

# **SARMAL ANTENLERİN BOYUTLARININ KÜÇÜLTÜLMESİ**

## **MINIATURIZATION OF HELICAL ANTENNAS**

**ERTUĞ ERDEM**

**PROF. DR. BİRSEN SAKA TANATAR**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

ERTUĞ ERDEM' in hazırladığı "Sarmal Antenlerin Boyutlarının Küçültülmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Adnan KÖKSAL  
Başkan



Prof.Dr. Birsen SAKA TANATAR  
Danışman



Prof.Dr. Çiğdem SEÇKİN GÜREL  
Üye



Doç. Dr. Özlem ÖZGÜN  
Üye



Doç. Dr. Nursel AKÇAM  
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**  
(Bu seçenikle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)
- Tezimin/Raporumun 14.12.2019 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**  
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)
- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

14 / 12 / 2017



Ertuğ ERDEM

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

14.12.2017



Ertuğ ERDEM

## ÖZET

### SARMAL TİP ANTENLERİN BOYUTLARININ KÜÇÜLTÜLMESİ

**Ertuğ ERDEM**

**Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü**

**Tez danışmanı: Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR**

**Aralık 2017, 80 sayfa**

Sarmal antenler genel olarak tasarımı kolay bir anten türüdür. Tel burgular yardımıyla tasarlanan bu anten tipleri aynı zamanda dairesel polarizasyona sahip olabildiğinden kutuplanması birbirine dik iki doğrusal bileşenle gösterilebilir. Bu sayede hem yatay hem de dikey polarizasyona sahip antenlerden sinyal alabilirler ayrıca Faraday dönmesine uğrayan sinyalleri de alabilmesi uydu ve telsiz iletişimde kullanımını arttırmıştır.

Farklı geometrilerle tasarlanabilen sarmal tip antenlerin birbirlerine göre hem fiziksel özellik olarak hem de performansları açısından çeşitli avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Tasarımda istenilen antenin özelliklerine göre farklı genişlikte, uzunlukta ve buna uygun geometrideki sarmal antenler kullanılabilir. Dörtlü sarmal (Quadrifilar), spiro sarmal, küresel sarmal farklı sarmal anten tiplerinden bazılarıdır.

Sarmal tip antenlerin kullanım yerlerindeki fiziksel engeller, benzer performansta daha düşük hacimli anten yapılabilir mi sorusunu ortaya çıkarmıştır. Çalışmalar sonucunda da çeşitli metotlar geliştirilerek anten hacminde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Farklı frekans bantlarında etkin olan bu metotlardan bazıları, incelemesi gerçekleştirilen L bandında da etkili olmuştur. Anten hacmi ile ilgili herhangi bir fiziksel engel bulunmayan

durumlarda ise antenden istenilen yönde maksimum performans göstermesi hedeflenmiştir. Bu sayede anten kazancında, bant genişliğinde, polarizasyonunda, geri dönüş kayıplarında çeşitli iyileştirmeler sağlayan metotlar etkin olarak kullanılmıştır. Bu metotların en başında anten geometrisini değiştirmek gelir. Tezde farklı sarmal tip antenleri deneyerek en iyi sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca anteni birden fazla kalkış açısına sahip olacak şekilde sarma, anten toprak yüzeyinin geometrisini değiştirme ve yüzeyinde yarıklar oluşturma, anteni dielektrik silindir etrafına sarma, antenin sonuna metal plaka veya halka ekleme gibi metotlar L bandı için tezde incelenen çalışmalar olmuştur. Sonuç olarak yaygın olarak kullanılan sarmal antenlere göre farklı tasarımlarla anten boyu %20 düşürülmüş, daha geniş frekans bandında daha düşük aksenel oran sağlanıp polarizasyon iyileştirilmesi gerçekleşmiş, anten kazancında %30'a yakın iyileşme gözlenmiş, çok daha geniş gücün yarıya düşme genişliği sağlanmış ve giriş empedansı daha kolay uyumlanabilen tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sarmal anten, polarizasyon, kazanç, aksenel oran, L bant, minyatürizasyon, dörtlü sarmal (quadrifilar), spiro, küresel sarmal anten.

# **ABSTRACT**

## **MINIATURIZATION OF HELICAL ANTENNAS**

**Ertuğ ERDEM**

**Master of Science, Department of Electrical and  
Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR**

**December 2017, 80 pages**

Helical antennas are generally an easy to design type of antenna. These antenna types, which are designed for wire bending, can have circular polarization, so that their polarization can be represented by two linear components perpendicular to each other. On this side, they can receive signals from both antennas with horizontal and vertical polarization and the ability to receive signals from Faraday rotation has increased its use in satellite and radio communications.

The helical type antennas which can be designed with different geometries have various advantages and disadvantages in terms of both physical properties and performances compared to each other. Different width, length and geometry can be used according to the desired antenna characteristics.. Quadrifilar helical, spiro helical, spherical helical are some of the different helical antenna types.

The physical obstacles at the places of use of the helical type antennas reveal the question of whether a lower volume antenna can be made with similar performance. As a result of the studies, various methods have been developed and improvements in antenna volume have been realized. Some of these methods, which are effective in different frequency bands, have also been effective in the L band in which the study was conducted. In situations where there is no physical obstacle to the antenna volume, it is aimed to achieve maximum performance in the desired direction. In this respect, methods that

provide various improvements in antenna gain, bandwidth, polarization, return losses are effectively used. At the top of these methods is to change the antenna geometry. In the thesis, it is aimed to obtain the best results by trying different helical type antennas. Methods such as bending the antenna to have multiple pitch angles (double pitch method), changing the geometry of the antenna ground plane and creating slots on the surface (DGS method), wrapping the antenna around the dielectric cylinder, and adding metal plates or rings to the antenna at the end of the antenna have been studied in the thesis for the L band. As a result, different designs have been realized and the antenna size has been reduced by 20% compared to the conventional helical antennas, a lower axial ratio has been achieved in the wider frequency band, polarization improvement has been achieved, antenna gain has improved to nearly 30%, wider HPBW has been achieved and input impedance is more easily matched.

**Keywords:** Helical antenna, polarization, gain, axial ratio, HPBW, L band, miniturization, DGS, double pitch, quadrifilar, spiro, spherical helical antenna.



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Birsen SAKA TANATAR'a, bu süre zarfında bana hep destek olan değerli aileme, anneanneme ve motivasyon kaynağım biricik yeğerime teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET.....   | i            |
| ABSTRACT.....   | iii          |
| TEŞEKKÜR.....   | v            |
| ŞEKİLLER.....   | vii          |
| ÇİZELGELER.....   | xiii         |
| 1. GİRİŞ .....  | 1            |
| 2. NORMAL MOD SARMAL ANTEN .....  | 3            |
| 2.1. Işıma Karakteristiği .....   | 5            |
| 2.2. Anten Parametrelerinin Işıma Karakteristiğine Etkileri.....  | 10           |
| 2.3. Antenin Fiziksel Uzunluğunun Kısaltma Yolları .....  | 14           |
| 2.4. Normal Mod Sarmal Anten İle DGS Normal Mod Sarmal Anten Karşılaştırması...   | 17           |
| 3. EKSENEL MOD SARMAL ANTEN .....   | 18           |
| 3.1. Işıma Karakteristiği .....   | 21           |
| 3.2. Anten Parametrelerinin Işıma Karakteristiğine Etkileri.....  | 28           |
| 3.3. Antenin Fiziksel Uzunluğunun Kısaltma Yolları .....  | 32           |
| 3.4. Eksenel Mod Sarmal Anten ile Dielektrikli Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması .....                             | 34           |
| 3.5. Anten Performansını İyileştirme Yolları.....   | 36           |
| 3.6. Metal Plakalı Eksenel Mod Sarmal Anten İle Plakasız Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması .....                   | 39           |
| 3.7. Metal Halkalı Eksenel Mod Sarmal Anten İle Halkasız Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması .....                   | 44           |
| 3.8. İki Farklı Kalkış Açılı Eksenel Mod Sarmal Anten İle Tek Kalkış Açılı Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması ..... | 47           |
| 4. DÖRTLÜ SARMAL (QUADRİFİLAR) ANTEN.....   | 54           |
| 4.1. Işıma Karakteristiği .....   | 55           |
| 5. SPIRO SARMAL ANTEN .....   | 60           |
| 6. KÜRESEL SARMAL ANTEN.....  | 67           |
| 7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ .....   | 74           |
| KAYNAKLAR .....   | 76           |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 80           |

# ŞEKİLLER

## Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2. 1.Sarmal anten geometrisi ve kalkış açısı gösterimi .....   | 4  |
| Şekil 2. 2. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısım eğrisi .....  | 5  |
| Şekil 2. 3. Frekansa bağlı giriş empedansın gerçel kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması. 5  |    |
| Şekil 2. 4. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısım eğrisi .....   | 6  |
| Şekil 2. 5.Frekansa bağlı giriş empedansın sanal kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması ...   | 6  |
| Şekil 2. 6. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı geri dönüş kaybı eğrisi .....   | 7  |
| Şekil 2. 7.Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi.....  | 7  |
| Şekil 2. 8.f=1.575 GHz için uzak alan örüntüsü.....  | 7  |
| Şekil 2. 9. f=1.575 GHz için E-düzlemi uzak alan örüntüsü.....   | 8  |
| Şekil 2. 10. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.26 GHz,(b)f=1.386 GHz,(c)f=1.449 GHz,(d)f=1.701 GHz,(e)f=1.827 GHz .....                      | 9  |
| Şekil 2. 11. H-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.26 GHz, (b)f=1.386 GHz , (c)f=1.701 GHz, (d)f=1.827 GHz .....                                 | 10 |
| Şekil 2. 12. Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi.....   | 11 |
| Şekil 2. 13. Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısım eğrisi..  | 11 |
| Şekil 2. 14.Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısım eğrisi ....   | 11 |
| Şekil 2. 15. Farklı sarmal çapları için (D=3.5mm ,5.5mm, 7.5mm) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi .....                                      | 12 |
| Şekil 2. 16. Farklı sarmal çapları için (D=3.5mm ,5.5mm, 7.5mm) giriş empedansının gerçel kısım eğrisi .....                                     | 12 |
| Şekil 2. 17.Farklı sarmal çapları için (D=3.5mm ,5.5mm, 7.5mm) giriş empedansının sanal kısmının frekansa bağlı eğrisi.....                      | 13 |
| Şekil 2. 18. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =28^\circ, 33^\circ, 37^\circ$ ) maksimum kazancın frekansa bağlı eğrisi .....                 | 13 |
| Şekil 2. 19. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =28^\circ, 33^\circ, 37^\circ$ ) giriş empedansının gerçel kısmının frekansa bağlı eğrisi..... | 14 |
| Şekil 2. 20. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =28^\circ, 33^\circ, 37^\circ$ ) giriş empedansının sanal kısmının frekansa bağlı eğrisi.....  | 14 |
| Şekil 2. 21. 3 boyutlu simülasyon programında tasarlanan DGS etkili normal mod sarmal antenin yandan görünümü.....                               | 15 |
| Şekil 2. 22. 3 boyutlu simülasyon programında tasarlanan DGS etkili normal mod sarmal antenin üstten görünümü .....                              | 15 |
| Şekil 2. 23. DGS metotta farklı uzunluklar için (3mm, 6mm, 12mm) geri dönüş kaybının frekansa bağlı eğrisi.....                                  | 16 |
| Şekil 2. 24. DGS metotta farklı uzunluklar için (3mm, 6mm, 12mm) maksimum kazancın frekansa bağlı eğrisi.....                                    | 16 |
| Şekil 2. 25. DGS metotta farklı genişlikler için (2mm, 3mm, 4mm) geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi .....                               | 17 |
| Şekil 2. 26. DGS metotta farklı genişlikler için (2mm, 3mm, 4mm) maksimum kazancın frekansa bağlı değişimi .....                                 | 17 |
| Şekil 2. 27. Normal mod sarmal anten ile DGS etkili normal mod sarmal antenin frekansa bağlı geri dönüş kaybı eğrisi.....                        | 18 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2. 28. Normal mod sarmal anten ile DGS etkili normal mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi .....   | 18 |
| Şekil 3. 1. Eksenel mod sarmal anten ve örüntüsü .....  | 20 |
| Şekil 3. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan eksenel mod sarmal anten ( $N=4$ , $\alpha =13^\circ$ , $D=60.6\text{mm}$ ) .....  | 21 |
| Şekil 3. 3. Frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısmının değişimi .....  | 21 |
| Şekil 3. 4. Frekansa bağlı giriş empedansın gerçel kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması  | 22 |
| Şekil 3. 5. Frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısmının değişimi .....   | 22 |
| Şekil 3. 6. Frekansa bağlı giriş empedansın sanal kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması   | 22 |
| Şekil 3. 7. Eksenel mod sarmal antenin geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi .....  | 23 |
| Şekil 3. 8. Eksenel mod sarmal antenin VSWR eğrisinin frekansa göre değişimi.....   | 23 |
| Şekil 3. 9. Eksenel mod sarmal antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 24 |
| Şekil 3. 10. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan eksenel mod sarmal antenin $f=1.575$ GHz için uzak alan örüntüsü .....  | 24 |
| Şekil 3. 11. $f=1.575$ GHz için E-düzlemi uzak alan örüntüsü.....   | 25 |
| Şekil 3. 12. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a) $f=1.1025$ GHz, (b) $f=1.2915$ GHz, (c) $f=1.4805$ GHz, (d) $f=1.764$ GHz, (e) $f=2.0475$ GHz .....                                 | 25 |
| Şekil 3. 13. H-düzlemi uzak alan örüntüleri (a) $f=1.1025$ GHz, (b) $f=1.2915$ GHz, (c) $f=1.4805$ GHz, (d) $f=1.764$ GHz, (e) $f=2.0475$ GHz .....                                 | 26 |
| Şekil 3. 14. Eksenel mod sarmal antende $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ için eksenel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 27 |
| Şekil 3. 15. Eksenel mod sarmal antende $\varphi = 90^\circ$ için $\theta'$ 'ya bağlı eksenel oran değişimi.....  | 28 |
| Şekil 3. 16. Farklı tur sayıları için ( $N=3,5,7$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi .....   | 29 |
| Şekil 3. 17. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı tur sayıları için ( $N=3,5,7$ ) frekansa bağlı eksenel oran eğrisi .....  | 29 |
| Şekil 3. 18. Farklı sarmal çapları için ( $D=45\text{mm}$ , $55\text{mm}$ , $65\text{mm}$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi .....   | 30 |
| Şekil 3. 19. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı sarmal çapları için ( $D=45\text{mm}$ , $55\text{mm}$ , $65\text{mm}$ ) frekansa bağlı eksenel oran eğrisi..... | 30 |
| Şekil 3. 20. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi .....  | 31 |
| Şekil 3. 21. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken kalkış açıları için ( $\alpha =12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$ ) frekansa bağlı eksenel oran eğrisi .....                | 31 |
| Şekil 3. 22. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken kalkış açısı değişiminin bazı frekanslardaki eksenel oranı değerindeki değişimi.....                                   | 31 |
| Şekil 3. 23. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken kalkış açısı değişiminin bazı frekanslardaki maksimum kazanç değerindeki değişimi.....                                 | 32 |
| Şekil 3. 24. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dielektrik etrafına sarılı eksenel mod sarmal anten ( $N=4$ , $\alpha =13^\circ$ , $D=60.6\text{mm}$ ) .....              | 32 |
| Şekil 3. 25. Farklı $\epsilon_r$ değerleri için (1.3, 1.8, 2.3) geri dönüş kaybı eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 33 |
| Şekil 3. 26 . $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı $\epsilon_r$ değerleri için (1.3, 1.8, 2.3) eksenel oranının frekansa bağlı değişimi .....                     | 34 |
| Şekil 3. 27 . $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken gücün yarıya düşme açısının dielektrik sabitine( $\epsilon_r$ ) bağlı değişimi .....                                  | 34 |
| Şekil 3. 28. Farklı $\epsilon_r$ değerleri için ( $\epsilon_r =1.3, 1.8, 2.3$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi.....  | 34 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3. 29. Dielektirkli ve dielektriksiz eksenel mod sarmal antenin geri dönüş kaybı eğrileri ( $N=4$ , $\alpha=13^\circ$ , $S=46\text{mm}$ $r_0=0.7\text{mm}$ ).....                        | 35 |
| Şekil 3. 30. Dieletriksiz eksenel moda sahip sarmal antenin $f=1.575\text{ GHz}$ için E-düzlemi uzak alan örüntüsü.....  | 35 |
| Şekil 3. 31. Dielektrikli eksenel moda sahip sarmal antenin $f=1.575\text{ GHz}$ için E-düzlemi uzak alan örüntüsü.....  | 35 |
| Şekil 3. 32. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal plaka yerleştirilmiş eksenel mod sarmal anten ( $N=4$ , $\alpha =13^\circ$ , $D=60.6\text{mm}$ ).....                | 36 |
| Şekil 3. 33 . Farklı plaka yarıçapları için (30,35,40,45mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....  | 37 |
| Şekil 3. 34. Metal plaka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....  | 37 |
| Şekil 3. 35. Farklı plaka yarıçapları için (30,35,40,45mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi.....   | 38 |
| Şekil 3. 36. Farklı plaka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....   | 38 |
| Şekil 3. 37. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....                                      | 39 |
| Şekil 3. 38. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi.....  | 39 |
| Şekil 3. 39. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....   | 40 |
| Şekil 3. 40. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal halka yerleştirilmiş eksenel mod sarmal antenin yan görünümü ( $N=4$ , $\alpha =13^\circ$ , $D=60.6\text{mm}$ )..... | 40 |
| Şekil 3. 41. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal halka yerleştirilmiş eksenel mod sarmal antenin üst görünümü ( $N=4$ , $\alpha =13^\circ$ , $D=60.6\text{mm}$ )..... | 41 |
| Şekil 3. 42. Farklı halka yarıçapları için (20,25,30,35mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....   | 41 |
| Şekil 3. 43. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....  | 42 |
| Şekil 3. 44. Farklı halka yarıçapları için (20,25,30,35mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi.....   | 42 |
| Şekil 3. 45. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi.....  | 42 |
| Şekil 3. 46. Farklı halka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....  | 43 |
| Şekil 3. 47. Farklı halka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi.....  | 43 |
| Şekil 3. 48 Farklı halka kalınlıkları için (1,3,5,7,9 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....  | 44 |
| Şekil 3. 49. Farklı halka kalınlıkları için (1,3,5,7,9 mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi.....   | 44 |
| Şekil 3. 50. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....               | 45 |
| Şekil 3. 51. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi.....                     | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3. 52. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 45 |
| Şekil 3. 53. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten.....   | 46 |
| Şekil 3. 54. Farklı h/H oranları için (0.25, 0.5, 0.75) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....   | 47 |
| Şekil 3. 55. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı h/H oranları için (0.25, 0.5, 0.75) eksenel oranın frekansa bağlı değişimi .....  | 47 |
| Şekil 3. 56. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi değişimi.....   | 48 |
| Şekil 3. 57. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin eksenel oran eğrisinin frekansa göre değişimi ... | 48 |
| Şekil 3. 58. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi .....  | 49 |
| Şekil 3. 59. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin VSWR eğrisinin frekansa göre değişimi.....  | 49 |
| Şekil 3. 60. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin ana hüzme-yan hüzme oranının frekansa göre değişimi .....   | 49 |
| Şekil 3. 61. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan konik toprak yüzeye sahip eksenel mod sarmal anten.....   | 50 |
| Şekil 3. 62. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı yükseklikler için (20,30,40) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 50 |
| Şekil 3. 63. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı yükseklikler için (20,30,40) geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi.....   | 51 |
| Şekil 3. 64. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı çaplar için (250, 300, 350mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi.....  | 51 |
| Şekil 3. 65. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı çaplar için (250, 300, 350mm) VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 52 |
| Şekil 3. 66. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken eksenel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....   | 52 |
| Şekil 3. 67. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin E- düzleminde ana hüzme-yan hüzme oranının frekansa bağlı değişimi.....  | 53 |
| Şekil 3. 68. (a) Dairesel toprak yüzey ile (b) konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin f= 1.575 GHz'de E-düzleminde uzak alan örüntüleri.....   | 53 |
| Şekil 4. 1. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dörtlü sarmal (quadrifilar) anten yan görünüm.....   | 54 |
| Şekil 4. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dörtlü sarmal (quadrifilar) antenin besleme şekli .....  | 54 |
| Şekil 4. 3. Dörtlü sarmal (quadrifilar) antenin geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi .....   | 55 |
| Şekil 4. 4. E-düzleminde f=1.575 GHz için dörtlü sarmal (quadrifilar) anten uzak alan örüntüsü ...  | 55 |
| Şekil 4. 5. Dörtlü sarmal (quadrifilar) anten için $\varphi = 90^\circ$ iken $\theta$ 'ye bağlı eksenel oranın değişimi   | 56 |
| Şekil 4. 6. Quadrifiliar sarmal anten için $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken eksenel oran eğrisin frekansa bağlı değişimi .....   | 56 |
| Şekil 4. 7. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.32 GHz, (b)f=1.44GHz, (c)f=1.70 GHz, (d)f=1.82GHz .....   | 56 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4. 8. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dielektrik etrafına sarılı dörtlü sarmal (quadrifilar) anten.....  | 57 |
| Şekil 4. 9. (a) $\epsilon_r = 2$ ve (b) $\epsilon_r = 4$ iken E-düzleminde uzak alan örüntüleri .....   | 58 |
| Şekil 4. 10. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken gücün yarıya düşme genişliğinin $\epsilon_r$ 'a bağlı değişimi.....                                  | 58 |
| Şekil 4. 11. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken gücün farklı $\epsilon_r$ değerleri için (2 ve 4) aksel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi ..... | 58 |
| Şekil 4. 12. Farklı $\epsilon_r$ değerleri için (3, 4, 5) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi....   | 59 |
| Şekil 4. 13. Dielektrik malzeme yokken ile farklı dielektriklere sarılı haldeki antenlerin geri dönüş kaybı eğrisi.....   | 59 |
| Şekil 4. 14. Dielektriksiz anten ile $\epsilon_r = 6$ olan malzeme etrafına sarılı antenin frekansa göre geri dönüş kaybı eğrisi.....                             | 59 |
| Şekil 5. 1. Sarmal (a) ve Spiro antenin (b) geometrik koordinatlarının gösterimi.....   | 60 |
| Şekil 5. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan spiro sarmal antenin yan görünümü.....   | 61 |
| Şekil 5. 3. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan spiro sarmal antenin üst görünümü .....  | 61 |
| Şekil 5. 4. Antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....   | 62 |
| Şekil 5. 5. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken aksel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 62 |
| Şekil 5. 6. Spiro sarmal anten için giriş empedansın sanal kısmının frekansa bağlı değişimi.....  | 62 |
| Şekil 5. 7. Spiro sarmal anten için giriş empedansın gerçel kısmının frekansa bağlı değişimi.....   | 63 |
| Şekil 5. 8. Spiro sarmal anten için geri dönüş kaybı eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 63 |
| Şekil 5. 9. Spiro sarmal anten için VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 63 |
| Şekil 5. 10. E- düzleminde farklı frekanslar için (a) f=1 GHz, (b) f=1.36 GHz uzak alan örüntüleri ..   | 64 |
| Şekil 5. 11. Farklı sarmal yarıçapları için (a=20,25,30mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi .....   | 64 |
| Şekil 5. 12. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı sarmal yarıçapları için (a=20,25,30mm) aksel oran eğrisinin frekansa göre değişimi .....      | 65 |
| Şekil 5. 13. Farklı spiral yarıçapları için ( $a'=1, 1.5, 2$ mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....  | 65 |
| Şekil 5. 14. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı spiral yarıçapları için ( $a'=1, 1.5, 2$ mm) aksel oran eğrisinin frekansa göre değişimi..... | 65 |
| Şekil 5. 15. Farklı tur sayıları için (N=3, 5, 7) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi..  | 66 |
| Şekil 5. 16. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken farklı tur sayıları için (N=3, 5, 7) aksel oran eğrisinin frekansa göre değişimi.....                | 66 |
| Şekil 6. 1. Küresel Sarmal antenin geometrik gösterimi.....   | 67 |
| Şekil 6. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin yan görünümü .  | 68 |
| Şekil 6. 3. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin üst görünümü...   | 68 |
| Şekil 6. 4. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin R yarıçaplı küre içinde geometrik gösterimi .....                                 | 68 |
| Şekil 6. 5. Küresel sarmal antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi .....   | 69 |
| Şekil 6. 6. $\varphi = 90^\circ$ ve $\theta = 0^\circ$ iken aksel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi .....  | 69 |
| Şekil 6. 7. Küresel sarmal anten için giriş empedansın gerçel kısmının frekansa bağlı değişimi .....  | 70 |
| Şekil 6. 8. Küresel sarmal anten için giriş empedansın sanal kısmının frekansa bağlı değişimi .....   | 70 |
| Şekil 6. 9. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1 GHz, (b)f=1.2 GHz, (c)f=1.4 GHz, (d)f=1.8 GHz, (e)f=2 GHz.....  | 72 |
| Şekil 6. 10. Farklı küre yarıçapları için (R=40, 60, 70 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi.....   | 73 |

Şekil 6. 11.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı küre yarıçapları için ( $R=40,60,70$  mm) aksenal oran eğrisinin frekansa göre değişimi ..... 73



## ÇİZELGELER

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 6. 1. Küresel sarmal antende $R=47.9$ mm için frekans-küre çevresi (C) değişimi..... | 71 |
| Çizelge 7. 1. Farklı sarmal anten tipleri için anten performans ve özellikleri.....          | 75 |

# 1. GİRİŞ

Yaygın olarak kullanılan anten tiplerinden biri olan sarmal tip antenler iletken bir teli burğu halinde sararak elde edilen, yapımı basit ve pratik olan geniş bantlı bir anten türüdür. Sarmal tel yapılarının anten olarak kullanılabilceği fikri ilk kez 1940'lı yıllarda John Kraus tarafından ileri sürülmüş ve kendisi sarmal antenlerin özellikleri ile ilgili pratik formüller ortaya koymuştur [1]. Sarmal antenler genelde yansıtıcı toprak yüzeyi ile kullanılır ve koaksiyel kablo ile beslemesi yapılır. Genel olarak eliptik kutuplanmaya sahip olan sarmal antenler, farklı tasarımlarla dairesel polarizasyona da sahip olabilmektedir. Bu antenlerin kutuplanması birbirine dik iki doğrusal bileşenle gösterilebilir. Bu sayede dönmekte olan doğrusal polarizasyona sahip başka bir antenden daima bilgi alabilirler. Bu özellik sayesinde sinyaller Faraday dönmesine uğrasa bile sarmal antenlerle alınabilirler [2]. Uzaydan alınan veya uzaya gönderilen elektromanyetik dalgalar Faraday dönmesine uğradığı için sarmal tip antenlerin bu sinyalleri alabilmesi uydu ve telsiz iletişimde de kullanımını arttırmıştır.

Sarmal yapı antenler ile ilgili literatürde farklı geometriler için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların temel amaçları ise antenlerin fiziksel uzunluklarını kısaltarak en düşük hacimli anten ile maksimum performans sağlamaktır. İlk defa Kraus tarafından öne sürülen sarmal anten tipleri hakkında özellikle T. Tsukiji, M. Yamasaki ve K. Miyahara farklı frekans bantları için dairesel polarizasyonlu normal moda sahip silindirik anten tasarımı ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir [3]. WLAN bandı için yapılan bu çalışmalar anten yapısı ve polarizasyonu hakkında önemli bilgiler içermektedir. N. Ripin, A. A. Sulaiman, N. E. A. Rashid ve M. F. Hussin ise VHF bandı için normal mod sarmal antenin fiziksel uzunluklarını kısaltmanın nasıl mümkün olacağı ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir [4]. Kullandıkları metod ile düşük frekans bantlarında, özellikle HF, VHF bantlarında, önemli sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca aksenel moda sahip anten türleri için ise farklı geometriler kullanılarak tasarımlar yapılmıştır. Silindir sarmal antenlerle ilgili R. G. Vaugfmm ve B. Andersen bu tip sarmal antenlerin polarizasyonu ile ilgili teorik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [5]. Y. Shi , K. W. Whites [6] M. B. Young, K. A. O'Connor ve R. D. Curry [7] antenlerin fiziksel uzunluklarını küçültmek için dielektrik ve manyetik malzemeler kullanarak çeşitli çalışmalar yapmıştır. R. N. Cai [8], P. Xu, Z. H. Yan, G. Yuan ve T. L. Zhang [9], Y. Wu ve J. L. W. Li [10] ise antene metal halka ve metal plaka ekleyerek performansında iyileştirmeler gözlemlemiştir. T. Whelpton. ve C.

Hodgson, N. Sultan, M. Moody [11], H. Mimaki ve H. Nakano [12] ise anteni iki farklı kalkış açlarına sahip olacak şekilde sararak performans iyileşmesini incelemiştir. Bu tip antenlerin performanslarını toprak yüzey değişikliğiyle iyileştirmek için M. Škiljo, Z. Blažević, A. Jurišić ve K. Pandžić [13], A. R. Djordjević, A. G. Zajić ve M. M. Ilić [14],[15] F. Sadeghkia, M. Mahmoodi, H. Hashemi-Meneh ve J. Ghayoomeh [16] çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Eksenel moda sahip olan farklı geometrilere sahip sarmal anten tiplerini de I. Ghoreishian [17], J. L. Winkle, M. Street, and S. Si [18], A. S. Jazi ve J. C. Cardoso [19], K. R. Carver [20], C. Lan ve J. Kiang [21], D. Martini [22] çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sonucunda farklı geometrilere ve fiziksel uzunluklara sahip sarmal antenlerin performansları hakkında sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tezde ise 2. bölümde normal moda sahip sarmal antenin incelemesine ve fiziksel boyutlarının nasıl azaltılabileceğine değinilmiştir. 3. bölümde silindirik sarmal antenin incelemesi, performansı iyileştirme yolları anlatılmış ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Bölüm 4, 5 ve 6'da ise sırasıyla dörtlü sarmal (quadrifilar) anten, spiro sarmal anten ve küresel sarmal antenin incelemesine ve sonuçlarına yer verilmiştir. Son bölümde üzerinde çalışılan antenlerden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

## 2. NORMAL MOD SARMAL ANTEN

Normal mod sarmal anten uzanım yönüne dik olarak ışımaya yapar. Antenin bir turunun çevresi dalga boyu ile karşılaştırıldığında küçüktür. Anten geometrisi ve kalkış açısı ifadesi Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu anten tipi çok kısa dipol ve küçük halkaların ışımaları toplamı olarak modellenebilir.  $N$  sarımlı bir normal mod sarmal anten  $N$  tane doğrusal ve dairesel antenin birleşimi olarak tasarlanır. Her halkanın çapı aynı zamanda sarmalın çapıdır. Her kısa dipolün boyu da antenin turları arası mesafesidir. İdealde çok kısa dipolün uzak alan ışınması küresel koordinat sisteminde  $\theta$  yönünde olur. Dalgaboyu anten boyutlarına göre çok büyük olduğundan sarmal üzerindeki akım sabit kabul edilebilir. Çok kısa dipolün uzak alanda yarattığı elektrik alan aşağıda verilmiştir [2].

$$E_{\theta} = \frac{jA_0 e^{-jkr}}{r} \left(\frac{S}{\lambda}\right) \sin\theta \quad (2.1)$$

Burada  $A_0$  katsayısı anten üzerindeki akımın genliği ile orantılıdır ve sabittir,  $k$ , yayılım sabiti ve  $S$  antenin turlar arası mesafesini gösterir. Aynı şekilde küçük halkaların uzak alanda yarattığı elektrik alanın  $\varphi$  yönündeki bileşeni aşağıda verilmiştir [2].

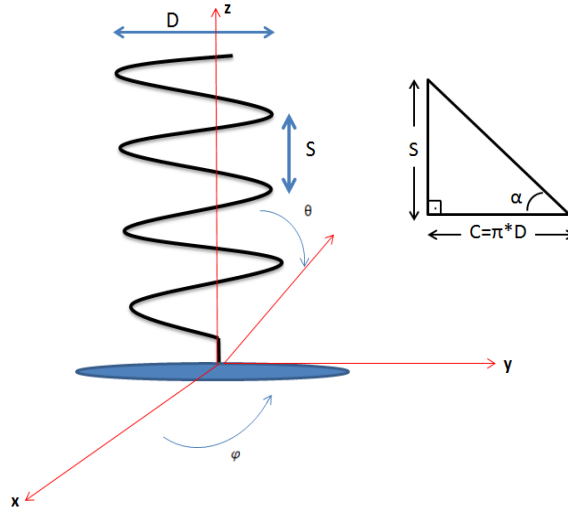
$$E_{\varphi} = \frac{A_0 e^{-jkr}}{2r} \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \sin\theta \quad (2.2)$$

Burada  $D$ , sarmal antenin çapını ifade eder.

Eşitlik 2.1 ve 2.2’deki iki bileşenin büyüklükleri ve aralarındaki faz farkı antenin polarizasyonunu ifade etmeye yardımcı olur. Eşitlik 2.3’te eksenel oran olarak tanımlanan bu oranın değeri antenin polarizasyonunu belirler. Antenin  $\theta$  ve  $\varphi$  yönünde iki ayrı bileşeni varsa ve  $|E_{\theta}| \neq |E_{\varphi}|$  ise anten çoğunlukla eliptik polarizasyona sahiptir. Antenin  $\theta$  veya  $\varphi$  yönünde bileşenin olmaması ise antenin dikey veya yatay lineer polarizasyonlu olmasını sağlar. Her frekans ve açı için ayrı ayrı hesaplanan bu oran 1’e ne kadar yakınsa anten o kadar iyi dairesel polarizasyona sahip olur. Dairesel polarizasyonun önemi ise yatay ve dikey polarizasyona sahip antenlerden gelen sinyalleri alabilmesidir dolayısıyla anten tasarlarırken eksenel oranın önemi yüksektir. Normal mod sarmal antende eksenel oran  $\theta = \frac{\pi}{2}$  için hesaplanır [2].

$$AR = \frac{|E_{\theta}|}{|E_{\varphi}|} = \frac{2S\lambda}{\pi^2 D^2} \quad (2.3)$$

Normal mod sarmal antenin uzak alan ışınım örüntüsü  $\sin \theta$  ile değiştiğinden, tıpkı çok kısa dipol gibi maksimum ışınımı  $\theta = 90^\circ$ 'de gerçekleştirir ve tasarımı kolaydır. Ancak dar bantlıdır ve geniş frekans bantları için kullanımı uygun değildir. Çoğunlukla dikey polarizasyona sahip olan bu antenler oldukça dar bir bantta dairesel polarizasyona sahip olur. Bir başka dezavantajı ise düşük kazançta sahip olmalarıdır. Tasarımı genellikle toprak yüzeyle beraber gerçekleştirilir. Dipol antene göre daha kısa bir anten boyunda benzer performans gösterdiğinden yaygın olarak kullanılır [1].

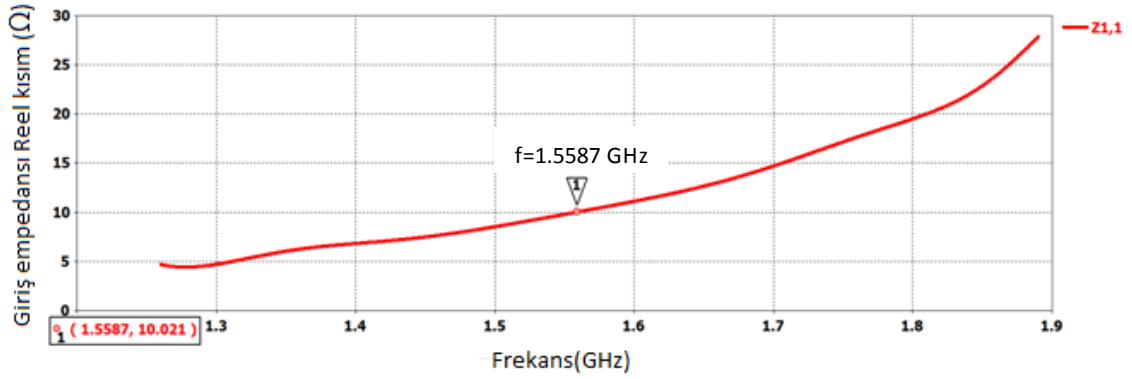


Şekil 2. 1.Sarmal anten geometrisi ve kalkış açısı gösterimi

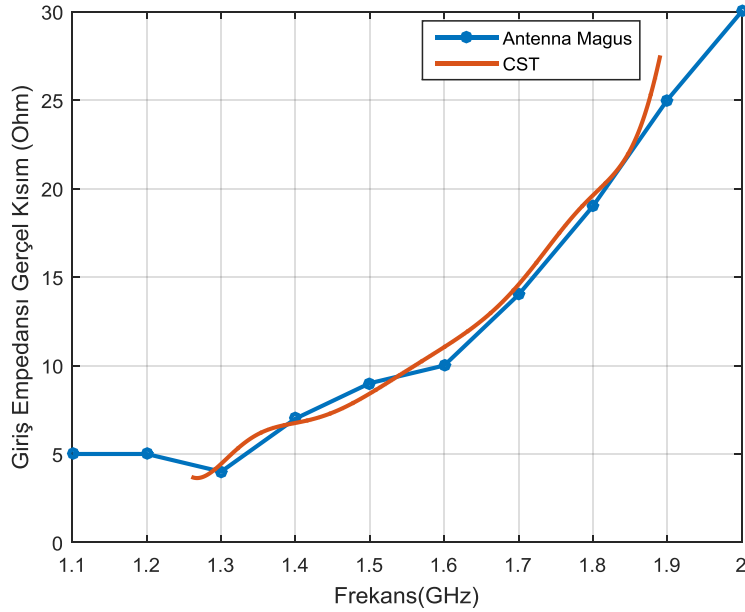
Dar bantlı bir anten olduğundan tüm L bandını (1-2GHz) kapsayacak ve iyi performans gösterecek bir normal mod sarmal anten tasarlamak mümkün değildir. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda bant içinde herhangi bir frekans seçilerek bir normal mod sarmal anten tasarımı gerçekleştirilebilir. Çalışmada bant ortası referans alınarak frekans yaklaşık 1.5 GHz seçilmiştir. Tasarımdaki amaç anteni olabildiğince düşük hacimli tasarlamaktır.  $0.25 \lambda$  çaplı toprak yüzeyi üzerinde tasarlanan antenin normal moda sahip olması için  $C \cong 0.1 \lambda$  ve dolayısıyla  $D \cong 0.03 \lambda$  olması gerekmektedir. Olabildiğince kısa boylu bir anten hedeflendiğinden anlamlı en düşük tur sayısı kullanılmaktadır. ( $N=2$ ). Eksenel oran hedefi olmadığından turlar arası mesafeyi de yaklaşık  $0.1\lambda$  yaparak anten tasarlanabilmektedir. Bu şekilde 1.5 GHz civarında en iyi geri dönüş kaybına sahip olacak şekilde tasarlanan anten boyu 3.8cm ( $0.2 \lambda$ ), çapı ise 0.57cm ( $0.03 \lambda$ ) olmaktadır. Dairesel polarizasyona sahip olması için ise Eşitlik 2.3'ün 1'e yakın olması gerekmektedir. Bunu hedefleyerek farklı boyutlarda dairesel polarizasyona sahip anten tasarlanabilir.

## 2.1. Işıma Karakteristiği

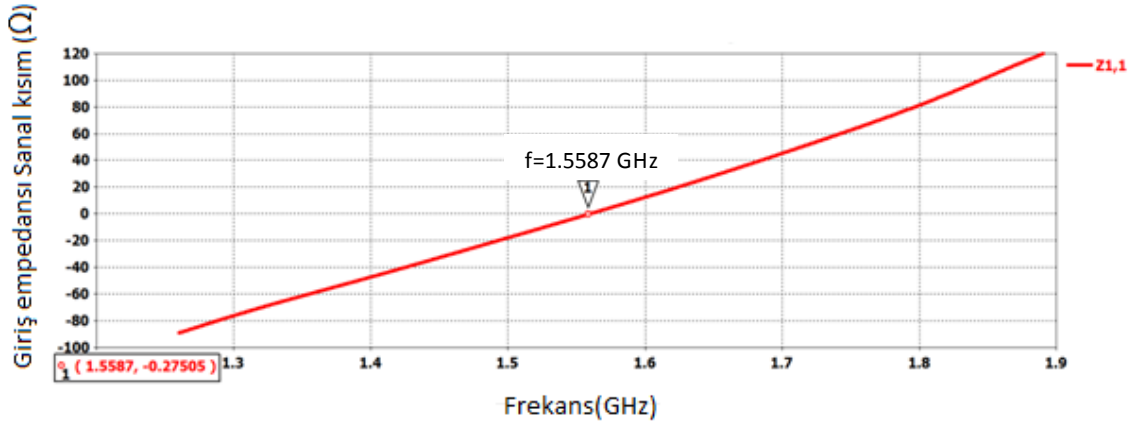
Yaklaşık 1.5 GHz için tasarlanan 3.8cm boyundaki normal mod sarmal antenin rezonans frekansında sadece gerçel kısma sahip olan giriş empedansı için yaklaşık  $10\Omega$ 'dur. Giriş empedansının gerçel ve sanal kısmı Şekil 2.2 ve 2.4'te verilmiştir. Şekil 2.3 ve 2.5'te ise bir başka elektromanyetik simülasyonu Antenna Magus ile tasarlanan ve aynı fiziksel parametrelere sahip antenin CST ile karşılaştırmalı giriş empedansı eğrisi verilmiştir. Her iki simülatör, bandın çoğu bölgesinde benzer değerler göstermektedir.



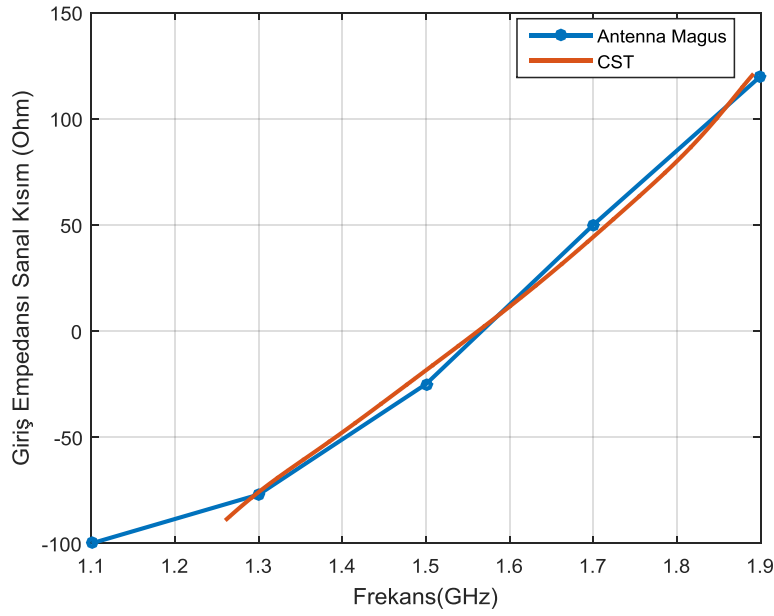
Şekil 2. 2. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısım eğrisi



Şekil 2. 3. Frekansa bağlı giriş empedansın gerçel kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması



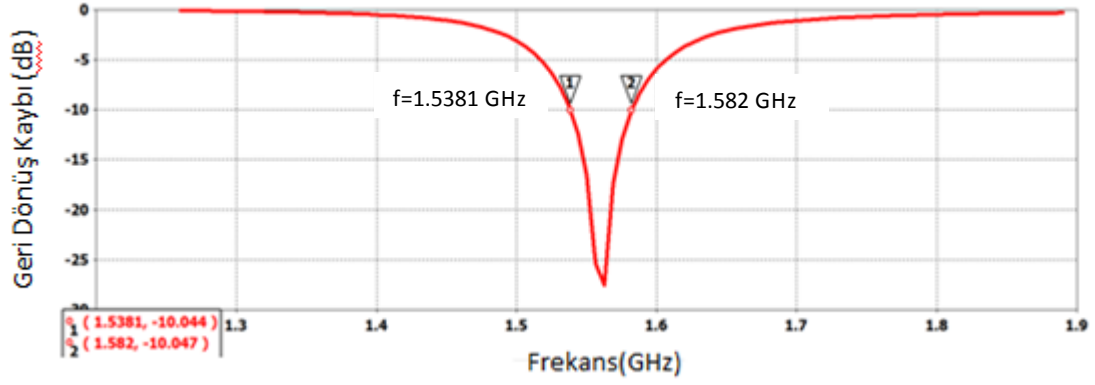
Şekil 2. 4. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısım eğrisi



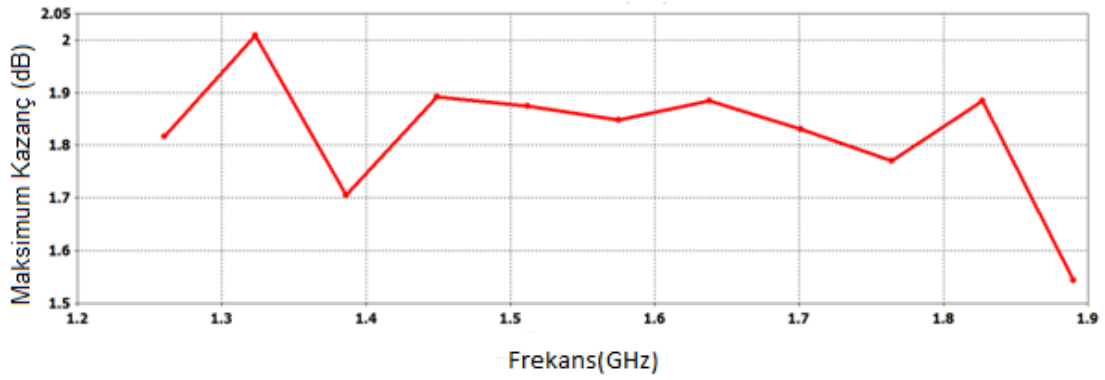
Şekil 2. 5. Frekansa bağlı giriş empedansın sanal kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması

Rezonans frekansında giriş empedansı  $10\Omega$  olan normal mod sarmal anten, Şekil 2.4'te verildiği gibi rezonanstan düşük frekanslarda kapasitif, rezonanstan yüksek frekanslarda ise indüktif özellik gösterir.

Anten giriş empedansına göre besleme gerçekleştirildiğinde hesaplanan geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu sonuç antenin VSWR eğrisinin de bant boyunca sadece rezonans frekansı civarında iyi sonuç verdiğini gösterir ve dolayısıyla tüm bant boyunca kullanılabilir bir anten türü olmaz. Normal mod sarmal antenin bir başka dezavantajı olan düşük kazancın maksimum ışımının gerçekleştirdiği yönlereki değerlerinin frekansa bağlı eğrisi Şekil 2.7'de verilmiştir. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere anten bant boyunca ortalama 2 dB'lik bir kazanç eğrisine sahip olur.

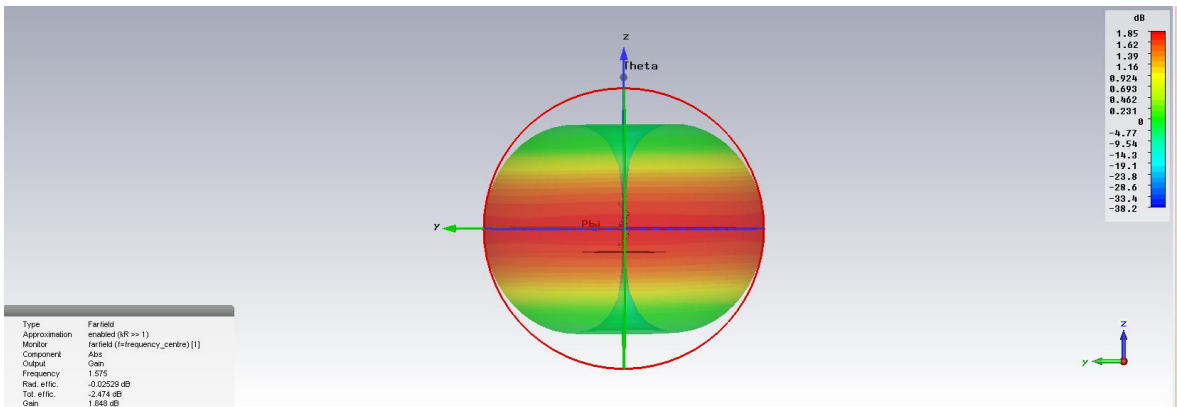


Şekil 2. 6. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı geri dönüş kaybı eğrisi



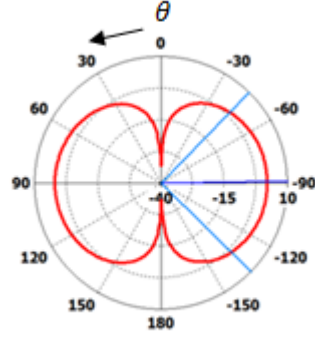
Şekil 2. 7. Normal mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

Elektrik alan bileşenleri Eşitlik 2.1 ve 2.2'deki gibi olan normal mod sarmal antenin uzak alan örüntüsü  $\theta = 90^\circ$ 'de maksimum olur. Geri dönüş kaybı eğrisinin en iyi sonuç verdiği frekans aralıklarında anlamlı olan bu örüntü 1.575GHz'de 3 boyutlu olarak Şekil 2.8'de, E-düzleminde ise Şekil 2.9'da verilmiştir.



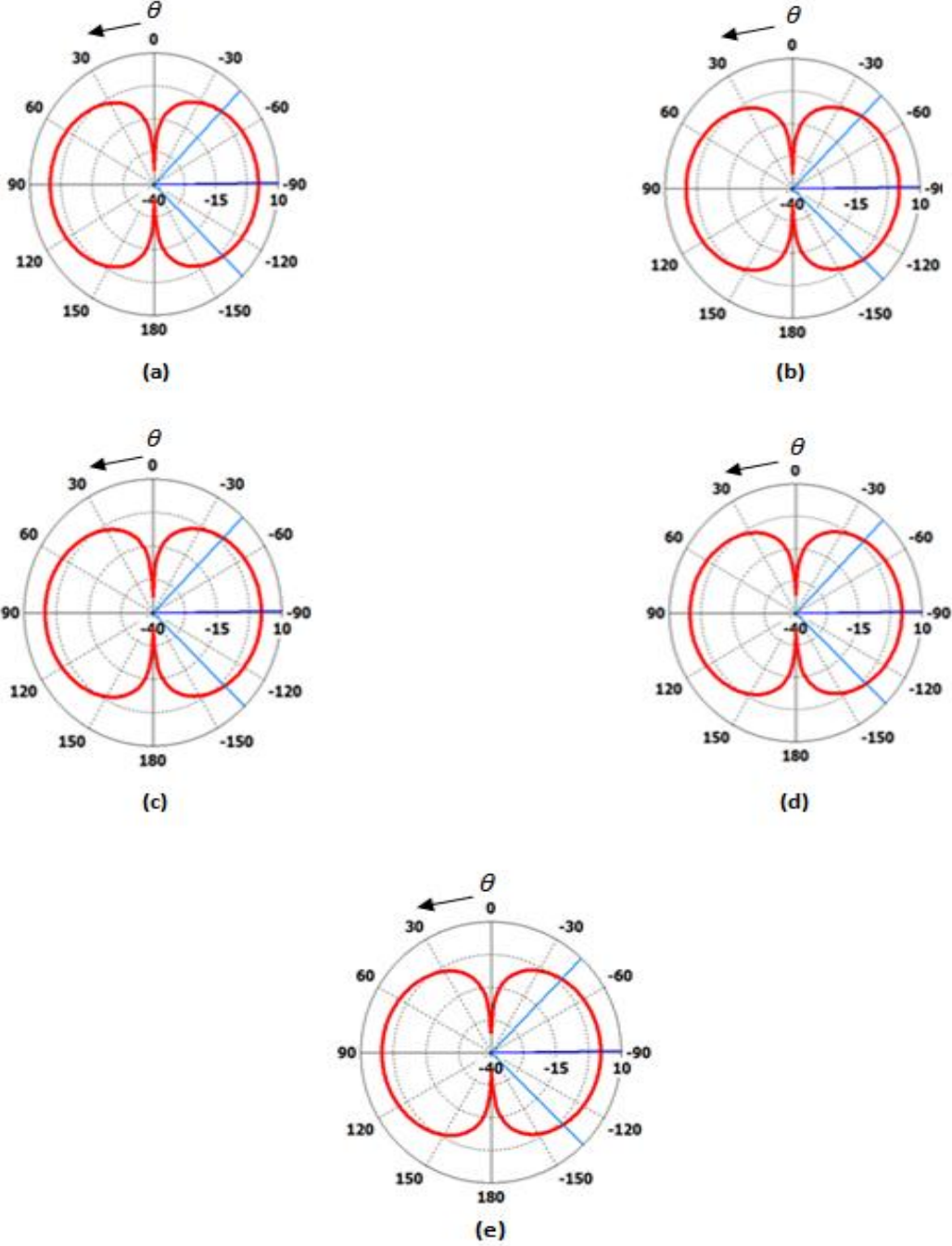
Şekil 2. 8.f=1.575 GHz için uzak alan örüntüsü





Şekil 2. 9.  $f=1.575$  GHz için E-düzlemi uzak alan örüntüsü

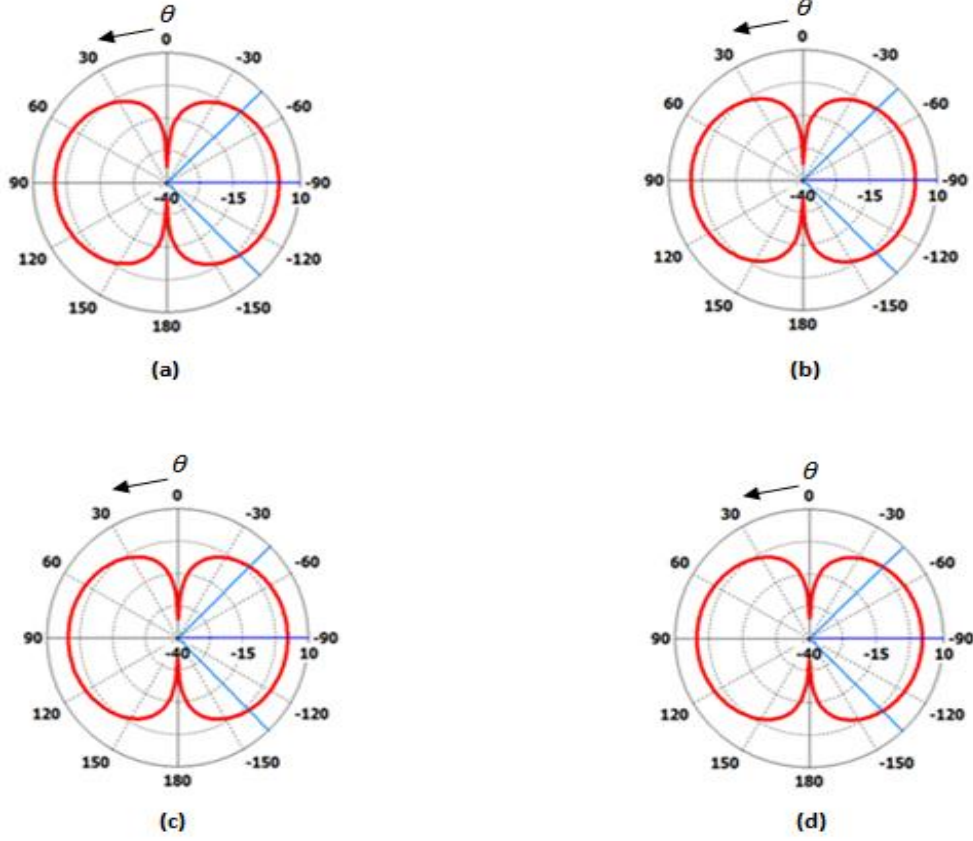
Gücün yarıya düşme genişliği 1.575 GHz için yaklaşık  $90^\circ$  olmaktadır. Ana hüzme yönü yaklaşık  $90^\circ$ 'de ve kazanç 1.85 dB'dir. Aynı antenin L bandında (1-2 GHz) bazı frekanslar için E-düzleminde uzak alan yayılımlarının nasıl değiştiği Şekil 2.10'da verilen örüntülerden gözlenebilir.



Şekil 2. 10. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a) $f=1.26$  GHz,(b) $f=1.386$  GHz,(c) $f=1.449$  GHz,(d) $f=1.701$  GHz,(e) $f=1.827$  GHz

Şekil 2.10'da verilen uzak alan örüntülerinde ana hüzmeye büyüklüğü 5 ayrı frekans için de yaklaşık 1.85dB olmaktadır. Ana hüzmeye yönü ise hepsinde  $90^\circ$  ve gücün yarıya düşme genişlikleri ise yine 5 ayrı frekans için yaklaşık  $90^\circ$  olmaktadır.

Aynı antenin  $\varphi = 0^\circ$ 'de H-düzleminde (azimuth) incelenen uzak alan örüntüleri bazı frekanslar için Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2. 11. H-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.26 GHz, (b)f=1.386 GHz , (c)f=1.701 GHz, (d)f=1.827 GHz

Şekil 2.11’de verilen uzak alan örüntülerinde ana hüzme büyüklüğü 5 ayrı frekans için de yaklaşık 1.8dB olmaktadır. Ana hüzme yönü ise hepsinde  $90^\circ$  ve gücün yarıya düşme genişlikleri ise yine 5 ayrı frekans için yaklaşık  $90^\circ$  olmaktadır.

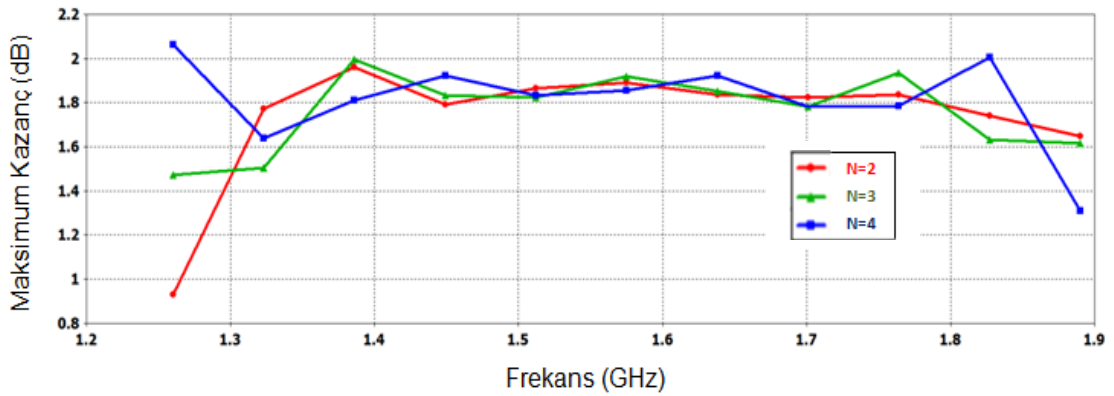
Elektrik alanın  $\theta$  ve  $\varphi$  bileşeni sadece  $\theta$  açısına bağlı değiştiği için, E ve H düzleminde benzer bir örüntü elde edilir. Her iki düzlemde  $\varphi$  açısı sırasıyla  $90^\circ$  ve  $0^\circ$  olur. Örüntü  $\sin \theta$  ile değiştiğinden maksimum değeri  $\theta = 90^\circ$ , minimum değeri ise  $\theta = 0^\circ$ de oluşur.

## 2.2. Anten Parametrelerinin Işıma Karakteristiğine Etkileri

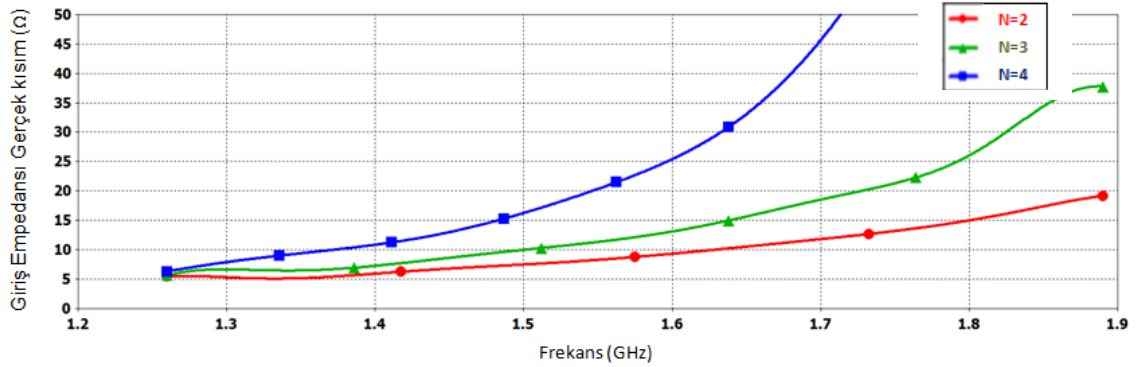
Şekil 2.1’de verilen normal mod sarmal antenin tasarımında arasında en önemli parametreler tur sayısı ( $N$ ), sarmal çapı ( $D$ ) ve kalkış açısıdır ( $\alpha$ ). Bu parametreler antenin kazanç karakteristiğini ve bant genişliğini etkiler. Antenin tel kalınlığı ( $r_0$ ) ise 0.7mm olup tasarımı en az etkileyen parametredir ve tüm analizler için sabit tutulmuştur.

İlk tasarlanan antenin tur sayısı 2 idi. Hesaplamalarda diğer parametreler ise sabit tutulurken ( $D=5.71 \text{ mm}$ ,  $\alpha=34^\circ$ ) tur sayısının 2, 3 ve 4 olduğu durumlar için elde edilen

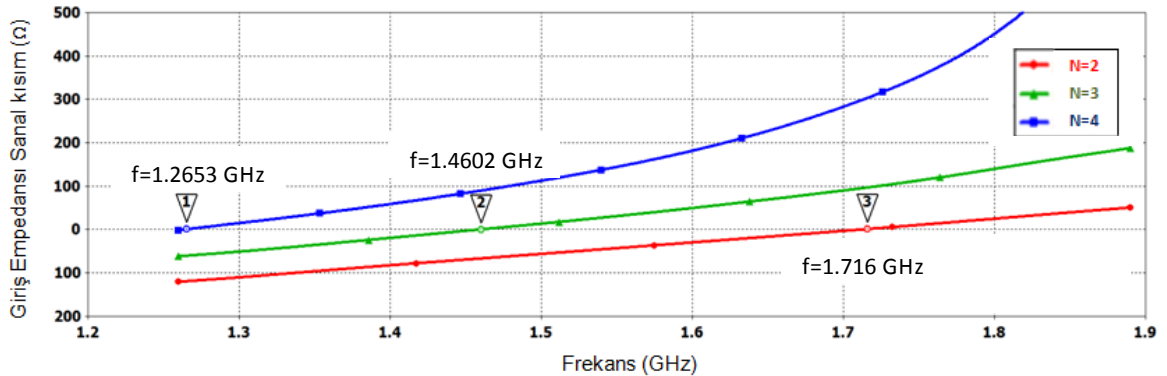
sonuçlar Őekil 2.12’de verilmiştir. Bandın geneline bakıldığında normal mod sarmal antenin maksimum kazanç eğrisi çok değişmemekte olup tur sayısı artsa bile kazanç 2dB seviyelerinde kalmaktadır. Őekil 2.13 ve 2.14’te ise antenlerin giriş empedansının gerçel ve sanal kısımları verilmiştir. Tur sayısının artmasıyla anten boyundaki artıştan dolayı antenin giriş empedansı daha dūřuk frekanslarda tamamen gerçel olur ve sanal kısmın 0 olduğu frekans, antenin tur sayısı arttıkça dūřer. Antenin gerçel empedansı da rezonans durumunda yaklaşık 10  $\Omega$  civarındadır.



Şekil 2. 12. Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

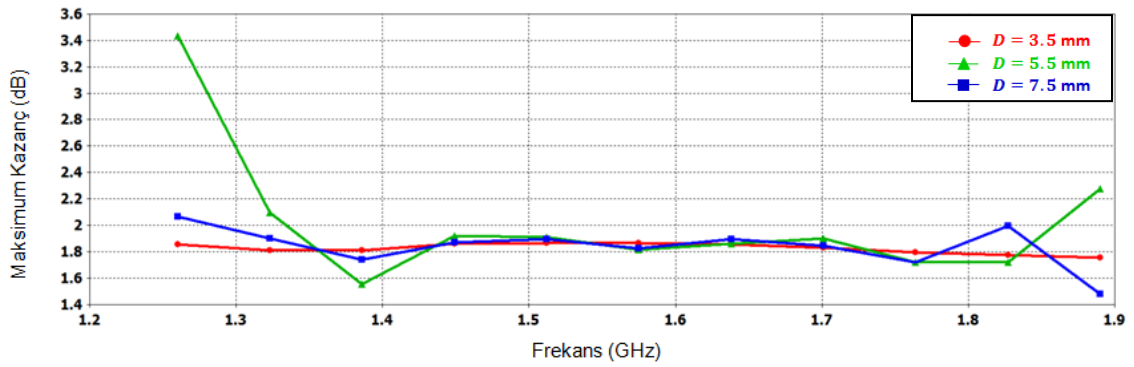


Şekil 2. 13. Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısmı eğrisi

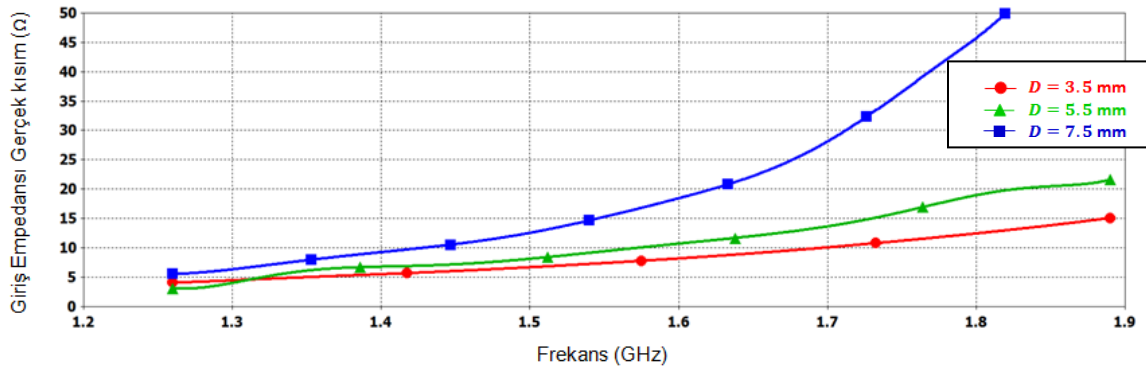


Şekil 2. 14. Farklı tur sayıları için (N=2,3,4) frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısmı eğrisi

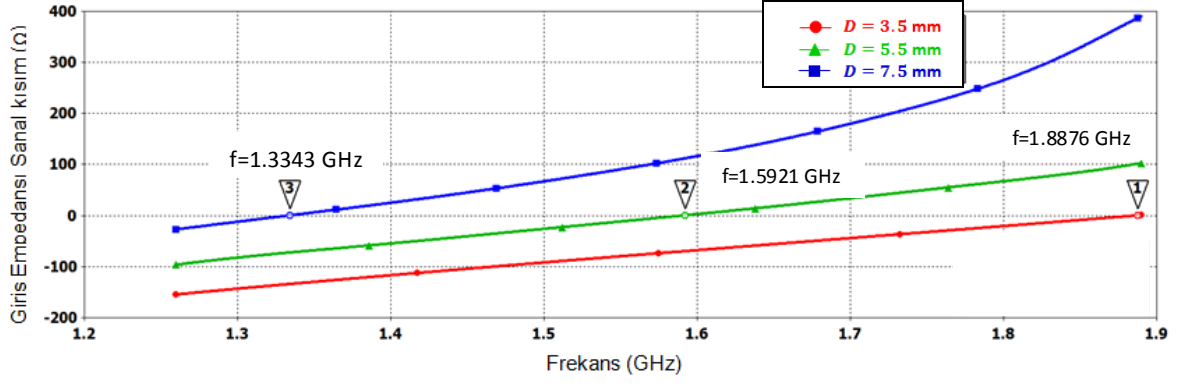
Antenin sarmal çapı bir diğer tasarım parametresidir. Tasarlanan antenin sarmal çapı 5.71 mm'dir. 1.575GHz'de iyi sonuç veren bu antenin tur çevresi ( $C$ ) dalga boyu cinsinden yaklaşık  $0.1 \lambda$  olmaktadır. Sarmal çapının 3.5mm, 5.5mm ve 7.5mm olduğu durumlar için anten performansı incelenmiştir. Diğer parametreler ise sabit tutulmuştur. ( $N=2$ ,  $\alpha=34^\circ$ ). Şekil 2.15'te farklı  $D$  değerleri için maksimum kazanç değişimi, Şekil 2.16 ve 2.17'de anten giriş empedansının gerçel ve sanal kısımları verilmiştir. Anten çapı değişimi anten kazancında çok belirgin bir değişikliğe yola açmasa da rezonans frekansını daha düşük frekanslara kaydırır.  $D$  arttıkça antenin çevresi artacağından ideal tur çevresi değeri olan  $0.1 \lambda$  daha yüksek dalga boyları için gerçekleşir ve böylece rezonans daha düşük frekanslarda gerçekleşir.  $D$  arttıkça sanal kısmın 0 olduğu ve giriş empedansının tamamen gerçel olduğu frekans yaklaşık 1.3 GHz'e düşse bile empedans yine  $10 \Omega$  olur. Çap küçültüldüğünde ise rezonans frekansı 1.9 GHz civarına gelmektedir.



Şekil 2. 15. Farklı sarmal çapları için ( $D=3.5\text{mm}$ ,  $5.5\text{mm}$ ,  $7.5\text{mm}$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi



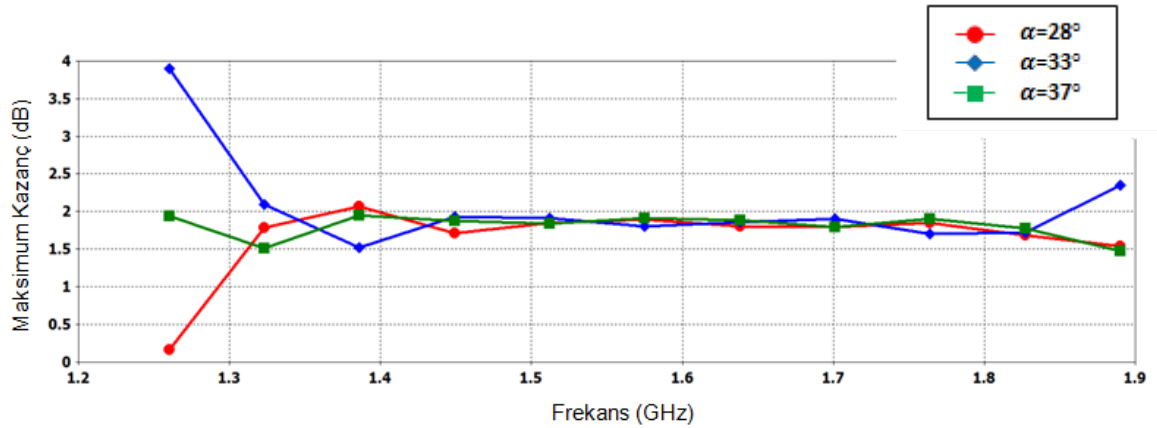
Şekil 2. 16. Farklı sarmal çapları için ( $D=3.5\text{mm}$ ,  $5.5\text{mm}$ ,  $7.5\text{mm}$ ) giriş empedansının gerçel kısım eğrisi



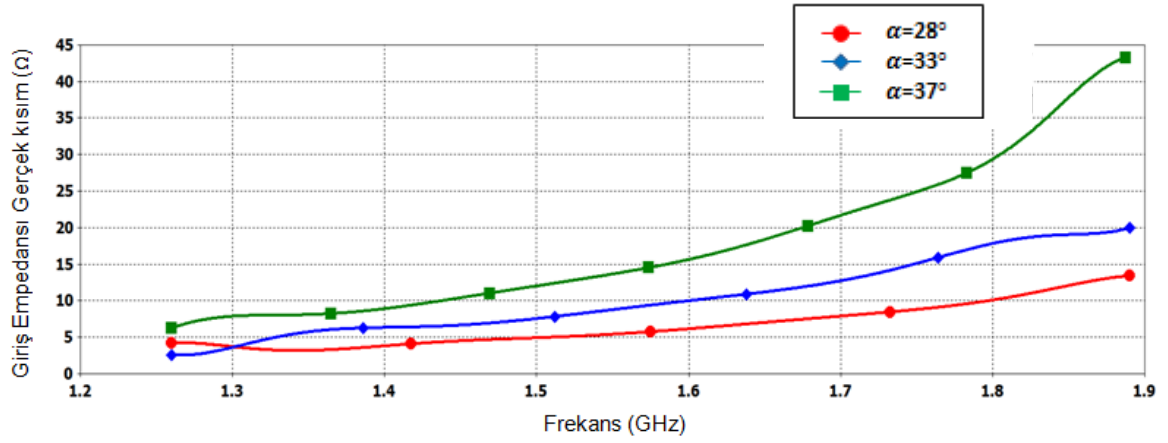
Şekil 2.17. Farklı sarmal çapları için ( $D=3.5\text{mm}$ ,  $5.5\text{mm}$ ,  $7.5\text{mm}$ ) giriş empedansının sanal kısmının frekansa bağlı eğrisi

Antenin kalkış açısı ( $\alpha$ ) Şekil 2.1’de görüldüğü üzere,  $\alpha = \tan^{-1}(S/C)$  ile hesaplanmaktadır.  $S$  turlar arası mesafeyi tanımlarken,  $C$  ise sarmalın bir turunun çevresini gösterir [2].

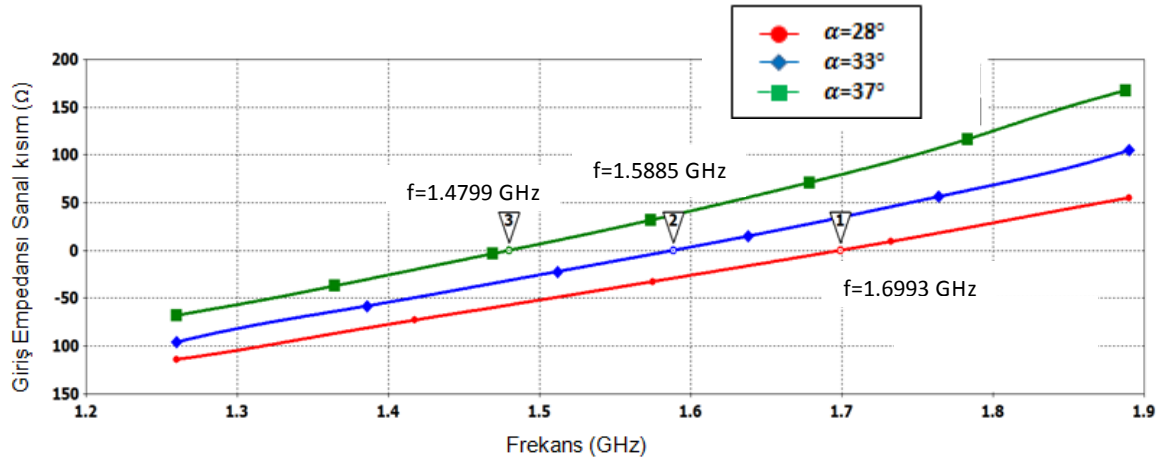
Tasarlanan antenin kalkış açısı  $34^\circ$ ’dir. Kalkış açısının  $28^\circ$ ,  $33^\circ$ ,  $37^\circ$  değerleri için performansı incelenirken diğer parametreler sabit tutulmuştur. ( $N=2$ ,  $D=5.71\text{mm}$ ) Şekil 2.18 farklı  $\alpha$  değerleri için maksimum kazanç değişimi, Şekil 2.19 ve 2.20’de anten giriş empedansının gerçel ve sanal kısımları verilmiştir. Farklı kalkış açılarında da kazanç eğrisi çok değişmemektedir. Fakat kalkış açısı arttıkça rezonans frekansı  $1.48\text{ GHz}$ ’e kadar kayar. Düşük kalkış açısında ise rezonans frekansı  $1.7\text{ GHz}$ ’e kadar yükselir. Giriş empedansın sanal kısmının  $0$  olduğu yerde gerçel kısım yine yaklaşık  $10\ \Omega$  olur.



Şekil 2.18. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha = 28^\circ, 33^\circ, 37^\circ$ ) maksimum kazancın frekansa bağlı eğrisi



Şekil 2. 19. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =28^\circ,33^\circ,37^\circ$ ) giriş empedansının gerçel kısmının frekansa bağlı eğrisi

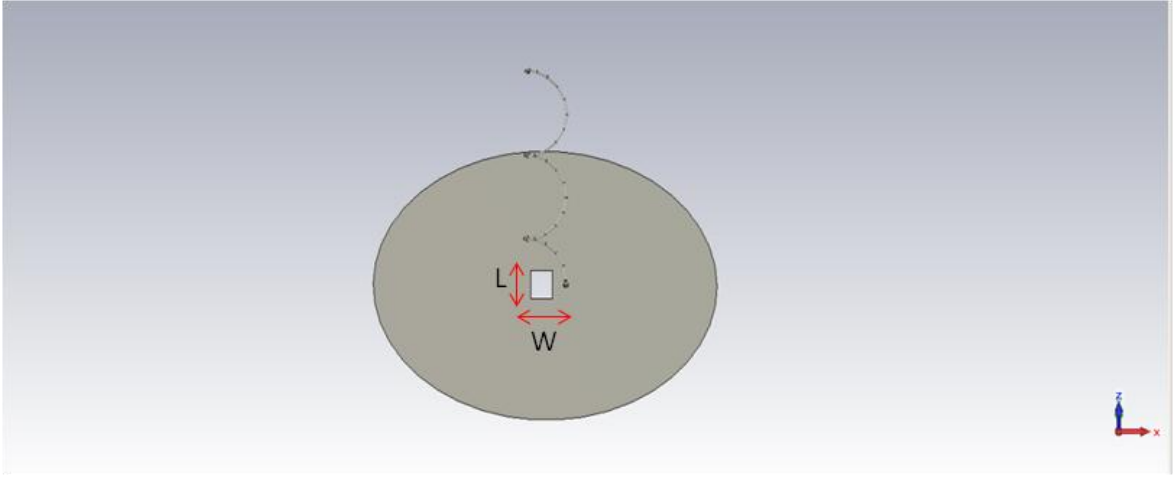


Şekil 2. 20. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha =28^\circ,33^\circ,37^\circ$ ) giriş empedansının sanal kısmının frekansa bağlı eğrisi

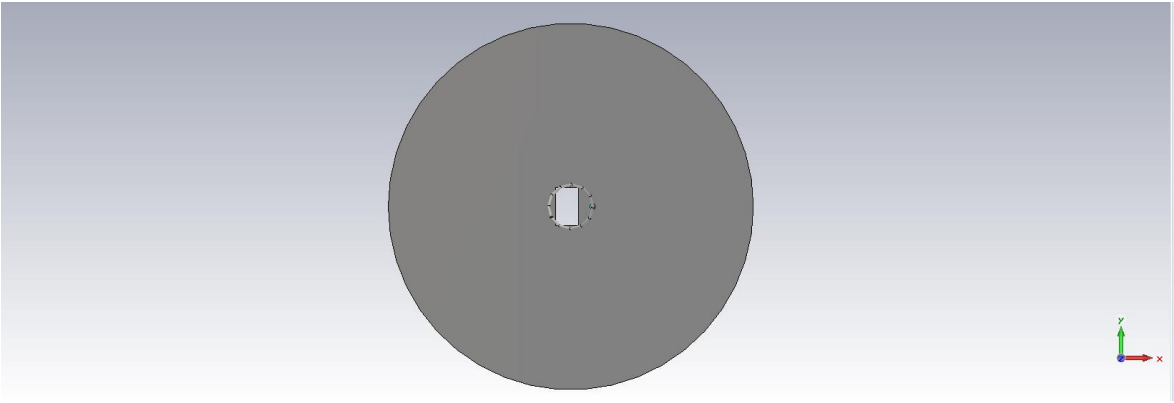
### 2.3. Antenin Fiziksel Uzunluğunun Kısaltma Yolları

Antenlerin fiziksel uzunlukları çoğu zaman kullanıldıkları yerlerde sıkıntı yaratır. Bu yüzden anten performansını çok kötüleştirmeden boyutlarını kısaltmak için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Tasarlanan anten boyu zaten 3.8 cm olduğundan çoğu yaklaşım bu frekans bandı antenlerde uygulanamamaktadır. Bu tip antenlerde yaygın olarak kullanılan metot ise toprak yüzey üzerinde yarıklar oluşturmaktır. Oluşturulan bu yarıklar antenin rezonans frekansını düşürerek anten boyunda %20'ye yakın bir anten boyu kısaltması sağlar. Literatürde DGS (Defected Ground Structure) olarak geçen bu metot ile tasarlanan antenin boyutlarını küçültmesi sağlanır [4].

Bu yöntemi uygulamak üzere tasarlanan anten tasarımı 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan anten Şekil 2.21 ve 2.22'de verilmiştir. Bu yarığın uzunluk ve genişlikleri parametrik olarak incelenmiş olup sarmal anten tasarlanırken diğer parametreler sabit tutulmuştur. ( $N=2$ ,  $\alpha=34^\circ$ ,  $D=5.71mm$ ,  $S=1.3cm$ ,  $r_o=0.7mm$ ).



Şekil 2. 21. 3 boyutlu simülasyon programında tasarlanan DGS etkili normal mod sarmal antenin yandan görünümü



Şekil 2. 22. 3 boyutlu simülasyon programında tasarlanan DGS etkili normal mod sarmal antenin üstten görünümü

Tasarladığımız yarığın uzunluğu ( $L$ ) ve genişliği ( $W$ ) bu metot için en önemli parametrelerdir. Toprak yüzey üzerinde ne kadar yarık oluşturulacağını bu parametreler belirler.

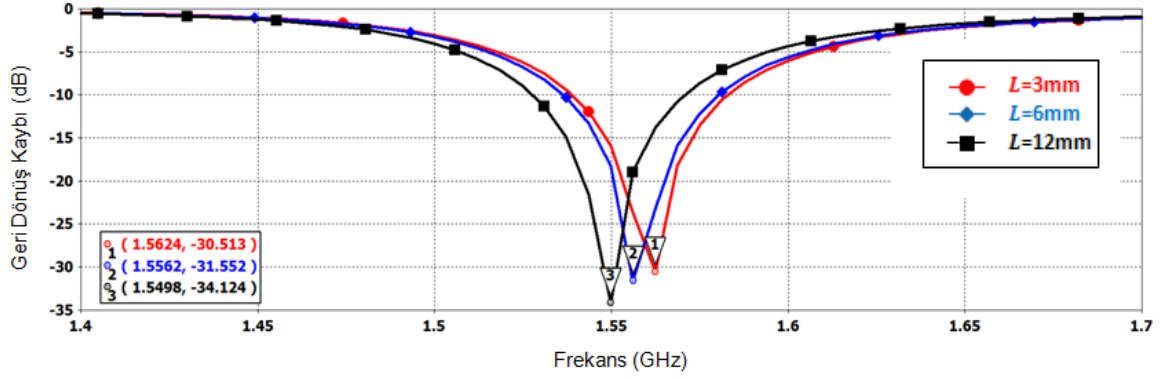
Yarık uzunluğu ( $L$ ) olarak 3, 6 ve 12 mm seçilerek gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 2.23 ve 2.24'te verilmiştir. Toprak yüzeydeki bu değişiklik (DGS metodu) akım dağılımını bozan bir boşluk oluşturur. Bu bozulma da efektif kapasitans ve indüktans değerini artırır. Bu da Eşitlik 2.4'te verildiği gibi dalganın faz hızının düşmesine neden olur ve Eşitlik 2.5'e göre aynı rezonans frekansında daha düşük bir rezonans dalgaboyuna sahip olarak anten boyunda kısalmayı sağlar [23]. Yarığın uzunluğu arttıkça da bu rezonans frekansı düşer [4]. Kazanç eğrisi ise bant boyunca benzer performans sergiler.



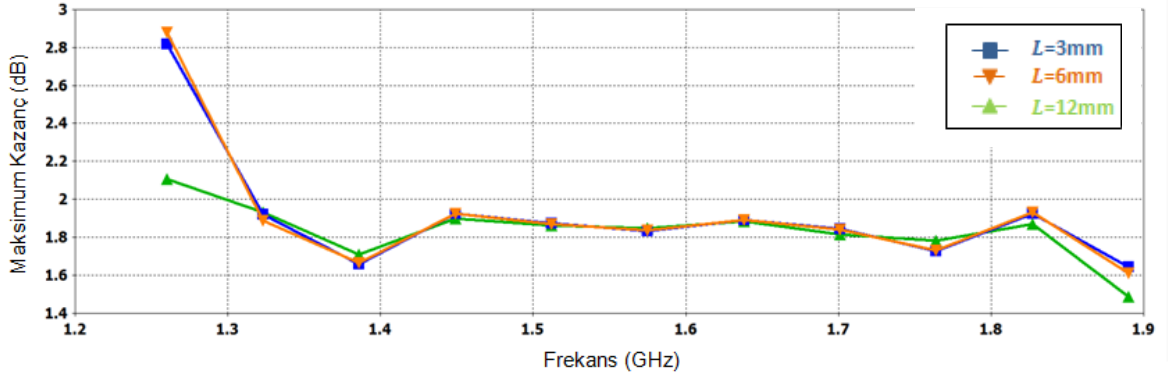
$$v_p = 1/\sqrt{LC} \quad (2.4)$$

$$v_p = f * \lambda \quad (2.5)$$

$v_p$  faz hızını belirtmekte olup,  $L$  eş değer indüktans  $C$  ise eş değer kapasitansı ifade etmektedir.

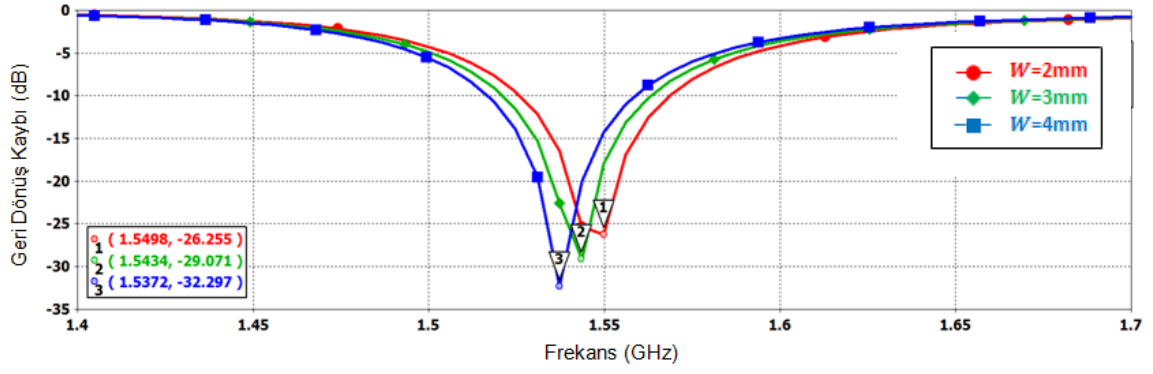


Şekil 2. 23. DGS metotta farklı uzunluklar için (3mm, 6mm, 12mm) geri dönüş kaybının frekansa bağlı eğrisi

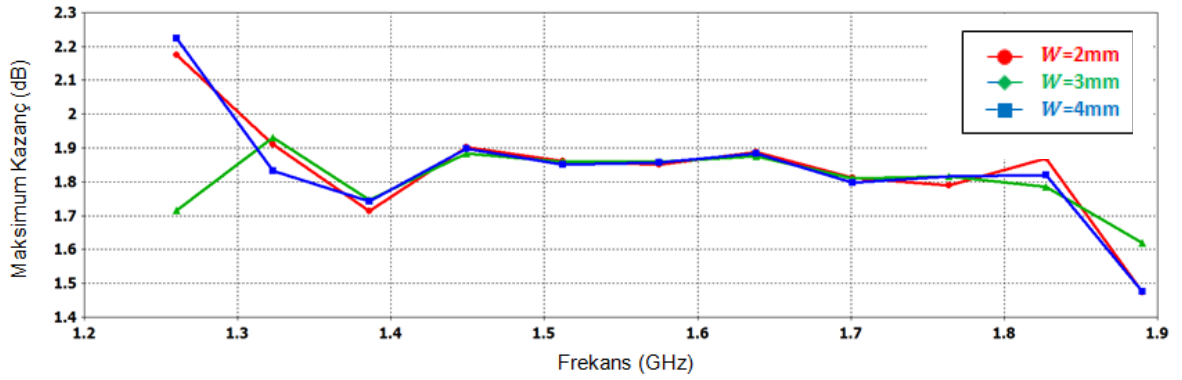


Şekil 2. 24. DGS metotta farklı uzunluklar için (3mm, 6mm, 12mm) maksimum kazancın frekansa bağlı eğrisi

Yarık genişliği ( $W$ ) olarak 2, 3 ve 4 mm seçilerek gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 2.25 ve 2.26'da verilmiştir. Yarığın genişliği arttıkça yine faz hızı düşümünden dolayı rezonans frekansı düşer [4]. Kazanç eğrisi için de bant boyunca benzer sonuçlar çıkar.



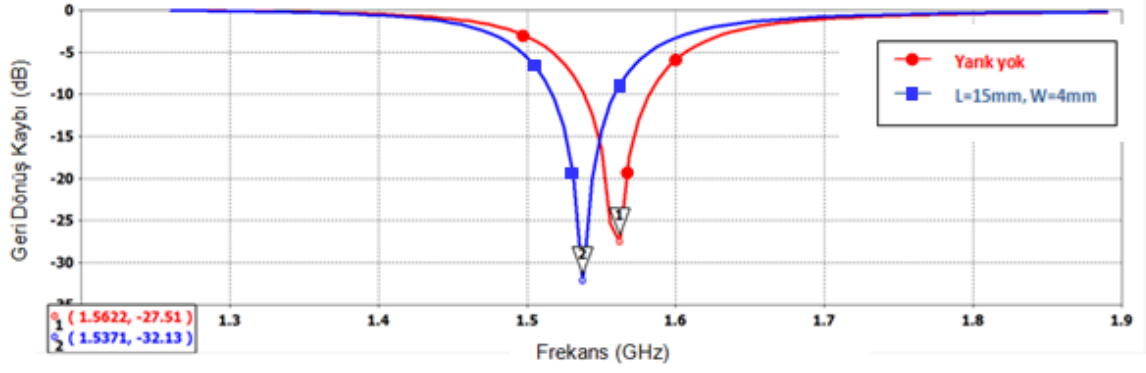
Şekil 2. 25. DGS metotta farklı genişlikler için (2mm, 3mm, 4mm) geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi



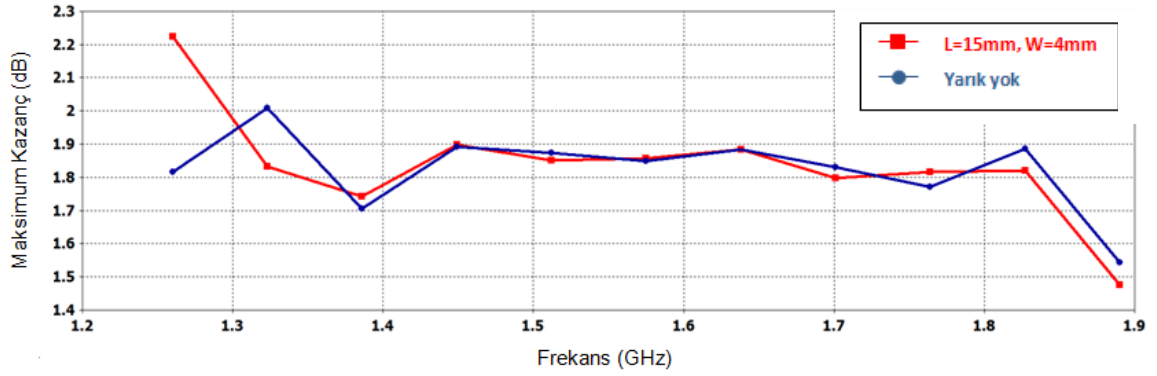
Şekil 2. 26. DGS metotta farklı genişlikler için (2mm, 3mm, 4mm) maksimum kazancın frekansa bağlı değişimi

#### 2.4. Normal Mod Sarmal Anten İle DGS Normal Mod Sarmal Anten Karşılaştırması

Antenin fiziksel boyutlarını küçültmek için kullandığımız DGS metodu sonucunda antenin boyunda %5'lik bir kısalma elde edilmiştir. Daha düşük frekanslardaki (VHF bandı) normal mod sarmal anten tasarımlarında daha belirgin olarak kullanılan ve %20'lere kadar bir kısalma sağlayan bu metot ile antenin kazancında ve bant genişliğinde belirgin bir farklılaşma görülmez. Normal mod sarmal anten ve DGS etkili normal mod sarmal anten sonuçlarının karşılaştırmalı eğrileri Şekil 2.27 ve 2.28'de verilmiştir. Rezonans frekansı 1.56 GHz'den 1.53 GHz'e düşen anten için  $W$  ve  $L$  parametreleri sırasıyla 4 ve 15 mm olurken, antenin kalan parametreleri her iki anten tipi için de sabit tutulmuştur. ( $N=2$ ,  $\alpha=34^\circ$ ,  $D=5.71mm$ ,  $S=1.3cm$ ,  $r_o=0.7mm$ ).



Şekil 2. 27. Normal mod sarmal anten ile DGS etkili normal mod sarmal antenin frekansa bağlı geri dönüş kaybı eğrisi



Şekil 2. 28. Normal mod sarmal anten ile DGS etkili normal mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

### 3. EKSENEL MOD SARMAL ANTEN

Sarmalın çevresi ( $C$ ) dalgaboyu ile karşılaştırılabilir seviyede olduğu zaman anten o frekans bandında ekselel moda sahip olur. İdealde modu sağlamak için sarmal çevresinin ( $C$ ) dalgaboyuna çok yakın bir değer alması gerektiğinden artı ve eksi yükler uzaklıkları  $\lambda/2$  olacak şekilde sarmala yayılırlar. Antenin her turu için akım dağılımını analiz ettiğimizde her yarım turda  $180^\circ$  de faz değişimi meydana geldiğinden eksene dik yöndeki bileşenler birbirini yok ederler, paralel bileşenler ise birbirini güçlendirirler. Bu sayede en güçlü ışınım eksen yönünde gerçekleşir. Kraus'un deneysel çıkarımlarına göre [1] modu belirleyen en önemli parametre olan sarmalın tur çevresi ( $C$ ), ekselel mod için aşağıdaki değerler arasında olması gerekmektedir.

$$\frac{3}{4}\lambda < C < \frac{4}{3}\lambda \quad (3.1)$$

Normal moda göre daha geniş bir banda sahip olan aksenel mod sarmal anten %60 bant genişliği sağlar. Çalışılan L ve S bandının tamamını kapsayacak bir aksenel mod sarmal anten tasarlamak için yaklaşık %120 bant genişliği gerektiğinden, sadece L ve sadece S bandı için 2 ayrı anten tasarımı gerekmektedir. L bandını kapsayacak bir anten için 1.55 GHz'de tasarlanacak anten %60 bant genişliği ile 1.2-2 GHz arasında iyi performans gösterir.

Işıma modu ile ilgili çeşitli teorik temelli çalışmaları [1][5] olan bu anten türü ilerleyiş yönünde maksimum ışımaya yapar ve giriş empedansının hesabında birbirine yakın sonuçlar veren iki ayrı yaklaşım mevcuttur. Bunlar;

$$R=140 \cdot C_\lambda \quad (\pm\% 20) \quad \text{Kraus'a göre} \quad (3.2)$$

$$R=150/\sqrt{C_\lambda} \quad \text{Baker'e göre} \quad (3.3)$$

Gücün yarıya düşme genişliği (HPBW) ise Kraus'un yaklaşımına göre şu şekilde hesaplanır.

$$\text{HPBW}=52 / C_\lambda * \sqrt{NS_\lambda} \quad (3.4)$$

Burada  $C_\lambda$  bir tur çevresinin dalgaboyu cinsinden değeri,  $N$  tur sayısı,  $S_\lambda$  ise turlar arası mesafenin dalgaboyu cinsinden değerini ifade etmektedir. Bir diğer anten parametresi olan kalkış açısı ( $\alpha$ ) ise optimizasyon sonucu sıklıkla  $12^\circ < \alpha < 14^\circ$  arası bir değer alır.

Toprak yüzeyi ile tasarlanan aksenel mod sarmal antenin toprak yüzeyi Kraus'a göre en az  $3\lambda/4$  çapında [1], Balanis'e göre ise en az  $\lambda/2$  olması gerekmektedir [2]. Toprak yüzeyin çapının büyüklüğü anten modu için kritik olmasa bile daha geniş bir bant genişliği için önemlidir.

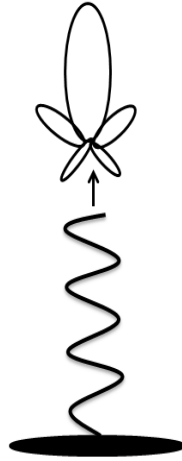
Normal mod sarmal antenlerin aksine, aksenel mod sarmal antenin basit bir analitik çözümü yoktur. Işıma özellikleri ve akım dağılımları genelde deneysel yaklaşımlar ve nümerik metotlar ile belirlenebilmiştir. Uzak alan ışımaları da deneysel yaklaşımlarla belirtilir. Uzak alan ışınması Şekil 3.1'deki gibi olan antenin Kraus tarafından öne sürülen  $N$  turlu sarmal anten için uzak alan yaklaşımı Eşitlik 3.5 ve 3.5a'da verilmiştir.

$$E = \sin\left(\frac{\pi}{2N}\right) \cos\theta \frac{\sin[(N/2)\gamma]}{\sin(\gamma/2)} \quad (3.5)$$

$\gamma$  burada

$$\gamma = 2\pi \left[ \frac{S}{\lambda} (1 - \cos\theta) + \frac{1}{2N} \right] \quad (3.5a)$$

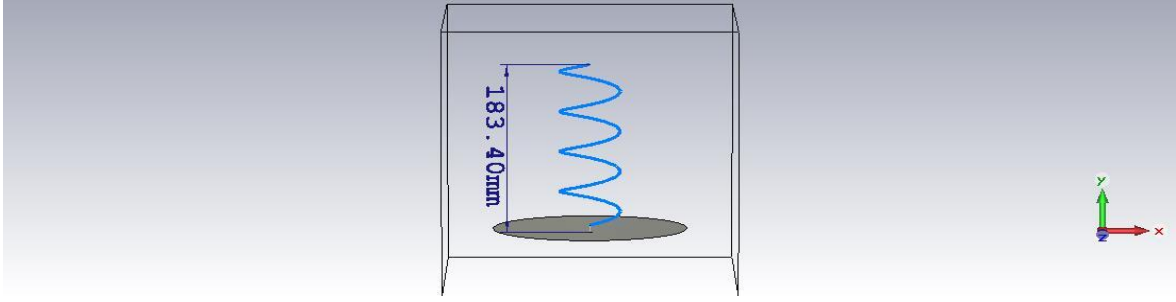
olarak verilir.



Şekil 3. 1. Eksenel mod sarmal anten ve örüntüsü

Eksenel mod sarmal antenin en önemli avantajlarından biri de geniş bantta dairesel polarizasyona sahip olmasıdır. Bu sayede yatay ve dikey polarizasyonlara sahip antenlerden sinyal alabilir. Polarizasyonu belirleyen ve 0 ile  $\infty$  arasında değerler alan eksenel oran bu anten türü için geniş frekans bandında 1'e yakındır. Literatürde eksenel oranın 3dB'den daha düşük olduğu frekanslarda anten dairesel polarizasyona sahiptir.

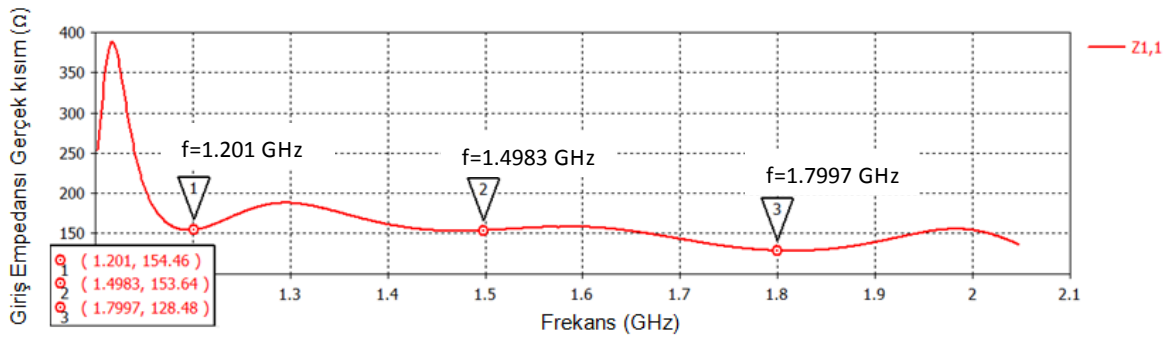
3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio kullanılarak tasarlanan anten Şekil 3.2'de verilmiştir. Eksenel mod sarmal anten %60'lık bir bant genişliği sağladığından bant ortasına yakın bir merkez frekansa göre tasarım gerçekleştirildiğinde 1.1-2 GHz bandını kapsayan bir anten yapılması mümkündür ve bunun için tasarımda GPS L1 frekansı olan 1.575GHz seçilmiştir. Anten parametreleri tur sayısı  $N=4$ , kalkış açısı,  $\alpha = 13^\circ$ , sarmal çapı,  $D=60.6 \text{ mm}$ , turlar arası mesafe,  $S=46 \text{ mm}$ 'dir. Dalgaboyu yaklaşık 190 mm olduğundan  $S=0.24 \lambda$ ,  $C = 2\pi D = \lambda$  olur. Anteni üzerine yerleştirdiğimiz toprak yüzeyin çapı ise  $\lambda$ 'dir .



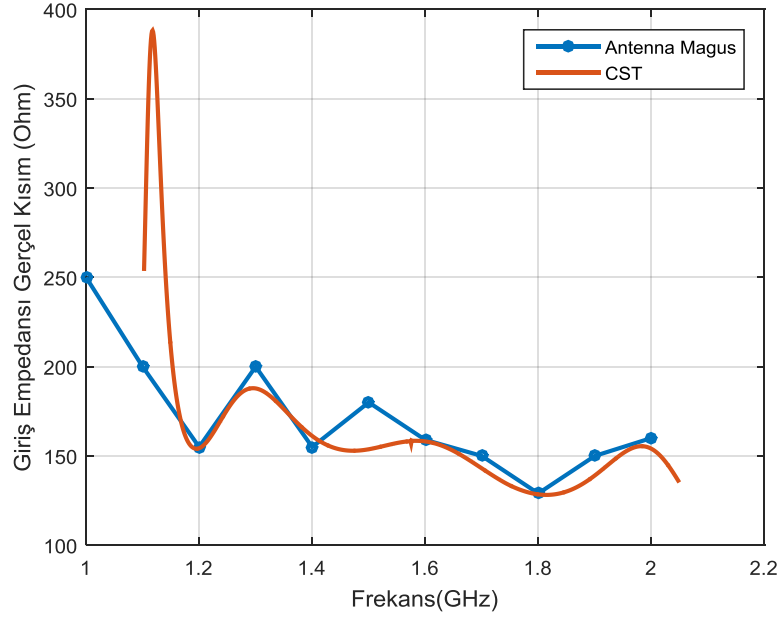
Şekil 3. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan eksenal mod sarmal anten ( $N=4$ ,  $\alpha =13^\circ$ ,  $D=60.6\text{mm}$ )

### 3.1. Işıma Karakteristiği

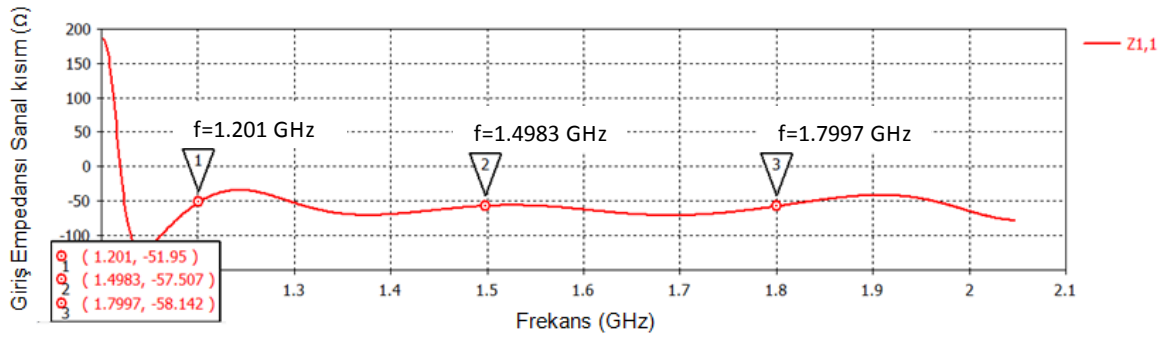
Eşitlik 3.2 ve 3.3'te verildiği üzere giriş empedansı ile ilgili iki ayrı yaklaşım bulunmaktadır. Sarmal tur çevresi yaklaşık olarak  $\lambda$  olduğundan giriş empedansı her iki yaklaşım içinde 140-150  $\Omega$  olur.  $N=4$ ,  $\alpha =13^\circ$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $S=46\text{ mm}$  için 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan antenin giriş empedansının gerçel ve sanal kısmı Şekil 3.3 ve 3.5'te verilmiştir. Gerçel kısım bant boyunca yaklaşık 130-150  $\Omega$  çıkmaktadır. Şekil 3.4 ve 3.6'da ise bir başka elektromanyetik simülatörü Antenna Magus ile tasarlanan ve aynı fiziksel parametrelere sahip antenin CST ile karşılaştırmalı giriş empedansı eğrisi verilmiştir. Her iki simülatör, bandın çoğu bölgesinde benzer değerler göstermektedir.



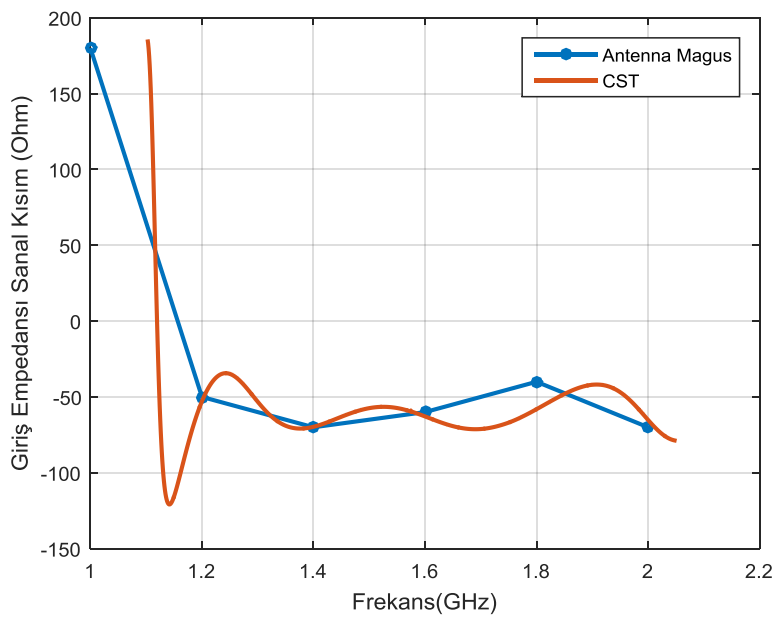
Şekil 3. 3 . Frekansa bağlı giriş empedansının gerçel kısmının değişimi



Şekil 3. 4. Frekansa bağlı giriş empedansın gerçel kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması

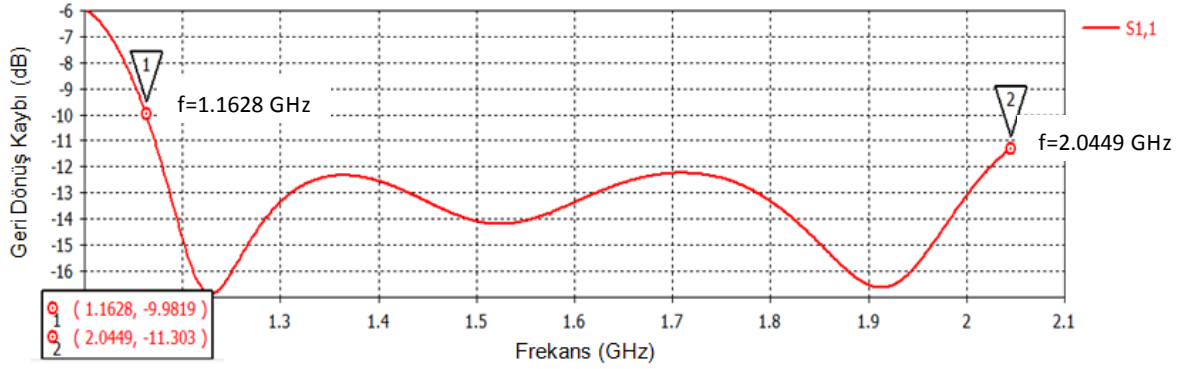


Şekil 3. 5. Frekansa bağlı giriş empedansının sanal kısmının değişimi

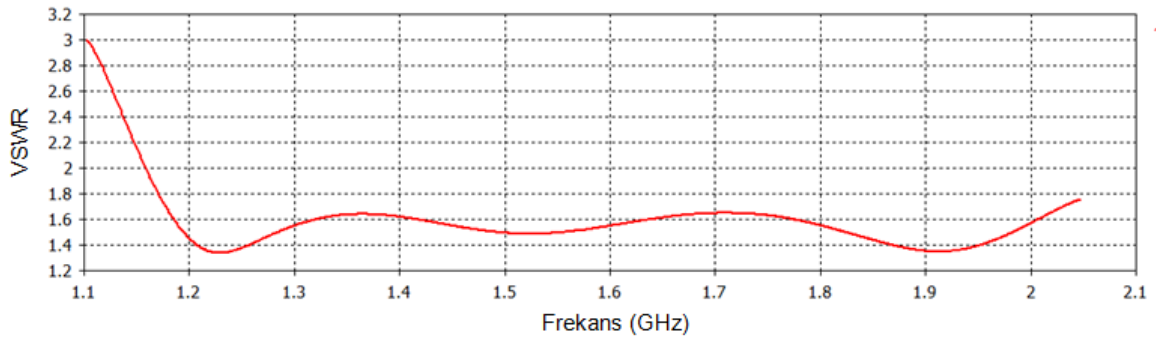


Şekil 3. 6. Frekansa bağlı giriş empedansın sanal kısmının CST ve Antenna Magus karşılaştırması

Kraus'un giriş empedansı yaklaşımına göre  $140 \Omega$  ile beslemesi gerçekleştirilen antenin geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 3.7'de verilmiştir. 1.16 – 2 GHz arasında -10 dB'den daha iyi bir geri dönüş kaybı görülen bu anten yaklaşık %60 bant genişliği sağlamaktadır. Aynı antenin VSWR eğrisi de Şekil 3.8'de verilmiştir. Anten bant boyunca -6dB'den daha iyi bir geri dönüş kaybına sahip olduğu için VSWR eğrisi bant boyunca 3'ün altında kalmaktadır.



Şekil 3. 7. Eksenel mod sarmal antenin geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi



Şekil 3. 8. Eksenel mod sarmal antenin VSWR eğrisinin frekansa göre değişimi

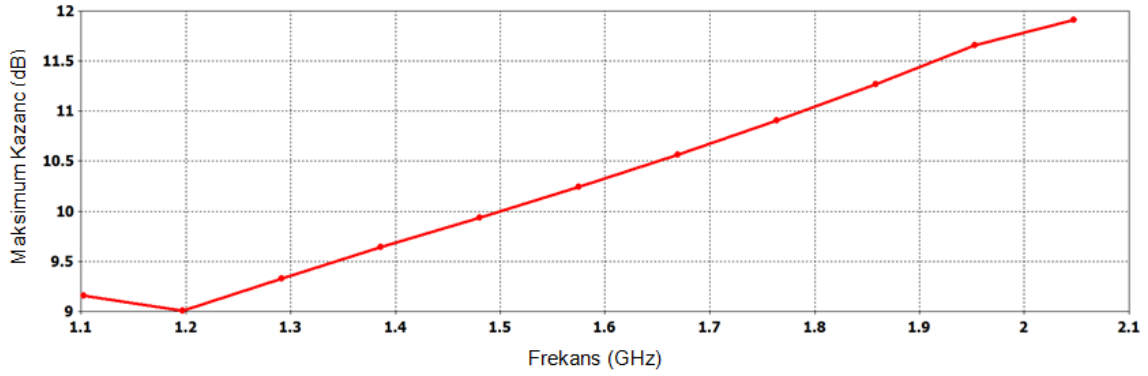
Eksenel mod sarmal antenin geniş bant genişliğine sahip olmasının yanında bir diğer avantajı da kazancının benzer antenlere göre daha yüksek olmasıdır. Eşitlik 3.7'de Kraus'a göre yaklaşık olarak hesaplanan kazanç denklemi görülmektedir. King ve Wong [24] ise deneysel incelemelerle bunu geliştirerek daha doğruya yakın bir çıkarım gerçekleştirdiği denklemi Eşitlik 3.8'de verilmiştir. Maksimum yönlerdeki kazanç eğrisi Şekil 3.9'da verilmiştir ve bant boyunca 9dB'den daha iyi olmaktadır. Eşitlik 3.7'de görülen frekansla doğru orantılı değişim Şekil 3.7'deki kazanç eğrisinde görülmektedir.

$$G \cong 12C_{\lambda}^2 NS_{\lambda} \cong 12 \frac{C^2 NS}{\lambda^3} \quad (3.7)$$

$$G \cong 8.3 \left( \frac{\pi D}{\lambda_p} \right)^{\sqrt{n+2}-1} \left( \frac{nS}{\lambda_p} \right)^{0.8} \left[ \frac{\tan 12.5^\circ}{\tan \alpha} \right]^{\frac{\sqrt{n}}{2}} \quad (3.8)$$



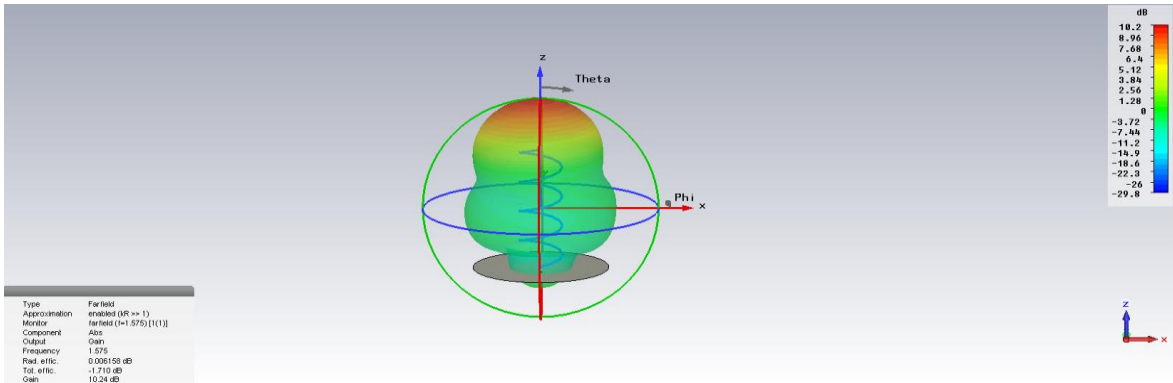
Burada  $\lambda_p$  kazancın en yüksek olduğu frekanstaki dalga boyunu,  $n$  tur sayısını,  $\alpha$  kalkış açısını,  $D$  sarmal çapı ve  $S$  ise turlar arası mesafeyi tanımlamaktadır.



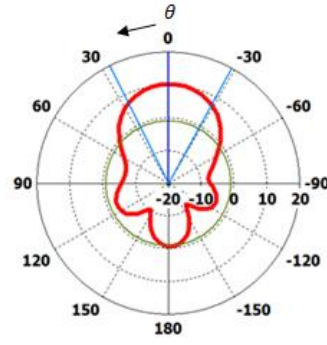
Şekil 3. 9. Eksenel mod sarmal antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Antenin uzak alan örüntüsü Eşitlik 3.5'ten çıkarım yapılarak  $\theta = 0^\circ$ 'de maksimum olmaktadır ayrıca gücün yarıya düşme açısı da yaklaşık olarak Eşitlik 3.4 ile hesaplanır.

Tasarımı gerçekleştirilen 1.575 GHz merkez frekanslı anten için uzak alan örüntüsü E-düzleminde 3 boyutlu olarak Şekil 3.10'da, polar koordinatta ise Şekil 3.11'de verilmiştir. 1.575 GHz için  $C = \lambda$ ,  $S = 0.24 \lambda$ ,  $N = 4$  olduğundan gücün yarıya düşme açısı Eşitlik 3.4 ile hesaplandığında  $54^\circ$  olmaktadır. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile gerçekleştirilen tasarımda ise gücün yarıya düşme açısı  $55^\circ$  olmaktadır. Antenin maksimum ışınması  $\theta = 0^\circ$ 'de gerçekleşir ve ana hüzmeye büyüklüğü 10.2 dB olmaktadır.

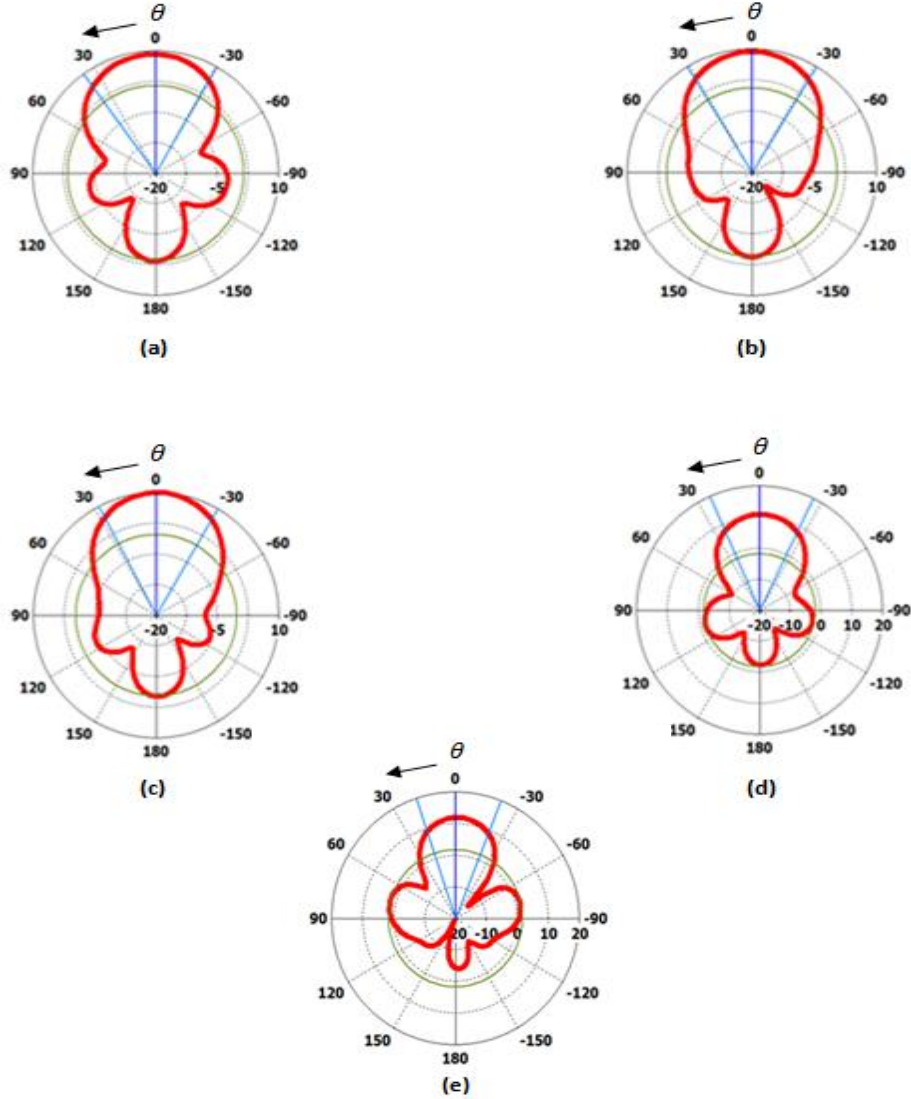


Şekil 3. 10. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan eksenel mod sarmal antenin  $f=1.575$  GHz için uzak alan örüntüsü



Şekil 3. 11.  $f=1.575\text{GHz}$  için E-düzlemi uzak alan örüntüsü

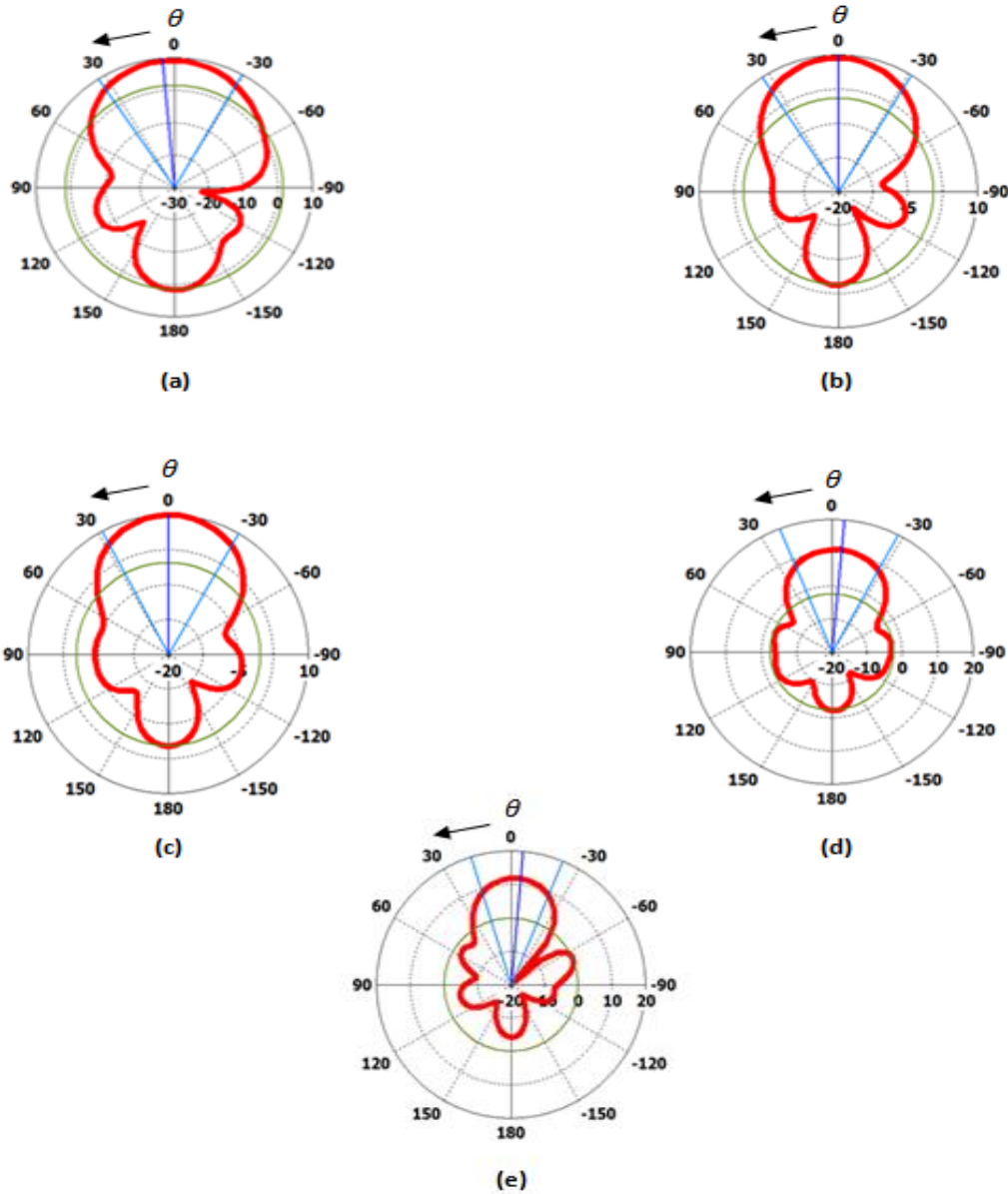
L bandında bazı frekanslar için E-düzleminde ( $\varphi = 90^\circ$ ) uzak alan örüntüsü Şekil 3.12'de verilmiştir. Elektrik alan  $\cos \theta$  ile değiştiğinden dolayı maksimum ışınma yine  $\theta = 0^\circ$ 'de gerçekleşir. Frekans arttıkça dalga boyu azalacağından  $C$  ve  $S$  değerleri dalga boyu cinsinden daha büyük değerlere ulaşır ve bunun sonucunda gücün yarıya düşme açısı azalır. (Eşitlik 3.4)



Şekil 3. 12. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a) $f=1.1025\text{ GHz}$ , (b) $f=1.2915\text{ GHz}$ , (c) $f=1.4805\text{ GHz}$ , (d) $f=1.764\text{ GHz}$ , (e) $f=2.0475\text{ GHz}$

Şekil 3.12’de görüldüğü üzere antende gücün yarıya düşme açısı 1.1025 GHz’de  $65^\circ$  iken bu açı frekans arttıkça düşerek 1.2915GHz’de  $62^\circ$ , 1.4805GHz’de  $57^\circ$ , 1.764 GHz’de  $49^\circ$  ve 2.0475GHz’de  $40^\circ$  olmaktadır. Ana hüzme büyüklüğü ise Eşitlik 3.7’de görüldüğü gibi frekansla doğru orantılı olarak artmaktadır. 1.1025 GHz’de 9.15dB olan ana hüzme büyüklüğü 1.2915GHz’de 9.32dB, 1.4805GHz’de 9.94dB, 1.764 GHz’de 10.9dB ve 2.0475GHz’de 11.9dB olmaktadır.

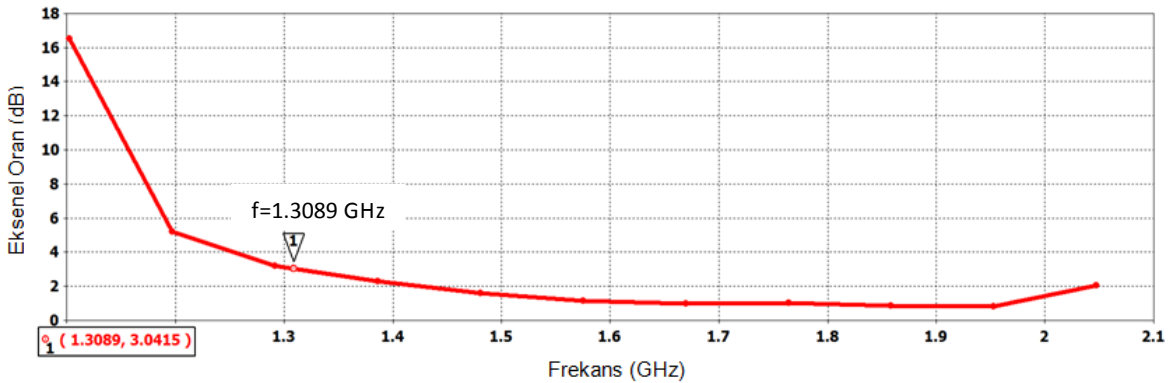
$\varphi = 0^\circ$ ’de H-düzleminde (azimuth) incelenen antenin uzak alan örüntüsü de bazı frekanslar için Şekil 3.11’de verilmiştir. Elektrik alan  $\varphi$  açısıyla değişmediğinden E-düzlemiyle benzer örüntüler göstermektedir.



Şekil 3. 13. H-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.1025 GHz, (b)f=1.2915 GHz, (c)f=1.4805 GHz, (d)f=1.764 GHz, (e)f=2.0475 GHz

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere antende gücün yarıya düşme açısı 1.1025 GHz'de  $63^\circ$  iken bu açı frekans arttıkça düşerek 1.2915GHz'de  $62^\circ$ , 1.4805GHz'de  $59^\circ$ , 1.764 GHz'de  $49^\circ$  ve 2.0475GHz'de  $40^\circ$  olmaktadır. Ana hüzmeye büyüklüğü ise Eşitlik 3.7'de görüldüğü gibi frekansla doğru orantılı olarak artmaktadır. 1.1025 GHz'de 5 dB olan ana hüzmeye büyüklüğü 1.2915GHz'de 9.32dB, 1.4805GHz'de 9.94dB, 1.764 GHz'de 10.9dB ve 2.0475GHz'de 11.9dB olmaktadır.

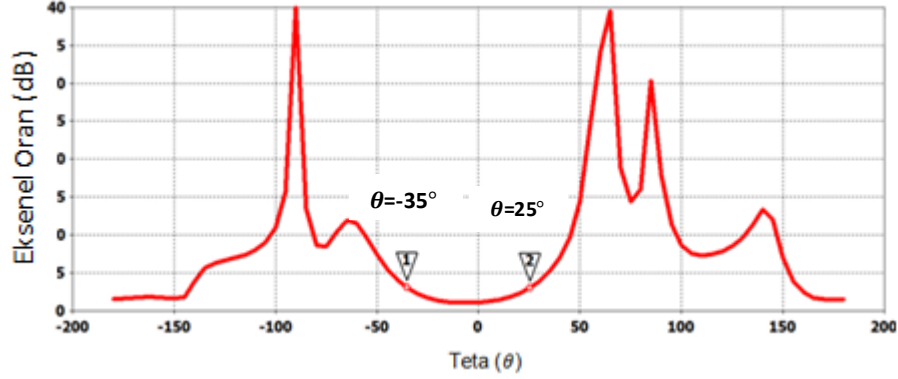
Elektrik alanın  $\theta$  ve  $\varphi$  bileşenlerinin farklı frekanslarda ve farklı  $\theta$ ,  $\varphi$  açılarında büyüklükleri oranı ile hesaplanan aksel oran anten polarizasyonu için en önemli parametredir. Bu oran 1'e ne kadar yakın olursa o kadar iyi bir dairesel polarizasyona sahip olan anten, bu şekilde yatay ve dikey polarizasyonlara sahip antenlerden sinyal alabilir duruma gelebilir. Antenler arasındaki polarizasyon uyumsuzluğu haberleşmede kayıp olarak adlandırılır. Aksel oranın 3 dB'den iyi olduğu yerlerde dairesel polarizasyona sahip anten en kötü durumda benzer antenlerden yaklaşık 0.1dB polarizasyon kaybı ile alma yapabilir [48]. Bu değer çoğu haberleşme sistemlerinde kabul edilebilir seviyelerdedir.  $\varphi = 90^\circ$  iken maksimum ışımanın gerçekleştiği  $\theta = 0^\circ$ 'de frekansa bağlı aksel oran eğrisi Şekil 3.14'te verilmiştir. Aksel oran değerinin 3dB'den küçük olduğu yerler literatürde iyi dairesel polarizasyona sahip anten olarak tanımlanır. Şekil 3.14'te verildiği üzere tasarlanan anten yaklaşık 1.3-2 GHz arasında iyi bir dairesel polarizasyona sahip olmaktadır.



Şekil 3. 14. Aksel mod sarmal antende  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  için aksel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Elektrik alan  $\varphi$ 'ye bağlı değişmediğinden farklı  $\varphi$  açılarında da benzer bir aksel oran eğrisi görülmektedir. Referans aldığımız 1.575 GHz'de  $\theta$ 'ya bağlı olarak aksel oran değişim eğrisi de Şekil 3.15'te verilmiştir.  $\theta$ 'nın  $-35^\circ$  ile  $25^\circ$  olduğu aralıklar arasında da aksel oran 3dB'den daha küçük olmaktadır. Anten geniş bir  $\theta$  ve frekans aralığında

dairesel polarizasyona sahiptir. Eşitlik 3.5'te görüldüğü gibi  $\theta = 90^\circ$  için ekstenel oran hesabı çok uygun olmaz. Ekstenel mod sarmal antende bu oran  $\theta = 0^\circ$  için anlamlıdır.

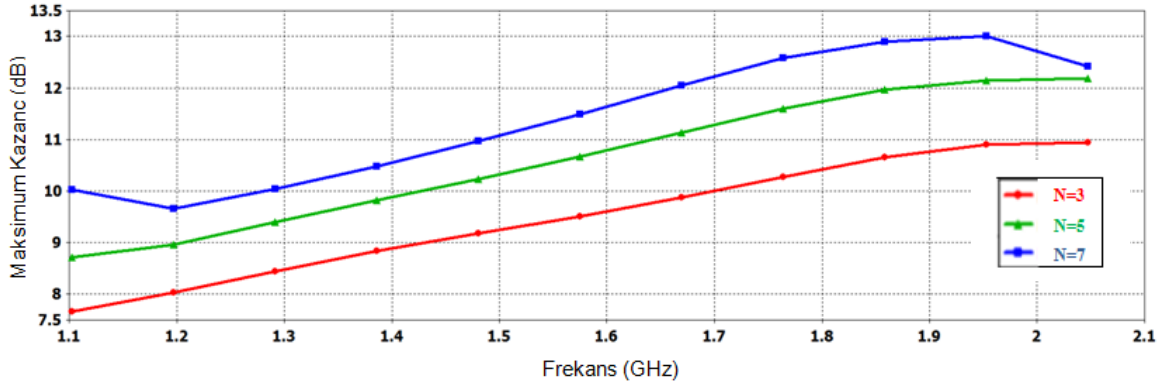


Şekil 3.15. Ekstenel mod sarmal antende  $\varphi = 90^\circ$  için  $\theta$ 'ya bağlı ekstenel oran değişimi

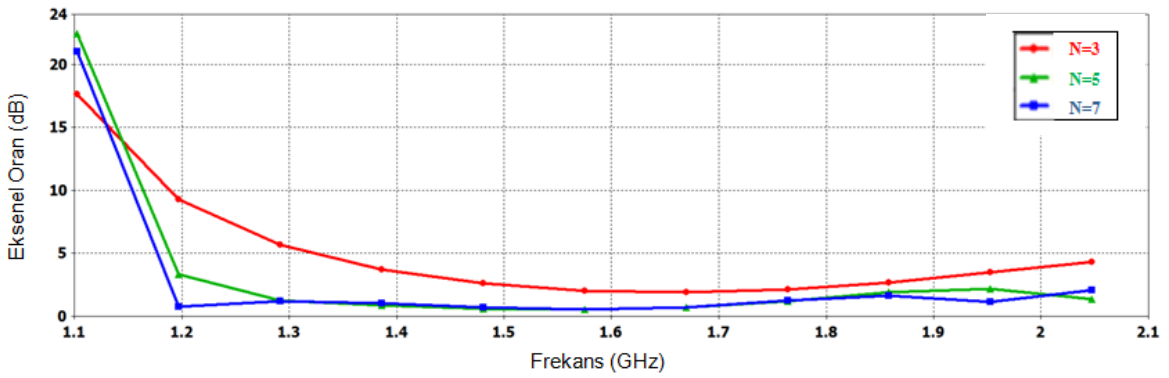
### 3.2. Anten Parametrelerinin Işıma Karakteristiğine Etkileri

Ekstenel mod sarmal antenin tasarımında en önemli parametreler tur sayısı ( $N$ ), sarmal çapı ( $D$ ) ve kalkış açısıdır ( $\alpha$ ). Bu parametreler, antenin kazanç karakteristiğini ve bant genişliğini etkiler. Antenin tel kalınlığı ( $r_0$ ) ise 1.9 mm olup tasarımı en az etkileyen parametredir ve tüm analizler için sabit tutulmuştur.

Tasarlanan antenin tur sayısı ( $N$ ) 4 idi. Tur sayısının 3,5,7 olduğu durumlar için inceleme gerçekleştirilmiştir. Diğer parametreler ise sabit tutulmuştur. ( $D=60,58$  mm,  $\alpha=13^\circ$ ). Şekil 3.16, farklı  $N$  değerleri için kazanç değişimini, Şekil 3.17 ise ekstenel oran değişimini göstermektedir. Tur sayısı arttığında bant boyunca anten kazancında belirgin bir performans iyileşmesi görülür. Tur sayısı 7 olunca maksimum kazanç 13dB'ye kadar çıkmaktadır. Ekstenel mod için kazanç iyileşmesini sağlayan en önemli parametre tur sayısını arttırmaktır, fakat anten boyunu arttırdığı için tasarım yapılırken çok tercih edilmez. Tur sayısı arttıkça aynı zamanda ekstenel oran iyileşir ve bandın daha büyük bir kısmında 3dB'den küçük olur. Tur sayısını arttırmak ekstenel oranı iyileştirip, antenin daha geniş bantta dairesel polarizasyon yapmasını sağlamasına rağmen, antenin fiziksel uzunluğunu çok artırması dezavantaj oluşturur.

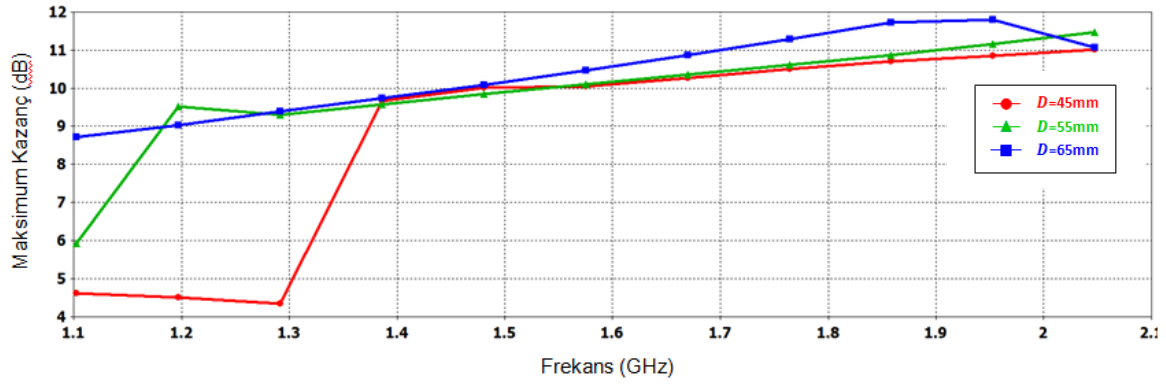


Şekil 3. 16. Farklı tur sayıları için (N=3,5,7) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

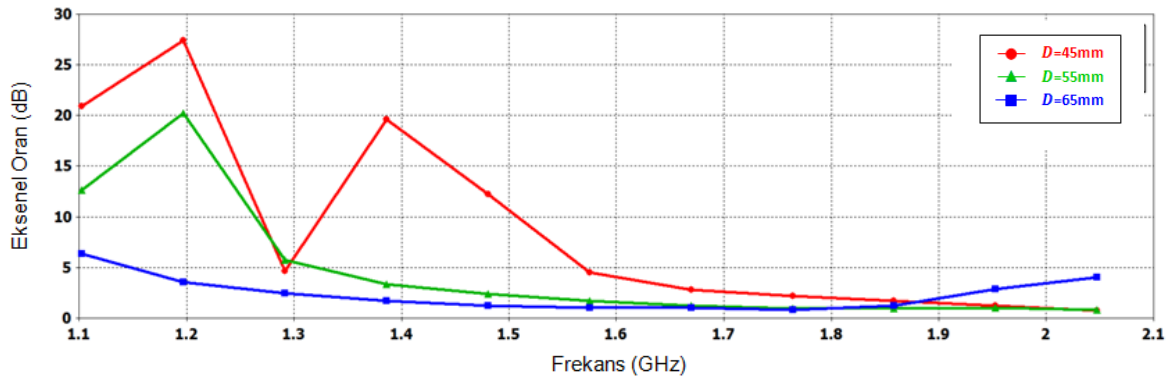


Şekil 3. 17.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı tur sayıları için (N=3,5,7) frekansa bağlı eksenel oran eğrisi

Antenin bir diğer parametresi sarmal çapıdır ( $D$ ). Tasarlanan antenin sarmal çapı 60,58 mm idi. 1.575 GHz'de iyi sonuç veren eksenel mod sarmal antenin tur çevresi ( $C$ ) dalga boyu cinsinden yaklaşık  $\lambda$  olur. Sarmal çapının 45mm , 55mm ve 65mm olduğu durumlar için anten performansı incelenmiştir. Diğer parametreler ise sabit tutulmuştur. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ). Şekil 3.18, farklı  $D$  değerleri için kazanç değişimini, Şekil 3.19 ise eksenel oran değişimini göstermektedir. Anten çapının artması sonucu kazanç eğrisi düşük frekanslara doğru kaymaya başlıyor. Bu durum bant içinde farklı iyileşmelere ve kötüleşmelere neden oluyor. Düşük frekanslardaki kazancı daha fazla iyileştirirken yüksek frekanslarda ise daha az bir anten kazancı artışı sağlar. Sarmal çapı ( $D$ ) 65 mm olunca maksimum kazanç bant sonunda (1.9-2GHz) 12 dB'lere kadar çıkmaktadır. Eksenel oran eğrisi de yine çap arttıkça düşük frekanslara doğru kaymasıyla bant başında iyileşme görülmektedir ve daha geniş bir frekans aralığında dairesel polarizasyona sahip olmaktadır. Çapın artması bant başında eksenel oran iyileştirirken bant sonunda ise kötüleşmeye neden olmaktadır. L bandı (1-2 GHz) için optimum bir  $D$  değeri bularak geniş bantta dairesel polarizasyona sahip anten tasarlamak mümkündür.



Şekil 3. 18. Farklı sarmal çapları için (D=45mm, 55mm, 65mm) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

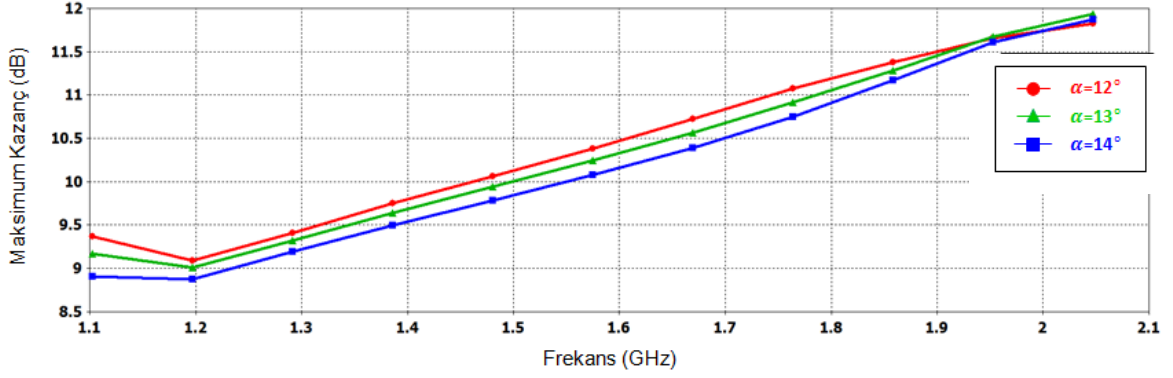


Şekil 3. 19.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı sarmal çapları için (D=45mm, 55mm, 65mm) frekansa bağlı aksinel oran eğrisi

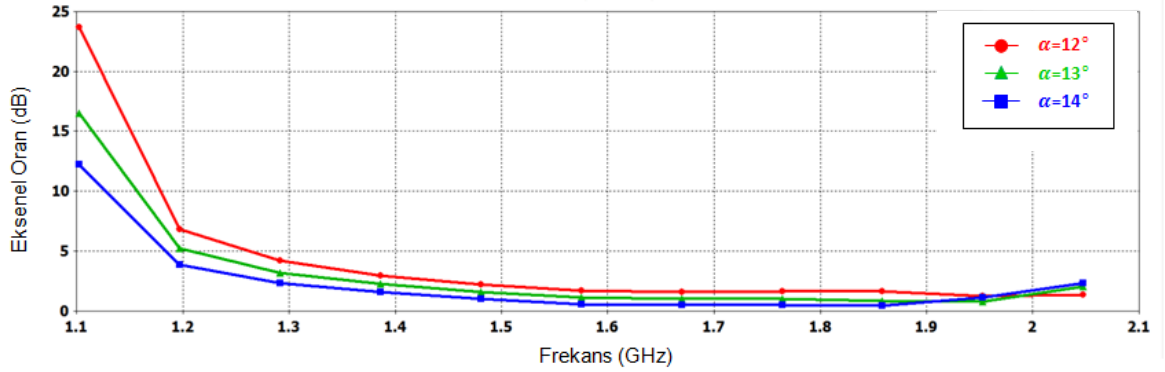
Tüm sarmal anten yapılarında olduğu gibi kalkış açısı ( $\alpha$ ),  $\alpha = \tan^{-1} (S/C)$  (Eşitlik 3.8) ile hesaplanmaktadır.  $S$  turlar arası mesafeyi tanımlarken,  $C$  ise sarmalın bir turunun çevresini göstermektedir [2]. Aksinel mod için  $C$ 'nin yaklaşık  $\lambda$  olması gerekir. Tasarımda turlar arası mesafe,  $S=0.24 \lambda$  olduğundan kalkış açısı ( $\alpha$ ) yaklaşık  $13^\circ$  çıkar.

Literatürde yer alan çalışmalarda aksinel mod sarmal anten için kalkış açısı  $12^\circ < \alpha < 14^\circ$  aralığı optimum aralık olarak kabul edilir. Şekil 3.20'de kalkış açısının  $12^\circ$ ,  $13^\circ$ ,  $14^\circ$  olduğu durumdaki kazanç eğrisinin değişimi verilmiştir. Şekil 3.21'de ise aynı kalkış açıları için aksinel oran değişimi verilmiştir. Kalkış açısı arttıkça kazançta bant boyunca bir düşme görülmektedir. Aksinel oran eğrisinde ise açının artması bant boyunca iyileşme ve antenin daha geniş bantta dairesel polarizasyona sahip olmasını sağlamaktadır. Kazançtaki olumsuz, aksinel oran eğrisindeki olumlu etkisini düşünülürse optimum bir kalkış açısı seçimi gerektiği anlaşılmaktadır. Optimum kalkış açısı Şekil 3.22'deki farklı frekanslar için çizdirilen aksinel oran-kalkış açısı ve Şekil 3.23'teki kazanç-kalkış açısı eğrilerinde verilmiştir. Kalkış açısı arttıkça 2 GHz civarında

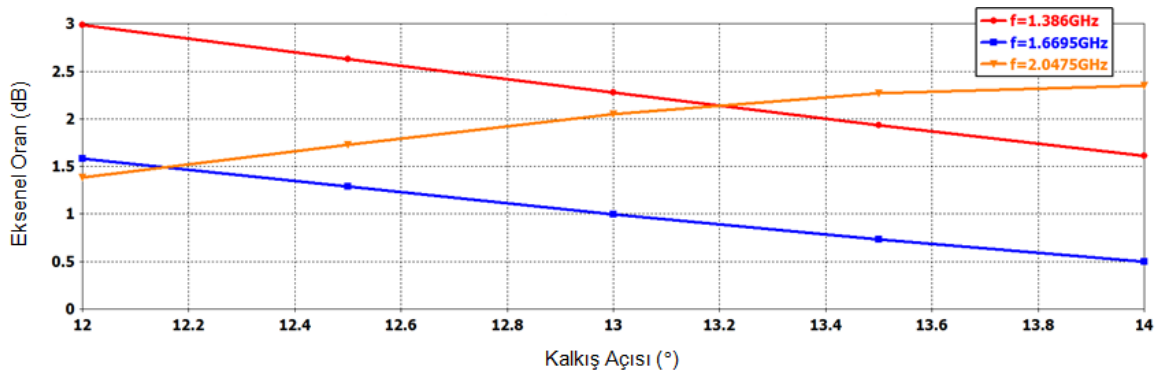
kötüleşmeler olmaktadır. Bant başı ve ortasında ise (1.3-1.6GHz civarı) iyileşmeler meydana gelmektedir. Eksenel oran değerinin 1.3-2 GHz arasında en kötü 2 dB olduğu yeri referans alınırsa, kalkış açısının optimum değerinin 13-13.2° olduğu görülmektedir. Kazanç eğrisinde de açı arttıkça bir miktar düşmeden dolayı 13° kalkış açısı genel olarak optimum değer kabul edilebilir.



Şekil 3. 20. Farklı kalkış açıları için ( $\alpha = 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

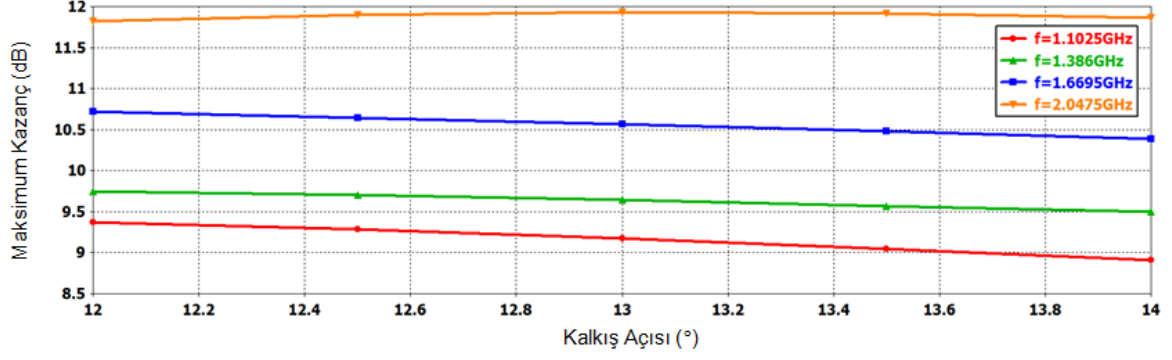


Şekil 3. 21.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken kalkış açıları için ( $\alpha = 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$ ) frekansa bağlı eksenel oran eğrisi



Şekil 3. 22.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken kalkış açısı değişiminin bazı frekanslardaki eksenel oranı değerindeki değişimi



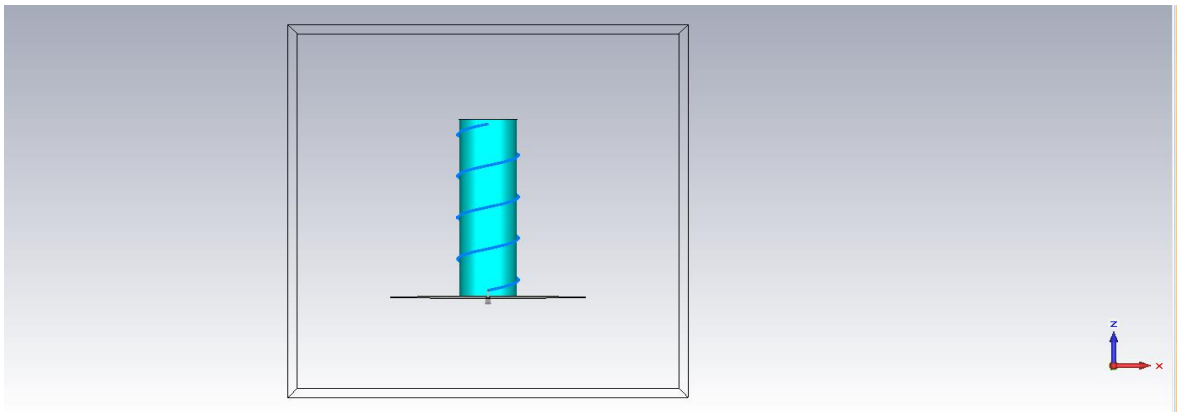


Şekil 3. 23.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken kalkış açısı değişimin bazı frekanslardaki maksimum kazanç değerindeki değişimi

### 3.3. Antenin Fiziksel Uzunluğunun Kısaltma Yolları

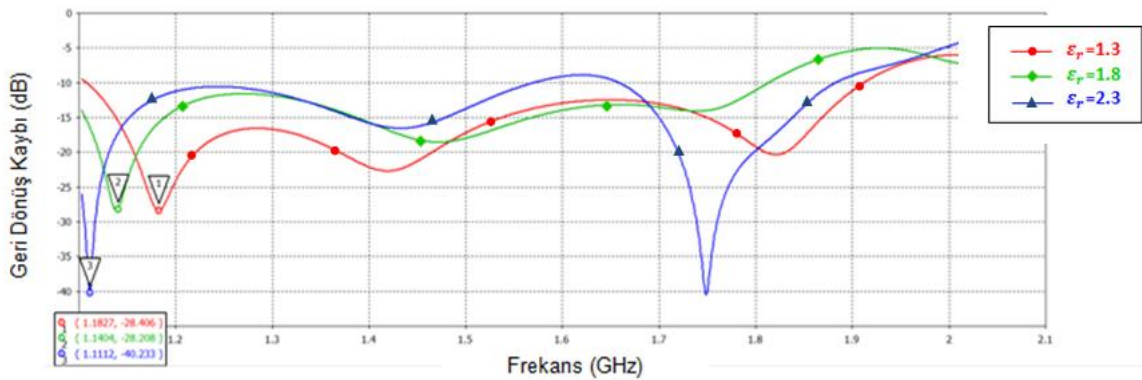
Antenlerin fiziksel uzunlukları çoğu zaman kullanıldıkları yerlerde sıkıntı yaratır. Bu yüzden anten performansını çok kötüleştirmeden boyutlarını kısaltmak için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Eksenel mod sarmal anten için en yaygın kullanılan metot, anteni dielektrik silindir etrafına sarmaktır [6][7][25], bu metotla rezonans frekansını düşürerek anten boyunu kısaltmak mümkündür. Daha önceden tasarlanan eksenel mod sarmal anten boyu 18.3cm idi. Dielektrik malzeme etrafına sararak antenin fiziksel uzunluğunun küçülmesi incelenmiştir. Bu metot ile L bandında anten boyu %20'ye kadar kısaltılabilmektedir [6]. Daha üst frekanslarda ise %60'a kadar kısalma sağlayabiliyor [7]. Malzemenin dielektrik sabiti arttıkça dalganın faz hızı azalacağından antenin rezonans frekansı düşmektedir. Faz hızı  $\sqrt{\epsilon_r}$  ile orantılı olduğundan örneğin  $\epsilon_r$  4 katına çıkartılırsa rezonans frekansı yaklaşık yarıya iner [25][26].

Tasarlanan anten Şekil 3.24'te verilmiştir. Baştaki fiziksel parametreler korunarak farklı  $\epsilon_r$  değerleri için anten dielektrik etrafına sarılmıştır. ( $N=4$ ,  $\alpha = 13^\circ$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $r_o=1.9\text{mm}$ , anten boyu ( $h$ )=18.3cm)

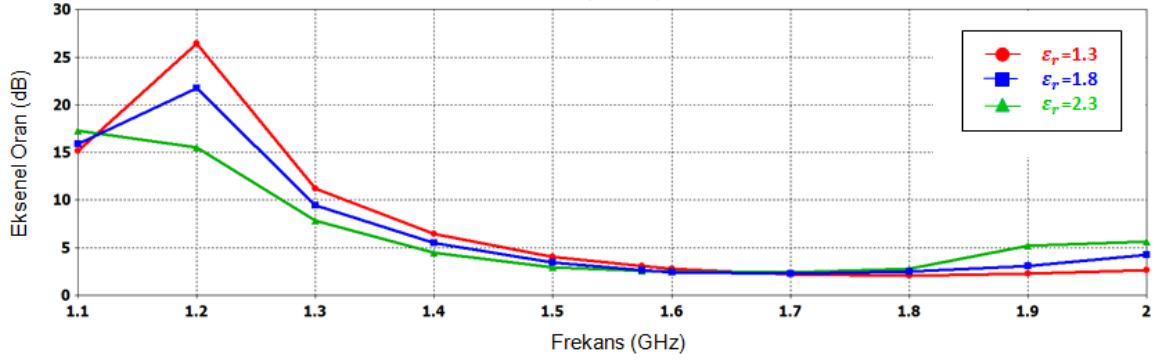


Şekil 3. 24. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dielektrik etrafına sarılı eksenel mod sarmal anten ( $N=4$ ,  $\alpha = 13^\circ$ ,  $D=60.6\text{mm}$ )

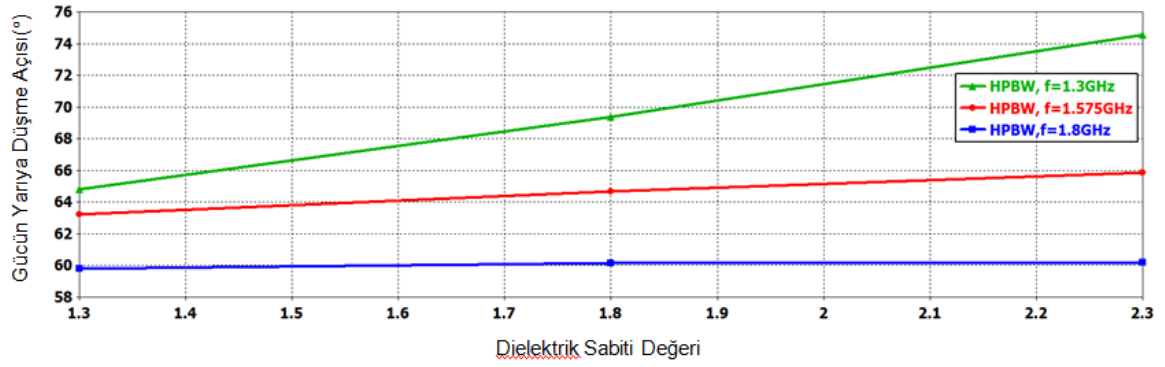
Tasarlanan anten için kullanılan dielektriğin  $\epsilon_r$  değeri bu metot için en önemli parametredir. Rezonans frekansının ne kadar kayacağını ve anten boyunda ne kadar kısalma olacağını bu parametre belirler,  $\epsilon_r$ , 1.3, 1.8, 2.3 için antenin geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 3.25'te verilmiştir. Dielektrik sabiti arttıkça rezonans frekansının düştüğü görülmektedir. Şekil 3.26'da ise farklı dielektrik sabitleri için aksel oran eğrisi görülmektedir. Dielektrik sabiti arttıkça bant başında aksel oran iyileşirken, bant sonunda kötüleşir [6]. Polarizasyonu korumak için dielektrik sabitinin optimum bir değeri olduğu görülmektedir. Bu şekilde hem anten boyunu kısaltıp hem de polarizasyonu çok bozmadan aksel mod sarmal anten tasarlanabilmektedir. Dielektrik kullanmanın bir diğer avantajı ise gücün yarıya düşme genişliğini arttırmasıdır. Dielektrik sabiti değerleriyle kazanç düşmesi gözlemlendiğinden dolayı daha geniş bir gücün yarıya düşme genişliğine sahip olmaktadır. Şekil 3.27'de görüldüğü üzere dielektrik katsayısı arttıkça gücün yarıya düşme genişliği artıyor ve frekans arttıkça bu genişleme daha azalıyor. Dezavantajı ise kayıplı bir malzeme kullanıldığından anten kazancında kötüleşmeye yol açar. Şekil 3.28'de görüldüğü gibi dielektrik sabiti arttıkça kazançta azalma meydana gelmektedir. Ancak daha yüksek dielektrik sabitine sahip ve aynı zamanda daha düşük loss tangent'a sahip yeni malzemeler ile tasarım gerçekleştirilebilirse hem anten boyunda daha fazla kısalma hem de anten kazancında iyileşme sağlanabilir [7].



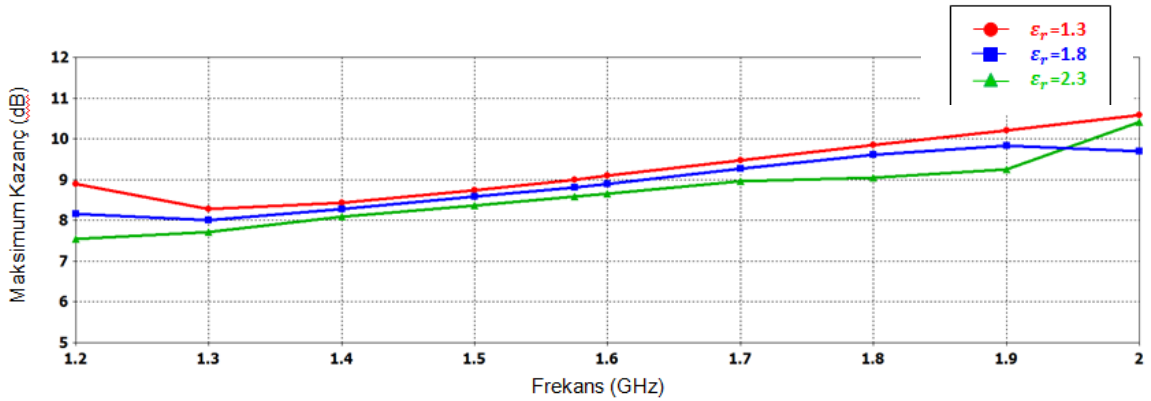
Şekil 3. 25. Farklı  $\epsilon_r$  değerleri için (1.3, 1.8, 2.3) geri dönüş kaybı eğrisinin frekansa bağlı değişimi



Şekil 3. 26 .  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı  $\epsilon_r$  değerleri için (1.3, 1.8, 2.3) eksenel oranın frekansa bağlı değişimi



Şekil 3. 27 .  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken gücün yarıya düşme açısının dielektrik sabitine ( $\epsilon_r$ ) bağlı değişimi

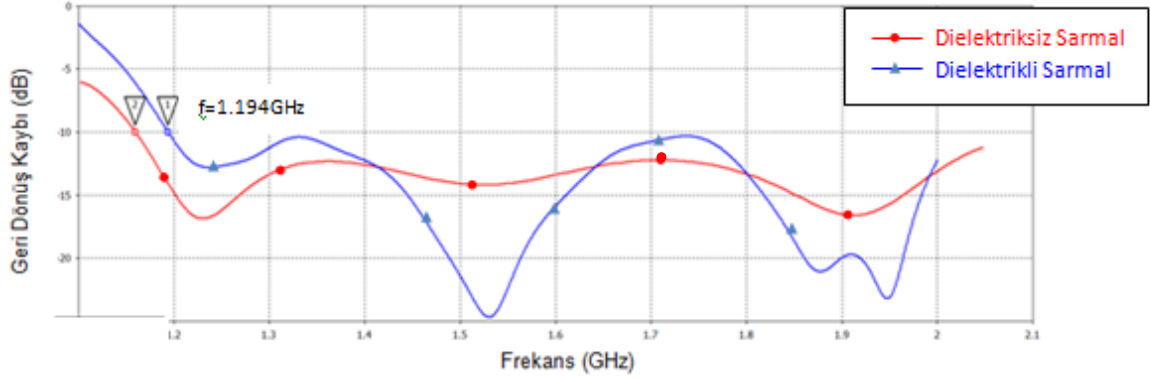


Şekil 3. 28. Farklı  $\epsilon_r$  değerleri için ( $\epsilon_r = 1.3, 1.8, 2.3$ ) frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi

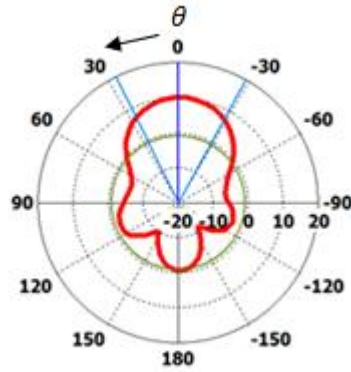
### 3.4. Eksenel Mod Sarmal Anten ile Dielektrikli Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması

Antenin fiziksel boyutlarını küçültmek için kullanılan bu metotla, L bandında dielektrik etrafına sarılı sarmal antende %20 kısalma elde edilebiliyordu. 18.3 cm olan ilk anten boyu bu metot ile 14.8 cm'ye, sarmal anten çapı da 60.6mm'den 47.7mm'ye düşmektedir. Eksenel mod sarmal anten ve dielektrikli eksenel mod sarmal anten sonuçlarının karşılaştırmalı eğrileri Şekil 3.29'da verilmiştir. Uzak alan örüntüleri ise her

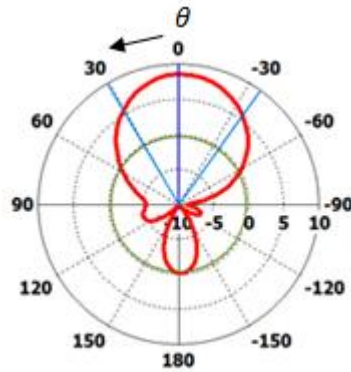
iki anten için Şekil 3.30 ve 3.31’de verilmiştir. Dielektrik sabitini 2.3 seçerek gerçekleştirilen tasarımda -10dB bant genişliği benzer çıkmaktadır. (Yaklaşık 900MHz). Şekil 3.30 ve 3.31’de gücün yarıya düşme açısındaki artış görülmektedir. ( $f=1.575\text{GHz}$ ’de  $55^\circ$ ’den  $66^\circ$ ’ye çıkmaktadır.). Antenin kalan parametreleri her iki anten tipi için de sabit tutulmuştur. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ )



Şekil 3. 29. Dielektrikli ve dielektriksiz aksenal mod sarmal antenin geri dönüş kaybı eğrileri ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ )



Şekil 3. 30. Dielektriksiz aksenal moda sahip sarmal antenin  $f=1.575\text{ GHz}$  için E-düzlemi uzak alan örüntüsü

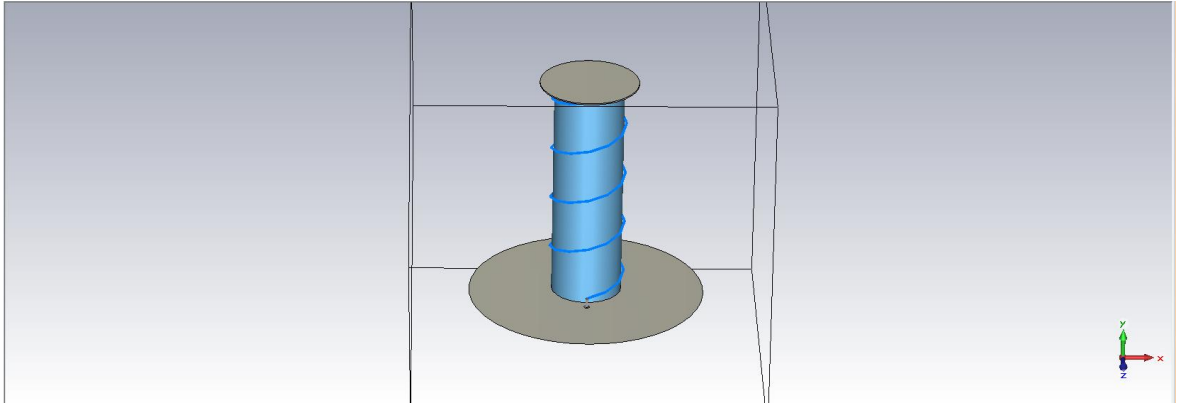


Şekil 3. 31. Dielektrikli aksenal moda sahip sarmal antenin  $f=1.575\text{ GHz}$  için E-düzlemi uzak alan örüntüsü

### 3.5. Anten Performansını İyileştirme Yolları

Anten tasarımında fiziksel boyutlarından çok performansının daha iyi olması istenilebilir. Böyle bir durumda da anten performansını iyileştirmenin yolları aranır. Eksenel mod sarmal anten için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bunların başında antenin tur sayısını arttırmak gelir, fiziksel boyunu arttırdığı için bu metot çoğu zaman tercih edilmez. Başka metotlar ise anten sonuna metal bir plaka veya metal bir halka eklemek, anteni birden fazla farklı kalkış açısıyla sarmak ve toprak yüzeyi farklılaştırmaktır.

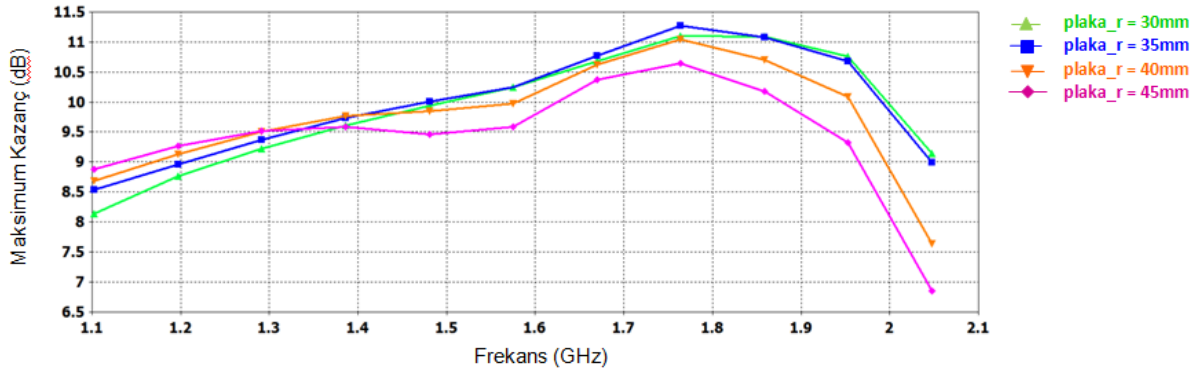
Metal plaka kullanımı anten sonunda yansıtıcı yüzey olarak davrandığından performansı iyileştirir. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan anten Şekil 3.32’de verilmiştir. Kullanılan plakanın yarıçapı (*plaka\_r*) ve antenden olan yüksekliği (*plaka\_h*) performansı etkileyen en önemli parametrelerdir. Pratikte bu tabakanın çapı  $0.8 * D$  ile  $1.5 * D$  arası olur [8]. Anten sarmal çapı 60.58 mm olduğundan tabakanın çapı da 48.46 mm ile 90.87 mm arasında olacaktır. Bu iki değer arasında optimum değere ulaşacaktır. Plaka yüksekliğini göstermek için kullanılan silindir ise dielektrik sabiti 1 olan malzemeden yapılmış olup anten performansı üzerinde etkisi yoktur. Antenin kalan parametreleri ise korunmaktadır. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ ).



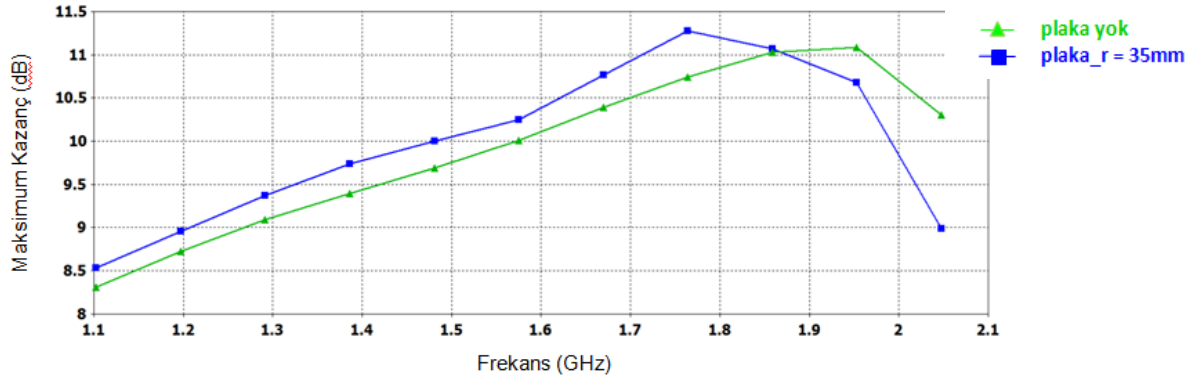
Şekil 3. 32. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal plaka yerleştirilmiş eksenel mod sarmal anten ( $N=4$ ,  $\alpha = 13^\circ$ ,  $D=60.6\text{mm}$ )

Plakanın yarıçapını 30-35-40-45 mm olarak seçerek performans üzerinde etkisine bakılmıştır. Şekil 3.33’te antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi verilmiştir. Yarıçapın etkisi bant başında ve sonunda farklı olmaktadır. Bant sonunda yarıçap arttıkça düşüş fazla olduğundan optimum bir yarıçap değeri seçilmesi gerekmektedir ve bant boyunca davranışına baktığımızda ise bu optimum değer 35 mm olmaktadır. Plaka yokken ve plaka

yarıçapı 35mm iken kazanç eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.34'te verilmiştir. Metal tabaka kullanımı anten performansını iyileştirmektedir. 1.85GHz'e kadar kazanç eğrisinde bant boyunca yaklaşık 0.3-0.8dB iyileşme görmekteyiz. Anten 4 turlu olduğu için bu iyileşmeyi daha net görebiliyoruz. Tur sayısı arttıkça metal tabakanın etkisi de azalacaktır [8]. Tasarımda antenin kalan parametreleri sabit tutulmuştur. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ ).

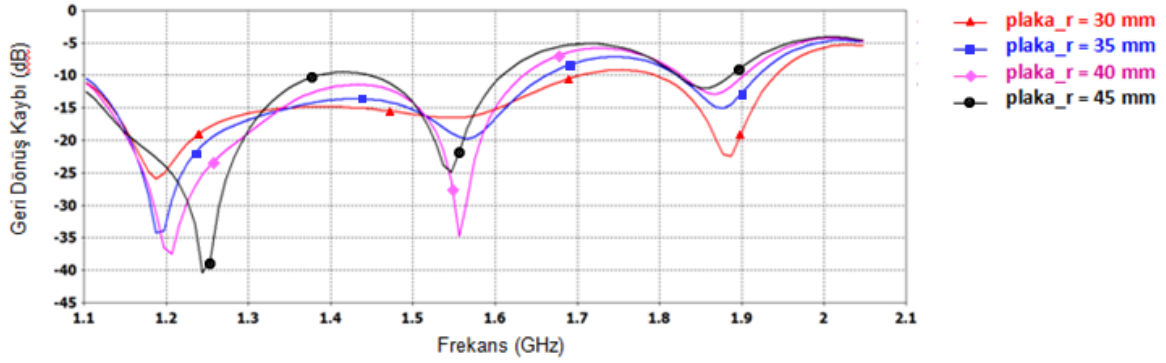


Şekil 3.33 . Farklı plaka yarıçapları için (30,35,40,45mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi



Şekil 3.34. Metal plaka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

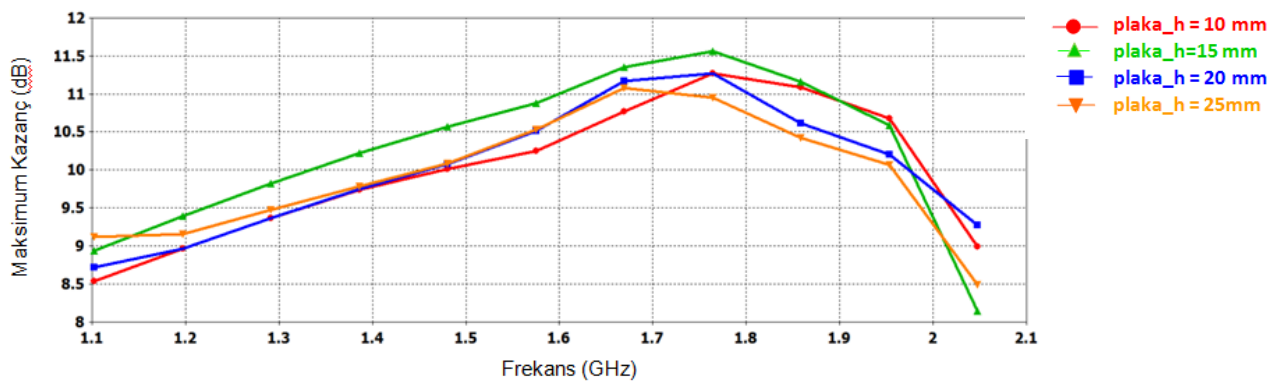
Şekil 3.35'te verildiği gibi metal tabakanın yarıçapı arttıkça düşük frekanslarda geri dönüş kaybı hemen hemen aynı kalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise geri dönüş kaybı artmakta ve bant genişliği daralmaktadır [8]. Bu durum plaka kullanımının dezavantajlarından biri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3. 35. Farklı plaka yarıçapları için (30,35,40,45mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi

Kazancın yüksek olması için kullanılan metal plakanın yarıçapı büyük olduğundan yüksek frekansta daha kötü geri dönüş kaybı görmemize neden olmaktadır. Bant başında ise metal tabaka etkisinden dolayı geri dönüş kaybı iyileşmektedir. Şekil 3.35'te bant boyunca metal tabakanın bant genişliğini daralttığını söyleyebiliriz. Bu metot sadece kazancı arttırmak için kullanılmaktadır, hem kazanç hem de bant genişliği anlamında iyi sonuç vermemektedir [9].

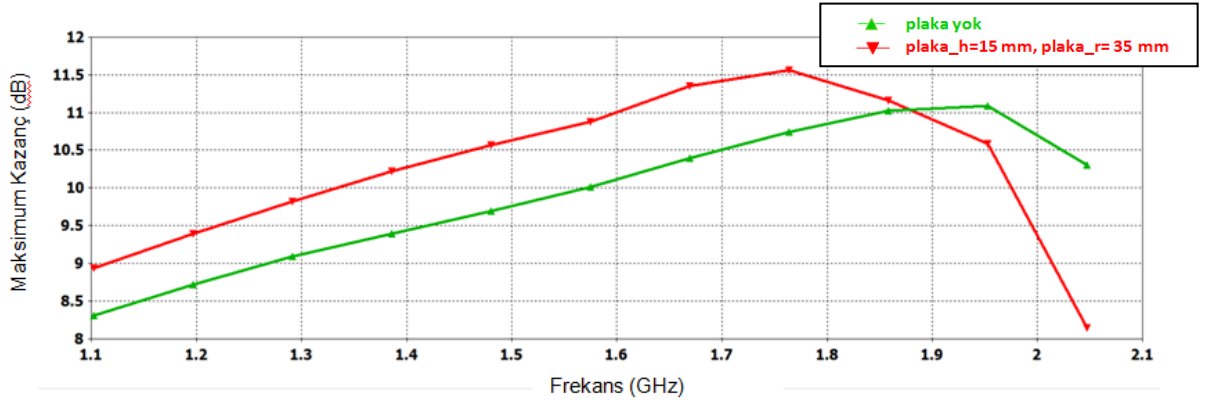
Anten performansını belirleyen bir diğer parametre ise plakanın antenden olan yüksekliğidir. (*plaka\_h*). Plaka yarıçapının optimum değeri (*plaka\_r*=35mm) ve antenin tüm parametrelerini korunarak ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ ) farklı yükseklikler (10mm,15mm,20mm,25mm) için incelemeler yapılmıştır. Şekil 3.36'da antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi verilmiştir. Şekil 3.36'da yükseklik için de tıpkı yarıçap gibi optimum bir değer olduğu görülmektedir ve bu değer yaklaşık 15mm olmaktadır.



Şekil 3. 36. Farklı plaka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

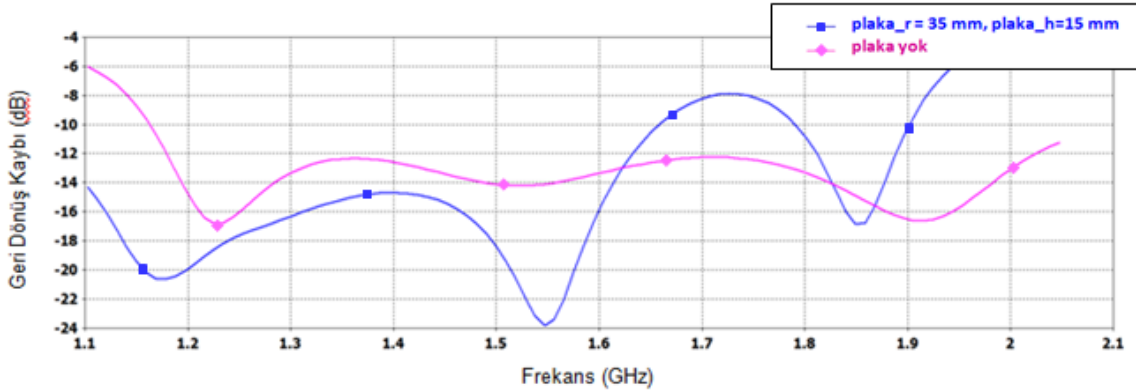
### 3.6 Metal Plakalı Eksenel Mod Sarmal Anten İle Plakasız Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması

Anten performansını iyileştirmek için kullanılan plaka yerleştirme metodu sonucunda frekansa bağlı kazanç eğrisi Şekil 3.37’de verilmiştir. Plakanın yarıçapı ve antenden olan yüksekliği için birer optimum değer belirleyerek gerçekleştirilen tasarımda ( $plaka\_r= 35mm$ ,  $plaka\_h=15mm$ ) 1.1-1.85GHz arasında 1dB’ye yakın bir iyileşme sağlanmaktadır. İncelemede kalan tüm anten parametreleri sabit tutulmuştur. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46mm$ ,  $D=60.6mm$ ,  $r_o=0.7mm$ )



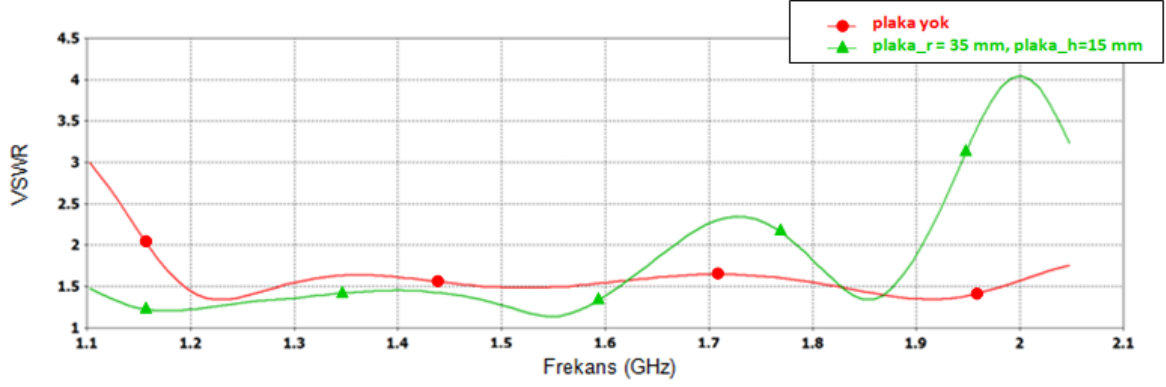
Şekil 3. 37. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Bu metot ile sadece anten performansı iyileşirken bant genişliği olumsuz etkilenmektedir. Metal plaka kullanmanın düşük frekanslardaki olumlu etkisini Şekil 3.37’de görülmektedir. Bu metot sadece kazancı arttırmak için kullanılmaktadır, hem kazanç hem de bant genişliği anlamında iyi sonuç vermemektedir [9]. Şekil 3.38 ve 3.39’da görüldüğü gibi geri dönüş kaybı olumsuz etkilenmekte ve VSWR eğrisinde bozulmalar görülmektedir. Plakasız tasarımda bant boyunca 3’ten daha küçük olan VSWR eğrisi, plakalı tasarımda VSWR eğrisi maksimum 4 olmaktadır.



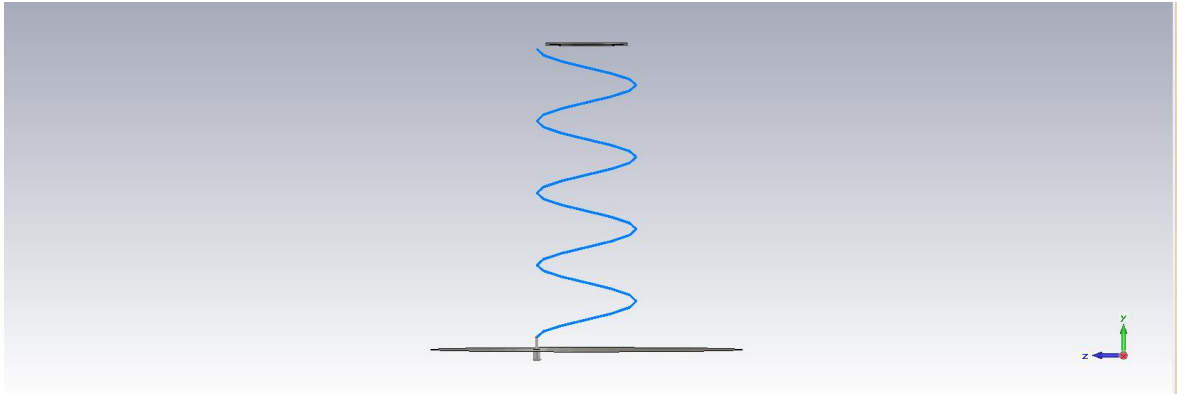
Şekil 3. 38. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi



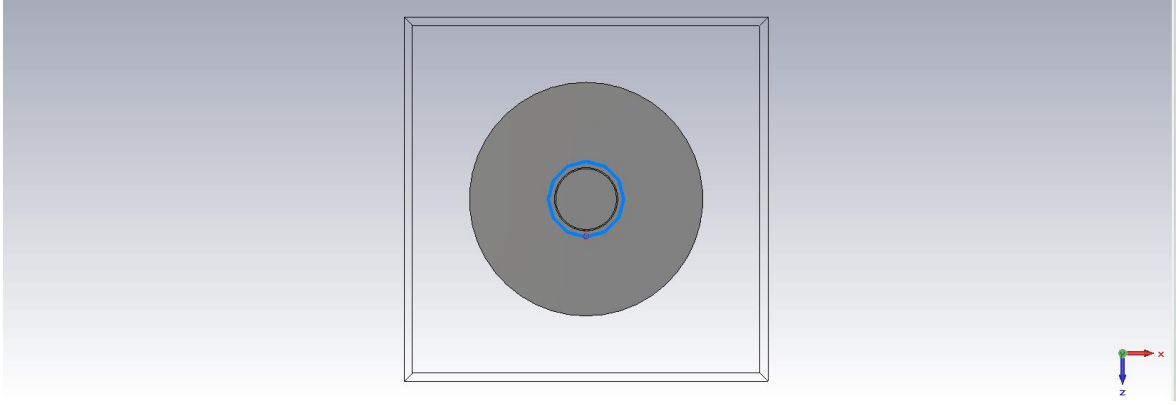


Şekil 3. 39. Metal halka yokken ve metal plaka yarıçapı= 35mm , antenden olan yüksekliği=15mm iken VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Tasarlanan aksenel mod sarmal antenin performansını iyileştirmenin bir yolu da anten sonuna metal halka eklemektir. Tıpkı metal plaka eklemek gibi metal halka eklemek de performansı iyileştirmektedir [10]. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan antenin üst ve yan profilden görünümü Şekil 3.40 ve 3.41’de verilmiştir. Metal halkanın parametreleri; dış yarıçapı ( $halka\_dış\_r$ ), dış yarıçapı ile iç yarıçapı arasındaki fark ( $halka\_kalınlığı$ ) ve halkanın antenden olan yüksekliği ( $halka\_h$ ) olup, optimum parametre değerlerinde anten performansı iyileştirmektedir. Antenin kalan parametreleri ise incelemede sabit tutulmaktadır. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46mm$ ,  $D=60.6mm$ ,  $r_o=0.7mm$ ).

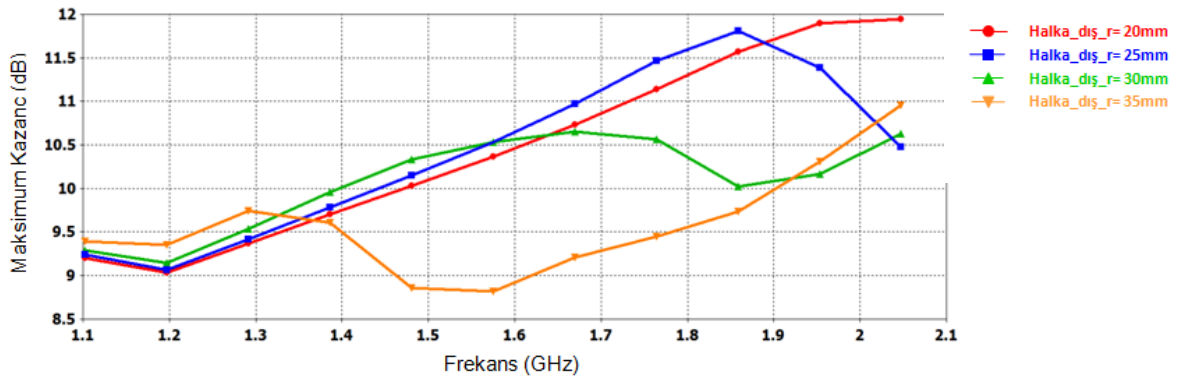


Şekil 3. 40. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal halka yerleştirilmiş aksenel mod sarmal antenin yan görünümü ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $D=60.6mm$ )

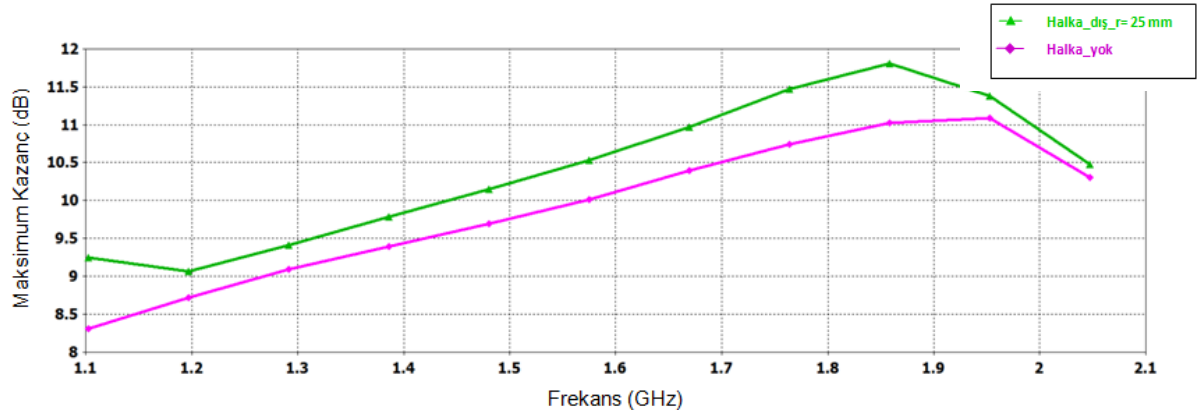


Şekil 3. 41. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan bitiminde metal halka yerleştirilmiş ekstenel mod sarmal antenin üst görünümü ( $N=4$ ,  $\alpha =13^\circ$ ,  $D=60.6mm$ )

Halka dış yarıçapı ( $halka\_dış\_r$ ) 20mm, 25mm, 30mm, 35mm için anten performansını incelenmiştir. Frekansa bağlı kazanç eğrisi değişimi Şekil 3.42’de verilmiştir. Yarıçap için bir optimum değer vardır ve bu değer 25mm olarak elde edilmektedir. Yarıçap 35 mm olduğunda bant başında iyileşmeler olsa bile bant ortası ve sonunda kötüleşmeler artmaktadır. Yarıçap 20 mm iken de bant sonunda iyileşme meydana gelmektedir. Bandın geneline bakıldığında yarıçap değeri için 25mm en iyi sonucu vermektedir. Şekil 3.43’te ise halkasız anten ile karşılaştırmalı kazanç eğrisi verilmiştir. Bant boyunca daha iyi sonuç veren halkalı yapı 0.5-0.8dB arasında anten kazancını iyileştirmektedir [10]. İncelemede antenin tüm parametreleri ise korunmaktadır. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46mm$ ,  $D=60.6mm$ ,  $r_o=0.7mm$ ).

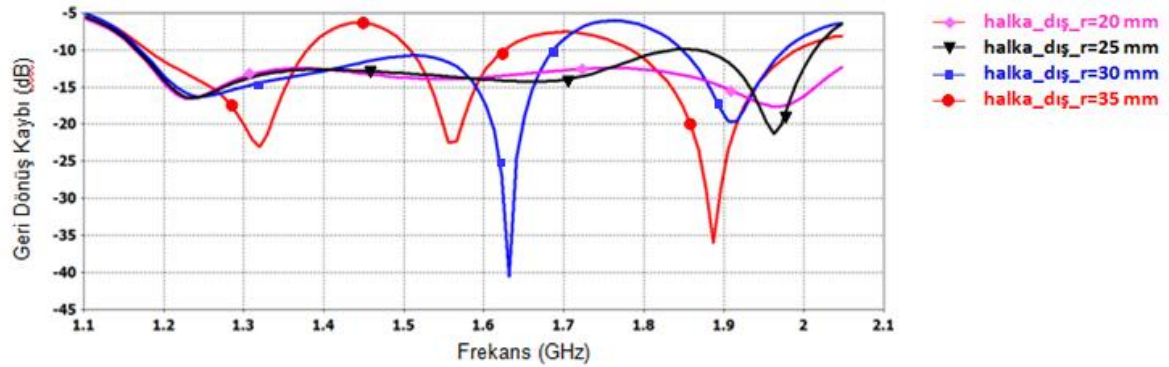


Şekil 3. 42. Farklı halka yarıçapları için (20,25,30,35mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

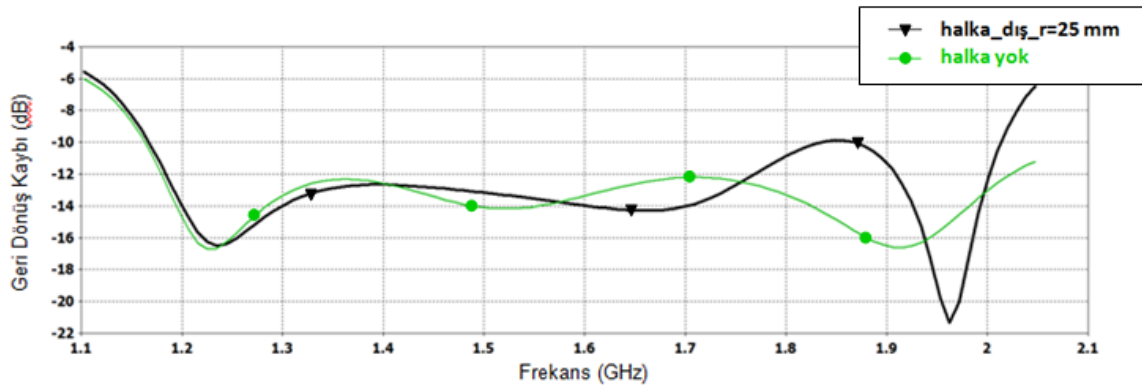


Şekil 3. 43. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Şekil 3.44'te verildiği üzere metal halkanın yarıçapı arttıkça düşük frekanslarda geri dönüş kaybı hemen hemen aynı kalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise geri dönüş kaybı azalmakta ve bant genişliği daralmaktadır [10]. Metal halkalı ve halkasız antenlerin karşılaştırmalı geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 3.45'te verilmiştir. Bant başında benzer çıkan eğri bant sonunda biraz kötüleşiyor ve -10 dB bant genişliği biraz daralıyor.

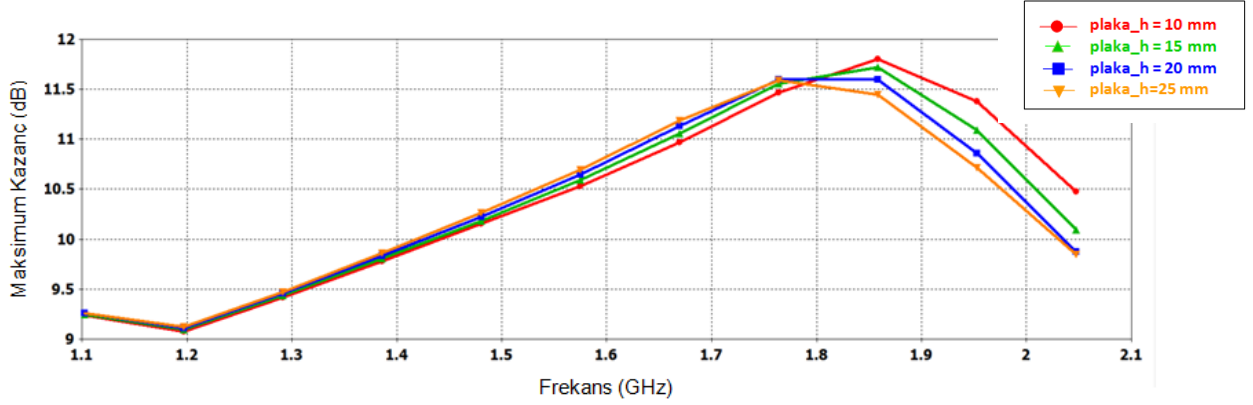


Şekil 3. 44. Farklı halka yarıçapları için (20,25,30,35mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi



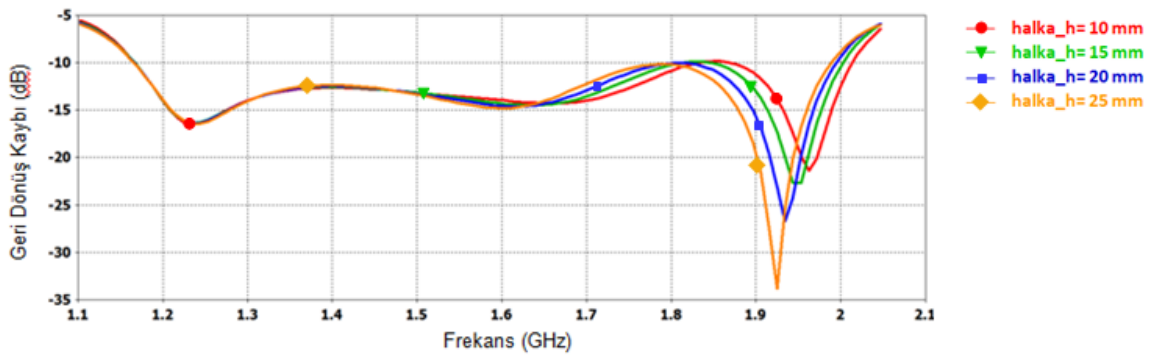
Şekil 3. 45. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi

Performansı etkileyen bir diğer parametre olan halkanın antenden yüksekliği (*ring\_h*) 10mm, 15mm, 20mm ve 25 mm için incelenmiştir. İncelemede halka dış çapı için en iyi değer olan 25mm korunmaktadır. Şekil 3.46'da antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi değişimi görülmektedir. Bant başında ve bant ortalarına kadar herhangi bir değişim göstermeyen eğri, bant sonunda ise yükseklik arttıkça kötüleşmeye başlıyor. Bant ortasında biraz daha iyi sonuç veren 10-15mm arası en iyi sonuç olarak alınabilir. Antenin kalan tüm parametreleri ise korunmaktadır. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ ).



Şekil 3. 46. Farklı halka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

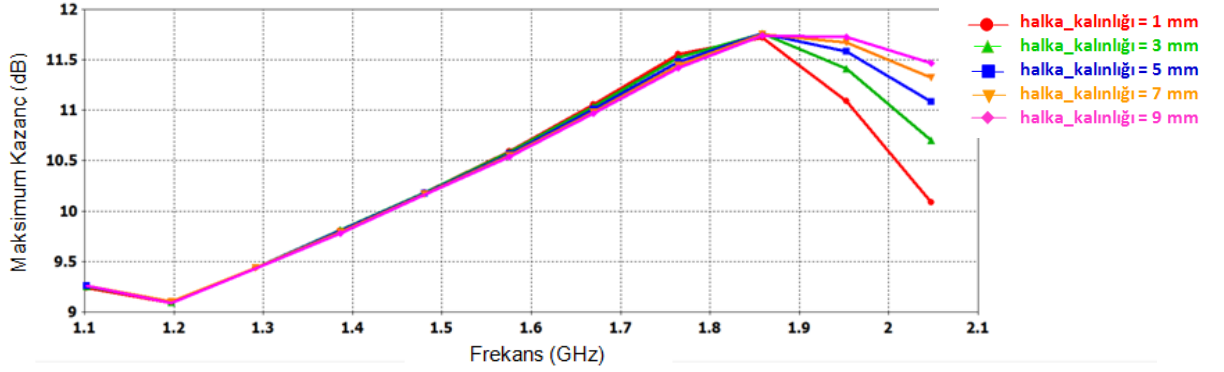
Geri dönüş eğrisi ise yükseklik değişiminden pek etkilenmiyor. Şekil 3.47'de görüldüğü gibi bant sonuna doğru etkisini gösteren yükseklik parametresi -10dB bant genişliğini çok etkilememektedir.



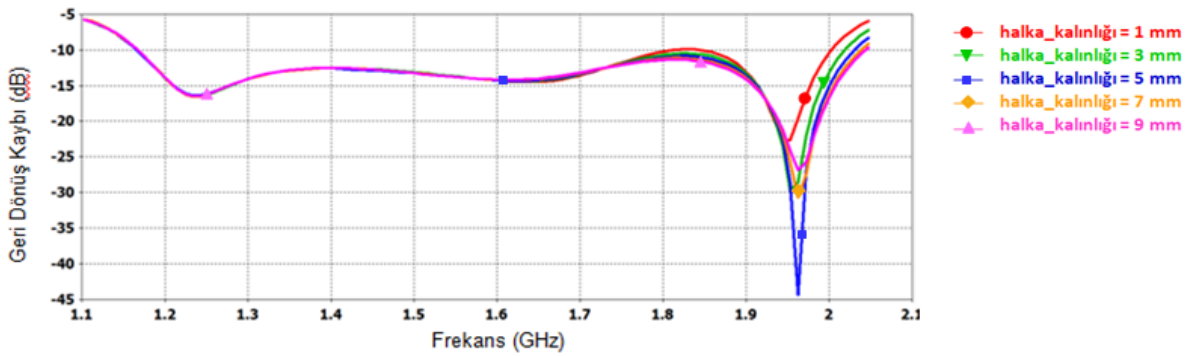
Şekil 3. 47. Farklı halka yükseklikleri için (10, 15, 20, 25mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi

Kullandığımız metal halkanın bir diğer parametresi dış yarıçapı ile iç yarıçapı arasındaki kalınlıktır. (*halka\_kalınlığı*). Kalınlık 1,3,5,7,9 mm değerleri için incelenmiştir. İncelemede halka dış çapı için en iyi değer olan 25mm ve antenden yüksekliği için de 15mm değeri korunmaktadır. Antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi Şekil 3.48'de verilmiştir.

1.1-1.9 GHz arasında değişmeyen kazanç eğrisi 2 GHz civarında kalınlık arttıkça 1dB kadar iyileşiyor. Şekil 3.49'da ise geri dönüş kaybı eğrisi verilmiştir. Bant başında ve ortalarında değişikliğe neden olmayan eğride kalınlık artması az da olsa -10dB bant genişliğini artırmaktadır.



Şekil 3. 48 Farklı halka kalınlıkları için (1,3,5,7,9 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

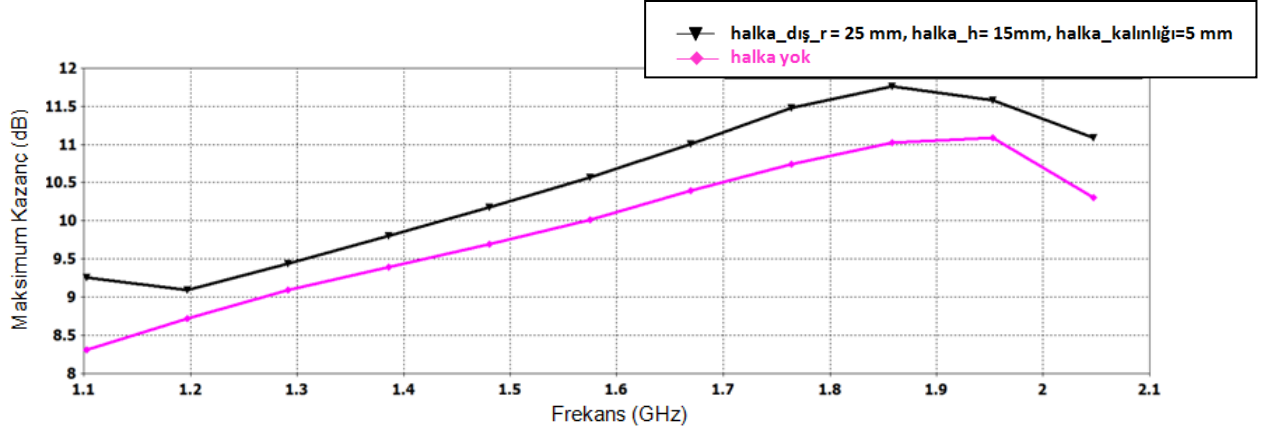


Şekil 3. 49. Farklı halka kalınlıkları için (1,3,5,7,9 mm) geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi

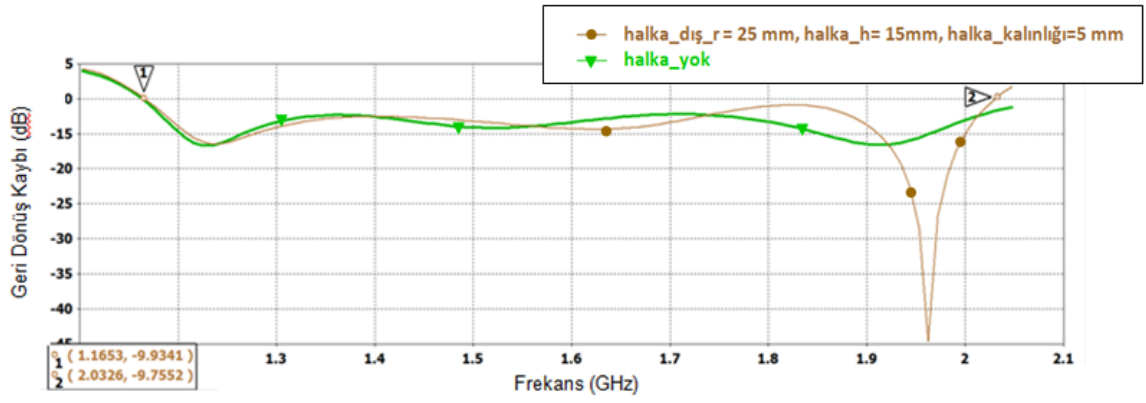
### 3.7 Metal Halkalı Eksenel Mod Sarmal Anten İle Halkasız Eksenel Mod Sarmal Anten Karşılaştırması

Anten performansını iyileştirmek için kullanılan plaka yerleştirme metodu sonucunda frekansa bağlı kazanç eğrisi Şekil 3.50'de verilmiştir. Plakanın yarıçapı, antenden olan yüksekliği ve tel kalınlığı için birer optimum değer belirleyerek gerçeleştirilen tasarımda ( $halka\_dış\_r=25\text{ mm}$ ,  $halka\_h=15\text{ mm}$ ,  $halka\_kalınlığı=5\text{ mm}$ ) Bant boyunca 0.5-1dB'ye yakın bir iyileşme sağlanmaktadır. Kalan tüm anten parametreleri ise korunmaktadır. ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{ mm}$ ,  $D=60.6\text{ mm}$ ,  $r_o=0.7\text{ mm}$ ). Antenlerin karşılaştırmalı geri dönüş kaybı eğrisi ise Şekil 3.51'de verilmiştir. Farklılık gösterse de -10 dB bant genişliği benzer olmaktadır. Bu benzerlik Şekil 3.52'de VSWR eğrisinde verilmiştir ve bant boyunca maksimum VSWR değeri 3.2 olmaktadır. Sonuç

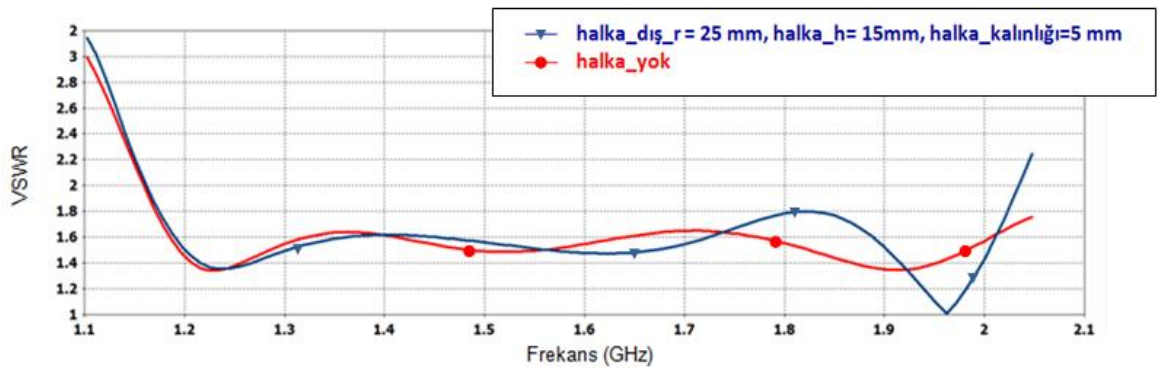
olarak bant genişliğini ve VSWR değerini kötüleştirmeden bu metot ile antenin performansını iyileştirmektedir.



Şekil 3. 50. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25 mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

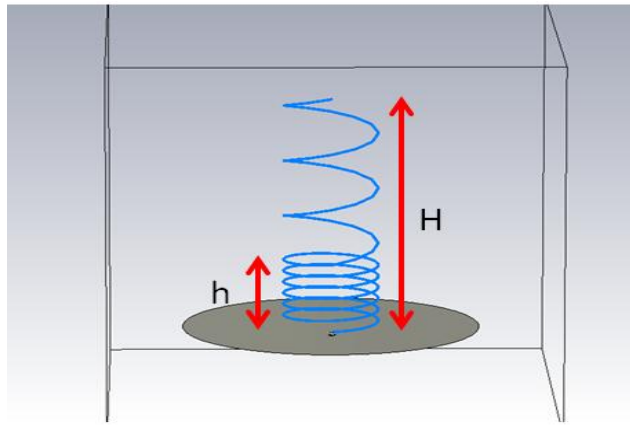


Şekil 3. 51. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25 mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi



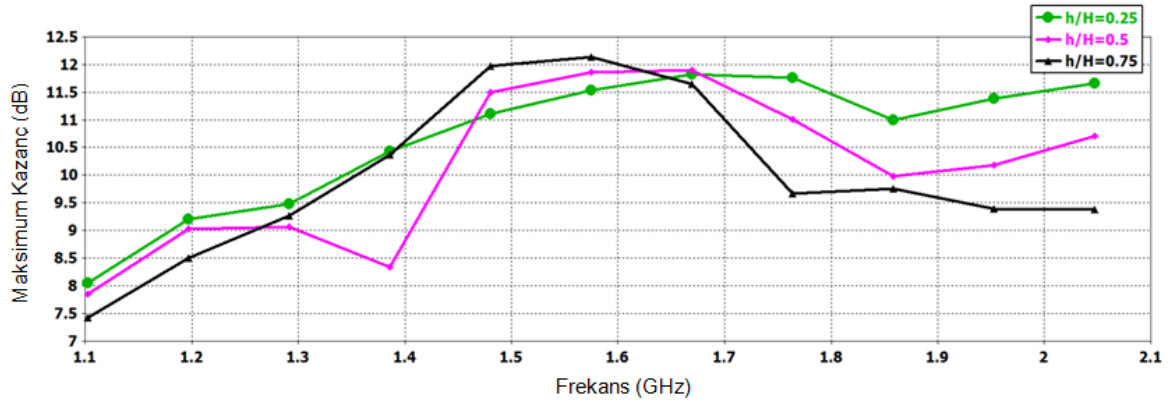
Şekil 3. 52. Metal halka yokken ve metal halka yarıçapı= 25 mm , antenden olan yüksekliği=15mm ve halka kalınlığı=5mm iken VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Anten performansını iyileştirmek için kullanılan bir başka metot ise eksenel mod anteni birden fazla kalkış açısıyla sarılmasıdır. Toplam anten boyunu değiştirmeden gerçekleştirilen bu tasarımla anten performansını iyileştirmek hedeflenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda çift kalkış açılı antenin performansını genelde tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile karşılaştırılarak verilmektedir [11][12][13]. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan anten Şekil 3.53'te verilmiştir. Bu metotta, iki farklı kalkış açısıyla ( $2^\circ$  ve  $13^\circ$ ) sarılan antenin düşük kalkış açısına sahip olan kısmı daha fazla turla, yüksek kalkış açısına sahip olan kısmı ise daha az turla sarılır. Toplam anten boyu ise korunur.

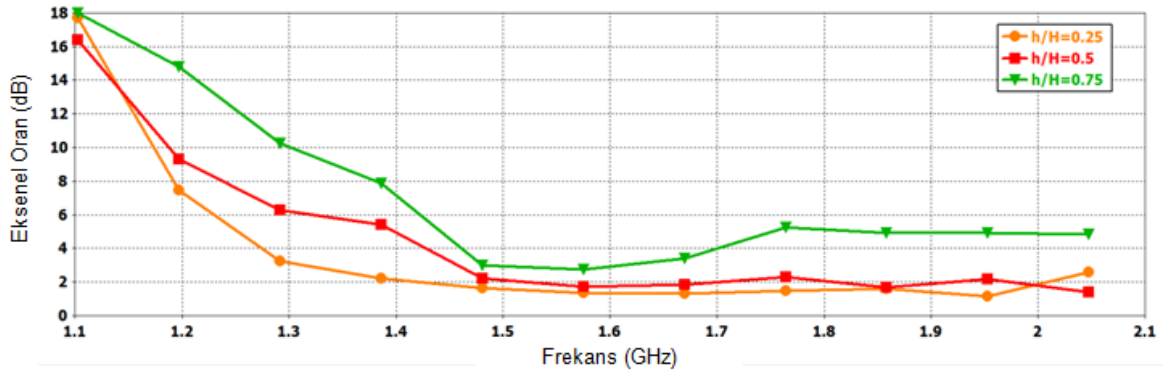


Şekil 3. 53. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten

İki ayrı kalkış açısı kullanarak tasarlanan antende küçük kalkış açısını kullanarak sık sarılan anten boyu ile toplam anten boyu arasındaki oran önemlidir. En önemli parametre olan  $h/H$  değişiminde  $h$ , küçük kalkış açısıyla sarılan sarmalın yüksekliğini,  $H$  toplam anten boyunu göstermektedir [13]. Anten polarizasyonunu bozmadan ve yüksekliğini de değiştirmeden performansını arttırmak istenilen antende  $h/H$  oranının 0.25, 0.5, 0.75 değerleri için inceleme yapılmıştır. Antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi Şekil 3.54'te verilmiştir. Şekil 3.54'te görüldüğü üzere bu oran için optimum bir değer gerekmektedir. Bant ortalarında oran arttıkça iyileşmeler görülürken bant sonunda ve başında biraz kötüleşmeler meydana gelmektedir. Şekil 3.55'te ise farklı  $h/H$  değerleri için frekansa bağlı eksenel oran değişimi verilmiştir. Sık turla sardığımız kısım arttıkça antenin turlar arası mesafesi daralacağından 1-2 GHz frekans bandında polarizasyonu değişmeye başlamaktadır. Bu yüzden sık sarılan kısım ne kadar az olursa antenin polarizasyonu o kadar daha iyi dairesel olur, dolayısıyla  $h/H$  oranı için polarizasyonu değiştirmeden performans iyileşmesi için en iyi değer 0.25 olmaktadır.



Şekil 3. 54. Farklı  $h/H$  oranları için (0.25, 0.5, 0.75) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi



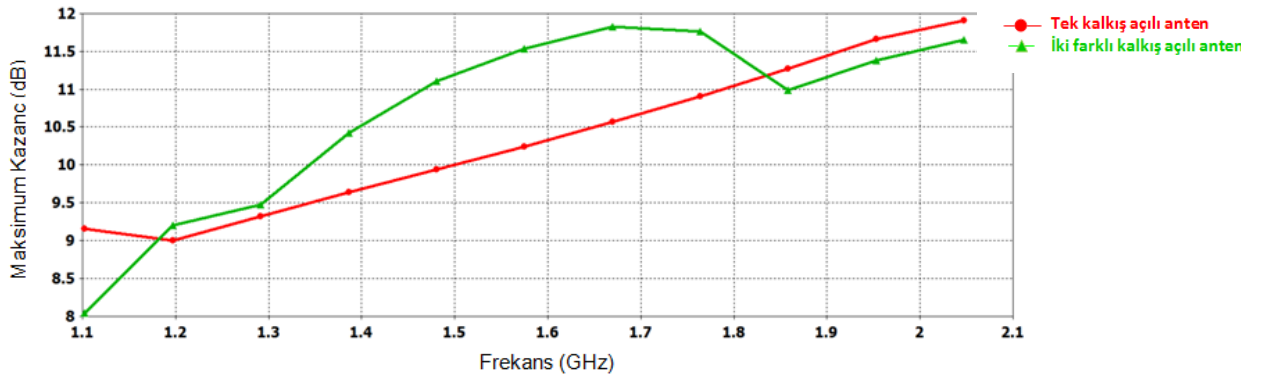
Şekil 3. 55.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı  $h/H$  oranları için (0.25, 0.5, 0.75) aksenal oranının frekansa bağlı değişimi

### 3.8 İki Farklı Kalkış Açılı Aksenal Mod Sarmal Anten İle Tek Kalkış Açılı Aksenal Mod Sarmal Anten Karşılaştırması

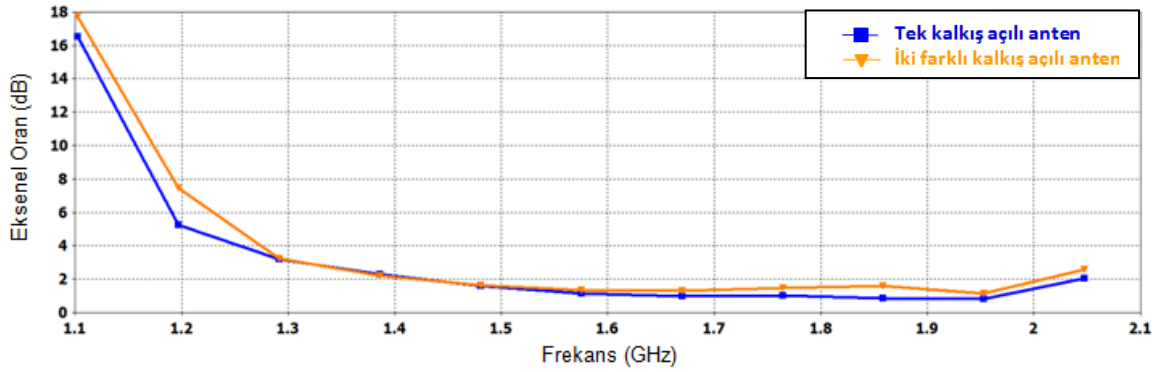
Optimum değeri referans olarak 4 tur olarak tasarlanan başlangıçtaki aksenal mod sarmal anteni, ikinci bir kalkış açısı kullanarak,  $0.25 \cdot H$  kısmını düşük kalkış açısıyla toplam 6 turlu, geri kalan  $0.75 \cdot H$  ise yüksek kalkış açısıyla 3 turlu sarılarak tasarlanmıştır. (küçük kalkış açısı  $2^\circ$ , büyük kalkış açısı  $13^\circ$ , tek kalkış açılı antende ise kalkış açısı  $13^\circ$ ) Toplam anten boyu sabit tutulduğundan fiziksel uzunluğunu değiştirmeden anten performansı değişimine bakıp, başlangıçtaki tek kalkış açılı anten ile performansını karşılaştırılmıştır. Frekansa bağlı kazanç ve aksenal oran değişimi Şekil 3.56 ve 3.57'de verilmiştir. 1.2-1.85 GHz arasında kazanç eğrisinde yer yer 2dB'ye kadar iyileşme görülmektedir. Bant başında ve sonunda ise kazanç 0.5-1 dB daha kötü çıkmaktadır. Aksenal oran eğrisi ise  $h/H$  oranı arttıkça kötüleştiği için tek kalkış açılı duruma göre biraz kötüleşmektedir. Ancak aksenal oranın 3'ten küçük olduğu yerler her iki anten için de benzer frekans aralıklarında olmaktadır. Geri dönüş kaybı ve VSWR eğrisi de Şekil 3.58 ve 3.59'da verilmiştir. -10 dB bantgenişliği biraz kötüleştiğinden VSWR eğrisi maksimum



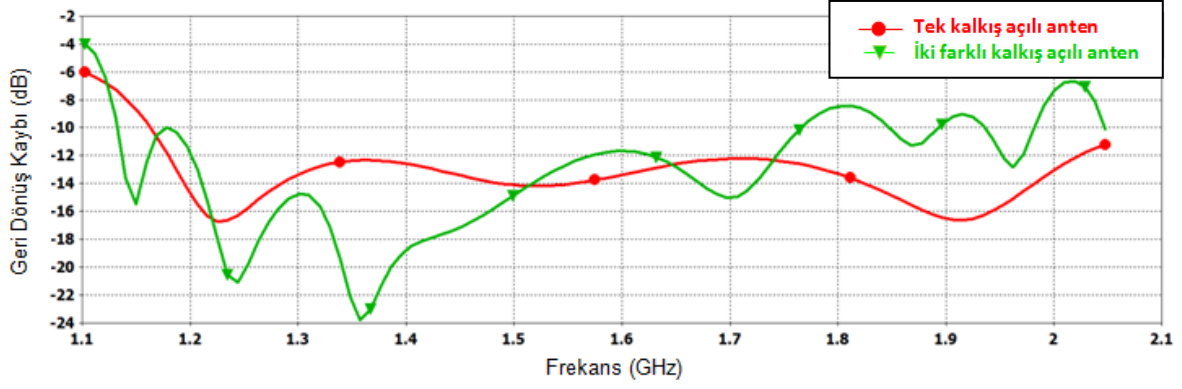
4.5 olmaktadır. Ancak VSWR'ın 3'ün altında kaldığı frekans aralıkları oldukça benzer olmaktadır. Bu metodu kullanmaktaki bir diğer avantaj ise antenin yan hüzme seviyesi ile ilgilidir. Antenin yan hüzme seviyelerini düşürdüğü için antenin ana hüzme ile yan hüzme arasındaki oranı belirgin şekilde artmaktadır ve bu iyileşme Şekil 3.60' ta verilmiştir. 1.35-2 GHz arasında yer yer 5-6 dB kadar bir iyileşme görülmektedir. Sonuç olarak bu metodu kullanmanın avantajı anten boyunu değiştirmeden aksel oranı koruyup kazancı iyileştirmesi ve yan hüzme seviyesi (SLL) seviyesini düşürmektir. Bu metotla hem daha geniş bir bant genişliği sağlanması hem de kazanç iyileşmesi gerçekleştirilememektedir [12][13].



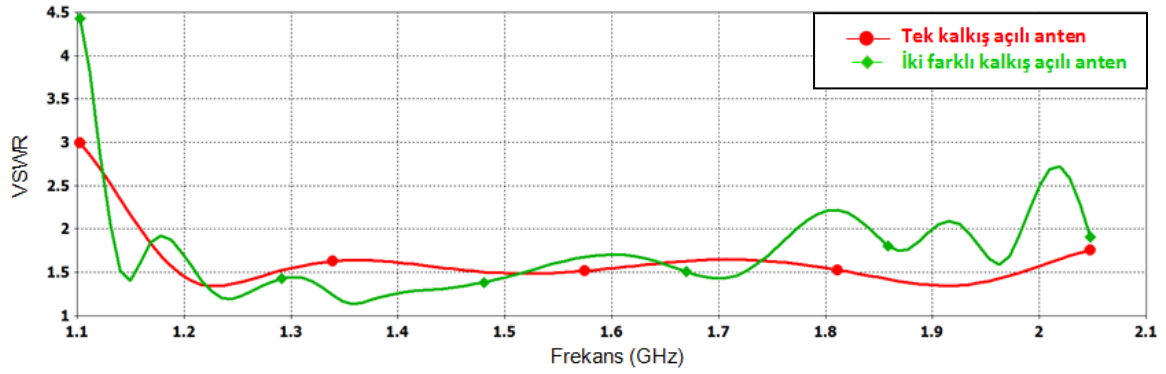
Şekil 3. 56. Tek kalkış açısına sahip aksel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip aksel mod sarmal antenin frekansa bağlı maksimum kazanç eğrisi değişimi



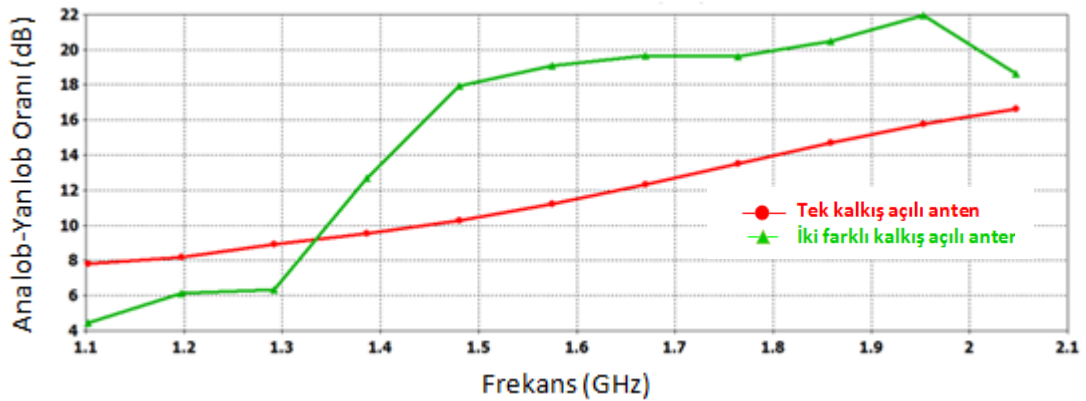
Şekil 3. 57.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken tek kalkış açısına sahip aksel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip aksel mod sarmal antenin aksel oran eğrisinin frekansa göre değişimi



Şekil 3. 58. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi



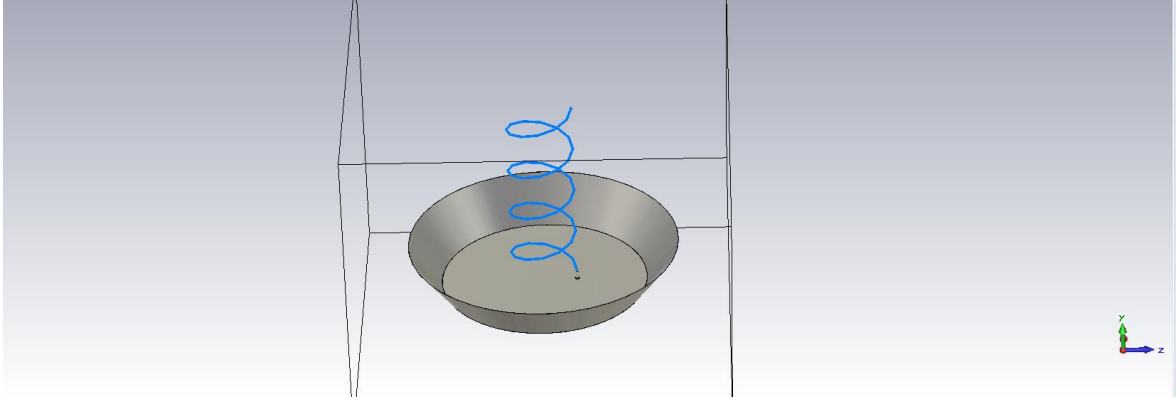
Şekil 3. 59. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin VSWR eğrisinin frekansa göre değişimi



Şekil 3. 60. Tek kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal anten ile iki farklı kalkış açısına sahip eksenel mod sarmal antenin ana hüzmeye-yan hüzmeye oranının frekansa göre değişimi

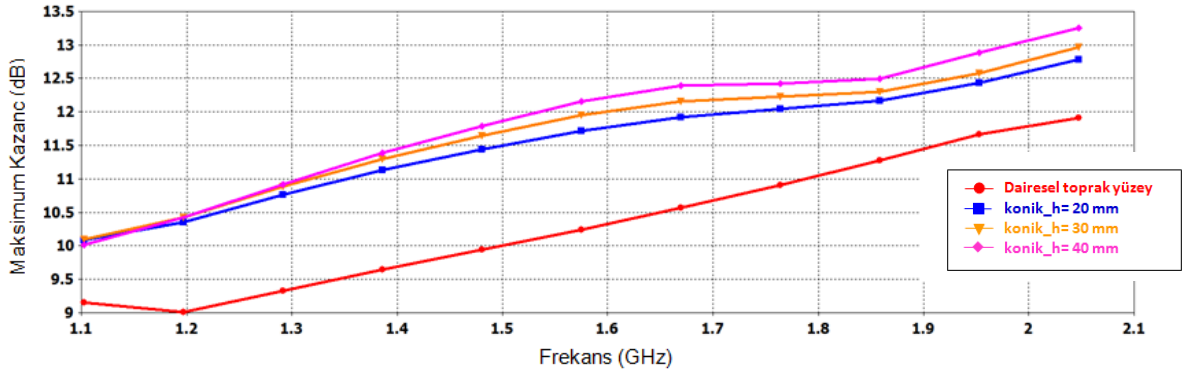
Anten performansını iyileştirmenin bir diğer yolu da toprak yüzeyi ile ilgili değişiklikler yapmaktır. Toprak yüzeyi yansıtıcı olarak çeşitli geometrilere ve çeşitli boyutlarda tasarlamak mümkündür [27][15][16][14]. Literatürde yer alan çalışmalarda en iyi sonuç toprak yüzeyi konik yapıyla tasarlayınca elde edilmektedir [13]. İlk başta tasarlanan eksenel moda sahip sarmal antenin parametrelerini koruyarak ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_0=0.7\text{mm}$ ) konik toprak yüzeyine sahip anten tasarlanmıştır. 3

boyutlu elektromanyetik simülasyonu CST Microwave Studio ile tasarlanan anten Şekil 3.61’de verilmiştir.

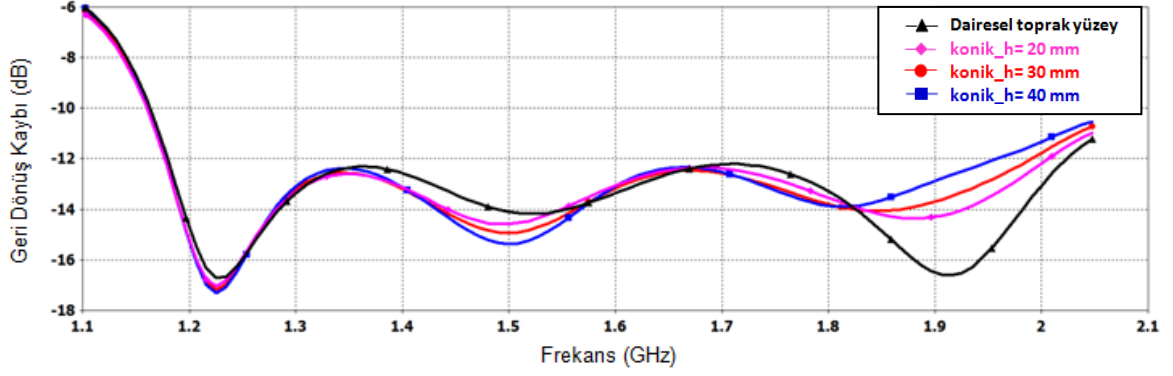


Şekil 3. 61. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan konik toprak yüzeye sahip eksenel mod sarmal anten

Konik toprak yüzey ile tasarlanan anten için en önemli parametreler toprak yüzeyin büyük ( $konik\_büyük\_R$ ) ve küçük çapı ( $konik\_küçük\_R$ ) ile konik yapının yüksekliğidir ( $konik\_h$ ). Tasarımdaki önemli parametrelerden olan konik yapının yükseklik ( $konik\_h$ ) değerinin 20,30 ve 40 mm değerleri için frekansa bağlı karşılaştırmalı kazanç eğrisi ve geri dönüş eğrisi Şekil 3.62 ve 3.63’te verilmiştir. Şekil 3.62’de görüldüğü gibi yükseklik ne kadar çok olursa anten kazancı bant boyunca o kadar iyi çıkmaktadır. Kazanç eğrisi dairesel toprak yüzeye göre bazı frekanslarda 2-2.5 dB iyileşirken, geri dönüş kaybı ve bant genişliği benzer çıkmaktadır.

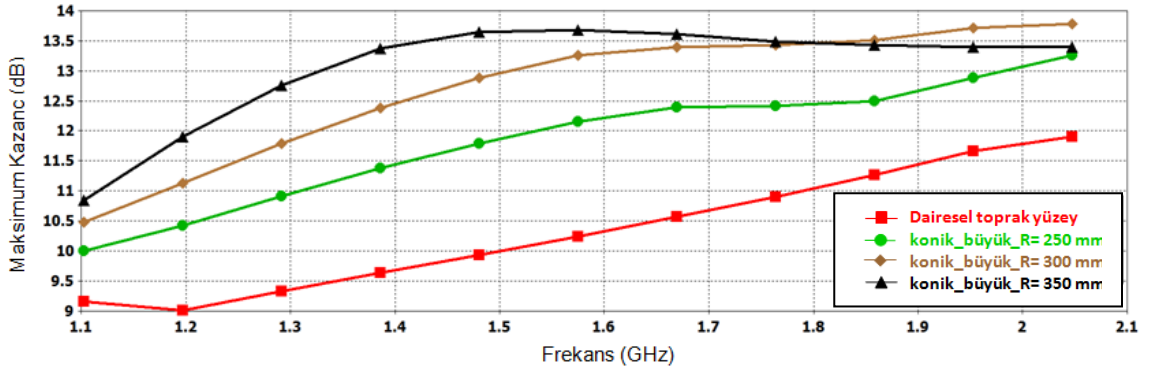


Şekil 3. 62. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı yükseklikler için (20,30,40) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

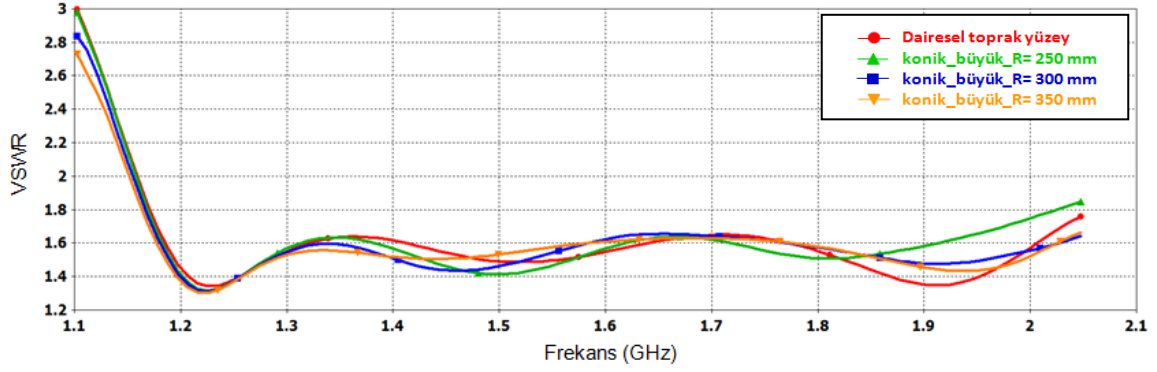


Şekil 3. 63. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı yükseklikler için (20,30,40) geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi

Bir başka parametre olan konik yüzeyin büyük çapı (*konik\_büyük\_R*) da 250, 300 ve 350 mm değerleri için frekansa bağlı karşılaştırmalı kazanç eğrisi ve VSWR eğrisi Şekil 3.64 ve 3.65'te verilmiştir. Şekil 3.64'te verildiği gibi çap ne kadar çok olursa anten kazancı bant boyunca o kadar iyi çıkmaktadır. Konik yüzeyin büyük çapının 350 mm değeri için ise bant sonunda kötüleşmeler başlıyor. Ancak yine de her değer için kazanç eğrisi dairesel toprak yüzeye göre oldukça iyileşirken, VSWR eğrisi benzer çıkmaktadır. Maksimum VSWR değeri tüm tasarımlar için 3 olmaktadır. Sonuç olarak bu metod ile dairesel bir toprak yüzey yerine konik bir yapıya geçerek anten parametrelerini değiştirmeden ( $N=4$ ,  $\alpha=13^\circ$ ,  $S=46\text{mm}$ ,  $D=60.6\text{mm}$ ,  $r_o=0.7\text{mm}$ ) bantın çoğu kısmında 3-4 dB kadar bir iyileşme elde edilmektedir.

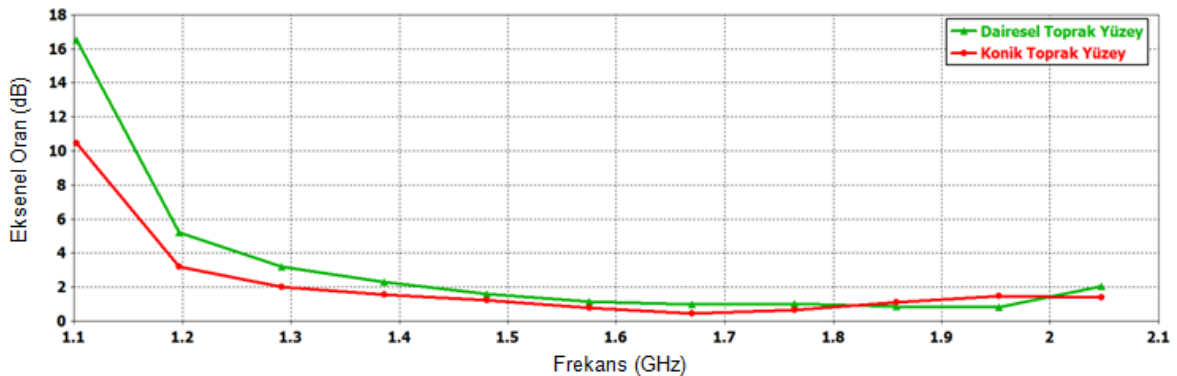


Şekil 3. 64. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı çaplar için (250, 300, 350mm) maksimum kazancın frekansa bağlı değişimi

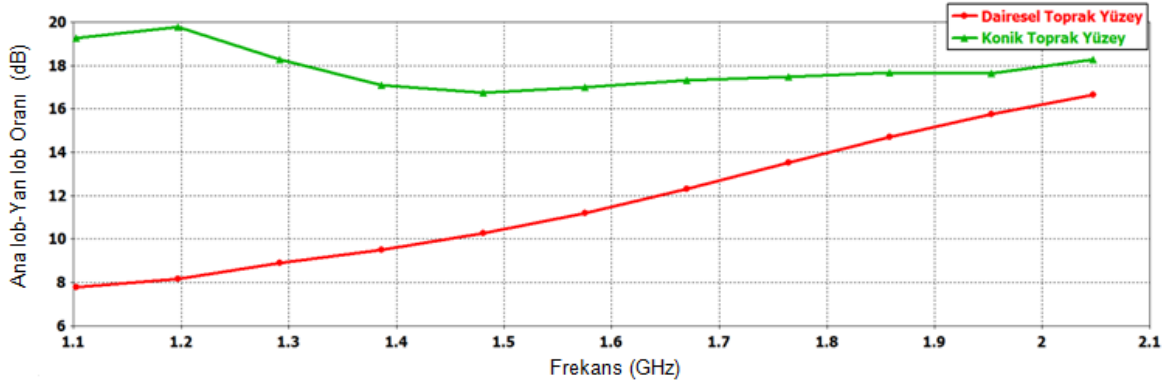


Şekil 3. 65. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip farklı çaplar için (250, 300, 350mm) VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Toprak yüzeyinde değişiklik yaparak hedeflenen bir diğer iyileşme ise eksenel oran eğrisindedir. Anten ışınmasını ne kadar eksen üzerine yoğunlaşması sağlanırsa o kadar kazanç ve eksenel oranda iyileşme görülmektedir. Konik toprak yapı sayesinde ışımının daha çok antenin yerleştiği ekseninde olması sağlanır, bu şekilde eksenel oranın iyileşip, antenin daha iyi bir dairesel polarizasyona sahip olduğunu  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  için Şekil 3.66’te verilmiştir. Özellikle düşük frekanslarda konik toprak yüzey kullanımı sayesinde eksenel oran daha iyi bir yere gelir [13]. Konik toprak yüzeyin bir diğer avantajı ise yan hüzmeye seviyelerini iyileştirmesidir. Anteni daha yüksek yönlü iyi bir ışınma yaptırdığından yan hüzmeye seviyeleri iyileşir. Şekil 3.67’de karşılaştırmalı olarak dairesel ve konik toprak yüzeylerindeki ana hüzmeye-yan hüzmeye oranları verilmiştir. Bant boyunca etkili olan bu metod özellikle düşük frekanslarda 10 dB’ye yakın bir iyileşme, en kötü yerde de 2 dB’lik bir iyileşme sağlar. Ana hüzmeye bant boyunca yaklaşık 1-1.5 dB iyileştiği Şekil 3.62’de verildiğinden, yan hüzmeye seviyelerini yer yer 7-8 dB iyileştirdiği söylenebilir [13].

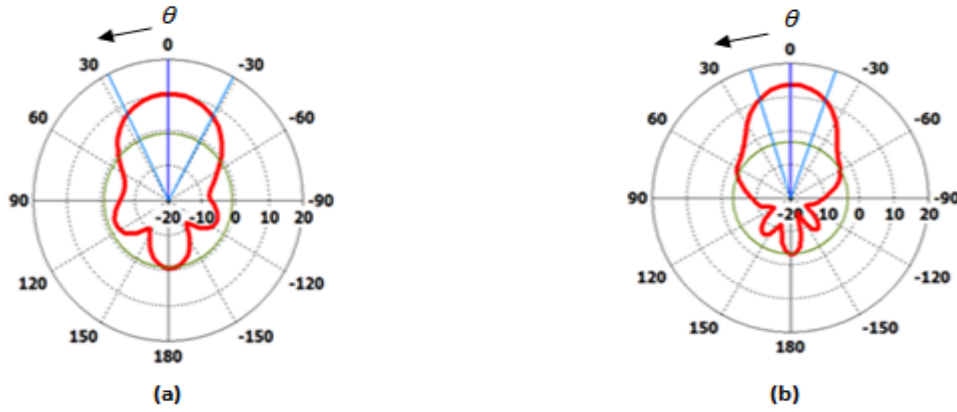


Şekil 3. 66. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken eksenel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi



Şekil 3. 67. Dairesel toprak yüzey ile konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin E- düzleminde ana hüzmeye-yan hüzmeye oranının frekansa bağlı değişimi

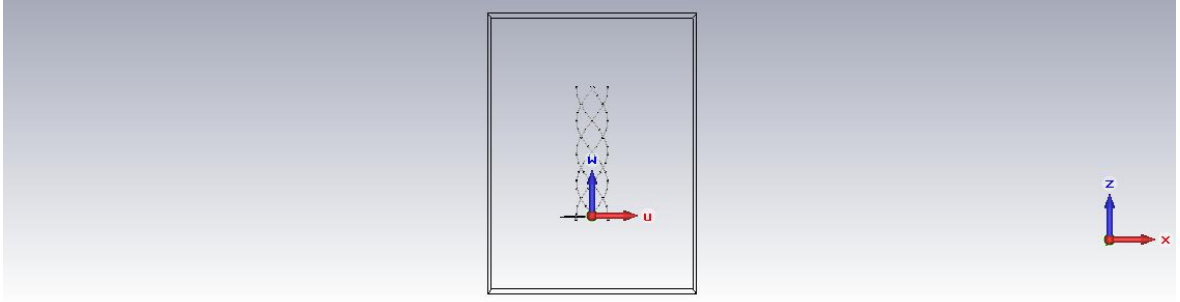
Konik toprak yüzeyin kullanılma amacı anteni daha yüksek yönlü yapmaktır. Yönlülüğü arttırarak anten kazancını ve performansını iyileştirmeyi sağlayan konik toprak yüzey bunu daha dar bantta daha yüksek yönlülük ile gerçekleştirir. Şekil 3.68a'da E- düzleminde ( $\varphi = 90^\circ$ ) dairesel toprak yüzey için  $f=1.575$  GHz'de uzak alan ışıma örüntüsü verilmiştir. Şekil 3.68b'de ise aynı frekansta konik toprak yüzey için uzak alan örüntüsü verilmiştir. Şekil 3.68'de görüldüğü gibi antende gücün yarıya düşme genişliği azalmakta ve daha yüksek yönlülüğe sahip bir anten olmaktadır. Ana hüzmeye büyüklüğü 10.2dB'den 13.7dB'ye çıkmakta ve gücün yarıya düşme genişliği ise  $55^\circ$  den  $36^\circ$ 'ye düşmektedir [28][20].



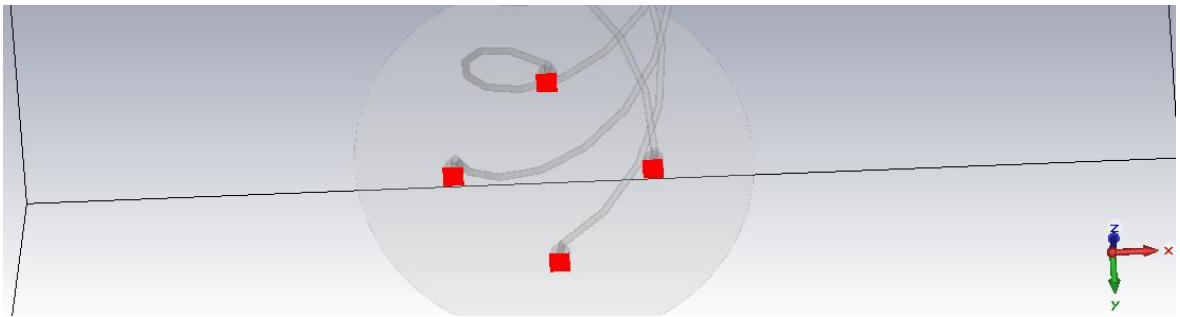
Şekil 3. 68. (a) Dairesel toprak yüzey ile (b) konik toprak yüzeye sahip sarmal antenlerin  $f= 1.575$  GHz'de E- düzleminde uzak alan örüntüleri

## 4.DÖRTLÜ SARMAL (QUADRIFILAR) ANTEN

Her biri birbirine göre  $90^\circ$  faz farkına sahip olan 4 adet sarmal ile tasarlanan bu anten tipi geniş bir bant genişliği sağlamaz, fakat oldukça geniş bir bantta dairesel polarizasyon sağlar. Anten gücünün yarıya düşme genişliği yüksek sahip olduğundan ( $90^\circ$ - $170^\circ$ ), daha geniş açılarda daha iyi performanslar gösterir. Giriş empedansı rezonans frekansında  $40 \Omega$  olan bu anten türünün sarım yönlerine bağlı olarak LHC, RHC polarizasyona sahip olmaktadır. 3 boyutlu elektromanyetik simülasyonu CST Microwave Studio ile gerçekleştirilen RHC polarizasyona sahip anten Şekil 4.1’de verilmiştir. Beslemesi Şekil 4.2’de verildiği gibi aralarında  $90^\circ$  faz farkı olacak şekilde 4 ayrı portla  $50\Omega$  ile gerçekleştirilir ve yaklaşık  $40\Omega$  olan giriş empedansı sayesinde kolay uyumlama sağlanır. Fiziksel uzunlukları ise; anten yarıçapı ( $r$ ) 1.32 cm, tur sayısı ( $N$ ) 1 ve toplam anten boyu 10.67cm olmaktadır.



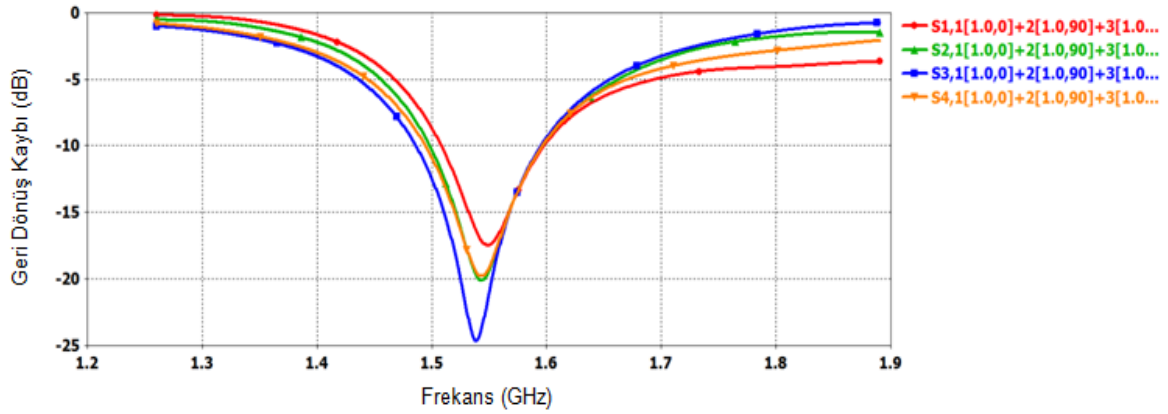
Şekil 4. 1. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dörtlü sarmal (quadrifilar) anten yan görünüm



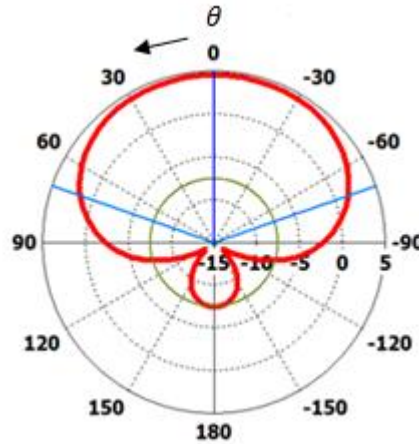
Şekil 4. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dörtlü sarmal (quadrifilar) antenin besleme şekli

#### 4.1. Işıma Karakteristiği

Giriş empedansı rezonans frekansında  $40 \Omega$  olan antenin  $50 \Omega$  ile gerçekleştirilen beslemesi ile oluşan geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 4.3'te verilmiştir. Bu anten türünün dezavantajı ise dar bantta sahip olmasıdır. Şekil 4.3'te  $-10\text{dB}$  bant genişliği yaklaşık  $100\text{ MHz}$  görülüyor. Geri dönüş kaybının en iyi olduğu  $1.5\text{-}1.6\text{ GHz}$  arasında uzak alan örüntüsü ise Şekil 4.4'te verilmiştir.  $\varphi = 90^\circ$  iken E-düzleminde incelediğimiz örüntüde maksimum ışınım  $\theta = 0^\circ$ 'de gerçekleşir. Eksenel moda sahip olan antende gücün yarıya düşme açısının  $141.7^\circ$  olması oldukça geniş bir  $\theta$  aralığında dairesel polarizasyona sahip olduğunu gösterir. Bu durum  $f=1.575\text{ GHz}$  iken Şekil 4.5'te  $\theta$ 'ya bağlı eksenel oran eğrisinden görülmektedir. Eksenel oranın  $3\text{dB}$ 'den küçük olduğu yerlerde iyi bir dairesel polarizasyona sahip olduğu kabul edildiğinden  $\theta$ 'nın  $-100^\circ$  ila  $100^\circ$  aralığında iyi bir dairesel polarizasyona sahip olduğunu Şekil 4.5'te görülmektedir. Eksenel oranın frekansa bağlı eğrisi de Şekil 4.6'da verilmiştir.  $1.3\text{-}2\text{ GHz}$  arasında oldukça iyi bir eksenel orana sahip olan anten geniş bantlı dairesel polarizasyon gerektiren durumlarda kullanılabilir.

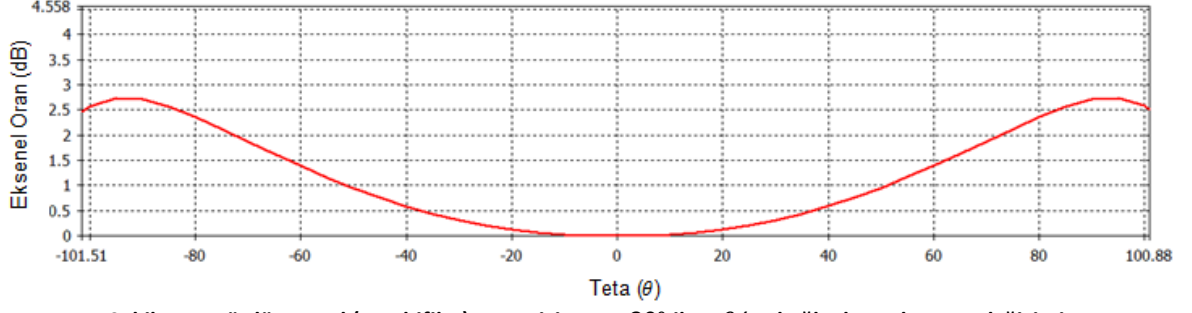


Şekil 4. 3. Dörtlü sarmal (quadrifilar) antenin geri dönüş kaybının frekansa bağlı değişimi

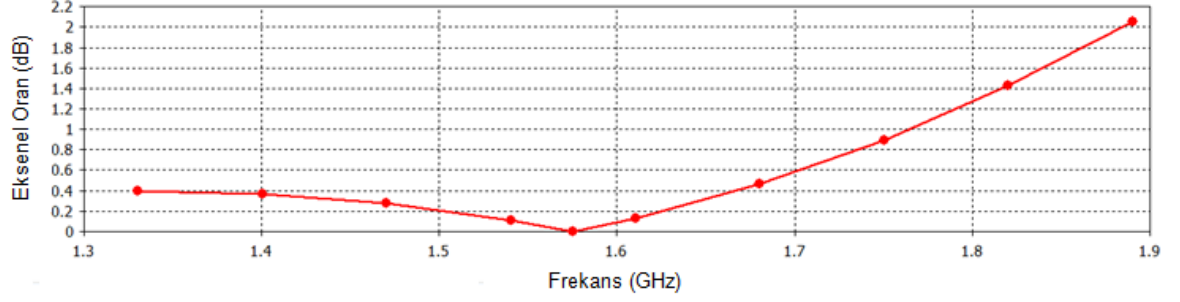


Şekil 4. 4. E-düzleminde  $f=1.575\text{ GHz}$  için dörtlü sarmal (quadrifilar) anten uzak alan örüntüsü



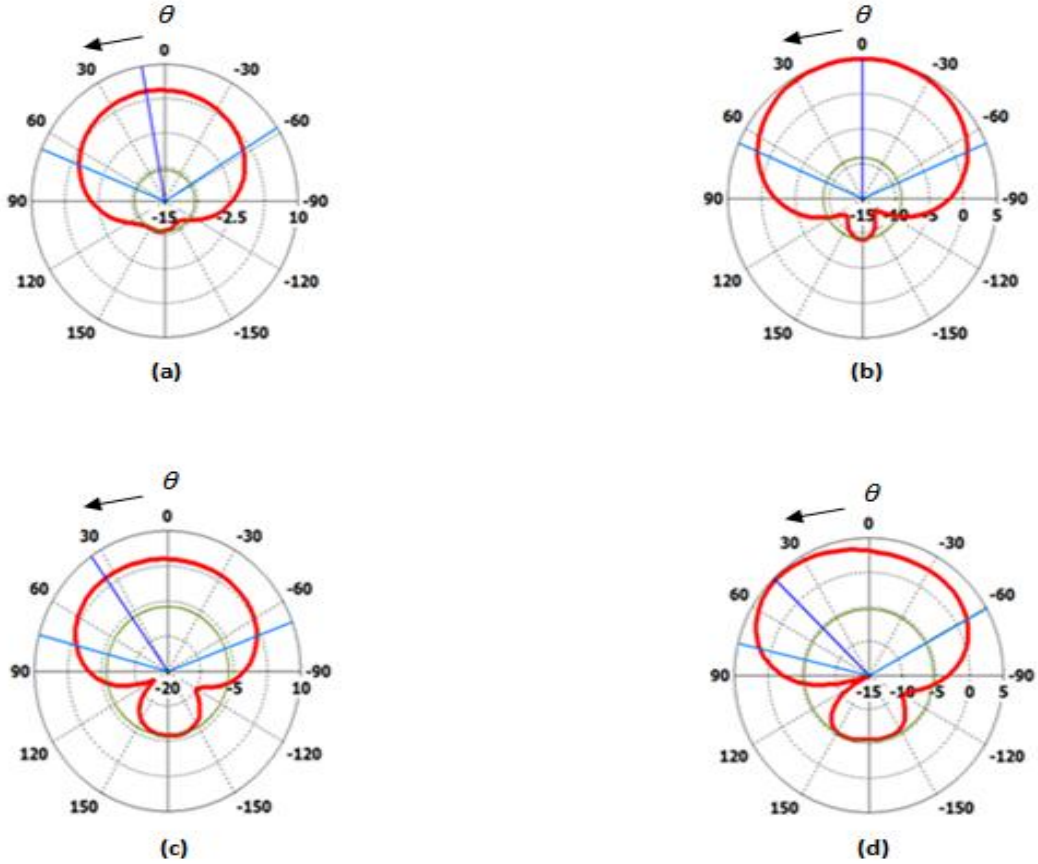


Şekil 4. 5. Dörtlü sarmal (quadrifilar) anten için  $\varphi = 90^\circ$  iken  $\theta$  'ye bağlı eksenel oranın değişimi



Şekil 4. 6. Quadrifilar sarmal anten için  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken eksenel oran eğrisin frekansa bağlı değişimi

$\varphi = 90^\circ$  iken E-düzleminde bazı frekanslardaki uzak alan örüntüleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



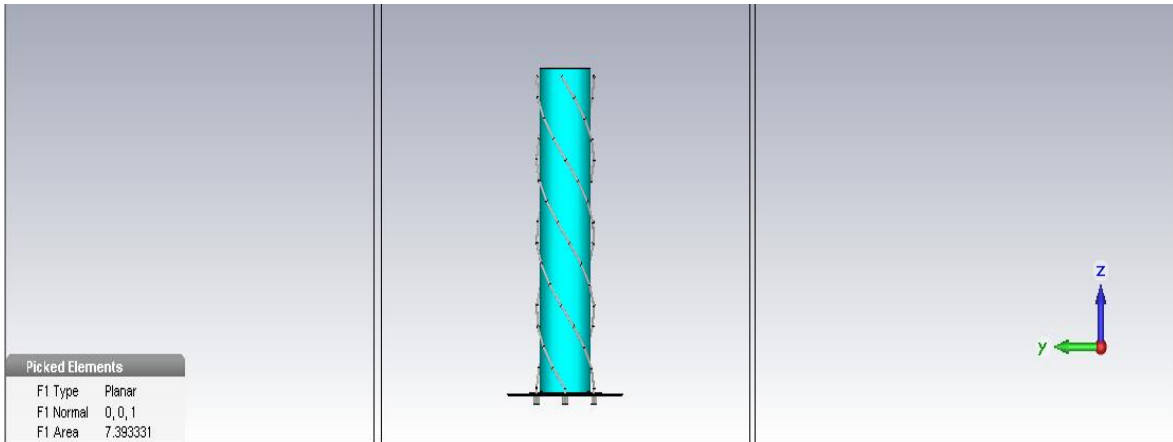
Şekil 4. 7. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1.32 GHz, (b)f=1.44GHz, (c)f=1.70 GHz, (d)f=1.82GHz

Gücün yarıya düşme genişliğinin benzer sarmal antenlere göre tüm bant boyunca çok daha yüksek olması, antenin benzer antenlere göre daha düşük yönlülük ve daha düşük kazançta sahip olmasına neden olmaktadır. Frekans boyunca yaklaşık 4-5 dB seviyesinde olan anten kazancı benzer sarmal antenler ile karşılaştırıldığında düşük kalmaktadır.

## 4.2. Antenin Fiziksel Uzunluğunun Kısaltma Yolları

Antenlerin fiziksel uzunlukları çoğu zaman kullanıldıkları yerlerde sıkıntı yaratır. Bu yüzden anten performansını çok kötüleştirmeden boyutlarını kısaltmak için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Sarmal tip antenlerde yaygın olarak kullanılan metot anteni bir dielektrik malzemenin etrafına sarmaktır. Bu metotla rezonans frekansını düşürerek anten boyunu kısaltmak mümkündür. Tasarlanan quadrifilar sarmal antenin boyu 10.67cm idi. Dielektrik malzeme etrafına sararak antenin fiziksel uzunluğunun küçülmesi incelenmiştir.

Dielektrik malzeme kullanılmasını avantajı anten boyutunu küçültmek, eksenel oranı iyileştirmek ve gücün yarıya düşme açısını genişletmektir. Dezavantajı ise verimliliği düşürür ve daha dar bir bant genişliği sağlar. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan anten Şekil 4.8’de verilmiştir.



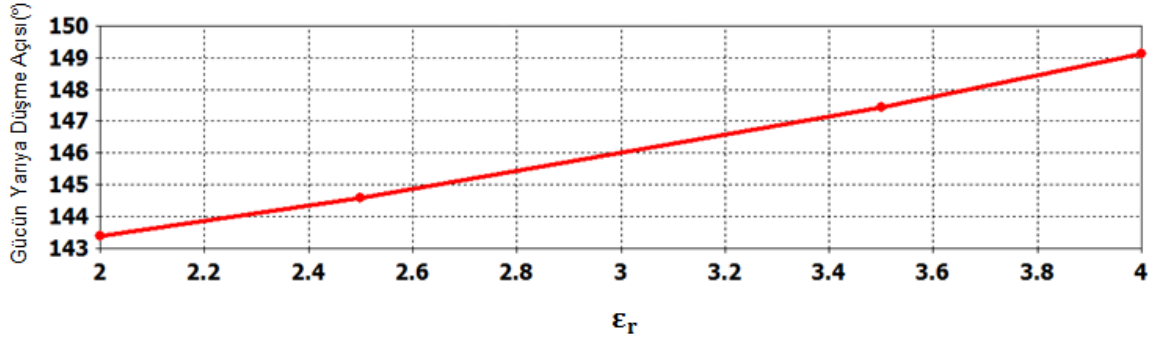
Şekil 4. 8. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan dielektrik etrafına sarılı dörtlü sarmal (quadrifilar) anten

Tasarlanan anten için kullanılan dielektriğin  $\epsilon_r$  değeri bu metot için en önemli parametredir. Rezonans frekansının ne kadar kayacağını ve anten boyunda ne kadar kısalma olacağını bu parametre belirler,  $\epsilon_r$ , 2 ve 4 için  $f=1.575$  GHz’de uzak alan örüntüleri Şekil 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.

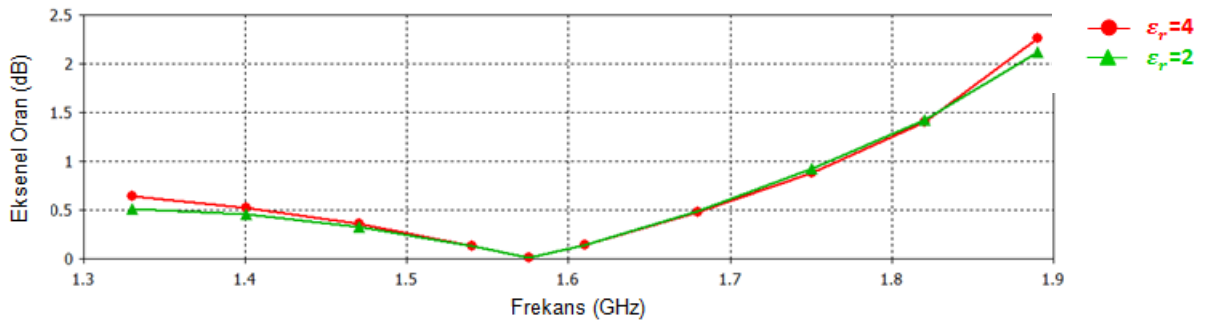


Şekil 4. 9. (a)  $\epsilon_r = 2$  ve (b)  $\epsilon_r = 4$  iken E-düzleminde uzak alan örüntüleri

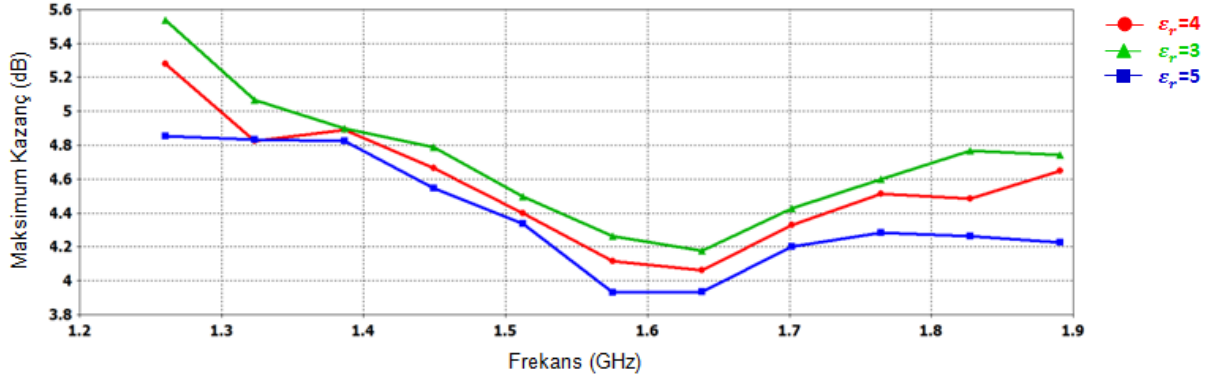
Gücün yarıya düşme genişliği  $\epsilon_r=2$  iken  $141^\circ$ den  $144^\circ$ ye,  $\epsilon_r=4$  iken  $141^\circ$ den  $149^\circ$ ye çıkmaktadır. Gücün yarıya düşme genişliğinin dielektrik sabitine bağlı değişimi  $f=1.575\text{GHz}$  için Şekil 4.10'da verilmiştir. Dielektrik sabiti arttıkça bant genişliği artar. Frekansa göre aksenal oran eğrisi ise Şekil 4.11'de görüldüğü üzere dielektrik sabiti ile çok fazla değişmez. Kazanç eğrisi ise dielektrik sabiti arttıkça kötüleşmeye başlaması Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4. 10.  $\phi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken gücün yarıya düşme genişliğinin  $\epsilon_r$ 'a bağlı değişimi

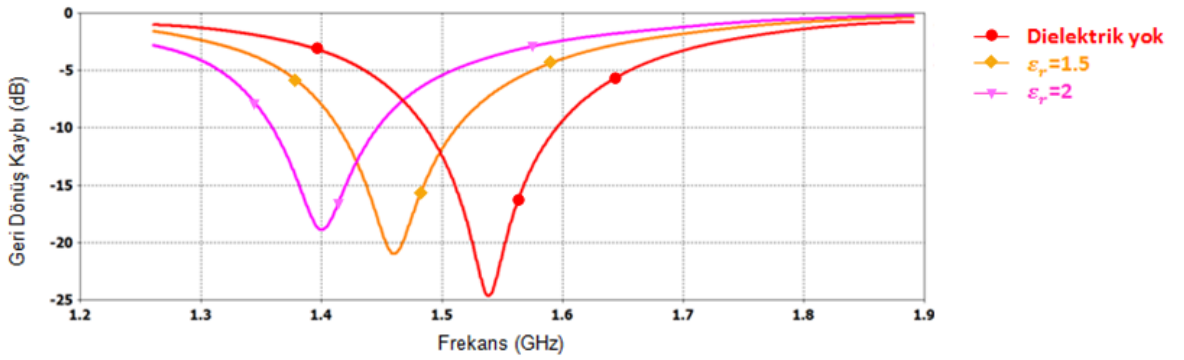


Şekil 4. 11.  $\phi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken gücün farklı  $\epsilon_r$  değerleri için (2 ve 4) aksenal oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi

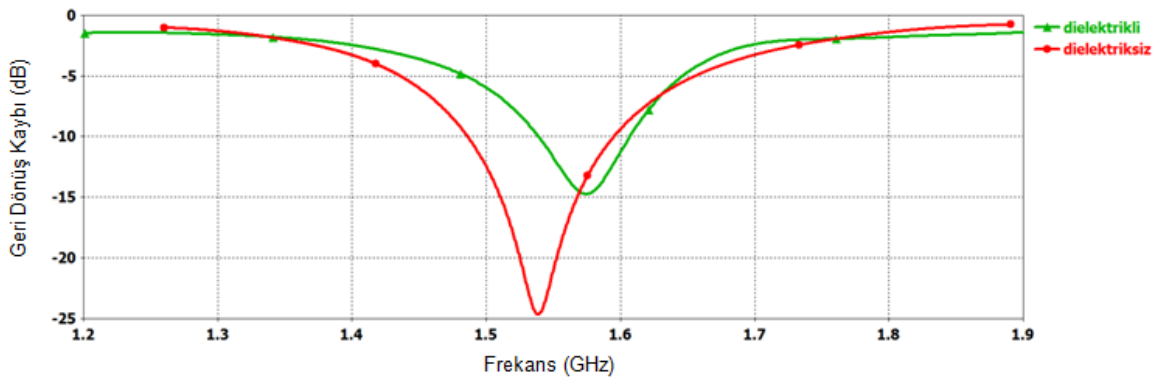


Şekil 4. 12. Farklı  $\epsilon_r$  değerleri için (3, 4, 5) maksimum kazanç eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Farklı  $\epsilon_r$  değerleri için frekansa bağlı geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 4.13'te verilmiştir.  $\epsilon_r$  değeri arttıkça rezonans düşük frekanslara kayar. Anten boyu 8.6 cm olarak ayarlanıp  $\epsilon_r = 6$  seçildiğinde oluşan geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 4.14'teki gibi olmaktadır. Antenin uzak alan ışımasını çok fazla değiştirmeden dielektrik malzeme kullanarak anten boyu 11cm'den 8.6cm'ye düşürülebilir. Bu düşüş yaklaşık %22'lik bir anten boyu kısalması sağlar.



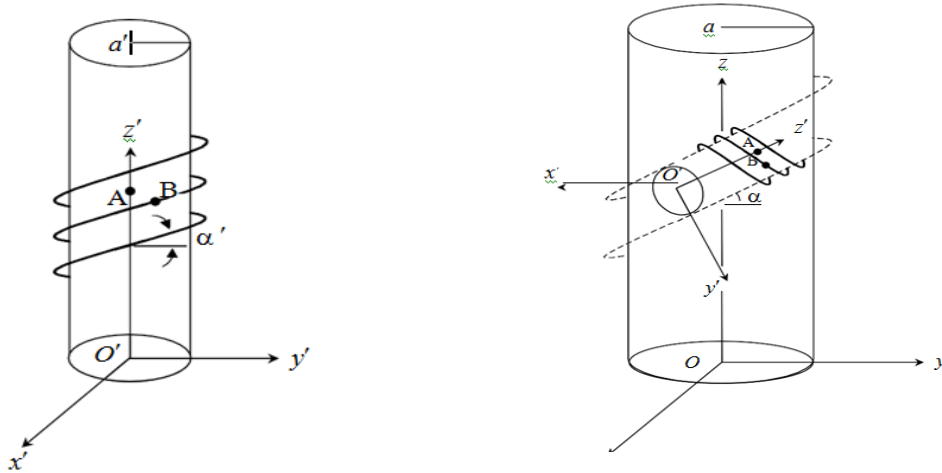
Şekil 4. 13. Dielektrik malzeme yokken ile farklı dielektriklere sarılı haldeki antenlerin geri dönüş kaybı eğrisi



Şekil 4. 14. Dielektriksiz anten ile  $\epsilon_r = 6$  olan malzeme etrafına sarılı antenin frekansa göre geri dönüş kaybı eğrisi

## 5. SPIRO SARMAL ANTEN

Silindir yüzey etrafına sarmal tur atarak tamamlanan anten tipine spiro-sarmal adı verilir. 2 sarmal yapısına sahip olan bu anten için spiral yapının yarıçapı  $a'$  , kalkış açısı ise  $\alpha'$ . Silindir yüzeyin yarıçapı  $a$ , kalkış açısı ise  $\alpha$  'dır. Antenin parametreleri 2 yarıçap ( $a'$  ve  $a$ ), iki kalkış açısı ( $\alpha'$  ve  $\alpha$ ) ve antenin tur sayısıdır ( $N$ ). Ayrıca sarılan iletkenin tel kalınlığı da  $r_0$  ile ifade edilir. Bu spiral yapıyı kullanma fikri, yaygın olarak kullanılan sarmal antenlerin performanslarını bozmadan boyutlarını kısaltmanın mümkün olup olmayacağını göstermek için ortaya atılmıştır. Beslemesi ise koaksiyel kablo ile gerçekleşir. Normal sarmal ve spiro sarmal yapının geometrisi koordinat üzerinde Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5. 1. Sarmal (a) ve Spiro antenin (b) geometrik koordinatlarının gösterimi

Spiro sarmalın parametrik denklemleri ise Eşitlik 5.1, 5.2, 5.3 'te verilmiştir.

$$x = x_B = (a + a')\cos\varphi + a'\cos\varphi\cos\varphi' - a'\sin\varphi\sin\varphi'\sin\alpha \quad (5.1)$$

$$y = y_B = (a + a')\sin\varphi + a'\sin\varphi\cos\varphi' + a'\cos\varphi\sin\varphi'\sin\alpha \quad (5.2)$$

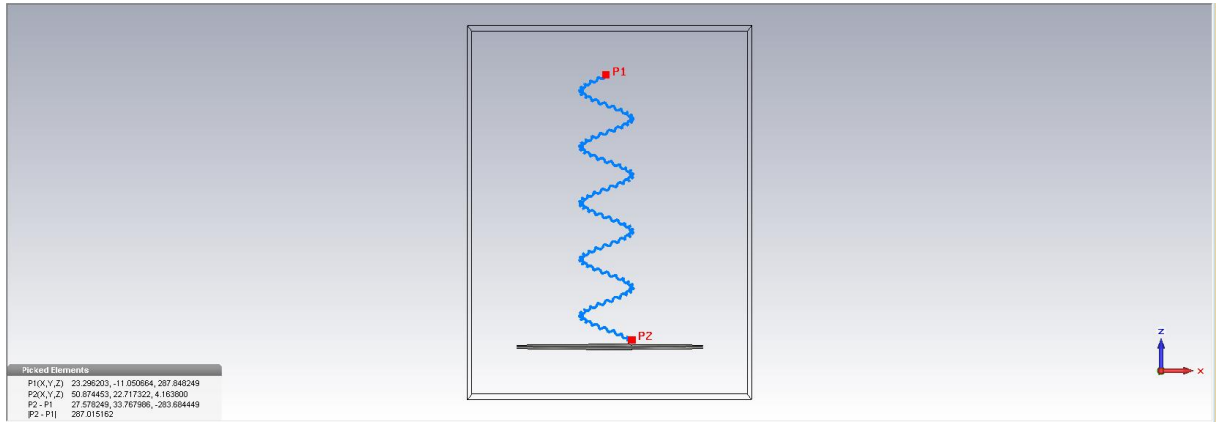
$$z = z_B = [(a + a')\tan\alpha] \cdot \varphi - a'\sin\varphi'\cos\alpha \quad (5.3)$$

Buradaki  $\varphi$  ve  $\varphi'$  Eşitlik 5.4'te verilmiştir.

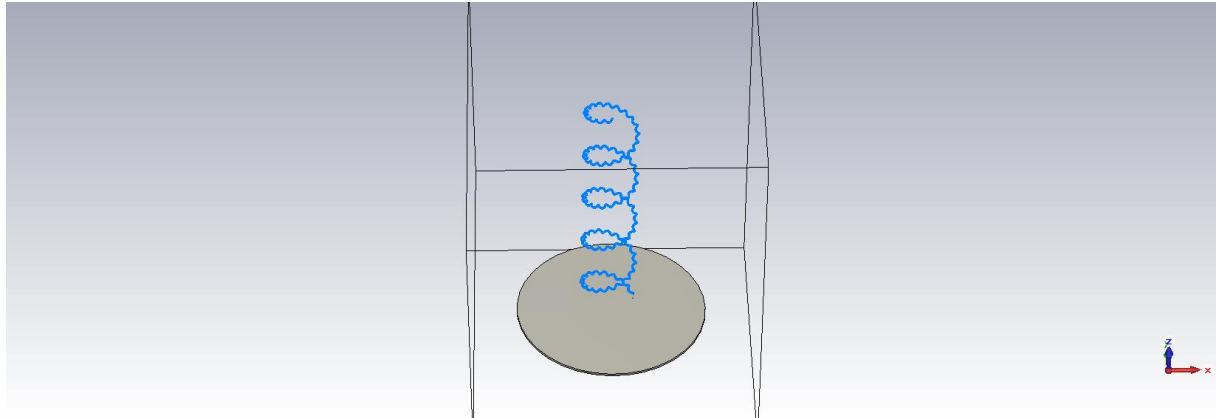
$$\varphi = \frac{Z_A}{(a + a')\tan\alpha} \quad \varphi' = \frac{Z_A}{a'\tan\alpha'\sin\alpha} \quad (5.4)$$

$Z_A$  antenin ilerleme yönünde aldığı değerlerdir. Maksimum değeri ise antenin boyunu verir [17].

3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio ile tasarlanan spiro anten Şekil 5.2 ve 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan spiro sarmal antenin yan görünümü

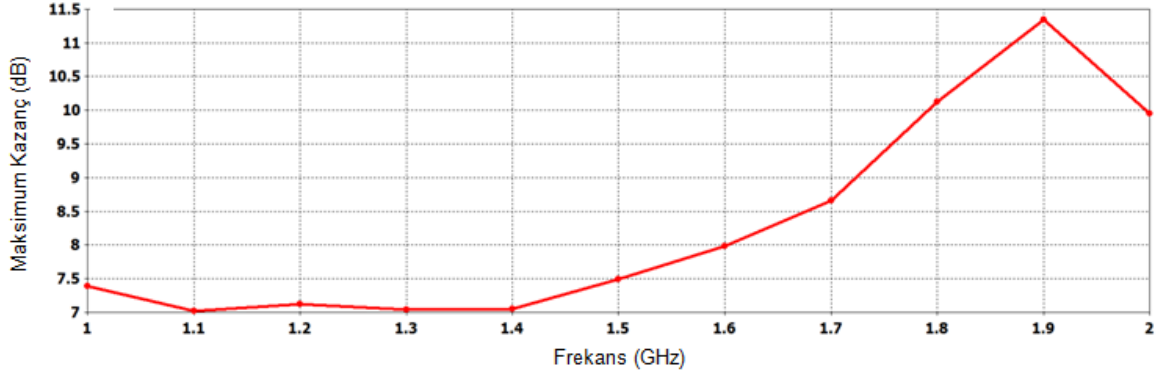


Şekil 5. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan spiro sarmal antenin üst görünümü

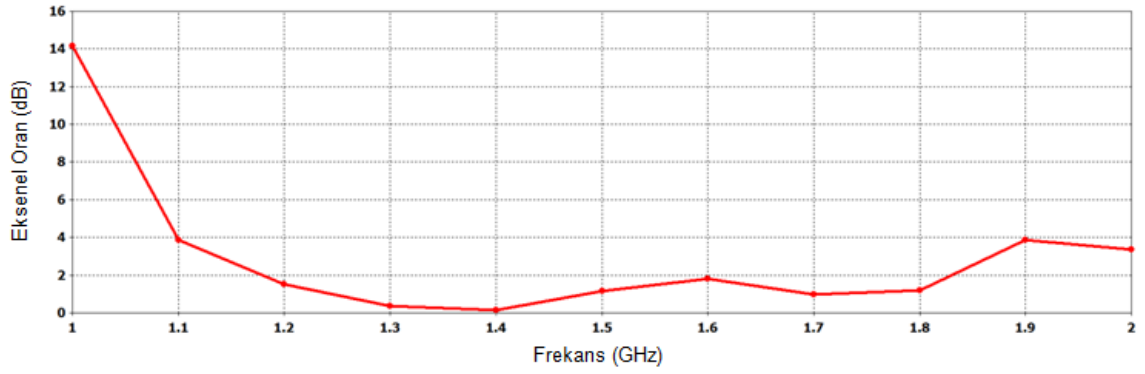
Antenin parametreleri optimize edilerek 1-2 GHz arasında iyi sonuç için belirlenen değerler aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$N=4.75, \alpha = 19.25^\circ, \alpha' = 43.2^\circ, a = 25.75\text{mm}, a' = 1.7\text{mm} \text{ ve } r_0 = 0.2\text{mm}.$$

Antenin kazanç ve  $\varphi = 90^\circ, \theta = 0^\circ$  iken aksenal oran eğrileri Şekil 5.4 ve 5.5'te verilmiştir. Tasarlanan antenin boyu yaklaşık 28 cm olup, 1-2 GHz arasında iyi bir dairesel polarizasyona sahip olması hedeflenmiştir. Aksenal oran eğrisine bakıldığında 1.1-1.9 GHz arasında 4 dB civarında bir sonuç vermiştir. Bu frekans aralığında iyi bir dairesel polarizasyona sahiptir. Anten kazancını arttırmak için tur sayısının artırılabilir [29].

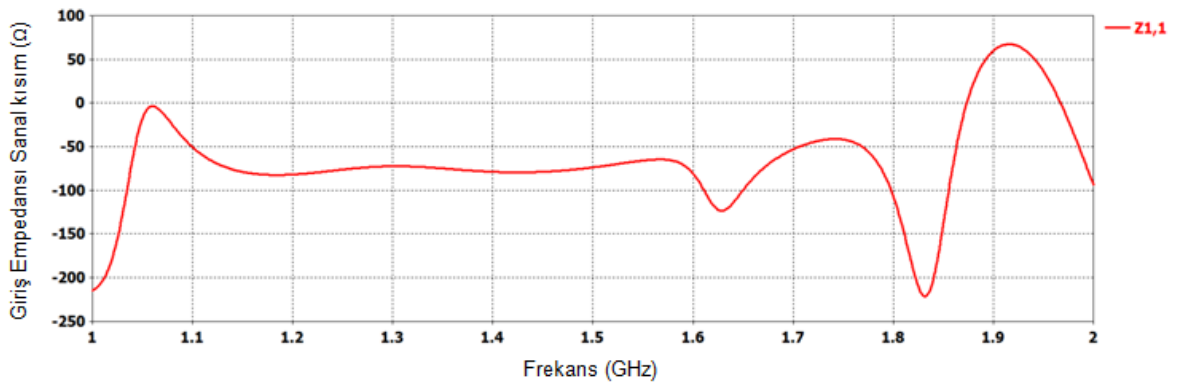


Şekil 5. 4. Antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

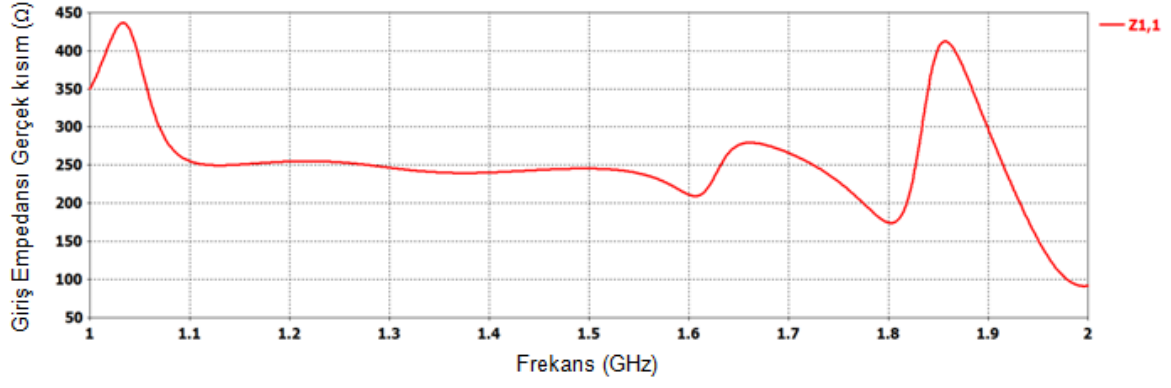


Şekil 5. 5.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken eksenal oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi

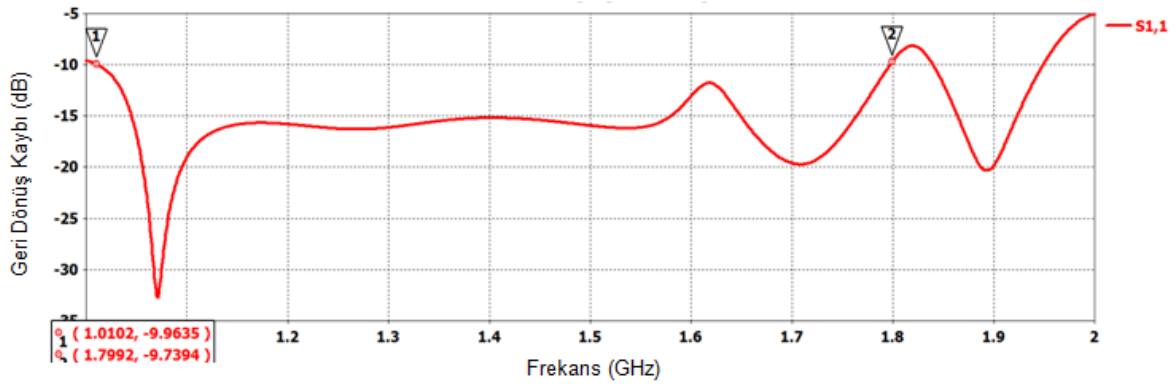
Antenin giriş empedansı sanal ve gerçel olarak Şekil 5.6 ve 5.7’de verilmiştir. Antenin giriş empedansı rezonans frekansında yaklaşık  $290\Omega$ ’dur. Besleme bu şekilde gerçekleştirildiğinde geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 5.8’de verilmiştir. -10 dB bant genişliğine bakıldığında ise 1-1.8 GHz arasında 700MHz’dir. VSWR eğrisi de Şekil 5.9’da verilmiştir ve 1-2 GHz arasında VSWR değeri 3’ten küçük olur.



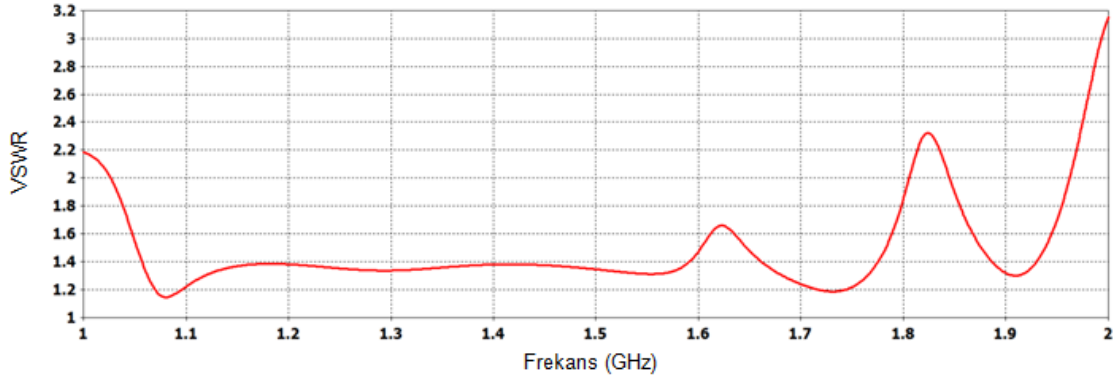
Şekil 5. 6. Spiro sarmal anten için giriş empedansın sanal kısmının frekansa bağlı değişimi



Şekil 5. 7. Spiro sarmal anten için giriş empedansın gerçel kısmının frekansa bağlı değişimi



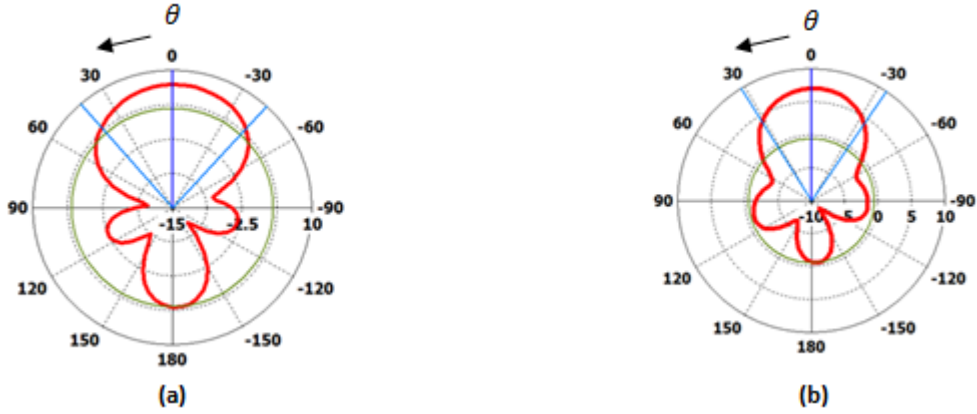
Şekil 5. 8. Spiro sarmal anten için geri dönüş kaybı eğrisinin frekansa bağlı değişimi



Şekil 5. 9. Spiro sarmal anten için VSWR eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Spiro sarmal antenin E-düzleminde ( $\varphi = 90^\circ$ ) uzak alan örüntüleri bazı frekanslar için Şekil 5.10'da verilmiştir.



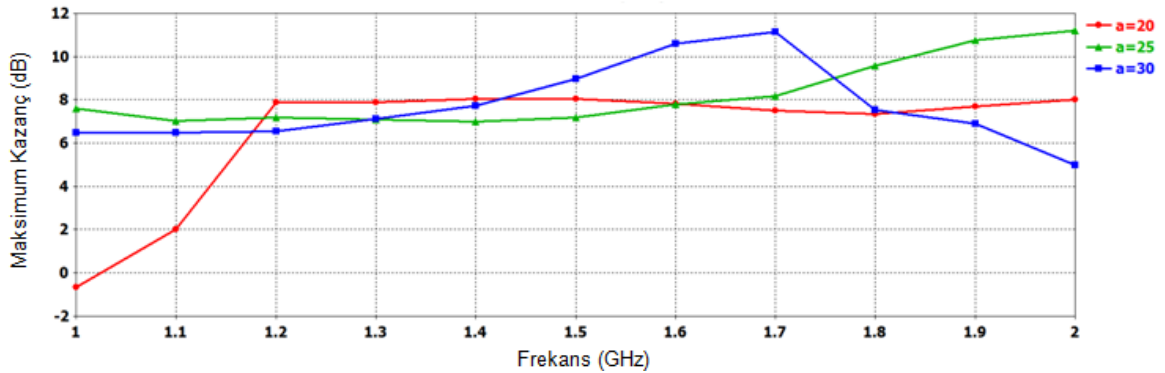


Şekil 5. 10. E- düzleminde farklı frekanslar için (a) f=1 GHz, (b) f=1.36 GHz uzak alan örüntüleri

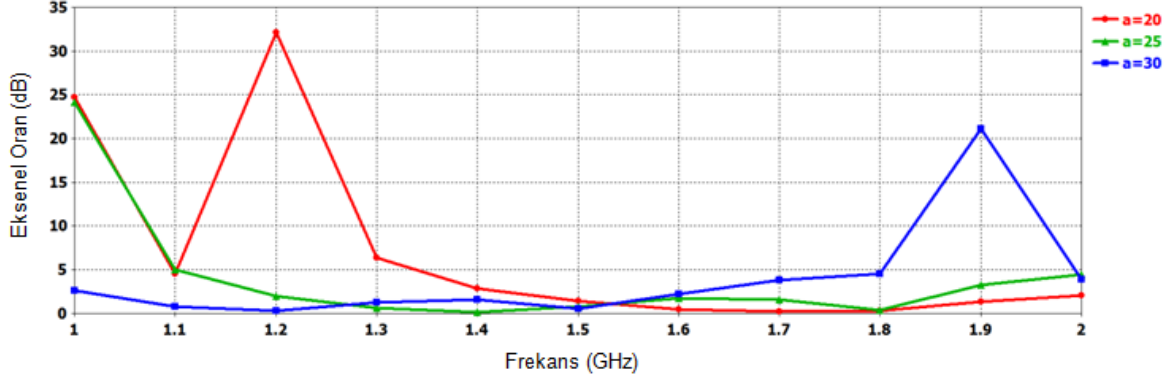
Maksimum ışıma  $\theta = 0^\circ$  iken gerçekleşirken antenin ortalama kazancı 7 dB seviyesinde olmaktadır.

Sarmal yarıçapının değişiminin ( $a=20,25,30\text{mm}$ ) maksimum kazanç ve  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  için aksenal oran üzerindeki etkisi Şekil 5.11 ve 5.12’de verilmiştir. Kazanç eğrisi için bu değişiklik düzenli bir değişimi getirmese de yarıçap arttıkça düşük frekanslarda aksenal oran iyileşirken, yüksek frekanslarda bozulmalar başlar. Anten tasarımındaki diğer parametreler şu şekilde olmaktadır.

$N=4.75$ ,  $\alpha = 19.25^\circ$ ,  $\alpha' = 43.2^\circ$ ,  $a' = 1.7\text{mm}$  ve  $r_o = 0.2\text{mm}$ .



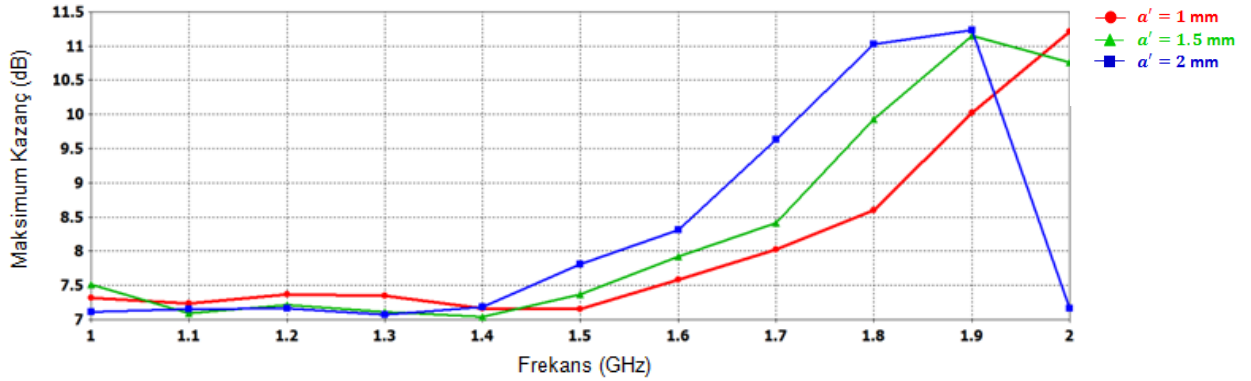
Şekil 5. 11. Farklı sarmal yarıçapları için ( $a=20,25,30\text{mm}$ ) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi



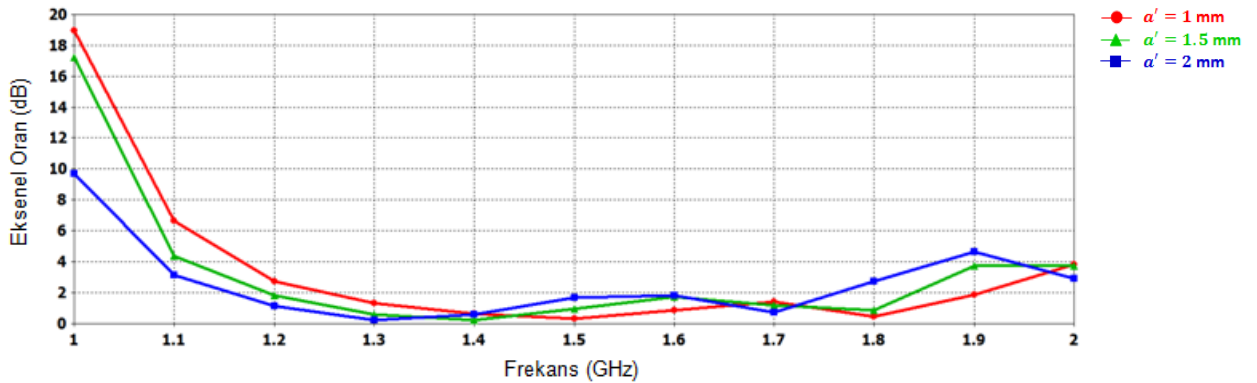
Şekil 5.12.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı sarmal yarıçapları için ( $a=20,25,30\text{mm}$ ) eksenel oran eğrisinin frekansa göre değişimi

Spiralin yarıçapının değişiminin ( $a'=1, 1.5, 2$  mm) maksimum kazanç ve  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  için eksenel oran üzerindeki etkisi Şekil 5.13 ve 5.14'e verilmiştir. Tıpkı sarmal yarıçapı gibi, spiralin yarıçapı arttıkça düşük frekanslarda eksenel oran iyileşirken, yüksek frekanslarda ise bozulmalar başlar. Kazanç eğrisi de yarıçap arttıkça bant ortalarında iyileşir ve 1.5 GHz civarında 7 dB seviyesinden 8 dB seviyesine gelir. Anten tasarımındaki diğer parametreler şu şekilde olmaktadır.

$N=4.75$ ,  $\alpha = 19.25^\circ$ ,  $\alpha' = 43.2^\circ$ ,  $a = 25.75\text{mm}$  ve  $r_o=0.2\text{mm}$ .



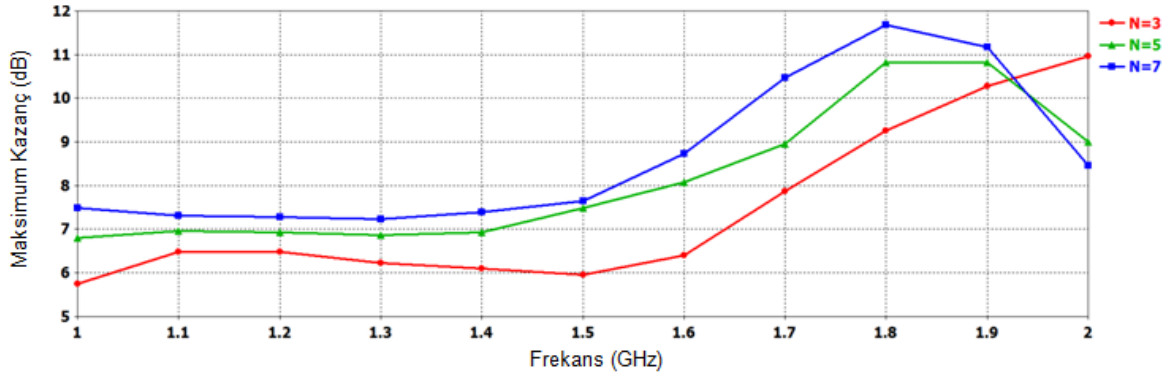
Şekil 5.13. Farklı spiral yarıçapları için ( $a'=1, 1.5, 2$  mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi



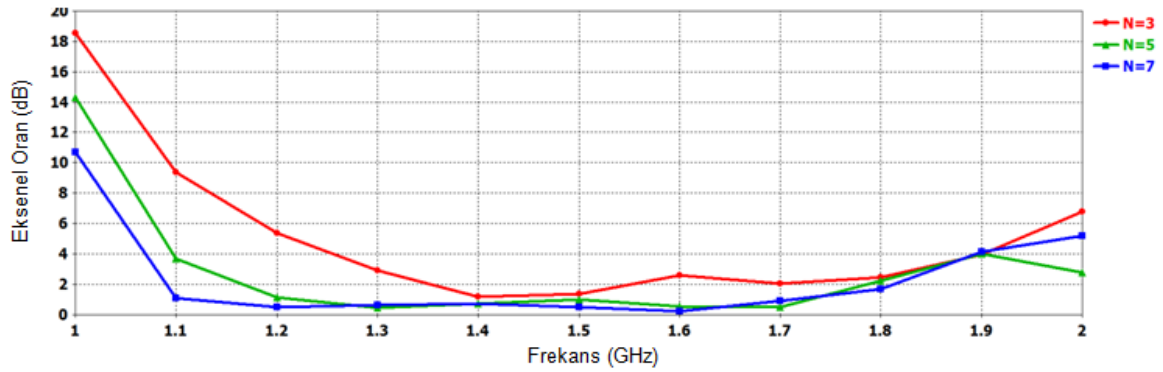
Şekil 5.14.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı spiral yarıçapları için ( $a'=1, 1.5, 2$  mm) eksenel oran eğrisinin frekansa göre değişimi

Antenin bir diğ er parametresi ise tur sayısı (N), farklı tur sayıları için (N=3, 5, 7) maksimum kazanç ve  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  için ekstenel oran üzerindeki etkisi Şekil 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Tur sayısı arttıkça kazanç iyileşir. Ekstenel oran eğrisi de tur sayısı arttıkça özellikle bant başında iyileşir, ancak anten boyu arttığı için bu metotla kazancı arttırmak ve ekstenel oranı iyileştirmek pek tercih edilmez. Anten tasarımındaki diğ er parametreler şu Şekilde olmaktadır.

$$\alpha = 19.25^\circ, \alpha' = 43.2^\circ, a = 25.75\text{mm}, a' = 1.7\text{mm} \text{ ve } r_0 = 0.2\text{mm}.$$



Şekil 5. 15. Farklı tur sayıları için (N=3, 5, 7) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

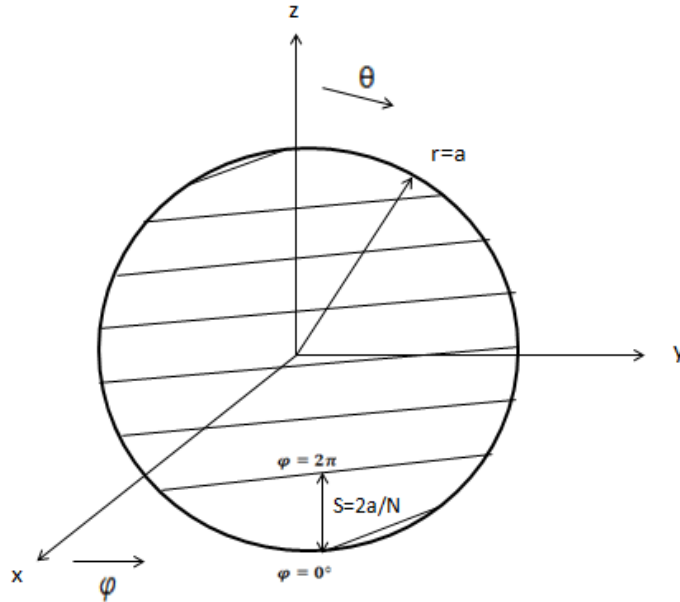


Şekil 5. 16.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı tur sayıları için (N=3, 5, 7) ekstenel oran eğrisinin frekansa göre değişimi

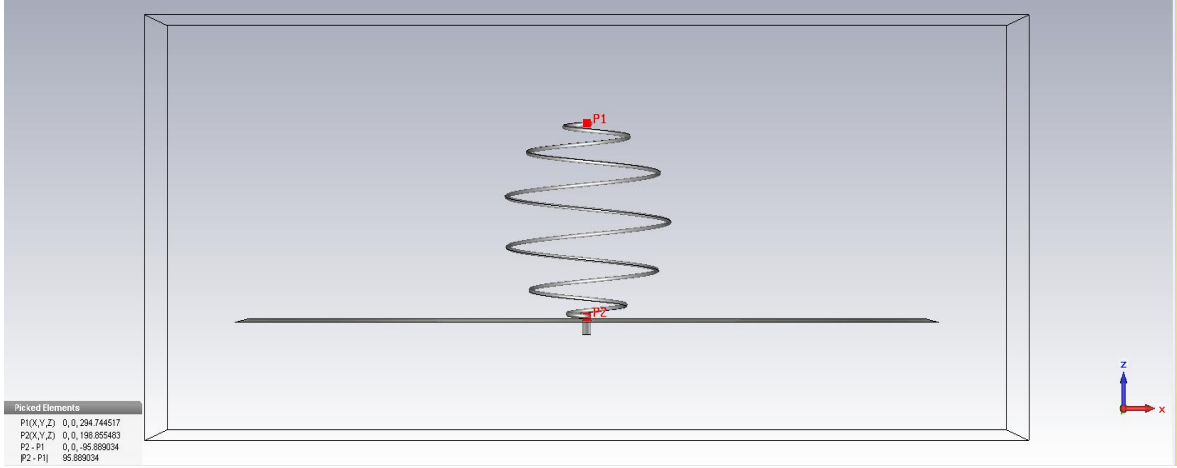
## 6. KÜRESEL SARMAL ANTEN

Sarım yapılan teli bir küre yüzeyi etrafına sararak tasarlanan anten türüne küresel-sarmal anten denir. Koaksiyel kablo ile beslenir ve kablonun iç iletkeninin çapı sarım yapılan telin kalınlığına eşittir ve dış iletkeni ise toprak yüzeydir. Genelde kullanılan bu anten türü eşit turlar arası mesafeyle tasarlanır. Daha kolay tasarlanabildiğinden ve matematiksel olarak daha kolay ifade edilebildiğinden bu sabit turlar arası mesafe ile tasarım daha yaygındır. Etrafına sarılan kürenin yarıçapı ve tur sayısı ise antenin özelliklerini belirtirken kullanılan parametreler olmaktadır. Bu küresel-sarmal anten tipi yine de kompleks bir geometriye sahip olduğundan, analizi çeşitli nümerik metotlarla ve deneysel çalışmalarla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar da göstermiştir ki, yaygın olarak kullanılan aksenal mod sarmal antenden oldukça farklı bir ışınma karakteristiği vardır. Daha geniş bir bant genişliğinde dairesel polarizasyona sahip olduğundan bu anten türü mobil iletişimde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

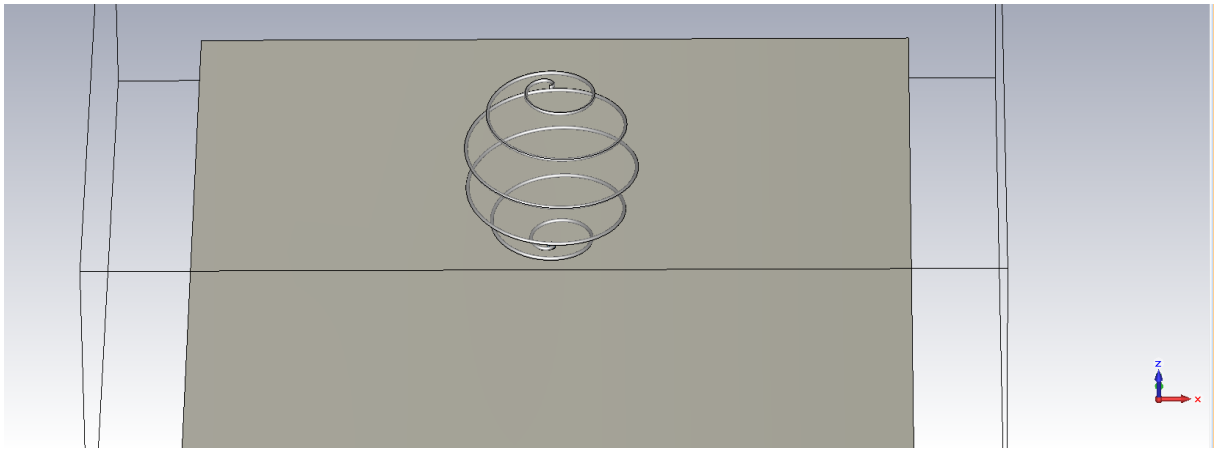
Anten geometrisi ve koordinatlar Şekil 6.1'de verilmiştir. 3 boyutlu elektromanyetik simülatörü CST Microwave Studio kullanarak R yarıçaplı bir küre etrafına sarılı olarak tasarlanan anten ise Şekil 6.2, 6.3 ve 6.4'te verilmiştir.



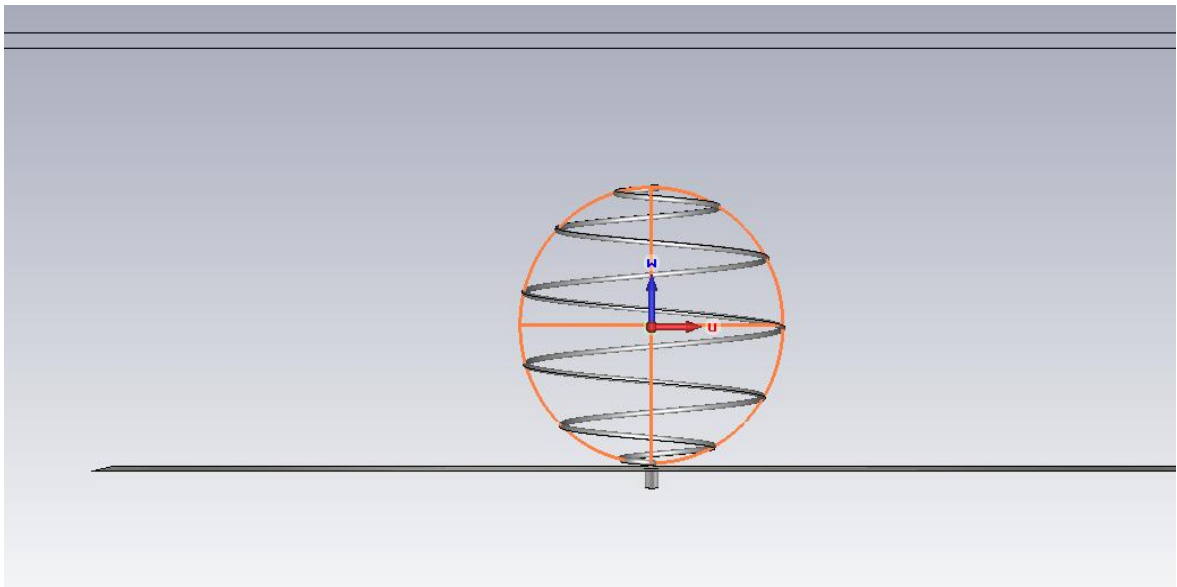
Şekil 6. 1.Küresel Sarmal antenin geometrik gösterimi



Şekil 6. 2. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin yan görünümü

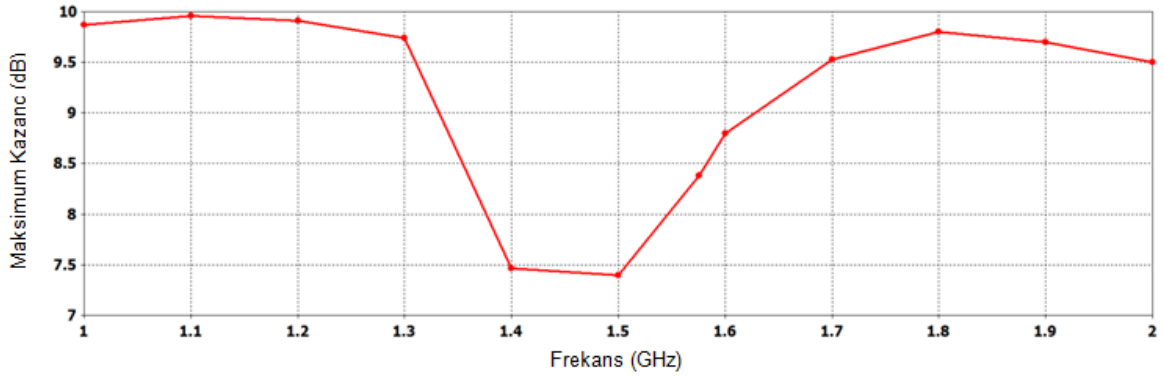


Şekil 6. 3. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin üst görünümü

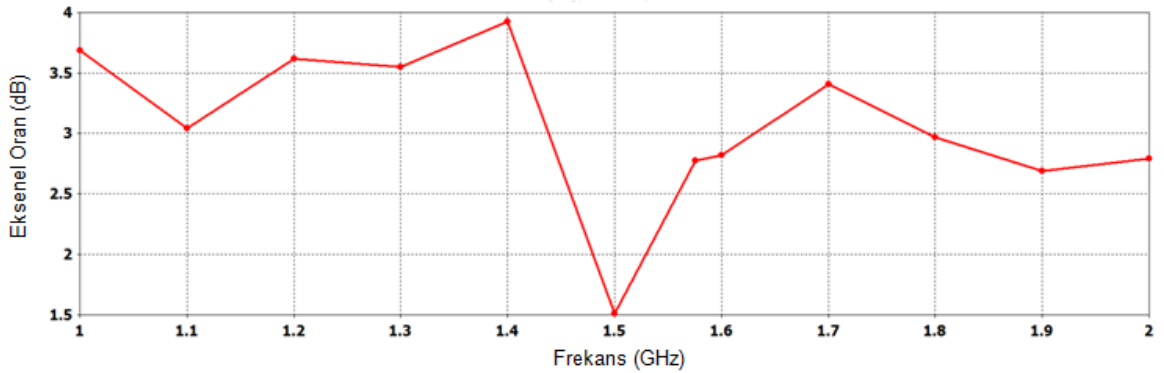


Şekil 6. 4. 3 boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan küresel sarmal antenin R yarıçaplı küre içinde geometrik gösterimi

Antenin parametreleri optimize edilerek 1-2 GHz arasında iyi sonuç için belirlenen değerler şu şekilde olmaktadır.  $N=5.9$ ,  $R = 47.9 \text{ mm}$ ,  $S=16\text{mm}$  ve  $r_o =1\text{mm}$ .  $N$  toplam tur sayısını,  $R$  kürenin yarıçapını,  $S$  turlar arası mesafeyi ve  $r_o$  ise sarım yaptığımız telin kalınlığını göstermektedir. Bu parametreler kullanılarak tasarlanan antenin frekansa bağlı kazanç eğrisi ve  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  için aksel oran eğrileri Şekil 6.5 ve 6.6’da verilmiştir. Tasarlanan antenin boyu yaklaşık 9.5cm olup, 1-2 GHz arasında iyi bir dairesel polarizasyona sahip olması hedeflenmiştir. Aksel oran eğrisine bakıldığında bant boyunca 4 dB’den daha iyi bir sonuç vermiştir ve bu frekans aralığında iyi bir dairesel polarizasyona sahiptir. Kazanç eğrisi de bant ortalarında 7-7.5 dB seviyesinde iken diğer frekanslarda 9.5-10 dB arasında olmaktadır.

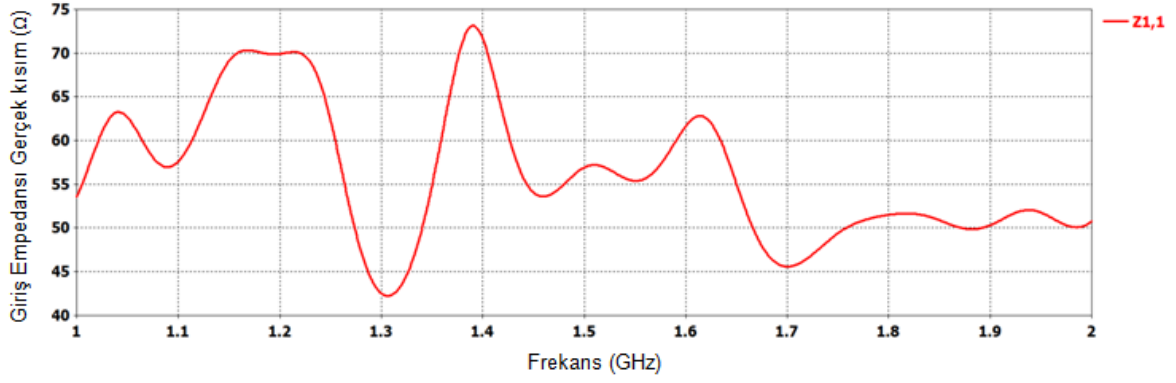


Şekil 6. 5. Küresel sarmal antenin maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi

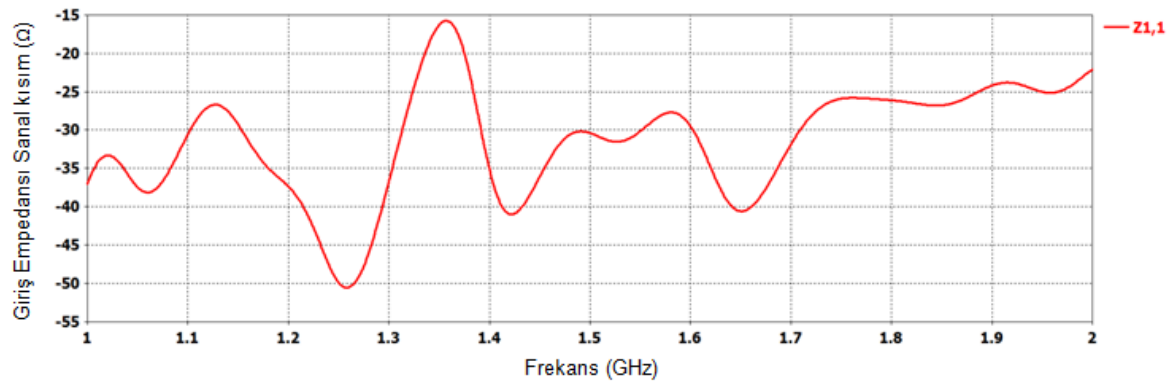


Şekil 6. 6.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken aksel oran eğrisinin frekansa bağlı değişimi

Tasarlanan anten için giriş empedansının sanal ve gerçel kısımlarının frekansa bağlı eğrileri Şekil 6.7 ve 6.8’de verilmiştir. Empedansın gerçel kısmı frekans bandı boyunca 40-75  $\Omega$  arası değişir. Sanal kısmın en az olduğu 1.3-1.4 GHz arasında da giriş empedansın gerçel kısmı yaklaşık 50 $\Omega$  olmaktadır. Bu durum anten beslemesini kolaylaştırır ve beslemeyi 50 $\Omega$ 'a sahip koaksiyel kablo ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 6. 7. Küresel sarmal anten için giriş empedansın gerçel kısmının frekansa bağlı değişimi



Şekil 6. 8. Küresel sarmal anten için giriş empedansın sanal kısmının frekansa bağlı değişimi

Küresel sarmal anten için en önemli tasarım parametre,  $R$  yani kürenin yarıçapıdır.  $R$  değeriyle hesaplanan çevre değerinin ( $C = 2 * \pi * R$ ), dalgaboyu cinsinden değeri antenin hangi frekans aralığında iyi performans vereceğini belirler. Eksenel mod ve sıfır (null)-eksenel mod olmak üzere 2 ayrı moda sahip olan küresel sarmal antenin modunu belirleyen değer de  $C$  parametresinin dalgaboyu cinsinden değeridir. Eksenel mod, antenin eksen yönünde maksimum ışımaya yaptığı, sıfır (null)-eksenel mod ise antenin eksen yönünde daha az, eksen yönüne yakın açılarda iyi ışımaya yaptığı moda verilen addır.

$C$  parametresine göre literatürde eksenel mod için  $0.75\lambda < C < 2\lambda$ , sıfır (null) eksenel mod için de  $2\lambda < C < 2.8\lambda$  tanımlaması yapılır [19].

$R=47.9$  mm iken frekansa bağlı  $C$  parametresinin dalga boyu cinsinden değeri Çizelge 6.1'de verilmiştir. (Yaklaşık  $C=300$ mm)

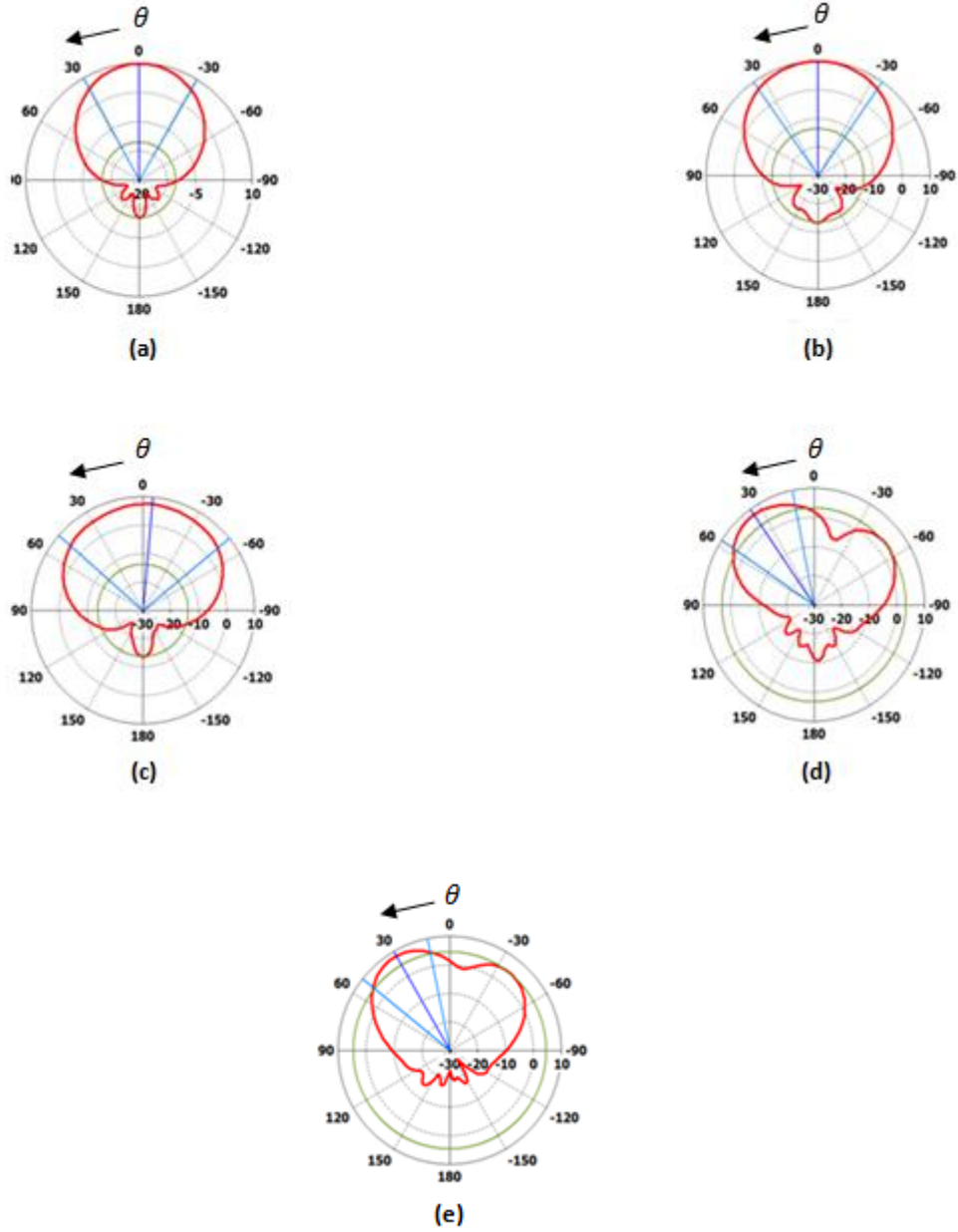
Çizelge 6. 1. Küresel sarmal antende R=47.9 mm için frekans-küre çevresi (C) değişimi

| Frekans (GHz) | C             |
|---------------|---------------|
| 1             | $\lambda$     |
| 1.1           | 1.1 $\lambda$ |
| 1.2           | 1.2 $\lambda$ |
| 1.3           | 1.3 $\lambda$ |
| 1.4           | 1.4 $\lambda$ |
| 1.5           | 1.5 $\lambda$ |
| 1.6           | 1.6 $\lambda$ |
| 1.7           | 1.7 $\lambda$ |
| 1.8           | 1.8 $\lambda$ |
| 1.9           | 1.9 $\lambda$ |
| 2             | 2 $\lambda$   |

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi bant başlarında C parametresi  $\lambda$ ’ya yakın değerler almaktadır dolayısıyla bu frekanslarda anten ekstenel moda sahiptir. Bant sonuna doğru ise C, 2  $\lambda$ ’ya yaklaştığından anten modu sıfır (null)-ekstenel moda doğru yaklaşır.

Küresel sarmal antenin E-düzleminde ( $\varphi = 90^\circ$ ) uzak alan örüntüleri bazı frekanslar için Şekil 6.9’da verilmiştir. Şekil 6.9’da görüldüğü üzere f=1.6 GHz’e kadar ekstenel moda sahip olan anten, 1.8 GHz ve 2 GHz’de ekstenel moddan uzaklaşarak sıfır (null)-ekstenel moda sahiptir.





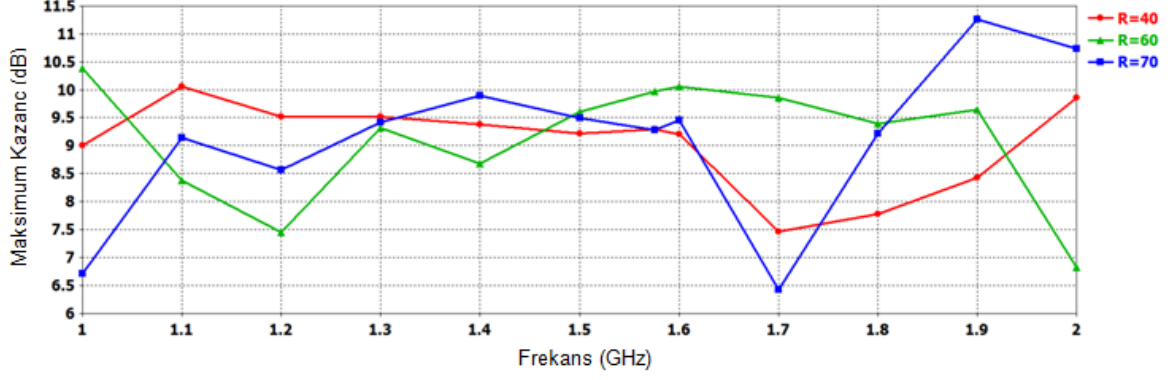
Şekil 6. 9. E-düzlemi uzak alan örüntüleri (a)f=1 GHz, (b)f=1.2 GHz, (c)f=1.4 GHz, (d)f=1.8 GHz, (e)f=2 GHz

Maksimum kazanç değerleri 8-10dB arasında değişen bu anten türünde, 1.8 GHz ve 2 GHz'de anten sıfır (null)-eksenel moda sahip olduğundan maksimum ışınım yönü  $\theta = 5 - 15^\circ$  de gerçekleşmektedir.

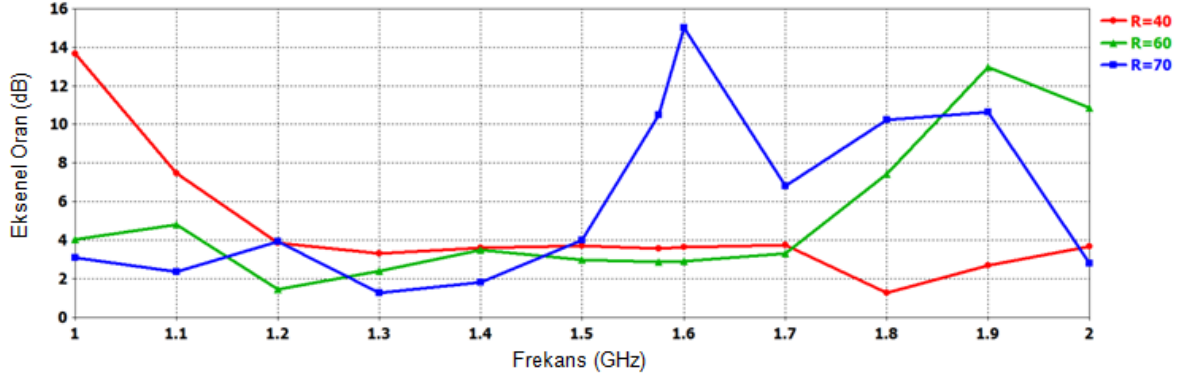
Tasarımdaki en önemli parametre olan R'nin farklı değerlerinde (R=40,60,70mm) kazanç ve  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  iken aksenal oran eğrileri Şekil 6.10 ve 6.11'de verilmiştir. R değeri arttıkça aksenal oran eğrisinde bant başındaki  $C = \lambda$  eşitliği bozulur. Ancak yine de çok artmadığı için ( $C = 1.1 \lambda$ ) bant başında iyileşme görülür. Fakat R değişimi sonuncunda

bant sonundaki  $2\lambda$ 'dan sapmalar arttığı için bant sonunda kötüleşme meydana gelir. Anteni farklı frekans bantlarına taşıma bu R parametresini değiştirerek yapılır [18]. İncelemede kalan anten parametreleri ise sabit tutulmuştur.

$$N=5.9, S=16mm \text{ ve } r_o=1mm.$$



Şekil 6. 10. Farklı küre yarıçapları için (R=40, 60, 70 mm) maksimum kazanç eğrisinin frekansa göre değişimi



Şekil 6. 11.  $\varphi = 90^\circ$  ve  $\theta = 0^\circ$  iken farklı küre yarıçapları için (R=40,60,70 mm) eksenel oran eğrisinin frekansa göre değişimi

## 7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Sarmal antenler temelde 2 ayrı ışına gösterirler. Bunlar normal mod ve eksenel moddur. (Küresel sarmal antenlerde ise sıfır (null)-eksenel mod mevcuttur.) İhtiyaca göre veya hangi polarizasyonda ışın yapılması isteniyorsa ona göre iki moddan birine uygun tasarım gerçekleştirilir. Normal mod sarmal anten uzama yönüne dik yönde maksimum yayımı yapar ve fiziksel uzunluklarını aynı tip polarizasyona sahip olan dipol antenlerle kıyaslanarak avantajı ortaya konulur. Eksenel mod için ise incelenen 4 farklı yapının birbirine göre avantajı ve dezavantajı mevcuttur. Tasarlanan anten için iyi olması istenen birden çok parametre vardır. Tasarım gerçekleştirilirken temelde istenilen şey fiziksel olarak az yer kaplayarak maksimum performansı elde etmektir. Sarmal tip antenlerde çoğu zaman bunu gerçekleştirmek kolay olmaz. Her bir farklı sarmal tip antenin birbirine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Antenin kazancı, eksenel oranı, gücün yarıya düşme genişliği, -10 dB bant genişliği ve anten giriş empedansının kolay uyumlanabilmesi tüm anten tasarımını ve seçimini etkileyen anten özellikleridir. Bunların her birinin değeri antenin performansı ve kullanılabilirliği açısından tercih sebebi olmaktadır. Çizelge 7.1’de tez boyunca incelenen 4 farklı eksenel moda sahip sarmal anten için karşılaştırmalı performans değerlendirmeleri yer almaktadır. Giriş empedansları tamamen gerçel değere ulaştığı rezonans frekansı için verilmiştir. Kazanç sonuçları, gücün yarıya düşme genişliği yaklaşık bir değeri ifade etmektedir. Eksenel oran için ise belirleyici olan eksenel oranın ne kadar 1 e yakın olduğudur. Bandın geniş ve çok geniş olması ne kadar geniş bir frekans bandında antenin 1 civarında bir eksenel orana sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. 1. Farklı sarmal anten tipleri için anten performans ve özellikleri

|   | Eksenel Mod Sarmal Anten (Silindir Sarmal Anten) | Quadrifiliar Sarmal Anten                            | Spiro Sarmal Anten                               | Küresel Sarmal Anten                             |
|---|--|--|--|--|
| Anten boyu (h)                              | $\lambda$  | $0.5 \lambda$  | $1.5 \lambda$                                    | $0.5 \lambda$                                    |
| Giriş Empedansı (Z, $\Omega$ )              | $\approx 140 \Omega$                             | $\approx 40 \Omega$                                  | $\approx 290 \Omega$                             | $\approx 40-75 \Omega$                           |
| Anten bir tur çevresi (C)                   | $\approx \lambda$                                | $\approx 0.5 \lambda$                                | $\approx \lambda$                                | $\approx 1.5 \lambda$ (En geniş yerde)           |
| Kazanç (dB)                                 | 9  | 5  | 8-9  | 9  |
| -10 dB bant genişliği                       | 800-900MHz(%60)                                  | 100MHz   | 800MHz   |  |
| Gücün yarıya düşme genişliği ( $^{\circ}$ ) | 55   | 140  | 70   | 80-90  |
| Eksenel oran, Polarizasyon                  | Geniş bir frekans bandında dairesel polarizasyon | Çok geniş bir frekans bandında dairesel polarizasyon | Geniş bir frekans bandında dairesel polarizasyon | Geniş bir frekans bandında dairesel polarizasyon |

Anten boyutunu kısaltmak ve performansı arttırmak için uygulanan metotlar sonucunda eksenel moda sahip olan silindir anten boyu yaklaşık %22 kısalsa da ( $h \approx 3\lambda/4$ ) yine de en kısa anten boyu quadrifiliar ve küresel sarmal antenlerde görülmektedir. Yaklaşık boyu  $0.5 \lambda$  olan quadrifiliar sarmal anten dielektrik etrafına sarılarak tasarlandığında boyu  $0.4 \lambda$ 'ya kadar kısalma sağlanabilmektedir ancak maksimum kazancı 4dB'ye düşmektedir. Genel olarak incelenen tüm sarmal anten tiplerine bakınca, en kısa yükseklik dielektrik etrafına sarılı quadrifiliar sarmal antende ve küresel sarmal antende elde edilmiştir. ( $0.4 \lambda - 0.5\lambda$ ) En iyi kazanç konik toprak yüzey ile tasarlanan silindirik sarmal antende, metal halka veya metal plaka ile sonlandırılmış silindirik sarmal antende ve yine iki farklı kalkış açısına sahip olan silindirik sarmal anten ile spiro anten ve küresel sarmal antende elde edilmiştir (10-12 dB ). En iyi dairesel polarizasyona sahip anten quadrifiliar sarmal anten olmaktadır. (Oldukça geniş bantta eksenel oran 1 civarında çıkmaktadır.) Gücün yarıya düşme genişliği en yüksek olan tasarım, quadrifiliar sarmal antende dielektriğe sarılı veya sarılı olmadığı durumda görülmüştür. ( $140^{\circ}-160^{\circ}$ ) En iyi VSWR eğrisi ise silindirik sarmal antende ve spiro sarmal antende elde edilmiştir. (L bandı boyunca VSWR eğrisi 3'ün altında kalmaktadır.)

## KAYNAKLAR

- [1] Kraus, J.D., *Antennas*, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, **1988**.
- [2] Balanis, C., *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, **1982**.
- [3] Tsukiji, T., Yamasaki, M. and Miyahara K., “Normal Mode Helical Antenna for Wireless LAN”, *Itg Fachbericht*, pp.195-198, **2003**.
- [4] Ripin, N., Sulaiman, A.A., Rashid, N.E.A. and Hussin, M.F., “Design and Analysis of Defected Ground Structure (DGS) in Normal Mode Helical Antenna”, *IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)*, pp.170–175, September **2014**.
- [5] Vaugfmm, R.G. and Andersen, B., “Polarization Properties of the Axial Mode Helix Antenna”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.33, pp.10–20, January **1985**.
- [6] Shi, Y. and Whites, K.W., “Miniaturization of Helical Antennas using Dielectric Loading”, *2014 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation Wireless Communication*, pp.163–166, August **2014**.
- [7] Young, M.B., O’Connor, K.A. and Curry, R.D., “Reducing the Size of Helical Antennas by means of Dielectric Loading”, *2011 IEEE Pulsed Power Conference*, pp.575–579, **2011**.
- [8] Cai, R.N. Lin, S., Wang, L.N., Wang, J.Y., Lü, Y.L., Huang, G.L., Qiu, J.H. and Wang, J.X., “Design and Experiment of a High Gain Axial-mode Helical Antenna”, *IEEE 12th International Conference on Communication Technology*, pp.522–525, **2010**.
- [9] Xu, P., Yan, Z.H., Yuan, G. and Zhang, T.L., “Design of a High Gain Axial-mode Helical Antenna with a Loaded Plate”, *2013 International Workshop on Microwave and Millimeter Wave Circuits and System Technology*, pp.113–115, **2013**.
- [10] Wu, Y. and Li, J. L.W., “Gain Enhancement of Axial-mode Helical Antenna with a Cylindrical Ring”, *2012 10th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, ISAPE 2012*, pp.128–132, **2012**.
- [11] Whelpton. J., Hodgson, C., Sultan, N. and Moody, M., “Novel Broadband Double Pitch Cylindrical Helical Antenna”, *IEEE Antennas Propagation Society International Symposium*, vol.22, pp.162–165, June **1984**.
- [12] Mimaki, H. and Nakano, H., “Double Pitch Helical Antenna”, *IEEE Antennas Propagation Society International Symposium*, vol.4, pp.2320–2323, **1998**.
- [13] Škiljo, M., Blažević, Z., Jurišić, A. and Pandžić, K., “Improving the Helical Antenna Performance by Changing the Pitch Angle and the Shape of Reflector”, *2010 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pp.4–8, **2010**.

- [14] Olćan, D.I., Zajić, A.R., Ilić, M.M. and Djordjević, A.R., “On the Optimal Dimensions of Helical Antenna with Truncated-Cone Reflector”, *First European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP*, pp.1–6, **2006**.
- [15] Djordjević, A.R., Zajić, A.G. and Ilić, M.M., “Enhancing the Gain of Helical Antennas by Shaping the Ground Conductor”, *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters.*, vol.5, pp.138–140, **2006**.
- [16] Sadeghkia, F., Mahmoodi, M., Hashemi-Meneh, H. and Ghayoomeh, J., “Helical Antenna over Different Ground Planes”, *8th European Conference Antennas and Propagation, EuCAP 2014*, pp.2185–2188, **2014**.
- [17] Ghoreishian, I., “*The Spiro-Helical Antenna*”, Master of Science”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, **1999**.
- [18] Winkle, J.L., Street, M. and Si, S., “*Optimization of a Spherical Helical Antenna*”, October, **2007**.
- [19] Jazi, A.S. and Cardoso, J.C., “Radiation Characteristics of a Spherical Helical Antenna”, *Microwaves, Antennas and Propagation*, vol.143, pp.7–12, February **1996**.
- [20] Carver, K.R., “The Helicone-A Circularly Polarized Antenna with Low Sidelobe Level”, *Proceedings of the IEEE*, vol.55, pp.559, April **1967**.
- [21] Lan, C. and Kiang, J., “Quadrifilar Helix Antenna for GPS Applications”, *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol.1, pp.639–642, **2004**.
- [22] Marini, D., “Experimental Investigation of Quadrifilar Helix Antennas for 2400 MHz”, *The AMSAT Journal*, pp.6–10, **2004**.
- [23] Tang, I.T., Lin, D.B. and Lu, T.H., “Apply the Slow Wave Effect to Design the Compact Antenna”, *Microwave Journal*, vol.55, no.6, pp.96-105, **2008**.
- [24] King, H., Wong, J., “Characteristics of 1 to 8 Wavelength Uniform Helical Antennas”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.28, pp.291–296, March **1980**.
- [25] Ochiyama, K., Mouri, K., Michishita, N. and Yamada, Y., “Effects of Dielectric and Magnetic Materials on Antenna Performances of Very Small Normal-mode Helical Antennas”, *2012 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications*, pp.1–4, **2012**.
- [26] Hui, H.T., Ho, Y.A. and Yung, E.K.N., “Cylindrical DR Rod Antenna Fed by a Short Helix”, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol.3, pp.1946–1949, **1996**.
- [27] Nakano, H., Yamauchi, J. and Mimaki, H., “Backfire Radiation from a Monofilar Helix with a Small Ground Plane”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.36, no.10, pp.1359–1364, **1988**.
- [28] Angleakos, D.J. and Kajfez, D., “Modifications on the Axial-Mode Helical Antenna”, *Proceedings of the IEEE*, vol.55, no.4, pp.558–559, **1967**.

- [29] Soni, P. and Sharma, S., “Doubly Helical Antenna by Spiro Mode Maintaining Radiation”, *International Journal Scientific and Research Publications*, vol.3, no. 4, pp.1–6, **2013**.
- [30] Kraus, J., “A 50-ohm Input Impedance for Helical Beam Antennas”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.25, pp.913–914, November **1977**.
- [31] Selçuk, A. and Saka, B., “Eğri Parçalı Moment Yöntemi ile Parabolik Sarmal Anten Çözümlemesi”, *URSI-Türkiye 2004 2.Ulusal Kongresi*, pp.81–83, Eylül **2004**.
- [32] Kraus, J.D. and Williamson, J.C., “Characteristics of Helical Antennas Radiating in the Axial Mode”, *Journal of Applied Physics*, vol.19, pp.87–96, **1948**.
- [33] Abdullah, S., Damit, D.S.A., Meng, B.C.C. and Baharuddin, R., “2.46 GHz Reduce Size Helical Antenna Simulation”, *2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, (ICCSCE), pp.421–425, **2011**.
- [34] Safavi-Naeini, A.H. and Ramahi, O., “Miniaturizing the Axial Mode Helical Antenna”, *2008 Second International Conference on Communications and Electronics*, pp.374–379, **2008**.
- [35] Konakyeri, E., Paker, S. and Palamutcuogullari, O., “GPS Helix Antenna Design”, *Istanbul Univ. - Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol.9, no.2, pp.935–941, **2009**.
- [36] Application Notes Construction Details for a GPS Helix Antenna, <http://www.gpscreations.com/NewFiles/GPS%20Helical%20Antenna%20Design.pdf> (Aralık, **2017**)
- [37] Lan, C.W and Kiang, J.F., “Quadrifilar Helix Antenna for GPS Applications”, *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol.2, pp.639–642, **2004**.
- [38] Ermutlu, M.E., “Modified Quadrifilar Helix Antennas for Mobile Satellite Communication”, *Antennas and Propagation for Wireless Communications*, pp.141–144. November **1998**.
- [39] Kim, U., Choi, S. and Kim, G., “Wide Beamwidth Quadrifilar Helix Antenna with Improved Axial Ratio”, *2016 International Symposium on Antennas and Propagation*, vol.120, pp.724–725, **2016**.
- [40] Huang, X. and Pan, J., “Design of the Top-loaded Quadrifilar Helix Antenna for Low Profile Applications”, *11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)*, pp.25–27, **2016**.
- [41] Tranquilla, J.M. and Best, S.R., “The Quadrifilar Helix as A GPS Receiver Antenna”, *Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics*, **1986**.
- [42] Kilgus, C.C., “Resonant Quadrifilar Helix”, *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, pp.349–351, May **1969**.
- [43] Kilgus, C.C., “Resonant Quadrifilar Helix Design”, *Microwave Journal*, pp.49–54, December **1970**.

- [44] Kilgus, C.C., “Shaped-Conical Radiation Pattern Performance Of The Backfire Quadrifilar Helix”, *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol.3, pp.392–397, May **1975**.
- [45] Lan, C.W. and Kiang, J.F., “Quadrifilar Helix Antenna for GPS Applications”, *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol.1, pp.639-642, March **2004**.
- [46] Selçuk A., Saka, B. “*Eğri Parçalı Moment Yöntemi ile Sarmal Anten Çözümlemesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2003**.
- [47] Antenna Designer, [http://antennadesigner.org/polarization\\_loss\\_given\\_a-r.html](http://antennadesigner.org/polarization_loss_given_a-r.html) (Aralık, **2017**)



# ÖZGEÇMİŞ

## Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Ertuğ ERDEM

Doğum Yeri: ANKARA

Medeni Hali: Bekar

E-posta: [erdemertug@gmail.com](mailto:erdemertug@gmail.com)

## Eğitim

Lisans: HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK VE ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ (2009-2014)

## Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce- İyi

## İş Deneyimi:

2015-

ASELSAN Elektronik Sanayi A.Ş



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 12/12/2017

Tez Başlığı / Konusu: Sarmal Antenlerin Boyutlarının Küçültülmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 80 sayfalık kısmına ilişkin, 06/11/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar ~~hariç~~/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: ERTUĞ ERDEM

Öğrenci No: N14127839

Anabilim Dalı: ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı:

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)