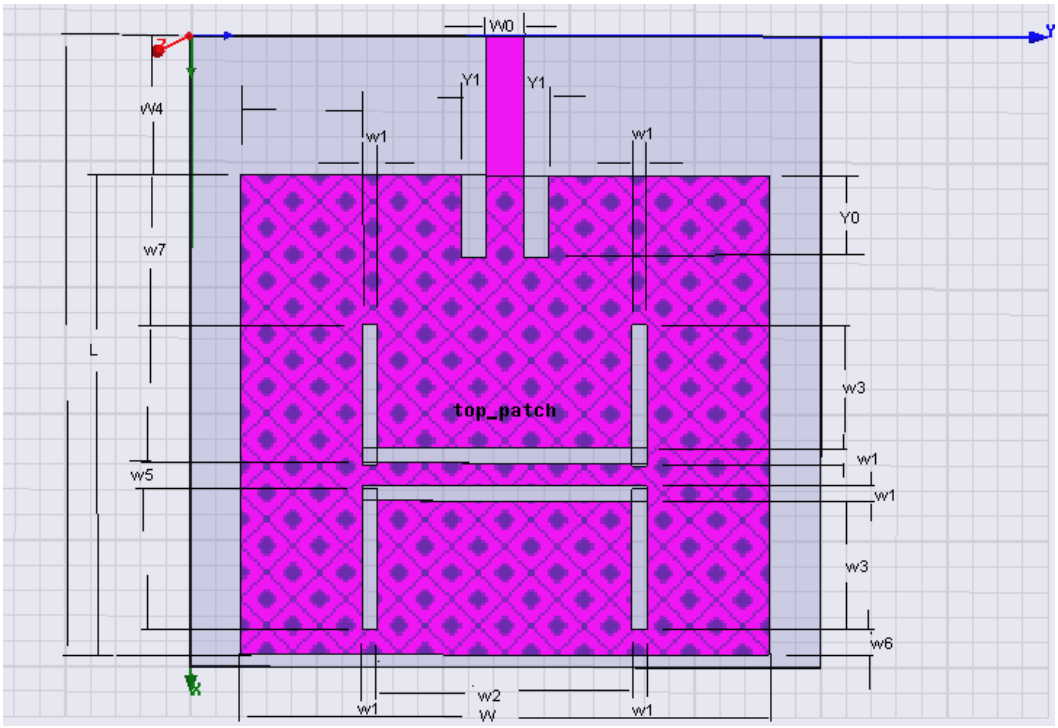
BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
50 MHz	2.5	-9.2 dB	2	97-j22 Ω	5.1 dBi	-0.06 dBi	0.3	90°	105°

Çizelge 3.4 ve 3.5 ‘de U-tipi yarıklı modifiye yama antenin her iki rezonans frekansında parametrik verileri yer almaktadır. Anten 1.81 ve 2.02 GHz frekanslarında rezonansa uğramakta, dual-band ışıma özelliği göstermektedir. Antenin tasarımı aşamasında, boyutlarını arttırmadan yama üzerinde oluşturulan yarıklar vasıtasıyla rezonans frekansının kaydırılabilmesi ve ek rezonans frekansı oluşturularak dual-band özelliği kazandırılması, taşınabilir mobil haberleşme cihazlarında kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Bu durumda, GSM-1800 ve UMTS-2000 standartlarını destekleyen mobil cihazlarda kullanılabilmesi için antenin her iki rezonans frekansında band genişliği arttırılmalı, özellikle 2.02 GHz frekansında S_{11} değeri daha da düşürülürülerek, daha verimli ve yüksek kazançla ışıması sağlanmalıdır. Antenin, 1.81 GHz frekansında parametrik verileri oldukça başarılıdır. Fakat band genişliği arttırılmalıdır.

3.2.5 Simetrik U-Tipi Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

Bu bölümde, mevcut U-tipi yarıklı yama antenin boyutlarını değiştirmeden, yarığın y- ekseni doğrultusunda simetrisi korunarak, x- ekseni doğrultusunda kaydırılmıştır. Aynı boyutlarda ters simetrik ikinci bir yarık yerleştirerek, rezonans frekansının değiştirilmesi hedeflendi.

Simetrik U-tipi yarıklı yama antenin mobil haberleşme standartlarını karşılamasını, çoklu-band yapısında, operasyon için uygun band genişliği değerlerinde, tüm rezonans frekanslarında yeterince verimli ve yüksek kazançla ışımasını hedeflemekteyiz. Bu parametrik performansı sağlamasının yanında, boyutlarının artmaması ve düzlemsel yapısını kaybetmemesi dolayısıyla mobil cihazlara kolay monte edilebilmesi kısıtlayıcı bir etkendir.



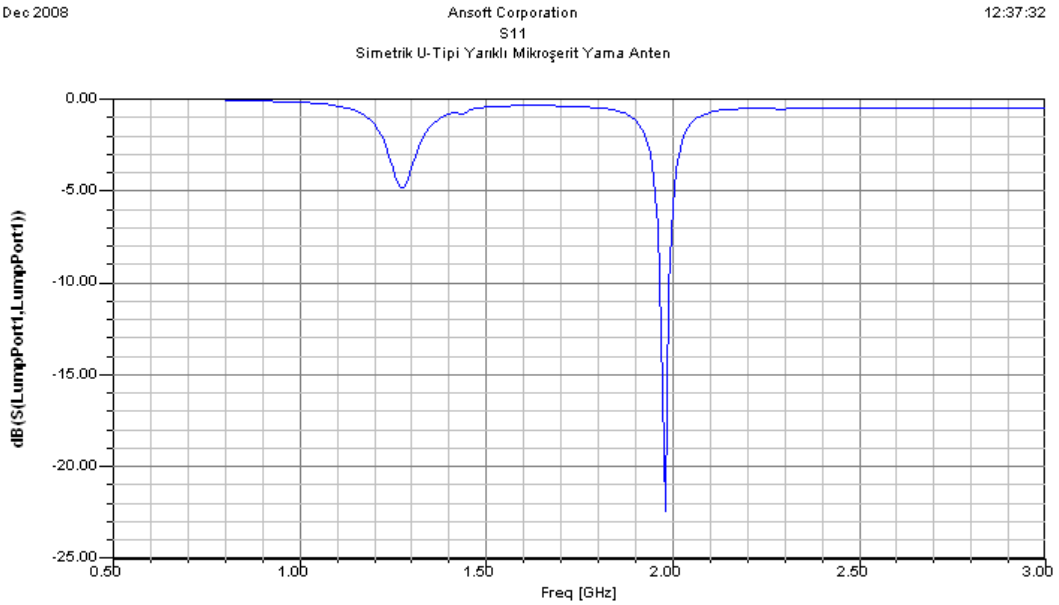
Şekil 3.21 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten

Antendeki mevcut yarıklar ve mikroşerit hat yama ve dielektrik profil üzerinde y-ekseni doğrultusunda simetrik yerleştirilmiştir. Mevcut h = 1.587 mm yükseliğinde, 50x50 mm^2 boyutlarındaki FR-4 Epoxy dielektrik profil kullanılmıştır. Dielektrik profilin alt yüzeyine topraklama amacıyla 50x50 mm^2'lik yama kaplanmıştır. Üst yüzeyde kullanılan mevcut dikdörtgen yamanın boyutları ve konumu da aynıdır. Antenin ölçüleri; $W = 42\ mm, L = 38\ mm, y_0 = 6.52\ mm, y_1 = 2\ mm,\ w_0 = 3\ mm, w_1 = 1{,}2\ mm, w_2 = 20.2\ mm, w_3 = 11.2\ mm, w_4 = 11\ mm, w_5 = 1.8\ mm, w_6 = 2.2\ mm, w_7 = 11.8\ mm$'dir.

Burada yamanın uzunluğu ve genişliği sırasıyla L ve W ile belirtilmektedir. L doğrudan rezonans frekansının dalgaboyu ile orantılıdır. Konvansiyonel dizaynda, rezonans frekansını düşürmek için L arttırılır. W, ise giriş empedansını değiştirmektedir, rezonans frekansı üzerinde de etkisi vardır [1].

Dizayn esnasında antenin boyutlarını yani L ve W'yi değiştirmeden, yarıkları kullanarak, yarığın ebat, konum ve şeklini değiştirerek, rezonans frekanslarını değiştiriyor, yeni rezonans frekansları ekleyerek çoklu band uygulamasını, uygun band genişliği değerlerinde elde etmeyi hedeflemekteyiz.

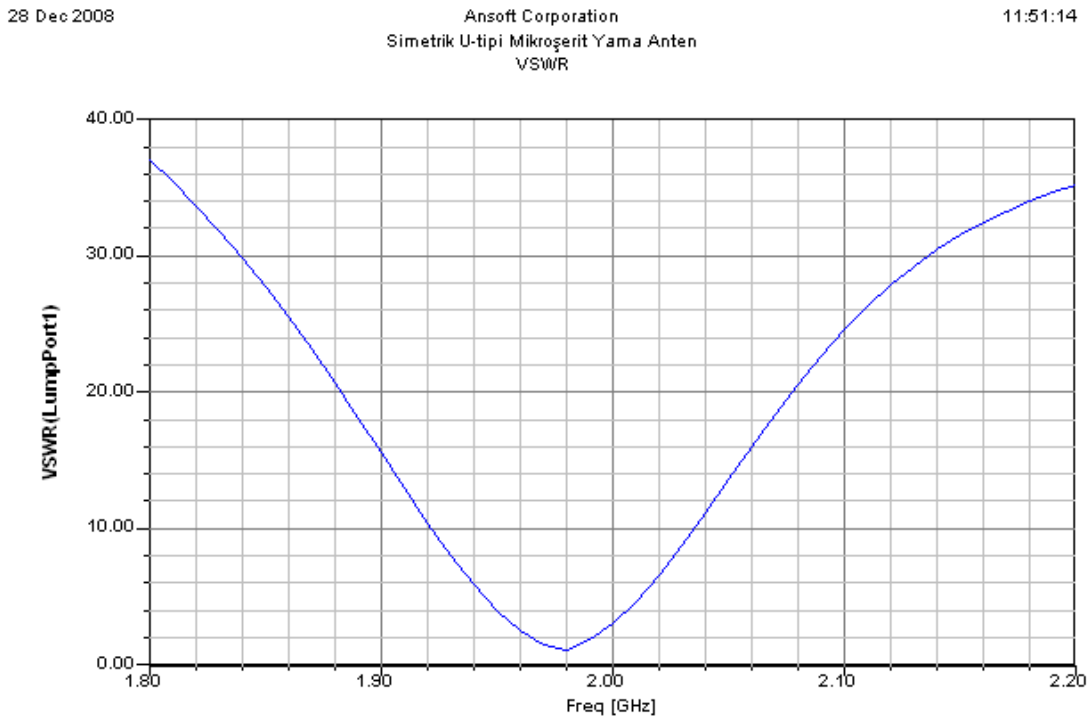
Burada, y_0 empedans dönüştürme amacıyla, w_0 mikroşerit hattın karakteristik empedansını belirlemek amacıyla, diğer büyüklükler ise istenen bandı veya bandları kaplayacak şekilde antenin rezonansa gelmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.22 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Şekil 3.22'de 0.8-3 GHz aralığında simetrik U-tipi yarıklı yama antenin S_{11} değişimi yer almaktadır. Antenin ışıması için geçerli koşul VSWR$\leq$ 2 ve RL (Geri dönüş kaybı) = $S_{11} \leq$ -9.5 dB aralığında olmasıdır. Teorikte $S_{11} \leq$ -9.5 dB koşulu geçerli olmasına karşın, literatürde bant genişliği hesaplamalarında $S_{11} \leq$ -5 dB olarak alınmaktadır. Simetrik U-tipi yarıklı yama anten, $S_{11} = -22.4\, dB$ değeriyle 1.98 GHz merkez frekansında rezonansa gelmekte, 60 MHz ile yaklaşık % 3 oranında empedans band genişliği sunmaktadır.

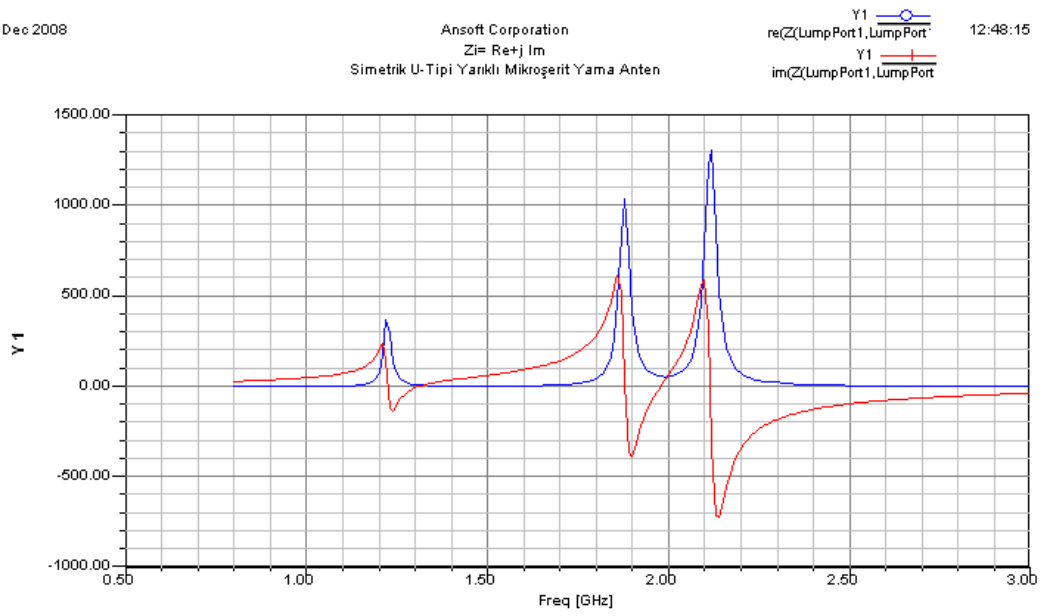
Simetrik U-tipi yarıklı yama anten, 1.98 GHz frekansında oldukça iyi bir S_{11} değerinde verimli bir şekilde ışırken, bu merkez frekansını kullanan UMTS-2000 standartı için yetersiz kalmaktadır. Band genişliğini arttırıcı teknikler kullanılarak, UMTS-2000 bandının tamamını kaplaması sağlanabilir.



Şekil 3.23 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten VSWR grafiği

Şekil 3.23'de 0.8-3 GHz aralığında simetrik U-tipi yarıklı yama antenin VSWR (duran dalga oranı) değişimi yer almaktadır. VSWR, mevcut band ve operasyon frekanslarında empedans uygunlaştırma işleminin başarımı hakkında fikir verir [2]. Empedans uyumunun olmadığı frekans değerlerinde, iletim hattı ile anten arasında güç transferi geri yansımalarla verimsizleşecektir. Bu durum, iletim hattında duran dalgalar oluşturarak, güç kaybına neden olacak, antenin mevcut frekansta verimli ışımasını engelleyecektir.

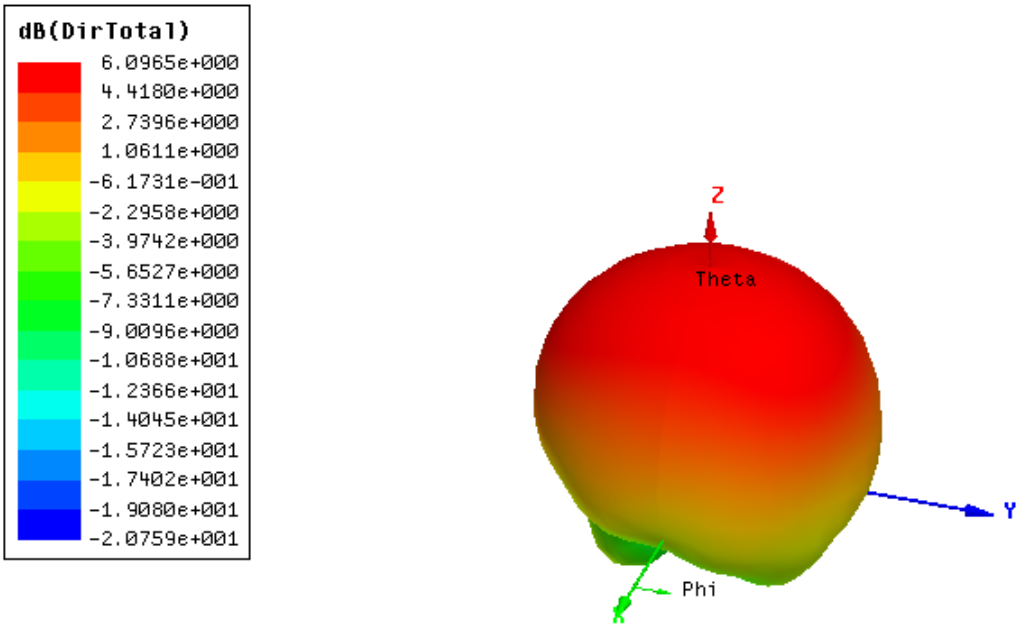
Simetrik U-tipi yarıklı yama anten, 1.98 GHz rezonans frekansında 1.16 duran dalga oranı vermektedir. Bu değer, ideal değer olan 1'e çok yakındır. Dolayısıyla, 1.98 GHz rezonans frekansında empedans uygunlaştırması başarıyla gerçekleşmiş, geri yansımalar minimuma indirgenmiş, güç transferi yüksek verimle yapılmaktadır diyebiliriz.



Şekil 3.24 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama anten Z_i grafiği

Şekil 3.24'de simetrik U-tipi yarıklı yama antenin 0.8-3 GHz frekans aralığında giriş empedansı değişimi yer almaktadır. Besleme konnektörü, mikroşerit hat ve antenin giriş empedans değerleri arasında, verimli güç transferi sağlayabilmek amacıyla empedans uygunlaştırması yapılır. Genelde konnektör iç direncinin 50 Ω değerinde rezistif ağırlıklı olması nedeniyle, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve antenin giriş empedansı bu değere eşitlenir. Empedans, sanal bileşenleri rezistif kısımlarının yanında ihmal edilebilecek değerlerdedir [1].

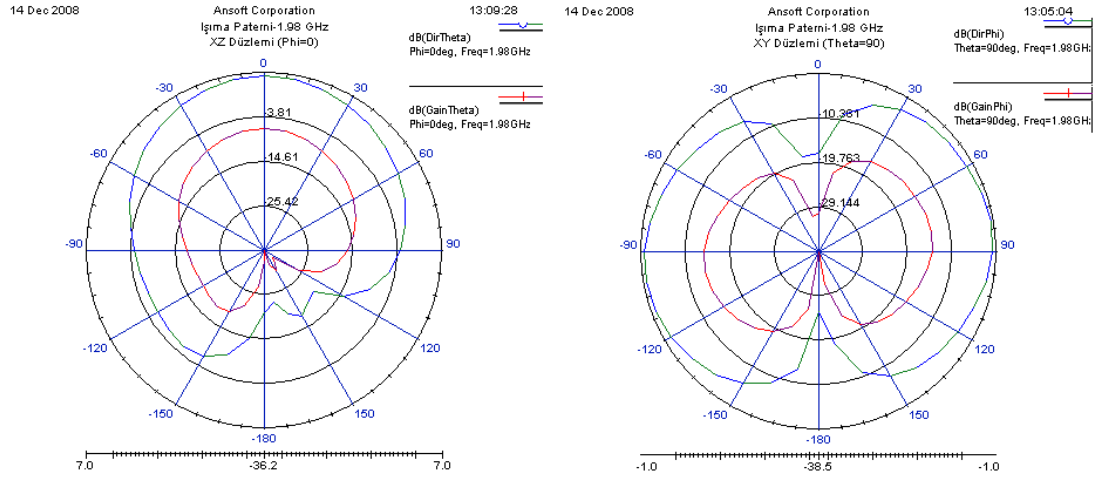
1.98 GHz rezonans frekansında simetrik U-tipi yarıklı yama antenin giriş empedansının rezisitif bileşeni 56 ohm, sanal bileşeni ise j5 değerindedir. Rezisitf bileşenin 56 ohm olması antenin giriş empedansı değerinin mikroşerit hattın karakteristik empedansına başarıyla dönüştürdüğünü göstermektedir. Sanal bileşen ise ihmal edilebilecek değerlerdedir.



Şekil 3.25 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama antenin 1.98 GHz'de 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni

Şekil 3.25'de simetrik U-tipi yarıklı yama antenin rezonans frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni yer almaktadır.

Simetrik U-tipi yarıklı yama anten 1.98 GHz rezonans frekansında, 6.1 dBi'lık maksimum yönlendiricilik ve % 5.5 ışıma verimliliği ile -6.5 dBi'lık maksimum kazanç değerini almaktadır. Değerlerden de anlaşılacağı gibi, rezonans frekansında antenin empedans uygunlaştırma verileri ve yönlendirme kabiliyeti oldukça iyi durumda olmasına rağmen, ışıma verimliliği ve dolayısıyla kazancı oldukça düşük değerlerdedir. Bu durumun, antenin yapısında mevcut rezonans frekansındaki malzeme kaybının (dielektrik ve iletkenlik kayıpları) ve yüzey dalgalarının neden olduğu yüksek toplam kalite faktörü değerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Işıma verimliliğini yükseltmek için fotonik band boşluklu yapılar (kavite) kullanılabilir.



Şekil 3.26 : Simetrik U-tipi yarıklı mikroşerit yama antenin 1.98 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni

Şekil 3.26'da simetrik U-tipi yarıklı yama antenin 1.98 GHz frekansında küresel koordinat sistemine gore $\varphi = 0°$ (xz-dikey düzlem) ve $\theta = 90°$ (xy-yatay düzlem) düzlemlerinde 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç patern kesitleri üst üste çizdirilmiştir. Maksimum ışınan enerji $\varphi = 0°$ düzleminde, $\theta = 0°$ açısı yönündedir. Yatayda ışınan maksimum enerji ise $\theta = 90°$ düzleminde, $\varphi = 260°$ yönündedir.

1.98 GHz frekansında, $\theta = 90°$ düzleminde 85° yatay hüzme genişliği, $\varphi = 0°$ düzleminde ise 90° dikey hüzme genişliğine sahiptir.

Çizelge 3.6 : 1.98 GHz için parametrik sonuçlar

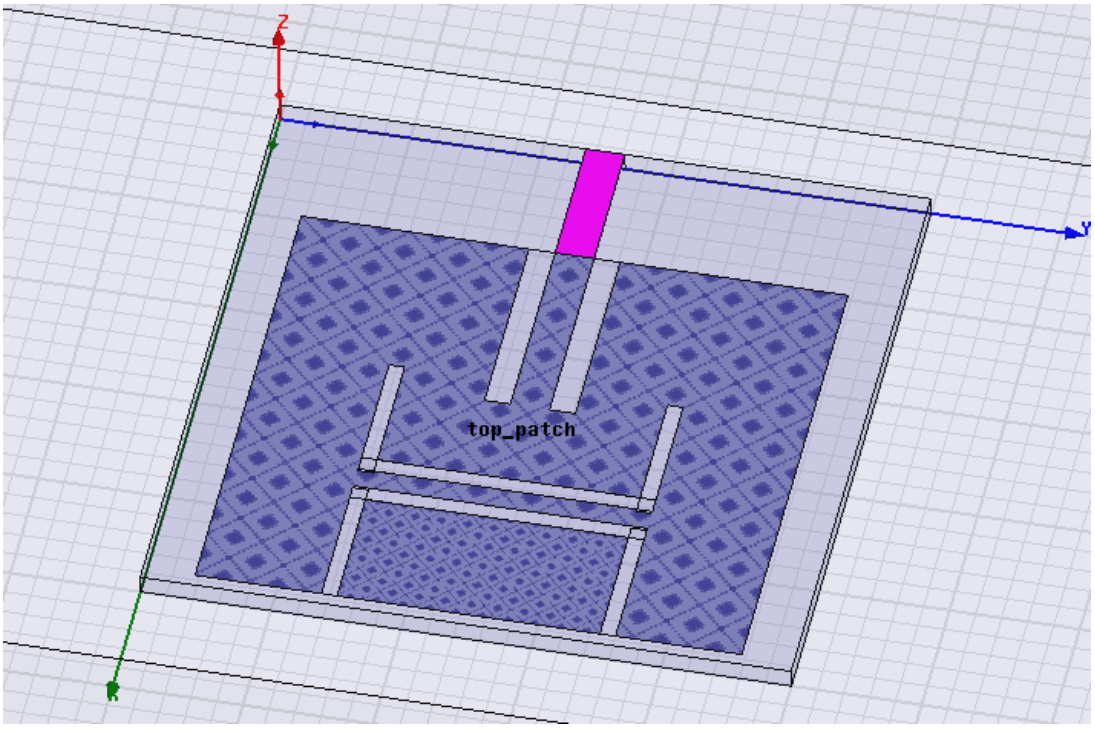
BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
60 MHz	3	-22.4 dB	1.16	56+j5 Ω	6.1 dBi	-6.5 dBi	0.3	90°	85°

Çizelge 3.6'da simetrik U-tipi yarıklı yama antene ait parametrik sonuçlar yer almaktadır. Sonuç olarak, rezonans frekansında antenin empedans uygunlaştırma verileri ve yönlendirme kabiliyeti oldukça iyi durumda olmasına rağmen, ışıma verimliliği ve dolayısıyla kazancı oldukça düşük değerlerdedir. Bu durumun, antenin yapısında mevcut rezonans frekansındaki malzeme kaybının (dielektrik ve iletkenlik kayıpları) ve yüzey dalgalarının neden olduğu yüksek toplam kalite faktörü değerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Işıma verimliliğini yükseltmek için fotonik band boşluklu yapılar (kavite) kullanılabilir.

3.2.6 Simetrik U-Tipi Yarıklı Modifiye Mikroşerit Yama Anten Dizaynı

Bölüm 3.2.5'de yer alan simetrik U-tipi-yarıklı yama anten üzerindeki simetrik U-tipi yarıkların x-ekseni doğrultusunda kaydırılmasıyla mevcut antenimiz modifiye edilerek, rezonans frekans değerlerinin –antenin ve yamanın ebatlarının sabit kalması koşuluyla- değiştirilmesi hedeflenmiştir. Yeni rezonans frekanslarında empedans uygunlaştırılmasının sağlanması için besleme yarıklarının boyutları optimize edilmiştir. Bu amaçla mevcut antendeki (Bknz. Şekil 3.21) yarıklara ait optimizasyon büyüklükleri burada tekrar tanımlanacaktır.

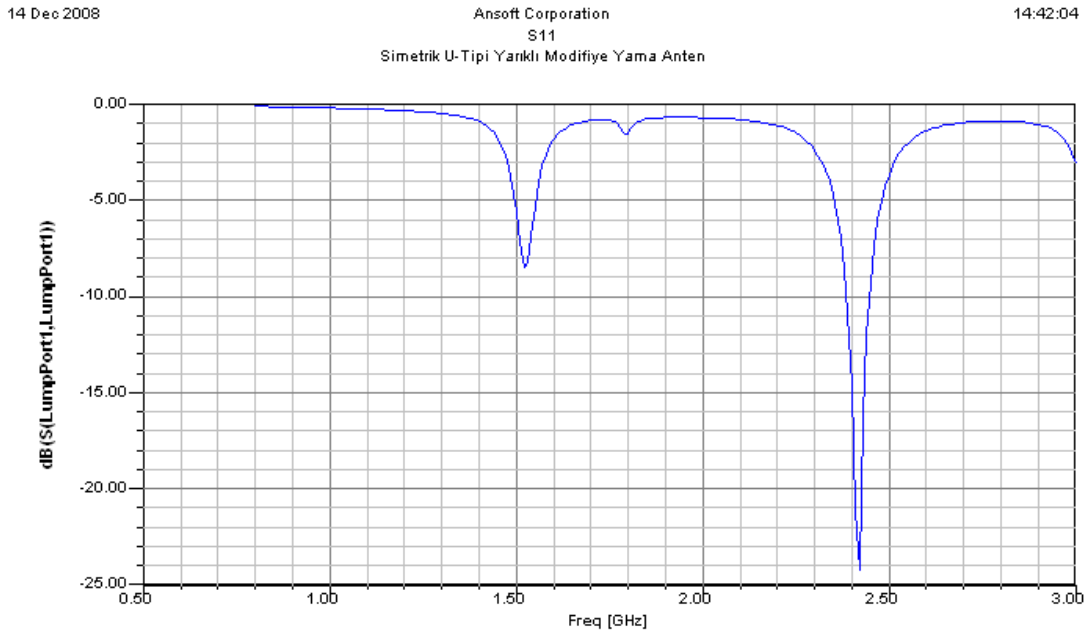
Belirli rezonans frekansları ile birden çok bandda, yeterli band genişliklerinde servis vermesi amacıyla gereksinim duyulan parametrik performansı sunması amaçlanmaktadır. Rezonans frekanslarının ,mobil haberleşme servislerine ait frekans bandlarına ait merkez frekanslarına kaydırılması tüm servis bandında yüksek verimle ışıması önem taşımaktadır.



Şekil 3.27 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten

Buna istinaden şekil 3.26'daki modifiye antene ait ölçüler, şekil 3.21'deki ölçülerin revize edilmesiyle oluşturulmuştur. Anten ölçüleri; $W = 42\ mm, L = 38\ mm, y_0 = 16\ mm, y_1 = 2\ mm,\ w_0 = 3\ mm, w_1 = 1{,}2\ mm, w_2 = 20.2\ mm, w_3 = 11.2\ mm, w_4 = 11\ mm, w_5 = 1.8\ mm, w_6 = 0\ mm, w_7 = 13.8\ mm$'dir. Anten üzerindeki yarıklar ve mikroşerit hat yama ve dielektrik profile y-ekseni doğrultusunda simetrik yerleştirilmiştir. Mevcut

h = 1.587 mm yükseliğinde, 50x50 mm^2 boyutlarındaki *FR-4 Epoxy* dielektrik profil kullanılmıştır. Dielektrik profilin alt yüzeyine topraklama amacıyla 50x50 mm^2'lik yama yapıştırılmıştır.



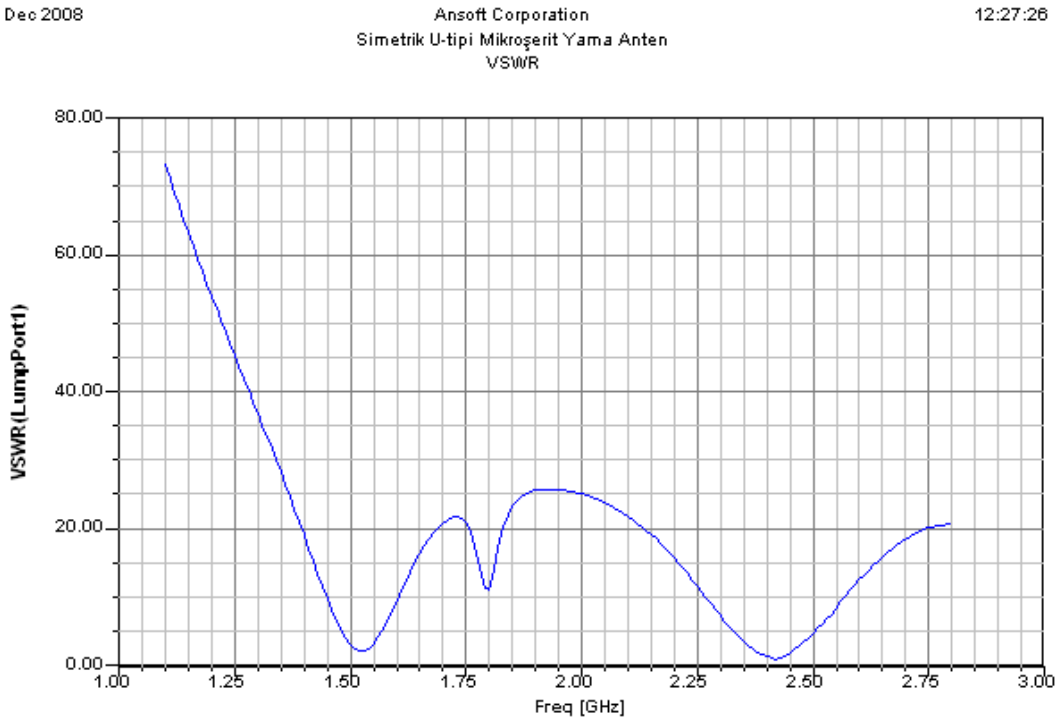
Şekil 3.28 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Şekil 3.28'de 0.8-3 GHz aralığında simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin S_{11} değişimi yer almaktadır. Antenin ışıması için geçerli koşul VSWR$\leq$ 2 ve RL (Geri dönüş kaybı) = S_{11} $\leq$ -9.5 dB aralığında olmasıdır. Teorikte S_{11} $\leq$ -9.5 dB koşulu geçerli olmasına karşın, literatürde bant genişliği hesaplamalarında S_{11} $\leq$ -5 dB olarak alınmaktadır.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama anten, $S_{11} = -24\ dB$ değeriyle 2.42 GHz merkez frekansında rezonansa gelmekte, 140 MHz ile yaklaşık % 5.8 oranında empedans band genişliği sunmaktadır.

İkinci olarak, $S_{11} = -8.4\,dB$ değeriyle 1.52 GHz merkez frekansında rezonansa gelerek, 70 MHz band genişliği ile % 4.6 oranında empedans band genişliği sunmaktadır.

Simetrik U-tipi yarıkl modifiye yama anten, 2.42 GHz ve 1.52 GHz frekanslarında rezonansa gelmekte dual band özelliği göstermektedir. Özellikle 2.42 GHz bandında ISM-2.4 standartına ait tüm bandı kaplayacak şekilde band genişliğine sahiptir. Özellikle bu band içerisinde S_{11} değerinin küçüklüğü, empedans uyumu ve ışıma performansı açısından önem taşımaktadır. İkinci rezonans frekansı olan 1.52 GHz'de ise S_{11} değerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

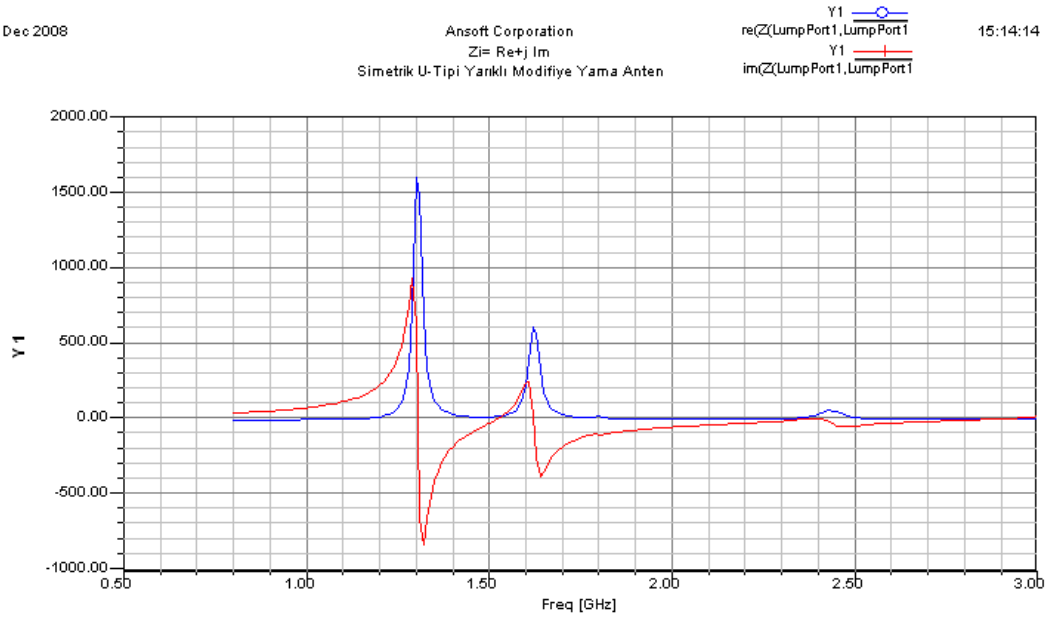


Şekil 3.29 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten VSWR grafiği

Şekil 3.29'da 0.8-3 GHz aralığında simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin VSWR (duran dalga oranı) değişimi yer almaktadır. VSWR, mevcut band ve operasyon frekanslarında empedans uygunlaştırma işleminin başarımı hakkında fikir veren bir iletim hattı parametresidir [2]. Empedans uyumunun olmadığı frekans değerlerinde, iletim hattı ile anten arasında güç transferi geri yansımalarla verimsizleşecektir. Bu durum, iletim hattında duran dalgalar oluşturarak, güç kaybına neden olacak, güç iletimini verimsizleştirecek, antenin mevcut frekansta verimli ışımasını engelleyecektir.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama anten, 2.42 GHz'de 1.13 duran dalga oranı vermektedir. Bu değer ideale çok yakındır. Dolayısıyla bu rezonans frekansında empedans uygunlaştırma işleminin oldukça başarılı yapıldığı, geri yansımaların ve duran dalga oranının minimuma indiği, güç transferinin yüksek verimle gerçekleştiği söylenebilir.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama anten, 1.52 GHz'de 2.2 duran dalga oranı vermektedir. Bu frekans değerinde empedans uygunlaştırması geliştirilerek,duran dalga oranı aşağı çekilebilir.

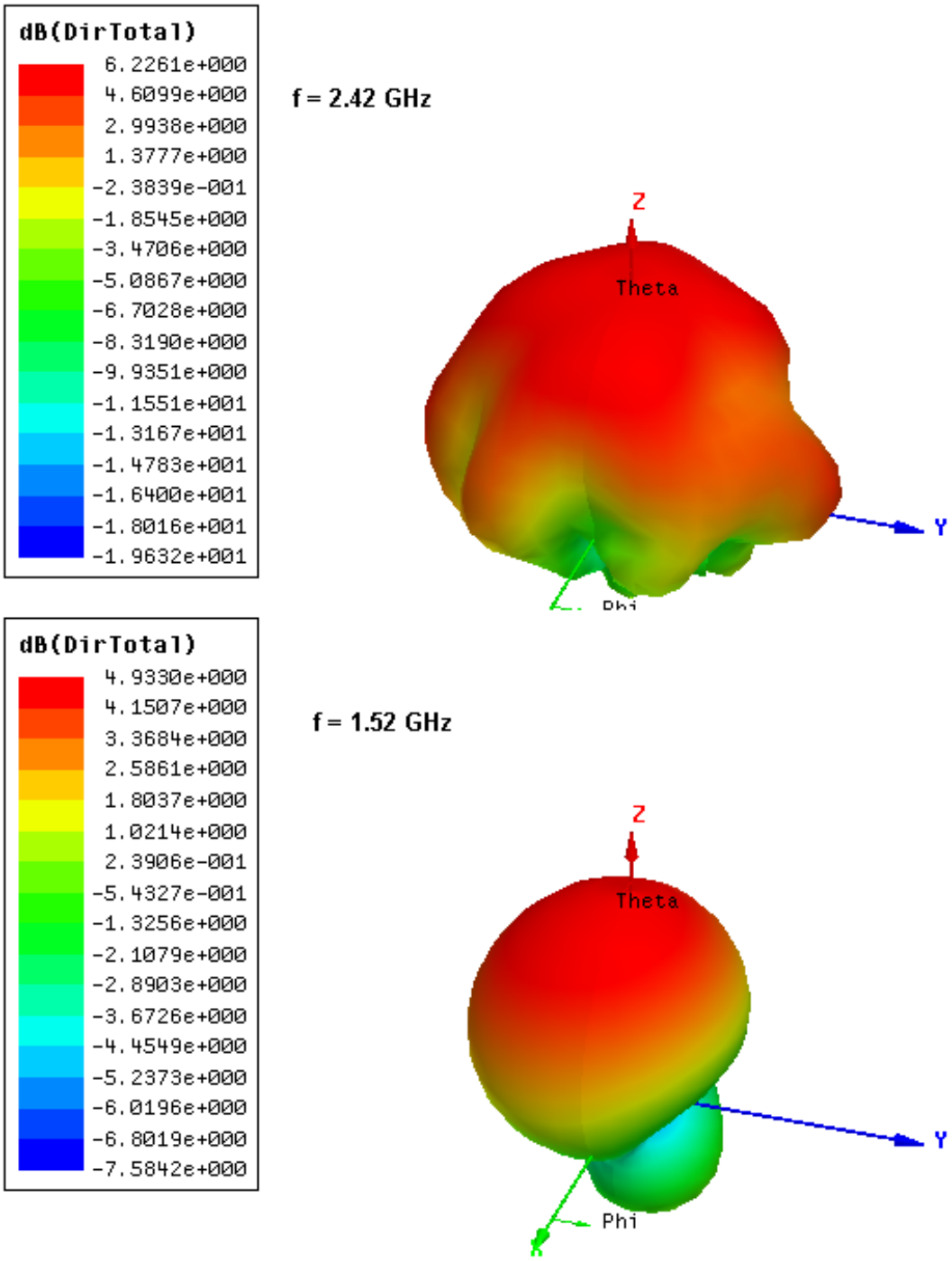


Şekil 3.30 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama anten Z_i grafiği

Şekil 3.29'da simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin 0.8-3 GHz frekans aralığında giriş empedansı değişimi yer almaktadır. Besleme konnektörü, mikroşerit hat ve antenin giriş empedans değerleri arasında, verimli güç transferi sağlayabilmek amacıyla empedans uygunlaştırması yapılır. Genelde konnektör iç direnci 50 Ω değerinde rezistif ağırlıklı olması nedeniyle, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve antenin rezonans giriş empedansı bu değere eşitlenir. Empedans, sanal bileşenleri rezistif kısımlarının yanında ihmal edilebilecek değerlerdedir [1].

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin, 2.42 GHz frekansında giriş empedansına ait rezistif bileşen 56 Ω, sanal bileşen ise j0.45'dir. Rezonans giriş empedansında rezistif kısım baskındır. Dolayısıyla sanal kısım ihmal edilebilir değerdedir. Antenin giriş empedans değeri, mikroşerit hat karakteristik empedansı ve kaynak iç direnci arasındaki empedans uyumunun başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin, 1.52 GHz frekansında giriş empedansına ait rezistif bileşen 22.6, sanal bileşen ise j2.3'dür. Bu frekans değerinde rezistif bileşen için empedans dönüştürme işlemin performansı arttırılarak, S_{11} ve VSWR değerleri iyileştirilebilir.

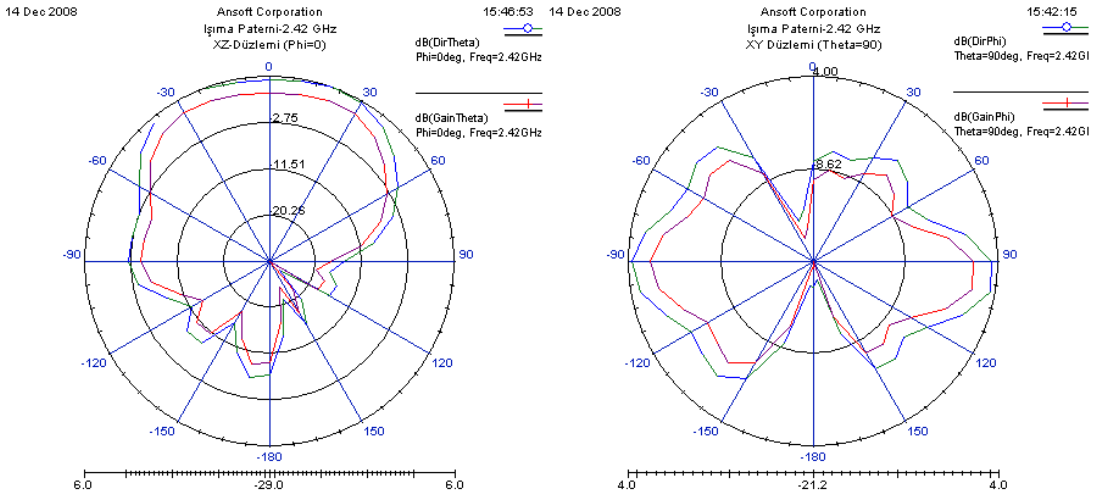


Şekil 3.31 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.42 GHz ve 1.52 GHz'de 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni

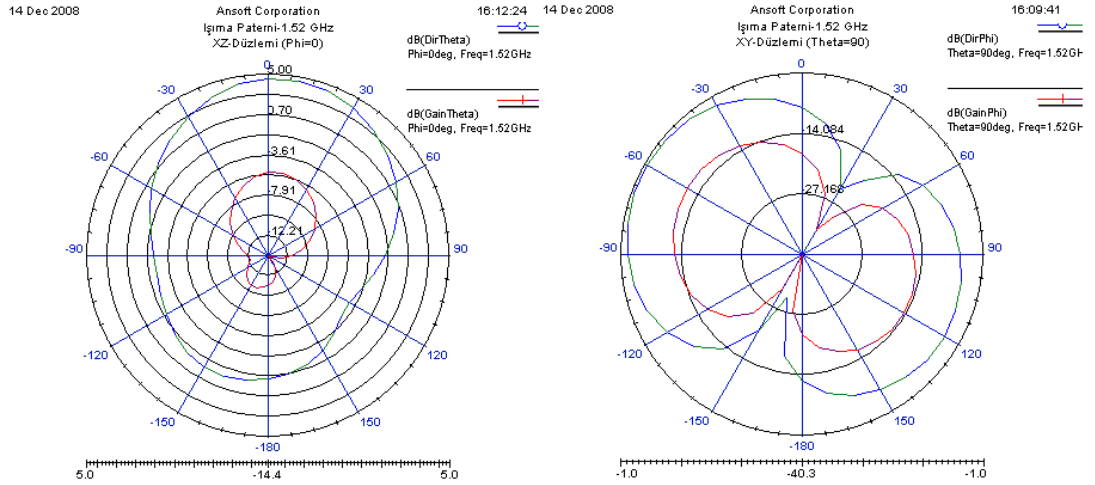
Şekil 3.31'de simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin her iki rezonans frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik (ışıma) paterni yer almaktadır.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama anten, 2.42 GHz frekansında 6.23 dBi'lık maksimum yönlendiricilik ve % 56.5 ışıma verimliliği ile 3.74 dBi'lık maksimum kazanç değeri ile oldukça iyi bir performans göstermektedir.

1.52 GHz frekansında ise 4.93 dBi'lık maksimum yönlendiricilik ve % 10 ışıma verimliliği ile -5.1 dBi maksimum kazanç değeri ile ışımakta, düşük ışıma verimliliği ve düşük kazanç değerinin geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.32 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 2.42 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni



Şekil 3.33 : Simetrik U-tipi yarıklı modifiye mikroşerit yama antenin 1.52 GHz'de 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç (ışıma) paterni

Şekil 3.32 ve 3.33'de simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin sırasıyla 2.42 ve 1.52 GHz frekanslarında küresel koordinat sistemine gore $\varphi = 0°$ (xz-dikey düzlem) ve $\theta = 90°$ (xy-yatay düzlem) düzlemlerinde 2-boyutlu yönlendiricilik ve kazanç patern kesitleri üst üste çizdirilmiştir.

2.42 GHz'de maksimum ışınan enerji φ = 0° düzleminde, θ = 330° açısı yönünde olup, yatayda ise θ = 90° düzleminde, φ = 270° yönündedir. φ = 0° düzleminde 95° dikey, θ = 90° düzleminde ise 40° yatay hüzme genişliğine sahiptir.

1.52 GHz'de maksimum ışınan enerji φ = 0° düzleminde, θ = 10° açısı yönünde olup, yatayda ise θ = 90° düzleminde, φ = 300° yönündedir. φ = 0° düzleminde 100° dikey, θ = 90° düzleminde ise 90° yatay hüzme genişliğine sahiptir.

Çizelge 3.7 : 2.42 GHz için parametrik sonuçlar

BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
140 MHz	5.8	-24 dB	1.13	56+j0.45 Ω	6.23 dBi	3.74 dBi	0.565	95°	40°

Çizelge 3.8 : 1.52 GHz için parametrik sonuçlar

BW	%BW	S_{11}	VSWR	Z_i	D_{max}	G_{max}	e_{rad}	$HPBW_v$	$HPBW_h$
70 MHz	4.6	-8.4 dB	2.2	22.6+j2.3 Ω	4.93 dBi	-5.1 dBi	0.1	100°	90°

Çizelge 3.8 ve 3.9'da, simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama antenin 2.42 ve 1.52 GHz frekanslarındaki parametrik değerleri yer almaktadır. Simetrik U-tipi yarıklı-modifiye yama anten 2.42 ve 1.52 GHz frekanslarında dual-bandlı çalışmaktadır. 2.42 GHz'de ISM-2.4 bandının tamamını kaplayabilecek band genişliğinde, yüksek ışıma verimliliği ve yönlendiricilik ile ışıma yapmaktadır. 1.52 GHz frekansında ise antenin ışıma verimliliği ve kazanç değeri iyileştirilmelidir.

Simetrik U-tipi yarıklı modifiye yama anten, şekil 3.21'deki antenin ebatları arttırılmadan, mevcut yama üzerindeki yarıkların konumu ve boyutları optimize edilerek rezonans frekansı kaydırılmış, ek rezonans frekansı üretilmiştir. Sonuç olarak dual-band servis vermekte, özellikle ISM-2.4 GHz bandının tamamında yüksek verim ve kazanç değerleri ile başarılı bir performans sergilemektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın başlıca amacı son yıllarda hızla gelişmekte olan mobil haberleşme teknolojileri ve günümüzde ebatları oldukça küçülen mobil haberleşme cihazlarının gereksinimlerini karşılayabilecek, mikroşerit yama antenler tasarlamaktır. Mikroşerit yama antenler, küçük boyutları, düzlemsel yapıları, hafifliği, kolay ve ucuz üretilebilmesi nedeniyle hem ticari hem de bilimsel camianın ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Bu doğrultuda mobil haberleşme teknolojisinin gelişim sürecinde cihazların estetik, hafif ve küçük profilli yapısına, mikroşerit antenler üzerindeki çalışmaların son derece büyük katkısı olmaktadır. Bunun yanında, cihazların birden çok servisi aynı anda sunabilme yeteneğine, yüksek data hızları gerektiren genişband uygulamalara yanıt verebilecek, çoklu ve geniş band özelliğinde, yüksek kazançlı ve küçük profilli antenlere gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bugüne kadar yapılan bilimsel çalışmalar, mikroşerit yama antenlerin bu özellikleri büyük ölçüde karşıladığını ortaya koymaktadır.

Çalışmada, dikdörtgensel yapıda, mikroşerit beslemeli, düzlemsel yama antenlere odaklanılmış ve mevcut yama üzerinde oluşturulan yarıklı yapıların etkileri gözlenmiştir. Dizayn için, bilimsel ve ticari alanda standart bir paket program olan Ansoft HFSS kullanılmıştır. Çizimler ve oluşturulan yapıların simülasyonu HFSS üzerinden yapılarak, elde edilen grafikler üzerinden parametrik performansları incelenmiştir. Sonuçlar analiz edilerek, mevcut yapı üzerine U-tipi ve simetrik U-tipi yarıklar oluşturulmuş, yarıkların boyutları ve konumu değiştirilerek, mevcut antenin ışıma özellikleri ve performansı geliştirilmiştir. Antende rezonans frekansı değiştirilirken veya ek rezonans frekansları oluşturularak çoklu band yeteneği kazandırılırken, mevcut yamanın boyutlarının değiştirilmemesine özen gösterilmiştir. Optimizasyon, sadece yarıklı yapılar üzerinde yapılmıştır. U-tipi ve simetrik U-tipi yarıklar ile antenin rezonans frekansı istenen frekans bandlarına kaydırılmış, ek rezonans frekansları oluşturularak çoklu band özelliği kazandırılmış ve band genişliği ve kazancı arttırılmıştır. Besleme yarıkları ile antenin rezonans giriş empedansı mikroşerit hattın karakteristik empedansına dönüştürülerek, her

optimizasyon sonrasında değişen rezonans frekansı için empedans uygunlaştırma yapılmıştır. Bu prensip doğrultusunda, dizayn açısından kısıtlayıcı olan anten boyutları değiştirilmeden, antenlerin ışıma özellikleri değiştirilerek, performansı optimize edilmiştir.

Bu amaçla öncelikle, dizayn belirtimleri üzerine iletim hat modeli hesaplamaları kullanılarak, 1800 MHz'de rezonansa gelen konvansiyonel dikdörtgensel mikroşerit yama anten tasarlandı. GSM-1800 için tahsis edilen bandın merkez frekansında yüksek verim ve yönlendiricilikle ışımasına rağmen, kısmen dar olan band genişliği değeri, özel teknikler kullanılarak arttırılabilir. Bununla birlikte yönlendirciliğinin yüksek olması, mobil haberleşme cihazlarında mevcut ışımanın insan sağlığına olan ısıl etkilerini minimuma indirmesi açısından önemlidir. Bu durumda arka lobtan yayılan enerji ve dolayısıyla beyne olan etkisi azalmaktadır.

İkinci aşamada, mevut yamanın boyutları değiştirilmeden üzerine U-tipi yarık oluşturulmuştur. Boyutları ve konumu optimize edilerek rezonans frekansı kaydırılmış, dual-band bir anten elde edilmiştir. Bu doğrultuda, rezonans frekansı 2.45 GHz'e çekilerek, 1.365 GHz'de de ikinci bir rezonans frekansı oluşturulmuştur. İlk rezonans frekansında ISM-2.4 bandı için yeterli band genişliği, yönlendiriclik ve ışıma verimliliği değerlerine sahipken; ikinci frekans bandında ise, ışıma verimliliği dolayısıyla kazanç değeri düşük kalmıştır.

Üçüncü aşamada, mevcut yamanın boyutları sabit olmak kaydıyla, U-tipi yarığın konumu değiştirilerek 1.81 ve 2.02 GHz frekanslarında rezonansa gelen bir dual anten dizayn edilmiştir. Bu frekans bandlarının özelliği GSM-1800 ve UMTS-2000 servislerini sunması nedeniyle önem taşımaktadır. Her iki banda ait band genişliği değerleri ve 2 GHz bandındaki kazancı geliştirilerek dual-band yeni anten, her iki servisi sağlayan mobil cihazlarda kullanılabilir.

Dördüncü aşamada, mecut yapıya yama boyutları değiştirilmeden, ters simetrik U-tipi bir yama daha eklenerek rezonans frekansı 1.98 GHz'e kaydırılmıştır. Fakat yapının bu frekans değerinde ışıma verimliliği düşük olması nedeniyle kazancı da düşük çıkmıştır. Bu frekans değerinde empedans uygunlaştırma işleminin başarıyla

gerçekleşmesine rağmen sorunun, yüzey dalgaları, ilektenlik ve dielektrik kayıplarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Beşinci ve son aşamada ise, simetrik U-tipi yarığın konumu değiştirilerek, rezonans frekansları 1.52 ve 2.42 GHz bandlarında oluşturulmuştur. Yeni anten, 2.42 GHz bandında ISM-2.4 bandı için yeterli band genişliği, ışıma verimliliği, yönlendiricilik değerlerine sahipken, 1.52 GHz bandında empedans uygunlaştırmasının istenen şekilde gerçekleşmemesi nedeniyle ışıma verimliliği ve kazanç değerleri düşüktür.

Çalışmada, dikdörtgensel yama antenin boyutu sabit olmak kaydı ile oluşturulan yarıklı yapıların anten ışıma bandı ve performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beş farklı tasarım ile GSM-1800, UMTS-2000 ve ISM-2.4 bandlarında rezonansa gelen antenler elde edilmiş olup, parametrik performansları analiz edilmiştir. Yarıklar vasıtasıyla mevcut yapının boyutları değiştirilmeden, rezonans frekansının istenen frekans bandlarına kaydırılması ve ek rezonans frekansları oluşturularak, çoklu-band operasyon yeteneğinin kazandırılabileceği gözlenmiştir. Bundan sonraki aşamalarda, mevcut antenler üzerinde band genişliğini ve ışıma verimliliğini arttırıcı çalışmalar yapılarak, servis kalitesi yükseltilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Balanis, C. A.,** 1997 *Antenna Theory: Analysis and Design*, Second Edition, Arizona State University. John Wiley & Sons, Inc.

[2] **Nikolova,N.K.**, 2004. *Antenna Theory: Analysis and Design*. Lecture Notes, http://www.ece.mcmaster.ca/faculty/georgieva/antennas.htm [Erişim tarihi: 01.10.2008]

[3] **http://www.wikipedia.com** [Erişim tarihi: 01.10.2008]

[4] **Ansoft HFSS V9 User's Guide,** 2003. *HFSS,* Ansoft Corporation, Pittsburgh, USA

[5] **Smith, A. A., Jr. Fellow,** IEEE, *IEEE Press/Chapman & Hall Publisher Series on Microwave Technology and RF*, The Instute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,New York

[6] **Saunders, R. S.,** 1999, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, Universty of Surrey, Guildford, UK, John Wiley & Sons, Ltd, New York

[7] **Coleman, C.,** 2004, *An Introduction to Radio Frequency Engineering*, Department of Electrical and Electronic Engineering, Adelaide Universty, Cambridge Universty Press

[8] **Siwiak, K.,** 1998, *Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communication*, Second Edition, Artech House Inc., Boston

[9] **Drabowitch, S., Papiernik, A., Griffiths, H., Encinas, J., Bradford, L. S.,** 1998.*Modern Antennas*, Microvawe and RF Technology Series 12, Chapman & Hall

[10] **Barclay, L.,** 2003. *Propagation of Radiovawes*, Second Edition, The Institution of Electrical Engineers, London, UK

[11] **Bayrakçı, H. E.,** 2002. *Uydu ve Hücresel Mobil Haberleşme Sistemleri*, Bahçeşehir Üniversitesi, 2. Baskı, Birsen Yayınevi

[12] **Dinçer, H.,** 1999. *Haberleşme Sistemleri Temelleri*, Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

[13] **Alevy, M. A.,** *Antenna Fundamentals for Microcellular Applications*, VP Engineering, Crushcaft Corporation, Manchester

[14] **Moernaut, G. J. K., Orban, D.,** *The Basics of Patch Antennas*, www.orbanmicrovawe.com

[15] **Smith, K.,** *Antennas for Low Power Applications*, RFM

[16] **Byström, D., Wikström, A.,** *Broadband Patch Antenna*, FX/BE Antenna and Microvawe Design

[17] **Pozar, D. M.,** 1996. *A Review of Aperture Coupled Microstrip Antennas: History,Operation, Development, and Applications,* Electrical and Computer Engineering, Universtiy of Massachussetts at Amherst,

[18] **Bertrand, R.,** Online Radio & Electronics Course, http://www.radioelectronicschool.com

[19] **Stutzman, W. K. and Thiele, G. A.,** 1998, *Antenna Theory and Design*, Second Edition, John Wiley & Sons Inc.: New York, USA

[20] **Chen, Z. N.,** 2007, *Antennas for Portable Devices,* John Wiley & Sons, Ltd, Singapore

[21] **Allen, B., Dohler, M., Okon, E. E., Malik, W. Q., Brown, A. K., Edwards, D. J.,** 2007. *Ultra-wideband Antennas and Propagation for Communications Radar and Imaging,* John Wiley & Sons Inc, Sussex, UK

[22] **Vaughan, R., and Andersen, J. B.,** 2003. *Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications,* Electromagnetic Waves Series 50, Unstitution of Electrical Engineers, London, UK

[23] **Blake, L.V.,** 1984. *Antennas,* Second Edition, Artech House, Inc., Norwood

[24] **Cap, A., Raida, Z., Palmero, E. H., Ruiz, R. L.,** December 2005. Multi-Band Planar Antennas: A Comparative Study, *Radioengineering, **Vol.14**, No.4*

[25] **Alarm, A.H.M.Z., Islam, R., Khan, S.,** Design of a Tuning Fork Type UWB Patch Antenna, *International Journal of Computer Science and Engineering **Vol.1**, No.4*

[26] **D'Assunçao Jr., A. G., Mendonça, L. M., D'Assunçao, A. G.,** 2006. Analysis and Measurements of Tapered Microstrip Patch Antennas for Mobile Communication Systems, *1-4244-0320-0/06/$2006 IEEE*

[27] **Sakurai, K., Matsui, H., Wakabayashi, T.,** 2005. Characteristics of E-type Planar Antenna and its Broadbanding*, 0-7803-9433-X/05/$20.00, 2005 IEEE*

[28] **Guo, Y. X., Luk, K. M., Lee, K. F., Chair, R.,** 2001. A Quarter-Wave U-Shaped Patch Antenna with Two Unequal Arms for Wideband and Dual-Frequency Operation*, 0-7803-7070-8/01/$10.00*, *2001 IEEE*

[29] **Abd-Alhameed, R. A., Ali, N.T., See, C. H., Gizas B., Excell, P. S.,** 2006. Design of broadband slotted ground plane microstrip antenna for 3G communication*, IEEE MELECON 2006, May 16-19, Malaga, Spain*



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Emre ÇETME

Doğum Yeri ve Tarihi: Milas/MUĞLA – 05.08.1984

Adres: Davutpaşa Cad. Serçekale Sok. No:2 Cevizlibağ- Topkapı, İSTANBUL

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi – Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Yayın Listesi: