

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMI**

**NURDAN TÜRKER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. NURHAN TÜRKER TOKAN**

**İSTANBUL, 2014**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMI**

Nurdan TÜRKER tarafından hazırlanan tez çalışması 11.08.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Çağatay ULUIŞIK

Doğuş Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Bu alışma, Tübitak Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nn 113E089 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Yapılan bu çalışmada bana her zaman rehber olan, bilgi birikimini ve desteğini hiç esirgemeyen hocam ve tez danışmanım, ablam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN' a ve değerli hocam, sevgili abim Sayın Arş. Gör. Dr. Fikret TOKAN' a, beni bu günlere getiren canım aileme, ayrıca her zaman manevi desteğini yanımda hissettiren, hiçbir zaman beni tek başıma bırakmayan arkadaşlarım Baki SÖNMEZ ve Hande TOPTAŞ' a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bu çalışmanın okuyan her mühendise, mühendis adayına, bilim insanına faydalı ve yol gösterici olmasını dilerim.

Mayıs, 2014

Nurdan TÜRKER

## İÇİNDEKİLER

|                                                 | Sayfa |
|-------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....                              | vii   |
| KISALTMA LİSTESİ.....                           | viii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                              | ix    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                           | xiii  |
| ÖZET .....                                      | xiv   |
| ABSTRACT.....                                   | xv    |
| BÖLÜM 1                                         |       |
| GİRİŞ.....                                      | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....                    | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....                        | 2     |
| 1.3    Orijinal Katkı.....                      | 4     |
| BÖLÜM 2                                         |       |
| OTOMOTİV RADAR ANTENLERİ .....                  | 5     |
| BÖLÜM 3                                         |       |
| DİELEKTRİK LENS ANTENLER .....                  | 12    |
| 3.1    Besleme Anteni Tasarımı .....            | 16    |
| 3.2    Yarıküresel Lens Antenler .....          | 18    |
| 3.2.1    Yarıküresel Lens Anten .....           | 18    |
| 3.2.2    Uzatılmış Yarıküresel Lens Anten ..... | 26    |
| 3.3    Planoküresel Lens Anten.....             | 34    |

|                        |                                                   |    |
|------------------------|---------------------------------------------------|----|
| 3.4                    | İkili Lens Antenler.....                          | 41 |
| 3.4.1                  | Dielektrik Sabitinin Etkisi .....                 | 46 |
| 3.5                    | Lens Antenler İçin Uydurma Katmanı Tasarımı ..... | 53 |
| 3.5.1                  | $\lambda/4$ Uydurma Katmanı .....                 | 56 |
| 3.5.2                  | Oluklu Uydurma Katmanı .....                      | 68 |
| BÖLÜM 4                |                                                   |    |
| FAZ BOZULMALARI.....   |                                                   | 75 |
| 4.1                    | Faz Merkezi Tanımı .....                          | 75 |
| 4.2                    | Lens Antendeki Faz Bozulmaları .....              | 76 |
| BÖLÜM 5                |                                                   |    |
| SONUÇ ve ÖNERİLER..... |                                                   | 84 |
| KAYNAKLAR.....         |                                                   | 86 |
| EK - A                 |                                                   |    |
| GO/PO YÖNTEMİ.....     |                                                   | 89 |
| ÖZGEÇMİŞ.....          |                                                   | 96 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| $\lambda$       | Dalga boyu                    |
| $\epsilon_r$    | Dielektrik sabiti             |
| $\delta$        | Kayıp tanjantı                |
| $\Theta$        | Theta açısı                   |
| $\varnothing_1$ | Taban lensi çapı              |
| $\varnothing_2$ | Amaç lensi çapı               |
| D               | Lensler arasındaki uzaklık    |
| F               | Amaç lensinin odak uzaklığı   |
| L               | Küresel lensin uzatma miktarı |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|        |                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------|
| ACC    | Adaptive Cruise Control (Uyarlanabilir Seyir Kontrol)                |
| CST    | Computer Simulation Technology (Bilgisayar Benzetim Teknolojisi)     |
| FDTD   | Finite Difference Time Domain (Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu) |
| FIT    | Finite Integration Tecnique (Sonlu İntegrasyon Tekniği)              |
| GO/PO  | Geometrik Optik/Fizik Optik                                          |
| IETR   | Institute of Electronics and Telecommunications of Rennes            |
| MatLab | Matrix Labarotary                                                    |
| UK     | Uydurma Katmanı                                                      |
| UMR    | Uzak Menzil Radarı                                                   |
| USK    | Uyarlanabilir Seyir Kontrolü                                         |
| YMR    | Yakın Menzil Radarı                                                  |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                  | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1 Otomotiv radar uygulamaları .....                                                                                                                                      | 1     |
| Şekil 1.2 İki lensin bir arada kullanılması ile huzme tarama performansının arttırılması<br>örneği .....                                                                         | 3     |
| Şekil 2.1 Bosch firmasına ait LRR3 model lens anten (a) Katmanlı görünüm (b)<br>Perspektif görünüm (c) Besleme yapısı .....                                                      | 6     |
| Şekil 2.2 Görüş açısının görüş menzili ile değişimi [9] .....                                                                                                                    | 7     |
| Şekil 2.3 Uzatılmış dielektrik lens anten .....                                                                                                                                  | 8     |
| Şekil 2.4 Besleme anteninin konumunun değiştirilmesi ile huzme tarama (a) Merkezden<br>uyarılmış (b) Lensin merkezinden X kadar uzaklıkta uyarılmış .....                        | 9     |
| Şekil 2.5 İkili lens anteninin genel parametreleri .....                                                                                                                         | 11    |
| Şekil 3.1 Uzatılmış dielektrik lens anten [17] .....                                                                                                                             | 13    |
| Şekil 3.2 Küresel lens anten [18] .....                                                                                                                                          | 13    |
| Şekil 3.3 Bir yüzü düz bir yüzü dışbükey lens anten [19] .....                                                                                                                   | 13    |
| Şekil 3.4 Bifokal lens anten [20] .....                                                                                                                                          | 13    |
| Şekil 3.5 Optimize edilmiş lens anten [21] .....                                                                                                                                 | 14    |
| Şekil 3.6 Dalgaın (a) dielektrik sabiti yüksek ortamdan düşük ortama (b) kritik açıdan<br>büyük geliş açısıyla (c) dielektrik sabiti düşük ortamdan yüksek ortama geçişi .....   | 15    |
| Şekil 3.7 Besleme anteni (a) Üstten görünüm (b) Yandan görünüm .....                                                                                                             | 16    |
| Şekil 3.8 Besleme antenine ait $S_{11}$ grafiği .....                                                                                                                            | 17    |
| Şekil 3.9 Besleme anteninin (a) üst perspektif görünümü (b) alt perspektif görünümü<br>(c) üstten görünümü .....                                                                 | 18    |
| Şekil 3.10 Yarıküresel anten ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm ..                                                                                | 19    |
| Şekil 3.11 Yarıküresel lens anteninin $S_{11}$ değişimi .....                                                                                                                    | 19    |
| Şekil 3.12 Yarıküresel anteninin farklı besleme noktalarından uyarılması ile elde edilen<br>ışınma örüntüleri .....                                                              | 20    |
| Şekil 3.13 $\epsilon_r = 3.01$ olan yarıküresel lensin (a) $x=0$ mm (b) $x=2$ mm (c) $x=4$ mm (d) $x=6$<br>mm (e) $x=8$ mm besleme noktasındaki verici durum ışın takibi .....   | 21    |
| Şekil 3.14 $\epsilon_r = 3.01$ olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$<br>(d) $30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ ..... | 23    |
| Şekil 3.15 $\epsilon_r = 9$ olan yarıküresel lensin (a) $x=0$ mm (b) $x=2$ mm (c) $x=4$ mm besleme<br>noktasındaki verici durum ışın takibi .....                                | 24    |
| Şekil 3.16 $\epsilon_r = 9$ olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d)<br>$30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ .....    | 25    |
| Şekil 3.17 Uzatılmış yarıküresel lens anten (a) Yan görünümü (b) Perspektif görünümü<br>.....                                                                                    | 26    |

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.18 Uzatılmış yarıküresel lens antenin $S_{11}$ değişimi .....                                                                                                                                                       | 27 |
| Şekil 3.19 Uzatılmış yarıküresel lensin ( $\epsilon_r = 3.01$ ) kazanç örüntüsü .....                                                                                                                                       | 27 |
| Şekil 3.20 $\epsilon_r = 3.01$ olan uzatılmış yarıküresel lensin farklı besleme konumlarındaki verici durum ışın takibi (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm .....                    | 29 |
| Şekil 3.21 Uzatılmış yarıküresel lensin alıcı durum davranışı ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ .....                                                                      | 30 |
| Şekil 3.22 Uzatılmış yarıküresel lens antenin $S_{11}$ grafiği .....                                                                                                                                                        | 30 |
| Şekil 3.23 Uzatılmış yarıküresel lensin ( $\epsilon_r = 9$ ) kazanç örüntüsü .....                                                                                                                                          | 31 |
| Şekil 3.24 $\epsilon_r = 9$ olan uzatılmış yarıküresel lens antenin verici durum ışın takibi (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm .....                                                              | 32 |
| Şekil 3.25 Uzatılmış yarıküresel lens anten alıcı durumda ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ .....                                   | 33 |
| Şekil 3.26 Planoküresel lens anten (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm .....                                                                                                                                          | 34 |
| Şekil 3.27 Planoküresel antenin farklı besleme noktalarından uyarılması ile elde edilen ışın örüntüleri .....                                                                                                               | 35 |
| Şekil 3.28 Planoküresel lens anten verici durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm (f) $x = 10$ mm .....                                        | 36 |
| Şekil 3.29 Planoküresel lens anten alıcı durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ .....                                                                         | 37 |
| Şekil 3.30 ( $\epsilon_r = 9$ ) olan planoküresel lensin farklı konumlardan beslenmesi ile elde edilen ışın örüntüsü .....                                                                                                  | 38 |
| Şekil 3.31 Planoküresel lensin açısındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm (f) $x = 10$ mm .....                                    | 39 |
| Şekil 3.32 Planoküresel lensin alıcı durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ .....                                                                                | 40 |
| Şekil 3.33 Yarıküresel ve planoküresel lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a) yandan (b) perspektif görünümü .....                                                                            | 41 |
| Şekil 3.34 Açıklık kuplajlı mikroşerit anten ile beslenmiş ikili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) geri dönüş kaybı .....                                                                    | 41 |
| Şekil 3.35 (a) İkili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) CST ve GO/PO' da elde edilen kazanç ışın örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm .....                                                        | 42 |
| Şekil 3.36 Verici durumda ikili lens antenin farklı besleme noktalarındaki ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm ..... | 44 |
| Şekil 3.37 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ .....                  | 46 |
| Şekil 3.38 İkili lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünümü .....                                                                                               | 47 |
| Şekil 3.39 İkili lens antenin ( $\epsilon_1 = 3.01$ , $\epsilon_2 = 9$ ) $S_{11}$ değişimi .....                                                                                                                            | 47 |
| Şekil 3.40 (a) İkili lens antenin ( $\epsilon_1 = 3.01$ , $\epsilon_2 = 9$ ) ışın örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm .....                                                                                                     | 48 |
| Şekil 3.41 İkili lens antenin farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm .....      | 50 |
| Şekil 3.42 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ .....                     | 52 |
| Şekil 3.43 Uydurma katmanları .....                                                                                                                                                                                         | 54 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.44 Uydurma katmanlarının etkisi (a) $S_{11}$ değişimi (b) E-düzleminde yönlendiricilik (c) H-düzleminde yönlendiricilik .....                                                                                                                                                                                   | 55 |
| Şekil 3.45 $\lambda/4$ uydurma katmanlı ( $\epsilon_{r,UK} = 3.01$ ) lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) Yandan görünüm; (b) Perspektif görünüm; (c) Kesit görünüm .....                                                                                                                    | 56 |
| Şekil 3.46 $\lambda/4$ uydurma katmanlı lens anten yapısı .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 57 |
| Şekil 3.47 $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ olan ikili lens antende uydurma katmanın etkisi (a) $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm (b) $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm .....                                                                                                                                               | 58 |
| Şekil 3.48 $\lambda/4$ uydurma katmanlı ikili lens antenin farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) $x = 0$ mm (b) $x = 2$ mm (c) $x = 4$ mm (d) $x = 6$ mm (e) $x = 8$ mm .....                                                                     | 59 |
| Şekil 3.49 Alıcı durumda $\lambda/4$ uydurma katmanlı lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) ışın takibi (a) $0^\circ$ (b) $10^\circ$ (c) $20^\circ$ (d) $30^\circ$ (e) $40^\circ$ (f) $50^\circ$ .....                                                                                          | 61 |
| Şekil 3.50 Farklı malzemelerle tasarlanan ikili lens anten kesit görünümü .....                                                                                                                                                                                                                                         | 61 |
| Şekil 3.51 İkili lens antenin ışınma örüntüsü ( $\epsilon_{r1} = 9$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a) $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm (b) $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm .....                                                                                                                                                        | 62 |
| Şekil 3.52 İkili lens antenin ışınma örüntüsü ( $\epsilon_{r1} = 9$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm (b) $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm .....                                                                                                                                                           | 63 |
| Şekil 3.53 İkili lens antenlerin yönlendiriciliğinin tarama açısıyla değişimi (a) $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm (b) $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm .....                                                                                                                                                                         | 67 |
| Şekil 3.54 İkili lens antenlerde besleme konumu ile tarama açısının değişimi (a) $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm (b) $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm .....                                                                                                                                                                          | 68 |
| Şekil 3.55 77 GHz' de $\epsilon_{r2} = 9$ a uydurma için tasarlanan dairesel oluk (a) Yandan görünüm (b) Üstten görünüm .....                                                                                                                                                                                           | 69 |
| Şekil 3.56 Oluklu uyum katmanlı ikili lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm (c) Kesit görünüm .....                                                                                                                                                     | 70 |
| Şekil 3.57 Oluklu uydurma katmanlı ikili lens antenin $S_{11}$ değişimi .....                                                                                                                                                                                                                                           | 70 |
| Şekil 3.58 (a) Oluklu uyum katmanlı lens antenin CST ve GO/PO' dan elde edilen kazanç ışınma örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm .....                                                                                                                                                                                      | 71 |
| Şekil 3.59 Oluklu uyum katmanlı lens antenin $X=0$ mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışınma örüntüsü (a) Kesit görünümü (b) Perspektif görünüm (c) Güç ışıması .....                                                                                                                                                 | 72 |
| Şekil 3.60 Oluklu uyum katmanlı lens antenin $X=2$ mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışınma örüntüsü (a) Kesit görünümü (b) Perspektif görünüm (c) Güç ışıması .....                                                                                                                                                 | 73 |
| Şekil 3.61 Oluklu uyum katmanlı lens antenin $X=4$ mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışınma örüntüsü (a) Kesit görünümü (b) Perspektif görünüm (c) Güç ışıması .....                                                                                                                                                 | 74 |
| Şekil 3.62 Oluklu uyum katmanlı lens antenin $X=6$ mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışınma örüntüsü (a) Kesit görünümü (b) Perspektif görünüm (c) Güç ışıması .....                                                                                                                                                 | 74 |
| Şekil 4.1 Çok geniş bantlı bir antenin alçak ve yüksek frekanslardaki faz merkezleri ....                                                                                                                                                                                                                               | 75 |
| Şekil 4.2 Bir antenin faz merkezindeki ışınma örüntüsü ve faz değişimi [23] .....                                                                                                                                                                                                                                       | 76 |
| Şekil 4.3 Faz bozulmaları incelenen anten yapıları (a) Yarıküresel lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ) (b) İkili dielektrik lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (c) İkili dielektrik lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 9$ ) (d) Oluklu uyum katmanlı lens anten ..... | 77 |
| Şekil 4.4 Besleme anteninin $X=0$ mm' de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışınma örüntülerinin faz değişimleri .....                                                                                                                                                                                            | 79 |
| Şekil 4.5 Besleme anteninin $X=2$ mm' de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışınma örüntülerinin faz değişimleri .....                                                                                                                                                                                            | 80 |

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.6 Besleme anteninin $X=4\text{ mm}'$ de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışıma örüntülerinin faz değişimleri .....                                                     | 81 |
| Şekil EK-A.1 Noktasal kaynağın elektrik alanı .....                                                                                                                                    | 89 |
| Şekil EK-A.2 Işın takip metodunun lens anten içerisinde gösterimi .....                                                                                                                | 90 |
| Şekil EK-A.3 $S_1$ and $S_2$ dielektrik alanlarında ışınların yayılımı .....                                                                                                           | 91 |
| Şekil EK-A.4 (a) TE modu ve (b) TM modu için elektrik alanların ortam geçişleri .....                                                                                                  | 91 |
| Şekil EK-A.5 Gelen ışın dalgalarının ikinci ortama geçişi .....                                                                                                                        | 93 |
| Şekil EK-A.6 (a) Sonsuz toprak yüzeyi için Huygen yüzeyi (b) imaj yöntemiyle elde edilmiş hali .....                                                                                   | 94 |
| Şekil EK-A.7 İmaj yöntemi ve PO algoritması beraber kullanıldığında herhangi bir P noktasındaki elektrik alan ve magnetik alan (EK-A. 22) ve (EK-A. 23) ile formüle edilmesi[2]. ..... | 94 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1 Farklı firmalara ait lens anten yapıları .....                                                                                                                | 5     |
| Çizelge 2.2 Uzak ve yakın menzil radarı için önemli parametreler .....                                                                                                    | 8     |
| Çizelge 2.3 Uzatılmış yarıküresel, planoküresel ve biküresel lens antenlerin karşılaştırmalı performansları .....                                                         | 9     |
| Çizelge 3.1 $\epsilon_{r1} = 1$ , $\epsilon_{r2} = 3$ ve $\epsilon_{r3} = 9$ dielektrik sabitleri için 77GHz frekansına ışıma yapan besleme anteninin parametreleri ..... | 17    |
| Çizelge 3.2 Uzatılmış yarıküresel lens ( $\epsilon_r = 3.01$ ) antenin performans analizi.....                                                                            | 28    |
| Çizelge 3.3 Uzatılmış yarıküresel lens ( $\epsilon_r = 9$ ) antenin performans analizi.....                                                                               | 31    |
| Çizelge 3.4 Planoküresel lens antenin performans analizi .....                                                                                                            | 35    |
| Çizelge 3.5 $\epsilon_r = 9$ planoküresel lens antenin performans analizi.....                                                                                            | 38    |
| Çizelge 3.6 İkili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ , $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) huzme yönlendirme performansı .                                                        | 43    |
| Çizelge 3.7 İkili lens antenin ( $\epsilon_1 = 3.01$ , $\epsilon_2 = 9$ ) huzme yönlendirme performansı .....                                                             | 49    |
| Çizelge 3.8 $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm olan ikili lens yapılarında dielektrik sabiti ve uydurma katmanının etkisi.....                                                     | 64    |
| Çizelge 3.9 Oluklu uyum katmanlı lens antenin huzme yönlendirme performansı .....                                                                                         | 72    |
| Çizelge 4.1 3 dB band genişliğinde faz değişimi CST sonuçları .....                                                                                                       | 82    |

### OTOMOTİV UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMI

Nurdan TÜRKER

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Günümüzde otomotiv radarları ile hız kontrolü, çarpışma uyarı, çarpışma hafifletme, şerit takip, mesafe koruma ve kör nokta algılama gibi sistemler yapılabilmektedir. Bu tip sistemlerin performansı anten performansı ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde "Uyarlanabilir Seyir Kontrolü (USK)" amacıyla kullanılan en gelişmiş anten çözümleri milimetre dalgaboylarında (77 GHz) çalışmaktadır.

Yeni nesil milimetre-dalga otomotiv radarları, 77/79 GHz merkez frekansında çalışan 4-GHz band genişliğine sahip kısa mesafe radarları olacaktır. Bu yapılar çoklu huzme veya huzme tarama şemaları, 80°' ye kadar görüş açısı, 25 dB' nin altında çapraz polarizasyon seviyesine sahip olacaklardır. Elde edilmesi zor niteliklerinden dolayı yeni anten mimarileri için geliştirme yapılması gerekmektedir. Bu tezde yeni nesil milimetre-dalga otomotiv radarının ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, yeni bir lens anten yapısı tasarlamak hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, bilinen dielektrik lens anten yapıları karşılaştırmalı olarak incelenmiş, yeni nesil milimetre-dalga otomotiv radarının ihtiyaçlarına ve en iyi sonuçları üreten ikili lens anten mimarisi üzerine çalışılmıştır. İkili lens anten, yarıküresel lens ve planoküresel lensten oluşmaktadır. Lenslerde kullanılan malzemelerin dielektrik sabitlerinin ve yüksek dielektrik sabitine sahip lenslere uygulanan uydurma katmanlarının etkisi incelenmiştir. Karşılaştırma için GO/PO (Geometrik Optik/Fizik Optik) metodu, CST simülasyonları ve ışın takip algoritması kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dielektrik lens anten, otomotiv radar antenleri, ışın takibi, planoküresel lens, yarıküresel lens, GO/PO

**DIELECTRIC LENS ANTENNA DESIGN for AUTOMOTIVE APPLICATIONS**

Nurdan TÜRKER

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Today, with automotive radars, it is possible to have speed control, collision warning, collision mitigation, lane change assist, headway alert, blind spot detection systems. The performance of such systems is directly related with the performance of the antenna front end. At millimeter waves, the most advanced antenna solutions available today are for adaptive cruise control (ACC) applications at 77 GHz frequency.

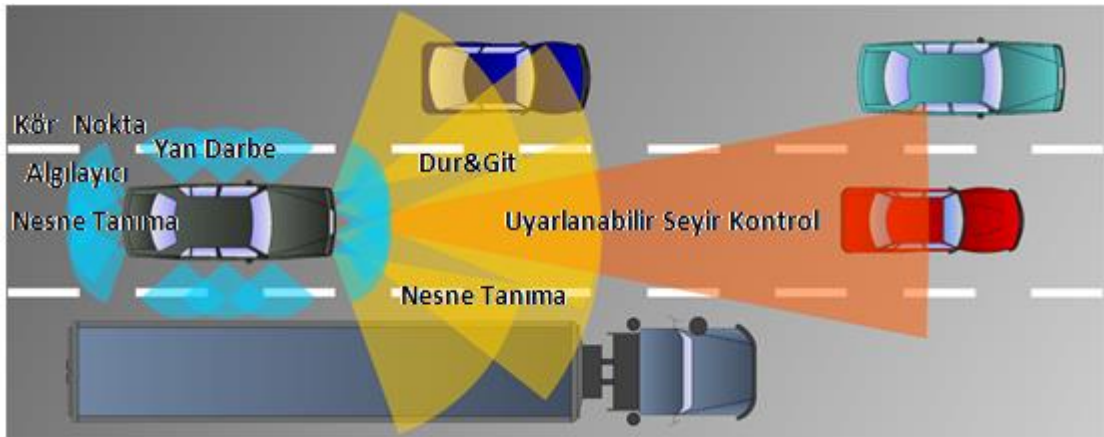
The next generation of millimeter-wave automotive radars will consist of short range radars operating over a 4-GHz bandwidth centered at 77/79 GHz frequency band and they will have specifications like multiple beam or beam scanning schemes, field of view up to 80°, cross-polarization level below 25 dB, etc. Due to the very stringent specifications, new antenna solutions need to be invented. A new lens antenna design is aimed with considering the needs of the next generation millimetre-wave automotive radar.

In this thesis, the known lens antenna configurations are considered both numerically and experimentally. The best solution for the next generation millimeter-wave automotive radar needs is chosen. The dual lens antenna consists of a planospherical and a hemispherical lens antenna. The effects of dielectrical constants of antenna ingredients and matching layers in high dielectric constants lenses are examined. Antenna configurations are benchmarked by comparison with GO/PO algorithm, CST simulations and ray tracing algorithm.

**Keywords:** Dielectric lens antennas, automotive radar antennas, ray tracing, planospherical lens, hemispherical lens, GO/PO

#### 1.1 Literatür Özeti

Güvenli seyahat ve rahat sürüş, son otuz yıl içerisinde otomobil üreticilerinin en önemli hedefi olmuştur. Temel amaç, karmaşık trafik senaryolarında monoton görevleri gerçekleştirebilmekle beraber saliselik kararları güvenli ve rahat bir şekilde uygulayabilmektir. Buna bağlı olarak milimetrik dalga radar sensör teknolojisine dayalı sürücü yardım sistemlerine olan ilgi piyasada her geçen gün artmaktadır. Yakın gelecekte, üretilen otomobil modellerinin tüm serilerinin düşük maliyetli, radar tabanlı sistemler ile donatılmış olacağı öngörülmektedir. Günümüzde otomotiv radarı ile hız kontrolü, çarpışma uyarı, çarpışma hafifletme, şerit takip, mesafe koruma ve kör nokta algılama gibi sistemler yapılabilmektedir [1]. Şekil 1.1' de otomobiller için çeşitli radar uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Otomotiv radar uygulamaları

Otomotiv radar uygulamaları için 24 GHz ve 77/79 GHz frekans bandları ayrılmıştır. Radar sistemlerinin performansı birçok etkene bağılı olarak değişmektedir ancak en büyük etken antenin performansıdır. Milimetre dalgaboylarında, günümüzde var olan en gelişmiş anten çözümleri Uyarlanabilir Seyir Kontrolü (USK) amacıyla 77 GHz' de çalışmaktadır. Bu amaçla Bosch, Conti ve Denso şirketlerine ait lens antenler piyasada yaygın olarak kullanılmaktadır.

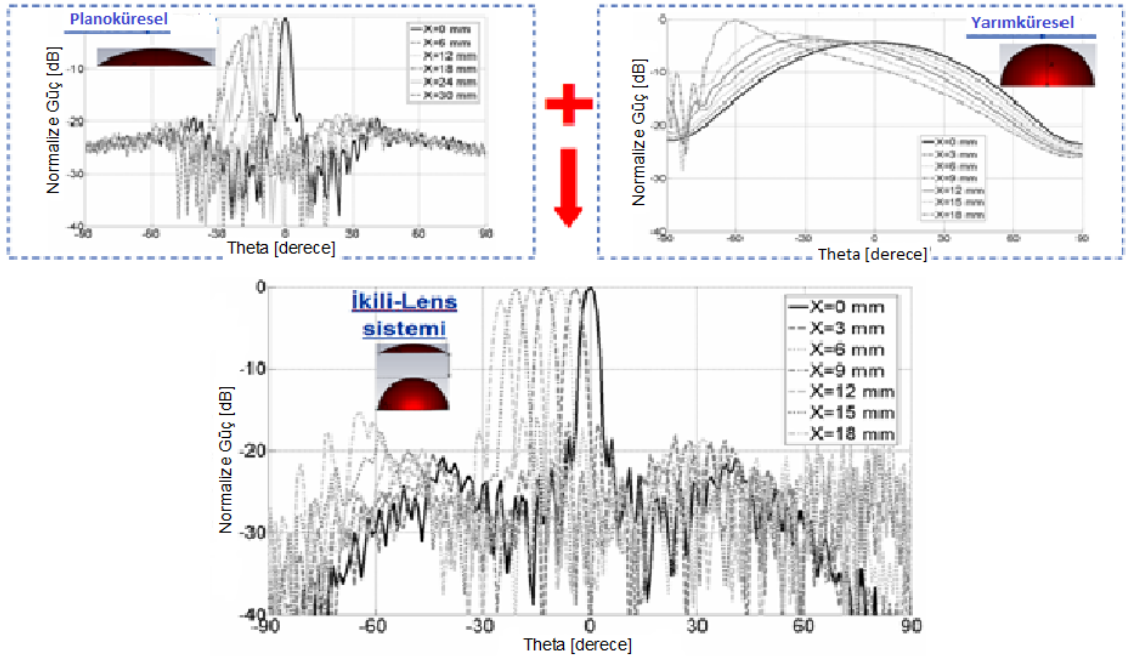
Bosch' un LRR3 model anteni 2009 yılından beri kullanılmaktadır. En dikkat çekici özelliği 250 m görüş menzili ve 15° görüş açısına sahip olan dielektrik lens antene sahip olmasıdır. Görüş açısını, dielektrik lens antenin odak düzlemine yerleştirdiği dört adet mikroşerit anten ile sağlamaktadır. Conti firmasının 2009 yılında ürettiği ARS300 model anteni, görüş açısını, dar bir açıyla, mekanik olarak taramaktadır. Mekanik yapısının avantajlarından faydalanarak hem kısa hem uzun mesafeleri tarayabilmektedir. Denso' nun 2008 yılında tanıttığı uzun mesafe radarı ise dijital huzme yönlendirme yapmaktadır [1].

[2]' de milimetre dalga boylarında yüksek kazançlı dielektrik lens antenler ile geniş tarama açılarında huzme tarama yapabilmek için ikili veya çoklu lens antenler önerilmiştir. Bundan yola çıkarak, bu tez çalışmasında, farklı lens mimarileri incelenmiş, çoklu lens antenlerin performansı diğer lens anten tipleri ile karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir. Otomotiv radar uygulamaları için uygun bir lens anten tasarımı yapılarak ikili lens antenlerin otomotiv radar uygulamaları için güçlü bir aday olduğu ispatlanmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Tasarlanacak antenin huzme tarama performansının bugüne kadar önerilmiş ve/veya kullanılan diğer anten mimarilerine göre daha üstün, boyutunun otomotiv radarı kullanımına uygun, üretiminin ise basit olması hedeflenmektedir. Literatürde ikili lens anten kullanımı ile anten boyutunun düşürülebileceği ispatlanmıştır [3]. Bu mantıkla yukarıda bahsedilen yarım küreden oluşan yarıküresel lens ile planoküresel, planofokal, biküresel yapıların birleştirilmesi ile daha üstün huzme tarama kapasitesi elde edileceği açıktır. Örnek olarak, Şekil 1.2' de yarıküresel lens ile planoküresel lensin birlikte kullanılması ile elde edilen ikili-lens sisteminin neredeyse 30°' ye kadar başarılı bir

şekilde huzme tarama yapabileceği gösterilmiştir. Bu uzak menzil radarının tarama açısı kriterini sağlamaktadır. Normalize edilmiş güç ışıma örüntülerinde tarama açısının değişimi, besleme anten konumunun E-düzleminde x kadar kaydırılması ile elde edilmiştir. Her bir lens için x değerleri ve besleme konumunun kaydırılması sonucunda elde edilen tarama açıları Şekil 1.2' de görülmektedir. Burada planoküresel lensin huzme taramada oldukça başarılı olduğu fakat kayıplardan dolayı yaklaşık olarak 20°' den sonra kullanılamayacağı görülmektedir. Yarıküresel lens antenin ışıma karakteri planoküresel lensin oluşturduğu kayıpları tolere ederek, ikili lens sisteminde mükemmel huzme tarama performansı sağlamıştır. Bu da çoklu lens konfigürasyonlarındaki temel motivasyondur.



Şekil 1.2 İki lensin bir arada kullanılması ile huzme tarama performansının artırılması örneği

Geometrik ve fizik optik temellerine dayanan GO/PO (Geometrik Optik/Fizik Optik) metodu lens analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, lens antenlerin simülasyonu için GO/PO metodu kullanılmıştır. Fransa' da yer alan IETR (Institute of Electronics and Telecommunications of Rennes) laboratuvarlarında hali hazırda tekli lens anten mimarilerini analiz etmek için kullanılan GO/PO kodu mevcuttur. Bu kod, ikili lens mimarileri için sonuç verecek şekilde güncellenmiş ve CST (Computer Simulation Technology)' den önceki simülasyon adımı olarak kullanılmıştır. Kod kısa

sürede yüksek doğrulukla sonuç vermektedir fakat GO/PO metodunun çalışma prensibinin temel problemi olarak lens içerisindeki çoklu yansımalar hesaba katılamamaktadır. Bu sebepten GO/PO' da en yüksek performansa sahip olduğu düşünülen anten yapıları, FDTD/FIT (Finite Difference Time Domain/ Finite Integration Technique) metoduna dayanan elektromagnetik yapıları simule etmek için kullanılan CST ile de simule edilmiştir. Işıma sırasındaki faz bozulmaları GO/PO metodu ve CST' de incelenmiştir. Buna ek olarak dalgaın çoklu lens anten konfigürasyonları içerisinde geçişinin karakteristiği MatLab' de yazılan ışın takibi kodu ile de incelenmiştir. Bu tez çalışmasında 77/79 GHz' de çalışan otomotiv radarı tasarlamak amaçlanmaktadır.

### **1.3 Orijinal Katkı**

Hızme taramadaki üstünlüğü, üretim kolaylığı, düşük maliyeti ve çevre koşullarından etkilenmemesi sebebiyle çoklu lens anten yapısı otomotiv radarı için en uygun seçimlerden biridir. Bu çalışma neticesinde literatüre otomotiv radar sistemleri için yeni, özgün, yüksek performanslı bir anten sistemi tanıtılacaktır.

## BÖLÜM 2

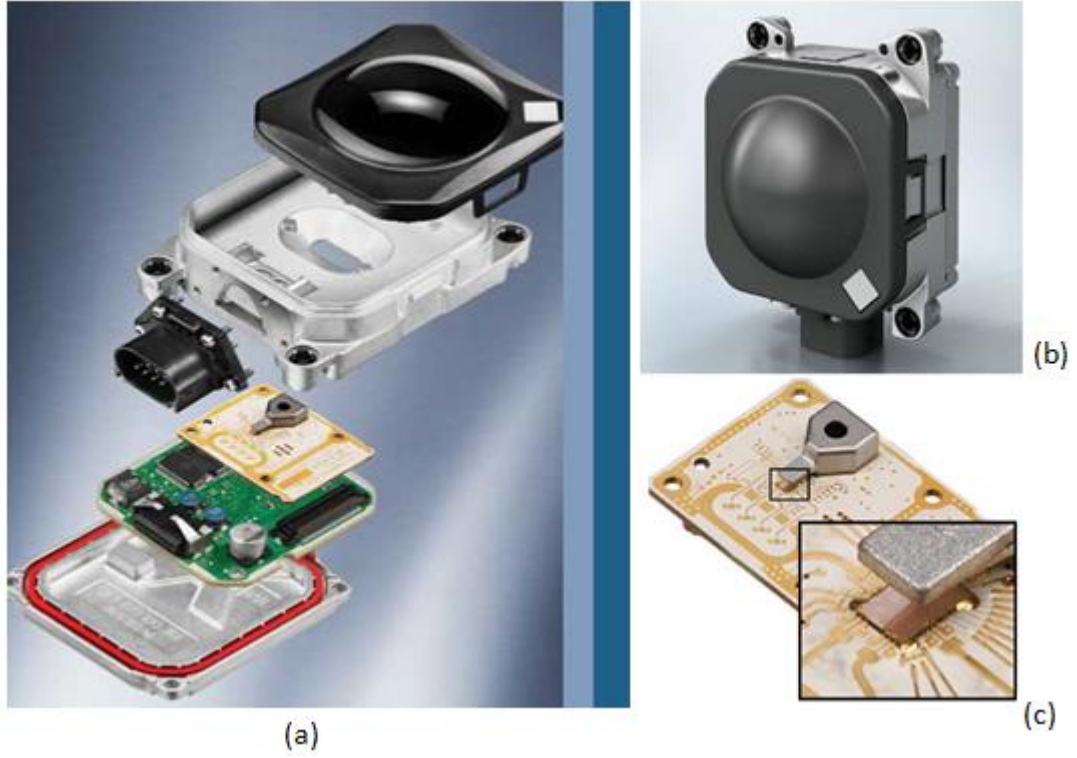
### OTOMOTİV RADAR ANTENLERİ

Günümüzde otomotiv radarları ile hız kontrolü, çarpışma uyarı, çarpışma hafifletme, şerit takip, mesafe koruma ve kör nokta algılama gibi sistemler yapılabilmektedir. Bu tip sistemlerin performansı anten performansı ile doğrudan ilişkilidir.

Şu anda piyasada aktif olarak kullanılan üç otomotiv radar anten çeşidinin menzil ve boyut karşılaştırması Çizelge 2.1’ de gösterilmektedir. Bosch firmasına ait LRR3 model anten şekli ve katmanlı mimarisi Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Farklı firmalara ait lens anten yapıları

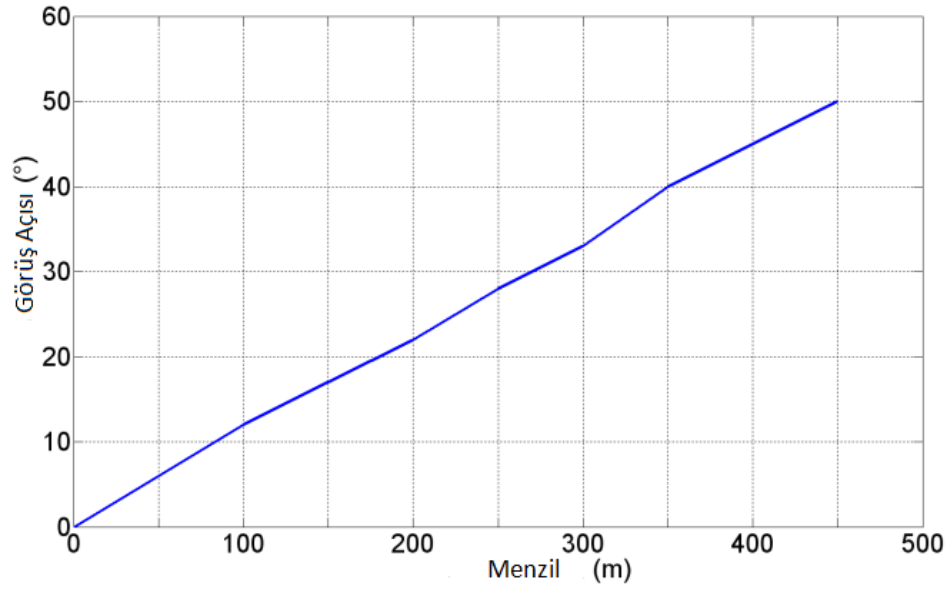
| Parametreler | Bosch LRR3      | Conti ARS 300    | Denso DNMWR004  |
|--------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Boyutlar     | 74 x 70 x 58 mm | 120 x 90 x 49 mm | 78 x 77 x 38 mm |
| Menzil       | 250 m           | 200 m            | 150 m           |
| Tarama Açısı | 30°             | 23°              | 20°             |



Şekil 2.1 Bosch firmasına ait LRR3 model lens anten (a) Katmanlı görünüm (b) Perspektif görünüm (c) Besleme yapısı

Çoğu USK sisteminde iki temel yapı mevcuttur: radar algılayıcı ve işaret işleme sistemi [4]. USK sisteminin performansı direkt olarak radar antenin performansı ile ilişkilidir. Otomotiv radarının geliştirilmesindeki temel ve en önemli parça radar antenidir. Bu sebepten, bu projede radar anten tasarımı üzerine çalışılacaktır. Kullanılabilecek pek çok anten tipi vardır: i) Reflektör anten [5]; ii) Düzlemsel anten dizisi [6]; iii) Rotman anten [7]; iv) Dielektrik anten [8] bunlardan başlıcalarıdır. Fakat hepsinin avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Örneğin düzlemsel antenlerin boyutu küçük ve tasarımı kolaydır fakat kazançları düşük olup 77/79 GHz' de üretimleri zordur. Rotman antenin huzme tarama performansı otomotiv radarı için uygun olsa bile tasarımı karmaşık, üretimi zordur. Lens antenler çoklu huzme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Lens antenin, bir kaynak ve lensten oluşmasından dolayı, görüş açısını ya da huzme tarama açısını değiştirmek çok kolaydır. Farklı görüş açılarında kullanılacak radar uygulamaları için çok uygundur. Ayrıca lens antenlerin tasarımı ve üretimi de karmaşık olmayıp maliyeti düşüktür. Bunun yanı sıra, yüksek hava sıcaklığı, yağmur gibi çevre koşullarından etkilenmez.

Tarama açısı, otomotiv radarlarındaki en önemli parametredir. Görüş menzili ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 2.2' den tarama açısı arttıkça görüş menzilin genişlediği görülmektedir. Bir antenin görüş açısı huzme tarama açısının iki katı ile tanımlanır. Günümüzde görüş menzili çoğu uzak mesafe radarlarında 250 m ile sınırlıdır. Bu 30° görüş açısı ya da 15° huzme tarama anlamına gelmektedir. Bu tezde, şu anda hiçbir çözüme sahip olmayan, elde edilmesi zor hedef kriterlere sahip (Bkz. Çizelge 2.2) 77 GHz' de çalışan kısa mesafe radarları üzerine çalışılacaktır.



Şekil 2.2 Görüş açısının görüş menzili ile değişimi [9]

77 GHz radar uygulamalarında çoğunlukla çözünürlük açısı uzak menzil için 2-4°' dir. (2.1)' e göre bu çözünürlük açısı 28-31 dBi kazanç demektir (yan loblar ihmal edilmiştir). Uzak menzil radarı için 3.5° çözünürlük açısı gereklidir. Bu anten kazancının 30 dBi olması gerektiği anlamına gelmektedir (Bkz. Çizelge 2.2).

$$G = \frac{41000}{\theta_{3dB} \delta_{3dB}} \quad (2.1)$$

Burada  $\theta_{3dB}$  ve  $\delta_{3dB}$  sırasıyla E ve H düzlemindeki 3 dB huzme genişlikleridir. Çizelge 2.2' de kısa ve uzun menzil radarı için önemli parametreler yer almaktadır.

Çizelge 2.2 Uzak ve yakın menzil radarı için önemli parametreler

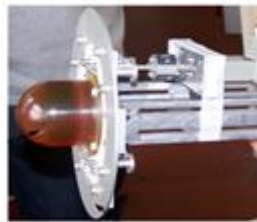
| Parametre        | Uzak Menzil Radarı (UMR) | Yakın Menzil Radarı (YMR) |
|------------------|--------------------------|---------------------------|
| Görüş açısı      | 30° (+/- 15°)            | 80° (+/- 40°)             |
| Çözünürlük açısı | 3.5°                     | 10°                       |
| Kazanç           | 30 dBi                   | > 15 dBi                  |

Çizelge 2.2' de verilen parametrelere bağlı olarak lens antenin malzemesinin dielektrik sabiti veya lensin çapı hakkında bazı çıkarımlarda bulunabiliriz. Lens malzemesinin dielektrik sabiti arttıkça huzme tarama kabiliyeti artacaktır. Bunun yanı sıra kayıplar da artacaktır. Örneğin dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 3.01$ , kayıp tanjantı  $\delta = 0.0013$  olan ultem malzemesini ele alalım. Bu malzeme ile düşük kayıpla orta seviyede huzme tarama performansı elde edilebilmektedir. Kullanılan lensin çapı eşitlik (2. 2)' de verildiği gibi antenin 3 dB huzme genişliği ve kazancı ile ilişkilidir.

$$\theta_{3dB} = 57 \frac{\lambda_0}{2r} \Rightarrow r = 57 \frac{\lambda_0}{2\theta_{3dB}} \quad (2. 2)$$

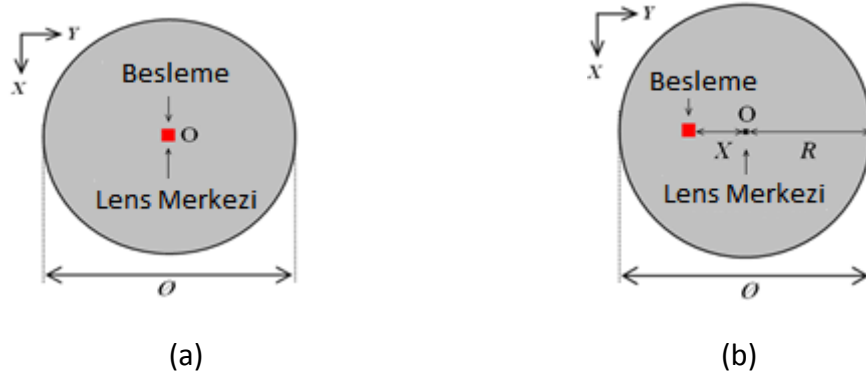
Çizelge 2.2' de verilen değerleri eşitlik (2. 2)' de yerine koyarsak örnek olarak 77 GHz' de (77 GHz' de dalga boyu 3.9 mm' dir) uzak alan radarı olarak kullanılacak lens antenin çapının yaklaşık 64 mm olduğu bulunur.

Uzatılmış lens antenler yarım küre şeklindeki lens ile L uzunluğundaki silindirik yapının birleştirilmesi ile elde edilir. Çoklu huzme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [10-12]. Fakat boyut ve ağırlıkları sebebiyle otomotiv radar uygulamalarında çok nadir kullanılır. Şekil 2.3' te Satimo anten firmasına ait, 77 GHz' de çalışan, ultem maddesinden yapılmış uzatılmış bütünleşmiş lens anten yer almaktadır. Kullanılan besleme anteni, çalışma frekansı 77 GHz olan, ulteme ışıma yapacak şekilde tasarlanmış açıklık kuplajlı mikroşerit antendir.



Şekil 2.3 Uzatılmış dielektrik lens anten

Huzme taramasını sağlamak için, besleme devresi lensin merkezinden  $x$  miktarda kaydırılır.  $X$  mesafesi arttıkça tarama açısı artacaktır. Bu durumda huzme taramada güç kayıpları da artacaktır ve bu kayıpların göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Kaynağın konumlandırılmasını ve sonucunda oluşan huzme tarama açısını ifade etmek için  $X/R$  ( $R$  lensin yarıçapıdır) oranı literatürde kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Besleme anteninin konumunun değiştirilmesi ile huzme tarama (a) Merkezden uyarılmış (b) Lensin merkezinden  $X$  kadar uzaklıkta uyarılmış

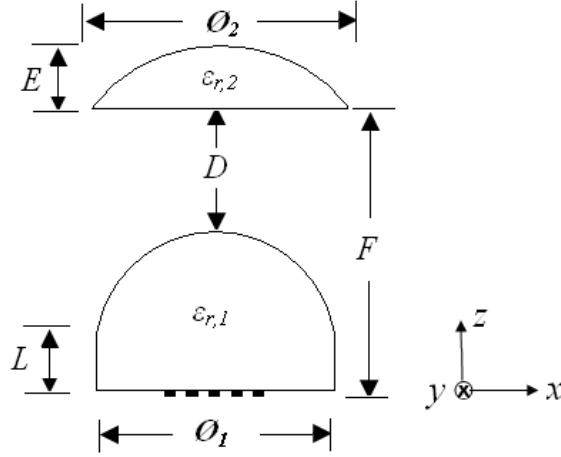
Yapılan çalışmalarda, uzak menzilde  $22^\circ$  huzme tarama elde edilmiştir. Bu otomotiv radarının uzak alan kısıtlamalarını ( $30^\circ$ ) sağlamamaktadır. Aynı zamanda kazancı uzak menzil radarı için olması gerekenden  $6 - 8$  dB düşüktür (Bkz. Çizelge 2.3). Özetle, uzatılmış lens anten, gereksinimlerimize uygun uzak alan ve yakın alan otomotiv radarı tasarlanması için uygun değildir. Ayrıca boyutları, otomotiv radarı olarak kullanılması için uygun değildir. IETR, Fransa laboratuvarlarında denenen  $77$  GHz frekansında çalışan diğer otomotiv anten radarları planoküresel ve biküresel lens antenlerdir. Boyutları küçük, üretimleri kolaydır ve odakta beslenmeleri gerekir. İki yapı da ultiem malzemesi ( $\epsilon_r = 3.01$ ) ile üretilmiş, besleme için ise havaya ışıma yapacak şekilde tasarlanmış açıklık kuplajlı mikroşerit anten kullanılmıştır [13].

Çizelge 2.3 Uzatılmış yarıküresel, planoküresel ve biküresel lens antenlerin karşılaştırmalı performansları

| Parametre    | Hedef Değerler | Uzatılmış yarıküresel lens anten | Planoküresel lens anten | Biküresel lens anten |
|--------------|----------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Tarama Açısı | $30^\circ$     | $22^\circ$                       | $17^\circ$              | $27^\circ$           |
| Çözünürlük   | $3.5^\circ$    | $3.7^\circ$                      | $4^\circ$               | $4.1^\circ$          |
| Kazanç       | $28-30$ dBi    | $22$ dBi                         | $19$ dBi                | $18.1$ dBi           |

Çizelge 2.3' ten de görülebileceği gibi hedef kriterlere uygun bir lens anten tasarımı literatürde mevcut değildir. Denenen tüm lens antenlerin kazancı ya da tarama açısı yetersiz gelmektedir. Bu sebepten iki ya da daha fazla sayıda lensten oluşan çoklu lens sistemlerini denemek en iyi çözüm olarak görülmektedir. Literatürde çoklu lens sistemleri genellikle fizik alanında kullanılmaktadır (mikroskop, teleskop, kamera, vs.) . Birden fazla lensin kullanımı ile oluşturulmuş anten yapısı ilk olarak elektronik tarama için kullanılmıştır [14]. Anten sistemi üç ana bloktan oluşmaktadır. Faz dizili besleme anten, uydurma lensi ve açıklık lens. 1975' te yapılan bu çalışmada ikili-lens anten sisteminin mükemmel derecede başarılı tarama kapasitesinden bahsedilmektedir. [3]' teki çalışmada frekansı 30 GHz olan ikili lens antenin tasarımı yer almaktadır. Bu çalışmada tekli lens sistemlerine göre ikili lens sisteminde %75 daha az lens malzemesi kullanılacağı vurgulanmıştır. Bu konuda yapılan en güncel çalışma ise mm-dalga frekanslarında biyolojik deneylerde kullanılmak üzere tasarlanmış ikili lens anten yapısıdır [15].

Önerilen sistemin üstünlüğü planoküresel lens ile yarıküresel lensin birleştirilmesi ile elde edilen ikili lens sistemi için Şekil 1.2' de örnekle ispatlanmıştır. Şekil 2.5' te planoküresel amaç lensine sahip ikili lens anten mimarisinin genel parametreleri yer almaktadır. Burada,  $\phi_1$  ve  $\phi_2$  sırasıyla taban lensinin ve amaç lenslerinin çapıdır.  $E$  amaç lensinin kalınlığı,  $F$  amaç lensinin odak uzaklığı,  $L$  küresel lensin uzatma miktarı,  $D$  lensler arasındaki uzaklık,  $\epsilon_{r1}$  ve  $\epsilon_{r2}$  sırasıyla taban lensinin ve amaç lenslerinin dielektrik sabitidir. Görüldüğü gibi, antenin performansını etkileyebilecek pek çok faktör vardır. Lens sisteminin anten olarak kullanılmasındaki en önemli husus besleme devresinin amaç anteninin değil lens sisteminin odağına yerleştirilme gerekliliğidir. Literatürde lens yapılarının odağını hesaplamak için çeşitli formülasyonlar mevcuttur fakat özellikle yüksek dielektrik sabitine sahip kalın lenslerin odağının hesaplanmasında doğru sonuç vermemektedirler. Lens kalınlığı azaldıkça bu ifadelerin doğruluk derecesi artmaktadır. Bu sebeple lensin odağının belirlenmesinde analitik formülasyonların yanı sıra, lens antenlerin alıcı ve verici durumda çalışmalarını görsel olarak gösteren ışın takibi kodu da kullanılmıştır.



Şekil 2.5 İkili lens antenin genel parametreleri

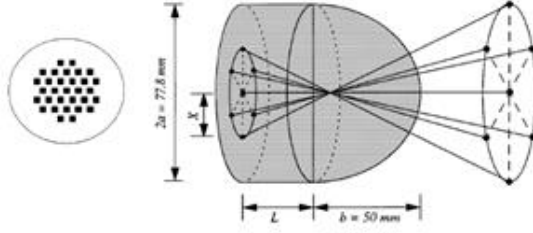
Bu tez çalışması ile çoklu lens (ikili veya daha fazla) sistemlerinde yer alabilecek her türlü lens yapısının, boyutunun, dielektrik malzemesinin ışıma ve huzme tarama performansına etkisi incelenmiştir. Tasarlanan her çoklu lens anten yapısının hem GO/PO hem de CST ile analizi yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda performansı en beğenilen çoklu lens sistemi literatüre otomotiv radar sistemleri için yeni, özgün, yüksek performanslı bir anten sistemi olarak tanıtılacaktır.

### DİELEKTRİK LENS ANTENLER

Antenler her türlü kablosuz haberleşme sisteminde hayati öneme sahiptir. Özellikle yakın alan haberleşmesi, uydu haberleşmesi ve otomotiv güvenlik (radar yardımı ile sürücü desteği) gibi uygulamaların hızlı gelişimi çok geniş bantlı, çoklu huzmeli ışıma yapabilen, yüksek yönlendiriciliğe sahip karmaşık anten geometrilerinin tasarımını gerekli kılmıştır. Reflektör antenler ve anten dizileri kablosuz haberleşmenin taleplerini karşılamaktadırlar. Diğer bir alternatif çözüm ise odaklayıcı bir lensi bir kaynak ile odağından beslemektir. Bu yöntem farklı lens tiplerinin ve besleme antenlerinin varlığı sebebiyle kablosuz haberleşme antenleri için esnek çözümler sağlar. Lens antenler, imalat kolaylığı ve ışıma performansı ile kablosuz haberleşme sistemlerinde başarıyla kullanılan anten tiplerinden biridir [16].

Literatürde çeşitli lens anten tipleri kullanılmıştır. Aşağıda bu lens tipleri ve her bir lensin avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir:

Uzatılmış dielektrik lens [17] antenin tarama kapasitesi  $20^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  aralığında olması türevlerine göre büyük avantaj sağlar. Ayrıca kolay üretimi ve düşük maliyeti sayesinde otomotiv radar uygulamaları için ideal bir lens anten olmasının yanı sıra büyük boyutları ve ağırlığı bu tür uygulamalar için en iyi çözüm olmadığını göstermiştir. Şekil 3.1' de uzatılmış dielektrik lens anten yapısı bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Uzatılmış dielektrik lens anten [17]

Küresel lens [18] anten, kürenin çevresine dağıtılmış kaynakların kullanımı ile mükemmel tarama kapasitesi ( $\sim 80^\circ$ ) sağlamakla birlikte üretimi çok zor ve yüksek maliyetli olması olumsuz özelliğidir. Şekil 3.2’ de küresel lens antene ait görsel bulunmaktadır.



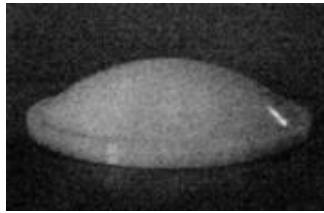
Şekil 3.2 Küresel lens anten [18]

Bir yüzü düz bir yüzü dışbükey lens [19] anten, yukarıda bahsedilen iki anten tipine göre daha küçük, üretimi daha kolay ve daha düşük maliyetli bir antendir. Huzme taramada sınırlı görüş açısına sahip olması ise olumsuz özelliğidir. Şekil 3.3’ te bir yüzü düz bir yüzü dışbükey lens anten yapısı bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Bir yüzü düz bir yüzü dışbükey lens anten [19]

Bifokal lens [20] anten, yüksek tarama kapasitesine sahip olan bir lens anten çeşididir. Ayrıca üretimi oldukça kolay ve düşük maliyetlidir. Hassas ve kırılğan yapısından ötürü az tercih edilir. Şekil 3.4’ te bifokal lens anten yapısı bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Bifokal lens anten [20]

Optimize edilmiş lens anten [21] iyi tarama kapasitesine sahiptir. Boyutları ve şekli genetik algoritma gibi optimizasyon teknikleri ile belirlenmektedir. Tasarımı ve üretiminin karmaşık olması olumsuz yönlerindendir. Şekil 3.5' te optimize edilmiş lens anten yapısı bulunmaktadır.



Şekil 3.5 Optimize edilmiş lens anten [21]

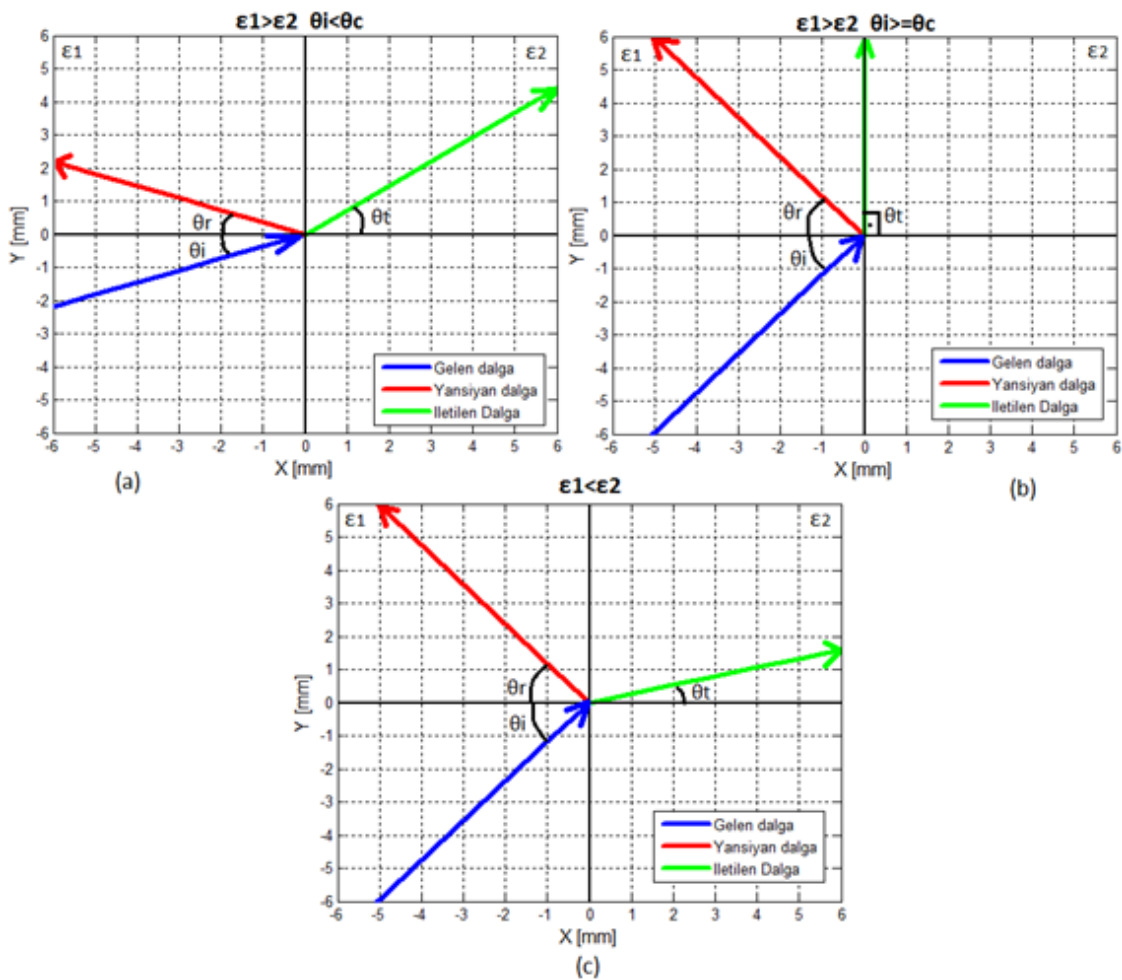
Dielektrik lens anten tasarımında göz önünde bulundurulması gereken birçok parametre ve modelin olması otomotiv radarı için en uygun antenin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. İdeal lens anten tasarımını yapmak ve sonuçlarını edinebilmek için en iyi çözüm, antenin simülasyonunu yapmaktır. HFSS programı, yüksek hesaplama yetenekleri olan iş istasyonlarında dahi, dielektrik katsayısı 3 olan  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm yarıküresel ve planoküresel lens antenin simülasyonunu yapamamış, tıkanmıştır. CST programı ile yapılan simülasyonlarda ise dielektrik katsayıları 3 ve 9 olan yarıküresel ve planoküresel 16 ve 32 mm yarıçaplarında farklı lens anten mimarilerinin simülasyonu bazı durumlarda 24 saate yakın bir süre devam etmiştir. Mevcut yöntemlerin çok uzun sürede sonuçlar üretmesi sebebiyle alternatif yöntemlere başvurulmuştur. GO/PO ve ışın takibi yöntemleri, dielektrik lens anten tasarımında yüksek oranlarda doğru sonuçları kısa süre içerisinde ürettiği için tercih edilmiştir. GO/PO teorisinin matematiksel temelleri Ek-A' da verilmiştir.

GO/PO analiz yöntemi ile uzun zaman alan anten simülasyonlarının kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesi yapılabilir. GO/PO metodu kullanılarak yapılan parametrik çalışmaların değerlendirilmesi sonrasında, küçük ve büyük mimariler için ikili lens anten yapıları önerilmiştir. Önerilen yapılar CST programında da simüle edilmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

GO/PO analizinin yanı sıra elektromagnetik dalganın ortam değiştirdiğinde yaptığı değişimler ışın takibi yöntemiyle de incelenmiştir. Işın takibi ile lensin odak noktasını bulabilmek ve farklı besleme noktalarındaki davranışlarını inceleyebilmek kısa sürede

mümkün olmuştur. Dalgadaki değişimi takip edebilmek için, ışığın yansıma kanunlarından yararlanılmıştır.

Işın, bulunduğu ortamdan yoğunluğu farklı olan bir ortama ilerlediğinde davranışında değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler Snell Yasaları ile tanımlanır. Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçen ışın, kırılma açısına kadar normal eksenine yaklaşarak ilerler. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçen ışın ise normalden uzaklaşır. Kırılma açısı ve daha büyük açılarla gelen ışın tam yansıma yaparak bulunduğu ortamda kalır, ikinci ortama geçemez. Işığın bu davranışları temel alınarak dalganın farklı ortamlardan geçişi incelenmiştir.



Şekil 3.6 Dalganın (a) dielektrik sabiti yüksek ortamdan düşük ortama (b) kritik açıdan büyük geliş açısıyla (c) dielektrik sabiti düşük ortamdan yüksek ortama geçişi

Şekil 3.6' da elektromagnetik dalganın Snell yasalarına göre davranışı MatLab' de yazılan kodla gösterilmiştir.

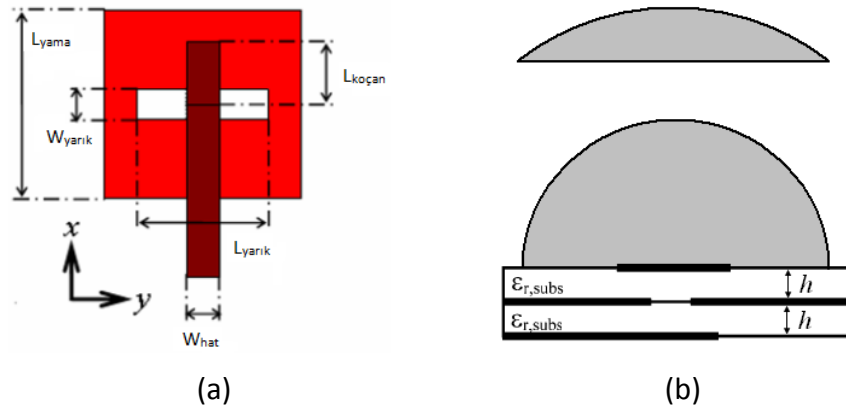
Işın takibinde verici ve alıcı olmak üzere 2 farklı durum incelenmiştir. Verici durumda, kaynaktan çıkıp lense giren ışınlar, alıcı durumda ise dış ortamdan lensin içerisine gelen ışınlar incelenmiştir. Lens yapılarına göre ortam değişimindeki karakterleri incelenmiş, farklı besleme noktalarındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

Farklı lens mimarilerini incelemek amacıyla dört farklı lens anten tipi değerlendirilmiştir. Besleme devresi x ekseninde 0, 2, 4, 6 ve 8 mm kaydırılarak ışının farklı doğrultulara yönlendirildiğindeki performansı incelenmiştir.

Lens anten yapılarına dair ayrıntılı bilgiler, ilgili bölümlerde verilmiştir. GO/PO kodunda ve CST simülasyonlarında ışmanın kaynağı olan besleme anteni olarak açıklık kuplajlı mikroşerit anten kullanılmıştır. GO/PO kodunda üretilen açıklık kuplajlı mikroşerit antenin ölçüm sonuçlarını içeren veri dosyaları koda girilmiştir. CST' de ise lens anten yapısının odağında olacak şekilde çizilmiştir. Bölüm 3.1' de açıklık kuplajlı mikroşerit antenin, üzerine yerleştirilecek yarı küresel lensin dielektrik sabiti ile uyumlu ışınma yapabilecek şekilde tasarlanmış boyutları yer almaktadır.

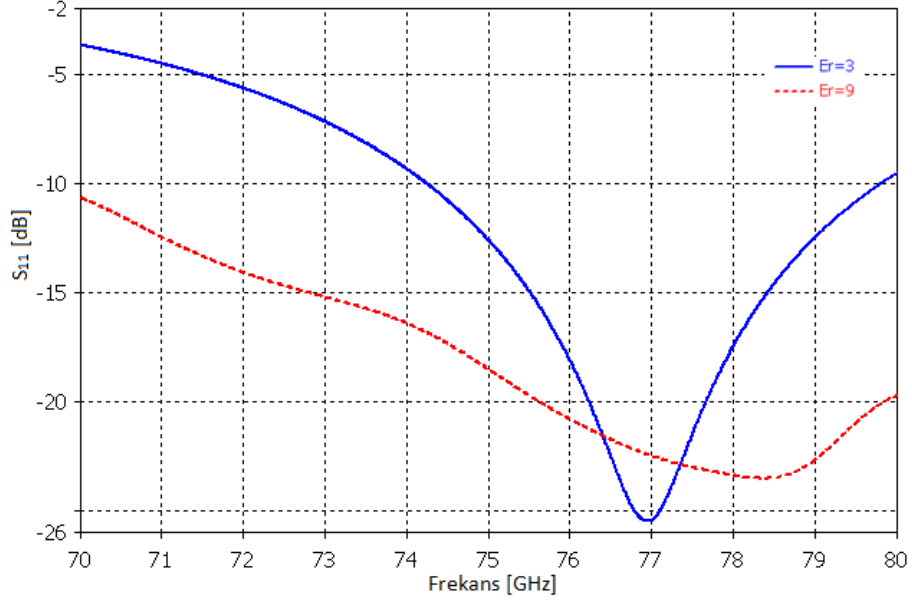
### 3.1 Besleme Anteni Tasarımı

Lens anten yapılarının besleme anteni olarak açıklık kuplajlı mikroşerit anten kullanılmıştır. Antene ait yapı bilgisi Şekil 3.7' de bulunmaktadır. Ayrıca besleme antenine ait parametreler Çizelge 3.1' de havaya ( $\epsilon_r=1$ ), ulteme ( $\epsilon_r=3.01$ ) ve aluminaya ( $\epsilon_r=9$ ) ışınma yaptığı durumlar için verilmektedir. Bu anten yapısı, kullanılan bütün anten mimarilerinde besleme anteni olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Besleme anteni (a) Üstten görünüm (b) Yandan görünüm

Besleme antenin parametrelerine bakıldığında tüm alanının yaklaşık  $1 \text{ mm}^2$  olduğu görülmektedir. Antenin ufak boyutlarda olması huzme tarama işleminin kolay olması ve yan yana yerleştirildiğinde fazla yer işgal etmeyeceği anlamına gelmektedir. Şekil 3.8’ de besleme antenine ait geri dönüş kaybı değişimi bulunmaktadır.



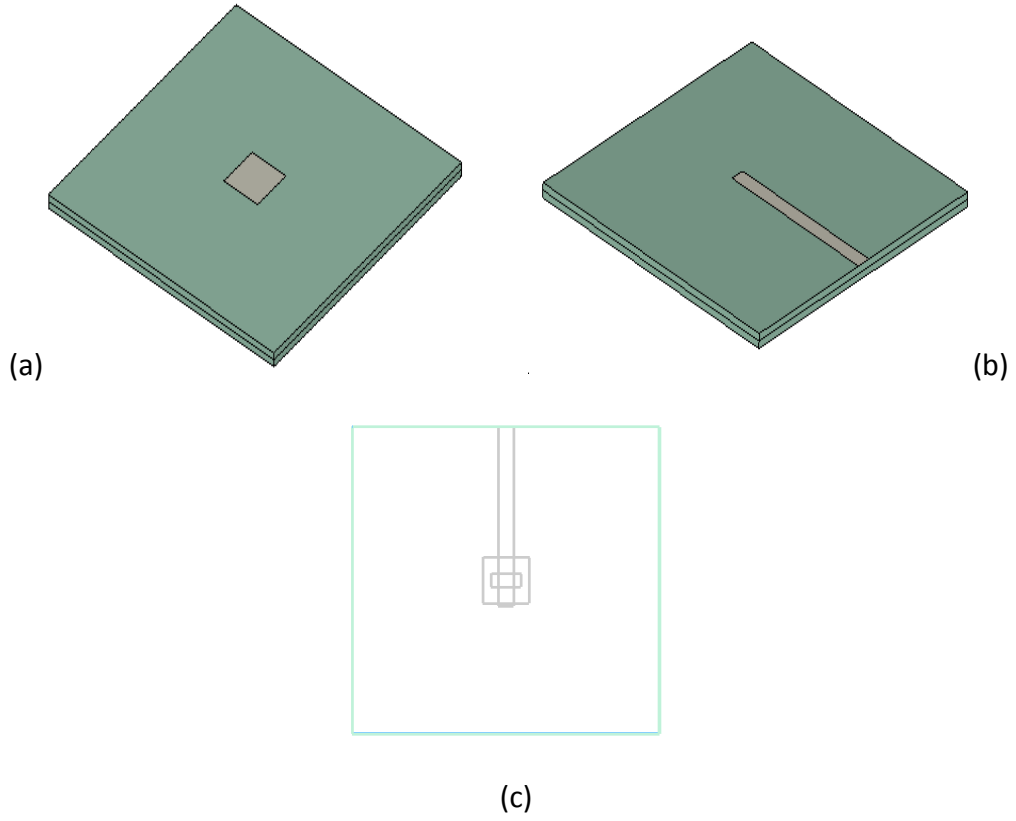
Şekil 3.8 Besleme antenine ait  $S_{11}$  grafiği

Besleme antenin  $S_{11}$  parametresi grafiğinde dielektrik sabitinin 3 olduğu durumda merkez frekansının 77 GHz olduğu ve 74 - 80 GHz aralığında ışıma yaptığı; dielektrik sabitinin 9 olduğu durumda ise merkez frekansının 78 GHz olduğu ve ~70-80 GHz aralığında ışıma yaptığı görülmektedir.

Çizelge 3.1  $\epsilon_{r1} = 1$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$  ve  $\epsilon_{r3} = 9$  dielektrik sabitleri için 77GHz frekansına ışıma yapan besleme antenin parametreleri

| Dielektrik katsayısı   | $\epsilon_{sub}$ | $h_{sub}$ (mm) | $L_{yama}$ (mm) | $L_{yarık}$ (mm) | $W_{yarık}$ (mm) | $W_{hat}$ (mm) | $L_{koçan}$ (mm) |
|------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| $\epsilon_{r1} = 1$    | 2.23             | 0.127          | 1               | 0.58             | 0.26             | 0.30           | 0.24             |
| $\epsilon_{r2} = 3.01$ | 2.23             | 0.127          | 0.9             | 0.58             | 0.26             | 0.30           | 0.50             |
| $\epsilon_{r3} = 9$    | 2.23             | 0.1            | 0.6             | 0.58             | 0.26             | 0.30           | 0.50             |

Besleme antenin boyutları çok küçük olmasına rağmen lens antenin boyutlarında beraber çalışabilmesi için 35x35 mm boyutlarında zemin tabakası kullanılmıştır. Şekil 3.9’ da besleme antenin görünümü yer almaktadır.



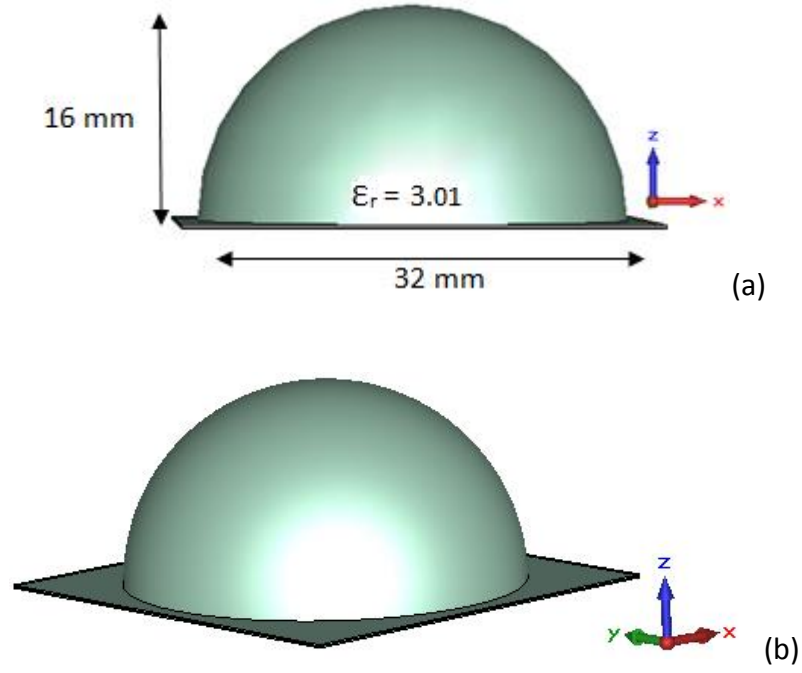
Şekil 3.9 Besleme antenin (a) üst perspektif görünümü (b) alt perspektif görünümü (c) üstten görünümü

### 3.2 Yarıküresel Lens Antenler

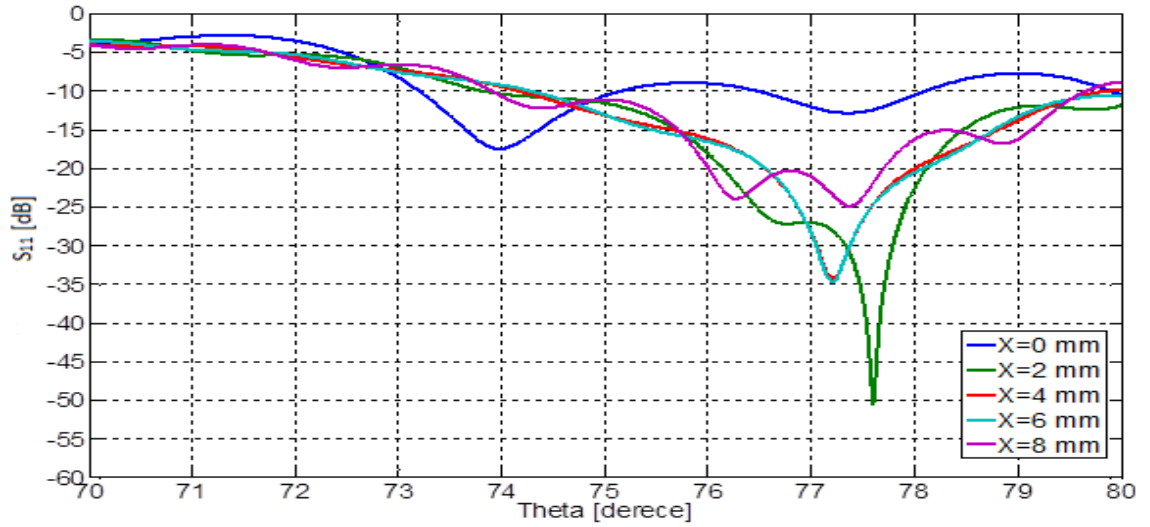
Kürenin tamamının merkezden geçen bir düzlem ile ikiye bölünmüş formatta kullanılan lens antenlerdir.

#### 3.2.1 Yarıküresel Lens Anten

Yarıküresel lens anten, kürenin ortadan ikiye bölünmüş halidir. Simüle edilen yarıküresel lens antenin yarıçapı 16 mm' dir. Lens antenin tasarımında ilk olarak dielektrik sabiti 3.01 olan ultem malzemesi kullanılmıştır. Anten beslemesi detayları önceki bölümde verilen,  $\epsilon_r = 3.01$  e ışıma yapan açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Anten yapısının CST çizimi Şekil 3.10' da verilmiştir.

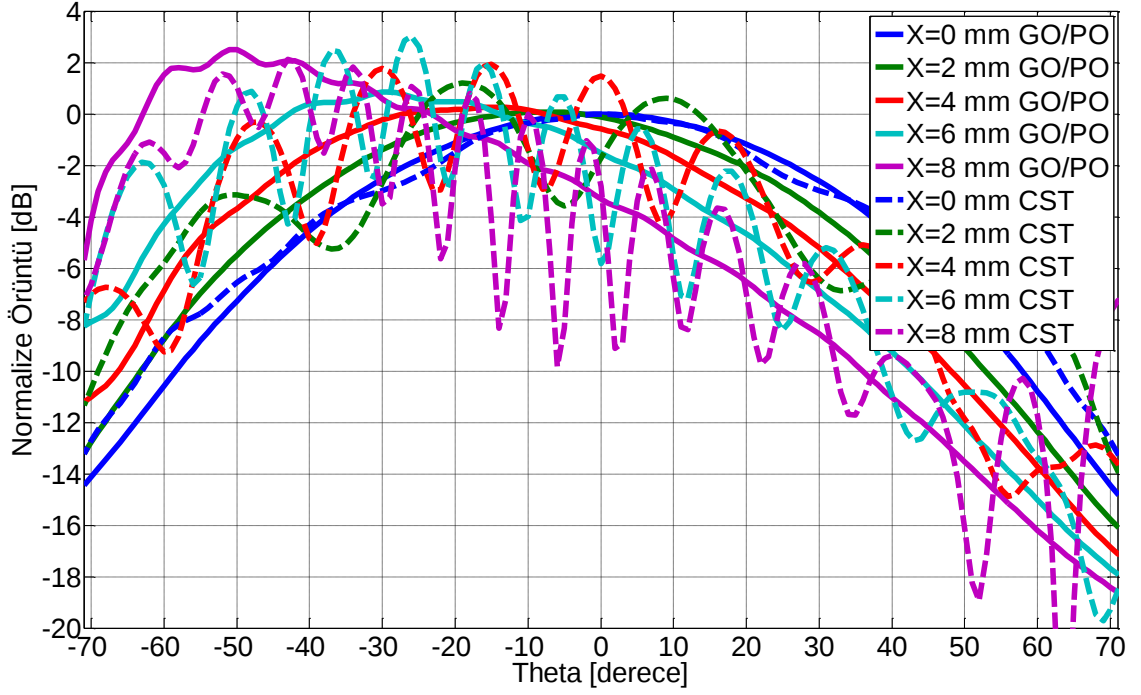


Şekil 3.10 Yarıküresel anten ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm  
Yarıküresel lens antene ait 0, 2, 4, 6 ve 8 mm uzaklıklara yerleştirilmiş beslemeler ile elde edilen geri dönüş kaybı grafiği Şekil 3.11’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Yarıküresel lens antenin  $S_{11}$  değişimi

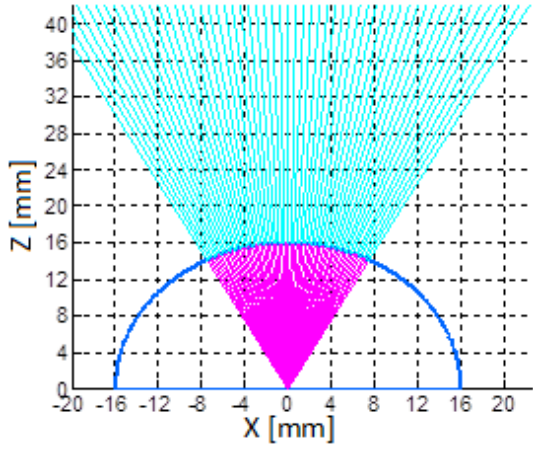
Çizilen yarıküresel antenin 0, 2, 4, 6 ve 8 mm besleme noktalarındaki CST ve GO/PO ışınma örüntüleri Şekil 3.12’ de gösterilmektedir. Simetrik yapısından dolayı sadece E düzlemi ışınma örüntü grafikleri teze koyulmuştur. H düzleminde de çok benzer ışınma örüntülerinin elde edilmesi beklenmektedir.



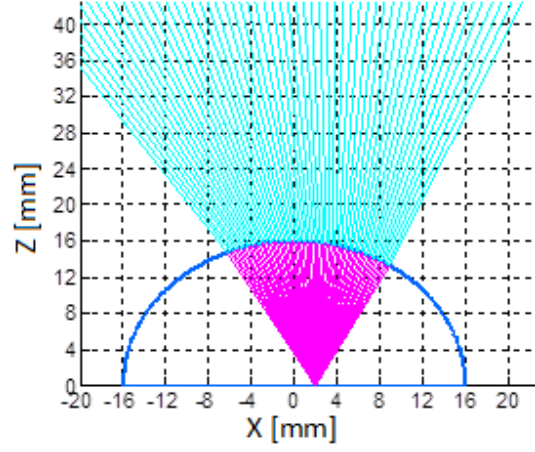
Şekil 3.12 Yarıküresel antenin farklı besleme noktalarından uyarılması ile elde edilen ışıma örüntüleri

Yarıküresel antenin ışıma örüntüleri, CST ve GO/PO analizi sonuçlarından görüldüğü üzere, geniş bir huzmeye sahiptir. Ana huzmenin geniş olması gücün istenilen açıya yönlendirilemediğini, kazancın taranmak istenilen açılarda düşük olduğunu gösterir. Lens anten tasarımı yarıküresel lens anten ile yapıldığında istenilen sonucu verememektedir. Merkeze yerleştirilen besleme anteni hava ortamına geçişteki uyumsuzluktan kaynaklanan yansımaları üzerine çeker ve örüntünün bozulmasına sebep olur. Ayrıca çoklu iç yansımaların da göz önünde bulundurulduğu CST simülasyonlarında elde edilen ışıma örüntüleri antenin kullanımının uygun olmadığını ispatlar. CST’ de elde edilen dalgalanmalar, GO/PO’ nun ikincil yansımaları hesaba katmaması sebebiyle GO/PO ile elde edilen örüntülerde yer almamaktadır.

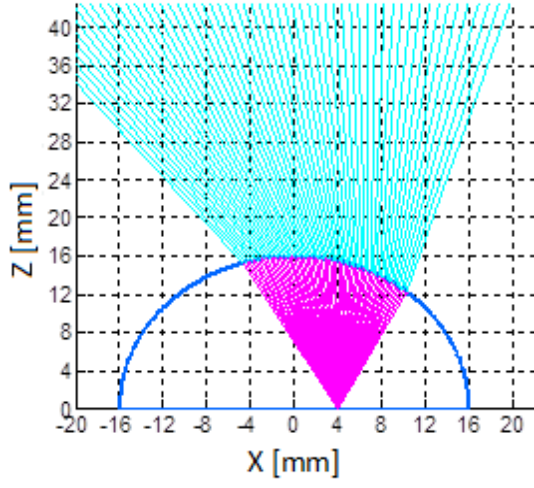
Aşağıda ışın takibi metodu ile yarıküresel lensten yayılan dalganın alıcı ve verici modda davranışı verilmektedir. Işın takibi işlemi için kullanılan yarıküresel lens anten biçim ve boyutları CST çizimi ile eşittir. Besleme noktasından çıkan ışınlar yarıküresel lens antenin içerisinde ilerler. Dielektrik sabiti 3.01 olarak belirlenmiş antene ait 0, 2, 4, 6 ve 8 mm besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi Şekil 3.13’ te gösterilmektedir.



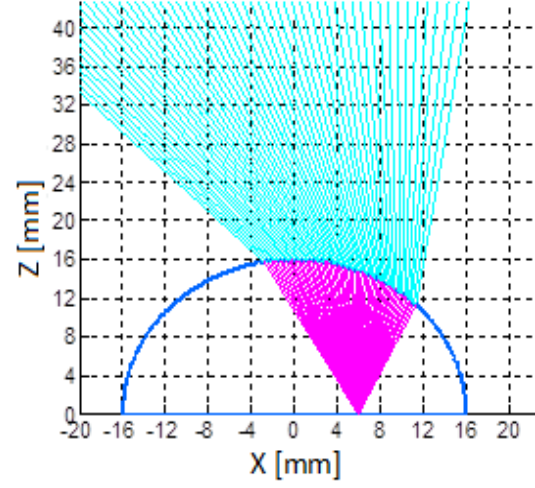
(a)



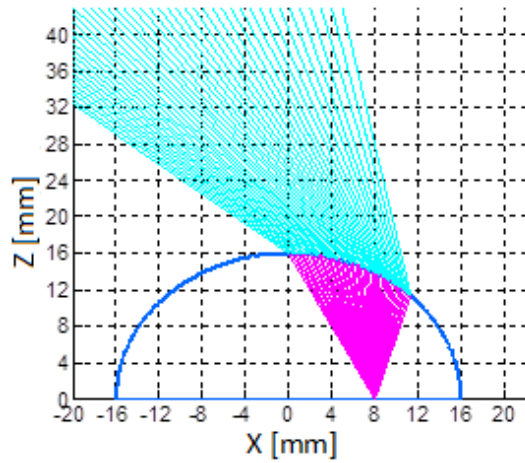
(b)



(c)



(d)

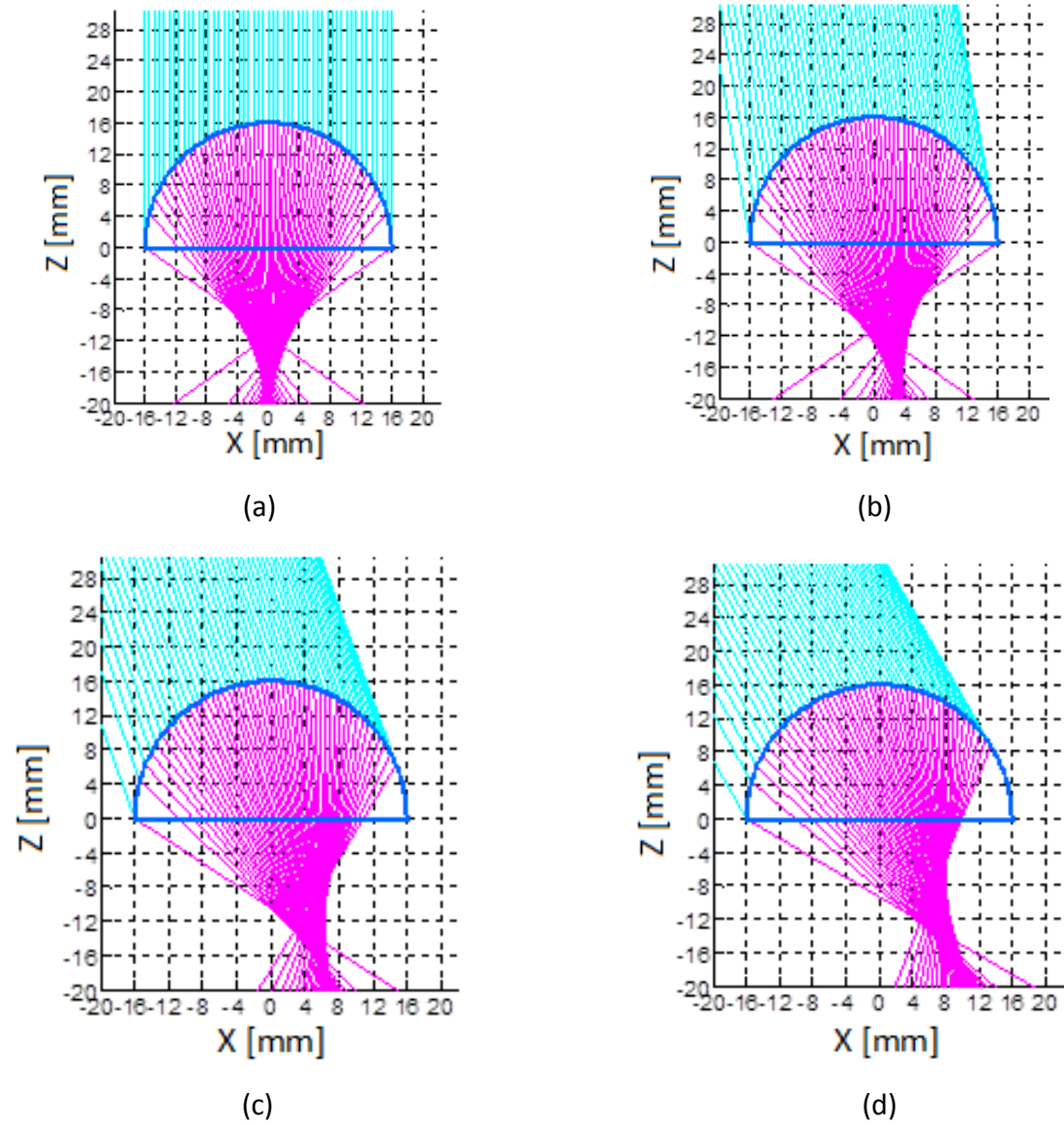


(e)

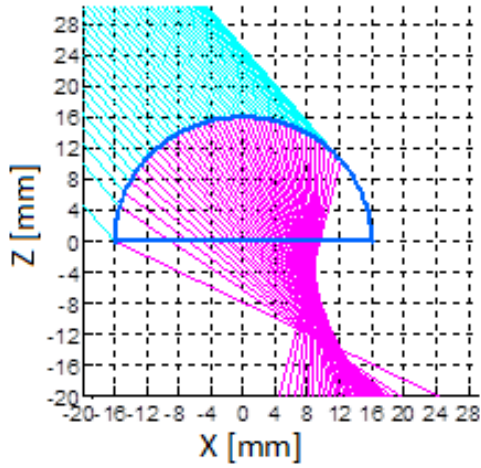
Şekil 3.13  $\epsilon_r = 3.01$  olan yarıküresel lensin (a)  $x=0$  mm (b)  $x=2$  mm (c)  $x=4$  mm (d)  $x=6$  mm (e)  $x=8$  mm besleme noktasındaki verici durum ışın takibi

Yarıküresel lens anten yapısının merkez noktasından besleme yapıldığında çıkan ışınlar kırılmadan ilerlemektedir. Bunun sebebi, merkezden gelen ışınların normal doğrultusunda gelmesidir. Yarıküresel lens antende ilerleyen ışınlar farklı noktalardan beslendiğinde farklı kırılma açılarıyla ilerlemiştir.  $\epsilon_r = 3.01$  olan lens içerisinden çıkan ışınlar dielektrik sabiti 1 olan hava ortamına geldiğinde normal ekseninden uzaklaşacak şekilde kırılmıştır.

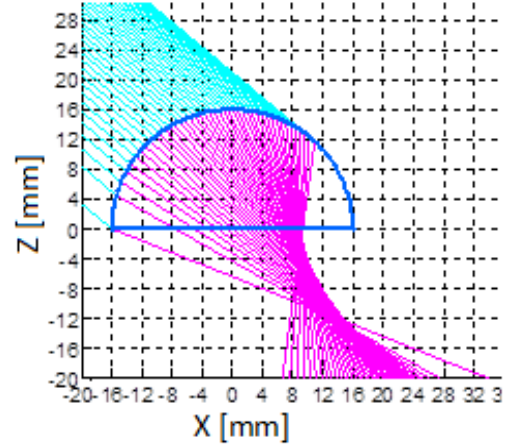
Alıcı durumda dışarıdan gelen ışın, yarıküresel lensin dış yüzeyine gelmekte ve ardından lens içerisinde ilerlemektedir. Alıcı durum ışın takibi için 0, 10, 20, 30, 40, 50 derecelerden gelen ışın görüntüleri Şekil 3.14' te belirtilmektedir.



Şekil 3.14  $\epsilon_r = 3.01$  olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (a) 0° (b) 10° (c) 20° (d) 30°



(e)



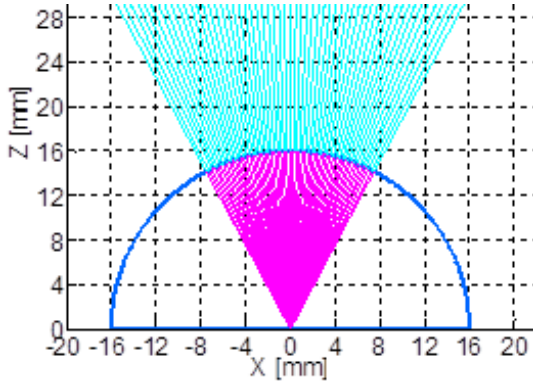
(f)

Şekil 3.14  $\epsilon_r = 3.01$  olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$   
(devamı)

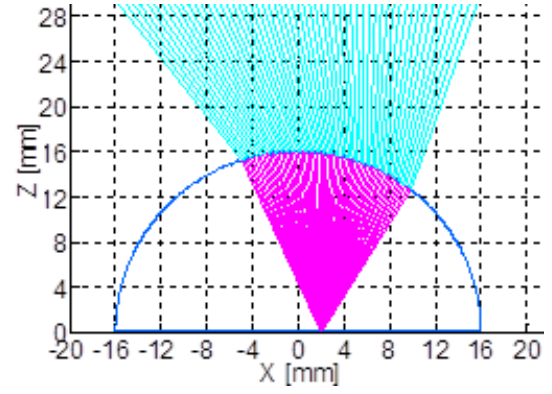
Hava ortamından dielektrik sabiti 3 olan dielektrik lense gelen ışınların geliş normaline yaklaşarak kırılma yaptığı ve lensin gerisinde bir noktada birleştiği görülmektedir. Birleşim noktaları lensin odak noktasının olması gerektiği yerlerdir. Ancak görüldüğü gibi tüm birleşim noktaları lensin dışında yer almaktadır. Odak noktasının yeri lensin beslemesinin yer alması gereken konum hakkında bilgi verir.

Alıcı ve verici durumda ışın takibi yönteminin çıktılarına göre, sadece yarıküresel dielektrik lens anten kullanılarak istenilen açılara huzme yönlendirme yapılamamaktadır. Huzme yönlendirme işlemini yüksek kazançla yapabilmek için yarıküresel dielektrik lenslerden daha gelişmiş antenlere ihtiyaç duyulmaktadır.

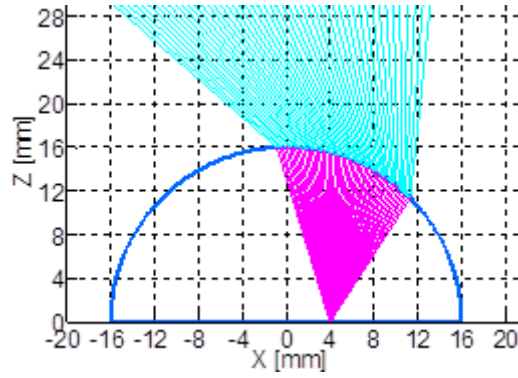
Aynı boyutlarda yarıküresel lens antenin dielektrik sabiti 9 olduğunda elde edilen yarıküresel antene ait  $x = 0, 2, 4$  mm verici durum ışın takibi Şekil 3.15' te gösterilmektedir. Dielektrik sabiti değişimiyle antenden çıkan ışınların daha çok kırıldığı belirlenmiştir.



(a)



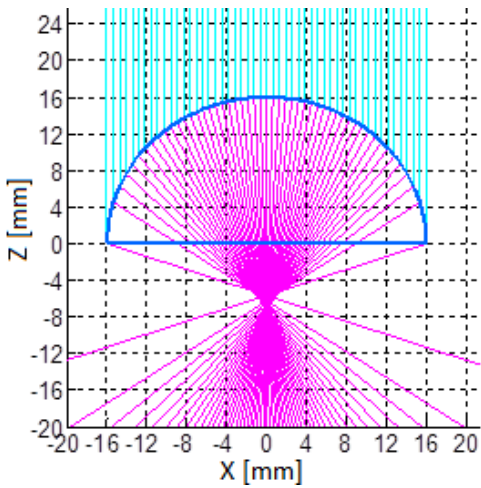
(b)



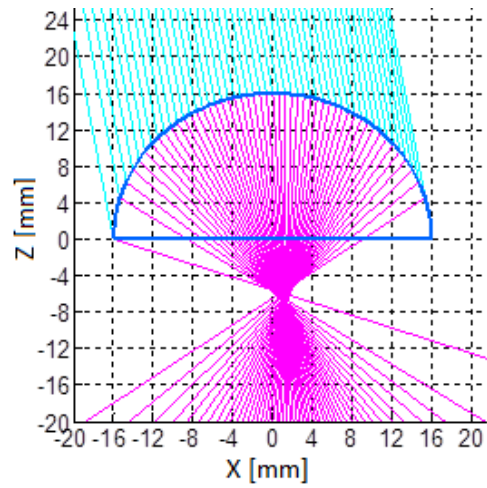
(c)

Şekil 3.15  $\epsilon_r = 9$  olan yarıküresel lensin (a)  $x = 0$  mm (b)  $x = 2$  mm (c)  $x = 4$  mm besleme noktasındaki verici durum ışın takibi

Dielektrik sabiti 9 olan yarıküresel antene ait 0, 10, 20, 30, 40, 50 derece alıcı durum ışın takibi Şekil 3.16' da gösterilmektedir.

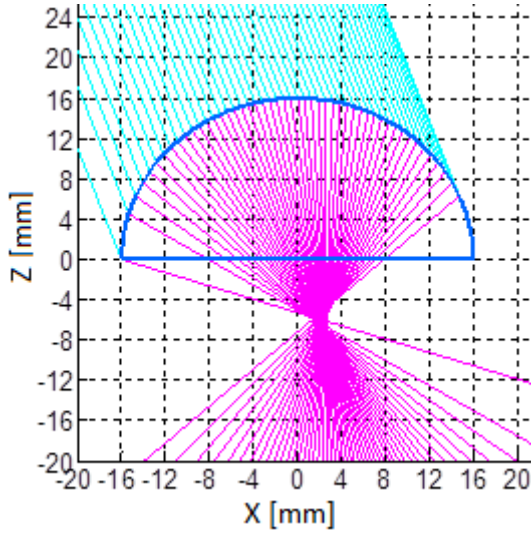


(a)

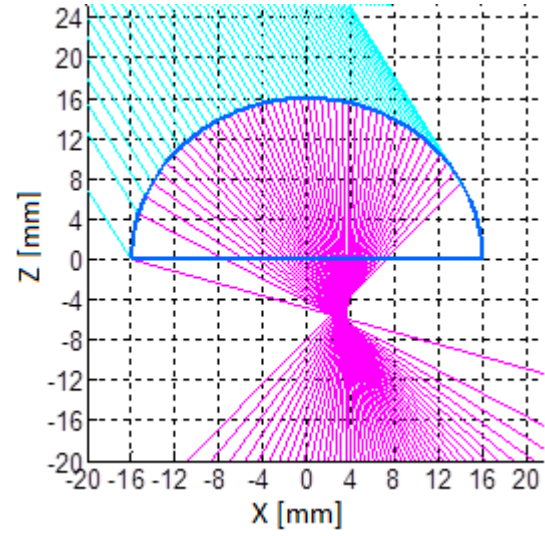


(b)

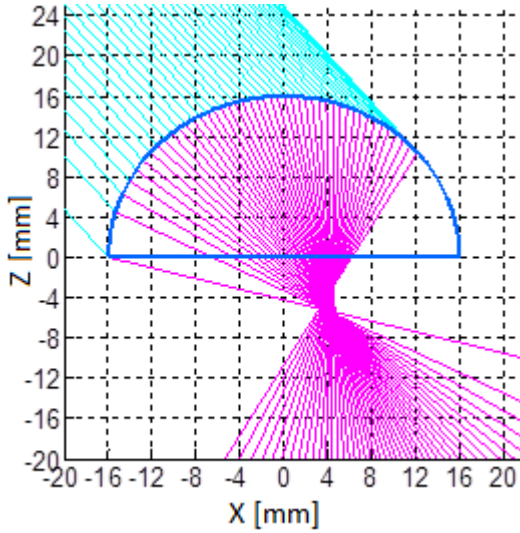
Şekil 3.16  $\epsilon_r = 9$  olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$



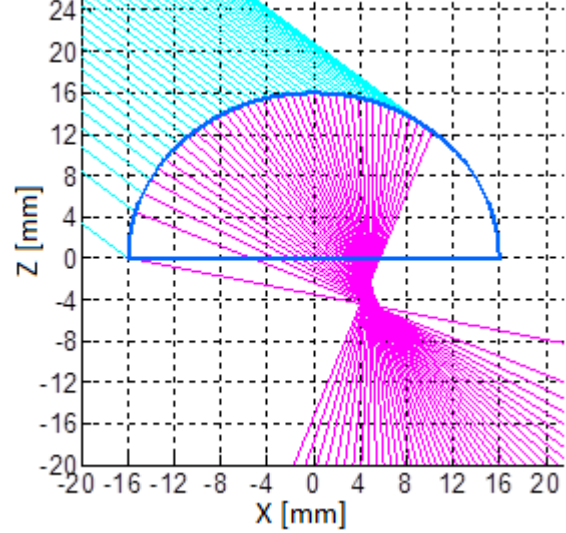
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.16  $\epsilon_r = 9$  olan yarıküresel lensin alıcı durum ışın takibi (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$  (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$  (devamı)

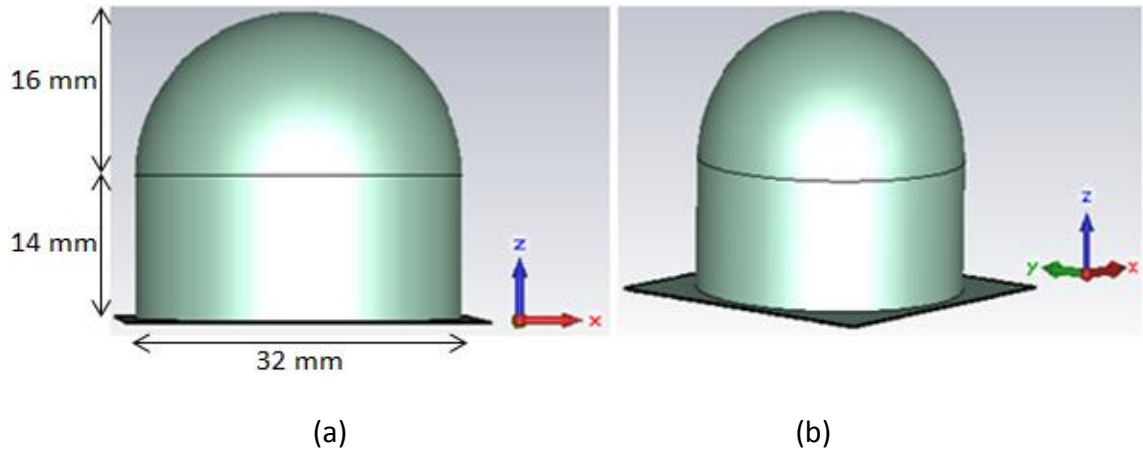
Beklenildiği gibi dielektrik sabiti 9 seçildiğinde ışınların kırılma açısının, dielektrik sabiti 3 olana göre arttığı alıcı ve verici durum ışın takibinden anlaşılmaktadır. Ayrıca dielektrik katsayısı ilk duruma göre ( $\epsilon_r = 3.01$ ) daha yüksek seçildiğinde ( $\epsilon_r = 9$ ) alıcı modundaki ışınların odak oluşturduğu yer lense yakınlaşmıştır. Yarıküresel lens anten tek başına  $\epsilon_r = 9$  ile de başarılı bir yönlendirme yapamamaktadır. Odak noktaları dikkate alınarak lens anten uzatılmalıdır. Ancak bu yöntem ile daha düzgün bir yönlendirme elde edilebilir.

### 3.2.2 Uzatılmış Yarıküresel Lens Anten

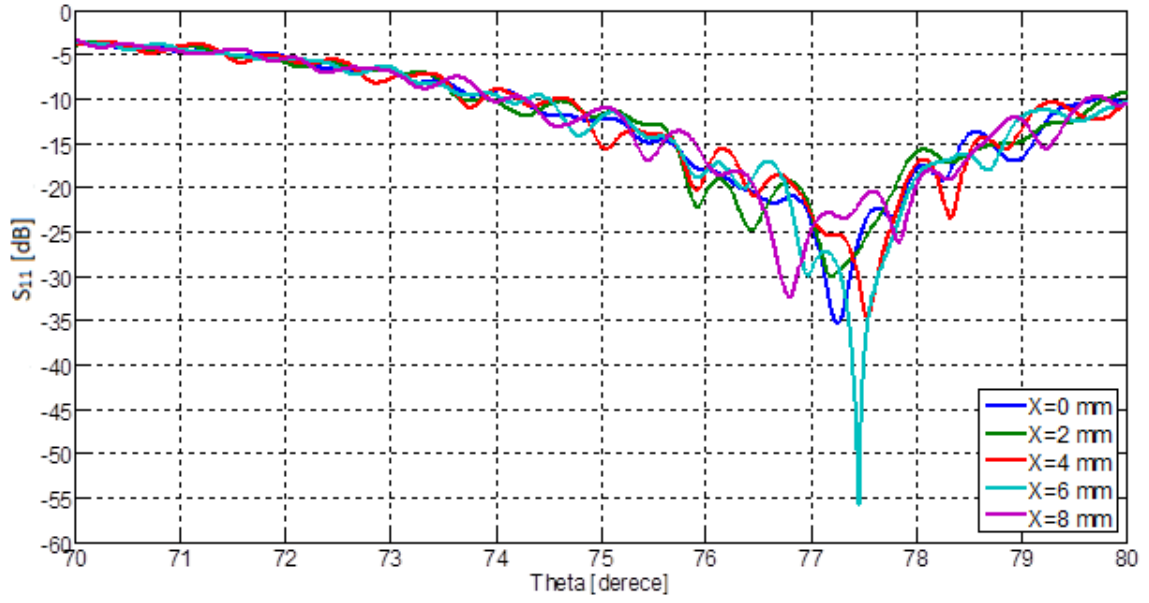
Uzatılmış yarıküresel lens anten, yarıkürenin tabanından L uzunluğunda silindirin eklenmesi ile elde edilen şeklidir. Lens antenin dielektrik katsayısı ve yarıçapına bağlı olarak L uzunluğu (3. 1)' e göre hesaplanmaktadır [22].

$$L_{100\%} = \frac{R}{\sqrt{1 - \frac{1}{\epsilon_r}}} + \frac{R}{\sqrt{\epsilon_r - 1}} - R \quad (3.1)$$

Örnek olarak, ultem malzemesi ile üretilen 16 mm yarıçaplı uzatılmış yarıküresel lens antenin uzatma miktarı (3.1) eşitliği ile 14.91 mm olarak bulunur. Analitik formülasyonlar bazı durumlarda doğru sonuç vermemektedir. Uzatma miktarını analitik yol ile bulmanın yanı sıra alıcı modda ışın takibi ile de bulmak mümkündür. L uzunluğu ışın takibi ile 14 mm olarak belirlenmiştir. Anten beslemesi açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Tasarımı yapılan uzatılmış yarıküresel lens anten Şekil 3.17' de boyutlarıyla verilmiştir.

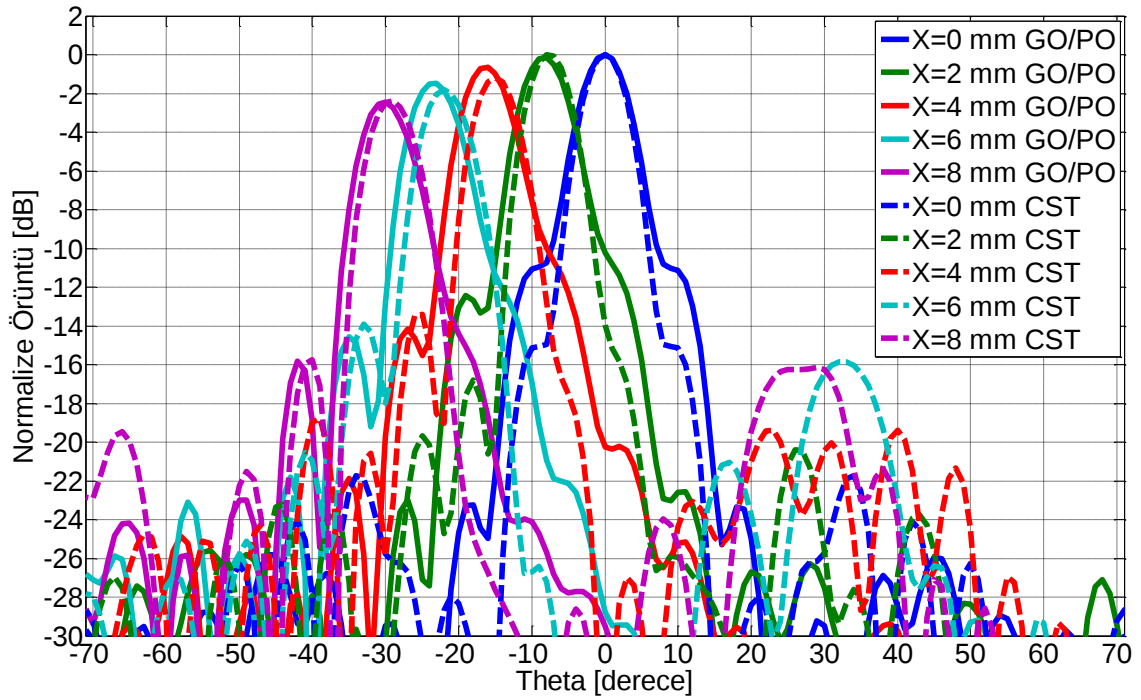


Şekil 3.17 Uzatılmış yarıküresel lens anten (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm



Şekil 3.18 Uzatılmış yarıküresel lens antenin  $S_{11}$  değişimi

Şekil 3.18’ de uzatılmış lens antenin  $x = 0, 2, 4, 6, 8$  mm’ den beslendiği durumlardaki geri dönüş kaybı değişimi gösterilmektedir. Uzatılmış yarıküresel lens antene ait ışıma örüntüsü Şekil 3.19’ da yer almaktadır.



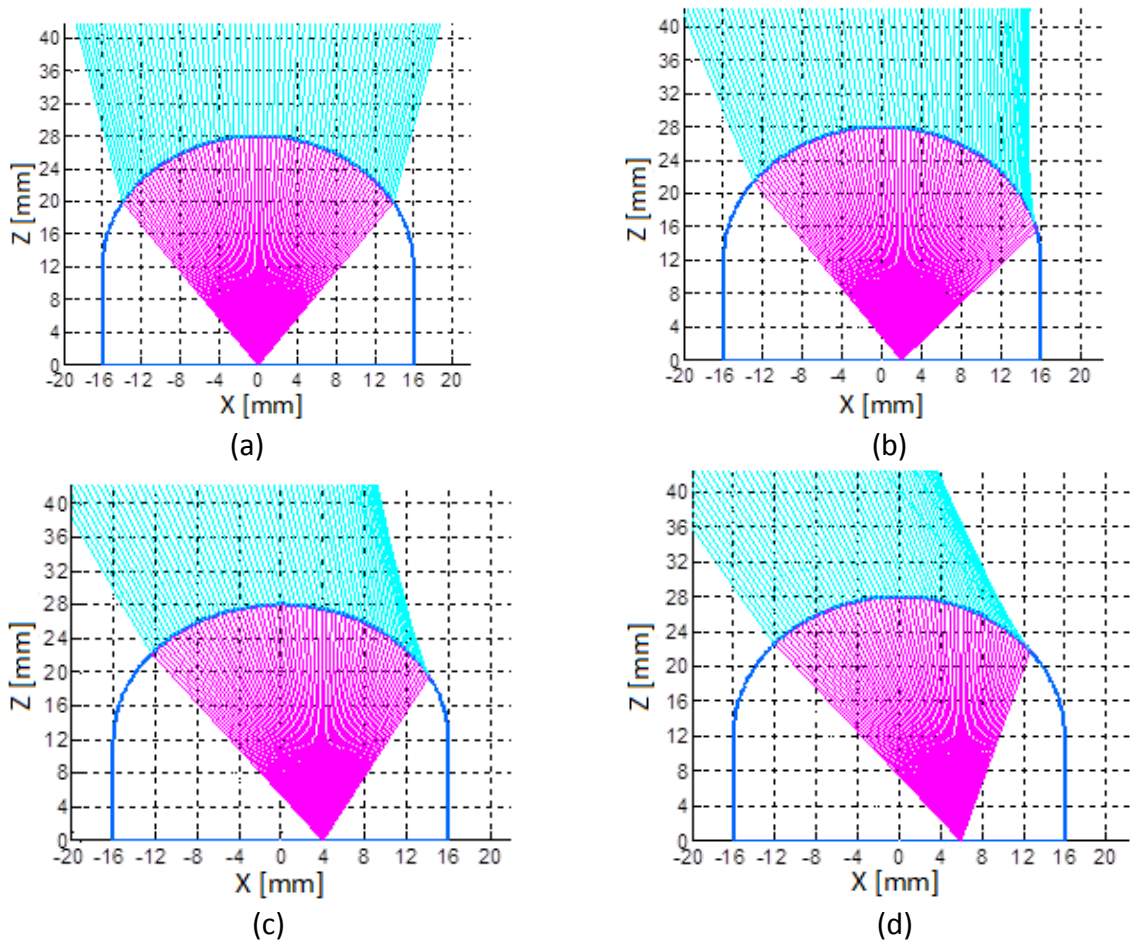
Şekil 3.19 Uzatılmış yarıküresel lensin ( $\epsilon_r = 3.01$ ) kazanç örüntüsü

Uzatılmış yarıküresel lensin örüntü grafiğinden elde edilen değerlerin bilgisi Çizelge 3.2’ de gösterilmektedir.

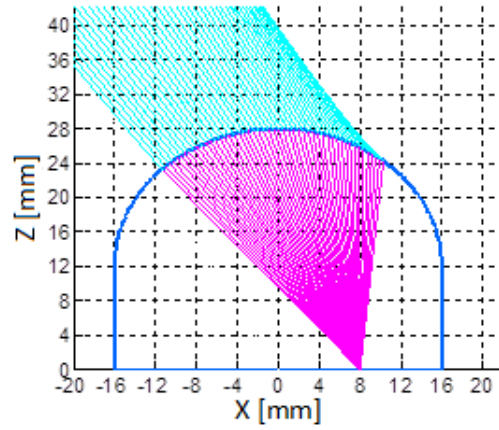
Çizelge 3.2 Uzatılmış yarıküresel lens ( $\epsilon_r = 3.01$ ) antenin performans analizi

| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dB] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 27.4        | 0                 | -21.7                 |
| 2      | 7.8                   | 27.3        | 0.1               | -16.8                 |
| 4      | 14.96                 | 26.2        | 1.1               | -12.2                 |
| 6      | 25.54                 | 25.5        | 1.7               | -12.1                 |
| 8      | 29.45                 | 25          | 2.4               | -13.4                 |

Şekil 3.10' da verilen uzatılmış yarıküresel lens antenin alıcı ve verici moddaki ışın takibi sonuçları 3.20 ve 3.21' de verilmiştir. Besleme noktasından çıkan ışınlar lensin içerisinde ilerlerler. L uzunluğu, bir önceki bölümde yarıküresel lensin ışın takibi sonuçları kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.20  $\epsilon_r = 3.01$  olan uzatılmış yarıküresel lensin farklı besleme konumlarındaki verici durum ışın takibi (a)  $x= 0$  mm (b)  $x= 2$  mm (c)  $x= 4$  mm (d)  $x= 6$  mm

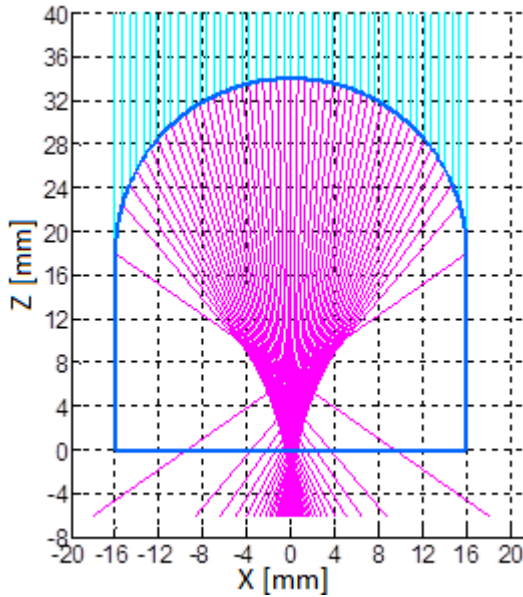


(e)

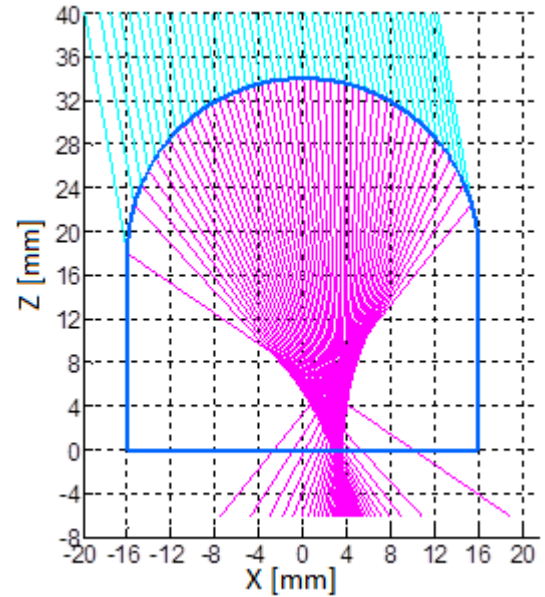
Şekil 3.20  $\epsilon_r = 3.01$  olan uzatılmış yarıküresel lensin farklı besleme konumlarındaki verici durum ışın takibi (e)  $x = 8$  mm (devamı)

Bu grafiklerden odaktan beslenen uzatılmış yarıküresel antenin hava ortamındaki ışıma çizgilerinin paralel formda olduğu görülmektedir. Bu da elektromanyetik dalganın yönlendirilebildiğini gösterir.

Alıcı durumda dışarıdan gelen ışın, uzatılmış yarıküresel lensin dış yüzeyine gelmekte ve ardından lens içerisinde ilerlemektedir. Alıcı durum için  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  ile gelen ışın görüntüleri Şekil 3.21' de belirtilmektedir.

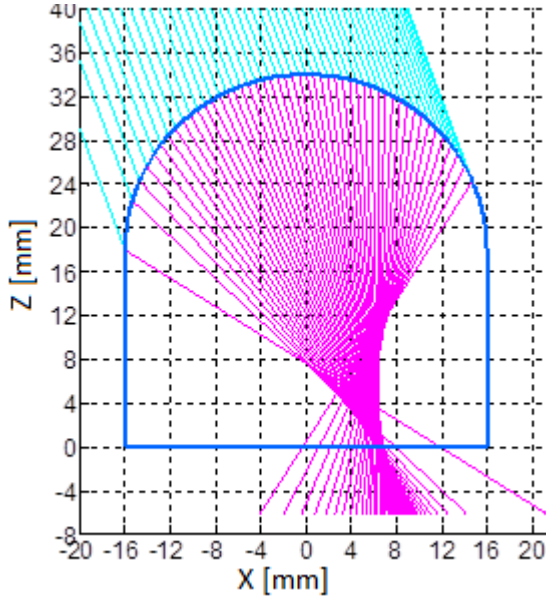


(a)

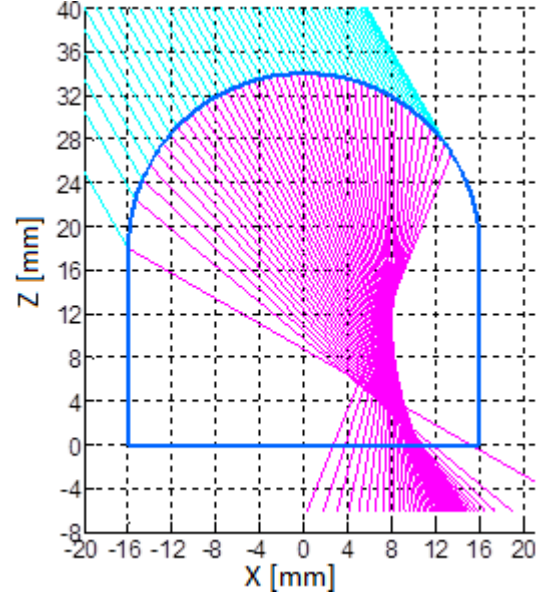


(b)

Şekil 3.21 Uzatılmış yarıküresel lensin alıcı durum davranışı ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$



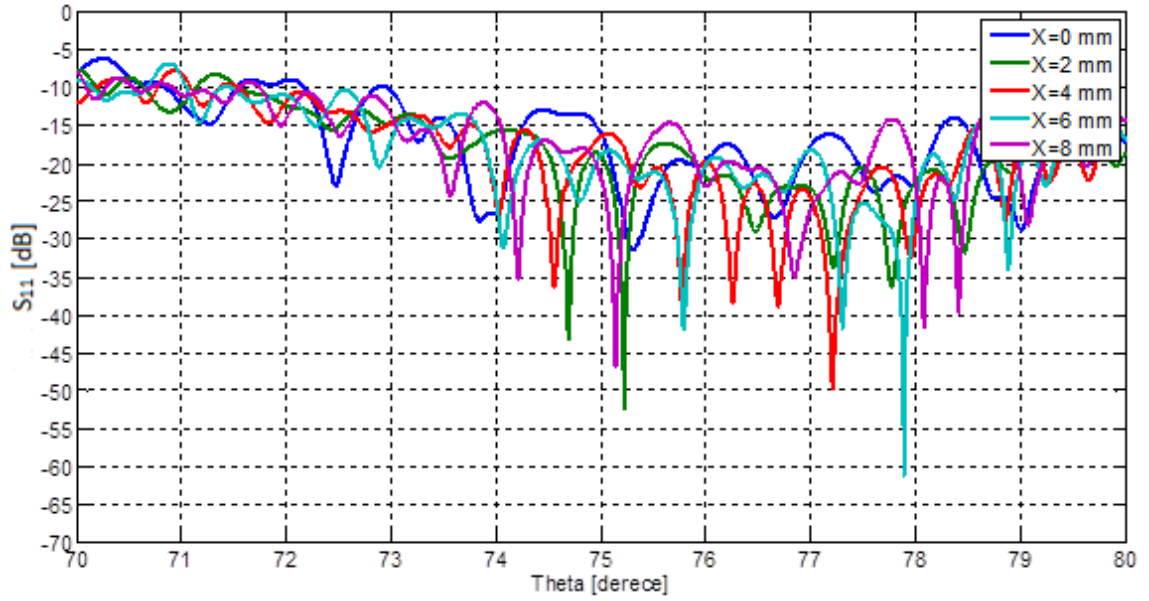
(c)



(d)

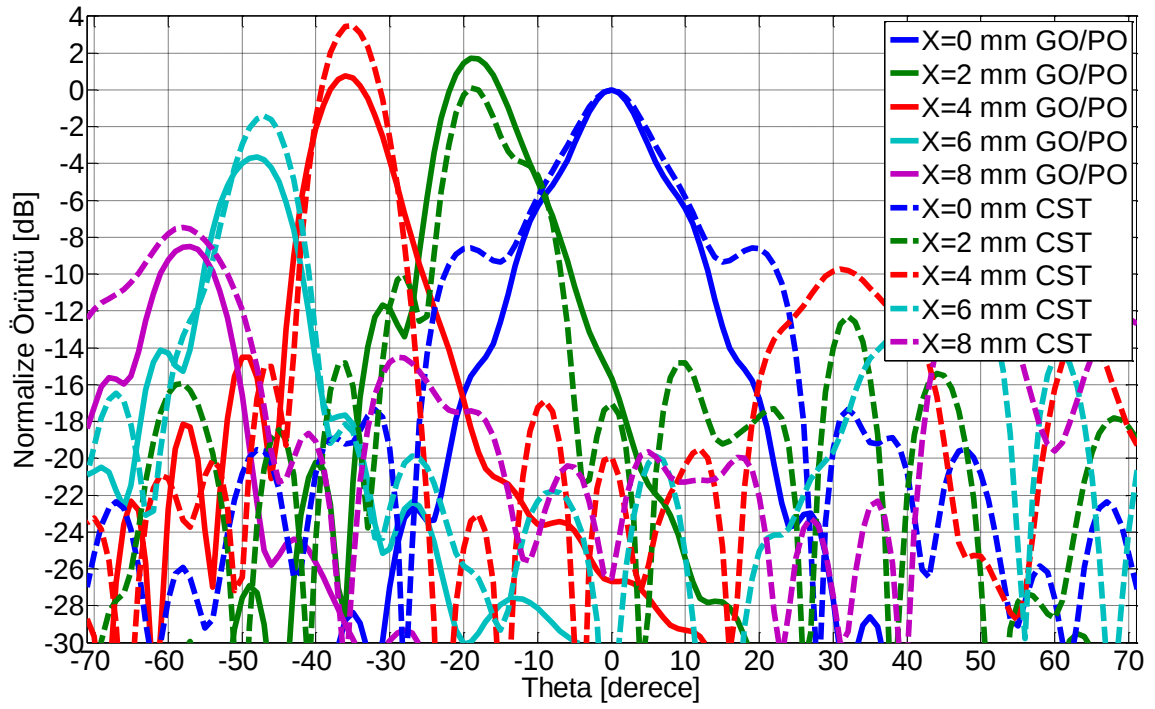
Şekil 3.21 Uzatılmış yarıküresel lensin alıcı durum davranışı ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (c)  $20^\circ$   
(d)  $30^\circ$  (devamı)

Aynı lensin dielektrik sabiti 9 yapıldığında uzatma miktarı 5,58 mm olmaktadır. Uzatılmış lens antene ait CST' den elde edilen  $S_{11}$  grafiği Şekil 3.22' de gösterilmektedir.



Şekil 3.22 Uzatılmış yarıküresel lens antenin  $S_{11}$  grafiği

5,58 mm uzatmaya sahip lens antenin CST ve GO/PO ışıma örüntüleri Şekil 3.23' te gösterilmektedir.



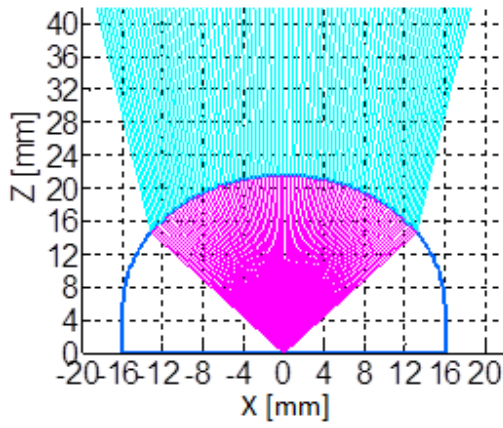
Şekil 3.23 Uzatılmış yarıküresel lensin ( $\epsilon_r = 9$ ) kazanç örüntüsü

$\epsilon_r = 9$  uzatılmış yarıküresel lensin örüntü grafiğinden elde edilen değerlerin bilgisi Çizelge 3.3' te gösterilmektedir.

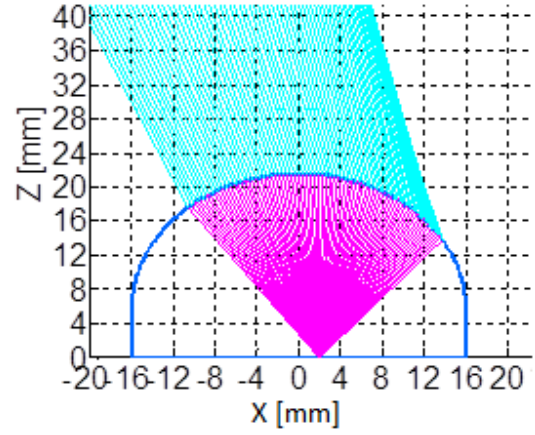
Çizelge 3.3 Uzatılmış yarıküresel lens ( $\epsilon_r = 9$ ) antenin performans analizi

| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dB] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 19          | 0                 | -8.6                  |
| 2      | 18.82                 | 19          | 0                 | -10.2                 |
| 4      | 35.24                 | 22.4        | -3.4              | -13.2                 |
| 6      | 47.15                 | 17.6        | 1.4               | -6.7                  |
| 8      | 57.42                 | 11.4        | 7.6               | -2.1                  |

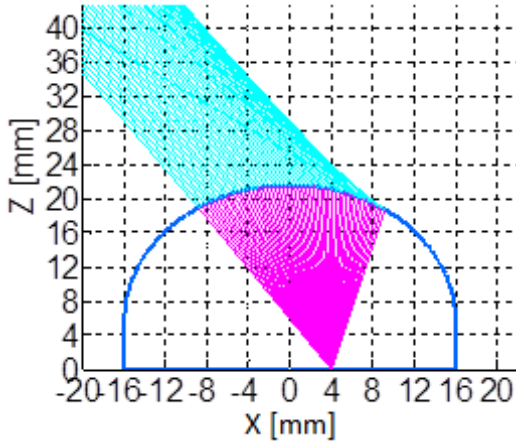
Uzatılmış yarıküresel antenin  $x = 0, 2, 4, 6$  mm besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi Şekil 3.24' te gösterilmektedir.



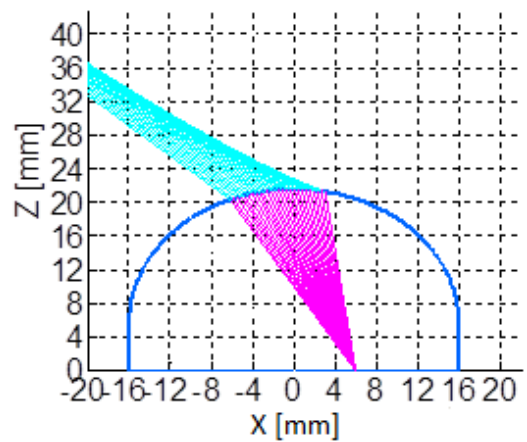
(a)



(b)



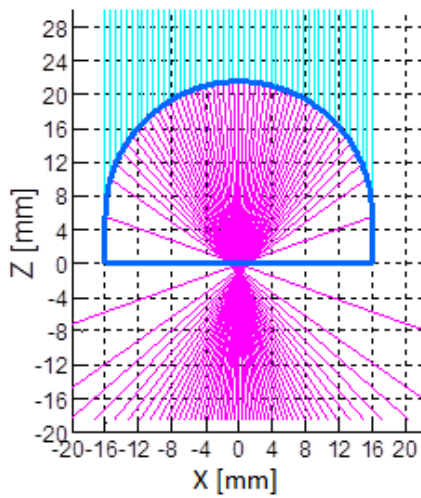
(c)



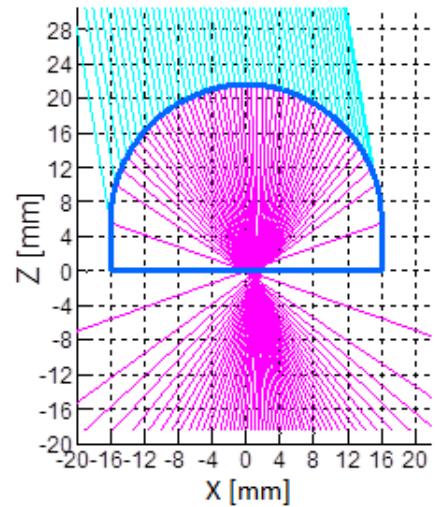
(d)

Şekil 3.24  $\epsilon_r = 9$  olan uzatılmış yarıküresel lens antenin verici durum ışın takibi (a)  $x=0$  mm (b)  $x=2$  mm (c)  $x=4$  mm (d)  $x=6$  mm

Uzatılmış yarıküresel lens antenin  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  alıcı durum ışın takibi Şekil 3.25' te gösterilmektedir.

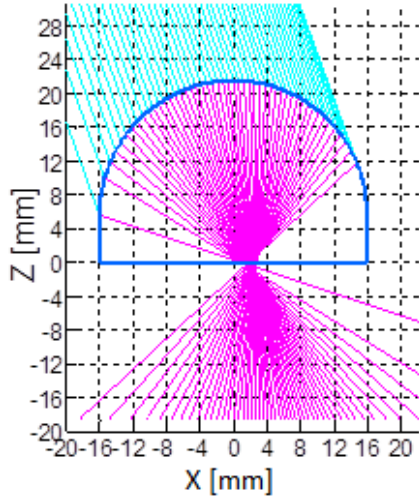


(a)

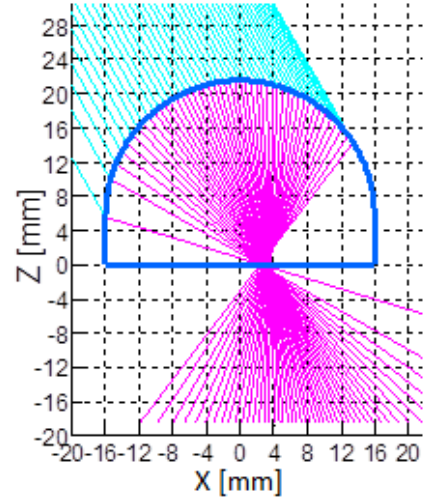


(b)

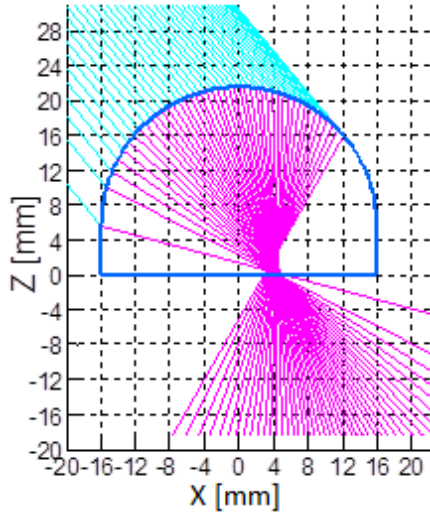
Şekil 3.25 Uzatılmış yarıküresel lens anten alıcı durumda ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$



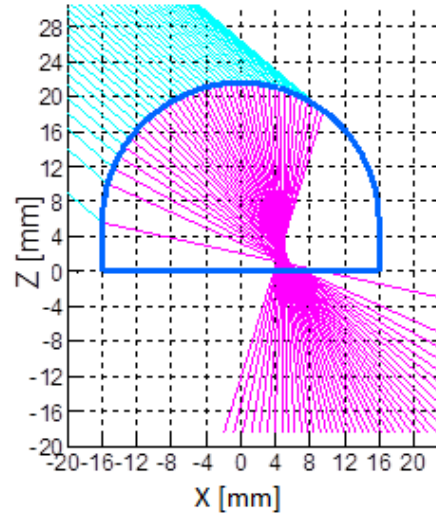
(c)



(d)



(e)



(f)

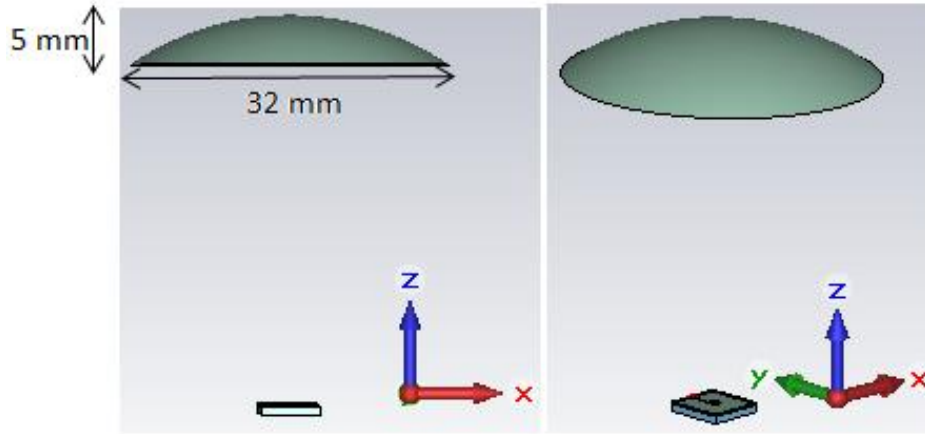
Şekil 3.25 Uzatılmış yarıküresel lens anten alıcı durumda ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$  (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$  (devamı)

Lens antenin dielektrik sabiti ile ışınla yapılan hava ortamının dielektrik sabitinin farkı arttığında uzatma uzunluğunun kısaldığı gözlenmiştir. Böylece lens antenin odağından ışınla yaparak uzak alanda paralel ışınla elde edilebilmektedir. Ancak yarıküresel anten çeşitlerinin ışınla örüntülerinde de görüldüğü üzere, dar bir huzmeye yüksek güç göndermek mümkün değildir. Bu sebeple yarıküresel lens antenler otomotiv radarı uygulamalarında tek başına kullanılamamaktadır.

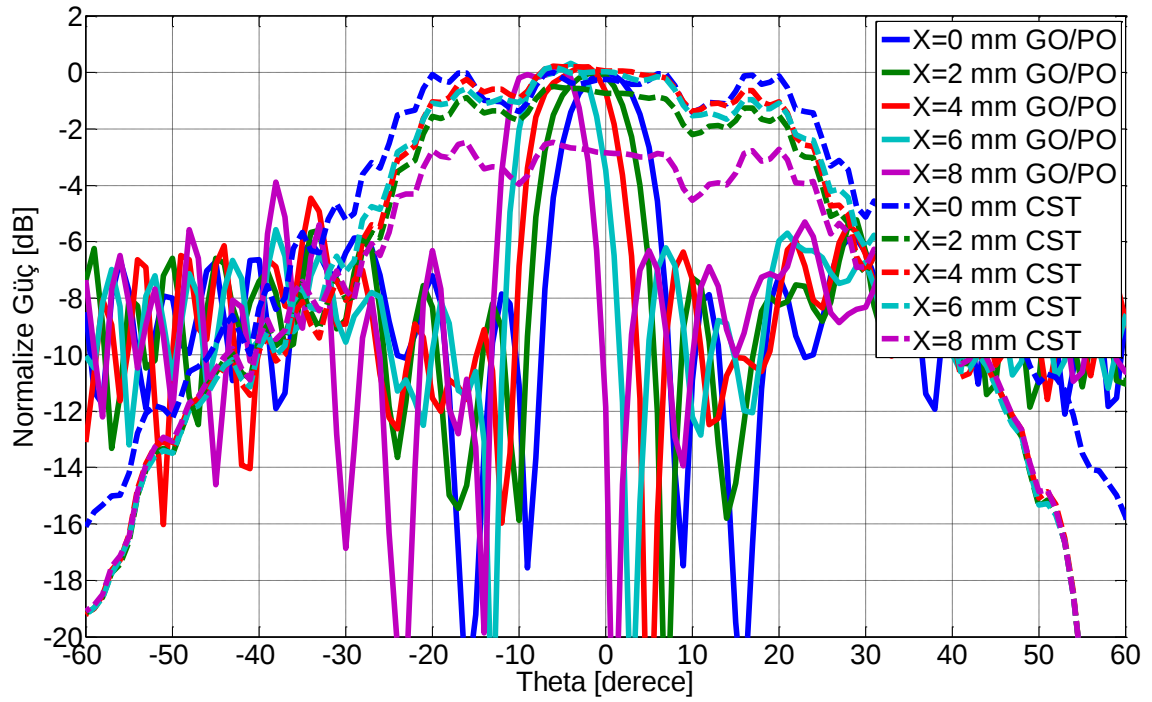
### 3.3 Planoküresel Lens Anten

Yarıküresel lens antenlerin analiz sonuçları göz önüne alındığında geniş açıları başarıyla tarayabildikleri ancak bu açılarda belirli aralıklara yönlendirmenin sağlıklı yapılamadığı görülmüştür. Belirli açılara ana huzmeyi yönlendirmenin yerine belirli bir frekans bandında çalışmaktadırlar. Her ne kadar iyi bir özellik olarak görünse de antenin gücü tam anlamıyla yönlendiremediği için alternatif olarak planoküresel lens antenler düşünülmüştür. Planoküresel lens antenler yüksek yönlendirme özellikleri sayesinde yarıküresel lens antenlerin olumsuz özelliklerinden doğan yönlendirme sorununu çözebilmektedirler.

Yarıküresel antenden farklı olarak planoküresel lens anten besleme antenin üstünde boşluk kalacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu farklılığın sebebi planoküresel lens antenin odağının, antenin çok dışında olmasından kaynaklanmaktadır. Planoküresel antenin yarıçapı 16 mm, kalınlığı 5 mm, dielektrik sabiti ise 3' tür. Anten beslemesi açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Tasarımı yapılan anten yapısının CST çizimi Şekil 3.26' da verilmektedir.



Şekil 3.26 Planoküresel lens anten (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm  
Çizilen yarıküresel antenin 0, 2, 4, 6 ve 8 mm besleme noktalarındaki CST ve GO/PO ışınma örüntüleri Şekil 3.27' de gösterilmektedir.



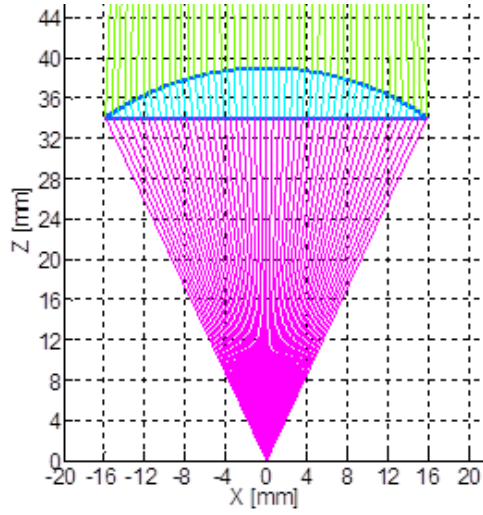
Şekil 3.27 Planoküresel antenin farklı besleme noktalarından uyarılması ile elde edilen ışıma örüntüleri

Planoküresel lensin örüntü grafiğinden elde edilen değerlerin bilgisi Çizelge 3.4' te gösterilmektedir.

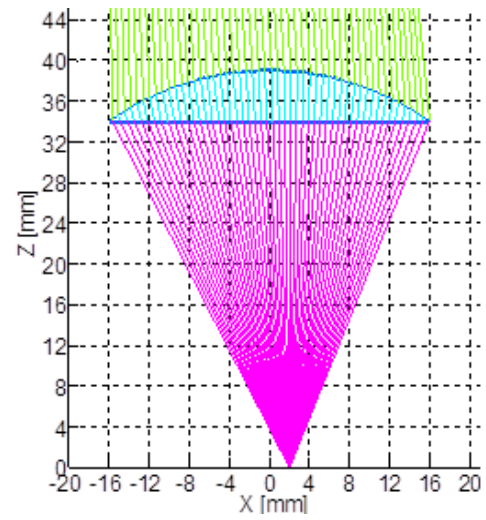
Çizelge 3.4 Planoküresel lens antenin performans analizi

| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dBi] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 9.8          | 0                 | -6.4                  |
| 2      | 0                     | 9.6          | 0.2               | -6.6                  |
| 4      | 0.9                   | 10.3         | -0.7              | -7.6                  |
| 6      | 1                     | 10.4         | -0.1              | -6.7                  |
| 8      | 1.23                  | 7.6          | 2.8               | -4.3                  |

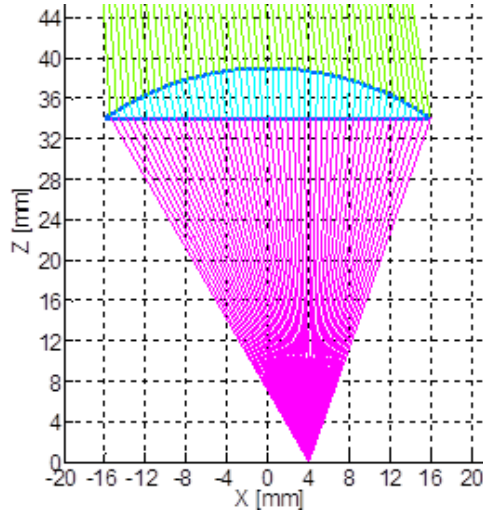
Planoküresel antene ait  $x = 0, 2, 4, 6, 8, 10$  mm farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi grafikleri Şekil 3.28' de gösterilmektedir.



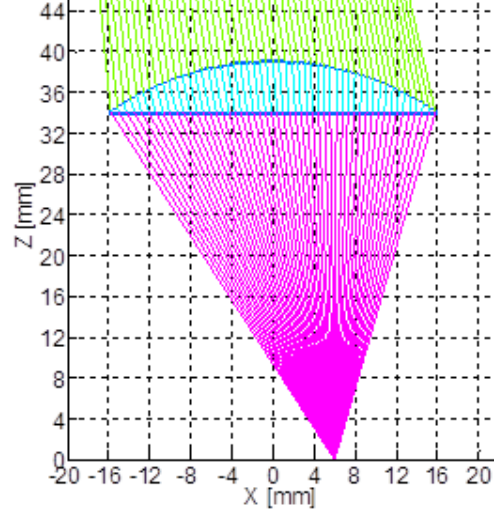
(a)



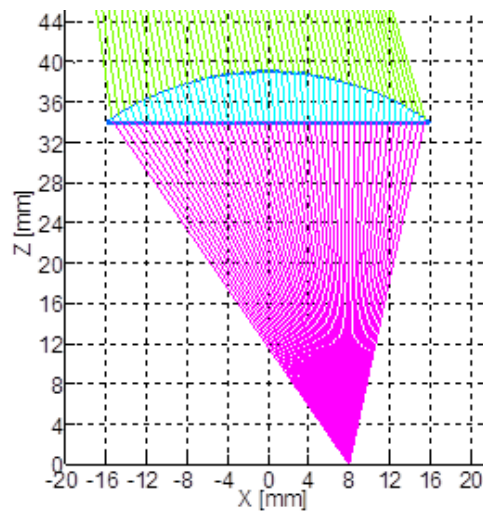
(b)



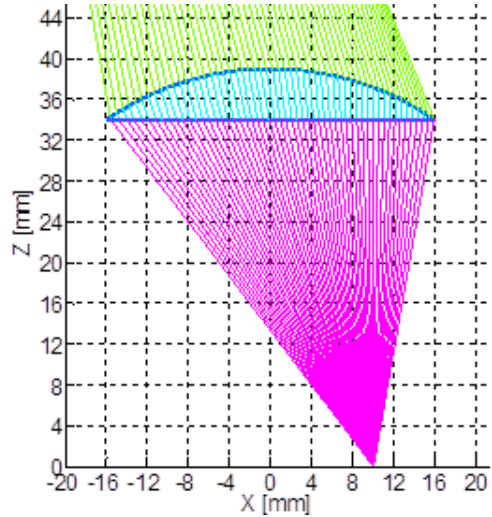
(c)



(d)



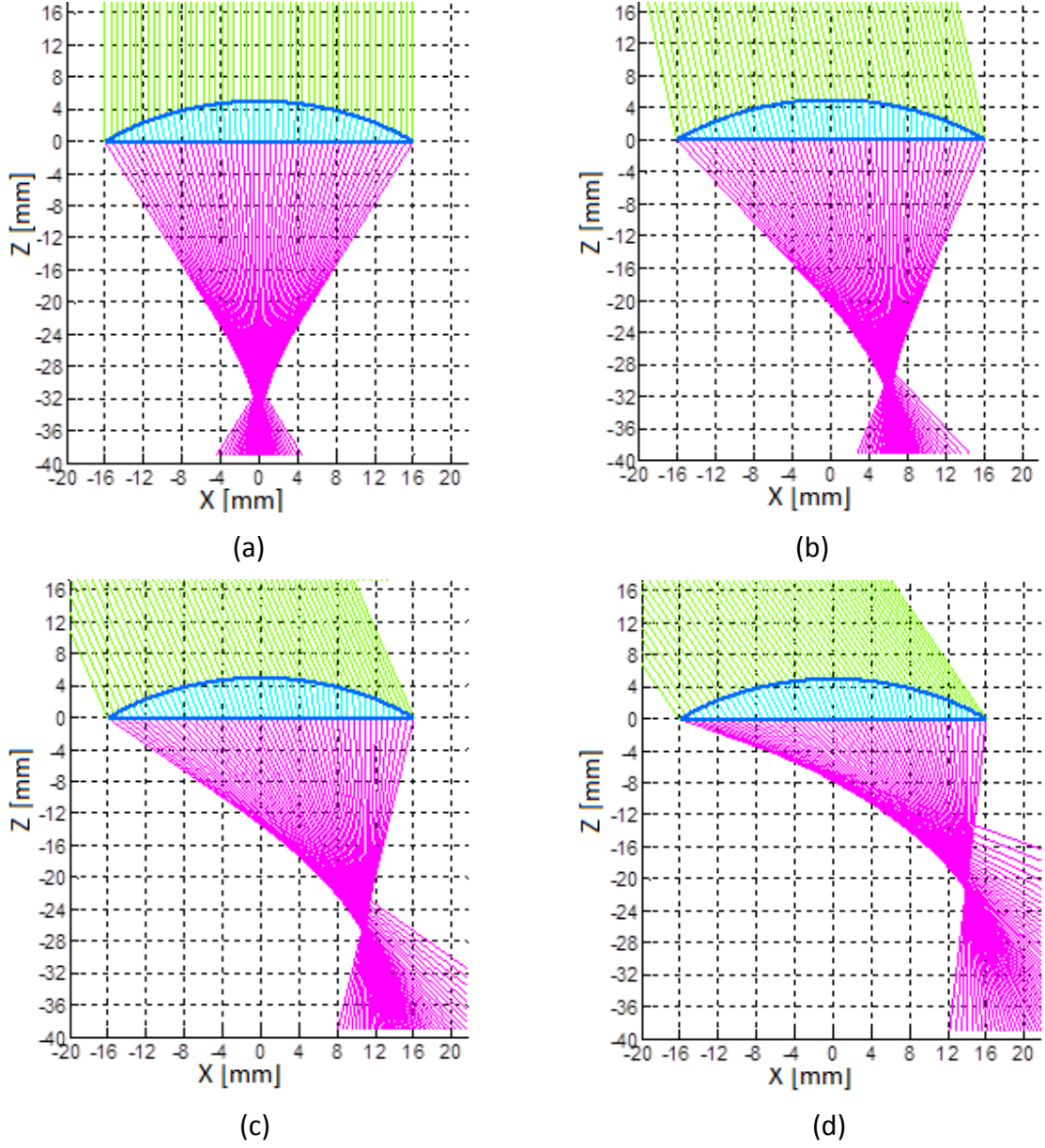
(e)



(f)

Şekil 3.28 Planoküresel lens anten verici durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a)  $x = 0$  mm (b)  $x = 2$  mm (c)  $x = 4$  mm (d)  $x = 6$  mm (e)  $x = 8$  mm (f)  $x = 10$  mm

Planoküresel lense ait  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  alıcı durum ışın takibi Şekil 3.29' da gösterilmektedir.

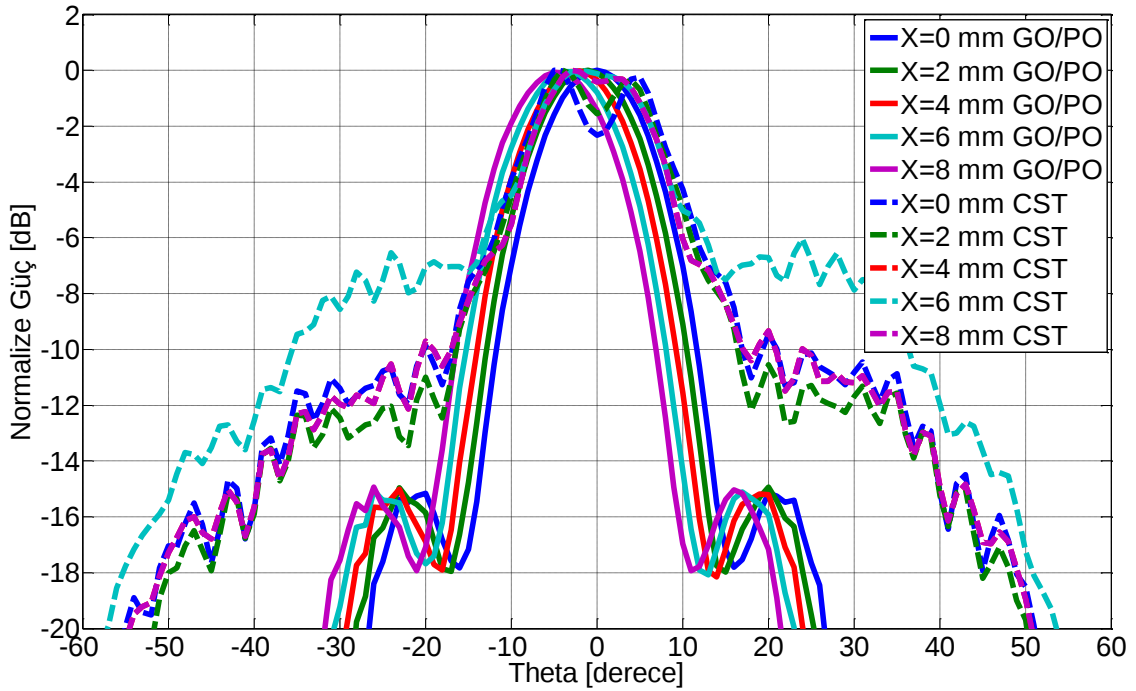


Şekil 3.29 Planoküresel lens anten alıcı durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 3.01$ ) (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$  (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$

Işın takibi yöntemiyle  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  açılardaki gelen ışınları odak noktasında toplayarak hangi noktada odak oluşturduğu belirlenir.

Planoküresel lens antenin kalınlığı 5 mm ve dielektrik sabiti 3 seçildiğinde antenin 34 mm gerisinde odak oluşturduğu görülmüştür. Planoküresel lens antenin 34 mm boyunca hava ortamında ilerlemesi birçok etkiye maruz kalacağı anlamına gelmektedir. Bu sebeple dielektrik katsayısının daha büyük seçildiği bir planoküresel lens anten için

de ışın takibi gözlenmiştir.  $\epsilon_r = 9$  olan planoküresel lense ait ışıma örüntüsü Şekil 3.30’ da yer almaktadır.



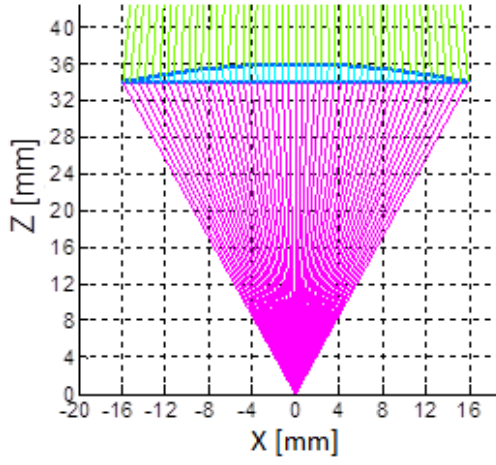
Şekil 3.30 ( $\epsilon_r = 9$ ) olan planoküresel lensin farklı konumlardan beslenmesi ile elde edilen ışıma örüntüsü

$\epsilon_r = 9$  olan planoküresel lensin örüntü grafiğinden elde edilen değerlerin bilgisi Çizelge 3.5’ te gösterilmektedir.

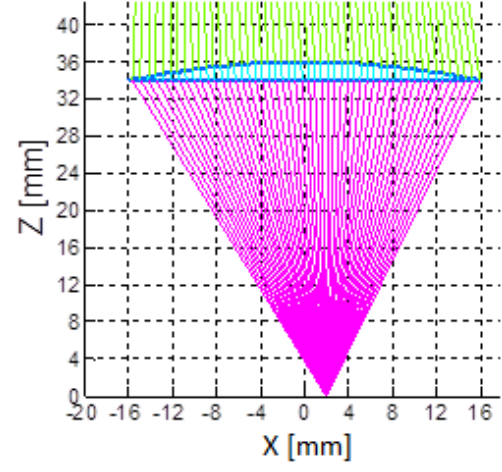
Çizelge 3.5  $\epsilon_r = 9$  planoküresel lens antenin performans analizi

| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dBi] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 14.9         | 0                 | -6.6                  |
| 2      | 0                     | 15.5         | -0.6              | -9.8                  |
| 4      | 1.1                   | 14.8         | 0.7               | -9.7                  |
| 6      | 2                     | 12.2         | 2.6               | -5.1                  |
| 8      | 2.25                  | 10.2         | 2                 | -1.6                  |

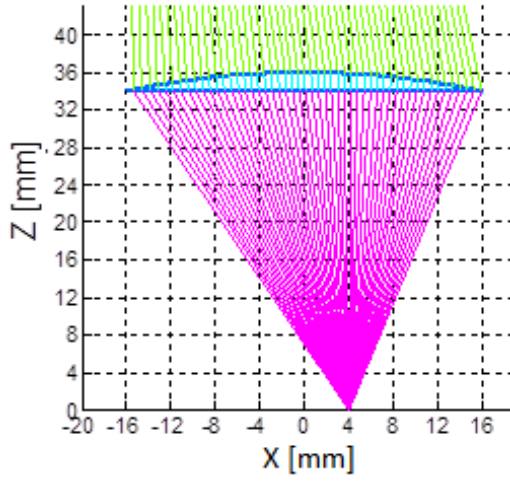
Dielektrik sabiti 9 olan 2 mm kalınlığındaki planoküresel lens antene  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ’lerinde gelen ışınlar sayesinde odak noktası belirlenebilmektedir. Planoküresel lens anten  $x = 0, 2, 4, 6, 8$  mm farklı besleme noktalarına ait verici durum ışın takibi Şekil 3.31’ de gösterilmektedir.



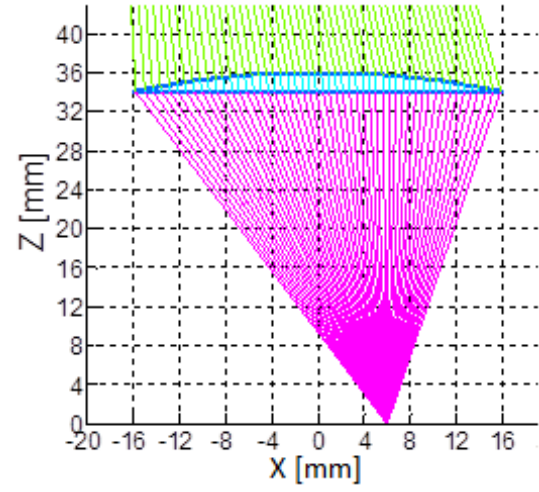
(a)



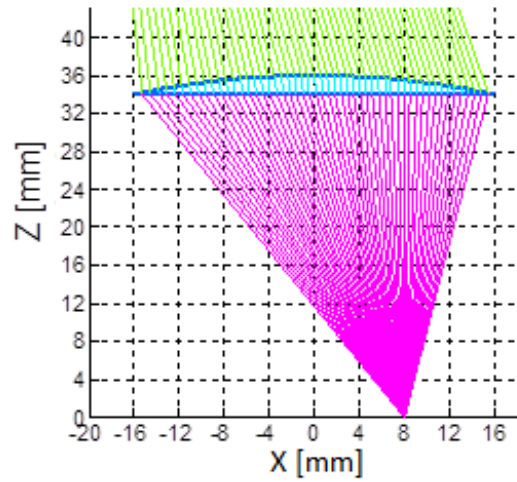
(b)



(c)



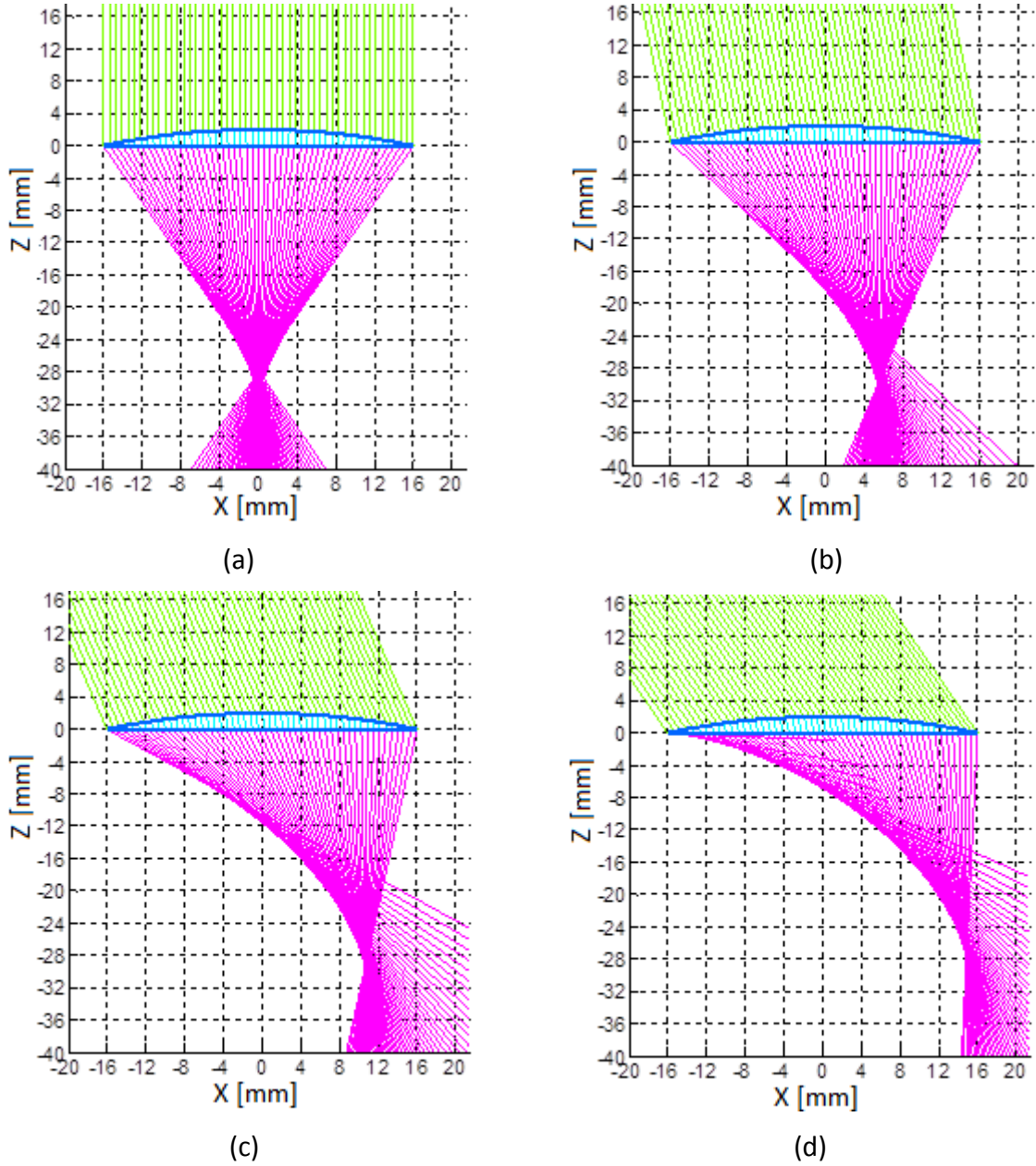
(d)



(e)

Şekil 3.31 Planoküresel lensin açısındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a)  $x = 0$  mm (b)  $x = 2$  mm (c)  $x = 4$  mm (d)  $x = 6$  mm (e)  $x = 8$  mm

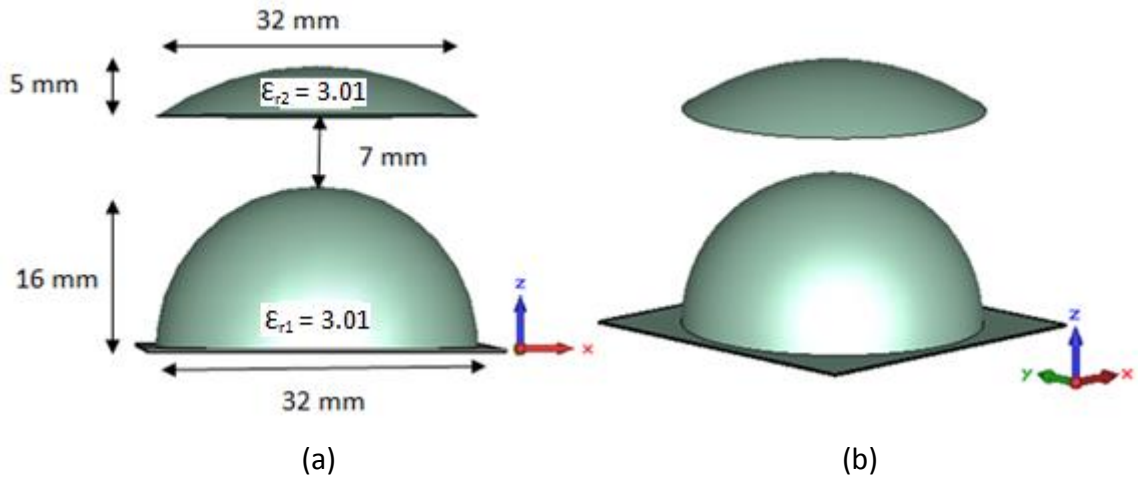
Planoküresel lens anten için  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  ait alıcı durum ışın takibi Şekil 3.32' de gösterilmektedir.



Şekil 3.32 Planoküresel lensin alıcı durum ışın takibi ( $\epsilon_r = 9$ ) (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$  (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$  Odak noktasından kaydırılarak beslenen planoküresel lens anteni küçük beslemeler ile istenen açıya huzme yönlendirememektedir. Tüm tekli lens antenlerin tek başına kullanılamayacağı simülasyon sonuçlarında görülmüştür. Bu sebeple dielektrik lens anten tasarımı yaparken yarıküresel ve planoküresel lens antenler beraber kullanılarak birbirinin olumsuz yanları etkisiz hale getirilir.

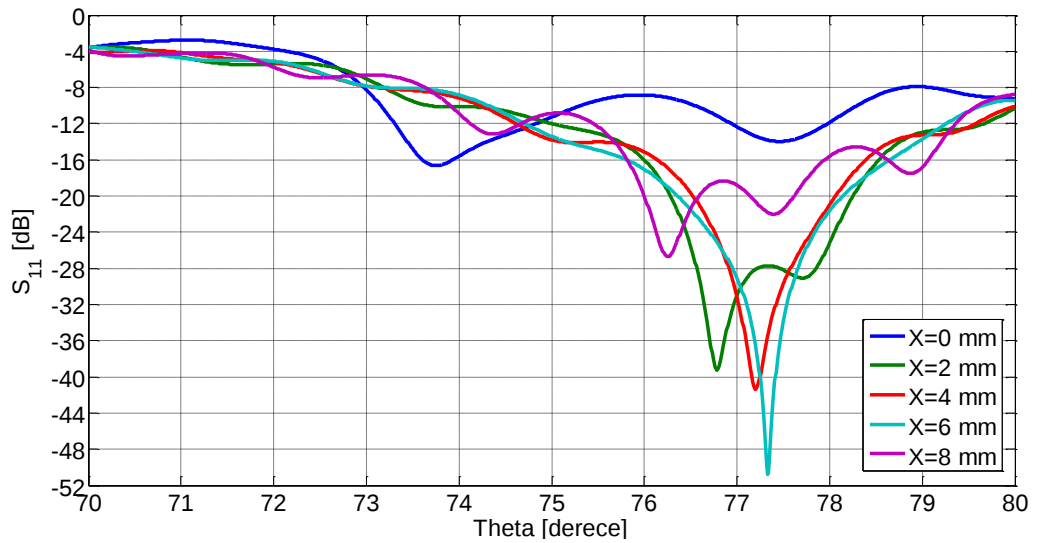
### 3.4 İkili Lens Antenler

Tasarlanan anten bir adet yarıküresel ve bir adet planoküresel antenden oluşmaktadır. Yarıküresel antenin bitiminden itibaren 7 mm yükseklikte planoküresel anten konumlandırılmıştır. Planoküresel antenin kalınlığı 5 mm'dir. İki antende de dielektrik sabiti 3 olan ultem malzemesi kullanılmıştır. Anten beslemesi açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Antenlerin yarıçapları eşit olup 32 mm'dir. Tasarımı yapılan anten yapısının CST çizimi Şekil 3.33' te verilmiştir.



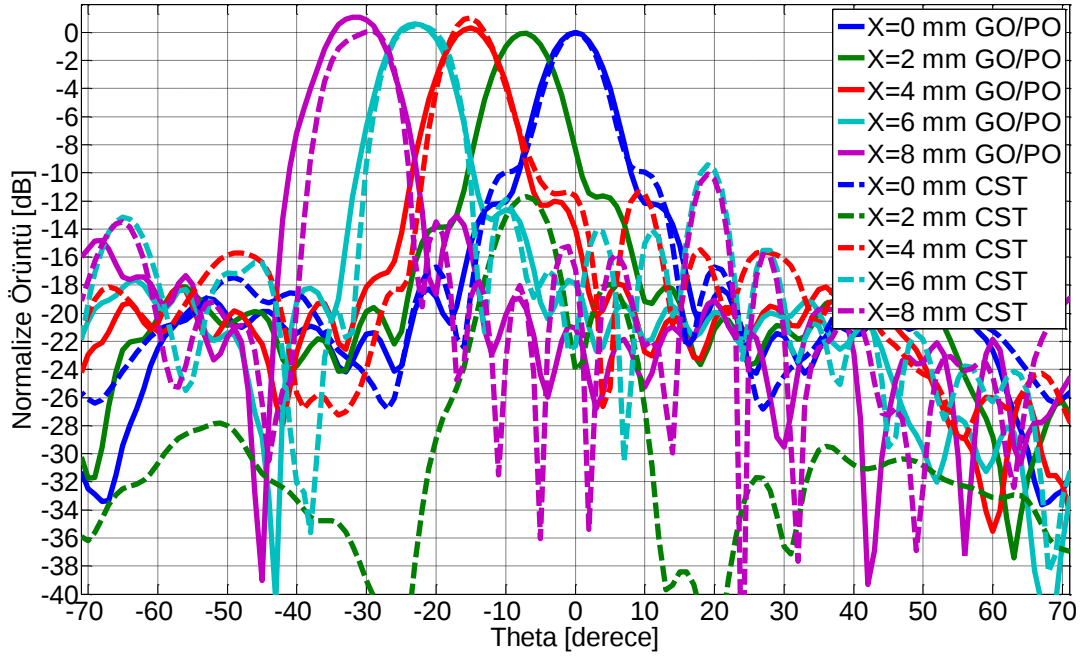
Şekil 3.33 Yarıküresel ve planoküresel lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a) yandan (b) perspektif görünümü

$X = 0, 2, 4, 6, 8$  mm konumlarından açıklık kuplajlı mikroşerit anten ile beslenmiş ikili lens antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi Şekil 3.34' te verilmiştir.

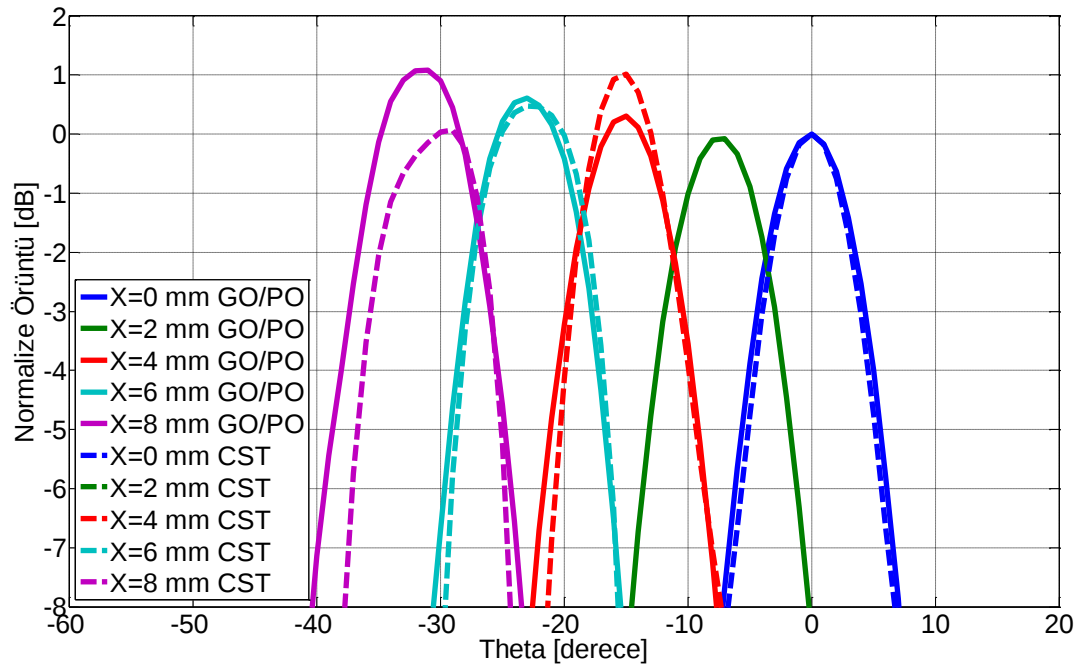


Şekil 3.34 Açıklık kuplajlı mikroşerit anten ile beslenmiş ikili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) geri dönüş kaybı

$X = 0, 2, 4, 6$  ve  $8$  mm' den açıklık kuplajlı mikroşerit anten beslemesi ile beslenen ikili lens antenin ışıma örüntüleri Şekil 3.35' te yer almaktadır. Şekillerde farklı besleme noktalarının kazanç ve yönlendiricilik örüntüleri tarama kayıplarının gözlemlenebilmesi için  $x = 0$  mm' deki örüntünün maksimum değerine normalize edilerek çizilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.35 (a) ikili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) CST ve GO/PO' da elde edilen kazanç ışıma örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm

İkili lens antenin CST örüntü grafiğinden elde edilen değerlerin bilgisi Çizelge 3.6' da gösterilmektedir.

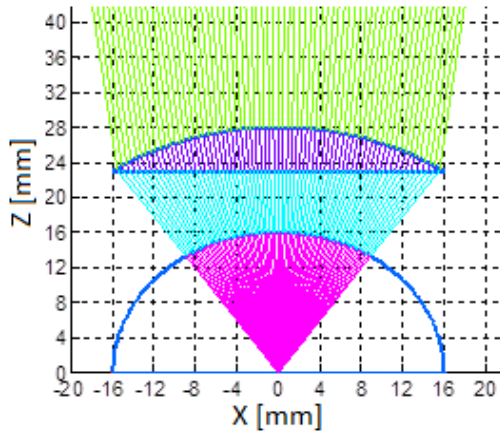
Çizelge 3.6 İkili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) huzme yönlendirme performansı

| <b>X [mm]</b> | <b>Tarama Açısı [derece]</b> | <b>Kazanç [dB]</b> | <b>Tarama Kaybı [dB]</b> | <b>Yan Lob Seviyesi [dB]</b> |
|---------------|------------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|
| 0             | 0                            | 22.9               | 0                        | -16.7                        |
| 2             | 7.24                         | 23.2               | -0.3                     | -6.2                         |
| 4             | 15.61                        | 23.7               | -0.8                     | -12.4                        |
| 6             | 22.37                        | 23.1               | -0.2                     | -9.9                         |
| 8             | 29.77                        | 22.8               | 0.1                      | -10.2                        |

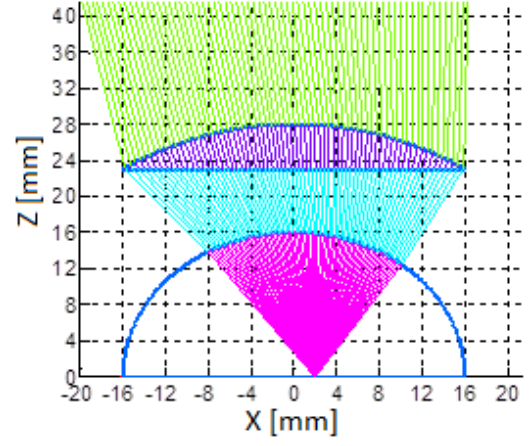
Çizelge 3.6' da farklı konumlardan beslenen ikili lens antenin performans değerleri yer almaktadır. Bu tablodan da görülebileceği gibi ultem malzemesi ile tasarlanan ikili lens anten ile 30°' ye 1 dB' den az bir kayıpla huzme yönlendirilebilmektedir.

Elde edilen grafiğe göre ikili lens anten yapısı, tekli lens anten yapısına kıyasla kazancının daha yüksek ve buna bağlı olarak da ana huzmesinin daha dar olduğu görülmüştür. Ancak besleme noktalarının merkezden uzaklaştıkça kazancı az miktarda azaldığı belirlenmiştir.

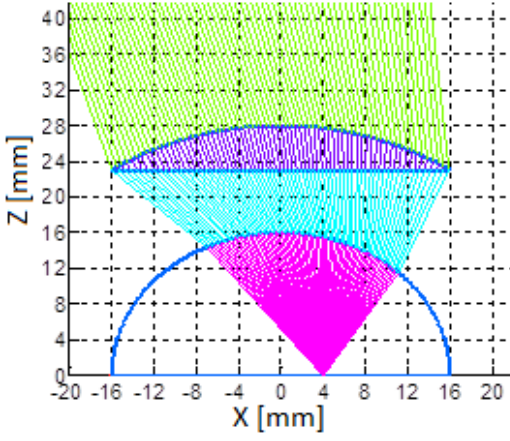
Düşük dielektrik sabitine sahip malzemelerle tasarlanan ikili lens antenin verici olarak kullanıldığı durumdaki ışın takibi Şekil 3.36' da verilmiştir. Şekil 3.36' daki anten boyutları Şekil 3.33' te yer alan CST tasarımı ile aynıdır. Besleme noktasından çıkan ışınlar yarıküresel lens içerisinde ilerler, hava ortamına çıkar ve ardından planoküresel antenin içerisinden geçerek tekrar hava ortamına çıkar. Burada dielektrik sabitleri 3.01 (ultem) olarak belirlenmiştir. Ultem ( $\epsilon_r = 3.01$ )' den hava ortamına ( $\epsilon_r = 1$ ) geçişte geliş açısına bağlı olarak yansımalar da oluşmaktadır. Şekilde bu yansımalar yer almamaktadır.



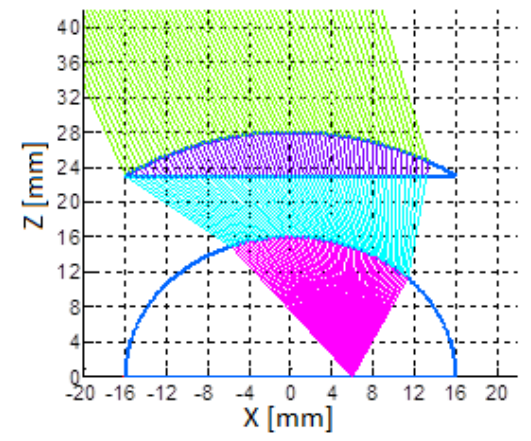
(a)



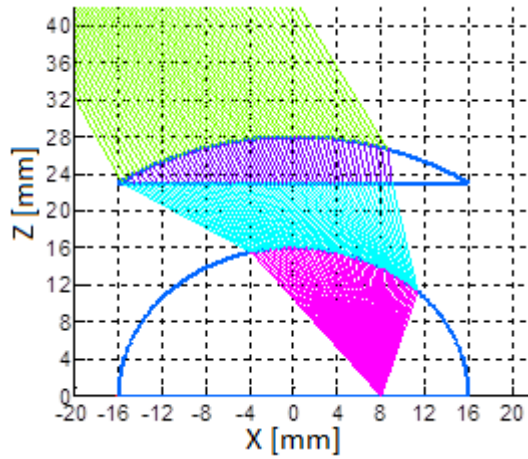
(b)



(c)



(d)



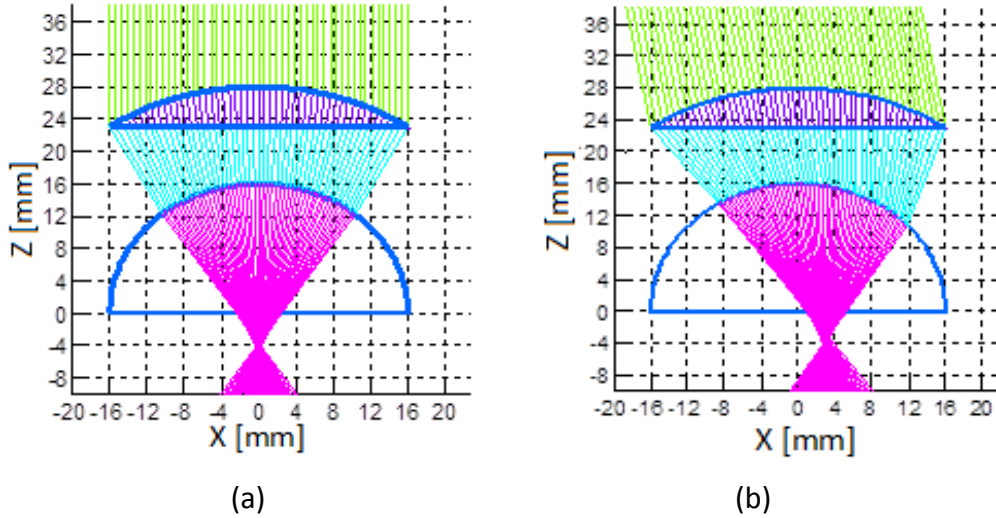
(e)

Şekil 3.36 Verici durumda ikili lens antenin farklı besleme noktalarındaki ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a)  $x = 0$  mm (b)  $x = 2$  mm (c)  $x = 4$  mm (d)  $x = 6$  mm (e)  $x = 8$  mm

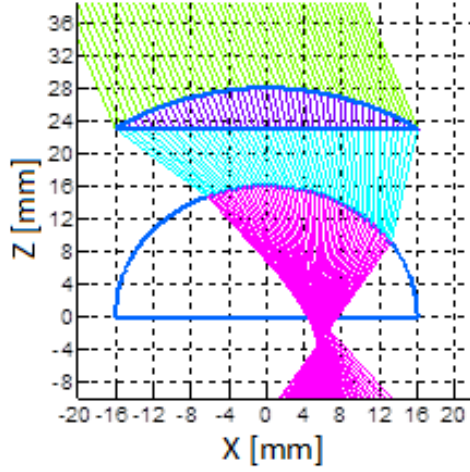
Yarıküresel lens antende ilerleyen ışınlar farklı noktalardan beslendiğinde farklı kırılma açılarıyla ilerlemiştir. Dielektrik sabiti 3 olan yarıküresel lensten çıkan ışınlar dielektrik sabiti 1 olan ortama geçtiğinde normalden uzaklaşarak kırılır. Kırılan ışınlar dielektrik sabiti 3 olan planoküresel lense geldiğinde normal eksenine yaklaşarak kırılır. Planoküresel lensten çıkan ışınlar ise dielektrik sabiti 1 olan az yoğun ortama geçerken yine normal ekseninden uzaklaşarak kırılır. Utem' den hava ortamına geçişte kontrastın fazla olmaması sebebiyle yansıma fazla değildir.

Besleme noktasının değişimiyle belli bir açıya yönlendirme yapıldığı görülmüştür. Çıkan ışınların neredeyse birbirine paralel yol izlemesi, dalgaın düzlem dalga formunda ilerlediğini gösterir.

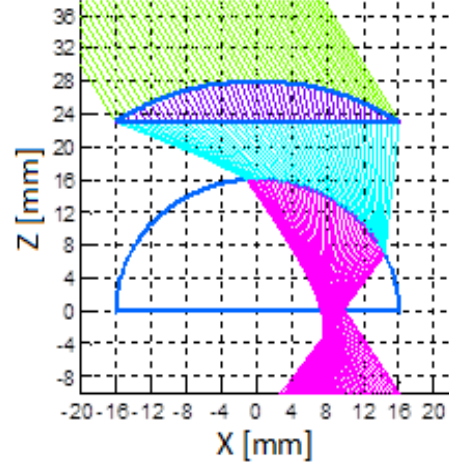
Alıcı durum için yapılan ışın takibinde, dışarıdan gelen ışın öncelikle planoküresel lensin dış yüzeyine gelir ardından içinde ilerler. Daha sonra yarıküresel lensin dış yüzeyine gelen ışın lensin içinde ilerleyerek yoluna devam eder. Alıcı durum ışın takibi analizi Şekil 3.37' de gösterilmektedir.



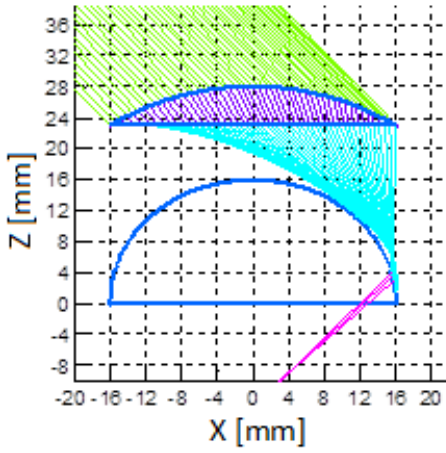
Şekil 3.37 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (a)  $0^\circ$   
(b)  $10^\circ$



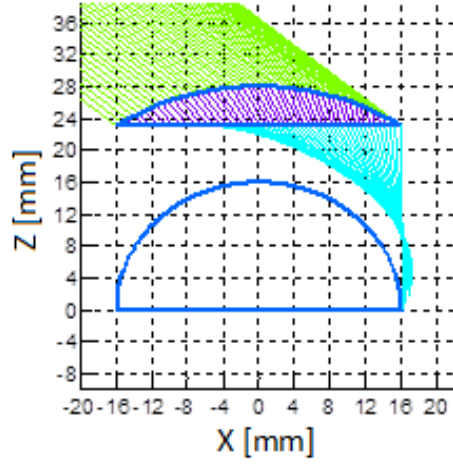
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.37 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$  (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$  (devamı)

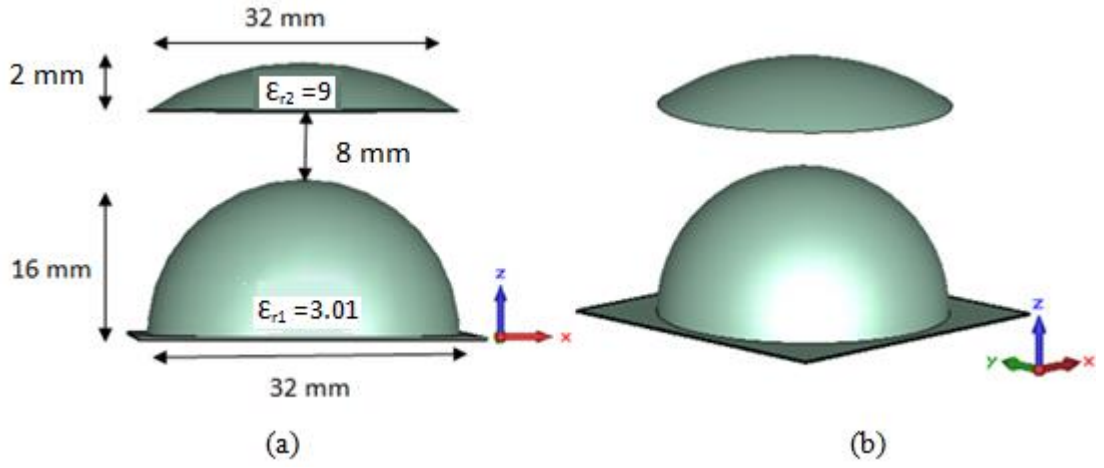
Alıcı durumda ikili lens sisteminin farklı açılarla oluşturduğu odak noktaları ışın takibi yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre ikili lens anten yapısını bu odak noktalarından beslemek en iyi sonuçları verecektir.

### 3.4.1 Dielektrik Sabitinin Etkisi

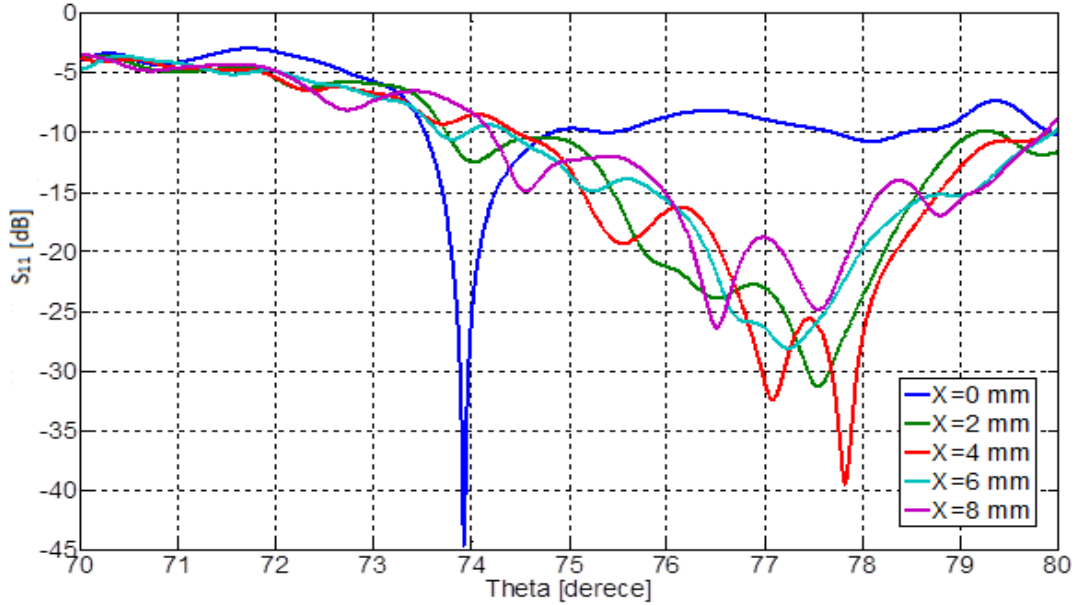
Dielektrik sabitinin ikili lens anten üzerindeki etkisini gözlemlemek için yüksek dielektrik sabitine sahip yarıküresel ve planoküresel lensler ikili lens anten yapısında kullanılmıştır. Burada öncelikli amaç anten yapısını küçültmek ve kazancı artırmaktır. Yarıküresel ve planoküresel lensin çapı,  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm ve  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm olacak şekilde, GO/PO kodunda parametrik analiz yaparak büyük ve küçük ikili lens anten tasarımı için optimum değerler elde edilmiştir. Bu tezde yapılan parametrik analiz

sonucunda elde edilen, performansı en yüksek ikili lens anten yapılarına dair sonuçlara yer verilmiştir.

Yarıküresel anten tasarımında dielektrik sabiti 3.01 olan ultem malzemesi kullanılırken planoküresel anten tasarımında ise dielektrik sabiti 9 olan alumina malzemesi kullanılmıştır. Yarıküresel antenin bitiminden itibaren 8mm yükseklikte planoküresel anten konumlandırılmıştır. Planoküresel antenin kalınlığı 2mm'dir. Anten beslemesi açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Antenlerin yarıçapları eşit olup 32 mm'dir. Tasarımı yapılan anten yapısının CST çizimi Şekil 3.38' de verilmiştir. Şekil 3.38' e ait geri dönüş kaybı grafiği Şekil 3.39' da yer almaktadır.

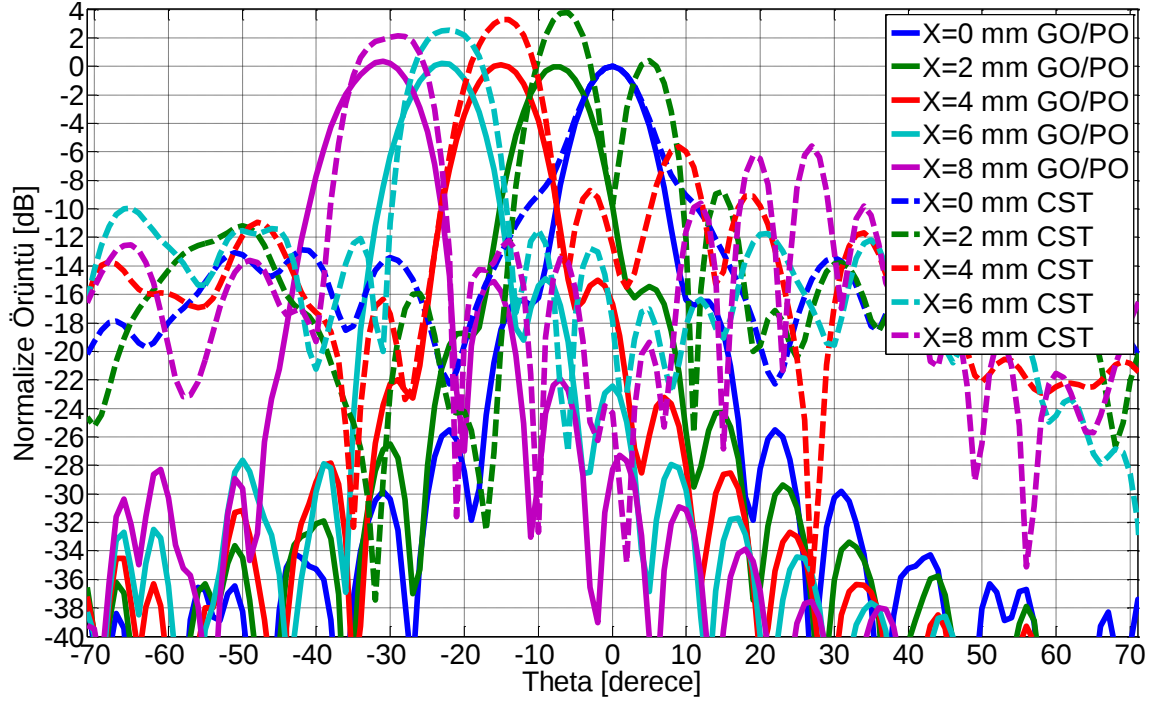


Şekil 3.38 İkili lens anten (  $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 9$  ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm

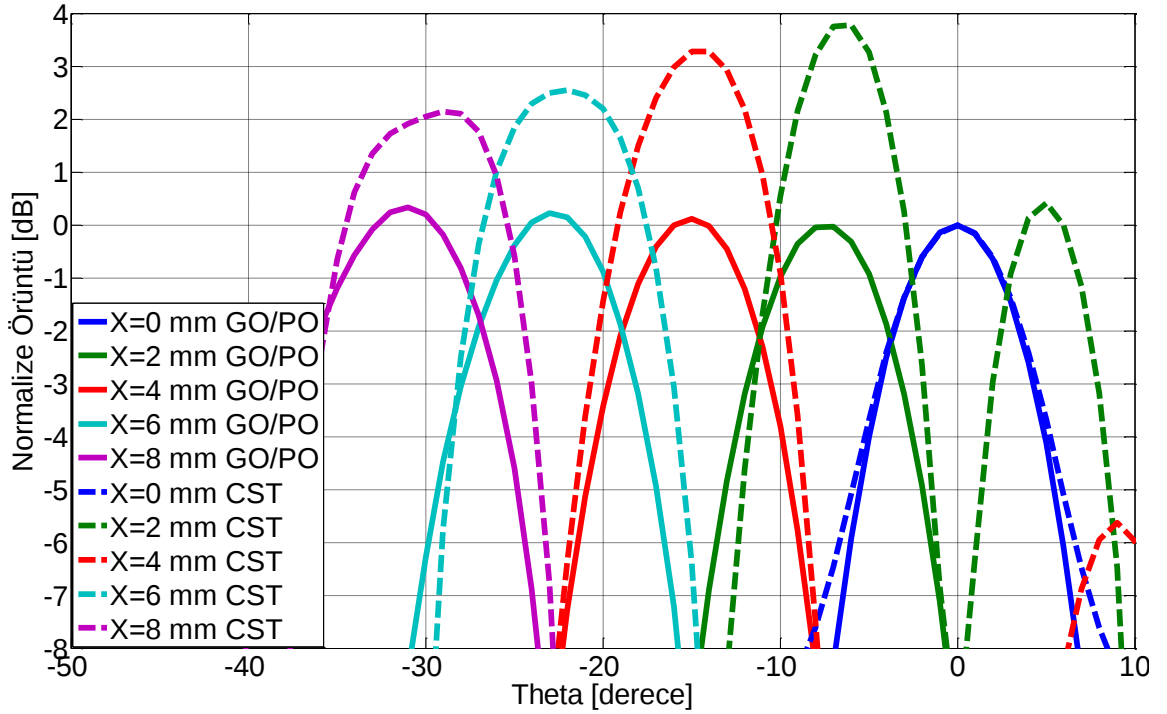


Şekil 3.39 İkili lens antenin (  $\epsilon_1 = 3.01$ ,  $\epsilon_2 = 9$  )  $S_{11}$  değişimi

Yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeli planoküresel lens ile oluşturulan ikili lens antenin farklı konumlardan beslenmesi ile elde edilen kazanç ışıma örüntüleri Şekil 3.40' ta gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.40 (a) ikili lens antenin ( $\epsilon_1 = 3.01$ ,  $\epsilon_2 = 9$ ) ışıma örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm

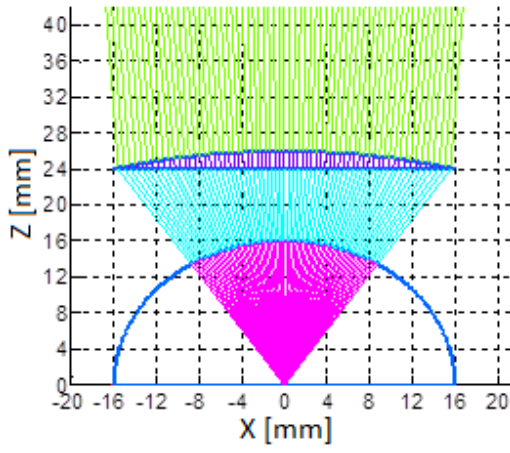
Şekil 3.40 (b)' de ana huzmenin büyütülmüş görünümü yer almaktadır. Bu şekillerde, CST ile elde edilen örüntülerin yan lob seviyesinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu da planoküresel lensin malzemesinden havaya geçişte karşılaşılan yüksek kontrasttan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.7 İkili lens antenin ( $\epsilon_1 = 3.01$ ,  $\epsilon_2 = 9$ ) huzme yönlendirme performansı

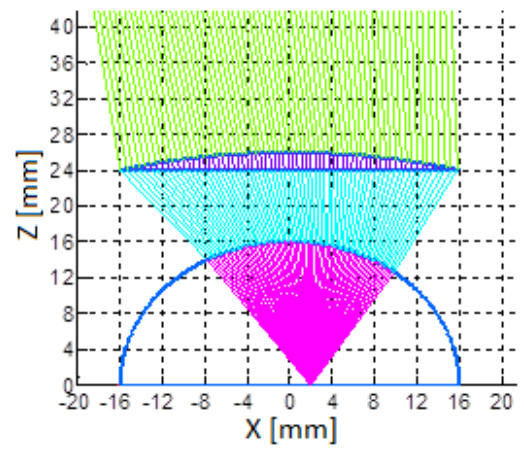
| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dBi] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 19.5         | 0                 | -12.9                 |
| 2      | 6.6                   | 22.7         | -3.2              | -3.4                  |
| 4      | 14                    | 22.2         | -2.7              | -8.9                  |
| 6      | 21.9                  | 21.4         | -1.9              | -12.5                 |
| 8      | 29                    | 21.1         | -1.5              | -7.7                  |

Çizelge 3.7' de yan lob seviyelerinin değerleri yer almaktadır. Bu değerlerin anten tasarımı için kabul edilemez seviyelerde olduğu görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi ikili lens anten yapıları arasında da kazanç farkı bulunmaktadır. Üst lensin dielektrik katsayısının artırılarak istenilen doğrultuda kazancın artırılması ve menzilin uzatılması amaçlanmıştır.

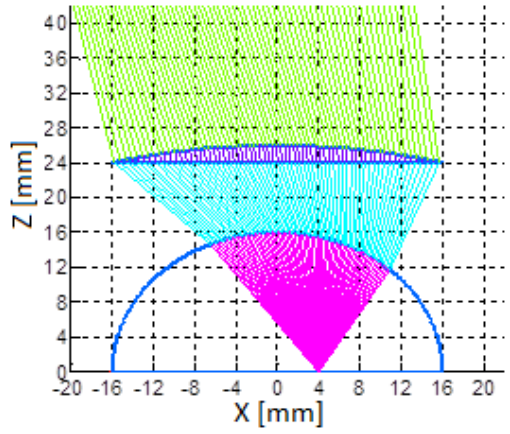
Farklı dielektrik malzemeye sahip ikili lens anten boyutları, CST çizimindeki anten yapısıyla eştir. Besleme kaynağından çıkan ışınlar önce yarıküresel lens içerisinde ilerlemekte ve ardından planoküresel lens içerisine girmektedir. Yarıküresel lens antenin dielektrik sabiti 3 iken planoküresel lens antenin dielektrik sabiti 9 olarak belirlenmiştir. Anten yapısına ait 0, 2, 4, 6 ve 8 mm uzaklıklara ait verici durum ışın takibi Şekil 3.41' de gösterilmektedir.



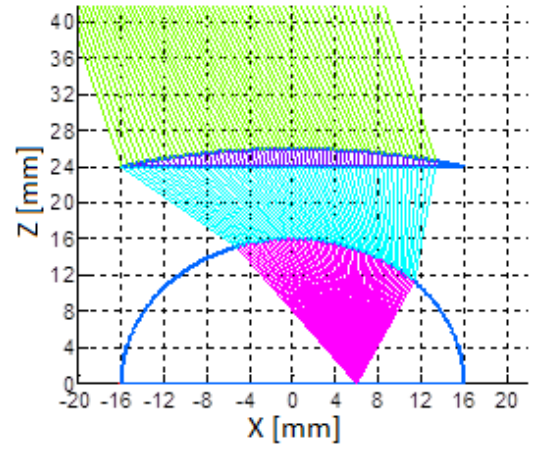
(a)



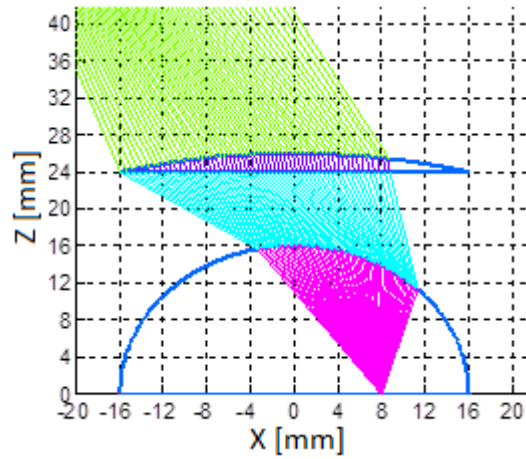
(b)



(c)



(d)



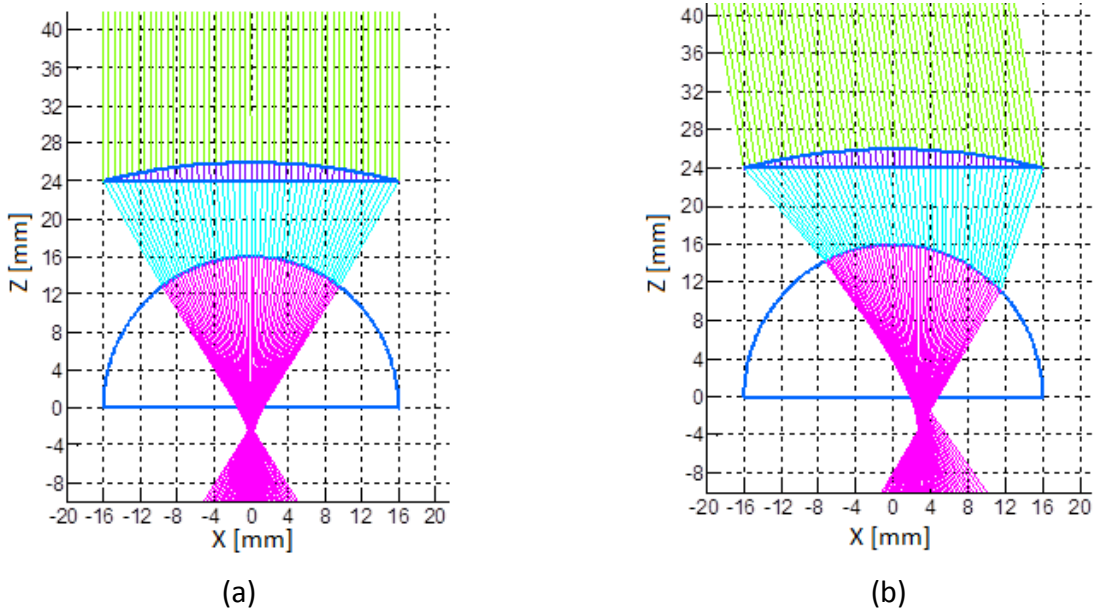
(e)

Şekil 3.41 İkili lens antenin farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) (a)  $x=0$  mm (b)  $x=2$  mm (c)  $x=4$  mm (d)  $x=6$  mm (e)  $x=8$  mm

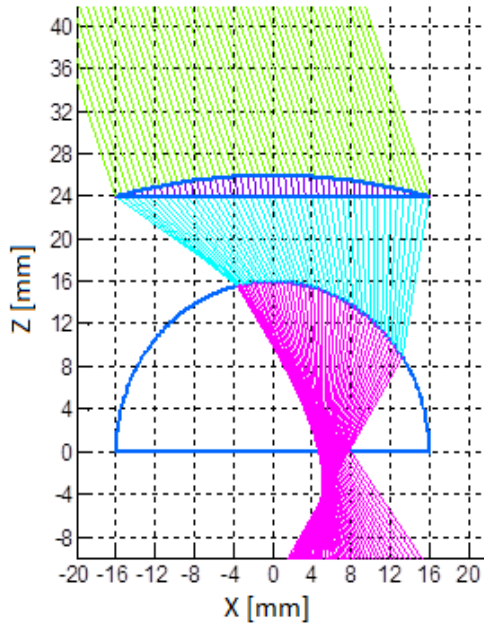
Yarıküresel lens antende ilerleyen ışınlar farklı noktalardan beslendiğinde farklı kırılma açılarıyla ilerlemiştir. Dielektrik sabiti 3 olan yarıküresel lensten çıkan ışınlar dielektrik sabiti 1 olan ortama geçtiğinde normalden uzaklaşarak kırılır. Kırılan ışınlar dielektrik sabiti 9 olan planoküresel lense geldiğinde normal eksenine yaklaşarak kırılır. Planoküresel lensten çıkan ışınlar ise dielektrik sabiti 1 olan az yoğun ortama geçerken yine normal ekseninden uzaklaşarak kırılır.

Besleme noktasının değişimiyle belli bir açıya yönlendirme yapıldığı görülmüştür. Çıkan ışınların neredeyse birbirine paralel yol izlemesi, dalganın düzlem dalga formunda ilerlediğini gösterir.

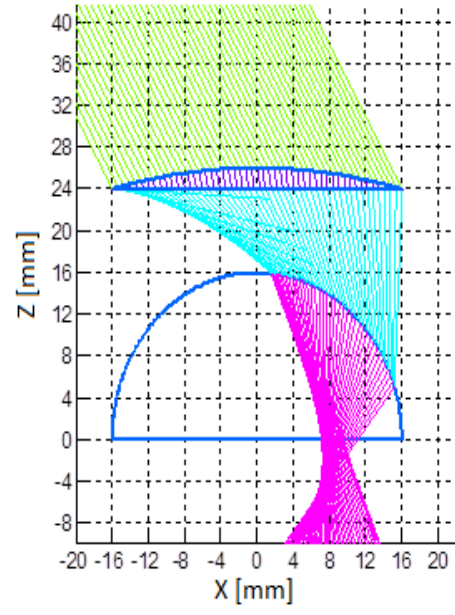
Alıcı durumda farklı dielektrik malzemeye sahip ikili lens anten boyutları, CST çizimi ile eştir. Dışarıdan gelen ışın öncelikle planoküresel lensin dış yüzeyine gelir ardından içinde ilerler. Daha sonra yarıküresel lensin dış yüzeyine gelen ışın lensin içinde ilerleyerek yoluna devam eder. Yarıküresel lens antenin dielektrik sabiti 3 iken planoküresel lens antenin dielektrik sabiti 9 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.42’ de alıcı durumda ikili lens sistemi gösterilmektedir.



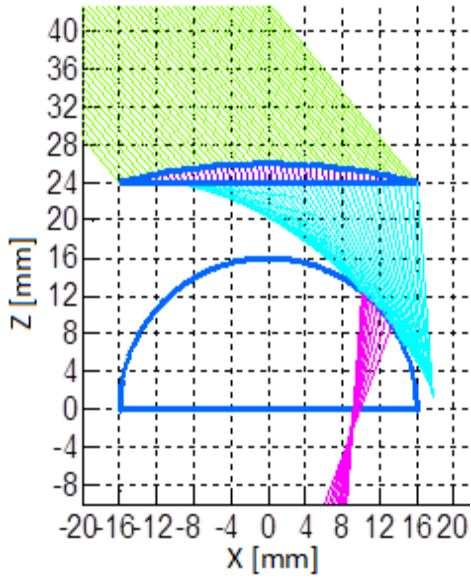
Şekil 3.42 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$



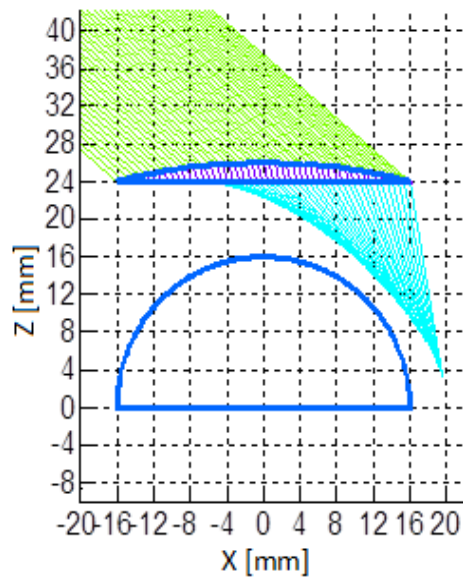
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.42 Alıcı durumda ikili lens antenin ışın takibi ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$  (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$  (devamı)

Alıcı durumda ikili lens sisteminin farklı açılarla oluşturduğu odak noktaları ışın takibi yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre anten yapısı beslemesini bu odak noktalarından yapmak en iyi sonuçları verecektir.

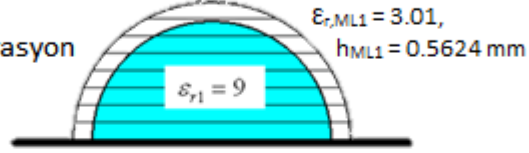
### 3.5 Lens Antenler İçin Uydurma Katmanı Tasarımı

Lens anten yapılarında, farklı ortamlar arasındaki dielektrik sabiti farkı ne kadar yüksek ise dalganın geçişi sırasındaki yansıma miktarı da o kadar büyük olacaktır. Farklı ortamlar arasındaki geçişlerde yaşanan yansımaları azaltmak amacıyla uydurma katmanları kullanılır. Özellikle yüksek dielektrik sabitine sahip malzemelerden hava ortamına geçiş esnasında (ya da tersi) uydurma katmanı gereklidir. Şekil 3.40' ta yüksek dielektrik sabitine sahip planoküresel lense sahip ikili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) ışıma performansının  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$  dielektrik sabitlerine sahip ikili lens antene göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi planoküresel lensin alumina malzemesi ile üretiminde uydurma katmanı kullanılmaması sonucunda oluşan yansımalar ve artan yan lob seviyeleridir. Bu bölümde bu yapı için uydurma katmanı tasarlanacak ve performansa etkisi incelenecektir. Literatürde yaygın kullanılan uydurma katmanı yüksek dielektrik sabitine sahip yapının üzerine yerleştirilen  $\lambda/4$  uzunluğa sahip,  $\sqrt{\epsilon_r}$  dielektrik sabitine sahip bir katman yerleştirilerek yapılır. Buradaki dalga boyu,  $\sqrt{\epsilon_r}$  dielektrik sabitine sahip malzemenin içerisindeki dalga boyudur. Bazı uygulamalarda yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeden hava ortamına geçişteki yansımaları azaltmak amacıyla birden fazla uydurma katmanı kullanılır. Burada amaç daha yumuşak bir geçiş sağlamaktır. Uydurma katmanının etkisini gözlemlemek için Şekil 3.43' te yer alan dört farklı yapı CST' de simüle edilerek  $S_{11}$  ve E ve H-düzlemi yönlendiricilikleri Şekil 3.44' te karşılaştırılmıştır. Şekil 3.44' ten  $\epsilon_{r,ML1} = 5.49$ ,  $\epsilon_{r,ML2} = 3.01$ ,  $h_{r,ML1} = 0.839$ ,  $h_{r,ML2} = 0.558$  olan iki uydurma katmanlı yapının (üçüncü konfigürasyon) en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Fakat tek uydurma katmanına sahip yapının da benzer performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu sebepten  $\lambda/4$  genişlikli uydurma katmanının lens uygulamalarında kullanılması yeterli görülmüştür.

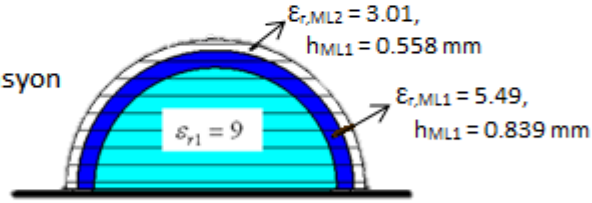
1. Konfigürasyon  
UK Yoktur



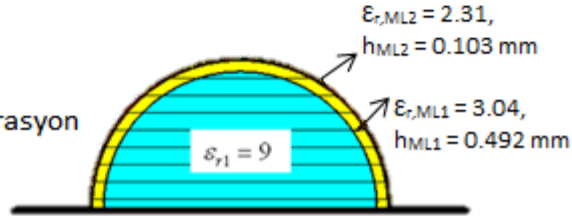
2. Konfigürasyon  
1 UK



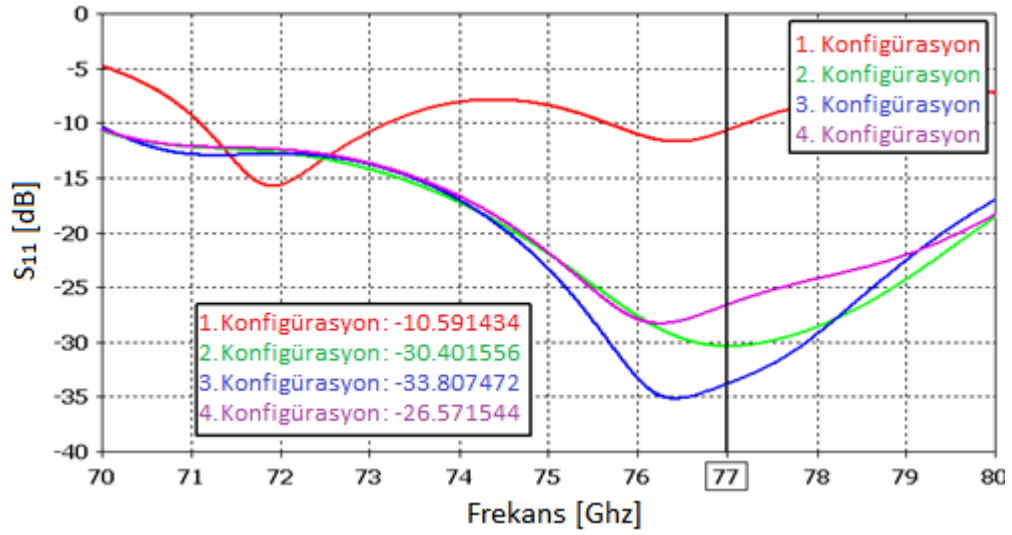
3. Konfigürasyon  
2 UK



4. Konfigürasyon  
2 UK

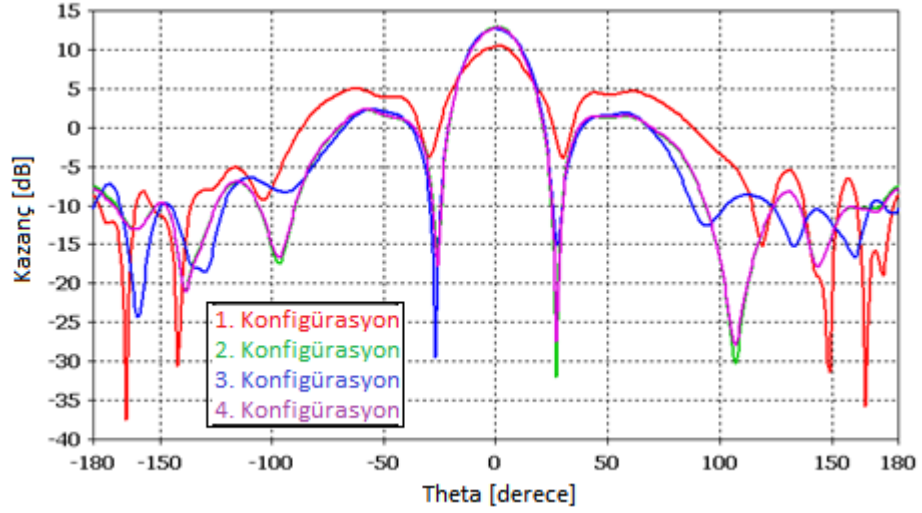


Şekil 3.43 Uydurma katmanları

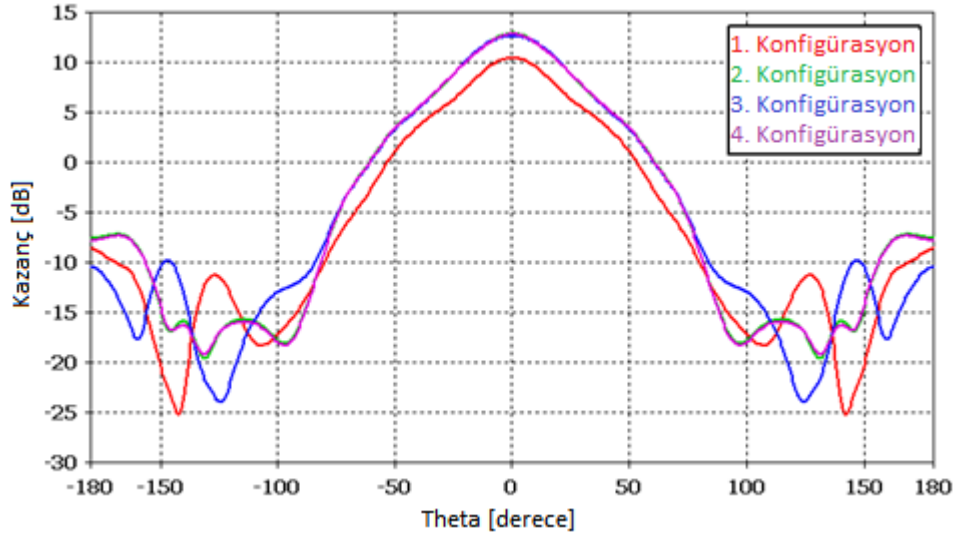


(a)

Şekil 3.44 Uydurma katmanlarının etkisi (a)  $S_{11}$  değişimi



(b)



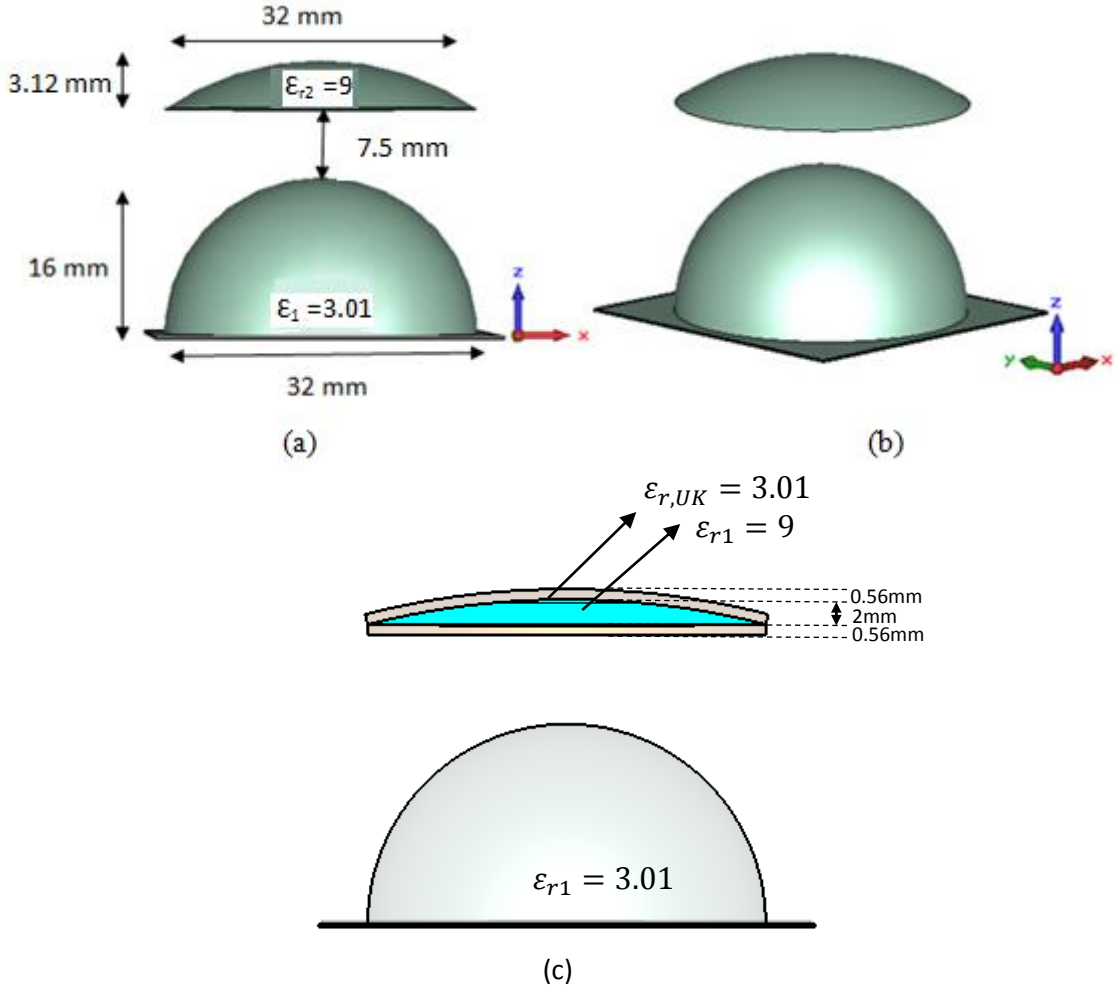
(c)

Şekil 3.44 Uydurma katmanlarının etkisi (b) E-düzleminde yönlendiricilik (c) H-düzleminde yönlendiricilik (devamı)

Lensin üzerine uydurma katmanının eklenmesi bazı durumlarda lens ile uydurma katmanı arasında hava boşlukları kalmasına sebep olabilir. Bu da beklenmeyen yansımalarla sebep olacaktır. Bu etkiler göz önünde bulundurularak literatüre yeni tanıtılan uydurma katmanı, sterolithografi yöntemiyle üretilen oluklu uydurma katmanıdır. Bu yöntemde, yüksek dielektrikli malzemeyle aynı dielektrik sabitine sahip oluklar lens üzerinde oluşturularak yansımaların azaltılması sağlanır.

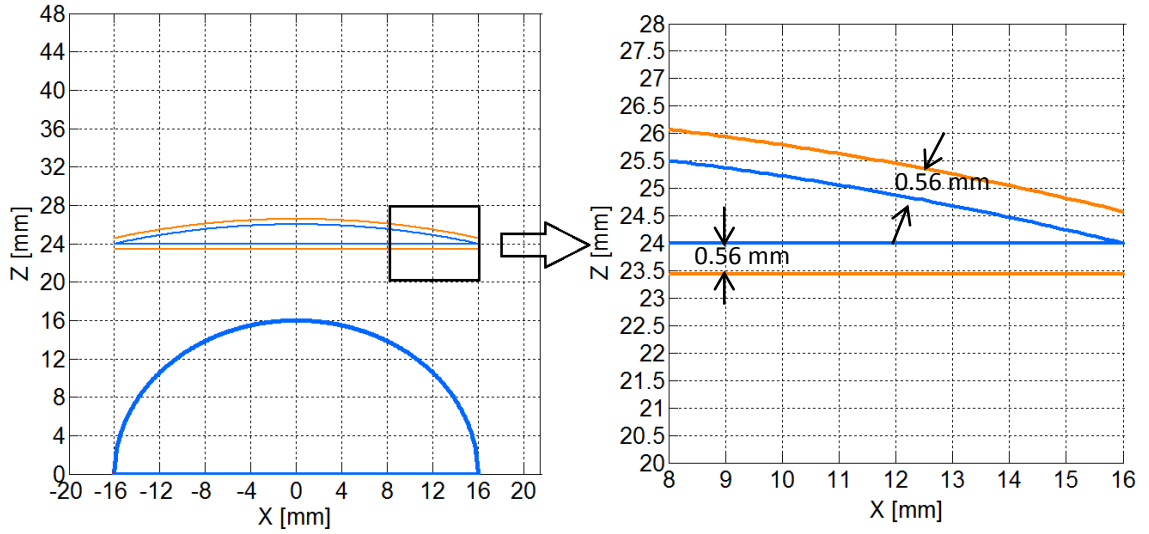
### 3.5.1 $\lambda/4$ Uydurma Katmanı

Bu bölümde Şekil 3.38' de verilen ikili lens anten yapısı için uydurma katmanı tasarlanmıştır. Planoküresel lensin dielektrik sabiti  $\epsilon_{r2} = 9$ ' dur. Bu sebepten uydurma katmanı için dielektrik sabiti  $\epsilon_{r,UK} = 3.01$  olan ultem malzemesi kullanılmıştır. Çalışma frekansının 77 GHz olması itibariyle uydurma katmanının kalınlığı  $\lambda/4 = 0.562$  mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.45' te uydurma katmanlı yapı yer almaktadır.



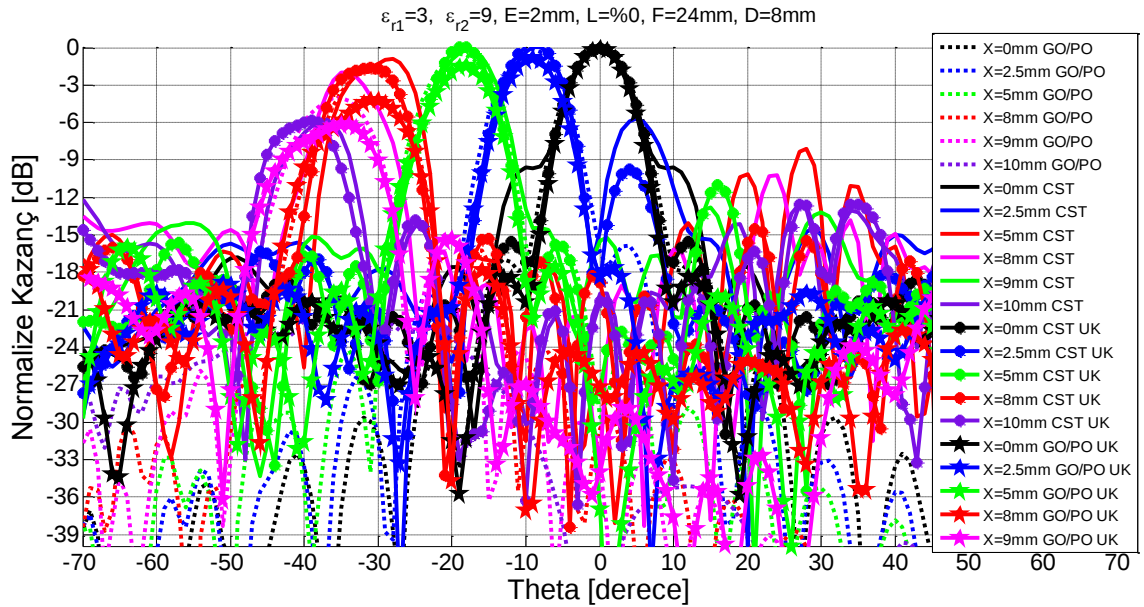
Şekil 3.45  $\lambda/4$  uydurma katmanlı ( $\epsilon_{r,UK} = 3.01$ ) lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) Yandan görünüm; (b) Perspektif görünüm; (c) Kesit görünüm

Besleme anteninden yayılan dalga yarıküresel lensten hava ortamına geçer. Hava ortamında ilerleyen dalga önce  $\epsilon_{r,UK} = 3.01$  olan uydurma katmanına, sonra planoküresel lense gelir ve tekrardan ultem üzerinden hava ortamına geçer.



Şekil 3.46  $\lambda/4$  uydurma katmanlı lens anten yapısı

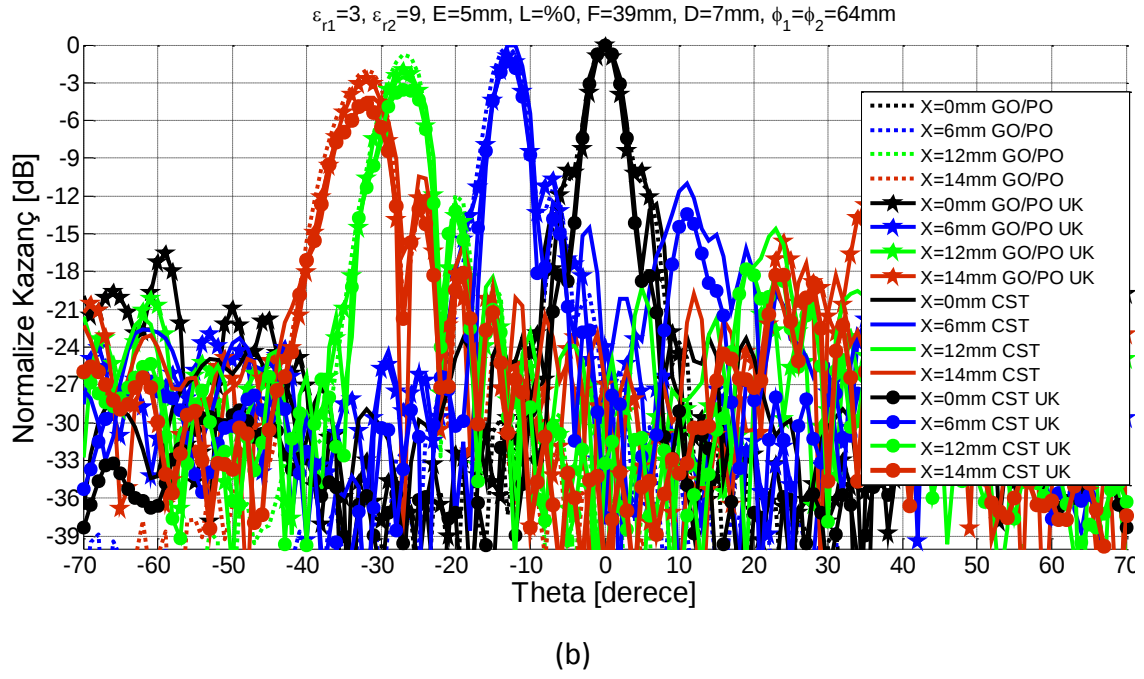
Şekil 3.47' de GO/PO ve CST ile elde edilen ışıma örüntüleri hem uydurma katmanlı yapı hem de uydurma katmanı kullanılmayan yapı için karşılaştırılmıştır. Şekil  $x = 0 \text{ mm}$ ' den beslenen antenin ışımasının en yüksek değerine normalize edilerek çizilmiştir. Burada uydurma katmanının etkisi çok açık görülmektedir. Huzmelerin daraldığı, yan lob seviyelerinin düştüğü, tarama performansının arttığı görülmektedir. Bu yapının  $30^\circ$  ye kadar  $1.5 \text{ dB}$ ' lik bir güç kaybı ile tarama yapabildiği görülmüştür.



(a)

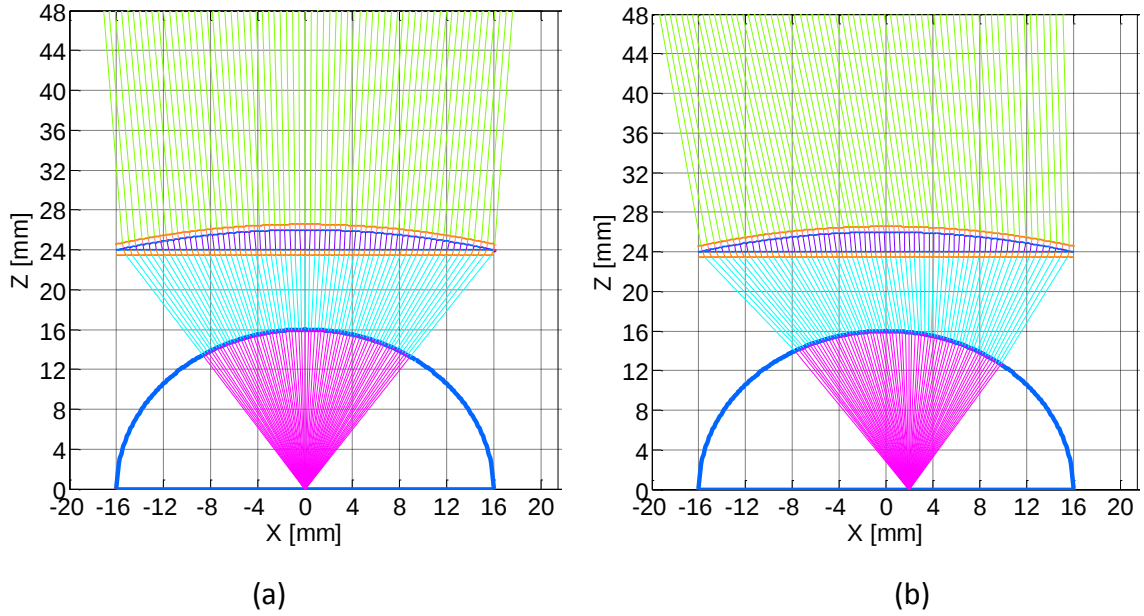
Şekil 3.47  $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$  olan ikili lens antende uydurma katmanının etkisi

(a)  $\phi_1 = \phi_2 = 32 \text{ mm}$

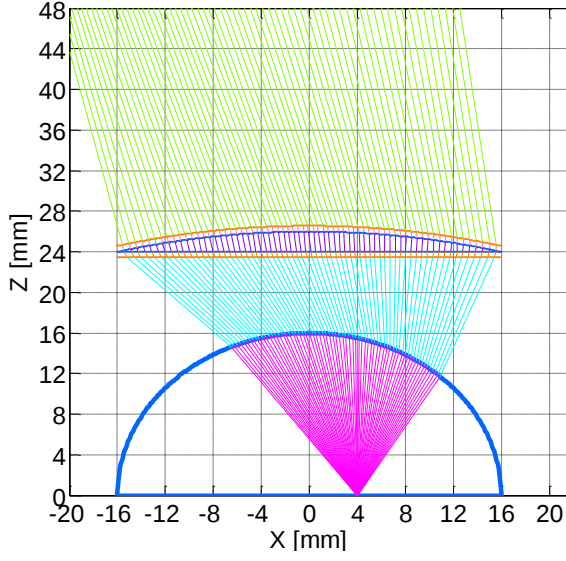


Şekil 3.47  $\epsilon_{r1}=3.01, \epsilon_{r2}=9$  olan ikili lens antende uydurma katmanın etkisi  
(b)  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm (devamı)

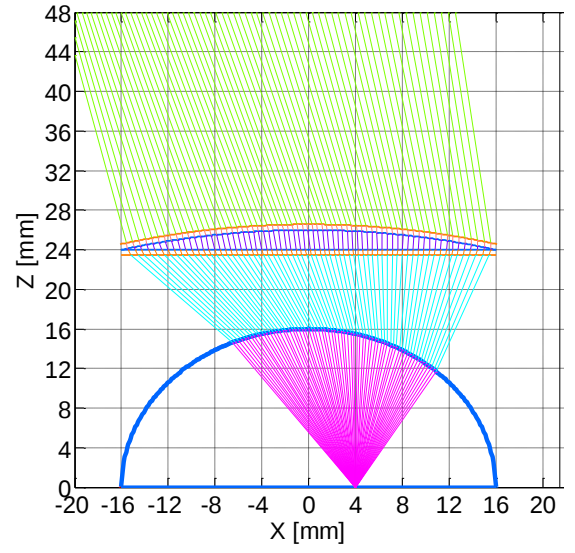
$\lambda/4$  uydurma katmanlı ikili lens anten yapısına ait verici durum ışın takibi Şekil 3.48’ de verilmektedir.



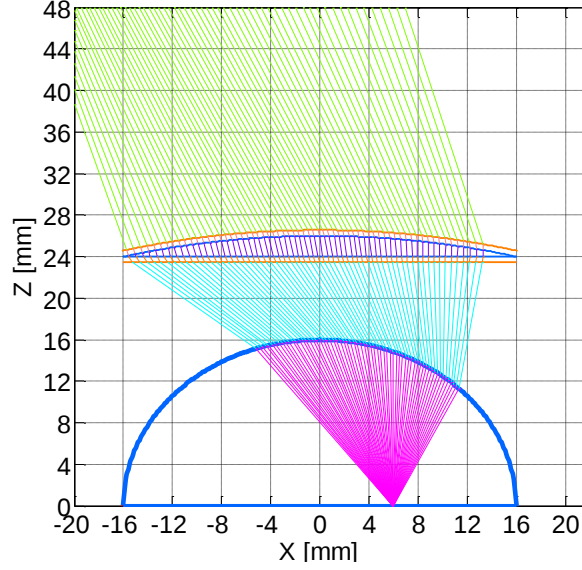
Şekil 3.48  $\lambda/4$  uydurma katmanlı ikili lens antenin farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_{r1}=3.01, \epsilon_{r2}=9$ ) (a)  $x=0$  mm (b)  $x=2$  mm



(c)



(d)

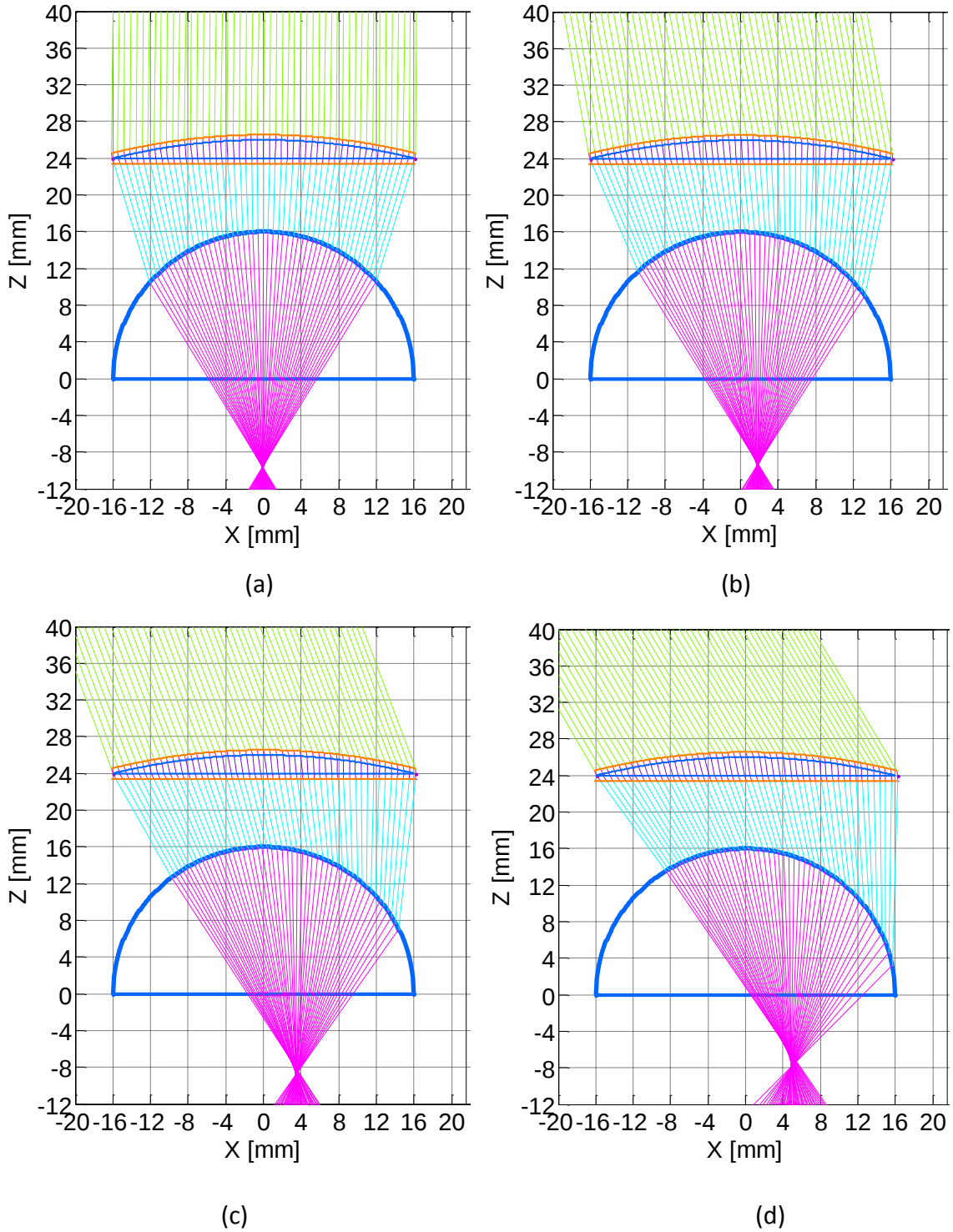


(e)

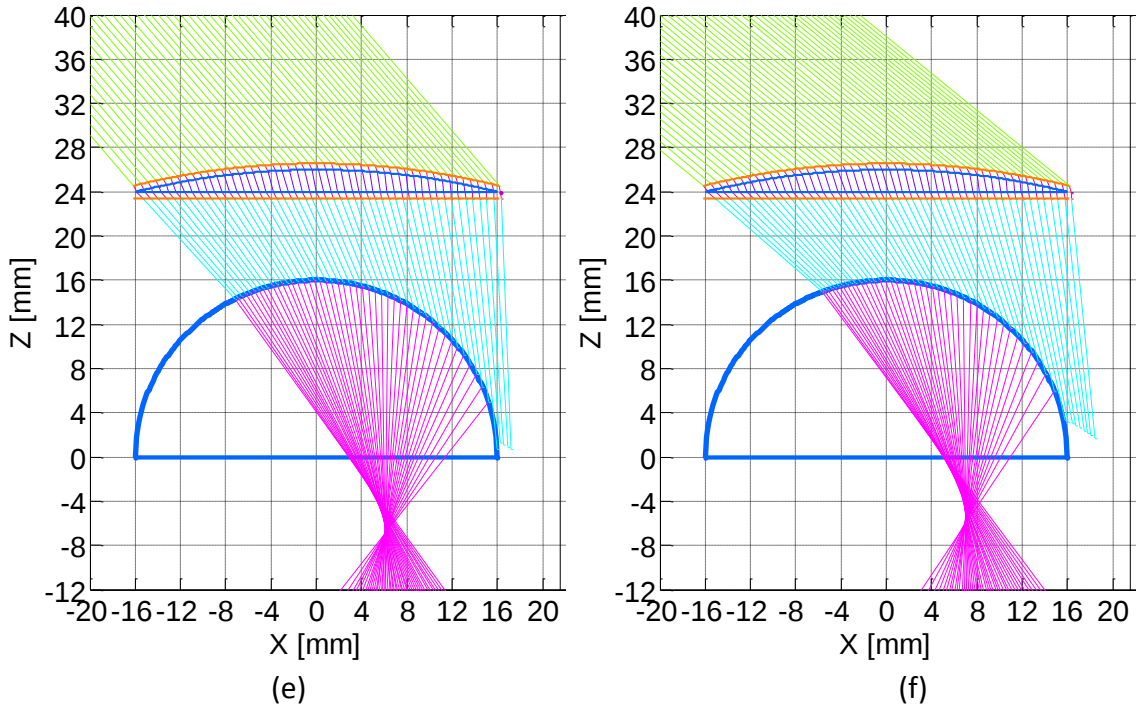
Şekil 3.48  $\lambda/4$  uydurma katmanlı ikili lens antenin farklı besleme noktalarındaki verici durum ışın takibi ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) (c)  $x=4$  mm (d)  $x=6$  mm (e)  $x=8$  mm (devamı)

Verici durumda uydurma katmanı giden planoküresel lens antenin yüksek dielektrik sabitinden dolayı oluşan tam yansımalar karşısında bir ara katman görevi görmüş ve daha çok dalga'nın planoküresel antene girmesini sağlamıştır. Alıcı durumda, hava ortamından gelen ışın öncelikle planoküresel lens için tasarlanan uydurma katmanına gelir, ardından planoküresel lens içinde ilerler. Tekrardan alt taraftaki uydurma katmanı içerisinde geçerek hava ortamına çıkar. Yarıküresel lensin dış yüzüne ulaşır ve iç yüzeyinde ilerlemeye devam eder. Gelme açısına bağlı olarak belli bir  $x$  konumuna

ulaşır.  $\lambda/4$  uydurma katmanına sahip ikili lens antenin alıcı durum ışın takibi Şekil 3.49'da verilmektedir.



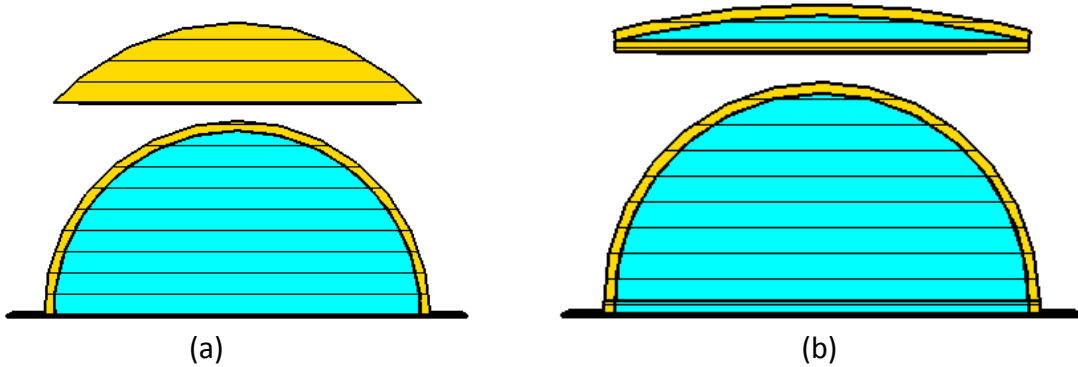
Şekil 3.49 Alıcı durumda  $\lambda/4$  uydurma katmanlı lens antenin ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) ışın takibi (a)  $0^\circ$  (b)  $10^\circ$  (c)  $20^\circ$  (d)  $30^\circ$



Şekil 3.49 Alıcı durumda  $\lambda/4$  uydurma katmanlı lens antenin ( $\epsilon_{r1}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ) ışın takibi (e)  $40^\circ$  (f)  $50^\circ$  (devamı)

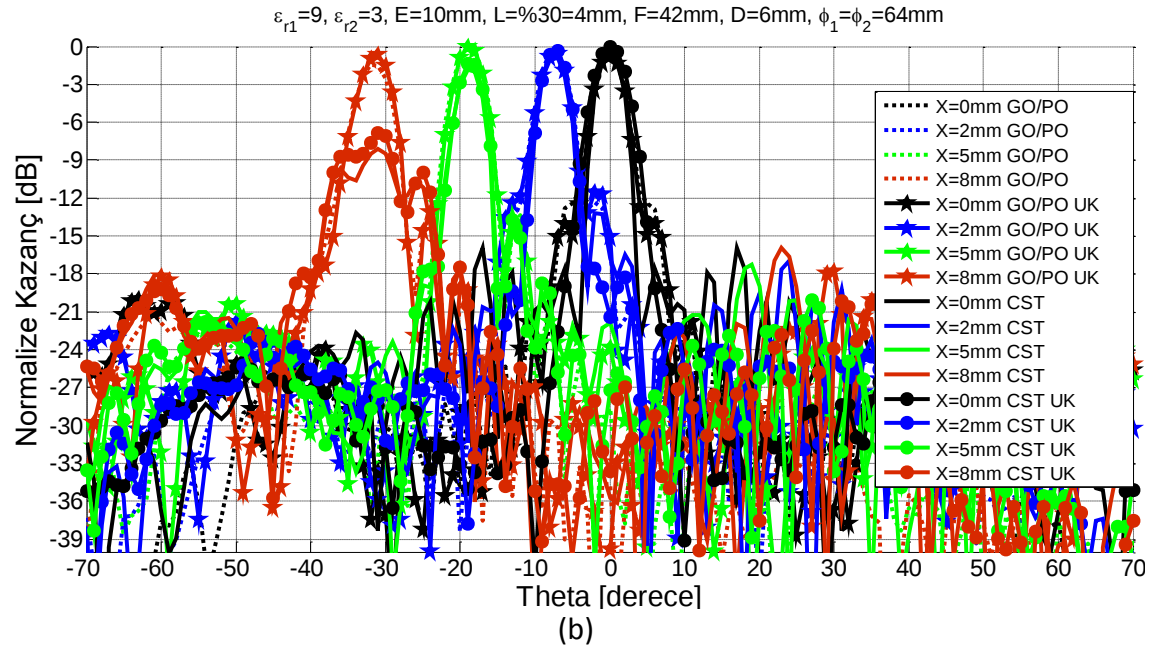
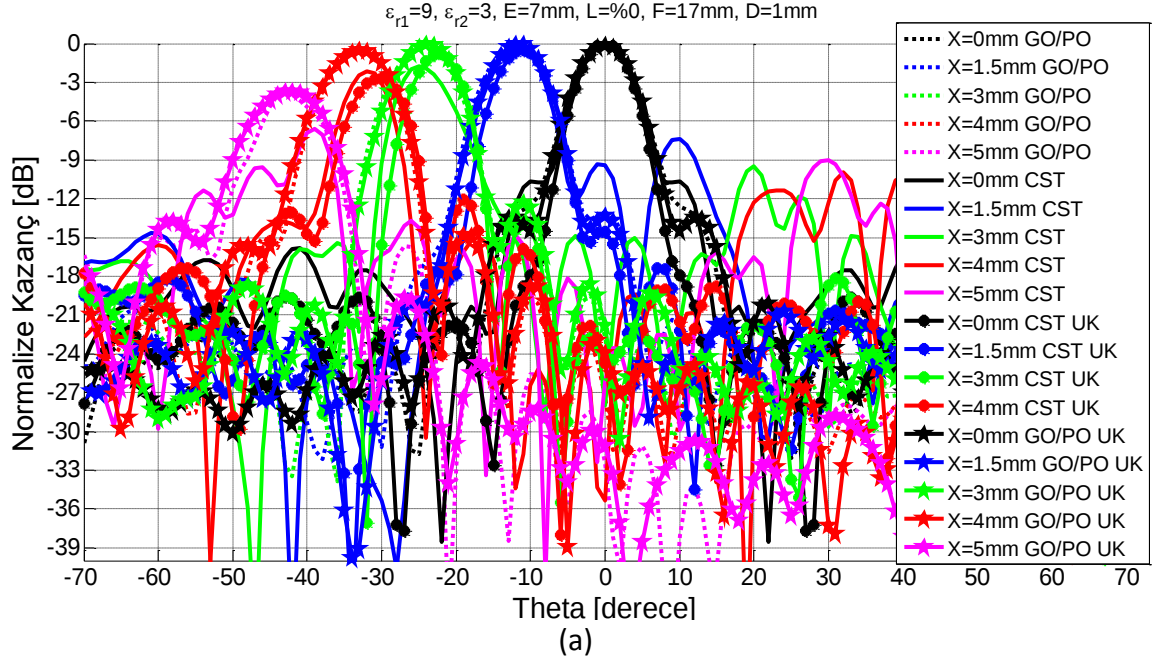
Alıcı durumda  $\lambda/4$  uydurma katmanlı lens antenin, katmansız duruma göre odak noktasında ışın dağılımının daha az olduğu görülmüştür. Bu da besleme devresi ve lens anten arasında daha az kayıp olacağı anlamına gelmektedir.

Yukarıda, ikili lens anten yapısında planoküresel lensin alumina olduğu durum incelenmiştir. Bu bölümün devamında  $\epsilon_{r1}=9$ ,  $\epsilon_{r2}=3.01$  ve  $\epsilon_{r1}=9$ ,  $\epsilon_{r2}=9$  durumları incelenecektir. GO/PO kodu ile yapılan parametrik analizler sonucunda en yüksek performans elde edilen boyutlara ait ışınma örüntülerine yer verilmiştir. Bu yapılara ait tasarım boyutları Şekil 3.50’ de yer almaktadır. Dielektrik sabiti 9 olan lensler için uydurma katmanı kullanılmıştır.

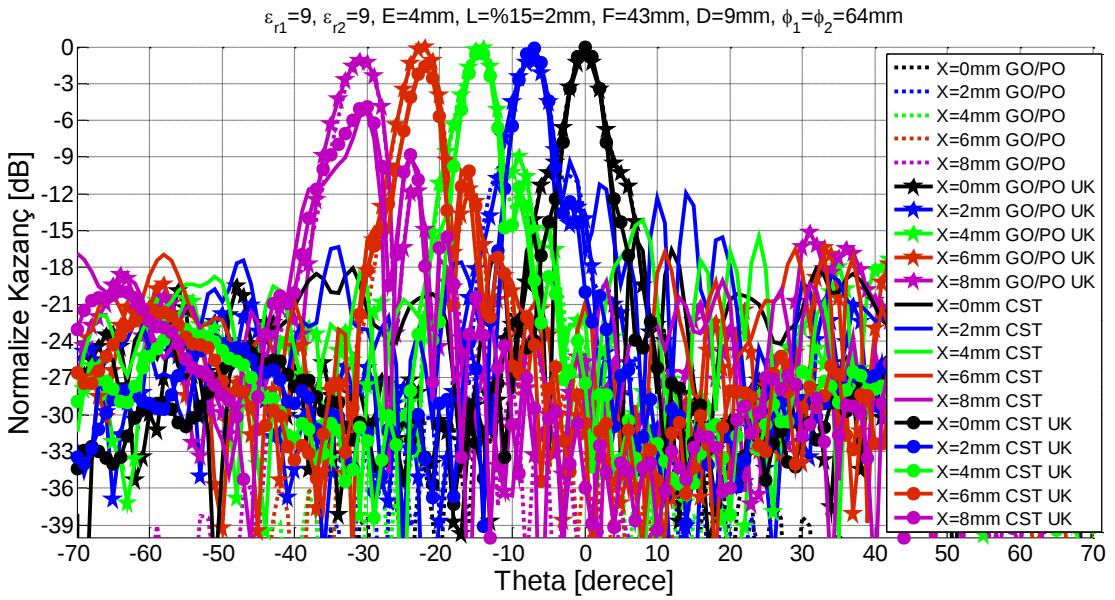
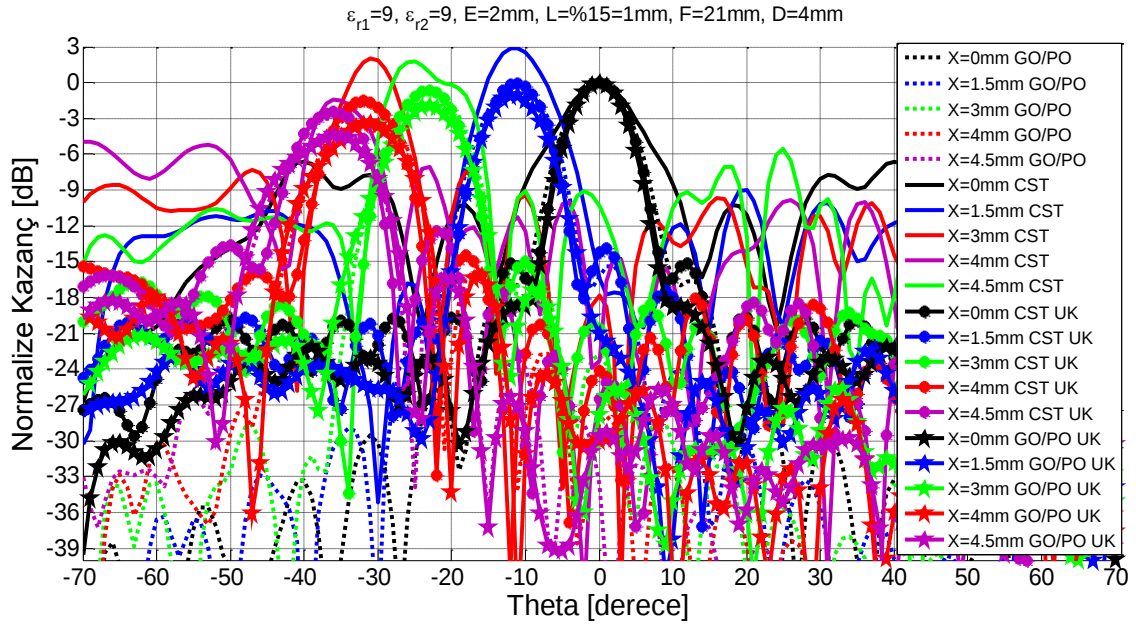


Şekil 3.50 Farklı malzemelerle tasarlanan ikili lens anten kesit görünümü  
(a)  $\epsilon_{r1}=9$ ,  $\epsilon_{r1,UK}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=3.01$  (b)  $\epsilon_{r1}=9$ ,  $\epsilon_{r1,UK}=3.01$ ,  $\epsilon_{r2}=9$ ,  $\epsilon_{r2,UK}=3.01$

Şekil 3.50 (a) ve (b)' de verilen yapılara ait ışıma örüntüleri sırasıyla Şekil 3.51 ve 3.52' de verilmiştir. Bu grafiklerde uydurma katmanının örüntülere sağladığı olumlu etkiyi gözlemlemek amacıyla uydurma katmanın olmadığı durumda elde edilen örüntülere de yer verilmiştir.



Şekil 3.51 İkili lens antenin ışıma örüntüsü ( $\epsilon_{r1}=9, \epsilon_{r2}=3.01$ ) (a)  $\phi_1 = \phi_2 = 32 \text{ mm}$   
(b)  $\phi_1 = \phi_2 = 64 \text{ mm}$



Şekil 3.52 İkili lens antenin ışıma örüntüsü ( $\epsilon_{r1}=9, \epsilon_{r2}=9$ ) (a)  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm  
(b)  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm

Şekil 3.35, 3.51 ve 3.52' de verilen ışıma örüntülerine ait detaylar Çizelge 3.8' de verilmiştir. Bu çizelgede farklı dielektrik sabitine sahip planoküresel ve yarıküresel lensler ile tasarlanan ikili lens yapılarında uydurma katmanının etkisi görülmektedir. Burada verilen boyutlar farklı dielektrik sabite sahip konfigürasyonlar için GO/PO parametrik analizi sonucunda elde edilen en yüksek performansa sahip anten boyutlarıdır. Farklı besleme konumlarından açıklık kuplajlı mikroşerit anten ile

beslenen ikili lens yapılarının tarama açısının, kazancının, tarama kaybının ve yan lob seviyesinin değişimi verilmiştir. Bu çizelgeden yan lob seviyesinin uydurma katmanı kullanılarak düşürülebileceği, kazancın arttırılabileceği görülmektedir.

Çizelge 3.8  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm olan ikili lens yapılarında dielektrik sabiti ve uydurma katmanının etkisi

| $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm                                                  |         | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dB] | Tarama Kaybı [derece] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|----------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 3$<br>E=5mm, L=%0,<br>F=23mm, D=7mm    | X=0 mm  | 0                     | 23.1        | 0                     | -9.6                  |
|                                                                            | X=2.5mm | 9                     | 23.0        | 0.1                   | -7.8                  |
|                                                                            | X=5 mm  | 18                    | 24.0        | 0.9                   | -12.2                 |
|                                                                            | X=8 mm  | 30                    | 23.0        | 0.1                   | -10.2                 |
|                                                                            | X=9 mm  | 35                    | 22.2        | 0.9                   | -10.9                 |
|                                                                            | X=10mm  | 37                    | 19.4        | 3.7                   | -6.7                  |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 3$<br>E=7mm, L=%0,<br>F=17mm, D=1mm    | X=0mm   | 0                     | 22.7        | 0                     | -10.7                 |
|                                                                            | X=1.5mm | 12                    | 22.2        | 0.5                   | -7.2                  |
|                                                                            | X=3mm   | 25                    | 20.7        | 2                     | -7.8                  |
|                                                                            | X=4mm   | 32                    | 20.3        | 2.4                   | -7.9                  |
|                                                                            | X=5mm   | 39                    | 15.9        | 6.8                   | -2.4                  |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 3$ UK<br>E=7mm, L=%0,<br>F=17mm, D=1mm | X=0mm   | 0                     | 24.1        | 0                     | -19.6                 |
|                                                                            | X=1.5mm | 11                    | 23.6        | 0.5                   | -14                   |
|                                                                            | X=3mm   | 22                    | 23.3        | 0.8                   | -12.8                 |
|                                                                            | X=4mm   | 30                    | 21.4        | 2.7                   | -9.4                  |
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 9$<br>E=2mm, L=%0,<br>F=24mm, D=8mm    | X=0 mm  | 0                     | 22.3        | 0                     | -11.9                 |
|                                                                            | X=2.5mm | 9                     | 22.2        | 0.1                   | -5.7                  |
|                                                                            | X=5 mm  | 18                    | 22.0        | 0.3                   | -12.6                 |
|                                                                            | X=8 mm  | 28                    | 21.3        | 1                     | -7.2                  |
|                                                                            | X=9 mm  | 34                    | 20.3        | 2                     | -8.1                  |
|                                                                            | X=10mm  | 37                    | 16.6        | 5.7                   | -5.1                  |
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 9$ UK<br>E=2mm, L=%0,<br>F=24mm, D=8mm | X=0 mm  | 0                     | 24.4        | 0                     | -15.6                 |
|                                                                            | X=2.5mm | 9                     | 24.4        | 0                     | -10.0                 |
|                                                                            | X=5 mm  | 19                    | 24.1        | 0.3                   | -11.0                 |
|                                                                            | X=8 mm  | 31                    | 22.5        | 1.9                   | -12.9                 |
|                                                                            | X=10 mm | 39                    | 18.5        | 5.9                   | -6.7                  |

Çizelge 3.8  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm olan ikili lens yapılarında dielektrik sabiti ve uydurma katmanının etkisi (devamı)

|                                                                                                                  |                |    |      |      |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|------|------|-------|
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 9$<br>$E=2\text{mm}, L=\%15=1\text{mm},$<br>$F=21\text{mm}, D=4\text{mm}$    | <b>X=0mm</b>   | 0  | 17.3 | 0    | -6.1  |
|                                                                                                                  | <b>X=1.5mm</b> | 11 | 20.1 | -2.9 | -9.0  |
|                                                                                                                  | <b>X=3mm</b>   | 25 | 18.9 | -1.6 | -7.9  |
|                                                                                                                  | <b>X=4mm</b>   | 31 | 19.1 | -1.8 | -8.1  |
|                                                                                                                  | <b>X=4.5mm</b> | 36 | 15.8 | 1.5  | -4.7  |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 9$ UK<br>$E=2\text{mm}, L=\%15=1\text{mm},$<br>$F=21\text{mm}, D=4\text{mm}$ | <b>X=0mm</b>   | 0  | 24.2 | 0    | -15.1 |
|                                                                                                                  | <b>X=1.5mm</b> | 11 | 24.2 | 0    | -13.8 |
|                                                                                                                  | <b>X=3mm</b>   | 23 | 23.6 | 0.6  | -14.3 |
|                                                                                                                  | <b>X=4mm</b>   | 32 | 22.7 | 1.5  | -13.0 |
|                                                                                                                  | <b>X=4.5mm</b> | 36 | 21.8 | 2.4  | -9.9  |

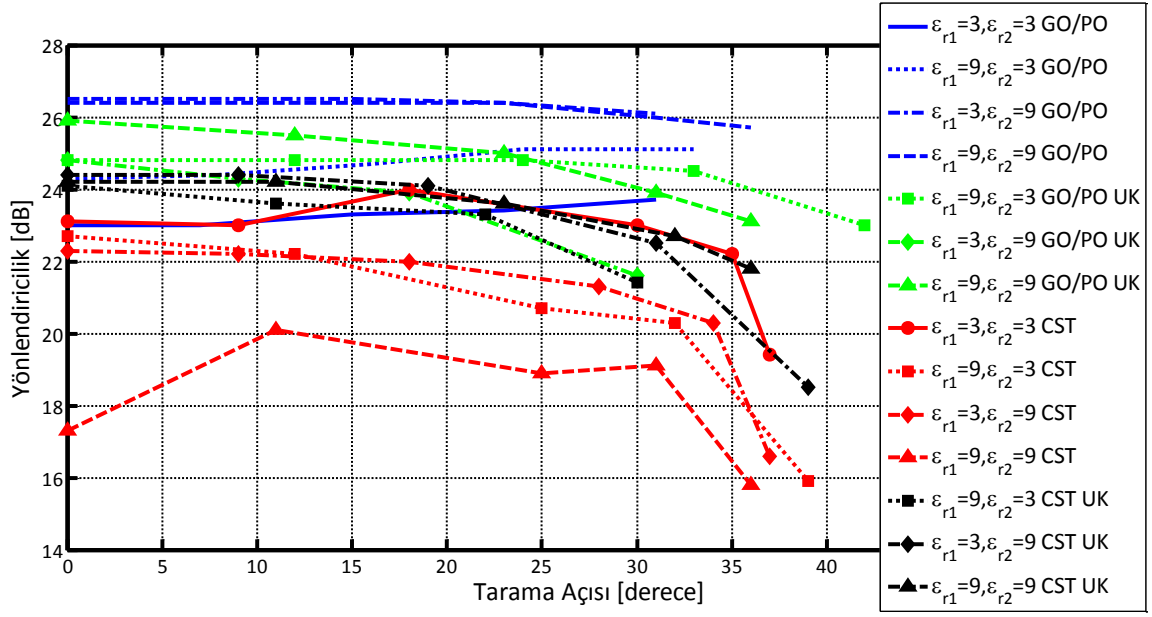
Çizelge 3.9  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm olan ikili lens yapılarında dielektrik sabiti ve uydurma katmanının etkisi

| $\phi_1 = \phi_2 = 64\text{mm}$                                                                                   |               | <b>Tarama Açısı [derece]</b> | <b>Kazanç [dB]</b> | <b>Tarama Kaybı [derece]</b> | <b>Yan Lob Seviyesi [dB]</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 3$<br>$E=10\text{mm}, L=\%0,$<br>$F=54\text{mm}, D=22\text{mm}$               | <b>X=0mm</b>  | 0                            | 30.8               | 0                            | -16.1                        |
|                                                                                                                   | <b>X=6mm</b>  | 10                           | 29.4               | 1.4                          | -12.9                        |
|                                                                                                                   | <b>X=12mm</b> | 20                           | 29.5               | 1.3                          | -12.1                        |
|                                                                                                                   | <b>X=18mm</b> | 31                           | 26.7               | 4.1                          | -11.4                        |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 3$<br>$E=10\text{mm}, L=\%30=4\text{mm},$<br>$F=42\text{mm}, D=6\text{mm}$    | <b>X=0mm</b>  | 0                            | 29.3               | 0                            | -15.9                        |
|                                                                                                                   | <b>X=2mm</b>  | 7                            | 28.6               | 0.7                          | -12.3                        |
|                                                                                                                   | <b>X=5mm</b>  | 19                           | 28.0               | 1.3                          | -11.3                        |
|                                                                                                                   | <b>X=8mm</b>  | 31                           | 22.1               | 7.2                          | -2.6                         |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 3$ UK<br>$E=10\text{mm}, L=\%30=4\text{mm},$<br>$F=42\text{mm}, D=6\text{mm}$ | <b>X=0mm</b>  | 0                            | 30.1               | 0                            | -24.9                        |
|                                                                                                                   | <b>X=2mm</b>  | 7                            | 29.8               | 0.3                          | -17.9                        |
|                                                                                                                   | <b>X=5mm</b>  | 19                           | 28.8               | 1.3                          | -12.4                        |
|                                                                                                                   | <b>X=8mm</b>  | 31                           | 23.4               | 6.7                          | -3.1                         |
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 9$<br>$E=5\text{mm}, L=\%0,$<br>$F=39\text{mm}, D=7\text{mm}$                 | <b>X=0mm</b>  | 0                            | 28.7               | 0                            | -12.5                        |
|                                                                                                                   | <b>X=6mm</b>  | 13                           | 28.8               | -0.1                         | -11.0                        |
|                                                                                                                   | <b>X=12mm</b> | 27                           | 26.2               | 2.5                          | -10.0                        |
|                                                                                                                   | <b>X=14mm</b> | 31                           | 24.5               | 4.2                          | -6.3                         |

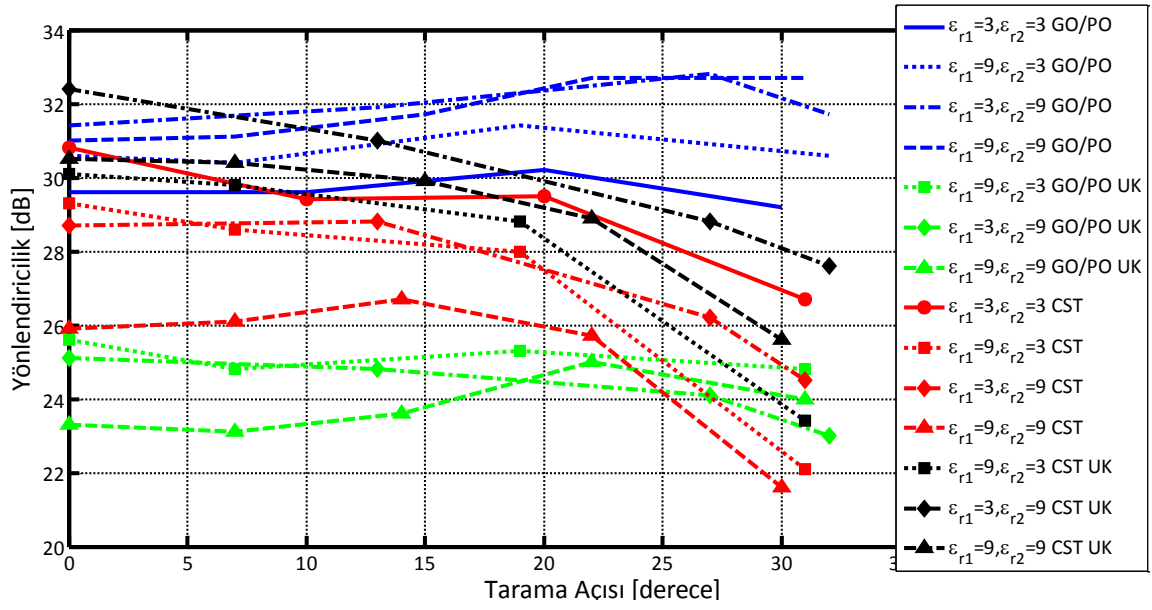
Çizelge 3.9  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm olan ikili lens yapılarında dielektrik sabiti ve uydurma katmanının etkisi (devamı)

|                                                                                                           |               |    |      |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----|------|------|-------|
| $\epsilon_{r1} = 3, \epsilon_{r2} = 9$ UK<br>$E=5\text{mm}, L=0, F=39\text{mm}, D=7\text{mm}$             | <b>X=0mm</b>  | 0  | 32.4 | 0    | -18.3 |
|                                                                                                           | <b>X=6mm</b>  | 13 | 31.0 | 1.4  | -12.1 |
|                                                                                                           | <b>X=12mm</b> | 27 | 28.8 | 3.6  | -9.6  |
|                                                                                                           | <b>X=14mm</b> | 32 | 27.6 | 4.8  | -8.3  |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 9$<br>$E=4\text{mm}, L=15=2\text{mm}, F=43\text{mm}, D=9\text{mm}$    | <b>X=0mm</b>  | 0  | 25.9 | 0    | -14.7 |
|                                                                                                           | <b>X=2mm</b>  | 7  | 26.1 | -0.2 | -8.8  |
|                                                                                                           | <b>X=4mm</b>  | 14 | 26.7 | -0.8 | -12.3 |
|                                                                                                           | <b>X=6mm</b>  | 22 | 25.7 | 0.2  | -9    |
|                                                                                                           | <b>X=8mm</b>  | 30 | 21.6 | 4.3  | -3.6  |
| $\epsilon_{r1} = 9, \epsilon_{r2} = 9$ UK<br>$E=4\text{mm}, L=15=2\text{mm}, F=43\text{mm}, D=9\text{mm}$ | <b>X=0mm</b>  | 0  | 30.5 | 0    | -22.4 |
|                                                                                                           | <b>X=2mm</b>  | 7  | 30.4 | 0.1  | -12.5 |
|                                                                                                           | <b>X=4mm</b>  | 15 | 29.9 | 0.6  | -10.9 |
|                                                                                                           | <b>X=6mm</b>  | 22 | 28.9 | 1.6  | -8.6  |
|                                                                                                           | <b>X=8mm</b>  | 30 | 25.6 | 4.9  | -3.9  |

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek performans ile çalışan ikili lens anten konfigürasyonu yarıküresel lens antenin dielektrik katsayısının 3, planoküresel lens antenin dielektrik katsayısının 9 olduğu yapıdır. Ayrıca tüm konfigürasyonlarda uydurma katmanının 2 dereceye kadar tarama açısını genişletmekle birlikte tarama kazancını da yükselttiği görülmektedir. Şekil 3.53’ de ikili lens antenlerin tarama açısı ile yönlendiriciliğinin değişimi yer almaktadır. CST sonuçları göz önünde bulundurulduğu zaman en yüksek yönlendiricilik ve düşük tarama kaybı uydurma katmanlı  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$  yapısına aittir. Burada GO/PO kodu ile yorum yapmak ardışıl yansımaların hesaba katılmaması sebebiyle doğru olmayacaktır. Şekil 3.54’ de besleme antenin konumu ile tarama açısının değişimi yer almaktadır. Burada yarıküresel lens antenin dielektrik sabitinin yüksek olduğu durumda ( $\epsilon_{r1} = 9$ )  $30^\circ$  ye tarama 4 mm’ deki besleme anteni ile yapılabilmesine rağmen dielektrik sabitinin değerinin düşük olduğu durumda ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ )  $30^\circ$  ye tarama 8 mm’ ye yerleştirilen besleme anteni ile yapılmaktadır. Bu  $\epsilon_{r1} = 9$  olduğu durumda besleme anteni tasarımını zor kılacaktır. Tarama çözünürlüğünü arttırmak amacıyla yakın yerleştirilen besleme antenleri ortak kuplaj etkisine sebep olacaktır.

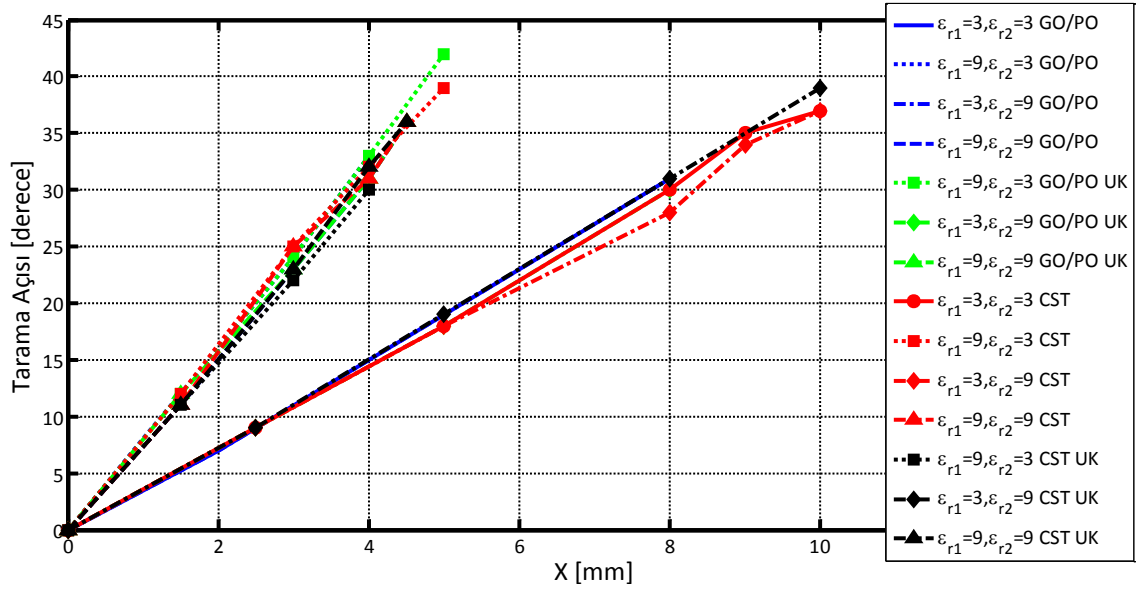


(a)

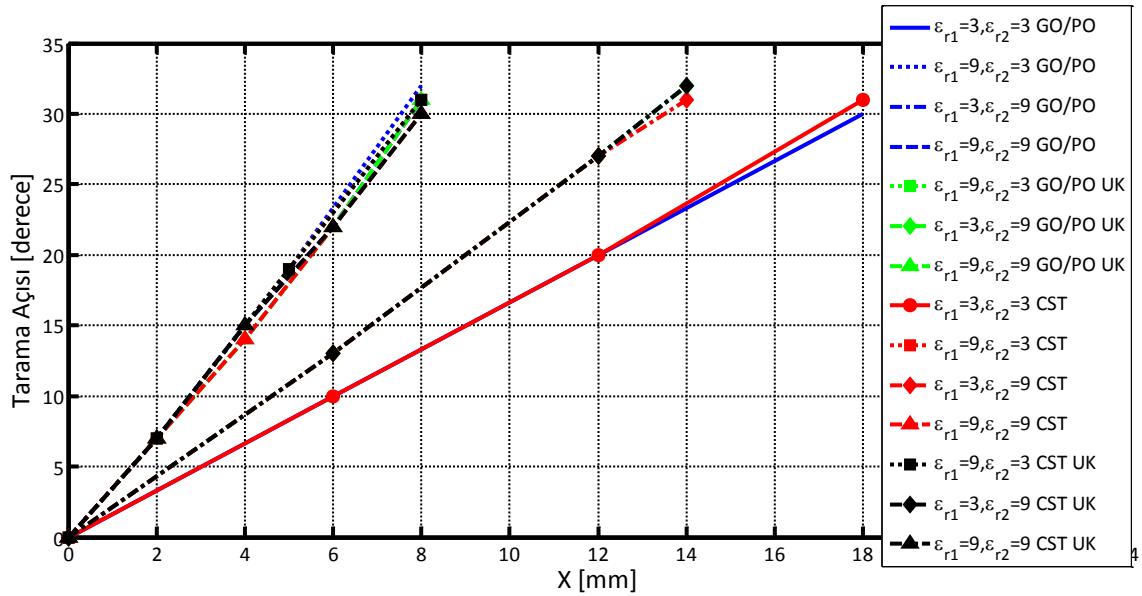


(b)

Şekil 3.53 İkili lens antenlerin yönlendiriciliğinin tarama açısıyla değişimi (a)  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm (b)  $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm



(a)



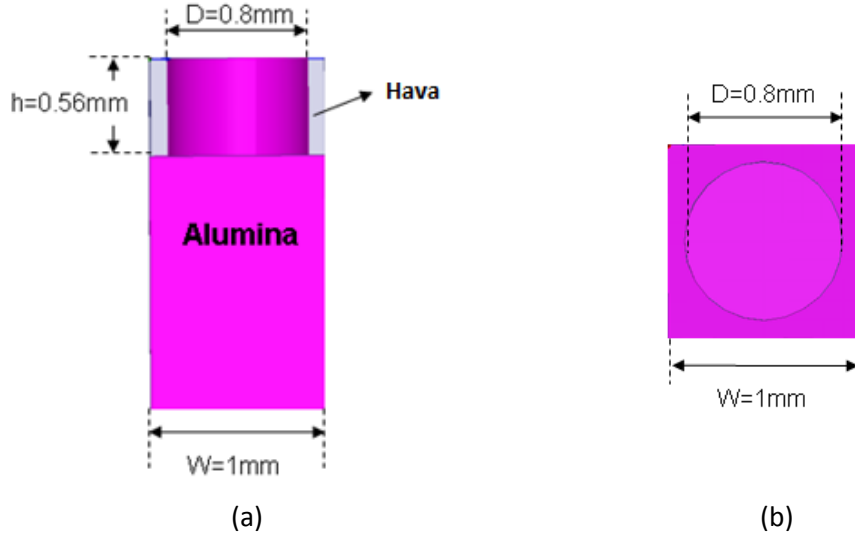
(b)

Şekil 3.54 İkili lens antenlerde besleme konumu ile tarama açısının değişimi  
(a)  $\varnothing_1 = \varnothing_2 = 32$  mm (b)  $\varnothing_1 = \varnothing_2 = 64$  mm

### 3.5.2 Oluklu Uydurma Katmanı

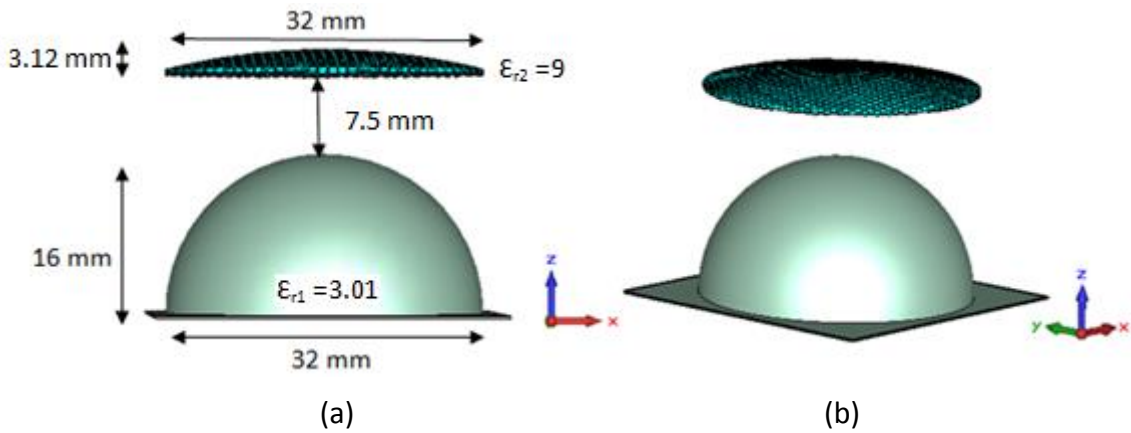
Farklı bir tip uydurma katmanın incelendiği bu bölümde dairesel tasarlanmış oluklu uydurma katmanı  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$  olan ikili lens anten yapısında denenmiştir. Literatürde sterolitografi yöntemi ile karesel oluklu uydurma katmanları kullanılmaktadır [23]. Dairesel oluklu uydurma katmanları bu çalışma ile ilk kez

denenmiştir. Oluklu uydurma katmanı  $\lambda/4$  yüksekliğe, 0.8 mm çapına sahip silindirik yapıların 0.56 mm uzaklıkta yerleştirilmesiyle elde edilir. Şekil 3.55’ te 77 GHz için  $\epsilon_{r2} = 9$  olan (alumina) planoküresel lens için tasarlanan dairesel oluk yer almaktadır. Dairesel oluğun dielektrik sabiti uydurmanın yapıldığı lensin dielektrik sabiti ile aynı olmalıdır.

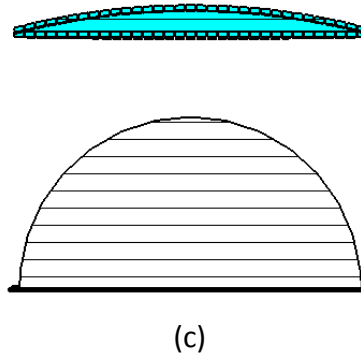


Şekil 3.55 77 GHz’ de  $\epsilon_{r2} = 9$ ’ a uydurma için tasarlanan dairesel oluk (a) Yandan görünüm (b) Üstten görünüm

Şekil 3.55’ te verilen dairesel oluğun  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$  olan ikili lens anten yapısına yerleştirilmesiyle elde edilen yapı Şekil 3.56’ da yer almaktadır. Oluklu uydurma katmanı planoküresel lensin hem alt hem de üst yüzeyinde yer almaktadır. Böylece hava ortamından lensin yapıldığı alumina malzemesine ve aluminadan hava ortamına geçiş esnasında karşılaşılan yansımalar minimuma indirgenmiş olur.

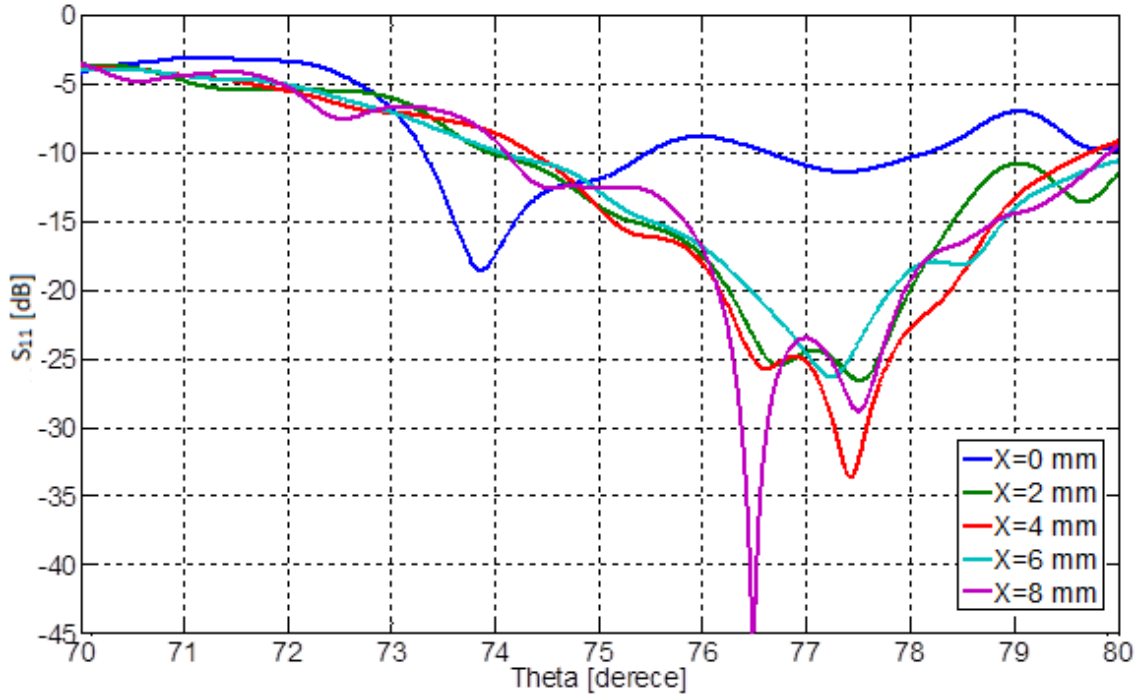


Şekil 3.56 Oluklu uyum katmanlı ikili lens anten (  $\epsilon_{r1} = 3.01$  ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) (a) Yandan görünüm (b) Perspektif görünüm



Şekil 3.56 Oluklu uyum katmanlı ikili lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ )  
(c) Kesit görünüm (devamı)

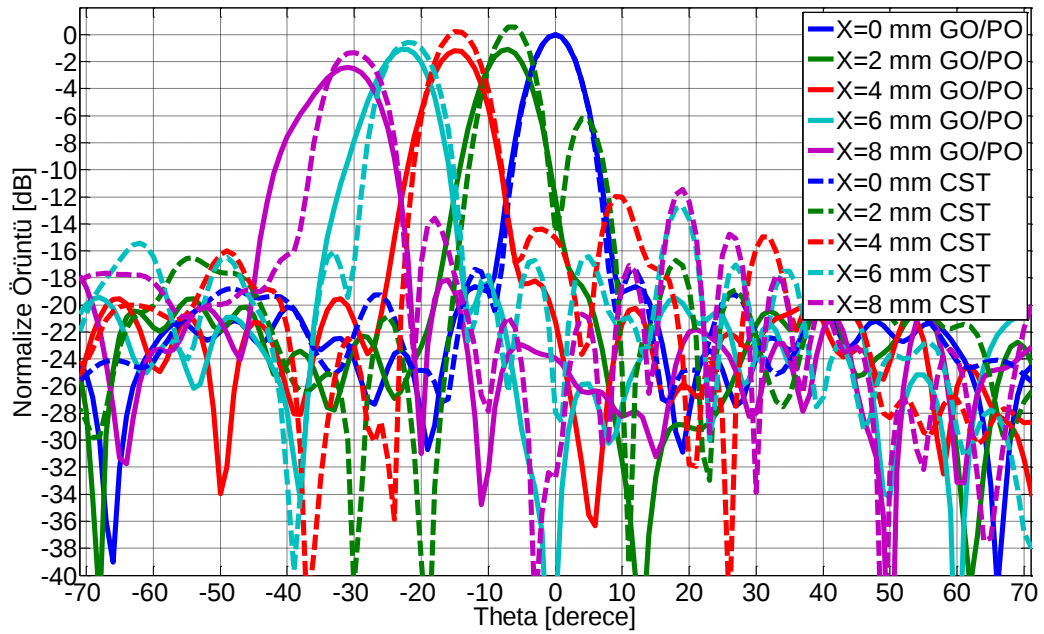
$X = 0, 2, 4, 6$  ve  $8 \text{ mm}'$  ye yerleştirilen besleme antenleriyle beslenen oluklu uydurma katmanlı ikili lens antene ait geri dönüş kaybı değişimi Şekil 3.57' de verilmiştir.



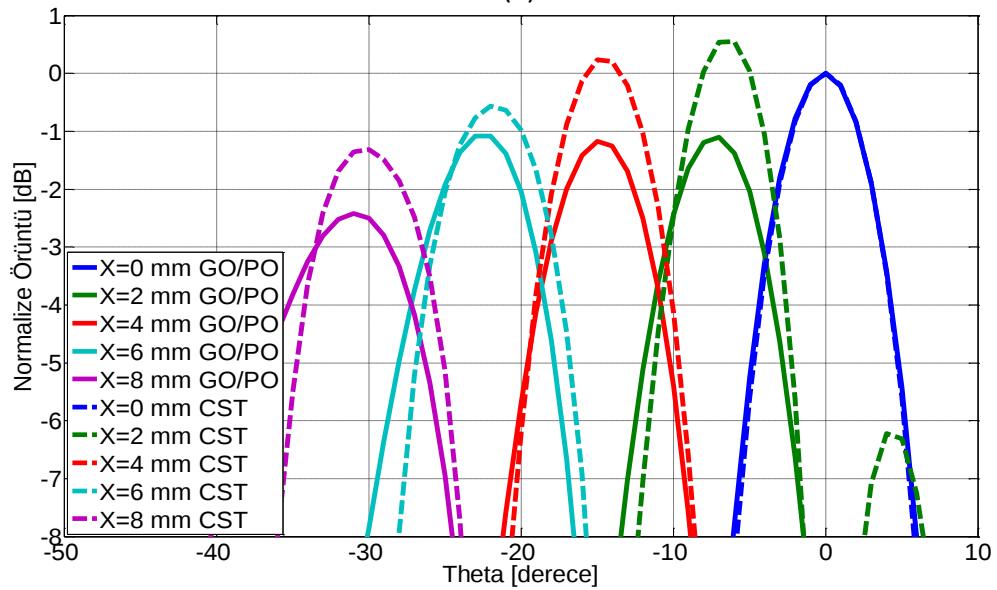
Şekil 3.57 Oluklu uydurma katmanlı ikili lens antenin  $S_{11}$  değişimi

Oluklu uydurma katmanlı ikili lens antenin  $x = 0, 2, 4, 6$  ve  $8 \text{ mm}$  besleme noktalarındaki ışıma örüntüleri Şekil 3.58' de gösterilmektedir. Şekil 3.58 (b)' de ana huzmelerin genişletilmiş görünümü yer almaktadır. Çizelge 3.9' da oluklu uydurma katmanlı ikili lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) huzme yönlendirme performansı verilmiştir. Burada ikili lens anten yapısının  $30^\circ$  den büyük bir tarama açısına  $2.5 \text{ dB}'$  den küçük bir tarama kaybıyla tarama yapabildiği görülmektedir. Oluklu uydurma katmanlı ikili lens antenin tarama açısı, yönlendiricilik ve tarama kaybı değerleri Çizelge

3.8' de yer alan  $\lambda/4$  uydurma katmanı ile tasarlanan ikili lens antenin sonuçlarıyla kıyaslandığı zaman iki uydurma katmanı metodunun da benzer performansa sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.59 - 3.62' de oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 0, 2, 4, 6$  mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüleri yer almaktadır.  $\lambda/4$  uydurma katmanına sahip lensin üretimi sterolitografi yöntemiyle üretilen oluklu uydurma katmanının üretimine oranla daha kolaydır. Fakat  $\lambda/4$  uydurma katmanı yerleştirilirken arada kalan hava boşlukları ek yansımalarla sebep olabilmektedir. Sterolitografi metodunda ayrı bir katman kullanılmadığı için hava boşluğu olmayacaktır.



(a)

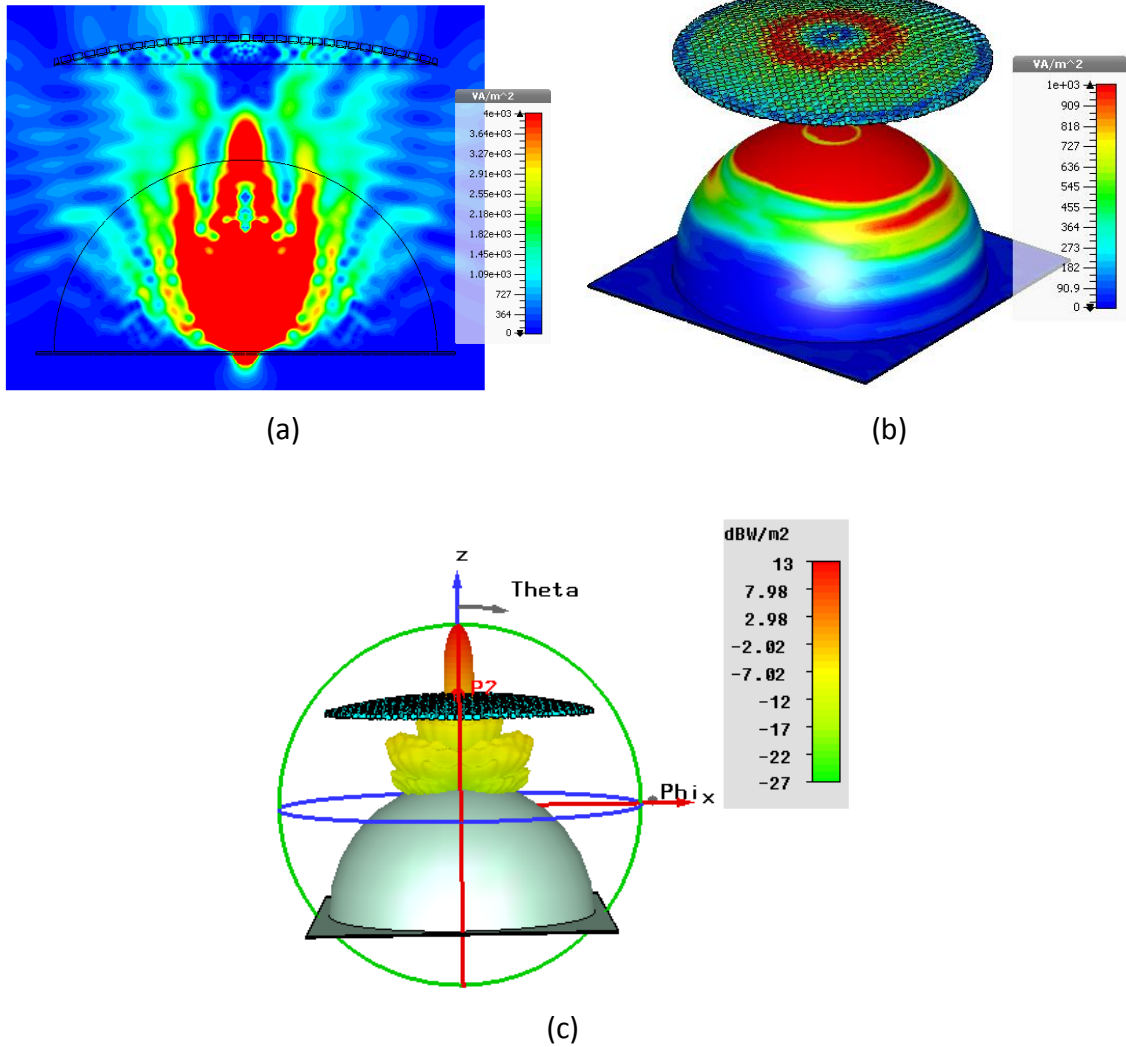


(b)

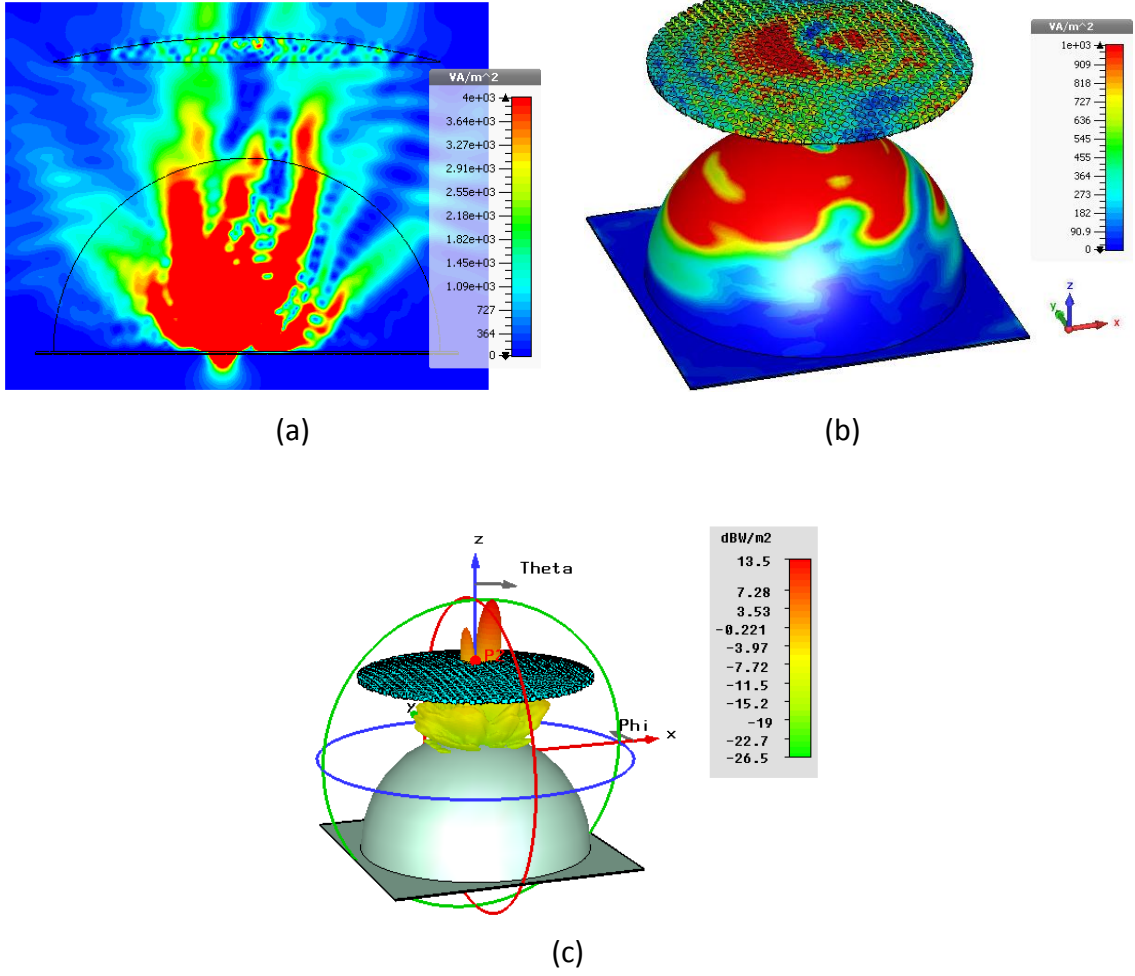
Şekil 3.58 (a) Oluklu uyum katmanlı lens antenin CST ve GO/PO' dan elde edilen kazanç ışıma örüntüsü (b) Büyütülmüş görünüm

Çizelge 3.9 Oluklu uyum katmanlı lens antenin huzme yönlendirme performansı

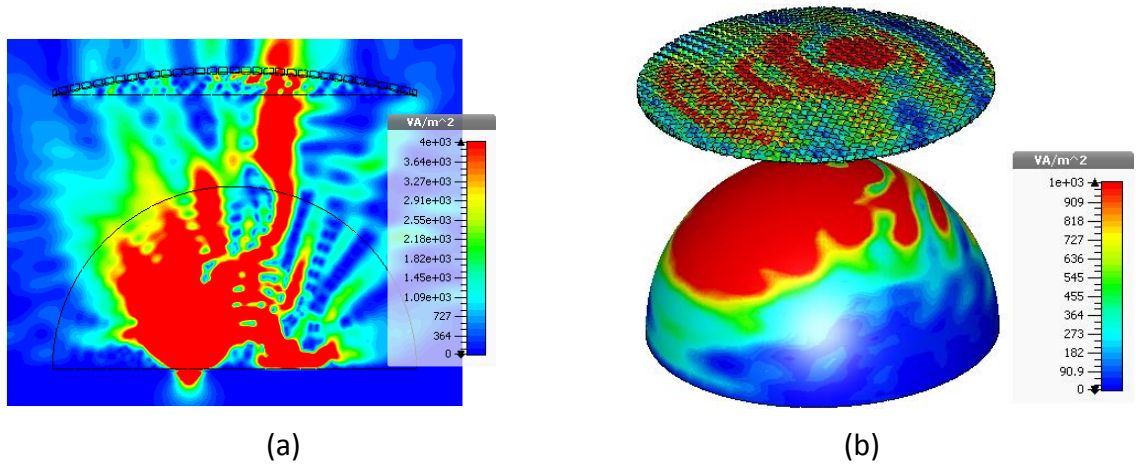
| X [mm] | Tarama Açısı [derece] | Kazanç [dB] | Tarama Kaybı [dB] | Yan Lob Seviyesi [dB] |
|--------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 0      | 0                     | 24.3        | 0                 | -17.4                 |
| 2      | 6.6                   | 24.5        | -0.2              | -6.8                  |
| 4      | 14.9                  | 24.2        | 0.1               | -12.2                 |
| 6      | 21.4                  | 23.4        | 0.9               | -12.2                 |
| 8      | 30                    | 22.7        | 1.6               | -10.1                 |



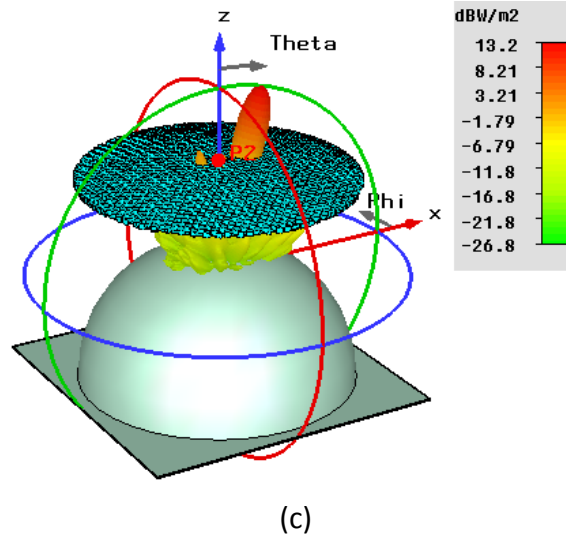
Şekil 3.59 Oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 0$  mm' deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüsü (a) kesit görünümü (b) perspektif görünüm (c) güç ışıması



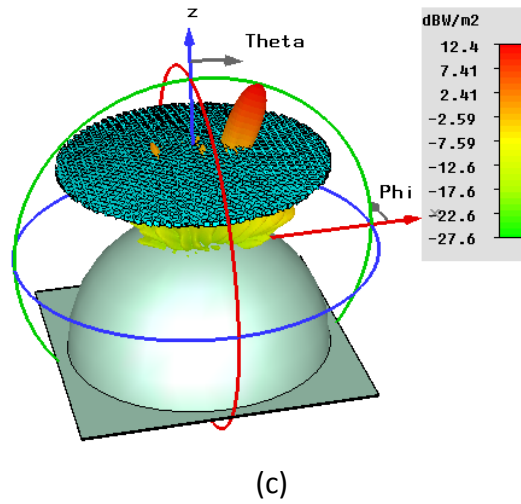
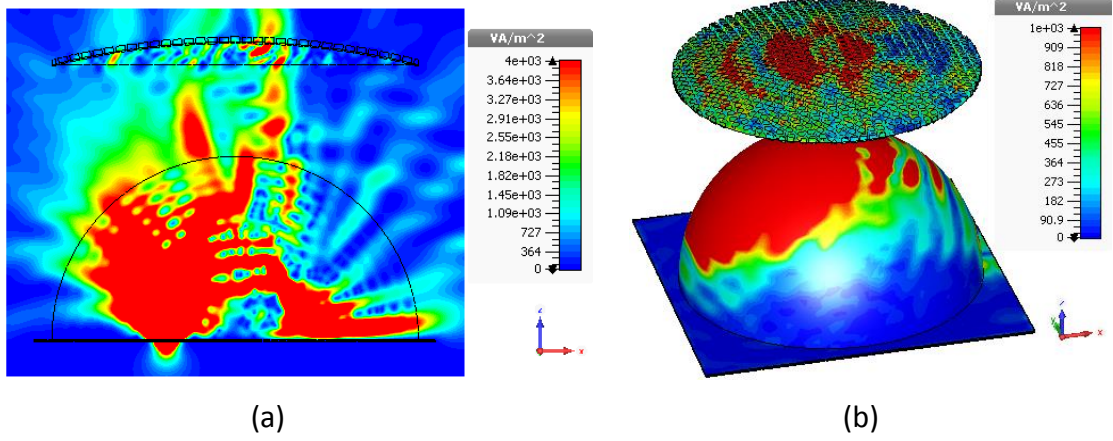
Şekil 3.60 Oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 2 \text{ mm}'$  deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüsü (a) kesit görünümü (b) perspektif görünüm (c) güç ışıması



Şekil 3.61 Oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 4 \text{ mm}'$  deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüsü (a) kesit görünümü (b) perspektif görünüm



Şekil 3.61 Oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 4 \text{ mm}$ 'deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüsü (c) güç ışıması (devamı)



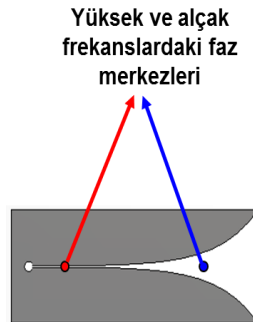
Şekil 3.62 Oluklu uyum katmanlı lens antenin  $x = 6 \text{ mm}$ 'deki güç akışı ve üç boyutlu güç ışıma örüntüsü (a) Kesit görünümü (b) Perspektif görünüm (c) Güç ışıması

### FAZ BOZULMALARI

#### 4.1 Faz Merkezi Tanımı

Yayılm yapan bir elemanın faz merkezi konumunun belirlenebilmesi için genellikle antenin küresel ölçümleri kullanılır[24]. Faz merkezi deneysel olarak antenin yayılım doğrultusundaki eş fazlı kürenin bulunmasıyla belirlenir. Küre yüzeyinin merkezi, test edilen antenin faz merkezidir.

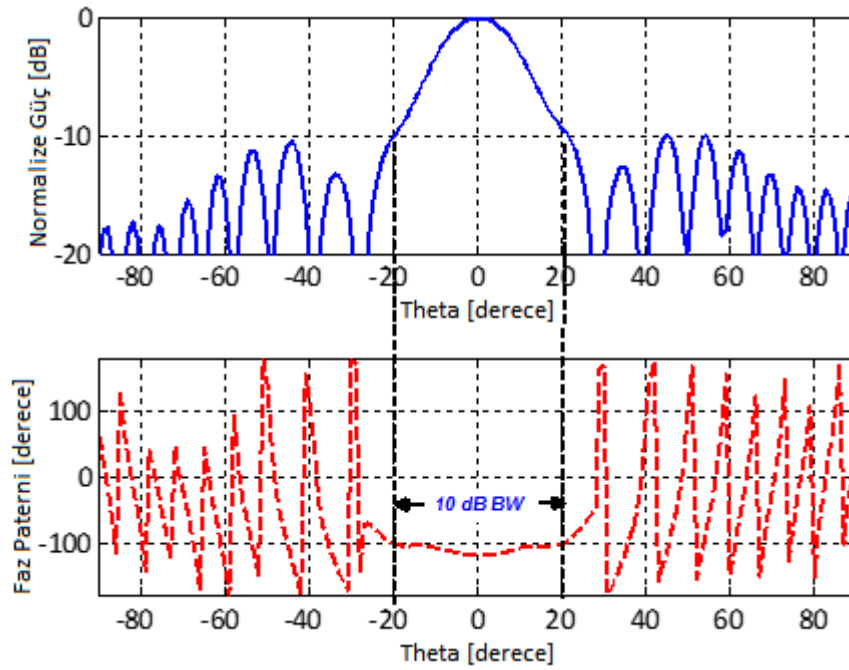
Pratikte antenin faz merkezi minimum faz hatası veren nokta olarak tanımlanır[25]. Faz merkezinde elektromagnetik dalga küresel olarak yayınıma başlar ve kürenin üzerindeki her noktada işaret eşit faza sahiptir. Her frekansta (çalışma bandındaki yüksek ve alçak frekanslarda) faz merkezi konumları birbirinden farklı olacaktır. Bu geniş bandda çalışan sistemler için Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Şekil 4.1' de çok geniş bandlı düzlemsel bir antenin faz merkezinin değişimi verilmiştir. Kırmızı nokta en yüksek frekanstaki faz merkezini ve mavi nokta da en alçak frekanstaki faz merkezini ifade eder.



Şekil 4.1 Çok geniş bandlı bir antenin alçak ve yüksek frekanslardaki faz merkezleri

Faz merkezinde ölçülen ışıma örüntüsünün fazı, ilgilenilen açısal alanda olabildiğince düzlemsel olmalıdır. Faz merkezi konumunun belirlenmesinde, ilgilenilen frekanstaki E ve H düzlemindeki örüntülerin 10 dB (çoğunlukla reflektör sistemleri için) veya 3 dB huzme genişliği ile ilgilenilir. Bir antenin faz merkezi konumu, simülasyon sonuçlarından da elde edilebilir. Şekil 4.2' de faz merkezi konumunun 10 dB huzme genişliği içindeki sabit fazın elde edildiği konum ile belirlenmesi gösterilmiştir. Buradaki faz merkezi ışıma örüntüsünün 10 dB huzme genişliği içerisinde en düşük faz değişimini veren konum olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.2' de mavi çizim, ilgilenilen frekanstaki ışıma örüntüsünü, kesikli kırmızı çizim ise o ışıma örüntüsünün faz değişimini vermektedir. Bu fazlar en küçük değişimin olduğu faz merkezi olarak kabul edilen noktalarda elde edilen faz değişimidir.



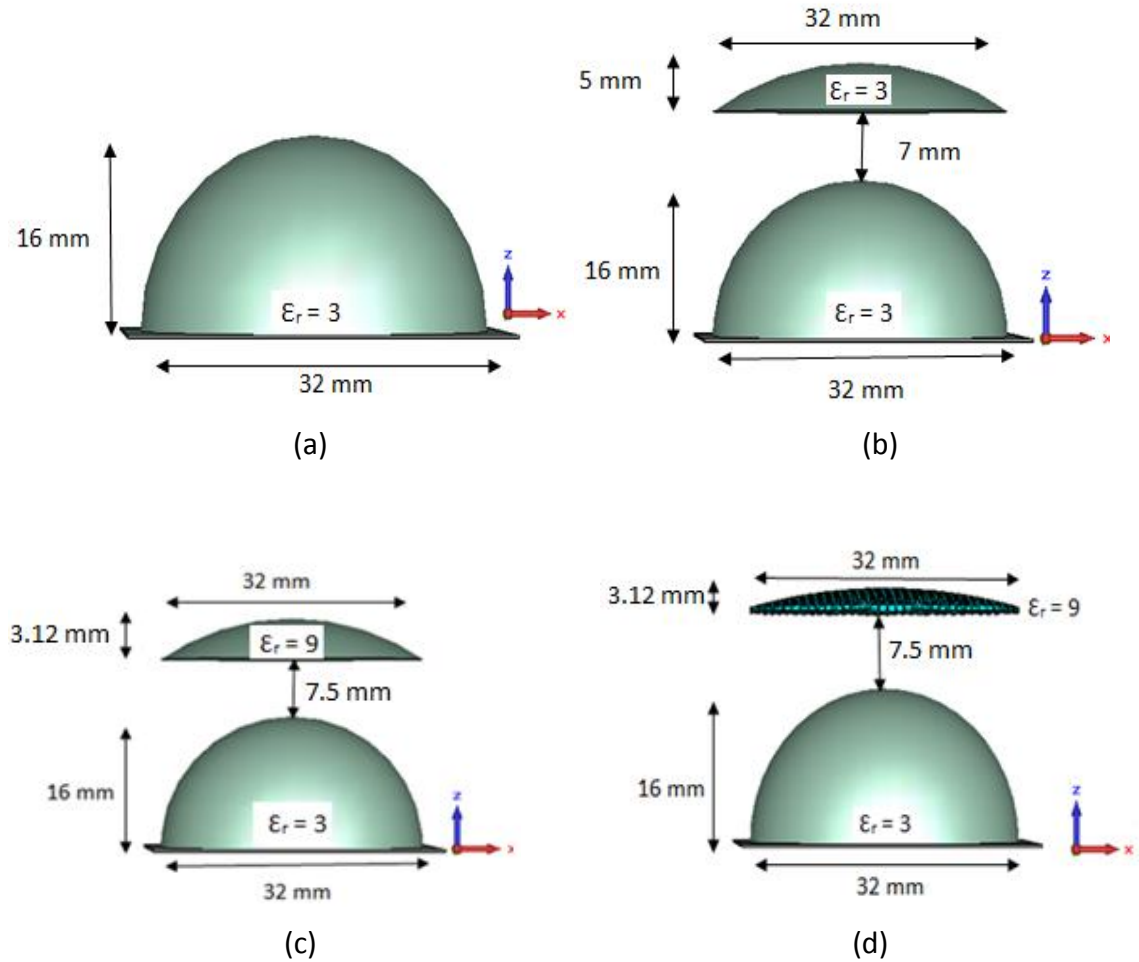
Şekil 4.2 Bir antenin faz merkezindeki ışıma örüntüsü ve faz değişimi [23]

Lens antenler de odaklarından beslendikleri zaman eş faz yüzeyine sahip olarak ışıma yapacaktır. Farklı lens mimarilerinin uzak alandaki faz bozulmaları Bölüm 4.2' de incelenmiştir.

## 4.2 Lens Antendeki Faz Bozulmaları

Şekil 4.3' te verilen dört anten mimarisinin uzak alandaki ışıma örüntülerinin fazları incelenecektir. Bu yapılar yarıküresel lens anten, planoküresel ve yarıküresel lensten

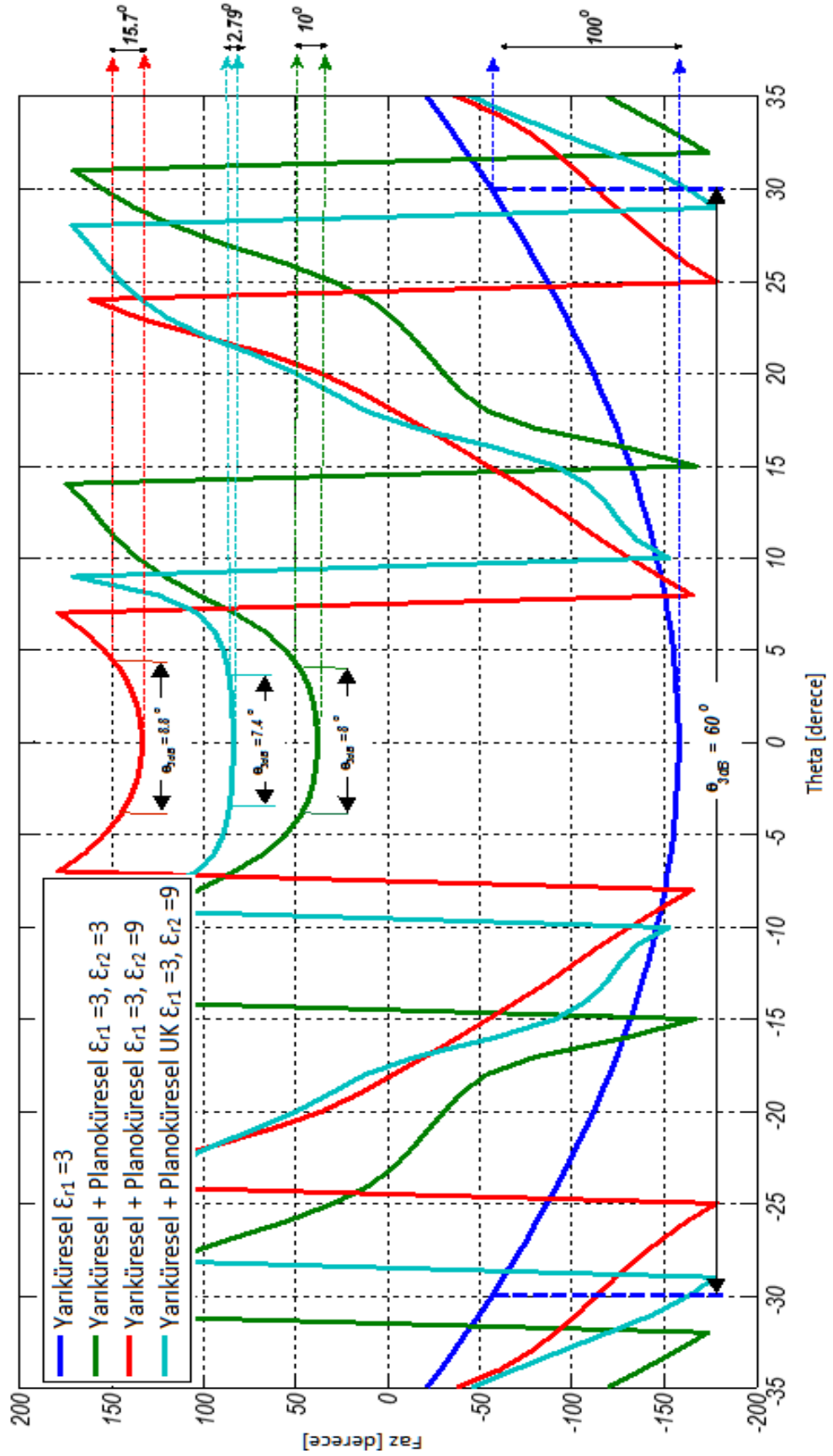
oluşan ikili dielektrik lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$  ve  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) , oluklu uyum katmanlı ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) lens antendir. Antenlerin boyutları şekiller üzerinde verilmiştir. Antenlerin ışıma örüntüleri ve fazları CST tam-dalga simülatörü kullanılarak elde edilmiştir. Faz bozulmaları incelenen antenler, önceki bölümlerde huzme tarama performansı incelenen antenlerdir. Bu sebepten dolayı antenlerin uzak alan ışıma örüntülerine bu bölümde yer verilmemiştir.



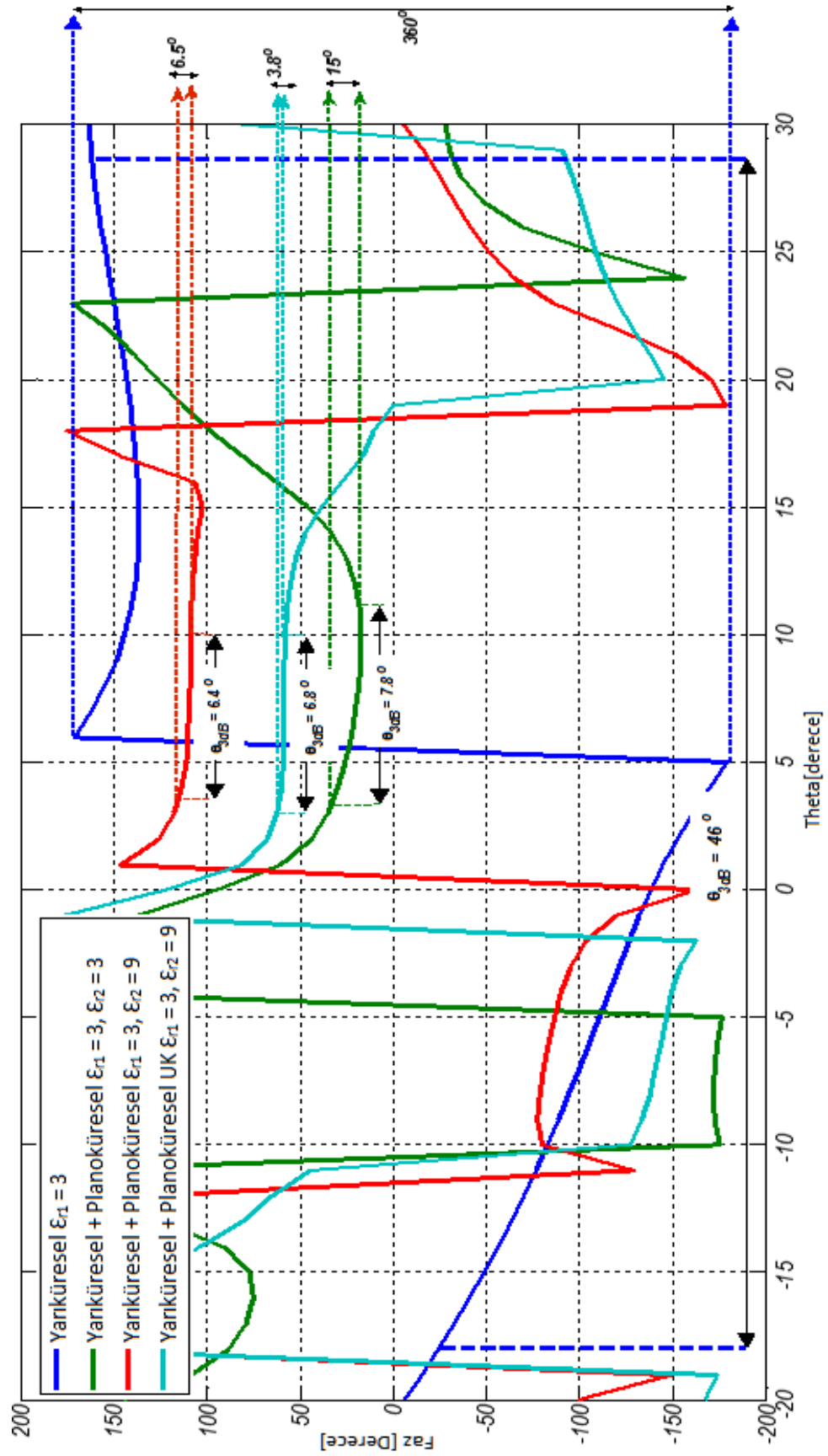
Şekil 4.3 Faz bozulmaları incelenen anten yapıları (a) Yarıküresel lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ )  
(b) İkili dielektrik lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$ ) (c) İkili dielektrik lens anten  
( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) (d) Oluklu uyum katmanlı lens anten

Şekil 4.4' te besleme anteni olarak kullanılan açıklık kuplajlı mikroşerit antenin lens antenlerin tabanlarının x-y düzleminde, merkezde olacak şekilde konumlandırıldığı durumda elde edilen faz değişimleri yer almaktadır. Bu şekildeki faz değişimi çizimleri oluşturulurken, her bir antenin beslemesinin  $x = 0$  mm'de olduğu durumdaki 3 dB huzme genişliği antenin ışıma örüntüsünden belirlenmiş, bu aralıktaki faz değişiminin miktarı incelenmiştir. Örnek olarak yarıküresel lens antenin ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ) faz değişimi

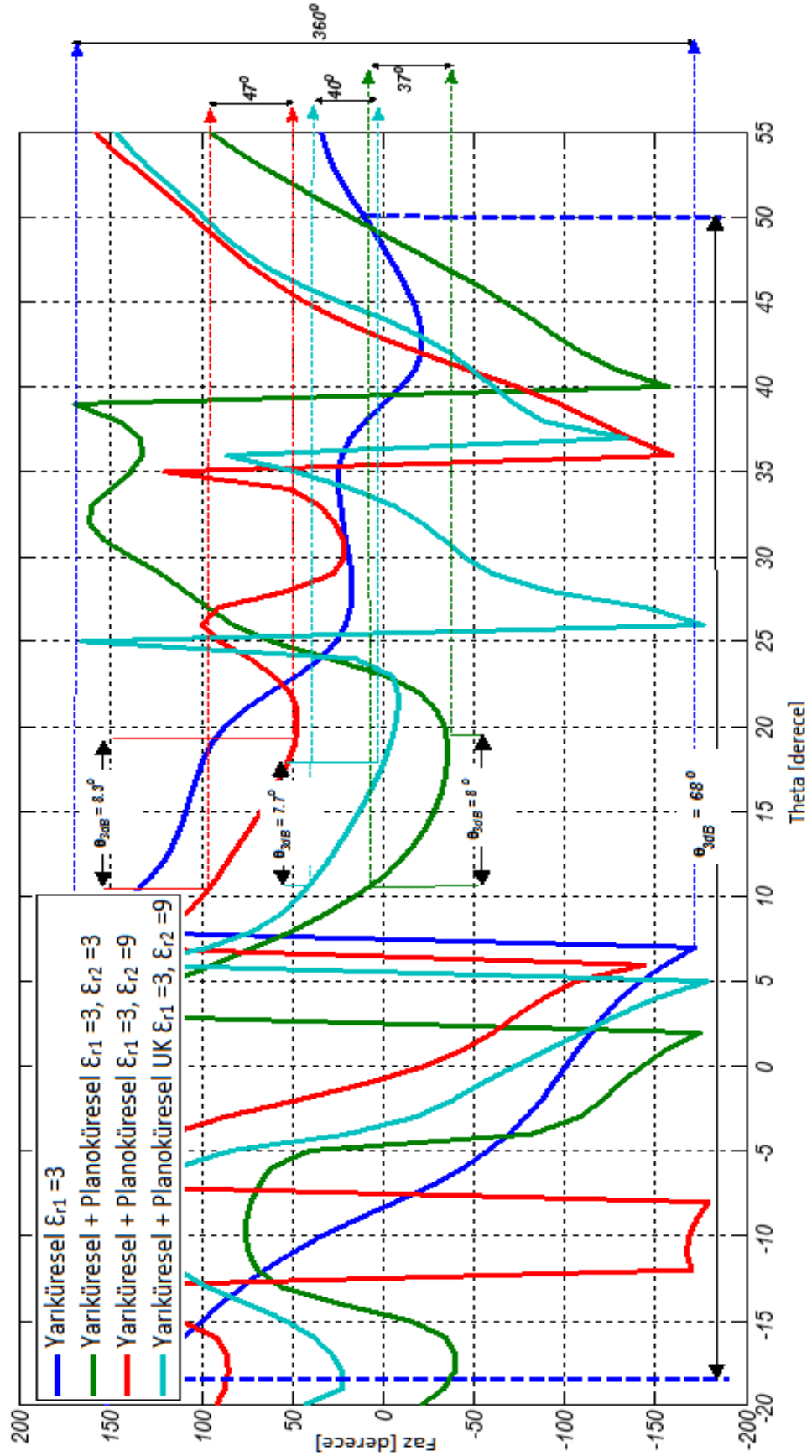
mavi çizgi ile gösterilmiştir. Bu antenin 3 dB huzme genişliği  $60^\circ$  olup 3 dB huzme genişliği içerisindeki faz değişimi  $100^\circ$  dir. Bu fazın sabit olmadığı anlamına gelir. Fazdaki bu yüksek ve kabul edilemez değişim, bu anten yapısının ışıma örüntülerinin uygunsuz olmasını da açıklamaktadır. Diğer anten yapıları için de benzer yorumlar yapılabilir.  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$  olan ikili dielektrik lens antenin 3 dB huzme genişliği ( $8^\circ$ ) içerisindeki faz değişimi  $10^\circ$  dir. Bu konuda yaptığımız çalışmalarımız 3 dB huzme genişliği içerisindeki faz değişiminin  $40^\circ$  altında olduğu durumlarda ışıma örüntüsünde olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür. Faz değişiminin en az olduğu durum, yönlendiriciliği en yüksek değere sahip olan uydurma katmanlı ikili dielektrik lens anten ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$ ) yapısıdır. Bu yapının 3 dB huzme genişliği ( $7.4^\circ$ ) içerisindeki faz değişimi  $2.78^\circ$  dir. Bu uzak alan ışıma örüntüsünün 3 dB huzme genişliği içerisinde antenin neredeyse düz bir faza sahip olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.4 Besleme antenin  $x = 0 \text{ mm}'$  de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışınma örüntülerinin faz değişimleri



Şekil 4.5 Besleme antenin  $x = 2 \text{ mm}'$  de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışıma örüntülerinin faz değişimleri



Şekil 4.6 Besleme antenin  $x = 4 \text{ mm}'$  de olduğu durumda lens antenlerin uzak alan ışınma örüntülerinin faz değişimleri

Şekil 4.5 ve 4.6’ da besleme anteninin x-y düzleminde,  $x = 2 \text{ mm}$  ve  $x = 4 \text{ mm}$ ’ de olduğu durumda elde edilen faz değişimleri yer almaktadır. 3 dB hüzme genişliği içerisindeki faz değişimleri incelenmiştir.  $x = 2 \text{ mm}$  olduğu durumda uydurma katmanlı ikili dielektrik lens anten  $6^\circ$ ’ ye tarama yapmaktadır. 3 dB hüzme genişliği  $6.8^\circ$  olup 3 dB hüzme genişliği içerisindeki faz değişimi  $3.8^\circ$ ’ dir. Bu değer diğer anten yapılarına kıyasla en küçük olan değerdir. Bu değer elde edilirken ışıma örüntüsünün maksimumunun kaydığı göz önünde bulundurulmuş ve 3 dB hüzme genişliğinin başlangıç ve bitişi ışıma örüntüsüyle uyumlu olarak kaydırılarak faz değişimi incelenmiştir.

Çizelge 4.1 3 dB band genişliğinde faz değişimi CST sonuçları

| <b>X=0 mm</b>                                                                       | <b>Tarama Açısı (derece)</b> | <b><math>\theta_{3dB}</math> (derece)</b> | <b>Faz Değişimi (derece)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Yarıküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ )                                       | 0                            | 60                                        | 100                          |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 3$ )      | 0                            | 8                                         | 10                           |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ )      | 0                            | 8.8                                       | 16.7                         |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel (UK)</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ ) | 0                            | 7.4                                       | 2.78                         |

| <b>X=2 mm</b>                                                                       | <b>Tarama Açısı (derece)</b> | <b><math>\theta_{3dB}</math> (derece)</b> | <b>Faz Değişimi (derece)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Yarıküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ )                                       | 5                            | 45                                        | 360                          |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 3$ )      | 7                            | 7.8                                       | 15                           |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ )      | 7                            | 6.4                                       | 6.5                          |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel (UK)</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ ) | 6                            | 6.8                                       | 3.8                          |

| <b>X=4 mm</b>                                                                       | <b>Tarama Açısı (derece)</b> | <b><math>\theta_{3dB}</math> (derece)</b> | <b>Faz Değişimi (derece)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Yarıküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01$ )                                       | 15                           | 68                                        | 360                          |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 3$ )      | 15                           | 8                                         | 37                           |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ )      | 15                           | 8.3                                       | 47                           |
| <b>Yarıküresel +Planoküresel (UK)</b> ( $\epsilon_{r1} = 3.01, \epsilon_{r2} = 9$ ) | 15                           | 7.7                                       | 40                           |

$X=4$  mm' de en düşük faz değişimi  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 3.01$  olan ikili dielektrik lens anten ( $37^\circ$ ) ve  $\epsilon_{r1} = 3.01$ ,  $\epsilon_{r2} = 9$  olan uydurma katmanlı ikili lens anten ( $40^\circ$ ) yapısına aittir. şekil 4.3' te yer alan lens anten yapılarına ait faz değişimleri izelge 4.1' de detaylı olarak yer almaktadır. Bu yapılara ait sonuçlar kıyaslandığı zaman en yüksek yönlendiriciliğe ve en iyi huzme tarama performansına sahip uydurma katmanlı ikili lens antenin uzak alanda en düşük faz bozulmasına sahip olduğu gözlenmektedir.

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde otomotiv radarı uygulamalarında kullanılabilecek çoklu lens anten tasarlamak amaçlanmıştır. Tasarlanacak antenin huzme tarama performansının bu güne kadar önerilmiş ve kullanılan diğer anten mimarilerine göre daha üstün, boyutunun otomotiv radarı kullanımına uygun, üretiminin ise basit olması hedeflenmiştir. Bu amaçla otomotiv radar uygulamalarında kullanılan lens anten yapıları araştırılmış, incelenmiş ve alternatif tasarımlar üretilmiştir. Yapılan literatür taramasında otomotiv radar anteni taleplerine yakın sonuç verebilen lens antenler tanıtılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

Performans analizinde GO/PO, ışın takibi yöntemi ve CST simülasyonları kullanılmıştır. Yüksek dielektrik sabitine sahip lens yapılarının CST ile simülasyonu çok yüksek performanslı iş istasyonlarında dahi çok uzun sürmektedir. Bunun sebebi simülasyondaki hücre sayısının fazla olmasıdır. GO/PO yöntemi lens yapılarının performans analizi için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı incelenen lens anten yapıları öncelikle yapıya özel hazırlanan GO/PO kodu ile analiz edilmiş, yüksek performanslı yapılara ait sonuçlar CST ve ışın takibi metotlarıyla teyit edilmiştir. GO/PO simülasyonlarının CST' ye oranla kısa sürmesi farklı lens anten yapılarının parametrik analizine imkân vermiştir. Işın takibi yöntemi lens anten yapılarının odağını bulmak için kullanılmıştır.

Lens anten tipi olarak yarıküresel, uzatılmış yarıküresel ve planoküresel lens antenler kullanılmıştır. Tek başlarına kullanıldıklarında yarıküresel lens antenin otomotiv radarlarında huzme yönlendirme için yetersiz olduğu görülmüştür. Planoküresel lens antenin ise tarama açısı hedeflenen aralığa dahi ulaşamamıştır. Bu sonuçlar sebebiyle

lens antenlerin tek başına kullanımlarından verim alınamamış, ikili lens yapıları üzerine çalışılmıştır.

Yönlendirme ve tarama açısının en iyi değerleri için yarıküresel lens altta, planoküresel lens üstte olmak üzere tasarlanan ikili lens antenlerin dielektrik sabitinin etkileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda  $\epsilon_{r1} = 3.01$  ve  $\epsilon_{r2} = 9$  olan lens antenin diğer çeşitlere göre daha verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır. Ancak elektromagnetik dalganın  $\epsilon_{r2} = 9$  dielektrik katsayılı planoküresel ortamından büyük bir oranda yansıdığı görülmüştür, bu sebepten planoküresel lens antenin etrafına  $\lambda/4$  kalınlığında uydurma katmanı veya oluklu dairesel uydurma katmanı eklenmiştir. Böylece tarama açısı 4 derece kadar artmış ve yan lob seviyeleri düşürülmüştür.

Karşılaştırmalı anten tasarımlarında  $\phi_1 = \phi_2 = 32$  mm,  $\epsilon_{r1} = 3.01$  ve  $\epsilon_{r2} = 9$  dielektrik katsayılarına sahip yarıküresel lens ve planoküresel lensten oluşan uydurma katmanlı ikili lens anten ile ( $E = 2$  mm,  $L = \% 0$ ,  $F = 24$  mm,  $D = 8$  mm) en iyi performans elde edilmiştir. Bu anten besleme anteninin  $x = 8$  mm' ye yerleştirilmesiyle  $30^\circ$  ye 2 dB' den düşük bir tarama kaybıyla ışıma yapabilmektedir. Bu anten  $x = 0$  mm' den beslendiğinde 22.7 dB' lik kazancı ve 32x32x26.5 mm boyutları ile oldukça küçüktür ve araç üzerinde sensör olarak kullanmak için elverişli boyutlara sahiptir. Büyük ikili lens anten yapıları için yapılan analizde ( $\phi_1 = \phi_2 = 64$  mm) en yüksek performans  $\epsilon_{r1} = 3$  ve  $\epsilon_{r2} = 9$  olan yapı ile elde edilmiştir ( $E = 10$  mm,  $L = \% 0$ ,  $F = 54$  mm,  $D = 22$  mm).  $30^\circ$  ye tarama  $x = 18$  mm' ye yerleştirilen besleme anteni ile 4 dB' lik tarama kaybıyla elde edilmektedir. Bu antenin boyutları 64x64x64 mm olup  $x = 0$  mm' den beslendiğindeki kazancı 30.8 dB' dir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Hasch, J., Topak, E., Schnabel, R., Zwick, T., Weigel, R. ve Waldschmidt, C., (2012). "Millimeter-Wave Technology for Automotive Radar Sensors in the 77 GHz Frequency Band", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 60 (3): 845-60.
- [2] Tran, V., (2012). Conception et optimisation d'antennes lentilles diélectriques à fort gain et de taille réduite en ondes millimétriques, Doktora Tezi, IETR Lab. University of Rennes 1, Rennes.
- [3] Wu, X. ve Eleftheriades, G.V., (2000). "Two-Lens and Lens-Fed Reflector Antenna Systems for MM-Wave Wireless Communications", International Symposium of IEEE Antennas and Propagation Society, Toronto-Canada, 660-3.
- [4] Menzel, W. ve Moebius, A., (2012). "Antenna Concepts for Millimeter-Wave Automotive radar Sensors", Proceedings of the IEEE, 100 (7): 2372-9.
- [5] Porter, B. G., Rauth, L. L., Mura, J. R. ve Gearhart, S. S., (1999). "Dual-polarized slot-coupled patch antennas on Duroid with Teflon lenses for 76,5 GHz automotive radar systems", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 47 (12): 1836-1842.
- [6] Gresham, I., Jain N., Budka T., Alexanian A., Kinayman N., Ziegner B., Brown S. ve Staecker P., (2001). "A compact manufacturable 76-77 GHz radar module for commercial ACC applications", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 49 (1): 44-58.
- [7] Schoebel, J., Buck T., Reimann M., Ulm M., Schneider M., Jourdain A., Carchon G.J. ve Tilmans H.A.C., (2005). "Design Considerations and Technology Assessment of Phased-Array Antenna Systems With RF MEMS for Automotive Radar Applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 53 (6): 1968-75.
- [8] Beer, S., Adamiuk G. ve Zwick T., (2009). "Novel Antenna Concept for Compact Millimeter-Wave Automotive Radar Sensors", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 8: 771-4.

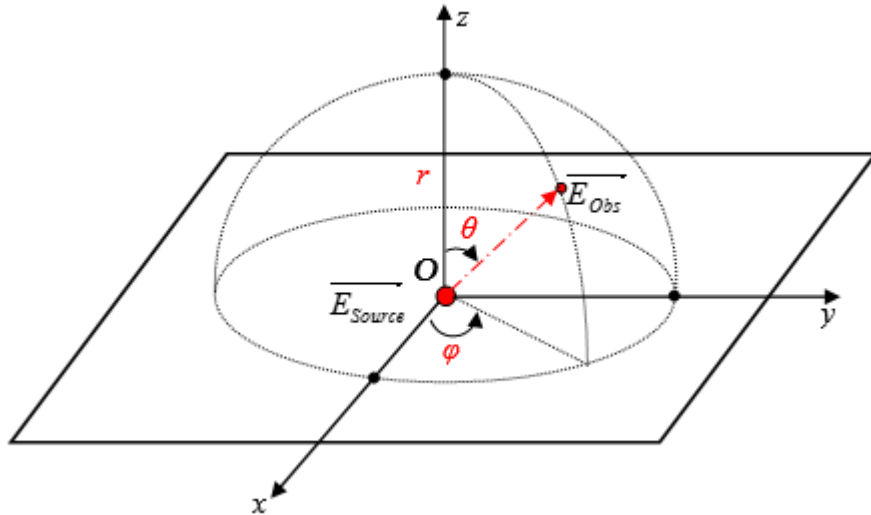
- [9] Godi, G., Sauleau R., Le Coq L. ve Thouroude D., (2007). "Design and Optimization of Three-Dimensional Integrated Lens Antennas With Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 55 (3): 770-5.
- [10] Wu, X., Eleftheriades G.V. ve Van Deventer-Perkins T.E., (2001). "Design and characterization of single- and multiple-beam mm-wave circularly polarized substrate lens antennas for wireless communications", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 49 (3): 431-41.
- [11] Costa, J.R., Silveirinha M.G. ve Fernandes C.A., (2008). "Evaluation of a Double-Shell Integrated Scanning Lens Antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 7: 781-4.
- [12] Costa, J.R., Lima E.B. ve Fernandes C.A., (2009). "Compact Beam-Steerable Lens Antenna for 60 GHz Wireless Communications", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 57 (10): 2926-33.
- [13] Barès, B., (2004). Synthèse et optimisation d'antennes lentilles substrats à diagramme de rayonnement formé en ondes millimétriques, Doktora Tezi, IETR Lab. University of Rennes 1, Rennes.
- [14] Tang, C.H., (1975). "A Dual Lens Antenna for Limited Electronic Scanning", Wayland-USA, 117-20.
- [15] Komoshvili, K., Kapilevich, B., Litvak, B. ve Nagar, Y., (2011). "Two Lens-Antenna System for mm-Wave Biological Experiments Systems", IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems (COMCAS), Ariel-Israel, 1-4.
- [16] Nguyen, T., Boriskin A., Rolland A., Le Coq L. ve Sauleau R., (2012). "Shaped Lens-like Dome for UWB Antennas with a Gaussian-like Radiation Pattern", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 99: 1-9.
- [17] Trichopoulos, G. C., Sertel, K. J. ve Volakis, L., (2010). "Slot Spiral Detector Array for Broadband THz Imaging", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APSURSI.
- [18] Kohmura, A., Futatsumori, S., Yonemoto, N. ve Matsuzaki, M., (2010). "W-Band Antenna-Reflector Combined in a Lens", European Radar Conference '10 (EuRAD 2010), Chofu-Japan, 356-9.
- [19] Mayer, K., Baur, M. ve Walter, T., (2009). "Packaging Technologies for Highly Integrated 77 GHz Automotive Radar Sensors", European Microwave Conference 09 (EuMC 2009), Roma-Italy, 1311-4.
- [20] Brown, R., (1956). "Dielectric bifocal lenses", IRE International Convention Record, 180-7.
- [21] Thornton, J., White, A.D. ve Gray, D., (2009). "Multi-beam lens-reflector for satellite communications: construction issues and ground plane effects", 3rd European Conference on Antennas and Propagation '09 (EuCAP 2009), Berlin-Germany, 1377-80.

- [22] Godi, G., (2006). Conception et optimisation d'antennes lentilles multicouches et de dômes diélectriques pour les applications en ondes millimétriques, Doktora tezi, Université de Rennes 1, Rennes.
- [23] Tokan, N. T., (2013). "Performance of Vivaldi antennas in reflector feed applications", Applied Computational Electromagnetics Society Journal, 9: 802–808.
- [24] Li, P. ve Jiang, L., (2012). "The far field transformation for the antenna modeling based on spherical electric field measurements", Progress in Electromagnetics Research, 123: 243–261.
- [25] Milligan, T. A., (2005). Modern Antenna Design, Wiley-IEEE Press, New York.

## GO/PO YÖNTEMİ

Elektromagnetik ışınların ilk kaynağı lens antenin boyutlarına oranla çok küçüktür. Bu oran sebebiyle besleme anteninin kaynağından gelen ışınlar noktasal kabul edilmektedir. Besleme anteninden yayılan ışın küresel formda lens içerisinde ilerlemektedir. Bu türde bir yayılım lens antenin tüm yüzeyine faz farkı olmaksızın ulaşacaktır. Bu durum uzak alan ışımasının uzaklığa bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. EK-A.1 numaralı formülde uzak alandaki elektromanyetik alan büyüklüğünün uzaklığa bağlı değeri görülmektedir.

$$\vec{E}_{Obs}(\theta, \varphi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{E}_{Source}(\theta, \varphi) \quad (\text{EK-A.1})$$

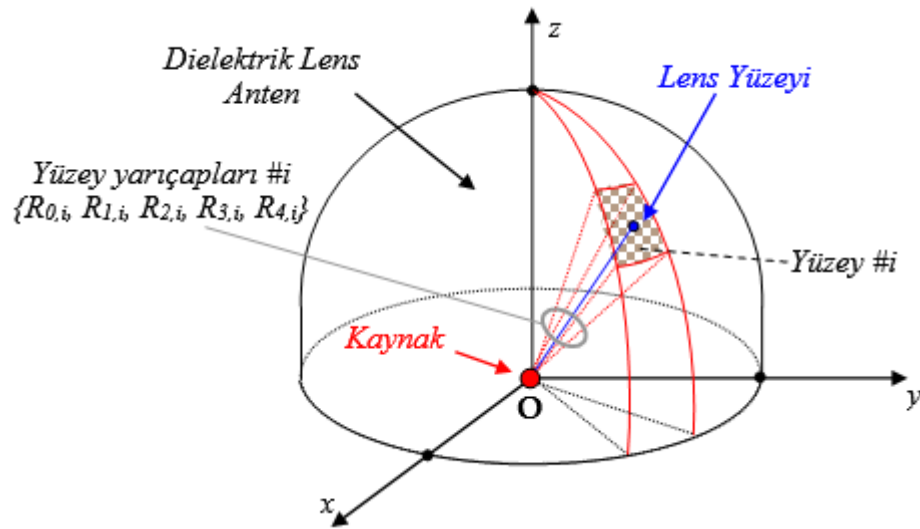


Şekil EK-A.1 Noktasal kaynağın elektrik alanı

Formülde belirtilen  $k$  yayılım yapılan dielektrik ortamdaki dalga sayısını vermektedir. Dalga sayısı ( $k$ ) frekansın ve dielektrik katsayısının bir formülüdür ve EK-A. 2 de olduğu gibi gösterilir.

$$k = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon_r} \quad (\text{EK-A.2})$$

GO yaklaşımında birçok yarıçap alanı türü olmasına rağmen bu tez çalışmasında dörtgensel piramit formunda ışın takip tüpleri seçilmiştir [2].

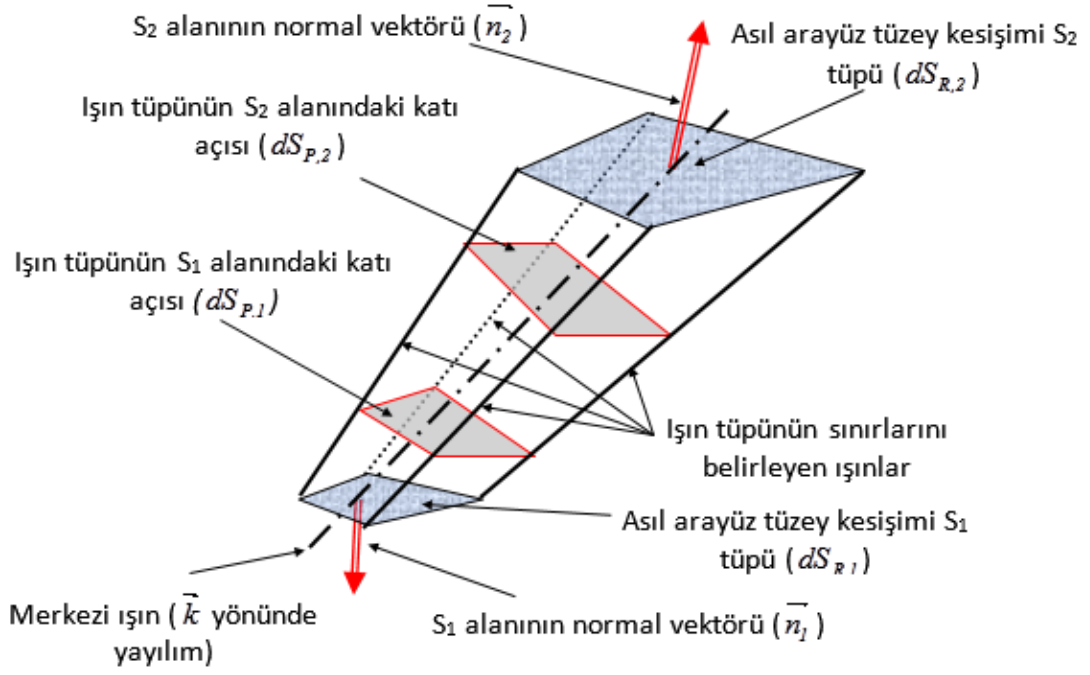


Şekil EK-A.2 Işın takip metodunun lens anten içerisinde gösterimi

Şekilde R ile gösterilen beş adet elektromanyetik ışın görülmektedir. Seçilen lens yüzeyi sonsuz küçük kabul edilmektedir. Seçilen alandaki elektrik alanın formülü ise EK-A.3' te görüldüğü gibidir.

$$\vec{E}_{Tub \#i} = \frac{e^{-jkR_{0,i}}}{R_{0,i}} \vec{E}_{Soucre}(\theta_{0,i}, \varphi_{0,i}) \quad (\text{EK-A.3})$$

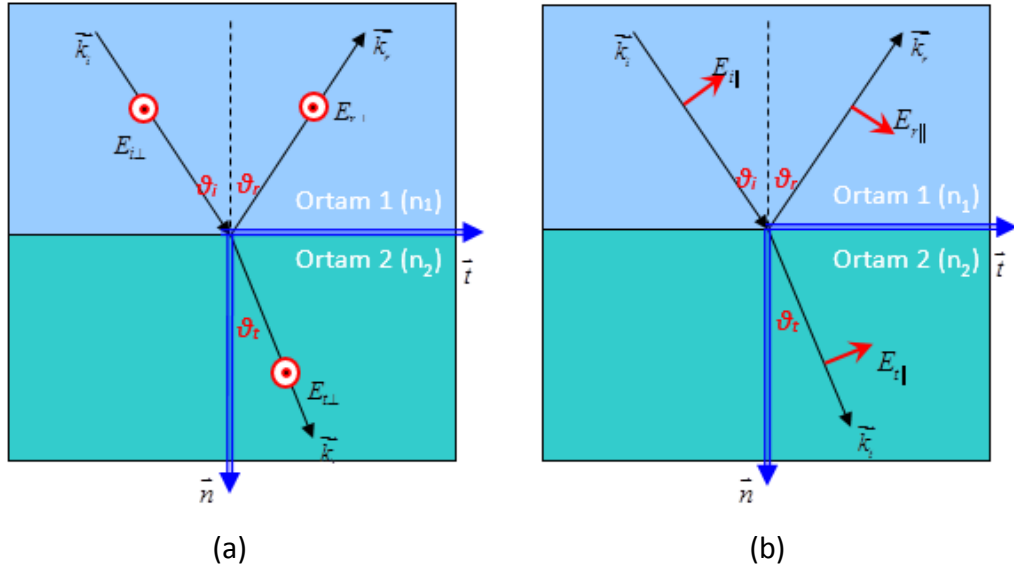
Kaynaktan çıkan ışın tüpleri Şekil EK-A.3' te görüldüğü gibi yayılmaktadır. Tek katmanlı lens antende faz merkezinden yapılan beslemede dalga faz farkı olmadan ilerleyecektir. Ancak çok katmanlı lens antenlerde faz farkı da göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik alanın tek katmanlı lens antende faz merkezinden yapılan beslemelerdeki değeri EK-A.4' te, çok katmanlı lens antenler için ise EK-A.5' te gösterilmiştir.



Şekil EK-A.3  $S_1$  and  $S_2$  dielektrik alanlarında ışınların yayılımı

Lens anten içinde yayılan elektromanyetik dalga Snell yasalarına uygun olarak ortam değişimi yapmaktadır. Bu konuya dielektrik lens antenler bölümünde daha ayrıntılı değinilmiştir.

Lens antenin yüzeyine kadar yayılan elektromanyetik dalga TE ve TM modu ayrı düşünölmek üzere gelen Snell yasalarına göre kırılmaya uğrar. Şekil EK-A.4' te göröldüğü gibi  $\vec{n}$  ortamın normali  $\vec{t}$  ise teğet vektörüdür.



Şekil EK-A.4 (a) TE modu ve (b) TM modu için elektrik alanların ortam geçişleri  
Elektrik alanın TE ve TM modu bileşenleri (EK-A. 4) ve (EK-A. 5) de gösterilmiştir.

$$E_{i\perp} = \vec{E}_i \cdot \frac{\vec{n} \times \vec{k}_t}{\|\vec{n} \times \vec{k}_t\|} \quad (\text{EK-A.4})$$

$$E_{i\parallel} = \vec{E}_i \cdot \frac{(\vec{n} \times \vec{k}_t) \times \vec{k}_t}{\|(\vec{n} \times \vec{k}_t) \times \vec{k}_t\|} \quad (\text{EK-A.5})$$

$$\vec{t} = \vec{E}_i \cdot \frac{-\vec{n} \times (\vec{n} \times \vec{k}_i)}{\|\vec{n} \times (\vec{n} \times \vec{k}_i)\|} \quad (\text{EK-A.6})$$

Teğet vektörünün formülünden (EK-A.6) faydalanılarak geliş açısı elde edilir (EK-A.7). Ortamların dielektrik katsayılarının farklı olması sebebiyle Snell yasasından (EK-A.8) faydalanılarak iletim açısı elde edilir. Ayrıca ortam değişiminden geri dönen elektromanyetik dalgaların yansıma açısı (EK-A.9) ile geliş açısına eşit olduğu gösterilmiştir.

$$\theta_i = a \tan \left( \frac{\vec{k}_i \times \vec{t}}{\vec{k}_i \cdot \vec{t}} \right) \quad (\text{EK-A.7})$$

$$\theta_t = a \sin \left( \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right) \quad (\text{EK-A.8})$$

$$\theta_r = -\theta_i \quad (\text{EK-A.9})$$

Propagasyon vektörleri açılara bağlı olarak (EK-A. 10) ve (EK-A. 11)'de gösterilmiştir.

$$\vec{k}_t = \cos(\theta_t) \vec{n} + \sin(\theta_t) \vec{t} \quad (\text{EK-A.10})$$

$$\vec{k}_r = -\cos(\theta_i) \vec{n} + \sin(\theta_i) \vec{t} \quad (\text{EK-A.11})$$

Ortam değişiminden yansıyan ve ikinci ortama iletilen elektrik alan değerleri (EK-A.12) ve (EK-A.13) yardımıyla bulunabilir.

$$\vec{E}_t = t_{\parallel} E_{i\parallel} \cdot \frac{(\vec{n} \times \vec{k}_i) \times \vec{k}_t}{\|(\vec{n} \times \vec{k}_i) \times \vec{k}_t\|} + t_{\perp} E_{i\perp} \frac{\vec{n} \times \vec{k}_i}{\|\vec{n} \times \vec{k}_i\|} \quad (\text{EK-A.12})$$

$$\vec{E}_r = -r_{\parallel} E_{i\parallel} \cdot \frac{(\vec{n} \times \vec{k}_i) \times \vec{k}_r}{\|(\vec{n} \times \vec{k}_i) \times \vec{k}_r\|} + r_{\perp} E_{i\perp} \frac{\vec{n} \times \vec{k}_i}{\|\vec{n} \times \vec{k}_i\|} \quad (\text{EK-A.13})$$

Elektrik alan formüllerinde yansıma ve iletilme katsayıları yer almaktadır. Bu katsayılar TE ve TM modlarına göre farklılık göstermektedirler.

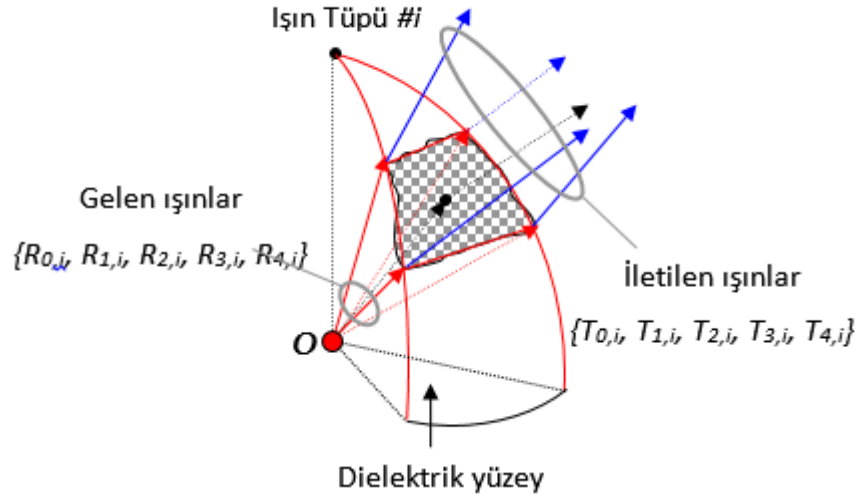
$$t_{\parallel} = \frac{2n_1 \cos(\theta_i)}{n_1 \cos(\theta_t) + n_2 \cos(\theta_i)} \quad (\text{EK-A.14})$$

$$t_{\perp} = \frac{2n_1 \cos(\theta_i)}{n_1 \cos(\theta_t) + n_2 \cos(\theta_i)} \quad (\text{EK-A.15})$$

$$r_{\parallel} = \frac{n_1 \cos(\theta_t) - n_2 \cos(\theta_i)}{n_1 \cos(\theta_t) + n_2 \cos(\theta_i)} \quad (\text{EK-A.16})$$

$$r_{\perp} = \frac{n_1 \cos(\theta_i) - n_2 \cos(\theta_t)}{n_1 \cos(\theta_i) + n_2 \cos(\theta_t)} \quad (\text{EK-A.17})$$

Elektrik alan ifadelerinden faydalanılarak ortam geçişinden yansıyan ve iletilen elektrik alanlar Şekil EK-A.5' de gösterilmiştir.



Şekil EK-A.5 Gelen ışın dalgalarının ikinci ortama geçişi

Antenlerin uzak alan ışımasını hesaplamak için PO algoritması kullanılmaktadır. PO algoritması kapalı bir S alanındaki eş akımların bilinmesini gerektirir. Ardından vektör potansiyellerinin belirlenerek hem iç hem de dış yöne doğru serbest uzayda elektrik alanının hesaplanmasını sağlamaktadır. Dielektrik antenin yüzeyine yapılan ışıma anten yüzeyindeki alan üzerinde dielektrik akımıyla gösterilir.

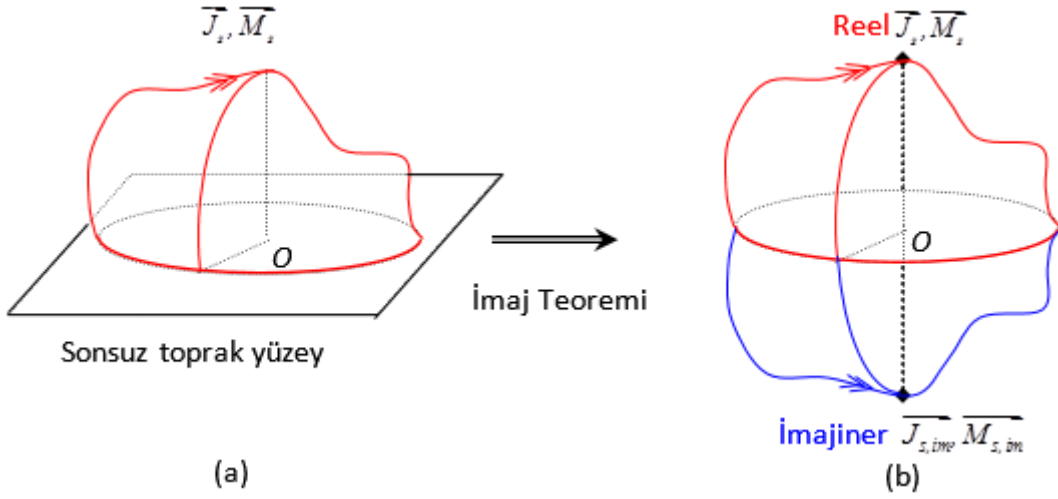
$$\vec{J}_s = \vec{n} \times \vec{H}_t \quad (\text{EK-A.18})$$

$$\vec{M}_s = -\vec{n} \times \vec{E}_t \quad (\text{EK-A.19})$$

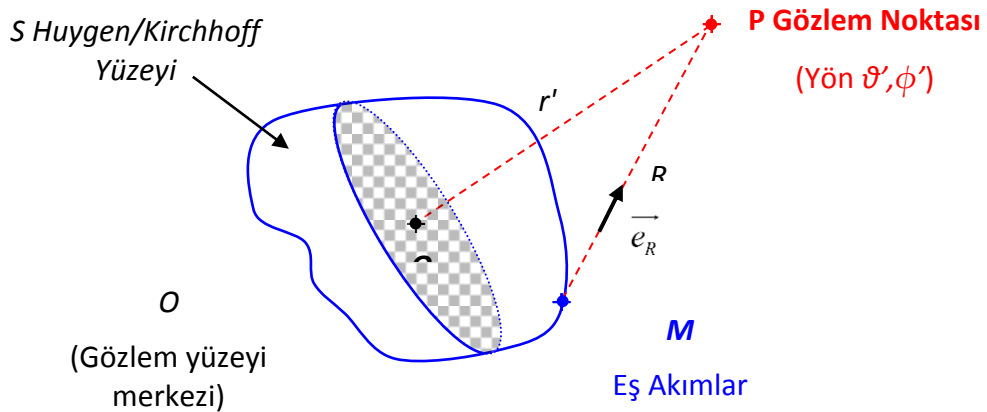
$$\vec{E} = \oint_S \vec{dE} \quad (\text{EK-A.20})$$

$$\vec{H} = \oint_S \vec{dH} \quad (\text{EK-A.21})$$

Üç boyutlu dielektrik lens antenler düşünüldüğünde alt yüzey düz olacak şekilde seçilmişlerdir. PO algoritmasının uygulanabilmesi ve eş yüzeylerde eş dielektrik akımların iletilerek herhangi bir P noktasındaki elektrik alanı hesaplayabilmek için dielektrik lens antenler küresel olacak şekilde formüle edilirler. Tam küre hesaplamalarında İmaj Teoremi'nden faydalanılır.



Şekil EK-A.6 (a) Sonsuz toprak yüzeyi için Huygen yüzeyi (b) imaj yöntemiyle elde edilmiş hali



Şekil EK-A.7 İmaj yöntemi ve PO algoritması beraber kullanıldığında herhangi bir P noktasındaki elektrik alan ve magnetik alan (EK-A. 22) ve (EK-A. 23) ile formüle edilmesi[2].

$$\vec{dE}_{(P)} = dS_{(M)} g(R) \left[ -j\omega\mu \vec{J}_{S(M)} + \frac{j}{\omega\epsilon} \left( k^2 - \frac{2jk}{R} - \frac{2}{R^2} \right) (\vec{J}_{S(M)} \bullet \vec{e}_R) \vec{e}_R + \left( \frac{1}{R} + jk \right) (\vec{e}_R \times \vec{M}_{S(M)}) \right] \quad (\text{EK-A. 22})$$

$$\vec{dH}_{(P)} = dS_{(M)} g(R) \left[ -j\omega\mu \vec{M}_{S(M)} + \frac{j}{\omega\epsilon} \left( k^2 - \frac{2jk}{R} - \frac{2}{R^2} \right) (\vec{M}_{S(M)} \bullet \vec{e}_R) \vec{e}_R + \left( \frac{1}{R} + jk \right) (\vec{e}_R \times \vec{J}_{S(M)}) \right] \quad (\text{EK-A. 23})$$

Antenin uzak alan ışıması için de yapılan işlemler sonucu elektrik alan formülleri aşağıdaki gibidir.

$$E_{\theta}(\theta', \varphi') = -\frac{jke^{-jkr'}}{4\pi r'} (L_{\phi} + \eta_0 N_{\theta}) \quad (\text{EK-A. 24})$$

$$E_{\phi}(\theta', \varphi') = \frac{jke^{-jkr'}}{4\pi r'} (L_{\phi} - \eta_0 N_{\phi}) \quad (\text{EK-A. 25})$$

Kaynaktan gelen dalgalar birer ışın tüpü seçilerek ortamlar arası geçişlerde Snell yasalarına uygun olarak kırılmaları sağlanır. Bu yaklaşıma GO (Geometrical Optics) denir. Işın tüpleri olarak dikdörtgenler prizması seçilmiştir. Bu prizmanın tabanındaki dörtgen şekilde iletilen dielektrik akım yardımıyla uzak alan ışımasının elde edilmesine de PO (Physical Optics) denir. Her iki yöntemin beraber kullanılarak dielektrik lens antenlerin ışıma örüntülerinin elde edilmesinde kullanılan algoritmaya ise GO/PO algoritması denir. Tam dalga simülasyonlarına göre tek dezavantajı ise lens anten içindeki ikinci ve üçüncü yansıyanları hesaba katmadığı için normalden daha ideal sonuçlar üretmesidir.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Nurdan TÜRKER  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 19.01.1989 / İstanbul  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : nurdanturker@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                             | Okul/Üniversite            | Mezuniyet Yılı |
|--------|----------------------------------|----------------------------|----------------|
| Lisans | Elektronik ve<br>Haberleşme Müh. | Yıldız Teknik Üniversitesi | 2012           |
| Lise   | Sayısal                          | Kocaeli-Körfez Fen Lisesi  | 2007           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl    | Firma/Kurum  | Görevi          |
|--------|--------------|-----------------|
| 2013 → | ARÇELİK A.Ş. | Ar-Ge Mühendisi |

### YAYINLARI

#### Bildiri

1. Türker, N., Kızılay, A., (2012). “Doğrusal Anten Dizisi Sentezi”, Union Radio-Scientifique Internationale ‘12 (URSI 2012), İstanbul - TÜRKİYE.

## **Proje**

1. Sub-Milimetre Dalga Uygulamaları İçin Entegre Lens Anten Analizi, Tasarımı ve Gerçeklenmesi, BAP, 2011-09-01 - 2013-09-01.
2. Otomotiv Radar Uygulamaları İçin Çoklu Lens Anten Tasarımı, TÜBİTAK, 2013-10-01 - 2015-04-01.