

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDA
Nida GÜVEN Tarafından Hazırlanan

DAİRESEL MONOPOL TABANLI UWB ANTENLER ÜZERİNDE OLUŞTURULAN U TİPİ
YARIKLARIN ANTENİN İŞİMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

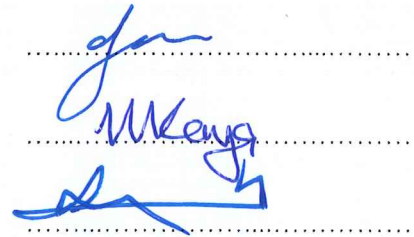
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 12 / 2019 gün ve 1834 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Erkan AFACAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Bu tez çalışmasında geniş bant aralığına sahip Ultra Geniş Bant haberleşmesinin bazı dar bant haberleşme sistemleri ile girişimini en aza indirecek iki ve üç bant çentikli UWB anten tasarımı yapılmıştır.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her an benimle olan canım oğlum Ahmet Gökay GÜVEN'e en içten sevgilerimi sunarım. Son olarak yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve bana her zaman yol gösteren eşim sayın Selçuk GÜVEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Nida GÜVEN

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dairesel Monopol Tabanlı UWB Antenler Üzerinde Oluşturulan U Tipi Yarıkların Antenin Işıma Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayhan Yazgan’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/01/2020

Nida GÜVEN

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| ÖNSÖZ | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... | IV |
| İÇİNDEKİLER..... | V |
| ÖZET | VII |
| SUMMARY | VIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | IX |
| TABLolar DİZİNİ..... | XII |
| SEMBOLLER DİZİNİ | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Literatür | 2 |
| 1.3. Antenler ile İlgili Temel Kavramlar | 5 |
| 1.3.1. Anten Işıma Bölgeleri..... | 11 |
| 1.3.2. Işıma Diyagramı | 12 |
| 1.3.3. Güç Yoğunluğu..... | 13 |
| 1.3.4. Işıma Şiddeti | 14 |
| 1.3.5. Yöneltilik | 14 |
| 1.3.6. Hüzme Genişliği | 15 |
| 1.3.7. Işıma Verimi | 15 |
| 1.3.8. Kazanç | 16 |
| 1.3.9. Kutuplanma..... | 16 |
| 1.3.10. Geri Dönüş Kaybı | 17 |
| 1.3.11. Anten Empedansı..... | 17 |
| 1.3.12. Bant Genişliği | 18 |
| 1.3.13. Etkin Anten Uzunluğu | 19 |
| 1.3.14. Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)..... | 19 |
| 1.3.15. Etkin Açıklık..... | 19 |
| 1.3.16. Friis Denklemi | 20 |
| 1.3.17. Maxwell Denklemleri | 20 |
| 1.4. UWB Teknolojisi..... | 21 |

| | | |
|------|--|----|
| 2. | YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 26 |
| 2.1. | Yarık Geometrisi | 26 |
| 2.2. | Anten-1 | 28 |
| 2.3. | Anten-2 | 30 |
| 2.4. | Anten-3 | 31 |
| 3. | BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 33 |
| 4. | SONUÇLAR..... | 38 |
| 4.1. | Anten-1 | 38 |
| 4.2. | Anten-2 | 42 |
| 4.3. | Anten-3 | 45 |
| 4.4. | Anten-1, Anten-2, Anten-3 Işıma Örüntüleri | 48 |
| 4.5. | Anten-3'e Ait Işıma Örüntüleri | 57 |
| 4.6. | Anten-3 Üç Boyutlu Işıma Örüntüleri | 75 |
| 5. | ÖNERİLER..... | 76 |
| 6. | KAYNAKLAR..... | 77 |
| | ÖZGEÇMİŞ | |

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DAİRESEL MONOPOL TABANLI UWB ANTENLER ÜZERİNDE OLUŞTURULAN U TİPİ
YARIKLARIN ANTENİN İŞİMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Nida GÜVEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN
2020, 79 Sayfa

Bu çalışmada U tipi yarıklar kullanarak UWB sistemleri için haberleşme girişimlerini azaltılabilecek anten tasarımları önerilmiştir.

UWB sistemler düşük güç kullanarak kısa mesafede yüksek kapasitede haberleşmeye olanak sağlamaktadır. Ancak iletişimin sağlandığı bant aralığında çeşitli dar bant sistemler bulunmaktadır. UWB sistemlerinin bu sistemler ile girişim yapmaması için spektrum koşullarına göre UWB antenin ya da haberleşme sisteminin bazı bantları çeşitli tekniklerle zayıflatılmaktadır. Literatürde çeşitli şekillerde yapılar kullanılarak ya da toprak zemin üzerinde birtakım değişiklikler yapılarak farklı bantlar zayıflatılabilmektedir. Bu tez çalışmasının birinci kısmında antenler ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra kısaca UWB haberleşmesi konusunda ve antenlerin bu noktadaki önemi hususunda değerlendirmeler yapılmıştır. Devamında literatür taraması özeti sunulmuş ve özellikle UWB antenler konusunda literatürde öne çıkan çalışmalar irdelenmiştir. İkinci kısımda önerilen U tipi yarıklık yöntemi açıklanmış ve yarıklık boyunun frekans üzerindeki etkisi matematiksel olarak açıklanmıştır. Yapılan çalışmalar önerilen antenler doğrultusunda sınıflandırılmış ve benzetim ile deneysel çalışmalar birlikte sunulmuştur. Çalışmada dairesel monopollü anten ile standartlarda belirtilen 3.1 – 10.6 GHz UWB bant genişliği sağlanmıştır. Daha sonra bant durdurma özelliği olmayan, iki bant durdurucu ve üç bant durdurucu antenlerin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. WLAN, WIMAX ve X bant uydu sistemleriyle girişimi engellemek için ikisi ışık yama üzerinde bir tanesi mikroşerit besleme hattı üzerinde U şekilli yarıklar oluşturulmuştur. Deneysel laboratuvar sonuçları ile CST microwave studio programı üzerinde oluşturulan benzetim sonuçlarının UWB bandının çoğunda birbirine uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak benzetim programı üzerinde tek bant durdurucu anten oluşturulmuş ve çeşitli parametreler değiştirilerek yarıkların sisteme etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: UWB anten, UWB haberleşme, bant filtreleme, U tipi yarıklık filtreleme, WLAN, WIMAX, X bant

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF U TYPE SLOTS ON THE CIRCULAR MONOPOLE BASED UWB
ANTENNA RADIATION PROPERTIES

Nida GÜVEN

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering
Advisor: Dr. Ayhan YAZGAN
2020, 79 Pages

In this study, antenna designs which can reduce communication interferences for UWB systems by using U type slots are proposed.

UWB systems enable high capacity communication over short distances using low power. However, there are various narrow band systems in the bandwidth where communication is provided. Some bands of the UWB antenna or communication system are weakened by various techniques according to the spectrum conditions so that the UWB systems do not interfere with these systems. In the literature, various types of bands can be attenuated by using slot structures, SRR, CSRR, EBG, stub structures and parasitic additional structures in several ways, or by making a number of changes on the ground plane. In the first part of this thesis, after giving general information about antennas, it is briefly evaluated about UWB communication and the importance of antennas at this point. In the following, a summary of the literature review is presented and the most prominent studies in the literature on UWB antennas are discussed. In the second part, the proposed U type slot method is explained and the effect of slot length on frequency is explained mathematically. The studies are classified according to the proposed antennas and the simulation and experimental studies are presented together. In this study, 3.1 - 10.6 GHz UWB bandwidth is provided with circular monopole antenna. Then, the design and production of two band stop antennas and three band stop antennas were realized. To prevent interference with the WLAN, WIMAX and X band satellite systems, two U-shaped slots are formed on the radiating patch and one on the microstrip feed line.

It is observed that the experimental laboratory results and the simulation results generated on the CST microwave studio program are compatible with most of the UWB bands. In addition, a single band stop antenna is created on the simulation program and the effect of the slots on the system is examined by changing various parameters.

Keywords: UWB antenna, UWB communication, band filtering, U type slot filtering, WLAN, WIMAX, X band

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|---|----|
| Şekil 1. Tasarlanan dipol anten | 6 |
| Şekil 2. İki elemanlı anten dizisi | 7 |
| Şekil 3. Mikroşerit anten önden ve arkadan görünüşü | 10 |
| Şekil 4. Anten Işıma Bölgeleri | 11 |
| Şekil 5. Küresel koordinat sistemine yerleştirilmiş monopol anten | 12 |
| Şekil 6. Antenlere ait ışımaya örüntüleri: a. İzotropik b. Omni c. Yönlü | 13 |
| Şekil 7. Tasarlanan dipol antene ait ışımaya örüntüsü | 15 |
| Şekil 8. UWB antenin S11 değerinin frekansla değişimi | 18 |
| Şekil 9. Haberleşme sistemleri için UWB iç mekân emisyon sınırları | 23 |
| Şekil 10. Bina içi UWB donanım altyapısı | 25 |
| Şekil 11. U şeklindeki yarıklar ve uzunluklarını ifade eden semboller | 27 |
| Şekil 12. Birincil Anten Geometrisi | 29 |
| Şekil 13. Üretilen Birincil Anten ön ve arka fotoğrafı | 30 |
| Şekil 14. İki bant çentikli anten geometrisi | 30 |
| Şekil 15. Üretilen iki bant çentikli anten | 31 |
| Şekil 16. Üç bant çentikli anten geometrisi | 31 |
| Şekil 17. Üretilen üç bant çentikli anten | 32 |
| Şekil 18. Benzetimde oluşturulan 1 bant çentikli anten | 33 |
| Şekil 19. UWB antenin dairesel ışımaya yüzeyi çapı değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değeri | 33 |
| Şekil 20. UWB Monopol antenin dielektrik tabakasının dielektrik sabiti değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değeri | 34 |
| Şekil 21. UWB Monopol antenin dielektrik tabakasının kalınlığı değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değeri | 34 |
| Şekil 22. UWB Monopol antenin mikroşerit besleme hattı genişliği değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değeri | 35 |
| Şekil 23. UWB Monopol antenin ışımaya yaması üzerinde oluşturulan yarığın genişliği değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değeri | 35 |
| Şekil 24. Yarık şeklinin ve konumunun değişiminin S11 – frekans grafiğine yansımaları (a), (b), (c), (d), (e), (f) | 36 |
| Şekil 25. Anten-1'e ait S11-frekans grafiği | 38 |
| Şekil 26. Anten-1'e ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11-frekans grafiği karşılaştırılması | 39 |
| Şekil 27. Anten-1'e ait kabul edilen güç- frekans grafiği | 40 |

| | |
|---|----|
| Şekil 28. Anten-1 VSWR-frekans grafiği..... | 40 |
| Şekil 29. Birincil anten (a) 3.5 GHz, (b) 8 GHz frekanslarında yüzey akım yoğunlukları benzetim sonuçları | 41 |
| Şekil 30. Anten-2'ye ait S11-Frekans grafiği..... | 42 |
| Şekil 31. Anten-2'ye ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11-frekans grafiği karşılaştırılması..... | 42 |
| Şekil 32. Anten-2'ye ait VSWR-Frekans grafiği | 43 |
| Şekil 33. Anten-2'ye ait kabul edilen güç-frekans grafiği..... | 43 |
| Şekil 34. Anten-2'ye ait (a) 3.5 Ghz, (b) 5.5 Ghz frekanslarında yüzeysel akım yoğunlukları..... | 44 |
| Şekil 36. Anten-3'e ait S11- Frekans grafiği..... | 45 |
| Şekil 37. Anten-3'e ait VSWR- Frekans grafiği | 45 |
| Şekil 38. Anten-3'e ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11 - frekans grafiği karşılaştırılması..... | 46 |
| Şekil 39. Anten-3'e ait kabul edilen güç frekans grafiği..... | 46 |
| Şekil 40. Anten-3'e ait (a) 8 GHz, (b) 5.5 GHz, (c) 3.5 GHz frekanslarında yüzey akım yoğunlukları..... | 47 |
| Şekil 41. Anten-1, $\phi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 48 |
| Şekil 42. Anten-1, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 49 |
| Şekil 43. Anten-1, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 50 |
| Şekil 44. Anten-2, $\phi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 51 |
| Şekil 45. Anten-2, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 52 |
| Şekil 46. Anten-2 $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 53 |
| Şekil 47. Anten-3, $\phi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 54 |
| Şekil 48. Anten-3, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 55 |
| Şekil 49. Anten-3 $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 56 |
| Şekil 50. Anten-3, $\phi=0$, $f=3.4$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 57 |
| Şekil 51. Anten-3, $\phi=0$, $f=4.3$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 58 |
| Şekil 52. Anten-3, $\phi=0$, $f=5.3$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 59 |
| Şekil 53. Anten-3, $\phi=0$, $f=6$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 60 |
| Şekil 54. Anten-3, $\phi=0$, $f=7.5$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 61 |
| Şekil 55. Anten-3, $\phi=0$, $f=8.5$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 62 |
| Şekil 56. Anten-3, $f=3.4$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 63 |
| Şekil 57. Anten-3, $f=4.3$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 64 |
| Şekil 58. Anten-3, $f=5.3$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 65 |
| Şekil 59. Anten-3, $f=6$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Şekil 60. Anten-3, $f=7.5$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 67 |
| Şekil 61. Anten-3, $f=8.5$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 68 |
| Şekil 62. Anten-3, $f=3.4$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel c) Anten pozisyonu..... | 69 |
| Şekil 63. Anten-3, $f=4.3$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel c) Anten pozisyonu..... | 70 |
| Şekil 64. Anten-3, $f=5.3$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel c) Anten pozisyonu..... | 71 |
| Şekil 65. Anten-3, $f=6$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel c) Anten pozisyonu..... | 72 |
| Şekil 66. Anten-3, $f=7.5$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 73 |
| Şekil 67. Anten-3, $f=8.5$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu..... | 74 |
| Şekil 68. (a) Anten-3 pozisyonu, (b) $f=3.4$ GHz, (c) $f=4.3$ GHz, (d) $f=5.3$ GHz..... | 75 |



TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Tablo 1. UWB sistemlerde izin verilen iç ve dış mekan güç spektral yoğunlukları..... | 24 |
| Tablo 2. FR-4 malzemenin frekansla dielektrik sabitinin değişimini gösteren tablo..... | 26 |
| Tablo 3. Yarık geometrisine ait uzunluk parametreleri..... | 27 |
| Tablo 4. Birincil Anten Ölçüleri..... | 29 |



SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|-----------------|--|
| B | Bant Genişliği |
| Y | Yöneltim |
| dB | Desibel |
| SNR | Sinyal gürültü oranı |
| f | Frekans |
| FR4 | Flame Retardant 4 (Alev Geciktirici 4) |
| G | Kazanç |
| RL | Geri Dönüş Kaybı (Return Loss) |
| P _{ış} | Toplam ışımaya gücü |
| W _{ış} | Işınlanan ortalama güç |
| PLF | Polaizasyon kaybı faktörü |
| U | Işımaya şiddeti |
| p _{2p} | Uçtan uça iletişim |
| WLAN | Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network) |
| Γ | Yansıma katsayısı |
| ε _r | Bağıl elektriksel geçirgenlik |
| SRR | Split Ring Rezonator (Ayrık Halka Rezonatörü) |
| EBG | Electronic Band Gap (Elektronik Bant Açıklığı) |
| DRA | Dielectric Rezonator Antenna (Dielektrik Rezonatör Anten) |
| AMC | Artificial Magnetic Conductor (Yapay Manyetik İletken) |
| UWB | Ultra Wide Band (Ultra Geniş Bant) |
| CSRR | Complementary Split Ring Resonator (Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatörü) |
| VSWR | Voltage Standing Wave Ratio (Gerilim Duran Dalga Oranı) |
| MIMO | Multi Input Multi Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış) |
| GSM | Global System For Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem) |
| GPRS | General Packet Radio Service (Paket Anahtarlama Radyo Hizmetleri) |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk) |
| WMAN | Wireless Metropolitan Area Network |
| WWAN | Wireless Wide Area Network |

| | |
|------|---|
| WPAN | Wireless Personal Area Network |
| SMA | SubMiniature version A |
| DOA | Direction of Arrival (İşaret Geliş Açışı) |
| RCS | Reach Communication Services (Zengin İletişim Servisleri) |



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kablosuz iletişim Maxwell ve Hertz' in elektromanyetik dalgalarla ilgili çalışmalarının ardından Tesla'nın bu dalgalar üzerinden veri aktarıldığını göstermesi ile başlamıştır. 1898 yılında Marconi bir gemiden sahille haberleşerek ilk radyo kullanımını gerçekleştirmiştir. Ardından gelişen teknolojiyle 1930 yılı sonlarına doğru geniş bir kablosuz veri transfer ağı oluşturulmuştur [1].

Kısa mesafe haberleşme sistemleri nesnelerin ve kişilerin yüksek hızlarda veriye erişme ihtiyacından dolayı son yıllarda dikkat çekmeye başlamıştır. Bu ihtiyacın zaman içerisinde daha da artacağı düşünüldüğünde kısa mesafe haberleşme sistemleri yüksek bant genişliğine sahip olup gürültü altı düşük güç haberleşmesine olanak sağladığından dar bantlı haberleşme sistemlerine göre özellikle kısa mesafelerde avantajlıdırlar. Bu sebepten dolayı tercih edilmeye devam etmektedirler [2-3].

Tahsis edilen bantlar üzerinde verimli bir şekilde yayılabildiğinden ve tüm çalışma frekansı bandında tutarlı radyasyon özellikleri gösterebildiğinden, kablosuz iletişim, algılama, radar sistemleri ve mikrodalga görüntüleme gibi çeşitli alanlarda uygulanmaya devam etmektedir [4]. UWB sistemleri kısa mesafelerde yüksek hızlı veri aktarımına olanak sağlamaktadırlar [5, 6]. Ayrıca son derece düşük iletim enerjisi nedeniyle düşük güç tüketimine sahiptirler. Düşük güç tüketimi pil ömrünün uzaması anlamında taşınabilir aygıtlar için önemli bir ayrıntıdır. İlave olarak UWB antenlerin sahip olduğu küçük boyut ve uygun maliyet günümüz teknolojisinde aranan özelliklerdir.

Günümüzde 10 GHz altındaki spektrum farklı standartların getirdiği kısıtlara sahip çeşitli iletişim teknolojilerini barındırmaktadır. Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN); GSM, GPRS ya da WiMAX gibi noktadan noktaya kablosuz geniş bant erişimi sağlayan Kablosuz Metropol Alan Ağları (WMAN); ev, ofis gibi küçük alanlarda Bluetooth, homeRF ve UWB teknolojilerini kullanarak elektronik cihazları kablosuz olarak birbirine bağlayan WPAN sistemleri bunlara örnek verilebilir [7]. Yukarıda özetlenen ve günümüzde sıklıkla kullanılan mevcut dar bant haberleşme sistemleri UWB spektrumu ile istenmeyen girişimler meydana getirebilmektedir. Literatürde etkileşen bantları ortadan kaldırmak için farklı yöntemler bulunmaktadır.

Çalışma ortamında izlenen haberleşme bandı ile UWB bandını ayırtmak için özel filtreler geliştirmek ya da donanımlar tasarlamak bu probleme bir çözüm getirirse de maliyet ve karmaşıklık nedeniyle farklı çözümler her zaman araştırma konusu olmuştur. Ek donanım tasarlamak, antenin yeniden yapılandırılmadan zayıflatılacak sinyalin frekansını yeniden ayarlayabilme olanağı sağlar. Bu nedenle mevcut UWB sisteminin özelliklerine göre tasarım yapılması uygun olacaktır. UWB ile mevcut haberleşme sistemleri arasındaki girişim problemine düşük maliyetli ve tutarlı çözüm üretmek için son zamanlarda özel anten tasarımları tercih edilmektedir. Literatürde genellikle antenler üzerinde farklı şekillerde yarıklar kullanılarak o bölgede bir rezonans oluşması sağlanarak anten düzleminde bazı bozulmalar yapılmaktadır. Bunun yanında parazit ek yapıların antenler üzerine eklenmesini sağlayarak da anten ışınımını istenilen şekilde değiştirmek mümkündür. Literatürde özellikle C, π , U, dairesel, spiral şekilli yarıklar ya da özel şekilli yapılar ile çalışmalar [8] olduğu gibi elektromanyetik bant aralıklı yapı (EBG) kullanarak istenmeyen frekansları filtreleyen yapılar da mevcuttur [10].

1.2. Literatür

2005 yılında yapılan çalışma da düzlemsel monopol anten üzerinde üç tane U şeklinde yarıklar oluşturularak iki bant için zayıflama elde edilmiştir [11]. Monopol anten 20x27 mm boyutunda olup 2 GHz ile 5.7 GHz arasında -10 dB' nin altında geri dönüş katsayısına sahiptir. Merkez yarıklar 3.03 GHz merkez frekanslı bant üzerinde etkilidir. Merkez yarıkların iki yanına birbirlerine simetrik biçimde konumlandırılmış yarıklar ise 4.78 GHz merkez frekanslı bant üzerinde etkilidir.

2009 yılında M. Ojaroudi ve üç arkadaşı tarafından 5.02 ile 5.97 GHz frekans bandını zayıflatma özelliğine sahip 12 mm en ve 19 mm boy uzunluğunda basılı düzlemsel anten önerilmiştir [12]. Bu anten 2.85 GHz ve 16.73 GHz arasında çalışmaktadır. Zayıflama, kare şeklindeki ışınım yaması üzerine oluşturulan iki adet U şeklindeki yarıklar ile sağlanmaktadır. Çalışmada toprak düzlemine T şeklinde kol eklenerek bant genişliği yüzde yüz kırk arttırılmıştır.

2009 yılında yapılan çalışmada üç bant zayıflatma özelliğine sahip düzlemsel monopol UWB anten önerilmiştir [13]. Önerilen anten 2.9 GHz ve 13 GHz frekansları arasında bant genişliğine sahiptir. 3.3 GHz ile 3.9 GHz, 5.2 GHz ile 5.35 GHz ve 5.8 GHz ile 6.0 GHz frekans bantlarında zayıflama; ışınım yaması üzerine π şeklinde yarıklar, antenin

arka tarafına yarı sekizgen şeklinde rezonans halka ve topraklama düzlemine konumlandırılan yarık ile sağlanmıştır.

2011 Yılında yapılan çalışmada düzlemsel UWB anten üzerine iki adet U şeklinde yarık oluşturularak 3.3 GHz ile 3.5 GHz ve 5 GHz ile 6 GHz bantlarında zayıflama sağlanmıştır [14]. Antenin bant genişliğini arttırmak için anten şeklinde değişiklikler yapılmıştır.

2012 Yılında kare yarık antenin besleme hattına iki tane L şeklinde yarık konularak rezonans aralığı arttırılmış ve daha geniş çalışma bandı (3.04 GHz ile 11.17 GHz) olan anten elde edilmiştir. Ayrıca ışılan düzlem üzerine iki tane yarık oluşturulup arasına PIN diyot, metal şerit ve 100 pF değerinde kondansatör konularak elektronik anahtarlama sistemiyle yeniden yapılandırılabilir bir yapı oluşturulmuştur. Diyot üzerinden akım geçmez iken 5.03 ile 5.94 GHz arası frekansta zayıflatma sağlar [15].

2013 yılında Nasser Ojaroudi ve Mohammad Ojaroudi C şeklinde yarık içerisine ters T şeklinde yarık oluşturularak bir çentikli bant elde etmişlerdir. Ters T şeklinde yarık oluşturup içerisine T şeklinde yapı eklenerek ikinci çentikli bant elde edilmiştir [16].

Peng Gao 2013 yılında, C şeklinde yarık ve L şeklinde saplama ile baskılı UWB anten üzerine çift bant durdurma sağlamıştır. Yarık boyu için durdurulacak bandın merkez frekansının yarım dalga boyu, saplama boyunun için dalga boyunun çeyreği göz önüne alınmıştır. WiMAX (3.4 ile 3.69 GHz) ve WLAN (5.15 ile 5.825 GHz) bantlarında zayıflama elde edilmiştir. Önerilen anten 2.89 GHz ile 11.52 GHz aralığında bant genişliğine sahiptir [17].

2014 yılında Mahendra M. Sharma ve üç arkadaşı düzlemsel monopol UWB anten için ışımaya yüzeyinde üç tane C şeklinde ve besleme hattında bir tane U şeklinde yarık ile dört bant durdurma sağlamıştır. 2.44 GHz ile 2.77 GHz, 3.42 GHz ile 3.97 GHz, 5.45 GHz ile 5.98 GHz ve 8 GHz ile 8.68 GHz bantlarında zayıflama sağlanmıştır. Önerilen düzlemsel monopol anten 2.35 ile 12 GHz arası bant genişliğine sahiptir. 40 mm boya ve 35 mm ene sahip anten farklı bir tasarım tekniğine sahiptir. Dielektrik malzeme olarak FR-4 kullanılmıştır. Ölçülen VSWR değerleri benzetimden çok daha küçük çıkmıştır. Nedenleri ise nispi geçirgenlik, kayıp tanjant, imalat hatası, anten ile SMA arası lehim, ölçüm ortamı ve üretimde kullanılan malzeme ile benzetim üzerinde hesaplanan malzeme kalınlığının farklı olabilmesi olarak açıklanmıştır [18].

2018 yılında Ruiheng Zhang, Xiaofei Xu ve Xiao Deng 2.85 ile 17.43 GHz arasında çalışan fraktal yarığa sahip 28 mm en, 40 mm boy, 1.6 mm kalınlık ölçülerinde UWB antenin

ışığı yaması üzerine ve topraklama düzlemine birer tane elmas yarık koyarak çift bant durdurma sağlamıştır. Yarık boyu bu çalışmada kullanılan yöntemler dikkate alınarak hesaplanmıştır. FR-4 alttaş kullanılmıştır. Besleme genişliği tabanda 3 mm olup yama kısmına doğru azalarak 1.5 milimetreye düşmektedir. Birincil anten 2.85 GHz ile 17.43 GHz arasında çalışmaktadır. Yama üzerindeki yarık ile WLAN (5.15 ile 5.85 GHz) ve toprak üzerindeki yarık ile X bant (7.9 ile 8.4 GHz) zayıflatılmak istenmiştir. Benzetimde 5.05 ile 5.95 GHz, 7.64 ile 8.78 GHz arası zayıflama sağlanmıştır. 5.5 GHz’ de -7.86 dBi, 8.1 GHz’ de -4.34 dBi anten kazancına sahiptir [19].

Xu Liu, Hao Jin ve Guangli Yang 2018 yılında UWB anten üzerine T ve C şeklinde saplama, ışınma yüzeyine U ve toprak düzlemine bir çift L şeklinde yarık ekleyerek dört bant durdurma sağlamışlardır. Dielektrik sabiti 2.2 ve kalınlığı 0.787 olan alttaş kullanılmıştır. 2.6 GHz ile 10.9 GHz arası bant genişliğine sahiptir. 3.3 GHz ile 3.7 GHz arasını kapsayan çentik bandı, yer düzleminde oluşturulan L şekilli yuvalar ile sağlanır. 4.5 GHz ile 5 GHz çentik bandı T şeklindeki saplama tarafından gerçekleştirilir. 7.2 GHz ile 7.7 GHz çentik bandı, yama üzerindeki U şeklindeki yuva tarafından gerçekleştirilir. 8 GHz ile 8.5 GHz çentik bandı C şeklindeki dal tarafından gerçekleştirilir [20].

2019 yılında 26 mm en ve 26 mm boy boyutunda MIMO Vivaldi antenin iki mikroserit besleme hattının yanına ayırık halka rezonatörleri (SRR) eklenerek WLAN ve X bantlarında zayıflama sağlanmıştır. 2.9 ile 11.6 GHz arası bant genişliğine sahiptir. 5.3 GHz ile 5.8 GHz ile 7.85 GHz ile 8.55 GHz bantlarında zayıflama sağlanmıştır. Zayıflatılan bantlarda yüzey akım enerjisinin SRR üzerinde yoğunlaştığı ve önerilen antenin nerdeyse yayılım yapamaz durumda olduğu ifade edilmiştir [21].

2019 yılında Saurabh Kumar ve Taimoor Khan’ın çalışmasında Dielektrik rezonatör anten (DRA) üzerine iki tane EBG hücresi konumlandırılarak üç bant zayıflatma sağlanmıştır. 25 mm en, 30 mm boy ve 0.762 mm kalınlık boyutlarında Rogers Ro3003 dielektrik malzeme kullanılan antenin VSWR değeri 4.5 GHz, 5.1 GHz ve 9.1 GHz merkez frekanslı çentikli bantlar hariç 2.4 GHz ile 10.65 GHz aralığında 2’ den küçüktür. 3 tipte çentikli anten yapılmıştır. Çalışmada iki farklı boyutta EBG oluşturulmuştur. Oluşturulan 1 numaralı EBG, besleme hattının her iki tarafına, sağına ve soluna konumlandırılarak 4.5 GHz ve 9.1 GHz merkez frekanslı iki bantta zayıflama sağlanmıştır. İki numaralı EBG ise her iki tarafa konularak 5.1 GHz tek bant zayıflatma sağlanmıştır. İki tip EBG birleştirilip her iki tarafa konumlandırılarak üç bant zayıflatma sağlanmıştır. EBG kavramı katı hal fiziğine

ve optiğe dayanmakta olup yapay bir manyetik iletken (AMC) gibi davrandığı açıklanmıştır [22].

Yi Wang ve beş arkadaşı tarafından 2019 yılında EBG ve yarık yapısının birlikte kullanılmasıyla iki bant çentik oluşturulmuştur. Yarık hem çentikli bant oluşturmuş hem de üzerinde topladığı akım ile EBG yapısının filtreleme performansını arttırmıştır ve EBG yapılarının anten performansına çok az etkisi vardır. 2.64 GHz ile 12.9 GHz arası bant genişliğine sahip anten EBG yapısı kullanılarak WLAN (4.8 GHz ile 5.9 GHz) ve dairesel ışınım yaması üzerine U şekilli yarık ile X-Bant downlink uydu iletişimi (7.1 ile 7.8 GHz) ile girişim engellenmek istenmiştir. İki adet EBG, U şeklindeki yarığın bulunduğu konumda antenin arka yüzeyine yerleştirilmiştir. EBG ve yarık birlikte kullanıldığında EBG' nin tek başına oluşturduğu zayıflatma artmıştır ancak yarığın tek başına oluşturduğu zayıflatma azalmıştır [23].

1.3. Antenler ile İlgili Temel Kavramlar

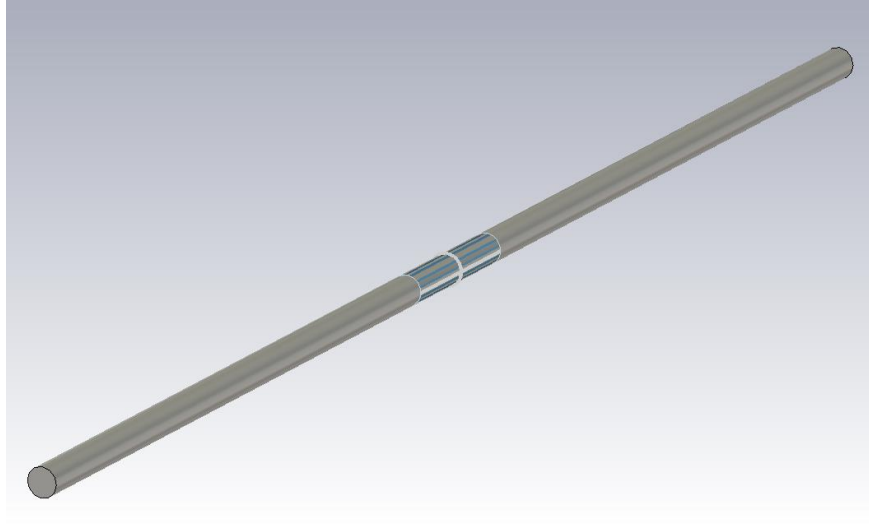
Kablosuz iletişim elektromanyetik dalgaların anten tarafından yönetilmesi ile sağlanır. Her elektronik elemanın elektromanyetik dalga oluşturması nedeniyle aslında her elektronik eleman biraz anten özelliği göstermektedir ancak belirli bir amaç doğrultusunda kullanılmak istenen antenler istenen ışınım özelliklerine sahip olmalıdırlar.

Bir anten alıcı, verici veya hem alıcı hem verici olarak tasarlanabilir. Volt/m büyüklüğünde oluşturulan elektrik alan yayılırken bir manyetik alan oluşturur. Birlikte oluşturdukları elektromanyetik dalga evrende ışık hızıyla ilerler. Tüm elektromanyetik dalgaların aynı hıza sahip olmaları nedeniyle dalga boyu ile frekans arasında bir ters oran oluşmaktadır. Bu nedenle uzun dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar düşük frekansa, kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar ise yüksek frekansa sahiptir. Bilgi içeren tüm dalga formları bir dizi frekansın toplamıdır ve sürekli bir frekans aralığından oluşurlar. İçinde anten olan, elektromanyetik dalgalar aracılığıyla bilgi almak veya göndermek isteyen elektronik cihazların bir arada kullanılması için elektromanyetik dalgalar modüle edilerek ayrı ayrı frekans bantlarına yerleştirilirler. 1800'lü yıllarda deneylerde kullanılan az sayıda anten varken günümüzde insanlar birçok anteni elektronik cihazlar aracılığıyla üzerlerinde taşımaktadırlar. Her anten çeşidinin kendine göre avantajları ve dezavantajları olduğundan kullanılmak istenen sistem için kar-zarar dengesi oluşturularak en uygun anten tasarımcı tarafından seçilmektedir.

Antenler radyo ve TV yayınlarında, haberleşmede, yön tayininde, astronomi alanında, radarlarda ve daha birçok uygulamada kullanılabilirler. Yapısal özelliklerine göre dipol, monopul, katlanmış dipol, parabolik yansıtıcı, yarık anten, mikroşerit, huni, spiral veya dizi şeklinde olabilirler. Aynı zamanda antenler çeşitli frekans bantlarında çalışabilirler. Çok alçak frekans antenleri 3-30 KHz arasında, alçak frekans antenleri 30-300 KHz arasında, orta frekans antenleri 0.3-3 MHz arasında, yüksek frekans antenleri 3-30 MHz arasında, çok yüksek frekans antenleri 30-300 MHz arasında, çok çok yüksek frekans antenleri 0.3-3 GHz arasında, ultra yüksek frekans antenleri 3-30 GHz arasında çalışmakta ve milimetrik dalga antenleri ise 30-300 GHz arasında çalışmaktadır.

Antenler çeşitli ışıma özelliklerine sahiptirler. Işıma özelliklerine göre izotropik ya da doğrusal, dairesel, eliptik kutuplanmalı olabilirler. Genel özellikleri dikkate alınarak bakıldığında ise elektriksel, boyutta küçük, rezonant, yürüyen dalgalı, açıklık, yansıtıcı, geniş bant ya da adaptif antenler adı altında birçok çeşide sahiptirler.

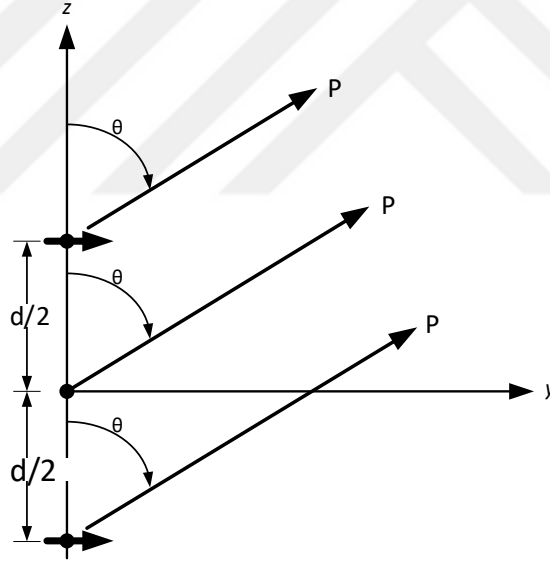
En eski ve en yaygın kullanılan anten olan tel antenler; kısa dipol, dipol, yarım dalga dipol, geniş bantlı dipol, monopul, katlanmış dipol, çember anten şeklinde olabilirler. Şekil 1’de benzetim programı üzerinde tasarlanan dipol anten bir tel anten örneğidir. Basitlik ve ucuzluk avantajlarına sahiptir.



Şekil 1. Tasarlanan dipol anten

Açıklık antenler; yarık, boşluk destekli yarık, ters F, horn, Vivaldi veya teleskop anten olarak mevcut olabilirler. Kazançları yüksektir. Belirli bir yönde dar bir ana huzmeye sahiptirler ve yüksek frekanslarda çalışabilirler. Bu özellikler dikkate alındığında havacılık ve uzay alanında tercih edilirler.

Bazı uygulamalarda tek bir antenle istenilen performans sağlanamadığında birbirine benzeyen antenlerden bir dizi oluşturularak birden çok anten bir arada kullanılabilirler. Antenlerin bir arada kullanılmasıyla tek bir antenle sağlanamayan bant genişliği elde edilebilir. Aynı şekilde tek bir anten istenilen yönlendiricilik performansına sahip olamayabilirken dizi şeklinde kullanıldığında istenilen şekilde ışımaya deseni oluşturulabilir. Her bir antenin yaptığı ışımaların vektörel olarak toplanmasıyla diziye ait ışımaya deseni oluşur. Bu nedenle istenilen ışımaya performansının elde edilmesinde her bir elemanın ışımaya deseni de oldukça önemlidir.



Şekil 2. İki elemanlı anten dizisi

İki tane kısa dipol, aralarında elektriksel bağlaşım olmadan Şekil 2’de görüldüğü gibi yerleştirildiğinde y-z düzlemi içinde bir p noktasındaki alanın fazör değeri Denklem (1)’de gösterilmiştir [24].

$$\begin{aligned}
 E &= E_1 + E_2 \\
 &= j\eta(\beta I_0 / 4\pi) \left\{ (e^{-j(\beta r_1 - a/2)} / r_1) |\cos \theta_1| + (e^{-j(\beta r_2 - a/2)} / r_1) |\cos \theta_2| \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Denklem (2), denklem (3), denklem (4) ve denklem (5) ile verilen yaklaşık değerler denklem (1) de yerine konulduğunda denklem (6) elde edilmektedir.

$$\theta_1 \cong \theta_2 \cong \theta \quad (2)$$

$$r_1 \cong r - (d/2) \cos \theta \quad (3)$$

$$r_2 \cong r + (d/2) \cos \theta \quad (4)$$

$$r_1 \cong r_2 \cong r \quad (5)$$

$$E = j\eta[(\beta I_0 \ell e^{-j\beta r})/4\pi r] |\cos \theta| 2 \cos [(1/2)(\beta d \cos \theta + \alpha)] \quad (6)$$

Denklem (6) ile verilen alan iki terimin çarpımı olarak düşünülebilir [24]. Birinci çarpan tek bir antene ait iken ikinci çarpan dizi katsayısı olup denklem (7) ile verilmiştir.

$$k_d(\theta, \phi) = 2 \cos[(1/2)(\beta d \cos \theta + \alpha)] \quad (7)$$

Birbirinin eşi olan antenlerden oluşan dizide toplam ışıma alanı denklem (8) ile ifade edilmiştir. E , toplam ışıma alanını ve E_0 , tek bir antenin ışıma alanını ifade etmektedir. $k_d(\theta, \phi)$ dizi katsayısıdır.

$$E = E_0 k_d(\theta, \phi) \quad (8)$$

Dizi antenler ile uzak mesafe haberleşme için gerekli olan kazanç sağlanabilir ve radar, sonar, haberleşme gibi alanlarda kullanılabilirler. Mobil haberleşmede akıllı anten olarak bilinen anten dizileri önemli bir konumdadır. Anten dizileri kendisini oluşturan antenlerin türleri ve bu antenlerin diziliş geometrileriyle karakterize edilirler. Anten dizileri özdeş antenlerden oluşmak zorunda olmadığı gibi özdeş antenlerden oluşan anten dizileri çoğu zaman daha ucuz, daha pratik veya sistemlere daha uygun olmaktadır. Özdeş antenlerden oluşan bir dizinin performansı üzerinde dizinin lineer, dairesel, küresel vs. şeklinde olması etkilidir. Elemanlar arası uzaklık da dizi anten performansını etkilemektedir. Sinyal gücü artırılabilir ve daha yüksek sinyal-gürültü oranı elde edilebilir.

Dizilerin oluşturulmasıyla direnç kayıpları artar. Ayrıca dizi antenlerin konumlandırılabilmesi için büyük alanlar gerekebilir. Dizi elemanlarının montaj ve bakımının zorluğu da önemli dezavantaj oluşturmaktadır.

Anten dizilerinde DOA kestirim teknikleri kullanılarak enerji verimliliğini arttırmak için mobil kullanıcının olduğu konum belirlenip sinyal sadece o doğrultuda yayınlanır. Bununla birlikte anten dizilerinin eş kanal sönümlenmelerini engellemesi sistemin gürültü bağışıklığını arttırmaktadır. Anten elemanları doğrusal, dairesel, düzlemsel geometrielerde düzenlenebilmektedir. Doğrusal dizilerde dizi elemanlarının merkezleri bir doğru boyunca bulunmakta olup merkezler arası eşit olursa düzgün doğrusal dizi olmaktadır. Diğer geometrik şekildeki dizilere göre daha az karmaşık yapıda olduklarından maliyet yönünden daha uygun olurlar. Hücreli sistemlerdeki baz istasyonlarında geniş alan kapsamı ihtiyacı olduğundan doğrusal anten dizileri tercih edilebilir.

Dizi elemanlarının merkezleri çember oluşturacak şekilde konumlandırıldıklarında dairesel dizi oluşmaktadır. Doğrusal dizi ve dairesel dizi düzlemsel dizinin özel durumlarıdır.

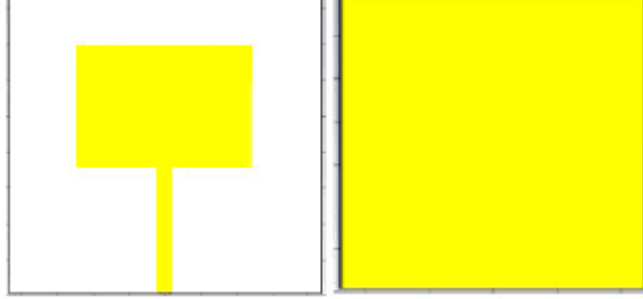
Anten dizilerinin eş doğrusal dizi, geniş kenar dizisi, uçtan ışıklı dizi, parazit dizisi, Yagi-Uda dizisi, Log-Periyodik dizi, Turnike dizisi ve Süper turnike dizisi adı altında farklı çeşitleri bulunmaktadır.

1970'li yıllarda uzay uygulamaları nedeniyle önem kazanan mikroşerit antenler bir yüzü ışığa bir yüzü topraklama amaçlı paralel iki iletken yüzeyin arasına dielektrik malzeme yerleştirilerek elde edilir. İletken olarak altın gümüş bakır gibi yüksek iletkenlik özelliğine sahip metaller kullanılır.

Mikroşerit antenler kolay ve ucuz üretilebilirler ancak kazançları düşük olmaktadır. Tekli veya çoklu frekans bantlarında dar bant genişliğiyle çalışabilirler. Mikroşerit antenlerin geliştirilebilmesi için araştırmalar devam etmekte ve bu sayede kullanım alanları hızla genişlemektedir. İnce, küçük hacimli, hafif yapıları sayesinde uzay araçları için tercih edilmektedirler. İnce yapıda olabilirler, bundan dolayı taşıyıcı uzay araçlarının aerodinamiğini bozmazlar. Antenler, büyük değişiklikler olmadan füze, roket ve uydulara kolayca monte edilebilirler. Bu antenlerin RCS alanı düşüktür. Besleme yerinde küçük değişikliklerle doğrusal ya da dairesel kutuplanma elde edilebilir.

Modülatörler, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, osilatörler, kuvvetlendiriciler, karıştırıcılar, faz kaydırıcılar gibi yarı iletken elemanlar doğrudan mikroşerit antenin alt

tabaka katına eklenebilirler. Mikroşerit antenler kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, silahların otomatik ateşlenmesi ve uzaktan algılama uygulamalarında kullanılırlar.

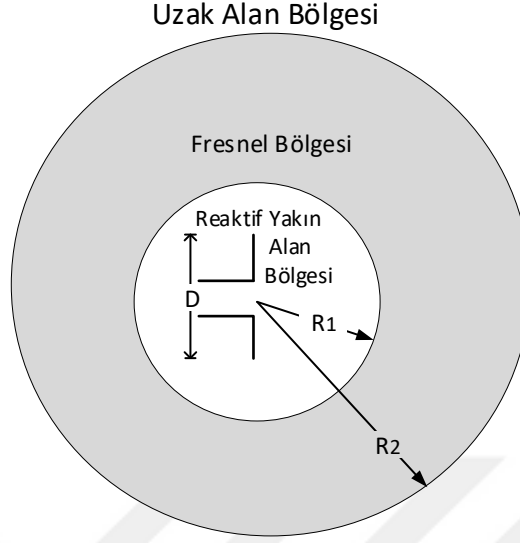


Şekil 3. Mikroşerit anten önden ve arkadan görünüşü

Mikroşerit beslemeli dikdörtgen yamalı mikroşerit antenin benzetim programında ön ve arkadan görünümü Şekil 3’de verilmektedir. Işıma elemanı, dielektrik malzeme, taban malzeme olarak üç ana kısım vardır ve kimyasal yollarla yapıştırılır. Işıma elemanının şekli antenin elektriksel performansını etkilemekte ve kullanılacağı yere göre çeşitli şekillerde üretilmektedir. İki iletken arasındaki yalıtkan malzemenin dielektrik sabiti performans açısından önemli olup 2.2 ve 12 arasında isteğe göre seçilebilir. Dielektrik sabitinin düşük olması daha iyi ışımaya performansı sağlar ancak ışımaya elemanının boyutunun büyümesine sebep olarak antenin fiziksel olarak büyümesine sebep olmaktadır. Dielektrik malzeme kalınlığı $0.003\lambda_0$ - $0.05\lambda_0$ arasında değerler alabilir. Maliyet nedeniyle daha iyi performans gösteren malzemeler yerine genelde metal olarak bakır, dielektrik olarak FR-4 malzeme kullanılmaktadır. FR-4 malzemenin dielektrik sabiti 1-11 GHz aralığında 4,2 ile 4,8 arasında değişmektedir [25].

Baskılı monopollü antenlerin toprak düzlemi mikroşerit yama antenlerden farklı olarak mikroşerit besleme hattı boyuncadır. Tüm arka yüzeyi kaplamaz. Geniş bant performans göstermeleri nedeniyle kablosuz haberleşmede yaygın olarak kullanılmaktadırlar [26].

1.3.1. Anten Işıma Bölgeleri



Şekil 4. Anten Işıma Bölgeleri

Anten ışıma bölgeleri antenin en büyük uzunluğuna ve dalga boyu ' λ ' bağlı olarak hesaplanır. R_1 ve R_2 mesafelerine bağlı olarak ışıma alanları Şekil 4'te görülmektedir. Antenin en büyük uzunluğu ' D ' olarak sembolize edilmiştir. Denklem (9) ve Denklem (10) antenin ışıma alanlarının sınırlarını belirleyen ifadelerdir.

$$R_1 = 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (9)$$

$$R_2 = 2D^2/\lambda \quad (10)$$

Antene R_1 den daha yakın noktaların oluşturduğu bölge reaktif yakın alan bölgesi olup elektrik ve manyetik alanların birbirine dik olarak yayılmadığı, başka bir şekilde ifade etmek gerekirse elektrik ve manyetik alanlar arasındaki faz farkının 90 derece olmadığı ve alanların büyük oranda reaktif olduğu bölgedir.

Antene R_1 'den daha uzak ve R_2 'den daha yakın noktaların oluşturduğu bölge ise Fresnel bölgesi olur. Bu bölgede elektromanyetik dalgalar küreseldir. Anten ışıma yapabilir. Ancak ışıma deseni mesafe ile değişmektedir.

Antene R_2 'den daha uzak noktaların oluşturduğu bölge uzak alan bölgesidir. E ve H alanları bu bölgede dik olarak yayılır. Alanlar düzlem dalga olarak kabul edilir. Işıma

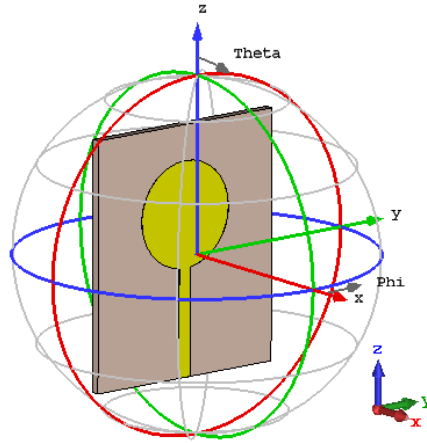
örüntüsü mesafe ile şekil değiştirmez. Bu nedenle uzak alan bölgesi antenin radyasyon modelini belirler. Bu bölgede ışınım şiddeti her yönde farklı olabilir. Ancak enerjinin yayılma hızı her yönde ışık hızına eşittir. Bu kabullenme uzak alanda anten analizlerinde kolaylık sağlar. Uzak alan antenlerin uzun mesafe haberleşme için kullanıldığı bölgedir.

1.3.2. Işınım Diyagramı

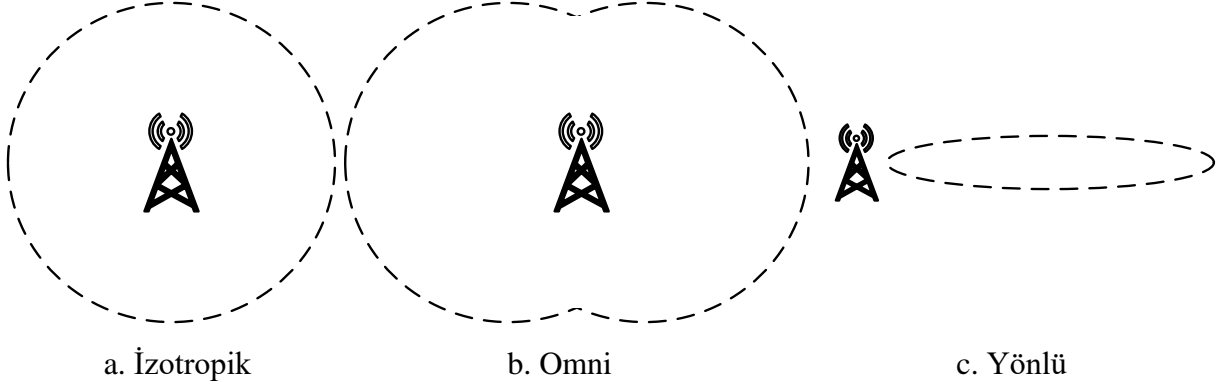
Işınım güç yoğunluğu elektromanyetik dalganın ilerlediği birim alandan akan güç miktarı olarak tanımlanabilir. Birim olarak metre kullanıldığında elektromanyetik dalganın geçtiği her metre karelik alandan akan güç miktarı ışınım güç yoğunluğu olmaktadır. Bu değer konuma göre değişmektedir. Antenin uzak alanda oluşturduğu güç yoğunluğunun grafiksel gösterimine ışınım örüntüsü denir. İlave olarak antenin uzak alanında bulunan elektrik ve manyetik alan ifadelerinin bir matematiksel fonksiyon ya da grafiksel olarak ifade edilebilen şekline de ışınım örüntüsü denir.

Işınım şiddeti ise konumdan bağımsız bir değerdir. Hesaplanmak istenilen konuma olan mesafenin karesi ışınım güç yoğunluğu ile çarpıldığında o noktada oluşan ışınım şiddeti hesaplanır. Işınım şiddeti küresel koordinat sisteminde kutup açısı ve azimut açısına bağlı bir değerdir.

(x, y, z) bir konum noktası olarak düşünüldüğünde z eksenine yapılan açı elevasyon açısıdır. Sıfır ile yüz seksen derece aralığında bir değere sahiptir. Azimut açısı ise xy düzleminde x eksenine yapılan açıdır. Sıfır ile üç yüz atmış derece aralığında bir değere sahiptir. Bu açı değerleri Şekil 5’de olduğu gibi ışınım örüntüsü analizinde kullanılır.



Şekil 5. Küresel koordinat sistemine yerleştirilmiş monopol anten



Şekil 6. Antenlere ait ışıma örüntüleri: a. İzotropik b. Omni c. Yönlü

Şekil 6'da izotropik anten, omni anten ve yönlü antene ait ışıma örüntüleri görülmektedir. Hangi yönde enerji aktarımının yoğunlaştığının bir ifadesi olarak kullanılmaktadırlar. Başka bir ifade ile ışıma örüntüsü antenden yayılan gücün ne kadarının hangi yöne doğru ilerlediğini görselleştiren grafiklerdir. İzotropik ışıma referans değer olarak kullanılmaktadır. Her yöne eşit ışıma yaptığı varsayılan antene aittir.

Yönlü ışıma örüntüsünde ana ışıma kulağı yanında yan kulakçıklar da mevcuttur. Ancak ışımanın büyük bölümü ana ışıma doğrultusundadır. Çanak anten yönlü bir antendir.

Omni antenlerde, çok yönlü ışıma örüntüsüne sahip antenlerde, ışımanın yoğunlaştığı birkaç ana doğrultu bulunmaktadır. Giriş empedansları eşit olan özdeş iki anten olsun. Bu antenler aynı sistemde alıcı ve verici olarak kullanılırsa aynı ışıma örüntüsüne sahip olurlar. Bu durum antenlerde karşılıklılık olarak adlandırılır.

1.3.3. Güç Yoğunluğu

Güç yoğunluğu birim yüzeyden geçen ortalama güç değeri demektir [27]. Denklem (11) matematiksel ifadesidir.

$$W_{i\dot{s}} = W_{r,or} = \frac{1}{2} Ge \{ \vec{E} x \vec{H}^* \} \quad (11)$$

Bir S yüzeyinden geçen toplam ışıma gücünü bulmak için $W_{i\dot{s}}$ ışımlanan ortalama güç değeri bilinmelidir. Denklem (12) toplam ışıma gücünün matematiksel ifadesidir.

$$P_{i\varsigma} = P_{or} = \int_S W_{i\varsigma} dS \quad (12)$$

$$dS = r^2 \sin \theta d\theta d\phi \quad (13)$$

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi \quad (14)$$

Denklem (13) ve (14) katı açı ya da uzay açı ifadeleridir. Katı açının birimi steradyandır. Üç boyutta kaplanan alan ifadesidir.

1.3.4. Işıma Şiddeti

Işıma şiddeti hesabı yapılırken katı açı ifadesi kullanılır. Denklem (15)'de matematiksel olarak tanımlanan U ışıma şiddetidir. Yayılan gücün birim katı açıda ki değerine ışıma şiddeti denir.

$$U = dP_{i\varsigma}/d\Omega = r^2 W_{i\varsigma} \quad (W/steradyan) \quad (15)$$

Işınan toplam güç denklem (16)'da matematiksel olarak tanımlanmıştır [27].

$$P_{i\varsigma} = \int_{\Omega} U(\theta, \phi) d\Omega \quad (16)$$

1.3.5. Yöneltilik

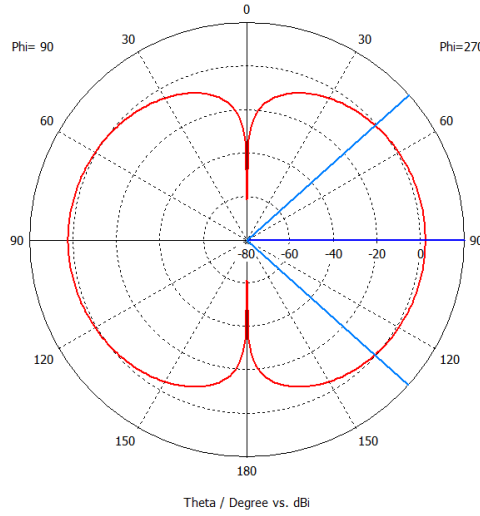
İzotropik antene ait ışıma diyagramı Şekil 6.a'da görünmekte olup izotropik anten her yönde eşit ışıma değerine sahiptir. Bu anten referans olarak kullanılır.

$$Y = U(\theta, \phi)/U_0 \quad (17)$$

Herhangi bir antenin izotropik antene göre yöneltiliğini veren ifade Denklem (17)'de mevcuttur [22].

1.3.6. Hüzme Genişliği

Bir antenin ışımaya diyagramında ana kulak üzerinde -3 dB'ye karşılık gelen noktalar arası açı değeri hüzme genişliği olarak adlandırılır. Ana kulak üzerinde -3 dB değerine karşılık gelen noktalar gücün yarıya indiği noktalardır. Şekil 7'de benzetim programı üzerinde tasarlanan dipol antene ait ışımaya diyagramında ana kulak üzerinde -3 dB noktalarından mavi çizgiler geçmektedir. Aralarında ki açı değeri hüzme genişliğidir.



Şekil 7. Tasarlanan dipol antene ait ışımaya örüntüsü

1.3.7. Işıma Verimi

Bir antenin yüksek verimli olduğu belirtilmişse antenin girişindeki mevcut güç büyük oranda yayılmaktadır. Düşük verim ifadesi ise antende yüksek kayıplar ya da empedans uyumsuzluğu olduğu anlamına gelir. Antenden ışılan güç ile antene uygulanan elektriksel güç gerçek bir sistemde tamamen eşit olmaz. Işıma verimi denklem (18)'de ifade edildiği gibi ışımaya gücünün giriş gücüne oranıdır. Bu oransal değer yüzde olarak ifade edilebilir. Bu oran bir ile sıfır arası bir değer almaktadır ve birimsizdir. R_r ışımaya direncini, R_L ısı kayıp direncini ifade eder.

$$e_r = P_{ış}/P_{giriş} = R_r / (R_r + R_L) \quad (18)$$

Anteni oluşturan metalin sonlu bir iletkenliği vardır. Sonsuz iletkenlik ideal durumlar için geçerli olmaktadır. Bu nedenle antende kayıplar oluşur. Antenin yapısında bulunan dielektrik malzemenin iletkenliğine bağlı olarak dielektrik kayıplar oluşur. Empedans uyumsuzluğu olduğunda antenden yansıma dolayısıyla duran dalgalar oluşmaktadır. Empedans uyumsuzluğu kaybı sıfır ile bir arasında oransal bir değerdir. Antenin toplam verimliliği denklem (19)'da verilmiştir. e_0 toplam verimliliği, e_r ışınım verimliliğini, e_c iletkenlik verimliliğini, e_d dielektrik verimliliğini ifade etmektedir.

$$e_0 = e_d e_c e_r \quad (19)$$

1.3.8. Kazanç

Besleme güçleri eşit olan izotropik anten referans alınarak hesaplanır. Denklem (20) ile ifade edilir [15].

$$G = U(\theta, \phi) / (P_b / 4\pi) \quad (20)$$

$$G = e_r \cdot Y \quad (21)$$

Denklem (21)'de yönelticilik 'Y' ile kazanç 'G' arasındaki bağlantı görülmektedir. Anten verimliliği 1 olduğunda anten kazancı yönelticilikle eşit değerde olacaktır. Kayıplı olduğunda ise verimlilik oranında düşme yaşanmaktadır.

1.3.9. Kutuplanma

Elektromanyetik dalga ilerlerken elektrik alan vektörünün çizdiği eğri tek ya da çift bileşenli olabilir. Tek bileşenli alan vektörü doğrusal kutuplanmayı ifade eder. Bileşenleri eşit çift bileşenli alan vektörü dairesel kutuplanma, farklı bileşenli alan vektörü ise eliptik kutuplanma oluşturur.

Farklı frekansta iki dalga aynı kutuplanmaya sahip değilse girişim yapmazlar. İki farklı şekilde polarize olmuş antenler haberleşme yapamayacaklardır.

Antenlerin tam olarak aynı şekilde iletilmesi karşılıklılık teoremi ile açıklanmaktadır. ' \hat{i}_w ' dalgaının elektrik alan birim vektörü, ' \hat{i}_a ' alınan dalgaının elektrik alan birim vektörünü ifade etmektedir.

$$PLF = |\hat{i}_w \cdot \hat{i}_a|^2 \quad (22)$$

Kutuplanma kaybı faktörü Denklem (22) ile ifade edilmiştir. Kutuplanma uyumsuzluğunun matematiksel tanımıdır. Alıcı ve verici anten aynı kutuplanmaya sahipse kutuplanmadan kaynaklanan güç kaybı olmayacaktır.

1.3.10. Geri Dönüş Kaybı

S11 olarak adlandırılır. Yük ile devre arasındaki empedans uyumunun göstergesidir. Empedans uyumlandığı ölçüde güç aktarılırken geri dönen dalgalar duran dalga oluşturup kayıplara neden olmaktadır. ' Γ ' yansıma katsayısını, ' V_0^- ' yansıyan gerilimi, ' V_0^+ ' gelen gerilimi, ' Z_L ' yük empedansını, ' Z_0 ' karakteristik empedansı ifade etmektedir.

$$RL = -20 \log|\Gamma| = |S_{11}| \quad (23)$$

$$\Gamma = V_{yansıyan}/V_{gelen} = V_0^-/V_0^+ = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0) \quad (24)$$

Denklem (23)'de bulunan S11 değeri desibel olarak işlem yapıldığında RL geri dönüş kaybının negatif işaretlidir. S11 negatif bir değerdir ancak RL değeri bir kayıp değeri olduğu için pozitiftir.

Denklem (24) yansıma katsayısı ifadesidir. Yansıma katsayısı gerilimlerle ilgili bir değer olup gerilim duran dalga oranını hesaplarken de kullanılır.

1.3.11. Anten Empedansı

Antenin empedansı kayıplardan doğan gerçel direnç (R_L) ve ışıma direncinin ($R_r + jX_A$) toplanmasıyla oluşur. Denklem (25)'de ifade edilmiştir.

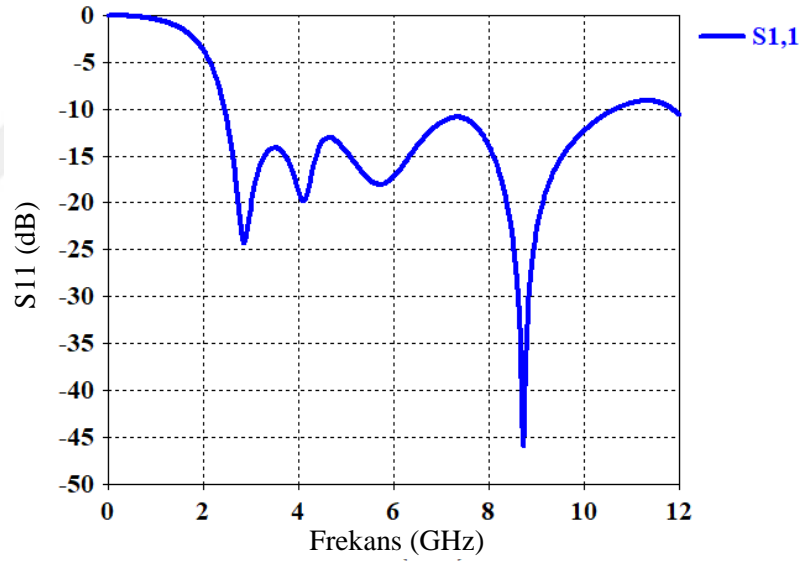
$$Z_A = (R_L + R_r) + jX_A \quad (25)$$

Antenin giriş empedansının besleme hattının karakteristik empedansı ile eşlenik olması empedansın uyumlu olduğunu gösterir. Verimliliğin yüksek olması için empedansın uyumlu olması gerekir.

$$R_r = 2P_{ışınma} / I^2 \quad (26)$$

Denklem (26) anten ışıma direncine ait olup antenin yaydığı toplam güç $P_{çıkış}$ ile devreden çekilen akımın etkin değerinin karesine bölünmesiyle hesaplanır. Birimi ohm'dur.

1.3.12. Bant Genişliği



Şekil 8. UWB antenin S11 değerinin frekansla değişimi

Geri dönüş kaybı ifadesi S11 değerinin genel kullanımda -10 dB den daha düşük değerde olduğu aralıktır. Şekil.8 tasarlanan bir antene ait benzetim programı kullanılarak oluşturulmuş S11 frekans grafiğidir. Bant genişliği yaklaşık 8 GHz'dir (2.5 GHz-10.5 GHz arası).

1.3.13. Etkin Anten Uzunluğu

Etkin anten uzunluğu metre cinsinden ifade edilir. Anten çıkışında indüklenen gerilim değeri ve antenin kutuplanma doğrultusunda gelen elektrik alan şiddetinin oranlanmasıyla bulunur. Devrenin rezonans frekansı hesabında kullanılır. Denklem (27) etkin anten uzunluğuna ait matematiksel ifadedir. ' V_{oc} ' antenin çıkışında endüklenen etkin gerilimi, ' E ' elektrik alanın şiddetini ifade etmektedir.

$$h_e = V_{oc}/E \quad (27)$$

1.3.14. Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

Gerilim duran dalga oranı antenin empedans uyumunun bir göstergesidir. İletim hattı boyunca oluşan en fazla gerilim miktarı ile en az gerilim miktarı ile ilgilidir. Sıfır ile bir arasında bir değer alır. Değerinin 1 olması empedansın uyumlu olduğunu sıfır olması ise empedansın uyumsuz olduğunu gösterir. Denklem (28)'de yansıma katsayısına ' Γ ' bağlı ifadesi verilmiştir.

$$VSWR = (1 + |\Gamma|)/(1 - |\Gamma|) \quad (28)$$

1.3.15. Etkin Açıklık

Etkin açıklık Denklem (29)'da ifade edildiği gibi bir antene gelen gücün gelen dalganın güç yoğunluğuna oranıdır. ' A_e ' efektif açıklık ifadesi olup birimi m^2 olmaktadır. ' P_r ' yüke gönderilen güç değeridir, birimi 'Watt' olmaktadır. ' W_r ' gelen dalganın güç yoğunluğu olup birimi ' W/m^2 ' olmaktadır. ' G ' kazanç ifadesidir. Etkin açıklık tanımının kazanca bağlı ifadesi Denklem (30)'da verilmiştir.

$$A_e = P_r/W_r \quad (29)$$

$$A_e = (\lambda^2/4\pi)G \quad (30)$$

1.3.16. Friis Denklemi

Birbirlerinden R kadar uzakta belli bir frekansta çalışan iki antenin biri verici biri alıcı olarak konumlandığında alıcı anten gücü ile verici anten gücü arasındaki ilişki Friis denklemi ile tanımlanır. Friis denklemi dB cinsinden Denklem (31)'de verilmektedir. 'P_r' alıcı anten gücünü, 'P_t' verici çıkış gücünü, 'G_t' alıcı anten yönündeki verici anten kazancını, 'L_t' verici tarafta hat kaybını, 'G_r' alıcı anten kazancını, 'L_r' alıcı tarafta hat kaybını, 'R' antenler arası uzaklığı ifade etmektedir.

$$P_r(dB) = P_t + G_t + L_t + G_r + L_r + 20 \log_{10}(\lambda/4\pi R) \quad (31)$$

1.3.17. Maxwell Denklemleri

Maxwell denklemleri dört temel denklemden oluşmaktadır. Maxwell bu denklemleri bulurken, Carl Friedrich Gauss, Micheal Faraday, Andre Marie Ampere tarafından bulunan denklemleri birleştirmiş ve Amper yasasına bir eklemeye bulunmuştur. Bunlar Gauss'un statik elektrik alanlar ve statik manyetik alanlar yasası, Faraday yasası, Amper-Maxwell yasası olarak adlandırılır. Faraday ve Amper-Maxwell yasası elektromanyetik dalgaların temelini oluşturur. Faraday yasası zamanla değişen manyetik alanların elektrik alanlarını ürettiğini açıklar. Amper-Maxwell yasası zamanla değişen elektrik alanların manyetik alanlar ürettiğini açıklar.

Gauss'un statik elektrik alanlar yasasına göre herhangi bir kapalı yüzeyden geçen elektrik alan akısı o yüzeyde bulunan toplam yük ile orantılıdır. Denklem (34) ile tanımlıdır.

Gauss'un manyetik alan yasası (manyetik akının korunumu yasası da denilebilir) der ki herhangi bir kapalı yüzeyden geçen toplam manyetik akı sıfırdır. Denklem (35) ile tanımlıdır.

Faraday yasası aynı zamanda Faraday indüksiyon kanunu olarak da adlandırılabilir. Bir yüzey boyunca manyetik akının değiştirilmesi bir elektromotor kuvveti indükler. Bir devrede indüklenen elektromotor kuvveti devreden geçen manyetik akının zamanla değişim hızına eşittir. Eğer telin birden çok bobin sarımı varsa sayısınca çarpılır. Bu nedenle N manyetik alanı dik kesen tel sayısındır. Denklem (32) ile tanımlıdır.

Negatif işaret Lenz Kanuna göre açıklanır. Lenz kanunu etkiye karşı tepki sebebiyle negatif işaret kullanıldığını açıklamıştır.

Ampere-Maxwell yasası Gauss yasasına benzer ve manyetik alan ile ilgilidir. Elektrik akımı ile bu akımın oluşturduğu manyetik alanı ilişkilendirir. Denklem (33) ile tanımlıdır.

$$\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t \quad (32)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \partial \vec{D} / \partial t \quad (33)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (34)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (35)$$

\vec{E} : Elektrik alan şiddeti (volt / metre)

\vec{D} : Elektrik akı yoğunluğu (flux / metre)

\vec{H} : Manyetik alan şiddeti (amper/metre)

\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu (weber / metre)

\vec{J} : Anten besleme kablosundan geçen akımdan dolayı manyetik alan ve sonrasında elektrik alan oluşur dalga oluşur. (Amper/m²)

1.4. UWB Teknolojisi

UWB teknolojisi akademik ve endüstriyel alanda hızla gelişmektedir. Birden fazla cihazın bağlantısını kablosuz olarak sağlamaktadır. İstenildiğinde kablolu olarak da iletişim sağlanabilir. Amerika Birleşik Devletleri federal iletişim komisyonu UWB cihazları için izin verilen yayın gücünü kısıtlanmıştır. Düşük güç ile çalışmak pil ömrünü uzatıp taşınabilir cihazlar için avantaj olmuştur. UWB teknolojisiyle çok sayıda boşluk olan spektrum daha verimli kullanılmaktadır. 3.1 GHz ile 10.6 GHz arası 7.5 GHz bant genişliğine sahiptir. İç mekânda yaklaşık on metre mesafede kullanılmaktadır. Kablosuz uygulamalar için dış mekânlarda otuz metreye kadar mesafede sağlıklı iletişim sağlanabilir [2]. Ancak sadece onaylı birebir iletişim cihazlarına izin verilir [2]. Ancak dış mekânlarda kısa mesafe ve düşük güç UWB cihazların kullanımını zorlaştırır ve güç seviyesi artırılmak istendiğinde dar bant

iletişim sistemleriyle girişim olmaktadır. Bu durumda hizmet kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Güç menzil ihtiyacına göre gerçek zamanlı olarak artırılabilir. UWB 'nin kısa süreli (piko saniye seviyelerinde) darbeler kullanması çok yönlü iletişimde daha az duyarlı olmasını sağlar. Düşük SNR değerine sahiptir, gürültü azdır ve gürültülü ortamlarda da yüksek performans sunar. Kısa menzil ve düşük güç sayesinde güvenlik seviyesi yüksektir. Ve bunların hepsini basit alıcı-verici mimarisi sayesinde düşük bir maliyetle sağlar.

Büyük bant genişliği yüksek kanal kapasitesi sağlar. Kanal kapasitesi saniyede iletilebilecek en fazla veri miktarı demektir. Denklem (36) kapasite formülünde C, maksimum kanal kapasitesi, B ise bant genişliği ve SNR, sinyal-gürültü gücü oranıdır. Kanal kapasitesi ve bant genişliğinin doğru orantılı olduğu görülmektedir.

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (36)$$

Her anten bazı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Tasarlanan sistemlerde bant genişliğinin istenilen seviyede olması, radyasyon örüntüsünden yeterli sonuçlar alınması, antenin sisteme uygun fiziksel boyuta sahip olması gibi çeşitli kriterler göz önüne alınmaktadır. UWB antenlerde kayıpları düşük tutarak düşük güçte olabildiğince yüksek radyasyon verimliliği sağlamak sistemin kalitesini belirlemektedir. Aynı zamanda alıcı ve verici noktalarında esneklik sağlanabilmesi için çok yönlü bir radyasyon modeli elde edilmelidir.

Düzlemsel monopol antenler ve basılı monopol antenler çok yönlü UWB anten çeşitleridir. Basılı monopol antenlerin düzlemsel monopol antenlere göre sistemlere entegre olmaları daha kolaydır. Bu nedenle literatürde daha çok tercih edilmektedir. Basılı monopol antenler içerisinde ise dairesel monopol antenler radyasyon özellikleri göz önüne alındığında daha çok tercih edilmektedir. Bu anten tiplerinde bant genişliği performansını arttırmak için toprak düzleminde de çeşitli yarıklar kullanılabilir.

Basılı geniş yarık antenler ve dielektrik rezonatör antenler yönlü UWB antenlerdir. Basılı geniş yarık UWB antenler geniş bir yuva içerisine bir saplamadan oluşur.

Geniş dikdörtgen yarık literatürde basitlik nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Yuva şeklini değiştirmek saplama şeklini değiştirmekten daha fazla etkiye sahiptir. Dielektrik rezonatör antenler (DRA) ise küçük boyut ve yüksek verime sahiptir.

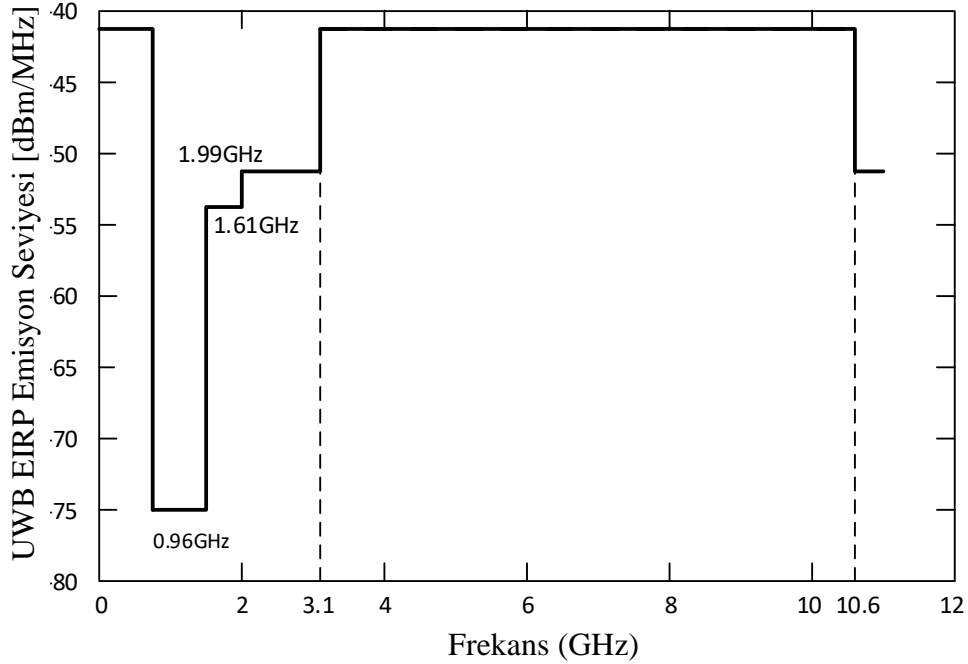
Bant durdurucu UWB antenler bu işlemi yarıklı veya saplama kullanarak ya da EBG kullanarak ya da hibrid şekilde yapabilirler. Çeşitli yarıklı şekilleri mevcuttur. Ayrık halka rezonatörleri (SRR) veya tamamlayıcı ayrık halka rezonatörleri (CSRR) kullanılabilir. İki eş merkezli bölünmüş halka şeritlerden oluşurlar. Rezonans dalga boyunun onda biri şeklinde tasarlanabildikleri için boyut bakımından avantajlıdır. Elektrik-LC (ELC) rezonatörü ya da tamamlayıcı elektrik-LC (CELC) rezonatörü de kullanılarak çentikli bantlar sağlanabilir.

Bant çentik özelliği elde etmek için saplama ve içerisinde şekiller oluşturulabilir.

Beşleme şeridi çeşitli şekillerde olabilir veya üzerinde yarıklar oluşturulabilir. EBG hücreleri besleme şeridine yakın konulabilir ya da besleme çizgisine çentikli bantın çeyrek dalga boyu uzunluğunda saplama olarak bant zayıflatma sağlanabilir.

Tüm durdurucu teknikleri hibrid şekilde de kullanılabilir.

UWB teknolojisi Bluetooth, WiFi gibi Kişisel Alan Ağı (PAN) uygulamaları için bir alternatiftir. Düşük güç sensör uygulamalarında, düşük güçlü gizli haberleşme uygulamalarında, radar ve pozisyon belirlemek için de kullanılabilir. FCC düzenlemelerine göre, UWB cihazları üç ana kategoride sınıflandırılır; iletişim, görüntüleme ve araç radarı. FCC, ticari UWB cihazları için izin verilen maksimum güç spektral yoğunluğunu (-41.3) dBm /MHz veya 75 nW /MHz olarak belirlemiştir [19].



Şekil 9. Haberleşme sistemleri için UWB iç mekân emisyon sınırları

İç mekan cihazları için emisyon sınırları Şekil 9 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. UWB sistemlerde izin verilen iç ve dış mekân güç spektral yoğunlukları

| Güç Spektral Yoğunluğu (dBm/MHz) | Faaliyet Bant Genişliği (GHz) | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | 0.96-1.61 | 1.61-1.99 | 1.99-3.1 | 3.1-10.6 | 10.6-22.0 | 22.0-29.0 |
| | İç Mekan | -75.3 | -53.3 | -51.3 | -41.3 | -51.3 | -51.3 |
| | Dış Mekan | -75.3 | -63.3 | -61.3 | -41.3 | -61.3 | -61.3 |

FCC düzenlemelerine göre, iç mekân UWB cihazları elde taşınabilir cihazlardan oluşmalıdır. Binalar içindeki cihazlar peer to peer (p2p) operasyonlarla sınırlandırılmalıdır. FCC kuralına göre, dış mekanlarda UWB iletişimi için sabit altyapıya veya antenlerin dış mekâna monte edilmesine izin verilmez. Bu nedenle, dış mekân UWB iletişimleri elde taşınır cihazlarla sınırlıdır. Bu cihazların yalnızca ilişkili alıcılara bilgi göndermesine izin verilir. Ayrıca, bu cihazların ilişkili bir alıcıdan onay alınmaması durumunda emisyonu 10 saniye içinde durdurması gerekir [18]-[20].

Zaman bölgesinde normal bir dağılıma sahip olduğu için ve giderek azaldığı için UWB sinyalleri Gauss tipi darbedir. Denklem (37) zaman bölgesinde gauss işaretidir [29].

$$s(t) = (1/2\pi\sigma^2) e^{-(t - \mu)^2/2\sigma^2} \quad (37)$$

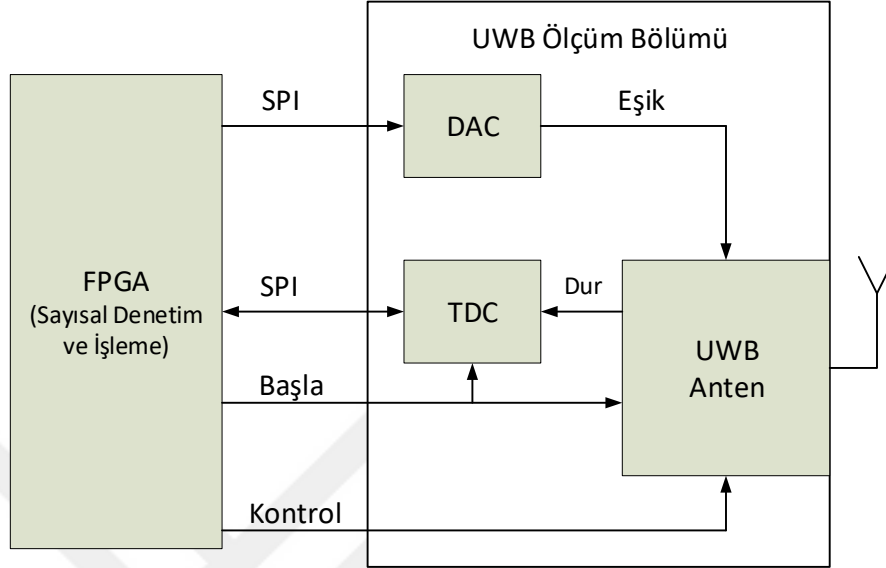
Gauss darbesinin daha kullanışlı biçimi ortalamanın sıfır, varyansın da $\tau^2/4\pi$ alındığında Denklem (38)'de bulunan biçimidir [29].

$$s(t) = (-e)^{((-2\pi(t/\tau))^2)} \quad (38)$$

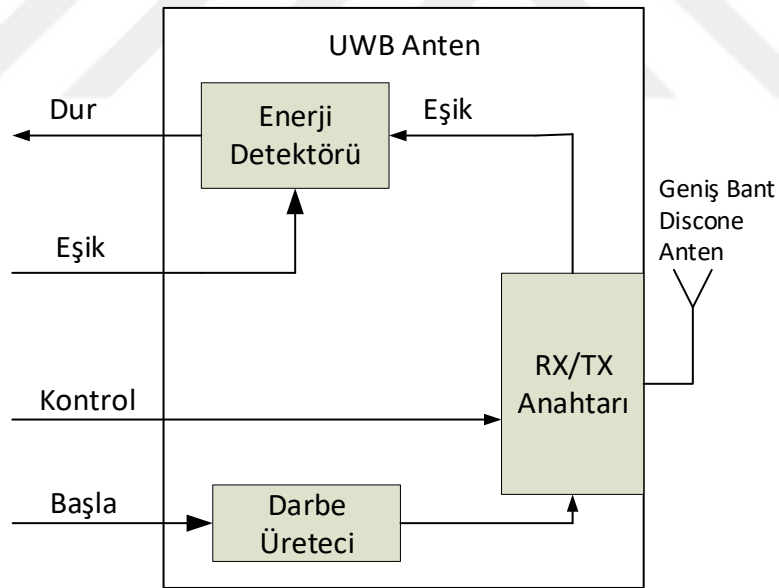
Çeşitli noktalara çarparak alıcıda toplanan bileşenlerin sadece yön değiştirdiği ve zayıflamadığı varsayılır ve sistemin dürtü yanıtı Denklem (39) gibi olmaktadır [29]. a_i Kazanç, τ_i ise gecikmedir. Yaklaşık bir formüldür.

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(\tau - \tau_i) \quad (39)$$

Şekil 10, bina içerisinde kullanılan UWB sensör ve donanım altyapısını göstermektedir.



(a) Sensör ünitesi



(b) UWB alıcı-verici

Şekil 10. Bina içi UWB donanım altyapısı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yarık Geometrisi

Yarık uzunluğu zayıflatılmak istenilen banda ait merkez frekansın yaklaşık yarım dalga boyudur [21]. Denklem (40) tasarlanacak yarığın uzunluğunun (L_{slot}) zayıflatılmak istenen frekansa (f_{notch}) bağlı ifadesidir. Yarık bu frekans değerinde rezonansa girmekte ve devreden çekilen akımı üzerinde toplamaktadır. Bu nedenle antenin bu frekans değerinde ışımaya gücü oldukça düşmektedir. Mikroşerit hat içerisinde yayılan dalganın boyu (λ_g) boşluktaki dalga boyuna (λ_0) ve ortamın dielektrik sabitine (ϵ_{eff}) bağlıdır. Denklem (41)'de bu bağlantının matematiksel ifadesi yer almaktadır. 'c' ışık hızıdır.

$$L_{slot} \approx \lambda_g/2 = \lambda_0/2\sqrt{\epsilon_{eff}} = c/2f_{notch}\sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (40)$$

$$\lambda_g = \lambda_0/\sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (41)$$

Efektif dielektrik sabitinin malzemeye özgü bağıl dielektrik sabiti ile arasındaki bağlantı Denklem (42)'de ifade edilmektedir.

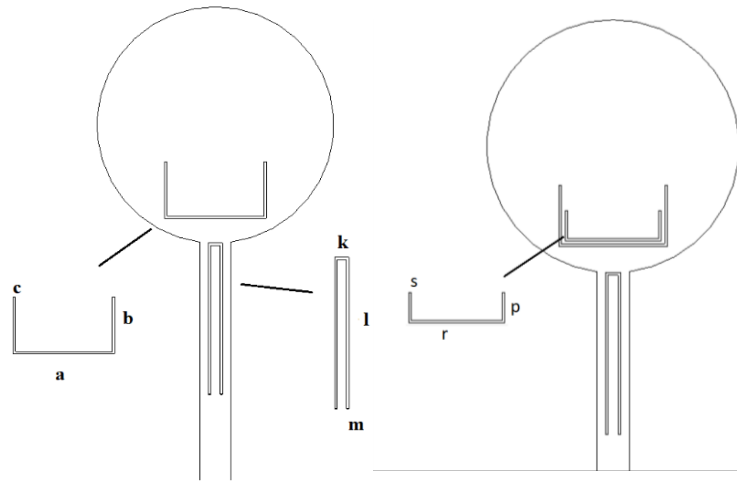
$$\epsilon_{eff} \approx (\epsilon_r + 1)/2 \quad (42)$$

Mohamad Yusof, Mat Zain ve iki arkadaşı 2017 de FR-4 malzemesinin frekansla değişimini incelemişlerdir [25]. Tam olarak bu tezde durdurulmak istenen frekanslarda ölçümleri mevcut değildir. Ancak tablo incelendiğinde 3.5 GHz, 5.5 GHz ve 8 GHz için ortalama ϵ_r değeri 4.5 civarındadır.

Tablo 2. FR-4 malzemenin frekansla dielektrik sabitinin değişimini gösteren tablo [25]

| Frekans (GHz) | FR-4 Alt Tabakası | |
|---------------|-------------------|----------|
| | ϵ_r | δ |
| 1.00 | 4.6450 | 0.0365 |
| 1.76 | 4.6194 | 0.0468 |
| 2.52 | 4.5898 | 0.0371 |
| 3.28 | 4.6302 | 0.0374 |
| 4.04 | 4.4798 | 0.0476 |
| 4.80 | 4.4994 | 0.0579 |
| 5.56 | 4.4693 | 0.0532 |
| 6.32 | 4.5398 | 0.0450 |
| 7.08 | 4.6103 | 0.0470 |
| 7.84 | 4.5476 | 0.0589 |
| 8.60 | 4.5350 | 0.0459 |
| 9.36 | 4.6223 | 0.0478 |
| 10.12 | 4.5057 | 0.0398 |

Ancak dielektrik sabiti frekansa göre orantısız ve dengesiz değişir. Yaklaşık değer belirlenip hesaplama yapılır. Bulunan değerler yaklaşık değerlerdir. Yarıkların anten üzerindeki konumları ve yarıkların şekli yarık uzunluklarının bir miktar değişmesine neden olmaktadır.



Şekil 11. U şeklindeki yarıklar ve uzunluklarını ifade eden semboller

Tablo 3. Yarık geometrisine ait uzunluk parametreleri

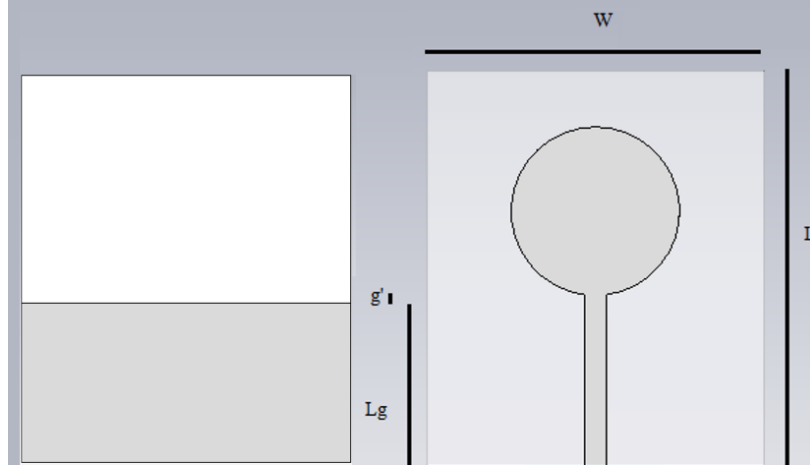
| Parametre | Birim |
|----------------------|-------|
| a | 8.6 |
| b | 4.6 |
| c | 0.2 |
| m | 0.2 |
| l | 12.8 |
| k | 0.8 |
| p | 2.4 |
| r | 7.6 |
| s | 0.2 |
| Yarıkların derinliği | 0.5 |

Yukarda verilen formül ile zayıflatılmak istenen bandın merkez frekansı olarak 3.5 GHz için toplam uzunluk 25.84 mm, 5.5 GHz için toplam uzunluk 16.44 mm, 8 GHz için toplam uzunluk 11.3 mm olarak hesaplanır.

Ancak yapılan benzetimler sonucunda bu değerler 3.5 GHz için toplam uzunluk 26.4 mm, 5.5 GHz için toplam uzunluk 17.8 mm, 8 GHz için toplam uzunluk 12.4 mm olarak elde edilmiştir.

2.2. Anten-1

Birincil anten olarak basılı dairesel disk monopol anten tasarlanmıştır. Boyu 47 mm eni 40 mm dielektrik tabaka kalınlığı 1.6 mm olarak alınmıştır. Dielektrik malzeme olarak FR-4 kullanılmıştır. 2 GHz üstü uygulamalarda önerilmese de fiyat performans açısından çokça kullanılmaktadır. CST Microwave Studio benzetim programı kullanılmıştır. Besleme hattının genişliği 2 mm olup 50 ohm'luk empedansa sahiptir. Dairesel disk yarı çapı 10 mm'dir. Tablo 4 antenin fiziksel boyutlarını açıklar. Antenin benzetim programı üzerinde ön ve arka yüzünün görüntüsü Şekil 12'de; üretilen antenin ön ve arka yüzey fotoğrafları ise Şekil 13'de görülmektedir.



Şekil 12. Birincil Anten Geometrisi

Tablo 4. Birincil Anten Ölçüleri

| Parametre | Açıklama | Ölçü (mm) |
|-----------|--|-----------|
| W | Anten Genişliği | 40 |
| L | Anten Uzunluğu | 47 |
| g' | Besleme noktası ile yer düzlemi arası boşluk | 1 |
| L_g | Toprak uzunluğu | 19.3 |
| W_f | Besleme hattı genişliği | 2 |
| r | Dairesel disk yarı çapı | 10 |
| d_p | Üst tabaka kalınlığı | 0.035 |
| d_g | Toprak kalınlığı | 0.035 |
| d | Dielektrik malzeme kalınlığı | 1.6 |

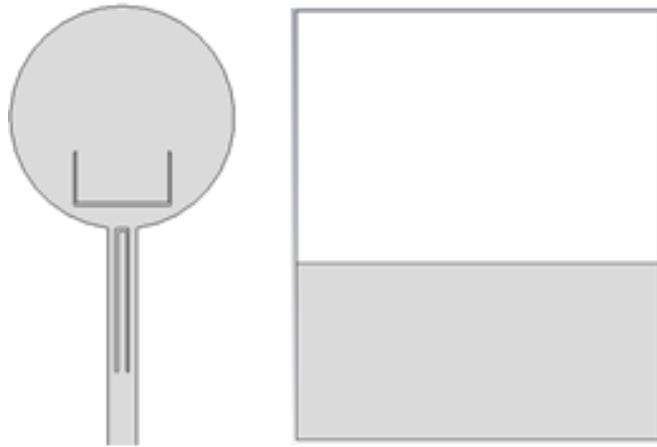


Şekil 13. Üretilen Birincil Anten ön ve arka fotoğrafı

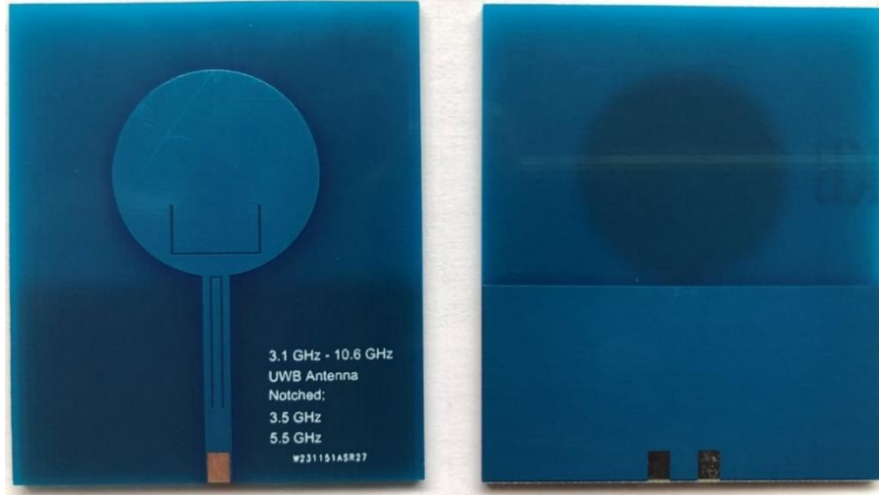
2.3. Anten-2

Birincil anten tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Dairesel yama üzerine ve mikroşerit besleme hattı üzerine, bakır malzemeden 0.2 mm genişliğinde U şeklinde yarıklar açılmıştır. CST Microwave Studio üzerinde çapı 10 mm olan dairesel yama ve besleme hattı oluşturulmuştur. Sonrasında U şeklindeki yarıkların boyutu, şekli ve konumu belirlenip kesilip çıkarılma işlemi ile tasarım devam etmiştir.

Antenin benzetim programı üzerinde ön ve arka yüzünün görüntüsü Şekil 14’de, üretilen antenin ön ve arka yüzey fotoğrafları ise Şekil 15’de görülmektedir.



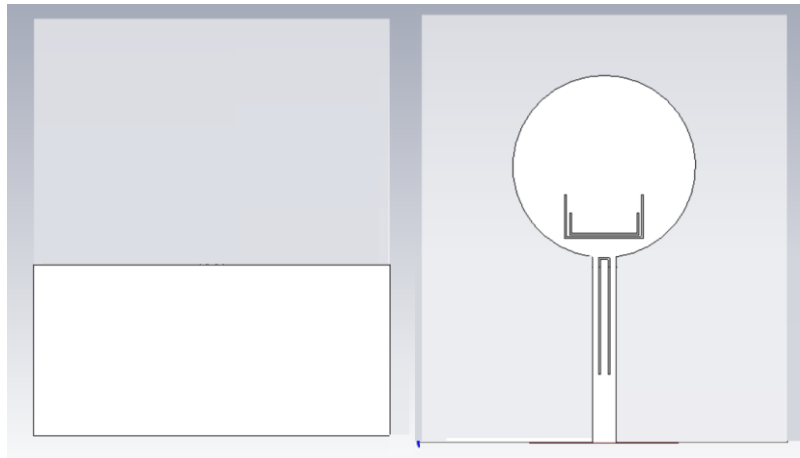
Şekil 14. İki bant çentikli anten geometrisi



Şekil 15. Üretilen iki bant çentikli anten

2.4. Anten-3

İki bant çentikli anten tasarımı üzerine üçüncü bant çentik için konum belirlemek zorlayıcıdır birçok deneme yapıp en uygun sonuç veren konumu seçmek gerekmektedir. Üçüncü bant 8 GHz merkez frekanslı bandı zayıflatmak için tasarlandığı için en kısa uzunluğa sahiptir. 0.2 mm genişliği vardır ve yatay konumda iki tane yarık arasında 0.2 mm mesafe vardır. Dikey konumda ise 0.3 mm mesafe vardır. Antenin benzetim programı üzerinde ön ve arka yüzünün görüntüsü Şekil 16'da üretilen antenin ön ve arka yüzey fotoğrafları Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 16. Üç bant çentikli anten geometrisi

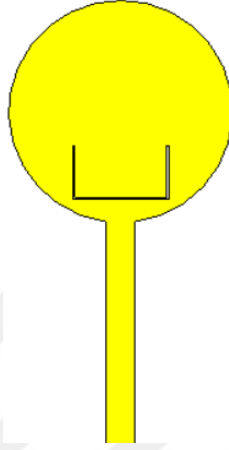


Şekil 17. Üretilen üç bant çentikli anten

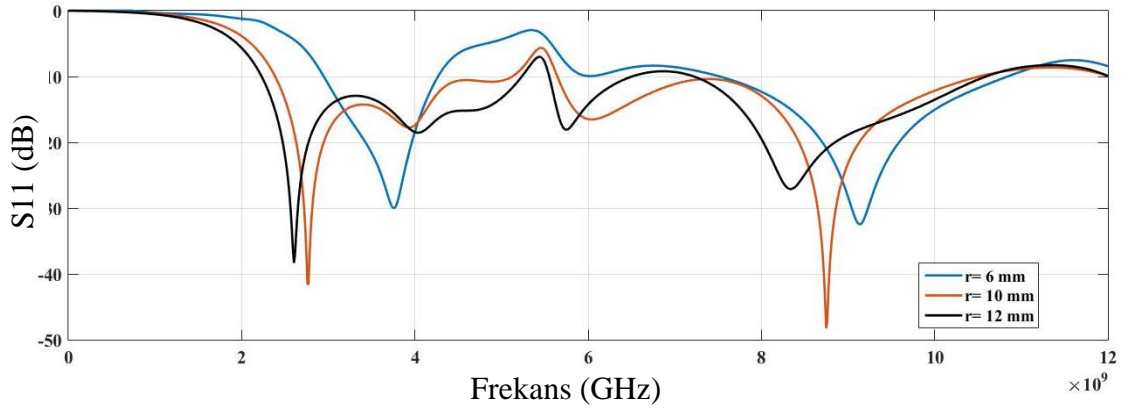


3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Benzetim programında 5.5 GHz merkez frekanslı bantı zayıflatan UWB anten oluşturuldu. Bazı değişimlerinin anten ışımaya özelliklerine etkisi incelendi.

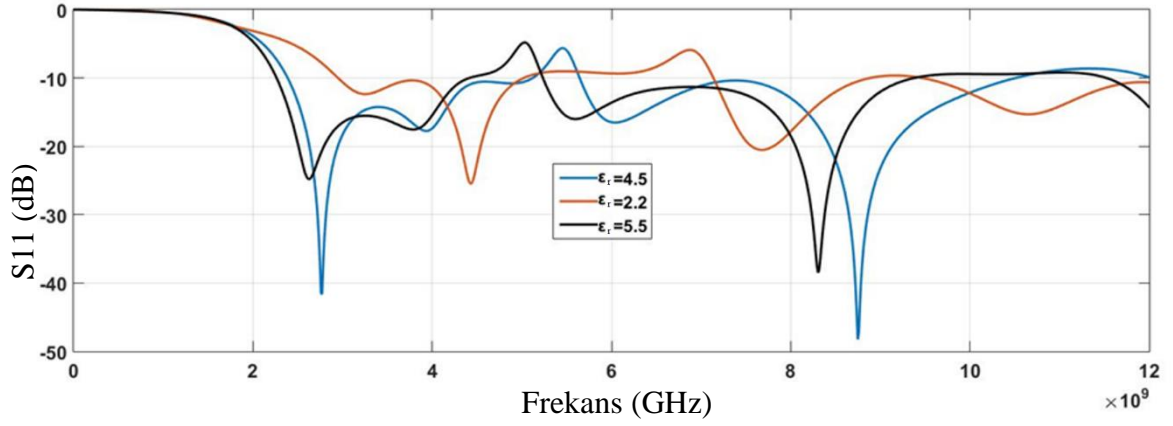


Şekil 18. Benzetimde oluşturulan 1 bant çentikli anten



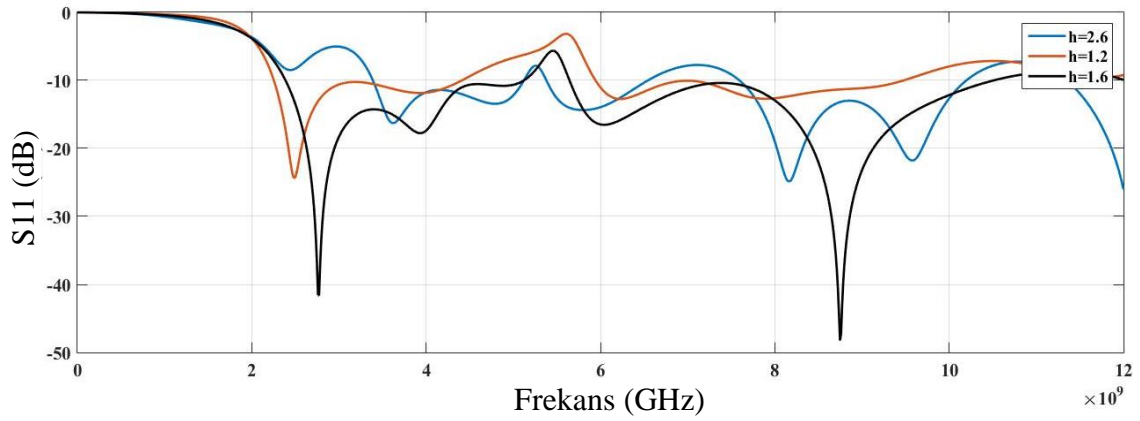
Şekil 19. UWB antenin dairesel ışımaya yüzeyi çapı değistirildiğinde frekansa bağlı S11 değişimi

Şekil 19'da dairesel ışımaya yüzeyi çapının etkisi incelenmektedir. Dairesel ışımaya yüzeyinin çapı değiştğinde rezonans frekansında kayma olmaktadır.



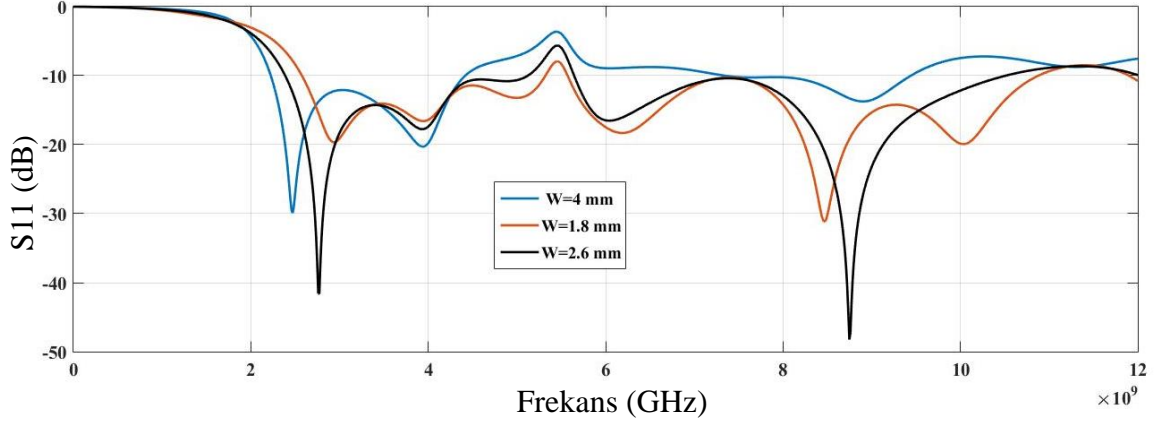
Şekil 20. UWB Monopol antenin dielektrik tabakasının dielektrik sabiti değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değişimi

Dielektrik malzemenin etkin dielektrik sabitinin değişiminin S11-frekans grafiğine yansımaları şekil 20’de görülmektedir.



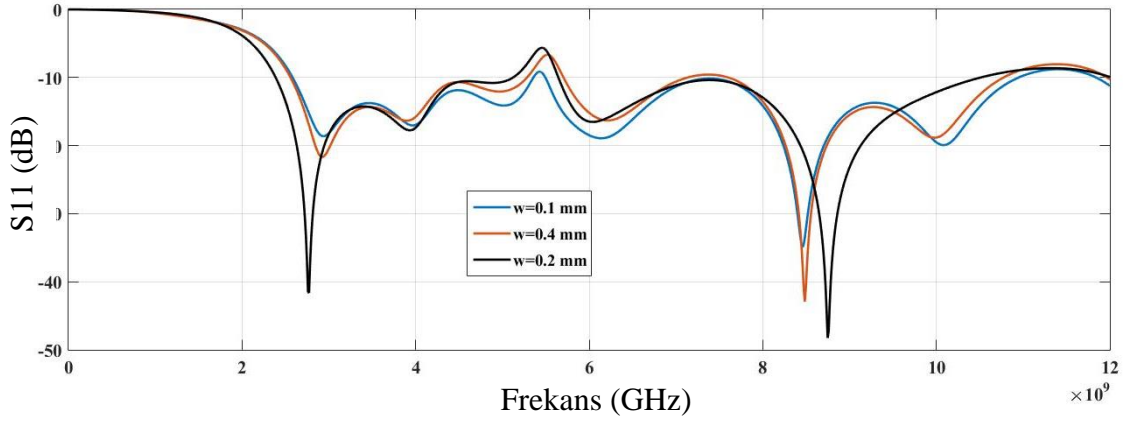
Şekil 21. UWB Monopol antenin dielektrik tabakasının kalınlığı değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değişimi

Dielektrik tabakası kalınlığının değişiminin S11-frekans grafiğine yansımaları şekil 21’de görülmektedir.



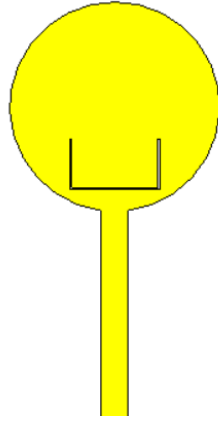
Şekil 22. UWB Monopol antenin mikroşerit besleme hattı genişliği değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değişimi

Mikroşerit besleme hattı genişliği empedans uyumu için önemlidir. Şekil 22’de besleme hattı genişliği arttıkça S11-frekans grafiğinin değişimi görülmektedir.

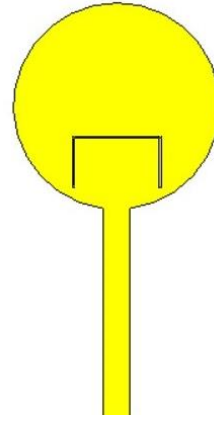


Şekil 23. UWB Monopol antenin ışıma yaması üzerinde oluşturulan yarığın genişliği değiştirildiğinde frekansa bağlı S11 değişimi

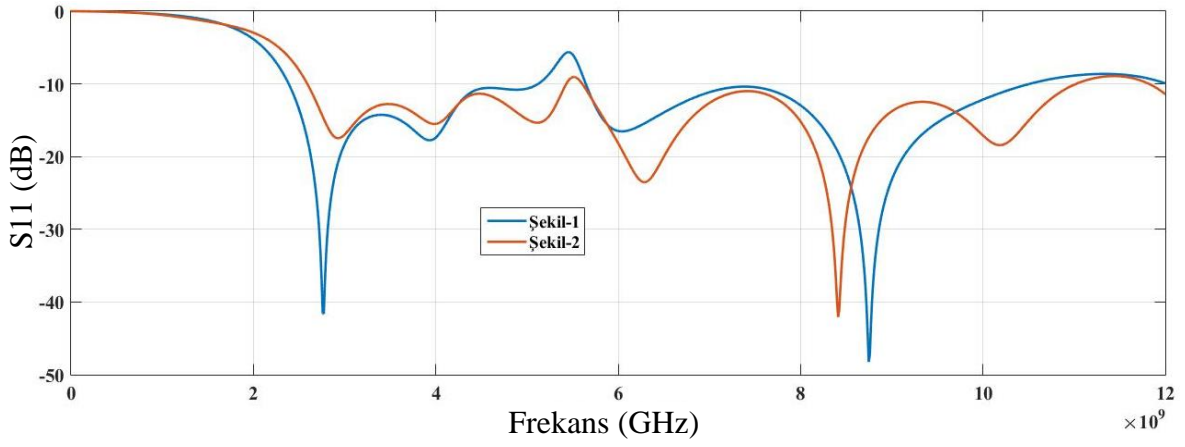
Yarığın genişliğinin değiştirilmesi çentikli bant genişliği ve merkez frekanslarında ufak değişikliklere sebep olmaktadır. Şekil 23’de elde edilen küçük değişimler gösterilmiştir.



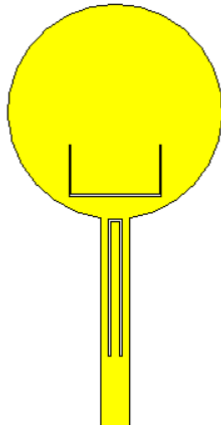
(a) Şekil-1



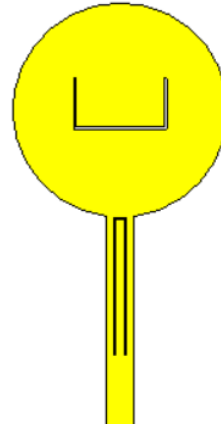
(b) Şekil-2



(c)



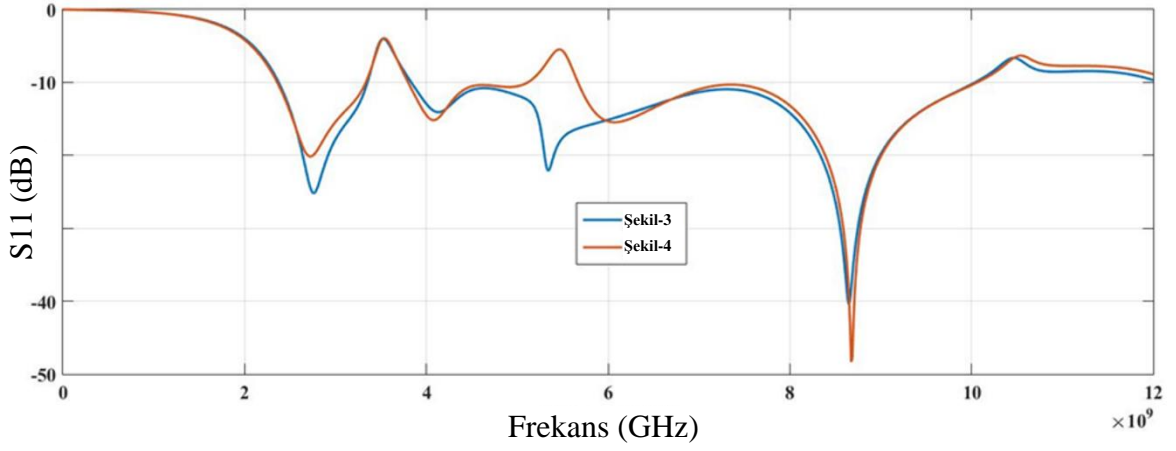
(d) Şekil-3



(e) Şekil-4

Şekil 24. Yarık şeklinin ve konumunun değişiminin S11 – frekans grafiğine yansımaları (a), (b), (c), (d), (e), (f)

Şekil 24'ün devamı



(f)

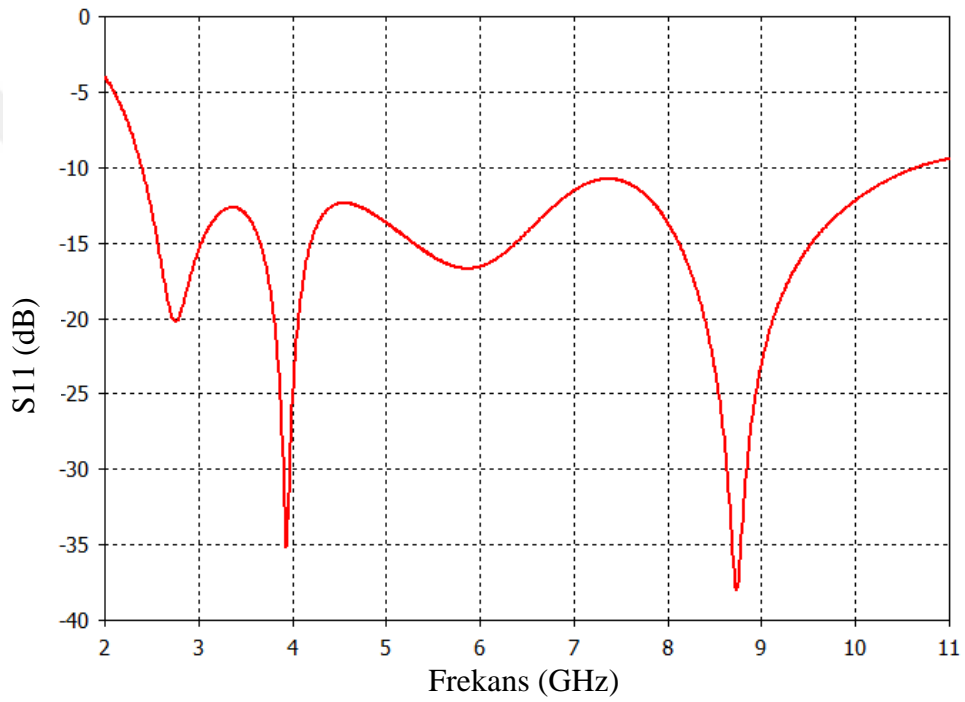
Bir adet yarığı bulunan monopol anten Şekil 24'de (a)'dan (b) şekline geldiğinde yani yarığın yönü değiştirildiğinde zayıflatılmak istenen frekansta kayma olmaktadır. Buradan da görülmektedir ki bant zayıflatmak için yarık boyu hesaplanırken matematiksel olarak bulduğumuz sonuç yarığın şekli ile değişebilmektedir. Yarığın konumu (d)'den (e) şekline geldiğinde, yani yarık bir miktar yukarı kaydırıldığında antenin etkisini göstermediği Şekil 24'deki S11 – frekans grafiğinde görülmektedir.

4. SONUÇLAR

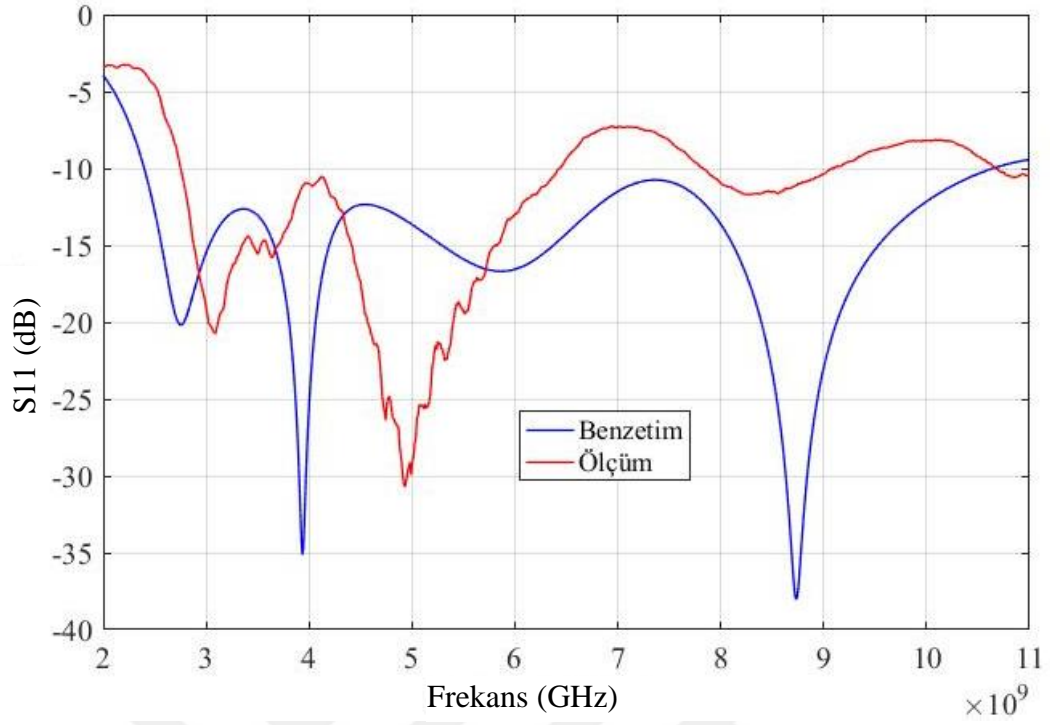
4.1. Anten-1

Birincil anten 2.6 GHz ile 11.2 GHz arasında -10 dB 'nin altında geri dönüş katsayısına sahiptir.

Benzetim sonucu şekil 25'de görülmektedir.

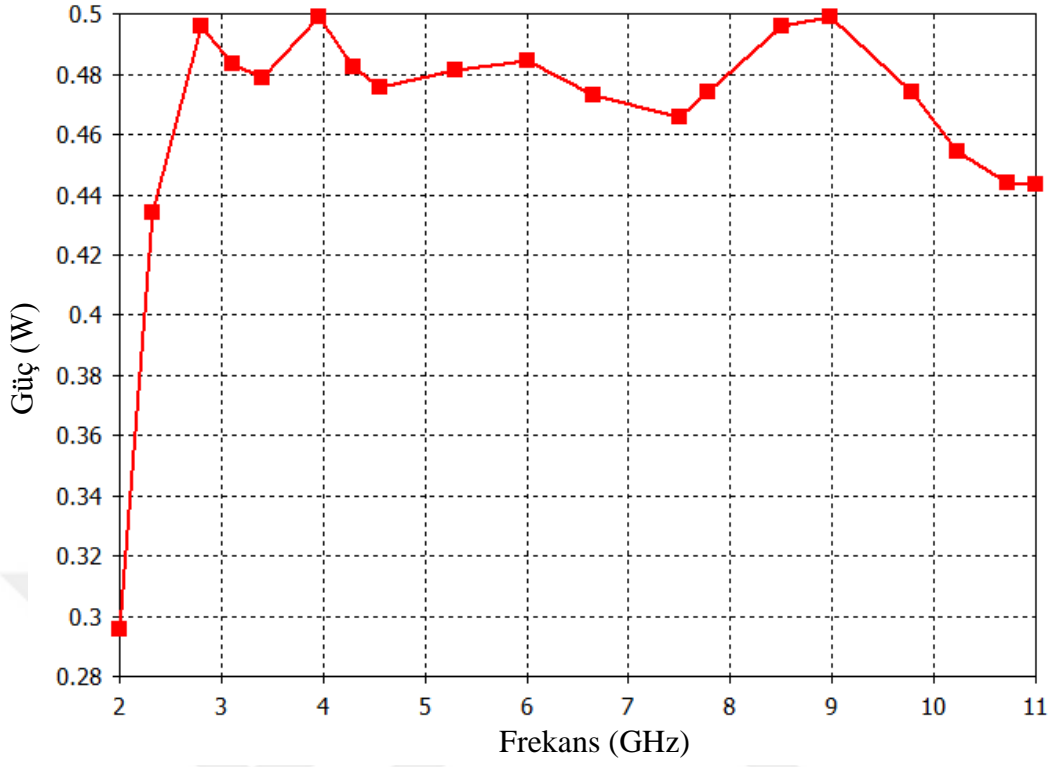


Şekil 25. Anten-1'e ait S11-frekans grafiği

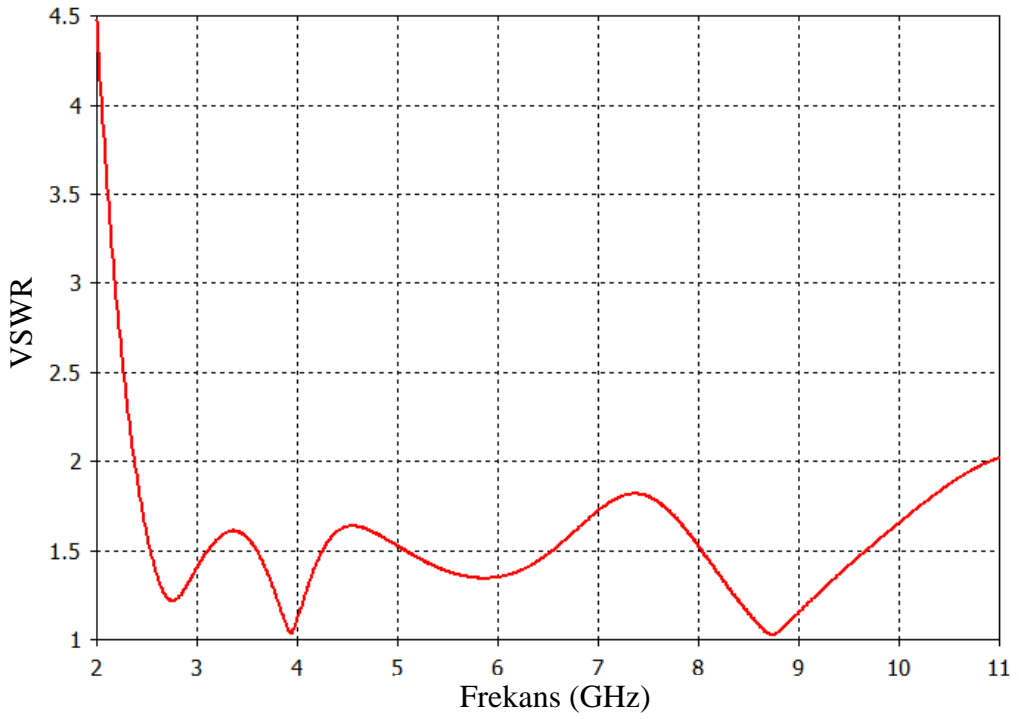


Şekil 26. Anten-1'e ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11-frekans grafiği karşılaştırılması

Birincil antenin ölçüm sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırıldığında görünen farklılık kullanılan dielektrik malzeme FR-4'e ait dielektrik sabitin frekansla düzensiz değişiminden kaynaklanmaktadır. Benzetimde hesaplanan ölçümler gerçekte farklı olmaktadır. İmalat ve ölçüm sırasında bazı etkenler de bir miktar etkilemektedir.

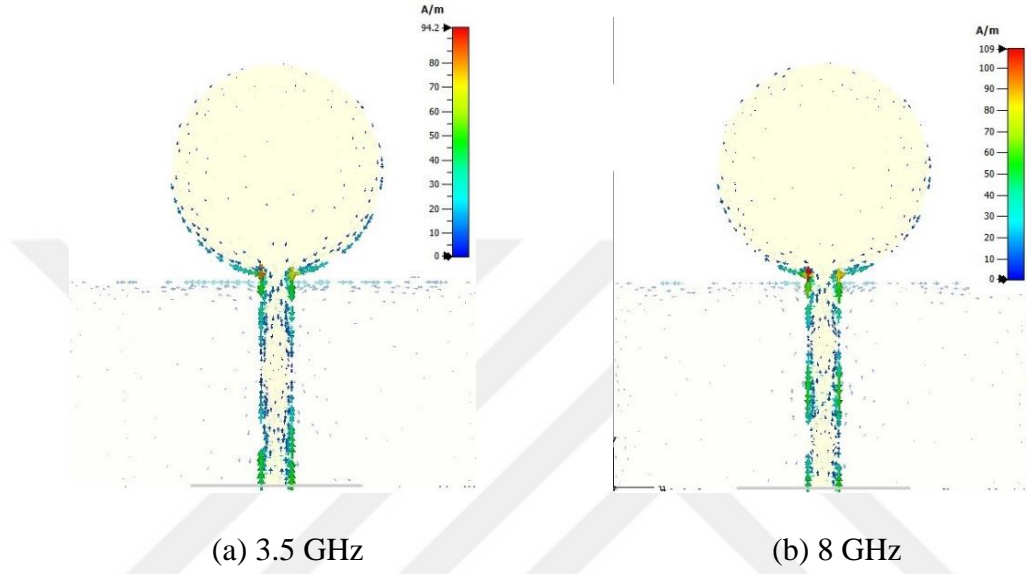


Şekil 27. Anten-1'e ait kabul edilen güç- frekans grafiği



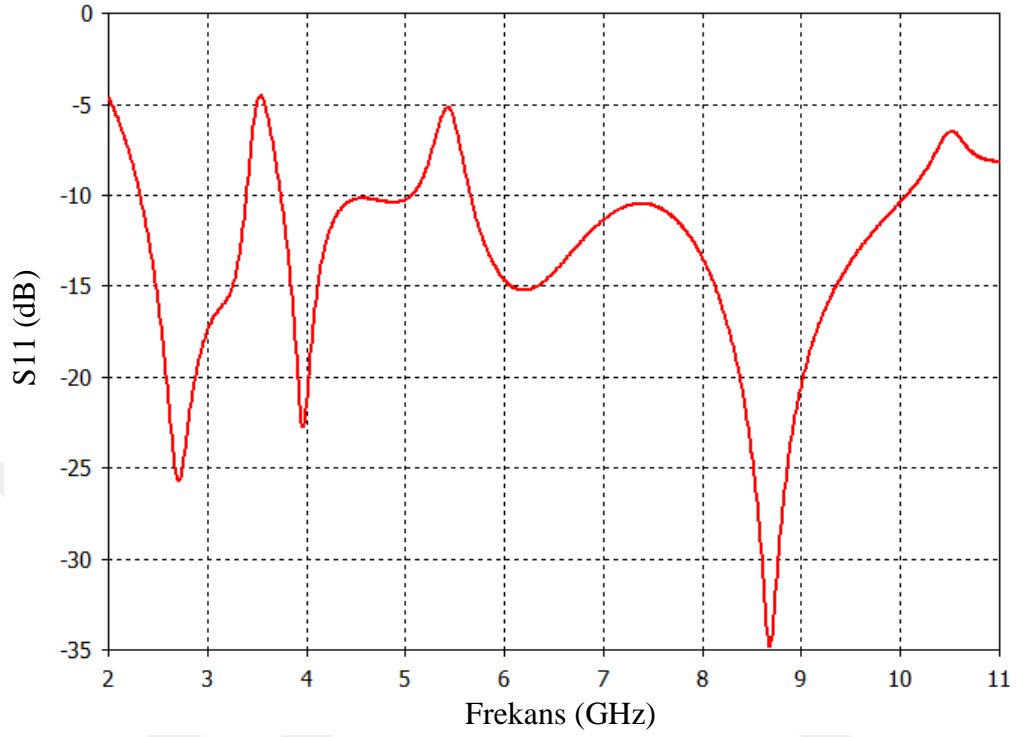
Şekil 28. Anten-1 VSWR-frekans grafiği

Şekil 27’de anten kabul edilen güç değerinin frekansla değişimi görülmektedir. İletim hattı ile yük arasındaki empedans farkı yansıma dolayısıyla duran dalgalar oluşturur. Şekil 28’de duran dalga’nın maksimum ve minimum değerlerinin birbiriyle oranlanmasıyla elde edilen VSWR değerinin ikinin altında olması anten empedansının bu aralıkta istenilen uyumda olduğunu gösterir.

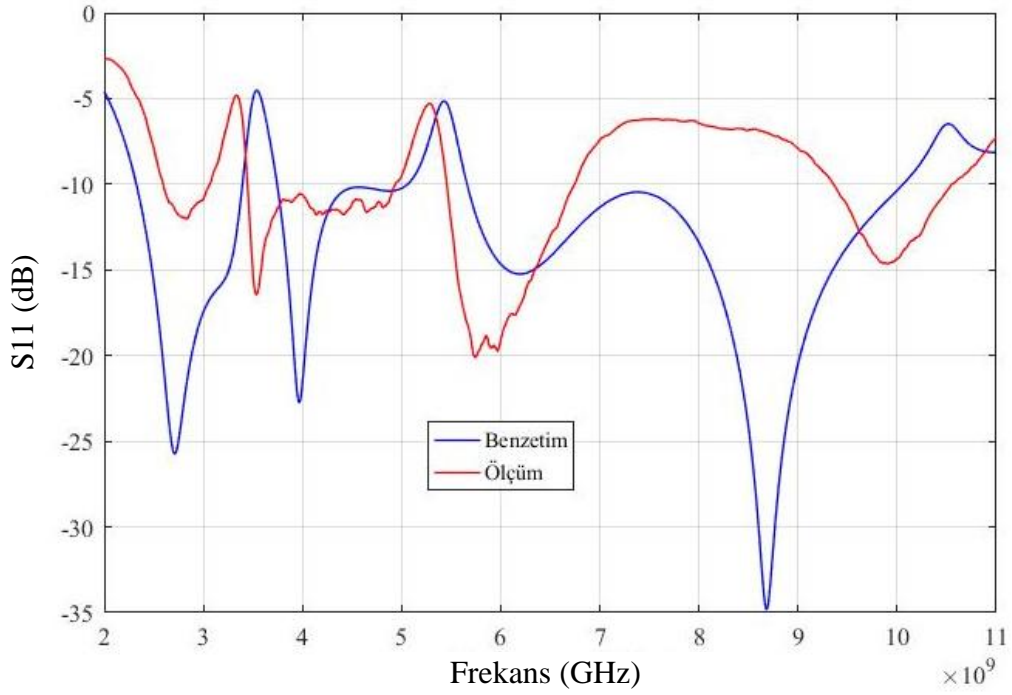


Şekil 29. Birincil anten (a) 3.5 GHz, (b) 8 GHz frekanslarında yüzey akım yoğunlukları benzetim sonuçları

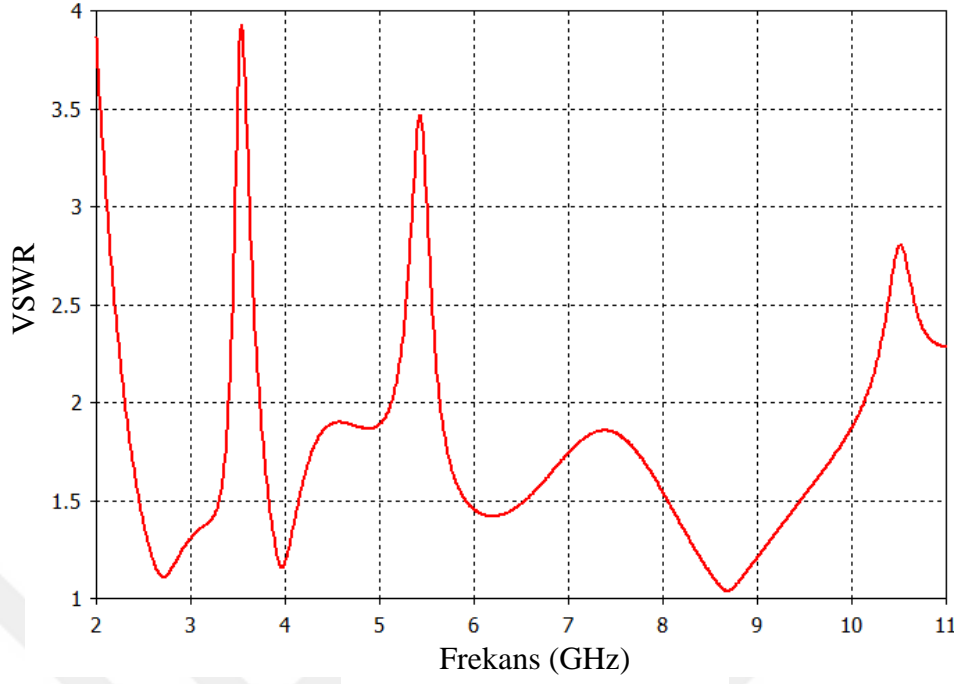
4.2. Anten-2



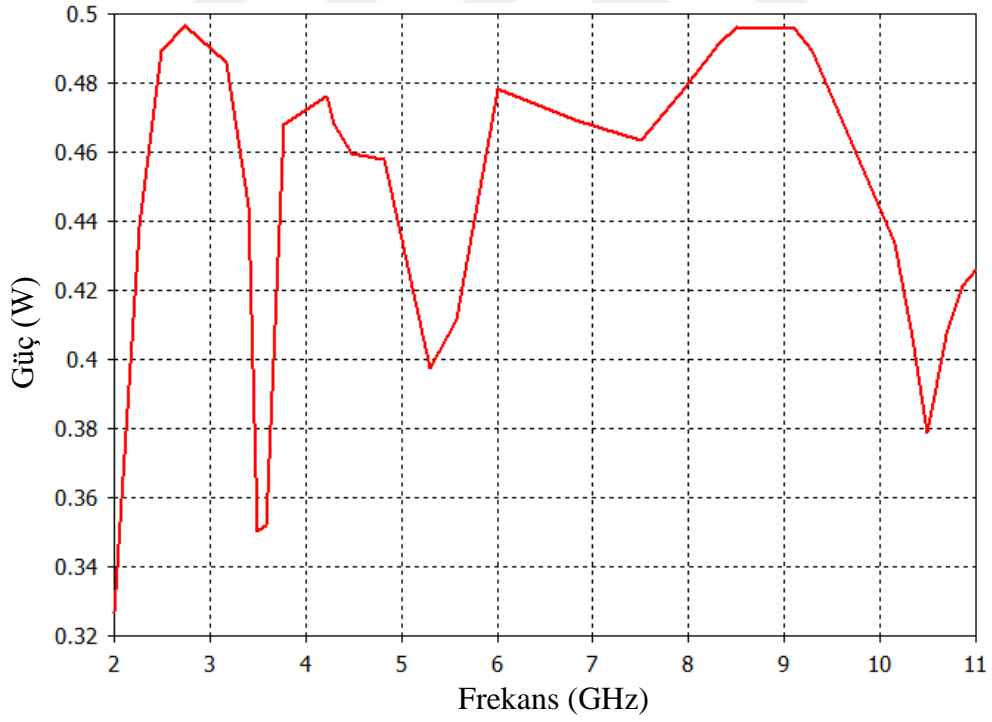
Şekil 30. Anten-2'ye ait S11-Frekans grafiği



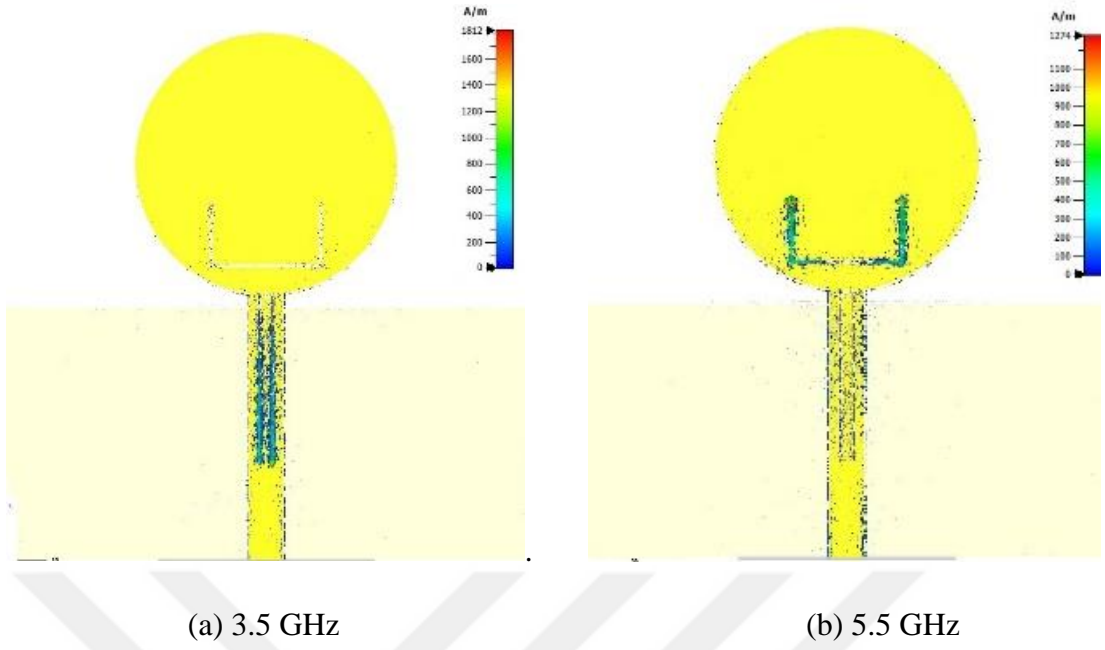
Şekil 31. Anten-2'ye ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11-frekans grafiği karşılaştırılması



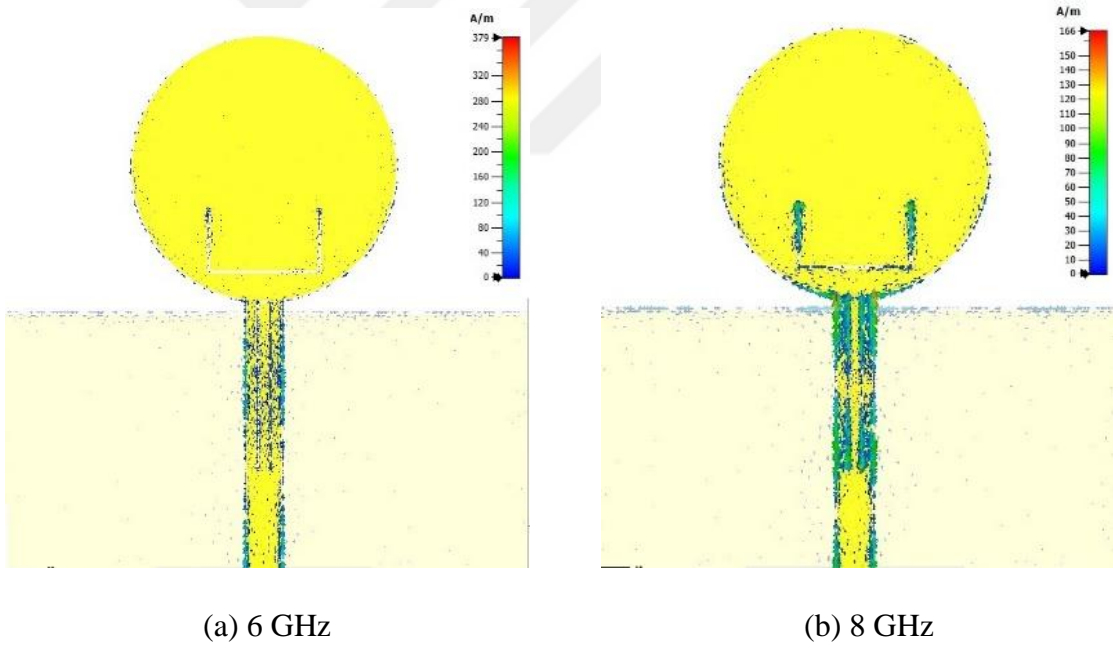
Şekil 32. Anten-2'ye ait VSWR-Frekans grafiği



Şekil 33. Anten-2'ye ait kabul edilen güç-frekans grafiği



Şekil 34. Anten-2'ye ait (a) 3.5 Ghz, (b) 5.5 Ghz frekanslarında yüzeysel akım yoğunlukları

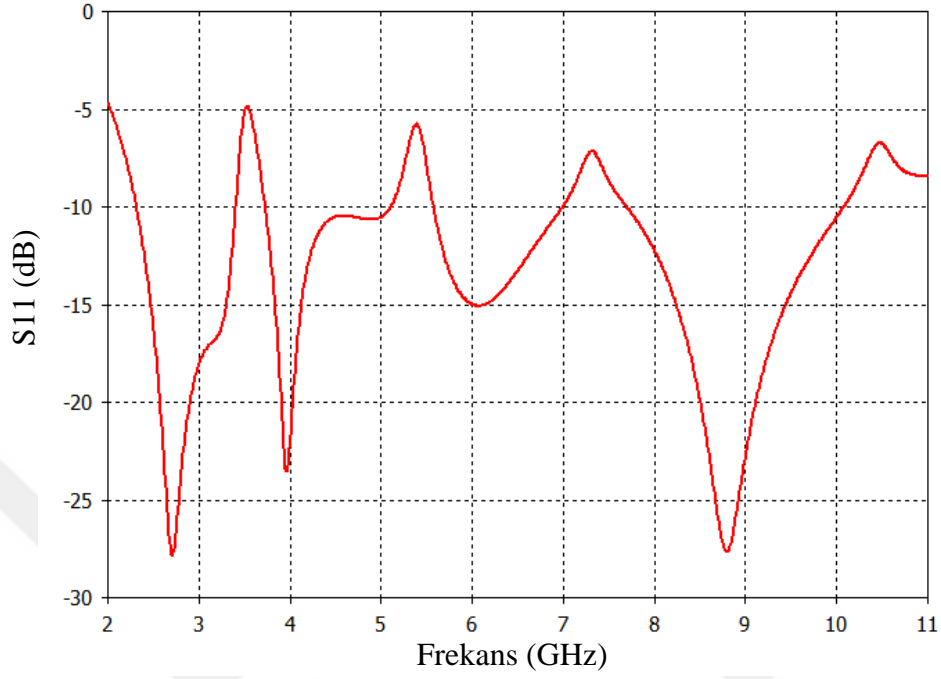


Şekil 35. Anten-2'ye ait (a) 6 GHz, (b) 8 GHz frekanslarında yüzeysel akım yoğunlukları

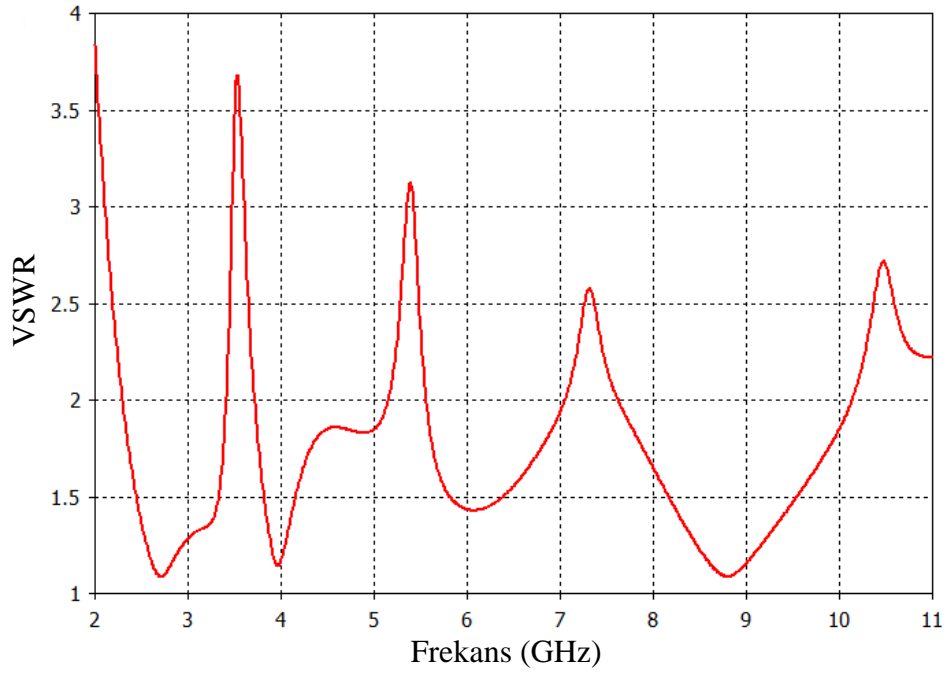
Şekil 31'de ölçülen S11 değerlerinin benzetim sonucuna göre bir miktar kaydıği görülmektedir. FR-4 malzemenin frekansla değişimi ve ölçüm anı parametreleri bu duruma neden olmaktadır.

Şekil 30'da S11 grafiği, Şekil 32'de VSWR grafiği, Şekil 33'de kabul edilen güç grafiğinde zayıflatılan bantlar görülmektedir.

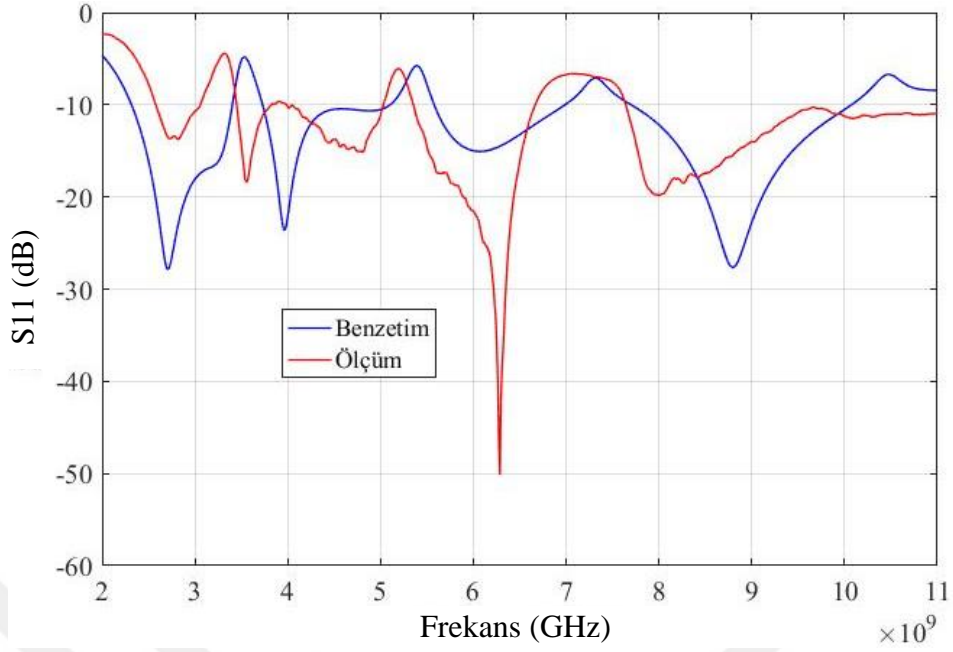
4.3. Anten-3



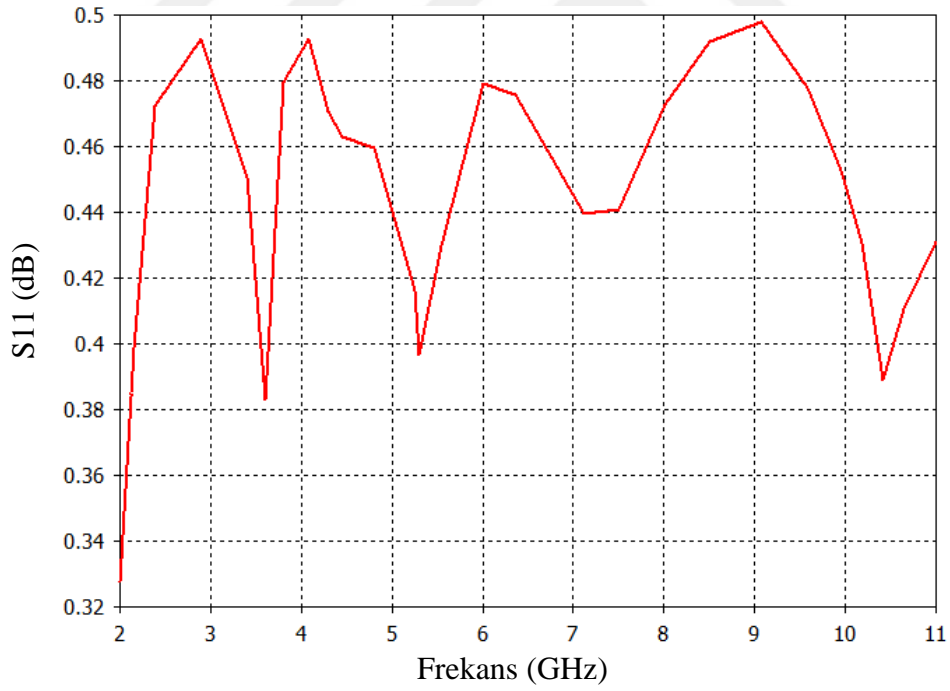
Şekil 36. Anten-3'e ait S_{11} - Frekans grafiği



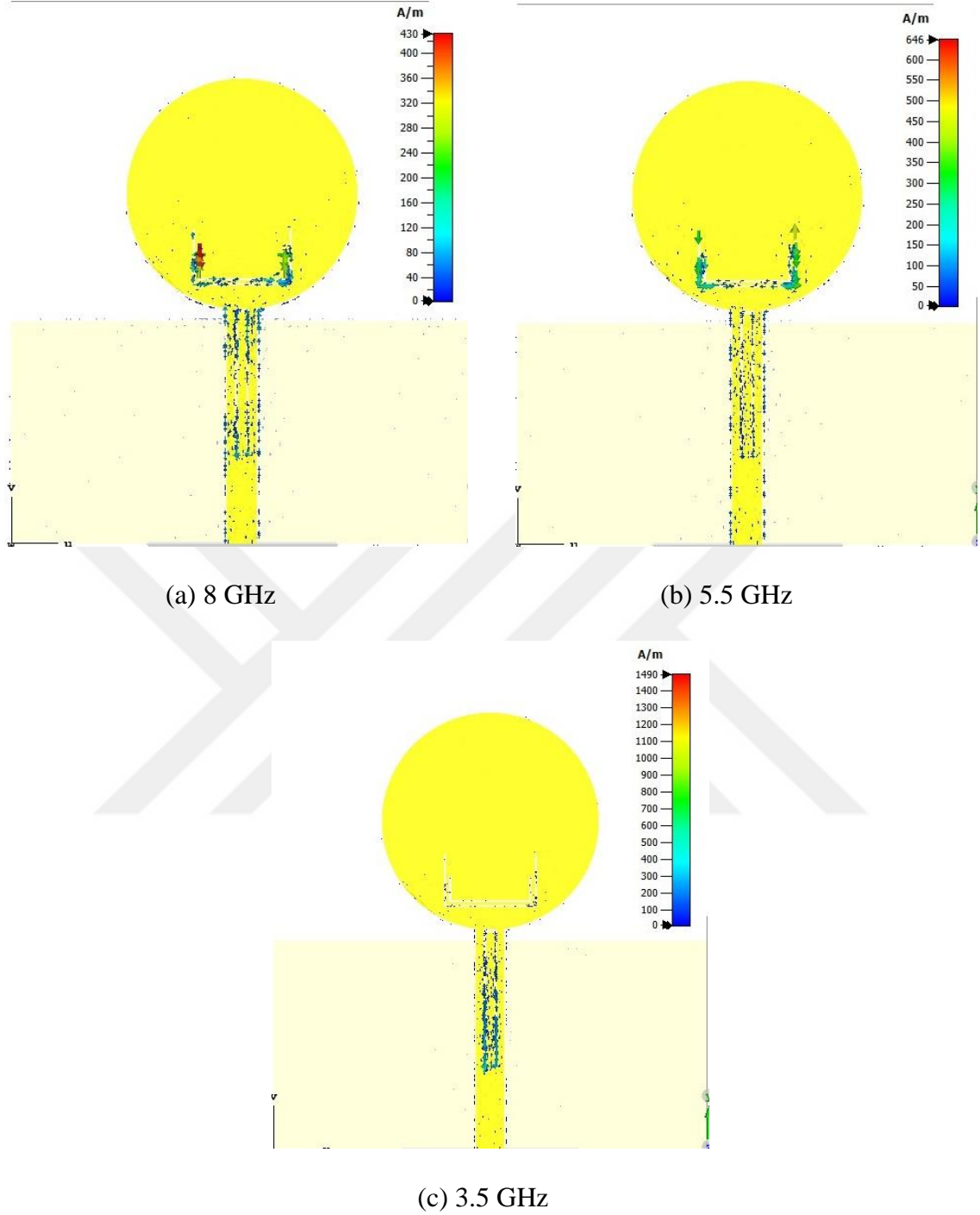
Şekil 37. Anten-3'e ait VSWR- Frekans grafiği



Şekil 38. Anten-3'e ait ölçülerek ve benzetim programı ile elde edilen S11 - frekans grafiği karşılaştırılması



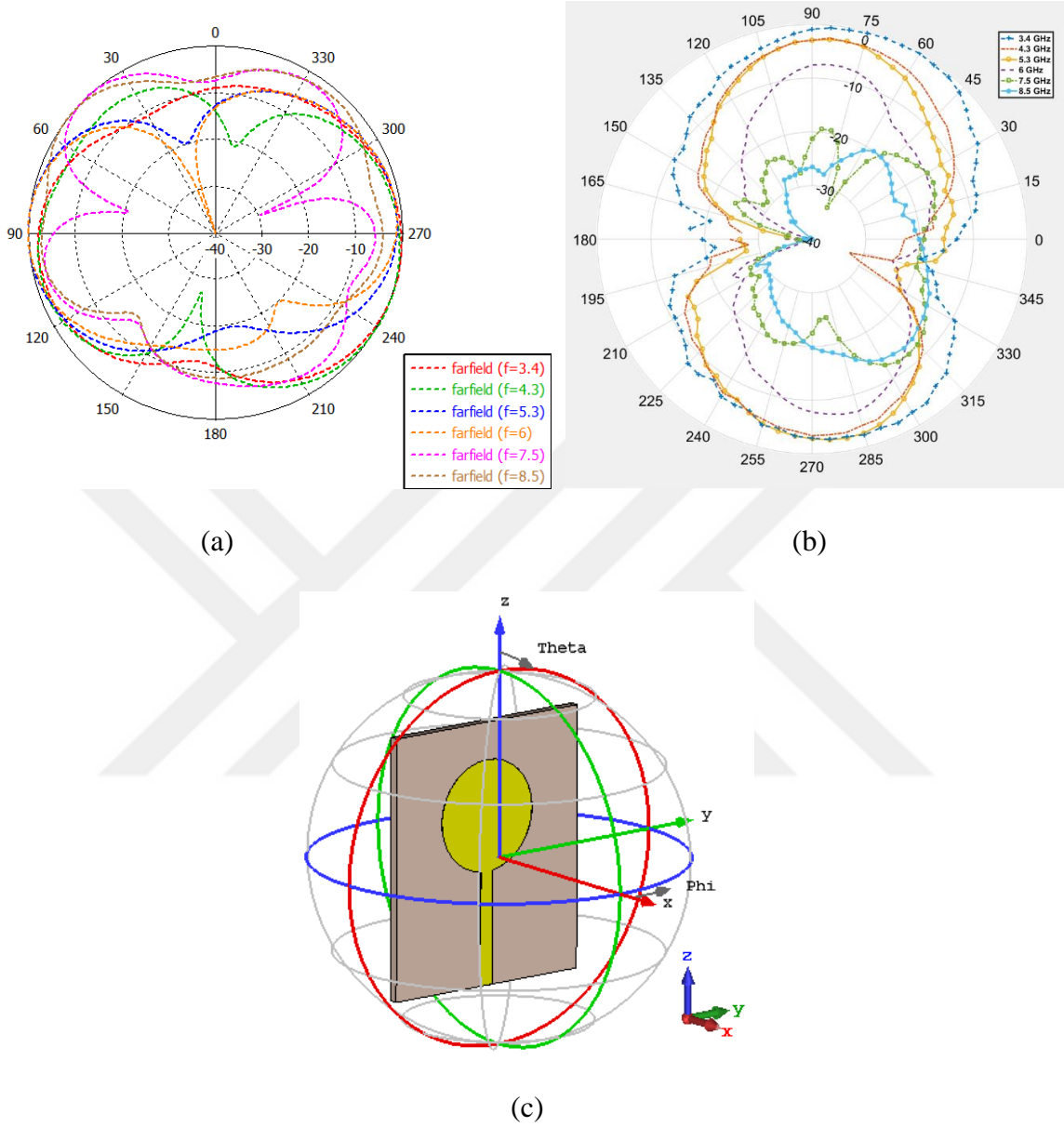
Şekil 39. Anten-3'e ait kabul edilen güç frekans grafiği



Şekil 40. Anten-3'e ait (a) 8 GHz, (b) 5.5 GHz, (c) 3.5 GHz frekanslarında yüzey akım yoğunlukları

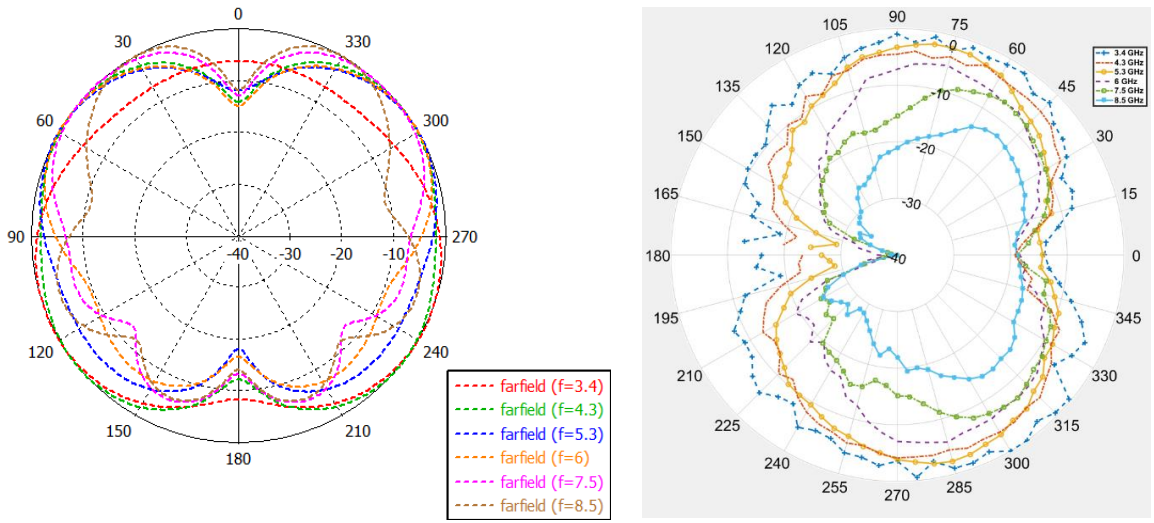
Şekil 36'da S11 grafiği, Şekil 37'de VSWR grafiği, Şekil 39'da kabul edilen güç grafiğinde zayıflatılan bantlar görülmektedir. Şekil 38'de ölçülen S11 değerlerinin benzetim sonucuna göre bir miktar kaydığı görülmektedir. FR-4 malzemenin frekansla değişimi ve ölçüm anı parametreleri bu duruma neden olmaktadır. Şekil 40'da akımın zayıflatılan frekansta yarıklar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

4.4. Anten-1, Anten-2, Anten-3 Işıma Örüntüleri



Şekil 41. Anten-1, $\phi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 41'de $\phi=0$ açısında 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz için Anten-1'e ait ışırma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece antenin en fazla ışırma yaptığı doğrultular olmaktadır. Yüksek frekanslarda ışırma bozulmaktadır.



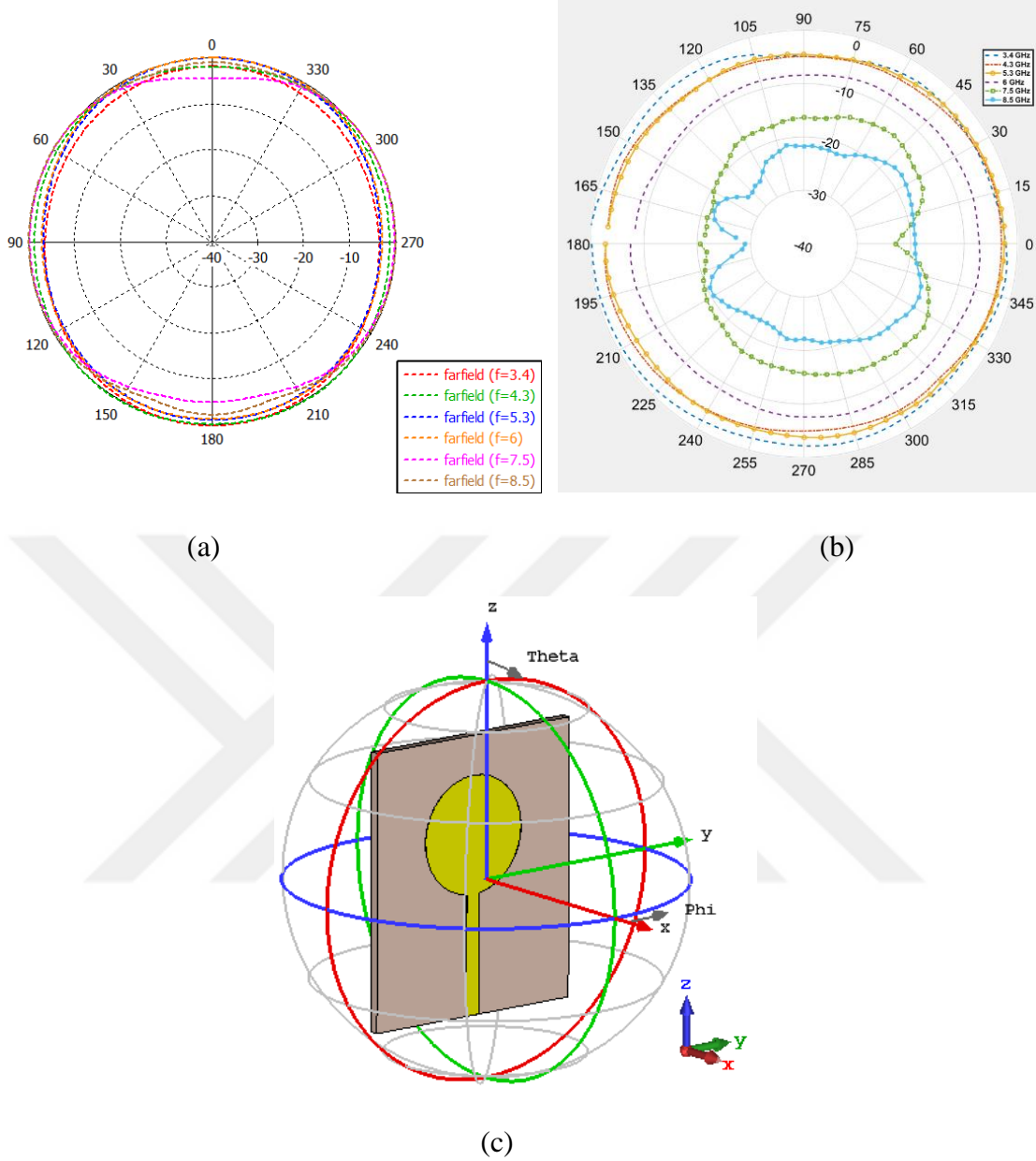
(a)

(b)

(c)

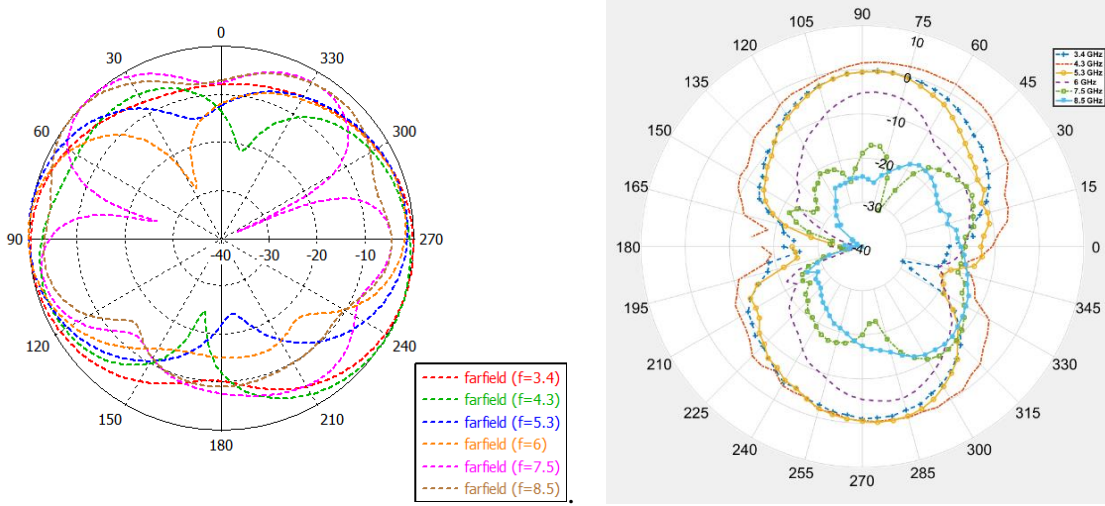
Şekil 42. Anten-1, $\varphi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 42’de $\varphi=90$ için 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-1’e ait ışınma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açık değerleri antenin paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



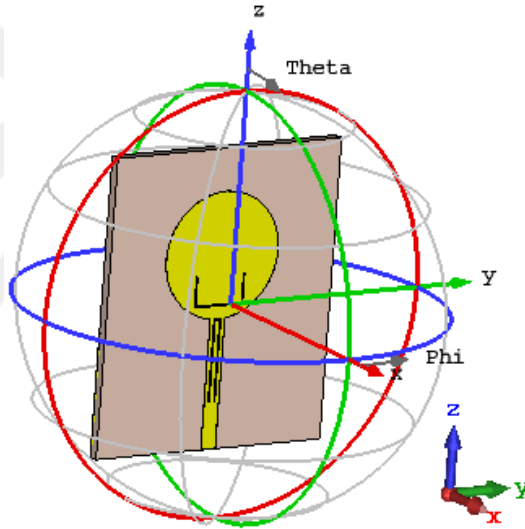
Şekil 43. Anten-1, $\theta=90^\circ$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 43'de 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-1'e ait ışıma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açık değerleri anteni enlemesine kesmektedir. Yüksek frekanslarda ışıma bozulmaktadır.



(a)

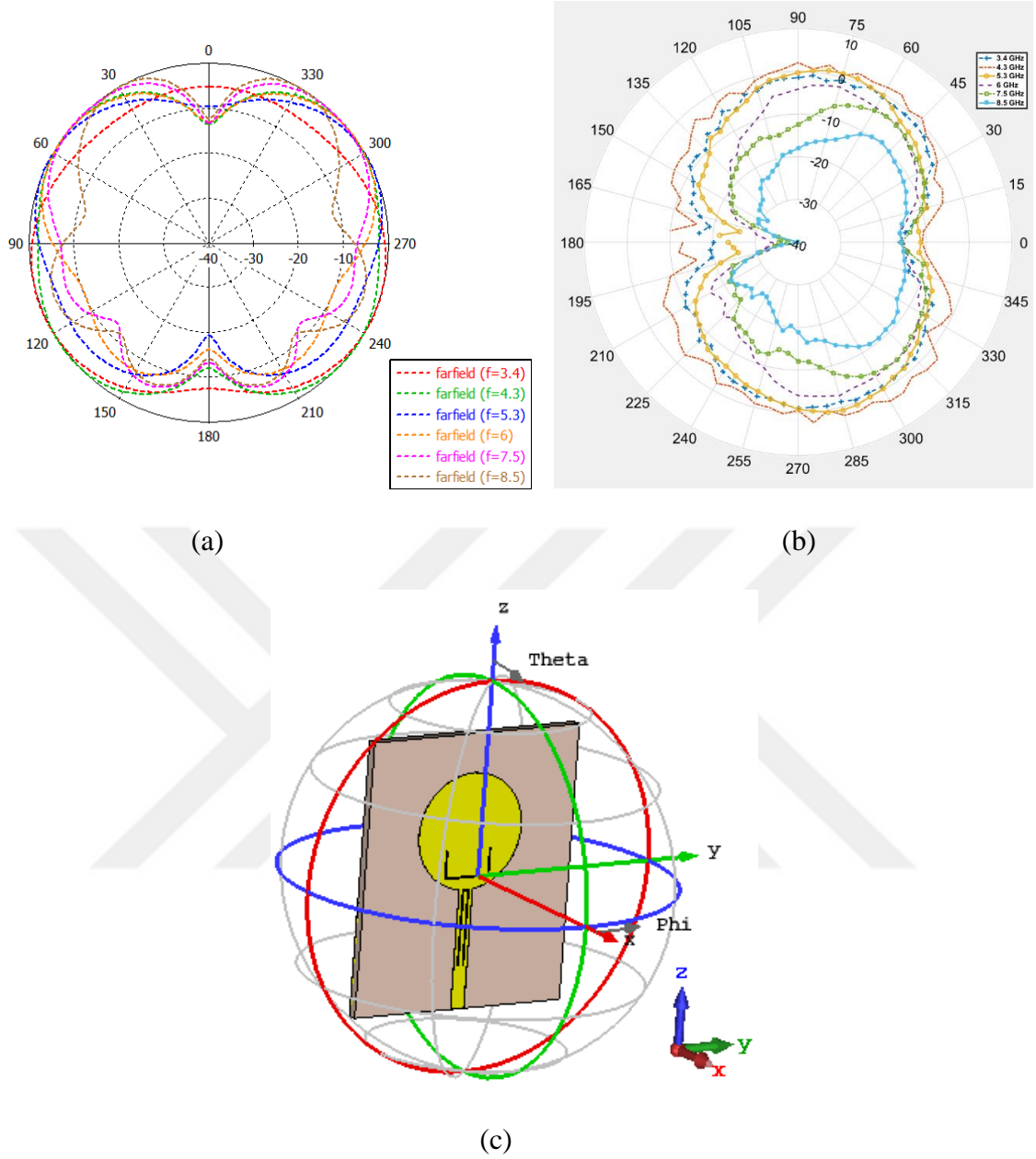
(b)



(c)

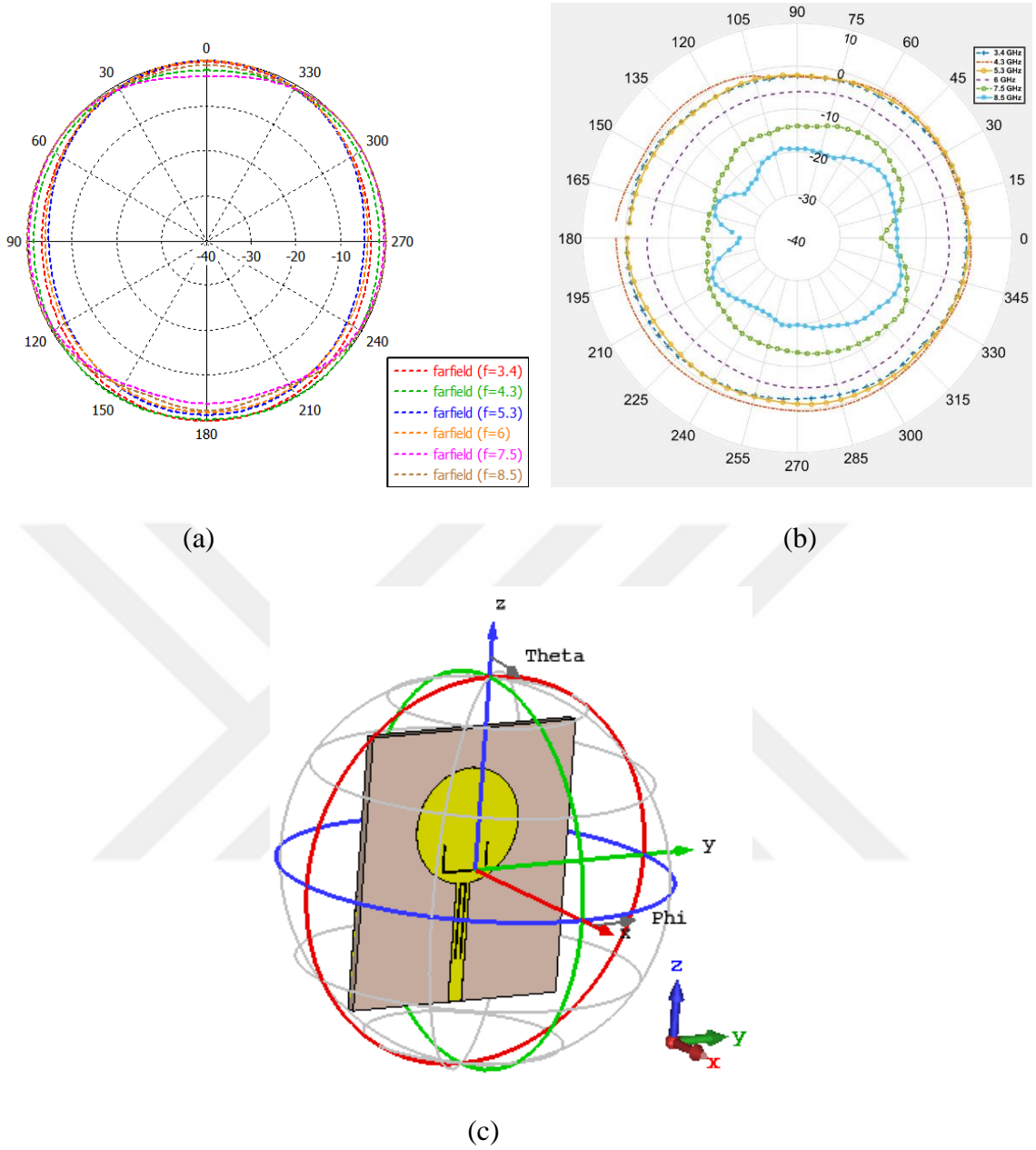
Şekil 44. Anten-2, $\varphi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 44'de $\varphi=0$ açısında 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz için Anten-2'e ait ışıma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece antenin en fazla ışıma yaptığı doğrultular olmaktadır. Yüksek frekanslarda ışıma bozulmaktadır.



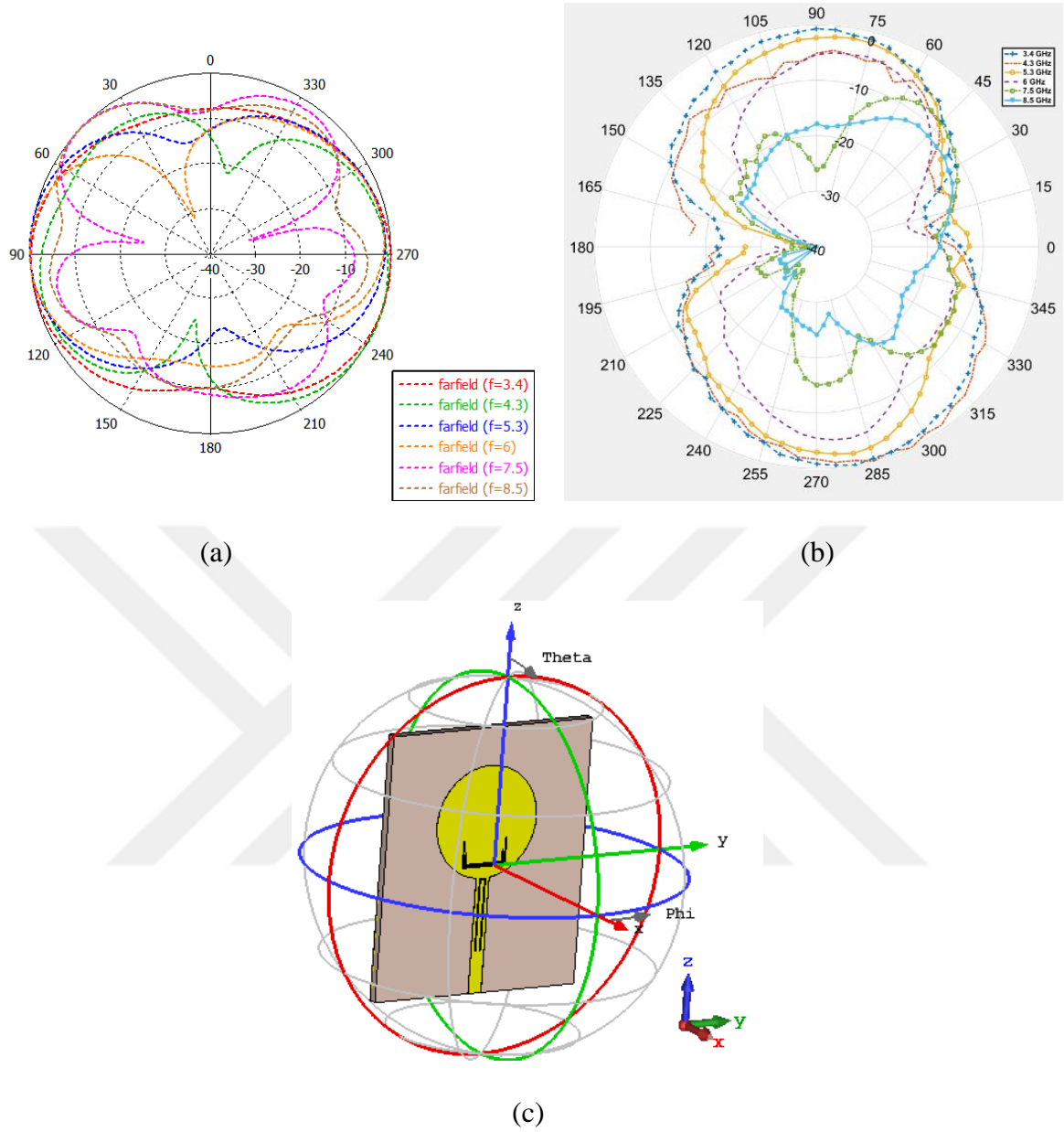
Şekil 45. Anten-2, $\varphi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 45’de $\varphi=90$ için 3.4 GHz, 4.3 GHz ,5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-2’ e ait ışınma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açı değerleri anteni paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



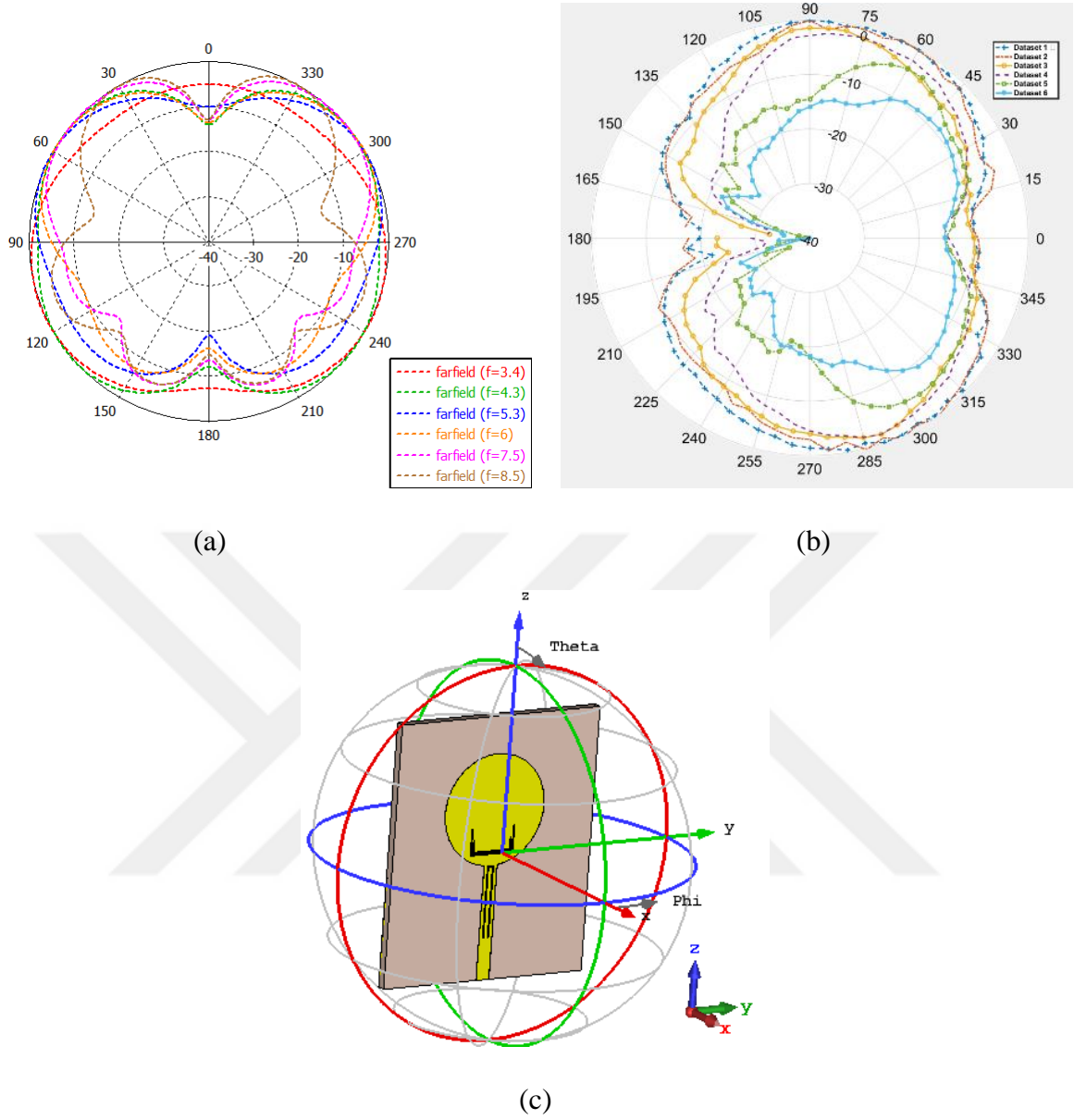
Şekil 46. Anten-2 $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 46'da 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-2'e ait ışım şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açı değerleri anten enlemesine kesilmektedir. Yüksek frekanslarda ışım bozulmaktadır.



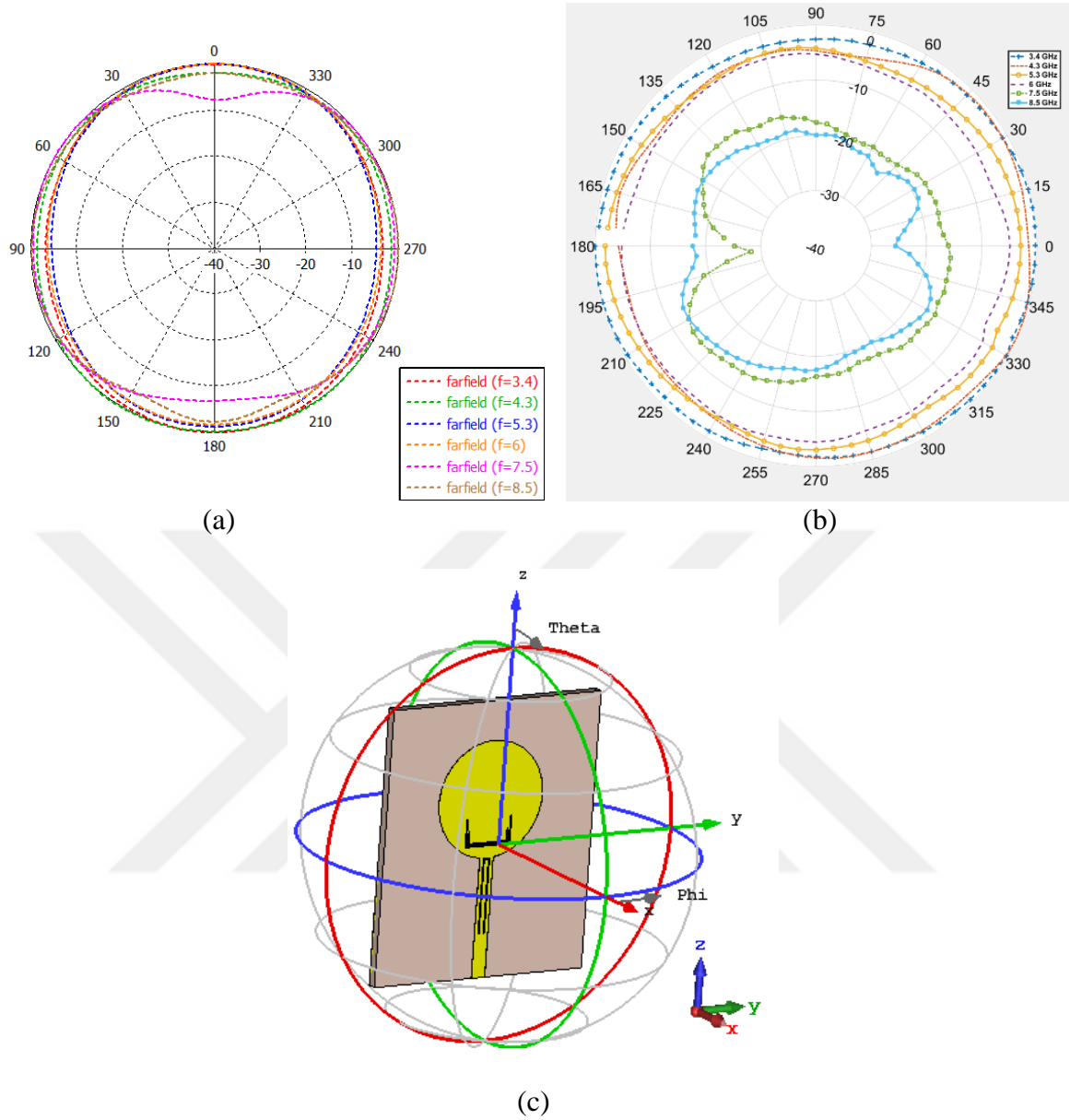
Şekil 47. Anten-3, $\phi=0$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 47'de $\phi=0$ açısında 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz için Anten-3'e ait ışıma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece antenin en fazla ışıma yaptığı doğrultular olmaktadır. Yüksek frekanslarda ışıma bozulmaktadır.



Şekil 48. Anten-3, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

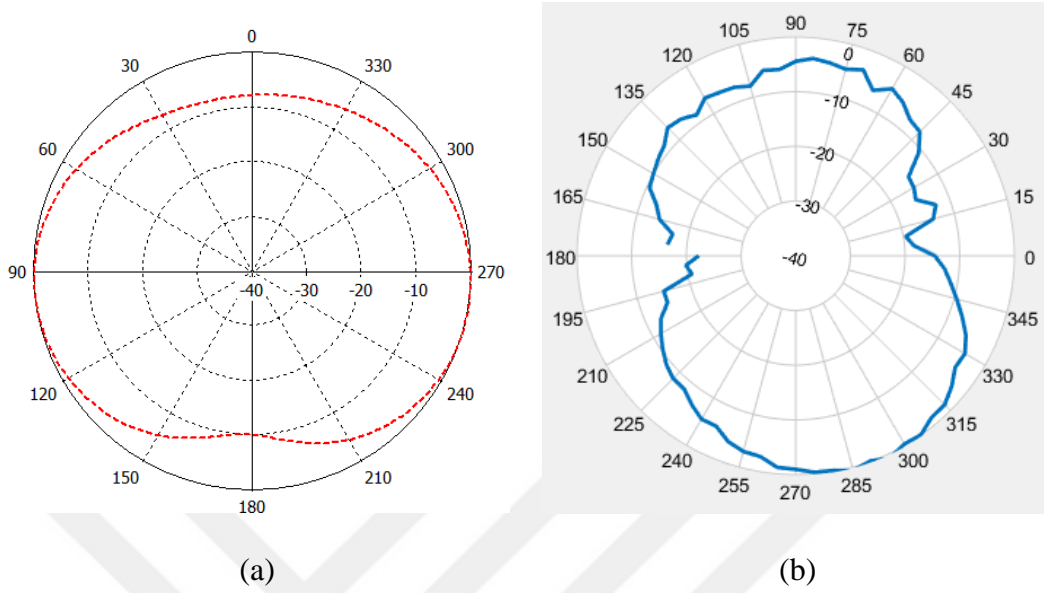
Şekil 48’de $\phi=90$ için 3.4 GHz, 4.3 GHz ,5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-3’e ait ışınma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açık değerleri antenin paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



Şekil 49. Anten-3 $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

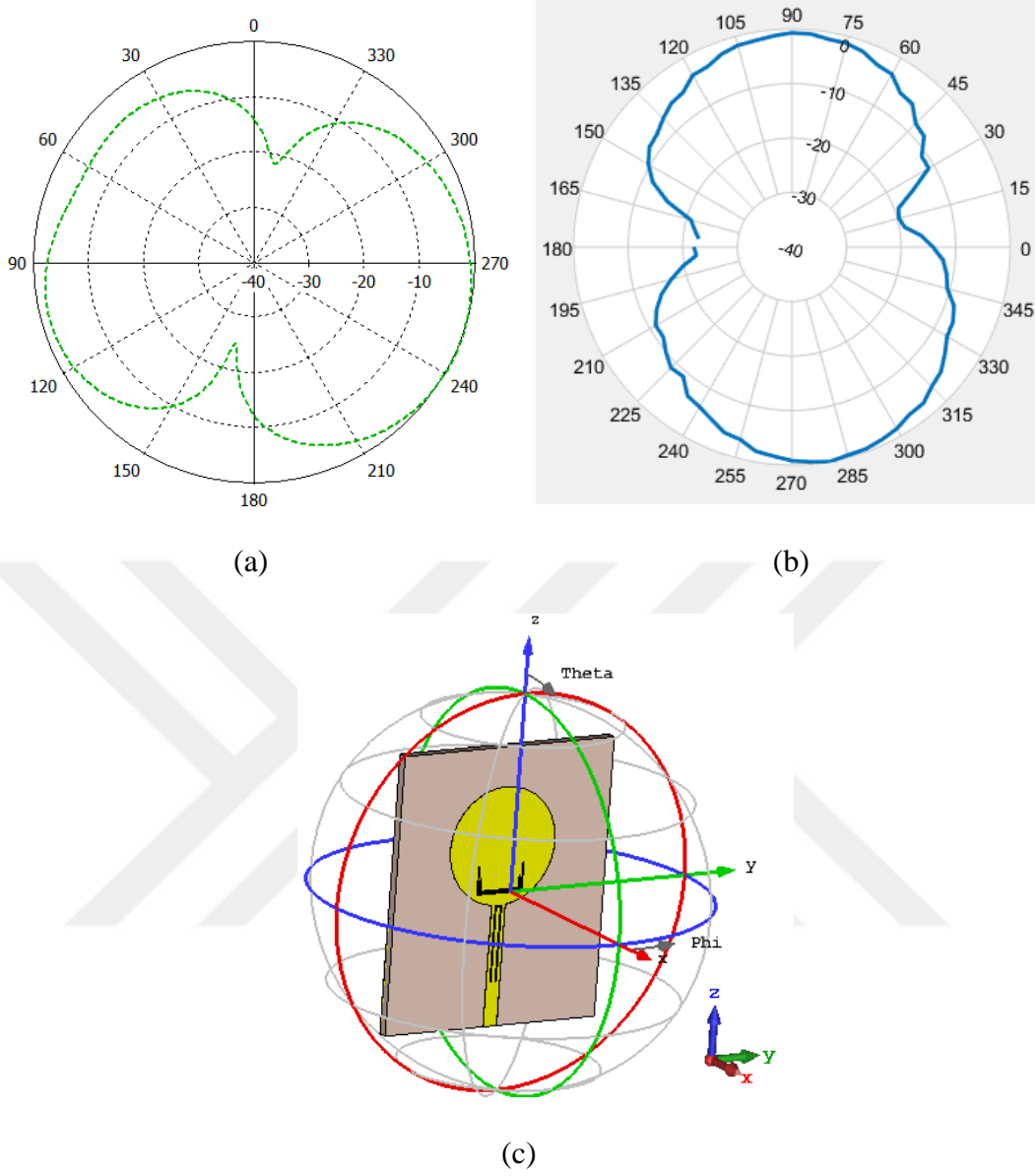
Şekil 49'da 3.4 GHz, 4.3 GHz, 5.3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz ve 8.5 GHz frekanslarında Anten-3'e ait ışıma şiddeti benzetim ve laboratuvar örüntü ölçümleri bulunmaktadır. Açık değerleri anten enlemesine kesilmektedir. Yüksek frekanslarda ışıma bozulmaktadır.

4.5. Anten-3'e Ait Işıma Örüntüleri



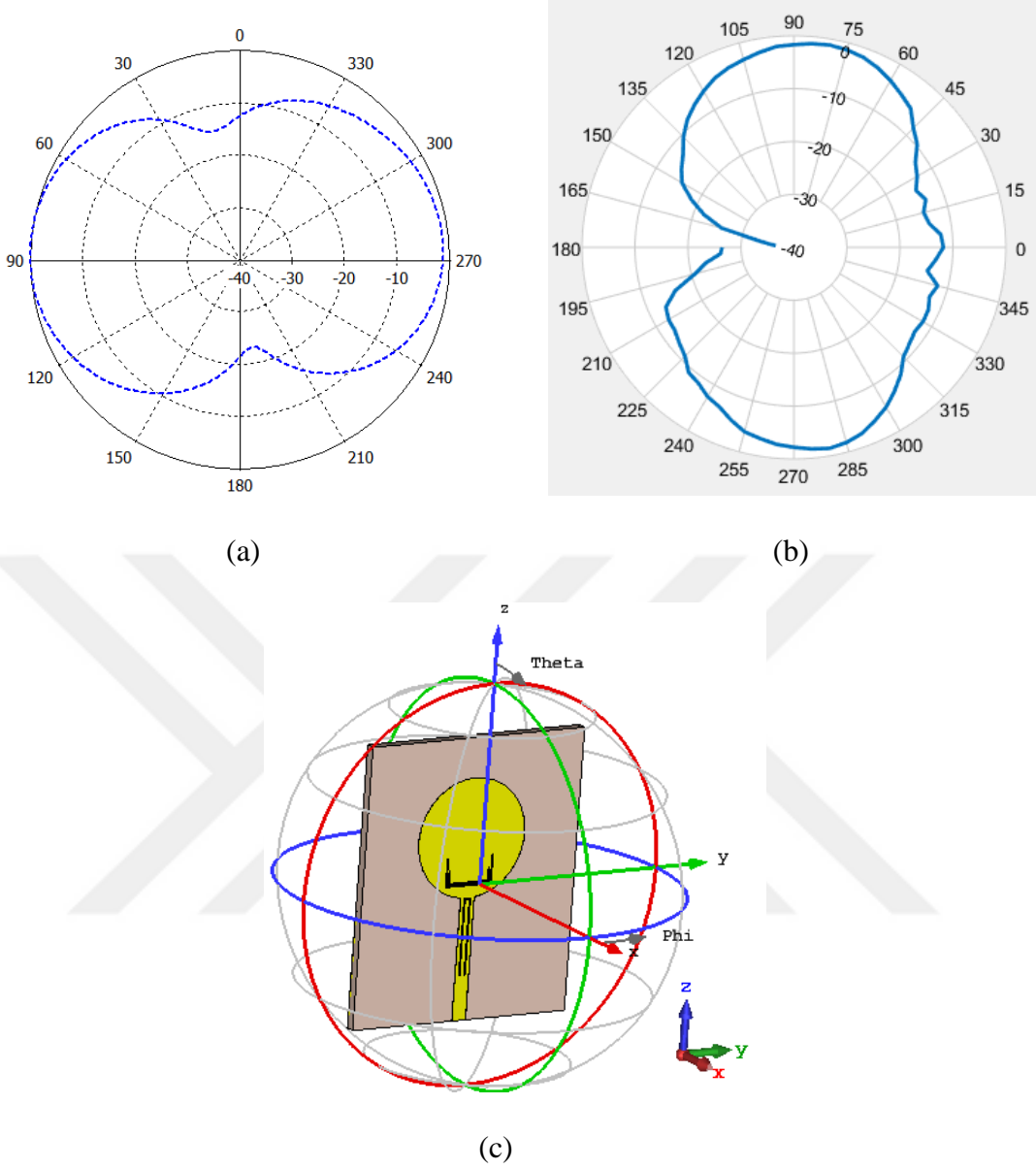
Şekil 50. Anten-3, $\varphi=0$, $f=3.4$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 50'de anten-3'ün konumu ve 3.4 GHz frekansında $\varphi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışınım örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışınım yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır. Örüntülerde de bu durum görülmektedir.



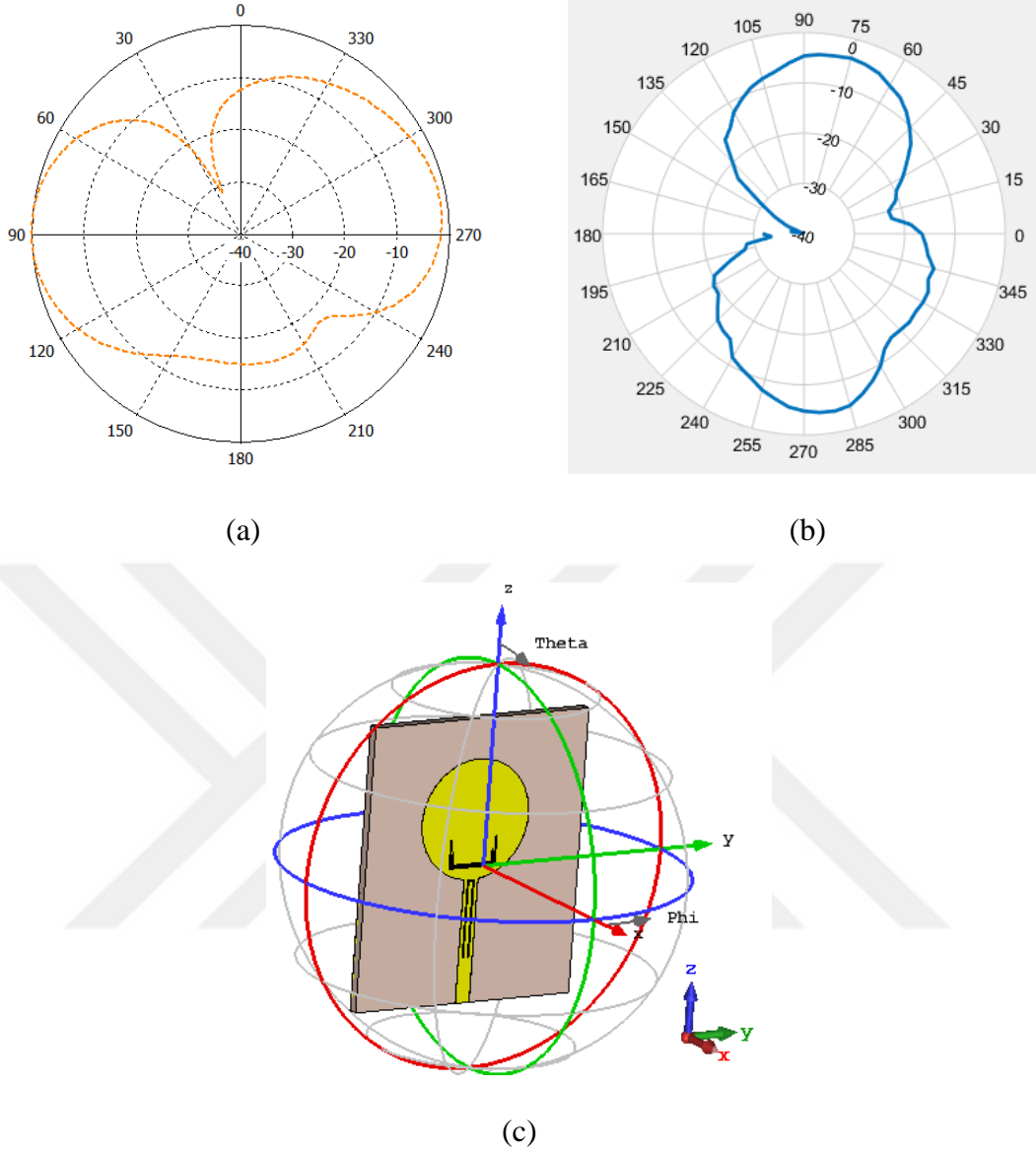
Şekil 51. Anten-3, $\varphi=0$, $f=4.3$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 51’de anten-3’ün konumu ve 4.3 GHz frekansında $\varphi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışınma yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır.



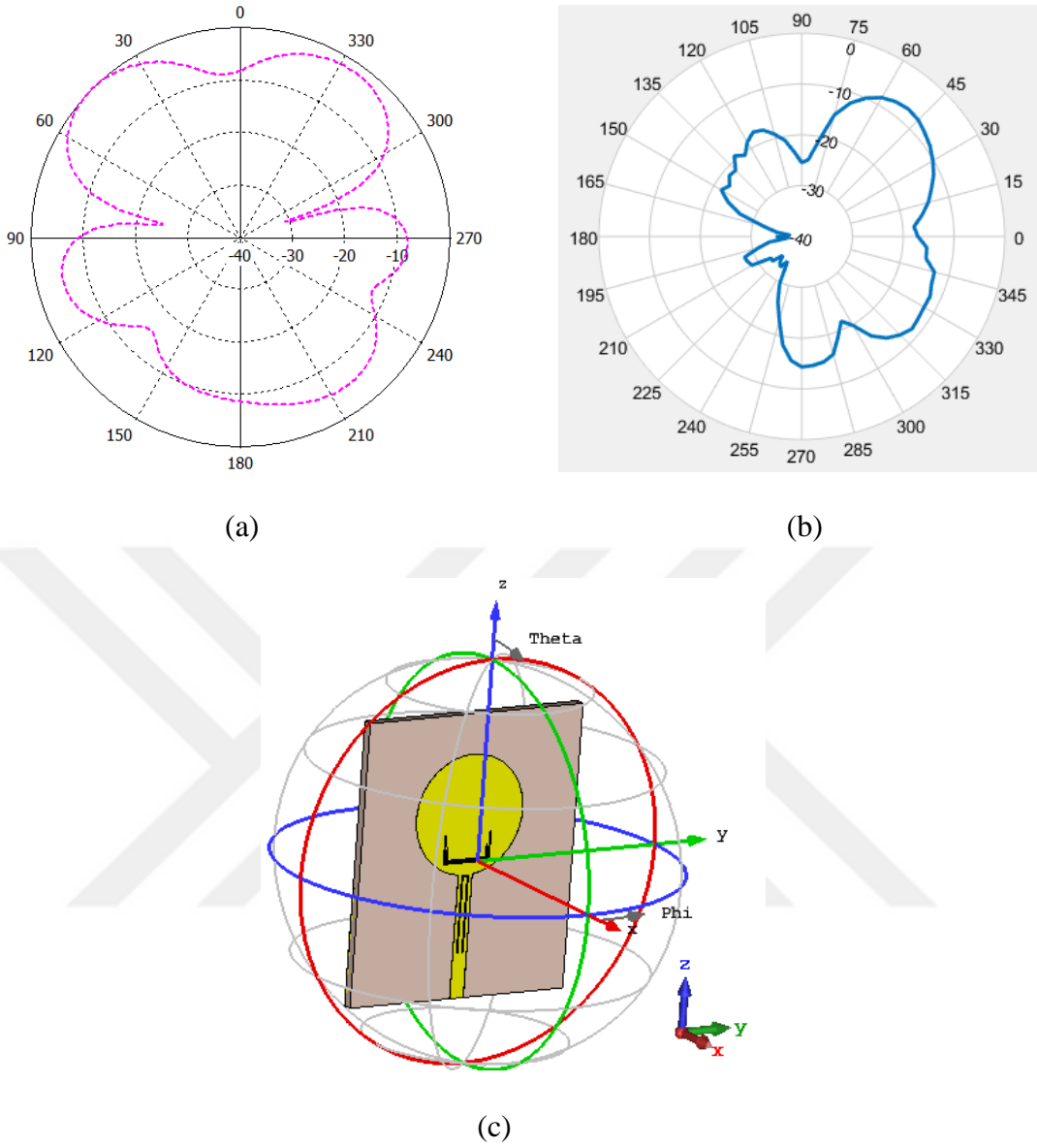
Şekil 52. Anten-3, $\phi=0$, $f=5.3$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 52’de anten-3’ün konumu ve 5.3 GHz frekansında $\phi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışınma yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır.



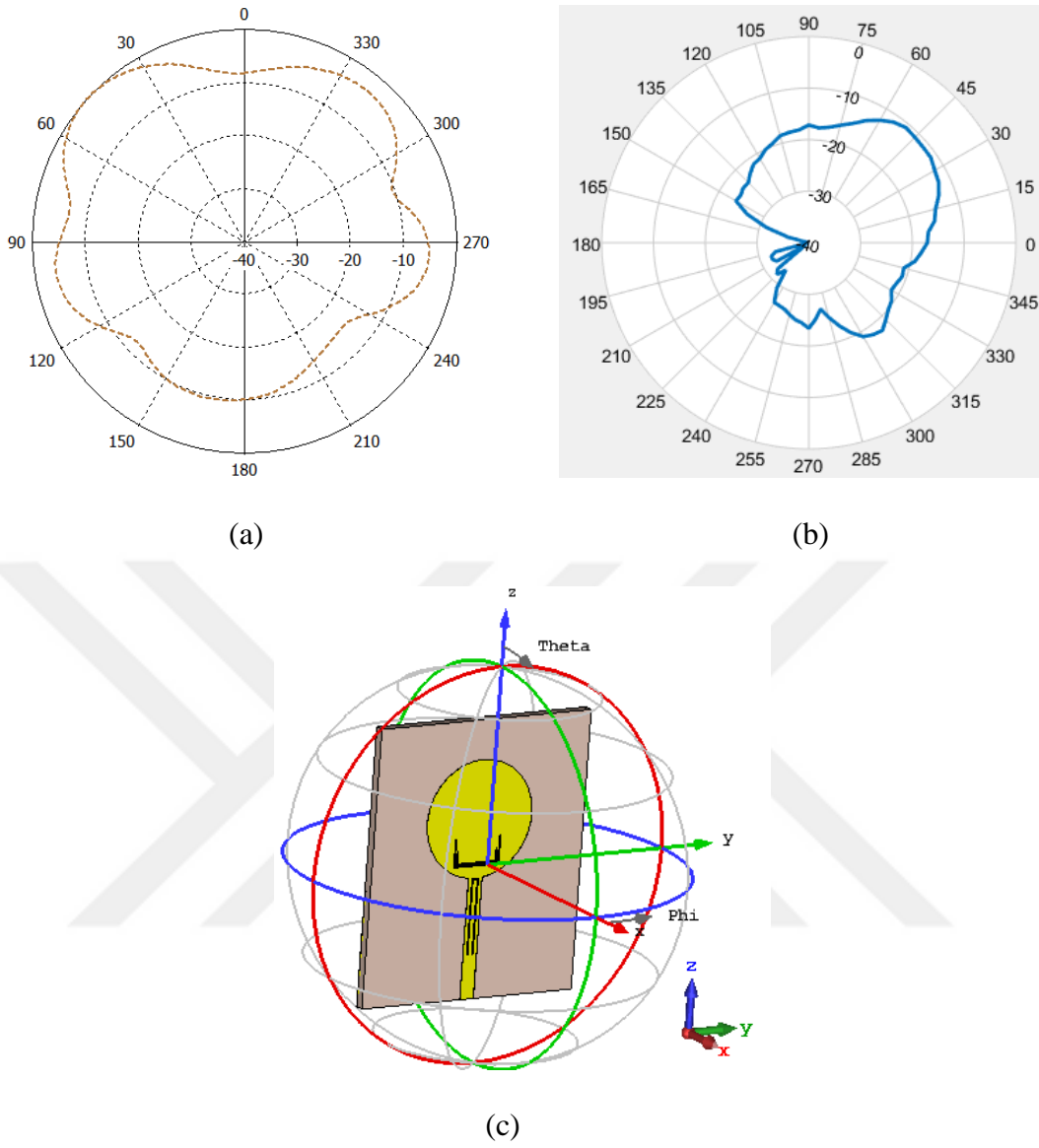
Şekil 53. Anten-3, $\phi=0$, $f=6$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 53'de anten-3'ün konumu ve 6 GHz frekansında $\phi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışıma örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışıma yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır.



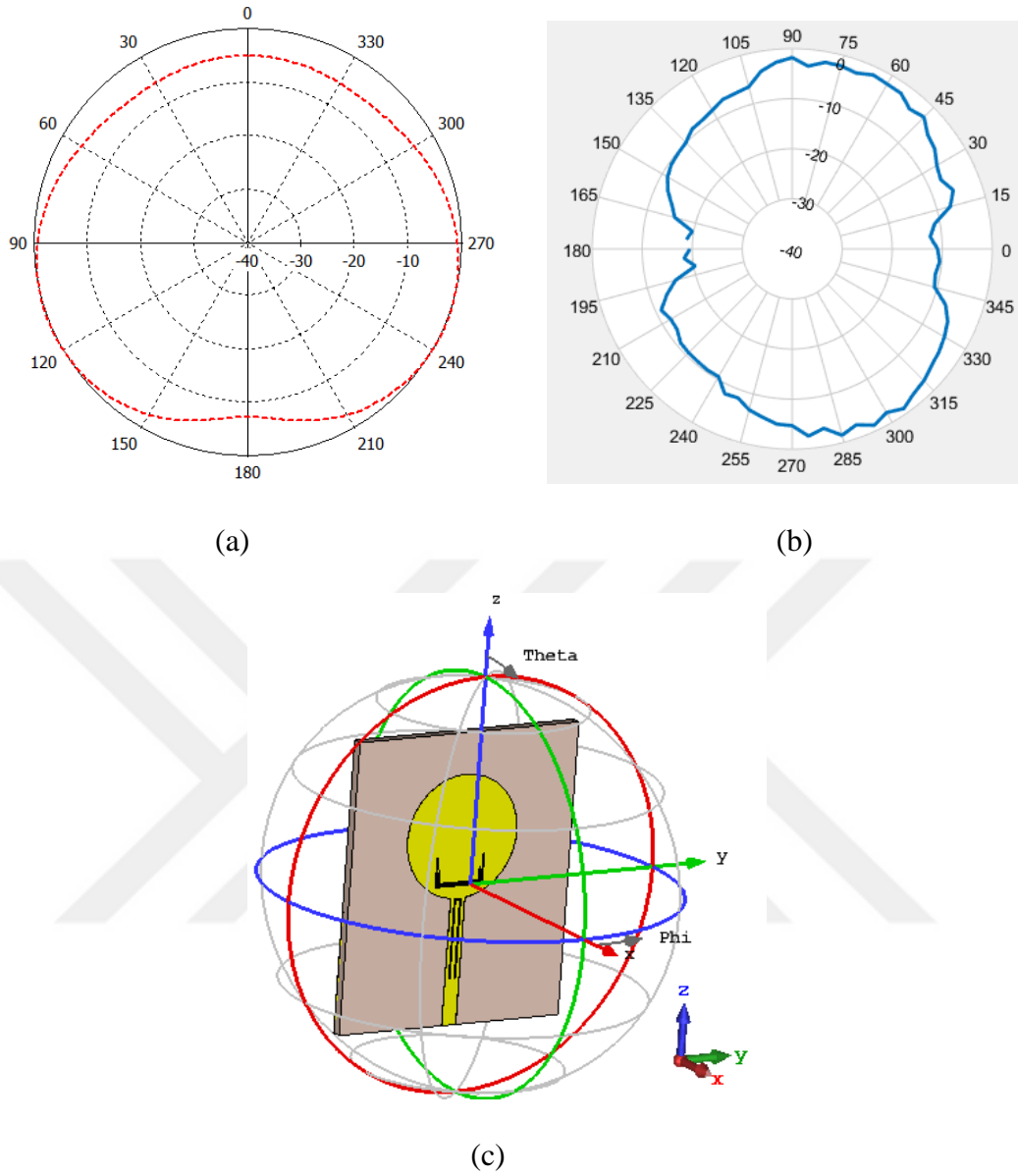
Şekil 54. Anten-3, $\phi=0$, $f=7.5$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 54'de anten-3'ün konumu ve 7.5 GHz frekansında $\phi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışınma yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



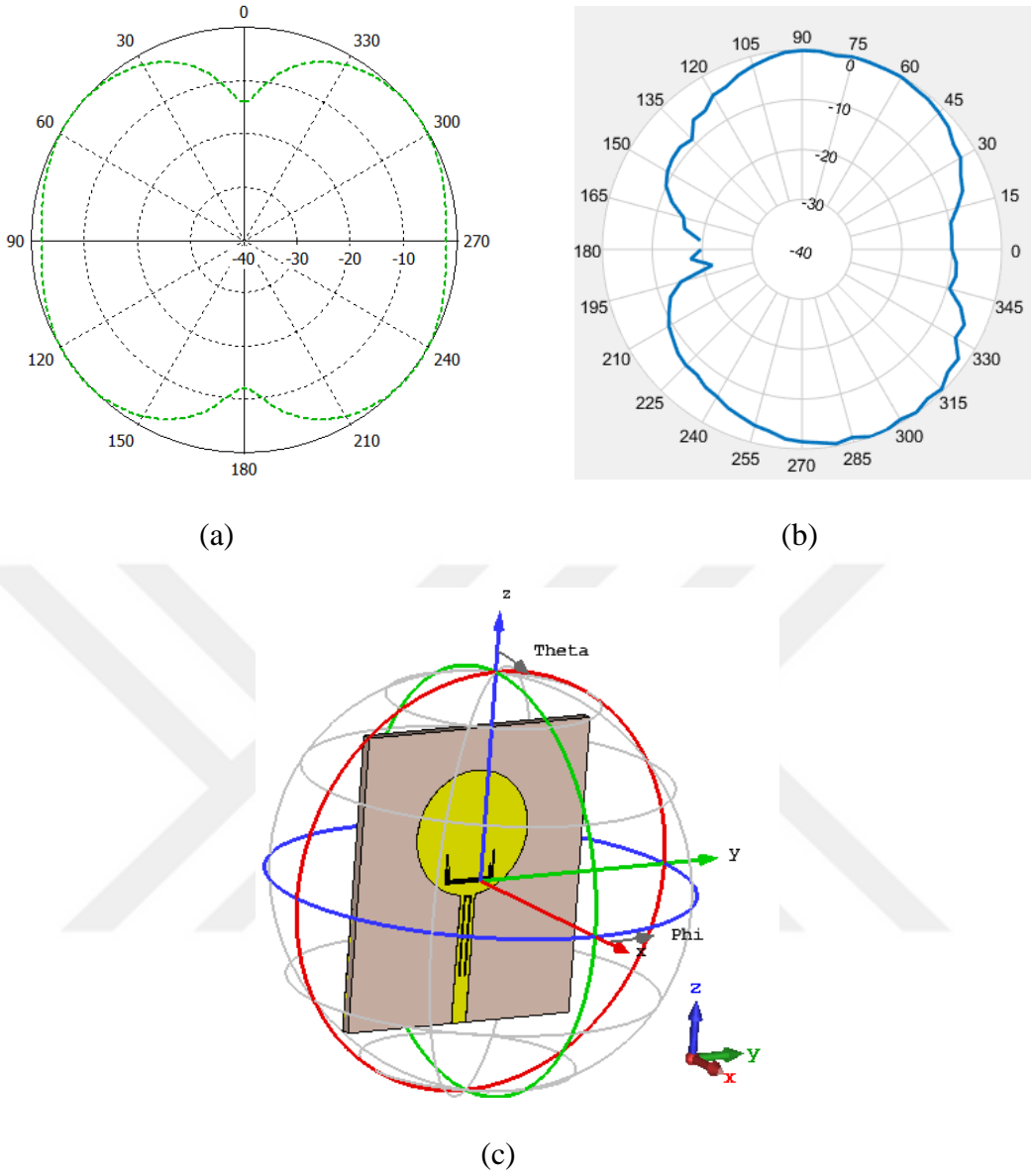
Şekil 55. Anten-3, $\phi=0$, $f=8.5$ GHz (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 55’de anten-3’ün konumu ve 8.5 GHz frekansında $\phi=0$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Antenin en fazla ışınma yaptığı doğrultular $\theta=90$ ve $\theta=270$ derece olmaktadır. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



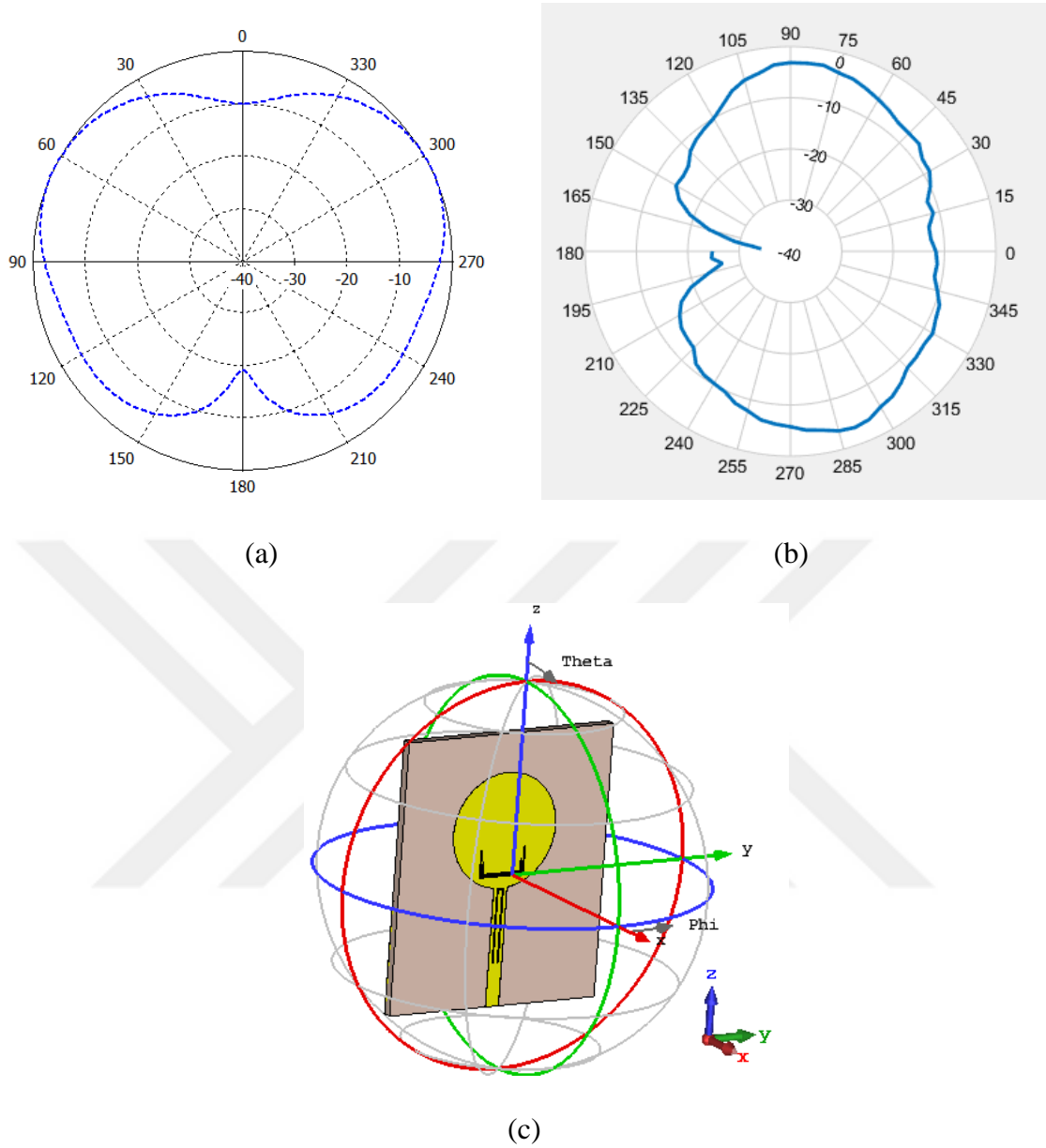
Şekil 56. Anten-3, $f=3.4$ GHz $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 56'da antenin konumu ve 3.4 GHz frekansında $\phi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir.



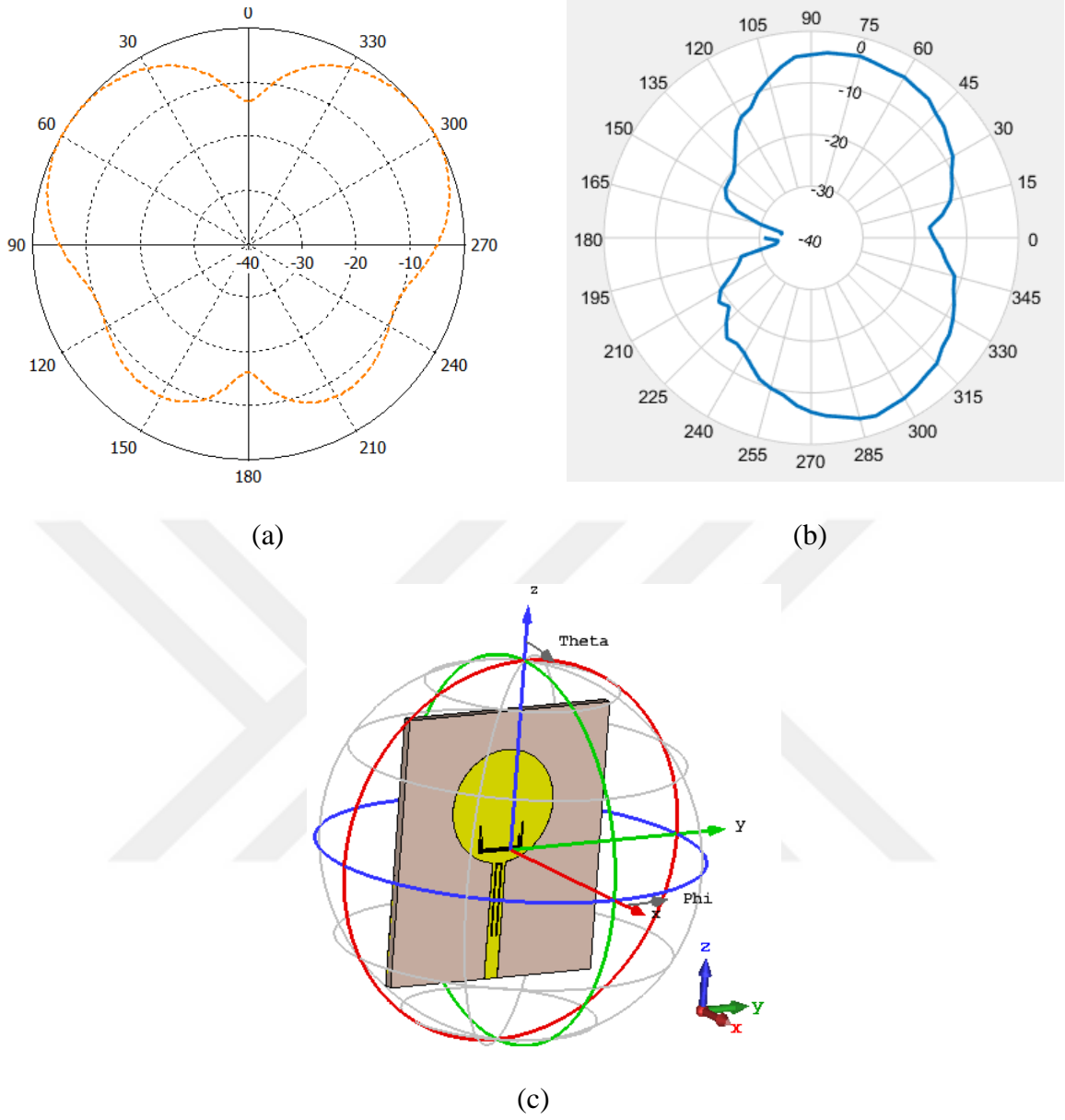
Şekil 57. Anten-3, $f=4.3$ GHz, $\varphi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 57'de antenin konumu ve 4.3 GHz frekansında $\varphi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir.



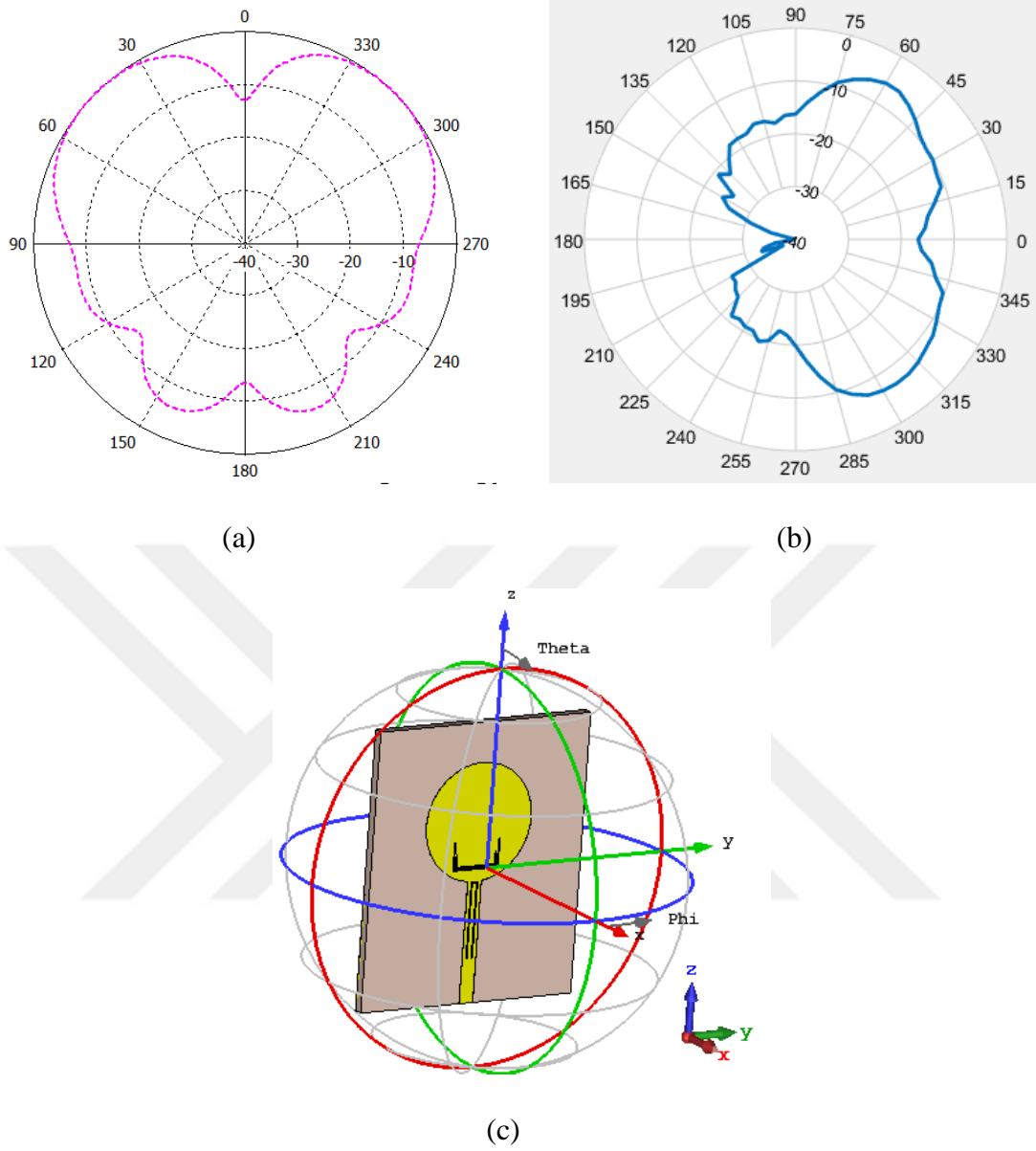
Şekil 58. Anten-3, $f=5.3$ GHz, $\varphi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 58’de antenin konumu ve 5.3 GHz frekansında $\varphi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir.



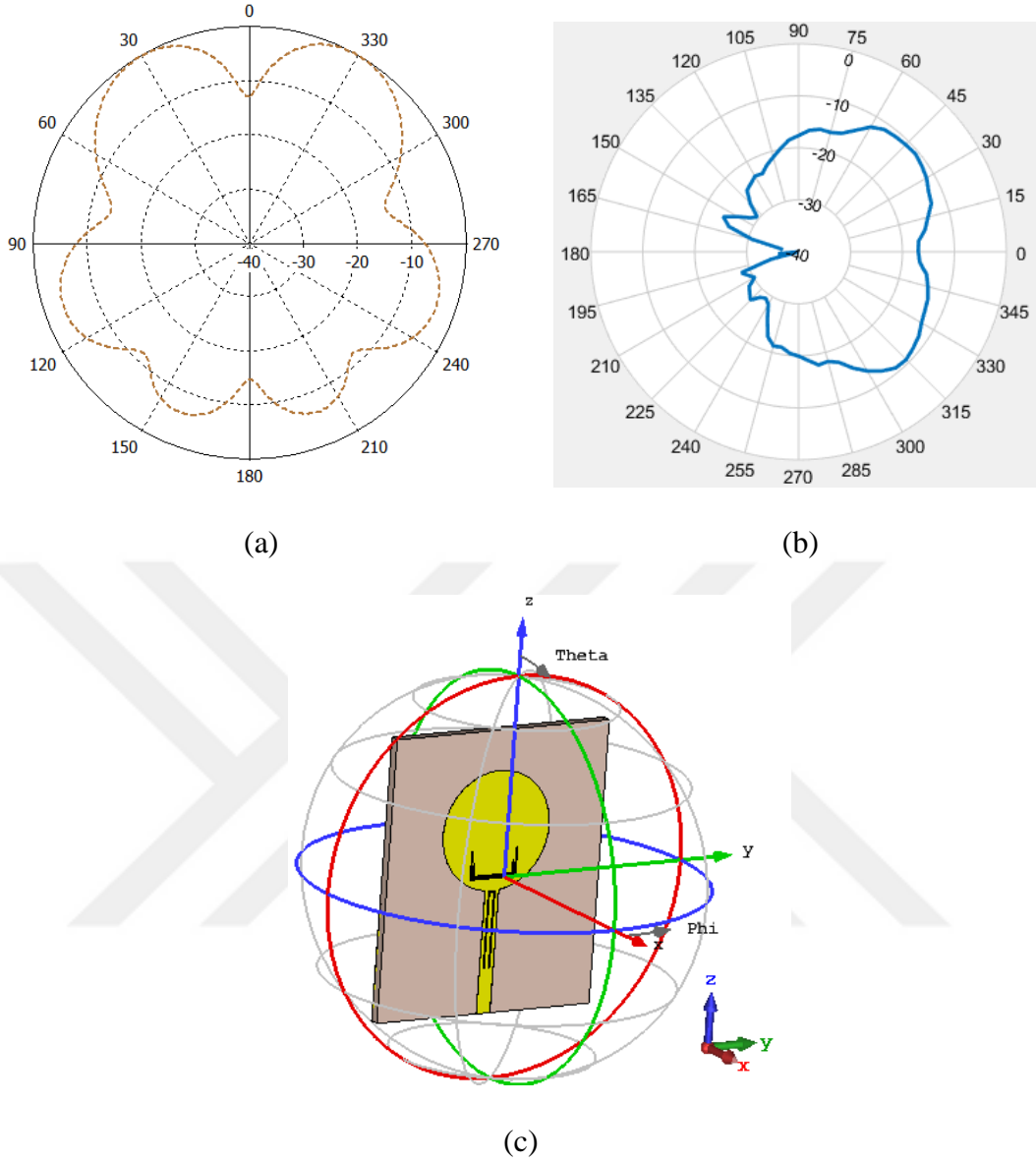
Şekil 59. Anten-3, $f=6$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 59’da antenin konumu ve 6 GHz frekansında $\phi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışımaya örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışımaya gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir.



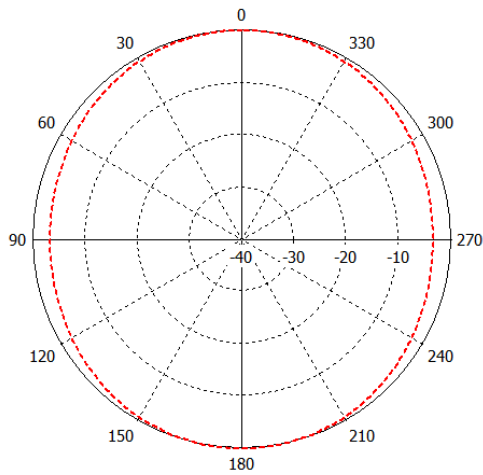
Şekil 60. Anten-3, $f=7.5$ GHz, $\varphi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 60'da antenin konumu ve 7.5 GHz frekansında $\varphi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.

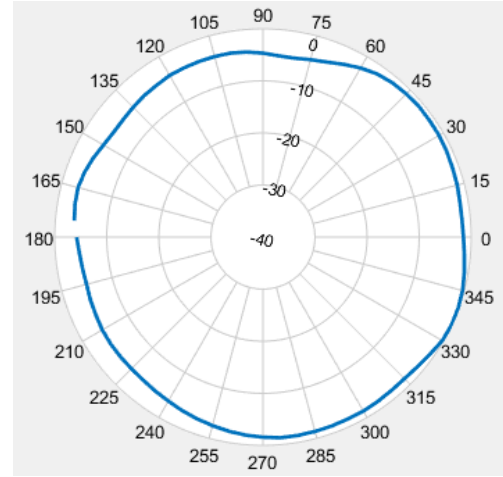


Şekil 61. Anten-3, $f=8.5$ GHz, $\phi=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

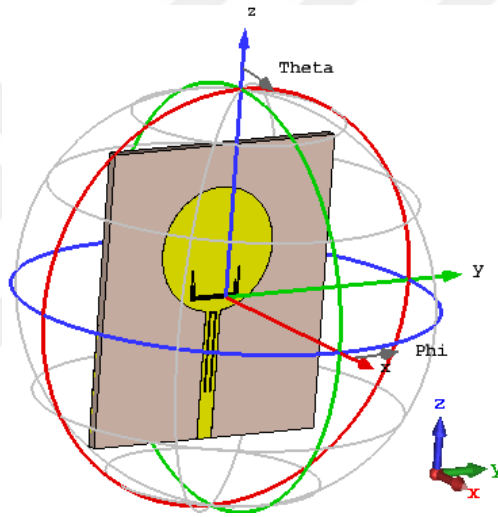
Şekil 61'de antenin konumu ve 8.5 GHz frekansında $\phi=90$ için benzetim ve laboratuvar ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri antene paralel boylamasına kesmektedir. $\theta=90$ ve $\theta=270$ için en fazla ışınma gerçekleşir. Örüntülerde bu durum görülmektedir. Yüksek frekanslarda ışınma bozulmaktadır.



(a)



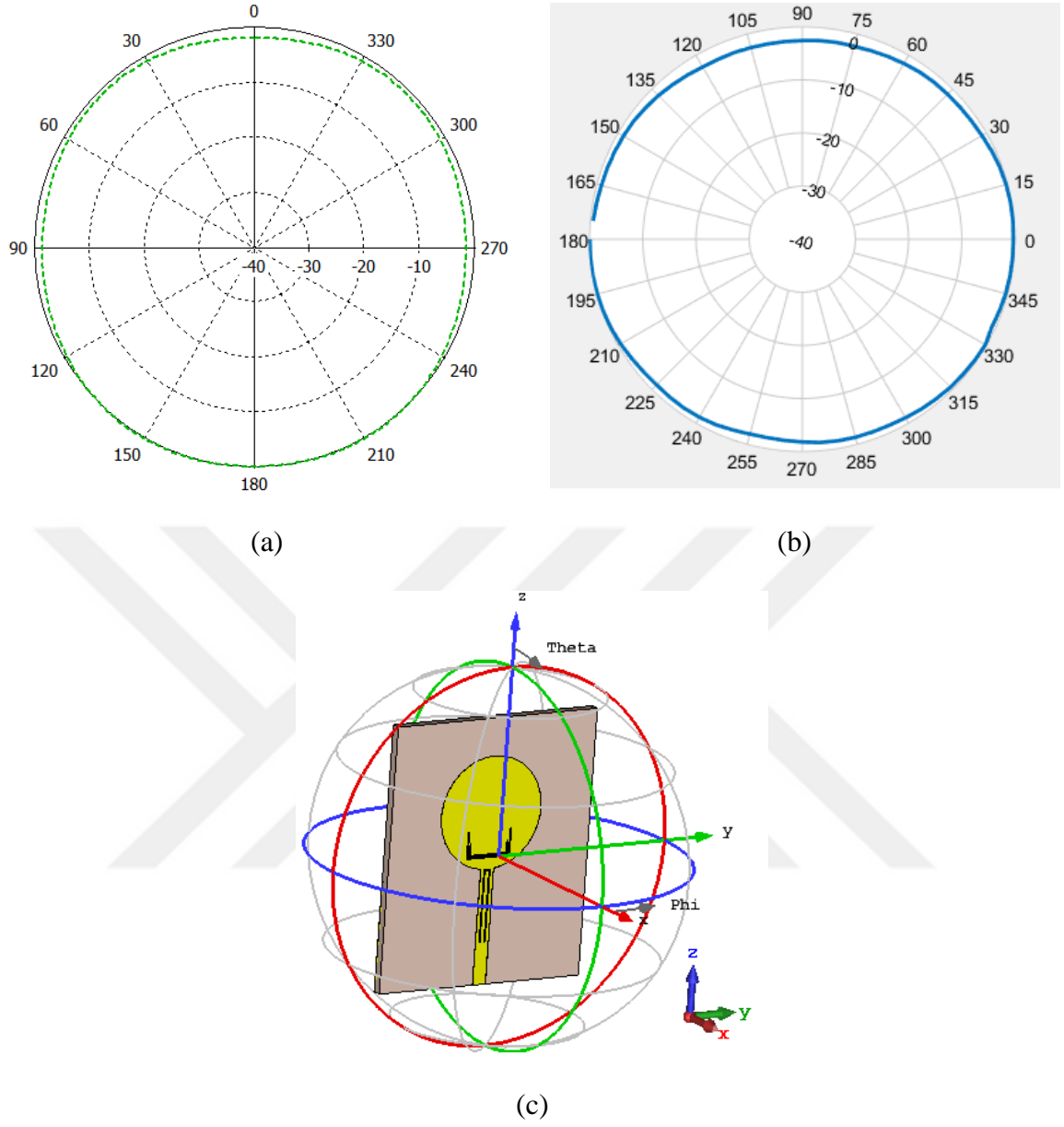
(b)



(c)

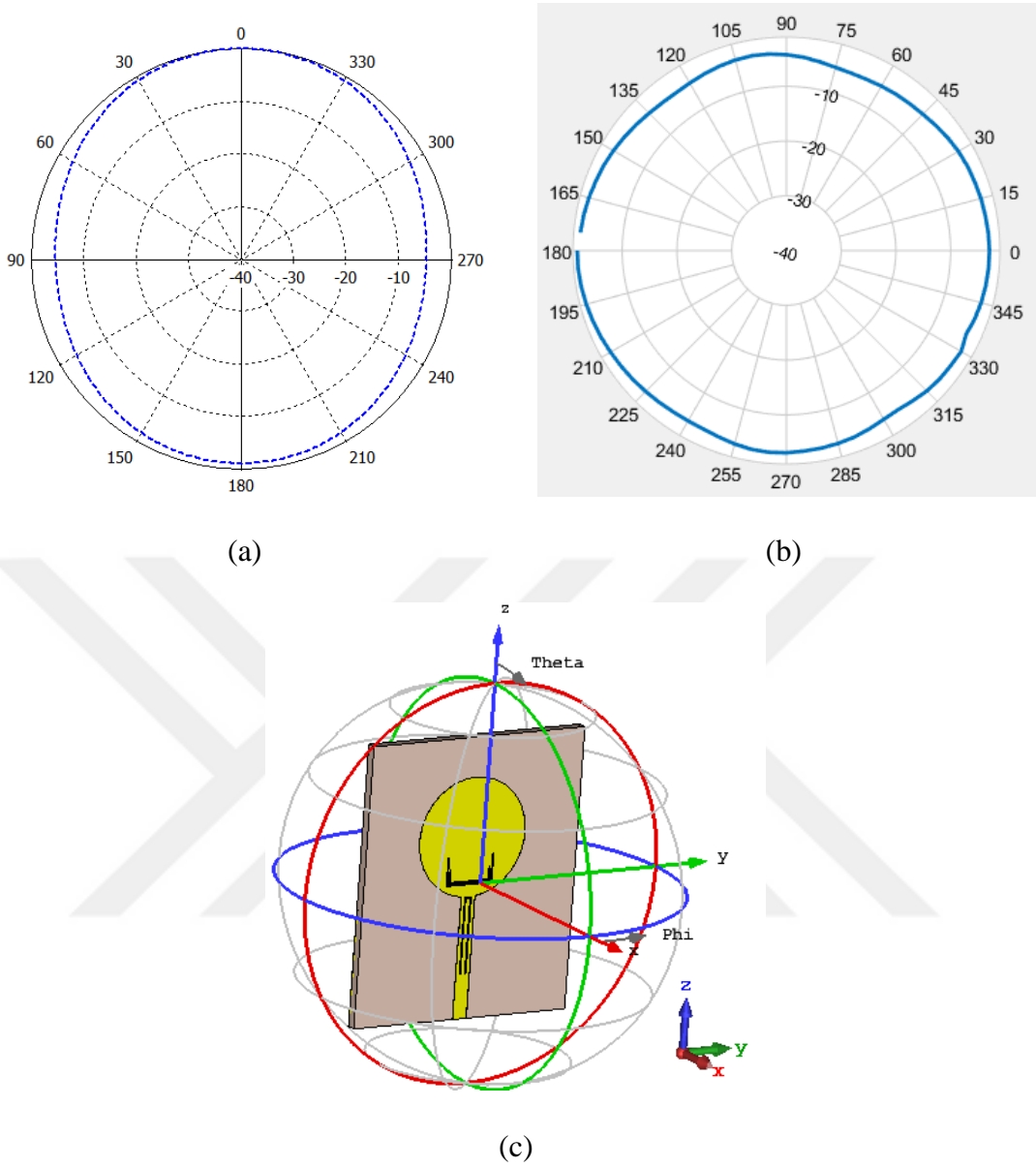
Şekil 62. Anten-3, $f=3.4$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 62'de anten-3'ün konumu ve 3.4 GHz frekansında $\theta=90$ için ışıma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\varphi=0$ ve $\varphi=180$ derece olduğunda en fazla ışıma görülür.



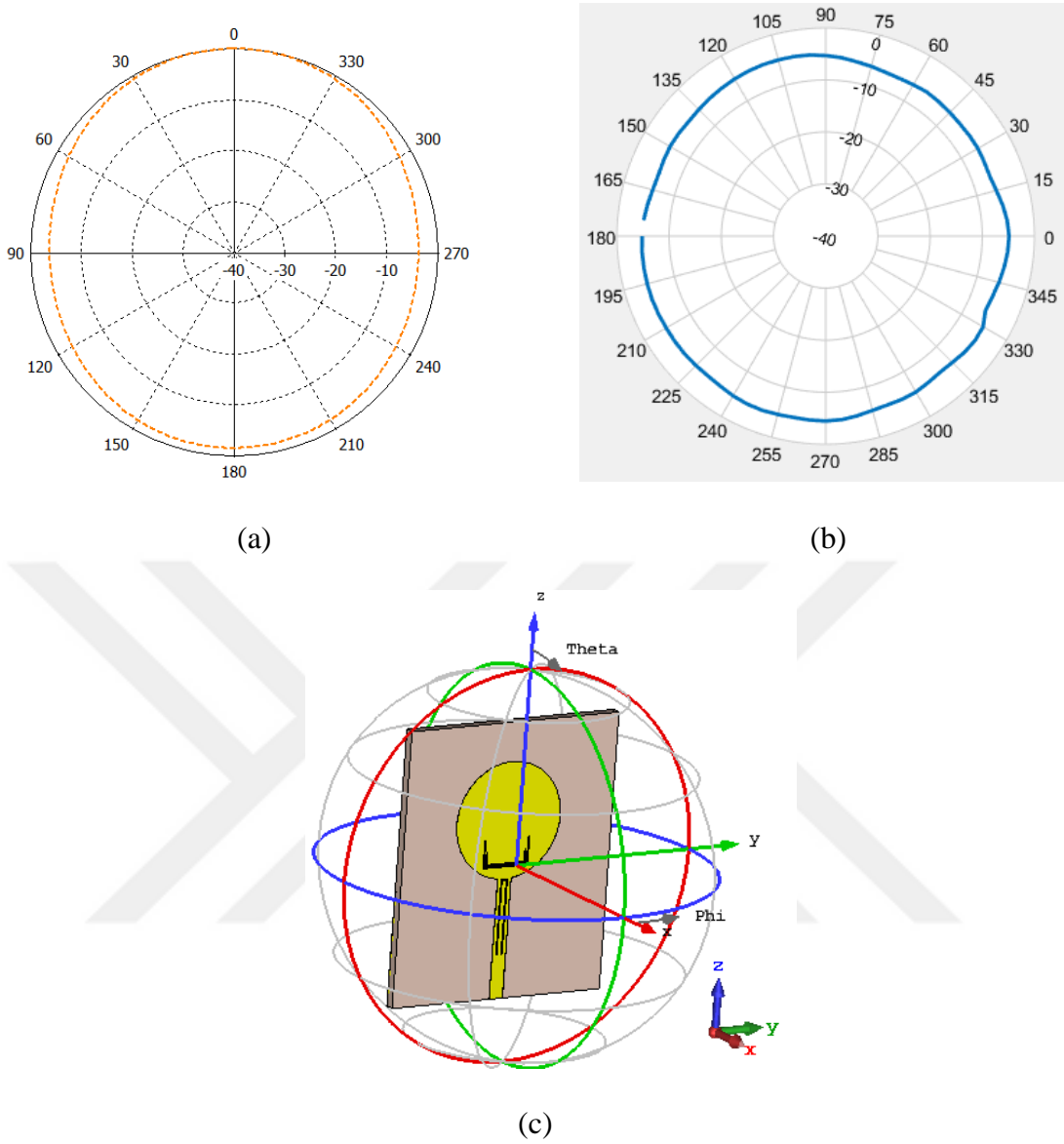
Şekil 63. Anten-3, $f=4.3$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 63’de Anten-3’ün konumu ve 4.3 GHz frekansında $\theta=90$ için ışıma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\phi=0$ ve $\phi=180$ derece olduğunda en fazla ışıma görülür.



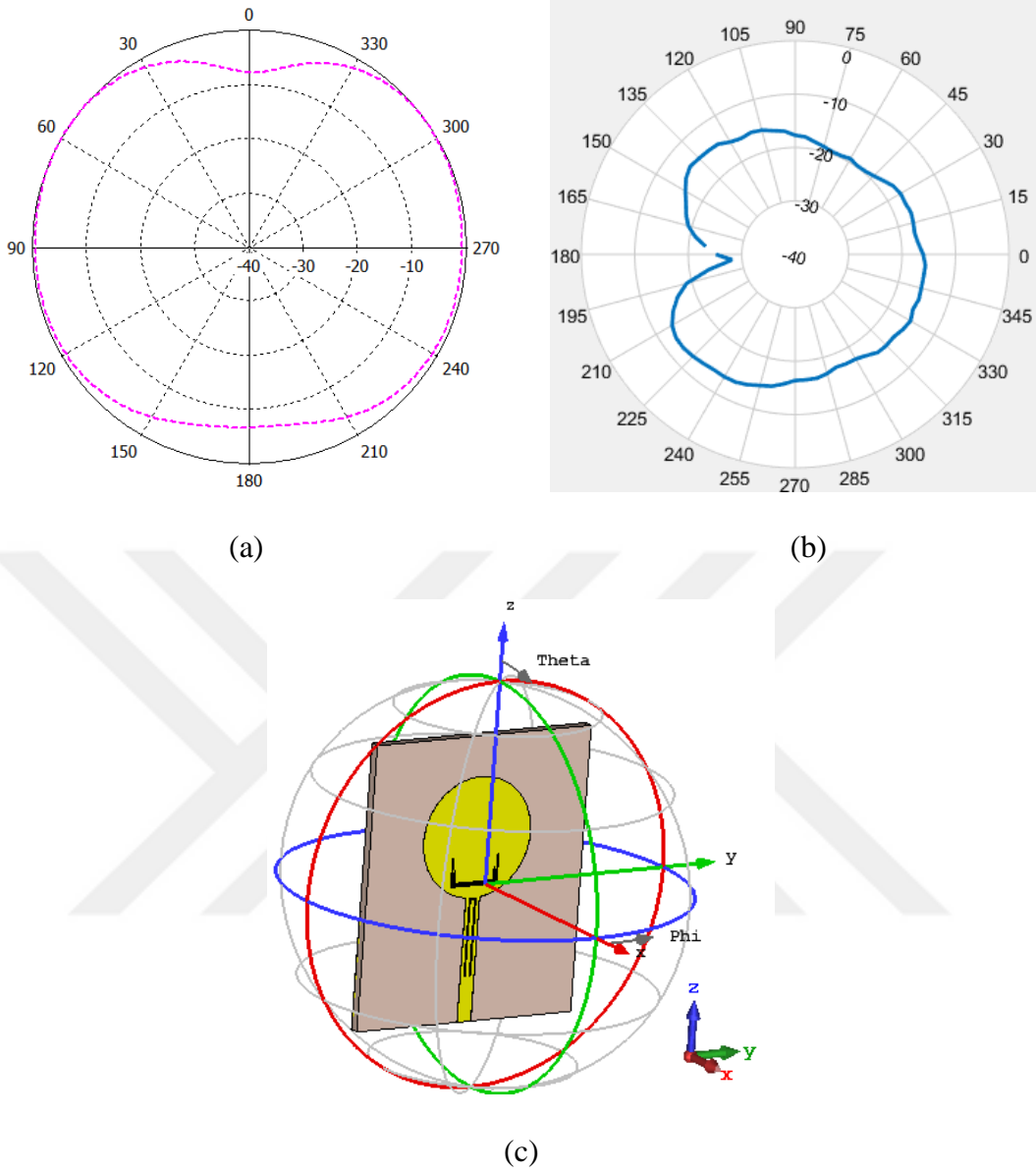
Şekil 64. Anten-3, $f=5.3$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 64'de Anten-3'ün konumu ve 5.3 GHz frekansında $\theta=90$ için ışıma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\phi=0$ ve $\phi=180$ derece olduğunda en fazla ışıma görülür.



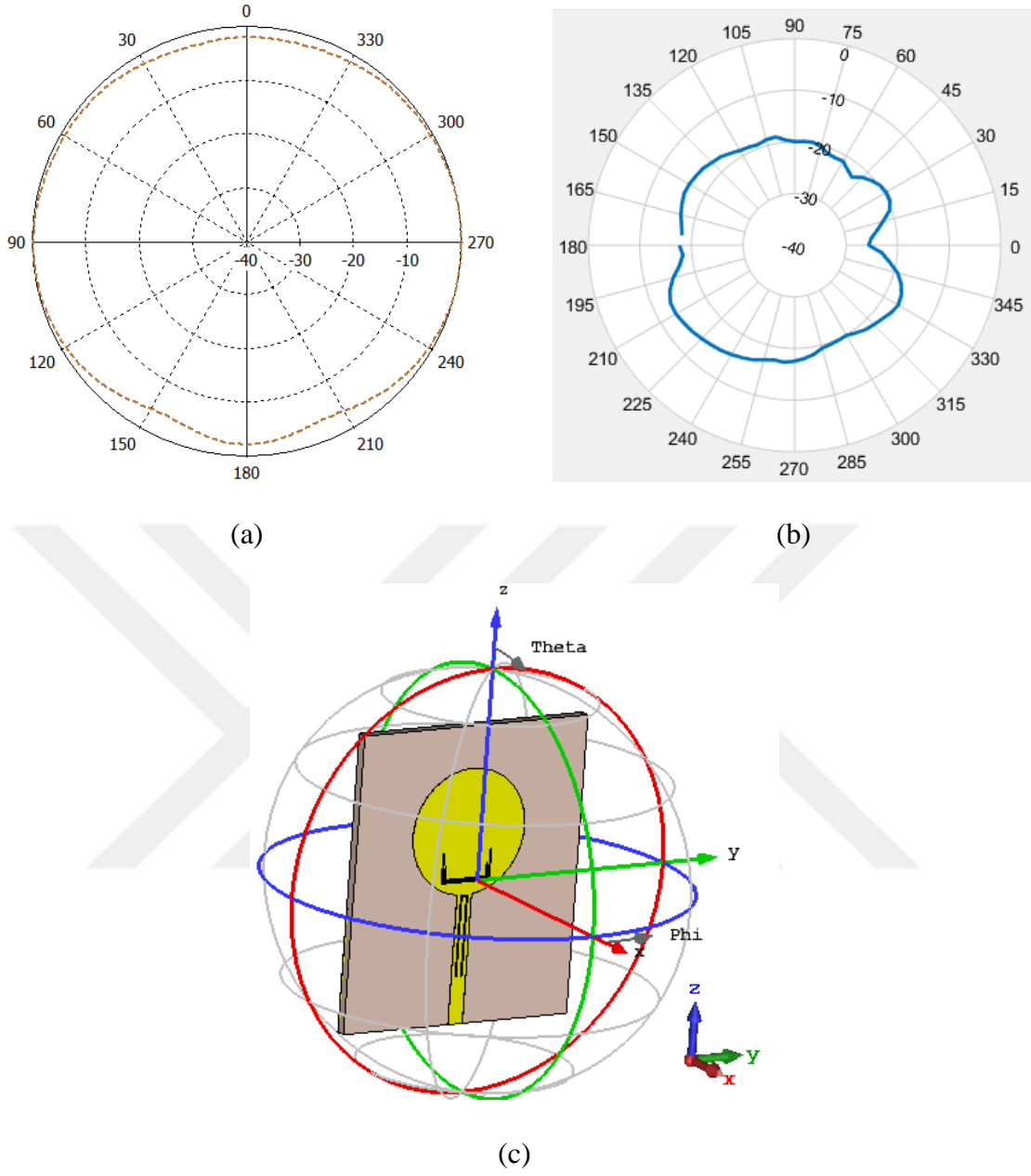
Şekil 65. Anten-3, $f=6$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 65’de Anten-3’ün konumu ve 6 GHz frekansında $\theta=90$ için ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\phi=0$ ve $\phi=180$ derece olduğunda en fazla ışınma görülür.



Şekil 66. Anten-3, $f=7.5$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

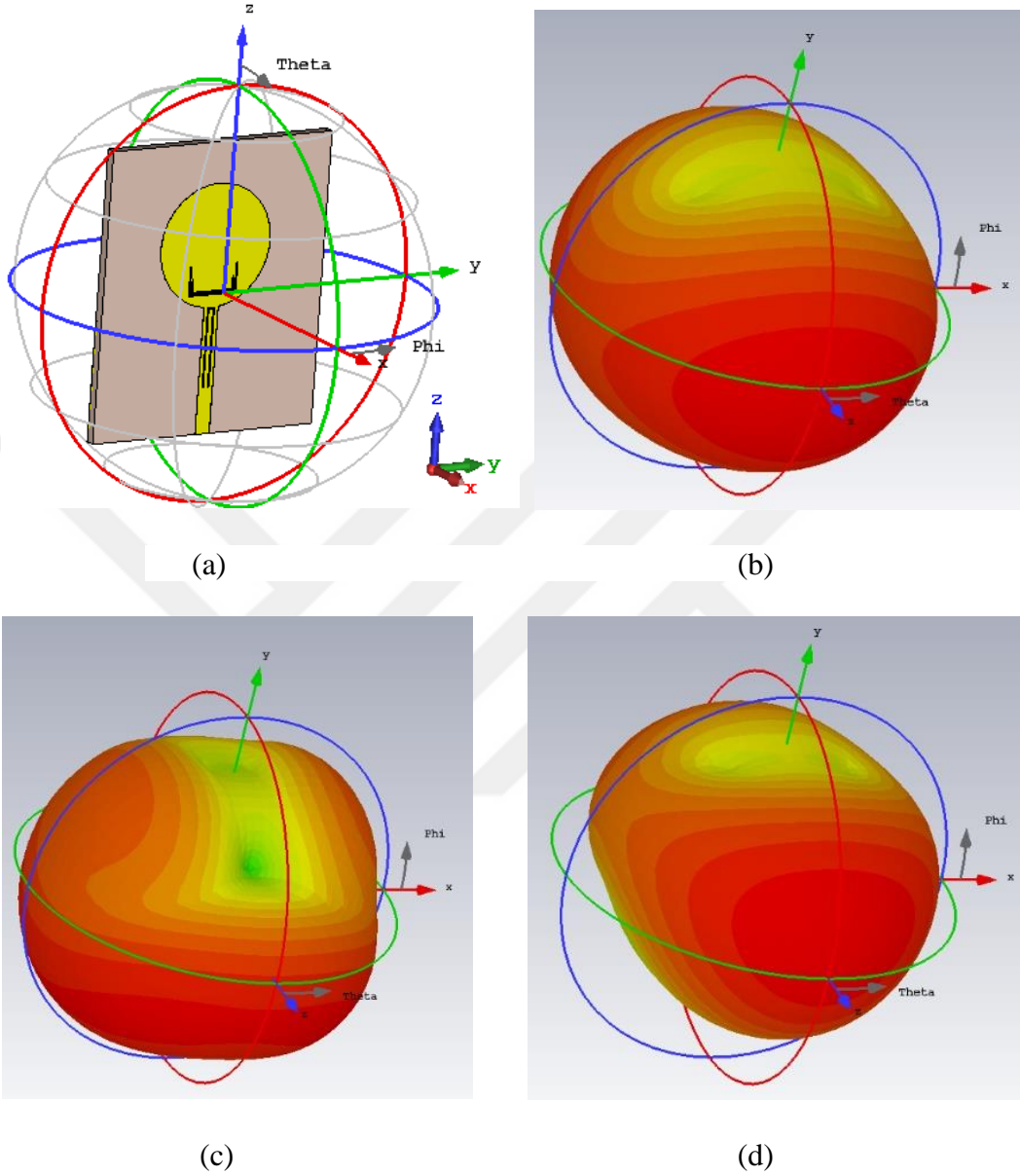
Şekil 66'da Anten-3'ün konumu ve 7.5 GHz frekansında $\theta=90$ için benzetim ve deneysel ışıma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\varphi=0$ ve $\varphi=180$ derece olduğunda en fazla ışıma görülür. Ancak yüksek frekanslarda bozulmalar olmaktadır.



Şekil 67. Anten-3, $f=8.5$ GHz, $\theta=90$ (a) Benzetim (b) Deneysel (c) Anten pozisyonu

Şekil 67’de Anten-3’ün konumu ve 8.5 GHz frekansında $\theta=90$ için benzetim ve deneysel ışınma örüntüleri bulunmaktadır. Bu açı değerleri anteni enlemesine kesmektedir. $\varphi=0$ ve $\varphi=180$ derece olduğunda en fazla ışınma görülür. Ancak yüksek frekanslarda bozulmalar olmaktadır.

4.6. Anten-3 Üç Boyutlu Işıma Örüntüleri



Şekil 68. (a) Anten-3 pozisyonu, (b) $f=3.4$ GHz, (c) $f=4.3$ GHz, (d) $f=5.3$ GHz

Anten-3'e ait üç boyutlu ışınım örüntüleri, anten şekil 68 (a)'da olduğu gibi yerleştirildiğinde (b)'de 3.4 GHz için, (c)'de 4.3 GHz için ve (d)'de 5.3 GHz için gösterilmektedir. Kırmızı bölgeler enerjinin yoğunlaştığı yeşil ve sarı bölgeler ise az olduğunu göstermektedir.

5. ÖNERİLER

UWB sistemi ile dar bant sistemleri arasındaki olası girişimleri en aza indirmek için anten üzerinde U şeklinde ve besleme hattında ters U şeklinde yarıkların bulunduğu ve yarığın bulunmadığı toplam üç adet UWB anten önerilmiştir. Önerilen antenin 3.1-10.6 GHz arasındaki geniş bantlı yapısı ile kesişen WiMAX, WLAN ve X bantlarında çentik oluşturulmuş ve bu standartlar ile olası girişimler en aza indirgenmiştir. Önerilen anten düşük maliyetli FR-4 alüminyum üzerine baskılanmıştır. Yarık uzunlukları yaklaşık değer olarak hesaplanıp benzetim üzerinde yarıklara şekil verildiğinde matematiksel ifadelerin tam sonuç vermediği gözlenmiştir. Bunun nedeni, optimum yarık konumunun belirlenmesi, alüminyum dielektrik sabitinin çalışma frekansının bir fonksiyonu olması ve saçak alanları olduğu öngörülmektedir. Bu nedenlerden ötürü elde edilen değerler CST ile yeniden optimize edilmiştir. Ayrıca beklendiği gibi yarığın uzunluğu azaldıkça zayıflatılan frekans yüksek değerlere kayarken tersi durumda frekans değerinin azaldığı gözlenmiştir. Önerilen tasarımda gerçekleştirilen toplam optimum yarık değerleri bir miktar artmıştır. Tasarımda her yarık için boyutlar değiştirilebilmekte ve farklı frekanslar filtrelenebilmektedir. Yarık sayısının artırılması ile filtrelenmek istenen frekans sayısı artırılabilir ancak bu sayının artması anten üzerindeki akım dağılımını da etkileyeceğinden antenin ışıma performansını değiştirmektedir. Bu nedenle çok bantlı filtreleme için elektronik destekli filtreleme yöntemleri önerilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Molisch, A. F., Wireless Communication, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom, 2011.
2. Porcino, D. ve Hirt, W., Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead, IEEE Communications Magazine, 41, 7 (2003) 66-74.
3. Federal Communications Commission, Washington DC, FCC report and order on ultrawideband technology, 2002.
4. Aiello, G., R., Rogerson, G., D., Ultra-wideband wireless systems, IEEE Microwave Magazine, 4, 2 (2003) 36-47.
5. Zhang, Y., Li, D., Niu, Z. ve Fan, Y., "Compact Vertically Polarized Omnidirectional Ultra-Wideband Antenna and its Band-Notched Filtering Application," IEEE Access, 7 (2019) 101681-101688.
6. Sharma, M., M., Deegwal, J., K., Kumar, A. ve Govil, M., C., Compact Planar Monopole UWB Antenna with Quadruple Band-Notched Characteristics, Progress In Electromagnetics Research C, 47 (2014) 29-36.
7. Edalati, T. ve Denidni, A., A compact uwb antenna with dual band-notched characteristics, Microwave and Optical Technology Letters, 52 (2010) 1183-1186.
8. Yılmaz, E. ve Öztürk, E., Yeni Nesil Kablosuz İletişim Teknolojileri Karşılaştırmalı Analizi'', EMO III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, 2007.
9. Xiong, L. ve Gao, P., Dual band Planar Monopole Antenna For Bluetooth and UWB Applications with WiMAX and WLAN Band –Notched, Progress In Electromagnetic Research, 28 (2012) 183-194.
10. Ghahremani, M., Ghobadi, C., Nourinia, J., Ellis, M., S., Alizadeh, F. ve Mohammadi, B., Miniaturised UWB antenna with dual-band rejection of WLAN/WiMAX using splitted EBG structure, in IET Microwaves, Antennas & Propagation, 13,3 (2019) 360-366.
11. Lee, W., Lim, W. ve Yu, J., Multiple Band-Notched Planar Monopole Antenna for Multiband Wireless Systems, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 15, 9 (2005) 576-578.
12. Ojaroudi, M., Ghanbari, G., Ojaroudi, N. ve Ghobadi C., Small Square Monopole Antenna for UWB Applications With Variable Frequency Band-Notch Function, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 8 (2009) 1061-1064.
13. Li, W., Shi, X. ve Hei, Y., Novel Planar UWB Monopole Antenna With Triple Band-Notched Characteristics, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 8 (2009) 1094-1098.

14. Yu, F. ve Wang, C., Design of a CPW-fed Dual Band Notched Planar Wideband Antenna for UWB Applications, Ultra Wideband Communications: Novel Trends – Antennas and Propagation, (2011) 239-254.
15. Valizade, A., Ghobadi, C., Nourinia, J. ve Ojaroudi, M., A Novel Design of Reconfigurable Slot Antenna with Switchable Band Notch and Multiresonance Functions for UWB, Applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 11 (2012) 1166-1069.
16. Ojaroudi, N. ve Ojaroudi, M., Novel Design of Dual Band-Notched Monopole Antenna With Bandwidth Enhancement for UWB Applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 12 (2013) 698-701.
17. Gao, P., Xiong, L., Jianbo, D., He, S. ve Zheng, Y., Compact Printed Wide-Slot UWB Antenna With 3.5/5.5-GHz Dual Band-Notched Characteristics, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 12 (2013) 983-986.
18. Sharma, M., M., Deegwal, J. K., Kumar, A. ve Govil, M. C., Compact Planar Monopole UWB Antenna with Quadruple Band-Notched Characteristics, Progress In Electromagnetics Research C, 47 (2014) 29-36.
19. Zhang, R., Xu, X. ve Deng, X., An Irregular Elliptical Monopole Antenna for Ultra-Wide-Band (UWB) Applications with Dual Notched Bands, 12th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), Aralık 2018, Hangzhou, Çin, Bildiriler Kitabı.
20. Liu, X., Jin, H. ve Yang, G., Design of A Novel Quadruple Band-notched UWB Antenna, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Temmuz 2019, Boston, MA, ABD, Bildiriler Kitabı.
21. Li, Z., Yin, C. ve Zhu, X., Compact UWB MIMO Vivaldi Antenna With Dual Band-Notched Characteristics, IEEE Access, 7 (2019), 38696-38701.
22. Kumar, S. ve Khan, T., EBG-Loaded Dielectric Resonator Antenna for Triple Band-Notch Characteristics, URSI AP-RASC, Mart 2019, Hindistan, Bildiriler Kitabı.
23. Wang, Y., Huang, T., Ma, D., Shen, P., Hu, J. ve Wu, W., Ultra-wideband (UWB) Monopole Antenna with Dual Notched Bands by Combining Electromagnetic Bandgap (EBG) and Slot Structures, IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC), Temmuz 2019, Nanjing, Çin, Bildiriler Kitabı.
24. Erdoğan, K., Antenler – 1 İnce Antenler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1993.
25. Zain, M., Y. M., Ali, M., T., Azlan, A. ve Hussin, A., Electrical Characterization of Bambusa Vulgaris as a New Microwave Substrate, ICOCOE Series 4Th International Conference on Communication and Computer Engineering, 2017, Penang, Bildiriler Kitabı.

26. Kuo, Y., L., Wong, K., L., Printed Double-T Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz Dual-Band WLAN Operations, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 51, 9 (2003) 2187-2192.
27. Zhu, L., Sun, S., Li, R., Microwave Bandpass Filters for Wideband Communication, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
28. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=d7f5ab4ade6288cb0921f1bf25f76553&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title47/47cfr15_main_02.tpl Part 15 Rules for Unlicensed RF Devices, Federal Communications Commission. 26 Aralık 2019.
29. Siwiak, K., Mckeown, D., Ultra-Wideband Radio Technology, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
30. Zhang, R., Xu, X., Deng, X., An Irregular Elliptical Monopole Antenna for Ultra- Wide-Band (UWB) Applications with Dual Notched Bands, 12th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), Aralık 2018, Hangzhou, Çin, Bildiriler Kitabı.

ÖZGEÇMİŞ

Nida GÜVEN 1990 yılında Adana’da doğdu. 2008 yılında Ceyhan Halil Çiftçi Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2016 Ocak ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

1. Güven, N. ve Yazgan, A., Ultra Geniş Bant Haberleşme için U-tipi Yarıkli Çift Bant Çentikli Dairesel Anten Tasarımı, EEMKON 2019, 3, 14 - 16 Kasım 2019, İstanbul.