

**EŐ AKILI IŞIMA ÖRÜNTÜSÜNE  
SAHİP YANSITICI DİZİ ANTEN  
TASARIMI VE MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Süleyman Köse**



**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Ankara, 2019



**EŞ AKILI IŞIMA ÖRÜNTÜSÜNE SAHİP YANSITICI DİZİ  
ANTEN TASARIMI VE MODELLENMESİ**

**DESIGN AND MODELING OF ISOFLUX  
REFLECTARRAY ANTENNA**

**SÜLEYMAN KÖSE**

**PROF. DR. ÖZLEM ÖZGÜN**

**Tez Danışmanı**

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

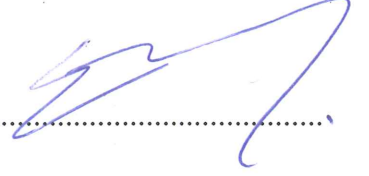
olarak hazırlanmıştır.

2019

SÜLEYMAN KÖSE'nin hazırladığı “Eş Akıllı Işıma Örüntüsüne Sahip Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı ve Modellenmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Erdem YAZGAN (TED Ü.)

Başkan



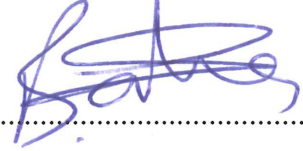
Prof. Dr. Özlem ÖZGÜN

Danışman



Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR

Üye



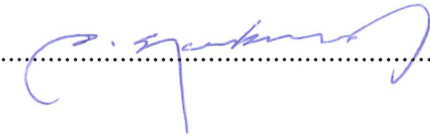
Prof. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL

Üye



Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ (Ankara Ü.)

Üye



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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserler bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünün kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/06/2019



İmza

SÜLEYMAN KÖSE


## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

25.06.2019  
 (İmza)  
SÜLEYMÂN KÖSE

## ÖZET

# EŞ AKILI IŞIMA ÖRÜNTÜSÜNE SAHİP YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI VE MODELLENMESİ

SÜLEYMAN KÖSE

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. ÖZLEM ÖZGÜN**

**Haziran 2019, 76 sayfa**

Uydu haberleşmesinde, ufuk çizgisine göre düşük yükselme açılarında hat bütçesinin sağlanabilmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanıma sahip olanı, eş akılı ışımaya örüntüsüne sahip antenlerin kullanılmasıdır. Bu antenler sayesinde herhangi bir anten yönlendirme mekanizması veya faz dizili antenlere ihtiyaç kalmadan yer istasyonu ile haberleşmek mümkün olmaktadır.

Yansıtıcı dizi antenler, parabolik yansıtıcılar ile dizi anten tekniklerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Bu sayede herhangi bir güç bölücü ya da faz kaydırıcı devresine ihtiyaç duymadan ana hüzmeye yönlendirmesi yapılabilmektedir. Ayrıca parabolik yansıtıcılara göre daha az hacim ve kütle sahiptirler.

Bu tez çalışması, farklı maksimum yükselme açılarında, eş akılı ışımaya örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten sisteminin parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanarak tasarımını amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler: eş akılı ışımaya örüntüsü, yansıtıcı dizi anten, parçacık sürü optimizasyonu, şekillendirilmiş hüzmeye**

## **ABSTRACT**

# **DESIGN AND MODELING OF ISOFLUX REFLECTARRAY ANTENNA**

**SÜLEYMAN KÖSE**

**Supervisor: Prof. Dr. ÖZLEM ÖZGÜN**

**June 2019, 76 pages**

In satellite communication, there are various methods for providing link budget at low elevation angles relative to the horizon line. The most widely used of them is the use of antennas with isoflux radiation pattern. In this way, it is possible to communicate with the ground station without the need for any antenna pointing electromechanical system or phased array antenna.

Reflectarray antennas consist of a combination of parabolic reflectors and array antenna techniques. In this way, the main beam orientation can be made without the need for any power divider or phase shifter network. They also have less volume and mass compared to parabolic reflectors.

This thesis aims to design reflectarray antenna system with particle swarm optimization algorithm with isoflux radiation pattern at different maximum elevation angles.

**Keywords: Isoflux radiation pattern, reflectarray antenna, particle swarm optimization, contoured beam**



## TEŞEKKÜR

Tez alıőmam boyunca beni ynlendiren ve destekleyen tez danışmanım Prof. Dr. zlem ZGÜN'e,

Katılımları, grőleri ve nerileri için değerli savunma sınavı jüri üyelerime,

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan sevgili anneme, babama ve kardeőlerime,

Tez çalışmam süresince bana destek olan değerli iő arkadaőlarım Dr. Volkan AKAN'a, Dr. Orçun KİRİŐ'e ve Mikrodalga ve Anten Sistemleri grup arkadaőlarıma,

Teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez alıőması, 71150800 (YADAS) projesi kapsamında TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (TÜBİTAK UZAY) tarafından desteklenmiőtir.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER .....	vi
SİMEGELER ve KISALTMALAR .....	xi
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Yansıtıcı Dizi Antenler .....	1
1.2 Yansıtıcı Dizi Anten Çeşitleri .....	5
1.3 Şekillendirilmiş Hüzmeli Yansıtıcı Dizi Antenler .....	7
1.4 Tezin Hedefleri Ve Tez Organizasyonu .....	9
2 EŞ AKILI IŞIMA ÖRÜNTÜLÜ YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI .....	10
2.1 Eş Akılı Işıma Örüntüsü .....	10
2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması .....	12
2.3 Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı .....	14
2.3.1 Besleme Anteni Modeli .....	14
2.3.2 PSO Yöntemiyle Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı .....	16
3 BENZETİM SONUÇLARI (PSO) .....	22
3.1 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları .....	22
3.2 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları .....	27
3.3 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları .....	33
3.4 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları .....	38
4 BENZETİM SONUÇLARI (CST) .....	43
4.1 Birim Hücre Elemanı Modeli ve Benzetimi .....	43
4.2 Yansıtıcı Dizi Anten Benzetim Çalışmaları .....	46

4.2.1	Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları	46
4.2.2	Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları	52
4.2.3	Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları	58
4.2.4	Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları	64
5	SONUÇLAR.....	71
6	KAYNAKLAR.....	73

## ŞEKİLLER

Şekil 1 Yansıtıcı dizi anten yapısı [3].....	1
Şekil 2 Çeşitli birim hücre elemanları, a) Değişken faz geciktirme hat uzunluğuna sahip yamalar, b) Değişken boyutlu dipol ve halkalar, c) değişken boyutlu yamalar, d) değişken açılı yerleştirilmiş yamalar [3].....	2
Şekil 3 Değişken uzunluklu gecikme hatlarına sahip baskı yama elemanlı yansıtıcı dizi anten [3].....	3
Şekil 4 Yansıtıcı dizi antenin uzamsal faz gecikme farkı [3] .....	4
Şekil 5 C, X ve Ka bandı için geliştirilen tek katmanlı yansıtıcı dizi anten sistemi [19].	6
Şekil 6 ISARA projesinde yapıyı planlanan güneş paneline entegre yansıtıcı dizi anten sistemi [20] .....	6
Şekil 7 Çok katlı yansıtıcı dizi: hesaplanan ve ölçülen örüntü [13] .....	7
Şekil 8 Eş akılı ışınma örüntüsü [28].....	10
Şekil 9 Eş akılı ışınma örüntüsü koordinat sistemi.....	11
Şekil 10 PSO akış diyagramı .....	14
Şekil 11 Besleme boynuz anteni benzetim modeli .....	15
Şekil 12 Besleme boynuz anteni normalize ışınma örüntüsü karşılaştırması .....	16
Şekil 13 Yansıtıcı dizi anten sistemi için optimize edilecek elemanların temsili gösterimi .....	17
Şekil 14 Dizi teorisi yaklaşımında kullanılan koordinat sistemi [37].....	18
Şekil 15 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için istenilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü.....	22
Şekil 16 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için istenilen $\phi = 0^\circ$ düzleminde normalize ışınma örüntüsü .....	23
Şekil 17 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için elde edilen optimize faz değerleri.....	23
Şekil 18 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için elde edilen hata fonksiyonu değerleri .....	24
Şekil 19 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü.....	24
Şekil 20 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü.....	25
Şekil 21 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü ..	25
Şekil 22 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü ..	26
Şekil 23 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü ..	26
Şekil 24 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\theta = 30^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü...	27
Şekil 25 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için istenilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü.....	28
Şekil 26 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için istenilen $\phi = 0^\circ$ düzleminde normalize ışınma örüntüsü .....	28
Şekil 27 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için elde edilen optimize faz değerleri.....	29

Şekil 28 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için elde edilen hata fonksiyonu değerleri .....	29
Şekil 29 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü .....	30
Şekil 30 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü .....	30
Şekil 31 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	31
Şekil 32 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	31
Şekil 33 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	32
Şekil 34 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\theta = 40^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü...	32
Şekil 35 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için istenilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü .....	33
Şekil 36 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için istenilen $\phi = 0^\circ$ düzleminde normalize ışına örüntüsü .....	33
Şekil 37 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için elde edilen optimize faz değerleri .....	34
Şekil 38 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için elde edilen hata fonksiyonu değerleri .....	34
Şekil 39 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü .....	35
Şekil 40 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ....	35
Şekil 41 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	36
Şekil 42 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	36
Şekil 43 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	37
Şekil 44 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\theta = 50^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü...	37
Şekil 45 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için istenilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü .....	38
Şekil 46 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için istenilen $\phi = 0^\circ$ düzleminde normalize ışına örüntüsü .....	38
Şekil 47 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için elde edilen optimize faz değerleri .....	39
Şekil 48 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için elde edilen hata fonksiyonu değerleri .....	39
Şekil 49 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü .....	40
Şekil 50 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ....	40
Şekil 51 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	41
Şekil 52 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	41
Şekil 53 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü ..	42
Şekil 54 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\theta = 60^\circ$ düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü...	42
Şekil 55 Kare yama birim hücre elemanı CST modeli .....	43
Şekil 56 Sonsuz elemanlı dizi yöntemi: (a) Benzetim ortamı, (b) Floquet port ve periyodik sınır koşulları .....	44
Şekil 57 Kare yama birim hücre elemanı için elde edilen genlik dağılımı .....	45
Şekil 58 Kare yama birim hücre elemanı için elde edilen faz dağılımı .....	45

Şekil 59 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi	47
Şekil 60 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi	47
Şekil 61 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu ışına örüntüsü	48
Şekil 62 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	48
Şekil 63 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	49
Şekil 64 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	49
Şekil 65 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	50
Şekil 66 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 60^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	50
Şekil 67 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 75^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	51
Şekil 68 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\phi = 90^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	51
Şekil 69 $\theta_{iso} = 30^\circ$ için $\theta = 30^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü	52
Şekil 70 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi	53
Şekil 71 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi	53
Şekil 72 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu ışına örüntüsü	54
Şekil 73 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	54
Şekil 74 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	55
Şekil 75 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	55
Şekil 76 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	56
Şekil 77 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 60^\circ$ düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması	56

Şekil 78 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 75^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	57
Şekil 79 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\phi = 90^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	57
Şekil 80 $\theta_{iso} = 40^\circ$ için $\theta = 40^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü.....	58
Şekil 81 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi	59
Şekil 82 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi.....	59
Şekil 83 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu ışıma örüntüsü.....	60
Şekil 84 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	60
Şekil 85 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	61
Şekil 86 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	61
Şekil 87 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	62
Şekil 88 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 60^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	62
Şekil 89 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 75^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	63
Şekil 90 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\phi = 90^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	63
Şekil 91 $\theta_{iso} = 50^\circ$ için $\theta = 50^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü.....	64
Şekil 92 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi	65
Şekil 93 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi.....	65
Şekil 94 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için elde edilen 3-boyutlu ışıma örüntüsü.....	66
Şekil 95 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 0^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	66
Şekil 96 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 15^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	67

Şekil 97 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 30^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	67
Şekil 98 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 45^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	68
Şekil 99 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 60^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	68
Şekil 100 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 75^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	69
Şekil 101 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\phi = 90^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması	69
Şekil 102 $\theta_{iso} = 60^\circ$ için $\theta = 60^\circ$ düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü.....	70



## SİMEGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

$v$	Hız vektörü
$x$	Konum vektörü
$w$	Eylemsizlik faktörü
$c_1$	Bilişsel hızlanma katsayısı
$c_2$	Sosyal hızlanma katsayısı
$pbest$	Kişisel en iyi konum
$gbest$	Küresel en iyi konum
$r_{1,2}$	Rastgele sayılar
$k$	İterasyon sayısı
$P^F$	Besleme anteni güç ışıma örüntüsü
$q, q_f, q_e$	Işıma örüntüsü model katsayıları
$\theta_F$	Besleme anteni yükselme açısı
$\phi_F$	Besleme anteni azimut açısı
$E$	Elektriksel alan şiddeti
$\theta$	Yükselme açısı
$\phi$	Azimut açısı
$M, N$	$x$ - ve $y$ - düzlemlerindeki maksimum eleman sayıları
$\vec{r}_{mn}$	Birim hücre elemanının anten merkezine olan uzaklık vektörü
$\vec{r}_f$	Besleme anteninin anten merkezine olan uzaklık vektörü
$\hat{u}$	Gözlem yönü
$\phi_{mn}$	Birim hücre elemanının faz değeri
$D$	Anten yönlülük değeri

$G$	İstenilen ışma örüntüsü
$f$	Fark değeri
$H$	Hata değeri
$w_{min}, w_{max}$	Minimum ve maksimum eylemsizlik faktörü
$c_{1,2i}, c_{1,2f}$	Minimum ve maksimum hızlanma katsayıları
$mk$	Maksimum iterasyon sayısı

### **Kısaltmalar**

BHE	Birim Hücre Elemanı
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
GEO	Eşzamanlı Uydu Yörüngesi
LEO	Alçak Uydu Yörüngesi

# 1 GİRİŞ

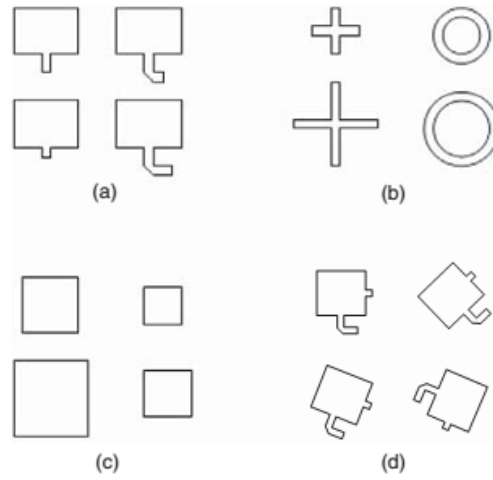
## 1.1 Yansıtıcı Dizi Antenler

Yansıtıcı dizi anten yapısı, düz veya hafif kavisli bir yansıtıcı yüzey ve bu yüzeyi aydınlatan bir besleme anteninden oluşmaktadır [1], [2]. Yansıtıcı yüzey üzerinde geri yansıma yapabilecek çeşitli elemanlar (mikroşerit yamalar, dipoller, halkalar veya açık-uçlu dalga kılavuzları, vb.) herhangi bir güç bölücü devresine ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir. Uzak alanda, düzlemsel faz yüzeyi oluşturabilmek için önceden tasarlanan bütün geri yansıtıcı elemanlar, besleme anteni ile aydınlatılmaktadır. Diğer bir deyişle, elemanların besleme antenine olan uzaklıklarının farklılıklar göstermesi nedeniyle, bu durumu toparlayabilmek için bütün elemanların faz değerlerinin önceden ayarlanması gerekmektedir. Bu işlem parabolik yansıtıcının odak noktasına yerleştirilen besleme anteni ile parabolik yansıtıcının kavisli yüzeyinden geri yansıtmaya ve düzlemsel faz yüzeyini oluşturmaya benzerdir. Bundan dolayı da “düz yansıtıcı” terimi, yansıtıcı ve dizi anten teknolojisinin birleşimini belirtmek amacıyla yansıtıcı dizi anten ifadesi yerine kullanılmaktadır. Şekil 1’de yansıtıcı dizi anten yapısı gösterilmektedir.



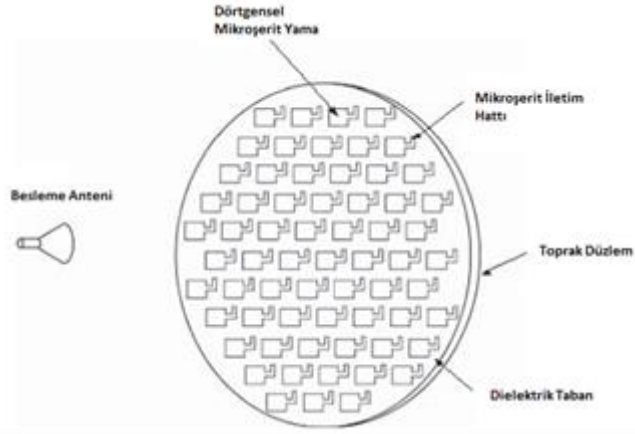
Şekil 1 Yansıtıcı dizi anten yapısı [3]

Düzlemsel faz yüzeyi, Şekil 2’de gösterilen farklı elemanlar kullanılarak elde edilebilmektedir. Bunlardan biri mikroşerit yamalara değişken uzunlukta faz geciktirici hatlar eklenmesidir [4], [5]. Bu sayede besleme antenine farklı uzaklıklarda bulunan elemanların faz değerleri dengelenebilmektedir. Diğer bir yöntemde ise faz değerlerini dengelemek için yama, halka ya da dipol gibi elemanların boyutlarının değiştirilerek kullanılmasıdır [6]–[8]. Başka bir yöntemde ise dairesel kutuplamalı yansıtıcı dizi antenlerde faz değişimlerinin elde edilebilmesi için farklı açılarda döndürülmesidir [9].



**Şekil 2 Çeşitli birim hücre elemanları, a) Değişken faz geciktirme hat uzunluğuna sahip yamalar, b) Değişken boyutlu dipol ve halkalar, c) değişken boyutlu yamalar, d) değişken açılı yerleştirilmiş yamalar [3]**

Mikroşerit teknolojisi ile oluşturulan yansıtıcı dizi antenler, düşük kütle, hacim, profil ve üretim maliyeti gözetilerek geliştirilmiştir. Mikroşerit yamalara değişken uzunluklarda gecikme hattı eklenerek oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi Şekil 3’de görülmektedir. Yansıtıcı dizi anten sistemi, parabolik yansıtıcı ile mikroşerit dizi anten teknolojilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Avantaj ve dezavantajları aşağıdaki kısımlarda açıklanmaktadır.



**Şekil 3 Değişken uzunluklu gecikme hatlarına sahip baskı yama elemanlı yansıtıcı dizi anten [3]**

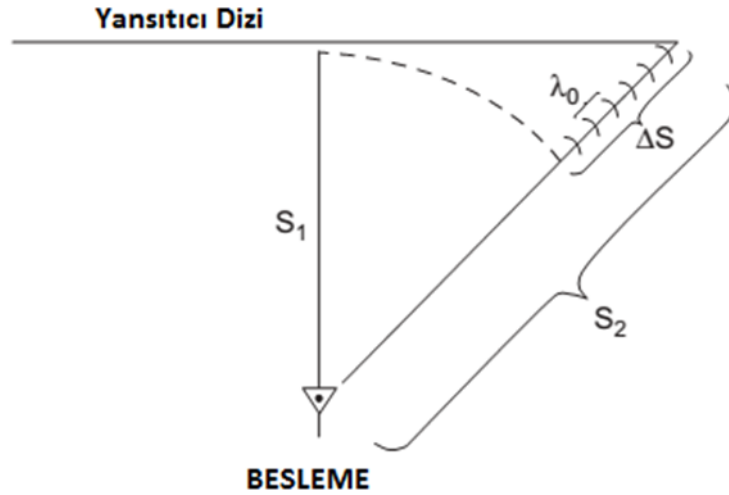
Parabolik yansıtıcılar gibi yansıtıcı diziler, herhangi bir güç bölücü devresine gerek olmadan, düşük bir rezistif uygulama kaybı ve iyi bir verimlilikle oluşturulabilmektedir. Ayrıca dizi antenlerde olduğu gibi, ana hüzmeye istenilen açıya göre yönlendirilebilmektedir. Düşük kayıplı faz geciktiriciler kullanılarak elektronik olarak hüzmeye tarama işlemi gerçekleştirilebilmektedir [10], [11]. Bu sayede yansıtıcı dizi antenlerde, faz dizili antenlerdeki yüksek maliyetli alıcı/verici yükselteçlere ve hüzmeye şekillendirme devrelerine olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır.

Yansıtıcı dizi antenlerde göze çarpan önemli avantajlarından biri, özellikle uydu platformlarında kullanılan çok büyük yapılarda (10m gibi) anten açılma mekanizmasının, parabolik yansıtıcılara göre daha basit olarak uygulanabilmesine olanak sağlamasıdır. Şişme anten yapılarında ise, direkt olarak yuvarlanma mekanizmasının kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca yansıtıcı yüzeyin düz olabilmesi sayesinde de uydu platformlarına yerleştirme işlemini kolaylaştırmakta, kütle ve hacim olarak daha az yer kaplamaktadır. Yansıtıcı dizi anten elemanları basit ve düşük maliyetli olarak mikroşerit teknolojisi kullanılarak üretilebilmektedir.

Bu antenlerde, birim hücre elemanlarının faz değerleri değiştirilerek hüzmeye şekillendirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.[12], [13]. Parabolik yansıtıcılarda olduğu gibi, bu antenlerde de çoklu besleme antenleri kullanılarak çoklu hüzmeler oluşturulabilmektedir. Yansıtıcı dizi antenler, hem mikrodalga hem de milimetre-dalga frekans bantlarında kullanılabilirler.

Yansıtıcı dizi antenlerin avantajlarının yanı sıra en bilinen dezavantajı, elemanlarından kaynaklanan dar bant genişliğidir. Eleman tasarımına, yapının çapına ve odak-çap oranına vb. bağlı olarak bant genişliği genel olarak %10 değerini geçememektedir. Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerde bant genişliğini belirleyen faktörler, kullanılan mikroşerit yamaların bant genişliklerinin dar olması ve uzamsal faz farklarının olması olarak gösterilebilir [14], [15].

Mikroşerit yamalar genellikle %3 ile %5 arasında bir bant genişlik değerine sahiptirler. Bant genişliğini arttırmak için dielektrik alttaş malzemesinin kalınlığının artırılması, çok katlı mikroşerit yapıların kullanılması veya döndürülmüş dizi elemanlarının kullanılması en çok tercih edilen yöntemler arasındadır [16], [17]. Bu teknikler sayesinde, bant genişliği %15'den daha fazla olacak şekilde elde edilebilmektedir. Bir diğer faktör olan uzamsal faz farkı, Şekil 4'te gösterildiği üzere örnek olarak alınan iki elemanın besleme antenine olan uzaklıkları olan  $S_1$  ve  $S_2$  yollarının farkı olan  $\Delta S$ 'den kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4 Yansıtıcı dizi antenin uzamsal faz gecikme farkı [3]**

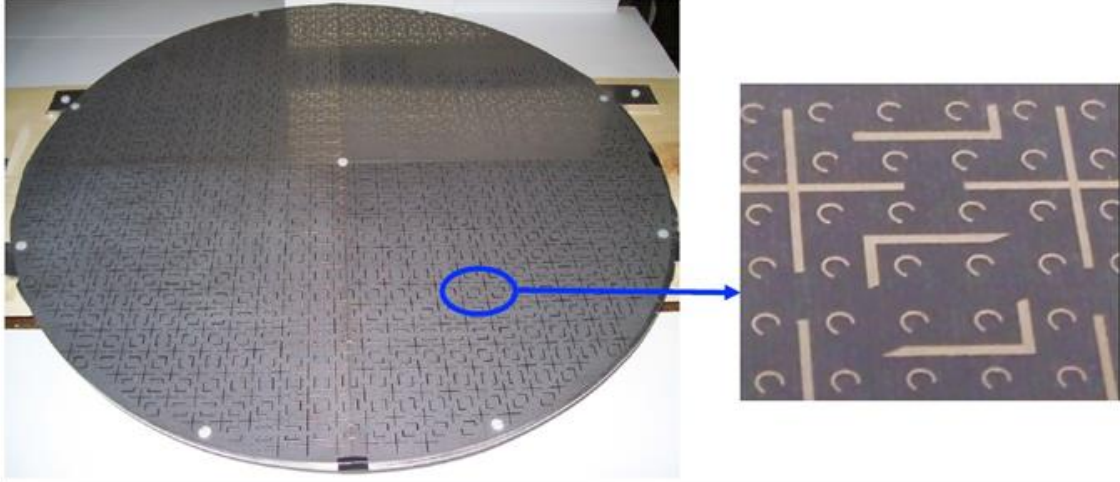
$\Delta S$  değeri merkez çalışma frekansındaki dalga boyunun ( $\lambda_0$ ) katları olabilir.  $N$ 'nin tamsayı ve  $d$ 'nin kesirli sayı olduğu durumda  $\Delta S = (N + d)\lambda_0$  olarak ifade edilebilir. Yansıtıcı dizi anten tasarımında bu faz farklarını dengeleyebilmek için farklı yöntemler (değişken yamalar, değişken uzunluklu faz geciktirici hatlı yamalar vb.) kullanılabilir. Merkez tasarım frekansı etrafında,  $(N + d)(\lambda + \Delta\lambda)$  ifadesi  $(N + d)\lambda_0$  ifadesinin yerini alır. Tasarımda faz

değerleri, merkez çalışma frekansına göre ayarlandığı için farklı frekans değerlerinde frekans sapma hatasına sebep olmaktadır. Her bir eleman için yol farkı  $(N + d)\Delta\lambda$  olmaktadır ve bu değer dalga boyuna ya da  $360^\circ$ 'ye göre kıyaslandığında ciddi bir faz farkına neden olmaktadır. Frekans sapmasını düşürebilmek için  $N$  değerinin azaltılması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri, odak-çap oranı azaltılarak, elemanlar arasındaki yol farkının düşürülmesidir. Diğer bir yöntem ise, anten çapının düşürülmesidir. Başka bir yöntem de kısmi zaman geciktirici hatların kullanılmasıdır [3].

Ayrıca, parçalı yüzeyler kullanılarak oluşturulan kavisli bir yansıtıcı yüzey kullanımı, bant genişliğini arttırmanın diğer bir yolu olarak gösterilmektedir. Yansıtıcı dizi antenler, parabolik yansıtıcılardan farklı olarak daha geniş bir açı aralığında hüzmeye taraması yapılabilmektedir. Ayrıca parçalı yüzeyler katlanmayı kolaylaştırdığından ve daha az yer kapladığından dolayı, uydu platformlarında daha basit bir şekilde uygulanabilmektedir.

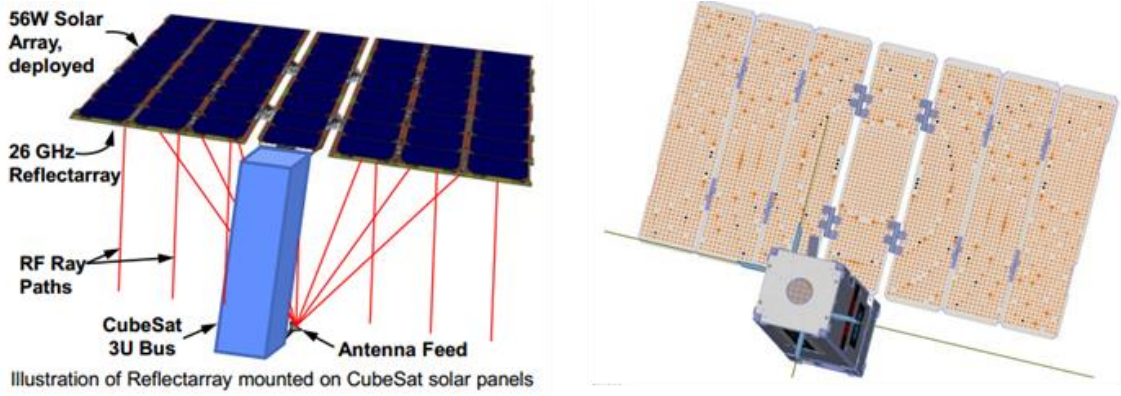
## 1.2 Yansıtıcı Dizi Anten Çeşitleri

Bu bölümde, genel olarak yansıtıcı dizi anten yapılarının çeşitli kullanım alanlarından bahsedilmiştir. İlk olarak, parabolik yansıtıcı antenin yerine kullanılabilecek olan tek katmanlı kalem tipi hüzmeye sahip yansıtıcı dizi anten yapısı [18]'de verilmektedir. Burada parabolik yansıtıcı ile yansıtıcı dizi anten arasındaki ilişki açıkça gösterilmektedir. Bir diğer önemli uygulama alanı ise, iki ya da üç bantlı yansıtıcı dizi anten yapılarıdır. Şekil 5'te gösterilen anten sistemi, C, X ve Ka bantları olmak üzere üç frekans bandında ve dairesel kutuplamalı olarak çalışmaktadır. Anten sistemi, 56 cm'lik dairesel ve tek katmanlı bir yapı üzerine yerleştirilmiş C bandında 696 adet çapraz dipol, X bandında 685 kare-halka ve Ka bandında 10,760 adet dairesel halka antenlerden oluşmaktadır [19].



**Şekil 5 C, X ve Ka bandı için geliştirilen tek katmanlı yansıtıcı dizi anten sistemi [19]**

ISARA ( Integrated Solar Array Reflected Array) isimli projede, küçük uydulara yüksek veri hızlarını (100 Mbps gibi) desteklemek için yüksek kazançlı Ka-Bant yansıtıcı dizi anten sistemi tasarlanmıştır. Yer kısıtı nedeniyle açılabilir güneş panelinin arkasına entegre olacak şekilde tasarlanan yansıtıcı dizi anten sistemi Şekil 6’da gösterilmektedir [20].

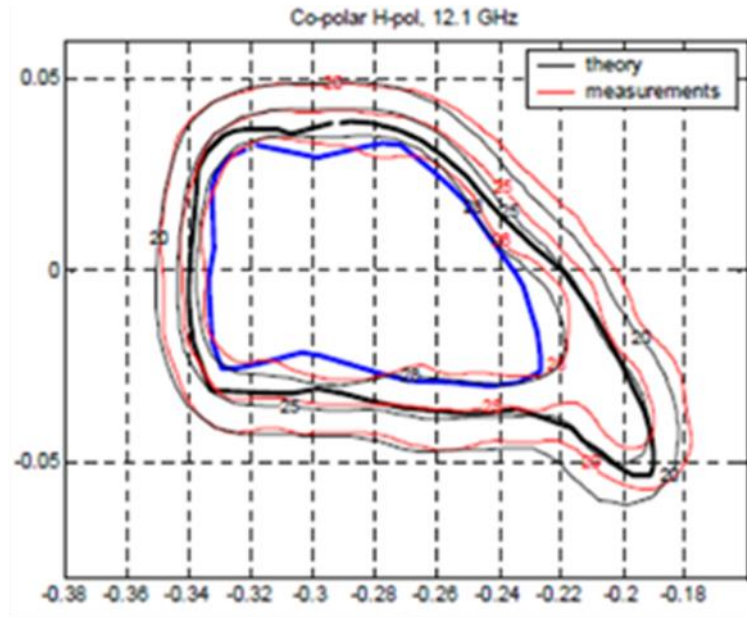


**Şekil 6 ISARA projesinde yapımı planlanan güneş paneline entegre yansıtıcı dizi anten sistemi [20]**

Son on yılda ise Encinar ve ekibi tarafından, özellikle şekillendirilmiş ızgara yansıtıcılara göre maliyetleri daha düşük olan sabit kontur hüzmeli yansıtıcı dizi yapılar için analiz ve tasarım çalışmaları ortaya konulmuştur. İki ve hatta üç katlı olarak optimize edilmiş bu



tasarımlar [13], [16], [17] ve [21]'de sunulmaktadır. Bu kapsamda örnek bir çalışma olan çok katlı yansıtıcı dizi için elde edilen ışınma örüntüsü, Şekil 7'de görülmektedir.



**Şekil 7 Çok katlı yansıtıcı dizi: hesaplanan ve ölçülen örüntü [13]**

Bu çalışmada, kapsama kazancı ve 30dB'nin altındaki çapraz kutuplanma değeri 11.05 GHz ile 12.1 GHz frekansları arasında ölçülmüştür. Bu teknolojinin uzay uyumlu olması için çalışmalar devam etmektedir [22].

### 1.3 Şekillendirilmiş Hüzmeli Yansıtıcı Dizi Antenler

Geleneksel yansıtıcı dizi anten yapıları, belirli bir yönde kalem tipi hüzmeye oluşturabilmek için tasarlanmaktadır [3], [23]. Bu yapıların kullanılabileceği çeşitli uygulama alanları literatürde mevcuttur. Özellikle uzay uygulamalarında, yeryüzünde belirli bölgeler ile daha verimli bir şekilde haberleşebilmek için şekillendirilmiş hüzmeli veya çok hüzmeli antenlere ihtiyaç duyulmaktadır [12]. Bu uygulamalarda kullanılan anten yapıları, genellikle şekillendirilmiş hüzmeli yansıtıcı antenlerdir. Her ne kadar bu antenlerin kullanımı yaygın olsa da, mekanik zorlukları (kütle, hacim vb.), yüzey pürüzsüzlüğü, termal etkenler ve buna benzer problemler nedeniyle, bu antenlerin tasarımını ve uydu platformlarında kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Geniş bantlı uygulamalar için yansıtıcı antenler

geçerliliğini korurken, yansıtıcı dizi antenlerin avantajları göz önüne alındığında dar bantlı uygulamalar için yansıtıcı antenlere iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yansıtıcı dizi antenlerde, her bir elemanın faz gecikmesi ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Bu sayede de şekillendirilmiş hüzmeye sahip yansıtıcı dizi antenler tasarlanabilmektedir. Benzer şekilde, çok hüzmeli yansıtıcı dizi antenler de bu yöntemle elde edilebilmektedir. Sonuç olarak yapılması gereken, yansıtıcı dizi anten üzerindeki her bir elemanın faz değerinin uygun ışına örüntüsünü verecek şekilde ayarlanmasıdır. Buradaki tasarım zorluğu ise istenilen ışına örüntüsünü elde edebilmek için gereken faz değerlerinin nasıl hesaplanması gerektiğidir.

Literatürde dizi antenler için çeşitli örüntü sentezleme teknikleri geliştirilmiş olmasına rağmen, en uygulanabilir çözüm olarak optimizasyon yöntemlerinin kullanılması gösterilmektedir [24]. Optimizasyon yöntemleri genel olarak, yerel ve küresel tarama algoritmaları olarak iki başlıkta incelenebilir. İki yöntemde de model tabanlı bir yaklaşım gözetilmektedir. Ancak aralarındaki en temel fark, yerel tarama algoritmasında sınırlı bir çözüm aralığı kullanılırken, küresel tarama algoritmasında bütün çözüm aralığı kullanılmaktadır.

Yerel tarama algoritmaları kullanılarak oluşturulmuş çok hüzmeli veya şekillendirilmiş hüzmeli yansıtıcı dizi antenlere literatürde rastlanmaktadır [13], [25], [26]. Optimizasyon probleminin karmaşıklığı nedeniyle, yerel tarama algoritması kullanılarak optimum sonuca ulaşılması oldukça zor olmaktadır. Genellikle, yerel minimum noktasına yakınsamasıyla veya belirli bir bölgede takılıp kalmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu nedenle bu tarz karmaşık problemlerde optimum sonuca ulaşabilmek için, küresel tarama algoritmalarının kullanılması gerekmektedir [27].

#### **1.4 Tezin Hedefleri Ve Tez Organizasyonu**

Bu tez çalışmasında, Eşzamanlı Uydu Yörüngesi (Geostationary Earth Orbit - GEO) ve Alçak Uydu Yörüngesi'nde (Low Earth Orbit - LEO) bulunan uydularda faydalı yük verisini yer istasyonuna indirmek üzere, eş akılı ışına örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten tasarım, modelleme ve analizleri analitik ve nümerik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 2'de, eş akılı ışına örüntüsünün tanımı yapılmış ve parçacık sürü optimizasyon algoritmasının yansıtıcı dizi anten sistemine uyarlanmasından bahsedilmiştir.

Bölüm 3'te, dört farklı maksimum yükselme açısı için yapılan yansıtıcı dizi anten sistemlerinin tasarımı anlatılmış ve dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

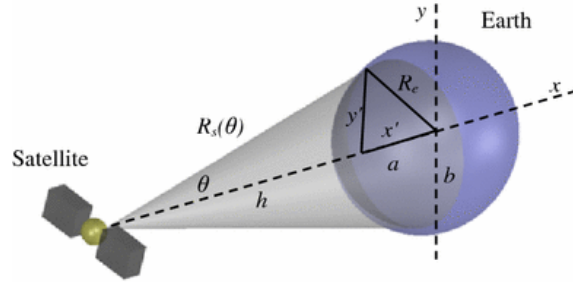
Bölüm 4'te ise, CST Microwave Studio elektromanyetik benzetim programı kullanılarak, tasarlanan dört farklı yansıtıcı dizi anten sistemi için tam dalga çözümlerinden bahsedilmiş ve dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Son bölümde de sonuçlar ve gelecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

## 2 EŞ AKILI IŞIMA ÖRÜNTÜLÜ YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

### 2.1 Eş Akılı Işıma Örüntüsü

GEO ve LEO yörüngesinde bulunan uydularda, özellikle telemetri ve faydalı yük verilerinin yer istasyonuna ulaştırılabilmesi için uydunun düşük elevasyonlu geçişleri sırasında hat marjının pozitif tutulabilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan birisi, eş akılı (isoflux) ışımaya örüntüsüne sahip antenlerin kullanılmasıdır [28]. Eş akılı ışımaya örüntüsü Şekil 8’de gösterilmektedir. Eş akılı ışımaya örüntüsü dünya yüzeyini eşit şekilde aydınlatmak için kullanılmaktadır. Bu sayede herhangi bir hüzme yönlendirme yöntemine ihtiyaç kalmadan, uydu platformu üzerinde sabit bir anten ile yer istasyonu arasında haberleşmek mümkün olmaktadır.

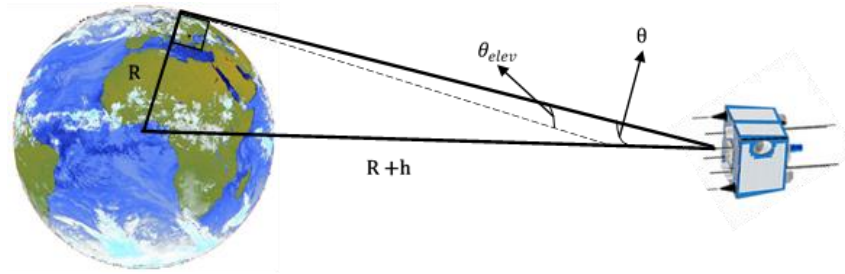


Şekil 8 Eş akılı ışımaya örüntüsü [28]

GEO ve LEO yörüngesinde bulunan uydularda, eş akılı ışımaya örüntüsü elde edebilmek için çeşitli anten yapıları üzerinde çalışmalar yapılmıştır [29]–[32]. Bu çalışmalar arasında, özellikle LEO yörüngesinde bulunan uydularda yörünge yüksekliği azaldıkça ihtiyaç duyulan geniş ışımaya hüzmesi, halkalı boynuz anten yapılarının tasarımını zorlaştırmaktadır. Bir diğer çalışmada ise, eş akılı ışımaya örüntüsü elde edebilmek için ters ışımaya besleme kullanılarak şekillendirilmiş yansıtıcı yapısı kullanılmaktadır [31], [32]. Bu yapılarla, özellikle büyük yükselme açılarında oldukça iyi sonuçlar elde edilmektedir. Ancak dik bakış açısına yakın açılarda, ideal eş akılı ışımaya örüntüsünden uzaklaşmaktadır. Bir diğer kullanılan anten ise, yarık beslemeli ikili konik yapıdaki antenlerdir [32]. Benzer yapı oluklu ve parabolik hale getirilip NASA tarafından JUNO görevinde kullanılmıştır [33].

Literatürde yansıtıcı dizi anten olarak ise, GEO uydularında kullanılmak üzere antenin düşük yükselme açılarında şekillendirilmiş hüzmeye sahip yapılar mevcuttur [12], [34].

Eş akılı ışınma örüntüsünün maksimum yükselme açısı değerinin hesaplanabilmesi için uydu platformunun bulunduğu yükseklik değeri ( $h$ ) ve ufuk çizgisine göre elevasyon açısı değerine ( $\theta_{elev}$ ) ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için kullanılan koordinat sistemi Şekil 9’da gösterilmektedir. Buna göre aşağıda verilen sinüs teoremi kullanılarak, eş akılı ışınma örüntüsünün maksimum yükselme açısı değeri ( $\theta_{iso}$ ) hesaplanabilmektedir.



Şekil 9 Eş akılı ışınma örüntüsü koordinat sistemi

$$\frac{R}{\sin(\theta_{iso})} = \frac{R+h}{\sin(\theta_{iso} + \theta_{elev})}$$

$$\theta_{iso} = \sin^{-1} \left( \frac{R \sin(\theta_{iso} + \theta_{elev})}{R+h} \right)$$

Burada,

$R$  : Dünya'nın yarıçapını

$h$  : Uydunun yörünge yüksekliğini

$\theta_{elev}$  : Ufuk çizgisine göre elevasyon açısı değerini

$\theta_{iso}$  : Maksimum yükselme açısı değerini

göstermektedir.

## 2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Bu tez çalışmasında, küresel tarama algoritmalarından biri olan parçacık sürü optimizasyon (particle swarm optimization - PSO) algoritması kullanılmaktadır. Bu bölümde parçacık sürü algoritmasının genel özelliklerinden bahsedilmektedir.

Parçacık sürü algoritması, çeşitli hayvan sürülerinin sosyal ve kooperatif davranışlarından esinlenilerek popülasyon temelli oluşturulmuş bir küresel tarama algoritmasıdır [35]. Bu algoritma temel olarak bir sürü ve bu sürüyü oluşturan bireylerden (parçacık) oluşmaktadır. Her bir birey bulunduğu konumunu ve hızını, bir önceki konumu ve hızına göre sürü içindeki en iyi noktaya gelecek şekilde ayarlamaktadır. Sürüdeki diğer bireyler de, o andaki en iyi noktaya sahip bireye göre kendi konum ve hızlarını güncellemektedirler. Bu durum parçacıklar en iyi konuma gelinceye kadar rastgele şekilde devam etmektedir. PSO algoritmasının genel özellikleri ve nasıl uygulanabileceği hakkında temel bilgiler [36]'de yer almaktadır.

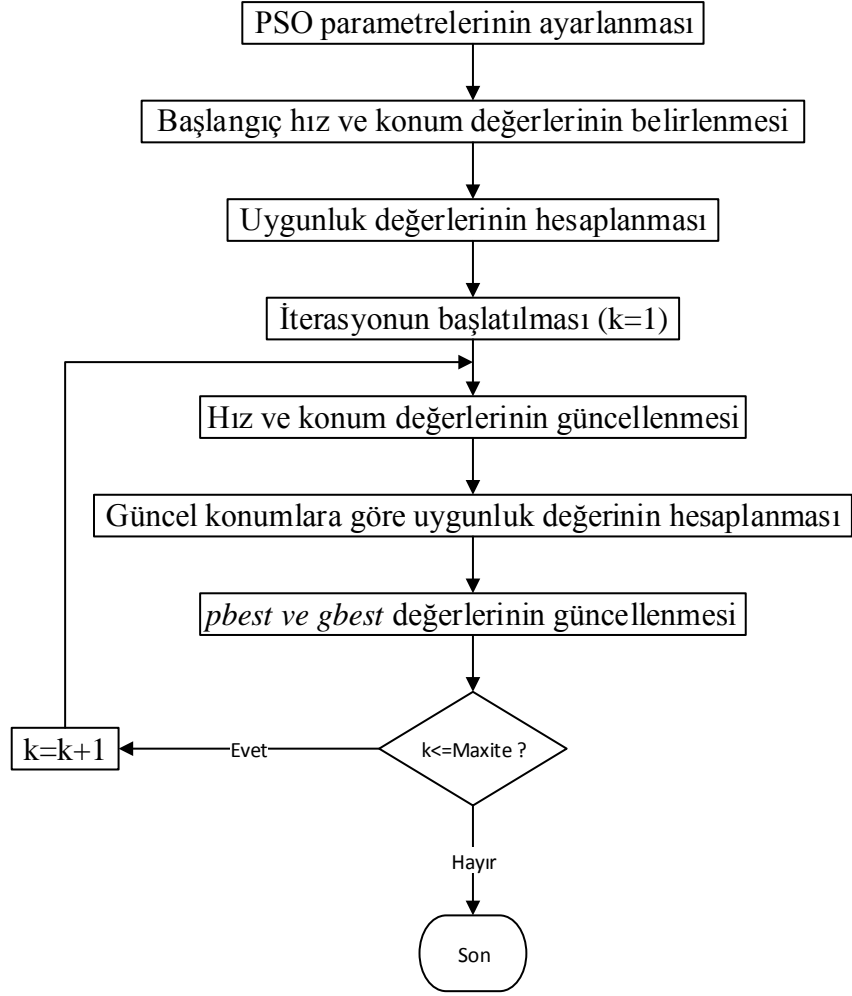
$$v_{i,j}^{k+1} = w \times v_{i,j}^k + c_1 \times r_1 \times (pbest_{i,j}^k - x_{i,j}^k) + c_2 \times r_2 \times (gbest_{i,j}^k - x_{i,j}^k) \quad (1)$$

$$x_{i,j}^{k+1} = x_{i,j}^k + v_{i,j}^{k+1} \quad (2)$$

Yukarıda (1) numaralı eşitlikte verilen hız formülü, herhangi bir parçacığın  $k+1$  iterasyonundaki hızını hesaplamak için kullanılmaktadır. Elde edilen bu hıza göre de parçacığın yeni konumu (2) numaralı eşitliğe göre güncellenmektedir. Burada  $pbest$  parametresi, kişisel en iyi konumunu ve  $gbest$  parametresi de sürüdeki en iyi konuma sahip olan parçacığın konumunu göstermektedir.  $w$  parametresi eylemsizlik faktörünü,  $c_1$  parametresi parçacığın bilişsel hızlanma katsayısını,  $c_2$  parametresi sosyal hızlanma katsayısını,  $r_1$  ve  $r_2$  parametreleri ise  $[0, 1]$  aralığından seçilmiş rastgele sayıları göstermektedir.

PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 10'da verilmektedir. Aşağıda belirtilen adımlar takip edilerek parçacık sürü algoritması işletilmektedir;

1. PSO algoritmasının parametreleri belirlenir.
  - Eylemsizlik faktörü:  $w$
  - Bilişsel ve sosyal hızlanma katsayısı:  $c_1$  ve  $c_2$
  - Popülasyon sayısı
  - Maksimum iterasyon sayısı
2. Parçacık sürüsünün başlangıç pozisyonları ve hızları rastgele bir şekilde oluşturulur.
3. Her bir parçacık için uygunluk değeri hesaplanır.
4. Her bir parçacık için en iyi konum belirlenir ve içlerinden küresel en iyi konuma sahip olan parçacık seçilir.
5. Her bir parçacık için (1) ve (2) kullanılarak hız ve konum değerleri güncellenir.
6. Güncel konum değerlerine göre uygunluk değeri yeniden hesaplanır.
7. Bir önceki uygunluk değerinden daha iyi bir sonuç elde edilirse  $pbest$  ve  $gbest$  değeri güncellenir.
8. Sonuca yeterince yaklaşırsa veya maksimum iterasyon sayısına ulaşırsa optimizasyon sonlandırılır, yoksa 2. adımdan itibaren en iyi sonuca ulaşıncaya kadar devam edilir.



**Şekil 10 PSO akış diyagramı**

## 2.3 Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı

### 2.3.1 Besleme Anteni Modeli

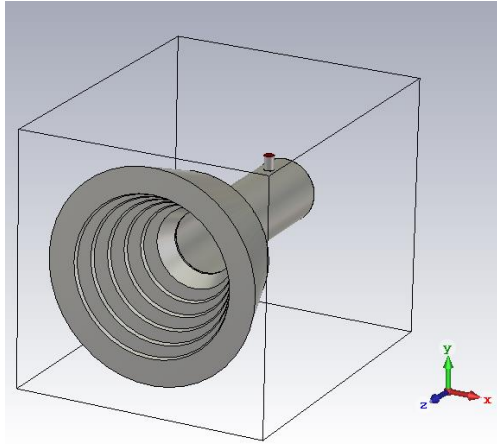
Yansıtıcı dizi anten sistemi tasarımında, besleme anteninin ışınma örüntüsü özellikleri ve konumu kritik bir rol oynamaktadır. Anten açıklığının aydınlatılabilmesi durumu, birebir olarak besleme anteninin konumu ve ışınma karakteristiği ile ilgilidir. Anten açıklık yüzeyinin aydınlatılabilmesi için genellikle boynuz tipi antenler kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise besleme anteninin, ışınma örüntüsünün azimut eksenine göre mümkün olduğunca simetrik olması istenmektedir.



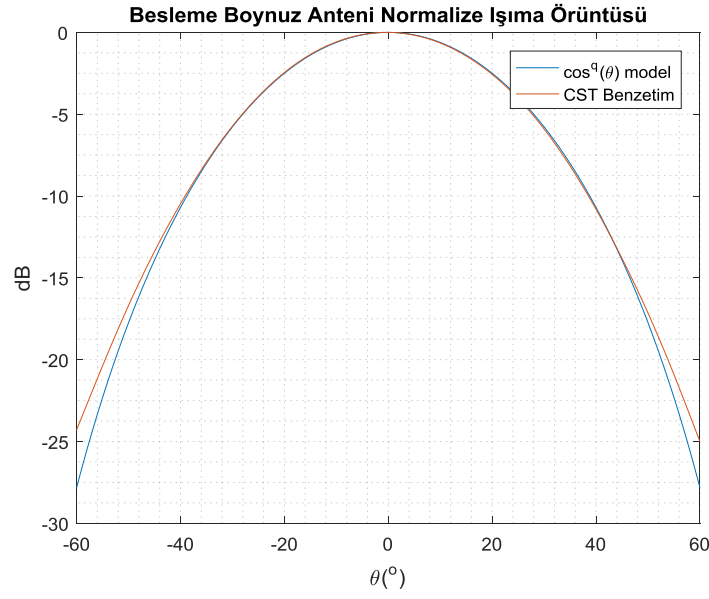
Yansıtıcı dizi anten sistemlerinde, besleme antenleri için geliştirilen çeşitli ışıma örüntüsü modelleri bulunmaktadır [37]. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan ışıma örüntüsü modeli,  $\cos^q$  modeli olarak gösterilmektedir. Besleme anteni için kullanılan normalize güç ışıma örüntüsü aşağıdaki fonksiyonla tanımlanmaktadır.

$$P^F(\theta_F, \phi_f) = \begin{cases} \cos^{2q}(\theta_F), & 0 \leq \theta_F \leq \frac{\pi}{2} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

Bu tez çalışmasında kullanılan besleme boynuz antenine ait benzetim modeli Şekil 11’de gösterilmektedir. CST Microwave Studio kullanılarak, besleme anteninin ışıma örüntüsü özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak,  $\cos^q$  modeli ile karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 12). Bu sonuçlara göre  $q=4.62$  olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki yansıtıcı dizi anten çalışmalarında da  $q=4.62$  olarak kullanılacaktır.



**Şekil 11 Besleme boynuz anteni benzetim modeli**

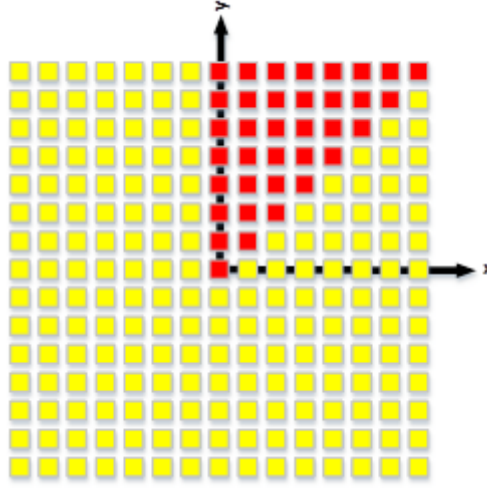


**Şekil 12 Besleme boynuz anteni normalize ışım örneği karşılaştırması**

Anten açıklığının en iyi verimlilik değeriyle aydınlatılabilmesi ve aydınlatma taşmasının en aza indirgenmesi için 10dB kenar saçılması kriteri dikkate alınarak besleme anteninin konumu belirlenmektedir [38].

### 2.3.2 PSO Yöntemiyle Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı

Bu bölümde, PSO algoritmasının yansıtıcı dizi anten sistemine uyarlanmasından bahsedilmektedir. Bölüm 2.2' de verilen bilgilerden yararlanılarak yansıtıcı dizi anten sistemi için gerekli olan faz değerleri hesaplanmaktadır.



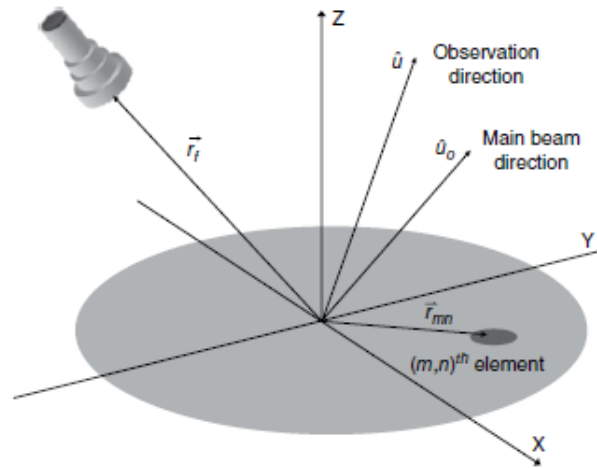
**Şekil 13 Yansıtıcı dizi anten sistemi için optimize edilecek elemanların temsili gösterimi**

Yansıtıcı dizi anten sisteminde, ofset açısı  $0^\circ$  olarak ayarlandığında yapı  $x = 0$ ,  $y = 0$  ve  $y = x$  düzlemlerine göre simetrik olmaktadır. Bu sayede, optimize edilmesi gereken faz değerleri yaklaşık olarak  $1/8$ 'ine indirgenmiş olmaktadır. Şekil 13'te gösterilen  $15 \times 15$  elemanlı yansıtıcı dizi anten sisteminde, optimize edilmesi gereken faz değerleri kırmızı renkle, hesaplama dışında tutulacak faz değerleri ise sarı renkle belirtilmiştir. Sadece kırmızı renkli elemanların faz değerleri hesaplanarak, istenilen eş akıllı ışımaya örüntüsü elde edilebilmesi hedeflenmektedir.

İstenilen ışımaya örüntüsünü PSO ile elde edebilmek için, oluşturulan yansıtıcı dizi anten sisteminin her bir iterasyondaki ışımaya örüntüsünün hesaplanması gerekmektedir. Bunun için her bir adımda yansıtıcı dizi anten sisteminde faz değerleri atanması yapılarak, bir elektromanyetik benzetim programıyla (CST) tam dalga çözümünün yapılması gerekmektedir. Ancak, bu işlem oldukça zaman almaktadır. Bunun yerine analitik olarak ışımaya örüntüsü hesaplanarak, zamandan ciddi oranda tasarruf edilmesi sağlanabilir. Literatürde yapılan araştırmalara göre, bu işlemi yapabilmeyen iki farklı yolu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, dizi teorisi yaklaşımı ve ikincisi ise açıklık alan teorisi yaklaşımı kullanılarak ışımaya örüntüsü hesaplanmasıdır [39].

Dizi teorisi yaklaşımı, genel olarak ana hüzmeye genişliği, hüzmeye yönü ve ışınma örüntüsünü genel hatlarıyla hesaplanmasında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ancak basitleştirilmiş  $\cos^q$  modelinde kutuplanma etkileri dâhil edilmediğinden, çapraz kutuplanma değerleri hesaplanamamaktadır. Özetlemek gerekirse, dizi teorisi yaklaşımı ile ışınma örüntüsü hesaplamaları daha basit işlemler içermesine rağmen, çapraz kutuplanma değerleri elde edilememektedir.

Açıklık alan teorisi yaklaşımı ile besleme anteni ve birim hücre elemanları daha doğru bir şekilde modellenebilmektedir. Ayrıca kutuplanma etkileri de hesaba katılabilmektedir. Ancak bu işlemleri gerçekleştirmek için daha karmaşık formüllere, daha fazla işleme ve işlem zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Optimizasyon algoritmasında zamanın önemli bir kriter olması ve daha basit işlemlerle işlem zamanının daha az olması nedenleriyle dizi teorisi yaklaşımı tercih edilmiştir.



**Şekil 14 Dizi teorisi yaklaşımında kullanılan koordinat sistemi [37]**

Dizi teorisi yaklaşımında kullanılan koordinat sistemi Şekil 14'te gösterilmektedir. Dizi teorisi yaklaşımında kullanılan ana formül (3) numaralı denklemde verilmektedir.

$$E(\theta, \phi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \cos^{q_e} \theta \frac{\cos^{q_f} \theta_f(m, n)}{|\vec{r}_{mn} - \vec{r}_f|} e^{-jk(|\vec{r}_{mn} - \vec{r}_f| - \vec{r}_{mn} \cdot \hat{u})} \cos^{q_e} \theta_e(m, n) e^{j\phi_{mn}} \quad (3)$$

Burada,

$\cos^{q_f} \theta_f$  : Besleme anteni  $\cos^q$  modeli

$\cos^{q_e} \theta_e$  : Birim hücre elemanı  $\cos^q$  modeli

$\vec{r}_{mn}$  : Herhangi bir birim hücre elemanının merkeze olan uzaklık vektörü

$\vec{r}_f$  : Besleme anteninin merkeze olan uzaklık vektörü

$\phi_{mn}$  : Herhangi bir birim hücre elemanının faz değeri

olarak kullanılmaktadır.

Küresel koordinatlarda dizi teorisi yaklaşımıyla elektrik alan şiddeti (3) numaralı denklem kullanılarak hesaplandıktan sonra, anten yönlülük değeri aşağıda verilen (4) numaralı denklem ile kolayca hesaplanabilmektedir.

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi |E(\theta, \phi)|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |E(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi} \quad (4)$$

Burada,

$E$  : elektriksel alan şiddetini,

$D$  : anten yönlülük değerini,

göstermektedir.

Yansıtıcı dizi anten sisteminde faz değerleri ataması yapıp, yukarıda verilen (3) ve (4) numaralı denklemler kullanılarak her bir adımdaki yönlülük değeri hesaplanmaktadır. (5) numaralı denklem kullanılarak, istenilen ışına örüntüsü ile hesaplanan yönlülük değeri karşılaştırılarak uygunluk değeri elde edilmektedir ve her bir adımda bir önceki uygunluk değeriyle karşılaştırılmaktadır.

$$f^k(\theta, \phi) = |D^k(\theta, \phi) - G(\theta, \phi)| \quad (5)$$

Burada,

$f^k$  : k adımında hesaplanan uygunluk değerini,

$D^k$  : k adımında hesaplanan anten yönlülük değerini,

$G$  : istenilen ışına örüntüsünü,

göstermektedir.

Eş akıllı yansıtıcı dizi anten tasarımında karşılaştırma işlemi farklı azimut ( $\phi$ ) ve yükselme ( $\theta$ ) açılarında yapılmaktadır. Bu durumda elde edilen matrisin 2-norm'u hesaplanarak, hata fonksiyonu değeri (6) numaralı denklem kullanılarak elde edilmektedir. Eğer daha iyi bir hata fonksiyonu değeri elde edilirse, uygunluk değeri güncellenmektedir. Bu işlem maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar devam etmektedir.

$$H^k = \|f^k(\theta, \phi)\|_2 \quad (6)$$

Burada,

$f^k$  : k adımında hesaplanan uygunluk değerini,

$H^k$  : k adımında hesaplanan hata değerini,

göstermektedir.

Eylemsizlik faktörü ( $w$ ), bilişsel ve sosyal hızlanma katsayıları her bir adımda (7) ve (8)'de verilen denklemlere göre hesaplanmaktadır. Bu sayede PSO algoritmasının istenilen sonuca yakınsaması hızlandırılmaktadır [40].

$$w = w_{max} - (w_{max} - w_{min}) \times \frac{k}{mk} \quad (7)$$

$$c_{1,2} = c_{1,2i} + (c_{1,2f} - c_{1,2i}) \times \frac{k}{mk} \quad (8)$$

Burada,

$w_{min}$  ve  $w_{max}$  : minimum ve maksimum eylemsizlik faktörünü,

$c_{1,2i}$  ve  $c_{1,2f}$  : minimum ve maksimum hızlanma katsayılarını

$k$  : iterasyon sayısını,

$mk$  : maksimum iterasyon sayısını

göstermektedir.

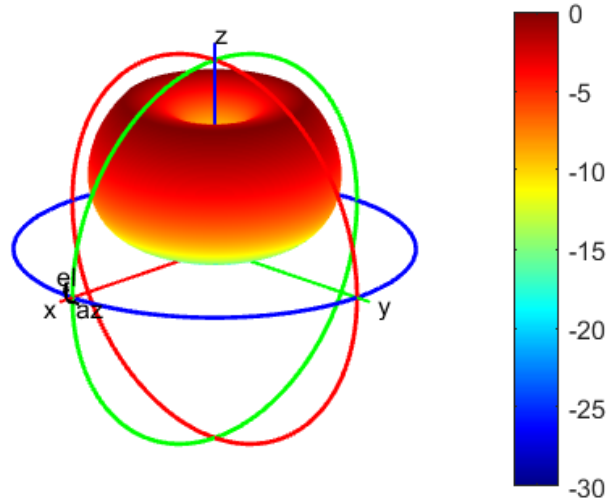
### 3 BENZETİM SONUÇLARI (PSO)

Bu bölümde, farklı maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso}$ ) değerleri için gerçekleştirilen PSO çalışmalarından bahsedilmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan ortak parametreler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Tasarım merkez frekansı: 8.23 GHz
- Anten boyutları: 15 x 15 elemanlı dizi
- Elemanlar arası mesafe: 17mm ( $\sim 0.47\lambda$ )
- Odak çap oranı ( $f/D$ ) : 0.6174
- BHE faz aralığı:  $[0, 360^\circ]$

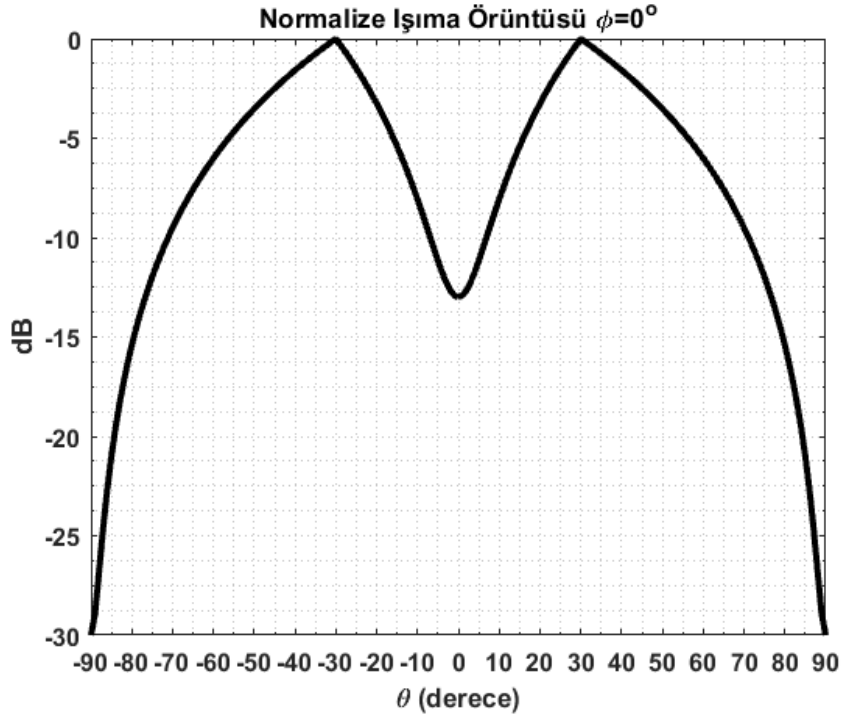
#### 3.1 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso}$ )  $30^\circ$  olan eş akılı ışınma örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan optimizasyon çalışmalarından bahsedilmektedir.  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için hedeflenen ışınma örüntüsü Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmektedir.



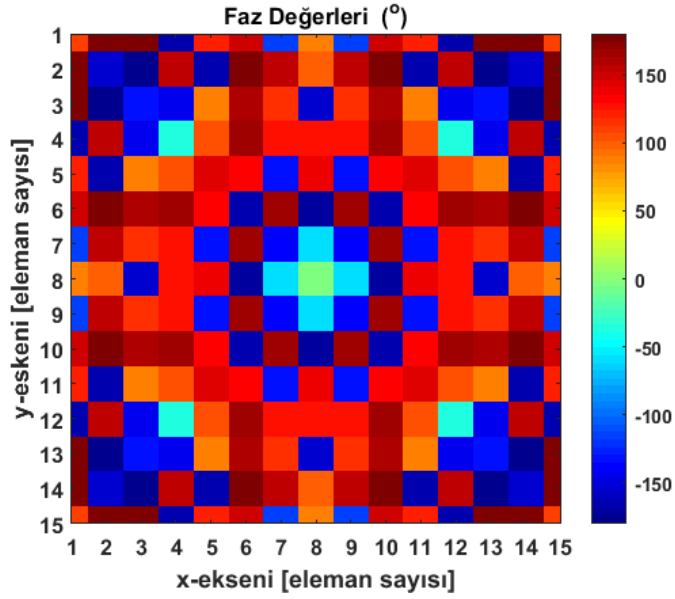
Şekil 15  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için istenilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü





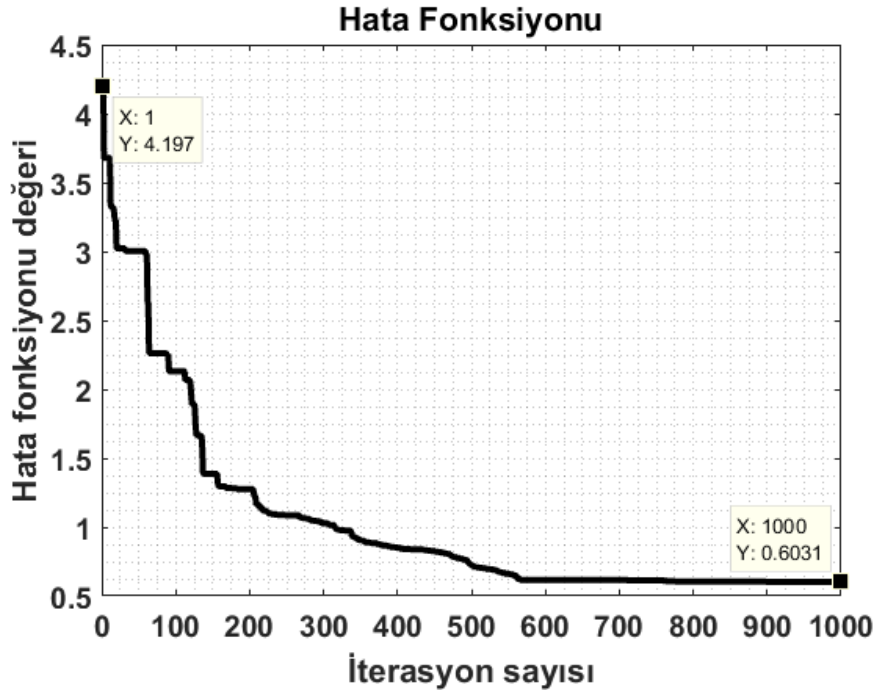
**Şekil 16  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için istenilen  $\phi = 0^\circ$  düzleminde normalize ışım örüntüsü**

PSO algoritması MATLAB ortamında uygulanarak yansıtıcı dizi anten sistemi için gerekli olan faz değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu durumda  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için optimize edilen faz değerleri Şekil 17’de gösterilmektedir.



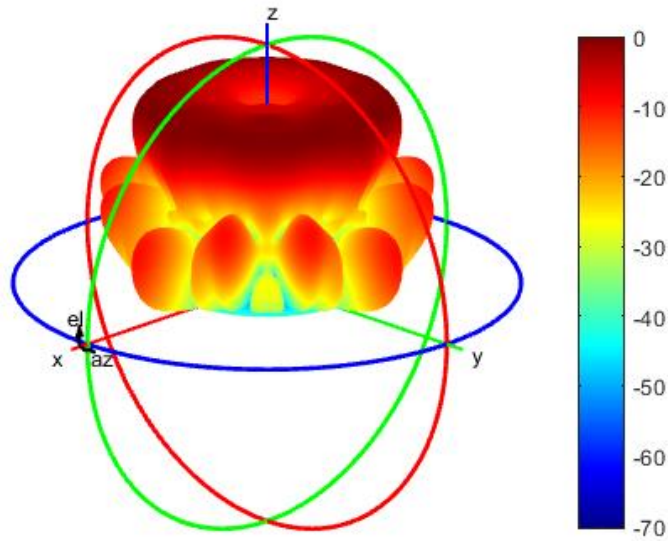
**Şekil 17  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için elde edilen optimize faz değerleri**

(6) numaralı denklem kullanılarak her bir adımda hesaplanan hata fonksiyonu değerleri Şekil 18’de gösterilmektedir.



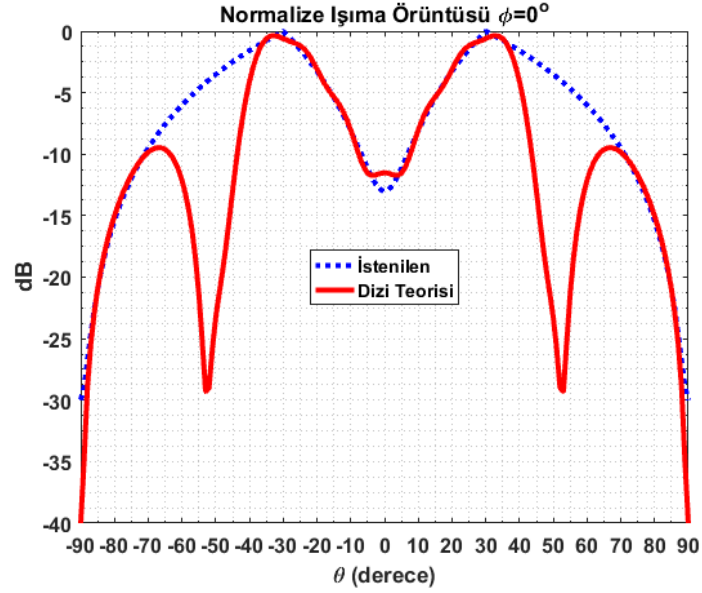
Şekil 18  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için elde edilen hata fonksiyonu değerleri

(3) ve (4)’te verilen denklemler kullanılarak elde edilen ışıma örüntüsü sonuçları, 3-boyutlu olarak Şekil 19’da gösterilmektedir.

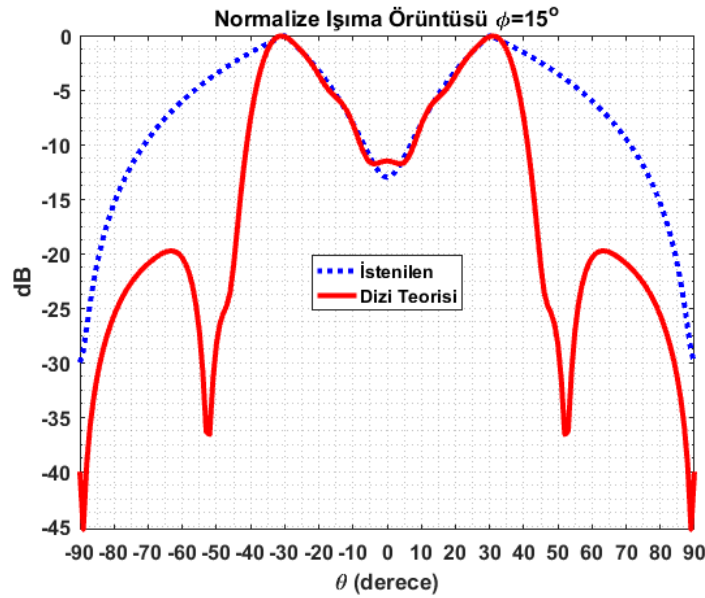


Şekil 19  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu normalize ışıma örüntüsü

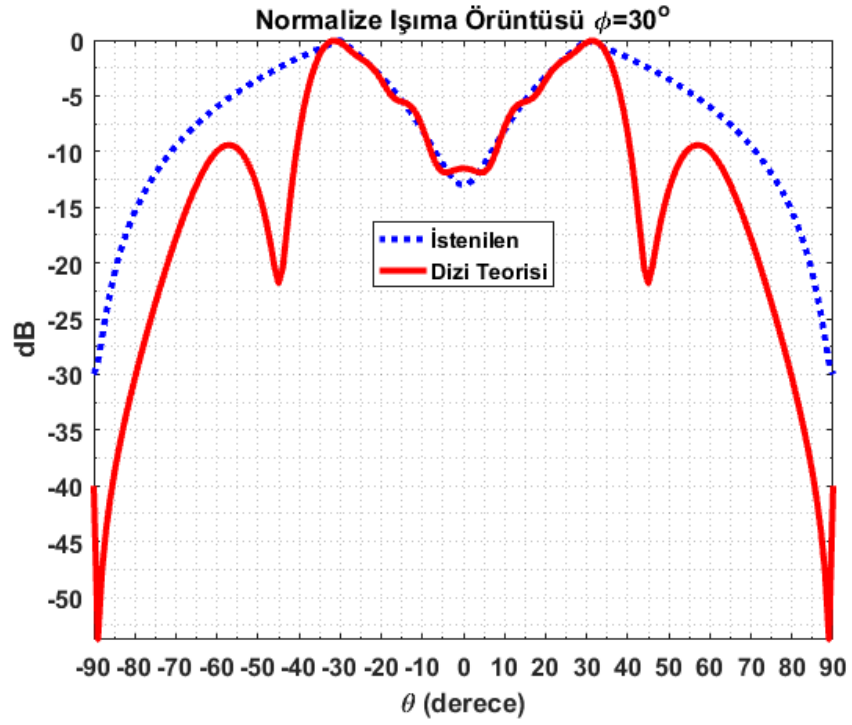
Ayrıca, farklı azimut eksenlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu sayede, dizi teorisi yaklaşımıyla maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) için istenilen ışınma örüntüsü elde edilmiştir.



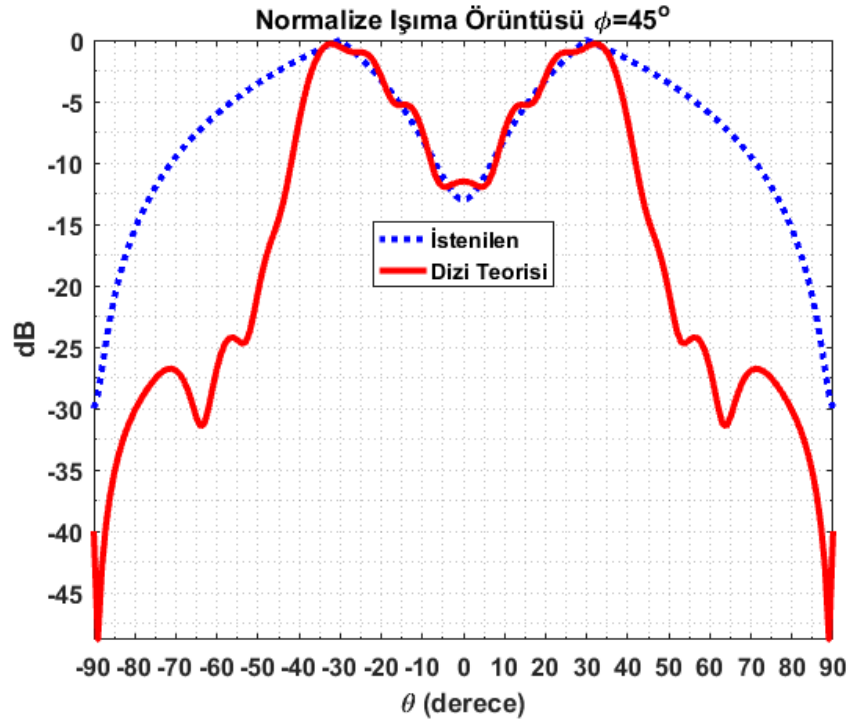
Şekil 20  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



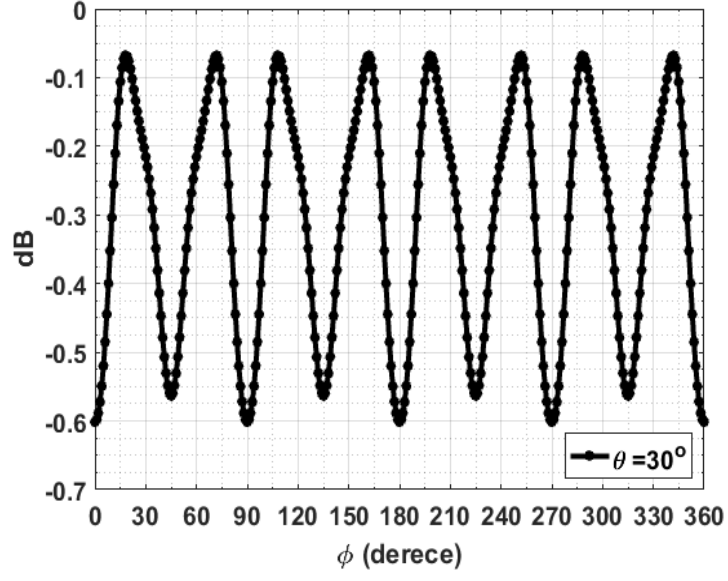
Şekil 21  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



Şekil 22  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü



Şekil 23  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü

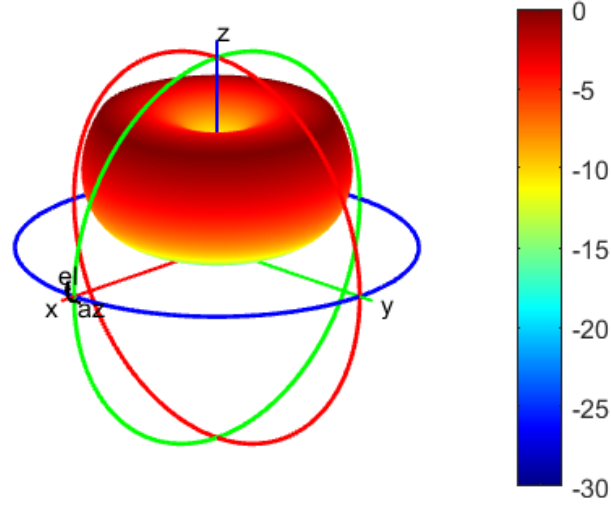


Şekil 24  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\theta = 30^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışına örüntüsü

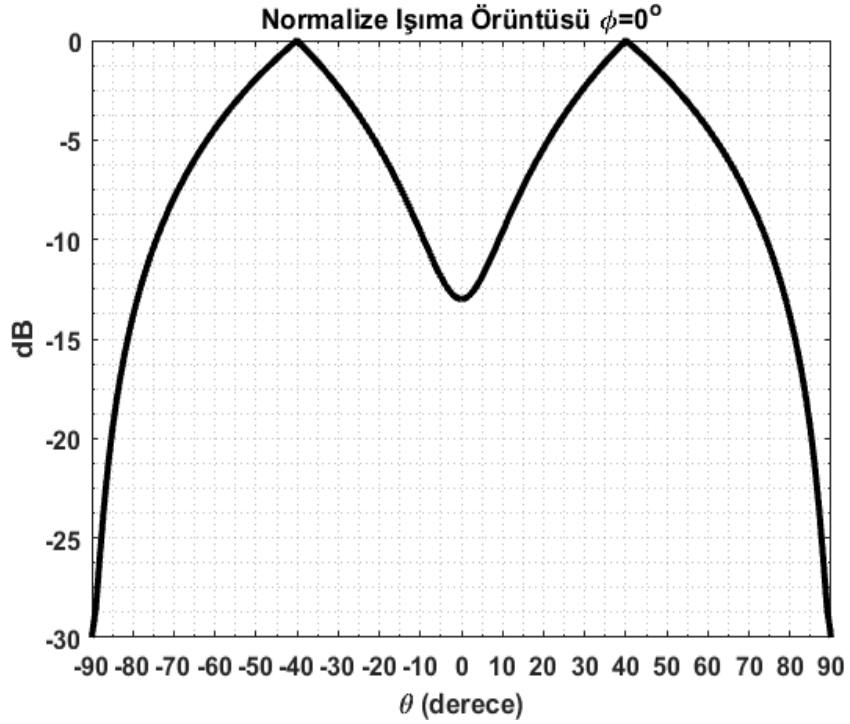
Şekil 24’te maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) 0.5 dB dalgalanma ile simetrik bir ışına örüntüsü elde edildiği gözlemlenmiştir.

### 3.2 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso}$ )  $40^\circ$  olan eş akılı ışına örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan optimizasyon çalışmalarından bahsedilmektedir.  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için hedeflenen ışına örüntüsü Şekil 25 ve Şekil 26’te gösterilmektedir.

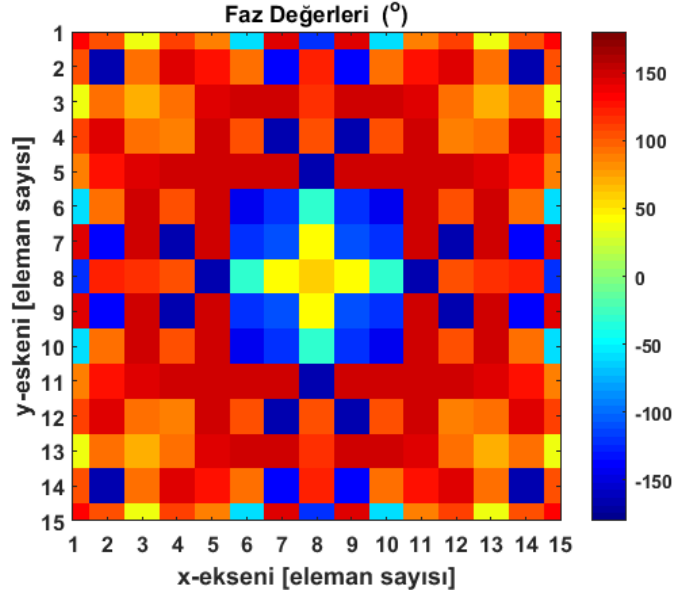


Şekil 25  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için istenilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü



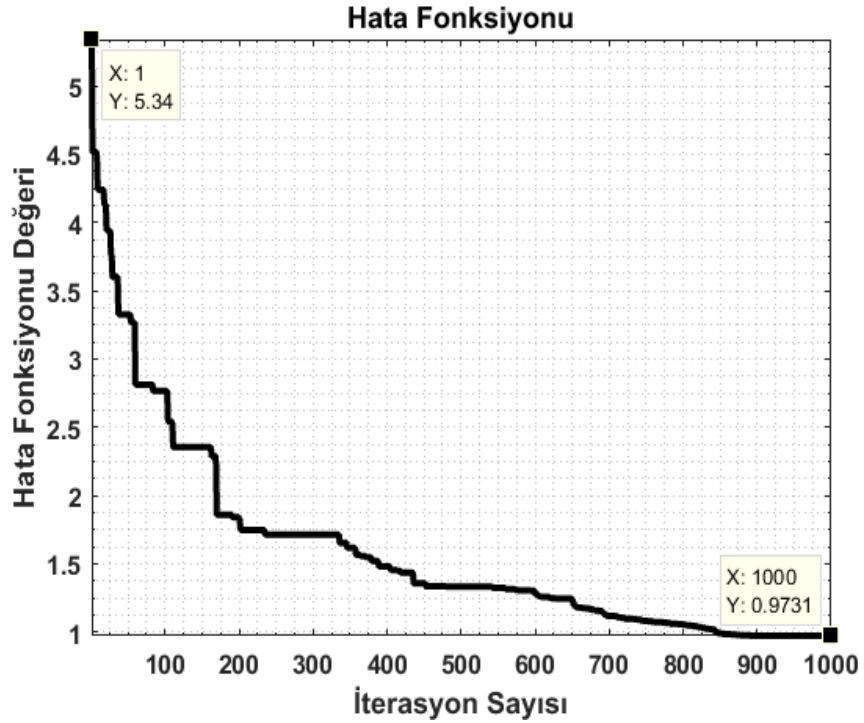
Şekil 26  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için istenilen  $\phi = 0^\circ$  düzleminde normalize ışınma örüntüsü

PSO algoritması MATLAB ortamında uygulanarak yansıtıcı dizi anten sistemi için gerekli olan faz değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu durumda  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için optimize edilen faz değerleri Şekil 27’de gösterilmektedir.



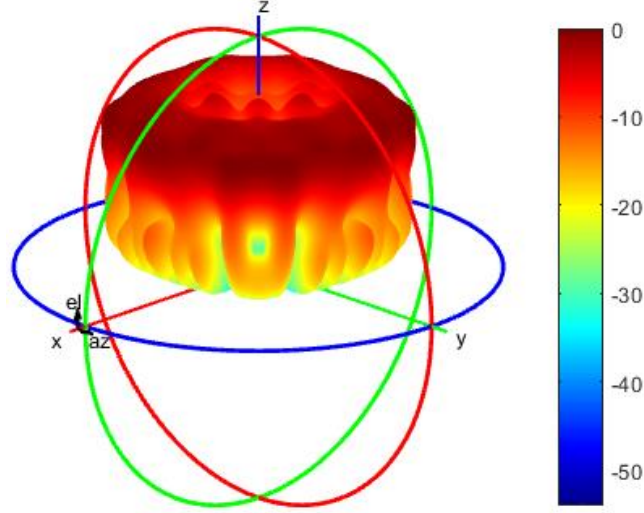
Şekil 27  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için elde edilen optimize faz değerleri

(6) numaralı denklem kullanılarak her bir adımda hesaplanan hata fonksiyonu değerleri Şekil 28’de gösterilmektedir.



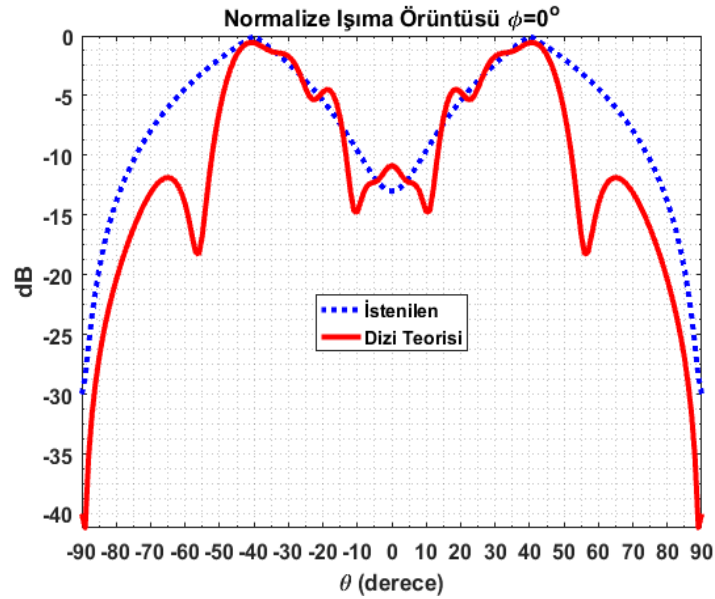
Şekil 28  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için elde edilen hata fonksiyonu değerleri

(3) ve (4)'te verilen denklemler kullanılarak elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları, 3-boyutlu olarak Şekil 29'da gösterilmektedir. Ayrıca farklı azimut eksenlerinde de benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



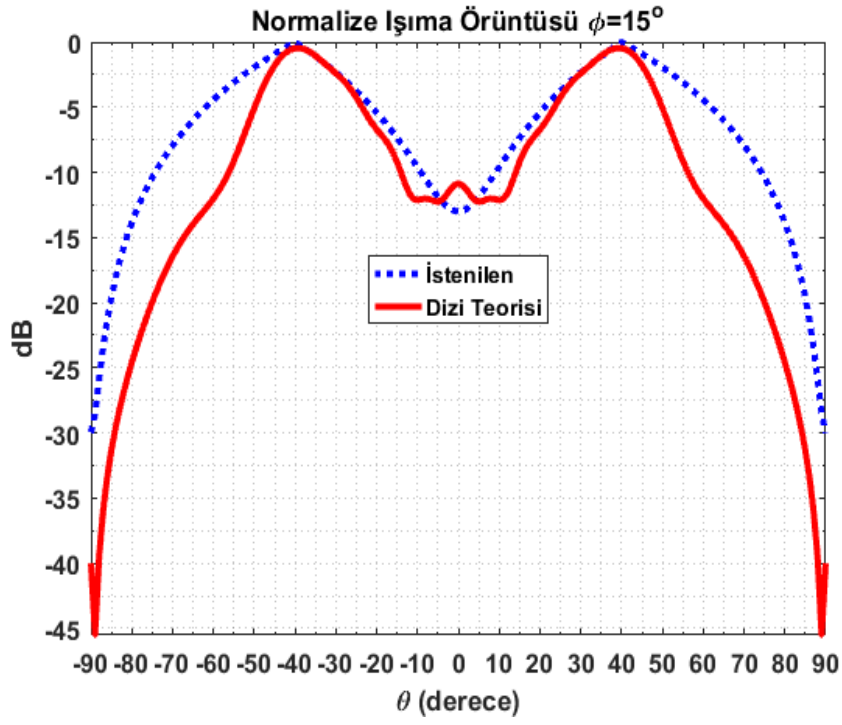
Şekil 29  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü

Ayrıca, farklı azimut eksenlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu sayede, dizi teorisi yaklaşımıyla maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) için istenilen ışınma örüntüsü elde edilmiştir.

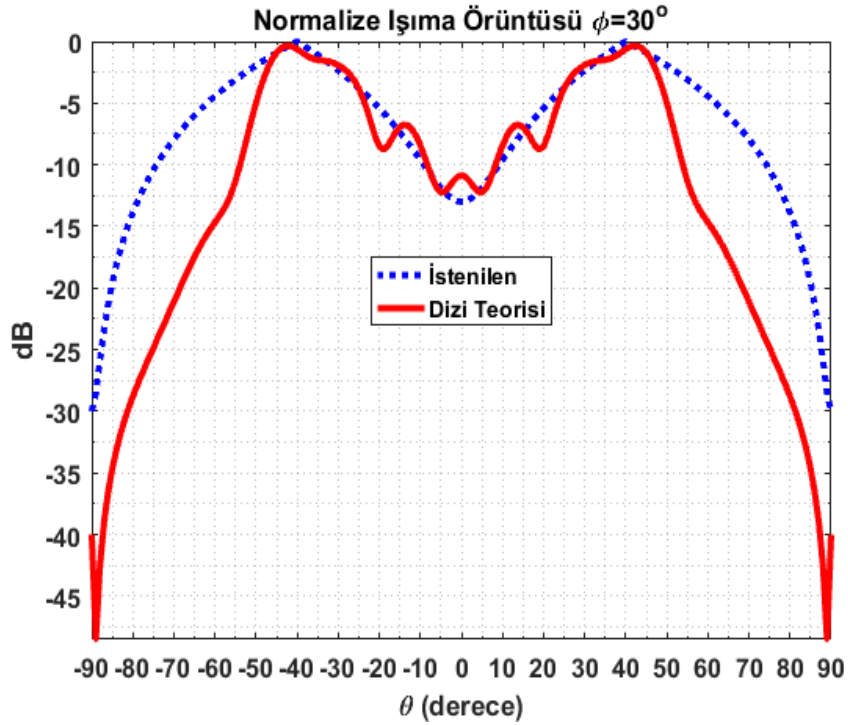


Şekil 30  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü

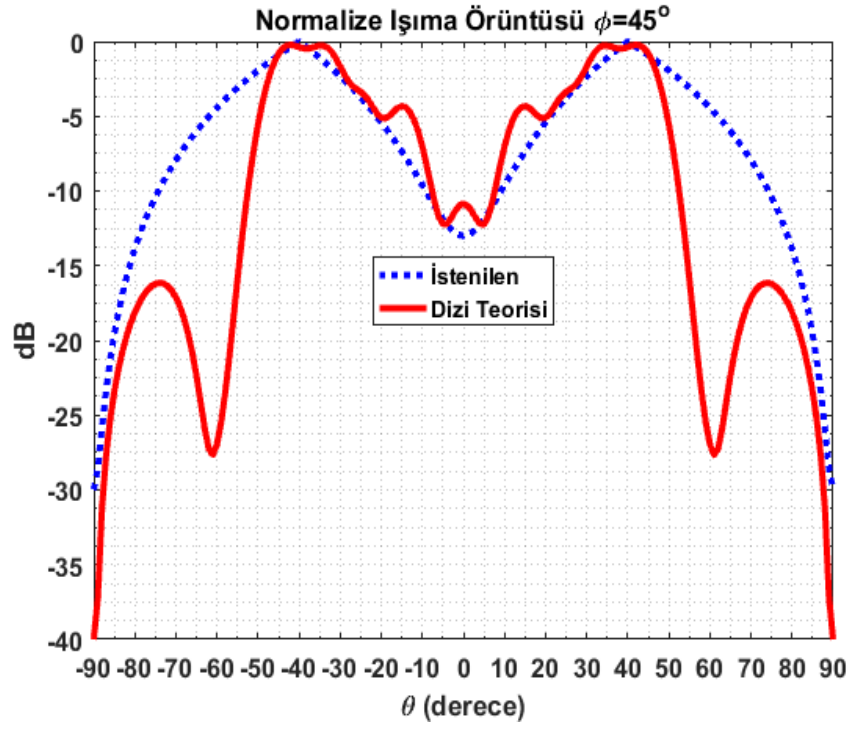




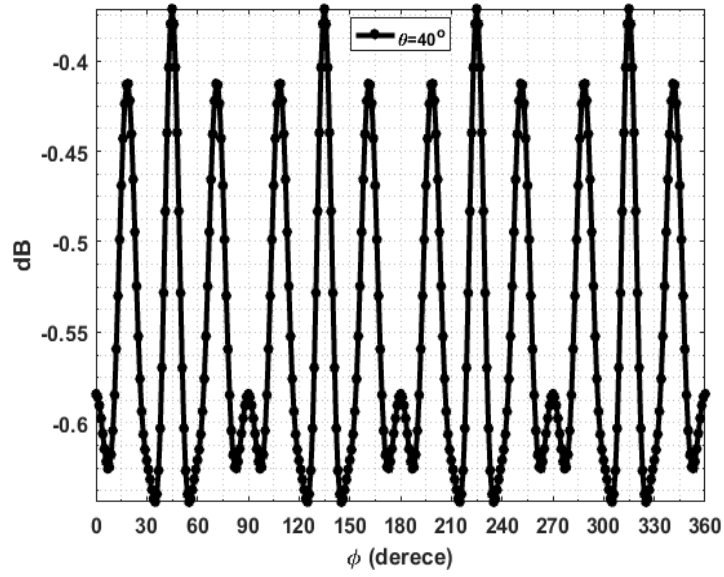
Şekil 31  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım a örüntüsü



Şekil 32  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım a örüntüsü



Şekil 33  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü

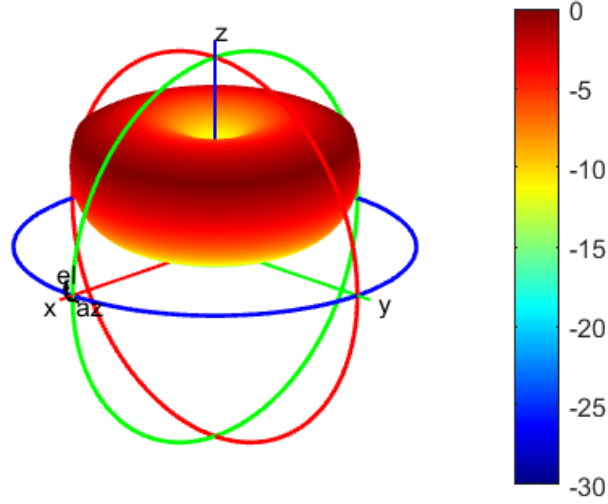


Şekil 34  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\theta = 40^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü

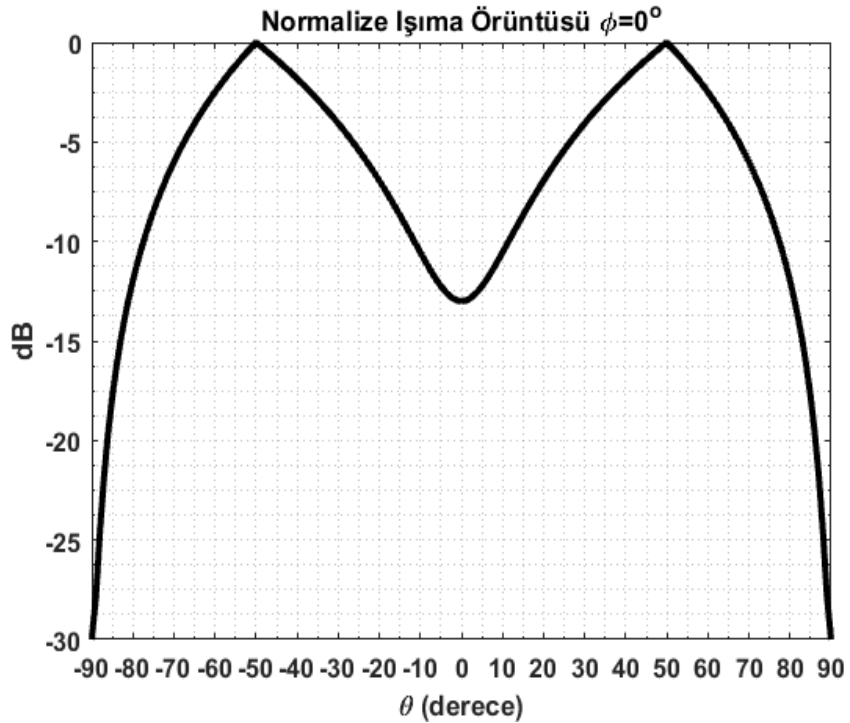
Şekil 34'te maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) 0.2 dB dalgalanma ile simetrik bir ışım örüntüsü elde edildiği gözlemlenmiştir.

### 3.3 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso}$ )  $50^\circ$  olan eş akılı ışına örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan optimizasyon çalışmalarından bahsedilmektedir.  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için hedeflenen ışına örüntüsü Şekil 35 ve Şekil 36'da gösterilmektedir.

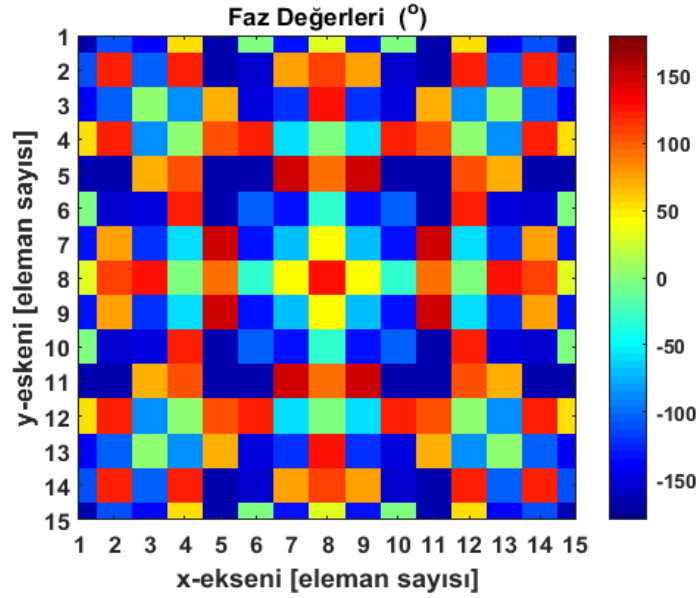


Şekil 35  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için istenilen 3-boyutlu normalize ışına örüntüsü



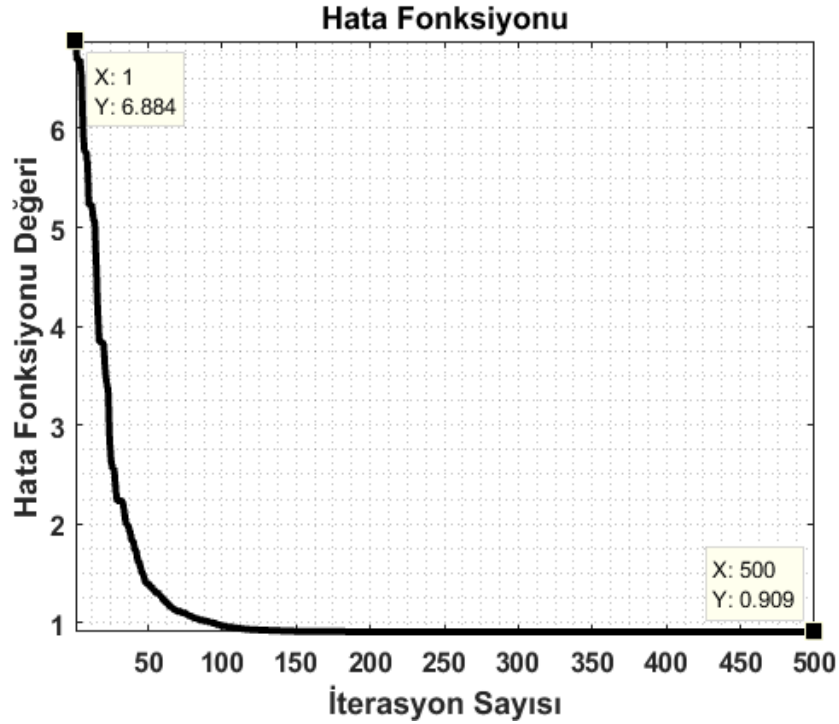
Şekil 36  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için istenilen  $\phi = 0^\circ$  düzleminde normalize ışına örüntüsü

PSO algoritması MATLAB ortamında uygulanarak yansıtıcı dizi anten sistemi için gerekli olan faz değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu durumda  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için optimize edilen faz değerleri Şekil 37'de gösterilmektedir.



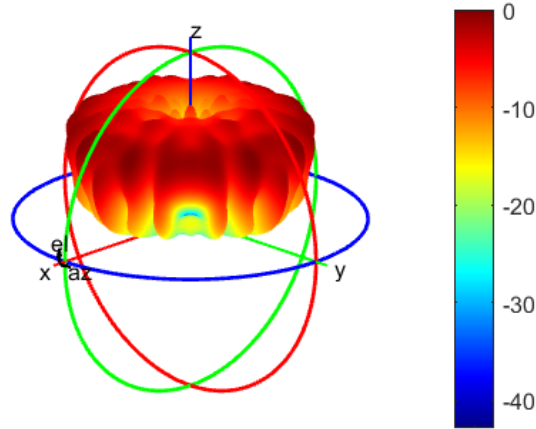
Şekil 37  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için elde edilen optimize faz değerleri

(6) numaralı denklem kullanılarak her bir adımda hesaplanan hata fonksiyonu değerleri Şekil 38'de gösterilmektedir.



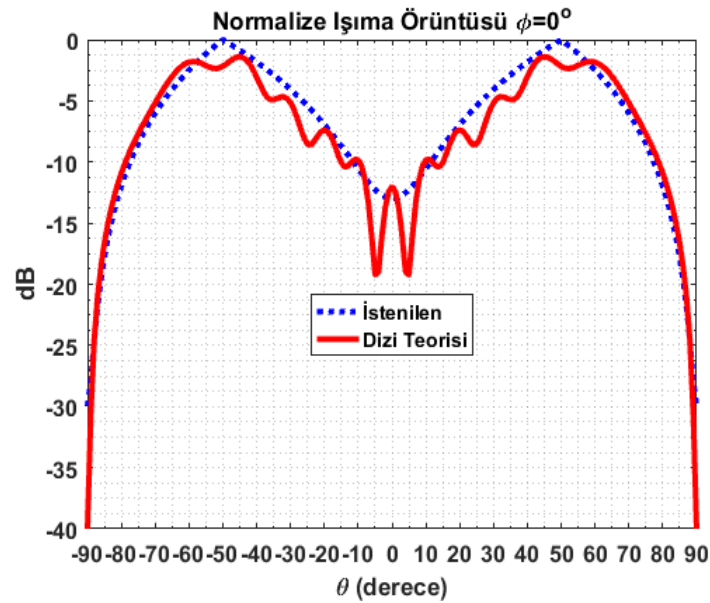
Şekil 38  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için elde edilen hata fonksiyonu değerleri

(3) ve (4)'te verilen denklemler kullanılarak elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları, 3-boyutlu olarak Şekil 39'da gösterilmektedir. Ayrıca farklı azimut eksenlerinde de benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

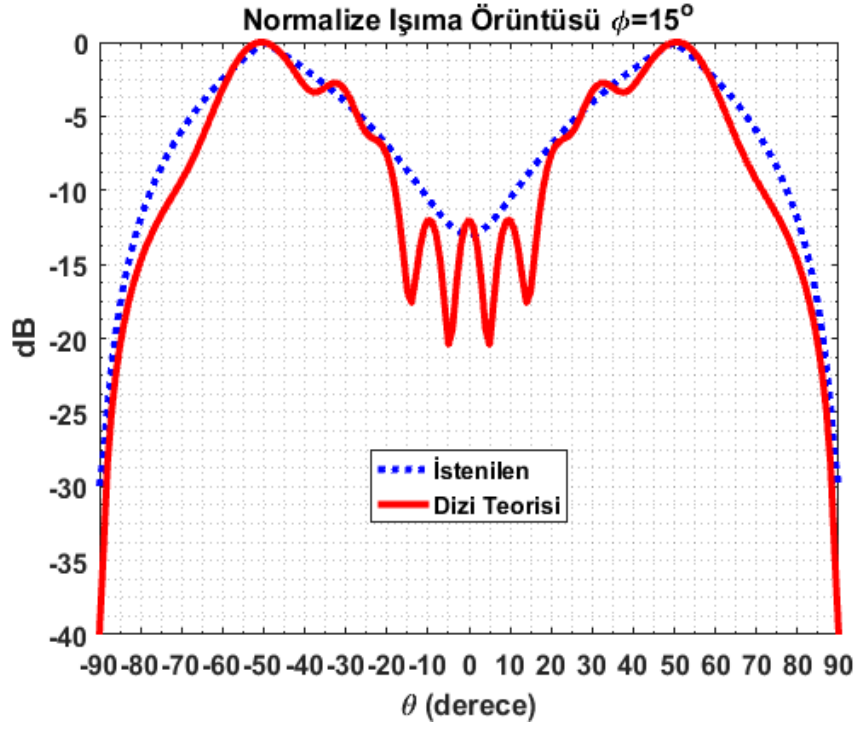


Şekil 39  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü

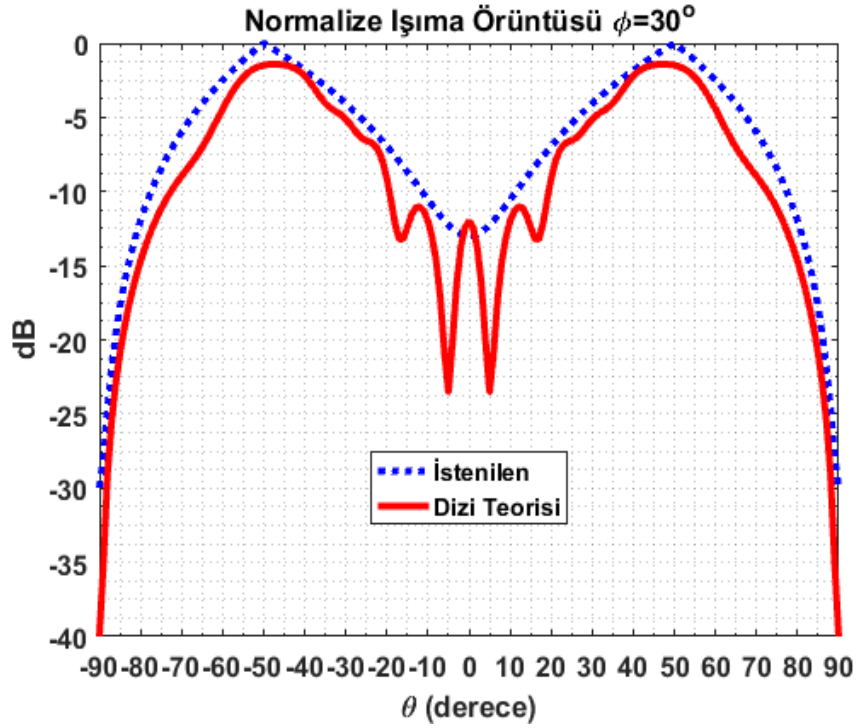
Ayrıca, farklı azimut eksenlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu sayede, dizi teorisi yaklaşımıyla maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) için istenilen ışınma örüntüsü büyük oranda elde edilmiştir.



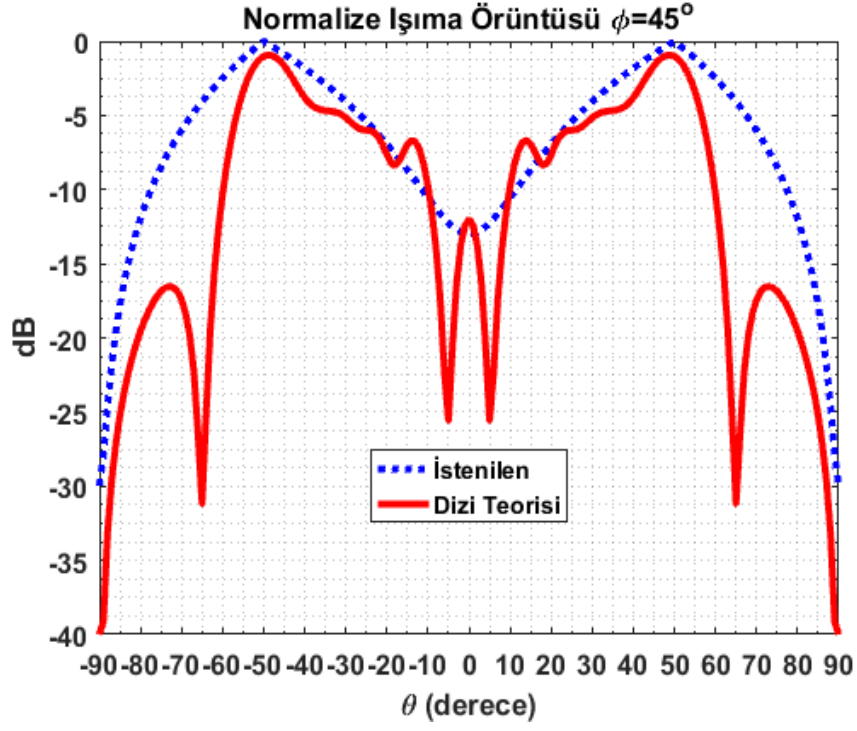
Şekil 40  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



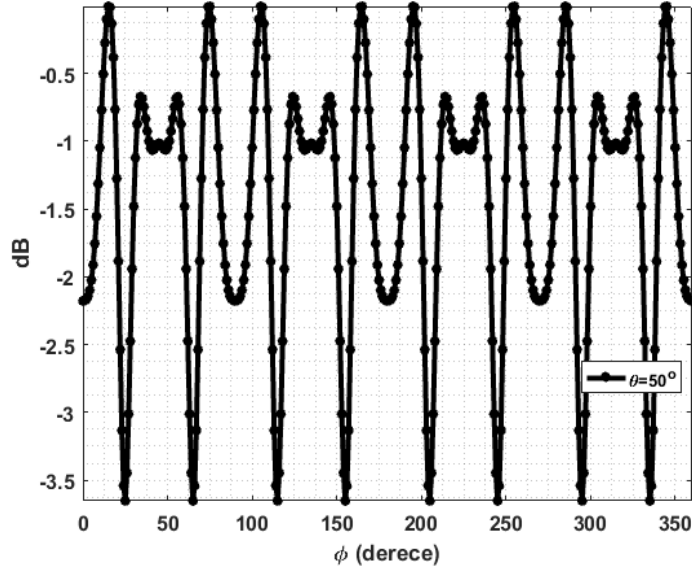
Şekil 41  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



Şekil 42  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



Şekil 43  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışımaya örüntüsü

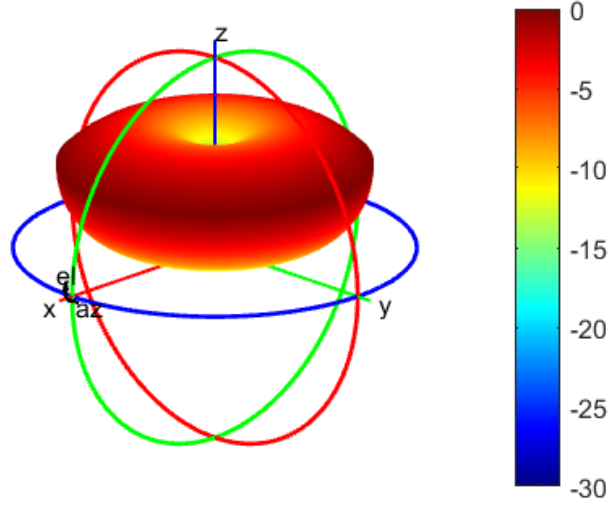


Şekil 44  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\theta = 50^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışımaya örüntüsü

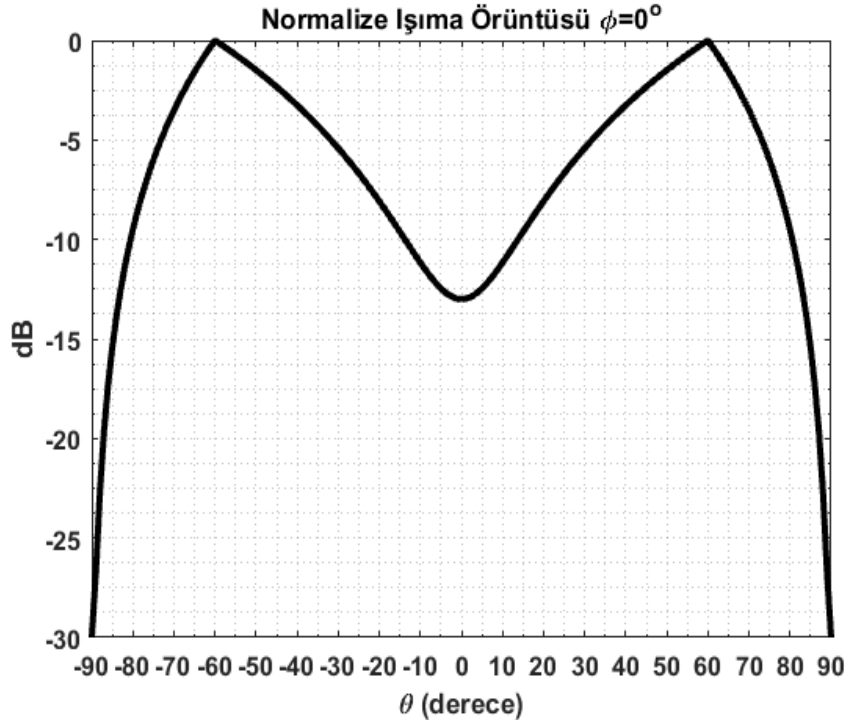
Şekil 44'te maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) 3 dB dalgalanma ile simetrik bir ışımaya örüntüsü elde edildiği gözlemlenmiştir.

### 3.4 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) için Yapılan Tasarım Çalışmaları

Bu bölümde maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso}$ )  $60^\circ$  olan eş akılı ışırma örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan optimizasyon çalışmalarından bahsedilmektedir.  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için hedeflenen ışırma örüntüsü Şekil 45 ve Şekil 46’te gösterilmektedir.



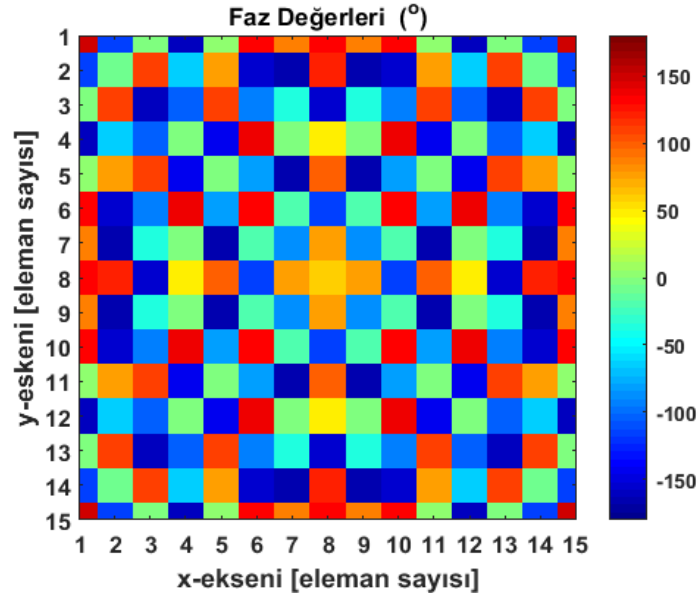
Şekil 45  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için istenilen 3-boyutlu normalize ışırma örüntüsü



Şekil 46  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için istenilen  $\phi = 0^\circ$  düzleminde normalize ışırma örüntüsü

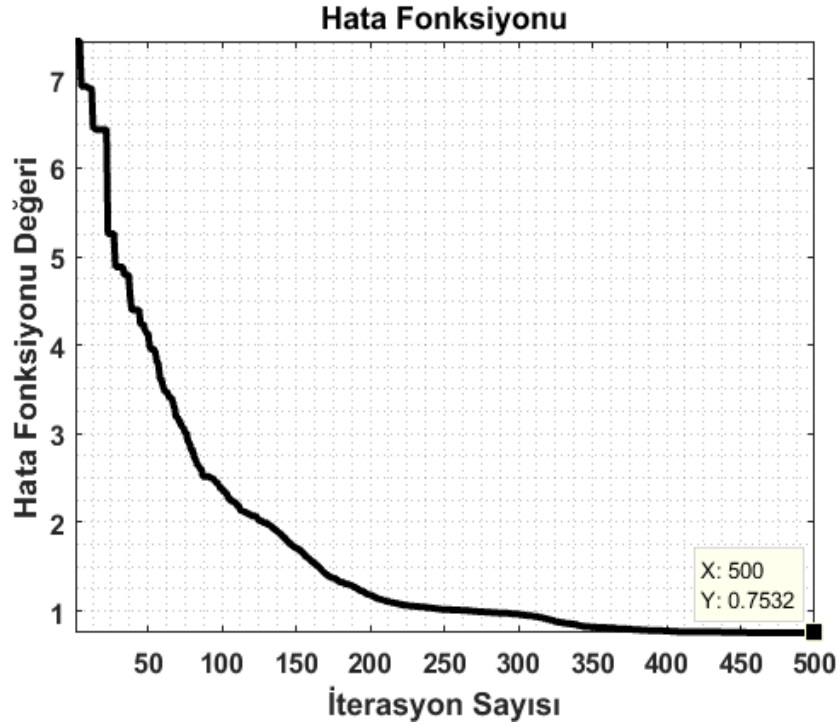


PSO algoritması MATLAB ortamında uygulanarak yansıtıcı dizi anten sistemi için gerekli olan faz değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu durumda  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için optimize edilen faz değerleri Şekil 47’de gösterilmektedir.



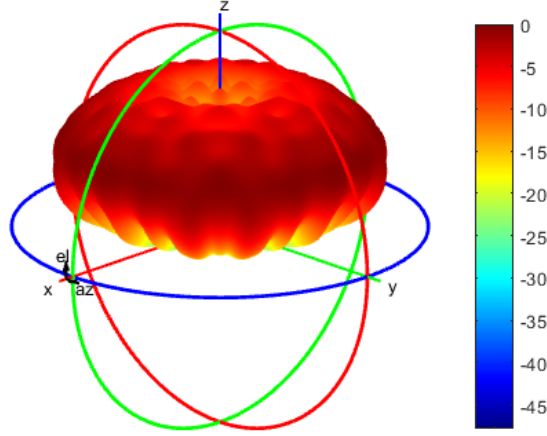
Şekil 47  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için elde edilen optimize faz değerleri

(6) numaralı denklem kullanılarak her bir adımda hesaplanan hata fonksiyonu değerleri Şekil 48’de gösterilmektedir.



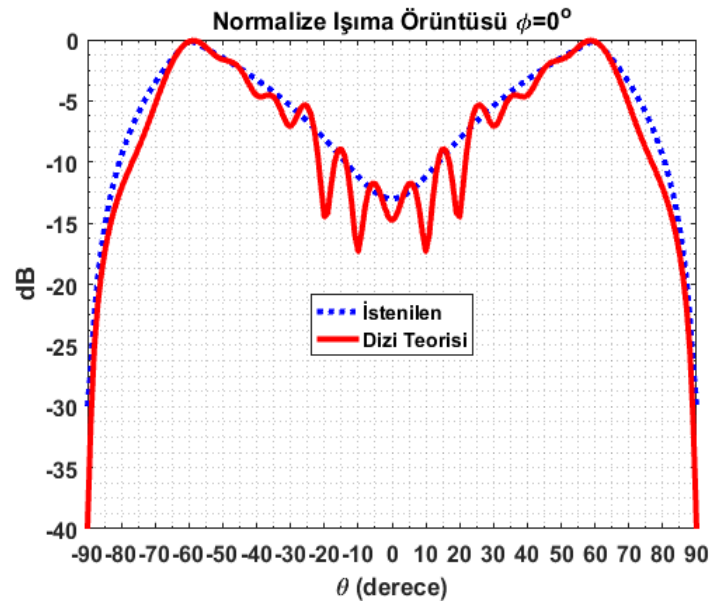
Şekil 48  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için elde edilen hata fonksiyonu değerleri

(3) ve (4)'te verilen denklemler kullanılarak elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları, 3-boyutlu olarak Şekil 39'de gösterilmektedir. Ayrıca farklı azimut eksenlerinde de benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

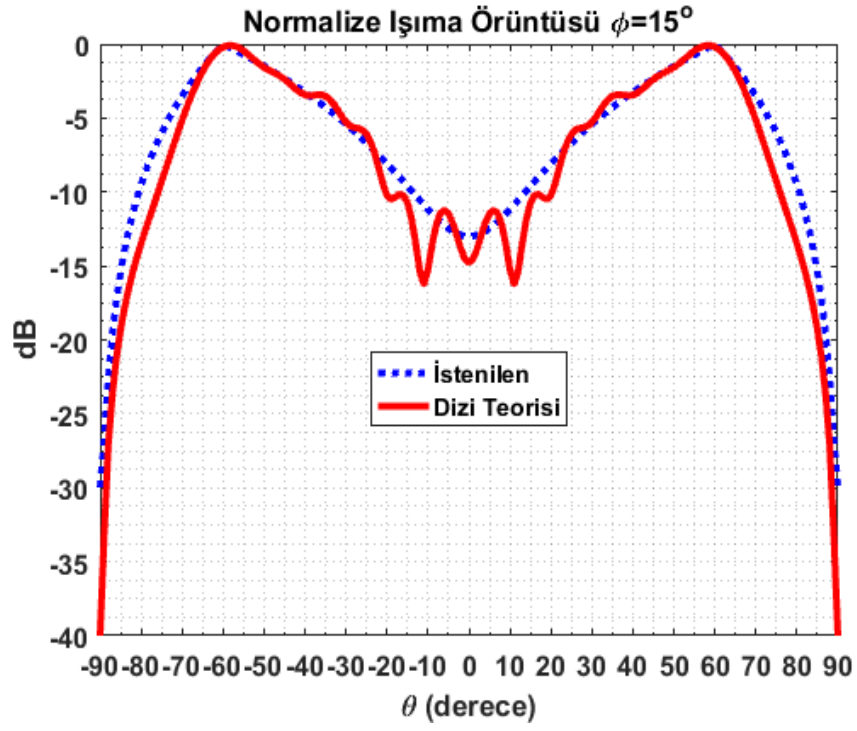


Şekil 49  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu normalize ışınma örüntüsü

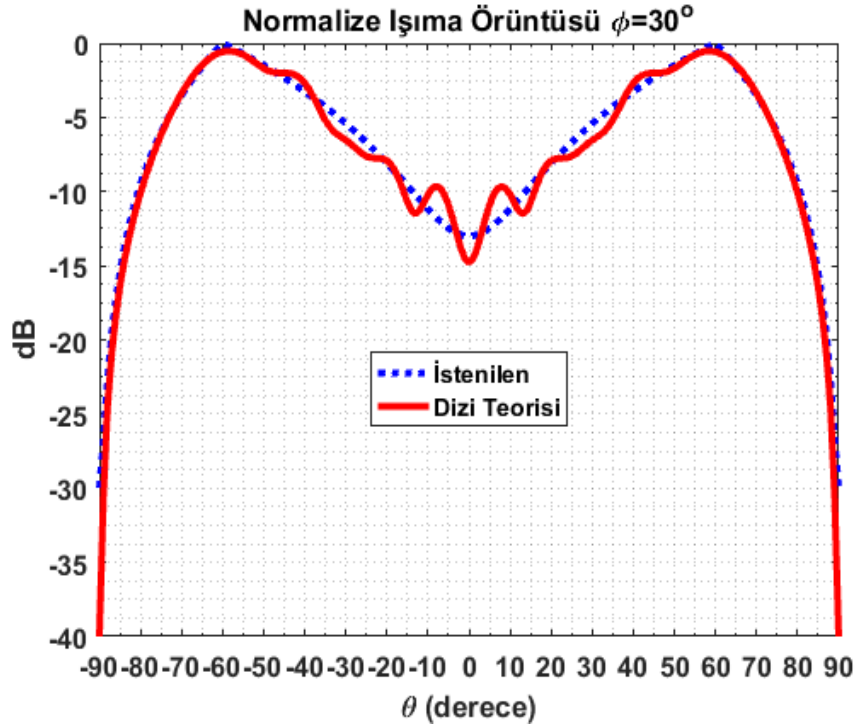
Ayrıca, farklı azimut eksenlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  ve  $45^\circ$ ) benzer sonuçların elde edildiği aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu sayede, dizi teorisi yaklaşımıyla maksimum yükselme açısı ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) için istenilen ışınma örüntüsü büyük oranda elde edilmiştir.



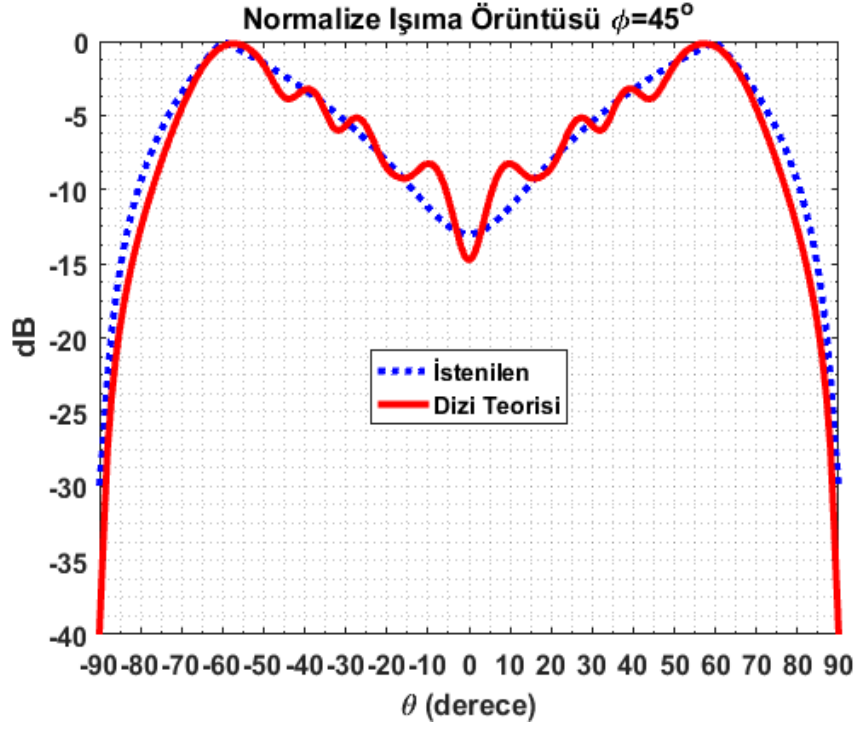
Şekil 50  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışınma örüntüsü



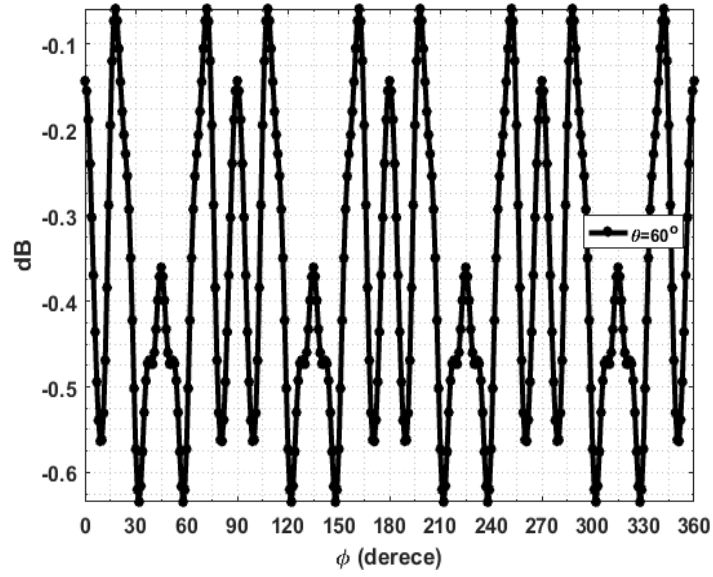
Şekil 51  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü



Şekil 52  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örüntüsü



Şekil 53  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örneği



Şekil 54  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\theta = 60^\circ$  düzleminde elde edilen normalize ışım örneği

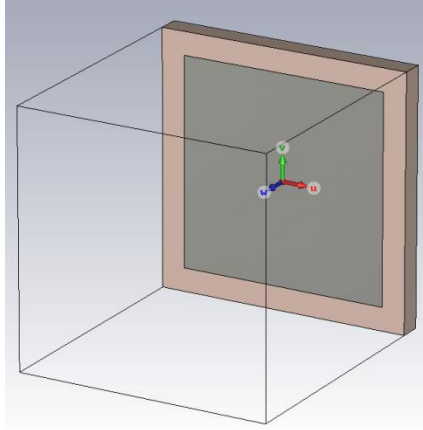
Şekil 54'te maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) 0.6 dB dalgalanma ile simetrik bir ışım örneği elde edildiği gözlemlenmiştir.

## 4 BENZETİM SONUÇLARI (CST)

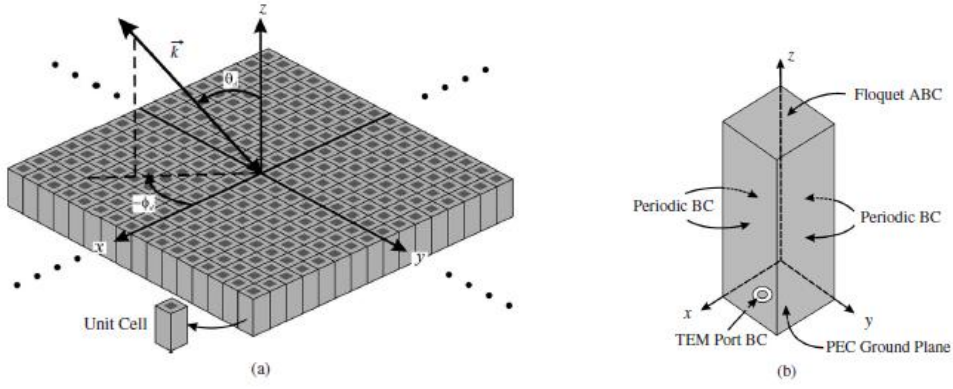
### 4.1 Birim Hücre Elemanı Modeli ve Benzetimi

Yansıtıcı dizi anten sisteminde, birim hücre elemanlarının yansıma karakteristiklerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanıma sahip olanı, periyodik sınır koşulları tekniğine dayanan Floquet port analiz yöntemidir [37]. Bu yöntemle herhangi bir yöndeki gelme açısına ( $\theta_i, \phi_i$ ) ve TE veya TM kutuplamaya sahip düzlemsel dalga birim hücre elemanı üzerinden yansıtılarak, istenilen yönde geri yansıyan elektromanyetik dalganın genlik ve faz dağılımı elde edilmektedir.

Bu modelde, birim hücre elemanı ile aynı genişlik ve uzunluğa sahip dikdörtgenel bir kutunun tabanına birim hücre elemanı yerleştirilmektedir. Birim hücre elemanı modeli geometrik olarak Şekil 55'te gösterilmektedir. Yan duvarlarda periyodik sınır koşulları kullanılarak aynı birim hücrelerden oluşmuş sonsuz elemanlı dizi yapısı bu sayede oluşturulmaktadır (Şekil 56).

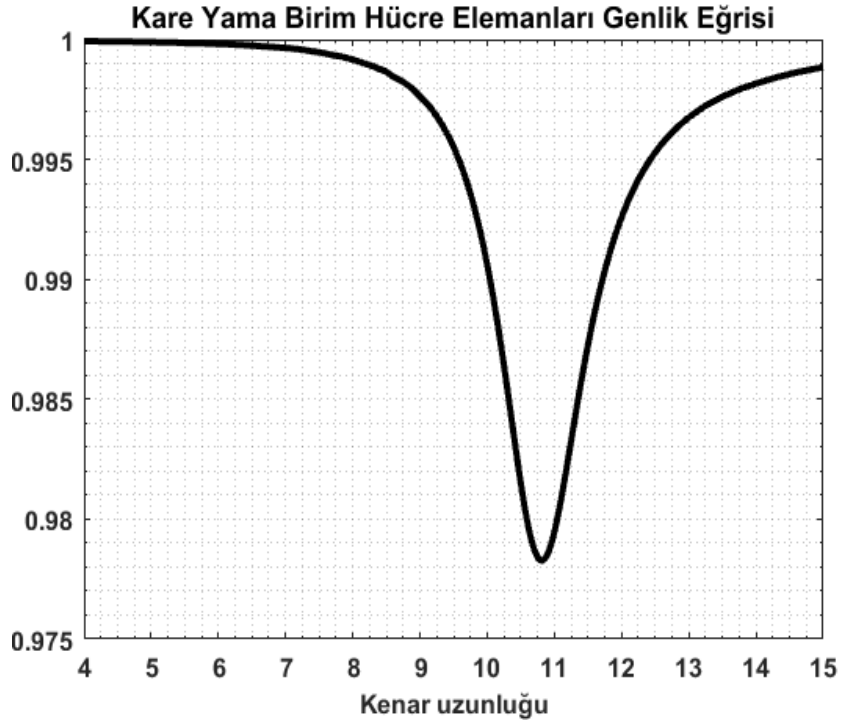


Şekil 55 Kare yama birim hücre elemanı CST modeli

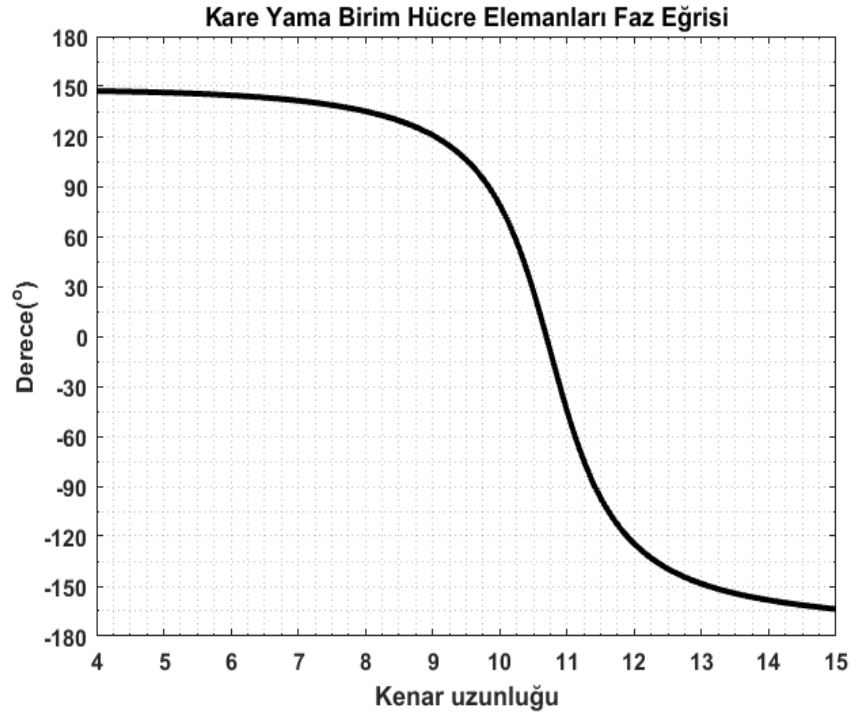


**Şekil 56 Sonsuz elemanlı dizi yöntemi: (a) Benzetim ortamı, (b) Floquet port ve periyodik sınır koşulları**

Floquet port analiz yöntemiyle, en temel yansıtıcı dizi anten elemanlarından olarak bilinen kare yama birim hücre elemanı tasarımı, CST Microwave Studio elektromanyetik benzetim programı kullanılarak tasarlanmıştır. Alttaş malzemesi olarak Arlon CuClad 217 ( $D_k=2.17$ , Dielektrik kayıp tanjantı=0.009) kullanılmıştır. Alttaş malzemesi yüksekliği 1.575 mm olarak seçilmiştir. Elemanlar arası mesafe 17mm olarak ayarlanmıştır. Kare yama birim hücre elemanında genişlik parametresi 4mm'den 15mm'ye değiştirilerek merkez tasarım frekansında (8.23 GHz) elde edilen geri yansıma genlik ve faz dağılımları Şekil 57 ve Şekil 58'de gösterilmektedir. Kare yama birim hücre kullanılarak maksimum faz aralığı yaklaşık olarak  $320^\circ$  olarak elde edilmiştir.



**Şekil 57** Kare yama birim hücre elemanı için elde edilen genlik dağılımı



**Şekil 58** Kare yama birim hücre elemanı için elde edilen faz dağılımı

## 4.2 Yansıtıcı Dizi Anten Benzetim Çalışmaları

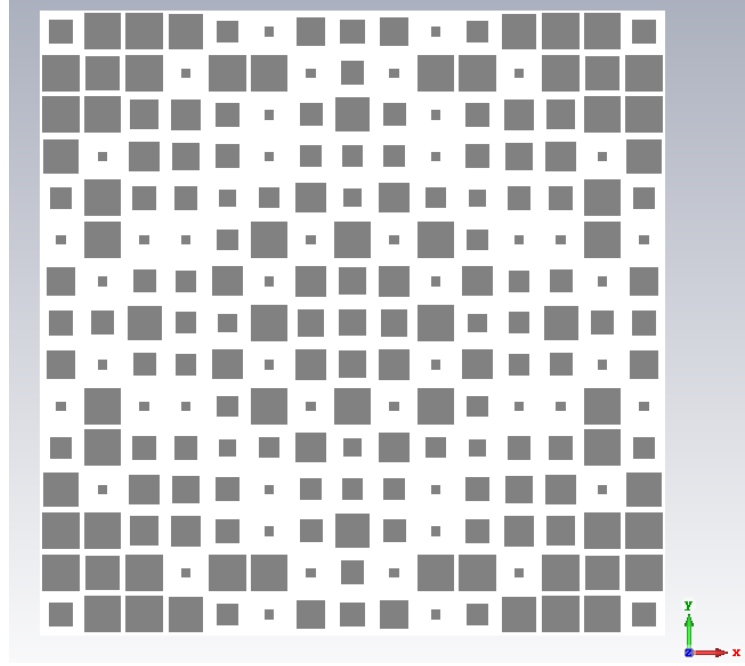
Yansıtıcı dizi anten sistemini oluşturabilmek için öncelikle, birim hücre elemanlarının anten açıklığı üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirilebilmesi için, Şekil 58’de verilen kare yama için elde edilen faz eğrisi kullanılarak gereken faz değerleri ile eşleştirme işlemi yapılmalıdır. Başka bir deyişle, gereken faz değerini sağlayabilecek en uygun birim hücre elemanı seçilmelidir. CST ortamında birim hücre elemanlarını tek tek yerleştirmek uzun zaman almaktadır. Özellikle çok elemanlı yansıtıcı dizi anten yapılarında bu durum daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle, birim hücre elemanlarının yansıtıcı dizi anten yüzeyine yerleştirilebilmesi için birim hücre elemanlarının konum ve boyut bilgilerini içeren DXF formatında dosya oluşturulmuştur. Bu sayede birim hücre elemanlarının yerleşimi kolaylaştırılmıştır.

Besleme anteni olarak, Bölüm 2.3.1’de verilen oluklu boynuz anteni kullanılmıştır. Yansıtıcı dizi anten sistemlerinde kullanılan odak-çap oranı 0.6174 olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki alt bölümlerde, farklı maksimum yükselme açı değerlerine sahip eş akıllı ışınma örüntülü yansıtıcı dizi anten sistemlerinden bahsedilmektedir.

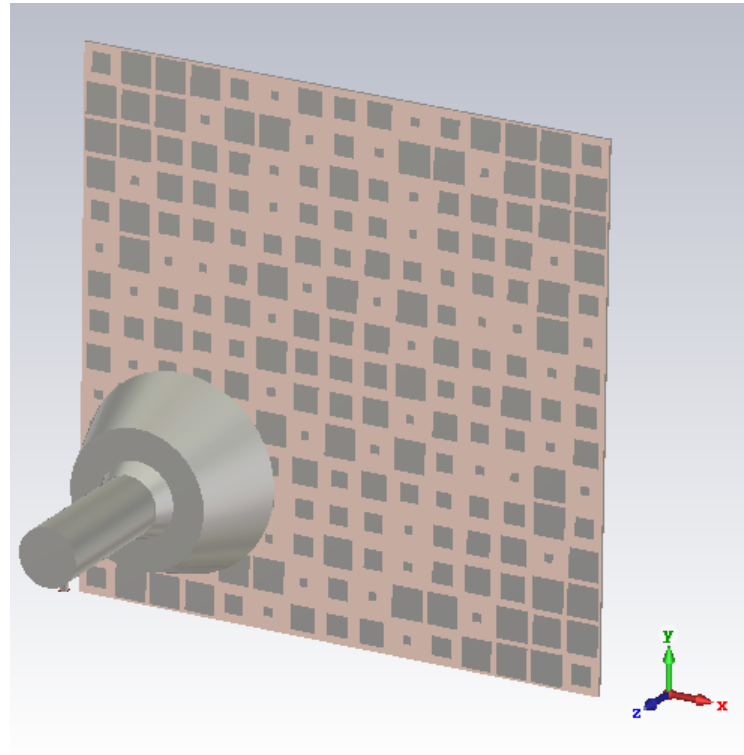
### 4.2.1 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 30^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı  $30^\circ$  olan eş akıllı ışınma örüntülü yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan benzetim çalışmalarından ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Bölüm 3.1’de elde edilen gerekli faz değerleri kullanılarak oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi Şekil 59’da gösterilmektedir. Ayrıca, besleme anteninin yerleşimi Şekil 60’da gösterilmektedir.



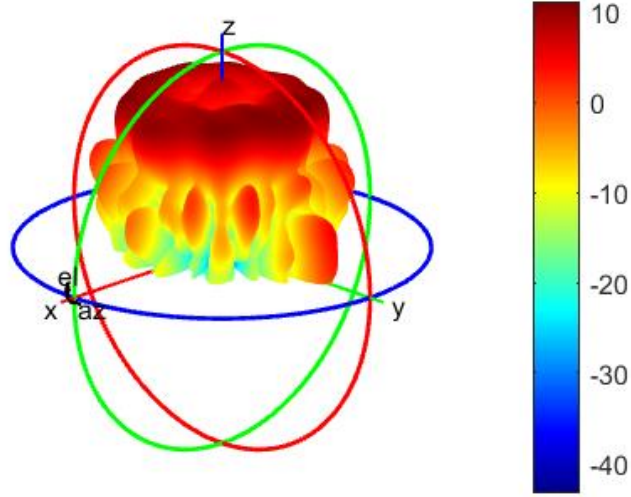


Şekil 59  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi

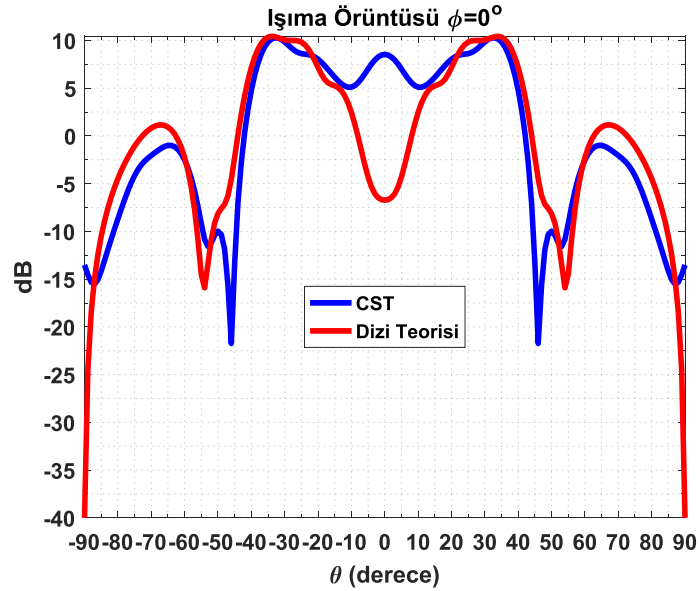


Şekil 60  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi

Maksimum yükselme açısı  $30^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışınma örüntüsü Şekil 61’de gösterilmiştir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde, dizi teorisi yaklaşımıyla ve CST ortamında elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları, farklı azimut değerleri için karşılaştırılmıştır. Genel olarak dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar ile CST ortamında elde edilen sonuçlar büyük oranda örtüşmektedir.

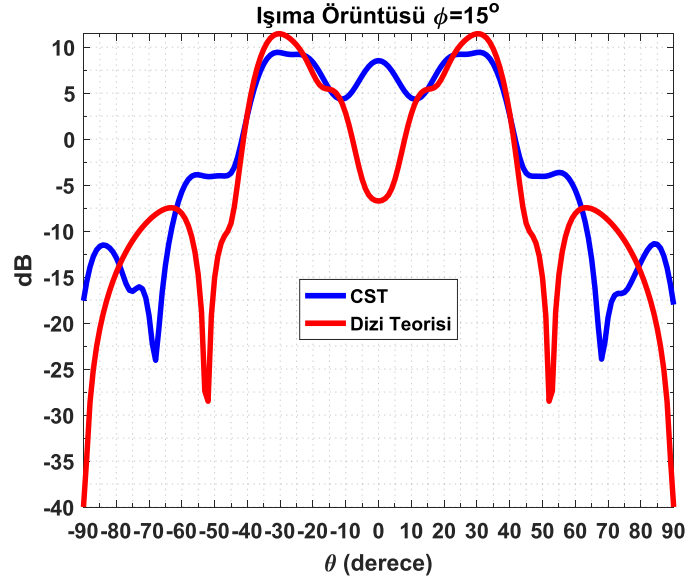


Şekil 61  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışınma örüntüsü

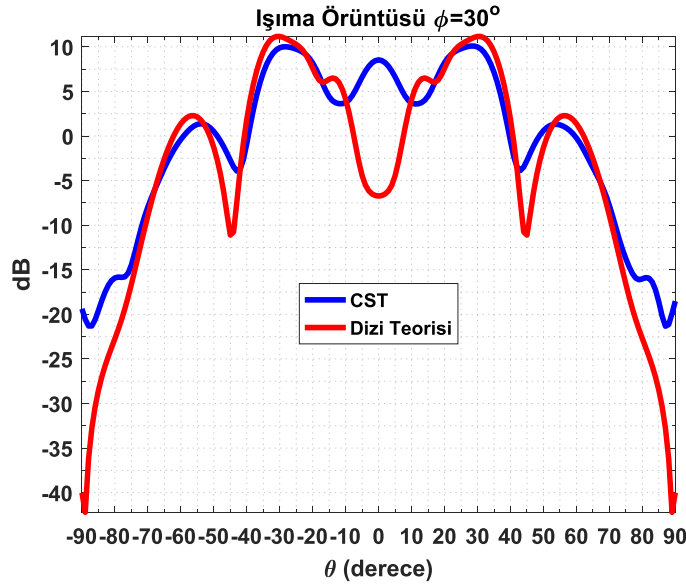


Şekil 62  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen ışınma örüntüsü karşılaştırması

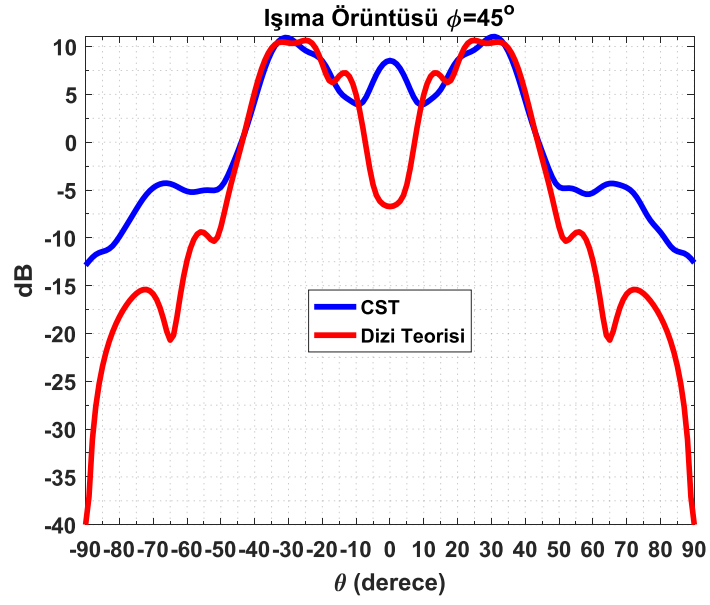
Karşılaştırmalarda, farklı azimut değerlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  ve  $90^\circ$ ), anten yükselme açısı  $\theta = \pm 10^\circ$  aralığında dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen anten yönlülük değerlerinin 2.4 dB ile -6.7 dB aralığında değişmesi beklenirken, CST ortamında elde edilen sonuçların 8.5 dB ile 2.4 dB arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, maksimum yükselme açısı ( $\theta = 30^\circ$ ) değerinden sonra elde edilen sonuçlar dikkate alınmamıştır.



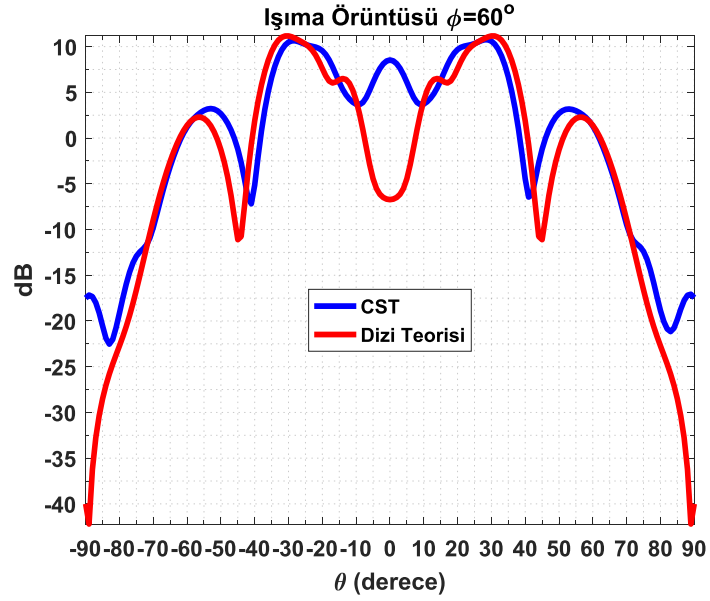
Şekil 63  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen ışınım örüntüsü karşılaştırması



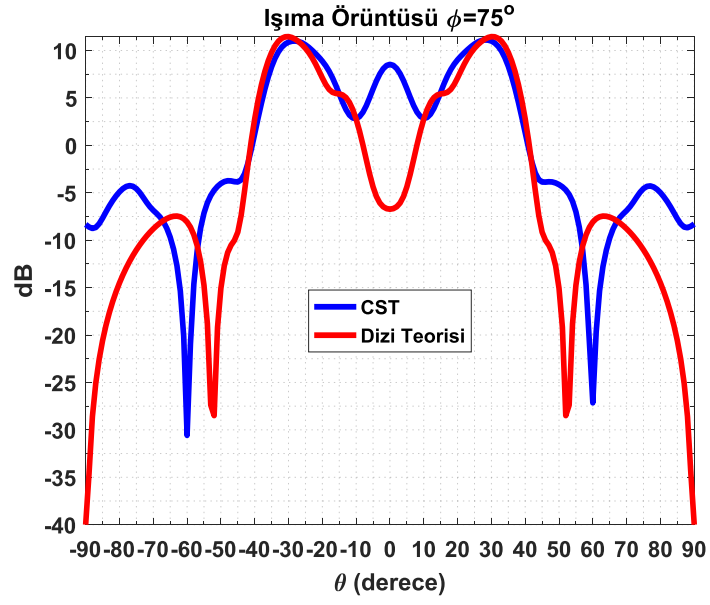
Şekil 64  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen ışınım örüntüsü karşılaştırması



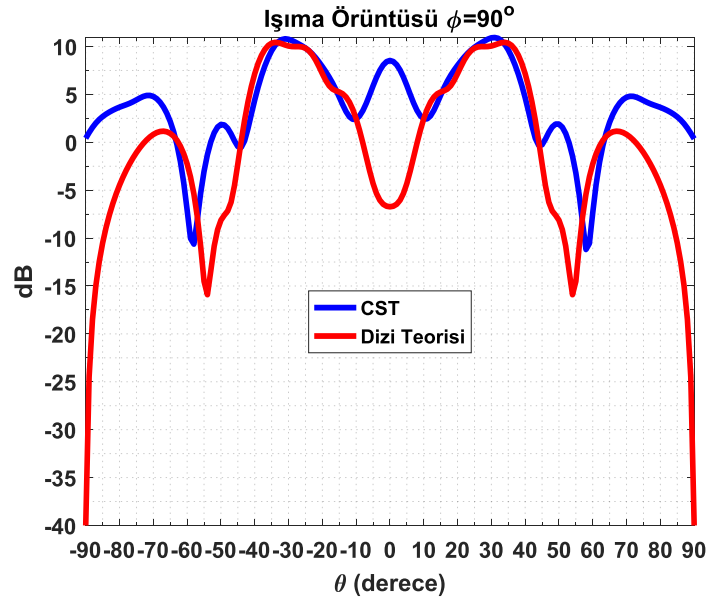
**Şekil 65  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 66  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 60^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**

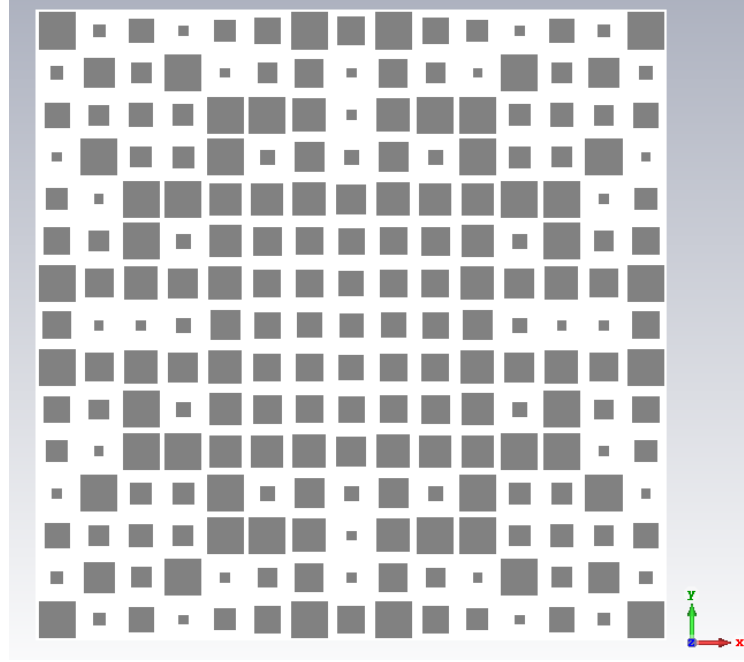


Şekil 67  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 75^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması

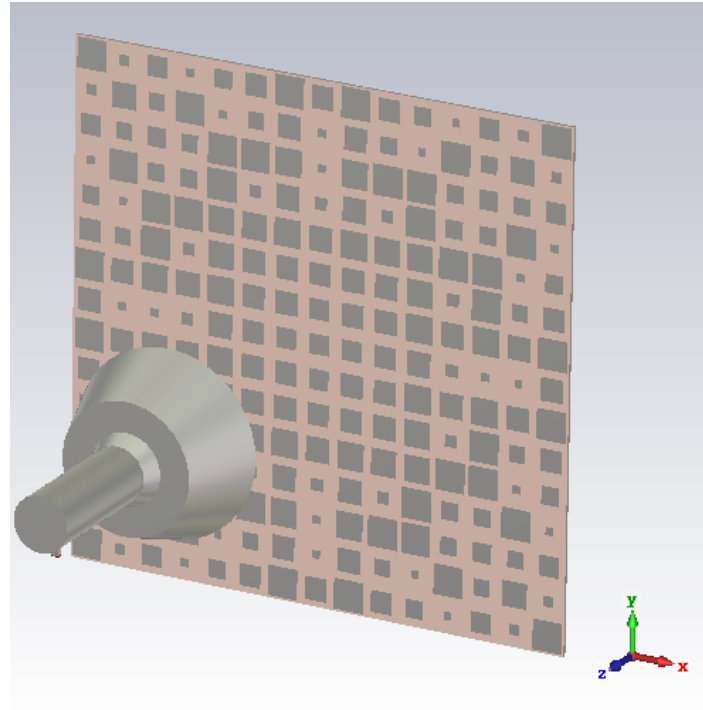


Şekil 68  $\theta_{iso} = 30^\circ$  için  $\phi = 90^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



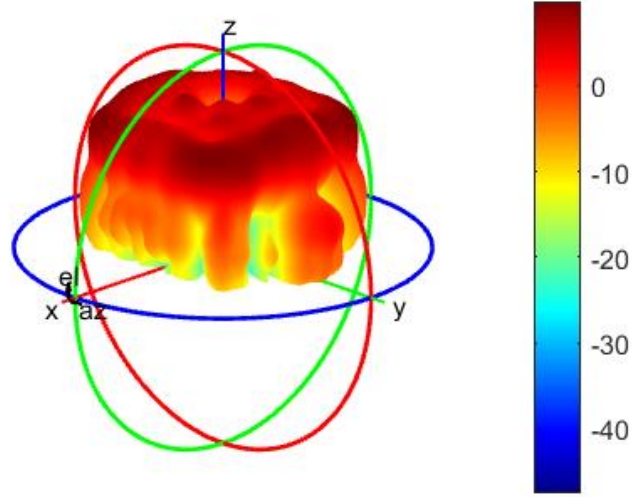


Şekil 70  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi

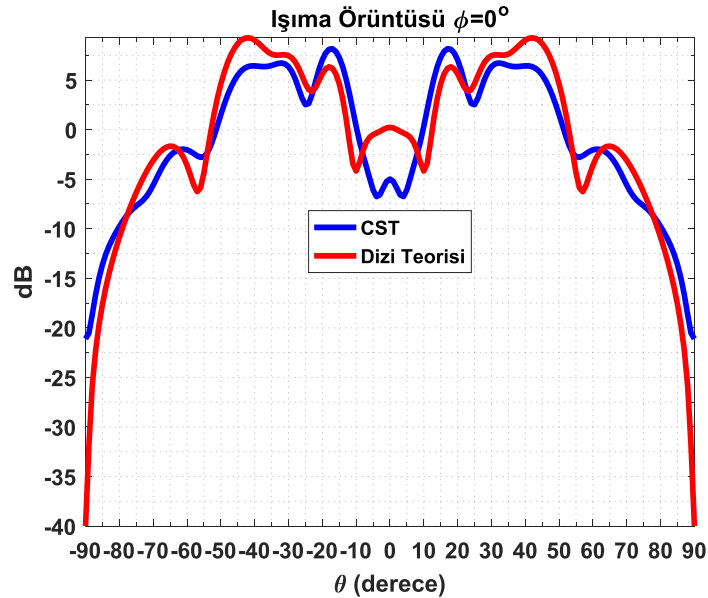


Şekil 71  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi

Maksimum yükselme açısı  $40^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışıma örüntüsü Şekil 72'de gösterilmektedir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde, dizi teorisi yaklaşımıyla ve CST ortamında elde edilen ışıma örüntüsü sonuçları farklı azimut değerleri için karşılaştırılmıştır. Genel olarak dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar ile CST ortamında elde edilen sonuçlar büyük oranda örtüşmektedir.



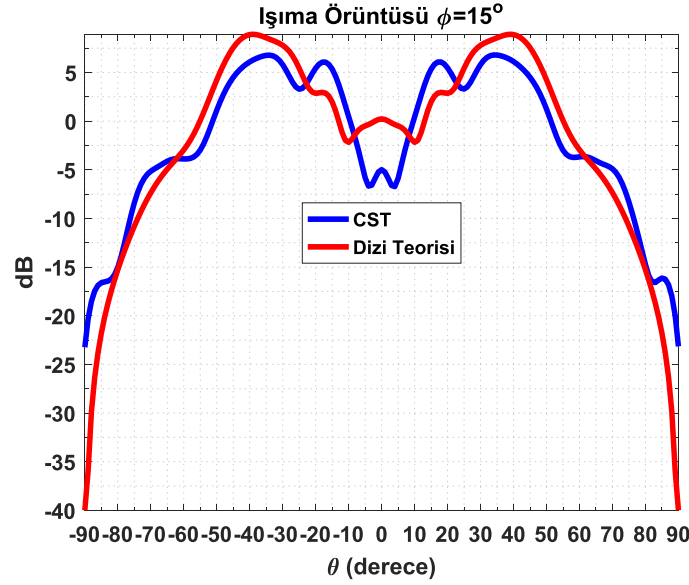
Şekil 72  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışıma örüntüsü



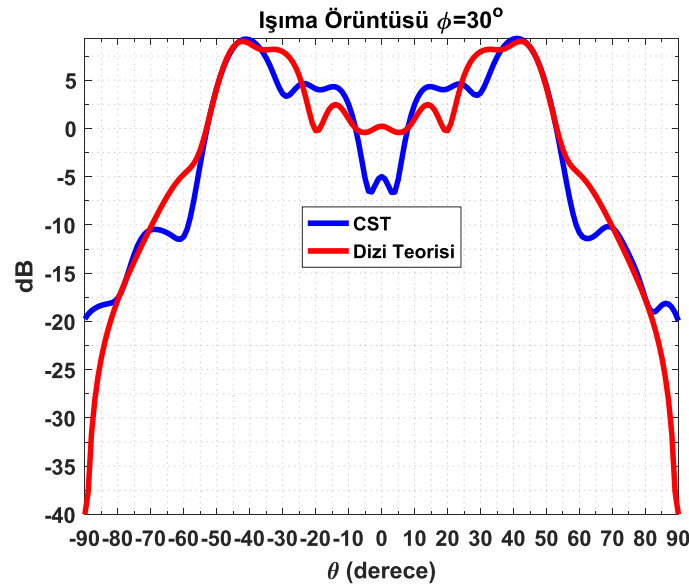
Şekil 73  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması



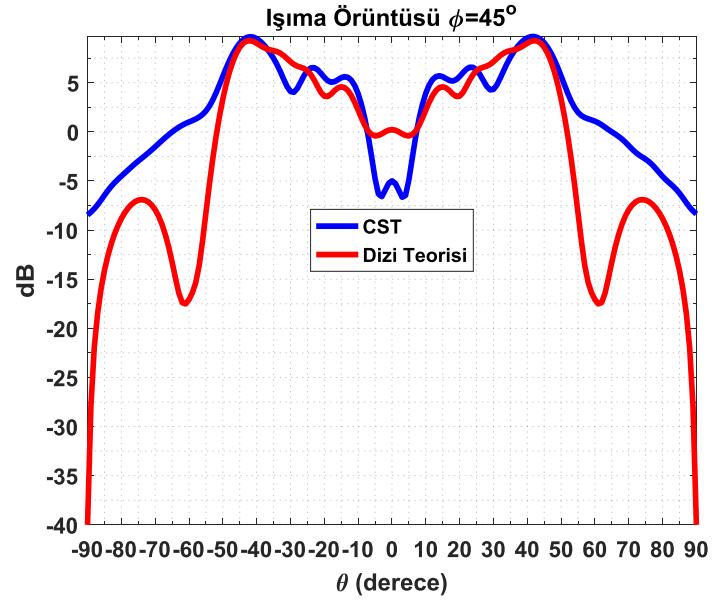
Karşılaştırmalarda, farklı azimut değerlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  ve  $90^\circ$ ), anten yükselme açısı  $\theta = \pm 8^\circ$  aralığında dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen anten yönlülük değerlerinin 0.3 dB ile -2.1 dB aralığında değişmesi beklenirken, CST ortamında elde edilen sonuçların -2.1 dB ile -6.6 dB arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, maksimum yükselme açısı ( $\theta = 40^\circ$ ) değerinden sonra elde edilen sonuçlar dikkate alınmamasına rağmen büyük oranda örtüşmektedir.



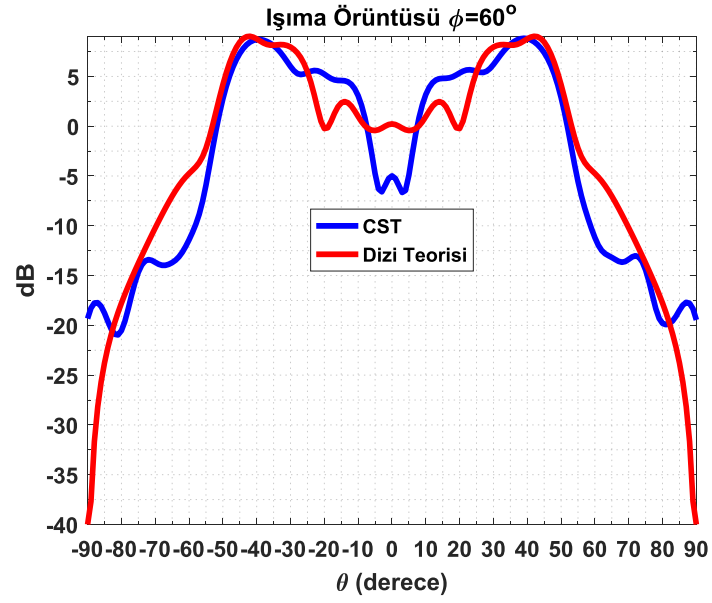
Şekil 74  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



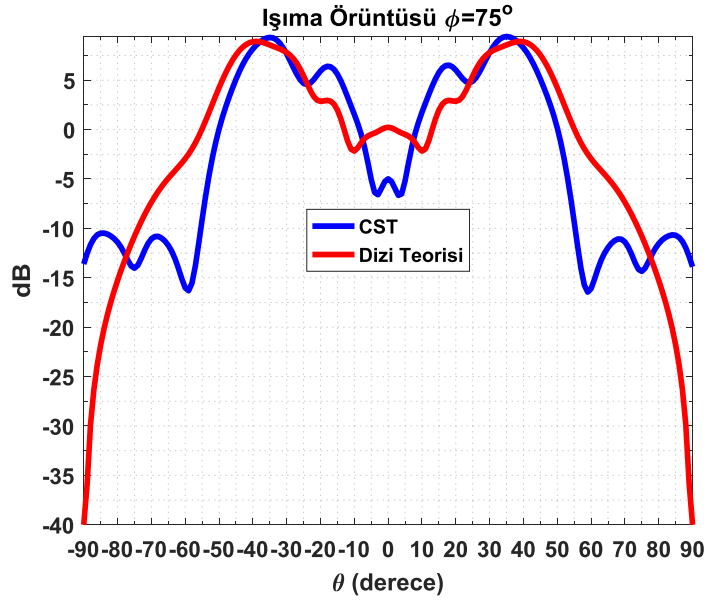
Şekil 75  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



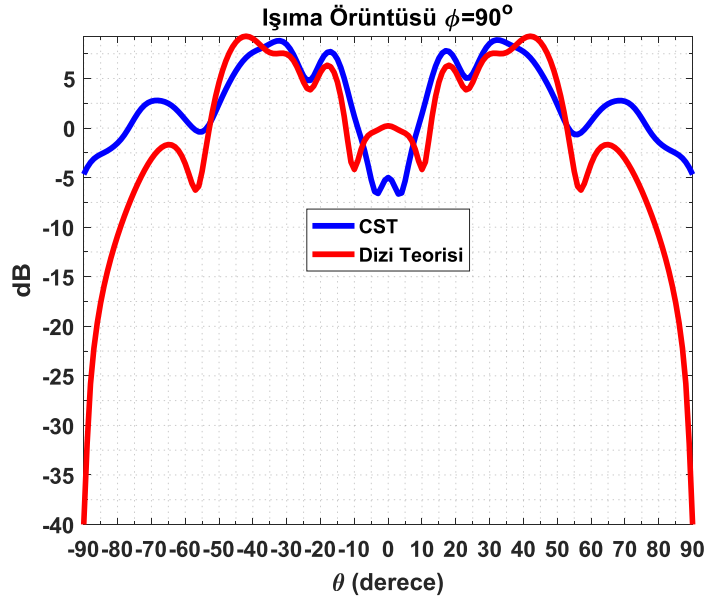
**Şekil 76  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 77  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 60^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**

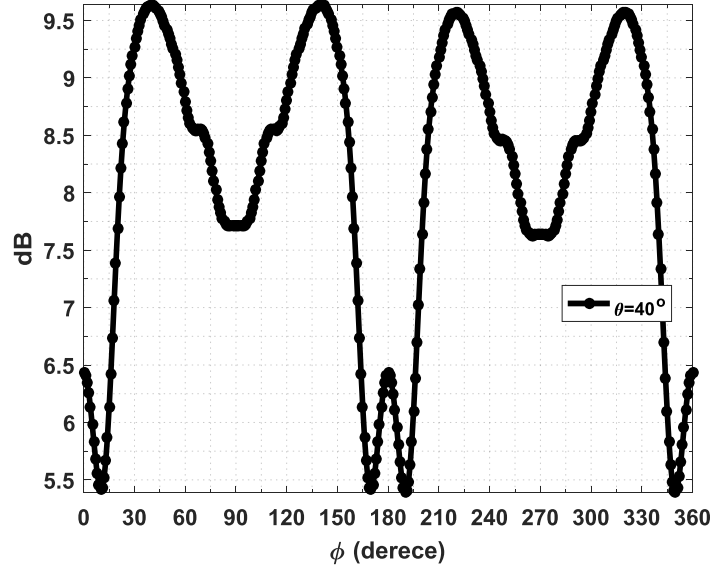


**Şekil 78  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 75^\circ$  düzleminde elde edilen ışımada örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 79  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\phi = 90^\circ$  düzleminde elde edilen ışımada örüntüsü karşılaştırması**

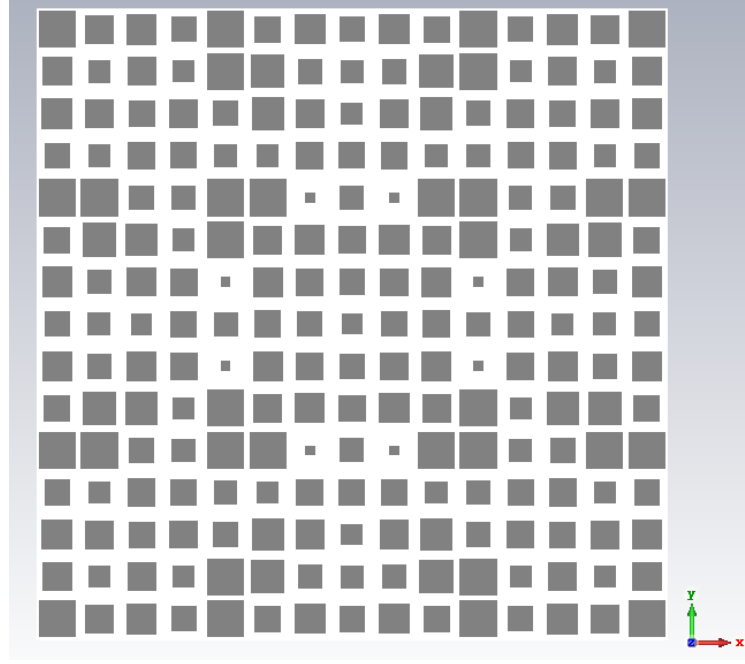
Ayrıca CST ortamında maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 40^\circ$ ) azimut eksenine göre elde edilen sonuçlar Şekil 80’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre maksimum yükselme açısında yaklaşık olarak 4 dB dalgalanma gözlemlenmiştir.



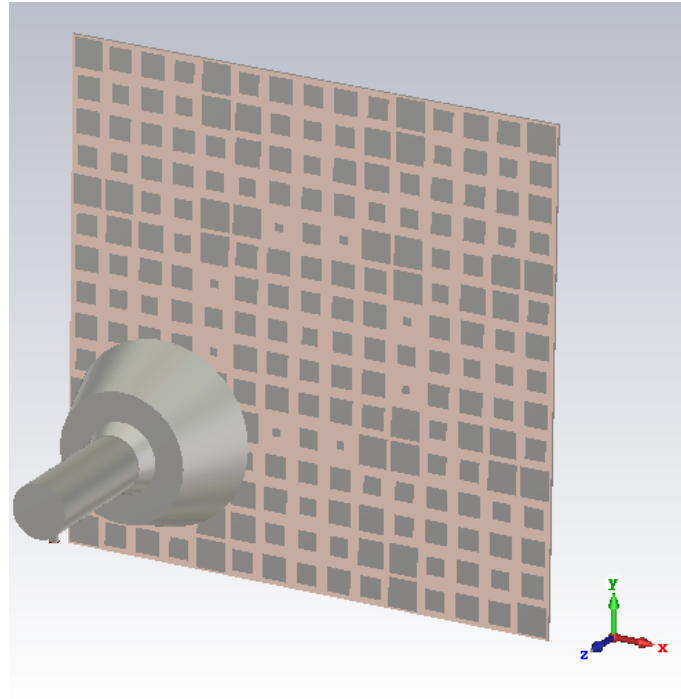
Şekil 80  $\theta_{iso} = 40^\circ$  için  $\theta = 40^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü

#### 4.2.3 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı  $50^\circ$  olan eş akılı ışıma örüntülü yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan benzetim çalışmalarından ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Bölüm 3.3’te elde edilen gerekli faz değerleri kullanılarak oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi Şekil 81’de gösterilmektedir. Ayrıca besleme anteninin yerleşimi Şekil 82’de gösterilmektedir.

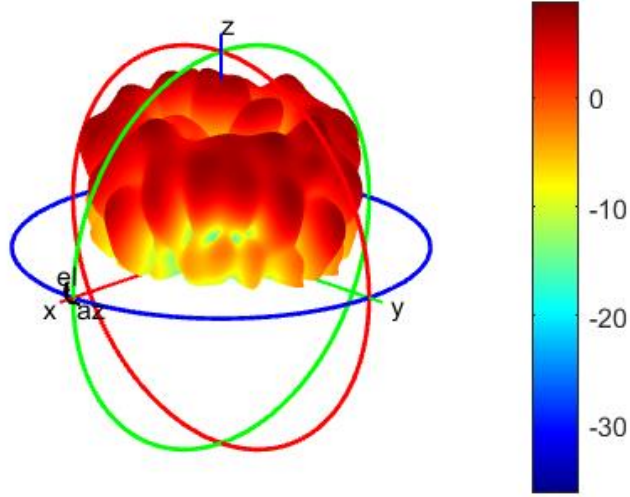


Şekil 81  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi

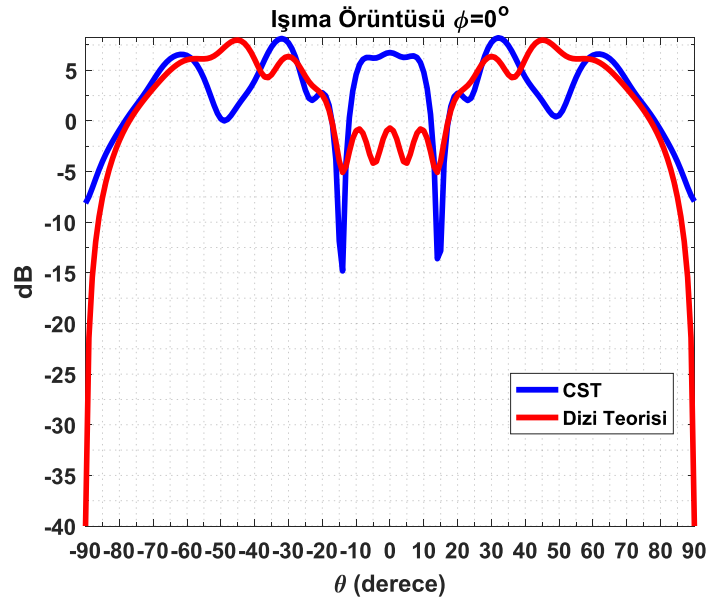


Şekil 82  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi

Maksimum yükselme açısı  $50^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışına örüntüsü Şekil 83'te gösterilmektedir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde, dizi teorisi yaklaşımıyla ve CST ortamında elde edilen ışına örüntüsü sonuçları farklı azimut değerleri için karşılaştırılmıştır. Genel olarak dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar ile CST ortamında elde edilen sonuçlar büyük oranda örtüşmektedir.

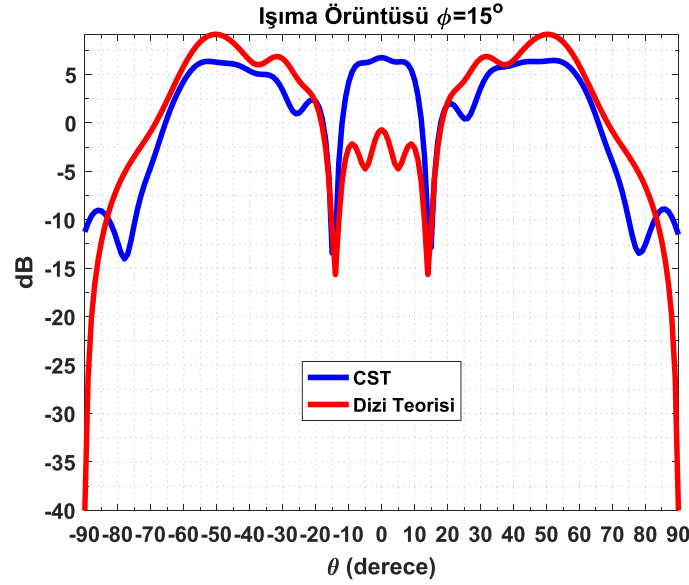


Şekil 83  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışına örüntüsü

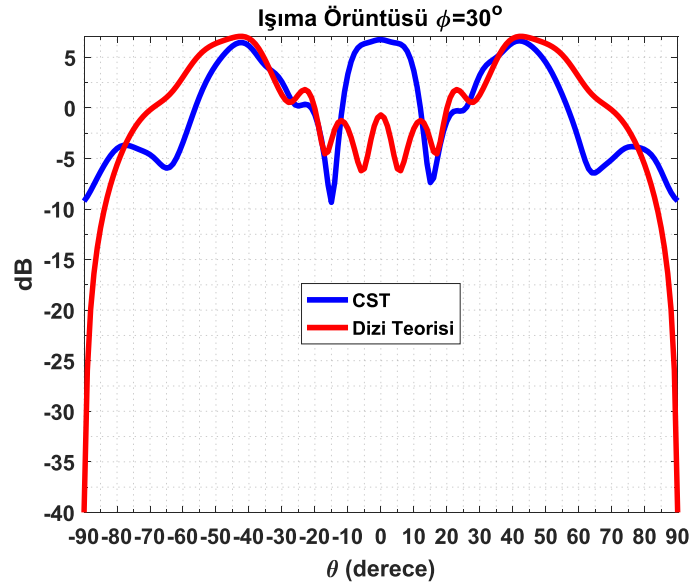


Şekil 84  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen ışına örüntüsü karşılaştırması

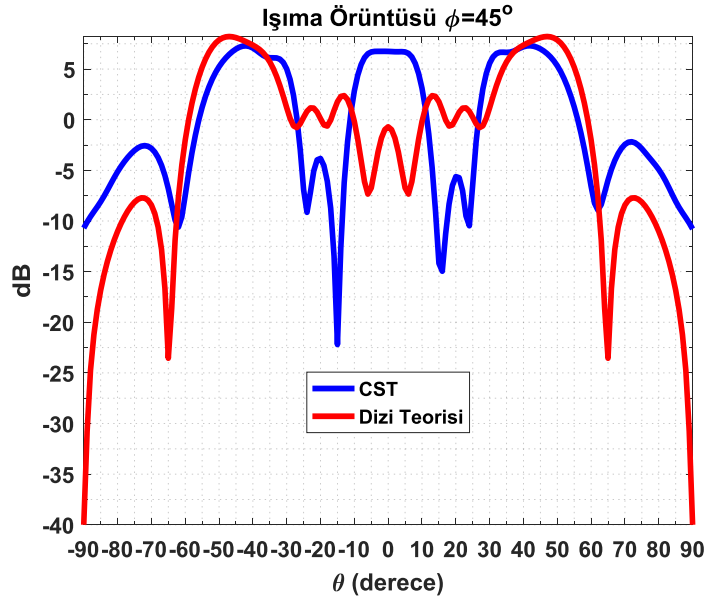
Karşılaştırmalarda, farklı azimut değerlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  ve  $90^\circ$ ), anten yükselme açısı  $\theta = \pm 10^\circ$  aralığında dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen anten yönlülük değerlerinin -0.2 dB ile -6.7 dB aralığında değişmesi beklenirken, CST ortamında elde edilen sonuçların 6.5 dB ile 2.8 dB arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, maksimum yükselme açısı ( $\theta = 50^\circ$ ) değerinden sonra elde edilen sonuçlar dikkate alınmamasına rağmen büyük oranda örtüşmektedir.



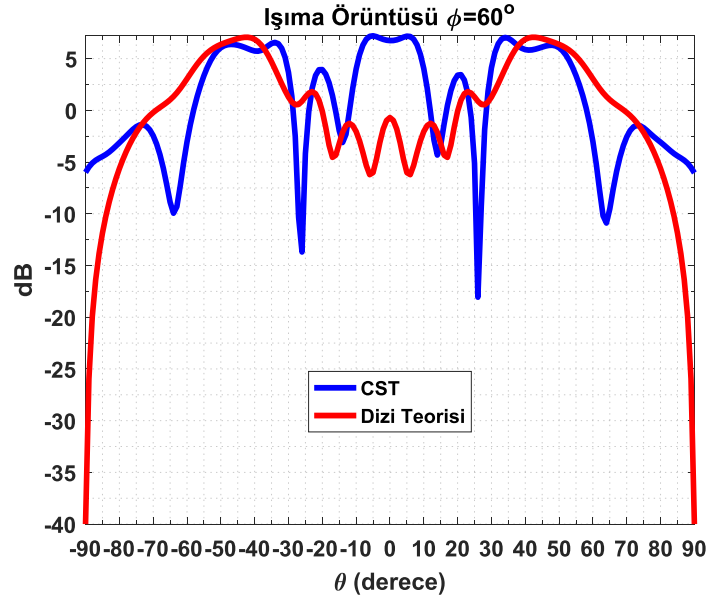
Şekil 85  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



Şekil 86  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması

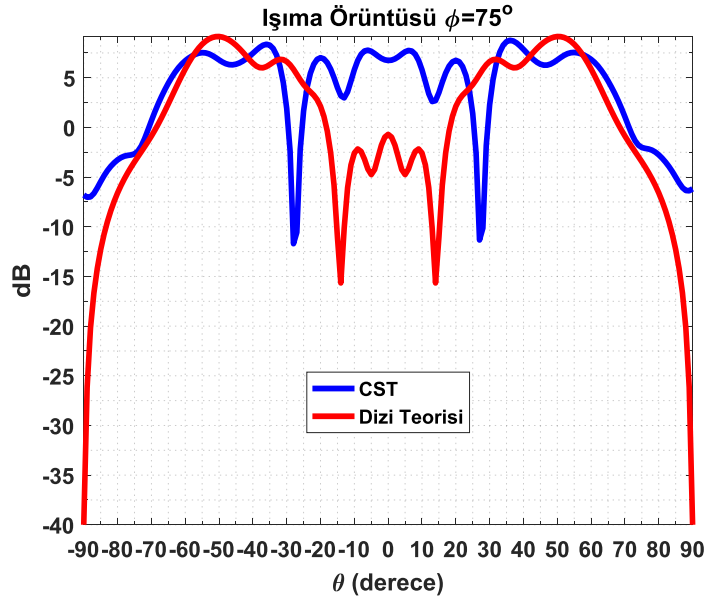


Şekil 87  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması

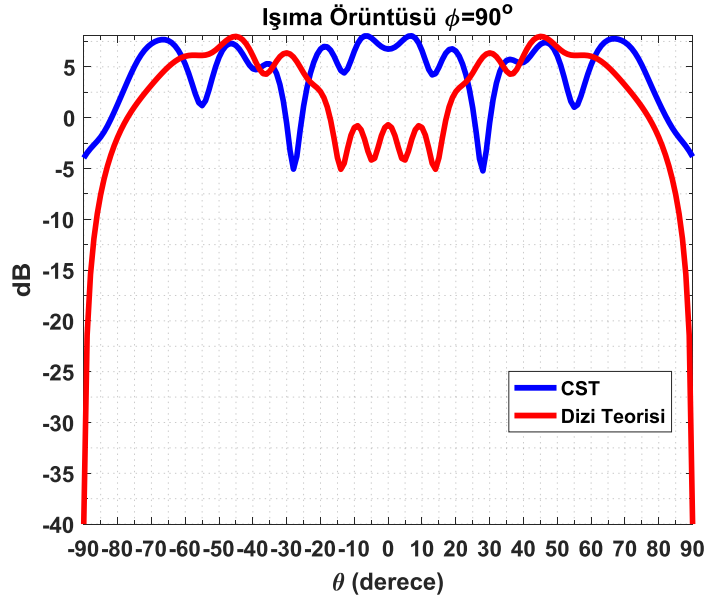


Şekil 88  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 60^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



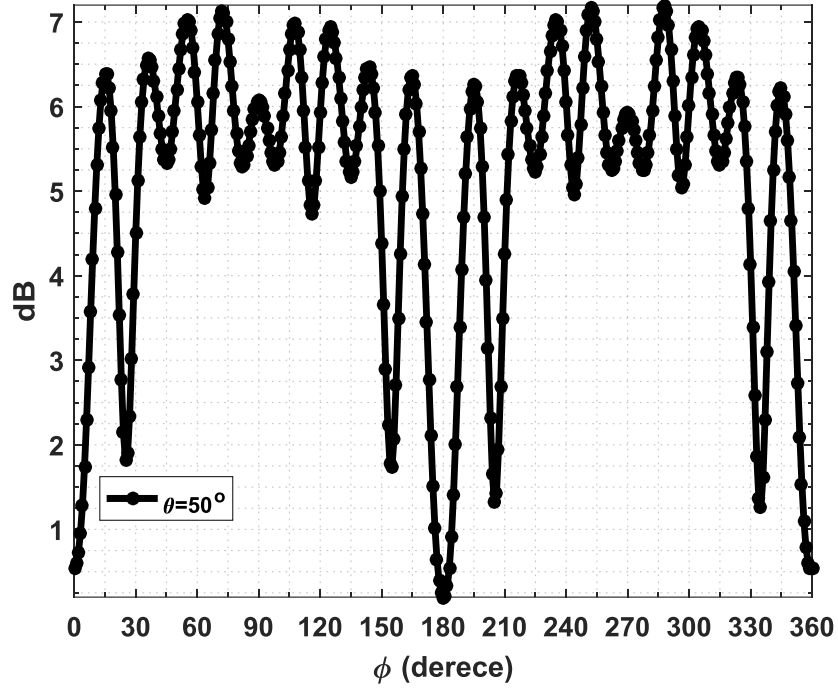


**Şekil 89  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 75^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 90  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\phi = 90^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**

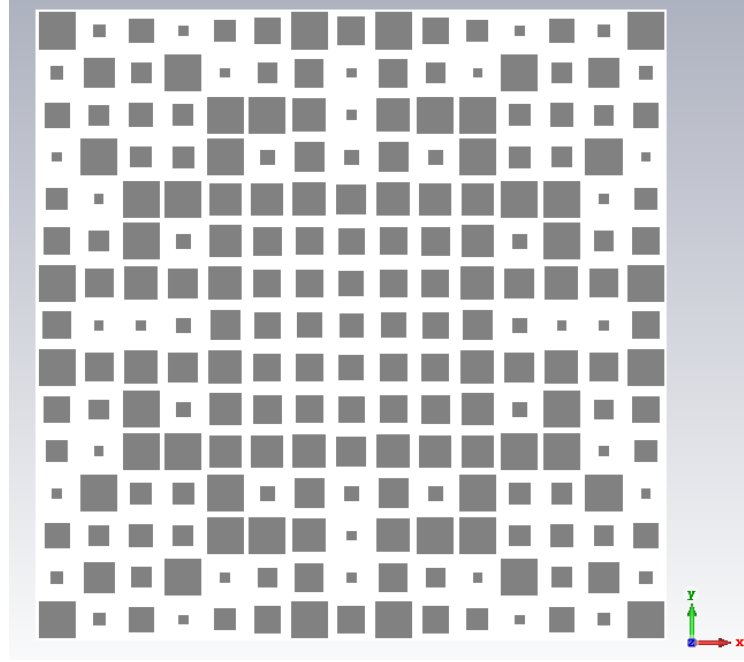
Ayrıca CST ortamında maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 50^\circ$ ) azimut eksenine göre elde edilen sonuçlar Şekil 91’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre maksimum yükselme açısında yaklaşık olarak 6 dB dalgalanma gözlemlenmiştir.



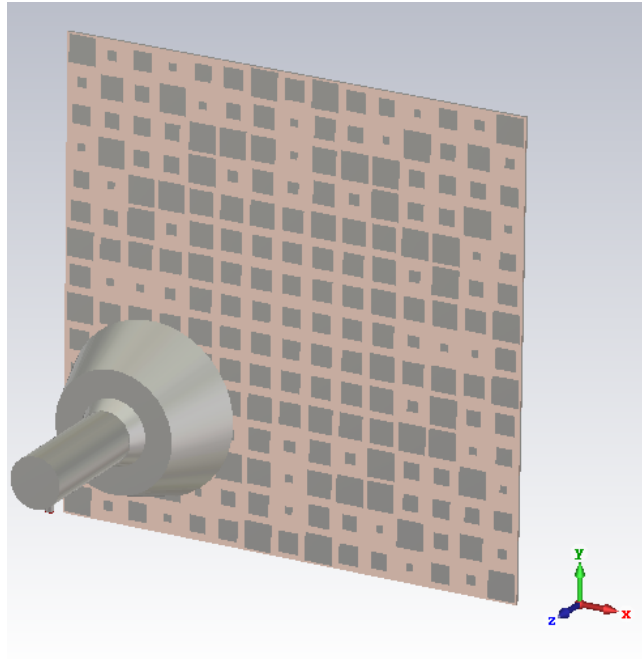
Şekil 91  $\theta_{iso} = 50^\circ$  için  $\theta = 50^\circ$  düzleminde elde edilen ışınma örüntüsü

#### 4.2.4 Maksimum Yükselme Açısı ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) için Yapılan Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde, maksimum yükselme açısı  $40^\circ$  olan eş akılı ışınma örüntülü yansıtıcı dizi anten sistemi için yapılan benzetim çalışmalarından ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Bölüm 3.4’de elde edilen gerekli faz değerleri kullanılarak oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi Şekil 92’de gösterilmektedir. Ayrıca besleme anteninin yerleşimi Şekil 93’de gösterilmektedir.

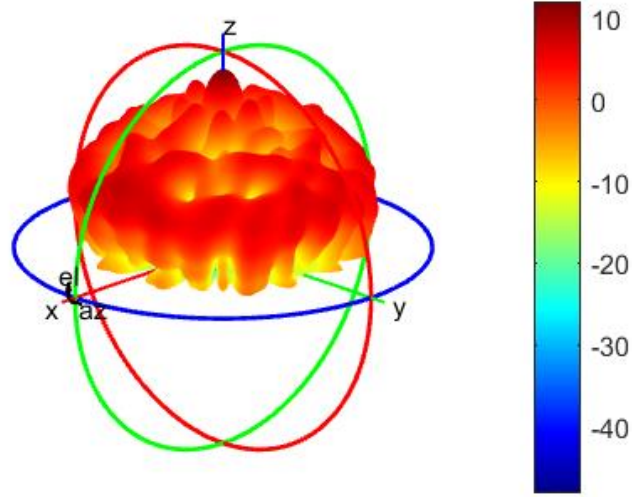


Şekil 92  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten birim hücre elemanları yerleşimi

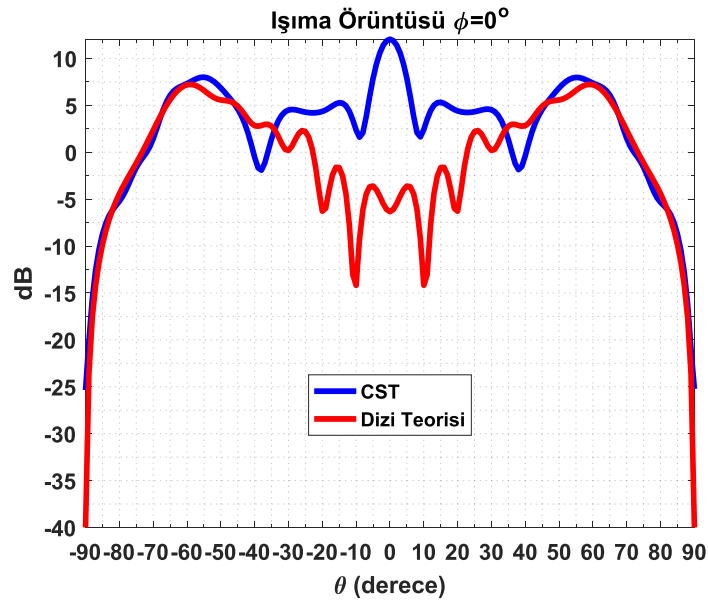


Şekil 93  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için oluşturulan yansıtıcı dizi anten sistemi

Maksimum yükselme açısı  $60^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışınma örüntüsü Şekil 94'te gösterilmektedir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde, dizi teorisi yaklaşımıyla ve CST ortamında elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları farklı azimut değerleri için karşılaştırılmıştır. Genel olarak dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar ile CST ortamında elde edilen sonuçlar büyük oranda örtüşmektedir.

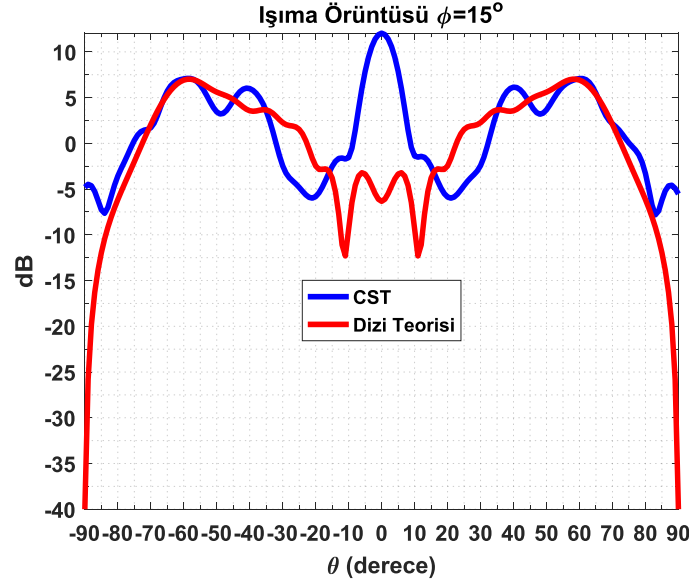


Şekil 94  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için elde edilen 3-boyutlu ışınma örüntüsü

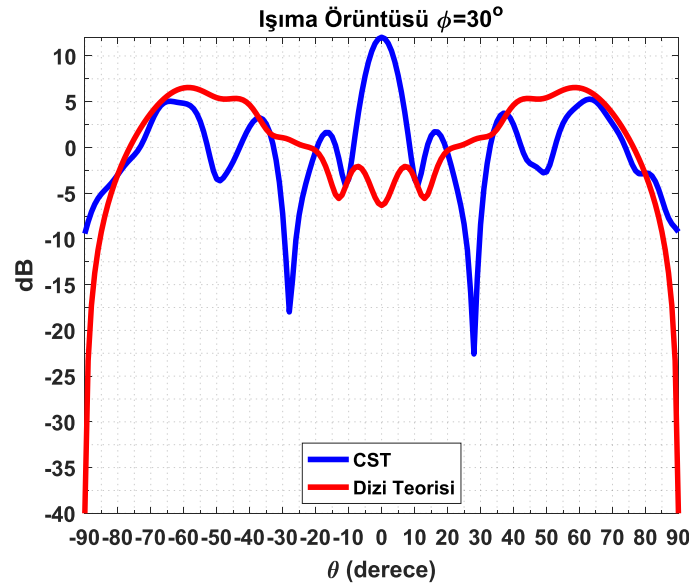


Şekil 95  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 0^\circ$  düzleminde elde edilen ışınma örüntüsü karşılaştırması

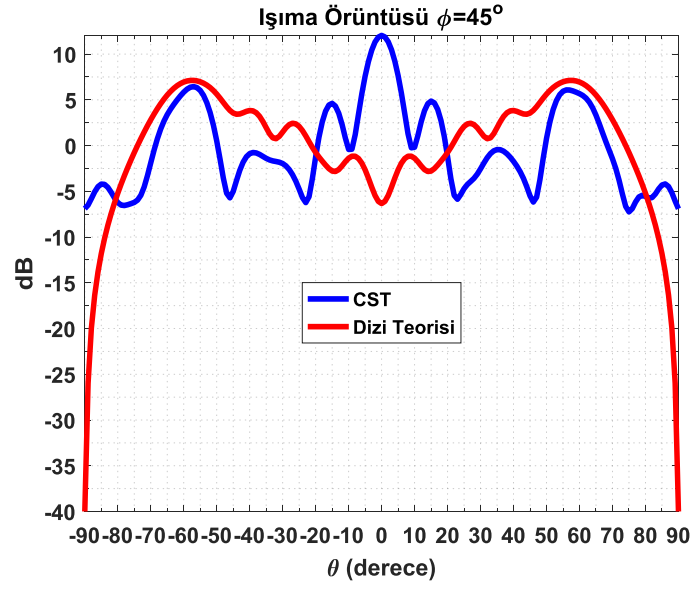
Karşılaştırmalarda, farklı azimut değerlerinde ( $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  ve  $90^\circ$ ), maksimum yükselme açısında ( $\theta = 60^\circ$ ) dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar ile CST ortamında elde edilen sonuçların örtüştüğü ve 4.3 dB ile 7.3 dB arasında anten yönlülük değeri elde edildiği gözlemlenmiştir. Dik bakış açısında ise, dizi teorisi yaklaşımıyla -5 dB anten yönlülük değeri beklenirken, CST ortamında yaklaşık olarak 12 dB anten yönlülük değeri elde edilmiştir.



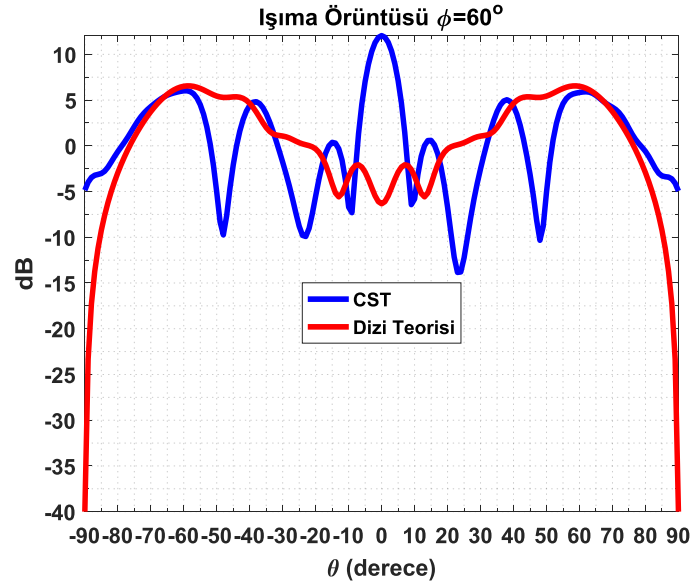
Şekil 96  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 15^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



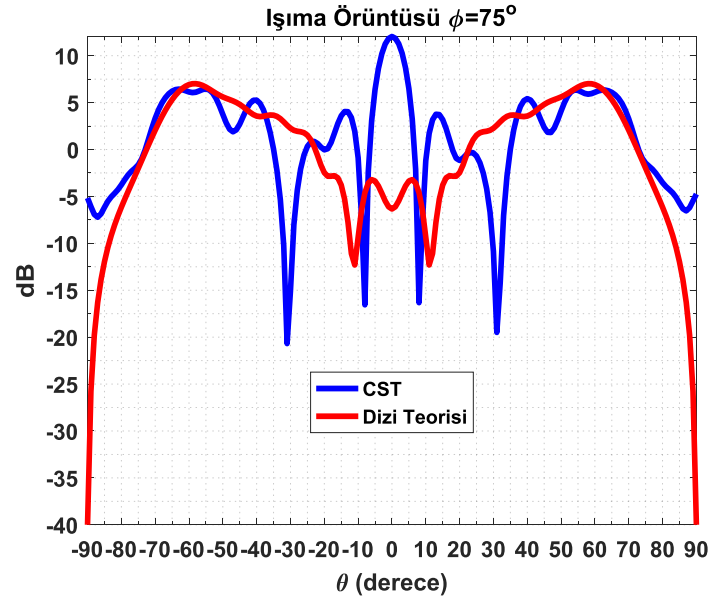
Şekil 97  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 30^\circ$  düzleminde elde edilen ışım a örüntüsü karşılaştırması



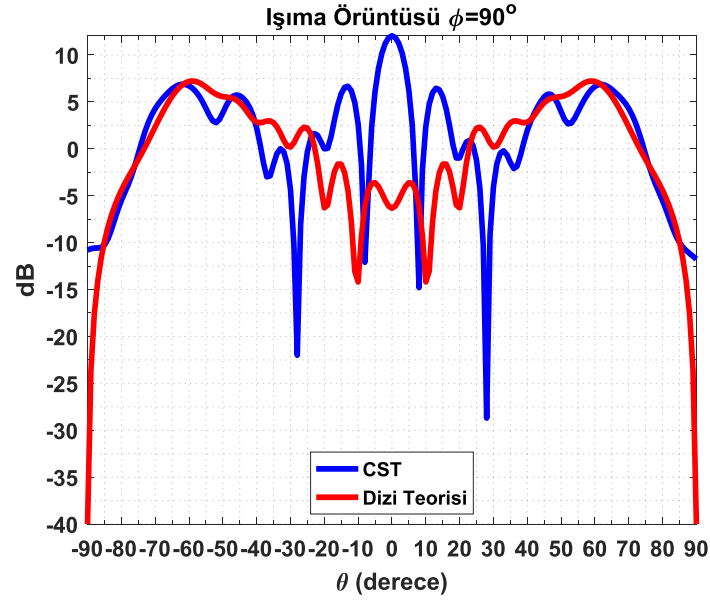
**Şekil 98  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 45^\circ$  düzleminde elde edilen ışımaya örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 99  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 60^\circ$  düzleminde elde edilen ışımaya örüntüsü karşılaştırması**

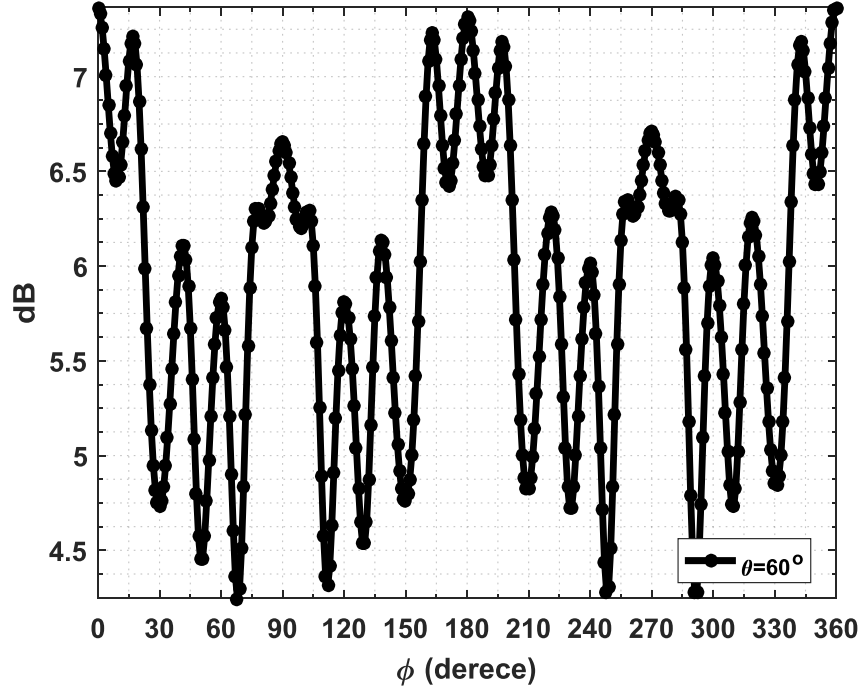


**Şekil 100  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 75^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**



**Şekil 101  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\phi = 90^\circ$  düzleminde elde edilen ışıma örüntüsü karşılaştırması**

Ayrıca CST ortamında maksimum yükselme açısında ( $\theta_{iso} = 60^\circ$ ) azimut eksenine göre elde edilen sonuçlar Şekil 102’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre maksimum yükselme açısında yaklaşık olarak 3 dB dalgalanma gözlemlenmiştir.



Şekil 102  $\theta_{iso} = 60^\circ$  için  $\theta = 60^\circ$  düzleminde elde edilen ışınma örüntüsü



## 5 SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak şekillendirilmiş hüzmeli yansıtıcı dizi antenlerin tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı maksimum yükselme açı değerlerinde, eş akıllı ışınma örüntüsüne sahip yansıtıcı dizi antenlerin tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda, parçacık sürü optimizasyon algoritmasının yansıtıcı dizi anten sistemine nasıl uygulanabileceği konusu araştırılmış ve uygun modeller ile doğrulanması amaçlanmıştır. Öncelikle dizi teorisi yaklaşımı kullanılarak, dört farklı maksimum yükselme açısı ( $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  ve  $60^\circ$ ) için yansıtıcı dizi anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3'te sırasıyla  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  ve  $60^\circ$  için yapılan tasarım çalışmaları ve Bölüm 4.2'de CST Microwave Studio elektromanyetik benzetim programı yardımıyla tam dalga çözümleri gerçekleştirilmiş ve dizi teorisi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Yansıtıcı dizi anten tasarımlarında, dizi teorisi yaklaşımıyla ve CST'de elde edilen sonuçlar özellikle maksimum yükselme açılarındaki büyük oranda örtüşmüştür. Ancak, dik bakış açısında elde edilen sonuçların birbirleriyle tam olarak örtüşmediği görülmüştür. Dizi teorisi yaklaşımında kullanılan besleme anteni modeli besleme anteninin uzak alan ışınma örüntüsüne göre hesaplanmıştır. Besleme anteni yansıtıcı dizi anten sisteminde 10dB kenar ışınması kriterine göre yerleştirilmiştir. Ancak bu değer, besleme anteninin uzak alan kriterini sağlamamaktadır. Hem 10dB kenar ışınması hem de uzak alan kriterlerini aynı anda sağlayabilmek için anten açıklık değerinin büyütülmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak bu sefer de, açıklık üzerine yerleştirilecek eleman sayısının artmasından dolayı optimizasyon problemini zorlaştırmıştır.

Ayrıca dizi teorisi yaklaşımında, geometrik kırınım teorisi dikkate alınmadığı için dik bakış açısında oluşan yansımalar hesap edilememektedir. Dizi teorisi yaklaşımında, fiziksel olarak besleme anteni modellenememiştir. Fakat, elektromanyetik benzetim programı (CST) yardımı ile gerçekleştirilen tam dalga çözümünde, besleme anteninin fiziksel özellikleri de hesaba katılmıştır. Bu durum ofset açısının  $0^\circ$ 'den farklı olması ile çözülebilmektedir. Ancak, ofset açısının  $0^\circ$ 'den farklı olması durumlarında da yapının simetrik yapısı bozulduğundan optimize edilecek eleman sayısı daha da artmaktadır.

Tasarımları tamamlanan dört farklı yansıtıcı dizi anten sisteminin üretimi ve yansımaz oda kullanılarak ışınma örüntüsü testlerinin gerçekleştirilmesi ve ölçüm sonuçlarının bu tezde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, ileride yapılması planlanan çalışmalar arasındadır.

## 6 KAYNAKLAR

- [1] D. G. Berry, R. G. Malech, and W. A. Kennedy, "The Reflectarray Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 11, no. 6, pp. 645–651, Nov. 1963.
- [2] H. R. Phelan, "Spiralphase Reflectarray for Multitarget Radar," *Microw. J.*, vol. 20, pp. 67–73, 1977.
- [3] J. Huang and J. A. Encinar, *REFLECTARRAY ANTENNAS*. IEEE Press, 2007.
- [4] R. E. Munson and H. Haddad, "Microstrip Reflectarray for Satellite Communication and RCS Enhancement and Reduction," *U.S. Pat. 4684952, Washington, D.C.*, 1987.
- [5] J. Huang, "Microstrip Reflectarray," *IEEE AP - S/URSI Symp. London, Canada*, pp. 612–615, 1991.
- [6] D. M. Pozar and T. A. Metzler, "Analysis of A Reflectarray Antenna Using Microstrip Patches of Variable Size," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 8, pp. 657–658, 1993.
- [7] A. Kelkar, "FLAPS: Conformal Phased Reflecting Surfaces," *Proc. IEEE Natl. Radar Conf., Los Angeles, Calif.*, pp. 58 – 62, 1991.
- [8] Y. J. Guo and S. K. Barton, "Phase Correcting Zonal Reflector Incorporating Rings," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 43, no. 4, pp. 350–355, Apr. 1995.
- [9] J. Huang and R. J. Pogorzelski, "A Ka - Band Microstrip Reflectarray with Elements Having Variable Rotation Angles," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 5, pp. 650–656, May 1998.
- [10] A. A. Tolkachev, V. V. Denisenko, A. V. Shishlov, and A. G. Shubov, "High-Gain Antenna System for Millimeter-Wave Radars with Combined Electrical and Mechanical Beam Steering," *IEEE Symp. Phased Array Syst. Technol.*, pp. 266–271, 1996.
- [11] J. M. Colin, "Phased Array Radars in France: Present and Future," *IEEE Symp. Phased Array Syst. Technol.*, pp. 458–462, 1996.
- [12] D. M. Pozar, S. D. Targonski, and R. Pokuls, "A Shaped-Beam Microstrip Patch Reflectarray," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 47, no. 7, pp. 1167–1173, Jul. 1999.
- [13] J. A. Encinar and J. A. Zornoza, "Three-Layer Printed Reflectarrays for Contour Beam Space Applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, pp. 1138–1148, 2004.

- [14] D. M. Pozar, "Bandwidth of Reflectarrays," *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 21, pp. 1490–1491, 2003.
- [15] J. Huang, "Bandwidth Study of Microstrip Reflectarray and A Novel Phased Reflectarray Concept," *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. (APSURSI)*, vol. 1, pp. 582–585, 1995.
- [16] J. A. Encinar and J. A. Zornoza, "Broadband Design of Three-Layer Printed Reflectarrays," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, pp. 1662–1664, 2003.
- [17] J. A. Encinar, "Design of Two-Layer Printed Reflectarray Using Patches of Variable Size," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 49, pp. 1403–1410, 2001.
- [18] P. Nayeri, A. Z. Elsherbeni, and F. Yang, "The Analogy Between Offset Configurations of Parabolic Reflectors and Reflectarrays," in *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015, pp. 2127–2128.
- [19] A. Yu, F. Yang, A. Z. Elsherbeni, J. Huang, and J. Yuang, "Experimental Demonstration of a Single Layer Tri-band Circularly Polarized Reflectarray," *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. (APSURSI)*, pp. 1–4, Jul. 2010.
- [20] "Integrated Solar Array and Reflectarray Antenna (ISARA) for High Bandwidth Cubesats." [Online]. Available: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/ISARA\\_Fact\\_Sheet-15Oct14.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/ISARA_Fact_Sheet-15Oct14.pdf) (26.05.2019).
- [21] J. A. Encinar, M. Arrebola, and G. Toso, "Design of a Tx/Rx Reflectarray Antenna for Space Applications," *Second Eur. Conf. Antennas Propag.*, pp. 1–5, 2007.
- [22] H. Legay et al., "Recent Developments on Reflectarray Antennas at Thales Alenia Space," *2009 3rd Eur. Conf. Antennas Propag.*, pp. 2515–2519, 2009.
- [23] D. M. Pozar, S. D. Targonski, and H. D. Syrigos, "Design of Millimeter Wave Microstrip Reflectarrays," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, no. 2, pp. 287–296, 1997.
- [24] R. Fletcher, *Practical Methods of Optimization*, 2nd ed. Chichester, West Sussex England: John Wiley & Sons, 2000.
- [25] P. Nayeri, F. Yang, and A. Z. Elsherbeni, "Design and Experiment of a Single-Feed Quad-Beam Reflectarray Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 2, pp. 1166–1171, Feb. 2012.
- [26] M. Arrebola, J. A. Encinar, and M. Barba, "Multifed Printed Reflectarray with Three Simultaneous Shaped Beams for LMDS Central Station Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 6, pp. 1518–1527, Jun. 2008.

- [27] R. Horst, P. M. Pardalos, and N. V. Thoai, *Introduction to Global Optimization*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [28] A. Reyna, M. A. Panduro, C. del Rio-Bocio, and A. L. Méndez, “Design of Different Planar Geometries of Antenna Arrays for Isoflux Radiation in GEO Satellites,” *Telecommun. Syst.*, vol. 65, no. 2, pp. 269–279, 2017.
- [29] P. L. García-Müller, “Optimisation of Compact Horn with Broad Sectoral Radiation Pattern,” *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 6, p. 337, 2001.
- [30] S. G. Hay, D. G. Bateman, T. S. Bird, and F. R. Cooray, “Simple Ka-band Earth Coverage Antennas for LEO Satellites,” in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1999 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.99CH37010)*, vol. 1, pp. 708–711.
- [31] A. Kumar, “Technical Memorandum: Highly Shaped Beam Telemetry Antenna For The ERS-1 Satellite,” *IEE Proc. H Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 134, no. 1, p. 106, 1987.
- [32] J. E. Fernandez Del Rio, A. Nubla, L. Bustamante, and K. Van’t Klooster, “SOPERA: A New Antenna Concept for Low Earth Orbit Satellites,” in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1999 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.99CH37010)*, vol. 1, pp. 688–691.
- [33] J. D. Vacchione, R. C. Kruid, A. Prata, L. R. Amaro, and A. P. Mittskus, “Telecommunications Antennas for the Juno Mission to Jupiter,” in *2012 IEEE Aerospace Conference*, 2012, pp. 1–16.
- [34] E. Carrasco, M. Barba, J. A. Encinar, M. Arrebola, F. Rossi, and A. Freni, “Design, Manufacture and Test of A Low-Cost Shaped-Beam Reflectarray Using A Single Layer of Varying-Sized Printed Dipoles,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 6, pp. 3077–3085, Jun. 2013.
- [35] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” *Proc. ICNN’95 - Int. Conf. Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.
- [36] M. Alam, “Particle Swarm Optimization: Algorithm and its Codes in MATLAB,” ResearchGate, pp. 1-10, 8 March 2016
- [37] P. Nayeri, F. Yang, and A. Z. Elsherbeni, *Reflectarray Antennas: Theory, Designs, and Applications*. Wiley-IEEE Press, 2018.
- [38] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed. A JOHN WILEY & SONS, 2005.

- [39] P. Nayeri, A. Z. Z. Elsherbeni, and F. Yang, “Radiation Analysis Approaches for Reflectarray Antennas [Antenna Designer’s Notebook],” *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 55, no. 1, pp. 127–134, Feb. 2013.
- [40] F. Ye, “Particle Swarm Optimization-Based Automatic Parameter Selection for Deep Neural Networks and its Applications in Large-Scale and High-Dimensional Data,” *PLoS One*, vol. 12, no. 12, p. e0188746, Dec. 2017.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS  
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

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

Tarih: 28/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: Eş Akıllı Işıma Örüntüsüne Sahip Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı ve Modellenmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 28/06/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

28.06.2019

*S. Köse*  
Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Süleyman KÖSE  
**Öğrenci No:** N13225062  
**Anabilim Dalı:** Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
**Programı:** Elektrik-Elektronik Mühendisliği-Tezli Yüksek Lisans  
**Statüsü:**  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

*Özlem Özgün*

Prof. Dr. Özlem ÖZGÜN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Süleyman KÖSE  
Doğum Yeri : Yenimahalle  
Medeni Hali : Bekar  
e-posta : [sleymankse@gmail.com](mailto:sleymankse@gmail.com)  
Adresi : Piyade Mah. 1978.Sok 12/10 Etimesgut/ANKARA

### Eğitim

Lise : Gazi Anadolu Lisesi  
Lisans : Hacettepe Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İyi

### İş Deneyimi

Ağustos 2013 - ... : Uzman Araştırmacı, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri  
Araştırma Enstitüsü, ANKARA

### Deneyim Alanları

RF/Mikrodalga devre tasarımı, Anten tasarımı,