

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

**DİELEKTRİK LENS ANTENLERİN GEOMETRİK OPTİK / FİZİK OPTİK
YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ**

BAKİ SÖNMEZ

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

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

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİELEKTRİK LENS ANTENLERİN GEOMETRİK OPTİK / FİZİK OPTİK
YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ**

Baki SÖNMEZ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.08.2015 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

Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Cihan ERBAŞ DÖĞÜŞGEN
Yeni Yüzyıl Üniversitesi

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

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının her adımında gerek bilgi birikimi gerek desteğiyle varlığını her zaman hissettiren hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN ve her daim yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fikret TOKAN' a, bu günlere gelmemde en büyük katkıyı sağlayan canım aileme ve her zaman manevi desteğiyle bu çalışmayı tamamlamam için emek veren Yük. Müh. Nurdan TÜRKER' e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

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

Temmuz, 2015

Baki SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Orijinal Katkı.....	4
BÖLÜM 2	
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE LENS ANTENLER.....	5
BÖLÜM 3	
DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMLARI.....	7
3.1 Besleme Anteni	8
3.2 Lens Anten Çeşitleri	10
3.2.1 Yarıküresel Lens Anten.....	10
3.2.2 Planoküresel Lens Anten	11
3.2.3 Konveks Lens Anten	11
3.2.4 Konkav Lens Anten	12
3.3 İkili Lens Antenler.....	12
3.4 Üçlü Lens Antenler	17
3.4.1 Küçük Konfigürasyon Tasarımları	18
3.4.2 Büyük Konfigürasyon Tasarımları.....	35

BÖLÜM 4

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
EK-A	
GO/PO YÖNTEMİ.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGE LİSTESİ

λ	Dalga boyu
ϵ_r	Dielektrik sabiti
δ	Kayıp tanjantı
θ	Theta açısı
\emptyset	Taban lensi çapı
D	Lensler arasındaki uzaklık
F	Lensin odak uzaklığı
L	Küresel lensin uzatma miktarı
R	Lensin yarıçapı
S_{11}	Geri dönüş kaybı

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 Tekniđi)
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
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ITU-T	International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector
LRR3	3. Nesil Uzun Menzilli Radar Sensörü
LRR4	4. Nesil Uzun Menzilli Radar Sensörü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Otomotiv radar uygulamaları	1
Şekil 1.2 (a) 10 GHz (b) 16 GHz (c) 35 GHz anten radarları.....	2
Şekil 2.1 Görüş açısının görüş menzili ile değişimi [6]	5
Şekil 2.2 Besleme antenin (a) merkez noktasında (b) kaydırılarak x noktasında huzme taramasının yapılması.....	6
Şekil 3.1 Dalganın (a) dielektrik katsayısı küçük ortama (b) kritik açı ile (c) dielektrik katsayısı yüksek ortama geçişi.....	8
Şekil 3.2 Besleme antenin (a) üstten (b) yandan görünümü	9
Şekil 3.3 Besleme anteni geri dönüş kaybı.....	9
Şekil 3.4 Yarıküresel lens anten	10
Şekil 3.5 Planoküresel lens anten	11
Şekil 3.6 (a) Planokonveks (b) bikonveks lens anten	11
Şekil 3.7 (a) Planokonkav (b) bikonkav lens anten	12
Şekil 3.8 (a) Yarıküresel (b) planoküresel (c) ikili lens anten tasarımı	12
Şekil 3.9 (a) Yarıküresel (b) planoküresel (c) yarıküresel ve planoküresel lens antenlerin ışıma örüntüleri	13
Şekil 3.10 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm) ışıma örüntüsü	14
Şekil 3.11 İkili lens antenin ($\epsilon_1 = 3.01$, $\epsilon_2 = 9$, $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm) ışıma örüntüsü	15
Şekil 3.12 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm) ışıma örüntüsü	16
Şekil 3.13 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 9$, $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm) ışıma örüntüsü	16
Şekil 3.14 Üçlü dielektrik lens anten tasarımları; (a) Tasarım 1, (b) Tasarım 2	17
Şekil 3.15 Tasarım 1.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm.....	20
Şekil 3.15 Tasarım 1.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 2 mm (b) 4 mm (devamı)	20
Şekil 3.16 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm.....	21
Şekil 3.16 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 2 mm (b) 4 mm (c) 7 mm (devamı)	21
Şekil 3.17 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm.....	22
Şekil 3.17 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 8 mm (devamı)	22
Şekil 3.18 Tasarım 2.5 'in farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7 mm	24

Şekil 3.19 Tasarım 5.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 5 mm	25
Şekil 3.20 Tasarım 6.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 6 mm	26
Şekil 3.21 Tasarım 6.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7 mm	27
Şekil 3.22 Tasarım 1. 4' ün huzme tarama performansı	28
Şekil 3.23 Tasarım 2.3 'ün huzme tarama performansı	29
Şekil 3.24 Tasarım 2.4 'ün huzme tarama performansı	29
Şekil 3.25 Tasarım 2.5 'ün huzme tarama performansı	30
Şekil 3.26 Tasarım 5.4 'ün huzme tarama performansı	30
Şekil 3.27 Tasarım 6.2 'ün huzme tarama performansı	31
Şekil 3.28 Tasarım 6.3 'ün huzme tarama performansı	31
Şekil 3.29 Küçük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi.....	32
Şekil 3.30 Küçük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi	32
Şekil 3.31 Küçük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile tarama kaybının değişimi	33
Şekil 3.32 Tasarım 2.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm.....	36
Şekil 3.32 Tasarım 2.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7 mm (devamı)	36
Şekil 3.33 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 10 mm	38
Şekil 3.34 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 9 mm	39
Şekil 3.35 Tasarım 5.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 8mm	40
Şekil 3.36 Tasarım 5.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 9mm	41
Şekil 3.37 Tasarım 6.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 10mm	42
Şekil 3.38 Tasarım 6.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 15mm.....	43
Şekil 3.39 Tasarım 2.2' nin huzme tarama performansı	44
Şekil 3.40 Tasarım 2.3' ün huzme tarama performansı	45
Şekil 3.41 Tasarım 2.4' ün huzme tarama performansı	45
Şekil 3.42 Tasarım 5.3' ün huzme tarama performansı	46
Şekil 3.43 Tasarım 5.4' ün huzme tarama performansı	46
Şekil 3.44 Tasarım 6.2' nin huzme tarama performansı	47
Şekil 3.45 Tasarım 6.3' ün huzme tarama performansı	47
Şekil 3.46 Büyük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi.....	48
Şekil 3.47 Büyük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi	48

Şekil 3.48 Büyük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile tarama kaybının değişimi	49
Şekil 3.49 Tasarım 2.4'ün CST modeli	51
Şekil 3.50 Tasarım 2.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı (a) X=0 mm (b) X=4 mm.....	51
Şekil 3.50 Tasarım 2.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı (c) X=8 mm (d) X=12 mm (e) X=16 mm (f) X=20 mm (devamı).....	52
Şekil 3.51 Tasarım 5.4' ün CST modeli	52
Şekil 3.52 Tasarım 5.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı (a) X=0mm (b) X=4mm (c) X=8mm (d) X=12mm (e) X=16mm (f) X=20mm	53
Şekil 3.53 Tasarım 6.2' nin CST modeli	54
Şekil 3.54 Tasarım 6.2' nin farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı (a) X=0 mm (b) X=4 mm (c) X=8 mm (d) X=12 mm	54
Şekil 3.54 Tasarım 6.2' nin farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı (e) X=16 mm (f) X=20 mm (devamı)	54
Şekil EK-A.1 Noktasal kaynağın elektrik alanı	61
Şekil EK-A.2 Işın takip metodunun lens anten içerisinde gösterimi	62
Şekil EK-A.3 S_1 and S_2 dielektrik alanlarında ışınların yayılımı	63
Şekil EK-A.4 (a) TE modu ve (b) TM modu için elektrik alanların ortam geçişleri	63
Şekil EK-A.5 Gelen ışın dalgalarının ikinci ortama geçişi.....	65
Şekil EK-A.6 (a) Sonsuz toprak yüzeyi için Huygen yüzeyi (b) imaj yöntemiyle toplam yüzeyin elde edilmiş hali	66
Şekil EK-A.7 İmaj yöntemi ve PO algoritması kullanılarak herhangi bir P noktasındaki elektrik alan ve magnetik alan ile formüle edilmesi [5].....	67

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Uzak ve yakın menzil radarı için önemli parametreler	6
Çizelge 3.1 Besleme anteni boyutları.....	10
Çizelge 3.2 Küçük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar	18
Çizelge 3.2 Küçük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar (devamı)	19
Çizelge 3.3 Şekil 3.30 - 3.32' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri	33
Çizelge 3.3 Şekil 3.30 - 3.32' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri (devamı).....	34
Çizelge 3.4 Büyük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar.....	35
Çizelge 3.4 Büyük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar (devamı)	36
Çizelge 3.5 Şekil 3.48 ile 3.50' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri	49
Çizelge 3.5 Şekil 3.48 ile 3.50' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri (devamı)	50

DİELEKTRİK LENS ANTENLERİN GEOMETRİK OPTİK / FİZİK OPTİK YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ

Baki SÖNMEZ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Otomotiv donanımları arasında uyarlanabilir sürüş kontrolü, çarpışma uyarı ve önleme, şerit takibi, park etme, kör nokta ve obje algılama uygulamaları standart haline gelmektedir. Güvenli sürüş için bu uygulamaların performansının ve doğruluğunun yüksek olması gerekmektedir. Bu da kullanılan antenlerin yüksek performanslı olması ile sağlanabilir.

Günümüzde otomotiv radar uygulamalarında 250 metre menzili ve 30° görüş açısı ile çeşitli firmalar tarafından üretilen antenler sıklıkla kullanılmaktadır. Mikroşerit antenle odağından beslenen planoküresel lens otomotiv radar uygulamalarında kullanılan anten tiplerinden birisidir. Bu tez çalışmasında ise otomotiv uygulamalarının gelecek ihtiyaçlarını karşılayacak, güvenli sürüş teknolojilerinin gelişmesini sağlayacak ve hali hazırda kullanılan lens antenleri bir adım daha ileri taşıyacak bir tasarım yapmak hedeflenmiştir. [1]'deki tez çalışmasında ikili lens antenler incelenmiş, çeşitli ikili lens anten tasarımları yapılmış, piyasada bu amaçla kullanılan planoküresel lense kıyasla üstünlükleri belirtilmiştir. [1]'in devamı niteliğindeki bu tez çalışmasında üçlü lens antenler incelenmiş ve otomotiv radar uygulamalarında kullanılabilecek üçlü lens anten tasarımları önerilmiştir.

Üçlü lens anten tasarımında konveks, konkav, planoküresel, planokonkav gibi yapılara sahip dielektrik lensler kullanılmıştır. GO/PO (Geometrik Optik/Fizik Optik) metodu, CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) simülasyonları ve ışın takip algoritması tez çalışmasında kullanılan analiz yöntemleridir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv radar antenleri, dielektrik lens anten, ışın takibi, GO/PO, ikili lens anten, üçlü lens anten

**DIELECTRIC LENS ANTENNA ANALYSIS WITH GEOMETRICAL OPTICS /
PHYSICAL OPTICS APPROACH**

Baki SÖNMEZ

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Nurhan TURKER TOKAN

Adaptive cruise control, collision warning and mitigation, lane change assist, blind spot detection and object detection applications are becoming standards of automotive equipments. The higher performance and accuracy is needed for a safe driving experience. This is directly provided with the performance of the antenna used in the automotive application.

Today, antennas with a 250 meters range and 30° angle are widely used in the radar applications. Planospherical lens antenna fed at focus spot with a microstrip antenna is one of the antenna types. In this thesis, a design of antenna system, which will improve safe driving technologies and will work beyond its opponents, is aimed with the consideration of future needs. Double lens antennas are studied at [1] thesis, Double lens antennas designed and advantages determined compared to planospherical lens antenna. Triple lens antennas are studied and designs could be used in automotive radar applications are recommended in this thesis project, which is a follow up project of [1] thesis.

Convex, concave, planospherical and planoconcave lenses are used at design of the multiple dielectric lens antennas. GO/PO (Geometrical Optics / Physical Optics) methods, CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) simulations and ray tracing algorithm are analyse methods used in antenna benchmark tests.

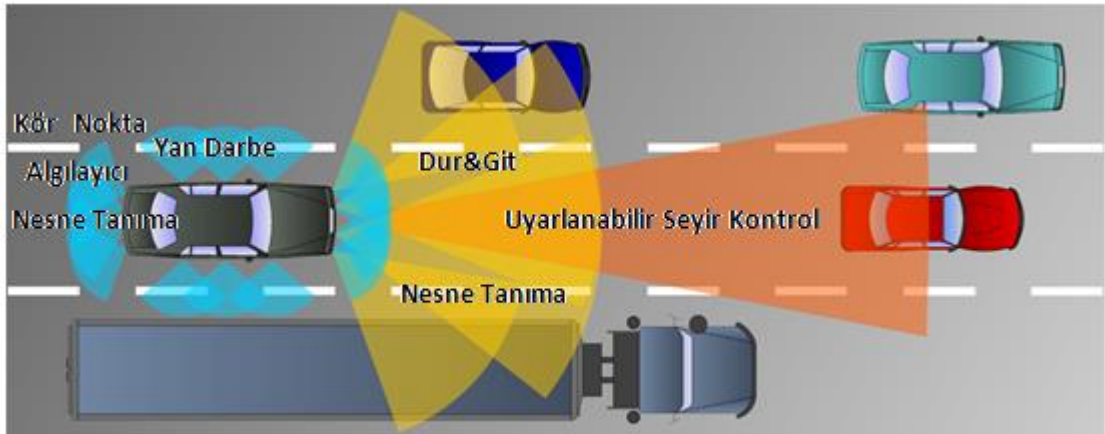
Keywords: Automotive radar antennas, dielectric lens antennas, ray tracing, GO/PO, double lens antenna, triple lens antenna

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Güvenli ve rahat seyahat, otomobil kullanıcılarıyla üreticilerinin başlıca hedefini oluşturmaktadır. Bu amaçla üretilen araçlarda donanım gün geçtikçe gelişmekte ve yolcu güvenliği konusunda önemli gelişmeler katedilmektedir. Otomobil firmaları yolcuların araç içi güvenliğini artırıcı çalışmalar yapmakla birlikte sürücülerin yol hakimiyetini artırarak daha konforlu sürüş imkanları tanımaktadır. Bütün bu amaçlar doğrultusunda 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

İlk olarak 1970'li yılların başında radarların otomotiv sektöründe kullanılması fikri hayata geçirilmiştir. Alman bilim ve teknoloji bakanlığı tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında 100 metre menzilli ve 2.5° açığı tarayabilen otomotiv radarları teorik olarak

yapılmış ve test edilmiştir. Otomotiv radarları otomotivler üzerinde ilk defa kullanıldıklarında 10 GHz frekansında çalışan çatı radarları ve 16 GHz frekansında çalışan ön tampon radarları, teknolojinin sunduğu yegane seçeneklerdi. Elektronik teknolojinin gelişmesi radar devrelerinin küçük alanlara sığdırılmasına imkan vermiştir. Böylece 35 GHz teknolojisinde çalışan ve aracın ön kısmına monte edilebilen radar antenler yapılmıştır [2].



(a)

(b)



(c)

Şekil 1.2 (a) 10 GHz (b) 16 GHz (c) 35 GHz anten radarları

İlerleyen yıllarda şehirlerdeki nüfusun artması otomobilin ulaşılabilir bir lüks olmasının yolunu açmış ve yoğun olarak kullanılmasını sağlamıştır. Dünyanın dört bir yanında büyük şehirlerdeki trafik yoğunluğu arttıkça trafik kazalarının da artması kaçınılmaz bir sonuç olmuştur. Bu ihtiyaçtan otomotiv radarları otomotiv sektöründe üst segment araçlarda standart donanım olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uzun mesafe radarlarında kullanılmak üzere 77 GHz frekans bandı yaygın olarak kullanılmaktadır. ITU-T ve ETSI bu konuda henüz bir standart oluşturmamıştır, referans dokümanlar ve öneriler için çalışmalar yapılmaktadır [3], [4].

Sektörde sıkça kullanılan ve seri üretimi yapılan başlıca markalar vardır. Bosch, Denso, Delphi, TRW, Autoliv ve Conti bu markalar arasında sayılabilir. Bosch firmasının 2009 yılında geliştirdiği LRR3 model anteni 250 metre menzil ve 15° tarama açısına sahiptir, yaygın olarak araçlarda kullanılmaktadır. Conti firmasının geliştirdiği ARS3000 model anteni mekanik tarama yapmaktadır. Bu özelliğini avantaj olarak kullanarak yakın mesafe taraması da yapabilmektedir. Denso firmasının 2008 yılında sektöre kazandırdığı lens anten ise dijital tarama yapmaktadır. Almanya’da geliştirilen dördüncü nesil uzun mesafe radarı Bosch LRR4, 250 metre menzil ve 40° tarama açısı ile rakiplerini geride bırakan bir tasarım yapmayı başarmıştır. Bu gelişmeler ve [2], [5] çalışmalarının ışığında daha uzun menzilleri daha geniş açı ile kapsayabilmek için çoklu lens anten mimarileri tasarlanmış ve parametrik analiz çalışmaları yapılmıştır. Çoklu lens antenlerin piyasadaki rakiplerine göre otomotiv radar uygulamaları için güçlü rakipler olduğu ispatlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Sektördeki otomotiv radar antenleri incelenerek performans, boyut ve üretim kazançları açısından üstün bir lens anten tasarımı yapmak hedeflenmektedir. İkili lens anten kullanımının radar antenin boyutlarını küçülteceği [1], [5] ve performansının piyasadaki radar antenlere göre yüksek olacağı ispatlanmıştır [1]. Lens anten sayısının artmasıyla çoklu lens antenler kullanılarak 77 GHz frekans bandında çalışan, seri üretime uygun çoklu dielektrik lens anten tasarlamak tezin amacıdır.

Konveks ve konkav lensler kullanılarak farklı lens anten mimarileri oluşturulmuştur. Parametrik analiz yapılarak diğerlerine göre daha üstün olan altı adet tasarım seçilmiştir. Bu testlerin sonucunda seçilen tasarımlar için GO/PO (Geometrik Optik/Fizik Optik) analizi ile yönlendiricilik, kazanç, kayıp ve ışınma örüntüleri sonuçlarına ulaşılmıştır. 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

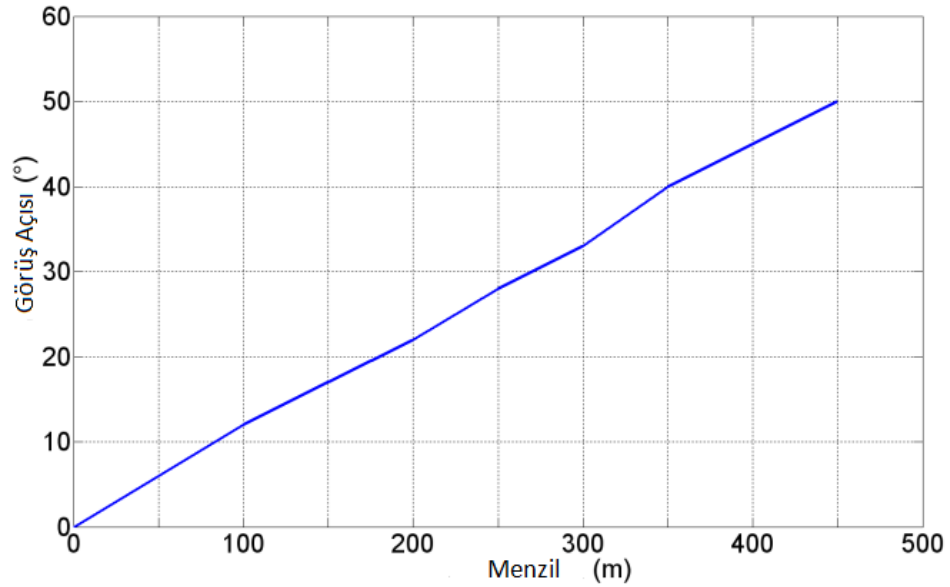
doğrulukla sonuç vermektedir fakat GO/PO metodunun çalışma prensibinin temel problemi olarak lens içerisindeki çoklu yansımalar hesaba katılamamaktadır. Bu sebepten GO/PO' da en yüksek performansa sahip olduğu düşünülen anten yapıları, FDTD/FIT (Finite Difference Time Domain/ Finite Integration Technique) metoduna dayanan elektromagnetik yapıları simule etmek için kullanılan CST ile de simule edilmiştir. Buna ek olarak dalganın çoklu lens anten konfigürasyonları içerisinde geçişinin karakteristiği MatLab' de yazılan ışın takibi kodu ile de incelenmiştir. [1]' deki tez çalışmasında ikili lens antenler incelenmiş, çeşitli ikili lens anten tasarımları yapılmış, piyasada bu amaçla kullanılan planoküresel lense kıyasla üstünlükleri belirtilmiştir. [1]' in devamı niteliğindeki bu tez çalışmasında üçlü lens antenler incelenmiş ve otomotiv radar uygulamalarında kullanılacak üçlü lens anten tasarımları önerilmiştir. Bu çalışmaların ışığında performansı yüksek bir lens anten tasarlamak amaçlanmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Bu proje ile çoklu lens sistemlerinde yer alabilecek her türlü lens yapısının, boyutunun, dielektrik malzemesinin ışın ve huzme tarama performansına etkisi incelenmiştir. Hedef kriterleri sağlayan çoklu lens anten yapılarının hem GO/PO hem de CST ile analizi yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma ve çalışmaların sonucunda en iyi performansa sahip olduğu yüksek yönlendiricilik ve geniş tarama açısı parametreleri ile belirlenen çoklu lens sistemi otomotiv radar sistemleri için yeni, özgün, yüksek performanslı bir anten sistemi olarak önerilmektedir.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE LENS ANTENLER

Geçmişten günümüze otomotiv radarları güvenli sürüş deneyimi yaşatabilmek için pek çok farklı şekilde kullanıma sunulmuştur. Uyarlanabilir sürüş kontrolü, çarpışma uyarı ve önleme, şerit takibi, park etme, kör nokta ve obje algılama uygulamaları otomotiv radarlarının başlıca görevlerindedir. Tüm bu özelliklerin yüksek performans ile çalışması doğrudan kullanılan anten tasarımının performansına bağlıdır. Bu sebeple tez çalışmasında otomotiv radar antenlerin menzili ve tarama açısının rakiplerinin sağladığı imkanlara göre iyileştirilmesi üzerine çalışılmıştır.



Şekil 2.1 Görüş açısının görüş menzili ile değişimi [6]

Antenin görüş açısı huzme tarama açısının iki katıdır. Uzun menzil radarlar için tarama açısı arttıkça menzilin de arttığı Şekil 2.1' de gösterilmiştir. (2.1)' e göre çözünürlük açısının 3.5° olabilmesi için anten kazancının 30 dBi olması gerekmektedir.

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

Burada θ_{3dB} ve δ_{3dB} sırasıyla E ve H düzlemindeki 3 dB huzme genişlikleridir. Çizelge 2.1' de kısa ve uzun menzil radarı için önemli parametreler yer almaktadır.

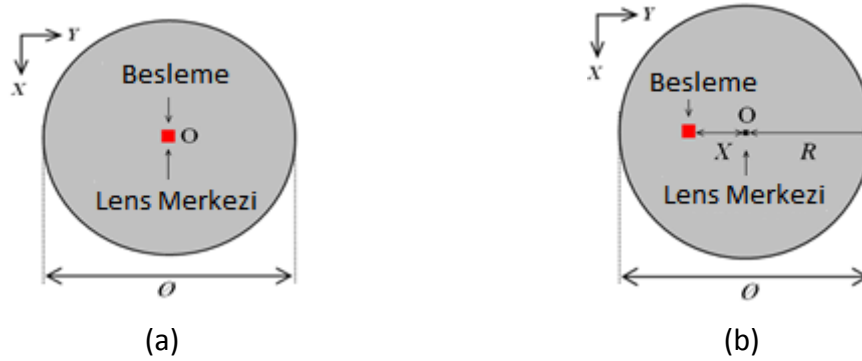
Çizelge 2.1 Uzak ve yakın menzil radarı için önemli parametreler

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

Lens antenin dielektrik katsayısı arttıkça huzme tarama açısı artacaktır. Ancak bu artış ile birlikte kayıplar da artacaktır. Optimum seviyede düşük kayıp ile huzme tarama yapabilmek için dielektrik katsayısı $\epsilon_r=3$ ve kayıp tanjantı $\delta=0.0013$ olan ultem malzemesi lens antenlerde kullanılmıştır. Kullanılan lensin çapı (2.2) ile ilişkilidir.

$$\theta_{3dB} = 57 \frac{\lambda_0}{2r} \rightarrow r = 57 \frac{\lambda_0}{2\theta_{3dB}} \quad (2.2)$$

Elde edilen bilgiler ışığında 77 GHz' de çalışan bir lens antenin çapının yaklaşık olarak 64 mm olması gerektiği görülmüştür [6].



Şekil 2.2 Besleme antenin (a) merkez noktasında (b) kaydırılarak x noktasında huzme taramasının yapılması

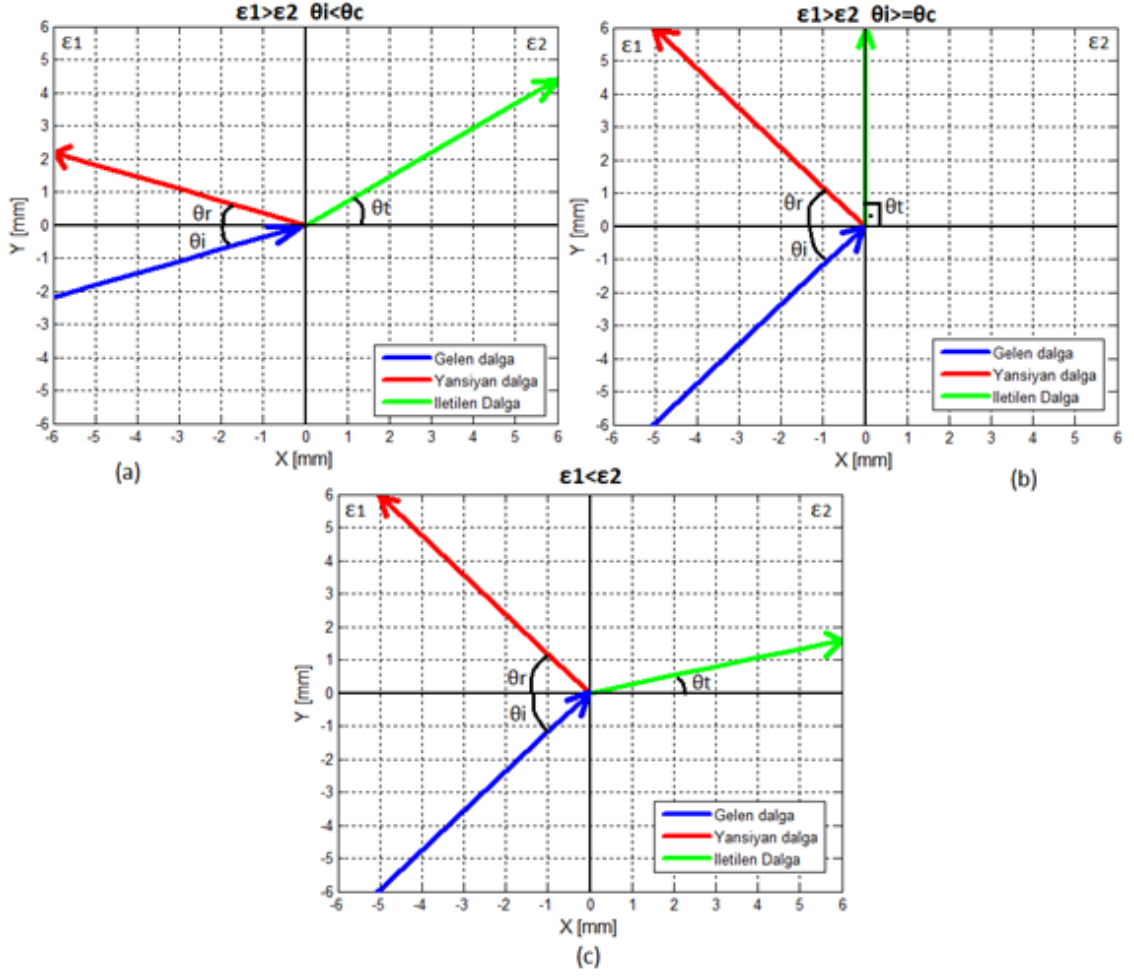
Huzme tarama işlevinin yerine getirilebilmesi için besleme antenin belirli ölçülerle kaydırılması gerekmektedir. Şekil 2.2' de görüldüğü üzere merkez noktasından x kadar kaydırılan besleme anteni için x mesafesi arttıkça tarama açısı da artacaktır. Ancak bu durum kayıpları da arttırdığından dolayı kaydırma miktarlarının x/r oranında yapılması gerekmektedir [7], [8].

DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMLARI

Bilim ve teknoloji alanlarında atılımlar sayesinde antenlerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. İlk olarak uydu haberleşmesi, kablosuz haberleşme gibi temel alanlarda kullanılan antenler teknolojinin hayatımızın her alanına girmesi ile otomotiv sektöründe de sıkça kullanılmaktadır. Lens antenler, besleme anteni görevinde mikroşerit antenler ile birlikte kullanılırlar. Mikroşerit besleme antenleri, ışınma örüntülerini istenilen doğrultuda geniş bir tarama açısı ve uzun bir menzil elde edecek şekilde değiştirirler.

Lens antenler, besleme anteni huzmesini şekillendirirken Snell Yasası'ndan faydalanırlar [9]. Az yoğun ortamdan çok yoğun ortama giren huzme yüzey normaline yaklaşacaktır, çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerken de yüzey normalinden uzaklaşacaktır. Bu kurallar kullanılarak huzmenin açı yönlendirmesi ve besleme anteni gücünün arttırarak ilemesi sağlanmıştır.

Snell Yasası huzmenin geliş açısına ve ortamların dielektrik katsayısına bağlıdır. Her gelen dalga yansıyan ve iletilen olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer gelen dalga çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerse yüzey normalinden ayrılarak iletilecektir. Geliş açısının arttırılması sonucu iletilen dalga yüzey normalinden giderek ayrılır, belli bir açıdan sonra tam olarak 90° açıyla iletmeye başlanır. İletilen dalganın yüzey normaliyile 90° açının farkının olduğu durumda gelen dalga ile yüzey normali arasındaki açı kritik açıdır. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçişlerde kritik açıdan büyük geliş açısına sahip her dalganın tamamı yüzeyden yansır. Şekil 3.1' de Snell Yasası gelen yansıyan ve iletilen dalgalar ile gösterilmektedir. Şekil 3.1 (b)' de gösterildiği gibi θ_c kritik açısı ile gelen dalga ise yüzeye teğet olacak şekilde ilerlemektedir.



Şekil 3.1 Dalganın (a) dielektrik katsayısı küçük ortama (b) kritik açı ile (c) dielektrik katsayısı yüksek ortama geçişi

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (3.1)$$

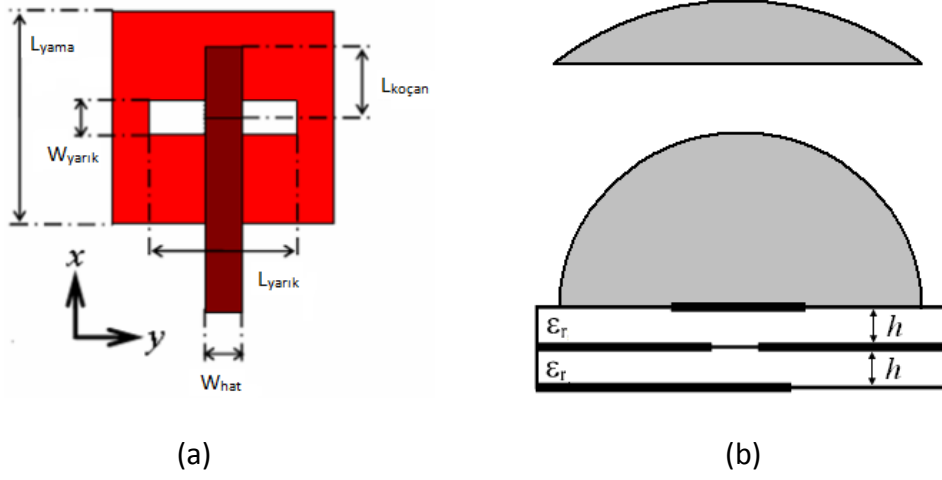
$$n_1 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_1}}, n_2 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_2}} \quad (3.2)$$

Elektromagnetik dalgaların Snell Yasası'na göre davranışı MatLab platformunda simüle edilmiştir. Besleme anteni noktasal bir kaynak olarak kabul edilmiş [10] ve dielektrik lens anten mimarisi boyunca iletimi gerçekleştirilmiştir. Besleme antenin kaydırılması ile oluşan açısal tarama incelenerek dielektrik lens anten tasarımının menzil ve tarama açıları hakkında bilgi edinilmiştir.

3.1 Besleme Anteni

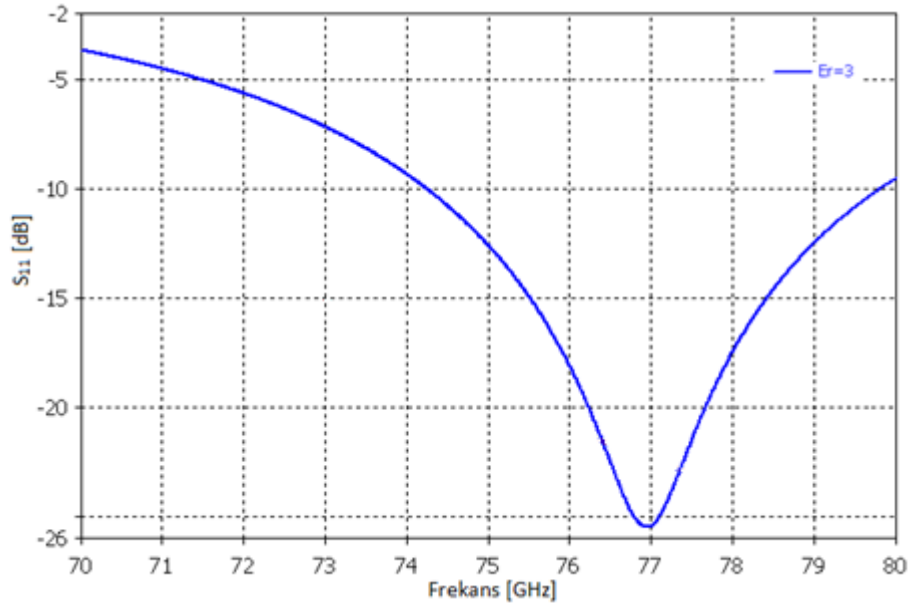
Tez çalışmasında besleme anteni olarak yarıkli mikroşerit anten kullanılmıştır. Lens antenlerin kapladıkları alanlar göz önünde bulundurulduğunda besleme antenin iyi bir

tarama yapabilmesi için boyutunun küçük ve veriminin yüksek olması gerekmektedir. Kullanılan besleme anteni 1 mm² alan kaplamaktadır.



Şekil 3.2 Besleme antenin (a) üstten (b) yandan görünümü

Besleme anteni Şekil 3.2' de görüldüğü gibi x-y düzlemine yerleştirilmiştir. Üzerine lens anten gelecek şekilde bir yapı seçilmiştir. Lens anten ile besleme anteni arasında herhangi bir katman bulunmamaktadır, besleme anteni dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 3.01$ olan lens anten içerisine ışına yapmaktadır. Besleme antenin geri dönüş kaybı, S_{11} parametresinin frekans ile değişimi, Şekil 3.3' te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Besleme anteni geri dönüş kaybı

Besleme anteni $\epsilon_r = 3.01$ olan ortam için 77 GHz merkez frekans olmak üzere 74 - 80 GHz frekans bandında ışıma yapmaktadır. Besleme anteni boyutları Çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Besleme anteni boyutları

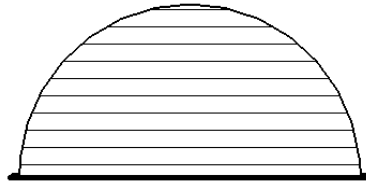
ϵ_{sub}	h_{sub} (mm)	L_{yama} (mm)	L_{yarik} (mm)	W_{yarik} (mm)	W_{hat} (mm)	$L_{koçan}$ (mm)
2.23	0.127	1	0.58	0.26	0.30	0.24
2.23	0.127	0.9	0.58	0.26	0.30	0.50
2.23	0.1	0.6	0.58	0.26	0.30	0.50

3.2 Lens Anten Çeşitleri

Farklı dielektrik katsayısı ve şekilleri ile lens antenler ışıma örüntüsünü kuvvetlendirme ve yönlendirme için kullanılırlar. Lens antenler genel olarak küresel formda kullanılmaktadır. Ancak bu küre yapısı kullanılacağı tasarıma göre lensin içine oyulmuş ya da eklenmiş olabilir. Bu durum lenslerin temel olarak içbükey ya da dışbükey olarak sınıflandırılmasını sağlamaktadır [11].

3.2.1 Yarıküresel Lens Anten

Dielektrik lens antenler için Snell Yasası küresel yüzeyler üzerinde uygulanmaktadır. Bu küresel yüzeyler dielektrik lenslerin farklı şekiller ile kullanılmasından ortaya çıkmıştır. Bir kürenin merkez noktasından geçen doğru ile ikiye bölünmesi sonucu oluşan her bir lens anten çeşidi yarıküresel lens anten olarak adlandırılır [12]. Şekil 3.4' te yarıküresel lens anten çizimi görülmektedir.



Şekil 3.4 Yarıküresel lens anten

Lens antenin merkez noktası ile odak noktası üstüste olduğundan gelen her açı yüzey normali üzerinden gelecek ve herhangi bir kırınıma uğramadan iletilecektir. Bu sebeple

Yarıküresel lens antenler düzlem kısmından uzatılarak kullanılır. Böylece odak noktasından besleme anteni ile gelen dalgaların kırınımına uğramadan dağılması yerine yüzey normaline yaklaşarak paralel ilerlemesi sağlanır.

3.2.2 Planoküresel Lens Anten

Yarıküresel lens antenden geçen dalgaların tam olarak istenilen hedefe ilerlemesi için bir lensten daha geçmeleri gerekmektedir. Ancak bu lensin yarıküresel değil planoküresel olması gerekmektedir. Planoküresel lens antenin toplayıcı özelliği yarıküresel lens anten kadar yüksek değildir [13]. Fakat aralarındaki uzaklık ile besleme anteninden çıkan dalgaların paralel ilerlemesi sağlanır. Böylece besleme anteninin ışınım huzmesi lens antenlerden geçirilerek istenilen doğrultuda ve yönde yönlendirilmiştir. Şekil 3.5' te planoküresel lens anten görülmektedir.



Şekil 3.5 Planoküresel lens anten

3.2.3 Konveks Lens Anten

Lens anteni oluşturan malzemenin küresel kısımlarının dışa doğru şekillendirilmesi sonucu elde edilen antenlerdir [14]. Gelen dalga lens antene girişi esnasında yüzey normaline yaklaşacağı için toplanır. Besleme anteni boyutları çok küçük olduğu için ışınım dalgalarının noktasal bir kaynaktan geldiği varsayılmıştır [15]. Bu kaynaktan gelen dalgalar dışbükey bir lensten geçirildiğinde paralele yakınlaştıracak şekilde huzmeleri şekillendirilir. Paralel formda gelen dalga ise lens anteni geçtikten sonra odak oluşturması sağlanmış olur.



Şekil 3.6 (a) Planokonveks (b) bikonveks lens anten

3.2.4 Konkav Lens Anten

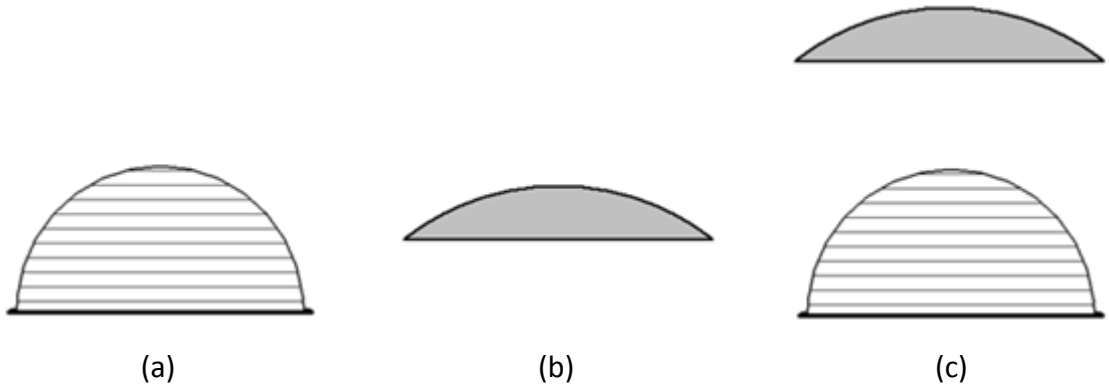
Lens anten malzemesinin oyularak küresel bir yüzey oluşturmasıyla elde edilen anten çeşididir [16]. Gelen dalga lens antenin yüzey normalinden uzaklaşacağı için dalga kaynağından gelişlere göre dalganın yayılması sağlanmaktadır. Lens anten üzerinde bir yüzey konkav olabileceği gibi her iki yüzey de konkav olabilir. Şekil 3.7' de konkav lensler gösterilmektedir.



Şekil 3.7 (a) Planokonkav (b) bikonkav lens anten

3.3 İkili Lens Antenler

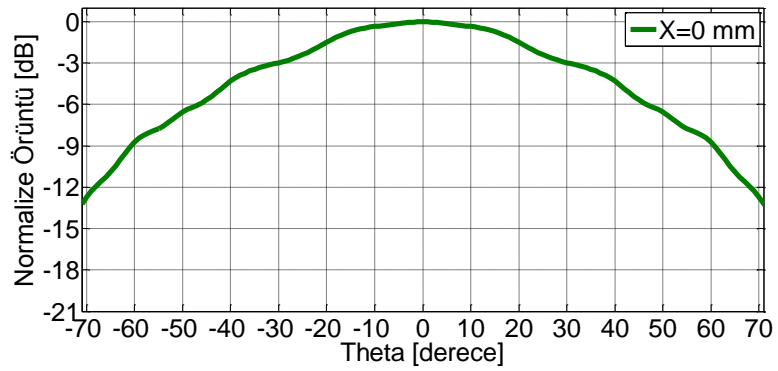
Planokonveks lens antenlerin beraber kullanılarak oluşturduğu tasarımlar ikili dielektrik lens antenleri oluştururlar. Sadece yarıküresel dielektrik lens anten kullanılarak istenilen açılara huzme yönlendirme yapılamamaktadır. Huzme yönlendirme işlemini yüksek kazançla yapabilmesi için yarıküresel dielektrik lenslerden daha gelişmiş antenlere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Bu sebeple yarıküresel lens antenler ışınları toplayıcı özelliği olan konveks lens mimarileriyle beraber kullanılmıştır. Konveks lenslerin dış eklentileri küre formuna ne kadar yakın ise toplayıcı özellikleri o kadar fazla olur [6]. Bu sebeple yarıküresel dielektrik lens anten planoküresel lens anten ile birlikte kullanılmıştır.



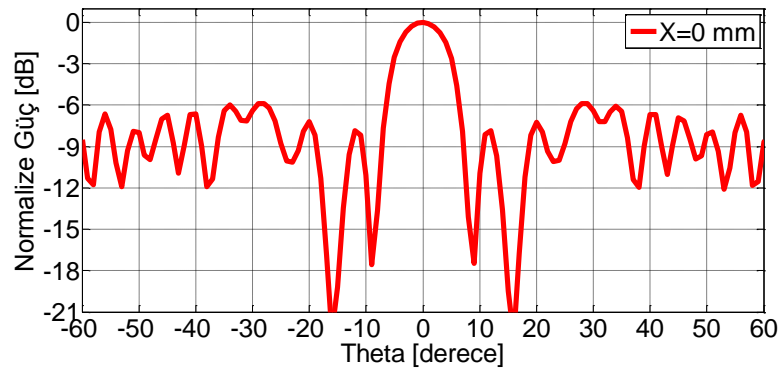
Şekil 3.8 (a) Yarıküresel (b) planoküresel (c) ikili lens anten tasarımı

Şekil 3.8' de yarıküresel lens antenin planoküresel lens anten ile birlikte kullanıldığı görülmektedir. Şekil 3.9' da ise anten tasarımlarının ışına örüntüleri görülmektedir.

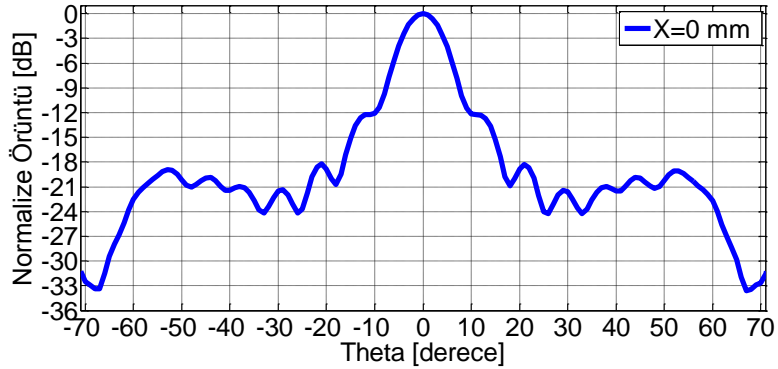
Yarıküresel lens antenin ışına örüntüsü geniş açılara kadar tarama sağlamaktadır ancak istenilen açığa yönlendirme ve kuvvetlendirme mümkün olmamaktadır [17]. Planoküresel anten tek başına kullanıldığında ise ışına örüntüsü yönlendirilebilirlik açısından yarıküresel lens antene göre çok daha iyi olmasına rağmen geniş açılı tarama konusunda başarısız olmaktadır. Yarıküresel ve planoküresel lens antenlerin beraber kullanımı sonucunda hem yönlendiricilik hem de geniş açılarda tarama için başarılı bir ışına örüntüsü elde edilmiş olur [1], [5]. Böylece besleme anteninden elde edilen elektromagnetik dalgalar kuvvetlendirilerek geniş tarama açılına yönlendirilebilir.



(a)



(b)

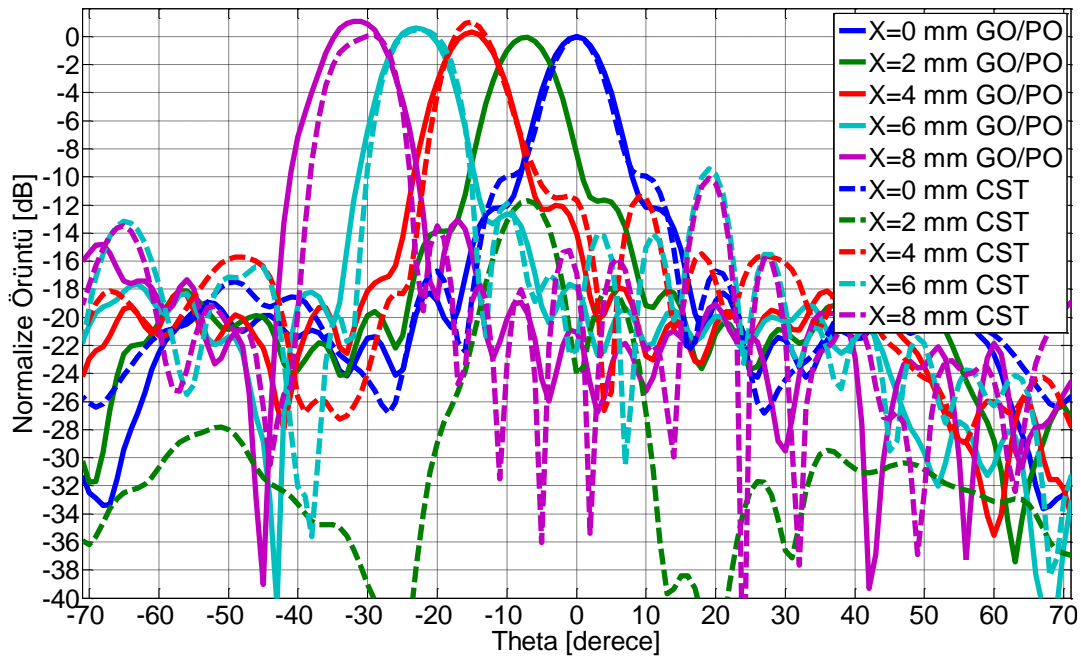


(c)

Şekil 3.9 (a) Yarıküresel (b) planoküresel (c) yarıküresel ve planoküresel lens antenlerin ışına örüntüleri

Yarıküresel ve planoküresel lens antenler beraber kullanılırken dielektrik katsayısının etkisi de incelenmiştir [1]. Planoküresel lens antenin dielektrik katsayısı yüksek seçildiğinde antene nüfuz eden elektromagnetik dalgaların yüzey normaline düşük dielektrik katsayılı tasarıma göre daha çok yaklaştığı, yani daha yakında bir odak oluşturduğu gözlemlenmiştir. Planoküresel lens antene daha çok elektromagnetik dalganın iletilebilmesi için de yumuşatma görevi gören, dielektrik katsayısı planoküresel anteninkinden küçük ama hava ortamı dielektrik katsayısından yüksek, uydurma katmanları kullanılmıştır [18].

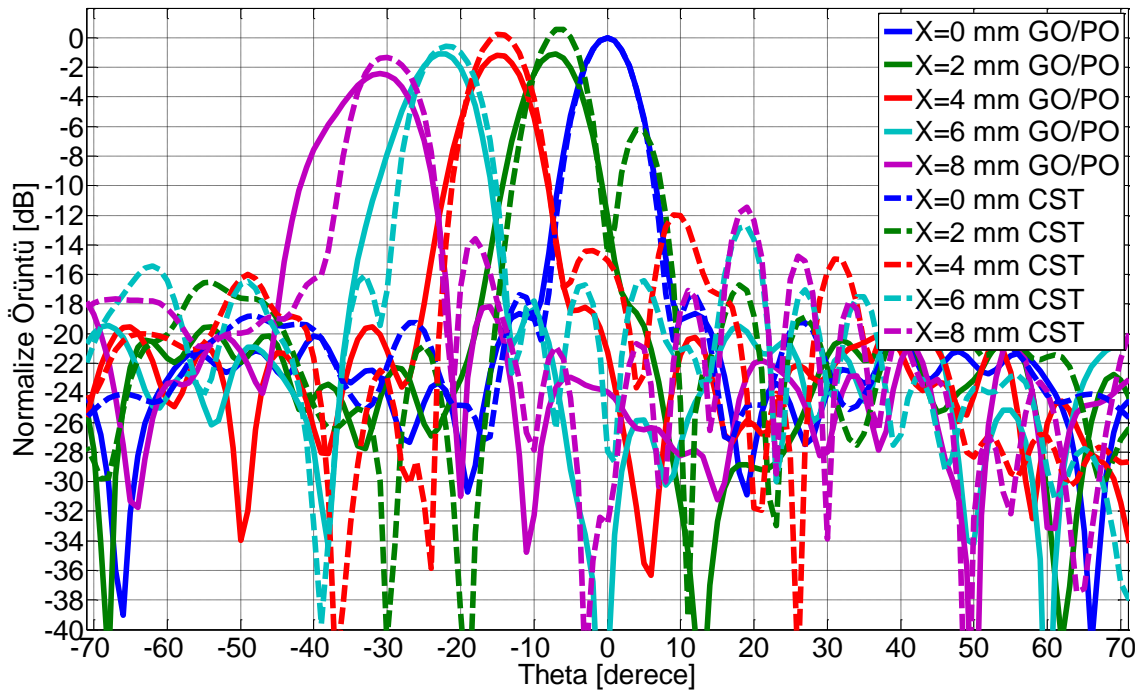
X = 0, 2, 4, 6 ve 8 mm' den açıklık kuplajlı mikroşerit anten beslemesi ile beslenen ikili lens antenin ışına örüntüleri Şekil 3.10' da yer almaktadır. Şekillerde farklı besleme noktalarının kazanç ve yönlendiricilik örüntüleri tarama kayıplarının gözlemlenebilmesi için x = 0 mm' deki örüntünün maksimum değerine normalize edilerek çizilmiştir. 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. Ultem malzemesi ile tasarlanan ikili lens anten ile 30°' ye 1 dB' den az bir kayıpla huzme yönlendirilebilmektedir.



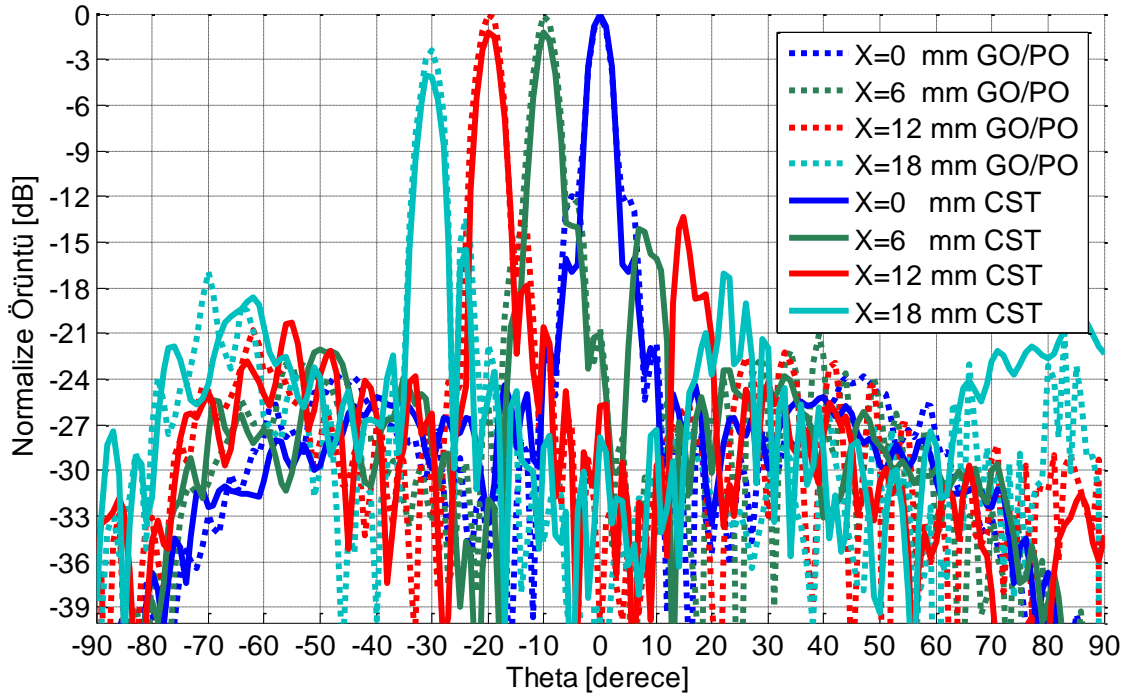
Şekil 3.10 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm) ışına örüntüsü

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.

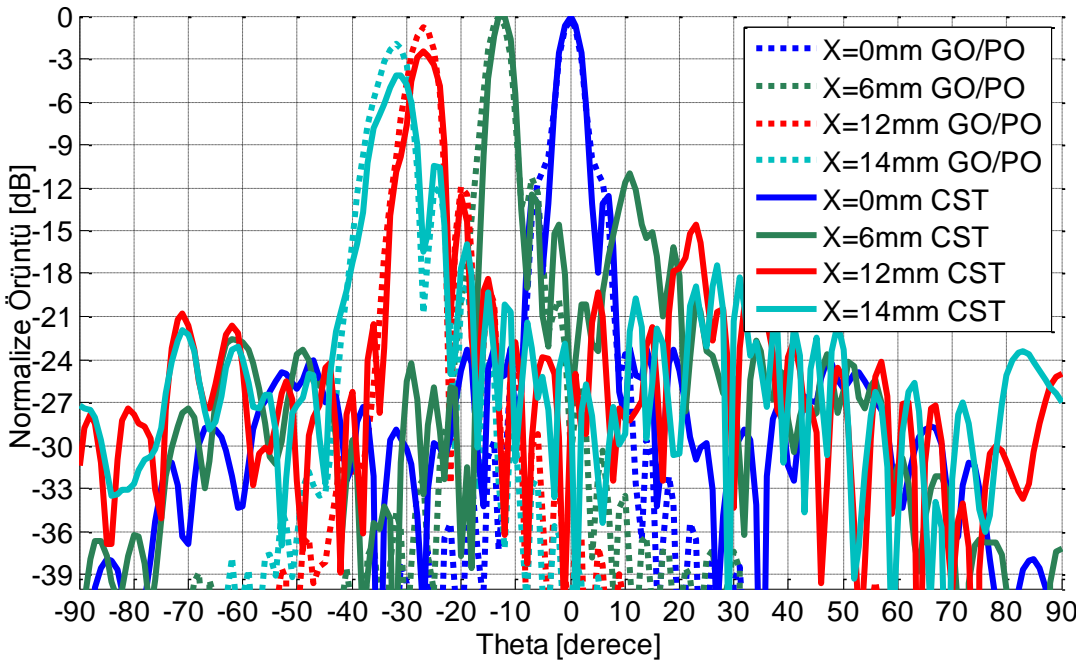
Yarıküresel anten tasarımında dielektrik sabiti 3.01 olan ultem malzemesi kullanılırken planoküresel anten tasarımında ise dielektrik sabiti 9 olan alumina malzemesi kullanılmıştır. Yarıküresel antenin bitiminden itibaren 8 mm yükseklikte planoküresel anten konumlandırılmıştır. Planoküresel antenin kalınlığı 2 mm'dir. Anten beslemesi açıklık kuplajlı mikroşerit antenle yapılmıştır. Antenlerin yarıçapları eşit olup 32 mm'dir. Yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeli planoküresel lens ile oluşturulan ikili lens antenin farklı konumlardan beslenmesi ile elde edilen kazanç ışınma örüntüleri Şekil 3.11' de gösterilmektedir. CST ile elde edilen örüntülerin yan lob seviyesinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu da planoküresel lensin malzemesinden havaya geçişte karşılaşılan yüksek kontrasttan kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.11 İkili lens antenin ($\epsilon_1 = 3.01$, $\epsilon_2 = 9$, $\phi_1 = \phi_2 = 32$ mm UK) ışınma örüntüsü



Şekil 3.12 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm) ışınma örüntüsü



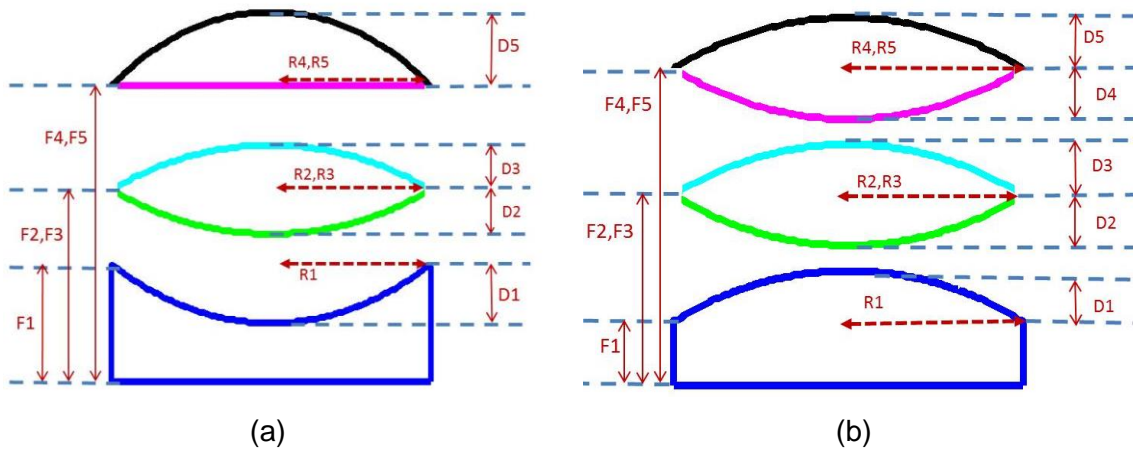
Şekil 3.13 İkili lens antenin ($\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 9$, $\phi_1 = \phi_2 = 64$ mm UK) ışınma örüntüsü

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 $\lambda/4$ kalınlığında uydurma katmanlı ikili lens anten ile en iyi performans elde edilmiştir. Bu anten besleme anteninin $x = 8$ mm' ye yerleştirilmesiyle 30° ye 2 dB' den düşük bir tarama kaybıyla ışınma yapabilmektedir. Bu anten $x = 0$ mm' den beslendiğinde 22.7 dB' lik kazancı ve

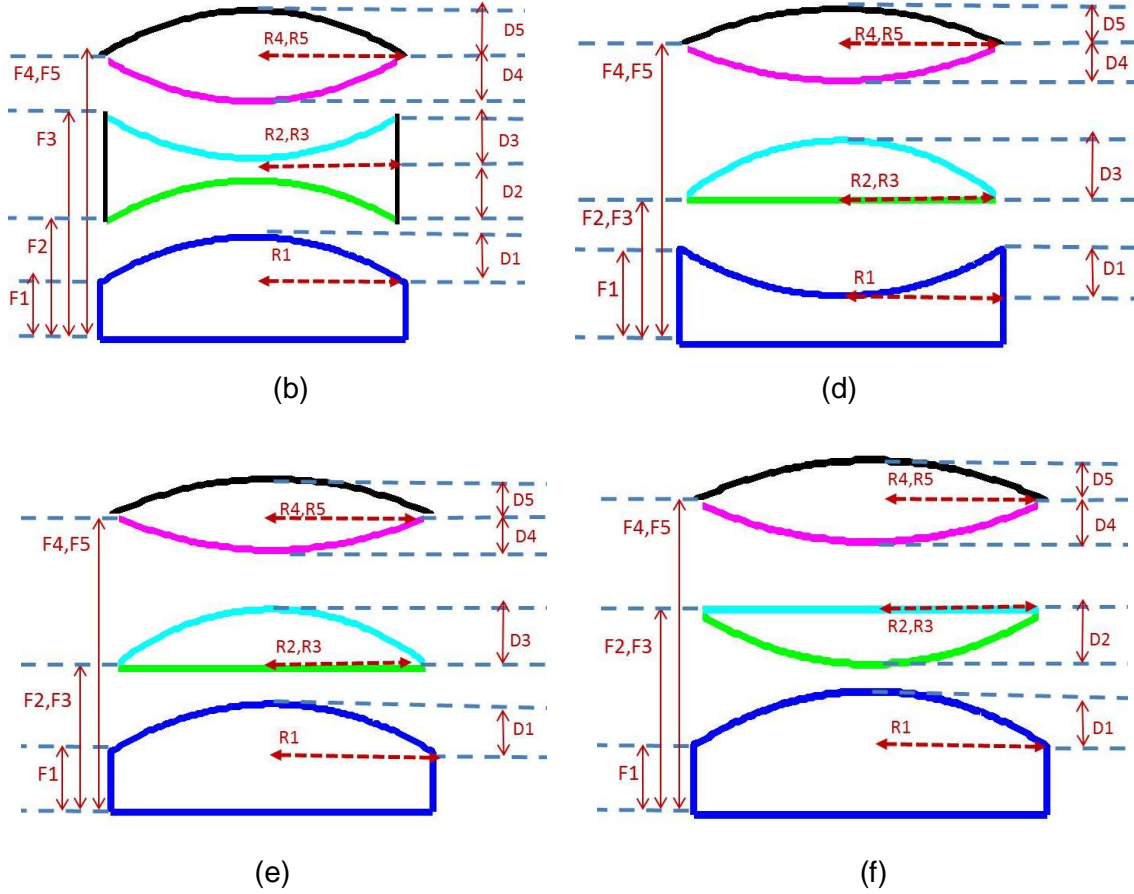
32x32x26.5 mm boyutları ile oldukça küçüktür ve araç üzerinde sensör olarak kullanmak için elverişli boyutlara sahiptir. Büyük ikili lens anten yapıları için yapılan analizde ($\Phi_1 = \Phi_2 = 64$ mm) en yüksek performans $\epsilon_{r1} = 3$ ve $\epsilon_{r2} = 9$ olan yapı ile elde edilmiştir. 30°' 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 [1].

3.4 Üçlü Lens Antenler

Tekli lens antenlere göre yüksek kazanç ve yönlendiricilik elde edebilmek için ikili lens antenler kullanılmıştır [1], [5], [19]. Lens anten sayısının daha yüksek yönlendiricilik ve kuvvetlendirme için etkileri tez çalışmasında bu bölümde incelenmiştir. Lens anten tasarımları yapılırken $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 32$ mm ve $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 64$ mm olmak üzere büyük ve küçük konfigürasyonlar tasarlanmıştır. Şekil 3.14' de verilen altı adet üçlü lens anten yapısı için parametrik analiz yapılmıştır. Parametrik analizde öncelikle üçlü lens anten için yazılan ışın takibi kodu ile ışının farklı tasarımlardaki davranışı incelenmiştir. Işın takibi kodu ile tüm lens mimarileri için sonuç elde edilmiş, farklı dielektrik sabitleri, boyutları ve besleme konumları da göz önünde bulundurularak elektromanyetik davranışı modellenmiştir. Işın takibi kodunun kullanımı ile her bir tasarım için en yüksek performansla sonuç veren boyutlar kaydedilmiştir. Parametrik analiz küçük çaplı ve büyük çaplı konfigürasyon için ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 3.14 Üçlü dielektrik lens anten tasarımları; (a) Tasarım 1, (b) Tasarım 2



Şekil 3.14 Üçlü dielektrik lens anten tasarımları; (c) Tasarım 3, (d) Tasarım 4 (e) Tasarım 5, (f) Tasarım 6 (devamı)

3.4.1 Küçük Konfigürasyon Tasarımları

Bu bölümde küçük konfigürasyon tasarımları ($\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 32$ mm) için analiz adımları tanıtılacak, en iyi performansla çalıştığı düşünülen üçlü lens antenlerin GO/PO ve CST sonuçları karşılaştırmalı olarak verilecektir. Çizelge 3.2 'de küçük çaplı konfigürasyon için Şekil 3.14' de tanıtılan tasarımların ışın takibi kodunun kullanımı ile en yüksek performansla çalıştığı üçlü lens antenlerin geometrik boyutları yer almaktadır. Üçlü lens anten tasarımlarında ultem malzemesi ($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = 3.01$) kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 Küçük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 1.1	16	1	9	16	6	19	16	6	19	16	-	29	16	8	29
Tasarım 1.2	16	2	12	16	5	21	16	5	21	16	-	29	16	8	29
Tasarım 1.3	16	1	14	16	4	24	16	4	24	16	-	36	16	5	36
Tasarım 1.4*	16	1	15	16	4	23	16	4	23	16	-	30	16	5	30
Tasarım 1.5	16	1	10	16	4	23	16	4	23	16	-	36	16	8	36

Çizelge 3.3 Küçük konfigurasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar (devamı)

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 2.1	16	1	10	16	3	23	16	3	23	16	2	30	16	2	30
Tasarım 2.2	16	3	10	16	3	23	16	3	23	16	2	30	16	1	30
Tasarım 2.3*	16	3	10	16	3	20	16	3	20	16	2	30	16	1	30
Tasarım 2.4*	16	5	10	16	3	20	16	2	20	16	2	28	16	1	28
Tasarım 2.5*	16	5	10	16	3	23	16	2	23	16	2	29	16	1	29

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 3.1	16	3	8	16	3	15	16	3	23	16	6	32	16	6	32
Tasarım 3.2	16	3	7	16	4	15	16	4	25	16	7	34	16	7	34
Tasarım 3.3	16	2	4	16	3	12	16	3	24	16	6	37	16	6	37
Tasarım 3.4	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-
Tasarım 3.5	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 4.1	16	1	8	16	3	15	16	8	15	16	6	32	16	6	32
Tasarım 4.2	16	1	8	16	3	15	16	9	15	16	6	34	16	6	34
Tasarım 4.3	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-
Tasarım 4.4	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-
Tasarım 4.5	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-	16	-	-

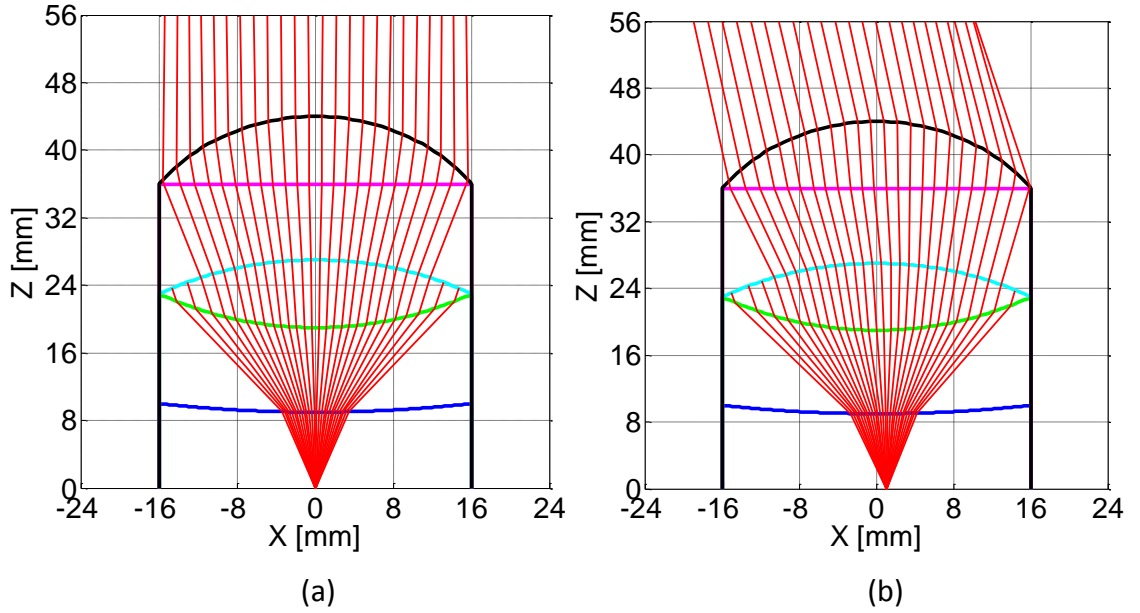
Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 5.1	16	1	8	16	3	15	16	5	15	16	3	32	16	3	32
Tasarım 5.2	16	1	8	16	3	15	16	5	15	16	3	28	16	3	28
Tasarım 5.3	16	2	8	16	3	13	16	5	13	16	3	28	16	3	28
Tasarım 5.4*	16	2	8	16	3	13	16	5	13	16	2	24	16	5	24
Tasarım 5.5	16	2	8	16	3	13	16	5	13	16	1	30	16	5	30

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 6.1	16	2	10	16	3	18	16	3	18	16	1	25	16	6	25
Tasarım 6.2*	16	6	6	16	2	18	16	3	18	16	3	26	16	3	26
Tasarım 6.3*	16	4	12	16	2	20	16	3	20	16	3	28	16	3	28
Tasarım 6.4	16	3	9	16	3	20	16	3	20	16	2	28	16	4	28
Tasarım 6.5	16	2	5	16	3	18	16	3	18	16	3	32	16	4	32

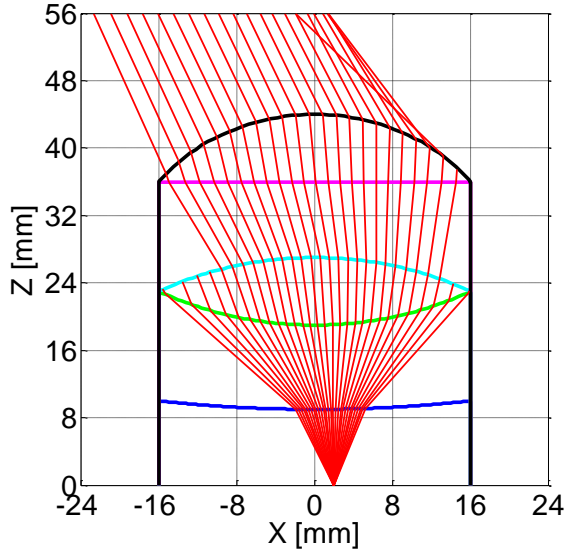
GO/PO programı üçlü lens için çalışabilecek şekilde güncellenmiş, Şekil 3.14' te verilen tasarımların profilleri oluşturulmuştur. Çizelge 3.2' de yer alan tasarımların GO/PO kodu kullanılarak analizi yapılmış ve sonuçlar yönlendiricilik ve huzme tarama kabiliyeti

açısından değerlendirilmiştir. 3 ve 4 no'lu tasarımlar diğerlerine oranla daha düşük yönlendiricilikle sonuç vermektedir. Bu sebeple otomotiv radar anteni olarak önerilemez.

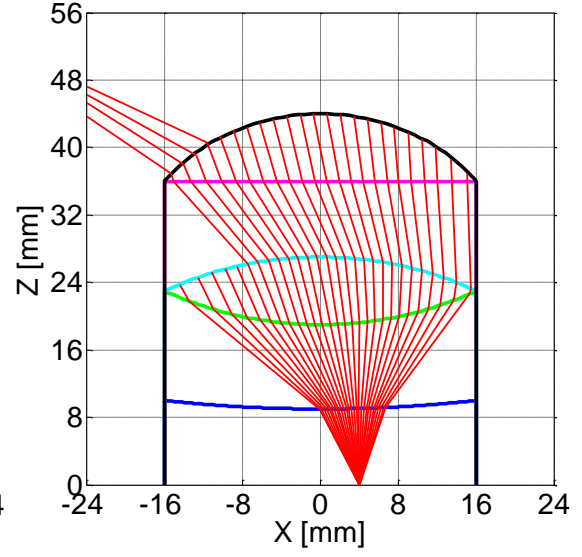
GO/PO metodu lens içerisinde oluşacak çoklu yansımaları göz önünde bulundurmamaktadır. Bu sebeple lens içerisinde oluşan ardışık yansımaları da hesaba katan CST programı ile de simülasyonlar yapılarak huzme tarama performansları değerlendirilmiştir. CST simülasyonu sadece hedef kriterlerle uyumlu çalışan yapılar için gerçekleştirilmiş ve sonuçlarına yer verilmiştir. CST simülasyonu yapılan yapılar, Çizelge 3.2' de de yıldız ile işaretlenmiş olan Tasarım 1-4, Tasarım 2-3, Tasarım 2-4, Tasarım 2-5, Tasarım 5-4, Tasarım 6-2, Tasarım 6-3'dür. Bu üçlü lens anten tasarımlarına ait, farklı konumlardan beslenmiş verici mod ışınması Şekil 3.15 ile 3.21 arasında yer almaktadır.



Şekil 3.15 Tasarım 1.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(a) 0 mm (b) 1 mm

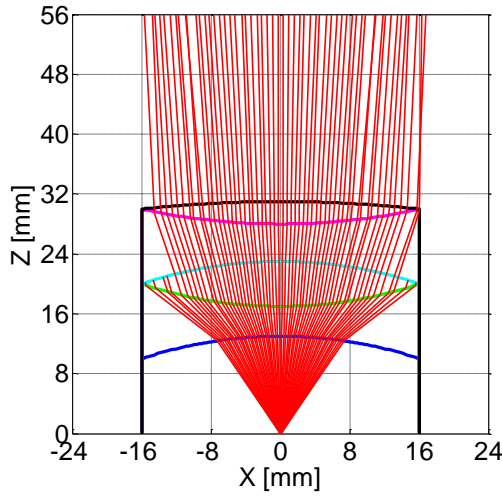


(c)

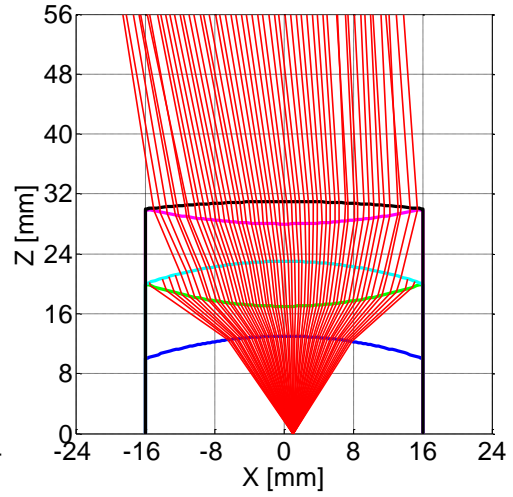


(d)

Şekil 3.15 Tasarım 1.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(c) 2 mm (d) 4 mm (devamı)

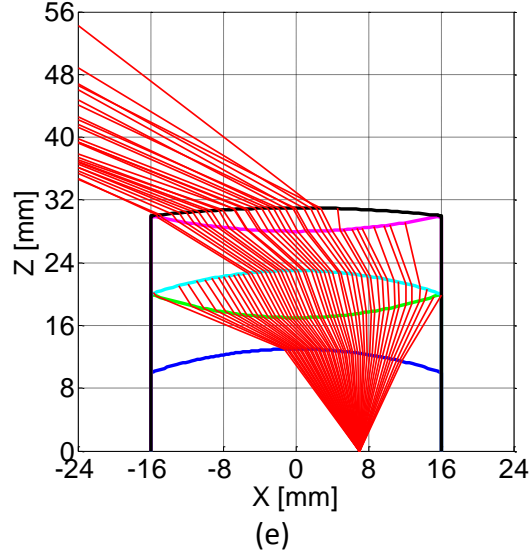
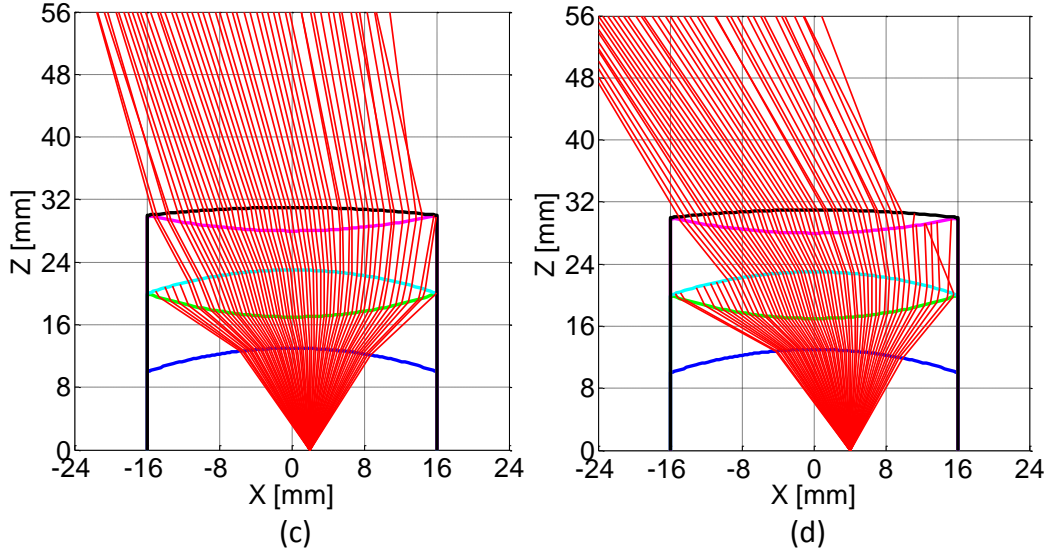


(a)

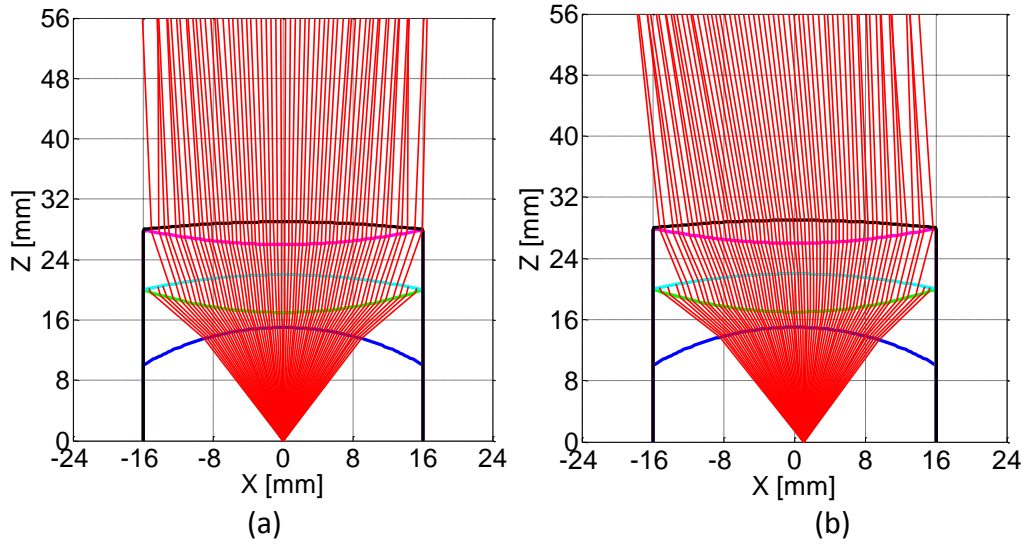


(b)

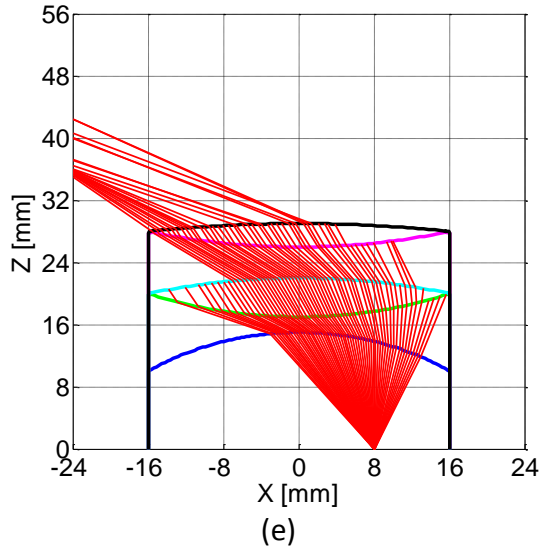
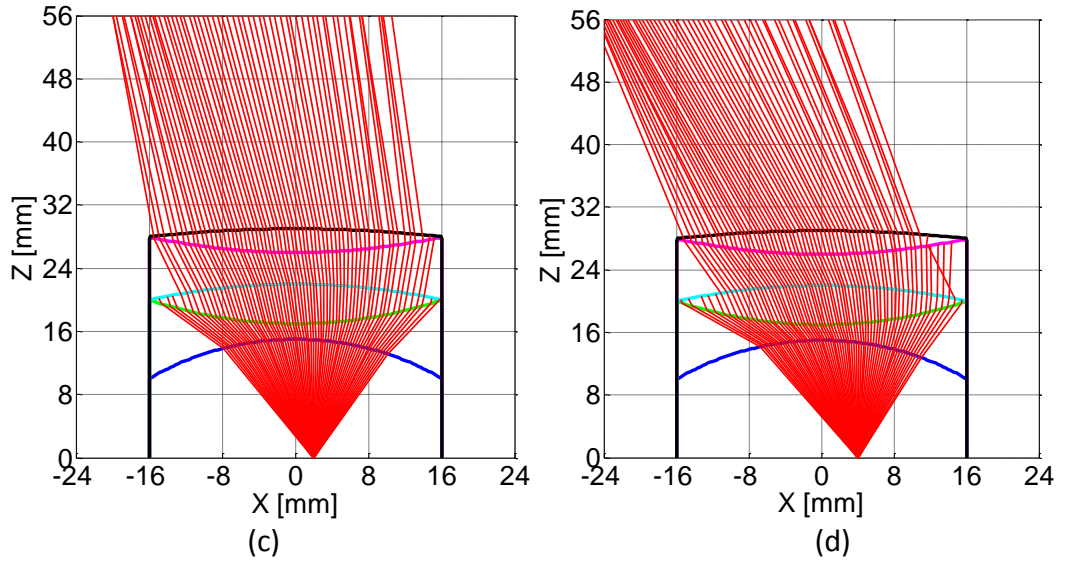
Şekil 3.16 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(a) 0 mm (b) 1 mm



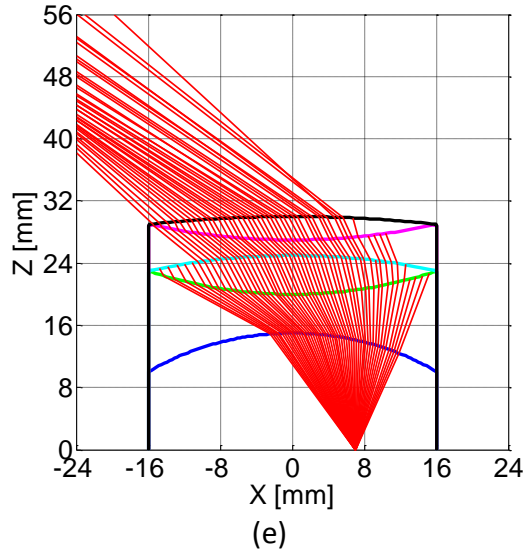
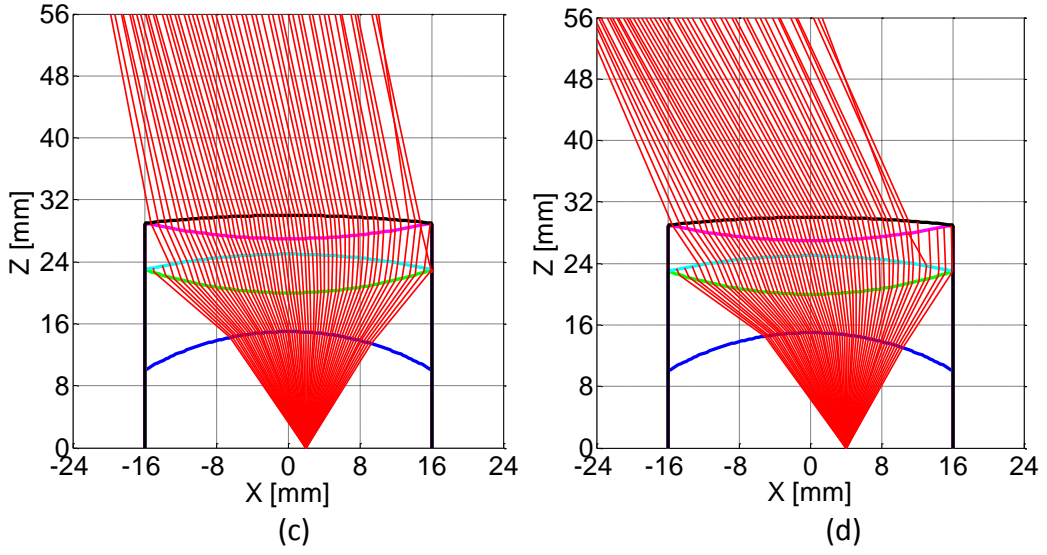
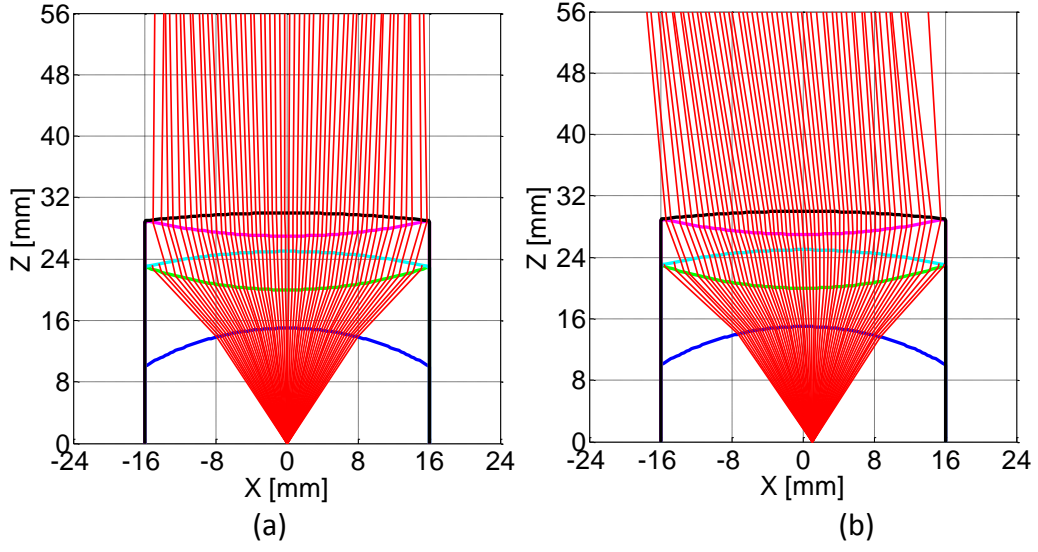
Şekil 3.16 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7mm (devamı)



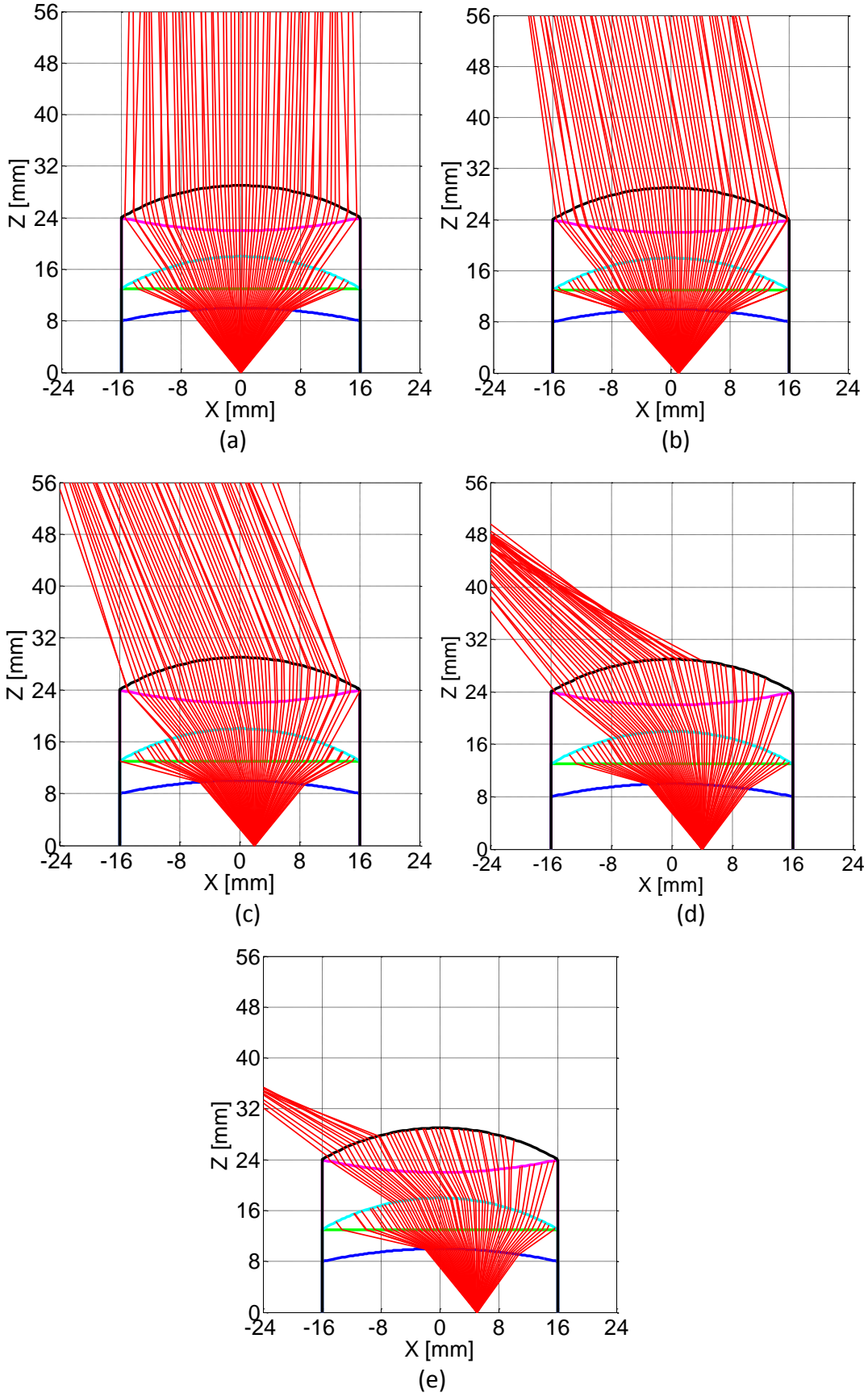
Şekil 3.17 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(a) 0 mm (b) 1 mm



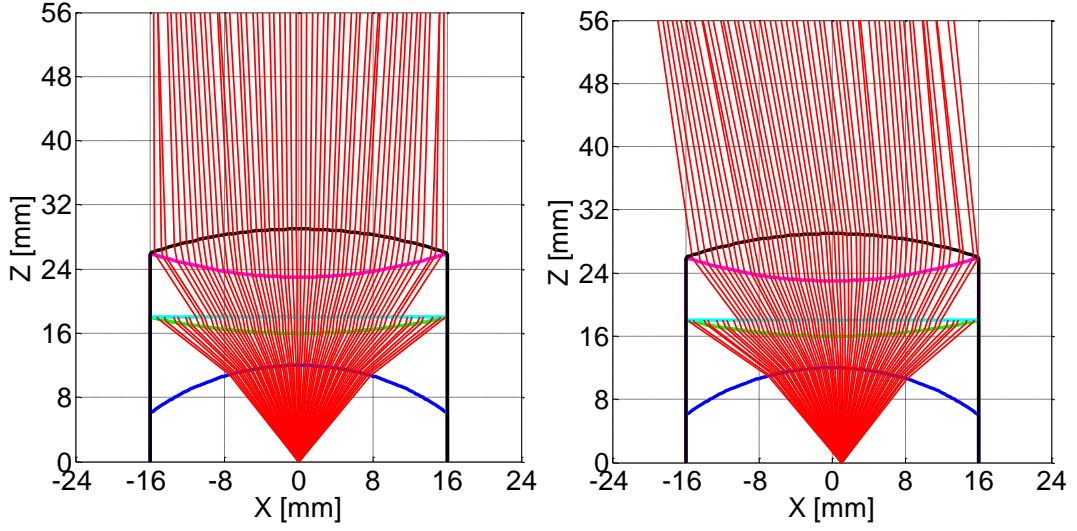
Şekil 3.17 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(c) 2 mm (d) 4 mm (e) 8mm (devamı)



Şekil 3.18 Tasarım 2.5 'in farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7mm

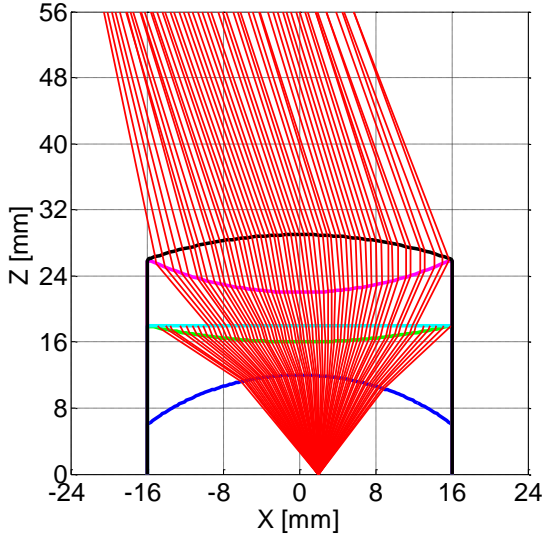


Şekil 3.19 Tasarım 5.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
(a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 5 mm

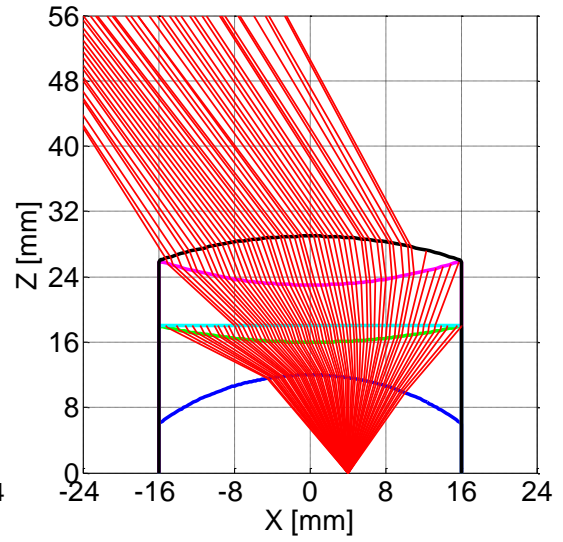


(a)

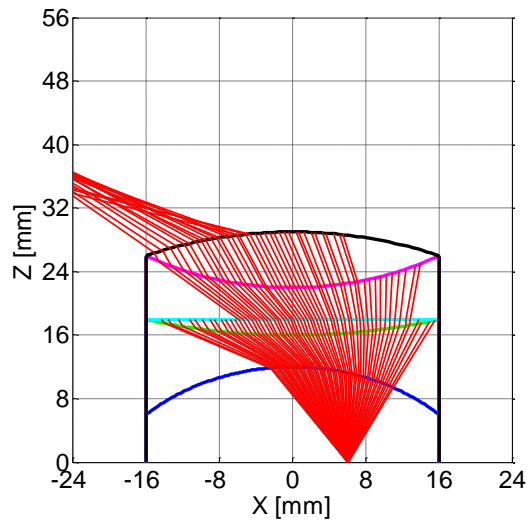
(b)



(c)

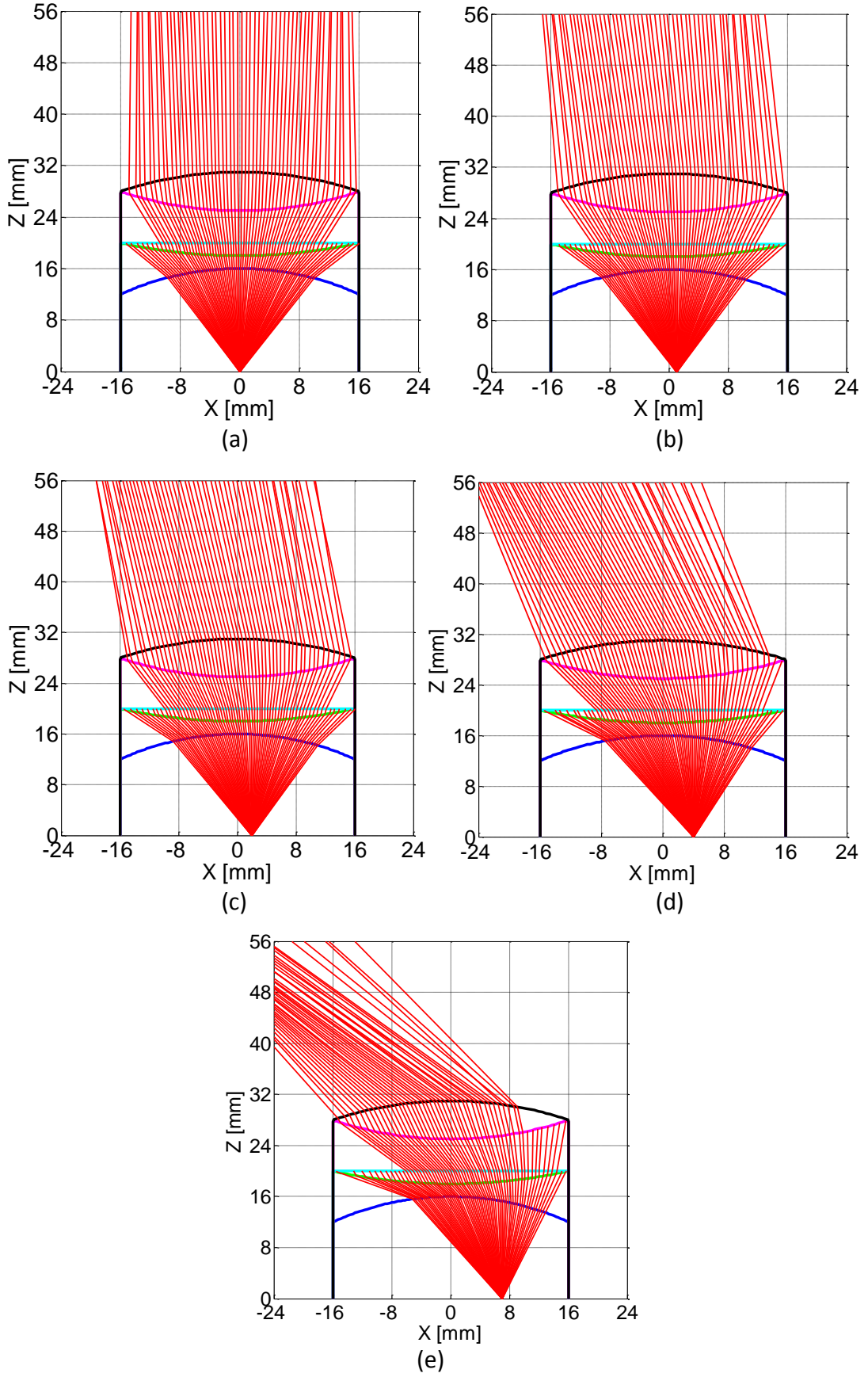


(d)



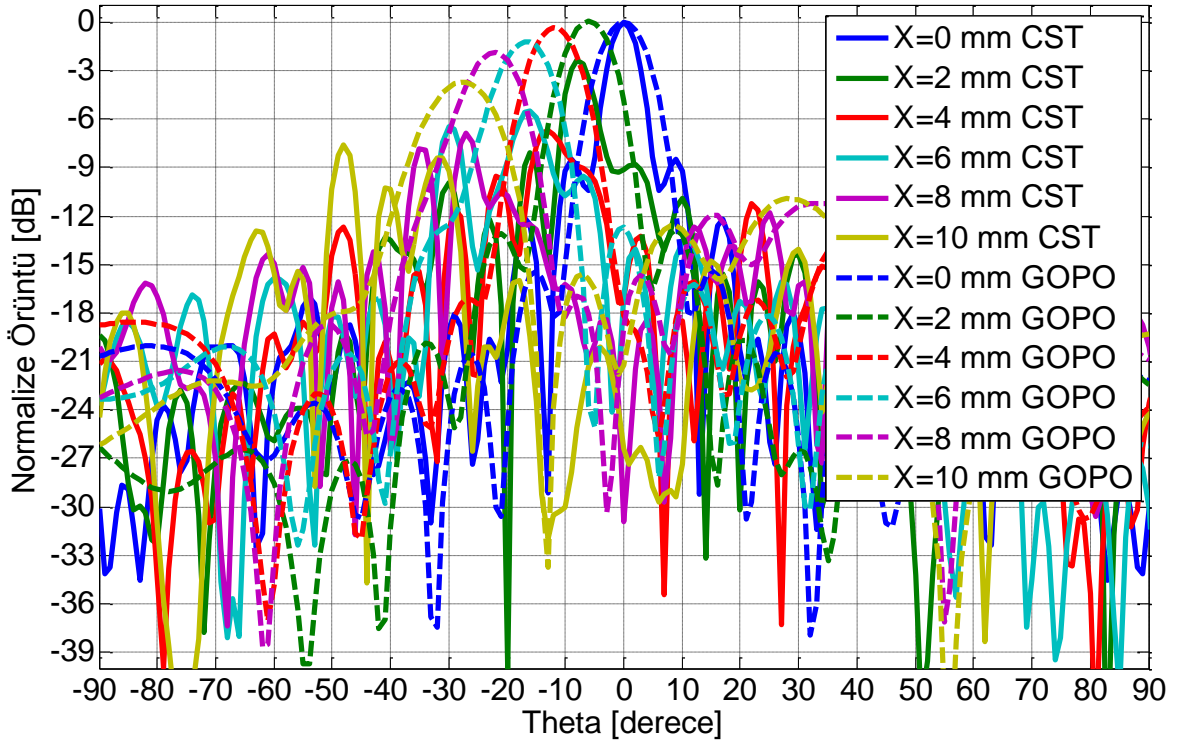
(e)

Şekil 3.20 Tasarım 6.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 6 mm

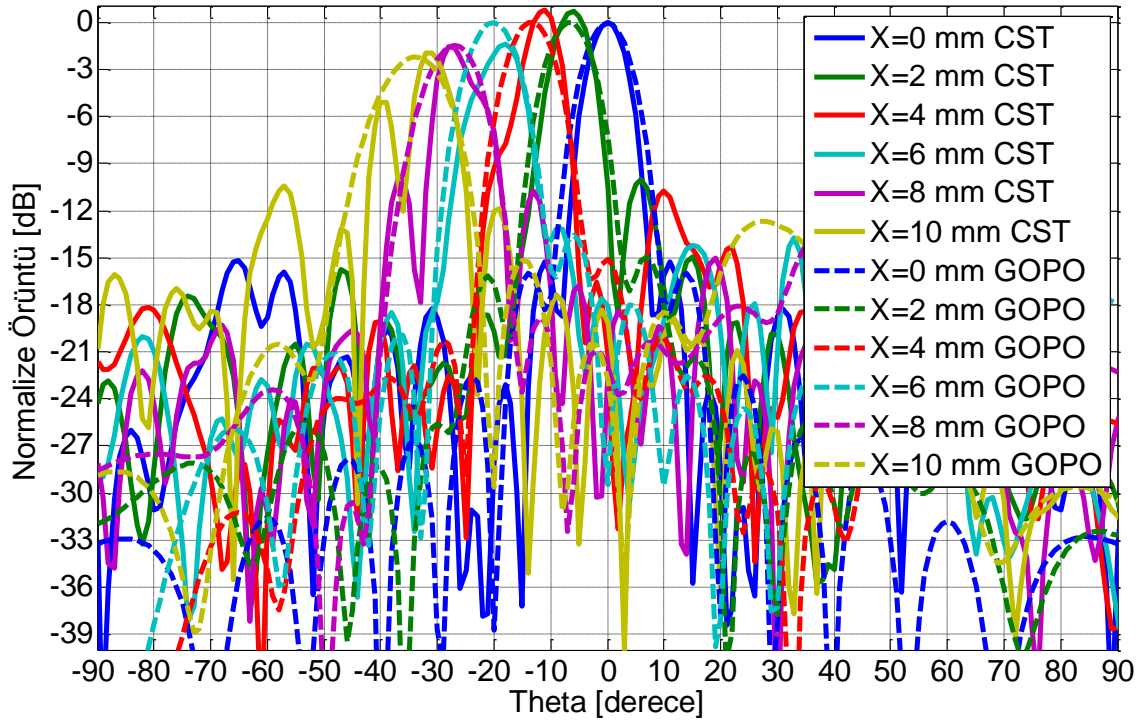


Şekil 3.21 Tasarım 6.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 7 mm

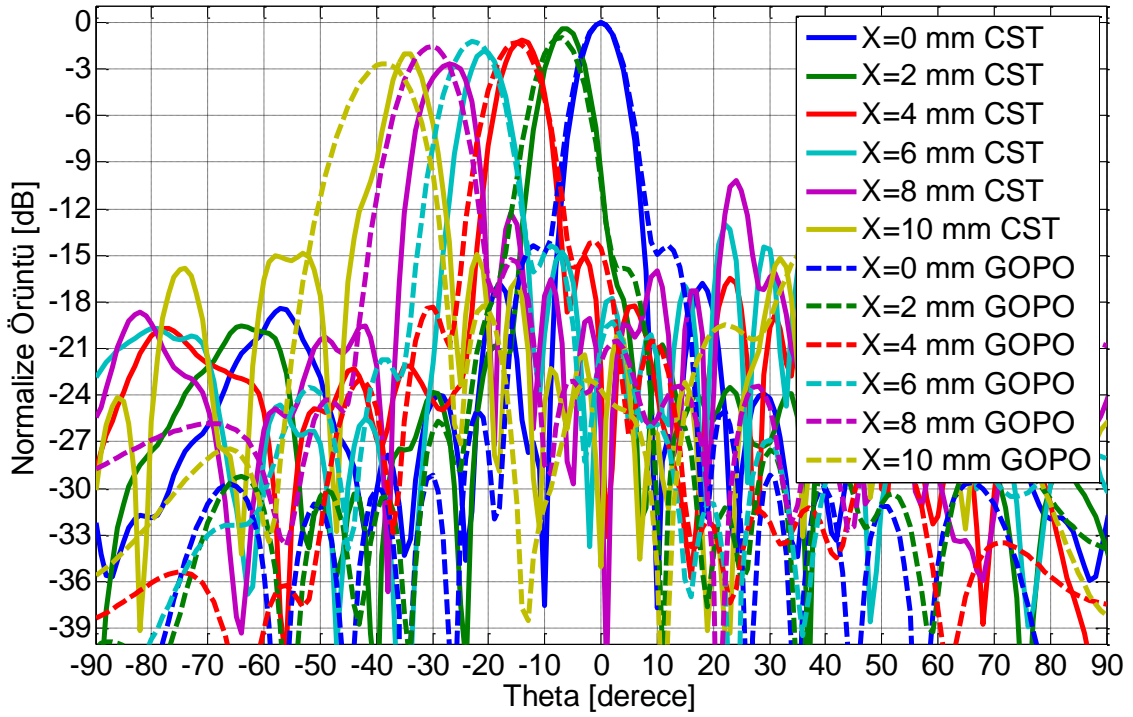
Işın takibi metodu sadece elektromanyetik dalganın sınırlardaki davranışını modellemek için kullanılan bir tekniktir. Farklı geometrik boyutlarda ve lens maddeleri için dalganın ne kadarının ikinci ortama iletileceği, ne kadarının geri yansıtacağı hakkında yorum yapmak için kullanılabilecek bir metottur. Fakat ışınma performansı hakkında tam bir sonuç veremez. Bu sebeple önerilen tasarımlar GO/PO ve CST ile de simüle edilmiştir. Şekil 3.22 ile 3.28 arasında önerilen üçlü lens anten tasarımlarının CST ve GO/PO ile simülasyonun sonuçları yer almaktadır. Farklı besleme konumlarının huzme taramaya etkisi gösterilmiştir. Şekil 3.23' te yer alan Tasarım 1-4' de GO/PO sonuçları ile CST sonuçlarının uyumlu olmadığı görülmektedir. Tasarım 5.4' te ise ışınma paterninin 30°'ye ulaşmadan bozulduğu görülmektedir. Bu şekillerden 2 numaralı tasarıma ait üçlü lens anten önerilerinin hedef kriterlere daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Önerilen tasarımların performanslarını kıyaslamalı görmek amacıyla tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi, besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi ve tarama açısı ile tarama kaybının değişimi incelenmiştir. Bu değişimler Şekil 3.29 ile 3.31 arasında yer almaktadır. Bu değişimlere ait sayısal değerlere Çizelge 3.3' te yer verilmiştir.



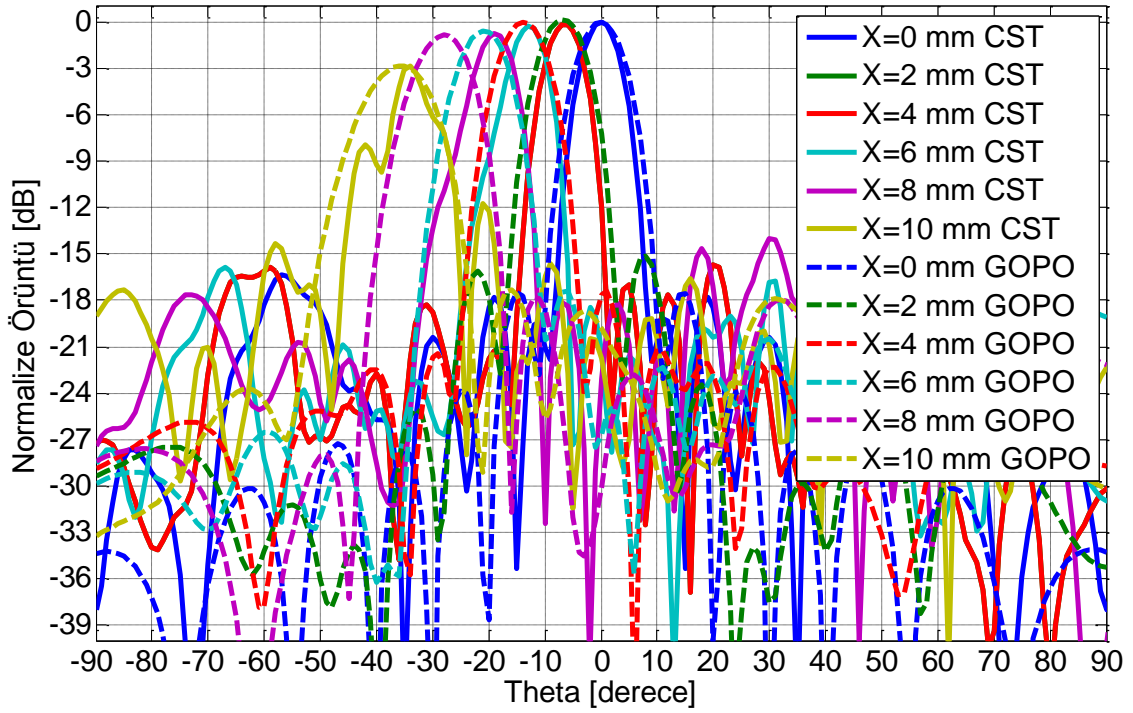
Şekil 3.22 Tasarım 1.4'ün huzme tarama performansı



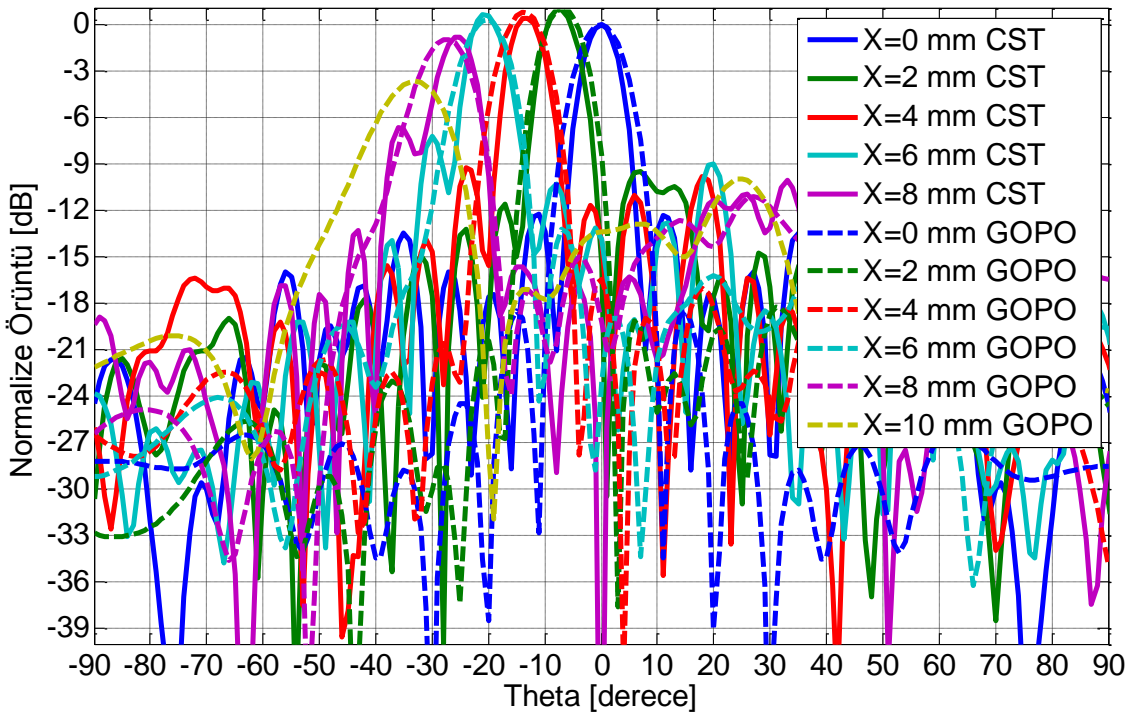
Şekil 3.23 Tasarım 2.3 'ün huzme tarama performansı



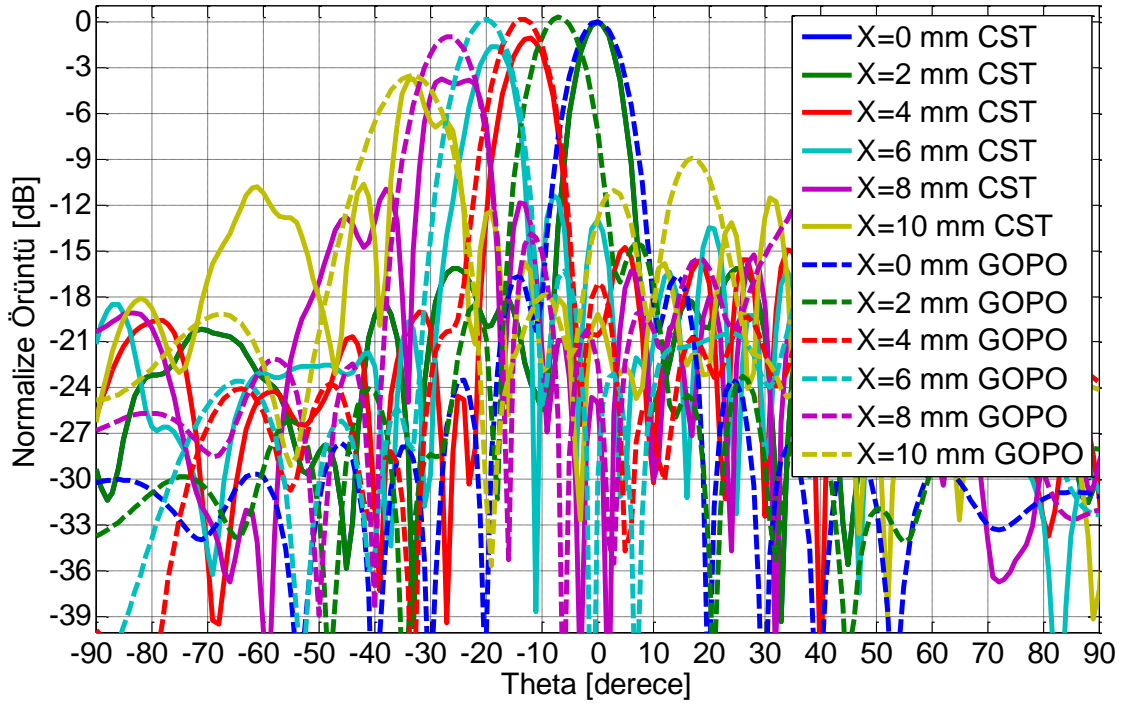
Şekil 3.24 Tasarım 2.4 'ün huzme tarama performansı



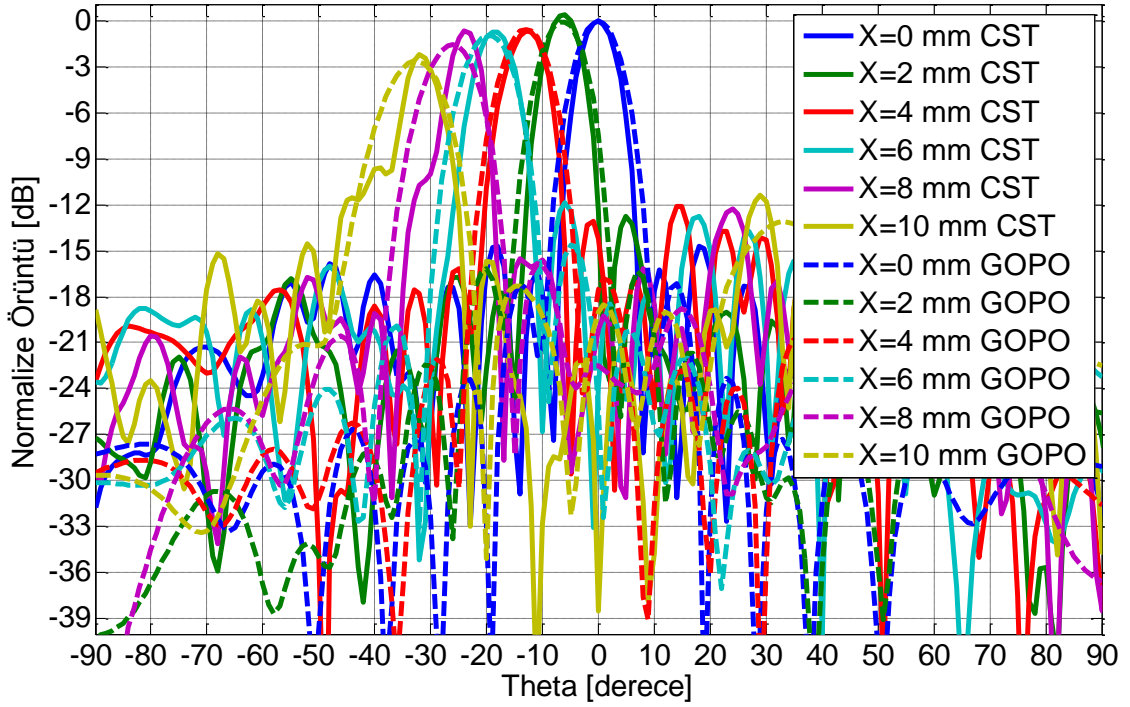
Şekil 3.25 Tasarım 2.5 'ün huzme tarama performansı



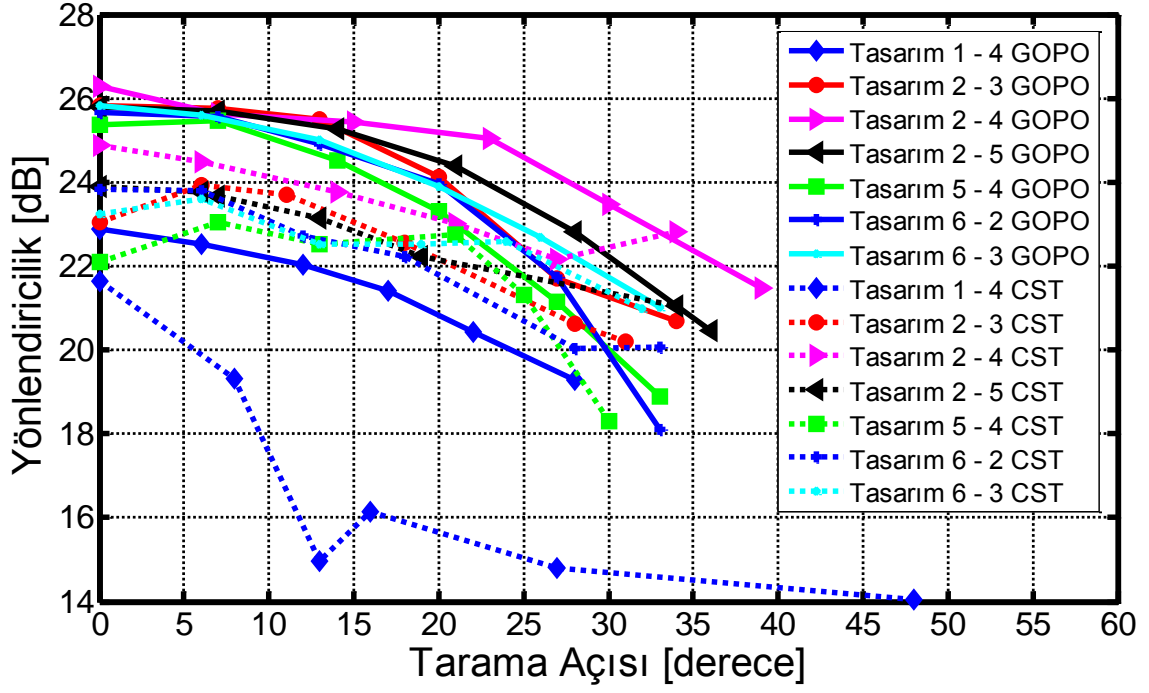
Şekil 3.26 Tasarım 5.4 'ün huzme tarama performansı



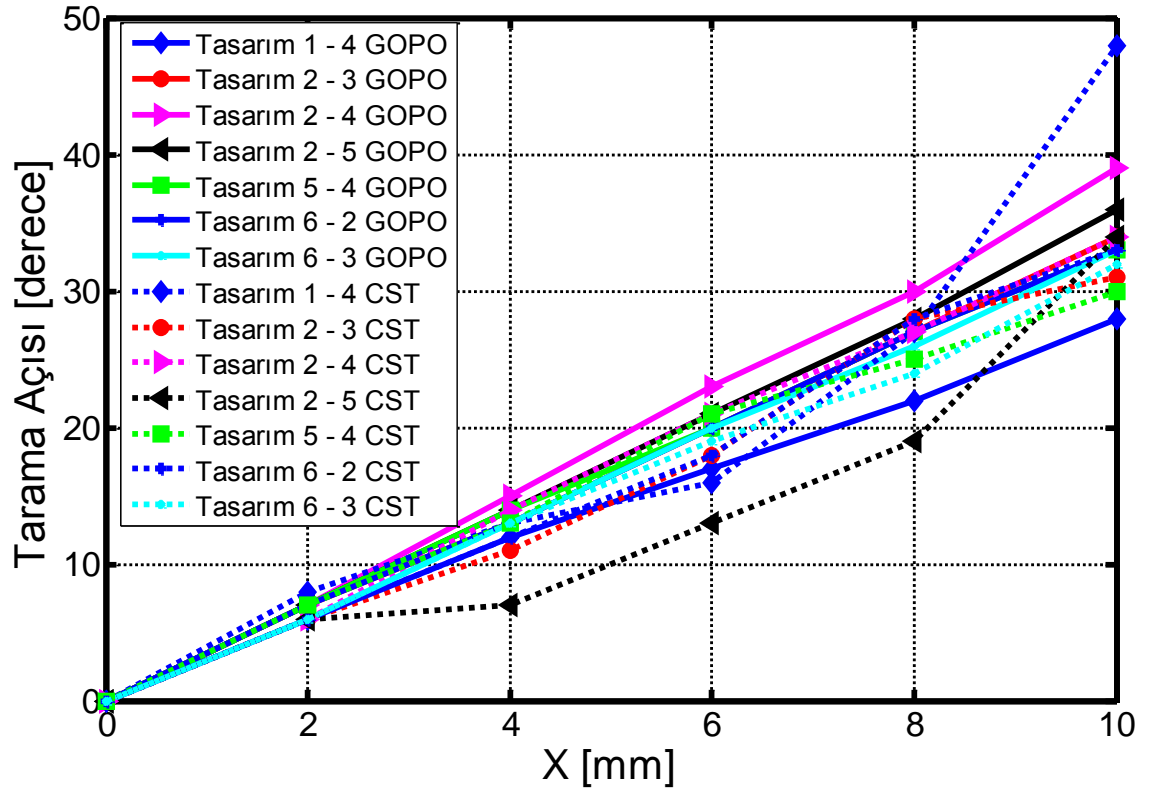
Şekil 3.27 Tasarım 6.2 'ün huzme tarama performansı



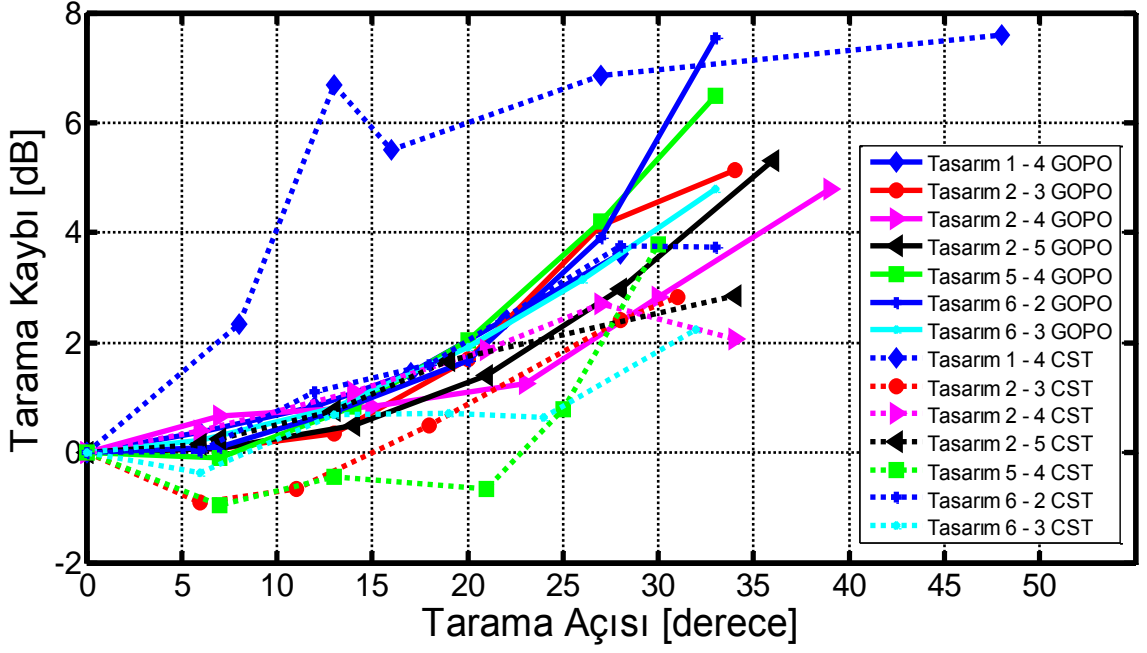
Şekil 3.28 Tasarım 6.3 'ün huzme tarama performansı



Şekil 3.29 Küçük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi



Şekil 3.30 Küçük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi



Şekil 3.31 Küçük konfigürasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile tarama kaybının değişimi

Çizelge 3.4 Şekil 3.30 - 3.32' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri

GO/PO	Tasarım 1.4					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	22.88	22.72	22.56	21.42	20.86	18.63
Tarama Açısı [derece]	0	6	12	17	22	28
Tarama Kaybı [dB]	0	0.16	0.32	1.46	2.02	4.25
CST						
Yönlendiricilik [dB]	21.65	19.31	14.96	16.15	14.8	14.05
Tarama Açısı [derece]	0	8	13	16	27	48
Tarama Kaybı [dB]	0	2.34	6.69	5.5	6.85	7.6

GO/PO	Tasarım 2.3					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	25.83	25.81	25.79	25.75	24.31	23.41
Tarama Açısı [derece]	0	7	13	20	27	35
Tarama Kaybı [dB]	0	0.02	0.04	0.08	1.52	2.42
CST						
Yönlendiricilik [dB]	23.04	23.94	23.71	22.55	20.62	18.19
Tarama Açısı [derece]	0	6	11	18	28	39
Tarama Kaybı [dB]	0	-0.9	-0.67	0.49	2.42	4.85

GO/PO	Tasarım 2.4					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	26.29	25.63	25.44	25.04	23.46	21.49
Tarama Açısı [derece]	0	7	15	23	30	39
Tarama Kaybı [dB]	0	0.66	0.85	1.25	2.83	4.8

Çizelge 3.5 Şekil 3.30 - 3.32' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri (devamı)

CST						
Yönlendiricilik [dB]	24.87	24.48	23.75	23	22.16	22.81
Tarama Açısı [derece]	0	6	14	21	27	34
Tarama Kaybı [dB]	0	0.39	1.12	1.87	2.71	2.06

GO/PO	Tasarım 2.5					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	25.78	25.71	25.63	24.57	24.53	22.67
Tarama Açısı [derece]	0	7	14	21	28	36
Tarama Kaybı [dB]	0	0.07	0.15	1.21	1.25	3.11
CST						
Yönlendiricilik [dB]	23.91	23.75	23.65	23.14	22.24	21.06
Tarama Açısı [derece]	0	6	7	13	19	34
Tarama Kaybı [dB]	0	0.16	0.26	0.77	1.67	2.85

GO/PO	Tasarım 5.4					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	25.37	26.63	26.58	25.41	24.16	21.74
Tarama Açısı [derece]	0	7	14	20	27	33
Tarama Kaybı [dB]	0	-1.26	-1.21	-0.04	1.21	3.63
CST						
Yönlendiricilik [dB]	22.09	23.04	22.52	22.74	21.30	18.31
Tarama Açısı [derece]	0	7	13	21	25	30
Tarama Kaybı [dB]	0	-0.95	-0.43	-0.65	0.79	3.78

GO/PO	Tasarım 6.2					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	25.65	26.13	26.11	26.08	25.43	22.19
Tarama Açısı [derece]	0	7	13	20	27	34
Tarama Kaybı [dB]	0	-0.48	-0.46	-0.43	0.22	3.46
CST						
Yönlendiricilik [dB]	23.82	23.8	22.72	22.22	20.05	20.03
Tarama Açısı [derece]	0	6	12	18	28	32
Tarama Kaybı [dB]	0	0.02	1.1	1.6	3.77	3.79

GO/PO	Tasarım 6.3					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=2mm	X=4mm	X=6mm	X=8mm	X=10mm
Yönlendiricilik [dB]	25.83	25.60	25.39	25.06	24.21	22.96
Tarama Açısı [derece]	0	6	13	20	26	33
Tarama Kaybı [dB]	0	0.23	0.44	0.77	1.62	2.87
CST						
Yönlendiricilik [dB]	23.23	23.6	22.53	22.51	22.6	20.99
Tarama Açısı [derece]	0	6	13	19	24	32
Tarama Kaybı [dB]	0	-0.37	0.7	0.72	0.63	2.24

3.4.2 Büyük Konfigürasyon Tasarımları

Bu bölümde büyük konfigürasyon tasarımları ($\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 64$ mm) için analiz adımları tanıtılacak, en iyi performansla çalıştığı düşünülen üçlü lens antenlerin GO/PO ve CST sonuçları karşılaştırmalı olarak verilecektir. Çizelge 3.4 'te büyük çaplı konfigürasyon için lens antenlerin geometrik boyutları yer almaktadır. Büyük konfigürasyon için üçlü lens anten tasarımlarında ultem malzemesi ($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = 3.01$) kullanılmıştır.

Çizelge 3.6 Büyük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 1.1	32	2	18	32	6	36	32	10	36	32	6	64	32	22	64
Tasarım 1.2	32	2	14	32	10	36	32	14	36	32	6	64	32	26	64
Tasarım 1.3	32	2	20	32	10	36	32	14	36	32	6	60	32	12	60
Tasarım 1.4	32	2	15	32	10	36	32	14	36	32	6	60	32	22	60
Tasarım 1.5	32	1	15	32	10	36	32	10	36	32	6	56	32	24	56

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 2.1	32	3	10	32	4	30	32	4	30	32	6	50	32	9	50
Tasarım 2.2*	32	5	10	32	4	30	32	4	30	32	6	45	32	8	45
Tasarım 2.3*	32	7	12	32	5	32	32	5	32	32	6	47	32	5	47
Tasarım 2.4*	32	5	12	32	5	32	32	5	32	32	4	49	32	8	49
Tasarım 2.5	32	4	10	32	4	30	32	4	30	32	4	49	32	10	49

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 3.1	32	6	16	32	6	30	32	6	46	32	12	64	32	12	64
Tasarım 3.2	32	6	14	32	8	30	32	8	50	32	14	68	32	14	68
Tasarım 3.3	32	4	8	32	6	24	32	8	50	32	16	68	32	11	68
Tasarım 3.4	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-
Tasarım 3.5	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 4.1	32	2	16	32	6	30	32	16	30	32	12	64	32	12	64
Tasarım 4.2	32	2	16	32	6	30	32	18	30	32	12	68	32	12	68
Tasarım 4.3	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-
Tasarım 4.4	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-
Tasarım 4.5	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-	32	-	-

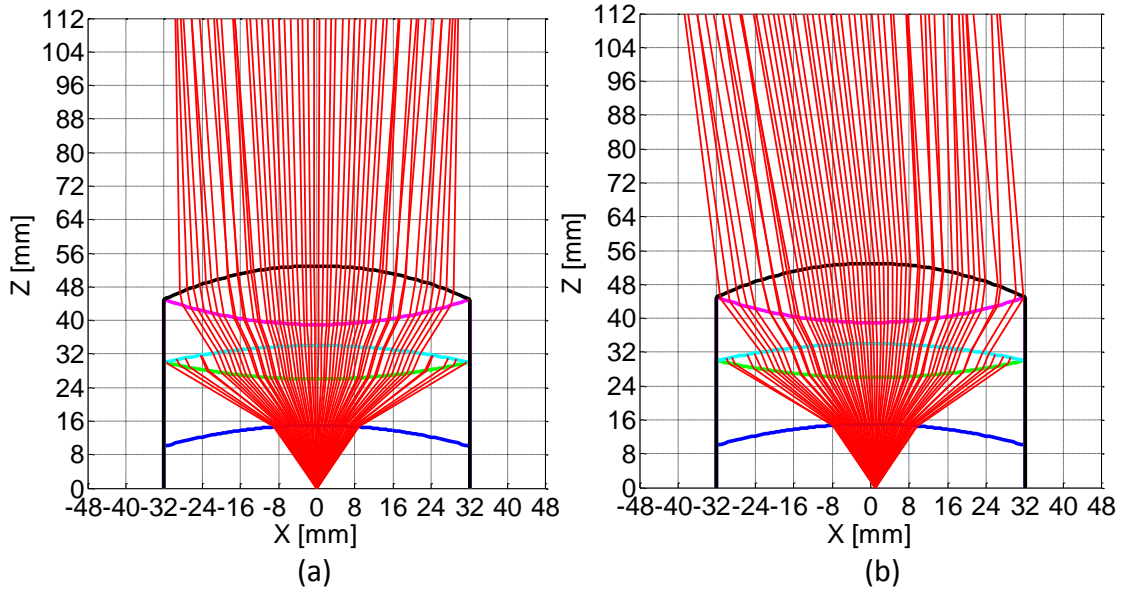
Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 5.1	32	2	16	32	6	30	32	10	30	32	6	64	32	6	64
Tasarım 5.2	32	3	16	32	6	30	32	10	30	32	6	60	32	6	60
Tasarım 5.3*	32	3	14	32	6	26	32	10	26	32	6	60	32	6	60

Çizelge 3.7 Büyük konfigürasyon için ışın takibi yönteminde önerilen boyutlar (devamı)

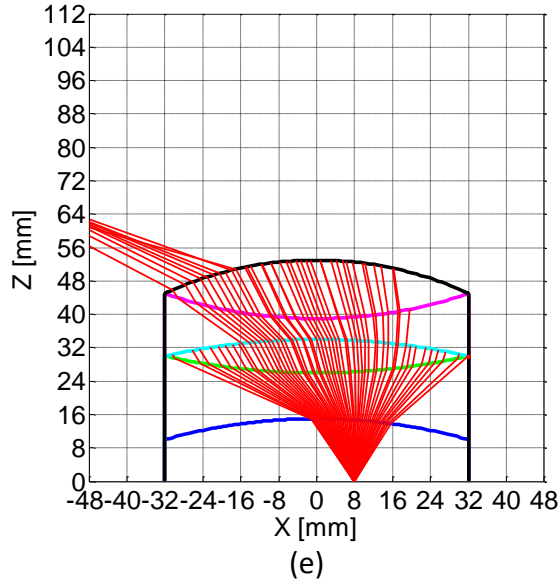
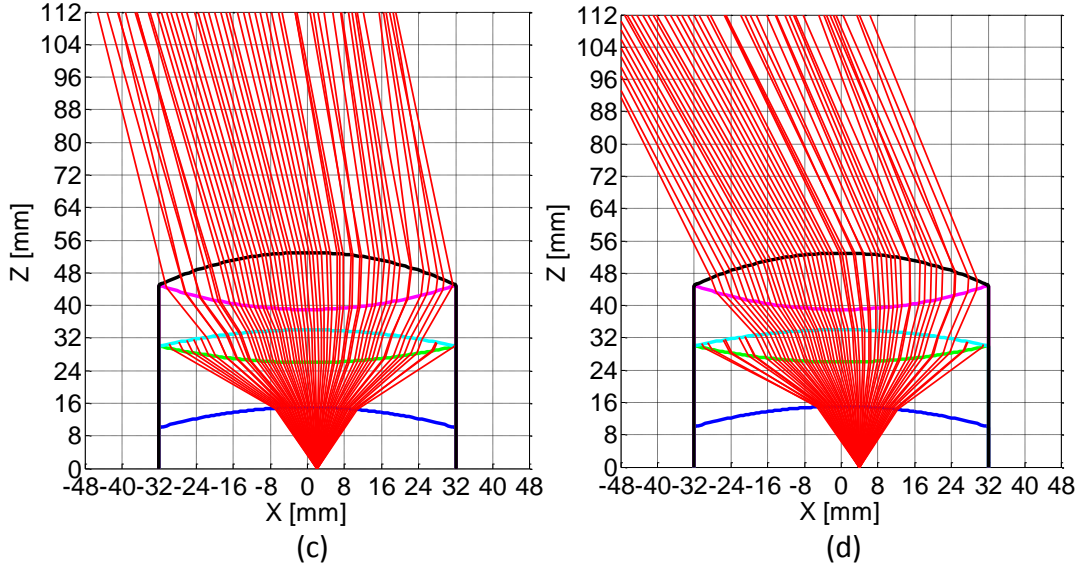
Tasarım 5.4*	32	4	16	32	6	26	32	10	26	32	6	56	32	6	56
Tasarım 5.5	32	3	14	32	6	30	32	8	30	32	2	60	32	10	60

Tasarım#	R1	D1	F1	R2	D2	F2	R3	D3	F3	R4	D4	F4	R5	D5	F5
Tasarım 6.1	32	4	20	32	6	36	32	6	36	32	2	50	32	12	50
Tasarım 6.2*	32	12	12	32	4	36	32	6	36	32	6	52	32	6	52
Tasarım 6.3*	32	8	24	32	4	40	32	6	40	32	6	56	32	6	56
Tasarım 6.4	32	6	18	32	6	40	32	6	40	32	4	56	32	8	56
Tasarım 6.5	32	4	10	32	6	36	32	6	36	32	6	64	32	8	64

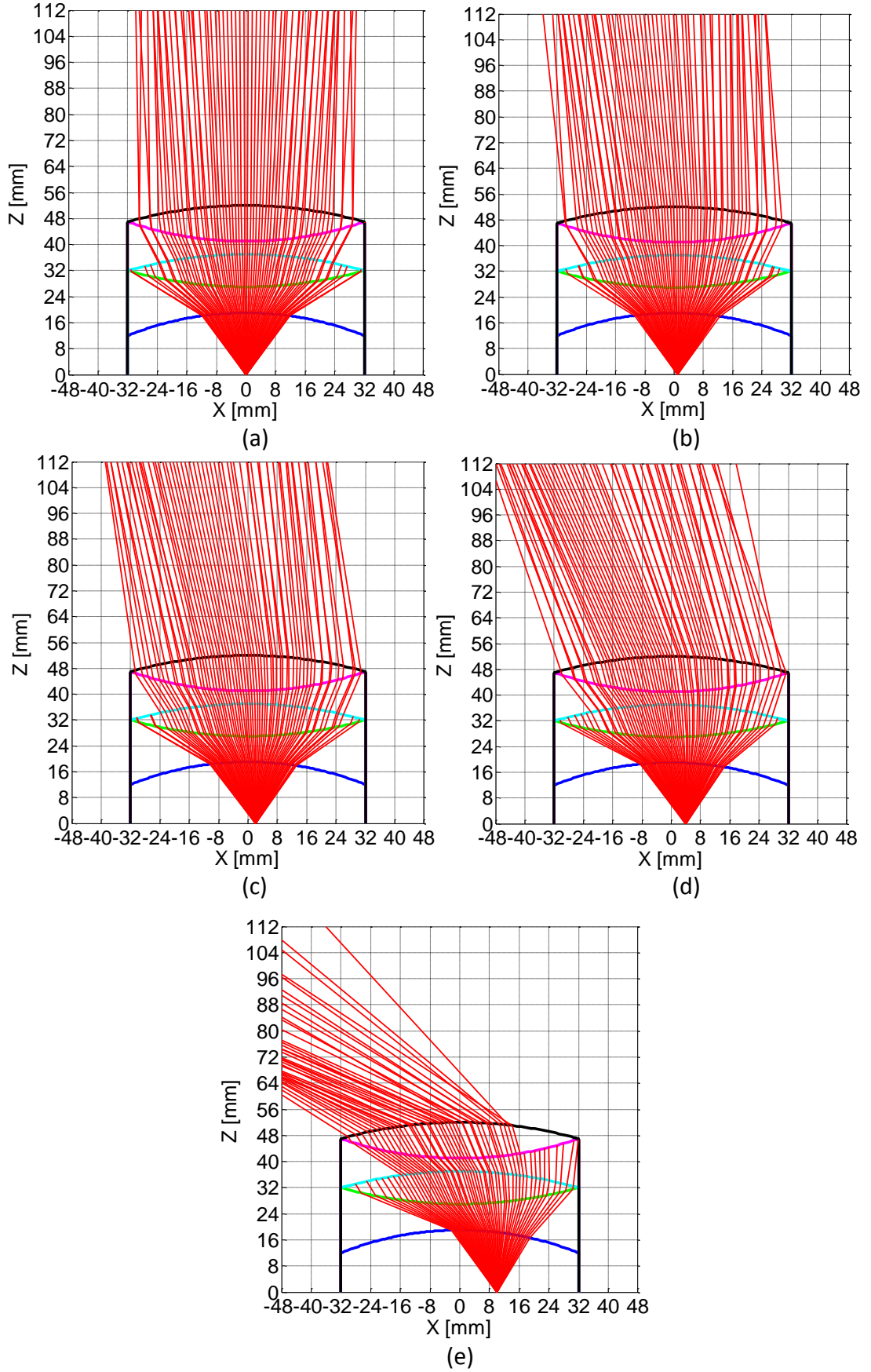
Çizelge 3.4' te yer alan büyük üçlü lens anten yapısı için ışın takibi metodunun kullanımı ile önerilen tasarımların GO/PO kodu kullanılarak analizi yapılmış ve sonuçlar yönlendiricilik ve huzme tarama kabiliyeti açısından değerlendirilmiştir. 1, 3 ve 4 no' lu tasarımlar diğerlerine oranla daha düşük yönlendiricilikle sonuç vermektedir. Bu sebeple otomotiv radar anteni olarak kullanılamaz. Bu bölümde analiz raporunun çok uzun olması sebebiyle Çizelge 3.4' te yer alan tasarımlardan sadece en iyi performansla çalışan, hedef kriterlere yakın sonuçlar veren tasarımların sonuçlarına yer verilecektir. Bu tasarımlar Çizelge 3.4' te de yıldız ile işaretlenmiş olan Tasarım 2-2, Tasarım 2-3, Tasarım 2-4, Tasarım 5.3, Tasarım 5.4, Tasarım 6.2, Tasarım 6.3'tür. Bu büyük konfigürasyon üçlü lens anten tasarımlarına ait, farklı konumlardan beslenmiş verici mod ışınması Şekil 3.32 - 3.38 arasında yer almaktadır.



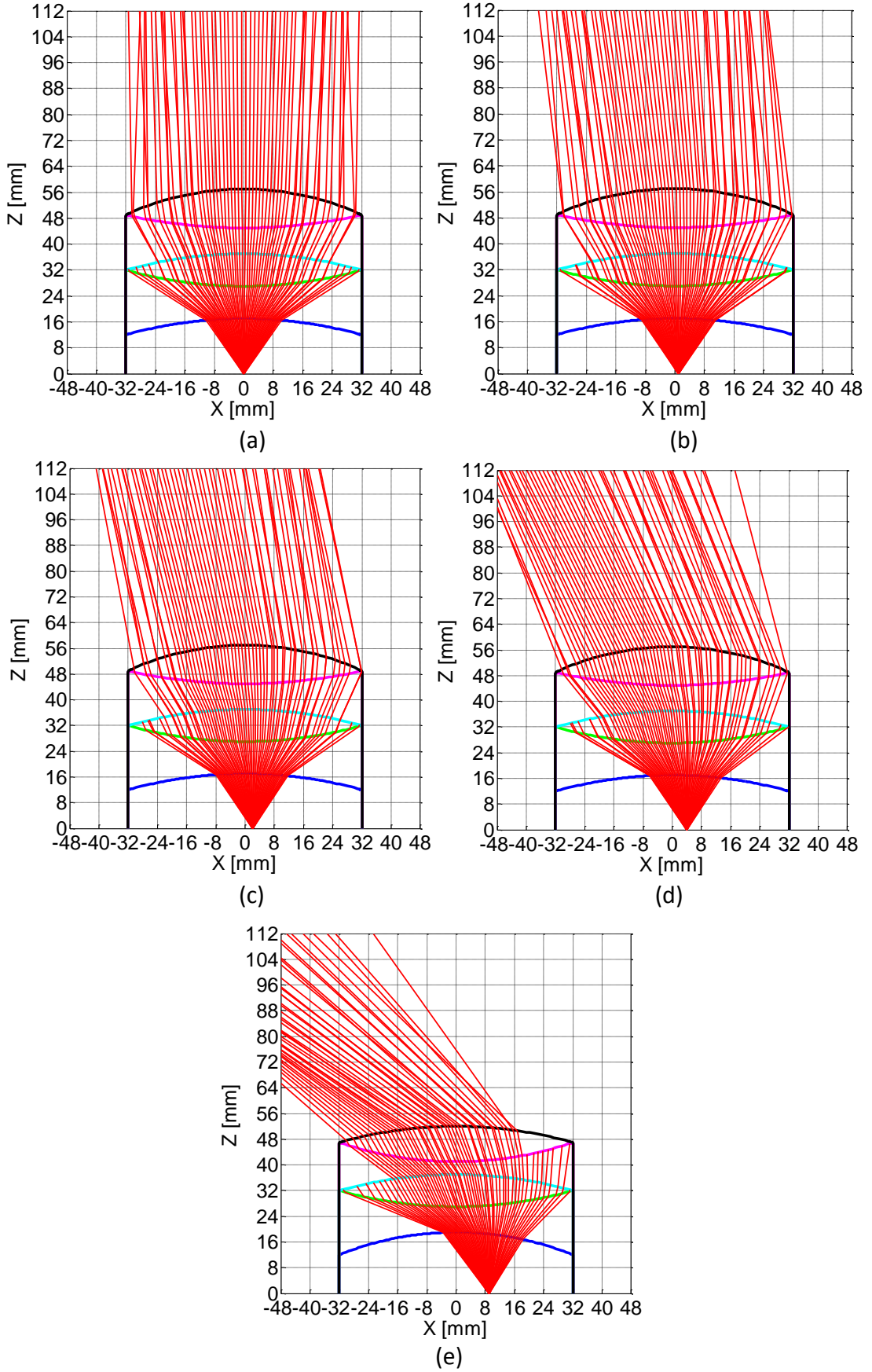
Şekil 3.32 Tasarım 2.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması (a) 0 mm (b) 1 mm



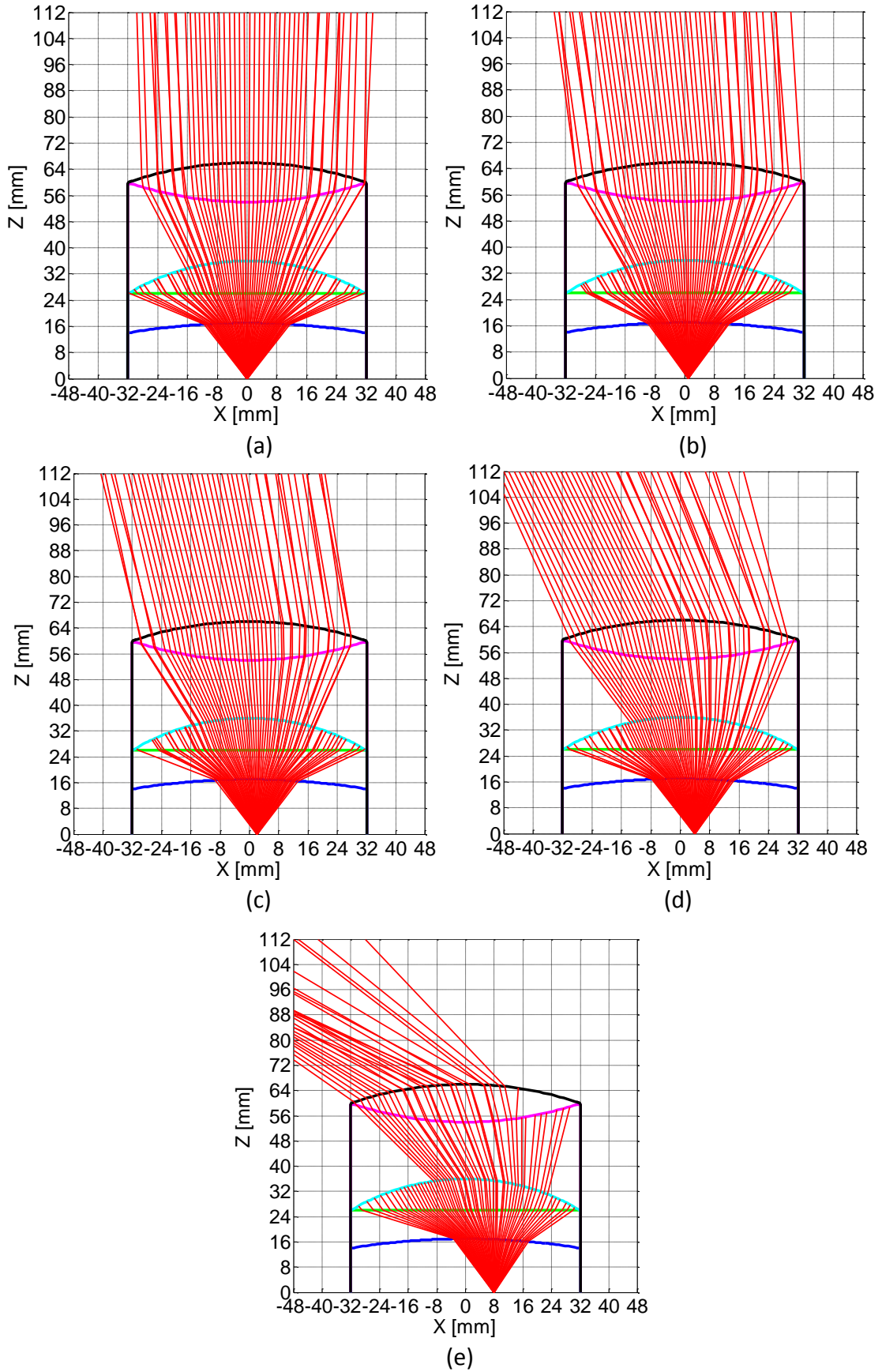
Şekil 3.32 Tasarım 2.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması 2 mm (d) 4 mm (e) 8 mm (devamı)



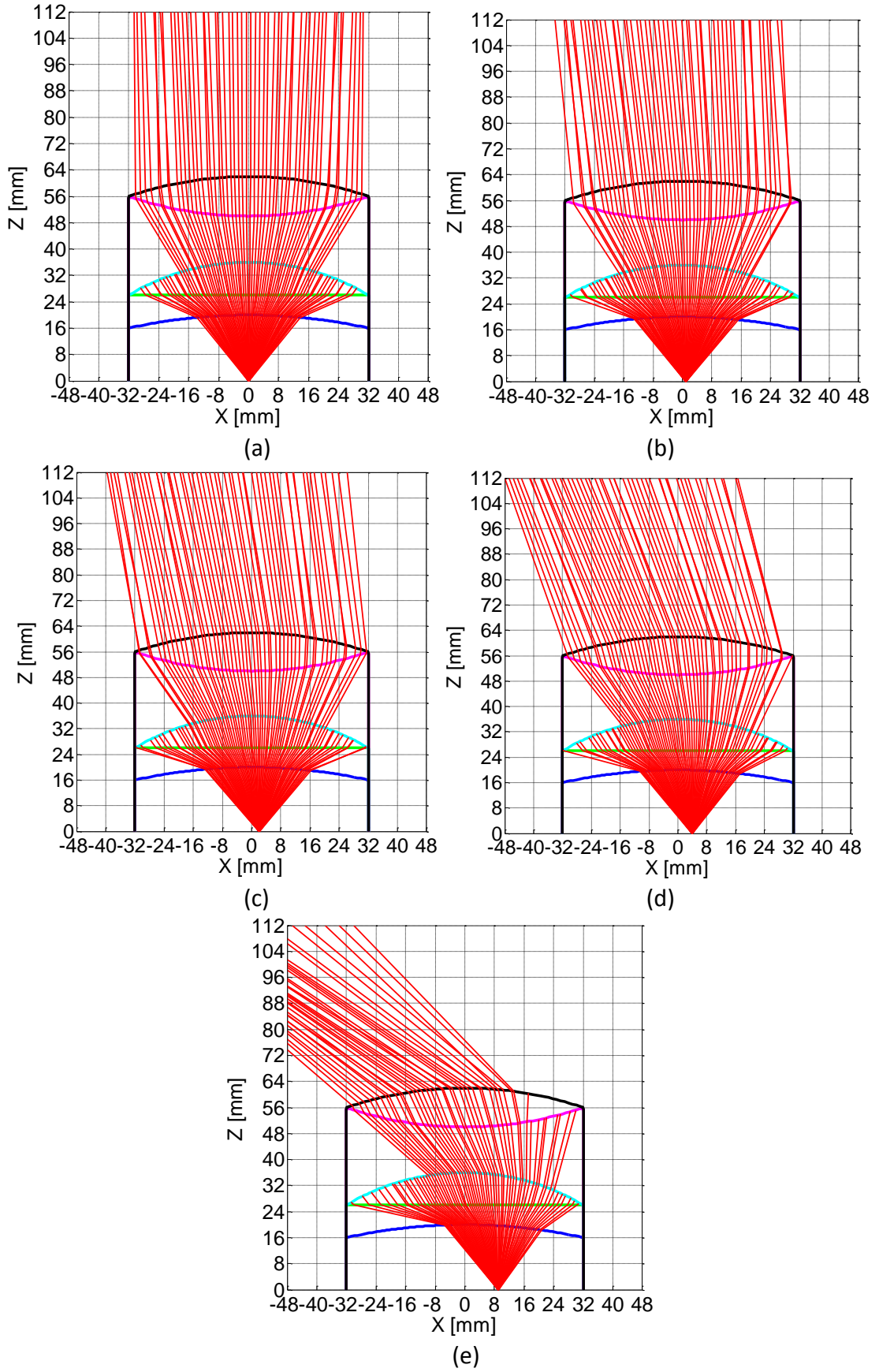
Şekil 3.33 Tasarım 2.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 10 mm



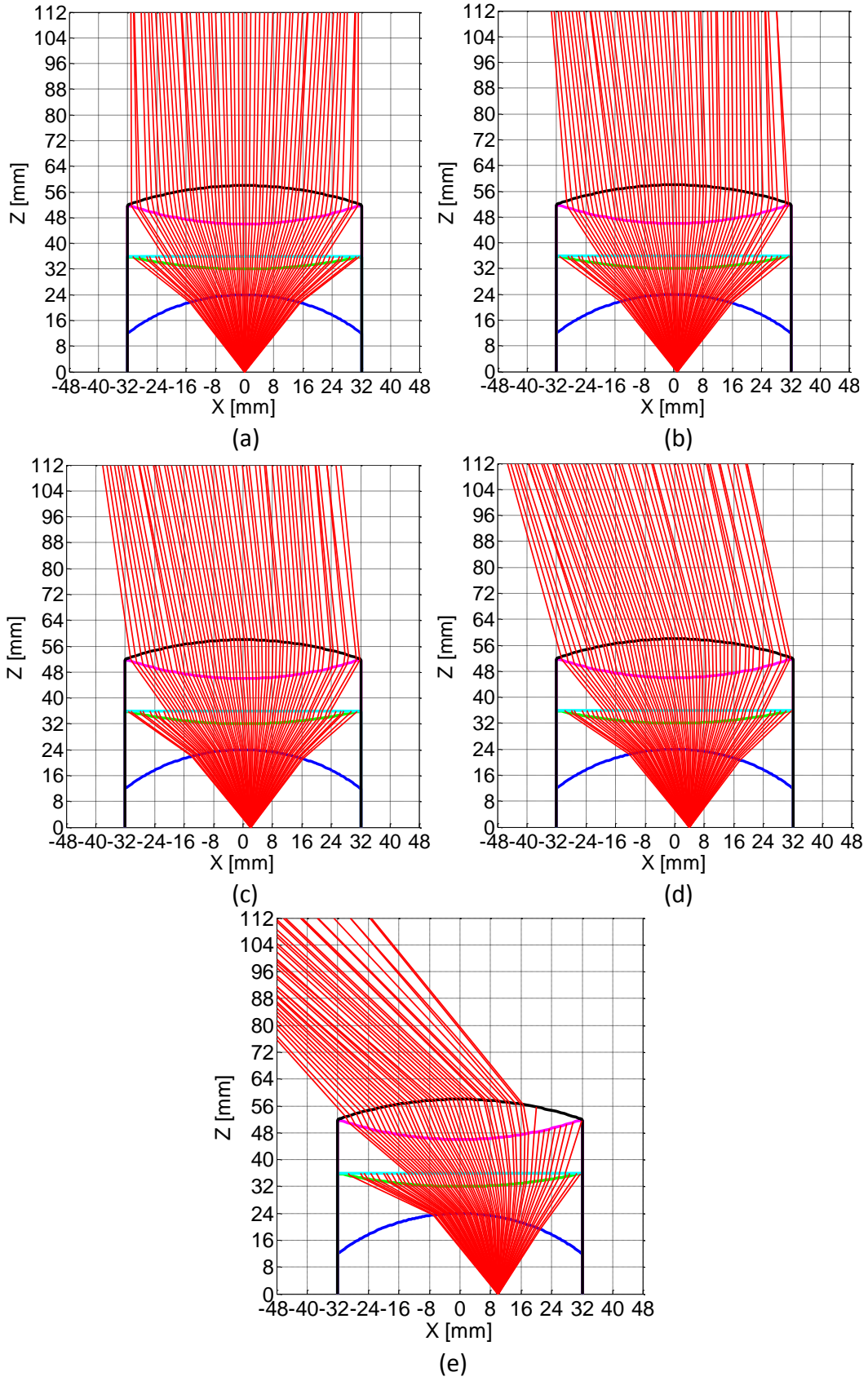
Şekil 3.34 Tasarım 2.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 9 mm



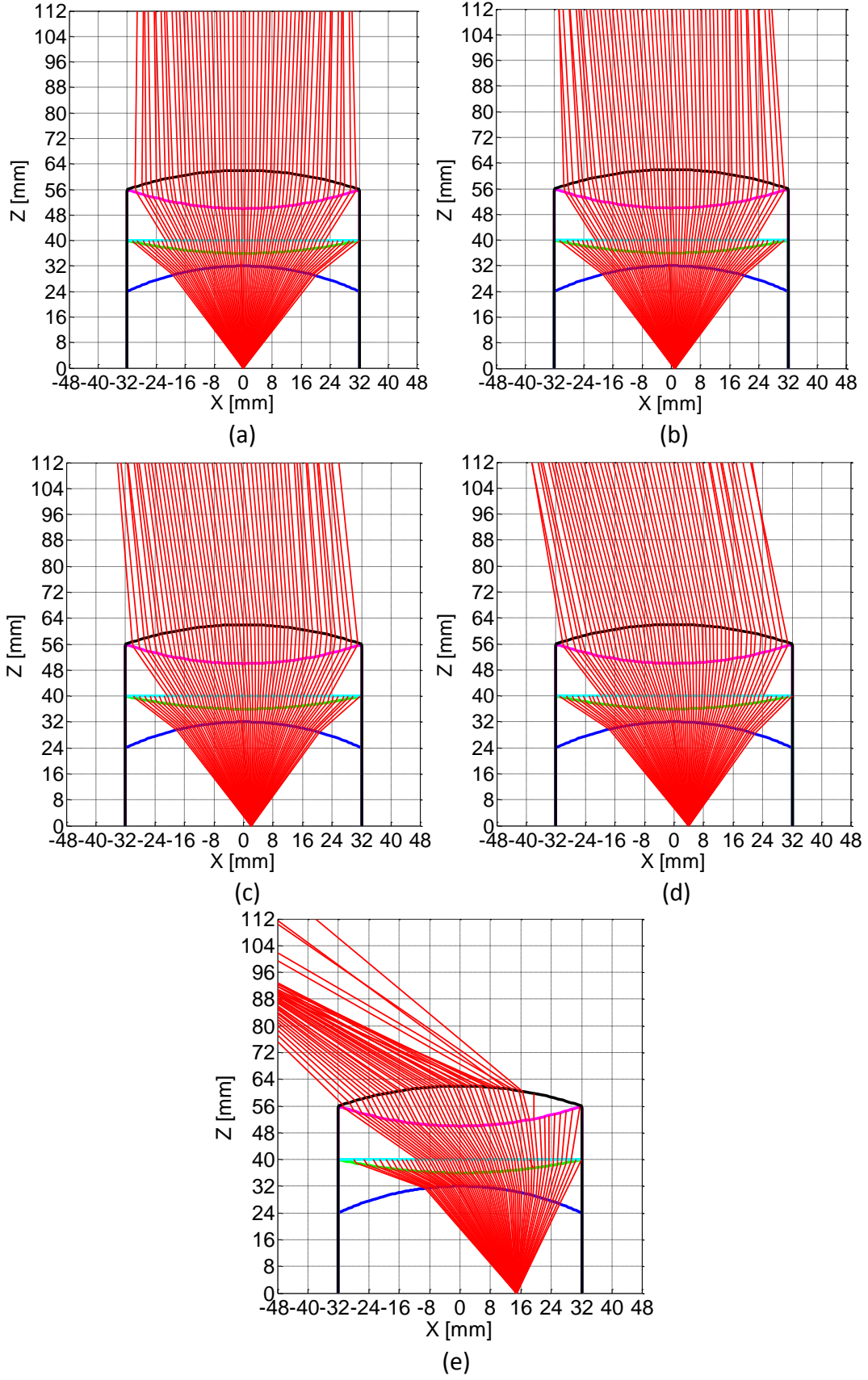
Şekil 3.35 Tasarım 5.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 8mm



Şekil 3.36 Tasarım 5.4 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 9mm

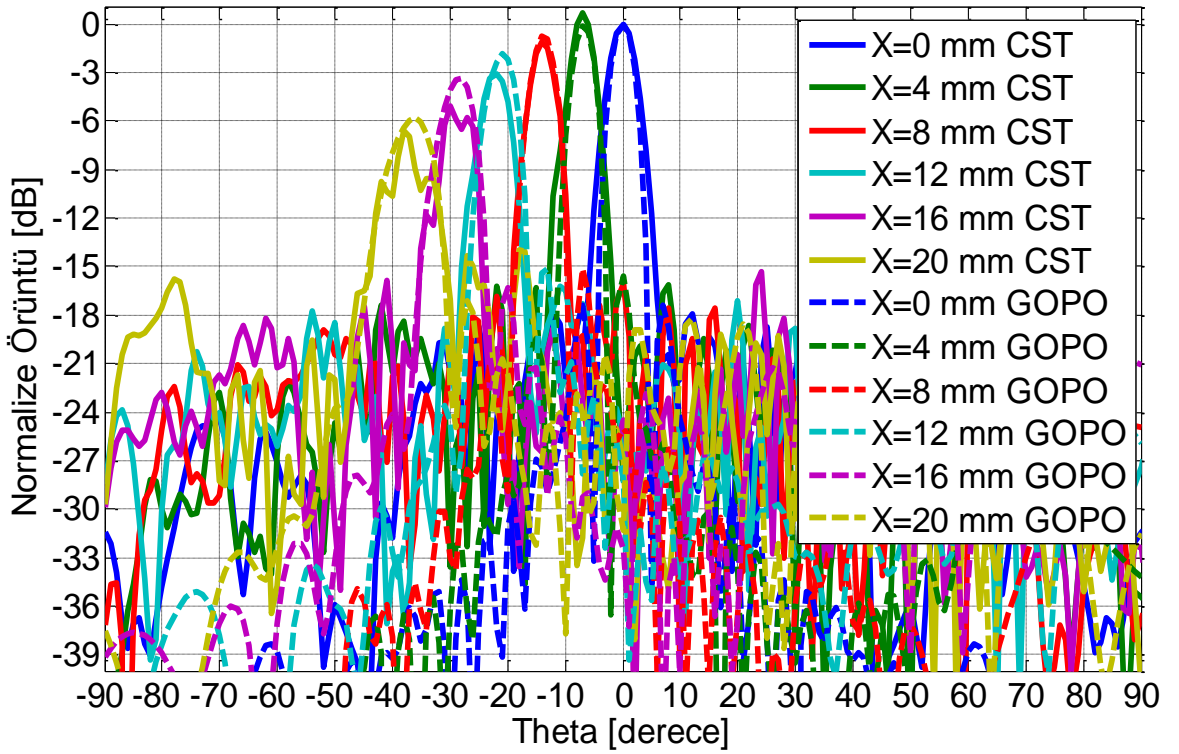


Şekil 3.37 Tasarım 6.2 'nin farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 10mm

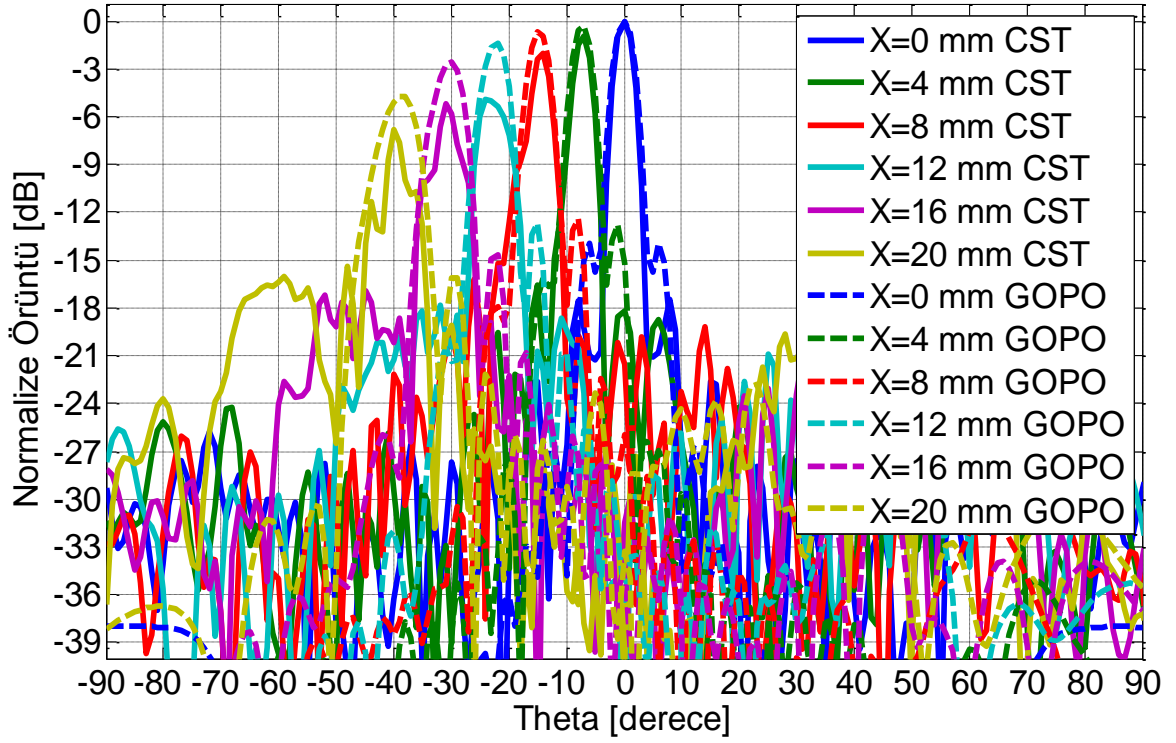


Şekil 3.38 Tasarım 6.3 'ün farklı besleme konumları için elde edilen verici mod ışınması
 (a) 0 mm (b) 1 mm (c) 2 mm (d) 4 mm (e) 15mm

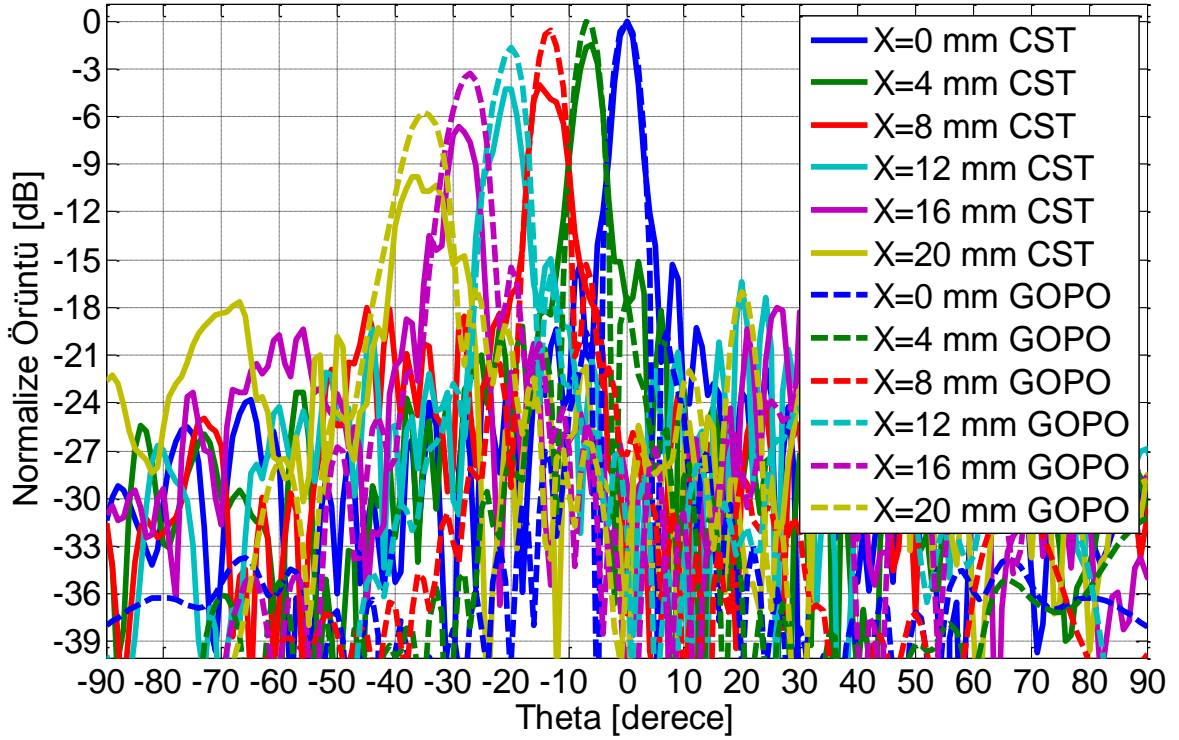
Şekil 3.39 ile 3.45 arasında önerilen büyük konfigurasyon üçlü lens anten tasarımlarının CST ve GO/PO ile simülasyonu yer almaktadır. Farklı besleme konumlarının huzme taramaya etkisi gösterilmiştir. Bu şekillerden tasarım 2.3' e ait üçlü lens anten önerilerinin hedef kriterlere daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Önerilen tasarımların performanslarını kıyaslamalı görmek amacıyla tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi, besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi ve tarama açısı ile tarama kaybının değişimi incelenmiştir. Bu değişimler Şekil 3.46 ile 3.48 arasında yer almaktadır. Bu değişimlere ait sayısal değerlere Çizelge 3.5' te yer verilmiştir.



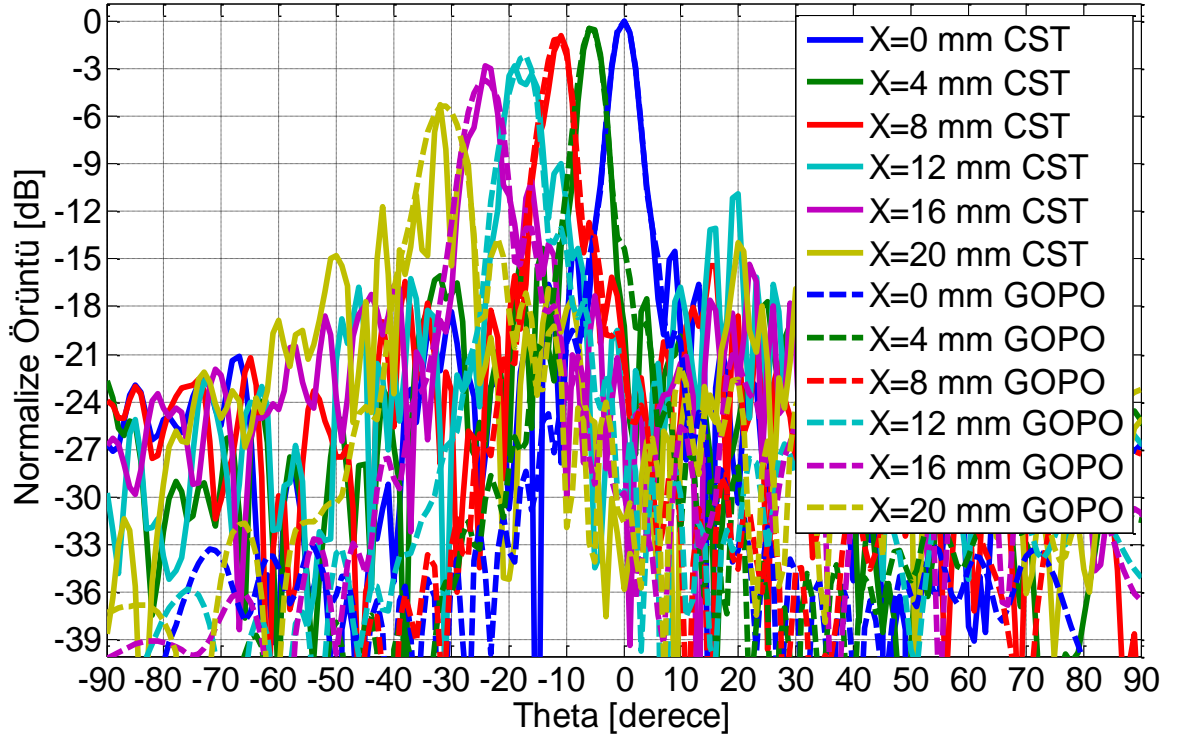
Şekil 3.39 Tasarım 2.2'nin huzme tarama performansı



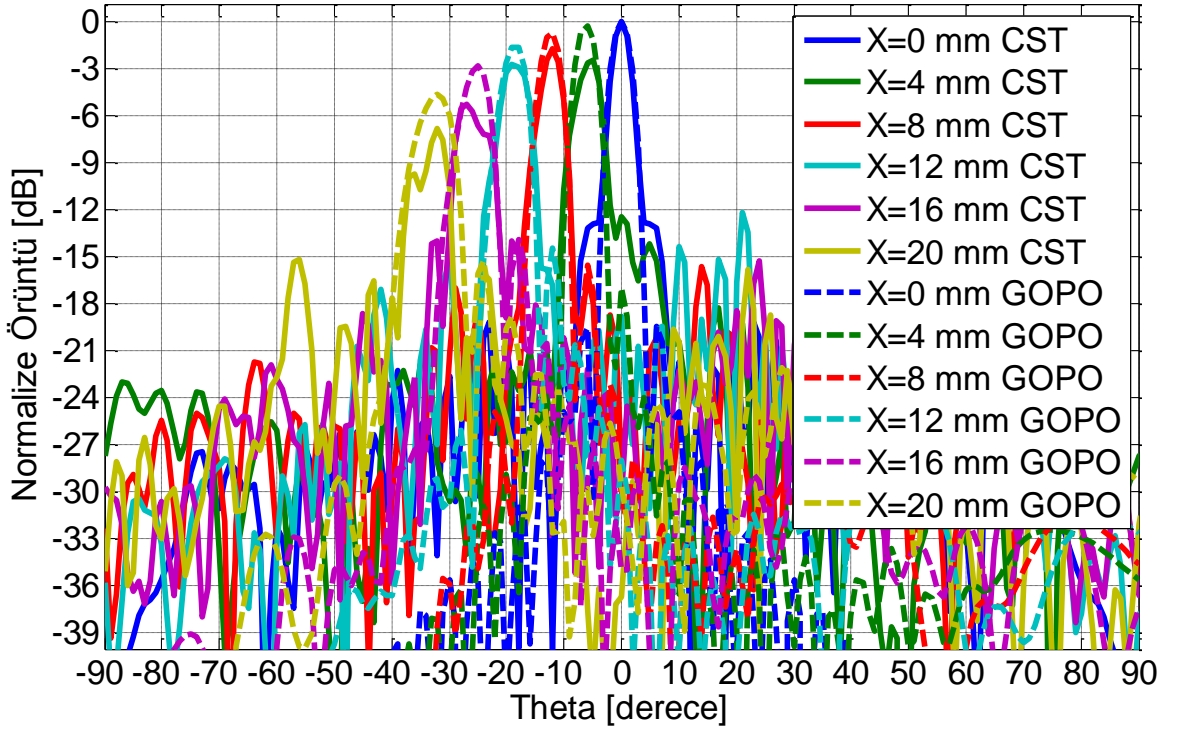
Şekil 3.40 Tasarım 2.3' ün huzme tarama performansı



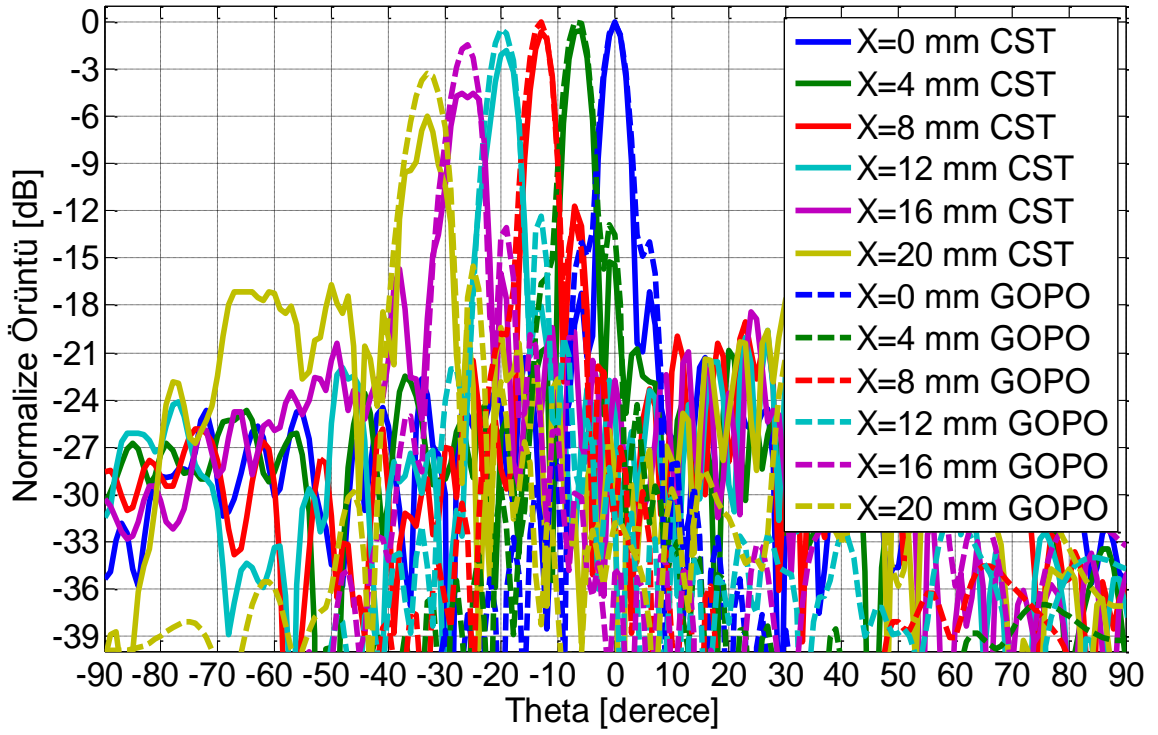
Şekil 3.41 Tasarım 2.4' ün huzme tarama performansı



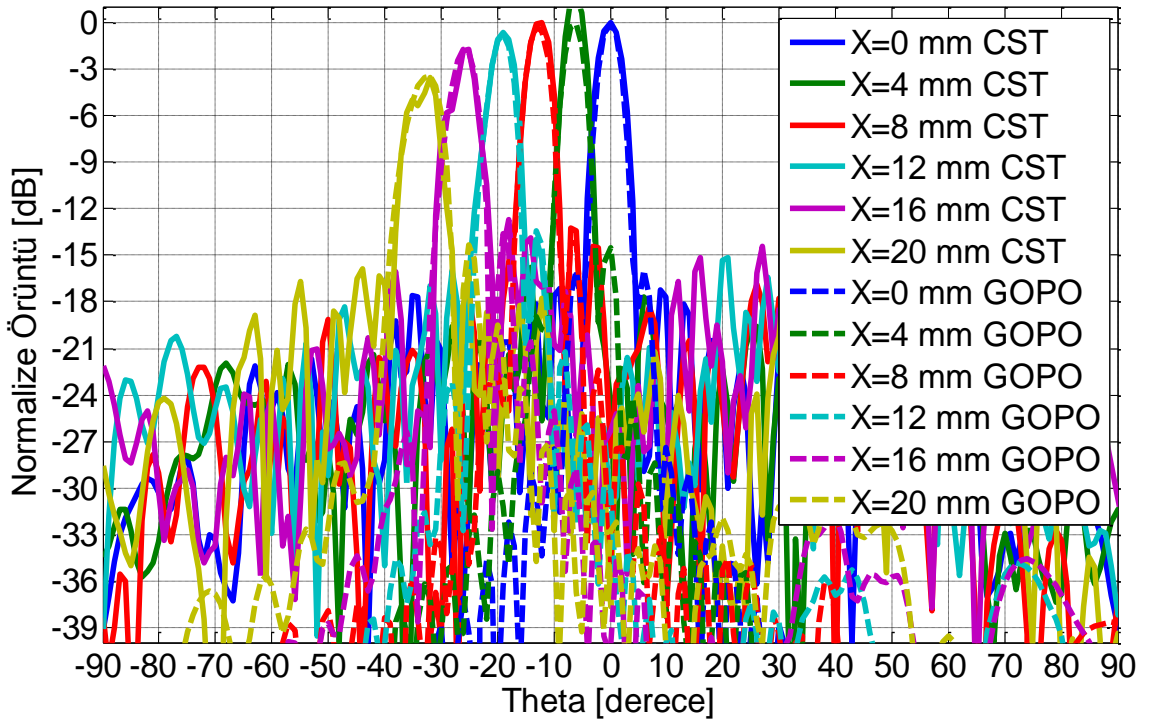
Şekil 3.42 Tasarım 5.3' ün huzme tarama performansı



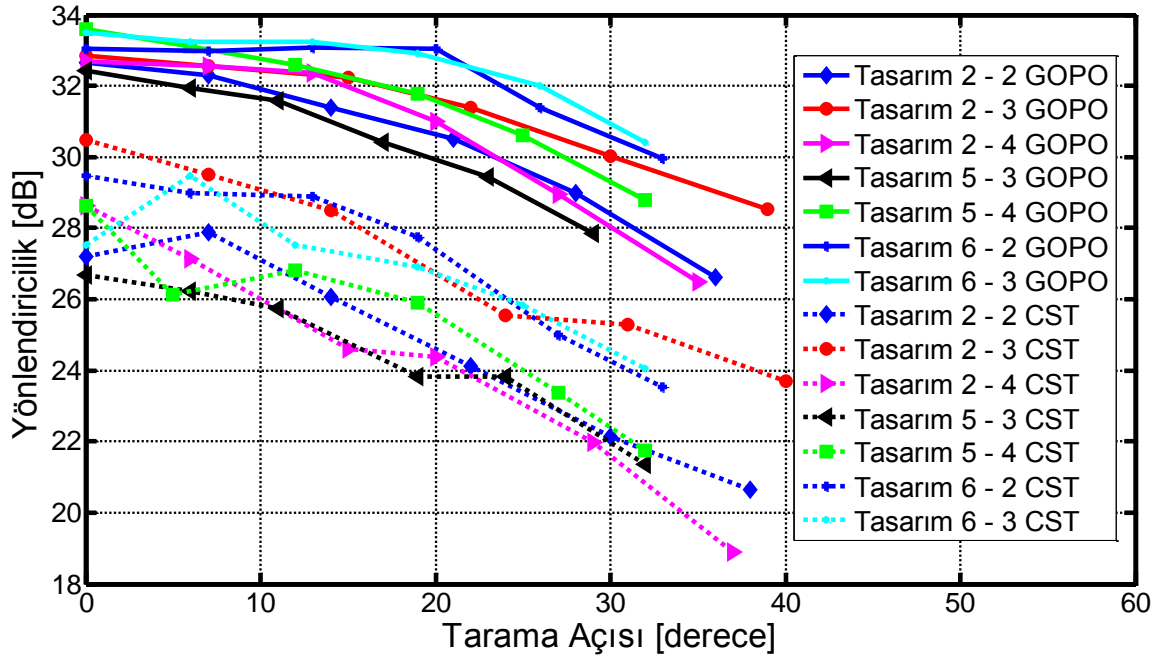
Şekil 3.43 Tasarım 5.4' ün huzme tarama performansı



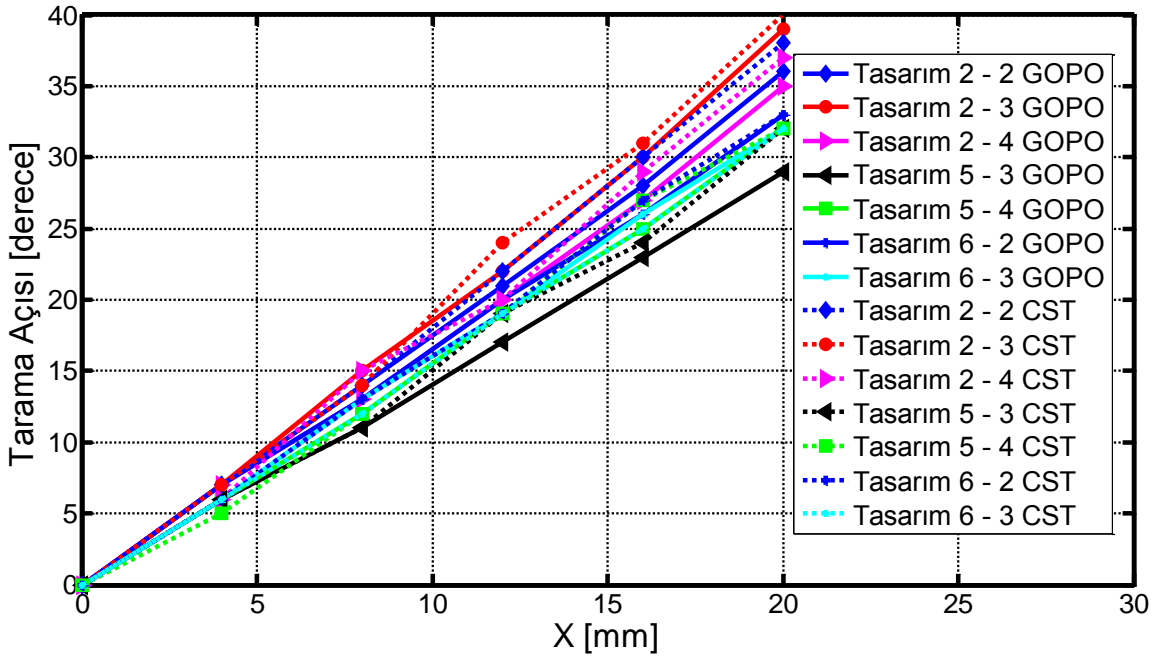
Şekil 3.44 Tasarım 6.2' nin huzme tarama performansı



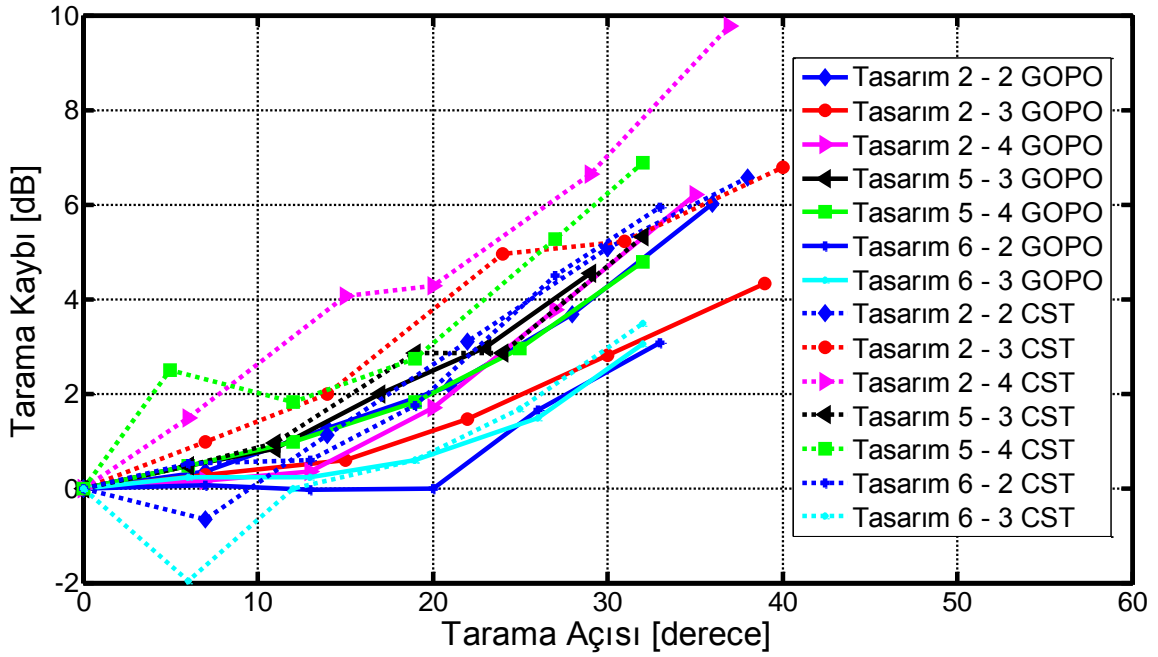
Şekil 3.45 Tasarım 6.3' ün huzme tarama performansı



Şekil 3.46 Büyük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile yönlendiriciliklerinin değişimi



Şekil 3.47 Büyük konfigurasyon için en iyi sonuç veren tasarımların besleme konumu ile tarama açısının ile değişimi



Şekil 3.48 Büyük konfigürasyon için en iyi sonuç veren tasarımların tarama açısı ile tarama kaybının değişimi

Çizelge 3.8 Şekil 3.48 ile 3.50' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri

GO/PO	Tasarım 2.2					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	32.65	32.29	31.39	30.50	28.98	26.63
Tarama Açısı [derece]	0	7	14	21	28	36
Tarama Kaybı [dB]	0	0.36	1.26	2.15	3.67	6.02
CST						
Yönlendiricilik [dB]	27.21	27.88	26.08	24.12	22.14	20.65
Tarama Açısı [derece]	0	7	14	22	30	38
Tarama Kaybı [dB]	0	-0.67	1.13	3.09	5.07	6.56

GO/PO	Tasarım 2.3					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	32.84	32.57	32.24	31.38	30.04	28.52
Tarama Açısı [derece]	0	7	15	22	30	39
Tarama Kaybı [dB]	0	0.27	0.6	1.46	2.8	4.32
CST						
Yönlendiricilik [dB]	30.49	29.52	28.49	25.55	25.28	23.70
Tarama Açısı [derece]	0	7	14	24	31	40
Tarama Kaybı [dB]	0	0.97	2	4.94	5.21	6.79

GO/PO	Tasarım 2.4					
	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	32.70	32.55	32.36	31	28.94	26.5
Tarama Açısı [derece]	0	7	13	20	27	35
Tarama Kaybı [dB]	0	0.15	0.34	1.70	3.76	6.2

Çizelge 3.9 Şekil 3.48 ile 3.50' de yer alan değişimlerin sayısal değerleri (devamı)

CST						
Yönlendiricilik [dB]	28.64	27.15	24.59	24.37	21.99	18.88
Tarama Açısı [derece]	0	6	15	20	29	37
Tarama Kaybı [dB]	0	1.49	4.05	4.27	6.65	9.76

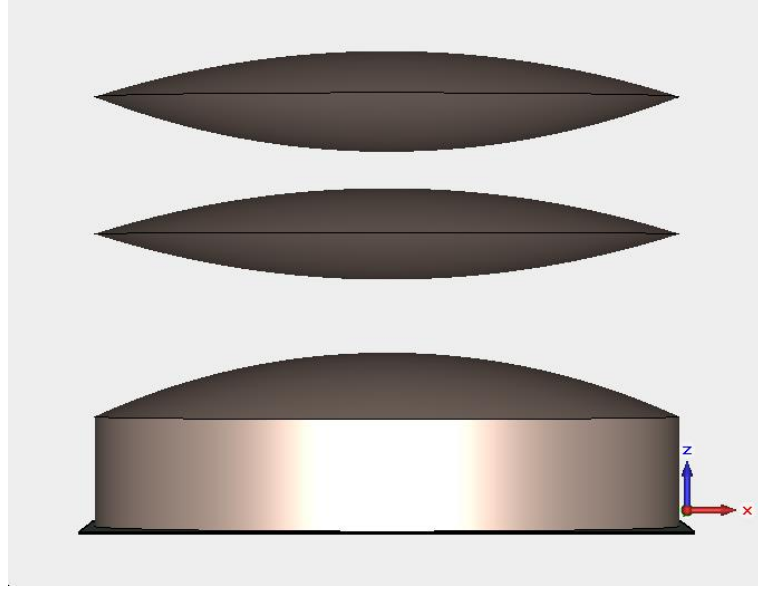
Tasarım 5.3						
GO/PO	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	32.41	31.93	31.58	30.41	29.43	27.86
Tarama Açısı [derece]	0	6	11	17	23	30
Tarama Kaybı [dB]	0	0.48	0.83	2	2.98	4.55
CST						
Yönlendiricilik [dB]	26.68	26.22	25.73	23.82	23.82	21.36
Tarama Açısı [derece]	0	6	11	19	24	32
Tarama Kaybı [dB]	0	0.46	0.95	2.86	2.86	5.32

Tasarım 5.4						
GO/PO	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	33.58	33.12	32.60	31.77	30.62	28.79
Tarama Açısı [derece]	0	6	12	19	25	33
Tarama Kaybı [dB]	0	0.46	0.98	1.81	2.96	4.79
CST						
Yönlendiricilik [dB]	28.63	26.13	26.82	25.89	23.37	21.76
Tarama Açısı [derece]	0	5	12	19	27	32
Tarama Kaybı [dB]	0	2.5	1.81	2.74	5.26	6.87

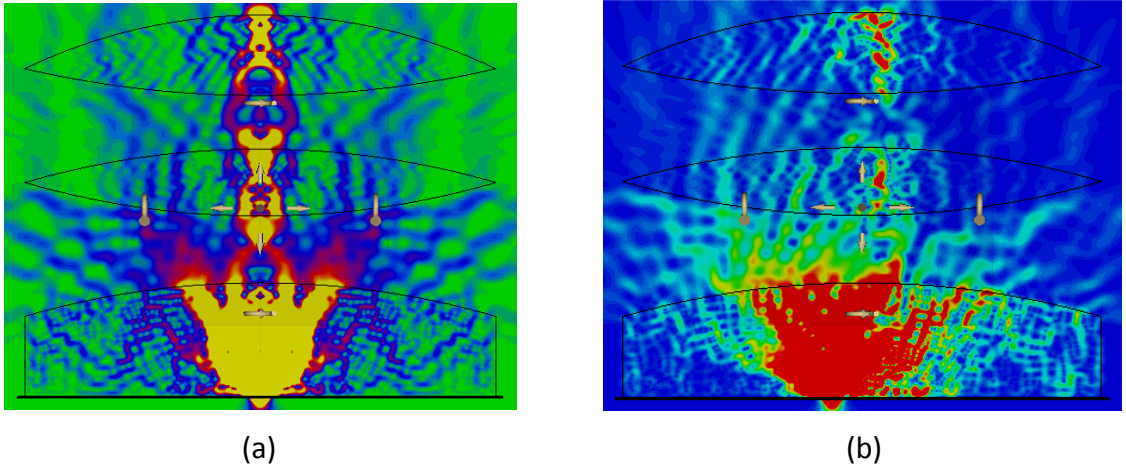
Tasarım 6.2						
GO/PO	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	33.03	32.97	33.07	33.05	31.38	29.96
Tarama Açısı [derece]	0	7	13	20	26	33
Tarama Kaybı [dB]	0	0.06	-0.04	-0.02	1.65	3.07
CST						
Yönlendiricilik [dB]	29.48	28.97	28.89	27.74	24.99	23.54
Tarama Açısı [derece]	0	6	13	19	27	33
Tarama Kaybı [dB]	0	0.51	0.59	1.74	4.49	5.94

Tasarım 6.3						
GO/PO	Besleme Konumları					
	X=0mm	X=4mm	X=8mm	X=12mm	X=16mm	X=20mm
Yönlendiricilik [dB]	33.49	33.25	33.25	32.91	32.01	30.43
Tarama Açısı [derece]	0	6	13	19	26	32
Tarama Kaybı [dB]	0	0.24	0.24	0.58	1.48	3.06
CST						
Yönlendiricilik [dB]	27.52	29.48	27.54	26.92	25.84	24.04
Tarama Açısı [derece]	0	6	12	19	25	32
Tarama Kaybı [dB]	0	-1.96	-0.02	0.6	1.68	3.48

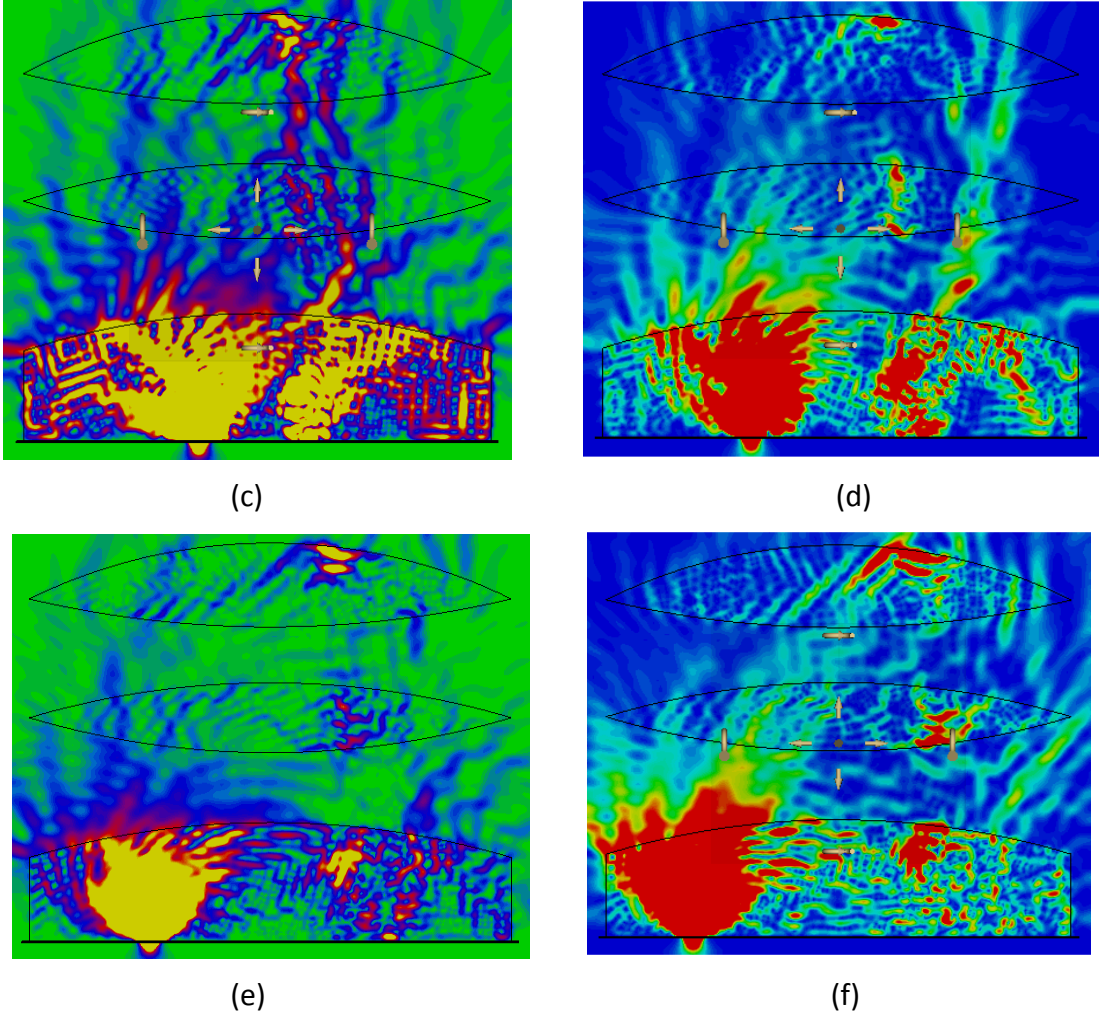
Besleme anteninden başlayarak iletilen gücün lens antenlerden geçişi en iyi tasarımlar için aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bu şekillerde besleme anteni çıkışından sonra yansımalar çok net şekilde görülmektedir. Kaynak kaydırıldıkça aynı lens içerisinde kritik açıdan büyük açılar ile gelen dalgalar besleme anteninin simetriğine yansır. Bu noktadaki yansımalar da simetrik bir kaynak gibi davranmaktadır. Yansımalar sebebiyle iletilen gücün tek bir noktaya odaklanamadığı, yansımaların bozucu etki yaptığı görülmektedir. Şekil 3.49' da Tasarım 2.4 için CST çizimi ve 3.50' de güç akışı yer almaktadır.



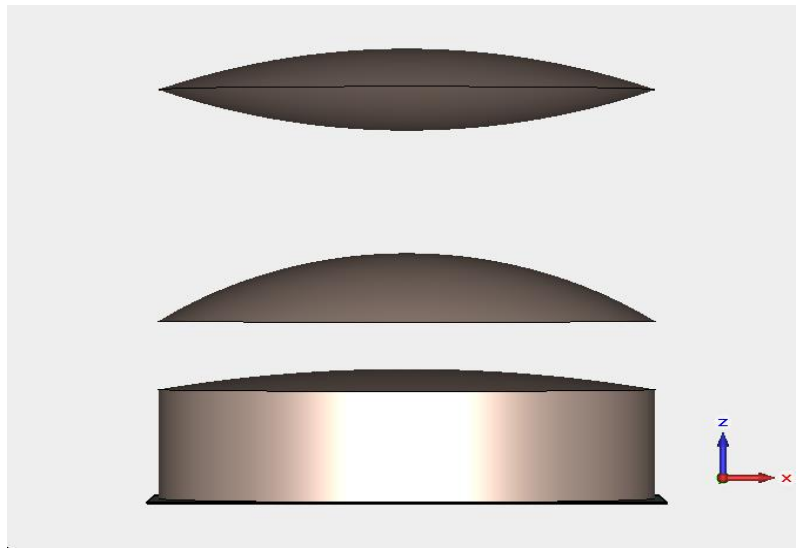
Şekil 3.49 Tasarım 2.4'ün CST modeli



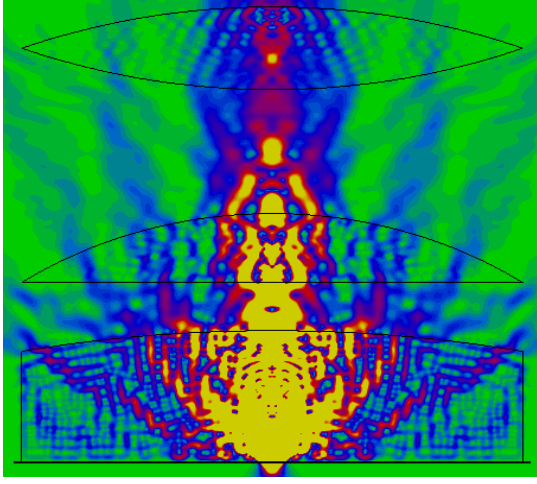
Şekil 3.50 Tasarım 2.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı
(a) X=0mm (b) X=4mm



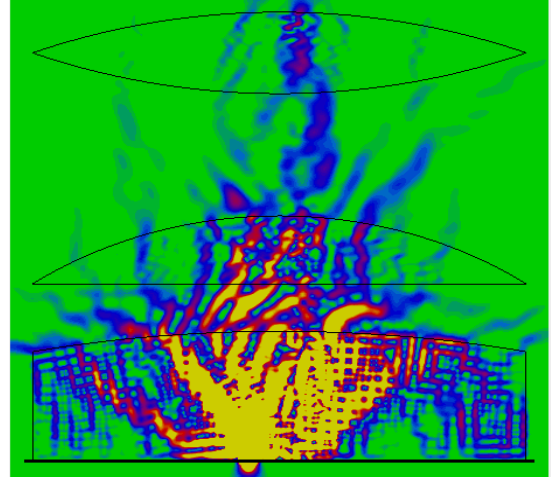
Şekil 3.50 Tasarım 2.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı
 (c) X=8mm (d) X=12mm (e) X=16mm (f) X=20mm (devamı)



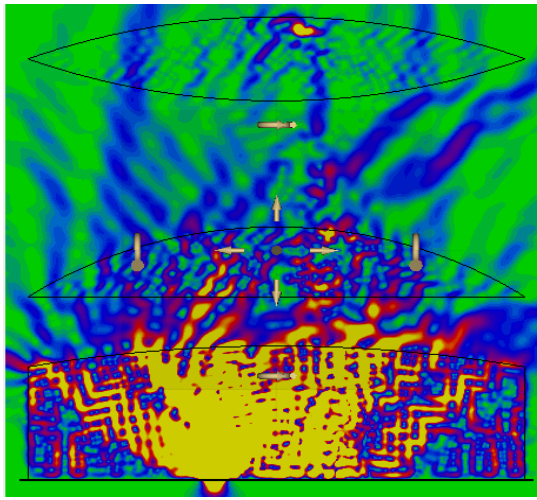
Şekil 3.51 Tasarım 5.4' ün CST modeli



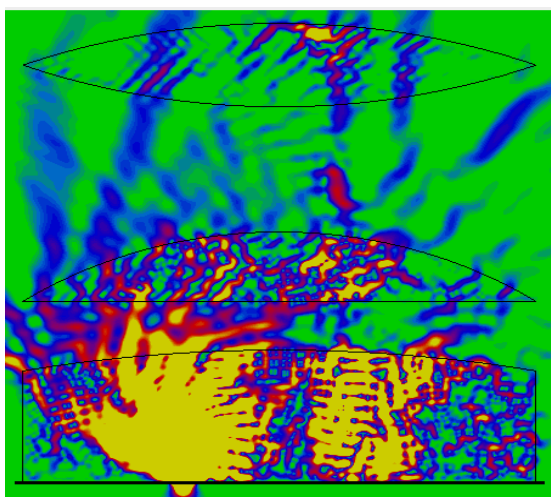
(a)



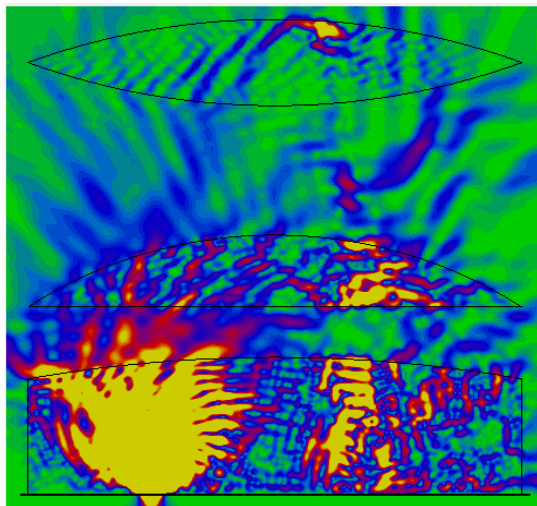
(b)



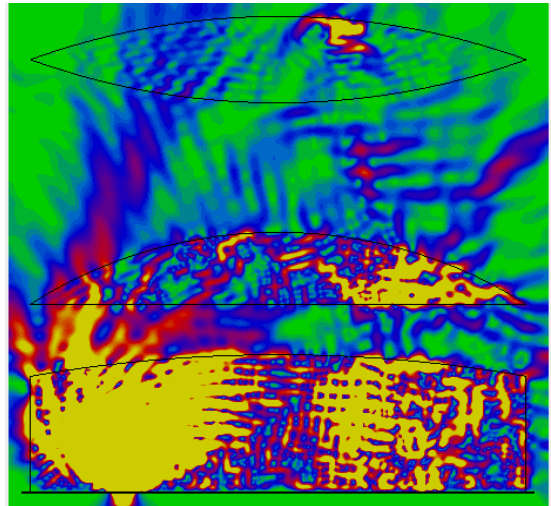
(c)



(d)

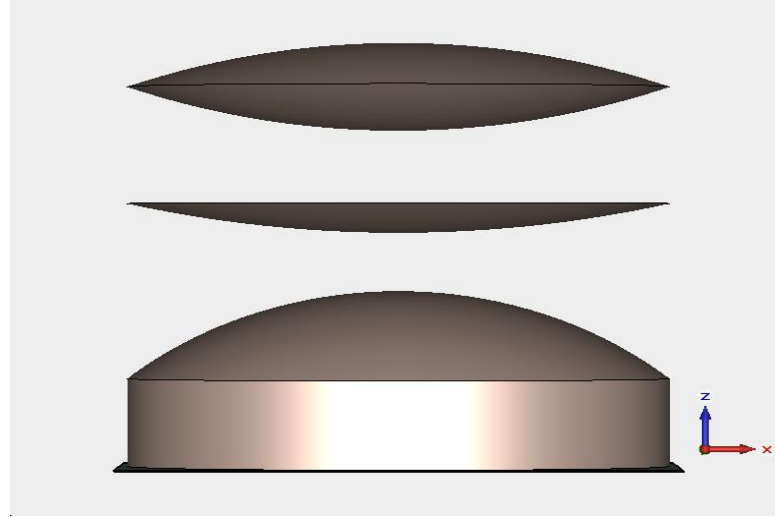


(e)

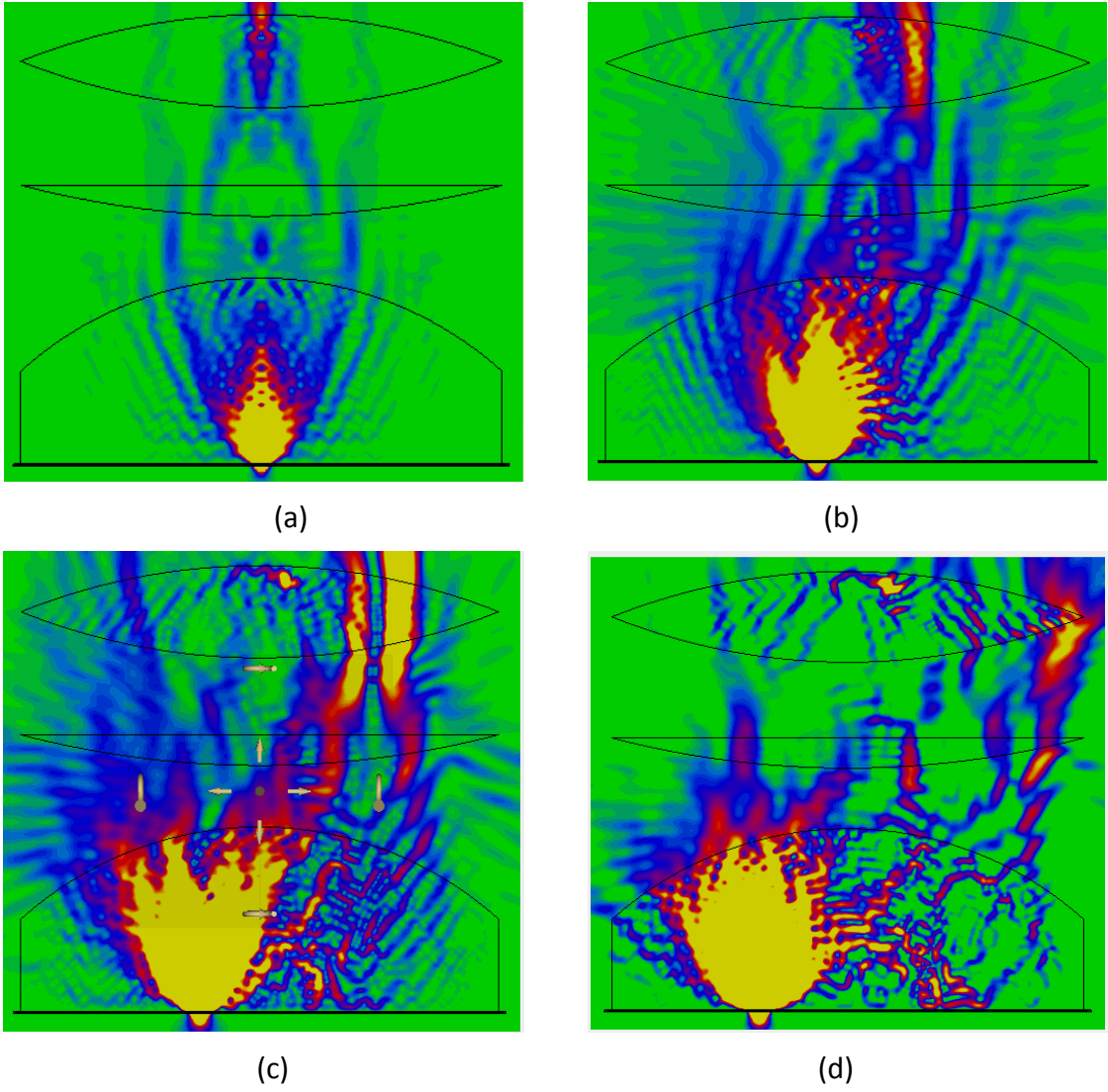


(f)

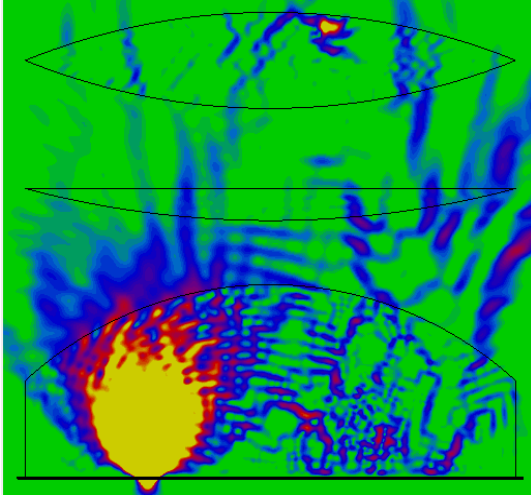
Şekil 3.52 Tasarım 5.4' ün farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı
(a) X=0mm (b) X=4mm (c) X=8mm (d) X=12mm (e) X=16mm (f) X=20mm



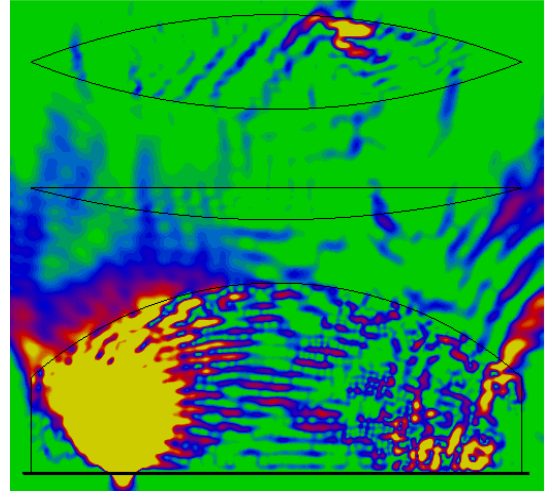
Şekil 3.53 Tasarım 6.2' nin CST modeli



Şekil 3.54 Tasarım 6.2' nin farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı
(a) X=0mm (b) X=4mm (c) X=8mm (d) X=12mm



(e)



(f)

Şekil 3.54 Tasarım 6.2' nin farklı konumlardan beslendiğinde elde edilen güç dağılımı
(e) X=16mm (f) X=20mm (devamı)

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında otomotiv radar uygulamalarında kullanılabilecek özelliklere sahip çoklu lensler incelenmiş, üçlü lens anten üzerine çalışılmıştır. Tasarlanan çoklu lens antenin sektördeki antenlere göre menzil, tarama açısı, boyut ve üretim kolaylığı açısından üstün olması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda literatür taraması yapılmış, seri üretimde olan sektördeki anten mimarileri incelenmiş ve tezin hedefi doğrultusunda yeni anten mimarileri tasarlanmıştır.

Lens anten mimarilerinin performans analizi ve ışına örüntülerini inceleyebilmek için GO/PO ve CST simülasyonları kullanılmıştır. Problem uzayının büyük olması sebebiyle çoklu lens antenlerin CST simülasyonları yüksek performanslı iş istasyonları ile dahi uzun sürmektedir. Bu sebeple her bir anten tasarımı için öncelikle GO/PO analizi yapılmıştır. GO/PO simülasyonları besleme anteninden iletilen dalgaların çoklu yansımalarını hesaba katmamaktadır. GO/PO analizi ile performansı incelenen antenlerden huzme tarama performansı yüksek olanlar ışın takibi ve CST ile doğrulanmaktadır. CST simülasyonları tam dalga analizi yapmak için, ışın takibi yöntemi ise lens anten mimarisinin odak noktasını bulmak ve ışının lens geçişlerindeki davranışını gözlemlemek için kullanılmıştır.

Anten mimarilerinde konveks, konkav, planoküresel ve planokonkav lensler kullanılmıştır. Lenslerin ikili kullanımları ile uzun menzil kapsamaları ve huzme tarama performansları kıstas alındığında tek lens kullanılan tasarımlara göre daha avantajlı sonuçlar üretmektedir [1]. [1]'de yarıküresel lens ile planoküresel lens $\Phi_1 = \Phi_2 = 32$ mm olmak üzere dielektrik katsayıları $\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 9$ ve $\Phi_1 = \Phi_2 = 64$ mm olmak üzere dielektrik katsayıları $\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$ olan iki adet ikili dielektrik lens anten tasarımı yapılmıştır. Küçük konfigürasyon için 32x32x26.5 mm boyutları ile x=0 mm'den

beslenildiğinde 22.7 dB'lik yönlendiricilik elde edilmiştir. Huzme taraması $x=8$ mm'den beslenildiğinde ise sadece 2 dB'lik bir azalma görülmektedir. Dielektrik katsayısının etkisini azaltmak için planoküresel lense $\lambda/4$ kalınlığında uydurma katmanı eklenmiştir. Böylece yan lob seviyeleri bastırılmış ve 30° ye kadar huzme tarama yapılabilmiştir. Büyük konfigürasyonda ise $64 \times 64 \times 64$ mm boyutlar ile $x=0$ mm'den beslenildiğinde 30.8 dB'lik yönlendiriciliği $x=18$ mm'de beslenildiğinde 30° ye kadar huzme tarama yaparak 4 dB kadar düşmektedir.

[1]'nin devamı olarak değerlendirilebilecek bu tezde tasarlanan üçlü lens antenlerde ise $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 32$ mm, $\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\epsilon_{r3} = 3.01$ dielektrik katsayılarına sahip 1 adet yarıküresel ve 2 adet konvex lensten oluşan, Tasarım 2.4 olarak isimlendirilen üçlü lens anten ile (R1=16; D1=5; F1=10; R2=16; D2=3; F2=20; R3=16; D3=2; F3=20; R4=16; D4=2; F4=28; R5=16; D5=1; F5=28) en iyi performans elde edilmiştir. Bu antenin boyutları ikili lens alternatifine oranla daha büyük olup $32 \times 32 \times 29$ mm boyutlarındadır. $X=0$ mm' den beslendiğindeki yönlendiriciliği 24.87 dB olup 30° ye 2 dB'den düşük bir tarama kaybıyla ışımaya yapabilmektedir. Büyük üçlü lens anten yapıları için yapılan analizde ($\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 64$ mm) en yüksek performans $\epsilon_{r1} = 3.01$, $\epsilon_{r2} = 3.01$, $\epsilon_{r3} = 3.01$ olan yarıküresel ve iki adet konvex lens ile Tasarım 2.3 olarak isimlendirilen yapıda (R1=32; D1=7; F1=12; R2=32; D2=5; F2=32; R3=32; D3=5; F3=32; R4=32; D4=6; F4=47; R5=32; D5=5; F5=47) elde edilmiştir. 30° ye huzme tarama 5.2 dB'lik tarama kaybıyla elde edilmektedir. Bu antenin boyutları $64 \times 64 \times 52$ mm olup $x=0$ mm' den beslendiğindeki yönlendiriciliği 30.49 dB' dir. Üçlü lens anten ile elde edilen en yüksek yönlendiricilik değerinin ikili lens anten ile elde edilen en yüksek yönlendiricilikten daha düşük olması sebebiyle, her ne kadar boyutu daha küçük olsa da, üretim zorluğu da göz önünde bulundurularak otomotiv radar anteni olarak ikili lens antenlerin kullanımı daha uygun görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Türker, N., (2014). Otomotiv Uygulamaları için Dielektrik Lens Anten Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] Meinel, H., (2014). "Evolving Automotive Radar - from the very beginnings into the future", The 8th European Conference on Antennas and Propagation, 6-11 Nisan 2014, Stuttgart.
- [3] ETSI TR 102 263, (2004). System Reference Document for automotive collision warning Short Range Radar, ETSI, II. Baskı, Sophia Antipolis.
- [4] ITU-R M.2057-0, (2014). Systems characteristics of automotive radars operating in the frequency band 76-81 GHz for intelligent transport systems applications, ITU-R, I. Baskı, Cenevre.
- [5] 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.
- [6] Thornton, J., Huang K., (2013). Modern Lens Antennas for Communications Engineering, IEEE Press, Piscataway.
- [7] 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.
- [8] Tang, C.H., (1975). "A Dual Lens Antenna for Limited Electronic Scanning", Wayland-USA, 117-20.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Menzel, W. ve Moebius, A., (2012). "Antenna Concepts for Millimeter-Wave Automotive radar Sensors", Proceedings of the IEEE, 100 (7): 2372-9.

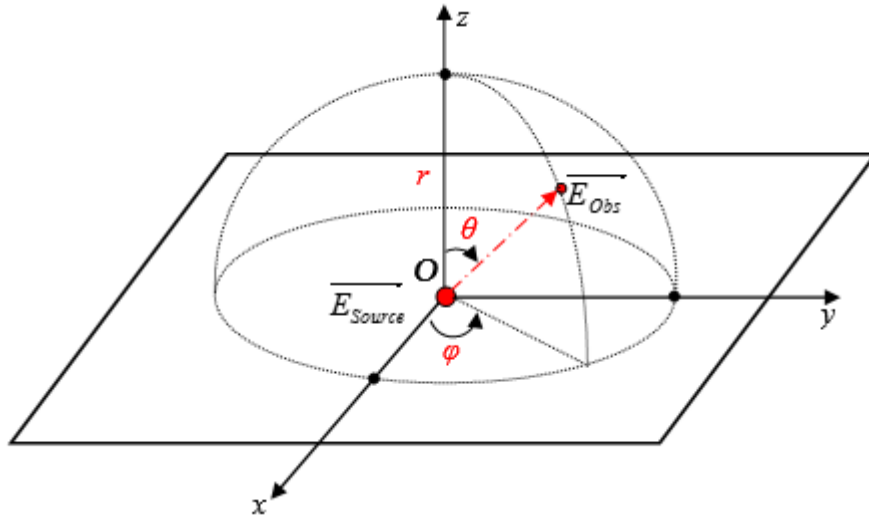
- [12] Porter, B. G., Rauth, L. L., Mura, J. R. ve Gearhart, S. S., (1999). "Dual-polarized slot-coupled patch antennas on Duroid with Teflon lenses for 76,5 GHz automotive radar systems", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 47 (12): 1836-1842.
- [13] Gresham, I., Jain N., Budka T., Alexanian 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Tang, C.H., (1975). "A Dual Lens Antenna for Limited Electronic Scanning", *Wayland-USA*, 117-20.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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*.

- [22] 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.
- [23] Tokan, N. T., (2013). "Performance of Vivaldi antennas in reflector feed applications", *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 9: 802–808.
- [24] Brown, R., (1956). "Dielectric bifocal lenses", *IRE International Convention Record*, 180-7.
- [25] 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.

GO/PO YÖNTEMİ

Elektromagnetik ışınların ilk kaynağı lens antenin boyutlarına oranla çok küçüktür. Bu oran sebebiyle besleme anteninin kaynağından gelen ışınlar noktasal kabul edilmektedir [20]. 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 ışımalarının uzaklığa bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. EK-A.1 numaralı formülde uzak alandaki elektromanyetik alan büyüklüğünün uzaklığa bağlı değeri görülmektedir.

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

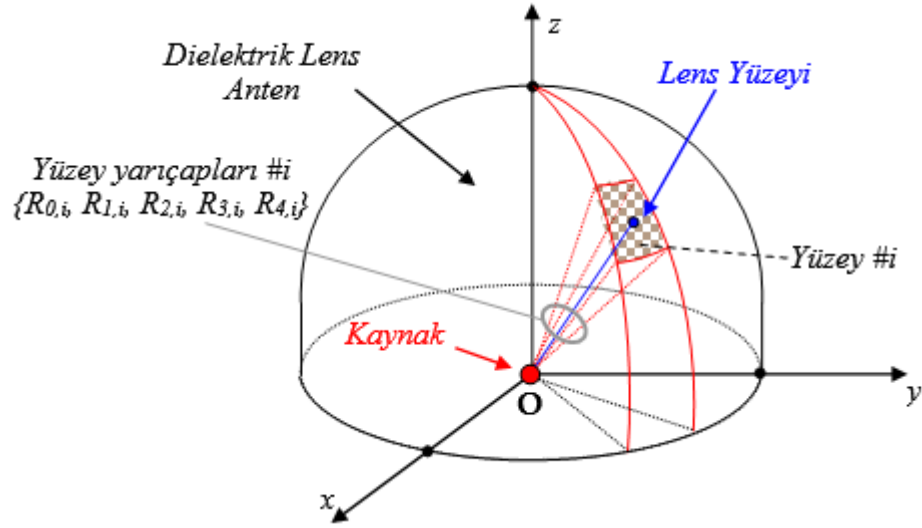


Şekil EK-A.1 Noktasal kaynağın elektrik alanı

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 [5].

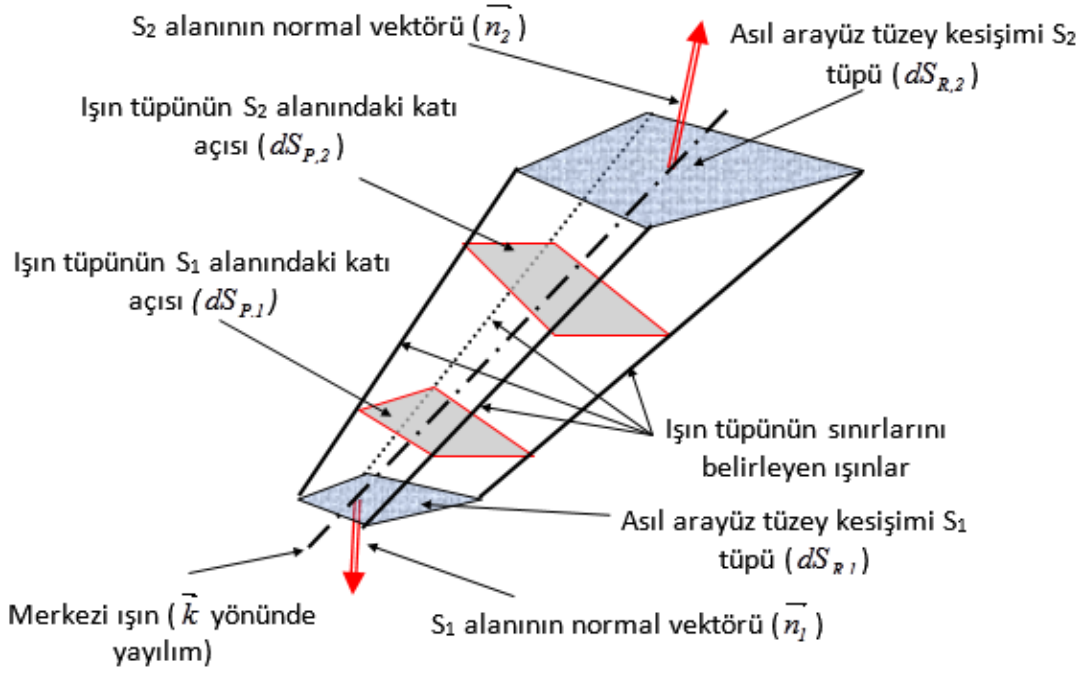


Şekil EK-A.2 Işın takip metodunun lens anten içerisinde gösterimi

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.

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

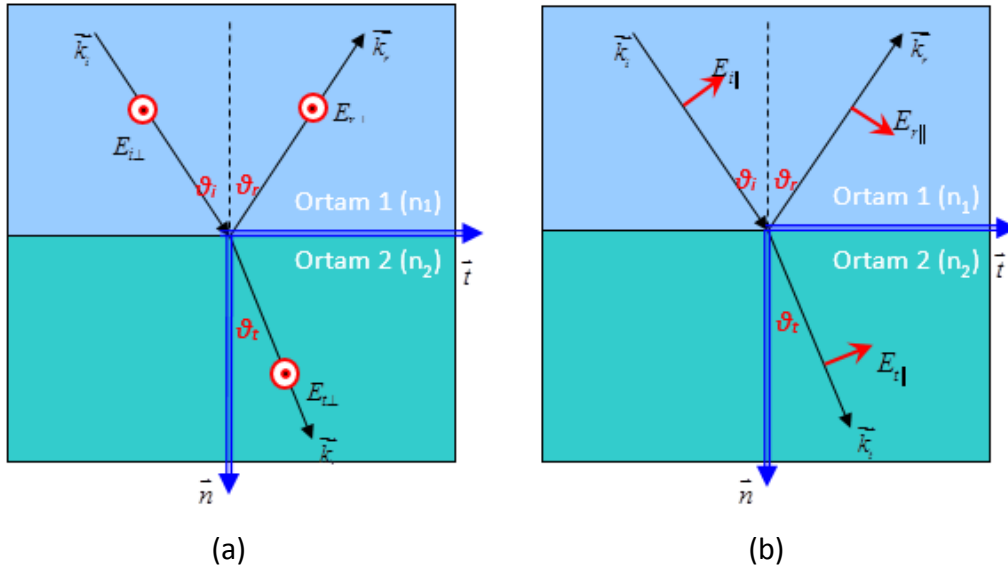
Kaynaktan çıkan ışın tüpleri Şekil EK-A.3' te görüldüğü gibi yayılmaktadır. Tekli lens antende faz merkezinden yapılan beslemede dalga faz farkı olmadan ilerleyecektir. Ancak çoklu lens antenlerde faz farkı da göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik alanın tekli lens antende faz merkezinden yapılan beslemelerdeki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



Şekil EK-A.3 S₁ and S₂ dielektrik alanlarında ışınların yayılımı

Lens anten içinde yayılan elektromanyetik dalganın Snell yasalarına uygun olarak ortam değişimi yapmaktadır [21]. Bu konuya dielektrik lens anten tasarımları bölümünde daha ayrıntılı değinilmiştir.

Lens antenin yüzeyine kadar yayılan elektromanyetik dalganın TE ve TM modu ayrı düşünülerek gelen Snell yasalarına göre kırılmaya uğrar [22]. Şekil EK-A.4' te görüldüğü gibi n ortamının normalidir 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.

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

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

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

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.

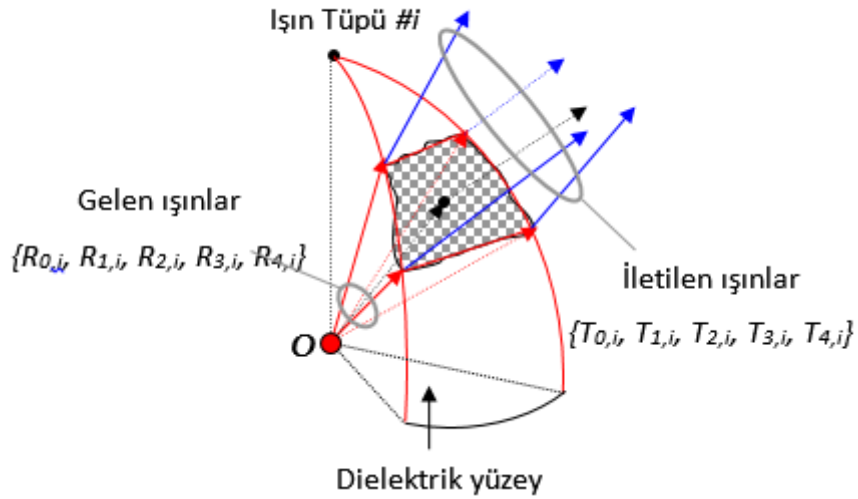
$$t_{\parallel} = \frac{2n_1 \cos(\theta_i)}{n_1 \cos(\theta_i) + n_2 \cos(\theta_t)} \quad (\text{EK-A.14})$$

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

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

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

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 ışınmasını 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

alanın hesaplanmasını sağlamaktadır [23]. Dielektrik antenin yüzeyine yapılan ışımada anten yüzeyindeki alan üzerinde dielektrik akımıyla gösterilir.

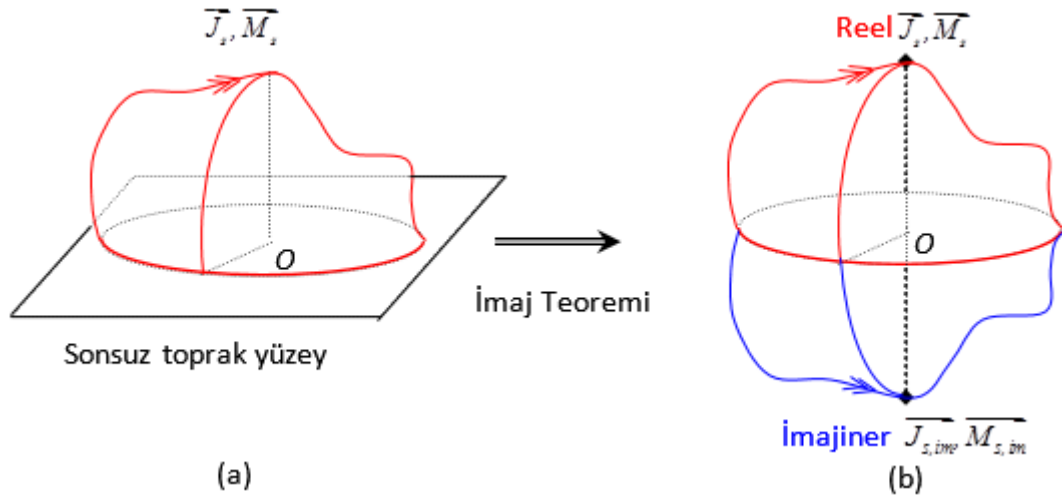
$$\vec{J}_s = \vec{n} \times \vec{H}_t \quad (\text{EK-A.18})$$

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

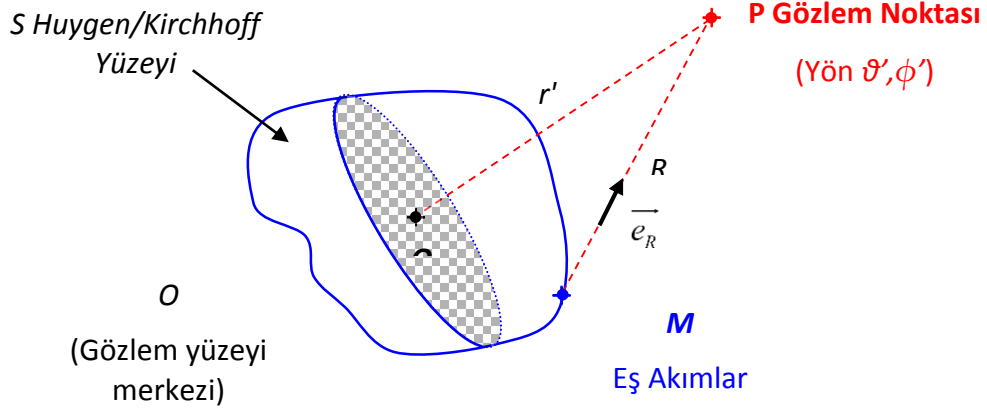
$$\vec{E} = \iint_s \vec{dE} \quad (\text{EK-A.20})$$

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

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 [24].



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



Şekil EK-A.7 İmaj yöntemi ve PO algoritması kullanılarak herhangi bir P noktasındaki elektrik alan ve magnetik alan ile formüle edilmesi [5].

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

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

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

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

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

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 ışınmasının elde edilmesine de PO (Physical Optics) denir. Her iki yöntemin beraber kullanılarak dielektrik lens antenlerin ışınma örüntülerinin elde edilmesinde kullanılan algoritmaya ise GO/PO algoritması denir [25]. Tam dalga simülasyonlarına göre tek dezavantajı ise lens anten içindeki ikinci ve üçüncü yansımaları hesaba katmadığı için normalden daha ideal sonuçlar üretmesidir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Baki SÖNMEZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.04.1989 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : bksnmz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Kabataş Erkek Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-Devam Ediyor	Şekerbank T.A.Ş.	BT Güvenlik Uzmanı
2011-2013	Türk Ekonomi Bankası	Bilgi Güvenliği Uzmanı

YAYINLARI

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.