ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

4. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN PERFORMANS KRİTERLERİNİN İNCELENMESİNE YÖNELİK ANTEN TASARIMI

Dilara YALÇIN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2015

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

11/06/2015

Dilara YALÇIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

4. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN PERFORMANS KRİTERLERİNİN İNCELENMESİNE YÖNELİK ANTEN TASARIMI

Dilara YALÇIN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik –Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Asım Egemen YILMAZ

Bu çalışmada uzun vadeli evrim (Long Term Evoloation -LTE) uygulamalarında kullanılmak üzere anten geometrileri sunulmaktadır. U-şeklinde tasarımı yapılan, koaksiyel besleme ve mikroşerit besleme ile beslenen yama anten geometrilerinde çift frekans elde edilmiştir. Sunulan geometriler CST ve Ansoft HFSS yazılımları kullanılarak tasarlanmış ve sonuçlar geri dönüş kaybı, çalışma frekansı, bant genişliği ve duran dalga oranı cinsinden incelenmiştir Bu tez çalışmasının amacı, u şeklinde tasarımı gerçekleştirilen antenlerin yarık boyutlarının ve besleme yöntemlerinin değiştirilmesinin anten performansı üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Tezin ilk bölümünde mobil teknolojilerden bahsedilmiş ve literatür özeti sunulmuştur. İkinci bölümde LTE sistemler ve bu sistemlerde kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde anten parametreleri mikroşerit yama antenler ve besleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde Ansoft HFSS ve CST benzetim programları kısaca tanıtılmış ve bundan sonraki bölümlerde simülasyon gerçekleştirilerek besleme tekniklerinin ve yarık boyutunun performansa etkisi grafiklerle gösterilmiştir.

Haziran 2015, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: 4.Nesil, Uzun vadeli dönüşüm, LTE, Mikroşerit yama antenler, Koaksiyel besleme, Mikroşerit besleme

ABSTRACT

Master Thesis

ANTENNA DESIGN AIMED FOR INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE CRITERIA OF 4TH GENERATION MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Dilara YALÇIN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Asım Egemen YILMAZ

This study presents several antenna geometries for use in Long Term Evolution (LTE) applications. Antennas are design in a shape of u, fed by coax and microstrip line; and by means of the proposed antenna dual frequency operation is achieved. All the proposed geometries are simulated via CST and Ansoft HFSS software and the results are assessed as regards return loss, operating frequency, bandwidth, and standing wave ratio. The aim of this study is to go over the effect of changes in both the slot sizes and the feeding methods of the designed antennas in the shape of U on the antenna performance. In the first section of the thesis, mobile communication technologies are mentioned basically and summary of literatur is presented. In the second section, the information about both the LTE systems and the technologies on these systems are given. In the third section, the parameters of the antennas, the microstrip patch antennas and their feeding techniques are mentioned. In the fourth section, Ansoft HFSS and CST simulation programs are briefly introduced and in the remaining sections, the effect of the feeding techniques and the slot size on the performance are illustrated with charts by carrying out the simulation.

June 2015, 96 pages

Key Words: 4. Generation, Long term evolution, Microstrip patch antennas, Coaxial feeding, Microstrip feeding

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca bana yol gösteren ve öncülük eden çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Asım Egemen YILMAZ'a (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı), hiç bir zaman yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Sultan CAN'a (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı), bu süreçte bir çok fedakarlıklar göstererek daima yanımda olan olan sevgili eşime ve hayat boyu varlıklarıyla bana her zaman destek olan benim için değerlerini kelimelerle ifade edemeyeceğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dilara YALÇIN
Ankara, Haziran 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ÖZET ..... **ii**

ABSTRACT ..... **iii**

KISALTMALAR DİZİNİ ..... **viii**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiv**

1.GİRİŞ **1**

2. 4. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ **3**

2.1 LTE Gereksinimleri **6**

2.2 Mikrodalga Erişim İç in Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (*Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX*) Teknolojisinin İncelenmesi ve LTE Teknolojisi ile Karşılaştırılması **9**

2.3 WiMAX ve LTE Teknolojilerinin Hız Bakımından Fiber Optik Kablo İle Karşılaştırılması **11**

2.4 LTE Ağlarında Kullanılan Teknolojiler **12**

2.4.1 Ortogonal frekans bölmeli çoğullama (*Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM*) **12**

2.4.2 Tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim (*Single carrier–frequency division multiple access, SC-FDMA*) **14**

2.4.3 Çoklu giriş çoklu çıkış iletişim sistemleri (*Multiple input multiple output, MIMO*) **15**

2.4.3.1 MIMO sistem kazançları **16**

2.4.3.1.1 Dizi ve çeşitleme kazancı **17**

3. ANTENLER VE MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN ÖZELLİKLERİ **20**

3.1 Temel Anten Parametreleri **21**

3.1.1 Işıma örüntüsü 22

3.1.2 Yönlülük 24

3.1.3 Anten verimliliği 24

3.1.4 Anten kazancı 25

3.1.5 Polarizasyon 25

3.1.6 Bant genişliği 27

3.1.7 Geri dönüş kaybı (*return loss, RL*) ve gerilim duran dalga oranı (*voltage stand wave ratio, VSWR*) 28

3.2 Mikroşerit Yama Antenlerin Genel Yapısı ve Özellikleri 29

3.2.1 Şekil ve boyut özellikleri 29

3.2.2 Besleme yöntemleri 32

3.2.2.1 Mikroşerit besleme 33

3.2.2.2 Koaksiyel besleme 34

3.2.2.3 Açıklık kuplajlı besleme 35

3.2.2.4 Yakınlık kuplajlı besleme 36

4. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİNDE KULLANILAN BENZETİM PROGRAMLARI 37

4.1 Ansoft Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (*High Frequency Structural Simulator, HFSS)* 37

4.2 Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi (*Computer Simulation Technology, CST*) 40

5. DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN TASARIMI 41

5.1 Yama Anten Tasarımı Temel Parametreleri 43

5.1.1 Çalışma frekansı 43

5.1.2 Dielektrik sabiti 44

5.1.3 Dielektrik malzemenin yüksekliği 44

6. KOAKSİYEL BESLEMELİ DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN DİZAYNI 46

6.1 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı 53

6.2 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 0.5mm Olarak Değiştirilmesi 57

6.3 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 1mm Olarak Değiştirilmesi 61

7. MİKROŞERİT BESLEMELİ DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN DİZAYNI 65

7.1 Mikroşerit Beslemeli 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı 69

7.2 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 0.5mm Olarak Değiştirilmesi 73

7.3 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 1mm Olarak Değiştirilmesi 76

7.4 Mikroşerit Beslemeli 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Dikdörtgen Yama Antene Yamanın Beslendiği Noktalardan Yarıklar Açma 81

8. SONUÇ 86

KAYNAKLAR 93

ÖZGEÇMİŞ 96

KISALTMALAR DİZİNİ

GSM	Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (*Global System for Mobile*)
2G	İkinci Nesil (*Second Generation*)
3G	Üçüncü Nesil (*Third Generation*)
4G	Dördüncü Nesil (*Fourth Generation*)
GPRS	Genel Paket Telsiz Hizmetleri (*General Packet Radio Services*)
EDGE	Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*)
UMTS	Uluslararası Mobil İletişim Sistemi (*Universal MobileTelecommunication System*)
WCDMA	Geniş Band Kod Bölmeli Çoklu Erişim (*Wide Code Division Multiple Access*)
HSPA+	Yüksek Hızda Veri Paketi Erişim Bağlantısı + (*High Speed Packet Access*)
3GPP	3.Nesil Ortaklık Projesi (*3rd Generation Partnership Project*)
LTE	Uzun Vadeli Dönüşüm (*Long Term Evolution*)
SAE	Sistem Mimarisi Gelişimi (*System Architecture Evolution*)
EPS	Geliştirilmiş Paket Sistemini (*Evolved Packet System*)
UL	Yukarı Gönderim (*Uplink*)
DL	İndirme (*Downlink*)
OFDM	Ortogonal frekans bölmeli çoğullama (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
SC-FDMA	Tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim (*Single Carrier–Frequency Division Multiple Access*)
MIMO	Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (*Multiple Input Multiple Output*)
VSWR	Gerilim Duran Dalga Oranı (*Voltage Stand Wave Ratio*)

RL	Geri Dönüş Kaybı (*Return Loss*)
WiMAX	Mikrodalga Erişim İçin Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (*Worlwide Interoperability for Microwave Access*)
FEM	Sonlu elemanlar yöntemi *(Finite Element Method*)
FIT	Sonlu integrasyon yöntemi (*Finite Integration Technique*)
FDTD	Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (*Finite Difference Time Domain*)
FDD	Frekans Bölmeli Çoklama (*Frequency Division Duplexing*)
TDD	Zaman Bölmeli Çoklama *(Time Division Duplexing*)
HFSS	Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (*High Frequency Structural Simulator)*
CST	Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi (*Computer Simulation Technology*)
GGSN	GPRS Geçit Destek Düğümü (*Gateway Support Node*)
SGSN	GPRS Hizmet Destek Düğümü (*Serving Gateway Support Node*)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 3G ve 4G ağ mimarileri 4
Şekil 2.2 04.12.2014 verilerine göre LTE ve LTE Advanced ağ teknolojilerinin dünya üzerindeki dağılımı 6
Şekil 2.3 LTE ve diğer teknolojilerin veri hızları karşılaştırması 7
Şekil 2.4 Ağ gecikmelerinin teknolojilere göre kıyaslanması 8
Şekil 2.5 LTE ve HSPA teknolojilerinin 5 Mhz için veri hızlarının karşılaştırılması 9
Şekil 2.6 WiMAX ve LTE ağlarının karşılaştırılması 10
Şekil 2.7 Fiber, WiMAX ve LTE teknolojilerinin karşılaştırılması (Osmanca 2012) 11
Şekil 2.8 FDM sisteminde ve OFDM sisteminde kanalların yerleşimi 14
Şekil 2.10 Maksimum oranda birleştirme 18
Şekil 3.2 İletimdeki bir antenin iletim hattının Thevenin eşdeğeri modellemesi 21
Şekil 3.3 Işıma deseni (dB olarak) 23
Şekil 3.4 Işıma deseni üzerindeki lopların isimleri 23
Şekil 3.5 3 boyutlu ışıma deseni 24
Şekil 3.6 Polarizasyon çeşitleri 26
Şekil 3.7 Mikroşerit yama anten yapısı 29
Şekil 3.8 Farklı mikroşerit yama anten geometrileri 30
Şekil 3.9 Mikroşerit beslemeli yama anten 33
Şekil 3.10 Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten 34
Şekil 3.11 Bağlantısız besleme yöntemleri 35
Şekil 4.1 Ansoft HFSS kullanıcı ara yüzü 39
Şekil 4.2 CST MWS kullanıcı ara yüzü 40
Şekil 6.1 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin önden ve yandan görünüşü 48
Şekil 6.2 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin önden ve yandan görünüşü 49
Şekil 6.3 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği 50
Şekil 6.4 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği 50

Şekil 6.5 Koaksiyel besleme için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması 51
Şekil 6.7 Tasarımı yapılan anten geometrinsin üstten ve yandan görünümü..... 53
Şekil 6.8 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama anten (Wyarık=0.75 mm için)..... 54
Şekil 6.9 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama anten (Wyarık=0.75 mm için) 54
Şekil 6.10 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin *S*11 parametresi grafiği (Wyarık=0.75 mm için)..... 55
Şekil 6.11 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.75 mm için)..... 55
Şekil 6.12 Koaksiyel beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=0.75 mm için)..... 56
Şekil 6.13 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği (Wyarık=0.75 mm için) 57
Şekil 6.14 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.5 mm için)..... 58
Şekil 6.15 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.5 mm için) 58
Şekil 6.16 CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=0.5 mm için) 59
Şekil 6.17 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği (Wyarık=0.5 mm için) 60
Şekil 6.18 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=1 mm için)..... 61
Şekil 6.19 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=1 mm için)..... 62
Şekil 6.20 CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=1 mm için) 63
Şekil 6.21 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği (Wyarık=1 mm için) 64

Şekil 7.1 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten..65
Şekil 7.2 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten...66
Şekil 7.3 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği.....66
Şekil 7.4 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği.....67
Şekil 7.5 Mikroşerit besleme için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması.....68
Şekil 7.6 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği.....69
Şekil 7.7 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten (Wyarık=0.75 mm için).....70
Şekil 7.8 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten (Wyarık=0.75 mm için).....70
Şekil 7.9 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.75 mm için).....71
Şekil 7.10 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.75 mm için).....71
Şekil 7.11 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=0.75 mm için).....72
Şekil 7.13 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.5 mm için).....74
Şekil 7.14 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=0.5 mm için).....74
Şekil 7.15 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=0.5 mm için).....75
Şekil 7.16 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği (Wyarık=0.5 mm için).....76
7.3 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 1mm Olarak Değiştirilmesi.....76

Şekil 7.17 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=1 mm için) 77
Şekil 7.18 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S11 parametresi grafiği (Wyarık=1 mm için) 77
Şekil 7.19 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S11 parametresi sonuçlarının karşılaştırılması (Wyarık=1 mm için) 78
Şekil 7.20 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği (Wyarık=1 mm için) 79
Şekil 7.22 Besleme noktasından yarık açılmış antenin CST görüntüsü 82
Şekil 7.23 HFSS programında tasarlanan besleme noktasından yarık açılmış antenin S11 parametresi grafiği 83
Şekil 7.24 HFSS programında tasarlanan besleme noktasından yarık açılmış antenin S11 parametresi grafiği 83
Şekil 7.25 Besleme noktasından yarık açılmış antenin 3 boyutlu kazanç grafiği 84
Şekil 8.1 HFSS benzetim programında tasarlanan yama antenlerin bant genişliklerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması 86
Şekil 8.2 CST benzetim programında tasarlanan yama antenlerin bant genişliklerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması 87
Şekil 8.3 HFSS benzetim programında tasarlanan yama antenlerin geri dönüş kayıplarının yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması 88
Şekil 8.4 CST benzetim programında tasarlanan yama antenlerin geri dönüş kayıplarının yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması 89
Şekil 8.5 Tasarlanan antenlerin kazanç değerlerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslanması 90
Şekil 8.6 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip mikroşerit beslemeli antenin besleme noktalarında yarık olması ve olmaması halinde bant genişliklerinin kıyaslanması 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 FDD LTE frekans bantları (MHz) 42
Çizelge 5.2 TDD LTE frekans bantları (MHz) 43
Çizelge 7.1 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için HFSS sonuçları 79
Çizelge 7.2 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için CST sonuçları 80
Çizelge 7.3 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için HFSS sonuçları 80
Çizelge 7.4 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için CST sonuçları 81

1. GİRİŞ

Gelişen telekomünikasyon dünyasında kablosuz haberleşmedeki hızlı ilerlemeler farklı yapıdaki kablosuz teknolojilerin birlikte kullanılmasının önemini arttırmıştır. Farklı teknolojilerdeki kablosuz ağların ortaklaşa çalışabilmesi ile yeni nesil haberleşme sistemlerinde hizmet kalitesi yüksek ve düşük maliyetli bağlantılar amaçlanmaktadır. Gelecek nesil kablosuz ağların öncelikli amaçları; yüksek hızlı veri iletişimini gerçekleştirmek, daha az maliyetle hizmet vermek ve kablolu ortamda gerçekleştirilen ses, veri, video gibi farklı trafik kapasitelerine sahip hizmetlerin, yüksek hizmet kalitesi ile kablosuz ortamdan kesintisiz iletilmesine olanak sağlamaktır (Berlemann vd. 2005).

Mobil ağların, telekomünikasyon dünyasındaki değişim ve gelişmeleri tetiklediği net bir şekilde ortadadır. İletişim sistemlerinde kablolu iletişimden kablosuz iletişime doğru büyük bir yönelim görülmektedir. Ses haberleşmesine ilave olarak veri kullanımı da günden güne artmaktadır. Son yıllarda mobil ağlardaki veri kullanımının artışı ve çevrimiçi oyun, mobil TV, kesintisiz içerik gibi uygulamaların ortaya çıkması ile bu taleplerin daha etkin karşılanabilmesi amacıyla kablosuz haberleşme sektöründe daha gelişmiş teknolojilerin ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda 4. nesil mobil haberleşme sistemleri gündeme gelmeye başlamıştır.

LTE kablosuz ortamın dezavantajlarına çözüm sunmayı amaçlayan en yeni 4.nesil aday teknolojilerinden birisidir. 4. nesil yüksek iletim hızları sağlamanın yanında su anda kullanılan 2.nesil, 3.nesil ve kablolu ağların arasında sorunsuz geçiş için ortak bir platform sağlamayı amaçlamaktadır. Böylece sayısal çoklu ortam uygulamalarının kablosuz haberleşmede ortaya çıkardığı iyileştirme ihtiyacı gerçekleştirilmiş olacaktır (Çınar 2010). Bu nedenle LTE sistemleri günümüzde hem iş alanında hem de akademik alanda üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir. Avrupa Birliği 2010 yılından itibaren LTE teknolojisi için yapılacak AR&GE faaliyetleri için 18 milyon Euro tutarında destek vereceğini açıklamıştır. (http://europe.eu 2014).

LTE sistemler için bu bahsedilen avantajları ortaya koymakta en etkin unsurlardan biri de antendir ve anten etkinliğinin arttırılması ile istenilen değişimlere adaptasyon rahatça yapılabilmektedir. Radyo frekans tayfının doğal yapısı gereği sınırlı bir kaynak olması da haberleşme sistemlerinin kolay bir şekilde etkinlik artırmasına engel teşkil eden bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

İlk mikroşerit yama anten 1953 yılında tasarlanarak patenti alınmasına rağmen, asıl gelişimi 1970'li yıllarda gerçekleşti. Mikroşerit yama antenler, günümüz mobil haberleşme teknolojisinin gereksinimlerini karşılayabilme potansiyeli sebebiyle üzerinde sık çalışılan alanlardan biri olmuştur.

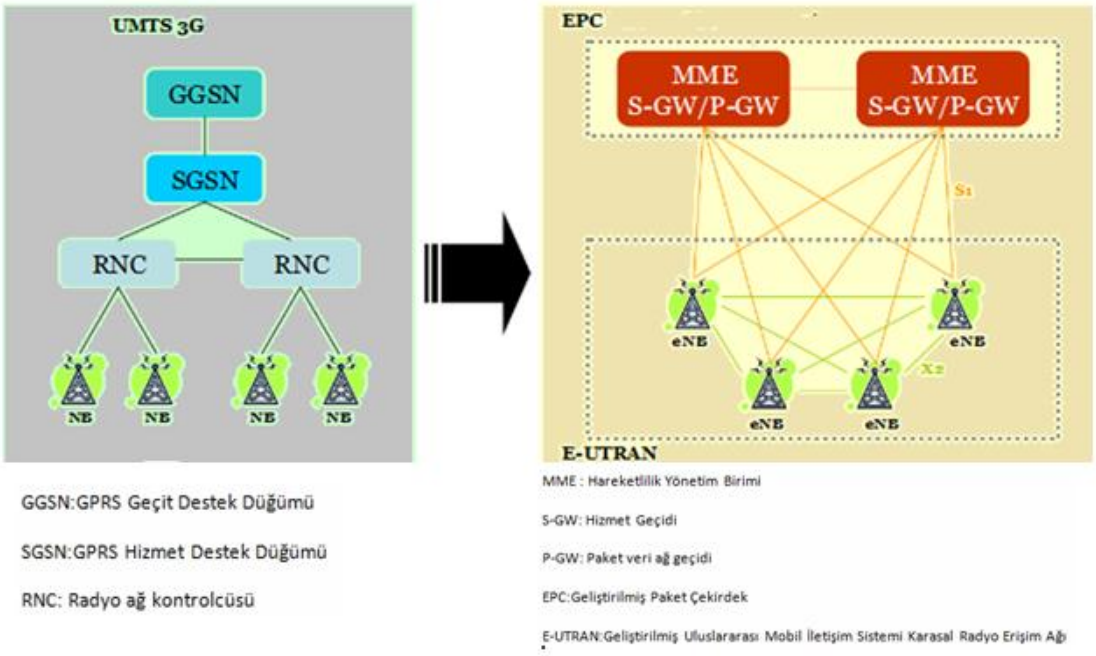
Bu tez kapsamında yapılmış olan çalışmaya en yakın çalışmalardan bazıları Başaran (2008), Çetme (2009), Gökçe (2009), ve Kütük (2012)'nin çalışmalarıdır. Başaran (2008) kablosuz haberleşme uygulamaları için yarık-halka mikroşerit anten tasarımı üzerinde çalışmıştır. Gökçe (2009) UMTS uyumlu cep telefonları için mikroşerit yama anten tasarımı üzerinde çalışmış ve HFSS benzetim programıyla 2.05 çalışma frekansına sahip anten tasarlamıştır. Çetme (2009), 1800 MHz çalışma frekansına sahip bir dikdörtgensel mikroşerit yama anten dizayn etmiş ve antene farklı yarıklar ekleyerek sonuçları incelemiştir. Ayrıca Öcalan (2010), çift kutuplu kare mikroşerit yama anten tasarımı üzerine çalışmış ve MIMO uygulamalarındaki verimlilik analizlerini incelemiştir. Biçer (2011) çalışmasında LTE teknolojisine en yakın teknoloji olan WiMAX uygulamaları için kompakt mikroşerit anten tasarımını gerçekleştirmiştir.Genelde yapılan tüm çalışmalar tek bir benzetim programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında ise hem HFSS hem de CST benzetim programları kullanılarak 4.nesil teknolojilerinin frekans bandında çoklu-bant operasyon yeteneğine sahip antenler tasarlanmış ve antenlere farklı genişliklerde yarıklar eklenerek ayrıca besleme yöntemleri değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir.

2. 4. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

4. nesil iletişim teknolojisi her türlü ortamda yüksek hızlı iletim hızları sağlamanın yanında şu anda kullanılan 2.nesil, 3. nesil ve kablolu ağların arasında uyumlu bir geçiş için ortak bir platform sağlamayı hedeflemektedir. 3. Nesil Ortaklık Projesi (*3rd Generation Partnership Project, 3GPP)* Versiyon 9'da gelecek GSM dünyasının IP üzerine kurulması gerektiğinden ve bant genişliği ihtiyaçlarının daha fazla olacağından bahsetmektedir. Uzun Vadeli Dönüşüm (*Long Term Evolution, LTE*) 4G ağlarında kullanılacak baz istasyonlarının sektör başına minimum 50 Mbps gönderme, 100 Mbps indirme hızları standart olarak belirlenmiştir. Bu gelişmeler 20Mhz spektrumdan 100 Mhz'e kadar 3 sektör üzerinden 1 Gbps indirme hızını sağlanmaktadır. Şu anki 3G veri hızı 30 Mbps civarında gerçekleşmektedir. Ancak 4G teknolojisi ile bu yetenek 30 kat kadar artmaktadır. Ayrıca şu an kullanılan transmisyon cihazlarını kullanmak verimsiz olacak ve ihtiyaçlarını karşılayamayacaktır. LTE teknolojisindeki temel amaçlardan biri de basit bir ağ ve daha az masraf ile daha iyi bir altyapı kurmak ve ağdaki sadeleştirme ile gelecek teknolojiye bu günden ortam hazırlamaktır (Akın 2010). 3.Nesil Ortaklık Projesi 3. Nesil mobil haberleşme teknolojileri için küresel anlamda standartlar belirlemek için telekomünikasyon kurumlarından oluşan gruplar tarafından oluşturulan bir iş ortaklığıdır. 3GPP standardizasyonu Radyo, Çekirdek Ağ (*Core Network*) ve hizmet mimarilerini içermektedir. Bu ortaklık temel olarak geleceğe dönük ihtiyaçların ve sorunların üstesinden gelinebilmesini hedeflemektedir. Bu standardizasyon çerçevesinde 4. nesil mobil haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. LTE daha yüksek hızda veri, daha az gecikme, daha geniş spektrum ve optimize edilmiş paket radyo teknolojisi sağlayabilmesi düşüncesiyle geliştirilmiştir.

Veri haberleşmenin günden güne arttığı dönemlerde artan trafik miktarı doğrultusunda mevcut 2G/3G şebekelerinin maliyetleri de operatörler için doğru orantıda artmaktadır. LTE ile birlikte şebekeye giren Sistem Mimarisi Gelişimi (*System Architecture Evolution, SAE*) mimarisi, maliyetleri minimuma çekmektedir. Bu da sabit seyir izleyen gelirler ve şebeke maliyetleri arasındaki boşluğu yani bir nevi karlılığı da operatörler için kabul edilebilir seviye yelere getirmektedir. Şekil 2.1'de 3. nesil ve 4.nesil

sistemlerin ağ mimarileri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi 4. nesil sistemler 3. nesil sistemlere göre daha az donanıma gereksinimi sunarak mimari yapıyı basitleştirmiştir.

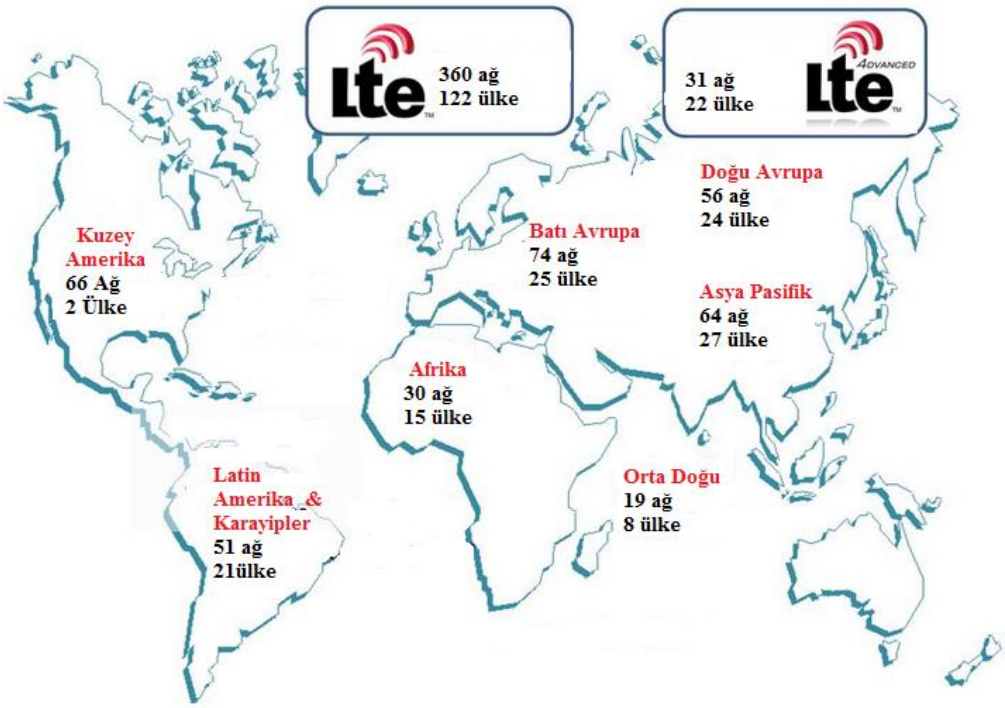


Şekil 2.1 3G ve 4G ağ mimarileri

LTE ve 4G teknolojileri, getirdiği yenilikler ile şebeke kaynaklarının şimdiki teknolojilerden daha verimli kullanımının sağlanması ve daha yaratıcı Katma Değerli Servisler (*Value Added Services, VAS*) servislerinin kullanıcılara sunulması avantajlarından dolayı günümüzde hem akademik çalışmalarda hem de üretici ve operatörler tarafından en çok odaklanılan ve üzerinde çalışılan teknolojiler olmuşlardır. Özellikle Avrupa Birliği ve diğer gelişmiş ülkelerin de önceliğinde olan internet kullanımının her kesime yer ve zamandan bağımsız olarak hızlı bir şekilde sunulması için de bu teknolojiler stratejik olarak oldukça çok önem kazanmaktadır. Avrupa Biriliği'nin 2010 yılından başlayarak LTE teknolojisi için yapılacak AR&GE faaliyetlerinde kullanılmak üzere 18 milyon Euro finansal destek dağıtacağını duyurması da bu teknolojinin önemini vurgulaması açısından kayda değerdir (http://europa.eu 2009).

4G için tasarlanan teknolojiler ile ilgili olarak üç ayrı yoldan standartlaştırma çalışmaları yapılmaktadır. Kuzey Amerika bölgesi için mobil haberleşme standartlarını oluşturan 3GPP2 Ultra Mobil Geniş Band (*Ultra Mobile Broadband, UMB*) teknolojisini 4G teknolojisi olarak belirlemiştir. 3GPP ise LTE teknolojisi üzerinde odaklanarak yoluna devam etmektedir. Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) ise Mikrodalga Erişim İçin Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (*Worldwide Interoperability for Microwave Access, WIMAX*) 802.16m standartlarını geliştirmektedir. Bu üç teknolojinin de ortak noktası Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) modülasyon teknolojisini seçmiş olmalarıdır (Yavuz ve Soydaş Çakır 2010).

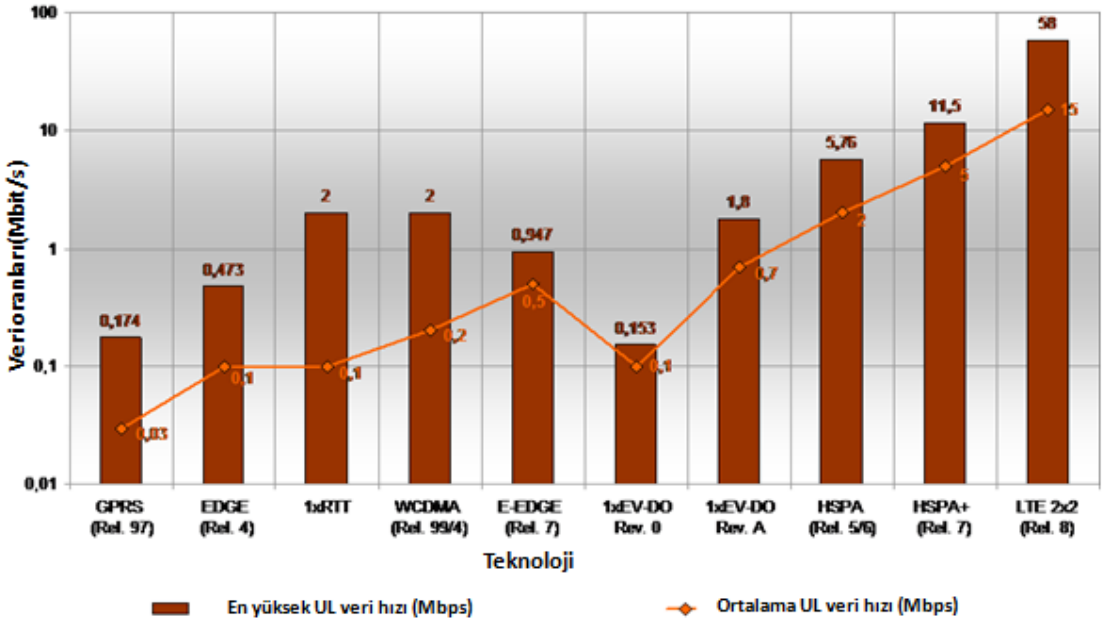
LTE teknolojisi zaman zaman 3.9G olarak da adlandırılmaktadır. Çünkü Uluslar arası Telekomünikasyon Birliği (*International Telecommunication Union, ITU*), Uluslar arası Mobil Telekomünikasyon 3G Standartları (*International Mobile Telecommunication 3G Standarts, IMT2000*)'in takipçisi olarak Geliştirilmiş Mobil Telekomünikasyon Standartları (*International Mobile Telecommunication Advanced Standarts, IMT Advanced*)'ı tanımlamıştır ve teorik olarak 1Gbit/s'a kadar data hızını destekleyeceği öngörülmektedir ve bu teknoloji 4G olarak düşünülmektedir. 4G (*LTE Advanced*) büyük ihtimalle Sürüm 10 ile beraber piyasaya sürülecek ve IMT Advanced'in gereksinimlerini tam anlamıyla yerine getirecektir. Şekil 2.2'de dünya üzerinde LTE ve LTE Advanced ağlarının 4 Aralık 2014 verilerine göre dağılımı gösterilmektedir (http://www.4gamericas.org 2010).



Şekil 2.2 04.12.2014 verilerine göre LTE ve LTE Advanced ağ teknolojilerinin dünya üzerindeki dağılımı

2.1 LTE Gereksinimleri

1. Yüksek veri hızı: 100/50 Mbps İndirme (*Downlink, DL*)/ Gönderme (*Uplink ,UL*)' den 1Gbps DL indirme hızına kadar ulaşabilmektedir. LTE ve diğer teknolojilerin en yüksek ve ortalama UL veri hızlarını gösteren değerler şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 LTE ve diğer teknolojilerin veri hızları karşılaştırması

2. Hareketlilik

–En iyi performans gösterdiği hız Aralığı 0 ~ 15 km/sa olarak belirlenmiştir.

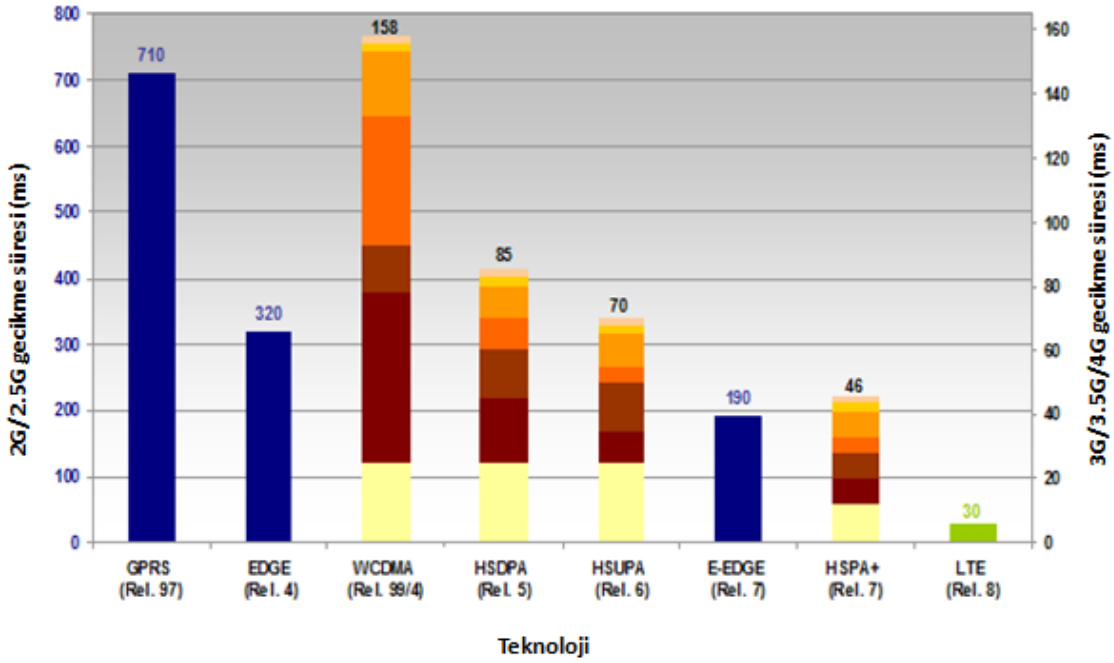
– 15 ~ 120 km/sa aralığını yüksek performansla desteklemektedir.

–Destekleyebildiği hareketlilik sınırı 350 km/sa ve hatta 500 km/sa seviyelerine ulaşmaktadır.

3.Spektrum esnekliği: Tüm evrensel pazarlarda kullanılabilmesi için 1.25 ~ 20 MHz aralığı gibi oldukça geniş bir spektrum yapısına sahiptir. 1.4, 3/3.3,5,10,20 MHz bantları kullanılabilmektedir. 3G şebekelerinde 1.25 ve 5MHz spektrumları kullanılabiliyordu. Bu farklı bant genişliklerinin kullanılması sayesinde değişken veri hızları da kullanıcılara sunulabilmektedir. Ayrıca bant genişliği ve anten sayısının artması demek veri hızının da artması anlamına gelmektedir.

4. Basit yapısal mimari: Mimarinin basitleşmesi operatör maliyetlerini düşüren en önemli faktörlerden birisidir.

5. Düşük gecikme: Kontrol düzlemi trafiğinin aksamaması ve aktarımın düzgün bir şekilde gecikme olmadan yapılması gereklidir. Bu süre 5ms'den daha düşük olmalıdır. Şekil 2.4'de farklı teknolojilerin ağ gecikmeleri kıyaslanmıştır.



Şekil 2.4 Ağ gecikmelerinin teknolojilere göre kıyaslanması

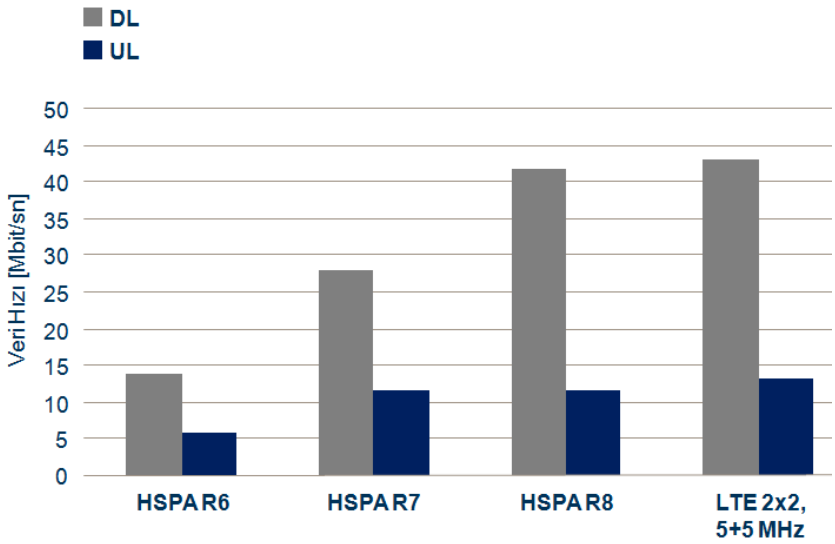
6. Bağlantı özellikleri: Noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya bağlantıları gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca devre anahtarlama yapısı yerine paket anahtarlama yapısı kullanılmaktadır.

7.Servis kalitesi (*Quality of Service, QoS*) yapılandırmasını desteklenmesi: Ses, veri ve sinyalleşme sinyalleri trafiklerinin hepsi IP üzerinden taşınacağı için bunların da çok iyi bir şekilde birbirinden ayrıştırılması işleminin yapılmakta ve trafik kanallarının birbirini gürültü anlamında etkilemesinin önüne geçilmektedir.

8.Yüksek güvenlik, hata kontrol mekanizması ve performans yönetimi etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

9.Kapasite: 5MHz' de 200 kullanıcı, daha geniş spektrumda 400 kullanıcıya kadar hizmet verilebilmektedir.

Veri hızı parametresi ile ilgili olarak belirtilmesi gereken bir durum söz konusudur. LTE ile HSPA teknolojileri 5 MHz bant genişliği kullanımı için birbirlerine üstünlük sağlayamamaktalar. O yüzden operatörler LTE kullanımını en az 10 MHz bant genişliği için kullanmayı tasarlamalıdırlar. Bu durum göz önüne alındığında yüksek bant genişliklerine sahip mobil operatörler LTE yarışında büyük avantaj sağlayacaklardır. Uzun vade planları için bu bilgi GSM operatörleri tarafından göz önünde bulundurulmalıdır (Sauter 2011). Şekil 2.5'de LTE ve HSPA teknolojilerinin veri hızlarının 5 Mhz için kıyaslaması gösterilmiştir (Yavuz 2010).



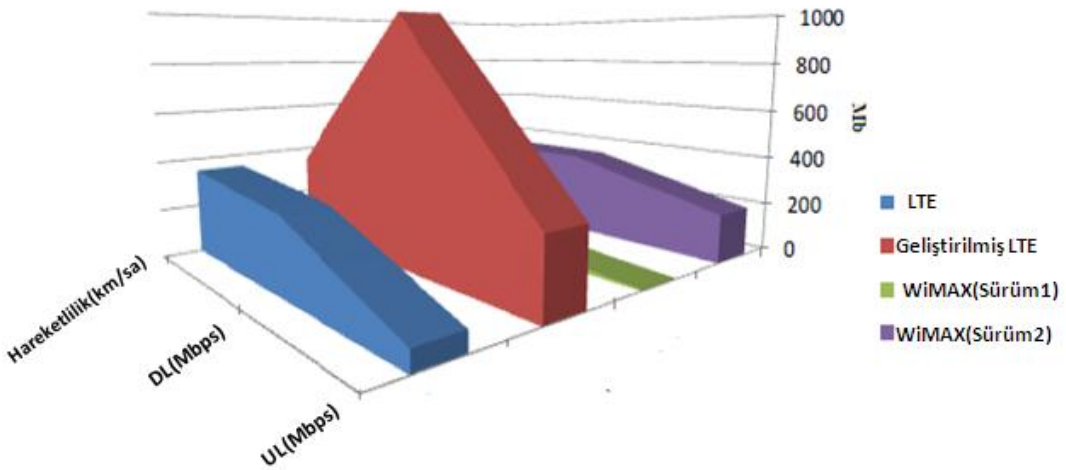
Şekil 2.5 LTE ve HSPA teknolojilerinin 5 Mhz için veri hızlarının karşılaştırılması

2.2 Mikrodalga Erişim İçin Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (*Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX*) Teknolojisininin İncelenmesi ve LTE Teknolojisi ile Karşılaştırılması

WiMAX teknolojisi sabit, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen ve geliştirilerek LTE teknolojisi ile birlikte 4. Nesil teknolojilere aday olarak gösterilebilen bir geniş bant kablosuz erişim teknolojisidir. Görüş hattında olan veya olmayan, noktadan noktaya, noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya uygulamalar WiMax ile yapılabilmektedir. İdeal şartlarda 50 km'lik kapsama alanı içerisinde 75 Mb/s'ye ulaşan hızlarda ses, veri ve görüntüyü yüksek hizmet kalitesi ve güvenlik şartlarını da gerçekleyerek taşıyıp dağıtabilmektedir. En hızlı WiMAX bağlantısı saniyede 75 mega

bit iletim hızına ulaşabilmektedir. 75 Mb birkaç düzine işyeri ya da yüzlerce evden oluşan kullanıcılar arasında dağıtılsa dahi, WiMAX teknolojisi kablolu modemin her bir kullanıcıya sağladığı en küçük transfer hızlarına (2 Mb) eşit bir hız sağlayacaktır. WiMAX standartları IEEE 802.16 Grubu tarafından belirlenmekte ve geliştirilmektedir. WiMAX teknolojisinin iki temel varyansı geliştirilmeye çalışılmaktadır. 802.16d standartı sabit ya da yavaş hıza sabit kullanıcıları desteklerken 802.16e standartı mobil kullanıcıları desteklemektedir (Martin vd. 2010).

WiMAX için özellikle Avrupa'da kullanılan 3,5 GHz'lik frekans bandının mobil haberleşme için birçok sayıda dezavantajının olması, tam mobiliteyi sağlayacak standartların henüz tam olarak geliştirilememesi ve WiMAX ile benzer teknikleri kullanan fakat frekans, mobilite ve standartlaşma açısından WiMAX'e göre çok daha avantajlı olan uzun vadeli dönüşüm (LTE) teknolojisinin ilerde daha da yaygınlaşacağının düşünülmesi WiMAX'in yerini LTE teknolojisine bırakacağına işaret etmektedir. GPRS'in 2.Nesil ile 3.Nesil arasında bir geçiş olduğu düşünülecek olursa, WiMAX'de 3.Nesil ile 4.Nesil arasında bir geçiş teknolojisi olarak düşünülebilir. WiMAX'in OFDM tabanlı iletişimi gerçekleştirmesi ve baştan sona IP tabanlı bir teknoloji olması özellikleri, LTE gibi bir sonraki teknolojilere aktarılmıştır ve geliştirilmeye devam etmektedir. Şekil 2.6'da WiMAX ve LTE ağları hareketlilik, gönderim (*Uplink, UL*) hızı ve indirme (*Downlink, DL*) hızları karşılaştırılmıştır (Osmanca 2012)

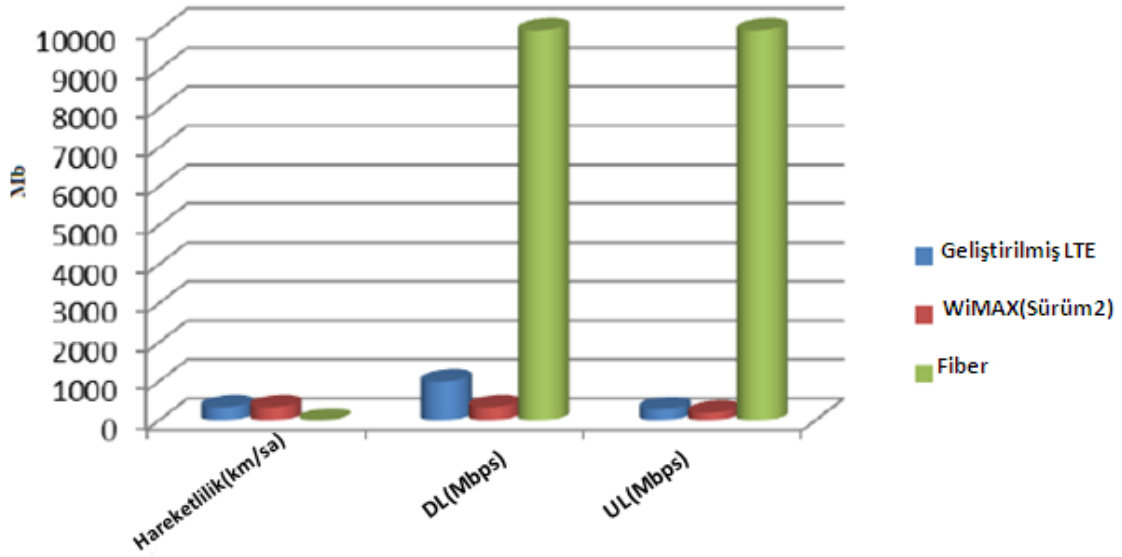


Şekil 2.6 WiMAX ve LTE ağlarının karşılaştırılması

2.3 WiMAX ve LTE Teknolojilerinin Hız Bakımından Fiber Optik Kablo İle Karşılaştırılması

Artık tüm uygulamalarda yaygın olarak kullanılan fiber optik kablo üzerinden terabit seviyelerinde gönderme (UL) ve indirme (DL) hizmeti sunulabilmektedir. WiMAX teknolojisinin şu ana kadar yapılan çalışmalarda en yüksek UL hızı 40 Mbps, en yüksek DL ise 120 Mbps olarak belirlenmiştir. LTE teknolojisinde ise en yüksek UL hızı 350 Mbps, DL hızı ise 450 Mbps seviyelerine ulaşmıştır. Geliştirilmiş LTE teknolojisi ile sistem tam manasıyla düzenlendiğinde bu oranların hem UL hem de DL olarak 1 Gbps seviyelerine ulaşması beklenmektedir.

Bu oranlar dikkate alındığında sabit abonelere için veri iletimi konusunda WiMAX ve LTE teknolojilerinin fiber optik kabloya göre daha düşük seviyelerde kaldığı fakat mobil anlamda düşünüldüğünde hareketlilik avantajıyla WiMAX ve LTE teknolojilerinin devrim niteliğinde hızlara sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2.7'de fiber kablo, WiMAX ve LTE teknolojilerinin abone sabitken veya hareketli konumdayken ki hız oranları kıyaslanmıştır (Osmanca 2012).



Şekil 2.7 Fiber, WiMAX ve LTE teknolojilerinin karşılaştırılması (Osmanca 2012)

2.4 LTE Ağlarında Kullanılan Teknolojiler

LTE teknolojisi ve diğer 4G teknolojileri, OFDM'i ve ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim teknolojisini (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA* DL işlemi yaparken ve tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim (*Single Carrier–Frequency Division Multiple Access, SC-FDMA*) UL işlemi sırasında kullanmaktadır.. Bu seçimler 1.4 Mhz'ten 20 Mhz'e kadar geniş bir spektrum tahsis esnekliği sağlayabilme avantajını getirmektedir. Dahası LTE farklı çoklu giriş çoklu çıkış (*Multiple Input Multiple Output, MIMO*) ve çoklu anten konfigürasyonlarının kullanımını desteklemektedir. Bu da veri hızını ve spektrum verimliliğini arttırmaktadır. Bu altyapılara ek olarak LTE teknolojisinde Frekans Bölmeli Çoklama (*Frequency Division Duplex, FDD*) ve Zaman Bilmeli Çoklama (Time Division Duplex, TDD) kullanılabilecektir. Bu desteğin sağlanması operatörlere 4G ye geçiş süreci sırasında ilk etapta altyapı ve uyum kolaylığı sağlamaktır. Örneğin; TDD özellikle Uzakdoğu daki TD-SCDMA kullanan operatörler açısından LTE'e geçişte çok önemli bir avantaj getirmektedir (Yavuz ve Soydaş Çakır 2010).

2.4.1 Ortogonal frekans bölmeli çoğullama (*Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM*)

OFDM, Frekans Bölmeli Çoklu Erişime (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*) benzerdir yani her iki teknikte de çok kullanıcılı erişim, mevcut bant genişliğinin birçok alt kanala bölünmesiyle gerçekleşmektedir (Van Nee ve Prasad 2000). Daha sonra bu kanallar kullanıcılara tahsis edilir. OFDM, tek bir veri akışının düşük hızlı birçok alt taşıyıcı ile yapıldığı özel çok taşıyıcılı bir iletim tekniğidir. Bu teknikte kanallar birbiriyle örtüşmüş şekilde olduğundan tayf daha verimli kullanılabilmektedir. Bu, bütün taşıyıcıların birbirine göre dikgen olarak yerleştirilmesiyle gerçekleşir. Böylece taşıyıcıların örtüşmesi bir girişime ve gürültüye neden olmaz.

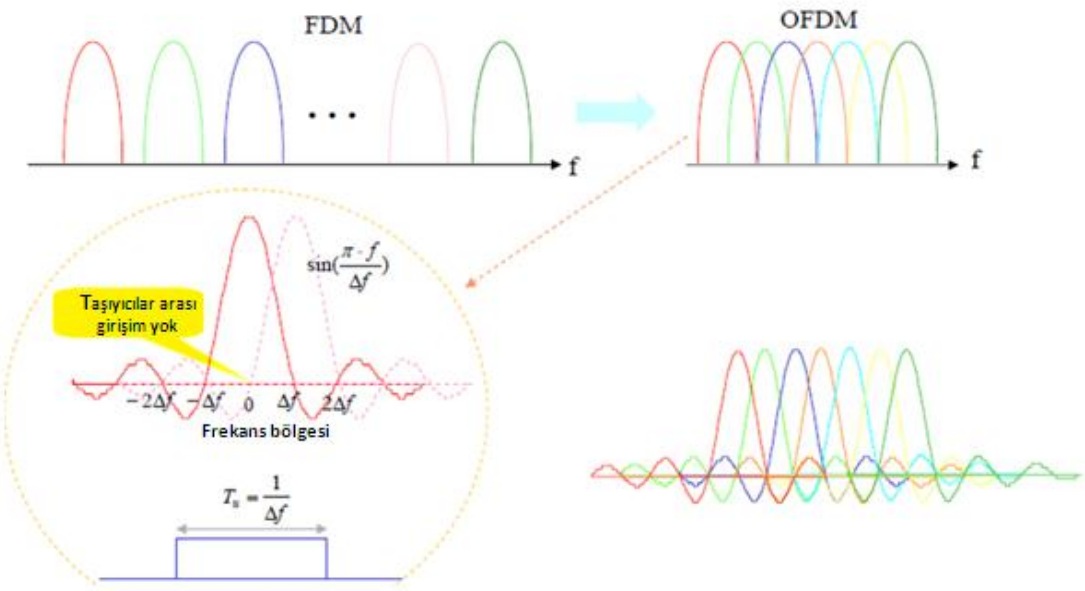
Tipik olarak ses haberleşmesi için FDMA'de, her bir kanala 10-30 KHz bant genişliğinde yer tahsis edilmektedir. Ses iletimi için gereken en az boyutta bant genişliği ise 3 KHz'dir. Ayrılan bant genişliği, kanalların birbiriyle girişimini engellemek için

gereken minimum miktardan daha geniş yapılır. Kanallar arasındaki boşluktan dolayı toplam bant genişliğinin yaklaşık olarak %50'sine kadar çıkabilen oranlarda bir alan boşa harcanmaktadır. Zaten çok sınırlı bir kaynak olan bant genişliği için bu yaklaşık %50'lik kayıp ciddi bir sorundur.

Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (*Time Division Multiple Access, TDMA*) teknolojisinde birkaç kullanıcı tarafından kullanılan daha fazla band genişliğine sahip kanallar kullanılarak bu sorunun kısmen aşılabilmektedir. Verilerini zaman düzleminde ileterek birçok kullanıcı aynı kanala erişebilir. Bundan dolayı birçok veri hızı düşük kullanıcı, yeterli bant genişliği olan tek kanalda iletilmek üzere bir araya gelebilir. Böylece bant genişliği çok daha verimli kullanılmış olur. Ancak TDMA'de yayılım gecikmeleri ve eş zamanlama hataları gibi problemler kullanıcı sayısını sınırlandırmaktadır.

OFDM, TDMA ve FDMA teknolojilerinin her ikisi için bahsedilen bu sorunların üstesinden gelmektedir. Bu teknikte mevcut bant genişliği birçok dar bantlı alt kanala bölünür (tipik olarak 100-8000 Hz arasında). Her iki kanaldaki taşıyıcılar birbirine göre dikgen olduğundan dolayı birbirlerine çok yakın yerleştirilebilir. Dikgenlik kavramından anlatılmak istenen, işaret periyodu boyunca her bir taşıyıcının tamsayı salınımlara sahip olmasıdır (Lawyer 1997). Bundan dolayı her bir taşıyıcını tayfı, sistemdeki diğer taşıyıcının merkez frekansında sıfır değerine sahiptir. Bu yerleşme düzeni girişim olmaksızın taşıyıcılar üst üste getirilmesine imkân vermektedir.

OFDM tekniğinin en önemli avantajlarından birisi frekans seçici sönümlenme ya da dar bant girişimi ve çoklu yol gecikme yayılımına karşı direnci artırmasıdır. Tek taşıyıcılı bir sistemde tek bir sönümleme veya girişim bütün bir hattın zayıflamasına sebep olacakken, çok taşıyıcılı bir sistemde alt taşıyıcıların sadece küçük bir yüzdesi bu durumdan etkilenecektir (Tören 2013). Şekil 2.8'de klasik bir FDM sisteminde ve OFDM sisteminde kanalların yerleşimi gösterilmektedir. FDM'de çok taşıyıcı bulunmasına karşın bunlar birbirine dik değilken OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dikgen olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir.

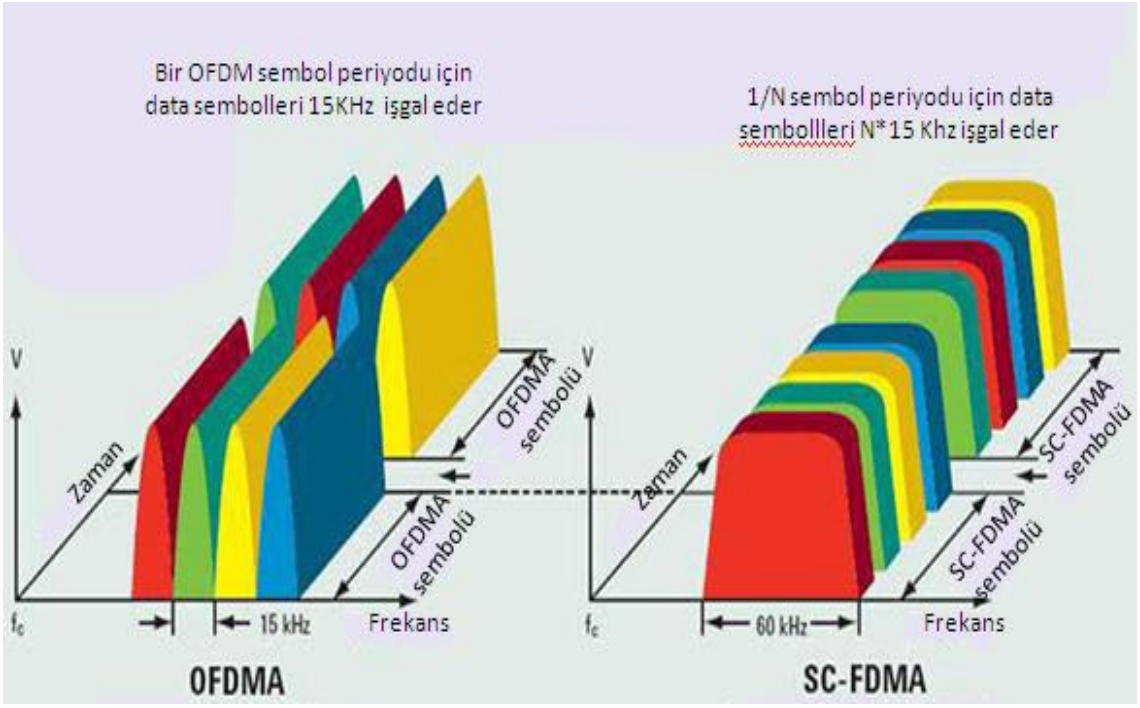


Şekil 2.8 FDM sisteminde ve OFDM sisteminde kanalların yerleşimi

2.4.2 Tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim (*Single carrier–frequency division multiple access, SC-FDMA*)

SC-FDMA tekniği yeni bir çoklu erişim tekniğidir. SC-FDMA teknolojisi, UL aşaması için uygun hale getirilmiş OFDM teknolojisinin farklı bir biçimidir. SC-FDMA teknolojisi standart OFDM teknolojisinin alıcı verici bloklarını farklı sırada kullanmaktadır.

SC-FDMA teknolojisi frekans bölgesinde tek taşıyıcılı modülasyonun çok kullanıcılı uyarlamasıdır. SC-FDMA teknolojisini temel amacı, OFDM teknolojisine göre düşük Tepe güç/Ortalama Güç Oranı (*Peak-to- Average Power Ratio, PAPR*) ile iletimi sağlamaktır. Şekil 2.9'da OFDMA teknolojisi ile SC-FDMA teknolojisini iletim şekilleri karşılaştırılmıştır (Bahai vd. 2004). OFDMA her alt taşıyıcıda, dört veri sembolünü paralel olarak iletirken SC-FDMA dört defada, dört veri sembolünü seri olarak iletir. Görüldüğü gibi, OFDMA sinyalleri çok taşıyıcılı ve SC-FDMA sinyalleri tek taşıyıcıdır.



Şekil 2.9 OFDMA teknolojisi ile SC-FDMA teknolojisinin veri iletimleri

2.4.3 Çoklu giriş çoklu çıkış iletişim sistemleri (*Multiple input multiple output, MIMO*)

Verici ve alıcıda çoklu anten yapıları kullanılan MIMO teknolojisi, yüksek veri hızlı haberleşme sistemlerine olan ve gün geçtikçe artan talebi karşılamak için kilit bir teknolojidir. Etkili frekans spektrumu kullanımına olanak sağlayan bu teknoloji, sınırlı bant genişliği için de yüksek kanal kapasitesi avantajı sağlamaktadır. Verici ve alıcıda çoklu anten elemanları kullanan MIMO sistemlerin, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinin performansını artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Bialkowski 2006).
Frekans spektrum azlığına rağmen yüksek hızda bilgi iletiminin sağlanması, spektrum verimliliğini ve kalitesini artırmaya yönelik çalışmaların artmasına neden olmuştur. Bunu sağlamak için etkin kodlama ve modülasyon teknikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Fakat bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar sönümleme etkileri, çoklu kullanıcı karışımı, mobil cihazların büyüklüğü ve güç sorunu gibi kısıtlar tarafından sınırlandırılmıştır. Kanaldaki olumsuz etkiler haberleşme performansını etkilemekte spektrumun verimli kullanılmasının ve yüksek hızlara çıkılmasının önüne geçmektedir.

Kablosuz iletişim sistemlerinde çoğu zaman baz istasyonu ile kullanıcı mobil terminal arasında direkt görüş (*Line of Sight, LOS*) yoktur ve bu sebeple vericiden gönderilen sinyal birden fazla yoldan geçerek alıcıya ulaşmaktadır. Yani alıcı tarafında orijinal sinyalin rastgele genlik, faz ve geliş açılarına sahip kopyaları da toplanmaktadır. Bu durumda alıcıda toplanan toplam sinyal gücünde sönümleme olarak tanımlanan dalgalanmalara neden olur. Bu sönümleme sorununa ek olarak, çoklu yol iletimi nedeniyle zamandaki yayılım iletilmek istenen sinyalin alıcıya varış süresini uzatmaktadır ve gecikme yayılımına neden olmaktadır.

Teorik anlamda çoklu yol iletimi etkisini azaltmak için en etkili yöntem vericide kanal durumunun (*Channel State Information, CSI*) tanımlanmasıdır. Eğer bu bilgi verici tarafından biliniyorsa vericide sinyalin bu duruma uygun şekilde kodlanması ve kanalın durumuna göre adaptif güç kontrolünün yapılması ile çoklu yol etkisi minimize edilebilir. Ancak bu noktada iki temel problem vardır. Bunlardan birincisi sönümlemeyi azaltmak için vericinin gücünün arttırılması demek maliyetin artması demektir. İkinci problem de verici ile alıcı arasında çift yönlü bir iletişimin olmadığı sistemlerde kanal bilgisinin bilinememesidir. Çift yönlü sistemler de sistemin karmaşıklığını arttırdığından ve sisteme yük bindirdiğinden tercih edilememektedir.

Çoklu yol etkisini azaltmanın bir diğer etkili yolu ise zaman, frekans ve uzay çeşitliliğini sağlayan sistemlerin kullanılmasıdır (Öcalan 2010). İletim hattının her iki ucunda da birden fazla anten kullanımına dayanan MIMO sistemleri, çok saçılımlı bir ortamda tek girişli tek çıkışlı (*Single Input Single Output, SISO*) sistemlere göre kaynakları arttırmaksızın kanal kapasitesini sistemdeki minimum anten sayısıyla doğru orantılı olarak arttırmaktadır.

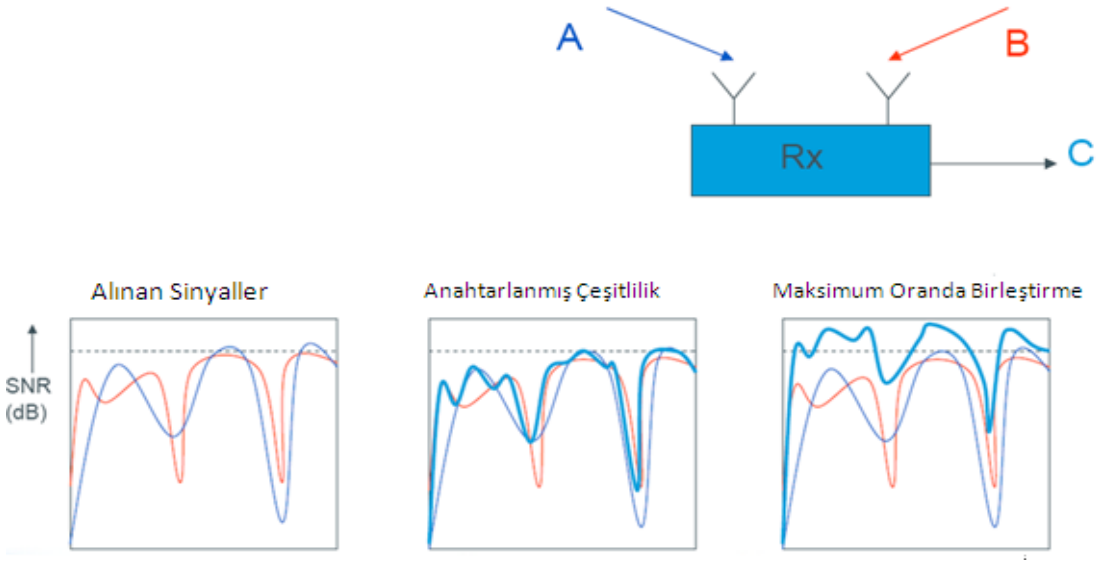
2.4.3.1 MIMO sistem kazançları

MIMO teknolojisinde aynı sistem kaynaklarını kullanan tek anten giriş çıkışlı sistemlere göre veri hızını artırmak, hata oranını düşürmek, iletişim noktaları arasındaki uzaklığı arttırmak mümkündür. Bu sistem kazançları MIMO teknolojisinde aşağıda belirtilen adımlar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir.

2.4.3.1.1 Dizi ve çeşitleme kazancı

Dizi kazancın da ana amaç çok yollu yayılım nedeniyle alıcıya farklı genlik, faz ve geliş açılarında gelen sinyallerin uygun alıcı ya da verici işlemleriyle eş fazlı toplanmasının gerçekleştirilmesi ve böylece alınan sinyal gücünün artırılmasıdır. Bu sayede alıcıda sinyal-gürültü oranı (*Signal to Noise Ratio, SNR*) ve sinyal kalitesi artırılmaktadır. Dizi kazancını artırmak için alıcıda ve/veya vericide gerçekleştirilecek olan işlem demet oluşturma olarak bilinmektedir. Dizi kazancındaki artış sistem başarısı açısından kapsama alanın artması ya da aynı kapsama alanında daha düşük güçte iletim yapılması olarak değerlendirilmektedir. Alıcı ve verici demet oluşturma işleminde elde edilen dizi kazancı alıcı ve verici anten sayısıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. LTE'nin teknik özellikleri verici tarafında dörde, alıcı tarafında ise yine dörde kadar anten konfigürasyonu (4x4 MIMO konfigürasyonu) desteklemektedir.

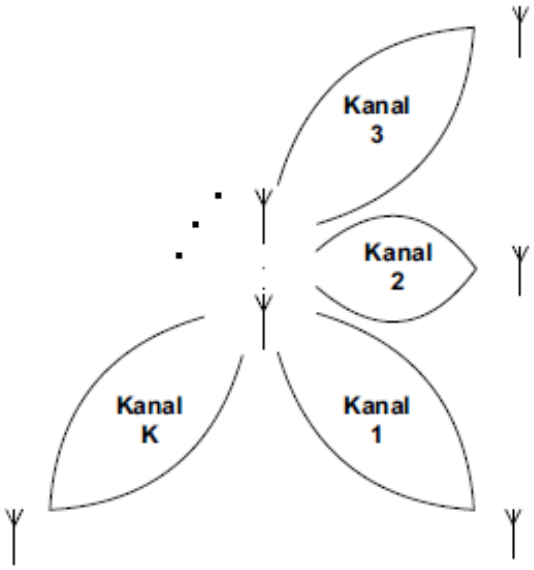
Sinyal kablosuz bir ortamda sönümlemeye maruz kalmaktadır. Sönümleme çok yol bileşenlerinin bozucu ve zayıflatıcı etkisinden kaynaklanabileceği gibi diğer kullanıcıların girişiminden de kaynaklanmaktadır. Kanal sönümlemesi kuvvetli olduğunda sinyal güzü önemli oranda azalmaktadır. Bu durumda, alınan sinyalin güvenli şekilde kestiriminin mümkün olamaması anlamına gelmektedir. Çeşitleme, kablosuz kanallarda sönümleme ile başa çıkmak için kullanılmaktadır. Ana fikir, aynı sinyalin birbirinden bağımsız sönümlemeye maruz kalmış genlik ve faz açısından değişikliğe uğramış kopyalarını alıcıya ulaştırmaktır. Kopyalardan en az birinin kuvvetli sönümlemeye maruz kalmadan alıcıya ulaştırılmasına temel amaçtır. MIMO sistemlerde tam çeşitleme kazancına ulaşmak için hem alıcı hem de verici çeşitlemesinden yararlanmak gerekmektedir. Vericide en büyük oranlı iletim (*Maximum Ratio Transmission, MRT*) ve alıcıda en büyük oranlı birleştirici (*Maximum Ratio Combining, MRC*) kullanılarak maksimum çeşitleme kazancına erişilebilmektedir. Maksimum oranda birleştirme şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Maksimum oranda birleştirme

2.4.3.1.2 Uzaysal çoğullama kazancı

MIMO sistemlerinin sağladığı en önemli kazanç, kanal kapasitesinde doğrusal bir artışa neden olan uzaysal çoğullama kazancıdır. MIMO sistemlerinde aynı bant genişliği ve verici çıkış gücünde birden fazla veri dizisini aynı anda gönderilmesi mümkün olmaktadır. Böylece, sistem kapasitesi sistemdeki minimum anten sayısıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Uzaysal çoklama sisteminde, kanala verilecek semboller farklı frekans taşıyıcılarına çoğullanmakta ve aynı anda kanala iletilmektedir. Bunun üzerine, sinyaller alıcıda ayrı ayrı işlendikten sonra vericideki mesajı oluşturmak için bir arada toplanmaktadır. Bunun sonucunda da sistem kapasitesi aynı anda iletilebilen veri dizisi ile doğru orantılı olarak artmış olmaktadır. Şekil 2.11'de uzaysal çoğullama örneği gösterilmektedir.



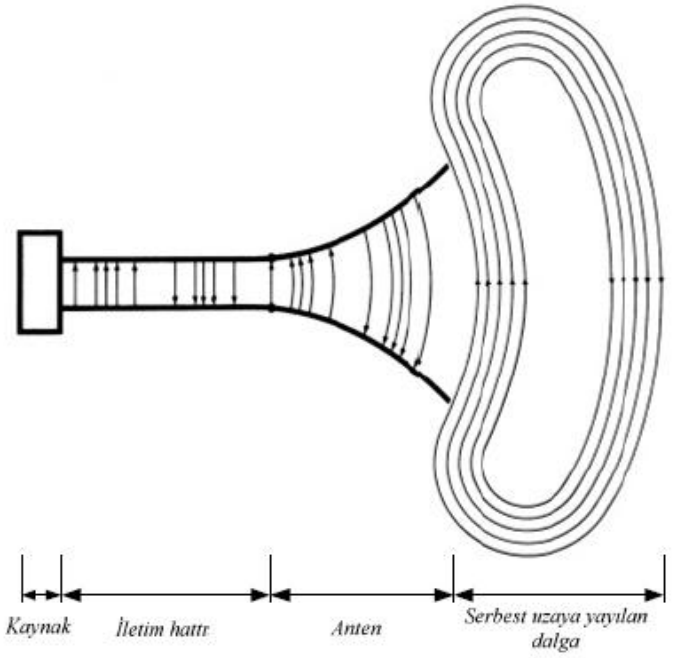
Şekil 2.11 Uzaysal çoğullama örneği

Sonuç olarak OFDM-MIMO teknolojileri LTE sistemleri çatısı altında birleştirilerek kullanıldığında bant genişliğinin daha efektif kullanımına neden olarak ve aynı bant genişliğinde daha fazla bilginin daha hızlı ve daha az kayıpla iletilmesini sağlayarak çok büyük avantajlar getirmektedirler.

3. ANTENLER VE MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN ÖZELLİKLERİ

Antenler kablosuz iletişim istemleri için anahtar bir bileşen niteliğinde olan radyo sinyallerini gönderen ya da alan yapıdır. Elektromanyetik dalgaları alabilen ve gönderebilen bir dönüştürücüdür. Sinyal gönderip almasına ek olarak kablosuz sistem dahilide bulunan antenlerden genellikle bazı yönlere yaydığı sinyali arttırırken diğer yöndekileri bastırması da beklenmektedir. Bu nedenle alıcı-verici olarak kullanılmalarının yanında sektörel aygıt olarak da kullanılmaktadırlar.

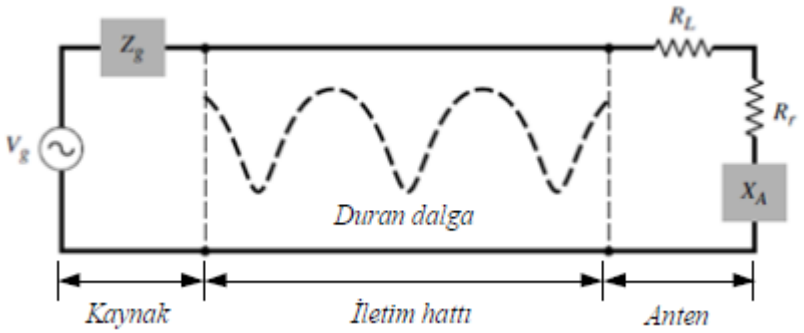
Kaynak, iletim hattı ve antenden oluşan bir sistem şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kaynaktan iletim hattı üzerinden geçerek antene ulaşan sinyal anten aracılığıyla elektromanyetik dalgaya dönüştürülmüş ve serbest uzaya yayılmıştır (Balanis 2005).



Şekil 3.1 Işıma yapan anten sistemi

Şekil 3.1'de verilen sistemin Thevenin eşdeğeri şekil 3.2'de gösterilmiştir. Gösterilen eşdeğer devrede kaynak, ideal bir üreteç ile iletim hattı, karakteristik empedansı *Zc* olan bir hat ile anten ise iletim hattına bağlı ve empedansı Z_A olan bir yük ile gösterilmektedir. Anten empedansının modellenmesinde yük direnci R_L, antene ait iletim ve dielektrik kayıplarını; R_r, ışıma rezistansını ve X_A ise ışıma reaktansını ifade

etmektedir. İdeal şartlar altında kaynak tarafından üretilen enerji tamamen R_r ışıma direncine iletilmesi beklenmektedir. Ancak uygulamada, iletim hattı ve antenin yapısından dolayı iletim ve dielektrik kayıpları meydana gelmektedir. Empedans uyumu sağlandığında, hat ve yansıma kayıpları ihmal edilir ve antene maksimum güç iletimi aktarılır (Balanis 2005).



Şekil 3.2 İletimdeki bir antenin iletim hattının Thevenin eşdeğeri modellemesi

3.1 Temel Anten Parametreleri

Antenin performansını tanımlayabilmek için çeşitli parametrelerin tanımını yapmak gerekir. Bu tanımlardan bazıları birbiri ile ilişkilidir ve antenin tam performansını açıklamak için bütün parametreleri tanımlamaya ihtiyaç yoktur. Mobil haberleşme sistemleri için tasarlanacak olan antenlerde klasik anten parametrelerinin yanında antenin boyutlarını ve maliyetlerini de içeren aşağıdaki parametreler genel olarak dikkate alınmalıdır.

-Yeterince küçük boyut

-Mümkün olan en yüksek seviyede sinyal ışıması yapması

-Polarizasyon

-Üretilebilir olması

-Maliyetinin düşük olması

-Yönlülük

-Bant Genişliği

-Kazanç

-Işıma Örüntüsü

-Duran Dalga Oranı

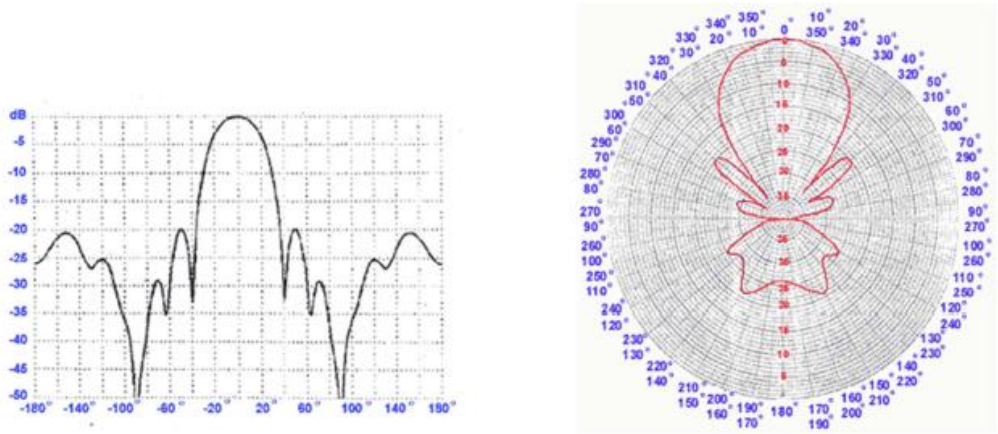
-Giriş Empedansı

-Anten Verimliği

Ancak buradaki sorun bu parametrelerin ayrı ayrı ele alınıp arzu edilen seviyelere çekilmesinin mümkün olmayışıdır. Herhangi bir parametre üzerinde yapılacak bir iyileştirme, diğer parametrenin olumsuz etkilenmesine neden olmakta bu durum da anten karakteristiğinin bozulmasına yol açmaktadır. Kalite faktörü genel anlamı ile anten kayıplarını temsil eder ve ışıma, iletkenlik, dielektrik ve yüzey dalgası kayıplarının bütünü olarak düşünülebilir. Bu nedenle bütün yapı düşünüldüğünde en küçük değişikliğin bile kalite faktörünü etkileyeceğine dikkat edilmelidir (Arıcan 2012).

3.1.1 Işıma örüntüsü

Antenin ışıma örüntüsü ya da anten örüntüsü, antenin ışıma karakteristiklerini, koordinatlarının fonksiyonu olarak gösteren matematiksel fonksiyon ya da grafiktir. Çoğu zaman, ışıma deseni uzak alan bölgesinde ve hesap yapılacak olan yerin koordinatlarının fonksiyonu olarak hesaplanır. Işıma özellikleri antenin, güç akı yoğunluğunu, ışıma yoğunluğunu, alan şiddetini, yönlülüğünü, fazını ya da kutuplaşmasını anlamamıza yardımcı olmaktadır. Şekil 3.3'de lineer ölçek ve kutupsal ölçek olarak anten ışıma desenleri gösterilmektedir. (http://www.astronwireless.com 2002).

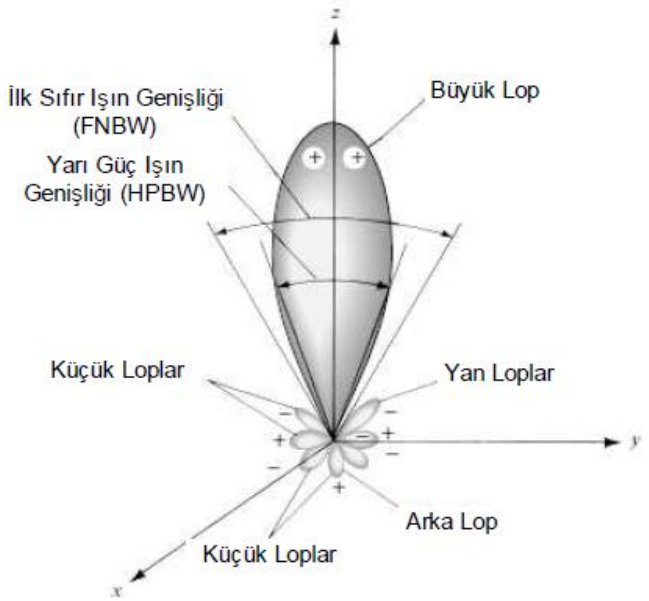


(a) (b)

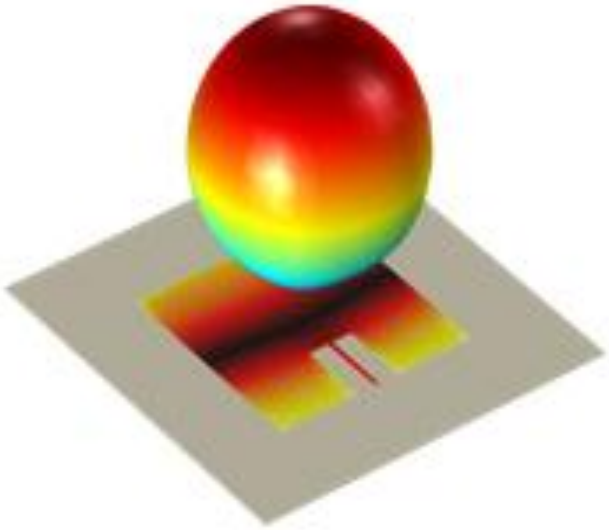
Şekil 3.3 Işıma deseni (dB olarak)

(a) Lineer Ölçek, (b) Kutupsal Ölçek

Işıma desenine bakıldığında bazı girinti ve çıkıntılar görülmektedir. Bu girinti ve çıkıntılar loplar olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.4'de bu lopların isimleri (http://www.allsyllabus.com 2013) ve şekil 3.5'de 3 boyutlu ışıma deseni gösterilmiştir (http://www.comsol.com 2000).



Şekil 3.4 Işıma deseni üzerindeki lopların isimleri



Şekil 3.5 3 boyutlu ışıma deseni

3.1.2 Yönlülük

Verilen bir yöndeki ışıma yoğunluğunun tüm yönler üzerinden hesaplanan ortalama ışıma yoğunluğuna oranıdır ve şu şekilde hesaplanabilir;

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \tag{3.1}$$

P , anlık toplam gücü ve U ışıma yoğunluğunu belirtmektedir.

3.1.3 Anten verimliliği

Antene eşlik eden birkaç tane verimlilikten bahsedilebilir. İlk olarak, antenin toplam verimliliğini e_0 olarak tanımlanır ve antenin girişindeki kayıpları ve anten yapısı içerisindeki kayıpları tanımlanır. Bu kayıplar, iletim hattı ile anten arasında eşleşme olması durumundaki yansımalardan oluşan kayıplar ve iletim ve dielektrik kayıpları olarak açıklanabilir. Bu durumda, toplam verimlilik;

$$e_0 = e_r e_c e_d \tag{3.2}$$

olarak hesaplanır. Burada

e_r: Eşleşme olmaması durumunda yansıma verimliliği

e_c : İletim verimliliği

e_d: Dielektrik verimliliğini göstermektedir.

3.1.4 Anten kazancı

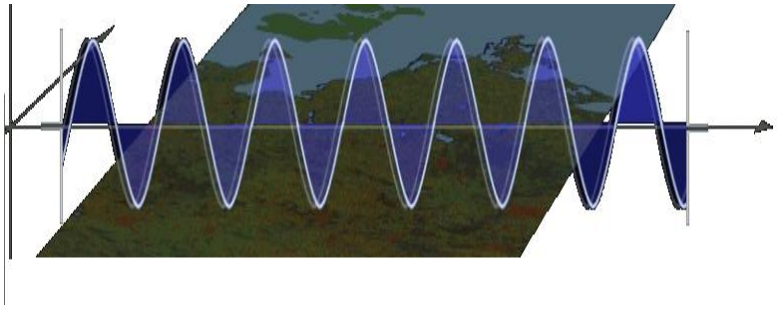
Antenin performans parametrelerini tanımlamada kullanılan en önemli ölçülerden bir tanesi de kazançtır. Antenin kazancı yönlülüğü ile yakından ilişkili olmasına rağmen kazanç hesaplanırken antenin yön kabiliyetlerine ilave olarak verimliliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Çeşitli kazanç tanımları yapılabilir ama bu kazanç tanımlarından bir tanesi eşitlik 3.3'de verilmiştir.

$$Kazanç = 4\pi \frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \tag{3.3}$$

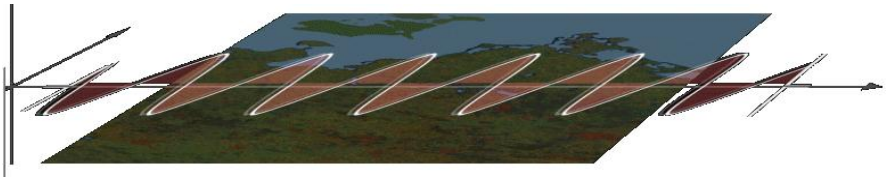
Burada U, ışıma yoğunluğunu ve P_{in} toplam giriş gücünü göstermektedir.

3.1.5 Polarizasyon

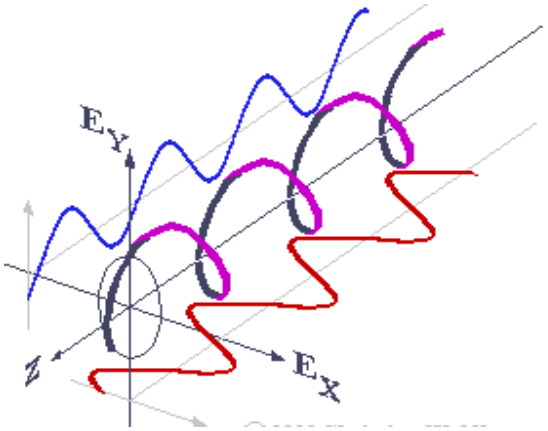
Bir elektromanyetik alanın bileşenlerinin yönü ve antenin yerleştiriliş biçimi yayının polarizasyonunu belirler. Eğer elektrik alan yer yüzeyine dik ise düşey polarizasyon, yatay ise de yatay polarizasyon olarak isimlendirilir. Aynı zamanda birbirlerine 90 derece farklı yerleştirilmiş doğrusal polarize edilmiş iki adet antenin 90 derece faz farkıyla beslenmesi sonucu da dairesel polarizasyon ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.6'da bu bahsedilen polarizasyon şekilleri gösterilmiştir (http://www.radartutorial.eu 2006).



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6 Polarizasyon çeşitleri

(a) Düşey polarizasyon, (b) Yatay polarizasyon, (c) Dairesel Polarizasyon

Optimal sinyal iletimi için kullanılan antenlerin aynı şeklide polarize edilmiş olması gerekmektedir. Yanlış polarizeli bir antenin kullanılması halinde 20-30 dB arasında değişen ciddi kayıplara yol açabilir. Bu durumda polarizasyon değişiklikleri yapılarak hem atmosferik hem de elektronik gürültülerin bastırılabilmesi mümkün olmaktadır. Atmosfer koşulları çok kötü olduğunda pratikte çoğu zaman dairesel polarizasyon uygulanmaktadır.

3.1.6 Bant genişliği

Belirlenen standartlara uygun olarak antenin iyi performansta çalıştığı frekans aralığıdır. Antenin karakteristik özelliklerinin (giriş empedansı, deseni, kazancı, polarizasyonu gibi) değişken olması nedeni ile bant genişliğinin net bir tanımı bulunmamaktadır. Uygulamaya bağlı olarak bant aralığı değişebilir.

Antenin kazancının, giriş empedansının, ışımasının, polarizasyon gibi değerlerinin belirlendiği merkez frekansın her iki tarafındaki frekans aralıkları bant genişliğini verir. Bant genişliği kabul edilebilir en yüksek frekanstan, kabul edilebilir en düşük frekans çıkarılarak hesaplanır. Burada kabul edilebilirlik şartı ise geri dönüş kaybının -9.54 dB ve daha düşük olduğu durumlardır. Bu değer uygulamalarda yaklaşık -10 dB olarak da kabul edilmektedir.

$$BW = f_{max} - f_{min} \tag{3.4}$$

Bant genişliği bir anlamda haberleşme kanalının kapasitesi anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle bir kanal üzerinde taşınabilecek en fazla frekansa sahip sinyal, kanalın bant genişliğini ifade eder. Bant genişliği ne kadar büyükse, belli bir süre içinde iletilebilecek verinin hacmi de o kadar büyük olur. Bant genişliği problemi, haberleşme sistemlerinde kullanıcı yoğunluğu arttıkça en büyük problemi haline gelmiştir. Bant genişliğini verimli kullanabilmek için belli trafik türlerine öncelik veren standartlar tasarlanmıştır. Hızın giderek önemin arttığı teknoloji dünyasında geniş bantlı antenler üretmek büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir (Kütük 2012).

Geniş bant kavramı ise uluslar arası standartlardan, ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı (*Defense Advanced Research Project Agency, DARPA*)' ya göre %25, Federal İletişim Kurumu (*Federal Communication Commission ,FCC*)' ye göre %20 kabul edilmiştir (Çakır 2004).

3.1.7 Geri dönüş kaybı (*return loss, RL*) ve gerilim duran dalga oranı (*voltage stand wave ratio, VSWR*)

Antenin, işaret kaynaklarının giriş ve çıkışını hesaplamak için en iyi yöntemdir. Şu şekilde açıklamak gerekirse; eğer yük, devreye eşleşemez ise bütün güç yüke aktarılmaktadır. Bu yüzden de güç geri döner ve bir kayıp meydana gelir. Bunun adına geri dönüş kaybı denmektedir. Denklem 3.4'te geri dönüş kaybı tanımlanmıştır.

$$RL = -20\log|\Gamma| \, dB \tag{3.5}$$

$$|\Gamma| = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{3.6}$$

V_0^+: Gelen gerilim

V_0^-: Yansıyan gerilim

Z_L: Yük empedansı

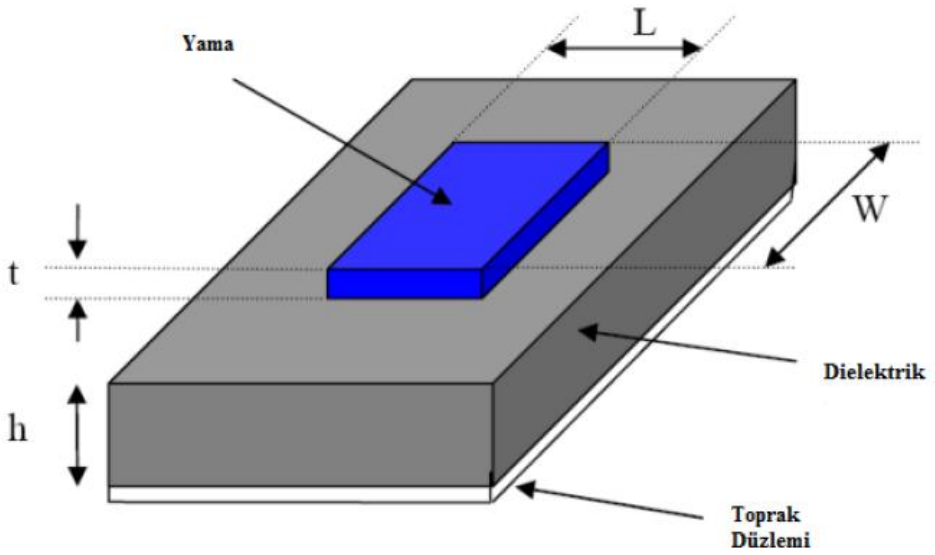
Z_0: Karakteristik empedansı ifade etmektedir.

Mükemmel eşleme durumunda yansıma katsayısı 0 olur, böylece geri dönüş kaybı sonsuz değerini alır. Bunun anlamı ise gücün tamamının yüke aktarıldığı ve yansıma meydana gelmemesidir.

Antenlerde verici ile anten empedansı arasında uygunluk olmadığında, yansıyan dalgalar, sistemde duran dalgaların oluşmasına neden olur. Dolayısıyla VSWR, aynen geri dönüş kaybı gibi verici ile anten arasındaki empedans uyuşmasını gösteren bir parametredir. Verici ve anten arasındaki tam manasıyla uyumdan bahsedebilmek için, yansıma katsayısının sıfır ve geri dönüş kaybının sonsuz olması gerekir ki, gücün tamamen geçtiği anlamına gelir. Pratikte ise bu durum mümkün olmamaktadır. Genel olarak kabul edilebilir VSWR değeri 2'dir. Bu da -9.54 dB'lik geri dönüş kaybına karşılık gelmektedir (Kütük 2012).

3.2 Mikroşerit Yama Antenlerin Genel Yapısı ve Özellikleri

Mikroşerit yama anten, en basit haliyle iki paralel iletkenin ince bir dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Üst yüzeyde ışıma amaçlı, alt yüzeyinde topraklama amaçlı paralel iletken materyaller kullanılmaktadır. Bakır veya altın gibi iletkenlik özelliği taşıyan materyallerin, çeşitli şekilleri temel alınarak farklı özelliklerde ışıyan antenler elde edilebilir. Yama ve toprak düzlemi, genellikle, düzgün geometrilere sahiptirler. Şekil 3.7'de mikroşerit yama antenin fiziksel yapısı gösterilmiştir (Çetme 2009).

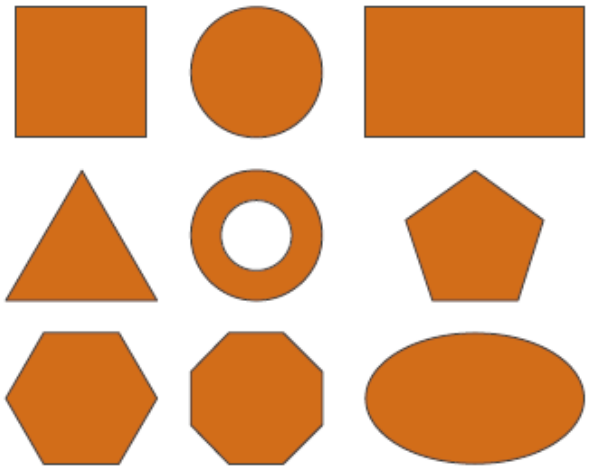


Şekil 3.7 Mikroşerit yama anten yapısı

Işımayı sağlayan yama geometrisi genellikle düzlemsel olmakla birlikte bazı tasarımlarda düzlemsel olmayan geometriler de görülmektedir. Çok sayıda yama anten için ışıma karakteristikleri hesaplanmıştır.

3.2.1 Şekil ve boyut özellikleri

Mikroşerit yama antenlerin fiziksel boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılı olarak değişmektedirler ve tipik olarak kazançları 5-6 dB seviyesindedir. Literatürde yer alan bazı mikroşerit yama anten geometrileri şekil 3.8'de gösterilmiştir (Biçer 2011).



Şekil 3.8 Farklı mikroşerit yama anten geometrileri

Herhangi bir dikdörtgen yama kullanılan basit bir mikroşerit anten yapısı incelendiğinde λ_0 serbest uzay dalga boyunu göstermek üzere boyutlara ilişkin aşağıdaki eşitsizlikler genellikle sağlanmaktadır.

t, yama kalınlığı :

$$t << \lambda_0 \tag{3.7}$$

h, iletkenler arasındaki mesafe:

$$0.003\lambda_0 < h < 0.05\lambda_0 \tag{3.8}$$

ε_r, dielektrik sabiti:

$$2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12 \tag{3.9}$$

L,dikdörtgen yamanın uzunluğu:

$$\frac{\lambda_0}{3} < L < \frac{\lambda_0}{2} \tag{3.10}$$

Bunun yanında rezonans uzunluğu antenin rezonans frekansını da belirler ve dikdörtgen bir yama için yaklaşık $\lambda/2$ kadardır. Aslında antenin elektriksel boyutu kenarlardan saçılan alan nedeniyle fiziksel boyutundan büyüktür ve aradaki fark, kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığına ve dielektrik sabitine bağlıdır. Bu durum da göz önüne alındığında λ_d dielektrik tabaka içerisindeki dalga boyunu göstermek üzere rezonans uzunluk ifadesi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49\frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{3.11}$$

Bunun yanında rezonans frekansını etkileyebilecek diğer parametreler aşağıdaki gibidir:

–Toprak yüzeyin boyutu

-İletken yamanın kalınlığı

-İletken yamanın genişliği

Mikroşerit yama antenler, küçük profilli yapıları ile kablosuz uygulamalarda çok tercih edilen bir devre elemanıdır. Entegre sistemlere uyumlu olmaları sayesinde, cep telefonları, laptoplar gibi kablosuz cihazlarda, füzelerde, uzay mekiklerinde, uçaklarda telemetri ve haberleşme antenleri olarak kullanımları tercih edilmektedir. Bununla birlikte uydu haberleşmesi diğer yaygın kullanım alanlarındandır.

Başlıca avantajları;

- Küçük profilli ve basit yapıdadırlar,

- Düzlemsel yüzeyler yanında düzlemsel olmayan yüzeylerle de uyumludurlar,

- Modern baskı devre teknolojisi kullanılarak üretilebilmeleri sayesinde üretim maliyetleri oldukça düşüktür,

-Mekanik olarak sağlamlıklarından dolayı esnek olmayan yüzeylere de monte edilebilirler,

- Tek parça halinde üretilen mikrodalga entegre devrelere kolayca entegre edilebilirler,

- İstenilen rezonans frekansı, polarizasyon çeşidi, ısıma ve empedans özellikleri gibi temel anten parametreleri rahatlıkla oluşturulabilir.

Diğer anten yapıları ile kıyaslandığına başlıca dezavantajları;

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

Mikroşerit antenlerin dar bant ve düşük verim sorunlarında boyutlarında bazı oynamalar yapılarak iyileştirme sağlanabilir. Örneğin seçilen dielektrik yapının kalınlığı artırılarak verimlilik %90 (yüzey dalgalarını oluşmaması durumunda), bant genişliği ise %35 oranlarında artırılabilmektedir. Ancak bu yükseklik artışı aynı zamanda yüzey dalgalarının oluşmasına neden olarak köşelerden ve süreksizlik noktalarında ışıma gerçekleşmesine ve bunun sonucu olarak da doğal güç kaybına, beklenilen ışıma ve polarizasyon karakteristiklerinin bozulmasına sebep olur. Bu nedenle aynı zamanda verimlilik artışı sağlayacak farklı yöntemler de göz önünde bulundurulmalıdır ve performans optimizasyonu sağlanmalıdır. Düşük kazanç ve düşük güç işleme kapasitesi gibi sorunlar ise dizi konfigürasyonların tasarımıyla çözülebilir (Çetme 2009)

3.2.2 Besleme yöntemleri

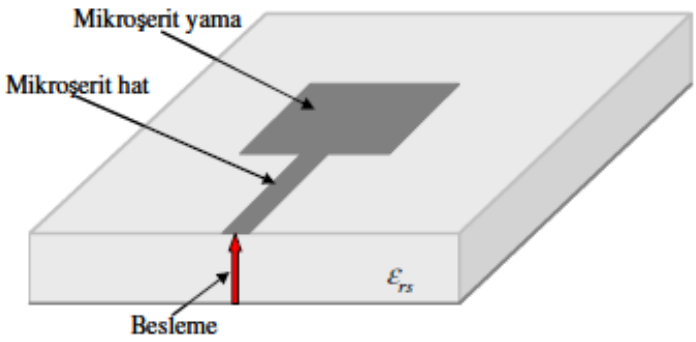
Mikroşerit yapılarda kullanılan besleme yöntemleri antenin giriş empedansı ve polarizasyonu açısından büyük önem taşır. Besleme yöntemleri en basit ayrımla bağlantılı ve bağlantısız olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlantılı olanda besleme şekillerinde güç doğrudan ışıma yapacak olan yamaya iletilir. Diğer durumda ise güç,

bağlantılı olmayan mikroşerit hat ve yama arasında oluşan elektromanyetik alan aracılığıyla iletilmektedir (Gökçe 2009).

Mikroşerit yama antenlerin beslenmesinde birçok teknik kullanılabilir. Bunların en yaygınları, bağlantılı yöntemlerden mikroşerit ve koaksiyel besleme, bağlantısız yöntemlerden açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlı besleme teknikleridir. Bu tez çalışmasında koaksiyel besleme üzerinde çalışılmıştır.

3.2.2.1 Mikroşerit besleme

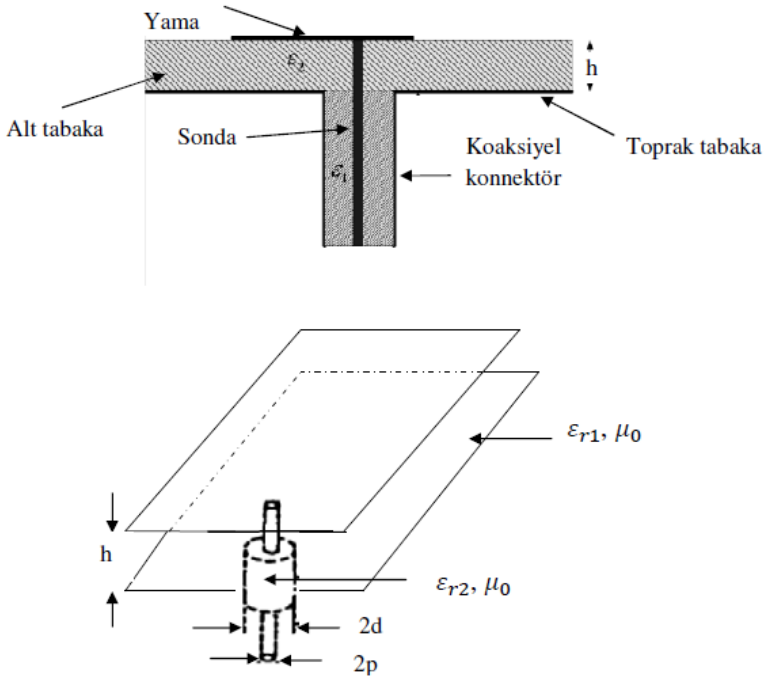
Bu besleme yönteminde güç iletimi, yamanın genişliğine kıyasla oldukça küçük bir genişliğe sahip mikroşerit hattın yamanın bir kenarına bağlanmasıyla yapılır. Besleme için kullanılan mikroşerit hat, hattın yama ile aynı tabaka üzerine yerleştirilebilmesi nedeniyle üretim kolaylığı, hattın pozisyonunun rahatlıkla değiştirilebilmesi sayesinde de empedans uygunlaştırma kolaylığı sağlar. Fakat bu avantajlarına karşın kalın dielektrik tabaka kullanıldığı durumlarda yüzey dalgaları nedeniyle istenmeyen ışımalara neden olur. Bu nedenle bant genişliği %2-5 aralığında sınırlı kalmaktadır (Balanis 2005). Şekil 3.9'da mikroşerit beslemeli yama anten gösterilmiştir (Başaran 2008).



Şekil 3.9 Mikroşerit beslemeli yama anten

3.2.2.2 Koaksiyel besleme

Gücün bir sonda aracılığıyla antenin ışıma tabakasına ulaştırılması, mikrodalga gücün iletiminde temel yöntemlerden biridir. Sonda, koaksiyel bir kablo içerisinden geçerek direkt yamaya bağlanabilir veya temel toprak tabaka üzerinden bir boşluk boyunca da gücü ışıma tabakasına aktarabilir. Koaksiyel konnektor kullanılarak beslenen tipik bir mikroşerit anten geometrisi, şekil 3.10'da gösterilmiştir (Kütük 2012).



Şekil 3.10 Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten

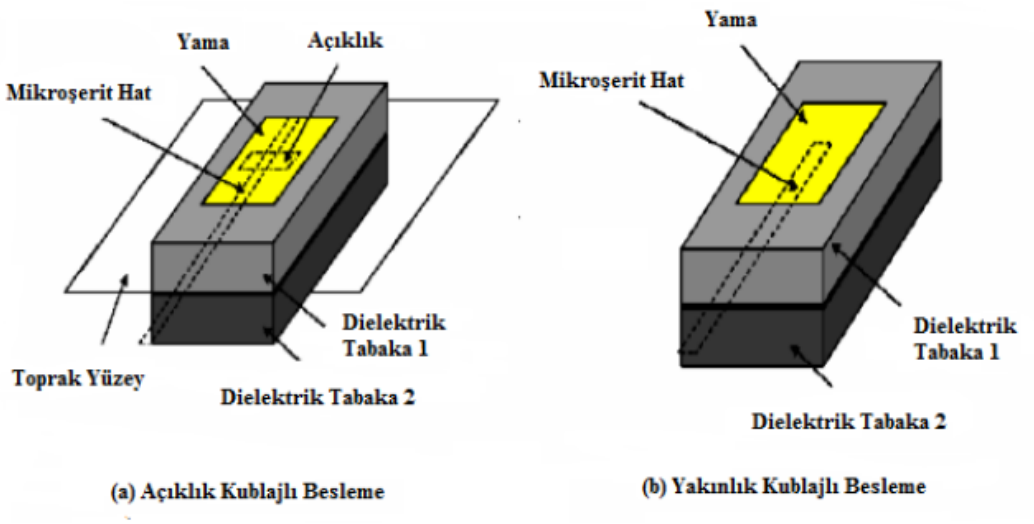
Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, yalıtkan bir koaksiyel konnektor (kablo) yardımıyla, kaynak alt tabakaya bağlanır ve konnektör içerisinden geçen sonda adı verilen iletken malzeme ile, kaynak üst tabakadaki ışıma yapan iletken tabakaya ulaştırılır. Koaksiyel konnektor, şekilde görüldüğü gibi, yamanın bulunduğu yüzeyin arkasına eklenir. Sonda ise koaksiyel kablo içerisinden geçerek yamaya lehimlenir.

Mikroşerit ve koaksiyel besleme yöntemlerinin her ikisi de yapıda asimetriye neden olarak çapraz polarizasyonlu ışımaya neden olan yüksek dereceden modların

oluşmasına sebep olurlar. Bu nedenle bazı durumlarda bu sorunu tolare etmek için bağlantısız besleme teknikleri kullanılabilmektedir (Balanis 2005).

3.2.2.3 Açıklık kuplajlı besleme

Bu yapı toprak yüzeyin mikroşerit hat ve yama arasına yerleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Mikroşerit hat alttaki dielektrik tabakanın üstüne yerleştirilmiştir ve enerji toprak yüzeyde oluşturulan yarıklar sayesinde yamaya aktarılabilmektedir. Alttaki dielektrik tabaka genellikle yüksek, üstteki de düşük dielektrik sabitli malzemelerden tercih edilir. Bu yapıda toprak yüzey besleme hattını ışıma yapan yamadan yalıtarak polarizasyon saflığını arttırırken, istenmeyen ışımaların etkisini de azaltır. Yapının modellenmesi kolay olurken, üretimi bağlantılı besleme tekniklerine kıyasla zor olmaktadır. Ayrıca dar bantlı davranış gösterir ve empedans uyumu genel olarak hat genişliğinin ve yarık uzunluklarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu yapı şekil 3.11.a'da gösterilmiştir (Gökçe 2009).



Şekil 3.11 Bağlantısız besleme yöntemleri

3.2.2.4 Yakınlık kuplajlı besleme

Bu yapının açıklık kuplajlı beslemeden farkı şekil 3.11.b'de gösterildiği gibi besleme hattının toprak yüzeyin üstünde kalmasıdır. Bu değimim yapıya kattığı avantaj daha geniş bantlı olmasını sağlamasıdır (Gökçe 2009). Bu besleme yöntemi kullanılarak %13 bant genişliği yakalamak mümkündür.

4. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİNDE KULLANILAN BENZETİM PROGRAMLARI

4.1 Ansoft Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (*High Frequency Structural Simulator, HFSS)*

HFSS yazılımı, 3 boyutlu tam dalga elektromanyetik alan simülasyonu için endüstriyel standartlarda kullanılan ve elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen bir yazılımsal bir simülatördür. HFSS, yüksek hız ve yüksek frekanslı tasarımlar için kullanılabilecek en iyi çözümü üreten programlardan biridir. Çip üstünde gömülü pasif devre tasarımı, baskı devre bağlantıları, antenler gibi yüksek frekans bileşenleri, mikrodalga bileşenleri, entegre devre paketleri ve biyomedikal cihaz tasarımı gibi çok kapsamlı alanlarda kullanılmaktadır. Tasarımcının güvenebileceği net ve doğru sonuçlar vermektedir. HFSS ile saçılmış matris bileşenlerini ayrılabilir, uzak-yakın elektromanyetik alanlar görsel hale getirebilir ve devre simülasyonlarıyla bağlantılı tam dalga modelleri tasarlanabilir.

HFSS, tasarımda verimliliği artırır ve tasarım zamanından tasarruf sağlar. Ayrıca iyi tasarım başarısı sağlamayı garanti eden ve her yeni sürümü ile tasarımcılara önemli ölçüde verimlilik kazandırmayı amaçlayan bir simülatördür (Kütük 2012). HFSS, hesaplamaları sırasında sinyal kalitesi, iletim yol kayıpları, empedans uyumsuzluğu nedeniyle oluşan yansıma kayıpları ve ışıma durumlarını etkin bir şekilde değerlendirir.

HFSS, basit bir monopol antenden, kompleks dizilerin dizaynına kadar geniş bir yelpazede optimizasyon çalışması ve performans görüntülemesinde tercih edilen bir yazılımdır. Antenlerin ışıma desenleri, demet genişliği, uzak-yakın alan istatistikleri, *S* parametreleri, VSWR, Smith abağı gösterimleri gibi birçok elektriksel özellikleri bu simülatör sayesinde görüntülenebilir ve optimize edilebilir.

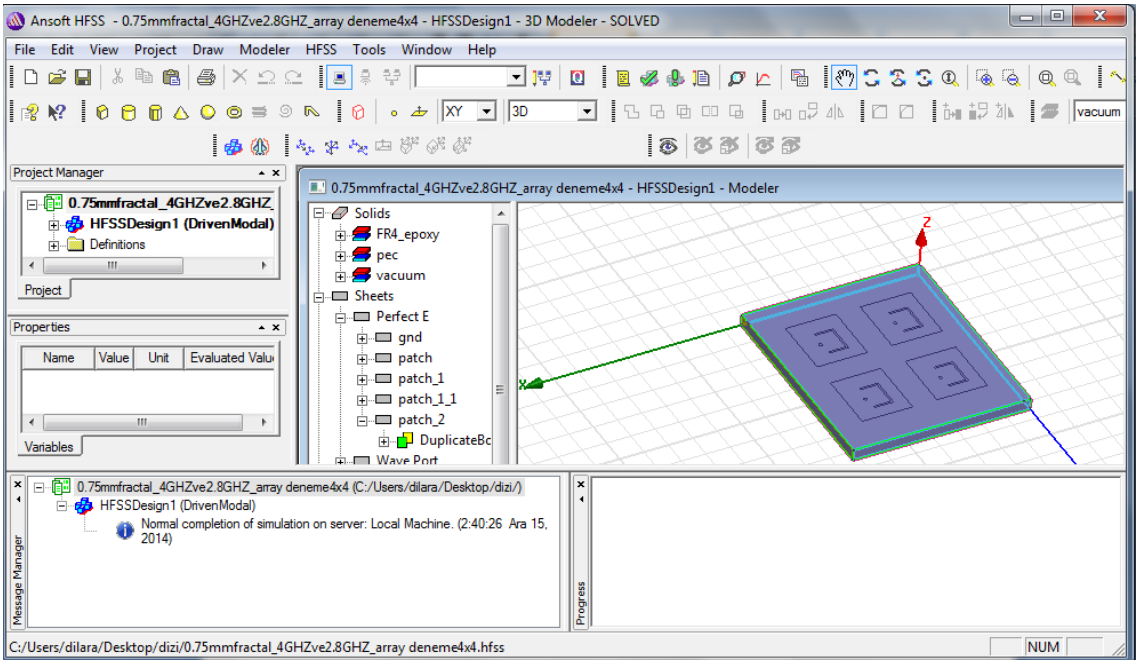
HFSS'in genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;
Çözüm verileri:
-*S* parametreleri
-Uzak alan hesaplaması (2 ve 3-boyutlu, kazanç, açısal hüzme genişliği)

-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 abağı
-Port yüzey giriş empedansı
-Farksal *S* parametresi
-Her yüzey için 3-boyutlu statik ve dinamik alan çizimleri (akım, elektrik ve manyetik alan, ışıma deseni, vektör gösterimi, büyüklük gösterimi)

Optimizasyon ve parametrik çözümler:
-Geometri ve malzeme parametrizasyonu (parametrik tarama sonuçlar için N boyutlu veri çizimleri)
-Optimizasyon, hassasiyet ve istatistiksel analiz (Çetme 2009).

Şekil 4.1'de Ansoft HFSS kullanıcı ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Ansoft HFSS kullanıcı ara yüzü

Ansoft HFSS elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ederek çözüm üretmektedir. Ansoft HFSS elektromanyetik problemlerin yaklaşık olarak çözülmesindeki en güçlü sayısal yöntemlerden birisi olan sonlu elemanlar yöntemi (*Finite Element Method, FEM*) ile analiz gerçekleştirmektedir.

Bu yöntemin genel olarak avantajları şu şekildedir;

-Karmaşık elektromanyetik yüzeylerde klasik yöntemlere göre daha hızlı ve daha güvenilir sonuç vermektedir.

-Sınır şartlarının kolay belirlenmesi sayesinde tasarımlarda optimum sonuçlara ulaşılarak malzeme seçimi yapılması işlemini kolaylaştırmaktadır.

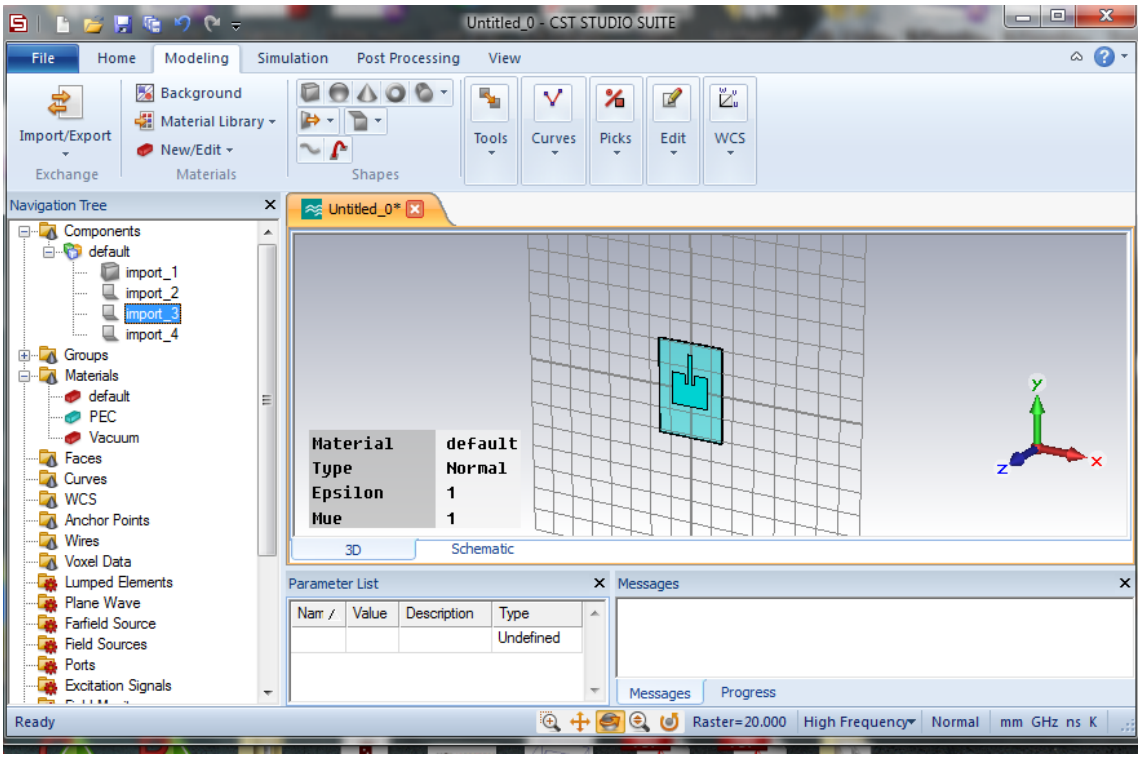
-Tasarım ve analiz sürecini kısaltarak zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Anacak güvenilirlik seviyesi yüksek olsa da yaklaşık sonuçlar vermesi FEM için dezavantajlar arasında sayılabilmektedir.

4.2 Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi (*Computer Simulation Technology, CST*)

CST farklı kullanım alanları için birçok alt modülden oluşmuş bir benzetim programıdır. Anten tasarımı aşamasında CST Mikrodalga Modülü (*CST Microwave Studio, CST MWS*) kullanılmıştır.

CST MWS yüksek frekanslı yapıların 3 boyutlu elektromanyetik benzetiminde en çok kullanılan programlardan biridir. Anten, filtre, kuplör, düzlemsel veya çok katmanlı yapılar, radar uygulamaları, biyomedikal tasarımlar gibi birçok alanda efektif çözümler üretmektedir. CST MWS kullanıcı ara yüzü şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 CST MWS kullanıcı ara yüzü

CST MWS analiz yöntemi olarak hızlı ve efektif analizler yapmak için en uygun yaklaşımlardan biri olan Sonlu Entegrasyon Yöntemi'ni kullanmaktadır.

5. DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN TASARIMI

LTE standartı oldukça fazla frekans bandını kapsamaktadır. Kuzey Amerika'da 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100, 2500, 2600 MHz; Güney Amerika'da 2500 MHz; Avrupa' da 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz, Asya' da 1800, 2600 MHz, Avustralya ve Yeni Zellenda'da 1800, 2300 MHz frekans bantları kullanılmaktadır. Sonuç olarak da herhangi bir ülkenin operatörüne ait bir telefon diğer birçok ülkede kullanılamamaktadır. Kullanıcılar uluslar arası dolaşım için birden fazla frekans bandında hizmet verebilecek telefonlara ihtiyaç duymaktadır (http://en.wikipedia.org 2001). Bu bahsedilenlerin haricinde LTE standardının Frekans Bölmeli Çoklama (*Frequency Division Duplexing, FDD*) ve Zaman Bölmeli Çoklama *(Time Division Duplexing, TDD*) çoklama yöntemlerine göre hizmet verdiği frekans bantları çizelge 5.1 ve 5.2'de verilmiştir (http://www.radio-electronics.com 1999).

Çizelge 5.1 FDD LTE frekans bantları (MHz)

FDD LTE FREKANS BANTLARI			
Frekans bandı	**Gönderme (UL)**	**İndirme (DL)**	**Bant Genişliği**
1	1920 - 1980	2110 - 2170	60
2	1850 - 1910	1930 - 1990	60
3	1710 - 1785	1805 -1880	75
4	1710 - 1755	2110 - 2155	45
5	824 - 849	869 - 894	25
6	830 - 840	875 - 885	10
7	2500 - 2570	2620 - 2690	70
8	880 - 915	925 - 960	35
9	1749.9 - 1784,9	1844.9 - 1879,9	35
10	1710 - 1770	2110 - 2170	60
11	1427.9 - 1452,9	1475.9 - 1500,9	20
12	698 - 716	728 - 746	18
13	777 - 787	746 - 756	10
14	788 - 798	758 - 768	10
15	1900 - 1920	2600 - 2620	20
16	2010 - 2025	2585 - 2600	15
17	704 - 716	734 - 746	12
18	815 - 830	860 - 875	15
19	830 - 845	875 - 890	15
20	832 - 862	791 - 821	30
21	1447.9 - 1462,9	1495.5 - 1510,9	15
22	3410 - 3500	3510 - 3600	90
23	2000 - 2020	2180 - 2200	20
24	1625.5 - 1660,5	1525 - 1559	34
25	1850 - 1915	1930 - 1995	65
26	814 - 849	859 - 894	30 / 40
27	807 - 824	852 - 869	17
28	703 - 748	758 - 803	45
29	-	717 - 728	11
30	2305 - 2315	2350 - 2360	10
31	452.5 - 457,5	462.5 - 467,5	5

Çizelge 5.2 TDD LTE frekans bantları (MHz)

TDD LTE FREKANS BANTLARI		
Frekans bandı	**Tahsis Edilen Frekans Aralığı**	**Bant Genişliği**
33	1900 - 1920	20
34	2010 - 2025	15
35	1850 - 1910	60
36	1930 - 1990	60
37	1910 - 1930	20
38	2570 - 2620	50
39	1880 - 1920	40
40	2300 - 2400	100
41	2496 - 2690	194
42	3400 - 3600	200
43	3600 - 3800	200
44	703 - 803	100

Görüldüğü gibi böylesine geniş spektrumlu bir teknoloji için anten tasarımı yapılırken antenin tek frekanstan ziyade 2 hatta daha fazla frekans aralığında verimli çalışabilmesi oldukça önemli bir faktördür. Tasarım aşamasında bu problem ve çözümü üzerinde de durulmuştur.

5.1 Yama Anten Tasarımı Temel Parametreleri

Yama anten dizaynında belirlenmesi gereken temel parametreler çalışma frekansı, dielektrik sabiti ve dielektrik profilin yüksekliğidir.

5.1.1 Çalışma frekansı

Antenin kullanılacağı standardın yer aldığı frekans bandının merkezi, antenin çalışma frekansını belirleyecektir. Bir başka deyişle, çalışma frekansı antenin rezonansa gelmesi istenilen frekans olacaktır. Antenin merkez frekansı baz alınarak antenin, entegre edileceği sistemin gereksinim duyduğu frekans bandını kapsayacak bant genişliğini sağlaması ve yeterince verimle ışıma yapması hedeflenir.

5.1.2 Dielektrik sabiti

Seçilecek dielektrik malzemenin dielektrik sabiti sistem performansında çok etkilidir. Mikroşerit anten tasarımında tercih edilen dielektrik malzemelerin dielektrik sabitleri genellikle $2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ aralığındadır. Burada ε_r relatif dielektrik sabitini göstermektedir. Antenin (yamanın) boyutları dielektrik sabitine göre belirlenmektedir. Yüksek dielektrik sabiti seçimi, antenin boyutlarını küçültür. Benzer şekilde yamanın kenarlarında oluşan saçaklanma etkisinin artmasına sebep olarak, anten performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Fakat boyutları arttırma pahasına, düşük dielektrik sabitine sahip dielektrik malzemeler ile yapılan tasarımlarda daha yüksek verim ve bant genişliği elde edilmektedir (Çetme 2009).

5.1.3 Dielektrik malzemenin yüksekliği

Dielektrik malzeme topraklama yüzeyi ile yama arasındaki dielektrik tabakadır. Yüksekliği genellikle $h \leq \lambda_0$olmak üzere $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ aralığında seçilir. Burada h dielektrik malzemenin yüksekliğini λ_0 ise boş uzay dalga uzunluğunu ifade etmektedir. Dielektrik malzeme yüksekliğinin arttırılması (yüzey dalgalarının olmadığı durumlarda) verimliliği %90'lara, bant genişliğini ise %35'lere kadar çıkarabilmektedir. Ancak yükseklik arttıkça yüzey dalgaları oluşumu istenmeyen bir durumdur. Işıma için mevcut güç, yüzey dalgalarında harcanarak, dielektrik malzemenin köşeleri gibi devamsızlık içeren noktalarda saçılmalar oluşturmaktadır. Bu durumda anten ışıma deseni ve polarizasyon karakteristiklerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Çeşitli yöntemlerle yüzey dalgaları giderilerek, yüksek bant genişliği değerleri korunur (Balanis 2005).

Özet olarak anten tasarımında en iyi sonucu almak için en önemli parametrelerden çalışma frekansını belirledikten sonra dielektrik malzemenin yüksekliği ile dielektrik sabiti arasındaki optimizasyonu doğru yapabilmektir.

Bu çalışmada gerçekleştirilecek tasarımlarda odak noktası dikdörtgen yama anten ve yarıklı modifikasyonları olacaktır. Bu doğrultuda öncelikle konvansiyonel dikdörtgen yama anten tasarımı yapılacak, anteni besleme yöntemi koaksiyel besleme olarak tasarlanacaktır. Daha sonra yama üzerinde yarıklı yapılar oluşturularak, anten modifiye edilecek ve ve farklı yarık boyutları, dielektrik malzemesi ve dielektrik malzemenin yükseklik değerlerine göre elde edilen yapıların sonuçları hem HFSS hem de CST programları aracılığıyla irdelenecektir. İki farklı simülasyon programı üzerinden çalışılmasının sebebi HFSS ve CST' nin farklı analiz metotlarıyla çözümleme yapması nedeniyle bu farklılığın sonuçları ne derecede etkileyeceğinin gözlemlenebilmesidir. Antenlerin, mobil haberleşme cihazlarında kullanılabilecek özellikleri taşıması da göz önünde bulundurulacaktır. Bu nedenle elektriksel özelliklerinin yanında; boyut, düzlemsellik, montaj kolaylığı, dayanıklılık gibi kriterler, tasarımda kısıtlayıcı parametreler olarak düşünülmelidir.

6. KOAKSİYEL BESLEMELİ DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN DİZAYNI

Tasarım aşamasında öncelikli olarak ;

Alt tabaka malzemesi = FR-4

Malzemeye özgü dielektrik sabiti ε_r= 4.4

Dielektrik malzeme kalınlığı= 4.75mm

Dielektrik kayıp tanjantı tanδ =0.019≅0.02

Dielektrik malzeme genişliği= 40mm

Dielektrik malzeme uzunluğu = 50mm

olarak belirlenerek dikdörtgen yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antende kullanılan yama boyutlarının belirlenmesinde öncelikle aşağıdaki formülasyonlardan yararlanılmıştır.

$$W = \frac{c}{2f_0}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r+1}} \tag{6.1}$$

Eğer $\frac{W}{h} \geq 1$ ise ε_{ref}(efektif dielektrik sabiti), Eşitlik 6.2'den bulunur.

$$\varepsilon_{ref} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2}\frac{1}{\sqrt{1+\frac{12h}{W}}} \tag{6.2}$$

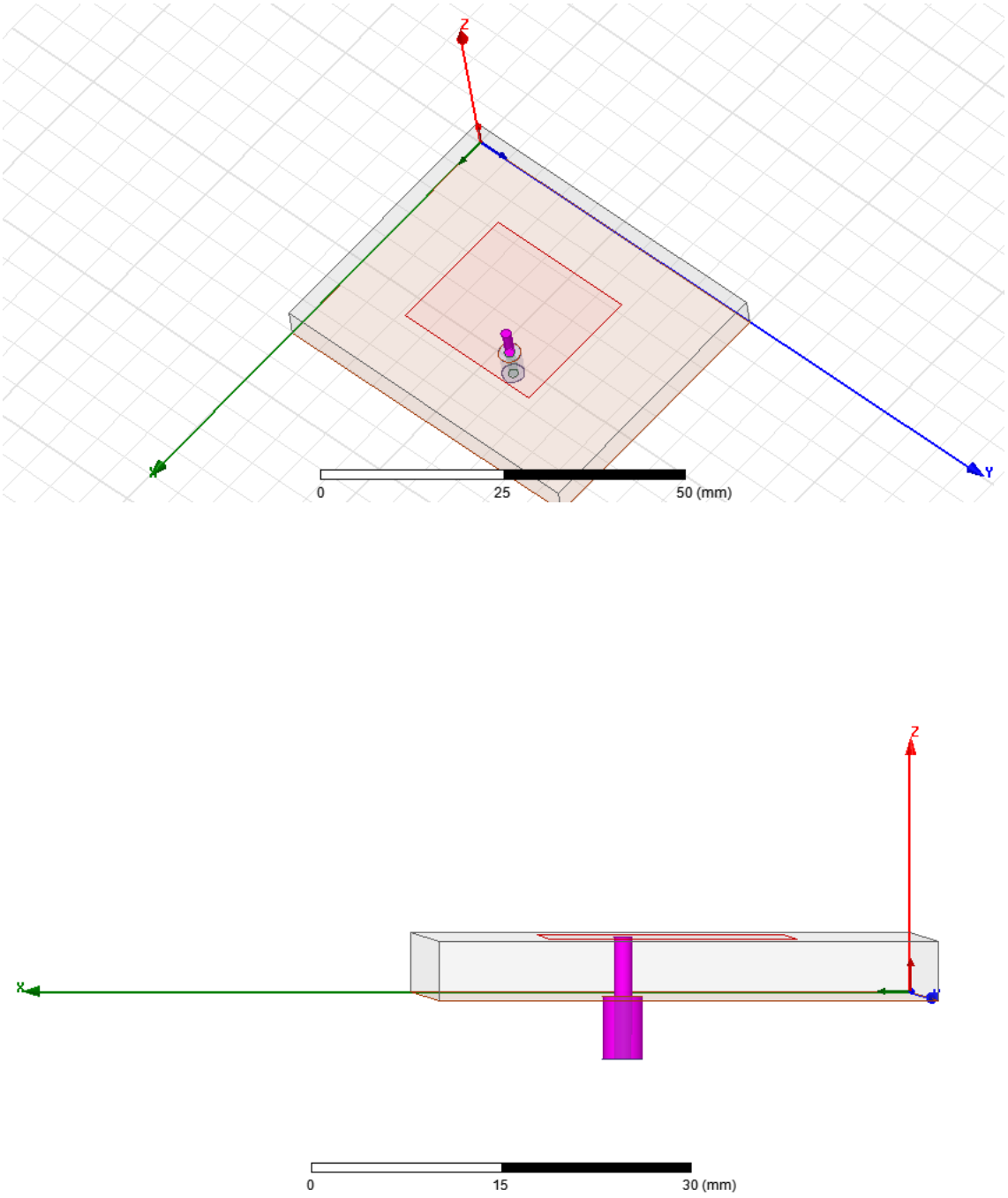
$1 \leq \varepsilon_{ref} \leq \varepsilon_r$ ise;

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\varepsilon_{ref}}} \tag{6.3}$$

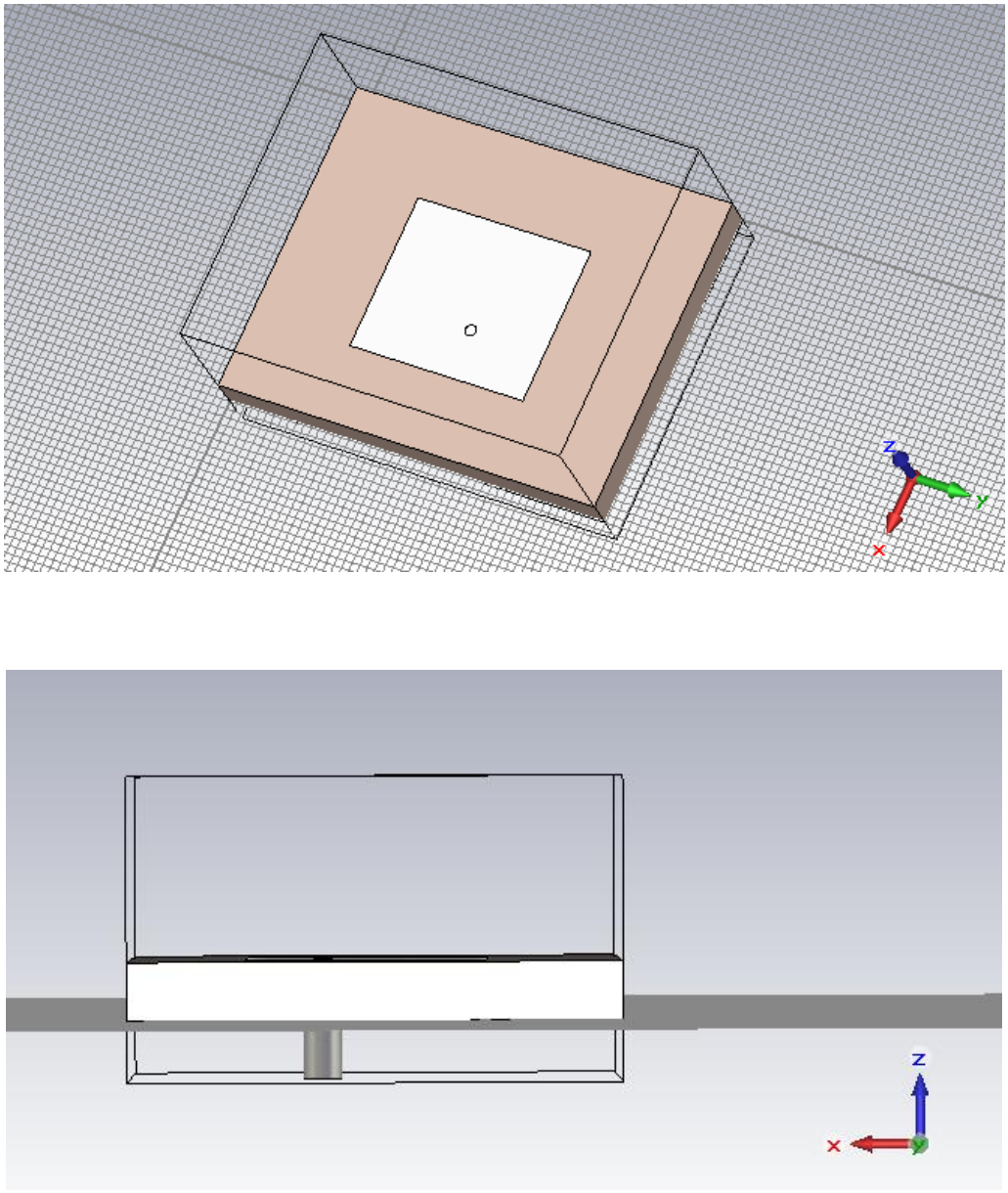
$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon_{ref}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\varepsilon_{ref}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (6.4)$$

$$L=L_{eff} - 2\Delta L \quad (6.5)$$

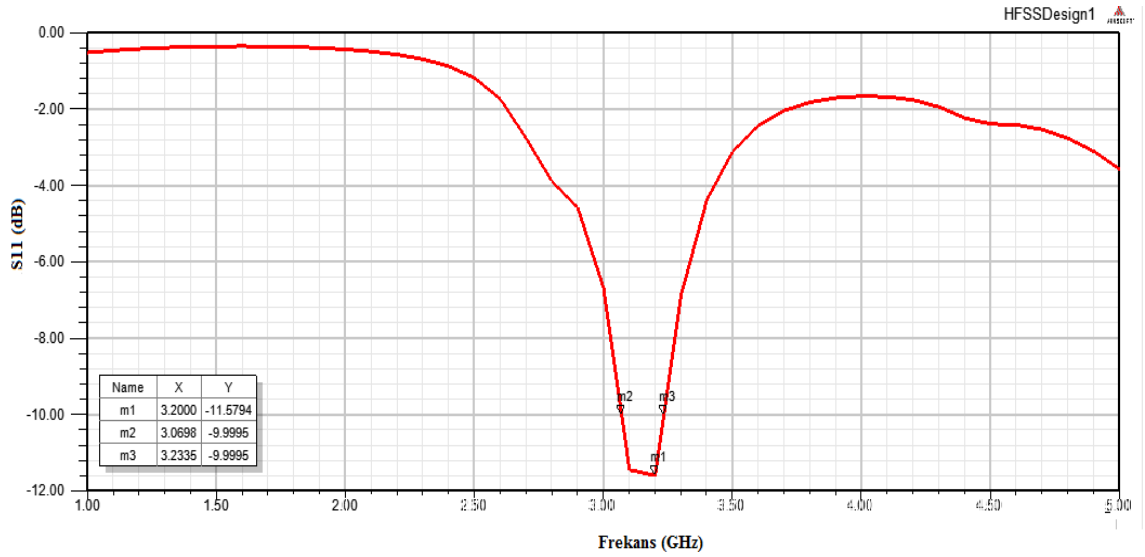
Burada W yama genişliğini, L yamanın uzunluğunu, h dielektrik malzemenin yüksekliğini, ΔL saçak değerini, c ışık hızını, f_0 çalışma frekansını ifade etmektedir. Ancak daha sonraki aşamalarda antene u şeklinde yarıklar eklendiğinde de yeterli sonuçları almak için bu belirlenen yama boyutlarında küçük değişiklikler yapılarak en uygun değer denemelerle belirlenmiştir. Sonuç olarak hem yarıklı hem de yarıksız tasarımda efektif değerleri veren yama boyutları W=20.75mm ve L=24mm olarak bulunmuş ve tüm tasarımlarda yama boyutları kullanılmıştır. HFSS ve CST programlarında tasarlanan antenin önden ve yandan görünüşü sırasıyla şekil 6.1-6.2'de verilmiştir.



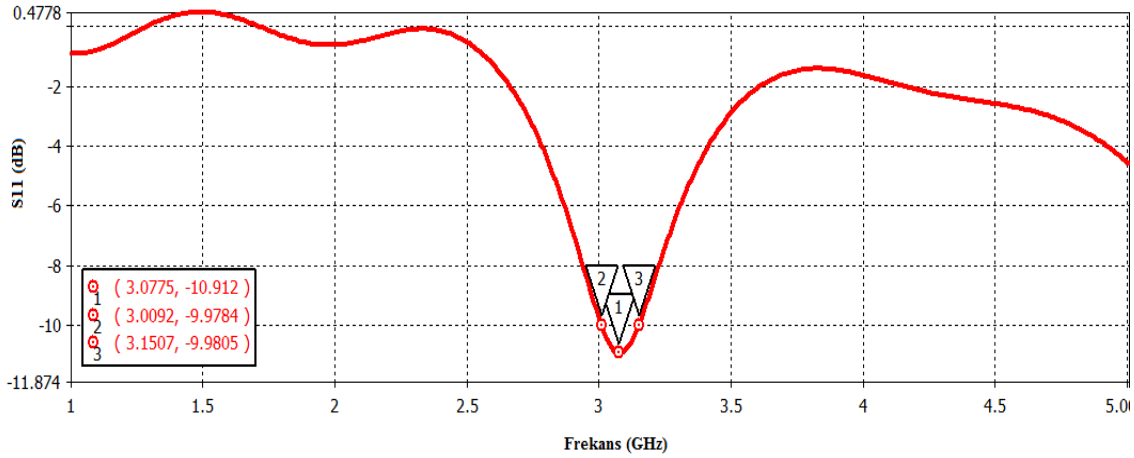
Şekil 6.1 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin önden ve yandan görünüşü



Şekil 6.2 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin önden ve yandan görünüşü



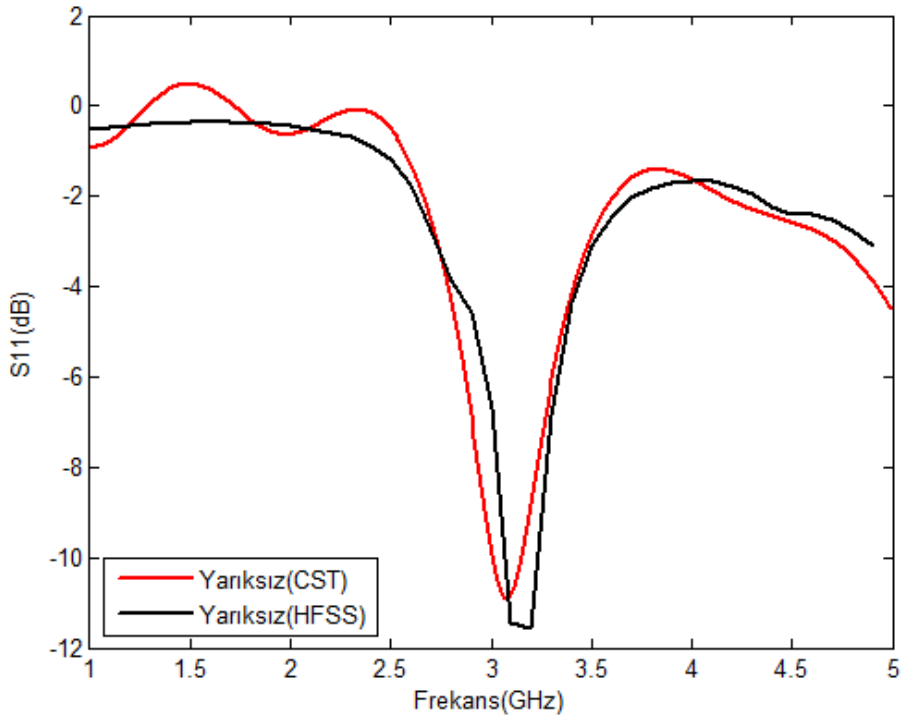
Şekil 6.3 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin $\mathbf{S_{11}}$ parametresi grafiği



Şekil 6.4 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin $\mathbf{S_{11}}$ parametresi grafiği

Şekil 6.3-6.4'de sırasıyla HFSS ve CST programlarında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin geri dönüş kayıpları gösterilmiştir. Şekil 6.3'de de görüldüğü gibi HFSS ara yüzünde tasarlanan anten 3.2GHz frekansında rezonans girmekte 3.06GHz ve 3.23GHz bant aralığında çalışmaktadır. 3.2GHz değerinde elde edilen geri dönüş kaybı değeri -11.579dB'dir. CST programında tasarlanan anten ise 3.07GHz'de rezonansa girmekte olup 3GHz ve 3.15GHz bant aralığında çalışmaktadır.3.07GHz frekansında elde edilen geri dönüş kaybı değeri -10.912dB'dir. CST ve HFSS

sonuçlarına göre rezonans frekanslarında 0.13GHz değerinde bir fark oluşmuştur. Her iki benzetim programı farklı çözüm yöntemleri kullandığından birebir aynı olmayan ama yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bahsedilen bu durum şekil 6.5'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Koaksiyel besleme için CST ve HFSS programlarından elde edilen $\mathbf{S_{11}}$ parametresi sonuçlarının karşılaştırılması

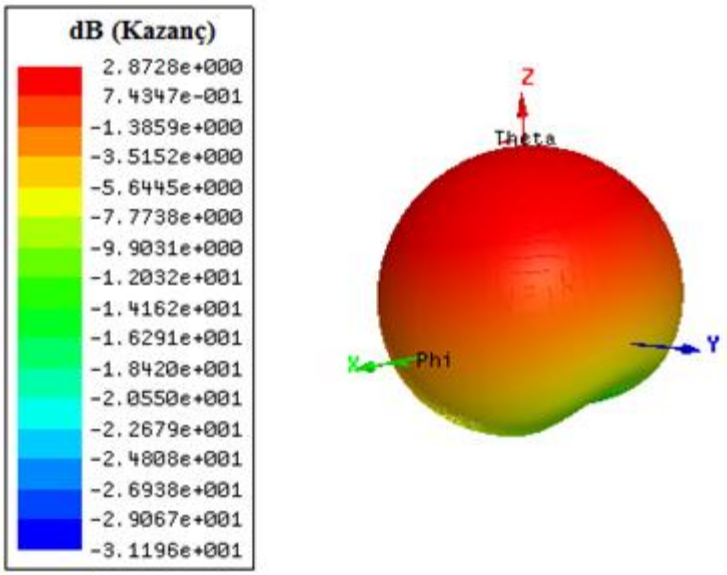
S_{11}'in daha az veya eşit olduğu -10 dB frekans aralığında bant genişliği tanımlanır. Bant genişliği eşitlik 6.6'dan hesaplanabilir.

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \times 100 \qquad (6.6)$$

Burada f_1 ve f_2, S_{11}'in -10dB'e eşit olduğu frekanslar; f_0 ise S_{11}'in en düşük olduğu durum veya orta frekans değeridir.

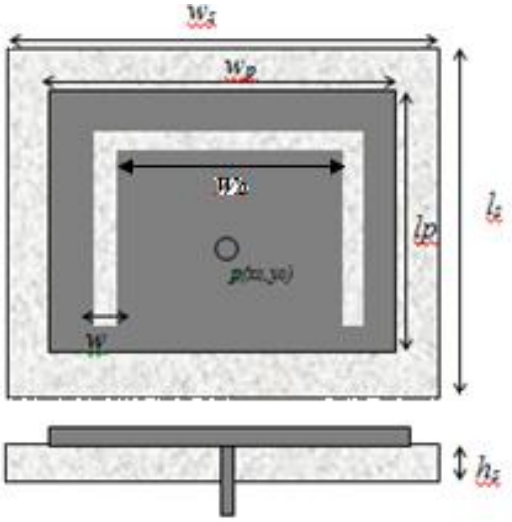
Tasarlanan antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre 0.163 GHz ve CST benzetim programına göre 0.141GHz olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu antene ait kazanç grafiği ise şekil 6.6'da sunulmuştur. Görüldüğü gibi 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç 2.9dB civarındadır.



Şekil 6.6 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği

Ancak LTE gibi çok geniş spektrumlu bir teknoloji için anten tasarımı yapılırken antenin tek frekansa efektif çalışması farklı ülkelerde farklı frekans bantlarının kullanılması açısından düşünüldüğünde uluslararası dolaşım bakımından yetersiz kalmaktadır. Bu açıdan tasarlanan antenin 2 hatta daha fazla frekans aralığında verimli çalışabilmesi oldukça önemli bir faktördür. Bu amaçla çalışmada tasarlanan yama anten üzerine u şeklinde yarık oluşturularak antenin çift frekansta efektif çalışması sağlanmıştır. Bu amaçla tasarımı gerçekleştirilen anten geometrisinin üstten ve yandan görünümü şekil 6.7'de verilmiştir.

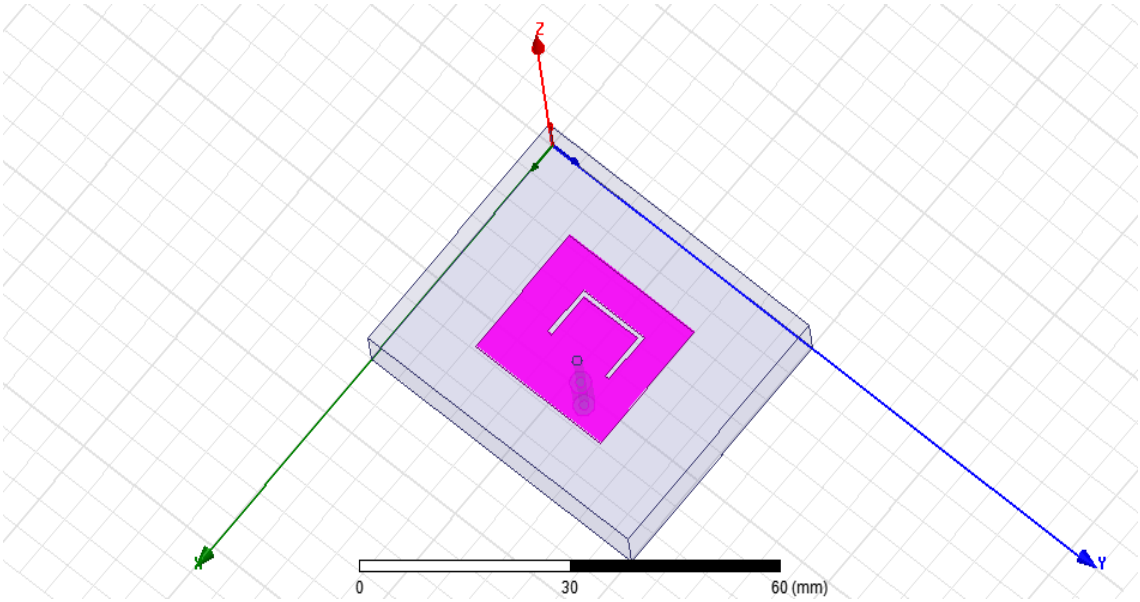


Şekil 6.7 Tasarımı yapılan anten geometrinsin üstten ve yandan görünümü

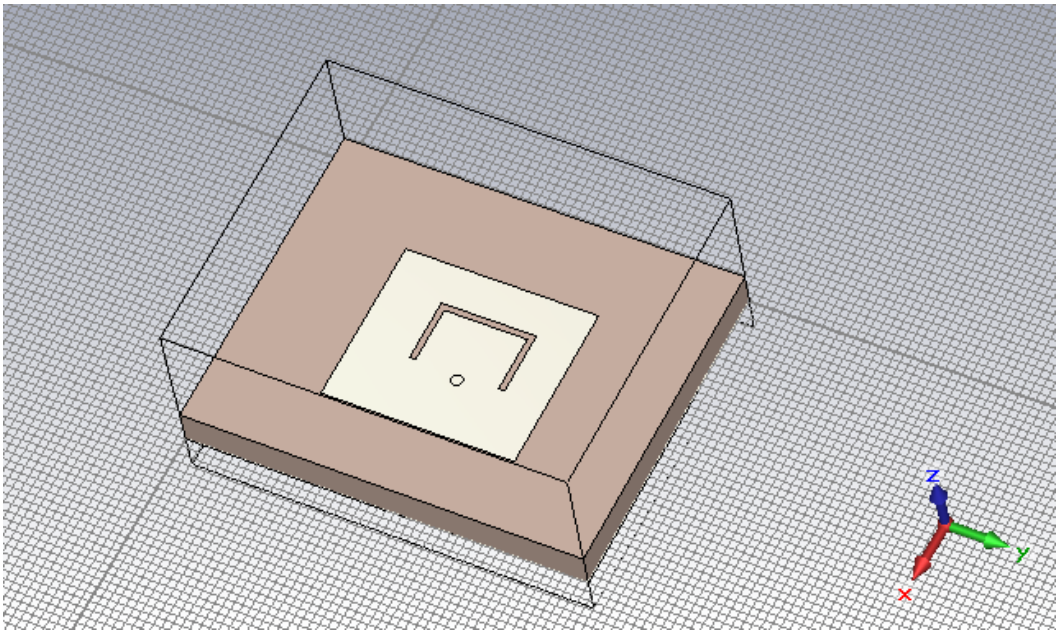
Anten parametreleri h_s=4.75mm, ε_r=4.4 (FR4), w_s=50mm, l_s=40mm, w_p=20.75mm, l_p=24mm ve Wa=10.3mm olarak belirlenmiştir. Burada h_s dielektrik malzemenin kalınlığını, ε_r dielektrik katsayısını, w_s dielektriğin genişliğini, l_s dielektriğin uzunluğunu, w_p yamanın genişliğini l_p yamanın uzunluğunu ve Wa yamanın kolları arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca koaksiyel beslemenin yerini ifade eden $p(x_0, y_0)$ koordinatlarında x_0 değeri 25.25 ve $y_0$değeri 26.5'tir. Koaksiyel beslemenin yeri parametrik tarama ile belirlenmiştir.

6.1 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı

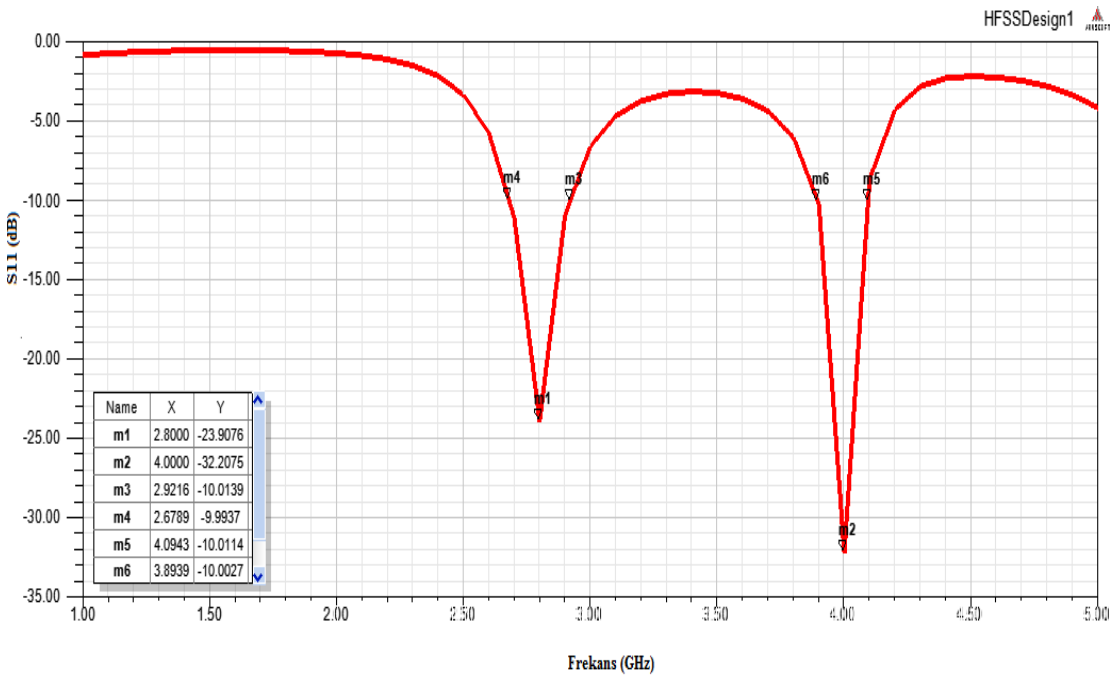
Ülkeler arası ve bantlar arası esnekliğin sağlanması amacıyla tasarlanan antenin birden fazla frekansta efektif çalışabilmesi için ilk olarak anten üzerine 0.75 mm genişliğinde u şeklinde yarık açılmıştır. HFSS ve CST programlarında tasarlanan antenin görünüşleri sırasıyla şekil 6.8-6.9'da gösterilmiştir.



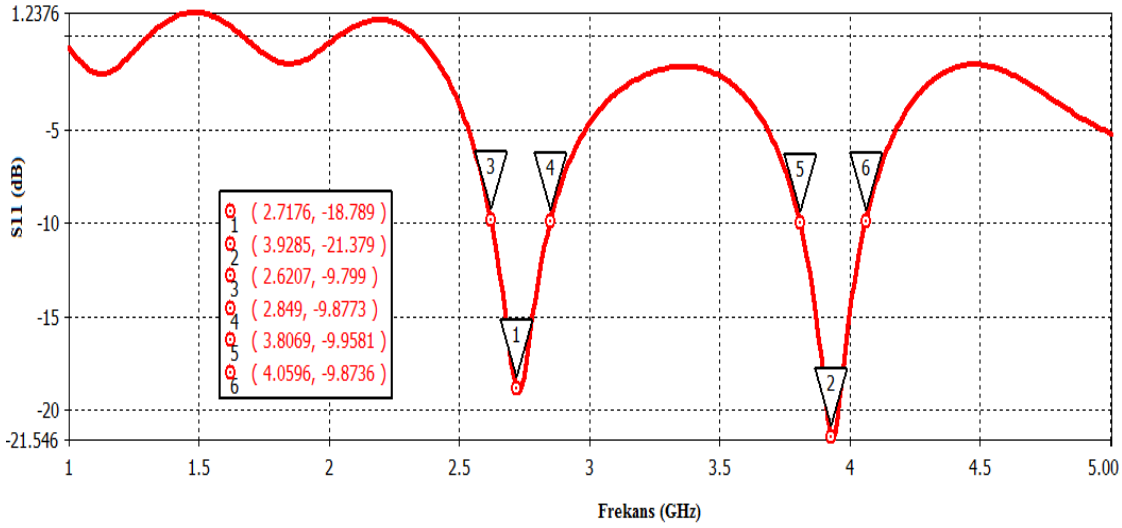
Şekil 6.8 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama anten ($W_{yarık}$=0.75 mm için)



Şekil 6.9 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama anten ($W_{yarık}$=0.75 mm için)



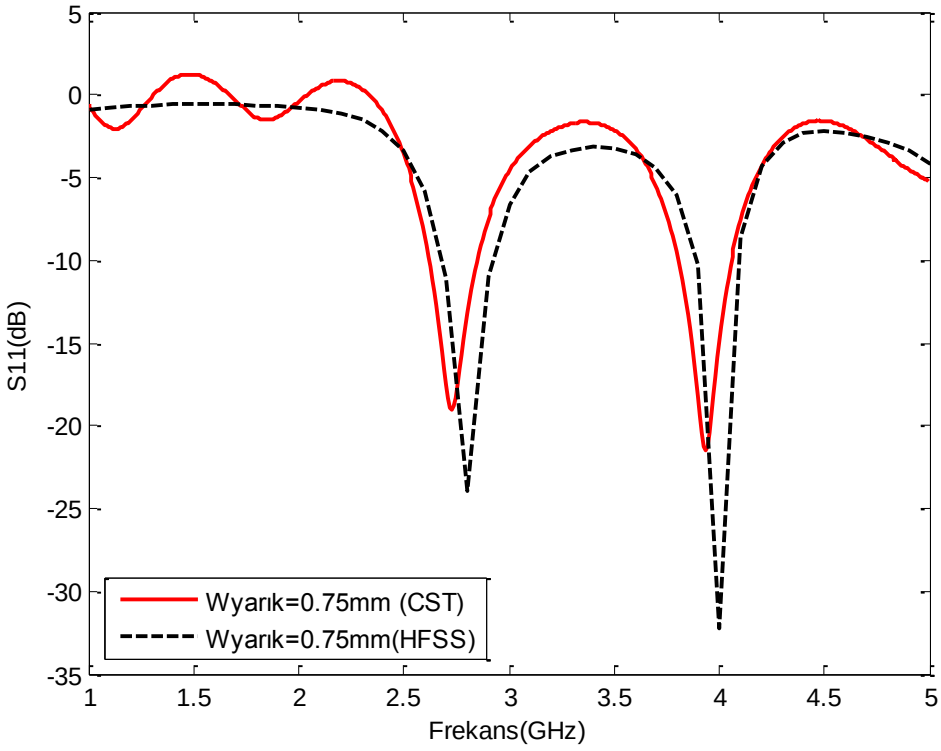
Şekil 6.10 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)



Şekil 6.11 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

Şekil 6.10-6.11'de sunulduğu gibi üzerine yarık açıldığında tasarlanan anten artık 2 farklı frekans aralığında hizmet verebilmektedir. Bu LTE için oldukça avantaj yaratan bir durumdur. HFSS programında tasarlanan yarıklı antenin alt çalışma frekansı 2.8GHz ve üst çalışma frekansı 4GHz olarak gözlemlenmiştir. Alt frekans için çalışma aralığı

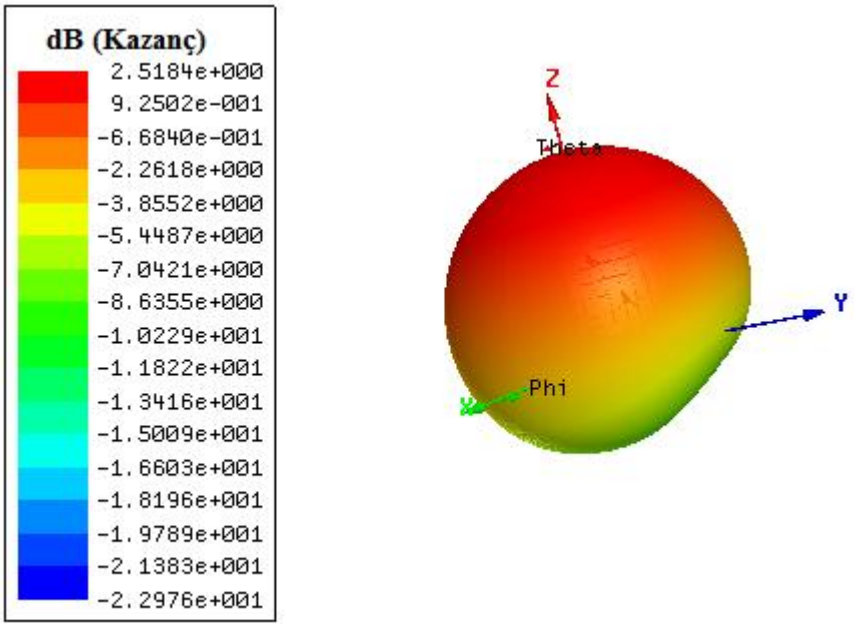
2.67-2.92GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.89-4.09GHz aralığında değişmiştir. 2.8GHz frekansında geri dönüş kaybı -23.907dB iken 4GHz frekansında -32,207dB'dir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.72GHz ve 3.93GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.62-2.84GHz ile 3.80-4.05GHz olarak ölçülmüştür. 2.72GHz frekansında geri dönüş kaybı -18.789dB iken 3.93GHz frekansında -21,379dB'dir. Şekil 6.12'de iki benzetim programı arasındaki ölçüm sonuçları farklılıkları gösterilmiştir. İki benzetim programının rezonans frekansları incelendiğinde alt frekans için 0.08dB ve üst frekans için 0.07dB değerinde bir fark görülmektedir. VSWR değerleri ise her iki geometride de 2'den küçüktür.



Şekil 6.12 Koaksiyel beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

Tasarlanan antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.242GHz ve üst frekans aralığı için 0.201GHz olarak hesaplanırken ve CST benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.228GHz, üst frekans aralığı için ise 0.252GHz olarak hesaplanmıştır.

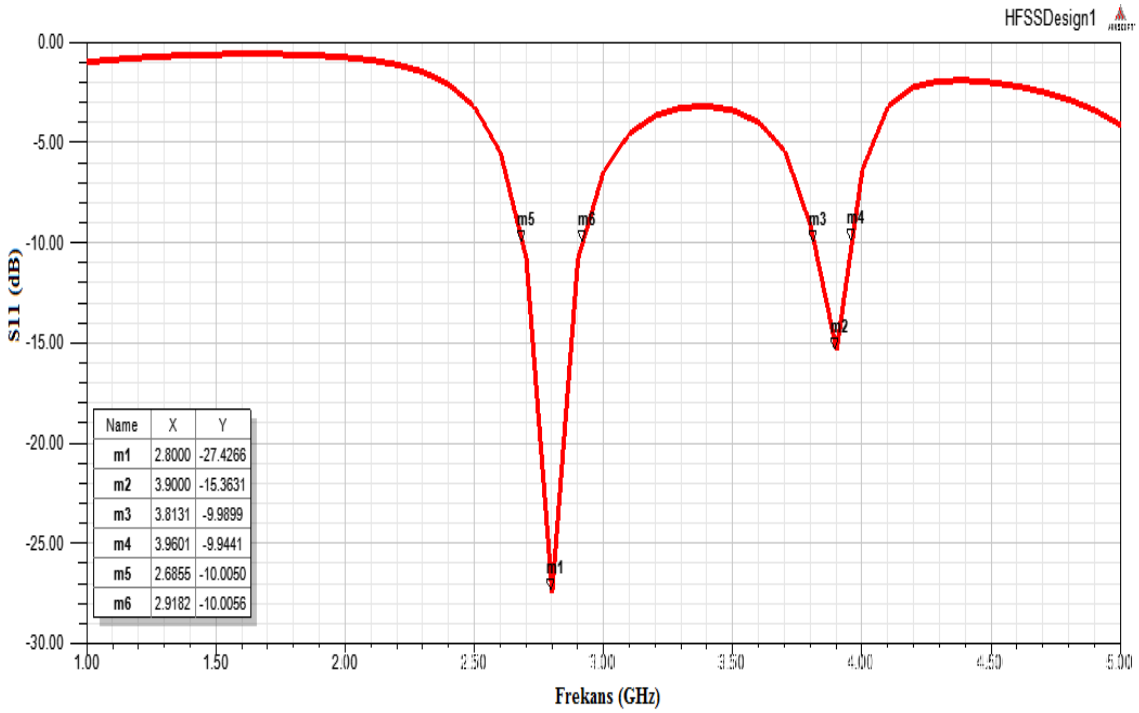
0.75mm yarıklı olarak tasarlanan antene ait kazanç grafiği ise şekil 6.13'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç 2.51dB civarındadır.



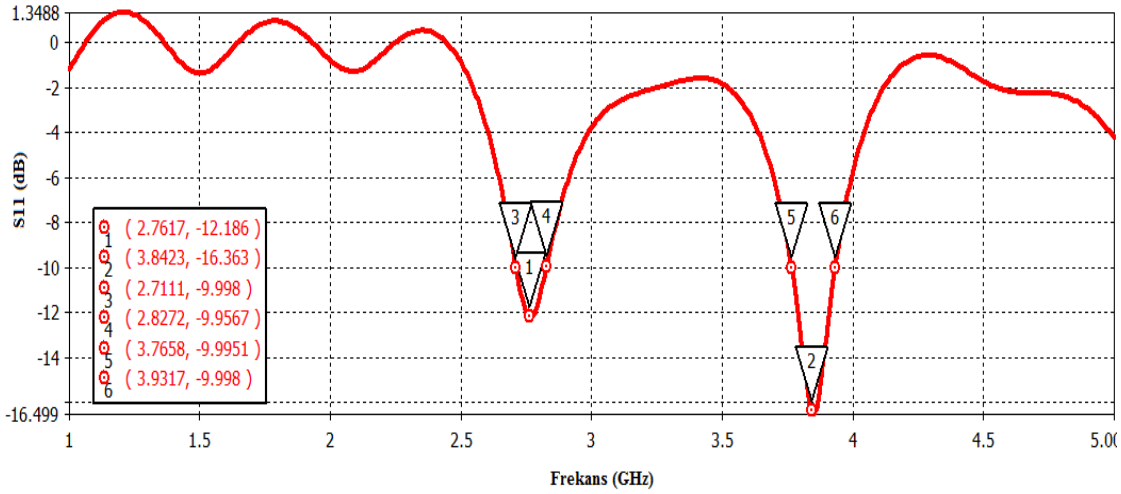
Şekil 6.13 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

6.2 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 0.5mm Olarak Değiştirilmesi

Birden fazla frekansta efektif çalışabilmesi için anten üzerine açılan yarık boyutunun azalmasının ölçüm sonuçlarını hangi yönde etkileyeceğinin görülebilmesi amacıyla anten üzerine açılan yarığın genişliği 0.5mm olarak değiştirilmiştir.



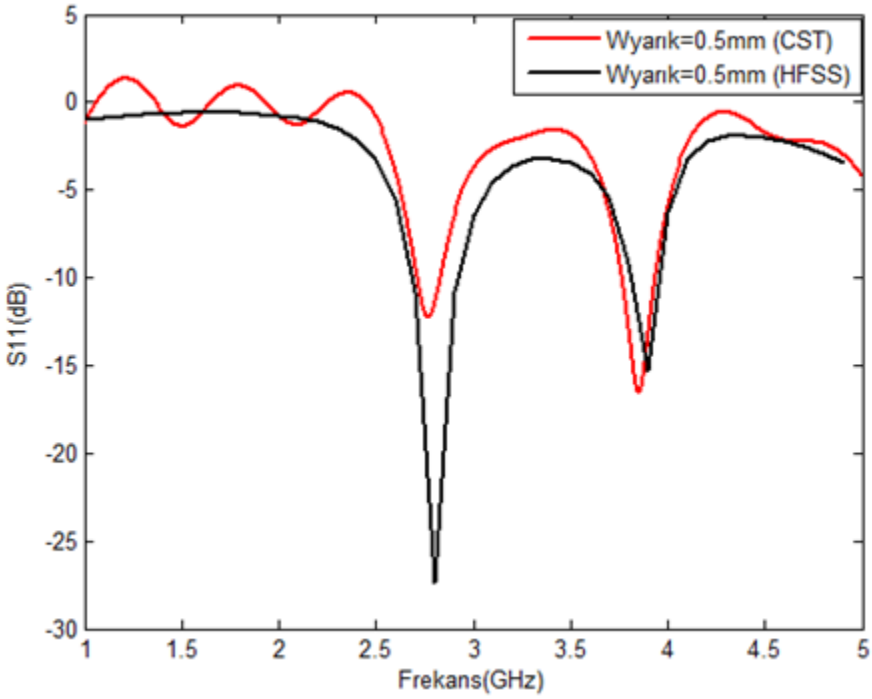
Şekil 6.14 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)



Şekil 6.15 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

Yarık boyutunun 0.5 mm olarak değiştirilmesiyle elde edilen geri dönüş kaybı değerleri Şekil 6.14-6.15'te sunulmuştur. Sonuçlara göre HFSS programında tasarlanan 0.5mm yarıklı antenin alt çalışma frekansı 2.8GHz ve üst çalışma frekansı 3.9GHz olarak ölçülmüştür. 2.8GHz frekansında geri dönüş kaybı -27.426dB iken 3.9GHz frekansında

-16.363dB'dir. Alt frekans için çalışma aralığı 2.68-2.92GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.81-3.96 aralığında değişmiştir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.76GHz ve 3.84GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.71-2.82GHz ile 3.76-3.93GHz olarak ölçülmüştür. 2.76GHz frekansında geri dönüş kaybı -12.186dB iken 3.84GHz frekansında -16.363dB'dir. Sonuçlara bakıldığında görülmektedir ki yarık boyutunun azaltılması her iki benzetim programında da antenlerin alt ve üst rezonans frekanslarını neredeyse etkilememektedir. Şekil 6.16'de iki benzetim programı arasındaki çözüm yöntemlerinin farklılığından dolayı oluşan ölçüm sonuçları farklılıkları sunulmuştur. İki benzetim programının sonuçları arasında alt frekans değeri için 0.04GHz, üst rezonans frekansı için 0.06GHz değerinde farklılıklar görülmektedir. VSWR değerleri ise her iki geometride de 2'den küçüktür.

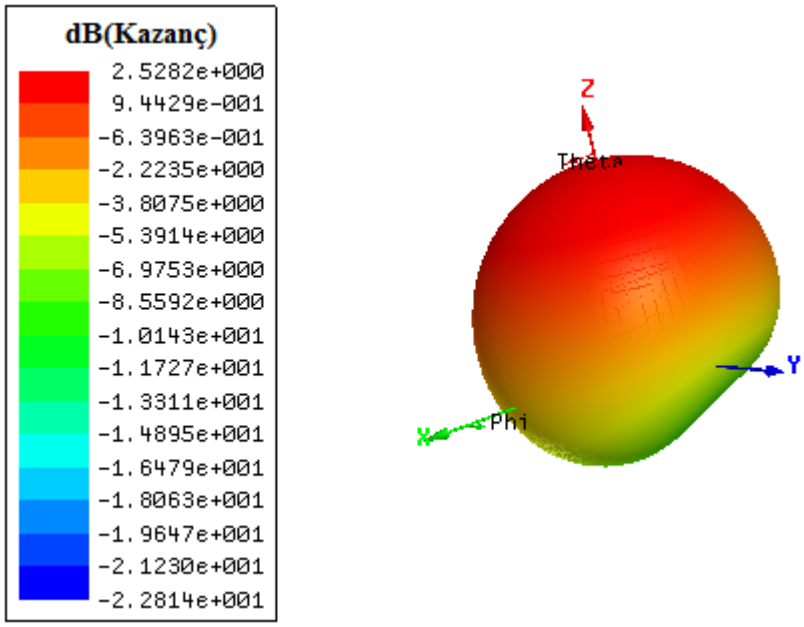


Şekil 6.16 CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

Yarık boyutunun azaltılmasıyla elde edilen antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.232GHz ve üst frekans aralığı için 0.147GHz olarak gözlemlenirken ve CST benzetim programına göre alt frekans aralığı için

0.116GHz, üst frekans aralığı için ise 0.166GHz olarak hesaplanmıştır. 0.5mm'lik açıklığa sahip tasarımla 0.75 mmlik tasarıma sahip anten bant genişliği bakımından karşılaştırıldığında yarık genişliğinin azaltılmasının bant genişliğinde azalmaya neden olduğu açıkça görülmektedir.

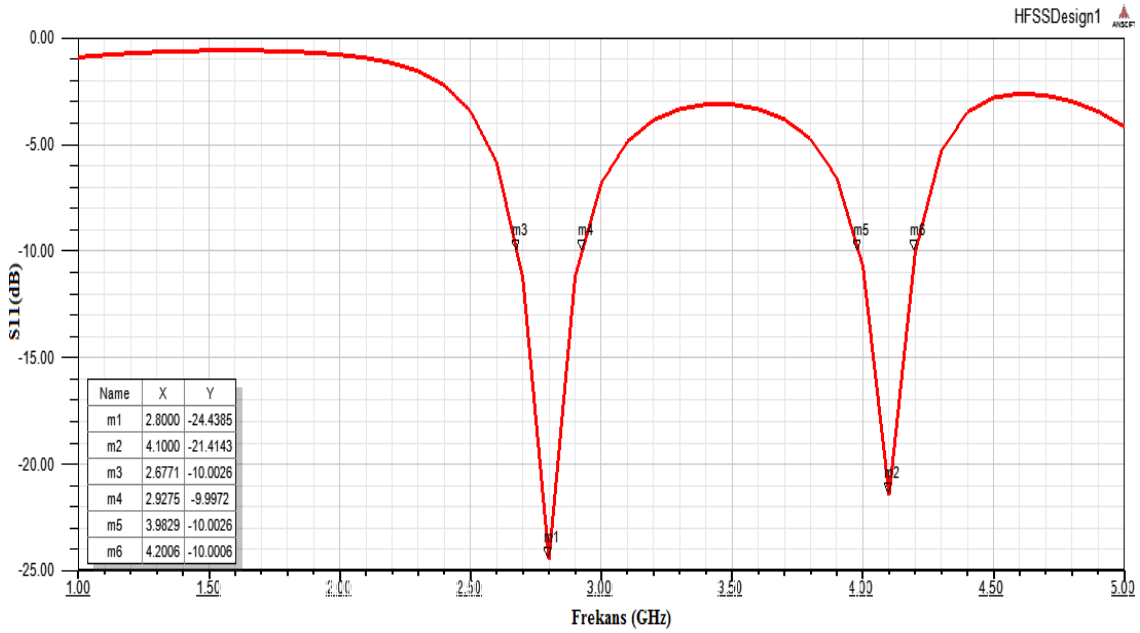
Şekil 6.17'de görüldüğü gibi 0.5mm yarıklı olarak tasarlanan antene ait 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç yaklaşık olarak 2.52dB'dir ve bu değer yaklaşık olarak 0.75 mm genişlikli u yarıklı tasarımın kazanç değerine eşittir.



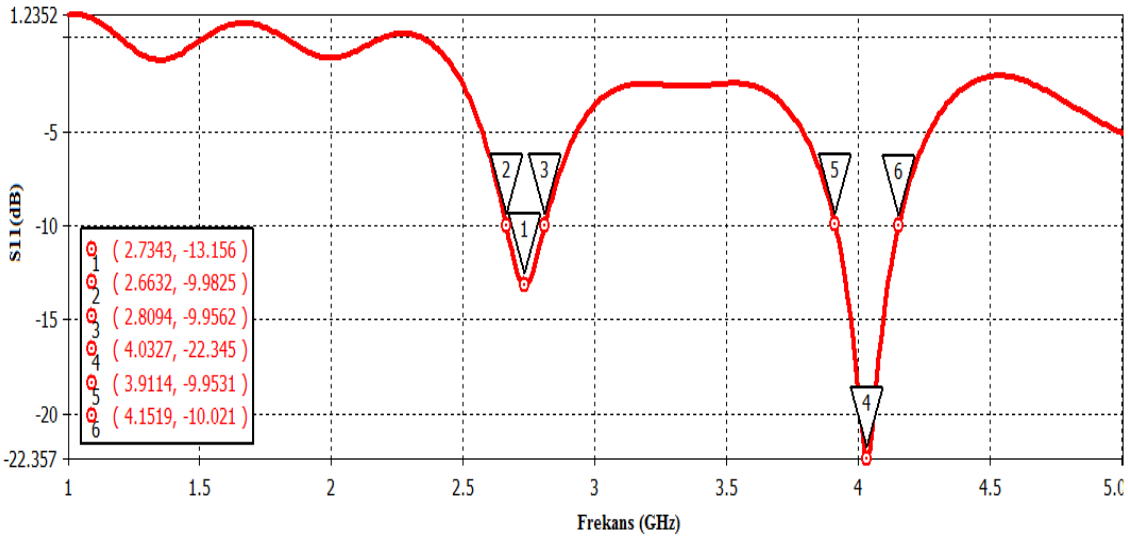
Şekil 6.17 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

6.3 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Koaksiyel Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 1mm Olarak Değiştirilmesi

Yarık boyutunun azalmasının ölçüm sonuçlarını hangi yönde etkilediğinin incelenmesinin ardından anten üzerine açılan yarığın genişliği 1mm değerine çıkartılmış ve sonuçlar incelenerek kıyaslamalar yapılmıştır.

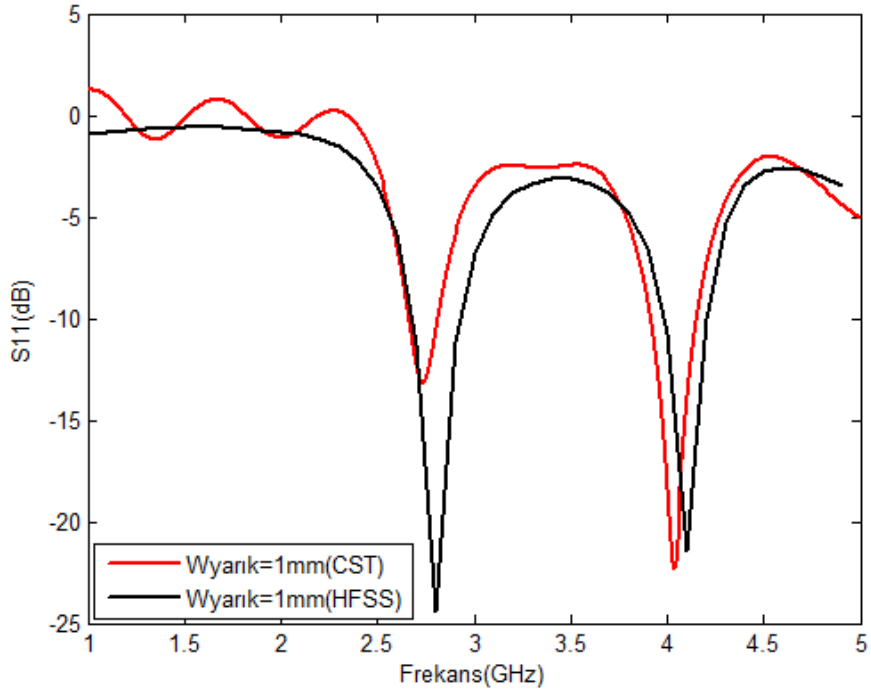


Şekil 6.18 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)



Şekil 6.19 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)

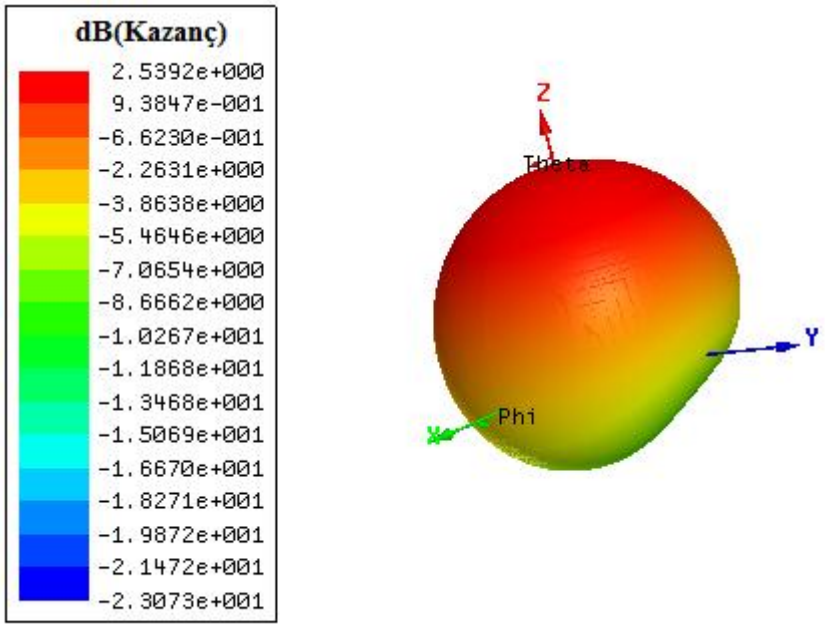
Şekil 6.18-6.19'da verilen geri dönüş kaybı sonuçları incelendiğinde HFSS programında tasarlanan yarıklı antenin alt çalışma frekansının 2.8GHz ve üst çalışma frekansının 4.1GHz olduğu görülmektedir. 2.8GHz frekansında geri dönüş kaybı -24.438dB iken 4.1GHz frekansında -21.414dB'dir. Alt frekans için çalışma aralığı 2.67-2.92GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.98-4.20GHz aralığında değişmiştir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.73GHz ve 4.03GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.66-2.80GHz ile 3.91-4.15GHz olarak hesaplanmıştır. 2.73GHz frekansında geri dönüş kaybı -13.156dB iken 4.03GHz frekansında -22.345dB'dir. Sonuçlar incelendiğinde yarık genişliğinin arttırılmasının her iki benzetim programında da rezonans frekanslarında ihmal edilebilecek düzeyde değişikliklerle neden olduğu gözlenmiştir. Benzetim programları arasındaki geri dönüş kaybı ölçüm farklılıkları şekil 6.20'de sunulmuştur. İki benzetim programının sonuçları arasında alt frekans ve üst frekans değerlerinin ikisi için de 0.07GHz değerinde bir farklılık görülmektedir.



Şekil 6.20 CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=1 mm için)

Yarık boyutunun arttırılmasıyla elde edilen antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.250GHz ve üst frekans aralığı için 0.218GHz olarak gözlemlenirken ve CST benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.146GHz, üst frekans aralığı için ise 0.241GHz olarak hesaplanmıştır. 1mmlik açıklığa sahip tasarımla daha önceki yarıklı tasarımlar bant genişliği bakımından karşılaştırıldığında yarık genişliğinin arttırılmasının bant genişliğinde artışa neden görülmektedir.

1mm yarıklı olarak tasarlanan antene ait 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç yaklaşık olarak 2.53dB'dir. Bu durum şekil 6.21'de gösterilmiştir. 0.75mm ve 0.5mm yarık genişliğine sahip tasarımlarla kıyaslandığında her üçünde de elde edilen kazanç değerleri çok yakın olmakla beraber en fazla kazancın 1mm yarık genişliğine sahip tasarımdan elde edildiği gözlemlenmektedir.

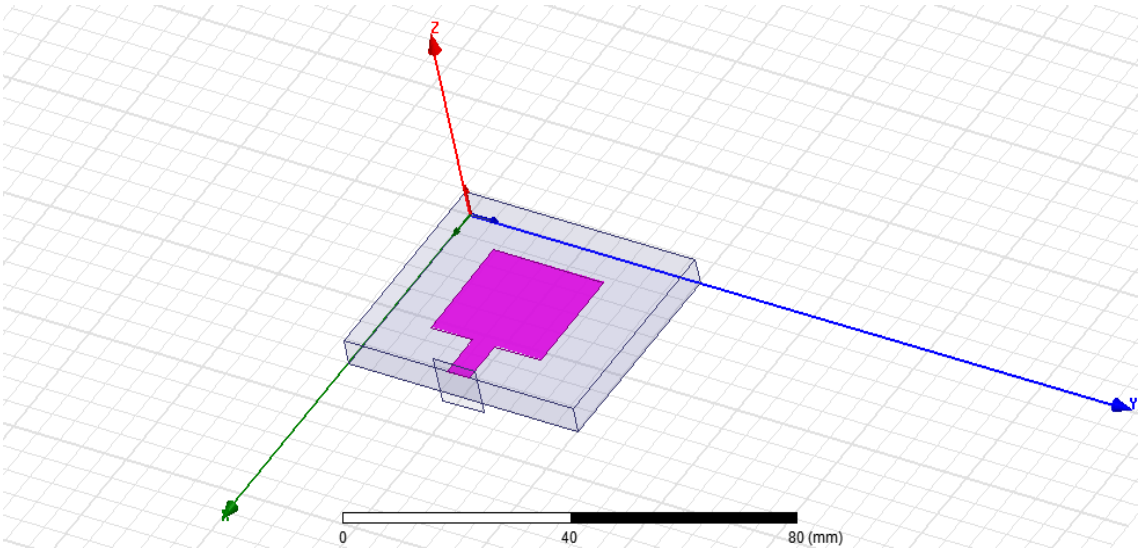


Şekil 6.21 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)

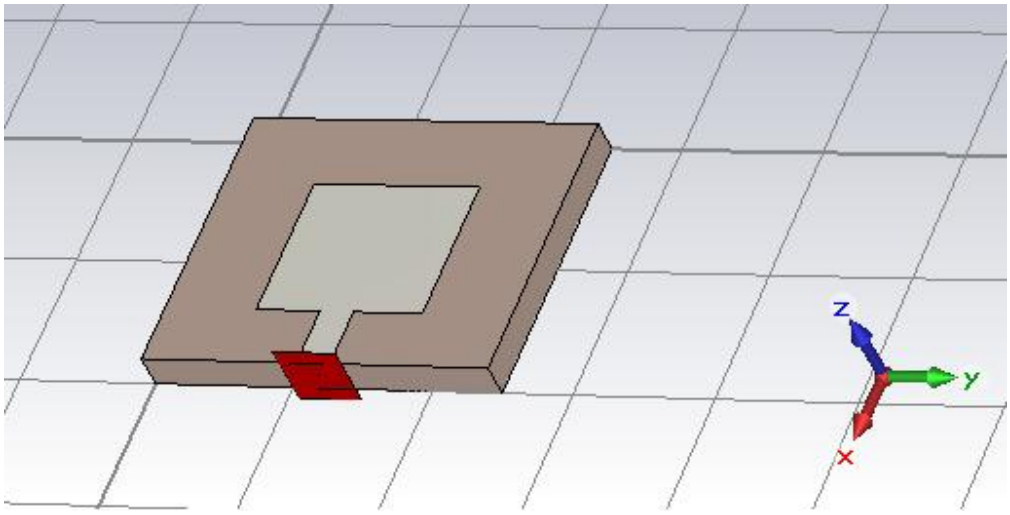
7. MİKROŞERİT BESLEMELİ DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN DİZAYNI

En fazla kullanılan anten besleme yöntemlerinden olan koaksiyel besleme ile mikroşerit beslemenin aynı fiziksel özelliklerdeki antenlere uygulandıklarında sonuçlarının kıyaslanması amacıyla koaksiyel besleme kısmında tasarlanan antenin yama boyutları, dielektrik malzeme boyutları ve türü sabit tutularak sadece besleme yöntemi değiştirilmiş ve sonuçlar yine HFSS ve CST benzetim programları arasındaki analiz farklılıkları da dahil edilerek incelenmiştir. Mikroşerit besleme hattının uzunluğu 8.5mm ve genişliği 4.85mm olarak belirlenmiştir. Hattın x eksenine uzaklığı ise 1.5 mm'dir.

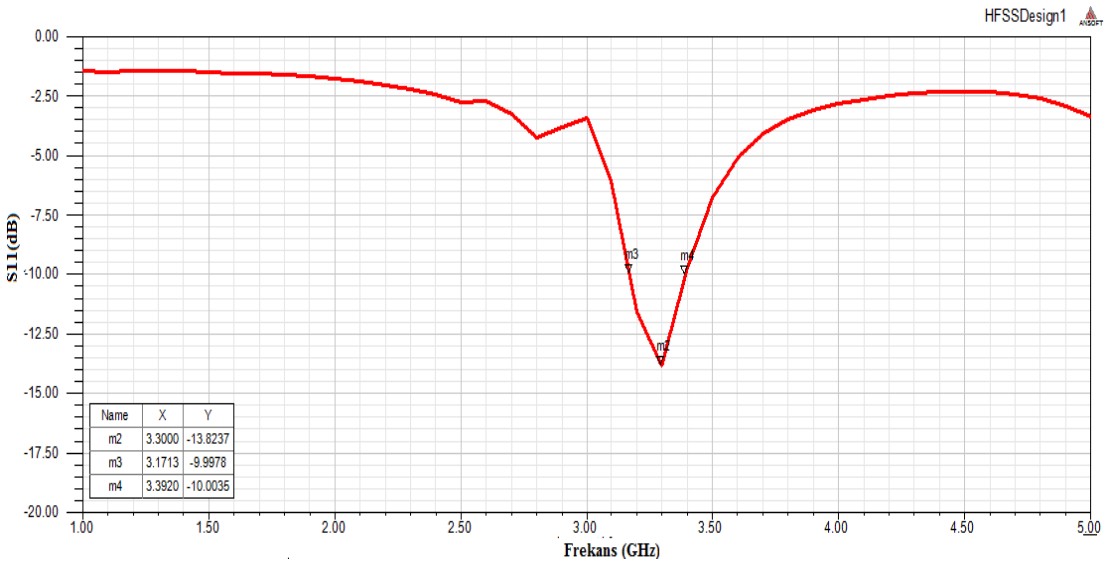
HFSS ve CST programlarında tasarlanan antenin önden ve yandan görünüşü sırasıyla şekil 7.1-7.2' de verilmiştir.



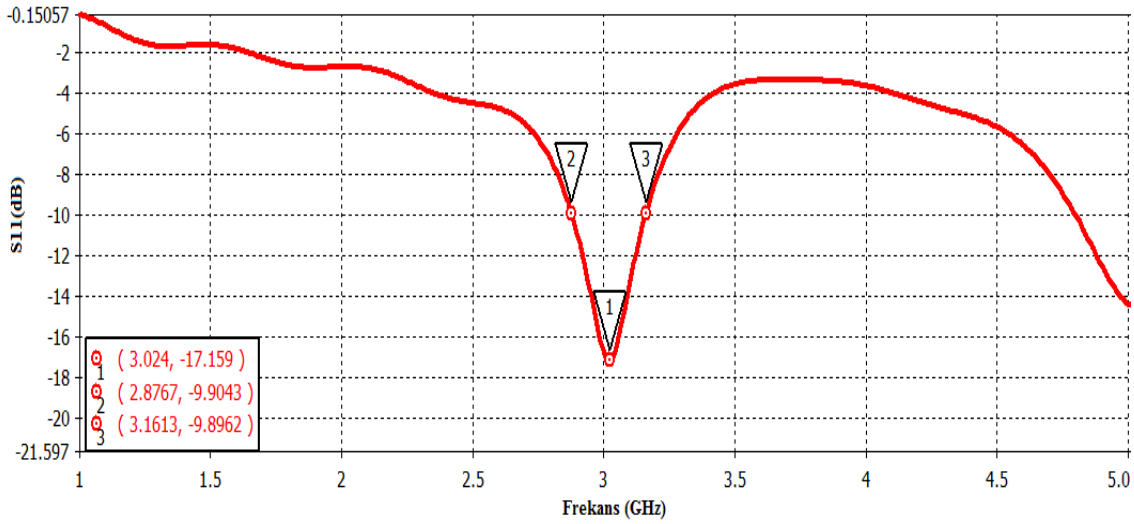
Şekil 7.1 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten



Şekil 7.2 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten

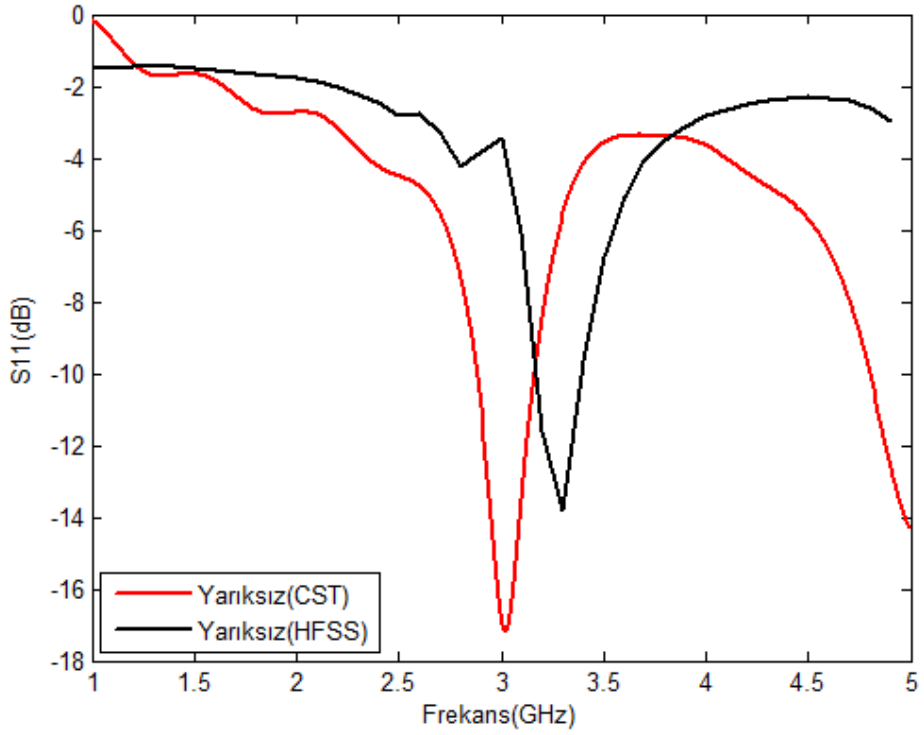


Şekil 7.3 HFSS programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği



Şekil 7.4 CST programında tasarlanan koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği

HFSS ve CST programlarında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin geri dönüş kayıpları şekil 7.3-7.4'de sunulmuştur. Şekil 7.3 incelendiğinde HFSS programında tasarlanan yama anten 3.3GHz frekansında rezonans girmekte 3.17GHz ve 3.39GHz bant aralığında çalışmaktadır.3.3GHz frekansında elde edilen geri dönüş kaybı -13.824dB'dir. CST programında tasarlanan anten ise 3.02GHz'de rezonansa girmekte olup 2.88GHz ve 3.16GHz bant aralığında çalışmaktadır. 3.2GHz frekansında elde edilen geri dönüş kaybı değeri -17.159dB'dir. CST ve HFSS sonuçlarına göre rezonans frekanslarında 0.28GHz değerinde bir fark oluşmuştur. İki benzetim programı arasındaki geri dönüş kaybı hesaplaması farklılıkları şekil 7.5'de gösterilmiştir.

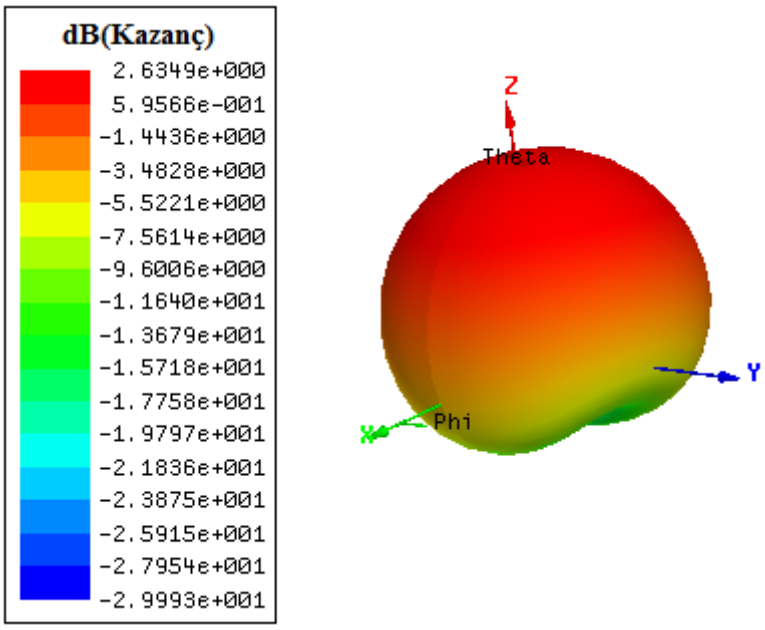


Şekil 7.5 Mikroşerit besleme için CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması

Bahsedilen antenin bant genişliği ise HFFS benzetim programı sonuçlarına göre 0.221 GHz ve CST benzetim programına göre 0.285 GHz olarak hesaplanmıştır.

Tasarımda yarık bulunmadığı durumda mikroşerit besleme tasarımıyla elde edilen anten ile koaksiyel beslemeli anten kıyaslandığında rezonans frekanslarının her ikisinde de hemen hemen aynı olduğu ama geri dönüş kaybı mikroşerit beslemenin daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir. Ayrıca mikroşerit beslemeli anten bant genişliği bakımından her iki benzetim programının sonuçlarına göre koaksiyel beslemeye üstünlük sağlamaktadır.

Söz konusu antene ait kazanç grafiği ise şekil 7.6'da sunulmuştur. Görüldüğü gibi 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç 2.6dB civarındadır. Kazanç değerleri birbirine oldukça yakın olmakla birlikte koaksiyel beslemeli anten kazanç bakımından da aynı tasarımın mikroşerit beslemeli haline göre daha avantajlı sonuç vermektedir.

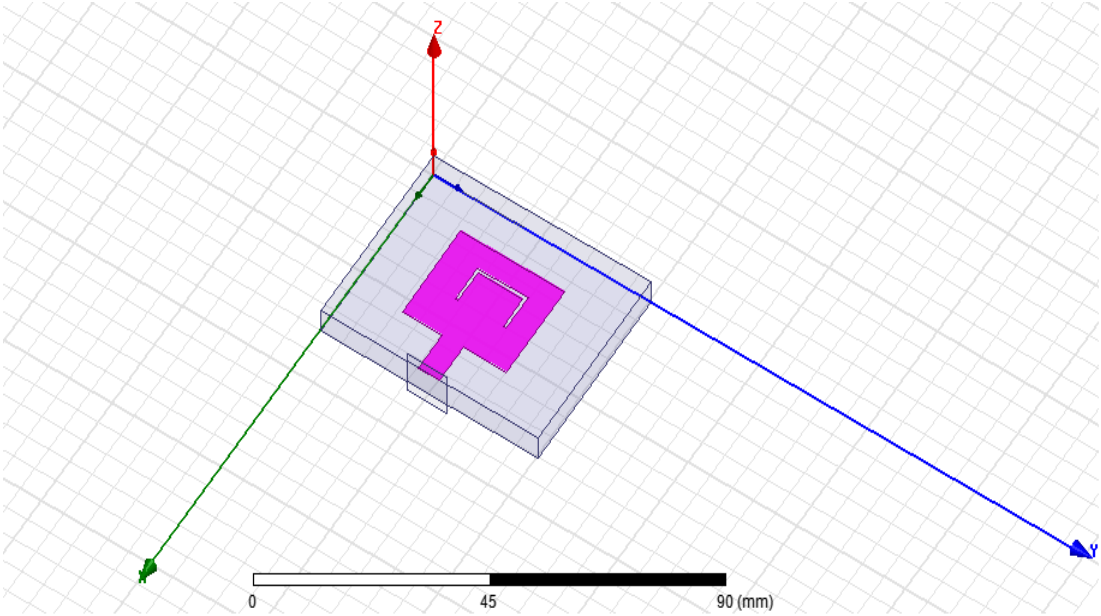


Şekil 7.6 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği

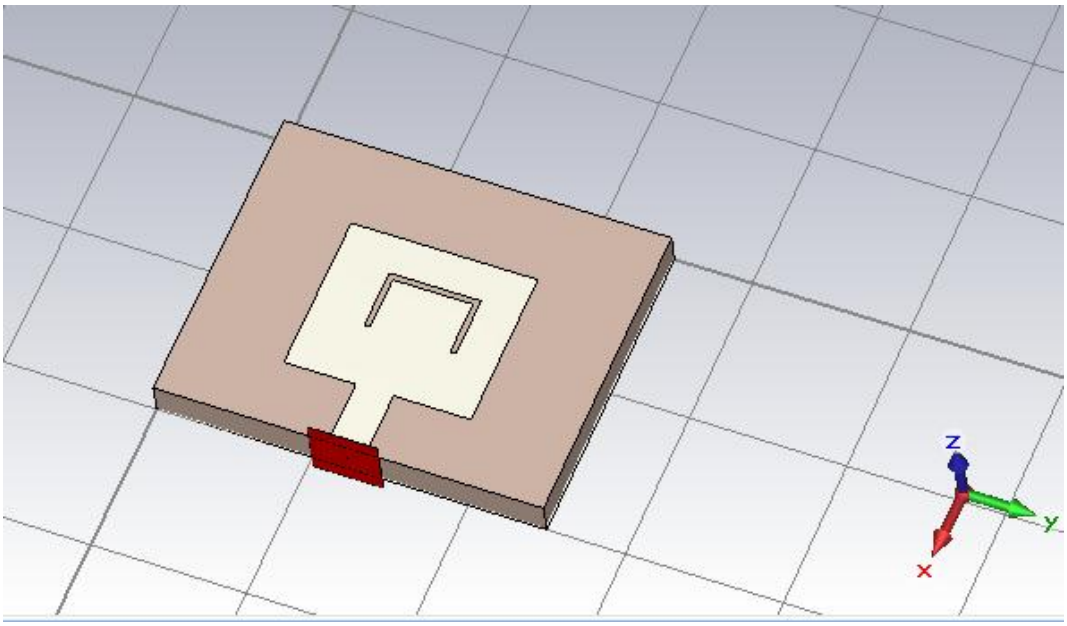
7.1 Mikroşerit Beslemeli 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı

Daha önce de bahsedildiği gibi antenin çoklu frekansta çalışmasını sağlamak amacıyla anten üzerinde 0.75 mm genişliğinde yarıklar açılarak mikroşerit beslemeli anten tasarımında sonuçları nasıl etkileyeceğinin gözlemlenmesi ve koaksiyel besleme ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

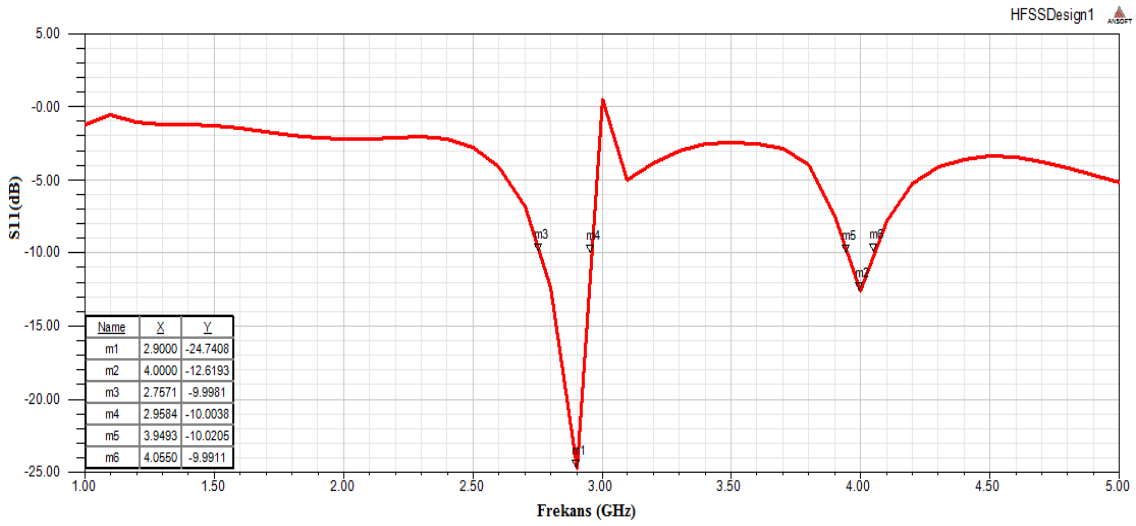
HFSS ve CST programlarında tasarlanan antenin önden ve yandan görünüşü sırasıyla şekil 7.7-7.8'de verilmiştir.



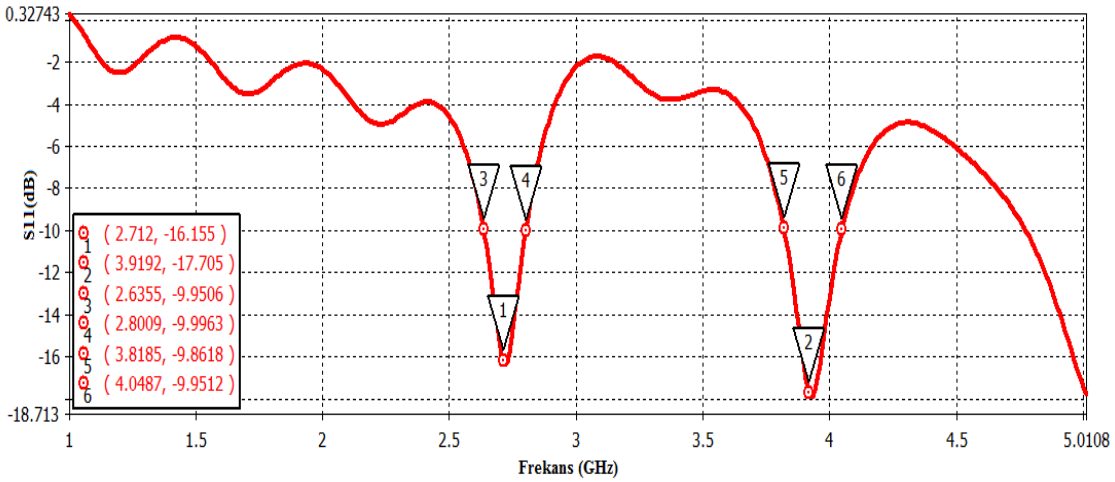
Şekil 7.7 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten ($W_{yarık}$=0.75 mm için)



Şekil 7.8 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten ($W_{yarık}$=0.75 mm için)



Şekil 7.9 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

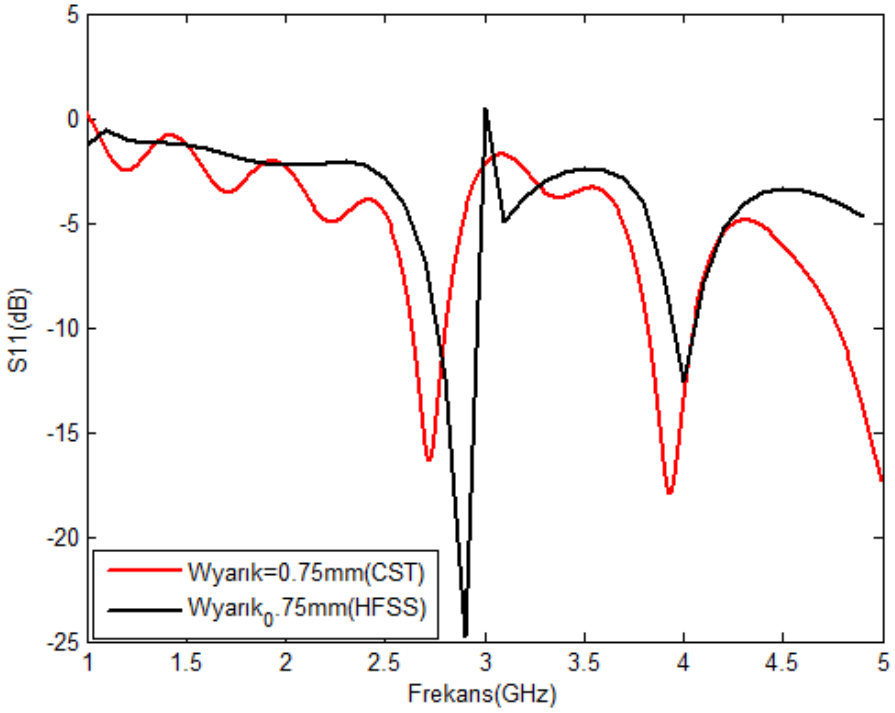


Şekil 7.10 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

Şekil 7.9-7.10'da sunulduğu gibi üzerine yarık açıldığında anten iki frekansta çalışmaya başlamıştır. HFSS programında tasarlanan yarıklı antenin alt çalışma frekansı 2.9GHz ve üst çalışma frekansı 4GHz olarak gösterilmiştir. 2.9GHz frekansında geri dönüş kaybı -24.741dB iken 4GHz frekansında -12.619dB'dir. Alt frekans için çalışma aralığı 2.76-2.96GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.95-4.06GHz aralığında değişmiştir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.71GHz ve 3.92GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için

2.64-2.80GHz ile 3.82-4.05GHz olarak ölçülmüştür. 2.71GHz frekansında geri dönüş kaybı -16.155dB iken 3.92GHz frekansında -17.705dB'dir. Bu sonuçlar aynı yarık genişliğine sahip koaksiyel beslemeli yama anten sonuçlarıyla kıyaslandığında rezonans frekanslarının hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmektedir. Ancak geri dönüş kaybı açısından koaksiyel beslemeli tasarımın üstünlüğü söz konusudur.

Şekil 7.11'de iki benzetim programının farklı çözümleme yöntemleri kullanmasından kaynaklanan ölçüm sonuçları farklılıkları gösterilmiştir. İki benzetim programının rezonans frekansları incelendiğinde alt frekans için 0.19dB ve üst frekans için 0.08dB değerinde bir fark görülmektedir.

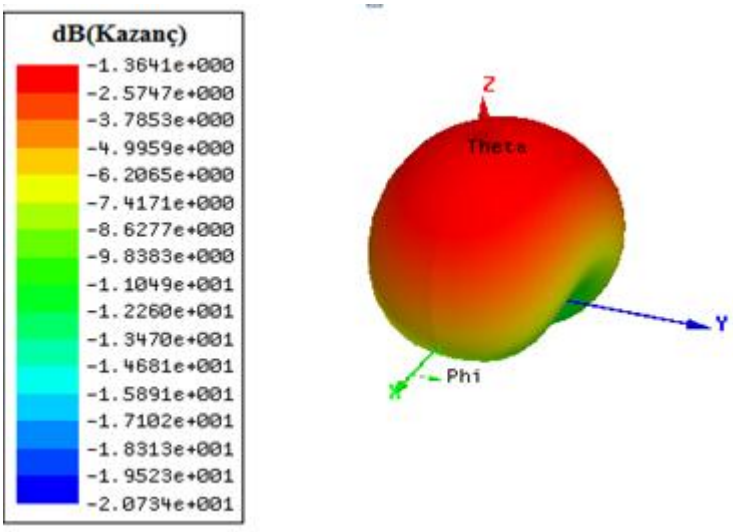


Şekil 7.11 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

Söz konusu antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.201GHz ve üst frekans aralığı için 0.106GHz olarak hesaplanırken ve CST benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.165GHz, üst frekans aralığı için ise

0.230GHz olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde bant genişliği açısından aynı yarık genişliğine sahip koaksiyel beslemeli anten tasarımının sonuçlarının daha geniş bant aralığına sahip olduğu görülmektedir.

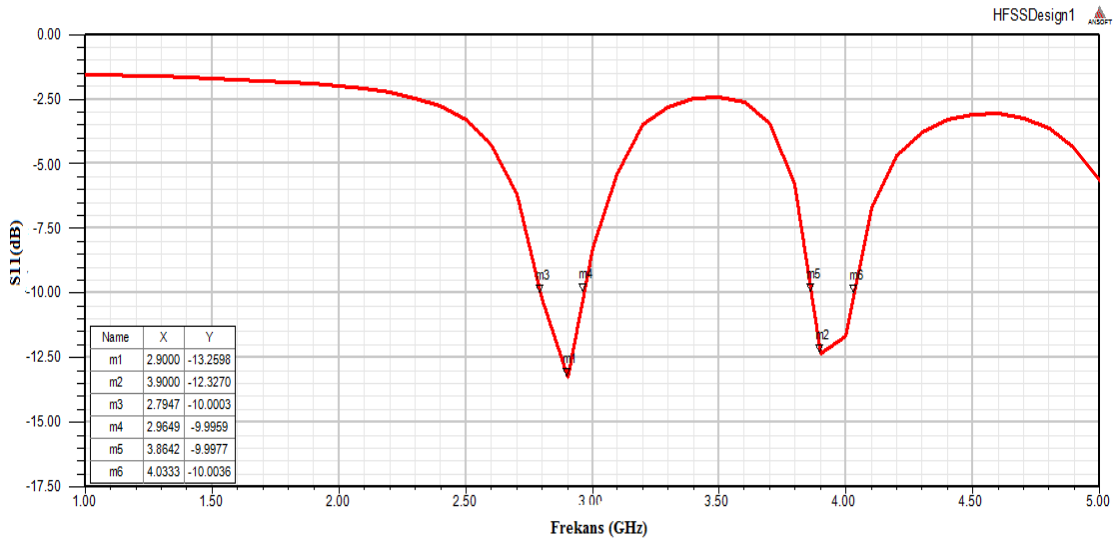
0.75mm yarık genişliğine sahip mikroşerit beslemeli olarak tasarlanan antene ait 3 boyutlu kazanç grafiği ise şekil 7.12'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç -1.36dB civarındadır ve aynı yama modeline sahip koaksiyel beslemeli antene göre kazançta düşüş olduğu ortadadır.



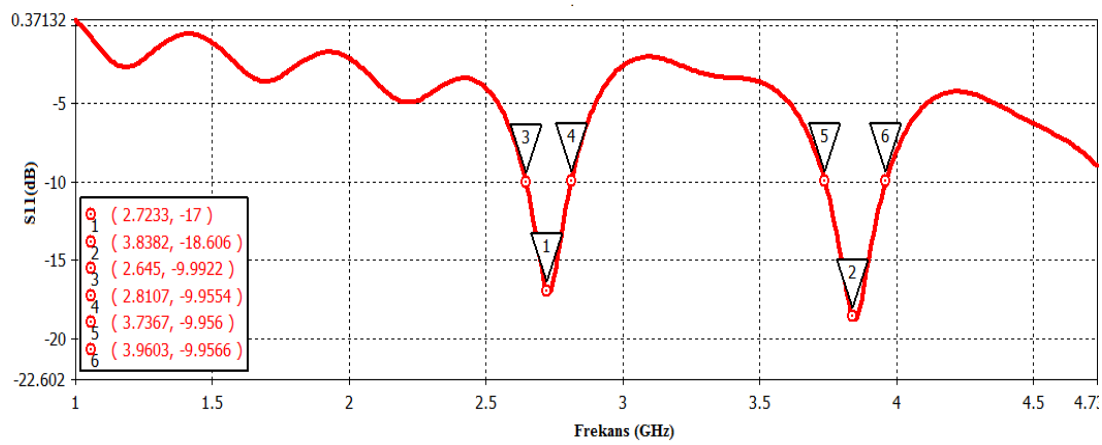
Şekil 7.12 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=0.75 mm için)

7.2 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 0.5mm Olarak Değiştirilmesi

Diğer tüm parametreler sabit tutulup sadece yama genişliğinin azaltılmasının mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama anten tasarımının sonuçlarını nasıl etkileyeceğini incelemek ve sonuçların aynı yama boyutuna sahip koaksiyel beslemeli anten tasarımı ile kıyaslamasını yapmak amacıyla yama boyutu 0.5mm olarak değiştirilmiştir.



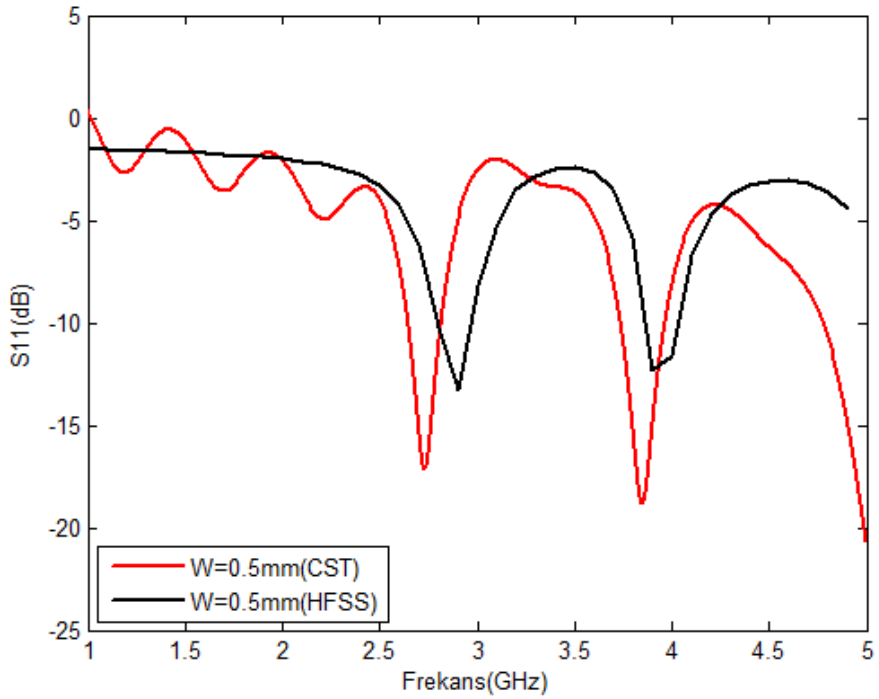
Şekil 7.13 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)



Şekil 7.14 CST programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

Yarık boyutunun 0.5 mm olarak değiştirilmesiyle elde edilen geri dönüş kaybı değerleri şekil 7.13-7.14'te sunulmuştur. Sonuçlara göre HFSS programında tasarlanan 0.5mm yarıklı mikroşerit beslemeli antenin alt çalışma frekansı 2.9GHz ve üst çalışma frekansı 3.9GHz olarak ölçülmüştür. 2.9GHz frekansında geri dönüş kaybı -13.260dB iken 3.9GHz frekansında -12,327dB'dir. Alt frekans için çalışma aralığı 2.79-2.96GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.86-4.03 aralığında değişmiştir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.72GHz ve 3.84GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.65-2.81GHz ile 3.74-3.96GHz olarak ölçülmüştür. 2.72GHz frekansında geri dönüş kaybı

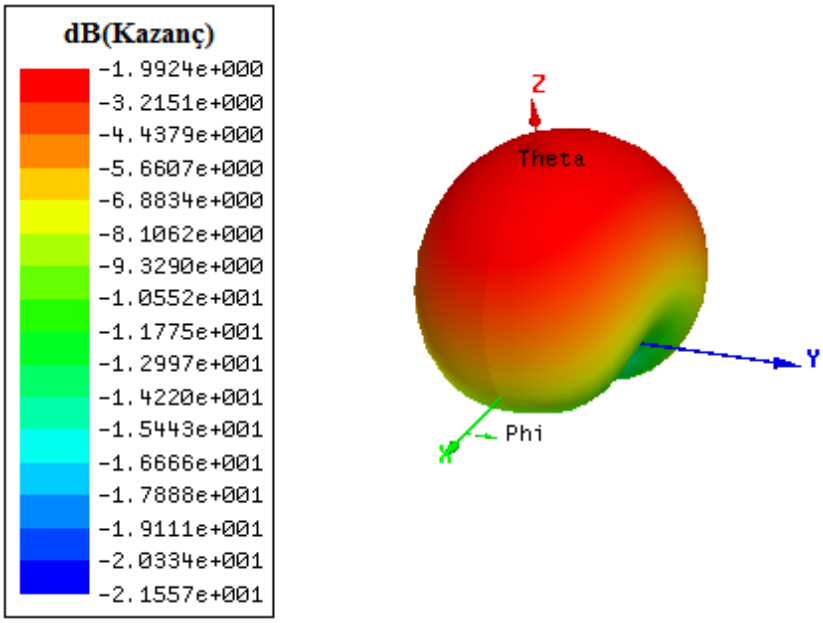
-17dB iken 3.84GHz frekansında -18.606dB'dir. Sonuçlara bakıldığında görülmektedir ki yarık boyutunun azaltılması her iki benzetim programında da antenlerin alt ve üst rezonans frekanslarını neredeyse etkilememektedir. Şekil 7.15'de iki benzetim programı arasındaki çözüm yöntemlerinin farklılığından dolayı oluşan ölçüm sonuçları farklılıkları sunulmuştur. İki benzetim programının sonuçları arasında alt frekans değeri için 0.18GHz, üst rezonans frekansı için 0.06GHz değerinde farklılıklar görülmektedir.



Şekil 7.15 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

Yarık boyutunun 0.5mm olarak değiştirilmesiyle elde edilen antenin bant genişliği HFFS benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.170GHz ve üst frekans aralığı için 0.169GHz olarak gözlemlenirken ve CST benzetim programına göre alt frekans aralığı için 0.166GHz, üst frekans aralığı için ise 0.224GHz olarak hesaplanmıştır.

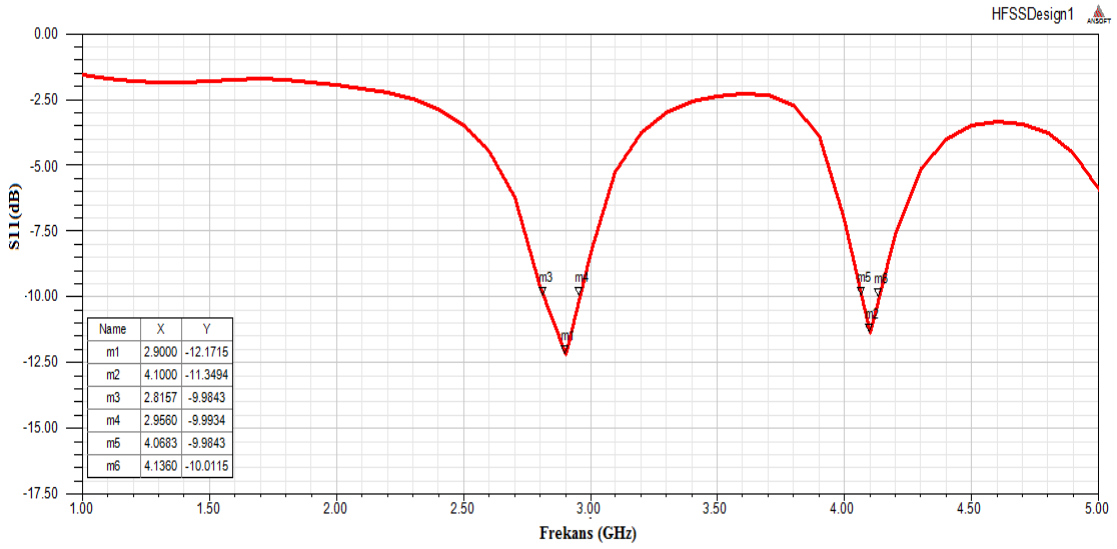
Şekil 7.16'da görüldüğü gibi 0.5mm yarıklı olarak tasarlanan mikroşerit beslemeli antene ait 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç yaklaşık olarak -2dB civarındadır.



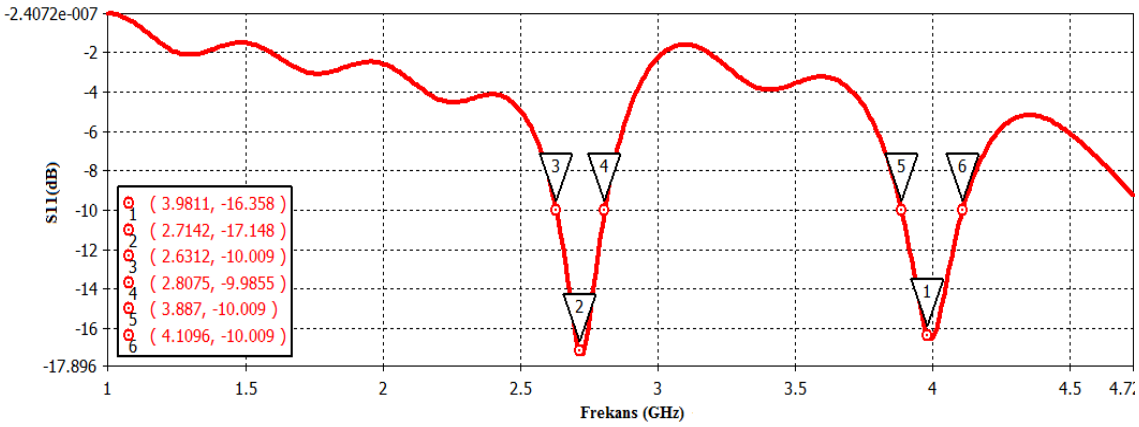
Şekil 7.16 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=0.5 mm için)

7.3 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Mikroşerit Beslemeli Dikdörtgen Yama Antende Yarık Boyutunun 1mm Olarak Değiştirilmesi

Yarık boyutunun azalmasının ölçüm sonuçlarını hangi yönde etkilediğinin incelenmesinin ardından anten üzerine açılan yarığın genişliği 1mm değerine çıkartılarak mikroşerit beslemeli anten tasarımının sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar hem mikroşerit beslemeli farklı genişlikteki yarıklara sahip tasarımların hem de aynı yarık genişliğine sahip koaksiyel beslemeli antenin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



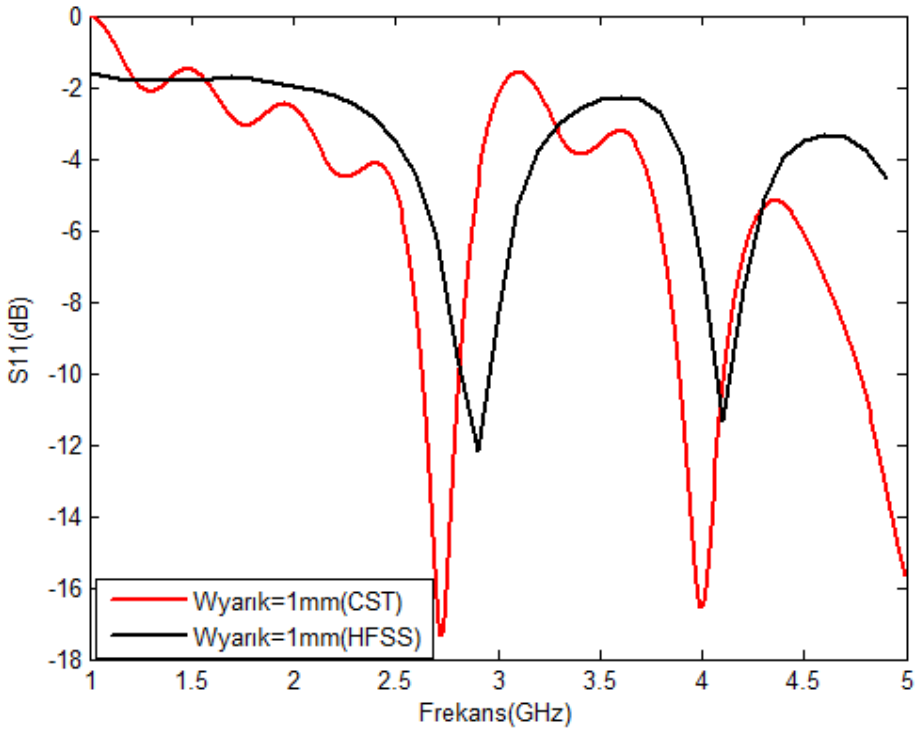
Şekil 7.17 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)



Şekil 7.18 HFSS programında tasarlanan mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin S_{11} parametresi grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)

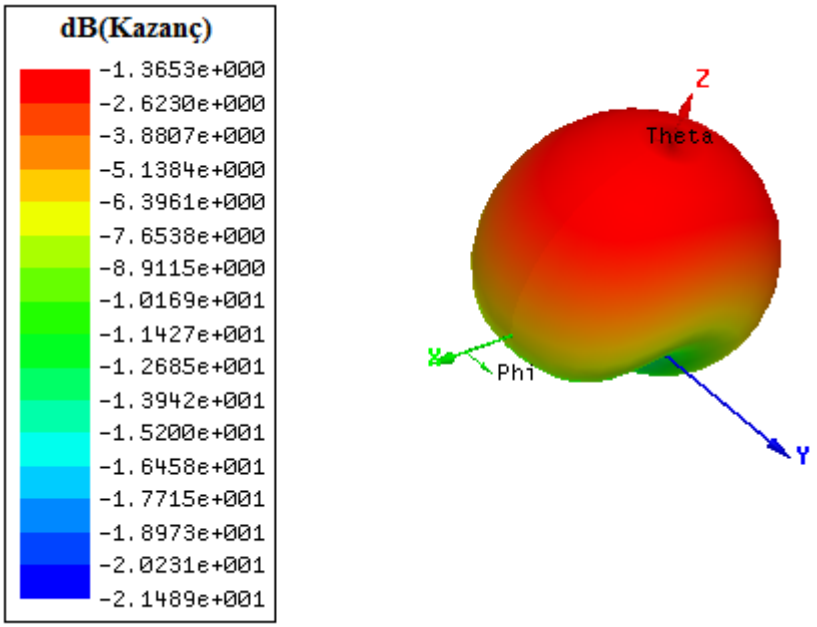
Şekil 7.17-7.18'de verilen geri dönüş kaybı sonuçları incelendiğinde HFSS programında tasarlanan yarıklı antenin alt çalışma frekansının 2.9GHz ve üst çalışma frekansının 4.1GHz olduğu görülmektedir. 2.9GHz frekansında geri dönüş kaybı -12.172dB iken 4.1GHz frekansında -11.349dB'dir. Alt frekans için çalışma aralığı 2.82-2.96GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 4.07-4.14GHz aralığında değişmiştir. CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.71GHz ve 3.98GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.63-

2.81GHz ile 3.89-4.11GHz olarak hesaplanmıştır. 2.71GHz frekansında geri dönüş kaybı -17.148dB iken 3.98GHz frekansında -16.358dB'dir. Sonuçlar incelendiğinde yarık genişliğinin arttırılmasının her iki benzetim programında da rezonans frekanslarında ihmal edilebilecek düzeyde değişikliklerle neden olduğu gözlenmiştir. Benzetim programları arasındaki geri dönüş kaybı ölçüm farklılıkları şekil 7.19'da sunulmuştur. İki benzetim programının sonuçları arasında alt frekans değeri için 0.19GHz, üst rezonans frekansı için 0.12GHz değerinde farklılıklar görülmektedir.



Şekil 7.19 Mikroşerit beslemeli anten için CST ve HFSS programlarından elde edilen S_{11} parametresi sonuçlarının karşılaştırılması ($W_{yarık}$=1 mm için)

Şekil 7.20'de görüldüğü gibi 1mm yarıklı olarak tasarlanan mikroşerit beslemeli antene ait 3 boyut grafiğine göre z yönünde kazanç yaklaşık olarak -1.36dB civarındadır.



Şekil 7.20 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin 3 boyutlu kazanç grafiği ($W_{yarık}$=1 mm için)

Çizelge 7.1-7.4'te hem koaksiyel beslemeli hem de mikroşerit beslemeli tüm yama anten tasarımlarının sonuçları özetlenmiştir.

Çizelge 7.1 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için HFSS sonuçları

$W_{yarık}$ (mm)	f_L (GHz)	f_U (GHz)	BW_L(GHz)	BW_U(GHz)
0.75	2.8	4	0.242	0.201
0.5	2.8	3.9	0.232	0.147
1	2.8	4.1	0.250	0.218
	RL_L(dB)	RL_U (dB)	$VSWR_L$	$VSWR_U$
0.75	-23.907	-32.207	1.109	0.420
0.5	-27.426	-16.363	0.885	1.680
1	-24.438	-21.414	1.043	1.479

Çizelge 7.2 Koaksiyel beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için CST sonuçları

$W_{yarık}$ (mm)	f_L (GHz)	f_U (GHz)	BW_L(GHz)	BW_U(GHz)
0.75	2.72	3.93	0.228	0.252
0.5	2.76	3.84	0.116	0.166
1	2.73	4.03	0.146	0.241
	RL_L(dB)	RL_U (dB)	$VSWR_L$	$VSWR_U$
0.75	-18.789	-21.379	1.256	1.185
0.5	-12.186	-16.363	1.795	1.565
1	-13.156	-22.345	1.564	1.165

Çizelge 7.3 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için HFSS sonuçları

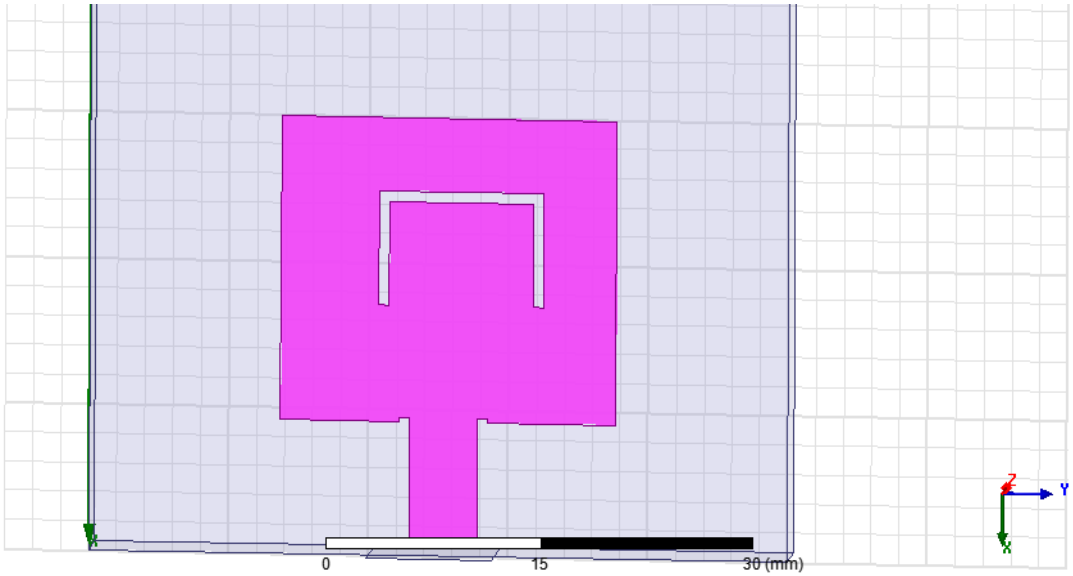
$W_{yarık}$ (mm)	f_L (GHz)	f_U (GHz)	BW_L(GHz)	BW_U(GHz)
0.75	2.9	4	0.201	0.106
0.5	2.9	3.9	0.170	0.169
1	2.9	4.1	0.140	0.067
	RL_L(dB)	RL_U (dB)	$VSWR_L$	$VSWR_U$
0.75	-24.740	-12.619	1.146	1.760
0.5	-13.259	-12.327	1.502	1.694
1	-12.171	-11.349	1.756	1.870

Çizelge 7.4 Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama antenin farklı yarık değerleri için CST sonuçları

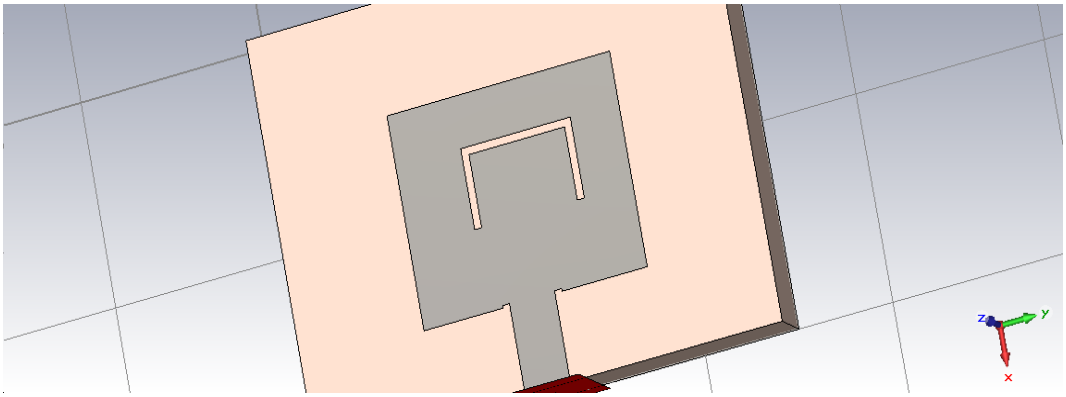
$W_{yarık}$ (mm)	f_L (GHz)	f_U (GHz)	BW_L(GHz)	BW_U(GHz)
0.75	2.71	3.92	0.165	0.230
0.5	2.72	3.84	0.166	0.224
1	2.71	3.98	0.176	0.223
	RL_L(dB)	RL_U (dB)	$VSWR_L$	$VSWR_U$
0.75	-16.155	-17.705	1.596	1.405
0.5	-17	-18.606	1.485	1.210
1	-17.148	-16.358	1.518	1.560

7.4 Mikroşerit Beslemeli 0.75 mm Genişliğinde U Şeklinde Yarıklı Dikdörtgen Yama Antene Yamanın Beslendiği Noktalardan Yarıklar Açma

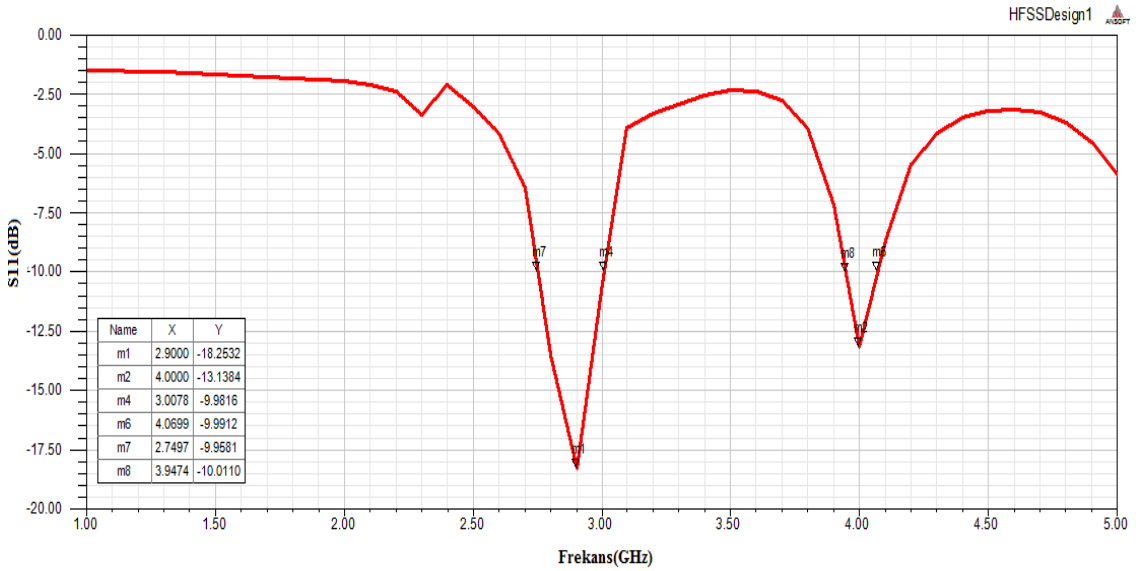
Çizelge 7.1-7.3 incelendiğinde aynı yarık boyutuna sahip koaksiyel besleme ve mikroşerit besleme sonuçları incelendiğinde koaksiyel besleme durumunda bant genişliğinin daha fazla olduğu görülmektedir. Mikroşerit beslemeli antenlerde bant genişliğini arttırmak amacıyla yamanın besleme noktasından yarıklar açmak sıkça kullanılan yöntemlerden birisidir. Burada da, mikroşerit beslemeli olarak tasarlanan antenler içinde hem bant genişliği hem geri dönüş kaybı hem de kazanç olarak en uygun değer sonuçları veren 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip olan anten üzerinde yama ile besleme hattının birleştiği noktadan simetrik olarak yarıklar açılmıştır. Açılan bu yarıkların eni 0.75 mm, boyları 0.25 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 7.21'de HFSS'de, şekil 7.22'de CST'de tasarlanan antenler gösterilmektedir.



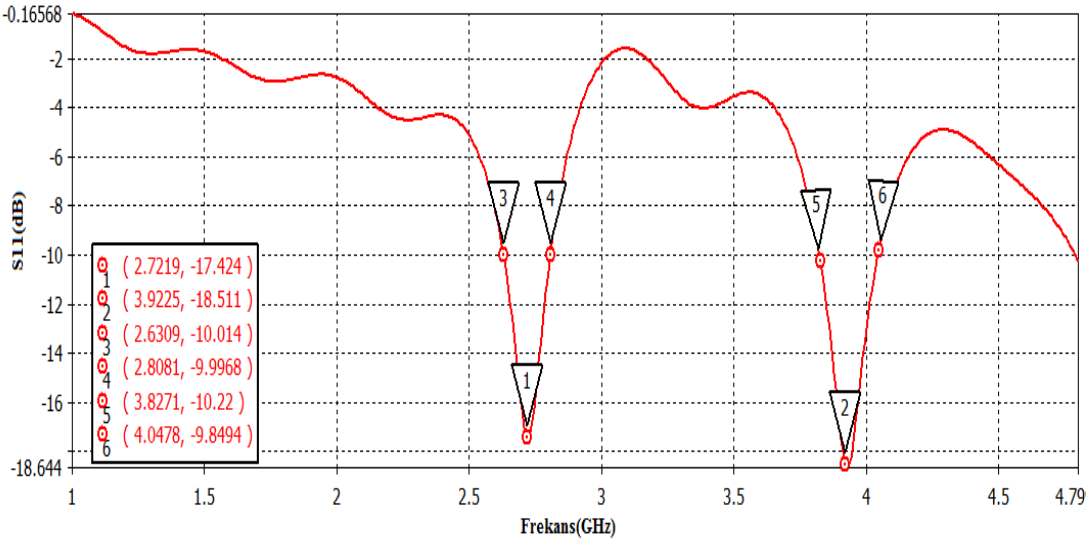
Şekil 7.21 Besleme noktasından yarık açılmış antenin HFSS görüntüsü



Şekil 7.22 Besleme noktasından yarık açılmış antenin CST görüntüsü



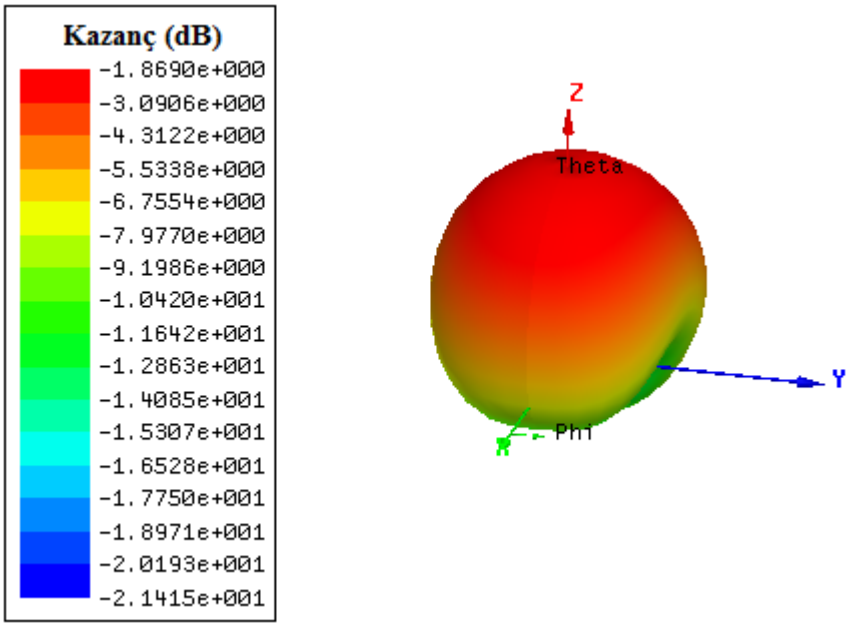
Şekil 7.23 HFSS programında tasarlanan besleme noktasından yarık açılmış antenin S_{11} parametresi grafiği



Şekil 7.24 HFSS programında tasarlanan besleme noktasından yarık açılmış antenin S_{11} parametresi grafiği

Şekil 7.23'de gösterildiği gibi HFSS programında tasarlanan yarıklı antenin alt çalışma frekansı 2.9GHz ve üst çalışma frekansı 4GHz olarak hesaplanmıştır. Yani besleme noktasından yarık açmak antenin rezonans frekanslarını değiştirmemiştir. 2.9GHz frekansında geri dönüş kaybı -18.253dB iken 4GHz frekansında -13.138dB'dir. Alt

frekans için çalışma aralığı 2.75-3.01GHZ aralığında değişirken, üst frekans için bu aralık 3.95-4.07GHz aralığında değişmiştir. Şekil 7.24'de belirtilen CST sonuçlarına göre ise alt ve üst rezonans frekansları sırasıyla 2.71GHz ve 3.92GHz olarak bulunmuş ve çalışma aralıkları da sırasıyla alt ve üst frekanslar için 2.63-2.81GHz ile 3.82-4.05GHz olarak ölçülmüştür. 2.71GHz frekansında geri dönüş kaybı -17.424dB iken 3.92GHz frekansında -18.511dB'dir. 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip mikroşerit beslemeli yama antenin besleme noktasından yarık açılan ve açılmayan durumda sonuçları incelendiğinde besleme noktasından yarıklar açıldığında bant genişliğinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 7.25 Besleme noktasından yarık açılmış antenin 3 boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.25'te gösterildiği gibi besleme noktasından yama açıldığında antenin kazancı -1.86dB civarındadır. 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip mikroşerit beslemeli yama antenin besleme noktasından yarık açılan ve açılmayan durumda sonuçları incelendiğinde besleme noktasından yarıklar açıldığında kazançta azalma olduğu görülmektedir.

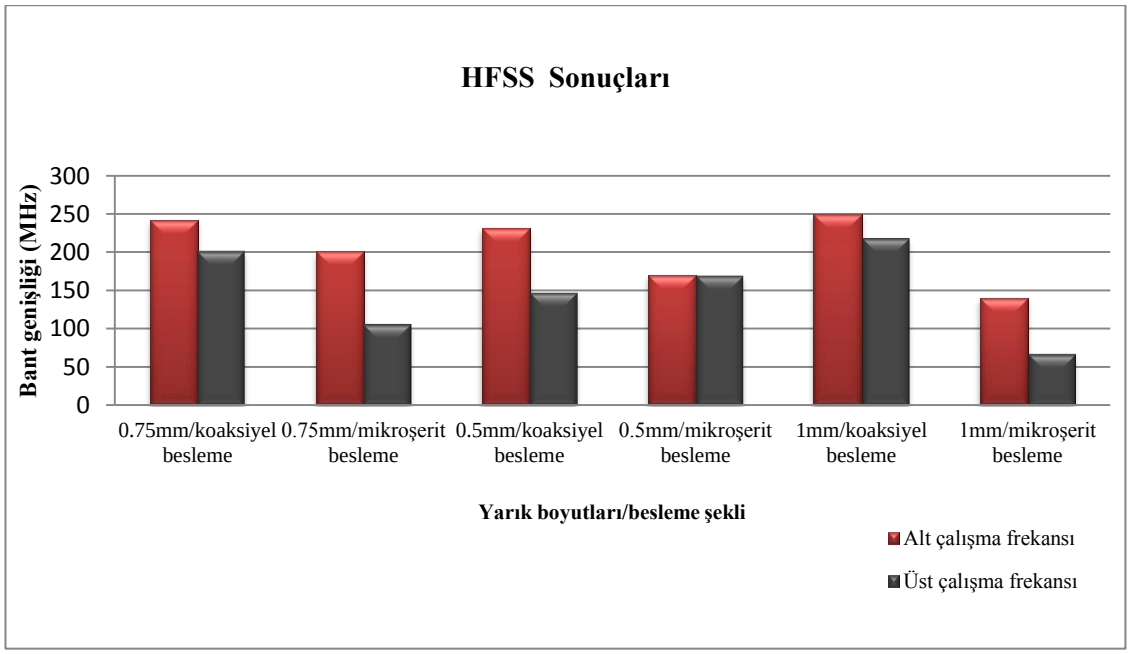
Kullanılacak frekans bandının seçimi kapsama alanı ile yakından ilgilidir. Frekans yükseldikçe dalga boyu kısalacağından kapsama alanı da azalmaktadır. Aynı bölgeyi

kapsayabilmek için düşük frekanslarda tek bir baz istasyonu yeterli iken daha yüksek frekanslarda tek bir baz istasyonun yeterli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle genel olarak dağlık ve kırsal alanlarda düşük frekanslar tercih edilirken zaten yoğun sayıda baz istasyonu ile servis alan metropollerde yüksek frekanslar öncelikli olarak kullanılmaktadır.

8. SONUÇ

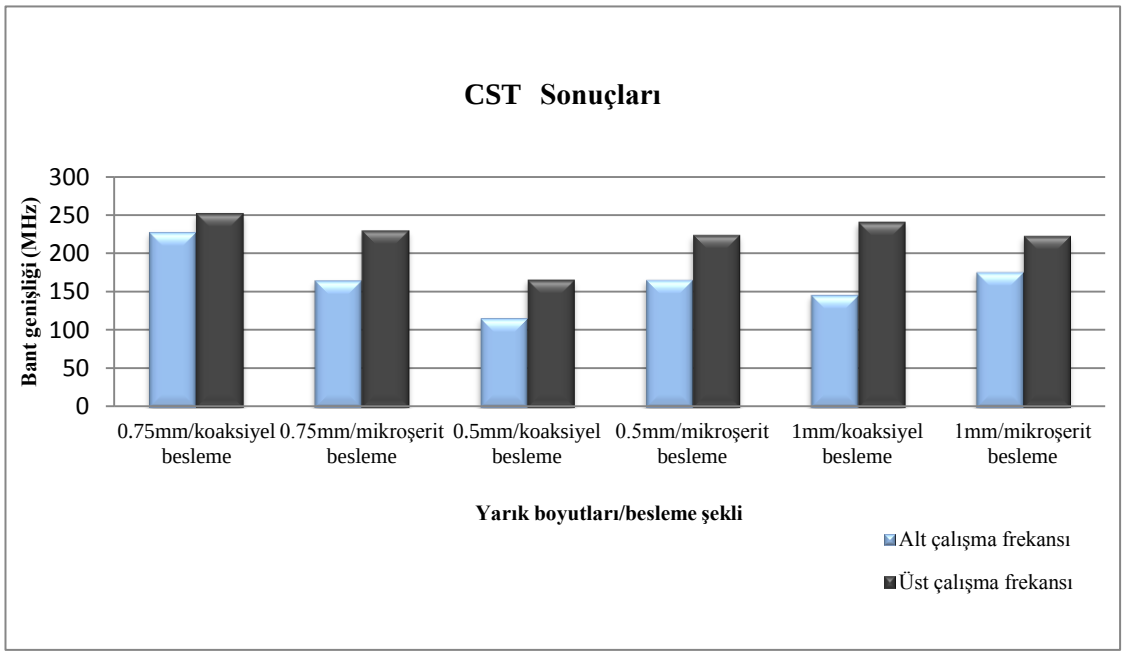
Bu çalışmada LTE bandında veri iletişiminde kullanılabilecek çift frekansta çalışan mikroşerit yama antenler tasarlamak, besleme tekniklerinin ve anten üzerinde eklenen u şeklinde farklı boyutlardaki yarıkların anten performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amaçlanmıştır.

Şekil 8.1'de HFSS programında farklı yarık boyutlarında ve besleme yöntemleriyle tasarlanan tüm antenlerin bant genişliği kıyaslaması yapılmıştır. Görüldüğü gibi HFSS sonuçlarına göre bant genişliği bakımından en iyi sonucu veren anten 1mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli tasarımdır. Ayrıca ilgili grafik incelendiğinde koaksiyel beslemeli anten tasarımlarında yarık genişliği arttıkça bant genişliğinin de arttığı görülmektedir. Mikroşerit beslemeli antenlerde ise en iyi alt çalışma frekansı aralığı 0.75mm genişliğinde yarıklı tasarımda elde edilirken en iyi üst çalışma frekansı bant genişliği 0.5mm genişliğinde yarıklı antende görülmüştür. Genel anlamda HFSS sonuçlarına göre koaksiyel beslemeli tasarımlar mikroşerit beslemeli tasarımlara üstünlük sağlamaktadırlar.



Şekil 8.1 HFSS benzetim programında tasarlanan yama antenlerin bant genişliklerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması

Şekil 8.2 de ise CST'de farklı yarık boyutlarında ve 2 farklı besleme yöntemiyle tasarlanan antenlerin bant genişlikleri kıyaslanmıştır. CST sonuçlarına göre ise koaksiyel beslemeli tasarımlarda en fazla bant genişliği 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip antene aittir. Mikroşerit beslemeli tüm tasarımlarda bant genişlikleri hemen hemen birbirine eşit çıkmakla birlikte alt çalışma frekansında en fazla bant genişliği 1mm genişliğinde yarığa sahip antende görülürken üst çalışma frekansında en fazla bant aralığı 0.75mm genişliğindeki tasarıma aittir.

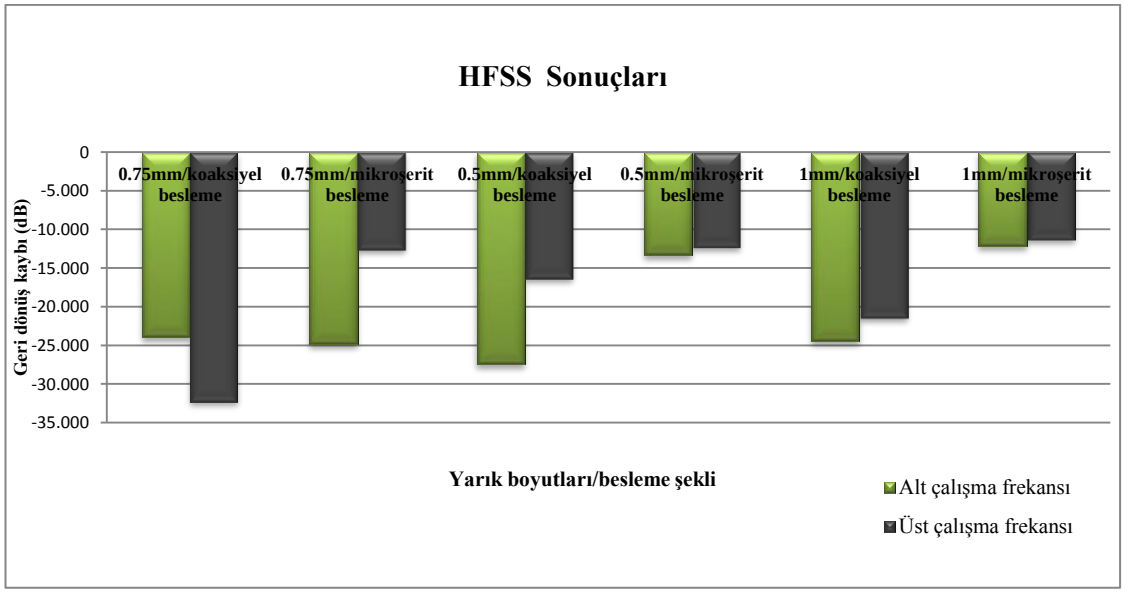


Şekil 8.2 CST benzetim programında tasarlanan yama antenlerin bant genişliklerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması

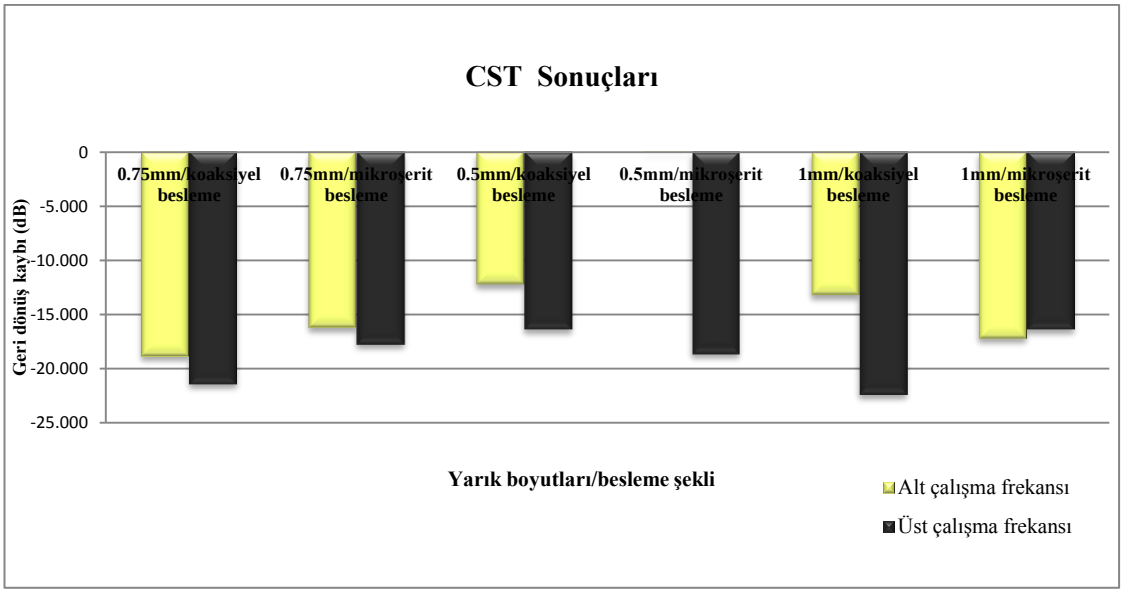
Şekil 8.1-8.2 birlikte incelendiğinde her iki program sonuçlarının içerisinde elde edilen en yüksek bant genişliğine sahip antenin HFSS sonuçlarına göre 1mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli tasarımken, CST' de 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli antendir. Sonuç itibariyle koaksiyel besleme yöntemi genel anlamda bant genişliği bakımından mikroşerit besleme yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şekil 8.3-8.4'te sırasıyla HFSS ve CST tasarlanan tüm antenlerin geri dönüş kayıpları kıyaslanmaktadır. HFSS programında alt çalışma frekansı için en iyi sonucu 0.5mm

genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli anten verirken, üst çalışma frekansında en düşük geri dönüş kaybı değeri 0.75mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli antende görülmektedir. CST sonuçlarına göre ise alt çalışma frekansında en düşük geri dönüş kaybı değeri 0.75mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli antende hesaplanırken, üst çalışma frekansında en iyi sonucu 1mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli anten vermektedir. Her iki programın da sonuçlarına göre hem alt hem de üst çalışma frekansı değerleri birlikte düşünülerek en iyi performansı sağlayan anten incelendiğinde her ikisi için de en optimum sonuçları veren anten 0.75mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli antendir.

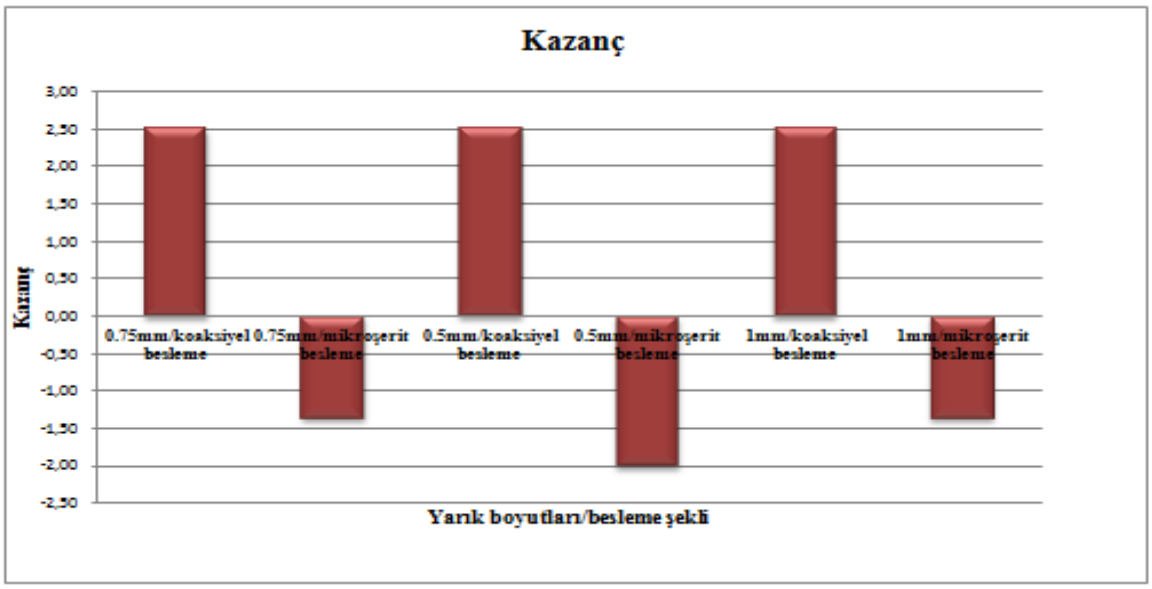


Şekil 8.3 HFSS benzetim programında tasarlanan yama antenlerin geri dönüş kayıplarının yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması



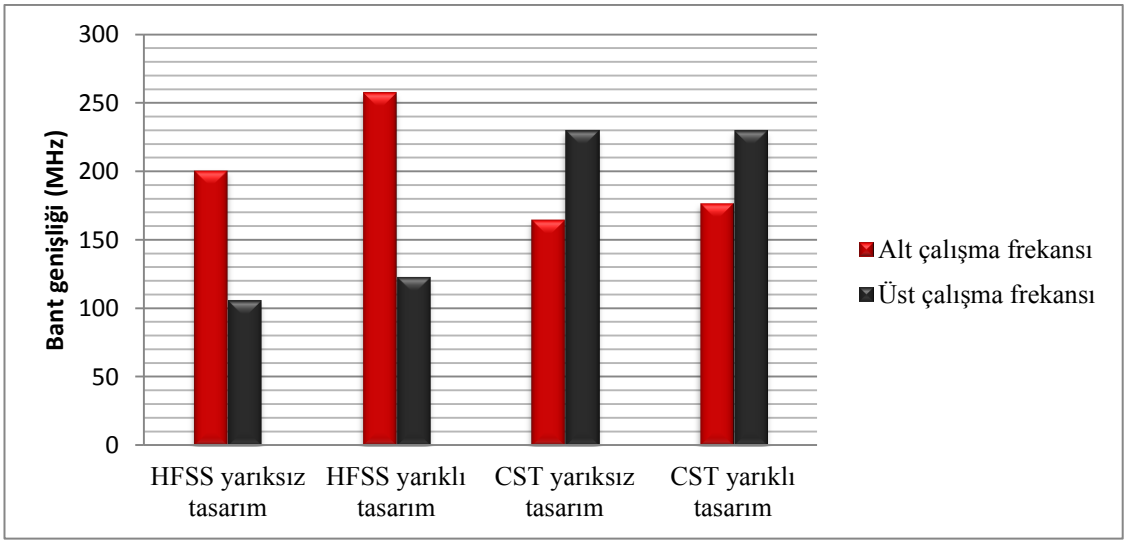
Şekil 8.4 CST benzetim programında tasarlanan yama antenlerin geri dönüş kayıplarının yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslaması

Şekil 8.5'de farklı yarık boyutlarında ve 2 farklı besleme yöntemiyle tasarlanan antenlerin kazançları kıyaslanmıştır. Koaksiyel beslemeli tüm tasarımlarda hemen hemen birbiriyle aynı kazanç değerleri elde edilirken, mikroşerit beslemeli antenlerde 0.75mm ve 1mm genişliğinde yarığa sahip antenler eşit kazanç değerleriyle 0.5mm genişliğinde yarığa sahip antenden daha iyi kazanç değeri sağlamışlardır. Ama genel anlamda koaksiyel beslemeli tasarımlar mikroşerit beslemeli tasarımlara göre çok daha iyi kazanç değerleri vermişlerdir.



Şekil 8.5 Tasarlanan antenlerin kazanç değerlerinin yarık boyutuna ve besleme yöntemine göre kıyaslanması

Çalışmanın son aşamasında mikroşerit beslemeli antenler içerinden kazanç, geri dönüş kaybı ve bant genişliği sonuçlarına göre diğer genişliklerdeki yarıklara sahip antenler göre daha iyi performans veren 0.75 mm genişliğine sahip mikroşerit beslemeli yama antene yamanın beslendiği noktalardan iki tane simetrik yarık açılarak bant genişliğindeki değişim incelenmiştir.



Şekil 8.6 0.75 mm genişliğinde yarığa sahip mikroşerit beslemeli antenin besleme noktalarında yarık olması ve olmaması halinde bant genişliklerinin kıyaslanması

Şekil 8.6'da görüldüğü gibi yamanın besleme noktalarından yarıkların açılması ile bant genişliğinde artış meydana gelmiştir. Öyle ki alt çalışma frekansı bant genişliği değerlerine bakıldığında HFSS sonuçlarına göre en iyi bant genişliğinin elde edildiği 1mm genişliğindeki yarığa sahip koaksiyel beslemeli anten 250 MHz bant genişliğine sahipken besleme noktasına yarık eklenmesiyle elde edilen 0.75 mm genişliğindeki yarığa sahip bu yeni anten 258MHz değerini vererek alt çalışma frekansında tüm tasarımlar içinde en fazla bant genişliğine sahip anten olmuştur. Ayrıca diğer sütunlar da incelendiğinde hem HFSS de hem de CST sonuçlarında elde edilen bant genişliklerinde besleme noktasına yama eklenmesiyle birlikte artış gözlemlenmiştir.

Çalışmada, dikdörtgensel yama antenin boyutu sabit olmak kaydı ile oluşturulan yarıklı yapıların anten ışıma bandı ve performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. 9 farklı tasarım ile LTE bantlarında rezonansa gelen antenler elde edilmiş olup performansları HFSS ve CST benzetim programlarıyla analiz edilmiştir. Yarıklar vasıtasıyla mevcut yapının boyutları değiştirilmeden, çalışma frekansının istenen frekans bantlarına kaydırılması ve ek çalışma frekansları oluşturularak, çoklu-bant operasyon yeteneğinin kazandırılabileceği gözlenmiştir.

Bu çalışmada en iyi değerler bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybı açısından 0.75mm ve 1mm genişliğinde yarığa sahip koaksiyel beslemeli antenlerde elde edilmiştir.

Ayrıca besleme hattının, yamayla birleştiği noktadan açılan yarıkların bant genişliğini arttırdığı görülmüştür.

Yarık boyutları gibi anten boyutlarındaki küçük değişmelerin bant genişliği, kazanç, geri dönüş kaybı ve merkez frekansında önemli değişikliklere neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle mikroşerit antenler için üretim toleransının çok hassas olması gerektiği görülmüştür.

Bundan sonraki aşamalarda, mevcut antenler üzerinde bant genişliğini ve ışıma verimliliğini arttırıcı çalışmalar yapılarak, hizmet kalitesi yükseltilebilir. Bu amaçla

mikroşerit antenlerin dar bant ve düşük verim sorunlarında boyutlarında bazı oynamalar yapılarak iyileştirme sağlanabilir. Kaliteli bir ışıma performansı, kalın bir dielektrik malzeme, düşük dielektrik sabiti ile sağlanır. Sonuç olarak anten boyutları ile performansı arasında optimum nokta yakalanmaya çalışılmalıdır. Yüksek dielektrik sabiti seçimi, antenin boyutlarını küçültür fakat yamanın kenarlarında oluşan saçaklanma etkisinin artmasına sebep olarak, anten performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Fakat boyutları arttırma pahasına, düşük dielektrik sabitine sahip dielektrik malzemeler ile yapılan tasarımlarda daha yüksek verim ve bant genişliği elde edilmektedir. Ayrıca seçilen dielektrik malzemenin kalınlığı artırılarak verimlilik ve bant genişliği artırılabilir. Ancak bu yükseklik artışı aynı zamanda yüzey dalgalarının oluşmasına neden olarak köşelerden ve süreksizlik noktalarında ışıma gerçekleşmesine ve bunun sonucu olarak da güç kaybına, beklenilen ışıma ve polarizasyon karakteristiklerinin bozulmasına sebep olur. Bu nedenle aynı zamanda verimlilik artışı sağlayacak farklı yöntemler de göz önünde bulundurulmalıdır ve performans optimizasyonu sağlanmalıdır. Düşük kazanç ve güç gibi sorunlar ise dizi konfigürasyonların tasarımıyla çözülebilir.

KAYNAKLAR

Akın, M. 2010. LTE (4G) taşımak için kullanılacak teknolojiler. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 102, Kocaeli.

Anonymous. 2000. Web Sitesi: http://www.comsol.com/model/microstrip-patch-antenna-11742, Erişim Tarihi: 25.11.2014.

Anonim. 2006. Web Sitesi: http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Polarizasyon.tr.htm L,Erişim tarihi: 13.11.2014

Anonymous. 1999. Web Sitesi: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomm s/lte-long-term-evolution/lte-frequency-spectrum.php, Erişim Tarihi: 02.12.2014

Anonymous. 2001. Web Sitesi: http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication), Erişim Tarihi: 02.12.2014

Anonymous. 2002. Web Sitesi: http://www.astronwireless.com/topic-archives-antenna-radiation-patterns.asp, Erişim Tarihi: 10.11.2013.

Anonymous. 2009. Web Sitesi: http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference =IP/09/1238, Erişim Tarihi: 06.12.2014.

Anonymous. 2010. Web Sitesi: http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page & pageid=939, Erişim Tarihi: 13.10.2014.

Anonymous. 2013. Web Sitesi: http://www.allsyllabus.com/aj/note/EEE/Antennas_and _Propogation/Unit1/Patterns.php#.VIw0-PmsVZg, Erişim Tarihi: 02.11.2013.

Anonymous. 2014. Web Sitesi: http://europe.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference =IP/09/1238, Erişim Tarihi: 23.01.2014

Arıcan, D. 2012. Geniş bantlı mikroşerit yama anten tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 86, İstanbul

Bahai A.R.S., Saltzberg B.R. ve Ergen, M. 2004.Multi carrier Digital Communications Theory and Applications of OFDM, Springer Publishing, 423, Newyork.

Balanis, C.A. 2005.Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Ltd, 1136, New Jersey.

Başaran, C.S. 2008. Kablosuz haberleşme uygulamaları için yarık-halka mikroşerit anten tasarımı. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 79, Kocaeli

Berlemann, L., Dimitrakopoulos, G., Moessner, K. and Hoffmeyer, J. 2005. Cognitive Radio and Management of Spectrum and Radio Resources in Reconfigurable Networks, Wireless World Research Forum, Working Group 6 White Paper, 13 April, Paris, France.

Bialkowski M. 2006. Research into Multiple Element Antennas to Enhance Performance of Wireless Communication Systems, 16. International Conference on Microwaves, Radar, Wireless Communications, 22-24 May, Vol.3, 1071-1082, Krakow.

Biçer, M.B. 2011. WLAN/WiMAX uygulamaları için kompakt mikroşerit anten tasarımı ve gerçeklenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 96, Mersin.

Çakır, G. 2004. Gezgin iletişim sistemleri için huzme yönlendirmeli mikroşerit dizi anten tasarımı. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 95, Kocaeli.

Çetme, E. 2009. Yarıklı mikroşerit yama anten dizaynı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 63, İstanbul.

Çınar, V. 2010. Analysis of parameters in long term evolution (LTE) technology. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 63, İstanbul.

Gökçe, B. 2009. UMTS uyumlu cep telefonları için mikroşerit yama anten tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, 91, İstanbul.

Kütük, H. 2012. 3.3GHz Mikroşerit anten tasarımı ve farklı besleme yöntemleri için analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 71, Sakarya.

Lawyer, E. 1997. The suitability of OFDM as a modulation technique for wireless telecommunications with a CDMA comparison. Ph. D. Thesis, James Cook University, Computer System Engineering Department, 95, USA.

Martin, J., Bo L., Pressly W. and Westall, J. 2010. WiMAX Performance at 4.9GHz, IEEE Aerospace Conference, 6-13 March, 1-8, Big Sky, MT.

Osmanca, M.S. 2012. 4G teknolojisinde kullanılmakta olan WiMax ve 3GPP LTE sistemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 76, Kahramanmaraş.

Öcalan, A. 2010. Çift kutuplu kare mikroşerit yama anten tasarımı ve MIMO uygulamalarındaki ilinti/spektral verimlilik analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 172, Ankara.

Sauter, M. 2011. Beyond 3G – Bringing Networks, Terminals and the Web Together: LTE, WiMAX, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0, John Wiley & Sons Ltd, 366, London.

Tören, M. 2013. Çok girişli çok çıkışlı dikken frekans bölmeli çoğullama (ÇGÇÇ-DFBÇ) sistemlerinde tepe güç/ortalama güç oranı azaltımı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 83, Kayseri.

Van Nee, R. and Prasad, R. 2000. OFDM for Wireless Multimedia Communications. Artech House Publisher, 276, USA.

Yavuz, B. Ve Soydaş Çakır, H. 2010. Mobil Genişbantın Gelişimi ve 4. Nesil (4G) Mobil Haberleşme Sistemi LTE'nin Değerlendirilmesi, Akademik Bilişim 2010 Konferansı, 10-12 Şubat, Muğla Üniversitesi, Muğla.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilara YALÇIN
Doğum Yeri : Tokat
Doğum Tarihi : 22.03.1987
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Tokat Anadolu Lisesi (2005)
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi /Mühendislik Fakültesi /Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği (2010)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2010-Temmuz 2015)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Vodafone Telekomünikasyon A.Ş./ Ran-Noc Level 1 Operasyon Mühendisi/2011-2012

Başkent Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi/ 2012-…

Ulusal Kongre Sunum

Uzun Vadeli Evrim Uygulamaları için Çift Frekanslı Anten Tasarımı / IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (2014).