T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA BANDINDA DENİZ YÜZEYİ ÜZERİNDEN RADYO DALGASI YAYILIMININ İNCELENMESİ

Doaa SALIM MOHAMMED MUSA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Haberleşme Programı

Danışman

Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT

Mart, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA BANDINDA DENİZ YÜZEYİ ÜZERİNDEN RADYO DALGASI YAYILIMININ İNCELENMESİ

Doaa SALIM MOHAMMED MUSA tarafından hazırlanan tez çalışması 08.03.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hamid TORPİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ali ALKUMRU, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi _____

_____

Danışmanım Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Mikrodalga Bandında Deniz Yüzeyi Üzerinden Radyo Dalgası Yayılımının İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Doaa SALIM MOAMMED MUSA

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Rahmân ve Rahîm olan Allah Teâlâ'ya şükrediyorum. Öncelikle değerli hocam Prof. Dr. Burak POLAT'a rehberliği, teşviki, desteği ve sabrı için en içten teşekkürlerimi sunarım. Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki yüksek lisans tezim boyunca onun öğrencisi olmaktan ve onunla çalışmaktan büyük mutluluk duydum. Ayrıca tezim sırasında yardımlarından dolayı Sayın Dr. Ramazan DAŞBAŞI'ya teşekkür ederim. Komite üyelerim Doç. Dr. Hamid TORPİ ve Prof. Dr. Ali ALKUMRU'ya ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ailem Nadia ve Salim'e tesekkurler ederim. Kardeşlerim Marwa, Mona, Wafaa, Mohammed'e ve özellikle de sonsuz desteği için kız kardeşim Riham'a teşekkür ederim. Tüm çalışmalarım boyunca beni cesaretlendiren ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Doaa SALIM MOHAMMED MUSA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vi
KISALTMA LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 3
1.3 Hipotez ... 3
2 PROBLEMİN FORMÜLASYONU 5
2.1 Yönlü Akımlar Yöntemi ... 5
2.2 Açıklık Antenler için Yönlü Akımlar ... 10
2.3 Horn Antenler için Yönlü Akımlar ... 15
2.4 Oluklu Konik Horn Antenler İçin Yönlü Akımlar ... 25
2.5 Dielektrik Yarı Uzay Üzerinde Uzak Alan Açıklık ve Horn Antenlerin Sentezi ... 27
3 DİELEKTRİK YARI UZAY ÜZERİNDEKİ AÇIKLIK VE HORN ANTENLERİNİN IŞIMA ALANLARININ HESAPLANMASI 30
4 SONUÇ VE ÖNERİLER 63
KAYNAKÇA 64
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 66

SİMGE LİSTESİ

ω	Açısal Frekans [rad/s]
k	Basit Ortamın Dalga Sayısı [rad/m]
ε	Basit Ortamın Dielektrik Geçirgenlik Sabiti [F/m]
σ	Basit Ortamın İletkenliği [S/m]
μ	Basit Ortamın Manyetik Geçirgenlik Sabiti [H/m]
E_1, E_2, E_3	Elektrik Alanın Kartezyen Bileşenleri
E_θ, E_ϕ	Elektrik Alanın Küresel Bileşenleri
$\vec{J}_{e,m}$	Elektrik ve Manyetik Akım Kaynakları
$\hat{l}_{e,m}(\theta,\phi)$	Elektrik ve Manyetik Dipollerin Yönleri
$I_{e,m}(\theta,\phi)$	Elektrik ve Manyetik Yönlü Akımlar
f	Frekans [Hz]
$G(\vec{r},\vec{r}')$	Green Fonksiyonu
N	Hava-Deniz Ara Düzleminin Kırıcılık İndisi
x_1, x_2, x_3	Kartezyen Koordinat Sistemi
$\hat{r},\hat{\theta},\hat{\phi}$	Küresel Koordinatlarda Birim Vektörleri
r,θ,ϕ	Küresel Koordinat Sistemi
η	Serbest Uzayın Karakteristik Empedansı [Ω]
ρ,ϕ,x_1	Silindirik Koordinat Sistemi
$\vec{E}^{ff}_{e,m}, \vec{H}^{ff}_{e,m}$	Uzak Alanda Elektrik/Manyetik Alanlar
$\vec{A}^{ff}_{e,m}$	Uzak Alanda Elektrik/Manyetik Vektör Potansiyelleri
3-B	Üç Boyutlu

KISALTMA LİSTESİ

ÇAA	Çember Açıklık Anten
DAA	Dikdörtgen Açıklık Anten
DÇAA	Dielektrik kaplı Çember Açıklık Anten
DDAA	Dielektrik kaplı Dikdörtgen Açıklık Anten
DPHA	Dielektrik yüklü Piramit Horn Anten
DED	Dikey Elektrik Dipol
EDSH	E-Düzlemi Sektörel Horn
GFT	Green Fonksiyon Tekniği
HDSH	H-Düzlemi Sektörel Horn
IFEC	In-flight Entertainment & Connectivity
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
İD	İntegral Denklem
KHA	Konik Horn Anten
MEİ	Mükemmel Elektrik İletkeni
OKHA	Oluklu Konik Horn Anten
PHA	Piramit Horn Anten
RF	Radyo Frekansı
UAY	Uzak Alan Yaklaşıklığı
YLS	Yan Lob Seviyesi
YGHG	Yarı Güç Huzme Genişliği
YMD	Yatay Manyetik Dipol
YAY	Yönlü Akımlar Yöntemi
YKY	Yüksek Kırıcılık Yaklaşıklığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 (a) Rastgele elektrik akımı kaynağı ve elektrik dipol (b) Rastgele manyetik akım kaynağı ve manyetik dipol 6
Şekil 2.2 (a) Noktasal kaynağının (b) Rastgele kaynağın ışıma alanı 10
Şekil 2.3 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dikdörtgen açıklık anten 11
Şekil 2.4 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş çember açıklık anten 12
Şekil 2.5 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dielektrik kaplı dikdörtgen açıklık anten 13
Şekil 2.6 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dielektrik kaplı çember açıklık anten 14
Şekil 2.7 E-düzlem sektörel hornun 3-B görünümü 16
Şekil 2.8 E-düzlem sektörel hornun E-düzlem görünümü 16
Şekil 2.9 H-düzlem sektörel hornun 3-B görünümü 18
Şekil 2.10 H-düzlem sektörel hornun H-düzlem görünümü 18
Şekil 2.11 Piramit horn antenin 3-B görünümü 19
Şekil 2.12 Piramit horn antenin E-düzlem görünümü 20
Şekil 2.13 Piramit horn antenin H-düzlem görünümü 20
Şekil 2.14 Dielektrik yüklü piramit horn anten 3-B görünümü 21
Şekil 2.15 Konik horn anten 3-B görünümü 24
Şekil 2.16 Konikteki OKHA oluklarının yandan görünümü, eksenel uzunluk L ,yayılma açısı α_0 , açıklık yarıçapı a_0 ve dikdörtgen dalga kılavuzu yesleme yarıçapı a_w 26
Şekil 2.17 Basit kayıplı dielektrik yarı uzay üzerinden ışıyan açıklık/horn anten 28
Şekil 3.1 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 31
Şekil 3.2 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 32
Şekil 3.3 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 32
Şekil 3.4 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 33

Şekil 3.5 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 33
Şekil 3.6 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 34
Şekil 3.7 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 34
Şekil 3.8 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 35
Şekil 3.9 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 35
Şekil 3.10 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 36
Şekil 3.11 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 36
Şekil 3.12 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 37
Şekil 3.13 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 37
Şekil 3.14 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 38
Şekil 3.15 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 38
Şekil 3.16 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 39
Şekil 3.17 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 39
Şekil 3.18 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 40
Şekil 3.19 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 40
Şekil 3.20 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 41
Şekil 3.21 YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 43

Şekil 3.22 YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 43
Şekil 3.23 YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 44
Şekil 3.24 YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 44
Şekil 3.25 YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 45
Şekil 3.26 YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 45
Şekil 3.27 YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 46
Şekil 3.28 YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 46
Şekil 3.29 YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 47
Şekil 3.30 YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 47
Şekil 3.31 YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 48
Şekil 3.32 YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 48
Şekil 3.33 YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 49
Şekil 3.34 YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 49
Şekil 3.35 YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 50
Şekil 3.36 YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 50
Şekil 3.37 YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 51
Şekil 3.38 YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 51

Şekil 3.39 YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 52
Şekil 3.40 YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 52
Şekil 3.41 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 53
Şekil 3.42 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 53
Şekil 3.43 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 54
Şekil 3.44 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 54
Şekil 3.45 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 55
Şekil 3.46 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 55
Şekil 3.47 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 56
Şekil 3.48 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 56
Şekil 3.49 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 57
Şekil 3.50 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 57
Şekil 3.51 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 58
Şekil 3.52 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 58
Şekil 3.53 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 59
Şekil 3.54 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 59
Şekil 3.55 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 60

Şekil 3.56 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 60
Şekil 3.57 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 61
Şekil 3.58 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 61
Şekil 3.59 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri. 62
Şekil 3.60 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri. 62

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Radar frekans bantları için IEEE standart harf tanımlamaları 2

Tablo 3.1 Serbest uzayda antenlerin E- ve H-düzlemi özelliklerinin karşılaştırılması..... 41

ÖZET

Mikrodalga Bandında Deniz Yüzeyi Üzerinden Radyo Dalgası Yayılımının İncelenmesi

Doaa SALIM MOHAMMED MUSA

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT

Deniz yüzeyi üzerinde bulunan çeşitli açıklık ve horn antenlerin mikrodalga ışıma alanları analitik olarak incelenmiş ve baskın mod uyarımı altında simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yakın zamanda Polat ve Daşbaşı tarafından geliştirilen Yönlü Akımlar Yöntemi (YAY) kullanılarak incelenen açıklık ve horn antenlerin uzak alan desenlerinin analitik ifadeleri elde edilmiştir. Yöntem, hava-deniz ara yüzeyinin $|N| \geq 3$ kırıcılık indisi büyüklüğünü gerektiren Yüksek Kırıcılık Yaklaşıklığı (YKY) altında uygulanmıştır. Analitik ifadeler, CST Microwave Studio ticari yazılımı ile X-bandında (8-12 GHz) gerçekleştirilen benzetim verileriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, incelenen tüm antenler için YKY kapsamında analitik ve benzetim sonuçları arasında yüksek tutarlılık olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Açıklık antenler, Radyo dalgası yayılımı, Sommerfeld problemi, Yönlü akımlar yöntemi, Yüzey dalgaları.

ABSTRACT

Investigation of Radio Wave Propagation over Sea Surface in Microwave Bands

Doaa SALIM MOHAMMED MUSA

Department of Electronics and Communications Engineering

Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah Burak POLAT

Microwave radiation fields of various aperture and horn antennas located over sea surface are investigated analytically and compared to simulation results under dominant mode excitation. Analytical expressions of far-field patterns of the aperture and horn antennas under investigation are derived by using the Directional Currents Method, which is introduced recently by Polat and Daşbaşı. The method applies under high contrast approximation which requires the magnitude of the refractivity of the air-sea interface $|N| \geq 3$. Analytical expressions are compared to simulation data obtained by the commercial software CST Microwave Studio Environment over X-band (8-12 GHz). The comparisons show a good agreement between analytical and simulation results under high contrast approximation for all antennas under investigation.

Keywords: Aperture antennas, Directional currents method, Radio wave propagation, Sommerfeld problem, Surface waves.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Atlantik Okyanusu üzerinden uzun mesafeli radyo dalgalarının okyanusun karşı kıyısına iletilmesi ilk defa 1901 yılında Marconi tarafından başarılmıştır [1]. Bu olay, radyo iletişiminin başlangıcını işaret ettiği için insanlık tarihinde önemlidir. Modern zamanda, nesnelerin interneti çağında (Internet of Things, IoT); sürücüsüz araçlar, uydu internet takım yıldızları, uçak içi eğlence ve bağlantı (In-flight Entertainment & Connectivity, IFEC) sistemleri, radyo dalgalarının yayılımının teorisinin önemi , güvenilir iletişim bağlantılarının kurulması ve maliyet etkinliği ile ilişkili olduğu için uzun mesafelerde kablosuz iletişimde kritik bir unsur olarak sürekli arttı [2].

Radyo Frekans (RF) spektrumu, 3 Hz'den 300 GHz'e uzanan frekans bantlarına bölünebilir [2]. Tezde ele alınan aralık, mikrodalga bantlarıdır. Mikrodalga bantlarının tipik ve ilk uygulaması radardır. Mikrodalgalar, uydu iletişimi, noktadan noktaya iletişim sistemleri, radyo astronomi ve radar sistemleri gibi birçok farklı uygulamada kullanılabilir. Radar mühendisliğinde, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) Tablo 1.1'de gösterildiği üzere mikrodalga bantların alt bölümlerinin sınıflandırmasını tanıtmaktadır [3].

Anten, çeşitli uygulamalarda kullanılan tüm radyo iletişim sistemlerinin hayati bir bileşenidir [2,4]. Anten için seçim prosedürü, çeşitli uygulamaların gereksinimlerini karşılamalıdır. İletişim sürecinde önemli bir rol oynayan antenin performansı, uzak alan ışıma özellikleriyle bağlantılıdır [5]. Uzak alan özelliklerine ışıma deseni, yönlülük, kazanç, ışıma verimi, faz merkezi, bant genişliği, ön-arka oranı, çift polarizasyon, yan lob seviyesi (YLS) ve yarı güç huzme genişlikleri (YGHG) dahildir [2,4,5]. Antenlerle ilgili kapsamlı bir koleksiyon geliştirilmiştir. Pratikte en uygulanabilir olanı tel antenlerdir [2]. Tel antenlerin ışıma karakteristikleri, tel anten üzerindeki akım dağılımı ile bulunur.

Mevcut dağılım, açıklık antenler gibi birçok yapı için tamamen bir bilinmezlik arz etmektedir [5,6].

Tablo 1.1 Radar frekans bantları için IEEE standart harf tanımlamaları

Bant tanımı	HF	VHF	UHF	S	C	X	Ku	K	Ka	V	W	mm
Frekans Aralığı, (GHz)	0.003-0.03	0.03-0.3	0.3-1	2-4	4-8	8-12	12-18	18-27	27-40	40-75	75-110	110-300

Açıklık antenler mikrodalga frekans bantlarında en çok kullanılan antenler olarak sınıflandırılmaktadır. Dalga kılavuzları, hornlar, reflektörler, lensler ve yarıklar gibi birçok formda bulunabilir. Açıklığın enine kesiti kare, dikdörtgen; çember veya eliptik şekiller olabilir [5,6]. Açıklık antenin çeşitli uygulamalardaki rolü, uzay uygulamaları (uçak, uzay aracı ve roket gövdeleri) veya yer tabanlı araçlar gibi yönlü ışıma alanlarıyla ilgilidir. Ayrıca ışıma desen ölçümleri, doğru kazanç standartları, reflektör anten sistemleri için beslemeler, büyük radyo astronomisi, iletişim uyduları, uydu izleme ve radar sistemleri için doğrudan verici anten veya besleme anten olarak kullanılmaktadır [4-7]. Bir dizi açıklık anten elemanı, gözetleme, izleme ve mobil radyo sistemleri gibi bazı uygulamalarda anahtar olan çok yönlü ışıma alanları üretebilir [6].

Açıklık anten yapısı üzerindeki gerçek akımların temsil edilmesinin analitik olarak sağlanmasının zor, hatta neredeyse imkânsız olmasının bir sonucu olarak, açıklık antenlerin ışıma özelliklerini hesaplamak için alternatif bir yöntem uyarlanmalıdır. Bu yöntemlerden biri, S.A. Schelkunoff'un 1936 yılında açıklık antenlerinin ışıma özelliklerini çalıştığı alan eşdeğerliği yöntemidir. Bu yöntem, akım dağılımına bağlı olmayan ancak anten yapısı üzerindeki veya çevresindeki alanların makul tahminlerine bağlı tekniklere odaklanmıştır. Eşdeğer kaynaklar, ışıma alanlarını bulmak için mevcut kaynaklarla aynı şekilde kullanılmaktadır. Bu alanlar bilindiğinde, uzak alan yaklaşıklığı (UAY) altında kapalı yüzey integrallerin asimptotik bir değerlendirmesiyle anten performansına ulaşılması mümkündür [1,2,4-6,8].

1.2 Tezin Amacı

Tezin birincil amacı, açıklık ve horn antenler tarafından üretilen mikrodalga işaretlerin deniz yüzeyi üzerindeki yayılımını (genlik ve faz desenler) araştırmaktır.

1.3 Hipotez

Açıklık anten karmaşık bir ortamda, kayıplı dielektrik yarı uzayda bulunduğunda, bu uzak ışıma integrallerinin değerlendirmeleri, kesin analitik sonuçları ortaya çıkarmak için çok karmaşık hale gelmektedir. Böylece klasik açıklık antenlerin ışıma integrallerini hesaplamanın karmaşıklığıyla başa çıkmanın yeni bir yolu olarak Yönlü Akımlar Yöntemi (YAY) ortaya çıkmaktadır. YAY, bir açıklık antenin açık ışıma alanlarını türetmek için geliştirilmiş ve uygulanmıştır [9-11].

YAY, kayıplı bir dielektrik yarı-uzay üzerinde ışıyan dipoller nedeniyle açıklık antenlerini Green Fonksiyonları ile simüle etmek için hayali yönlü akımlarını destekleyen Çapraz Polarize Dikey Elektrik (DED) ve Yatay Manyetik (YMD) Hertz dipol antenlerinin (birim momentli) ışıma desenlerini çarpmaya dayanmaktadır. Bu amaçla, Norton tarafından sunulan ve Yüksek Karşıtlık Yaklaşımı (YKY) altında geçerli olan Green Fonksiyonları benimsenmiştir [7,12].

Bölüm 2'nin ilk bölümünde, YAY ve doğrulaması tartışılmaktadır. Daha sonra çeşitli açıklık ve horn anten tipleri için yönlü akımlar türetilecektir. Bu antenlerin bir dielektrik yarı uzay üzerindeki uzak alanları Bölüm 2'nin son kısmında YAY kullanılarak sentezlenmiştir. Bölüm 3'te, YAY ve ticari yazılım CST tarafından elde edilen incelenen antenlerin normalize edilmiş E- ve H-düzlem desenlerinin karşılaştırmaları, serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde sağlanmaktadır.

Birim vektörleri $\left(\hat{r},\hat{\theta},\hat{\phi}\right)$ olan $\left(r,\theta,\phi\right)$ üç boyutlu (3-B) küresel koordinat sistemi $\left(x_2,x_3,x_1\right)=\left(r\sin\theta\cos\phi, r\sin\theta\sin\phi, r\cos\theta\right)$ ile Kartezyen koordinatlara dönüştürülür ve silindirik koordinatlar $\left(\rho,\phi,x_1\right)$ $\rho=r\sin\theta=\sqrt{x_2^2+x_3^2}$ ve $\phi=\tan^{-1}\left(\frac{x_3}{x_2}\right)$ ile Kartezyen koordinatlara bağlanır. Bu yapılandırmaya göre

ışıma alanlarının küresel bileşenleri, Kartezyen bileşenleriyle şu şekilde ilişkilidir.

$$E_\theta = \cos\theta\left(\cos\phi E_2 + \sin\phi E_3\right) - \sin\theta E_1 \tag{1.1}$$

$$E_\phi = -\sin\phi E_2 + \cos\phi E_3 \tag{1.2}$$

Zamana bağlılık $\exp\left(-i\omega t\right)$ (ω ışımanın açısal frekansını belirtir) varsayılarak bastırılır.

2
PROBLEMİN FORMÜLASYONU

2.1 Yönlü Akımlar Yöntemi

YAY, Polat ve Daşbaşı tarafından, sırasıyla piramit ve konik horn antenlerin uzak alanlarını sentezlemek amacıyla yakın zamanda [9] ve [10] kaynaklarında ortaya koyulmuştur. Daha sonra konsept, oluklu konik horn antenler üzerine de uygulanmıştır [11]. YAY, anteni gözlem noktasının analitik fonksiyonları olan yön akımlarını destekleyen uygun elektrik/manyetik Hertz dipol ile ikame ederek, homojen olmayan bir ortam üzerinde açıklık antenlerin tam analitik eşdeğer uzak alan ışımalarını sunmayı amaçlamaktadır.

YAY, ideal DED ve YMD'nin ışıma alanlarını yönlü akımlarla çarparak, karmaşık bir ortam üzerine yerleştirilmiş açıklık anteni ışıma alanı sağlar. Bu, Green'in Norton tarafından türetilen ve YKY kapsamında geçerli olan fonksiyonlarını içerir. Bu yönlü akımlar, tam olarak serbest uzayda yayılan açıklık antenlerini simüle eden ve onları Uzak Alan Yaklaşıklığı (UAY) altında üst üste bindiren ilgili dipol antenler üzerinde akar.

Hertz dipolleri üzerinde akan yönlü akımlar kavramı ve Green Fonksiyon Tekniğinin (GFT) kullanımının geçerliliği aşağıdaki alt bölümlerde gösterilmiştir.

2.1.1 Yönlü Akımlar Konsepti

[10] ve [11]'de, Şekil 2.1'de gösterildiği üzere, basit kayıpsız ortamda ışıyan rastgele elektrik/manyetik akım kaynakları $\vec{J}_{e,m}$ ve fazör akımlarını $I_{e,m}(\theta,\phi)\in\mathbb{C}$ destekleyerek $\hat{l}_{e,m}(\theta,\phi)\in\mathbb{R}$, $\hat{l}_e \perp \hat{l}_m$ yönlerine dönük olan orijin konumlu varsayımsal elektrik/manyetik Hertz dipolleri göz önünde bulundurulmuştur.

Dualite ilkesine göre, uzak alanda, elektrik/manyetik vektör potansiyelleri $\vec{A}^{ff}_{e,m}$ ve elektrik/manyetik alanlar $\left(\vec{E}^{ff}_{e,m},\vec{H}^{ff}_{e,m}\right)$ formlarda ifade edilir.

$$\vec{A}^{ff}_{e,m}(r,\theta,\phi)=\left[\hat{r}A^{\parallel ff}_{e,m}(\theta,\phi)+\vec{A}^{\perp ff}_{e,m}(\theta,\phi)\right]\frac{e^{ikr}}{r}$$

$$\vec{E}_e^{\,ff}(r,\theta,\phi) \simeq \vec{E}_e^{\,ff}(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r},\ \vec{H}_m^{\,ff}(r,\theta,\phi) \simeq \vec{H}_m^{\,ff}(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$

Burada,

$$\vec{E}_e^{\,ff}(\theta,\phi) \simeq i\omega\vec{A}_e^{\perp ff}(\theta,\phi) \tag{2.1}$$

$$\vec{H}_m^{\,ff}(\theta,\phi) \simeq i\omega\vec{A}_m^{\perp ff}(\theta,\phi) \tag{2.2}$$

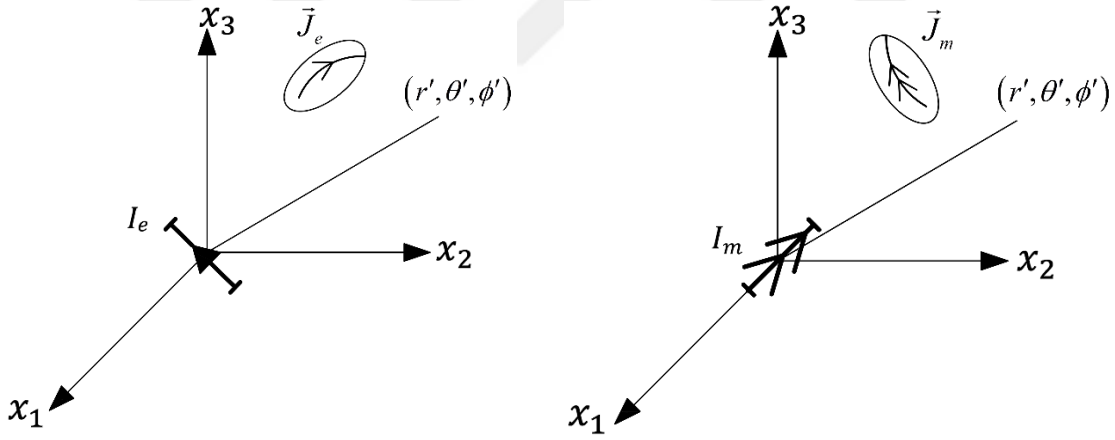
$$\vec{H}_e^{\,ff}(\theta,\phi) = \frac{1}{\eta}\hat{r}\times\vec{E}_e^{\,ff}(\theta,\phi) = \frac{i\omega}{\eta}\hat{r}\times\vec{A}_e^{\perp ff}(\theta,\phi)$$

$$\vec{E}_m^{\,ff}(\theta,\phi) = -\eta\hat{r}\times\vec{H}_m^{\,ff}(\theta,\phi) = -i\omega\eta\,\hat{r}\times\vec{A}_m^{\perp ff}(\theta,\phi)$$

ve

$$\hat{r}\cdot\vec{A}_{e,m}^{\perp ff}(\theta,\phi)=0,\ \hat{r}\cdot\vec{E}_{e,m}^{\,ff}(\theta,\phi)=0,\ \hat{r}\cdot\vec{H}_{e,m}^{\,ff}(\theta,\phi)=0$$

burada $\eta=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ serbest uzayın karakteristik empedansı iken (ε,μ) bünye parametrelerdir.



Şekil 2.1 (a) Rastgele elektrik akımı kaynağı ve elektrik dipol (b) Rastgele manyetik akımı kaynağı ve manyetik dipol

Varsayımsal dipollerin tam vektör potansiyel alanları aşağıdaki gibi hesaplanır [9].

$$\vec{A}_e^{HD}(r,\theta,\phi) = \frac{\mu}{4\pi}\int_{\mathbb{R}_3} \hat{l}_e^{\perp}(\theta,\phi) I_e(\theta,\phi)\delta^3(\vec{r}')\frac{e^{ik(\vec{r}-\vec{r}')}}{|\vec{r}-\vec{r}'|}d\vec{r}'^3$$
$$= \frac{\mu}{4\pi}\hat{l}_e^{\perp}(\theta,\phi) I_e(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$
$$= \vec{A}_e^{HD}(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$

$$\vec{A}_m^{HD}(r,\theta,\phi) = \frac{\varepsilon}{4\pi}\int_{\mathbb{R}_3} \hat{l}_m^{\perp}(\theta,\phi) I_m(\theta,\phi)\delta^3(\vec{r}')\frac{e^{ik(\vec{r}-\vec{r}')}}{|\vec{r}-\vec{r}'|}d\vec{r}'^3$$
$$= \frac{\varepsilon}{4\pi}\hat{l}_m^{\perp}(\theta,\phi) I_m(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$
$$= \vec{A}_m^{HD}(\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$

Burada integralin yalnızca üslü koordinatlara bağlı olduğu düşünülür; bu nedenle, varsayımsal dipollerin akımları ve yön vektörleri integral operatörlerinin dışına taşınır. $\vec{E}_{e,m}^{HD}(\theta,\phi)$ ve $\vec{H}_{e,m}^{HD}(\theta,\phi)$, (2.1, 2.2)'deki gibi $\vec{A}_{e,m}^{HD}(\theta,\phi)$ ile bağlantılıdır. Bu nedenle,

$$\vec{A}_{e,m}^{\perp ff}(\theta,\phi) = \vec{A}_{e,m}^{HD}(\theta,\phi)$$

$$\vec{E}_{e,m}^{ff}(\theta,\phi) = \vec{E}_{e,m}^{HD}(\theta,\phi),\ \vec{H}_m^{ff}(\theta,\phi) = \vec{H}_m^{HD}(\theta,\phi)$$

Sonuç olarak, uzak alanda basit bir ortamdaki belirli bir anten $\left(\vec{A}_{e,m}^{ff}, \vec{E}_{e,m}^{ff}, \vec{H}_{e,m}^{ff}\right)$ için yönlü akımlar aşağıdaki ifadelerden tek değerli olarak belirlenebilir.

$$\vec{A}_e^{\perp ff}(\theta,\phi) = \frac{\mu}{4\pi}\hat{l}_e^{\perp}(\theta,\phi) I_e(\theta,\phi),\ \vec{A}_m^{\perp ff}(\theta,\phi) = \frac{\varepsilon}{4\pi}\hat{l}_m^{\perp}(\theta,\phi) I_m(\theta,\phi)$$

$$\vec{E}_e^{ff}(\theta,\phi) = -\eta\hat{r}\times\vec{H}_e^{ff}(\theta,\phi) = i\omega\frac{\mu}{4\pi}\hat{l}_e^{\perp}((\theta,\phi) I_e(\theta,\phi)$$

$$\vec{H}_m^{ff}(\theta,\phi) = \frac{1}{\eta}\hat{r}\times\vec{E}_m^{ff}(\theta,\phi) = i\omega\frac{\varepsilon}{4\pi}\hat{l}_m^{\perp}(\theta,\phi) I_m(\theta,\phi)$$

Burada,

$$\hat{l}_e^{\perp} = \hat{l}_e - \hat{r}\left(\hat{r}\cdot\hat{l}_e\right),\ \hat{l}_m^{\perp} = \hat{l}_m - \hat{r}\left(\hat{r}\cdot\hat{l}_m\right)$$

Açıklık antenin toplam uzak alan ışıması $\left(\vec{E}^{ff}, \vec{H}^{ff}\right)$, elektrik ve manyetik Hertz dipolleri $\left(\vec{E}_{e,m}^{ff}, \vec{H}_{e,m}^{ff}\right)$ tarafından ışınan elektrik ve manyetik alanların üst üste bindirilmesiyle gösterilebilir.

$$\vec{E}^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)=\vec{E}_e^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)+\vec{E}_m^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)$$

$$\vec{H}^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)=\vec{H}_e^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)+\vec{H}_m^{\,ff}\left(r,\theta,\phi\right)$$

Tezde, uyarlanan uzak alan varsayımsal Hertz dipollerinin yönleri $\hat{l}_e=\hat{x}_3$, $\hat{l}_m=\hat{x}_2$ şeklindedir. (1.1, 1.2)'den

$$\hat{l}_e^{\perp}\left(\theta,\phi\right)=\hat{\theta}\cos\theta\sin\phi+\hat{\phi}\cos\phi$$

$$\hat{l}_m^{\perp}\left(\theta,\phi\right)=\hat{\theta}\cos\theta\cos\phi-\hat{\phi}\sin\phi$$

ve

$$E_\theta\left(\theta,\phi\right)=\frac{i\omega}{4\pi}\left[\mu I_e\left(\theta,\phi\right)\cos\theta-\varepsilon\eta I_m\left(\theta,\phi\right)\right]\sin\phi \tag{2.3}$$

$$E_\phi\left(\theta,\phi\right)=\frac{i\omega}{4\pi}\left[\mu I_e\left(\theta,\phi\right)-\varepsilon\eta I_m\left(\theta,\phi\right)\cos\theta\right]\cos\phi \tag{2.4}$$

Burada $I_e\left(\theta,\phi\right)$ ve $I_m\left(\theta,\phi\right)$ sırasıyla elektrik ve manyetik yönlü akımlardır. I_e ve I_m arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir

$$I_e\left(\theta,\phi\right)=-\frac{I_m\left(\theta,\phi\right)}{\eta} \tag{2.5}$$

2.1.2 Konseptin Doğrulanması

Yönlü akımlara sahip nokta kaynakların varlığında Green Fonksiyon Tekniğini (GFT) kullanmanın geçerliliği [9]'da kanıtlanmıştır. Sınır değer problemini belirten dalga denklemi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir

$$L\left\{G(\vec{r},\vec{r}')\right\}=-\delta^3(\vec{r}-\vec{r}')$$

Aşağıdaki koşullarla;

$$\lim_{\vec{r}\to\vec{r}'}G(\vec{r},\vec{r}')=sonlu\ ,\ \lim_{r\to\infty}G(\vec{r},\vec{r}')=0$$

$G(\vec{r},\vec{r}')$, $\vec{r}'=(r',\theta',\phi')$ konumunda bulunan ve basit bir ortamda birim fonksiyonunu destekleyen skaler bir nokta kaynağının Green fonksiyonudur. Dalga operatörü $L=\mathrm{Lap}+k^2$, ve $k=\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$ dalga sayısıdır.

Küresel Bessel fonksiyonları açısından çözüm aşağıdaki şekilde bilinmektedir

$$G(\vec{r},\vec{r}')=G(|r-r'|)=ik\begin{cases}j_0(kr)h_0^{(1)}(kr'),r<r'\\ j_0(kr')h_0^{(1)}(kr),r>r'\end{cases}$$

$G_w(\vec{r},\vec{r}')$ rastgele ağırlıklı yoğunluğa sahip bir nokta kaynağının Green fonksiyonu iken $p(\theta',\phi')$ aşağıdaki şekilde bulunur

$$L\{G_w(\vec{r},\vec{r}')\} = -p(\theta',\phi')\delta^3(\vec{r}-\vec{r}')$$

Aşağıdaki koşullarla;

$$\lim_{\vec{r}\to\vec{r}'} G_w(\vec{r},\vec{r}') = sonlu$$

$$\lim_{r\to\infty} G_w(\vec{r},\vec{r}') = 0 \qquad (2.6)$$

kaynak ve gözlem koordinatları bağımsızdır, bu nedenle $G_w(\vec{r},\vec{r}')$ aşağıdaki şekilde $G(\vec{r},\vec{r}')$ ile bağlantılıdır

$$G_w(\vec{r},\vec{r}') = p(\theta',\phi')G(\vec{r},\vec{r}')$$

$G(\vec{r},\vec{r}')$ ve $G_w(\vec{r},\vec{r}')$'nin GFT'deki eşdeğerliğini incelemek için, $L\{f(\vec{r})\} = -g(\vec{r})$ dalga denkleminin karşılanması için Şekil 2.2'de gösterildiği üzere rastgele bir hacim kaynağı $g(\vec{r})$ ile $f(\vec{r})$ alanı oluşturulmuştur.

Aşağıdaki koşullarla;

$$\lim_{\vec{r}\to 0} f(\vec{r}) = sonlu$$

$$\lim_{r\to\infty} f(\vec{r}) = 0 \qquad (2.7)$$

aşağıdaki sonuç elde edilmektedir

$$f(\vec{r})L\{G_w(\vec{r},\vec{r}')\} - G_w(\vec{r},\vec{r}')L\{f(\vec{r})\} = -p(\theta',\phi')f(\vec{r})\delta^3(\vec{r}-\vec{r}') + G_w(\vec{r},\vec{r}')g(\vec{r})L\{f(\vec{r})\}$$

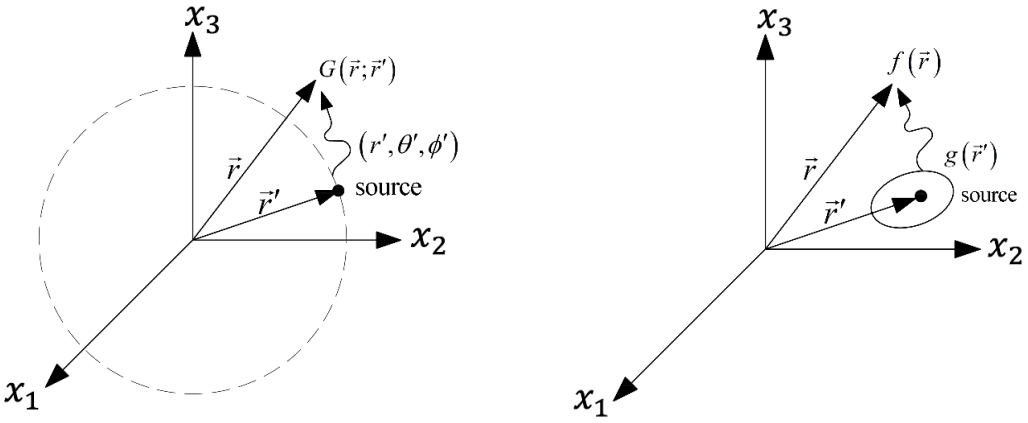
Her iki tarafın integrali alındığında;

$$\int_{\mathbb{R}_3}\left[f(\vec{r})L\{G_w(\vec{r},\vec{r}')\} - G_w(\vec{r},\vec{r}')L\{f(\vec{r})\}\right]d\vec{r}^3 = -\int_{\mathbb{R}_3} p(\theta',\phi')f(\vec{r})\delta^3(\vec{r}-\vec{r}')d\vec{r}^3 + \int_{\mathbb{R}_3} G_w(\vec{r},\vec{r}')g(\vec{r})d\vec{r}^3 \qquad (2.8)$$

(2.8)'nın sol tarafındaki integral, distribüsyon anlamında Green Teoremi uygulandıktan sonra sıfır olur.

$$\int_{\mathbb{R}_3}\left[f(\vec{r})L\{G_w(\vec{r},\vec{r}')\} - G_w(\vec{r},\vec{r}')L\{f(\vec{r})\}\right]d\vec{r}^3 = \oint_{\partial\mathbb{R}_3}\left[f(\vec{r})\,\mathrm{grad}G_w(\vec{r},\vec{r}') - G_w(\vec{r},\vec{r}')\,\mathrm{grad}f(\vec{r})\right]\cdot\hat{n}\,d\vec{r}^2 = 0$$

(2.6, 2.7), ışıma koşulları mevcutken;



Şekil 2.2 (a) Noktasal kaynağının (b) Rastgele kaynağın ışıma alanı

$$\int_{\mathbb{R}_3} p(\theta',\phi') f(\vec{r}) \delta^3(\vec{r}-\vec{r}') d\vec{r}^3 = p(\theta',\phi') f(\vec{r}')$$

Bu son ifade şu şekilde yeniden yazılabilir;

$$p(\theta',\phi') f(\vec{r}') = \int_{\mathbb{R}_3} G_w(\vec{r},\vec{r}') g(\vec{r}) d\vec{r}^3$$

ve aşağıdaki gibi şekillendirebilir

$$p(\theta,\phi) f(\vec{r}) = \int_{\mathbb{R}_3} G_w(\vec{r}',\vec{r}) g(\vec{r}') d\vec{r}'^3 \tag{2.9}$$

veya $\vec{r} \leftrightarrow \vec{r}'$ değiştirildiğinde aşağıdaki bulunmaktadır:

$$G_w(\vec{r}',\vec{r}) = p(\theta,\phi) G(\vec{r}',\vec{r})$$

İstenen ve iyi bilinen sonuç, (2.9)'de $G(\vec{r},\vec{r}') = G(\vec{r}',\vec{r})$ simetri özelliği kullanılarak bulunur

$$f(\vec{r}) = \int_{\mathbb{R}_3} G(\vec{r}',\vec{r}) g(\vec{r}') d\vec{r}'^3$$

Bu şekilde, skaler durumda basit ortamda GFT'de $G_w(\vec{r}',\vec{r})$'nin tanımı ve kullanımının uygunluğu gösterilmektedir. Vektör durumları için dalga operatörünün doğrusal özelliği nedeniyle skaler alanlar genelleştirilebilir. Aşağıdaki alt bölümlerde, açıklık ve horn antenler için yönlü akımlar belirlenecektir.

2.2 Açıklık Antenler için Yönlü Akımlar

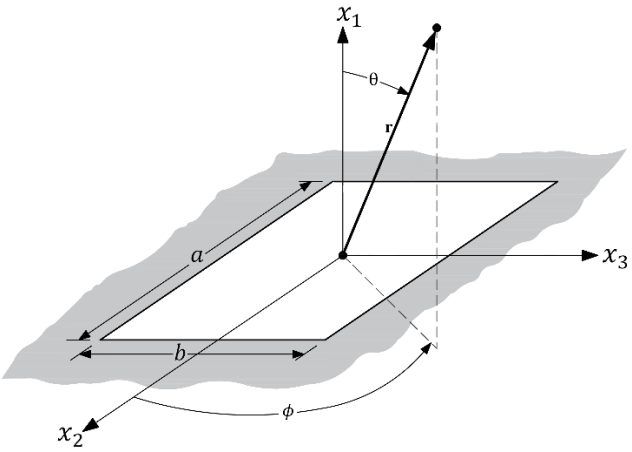
Bu bölümde dikdörtgen ve çember kesitli açıklıklar için yönlü akımlar gösterilecektir.

2.2.1 Sonsuz Bir Yer Düzlemine Monte Edilmiş Dikdörtgen Açıklık Anten

Şekil 2.3 [2]'de sonsuz yer düzlemine kurulu a ve b boyutlu Dikdörtgen Açıklık Anten (DAA) gösterilmektedir. Işıyan uzak alanlara [5]'te verilen baskın TE_{10} modu ile akım verilmektedir.

$$E_\theta(\theta,\phi) = -\frac{\pi}{2} C \sin\phi \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} \tag{2.10}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = -\frac{\pi}{2} C \cos\theta\cos\phi \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} \tag{2.11}$$



Şekil 2.3 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dikdörtgen açıklık anten

Burada,

$$C = i\frac{abkE_0}{2\pi}$$

E_0 bir sabittir ve

$$X = \frac{ka}{2}\sin\theta\cos\phi,\ Y = \frac{kb}{2}\sin\theta\sin\phi$$

(2.3, 2.4) ve (2.10, 2.11) eşitlenmesiyle elde edilen kesin yönlü akım ifadeleri

$$I_m(\theta,\phi) = ab\pi E_0 \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} \tag{2.12}$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \tag{2.13}$$

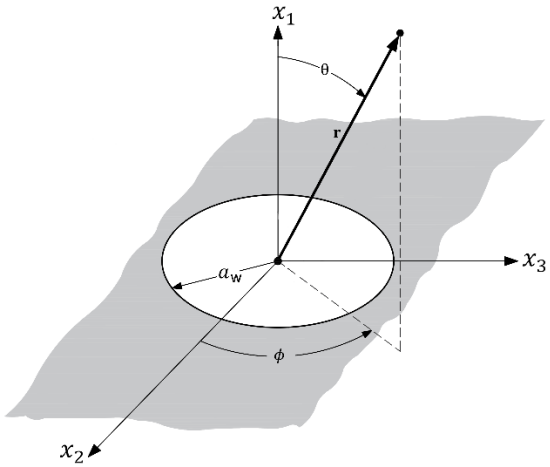
$\phi = 0$ olduğunda H-düzlemindeki yönlü akımlar, L'Hôpital kuralı uygulanarak aşağıdaki gibi hesaplanır

$$I_m(\theta,\phi) = ab\pi E_0 \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \cos Y \tag{2.14}$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \tag{2.15}$$

2.2.2 Sonsuz Yer Düzlemine Monte Edilmiş Çember Açıklık Anten

Şekil 2.4'te gösterildiği üzere sonsuz yer düzlemine a_w yarıçaplı Çember Açıklık Anten (ÇAA) kurulmuştur. TE_{11}-modunun ışıyan uzak alanları [5]'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş çember açıklık anten

$$E_\theta(\theta,\phi) = C_2 \sin\phi \frac{J_1(Z)}{Z} \tag{2.16}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = C_2 \cos\theta \cos\phi \frac{J_1'(Z)}{1 - \left(\frac{Z}{p_{11}}\right)^2} \tag{2.17}$$

Burada,

$$C_2 = ika_w E_0 J_1(p_{11})$$

E_0 bir sabittir, $p_{11} = 1.841$. TE_{11} modunun kesim dalga sayısıdır, $Z = ka_w \sin\theta$.

$J_1(Z)$ 1. derece Bessel fonksiyonudur ve $J_1'(Z) = J_0(Z) - \frac{J_1(Z)}{Z}$ ilk türevidir.

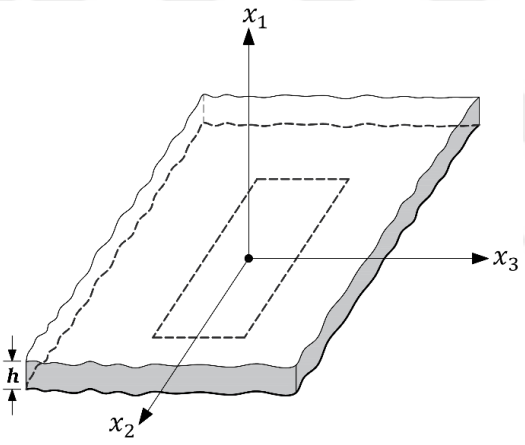
Burada $J_0(Z)$ 0. derece Bessel fonksiyonudur. (2.3, , 2.4) ve (2.16, 2.17)'de yönlü akımlar aşağıdaki şekilde belirlenir

$$I_m(\theta,\phi) = 4\pi a_w E_0 J_1(p_{11}) \left[\cot^2\theta \frac{J_1'(Z)}{1-(Z/p_{11})^2} - \csc^2\theta \frac{J_1(Z)}{Z} \right] \tag{2.18}$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \tag{2.19}$$

2.2.3 Dielektrik Kaplı Dikdörtgen ve Çember Açıklık Antenler

Antenleri çevre koşullarından korumak için, açıklığın Şekil 2.5 ve 2.6'da gösterildiği gibi bir dielektrik malzeme ile kaplandığını varsayalım. Dielektrik kaplı açıklık antenlerin uzak alan ışıması, kaplanmamış olanlarla [5] ile ilişkilidir.



Şekil 2.5 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dielektrik kaplı dikdörtgen açıklık anten

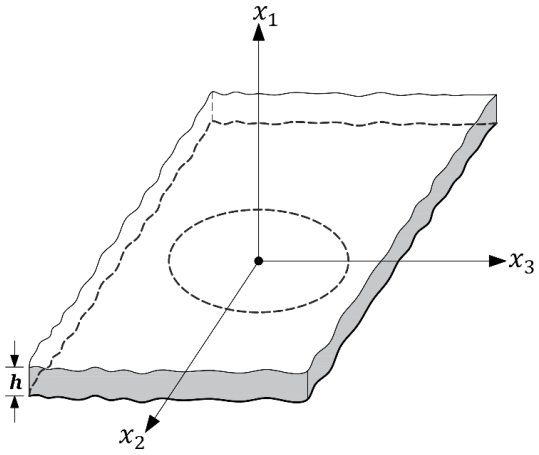
$$E_\theta(\theta,\phi) = f(\theta) E_\theta^0(\theta,\phi)$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = g(\theta) E_\phi^0(\theta,\phi)$$

Burada E_θ^0 ve E_ϕ^0, θ ve ϕ açık açıklık antenlerin bileşenleri ve (2.10, 2.11)'de ile (2.16, 2.17)'de aynıdır. Böylece,

$$f(\theta) = \frac{e^{ikh\cos\theta}}{\cos\psi + iZ_h \sin\psi},\ g(\theta) = \frac{e^{ikh\cos\theta}}{\cos\psi + iZ_e \sin\psi},\ \psi = kh\sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta},$$

$$Z_e = \frac{\cos\theta}{\sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}},\ Z_h = \frac{\sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}}{\varepsilon_r \cos\theta}$$



Şekil 2.6 Sonsuz bir yer düzlemine monte edilmiş dielektrik kaplı çember açıklık anten

h dielektrik levha kapağının kalınlığıdır, ε_r bağıl dielektrik sabitidir.

Dielektrik kaplı Dikdörtgen Açıklık Anten (DDAA) için uzak alanlar aşağıdaki gibi temsil edilir [5].

$$E_\theta(\theta,\phi) = -\frac{\pi}{2} C \sin\phi \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} f(\theta) \tag{2.20}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = -\frac{\pi}{2} C \cos\theta \cos\phi \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} g(\theta) \tag{2.21}$$

Ayrıca Dielektrik Kaplı Çember Açıklık Anten (DÇAA) için uzak alanlar aşağıdaki gibi tanımlanır [5].

$$E_\theta(\theta,\phi) = C_2 \sin\phi \frac{J_1(Z)}{Z} f(\theta) \tag{2.22}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = C_2 \cos\theta \cos\phi \frac{J_1'(Z)}{1 - \left(\frac{Z}{p_{11}}\right)^2} g(\theta) \tag{2.23}$$

DDAA için yönlü akımlar (2.3, 2.4) ve (2.20, 2.21) ile hesaplanır.

$$I_m(\theta,\phi) \simeq ab\pi E_0 \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y}{Y} \left[\csc^2(\theta) f(\theta) - \cot^2(\theta) g(\theta)\right] \tag{2.24}$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \tag{2.25}$$

DAA'da olduğu gibi, $\phi = 0$ olduğunda H-düzlemindeki yönlü akımlar, L'Hôpital kuralı kullanılarak şu şekilde hesaplanır

$$I_m(\theta,\phi) \simeq ab\pi E_0 \frac{\cos X}{(X)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \cos Y \left[\csc^2(\theta) f(\theta) - \cot^2(\theta) g(\theta)\right] \quad (2.26)$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \quad (2.27)$$

DÇAA için yönlü akımlar (2.3, 2.4) ve (2.22, 2.23) ile hesaplanır.

$$I_m(\theta,\phi) = 4\pi a_w E_1 J_1(p_{11}) \left[\cot^2\theta \frac{J_1'(Z)}{1 - \left(\frac{Z}{p_{11}}\right)^2} g(\theta) - \csc^2\theta \frac{J_1(Z)}{Z} f(\theta) \right] \quad (2.28)$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta} I_m(\theta,\phi) \quad (2.29)$$

2.3 Horn Antenler için Yönlü Akımlar

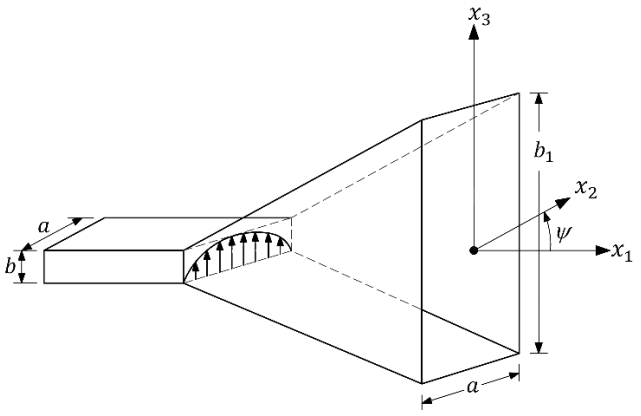
Bu bölümde farklı kesitlere sahip mikrodalga horn antenler için yön akımları ele alınacaktır.

2.3.1 E-Düzlem Sektörel Horn

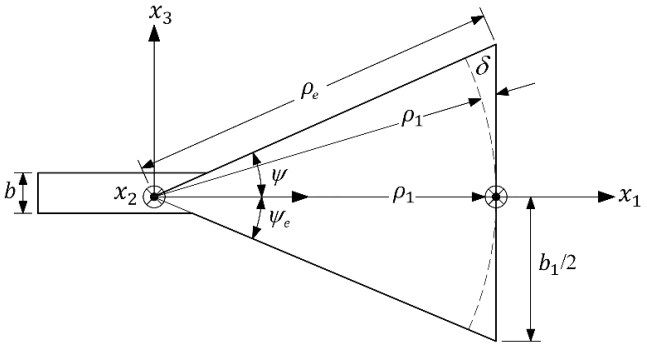
Dikdörtgen dalga kılavuzunun açıklığı Şekil 2.7 ve 2.8'de gösterildiği üzere yalnızca E-alanının [2,5] yönünde ışırken ve böylece a ve $b_1 (b_1 > a)$ açıklık boyutları ile [9]'da gösterildiği gibi [9]'dan üretilirken E-düzlemi Sektörel Horn (EDSH) üretilmektedir. Dar düzlemde geniş ışıma desenlerine sahip olmaları nedeniyle sektörel hornlar verici anten olarak nadiren tek başlarına kullanılmıştır. Silindirik bir reflektör için hat beslemesi bu antenin potansiyel bir uygulamadır [1].

Horndan ışıyan uzak alan bileşenleri, aşağıdaki şekilde baskın TE_{10} modu bünyesinde [5]ten elde edilebilir

$$E_\theta(\theta,\phi) = -i \frac{a\sqrt{\pi k \rho_1} E_1}{8} \times \left\{ e^{-i\left(\frac{k_y^2 \rho_1}{2k}\right)} \sin\phi (1 + \cos\theta) \left[\frac{\cos\left(\frac{k_x a}{2}\right)}{\left(\frac{k_x a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \right] F(t_1, t_2) \right\} \quad (2.30)$$



Şekil 2.7 E-düzlem sektörel hornun 3-B görünümü



Şekil 2.8 E-düzlem sektörel hornun E-düzlem görünümü

$$E_\phi(\theta,\phi) = -i\frac{a\sqrt{\pi k\rho_1}E_1}{8}\times\left\{e^{-i\left(\frac{k_y^2\rho_1}{2k}\right)}\cos\phi(1+\cos\theta)\left[\frac{\cos\left(\frac{k_x a}{2}\right)}{\left(\frac{k_x a}{2}\right)^2-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2}\right]F(t_1,t_2)\right\} \quad (2.31)$$

Burada E_1 sabittir ve ρ_1 tepe noktasından E-düzlemindeki açıklık üzerindeki bir noktaya olan radyal mesafedir.

$$k_x = k\sin\theta\cos\phi\,,\ k_y = k\sin\theta\sin\phi$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_1}}\left(-\frac{kb_1}{2}-k_y\rho_1\right) \quad (2.32)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_1}}\left(\frac{kb_1}{2}-k_y\rho_1\right) \quad (2.33)$$

$$F(t_1,t_2) = \left[C(t_2)-C(t_1)\right]-i\left[S(t_2)-S(t_1)\right] \quad (2.34)$$

$S(x)$ ve $C(x)$ sinüs ve kosinüs Fresnel integralleri olarak bilinir

$$S(x)=\int_0^x \sin\left(\frac{\pi}{2}t^2\right)dt,\ C(x)=\int_0^x \cos\left(\frac{\pi}{2}t^2\right)dt$$

E-düzlem sektörel horn için yönlü akımlar, (2.3, 2.4) ve (2.30, 2.31)'ün aşağıdaki şekilde eşitlenmesiyle belirlenebilir

$$I_m(\theta,\phi)=E_1\frac{\pi a}{2\eta}\sqrt{\frac{\pi\rho_1}{k}}e^{-i\frac{k_y^2\rho_1}{2k}}\frac{\cos\left(\frac{k_x a}{2}\right)}{\left(\frac{k_x a}{2}\right)^2-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2}F(t_1,t_2) \tag{2.35}$$

$$I_e(\theta,\phi)=-\frac{1}{\eta}I_m(\theta,\phi) \tag{2.36}$$

2.3.2 H-Düzlem Sektörel Horn

Dikdörtgen dalga kılavuzunun girişleri yalnızca H-düzlemi yönünde ışırken, a_1 ve b $(a_1>b)$ açıklık boyutlarıyla Şekil 2.9 ve 2.10'da [2, 5] gösterildiği üzere bir H-düzlemi sektörel horn (HDSH) [5, 9] oluşturur.

Bu durumda baskın TE_{10} modu altında uzak alanda elektrik alan bileşenleri [5]'teki gibi ifade edilebilir.

$$E_\theta(\theta,\phi)=iE_2\frac{b}{8}\sqrt{\frac{k\rho_2}{\pi}}\times\left\{\sin\phi(1+\cos\theta)\frac{\sin Y}{Y}\left(e^{if_1}F(t_1',t_2')+e^{if_2}F(t_1'',t_2'')\right)\right\} \tag{2.37}$$

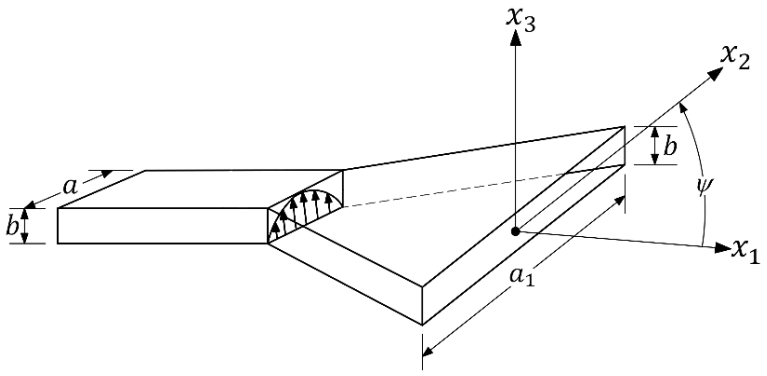
$$E_\phi(\theta,\phi)=iE_2\frac{b}{8}\sqrt{\frac{k\rho_2}{\pi}}\times\left\{\cos\phi(1+\cos\theta)\frac{\sin Y}{Y}\left(e^{if_1}F(t_1',t_2')+e^{if_2}F(t_1'',t_2'')\right)\right\} \tag{2.38}$$

Burada E_2 sabit ve ρ_2 tepe noktasından H-düzlemindeki açıklık üzerindeki bir noktaya olan radyal mesafedir.

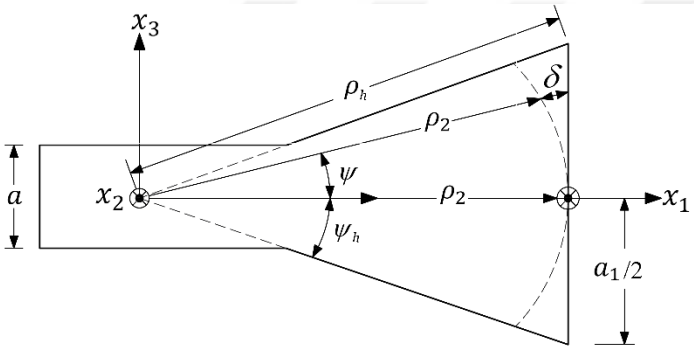
$$t_1'=\sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_2}}\left(-\frac{ka_1}{2}-k_x'\rho_2\right) \tag{2.39}$$

$$t_2'=\sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_2}}\left(\frac{ka_1}{2}-k_x'\rho_2\right) \tag{2.40}$$

$$k_x' = k\sin\theta\cos\phi + \frac{\pi}{a_1}$$



Şekil 2.9 H-düzlem sektörel hornun 3-B görünümü



Şekil 2.10 H-düzlem sektörel hornun H-düzlem görünümü

$$t_1'' = \sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_2}}\left(-\frac{ka_1}{2} - k_x''\rho_2\right) \tag{2.41}$$

$$t_2'' = \sqrt{\frac{1}{\pi k\rho_2}}\left(\frac{ka_1}{2} - k_x''\rho_2\right) \tag{2.42}$$

$$k_x'' = k\sin\theta\cos\phi - \frac{\pi}{a_1}$$

$$F(t_1', t_2') = \left[C(t_2') - C(t_1')\right] - i\left[S(t_2') - S(t_1')\right] \tag{2.43}$$

$$F(t_1'', t_2'') = \left[C(t_2'') - C(t_1'')\right] - i\left[S(t_2'') - S(t_1'')\right] \tag{2.44}$$

$$f_1 = \frac{k_x'^2\rho_2}{2k} \tag{2.45}$$

$$f_2 = \frac{k_x''^2 \rho_2}{2k} \tag{2.46}$$

$$Y = \frac{kb}{2}\sin\theta\sin\phi$$

(2.3,2.4) ve (2.37,2.38) eşitlenerek eşdeğer yönlü akımlar verilir

$$I_m(\theta,\phi) = E_2 \frac{b}{2}\sqrt{\frac{\pi\rho_2}{k}}\frac{\sin Y}{Y}\left(e^{if_1}F(t_1',t_2') + e^{if_2}F(t_1'',t_2'')\right) \tag{2.47}$$

$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta}I_m(\theta,\phi) \tag{2.48}$$

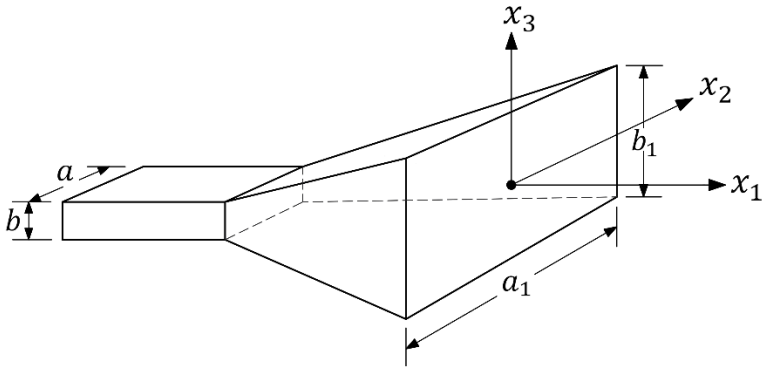
$\phi = 0$ olduğunda H-düzlemindeki yönlü akımlar, L'Hôpital Kuralı kullanılarak şu şekilde hesaplanır

$$I_m(\theta,\phi) = E_2 \frac{b}{2}\sqrt{\frac{\pi\rho_2}{k}}\cos Y\left(e^{if_1}F(t_1',t_2') + e^{if_2}F(t_1'',t_2'')\right) \tag{2.49}$$

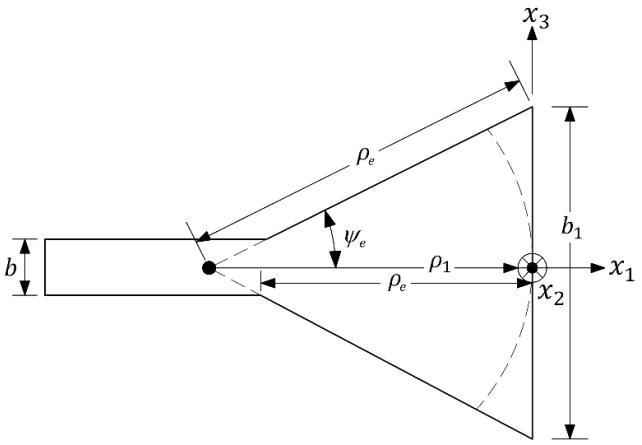
$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta}I_m(\theta,\phi) \tag{2.50}$$

2.3.3 Piramit Horn

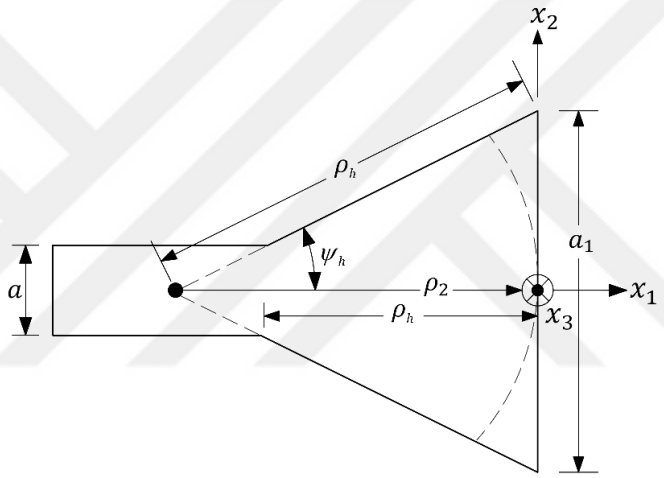
Hem E- hem de H-düzlemlerinde bir Piramit Horn Anteni (PHA) genişletir. PHA'nın 3-B görünümü Şekil 2.11'de a_1 ve b_1 açıklık boyutlarıyla sunulmaktadır. Şekil 2.12 ve 2.13, sırasıyla PHA'nın E-düzlemi ve H-düzlemi görünümlerini göstermektedir [2,5,6,9]. PHA, bir kazanç standardı, test ve algılama anteni olarak kullanılır [2].



Şekil 2.11 Piramit horn antenin 3-B görünümü



Şekil 2.12 Piramit horn antenin E-düzlem görünümü



Şekil 2.13 Piramit horn antenin H-düzlem görünümü

Baskın TE_{10} modundaki elektrik uzak alan bileşenleri [5]'teki gibi elde edilir

$$E_\theta(\theta,\phi) = i\frac{kE_0}{4\pi}\left[\sin\phi\left(1+\cos\theta\right)I_1I_2\right] \tag{2.51}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = i\frac{kE_0}{4\pi}\left[\cos\phi\left(1+\cos\theta\right)I_1I_2\right] \tag{2.52}$$

Burada E_0 sabittir.

$$I_1(\theta,\phi) = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\pi\rho_2}{k}}\left(e^{-if_1}F\left(t_1',t_2'\right)+e^{-if_2}F\left(t_1'',t_2''\right)\right)$$

$$I_2(\theta,\phi)=\sqrt{\frac{\pi\rho_1}{k}}e^{-if_3}F(t_1,t_2)$$

Burada,

$$f_3=\frac{k_y^2\rho_2}{2k}$$

t_1, t_2, t_1', t_2', t_1'', t_2'', $F(t_1,t_2)$, $F(t_1',t_2')$, $F(t_1'',t_2'')$, f_1, ve f_2 sırayla (2.32), (2.33), (2.39), (2.40), (2.41), (2.42), (2.34), (2.43), (2.44), (2.45), ve (2.46) ile gösterilir.

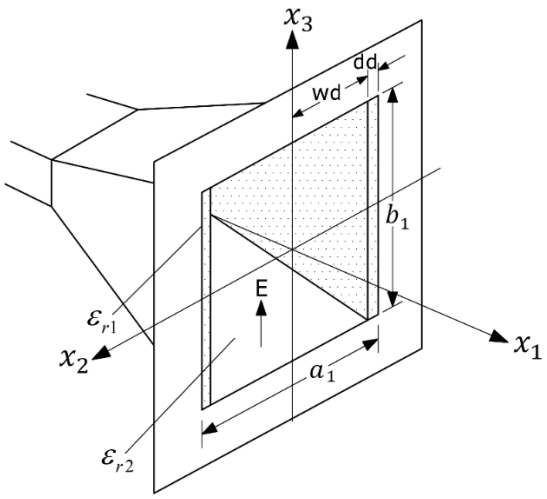
(2.3, 2.4) ve (2.51, 2.52) çözüldüğünde, aşağıdaki yönlü akımlar elde edilir

$$I_m(\theta,\phi)=E_0I_1(\theta,\phi)I_2(\theta,\phi) \tag{2.53}$$

$$I_e(\theta,\phi)=-\frac{1}{\eta}I_m(\theta,\phi) \tag{2.54}$$

2.3.4 Flanşlı Dielektrik Yüklü Piramit Horn

Şekil 2.14'te [2,3] gösterildiği üzere Dielektrik yüklü Piramit Horn Anten (DPHA) E-düzlemi duvarlarını kaplayan dielektriğe sahiptir. Yüksek kazanç/ açıklık verimliliği, çapraz polarizasyon, geri dönüş kaybı, desen simetrisi ve faz merkezi kararlılığı konusunda yüksek performans sağlar [2, 5, 6]. En çok radar ve uydu iletişim sistemlerinde kullanılırlar [6].



Şekil 2.14 Dielektrik yüklü piramit horn anten 3-B görünümü

Baskın LSE_{10} hibrit modundaki uzak alan bileşenleri [6]'da verildiği şekilde bulunmuştur

$$E_\theta(\theta,\phi) = \frac{ik}{2\pi} N_y(u,v)\sin\phi \tag{2.55}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = \frac{ik}{2\pi} N_y(u,v)\cos\theta\cos\phi \tag{2.56}$$

Burada,

$$N_y(u,v) = I_x(u) I_y(v)$$

$$u = 1/\lambda \sin\theta\cos\phi,\ v = 1/\lambda \sin\theta\sin\phi$$

$$I_y(v) = \frac{e^{i(\pi v/S_E)^2}}{S_E}\left(\mathrm{K}\left(S_E\frac{b_1}{2} - \frac{\pi v}{S_E}\right) + \mathrm{K}\left(S_E\frac{b_1}{2} + \frac{\pi v}{S_E}\right)\right)$$

$$I_x(u) = \frac{1}{2S_\mathrm{H}}\left[\begin{array}{l} F_+^{(2)}(u) + F_+^{(2)}(-u) + F_-^{(2)}(u) + F_-^{(2)}(-u) \\ -iC_0\left(e^{i\pi u a_1}\left(F_+^{(1)}(-u) - F_-^{(1)}(-u)\right) + e^{-i\pi u a_1}\left(F_+^{(1)}(u) - F_-^{(1)}(u)\right)\right) \end{array}\right]$$

$$C_0 = \frac{\cos(k_2 w_d)}{\sin(k_1 d_d)}$$

$k_j = \sqrt{k^2\varepsilon_{rj} - \gamma^2}$ bölgedeki dalga sayısıdır $j = 1,2$. ε_{rj} alanın dielektrik sabitidir j. d_d dielektrik kalınlığıdır ve w_d levhalar arası genişliğin yarısıdır. $K(z) = \int_0^z e^{-i\xi^2} d\xi$ karmaşık Fresnel integralidir.

$$F_\pm^{(1)}(u) = e^{iS_\mathrm{H}^2\alpha_\pm^{(1)}(u)\left[a_1 + \alpha_\pm^{(1)}(u)\right]}\left\{\mathrm{K}\left(S_\mathrm{H}\left(\frac{a_1}{2} + \alpha_\pm^{(1)}(u)\right)\right) + \mathrm{K}\left(S_\mathrm{H}\left(-w_d - \alpha_\pm^{(1)}(u)\right)\right)\right\}$$

$$F_\pm^{(2)}(u) = e^{i\left(S_\mathrm{H}\alpha_\pm^{(2)}(u)\right)^2}\left\{\mathrm{K}\left(S_\mathrm{H}\left(\frac{a_1}{2} + \alpha_\pm^{(2)}(u)\right)\right) + \mathrm{K}\left(S_\mathrm{H}\left(w_d - \alpha_\pm^{(2)}(u)\right)\right)\right\}$$

$$\alpha_\pm^{(j)}(u) = \left(\pi u \pm \frac{k_j}{2}\right)\Big/ S_\mathrm{H}^2$$

$$S_E = \sqrt{\frac{\gamma}{2\rho_1}},\ S_{\mathrm{H}} = \sqrt{\frac{\gamma}{2\rho_2}}$$

Burada γ LSE_{10} modunun yayılma sabitidir. γ transandantal denklem tarafından yönetilen bir frekans ile değişir

$$k_2 \tan\left(k_2 w_d\right) = k_1 \cot\left(k_1 d_d\right)$$

Dahası da LSE_{10}'un ($m=1$ ve $n=0$ ile) yayılma sabiti γ'ye bir yaklaşımdır.

$$\gamma = \sqrt{k^2\left(1+\left(\varepsilon_{r1}-1\right)\frac{2d_d}{a_1}\left[1-\frac{a_1}{2m\pi d_d}\sin\left(\frac{2m\pi d_d}{a_1}\right)\right]\right)-\left(\frac{m\pi}{a_1}\right)^2-\left(\frac{n\pi}{n}\right)^2}$$

$k_2 = 0$ olduğunda, merkez bölgedeki alan tekdüzedir. Bu ne zaman gerçekleşir

$$d_d = \frac{\lambda}{4\sqrt{\varepsilon_{r1}-\varepsilon_{r2}}} \text{ ve } \gamma = k\sqrt{\varepsilon_{r2}}$$

Yönlü akımlar (2.3, 2.4) ve (2.55, 2.56)'dan elde edilir

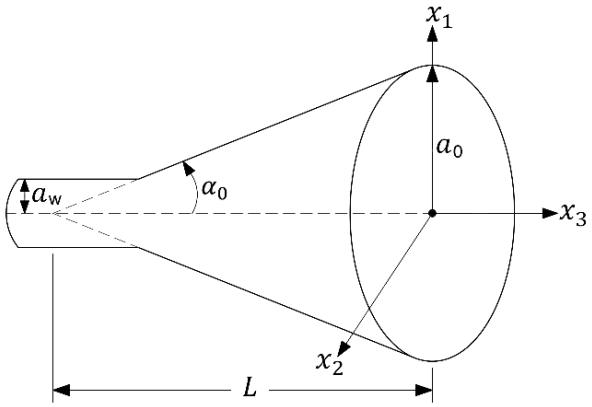
$$I_m\left(\theta,\phi\right) = -2N_y \tag{2.57}$$

$$I_e\left(\theta,\phi\right) = -\frac{1}{\eta} I_m\left(\theta,\phi\right) \tag{2.58}$$

2.3.5 Konik Horn

Konik Horn Anten (KHA), en basit mikrodalga anten yapısıdır [1]. Geometrisi Şekil 2.15'te [10,13,14] verilmektedir. Eksenel uzunluğu L, koni yayılma açısı α_0 olan bir konik gövdeye sahiptir. a_0 yarıçap açıklığına genişlemiştir ve esas TE_{11} modunda a_w yarıçapının dikdörtgen dalga kılavuzuyla harekete geçmektedir.

KHA, düşük gürültü, yüksek kazanç, dar ışın genişliği, düşük geri dönüş kaybı, çift dikdörtgen polarizasyonu destekleme yeteneği, desen simetrisi ve yüksek bant genişliği sağladığı için mikrodalga mühendisliğindeki birçok pratik uygulama için gereklidir [1,4,6]. Kazanç standartlarında, besleme antenlerinde, radar sistemlerinde, uydu haberleşmesinde, hücresel haberleşme ağlarında ve mikrodalga radyometrelerde referans anten olarak kullanılır [2,6].



Şekil 2.15 Konik horn anten 3-B görünümü

KHA'nın serbest uzay uzak alan ışıma deseni [10,15]'ten elde edilebilir

$$E_\theta(\theta,\phi) = i\frac{kC_{11}}{4}(1+\cos\theta)(I_0 - I_2)\sin\phi \tag{2.59}$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = i\frac{kC_{11}}{4}(1+\cos\theta)(I_0 + I_2)\cos\phi \tag{2.60}$$

Burada,

$C_{11} = \frac{A_{11}p_{11}}{\alpha_0}$, $p_{11} = 1.841$ birinci derece Bessel fonksiyonunun türevinin sıfırdan farklı ilk köküdür $J_1(p)$, $\alpha_0 = \tan^{-1}\left(\frac{a_0}{L}\right) \in \left[0^o, 90^o\right]$

A_{11}, TE_{11} modunun büyüklüğüdür, I_0 ve I_2 aşağıdaki şekilde ifade edilen $\sin\theta$ fonksiyonlarıdır

$$I_n(\sin\theta) = \int_0^{a_0} J_n(\vartheta) J_n(k\rho'\sin\theta) G(\rho')\rho' d\rho', \; n = 0, 2 \tag{2.61}$$

ve

$\vartheta = \frac{p_{11}}{\alpha_0}\tan^{-1}\left(\frac{\rho'}{L}\right)$, $G(\rho') = \frac{H_y^{(1)}\left(k\sqrt{L^2+\rho'^2}\right)}{\left[L^2+\rho'^2\right]^{1/4}}$, $H_y^{(1)}$ Hankel'in birinci tip fonksiyonudur $y = \sqrt{0.25 + \left(\frac{p_{11}}{\alpha_0}\right)^2}$

$ka_0 \ll kL$ iken birinci derece yaklaşıklıklar aşağıdaki şekilde yapılır

$$k\sqrt{L^2+\rho'^2} \simeq kL\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{\rho'}{L}\right)^2\right]$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{\rho'}{L}\right) \simeq \frac{\rho'}{L}$$

$$\vartheta = \frac{p_{11}\rho'}{a_0}$$

$$H_y^{(1)}\left(k\sqrt{L^2+\rho'^2}\right) \simeq e^{-i\pi/4}e^{-iy\pi/2}\sqrt{\frac{2}{\pi kL}}e^{ikL}e^{ik\rho'^2/2L}$$

$$G(\rho') \simeq e^{-i\pi/4}e^{-iy\pi/2}\sqrt{\frac{2}{\pi k}}\frac{e^{ikL}}{L}e^{ik\rho'^2/2L}$$

Böylece (2.61) aşağıdaki gibi yeniden yazılır

$$I_n(\sin\theta) \simeq e^{-i\pi/4}e^{-iy\pi/2}\sqrt{\frac{2}{\pi k}}\frac{e^{ikL}}{L}\int_0^{a_0} J_n\left(p_{11}\rho'/a_0\right)J_n\left(k\rho'\sin\theta\right)e^{ik\rho'^2/2L}\rho' d\rho',\ n=0,2$$

(2.3,2.4) yerine (2.59,2.60), konularak, yönlü akımlar için açık ifadeler özel olarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir

$$I_m(\theta,\phi) = -\pi C_{11}\left[I_0(\sin\theta) - I_2(\sin\theta)\cot^2(\theta/2)\right] \tag{2.62}$$

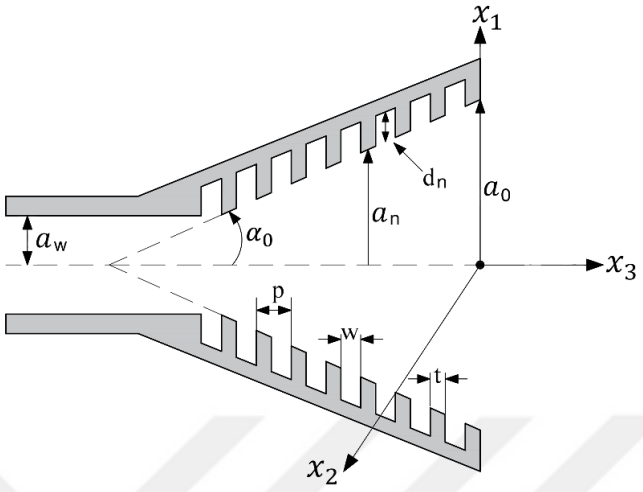
$$I_e(\theta,\phi) = -\frac{1}{\eta}I_m(\theta,\phi) \tag{2.63}$$

2.4 Oluklu Konik Horn Antenler İçin Yönlü Akımlar

Kay 1964 [1,2,16,17] tarafından gösterildiği üzere Şekil 2.16'daki gibi genişliği w, derinliği d, kalınlığı t ve oluklar arasındaki aralığı p olan oluk özelliklerine sahip bir oluklu horn anten (OKHA) verilmektedir.

Dengeli hibrit durumdaki hibrit HE_{11} dominant mod, oluklar yaklaşık çeyrek dalga boyu derinlikteyken aksisimetrik bir ışıma deseni oluşturur [2,6,16]. Bu koşullar altında, düz duvarlı KHA'nın ışıma performansı artırılır. Desen simetrisi, daha düşük yayılma verimliliği, daha düşük çapraz polarizasyon, daha düşük yan loblar, daha iyi eksen oranı ve daha yüksek açıklık verimlilikleri gibi üstün

performans özelliklerinden dolayı oluklu hornlar, radar sistemleri, iletişim, radyo astronomi, uzaktan algılama, uzay, uydu iletişimi, mikrodalga radyometreler, izleme sistemleri uygulamaları için öncelikli tercih haline gelmiştir [1,2,4,16,18].



Şekil 2.16 Konideki OKHA oluklarının yandan görünümü, eksenel uzunluk L, yayılma açısı α_0, açıklık yarıçapı a_0 ve dikdörtgen dalga kılavuzu besleme yarıçapı a_w

Dar yayılma açısı varsayımı bünyesinde $\left(\alpha_0 < 35^o\right)$, dengeli hibrit koşulda hibrit HE_{11} baskın modda çalışan OKHA'nın ışıma yaptığı elektrik uzak alanı elde edilebilir [2,11,15].

$$E_\theta(\theta,\phi) = ika_0 \frac{E_0}{2} F_\theta \left[(1+\gamma k/\beta) G_0(k\sin\theta) + (1-\gamma k/\beta) G_2(k\sin\theta) \right] \sin\phi \qquad (2.64)$$

$$E_\phi(\theta,\phi) = ika_0 \frac{E_0}{2} F_\phi \left[(1+\gamma k/\beta) G_0(k\sin\theta) - (1-\gamma k/\beta) G_2(k\sin\theta) \right] \cos\phi \qquad (2.65)$$

$$G_m(k\sin\theta) = \frac{1}{a_0^{\,2}} \int_0^{a_0} J_m(2.4048\rho'/a_0) J_m(k\sin\theta\rho') e^{ik\rho'^2/2L} \rho' d\rho', \; m = 0, 2$$

E_0 sabittir, $\gamma = \frac{\beta}{k} \cdot \frac{J_2(k_\rho a_0) + J_0(k_\rho a_0)}{J_2(k_\rho a_0) - J_0(k_\rho a_0)}$, burada β, k_ρ x_1 ve ρ'daki yayılma sabitleriyken yönleri $\beta^2 + k_\rho^2 = k^2$ eigen değeri denklemini karşılamaktadır.

$\gamma k/\beta = 1$ dengeli hibrit koşulunda ve $k_\rho a_0 = 2.4048$ baskın mod uyarımı için (2.62, 2.63) aşağıdaki şekilde indirgenmektedir.

$$E_\theta = ika_0 E_0 F_\theta G_0\left(k\sin\theta\right)\sin\phi$$

$$E_\phi = ika_0 E_0 F_\phi G_0\left(k\sin\theta\right)\cos\phi$$

Burada F_θ ve F_ϕ aşağıdaki gibi tanımlanan sapma faktörleridir

$$F_\theta = \frac{1}{2}\left[1+\frac{\beta}{k}\cos\theta+\Gamma\left(1-\frac{\beta}{k}\cos\theta\right)\right]$$

$$F_\phi = \frac{1}{2}\left[\cos\theta+\frac{\beta}{k}+\Gamma\left(\cos\theta-\frac{\beta}{k}\right)\right]$$

Burada Γ açıklık süreksizliği ve kenardaki yansıma katsayısıdır. Sapma faktörlerini ortaya çıkaran $\beta/k\to 1,\ \Gamma\to 0$ yaklaşık iki dalga boyundan büyük açıklıklar için

$$F_\theta = F_\phi \simeq \frac{1}{2}\left(1+\cos\theta\right)$$

Sonuç olarak, UAY altındaki OKHA ışıma alanları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır

$$E_\theta = ika_0\frac{E_0}{2}\left(1+\cos\theta\right)G_0\left(k\sin\theta\right)\sin\phi \tag{2.66}$$

$$E_\phi = ika_0\frac{E_0}{2}\left(1+\cos\theta\right)G_0\left(k\sin\theta\right)\cos\phi \tag{2.67}$$

(2.3, 2.4) ve (2.66, 2.67)'den bulunan yönlü akımlar aşağıdaki gibidir

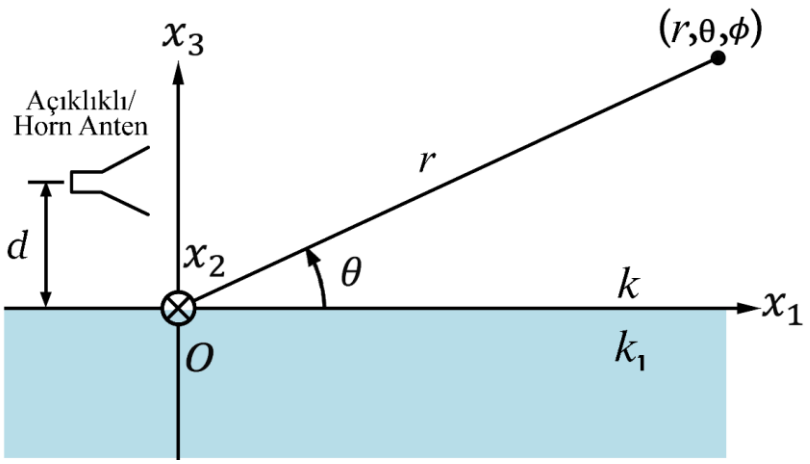
$$I_m\left(\theta,\phi\right) = -2\pi a_0 E_0 G_0\left(k\sin\theta\right) \tag{2.68}$$

$$I_e\left(\theta,\phi\right) = -I_m/\eta \tag{2.69}$$

2.5 Dielektrik Yarı Uzay Üzerinde Uzak Alan Açıklık ve Horn Antenlerin Sentezi

Şekil 2.17'de gösterilen ışıma senaryosu [9-11] göz önünde bulundurulmaktadır. Anten, arayüzden merkez noktasına d mesafesi olan basit bir kayıplı dielektrik yarı-uzay üzerine yerleştirilmiştir. Üst yarı uzayın bünye parametrelerine $\left(\varepsilon_0,\mu_0\right)$ ve dalga sayısına $k=\omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ sahip yarı uzay olduğu varsayılırken, alt yarı

uzayın bünye parametreleri $(\varepsilon, \mu_0, \sigma)$ ve dalga sayıları $k_1 = Nk$, $N^2 = \varepsilon_r(1+i\tau)$, $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$, $\tau = \sigma/\omega\varepsilon$ şeklindedir.



Şekil 2.17 Basit kayıplı dielektrik yarı uzay üzerinden ışıyan açıklık/horn anten

(2.3, 2.4)'teki ışıma alanlarını görselleştirmek için normalleştirilmiş E- ve H-düzlemlerine (aka. yükseklik ve azimut) ışıma alanlarına odaklanmaktayız.

E-düzleminde: $x_2 = 0$

$$E_\theta\,[dB] = 20\log_{10}\left|rE_\theta(\theta,\phi)\right|$$

$$E_\theta = \begin{cases} \cos\theta E_3 - \sin\theta E_1 & \text{for } \phi = \pi/2, \quad \theta : \pi/2 \to 0 \\ -\cos\theta E_3 - \sin\theta E_1 & \text{for } \phi = -\pi/2, \ \theta : 0 \to \pi/2 \end{cases} \tag{2.70}$$

H-düzleminde: $x_3 = 0$

$$E_\phi\,[dB] = 20\log_{10}\left|rE_\phi(\theta,\phi)\right|$$

$$E_\phi = \begin{cases} E_3 & \text{for } \phi = 0, \ \theta : \pi/2 \to 0 \\ -E_3 & \text{for } \phi = \pi, \ \theta : 0 \to \pi/2 \end{cases} \tag{2.71}$$

Basit kayıplı dielektrik yarı uzay üzerinde ideal DED ve YMD kaynaklarıyla (birim dipol momentleriyle) oluşturulan toplam ışıyan alanlar için YKY bünyesinde türetilen Sommerfeld Problemi [7,12] için Norton Mühendislik Yaklaşımının ağırlığı alınarak, UAY altında üst üste bindirilmesiyle E- ve H-desenlerinin numerik gösterimleri elde edilmektedir.

Hertz dipolleri tarafından yayılan toplam alanların Norton ifadesi, doğrudan, yansıyan ve yüzey dalgaları olarak bilinen üç bileşenden oluşur. Yüzey dalgası alanlarının homojen olmayan (aralığa bağlı genlik ve faz) davranışı nedeniyle, üst yarı uzaydaki toplam ışıma alanları genişletilmiş formlara sahiptir [10, 11].

$$\vec{E}^{\,ff}(r,\theta,\phi) \simeq \vec{E}(r,\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}\,,\ \vec{H}^{\,ff}(r,\theta,\phi) \simeq \vec{H}(r,\theta,\phi)\frac{e^{ikr}}{r}$$

$$\vec{E}(r,\theta,\phi) = \hat{\theta}E_{\theta}(r,\theta,\phi) + \hat{\phi}E_{\phi}(r,\theta,\phi)\,,\ \vec{H}(r,\theta=\pi/2,\phi) \simeq \frac{1}{\eta}\hat{r}\times\vec{E}(r,\theta=\pi/2,\phi)$$

Son ifadeler E- ve H-düzlem ışıma alanları, yönlü akımların aşağıdaki formüllere eklenmesiyle elde edilmektedir.

E-düzlem ışıma deseni: $\phi = \pi/2\,,\ \theta \in [0,\pi/2]$

$$E_{\theta}(r,\theta,\phi) = \frac{ik}{4\pi}\cos^2\theta\left[\eta I_e\cos\theta - I_m\right]\cdot\left[1 + R_{\text{v}}e^{i2kd\sin\theta} + \left(1-R_{\text{v}}\right)F\left(w\right)e^{i2kd\sin\theta}\right] \qquad (2.72)$$

H-düzlem ışıma deseni: $\phi = 0,\pi\,,\ \theta \in [0,\pi/2]$

$$E_{\phi}(r,\theta,\phi) = \frac{ik}{2\pi}\left[\eta I_e + \cos\theta I_m\right]\cos\phi F\left(\frac{ikr}{2}N^{-2}\left(1-N^{-2}\right)\right) \qquad (2.73)$$

Burada,

- $\Delta_0 = N^{-1}\sqrt{1-N^{-2}\cos^2\theta}$ normalize edilmiş düzlem empedansı
- $R_{\text{v}} = \dfrac{\sin\theta-\Delta_0}{\sin\theta+\Delta_0}$ yansıma katsayısıdır
- $w = \dfrac{ikr}{2\cos^2\theta}\left(\sin^2\theta+\Delta_0\right)^2$ sayısal mesafedir
- $F\left(w\right) = 1 + i\sqrt{\pi w}\,e^{-w}\,\text{erfc}\left(-i\sqrt{w}\right)$ Norton Zayıflama Fonksiyonudur

3
DİELEKTRİK YARI UZAY ÜZERİNDEKİ AÇIKLIK VE HORN ANTENLERİNİN IŞIMA ALANLARININ HESAPLANMASI

Bu bölümde, Bölüm 2'de incelenen tüm açıklık ve horn anten tiplerinin E- ve H-düzlem ışıma alanları için sayısal uygulamalar üç grup halinde gerçekleştirilmiştir:

Grup	İllüstrasyonlar	Şekiller
1	Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY sonuçlar	3.1-3.20
2	Serbest uzayda YAY ve CST sonuçları	3.21-3.40
3	Deniz yüzeyi üzerinden YAY ile CST sonuçları	3.41-3.60

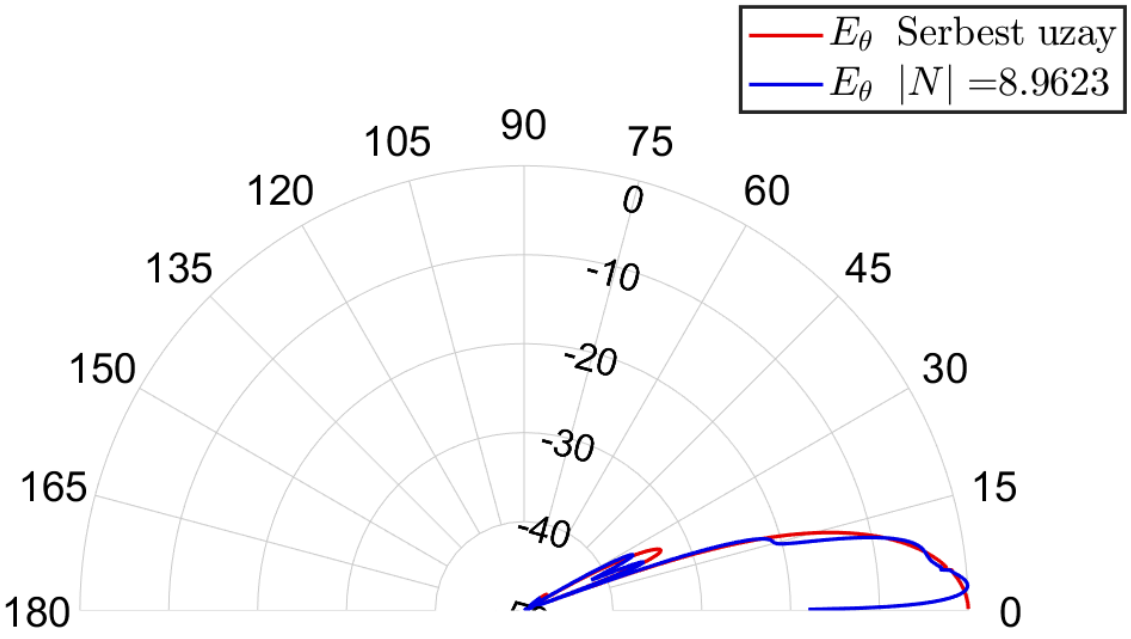
Alt yarı uzay, Şekil 2.17'deki senaryoda gösterildiği gibi, bağıl geçirgenliği $\varepsilon_r = 80$ ve iletkenliği $\sigma = 4[S/m]$ olan deniz suyu olarak kabul edilmektedir. Tüm antenlerin X-bandında $(8-12)[GHz]$ baskın modda ışıma yaptığı varsayılmaktadır. Kaynak frekansı $f = 10[GHz]$ $(\lambda = 30[mm])$ ve gözlemin radyal mesafesi $r = 5[km]$ olarak seçilmiştir. YKY'yi karşılayan $|N| = 8.96$ vardır.

$\pi a_0^{\,2} = a_1 b_1$'yi ışıma performanslarının en iyi karşılaştırması için ayarladık. Dikdörtgen açıklığın antenleri $a_1 = 2b_1$, $b_1 = 3.76\lambda$ olarak ayarlanırken çember açıklığın yarıçapı $a_0 = 3\lambda$ olarak alınmaktadır. Tüm horn antenler için eksen uzunlukları, $\rho_1 = \rho_2 = L = 10.5\lambda$ dır, $\alpha_0 = \tan^{-1}\left(\frac{a_0}{L}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3}{10.5}\right) \simeq 16^o$.

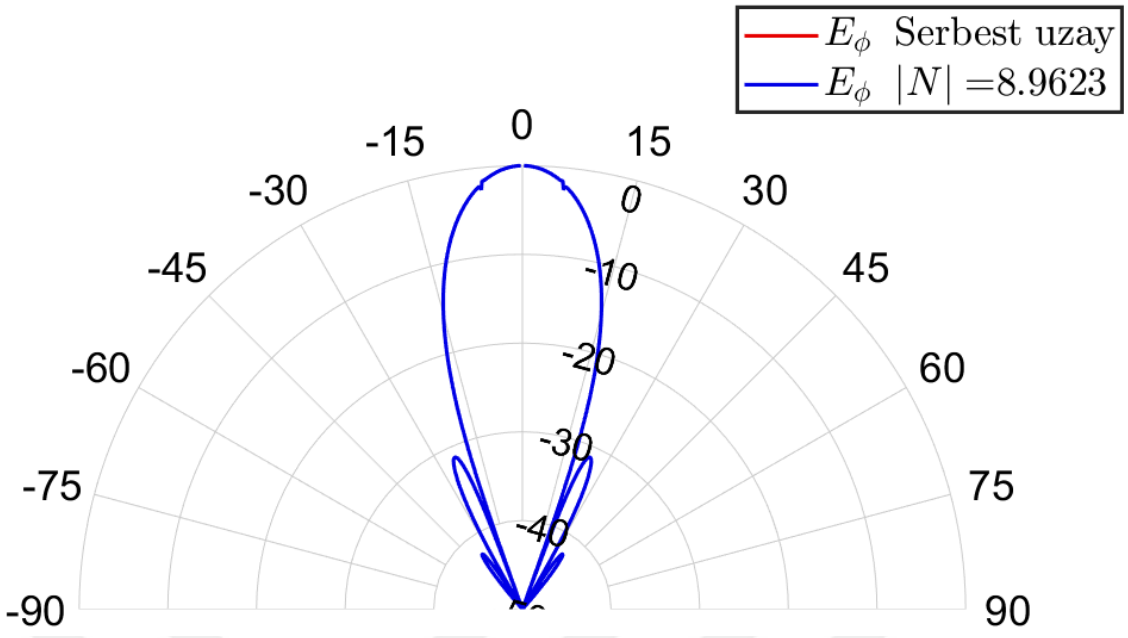
OKHA'nın oluklu profili, baskın mod uyarma kriterini karşılamak için besleme tarafında $\lambda/2$'den açıklıkta $\lambda/4$'e lineer olarak azalan derinlik, oluklar arasındaki aralığı $p=\lambda/4$ ve diş genişliği $t=w/5$ ile 37 oluğa sahiptir. DPHA, DCAA ve DRAA, bağıl geçirgenliği $\varepsilon_r=4.3$ olan bir FR-4 dielektrik kaplama ile kaplanmıştır. Antenin açıklığının merkez noktası ara yüzey arasındaki dikey mesafe ile çember kesitler için $d=a_0$ ve Dikdörtgen kesitler için $d=b_1/2$ seçilmektedir.

Grup 1: YAY, serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde sonuçlar

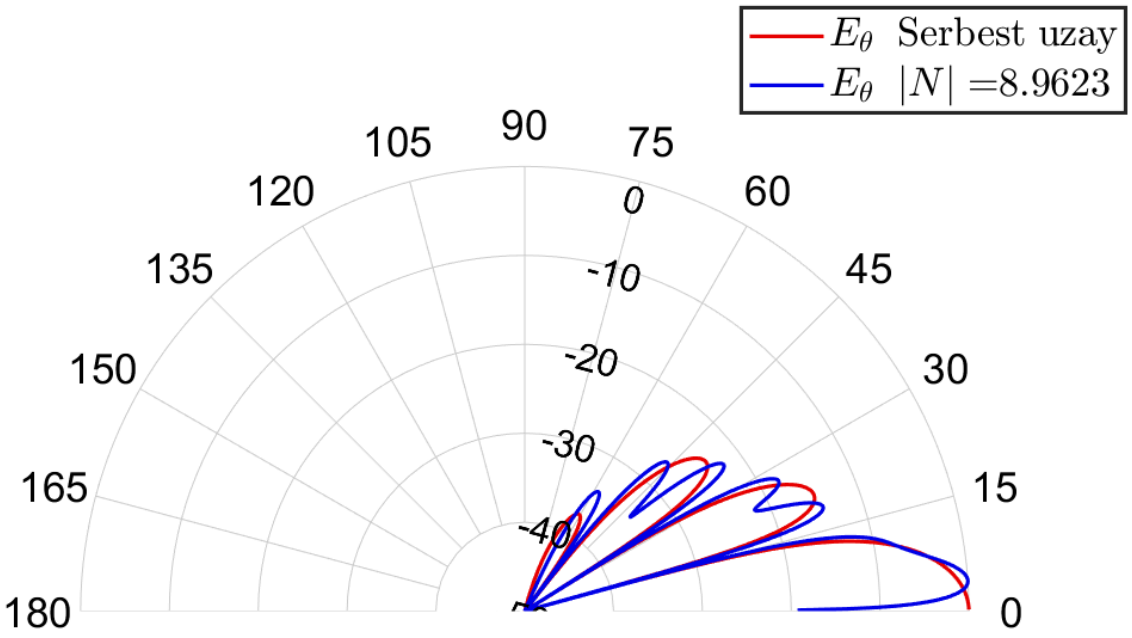
Şekil 3.1-3.20, serbest uzay ve okyanus suyu için sırasıyla (2.3, 2.4) ve (2.72, 2.73) kapalı formlarda verilen incelenen antenlerin normalize edilmiş E- ve H-düzlem ışıma desenleri göstermektedir.



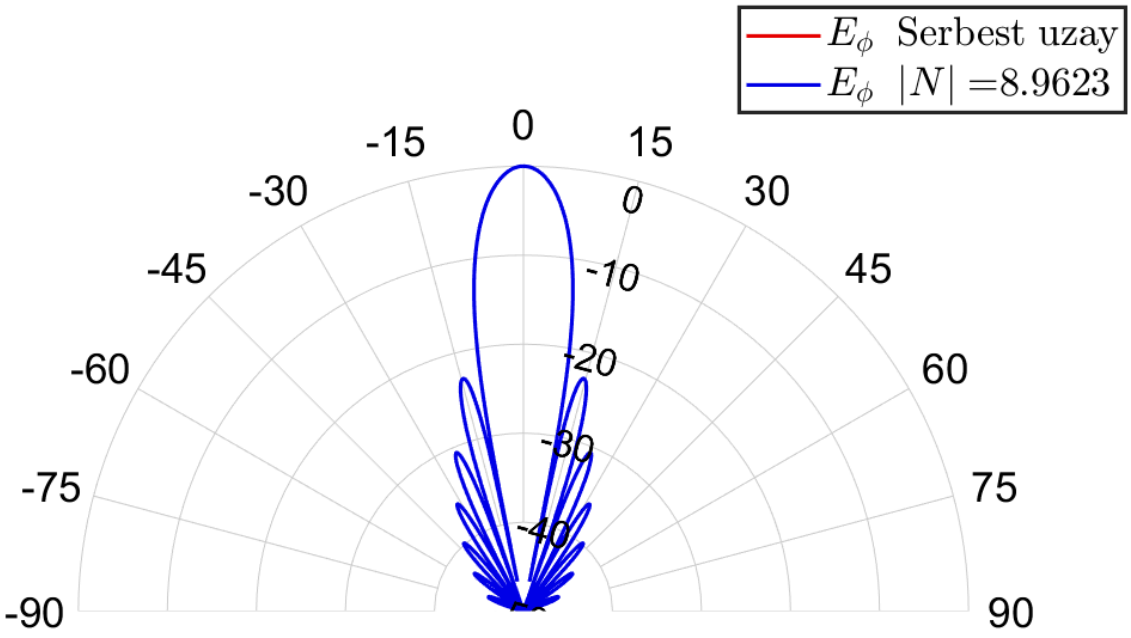
Şekil 3.1 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



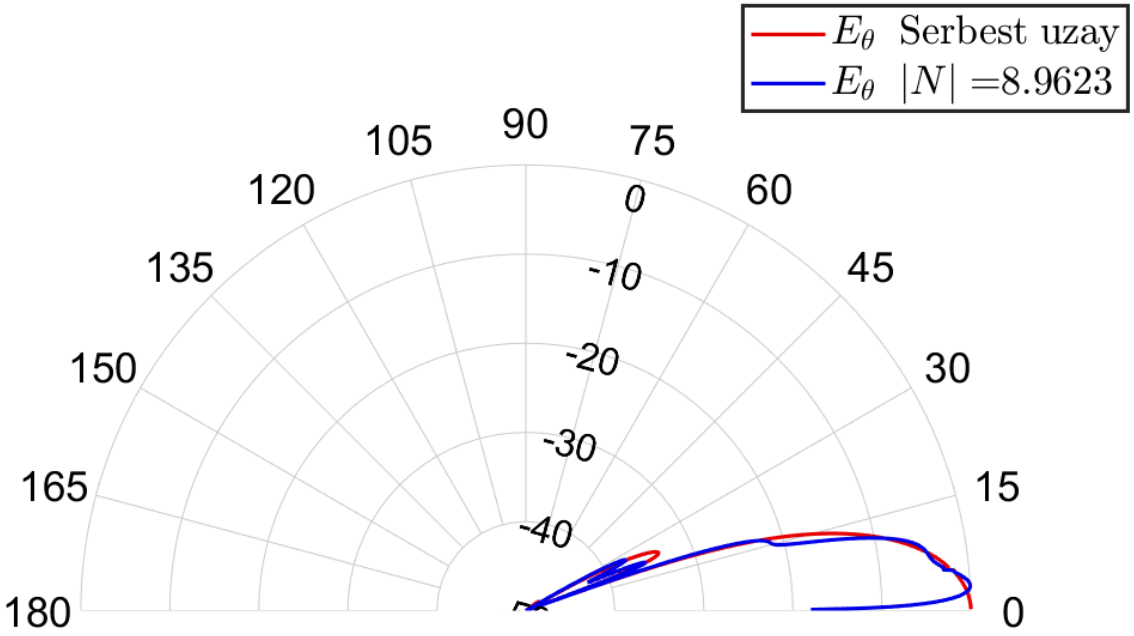
Şekil 3.2 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



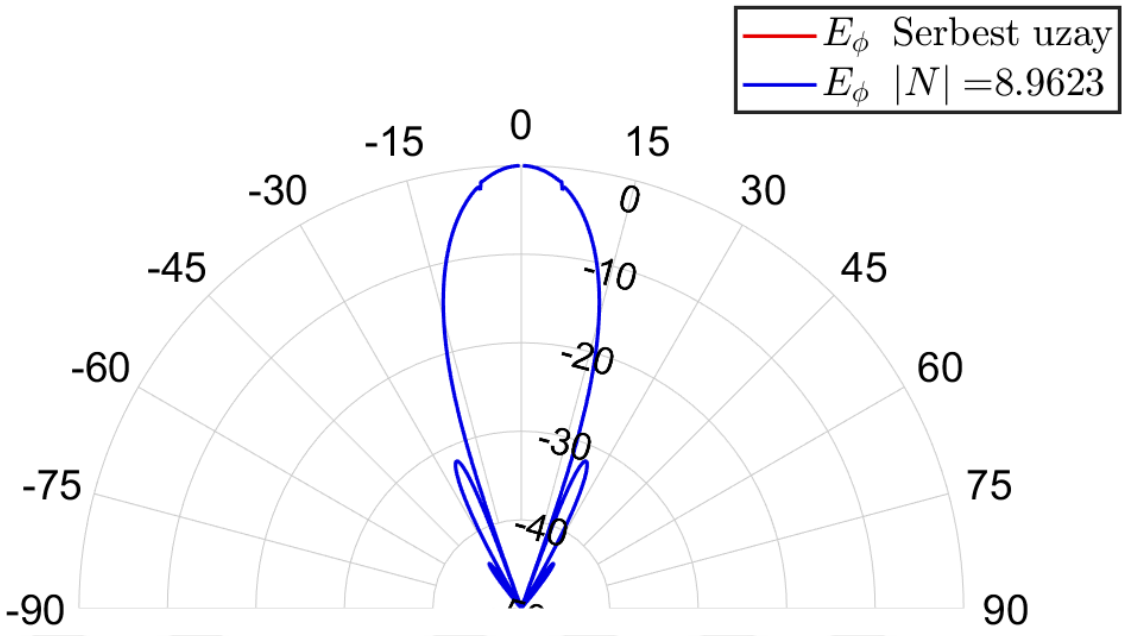
Şekil 3.3 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



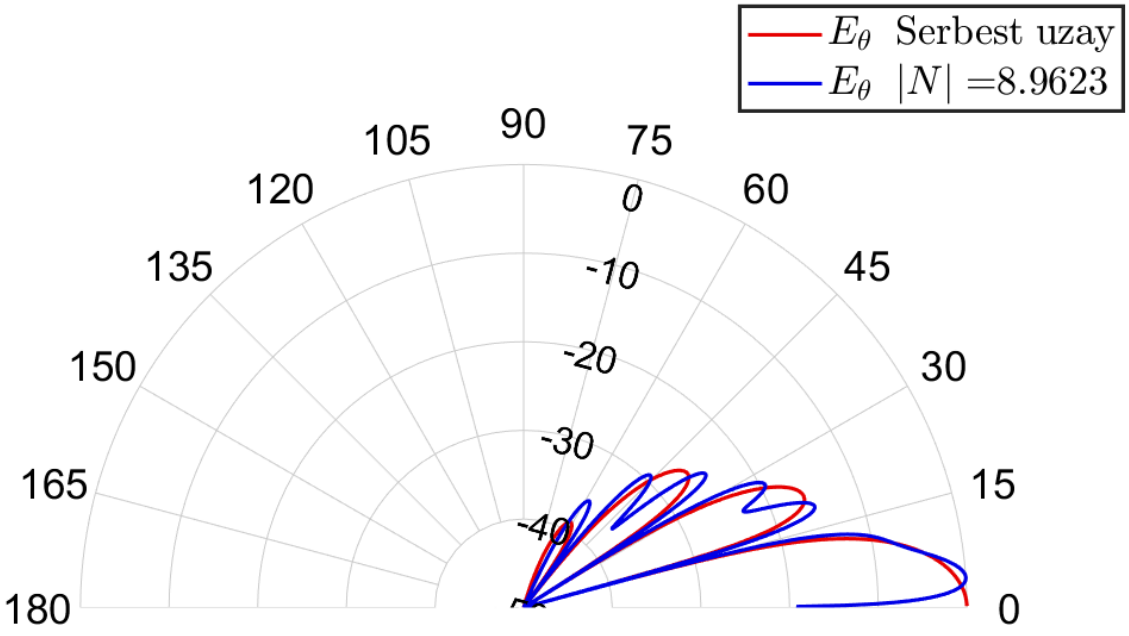
Şekil 3.4 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



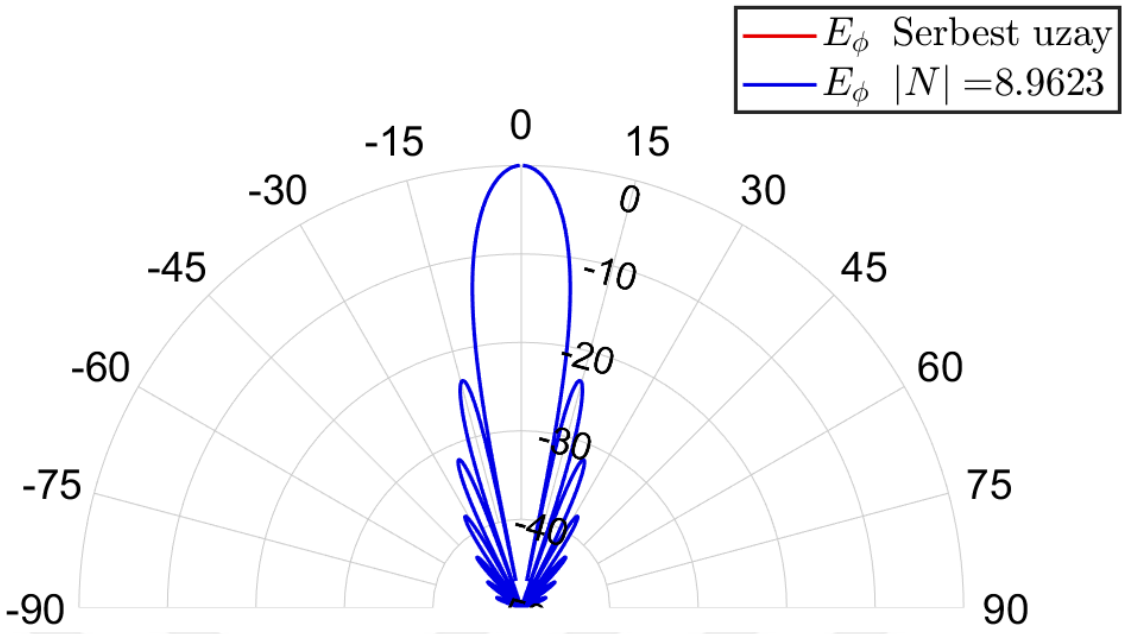
Şekil 3.5 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



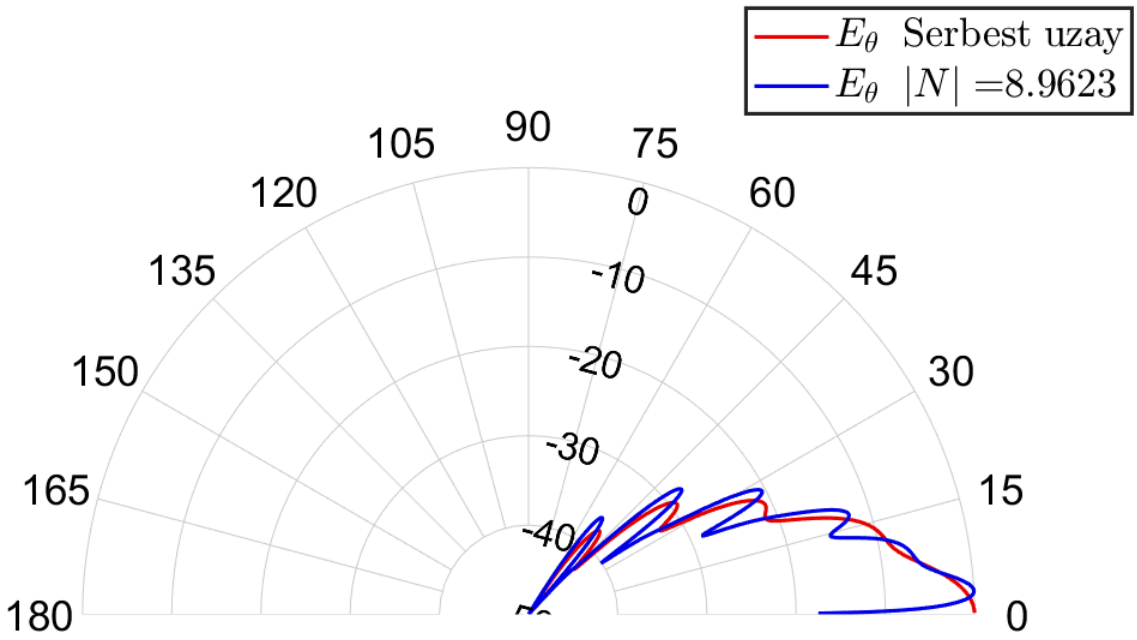
Şekil 3.6 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



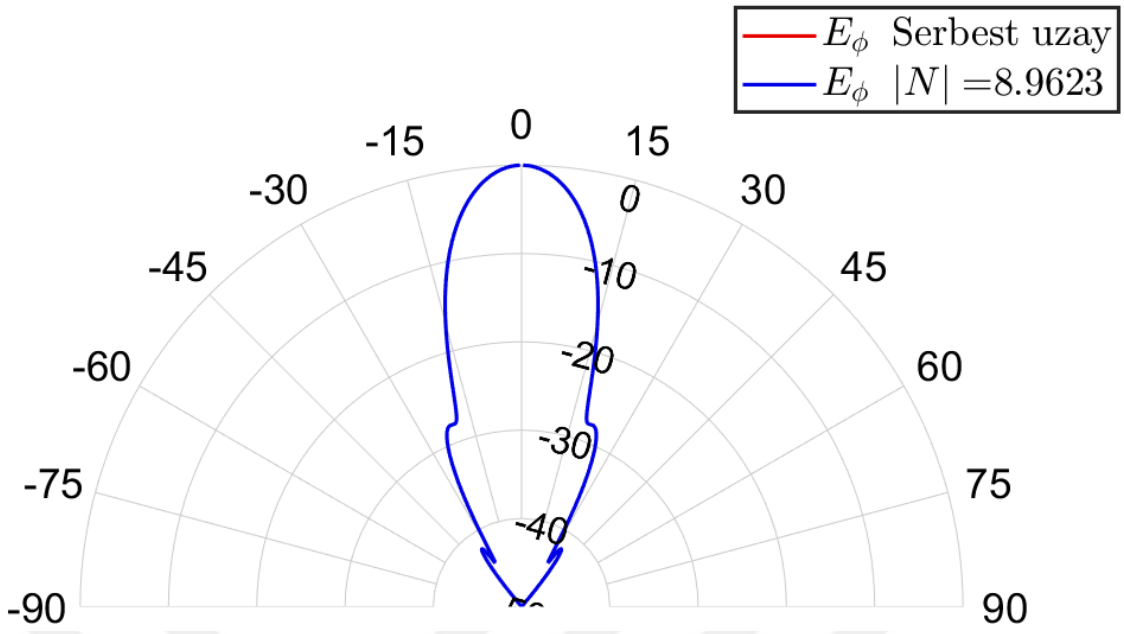
Şekil 3.7 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



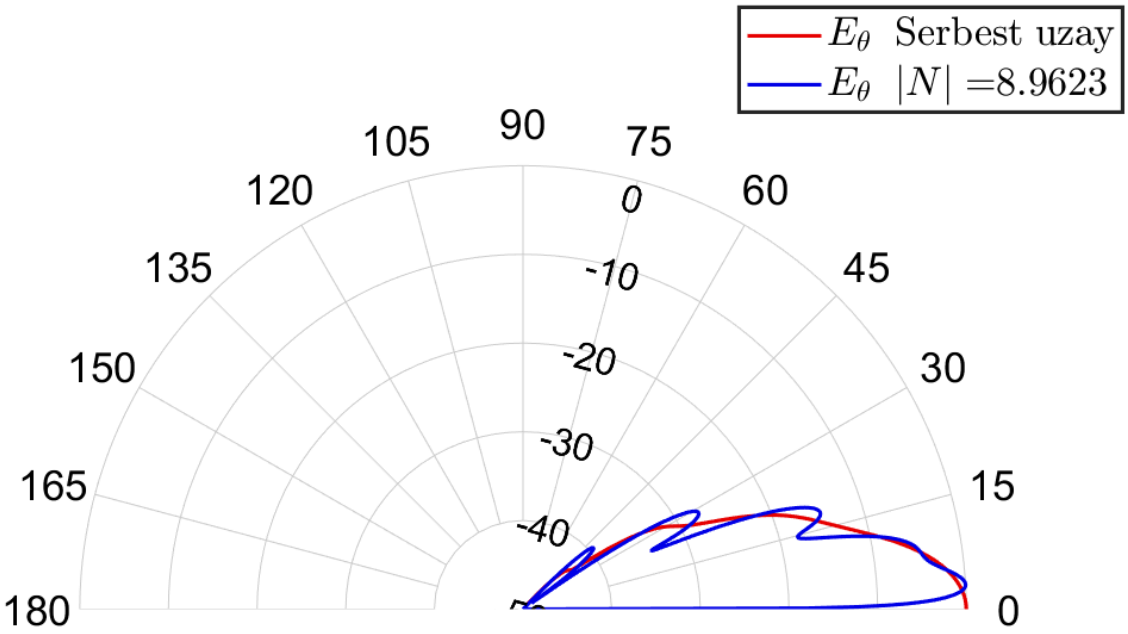
Şekil 3.8 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



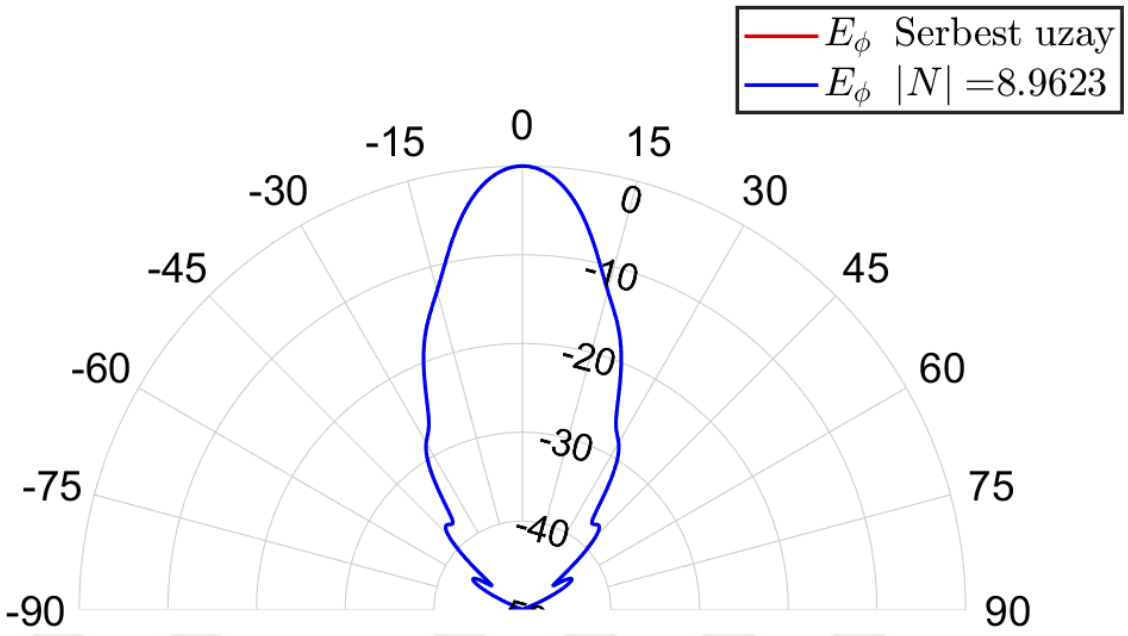
Şekil 3.9 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



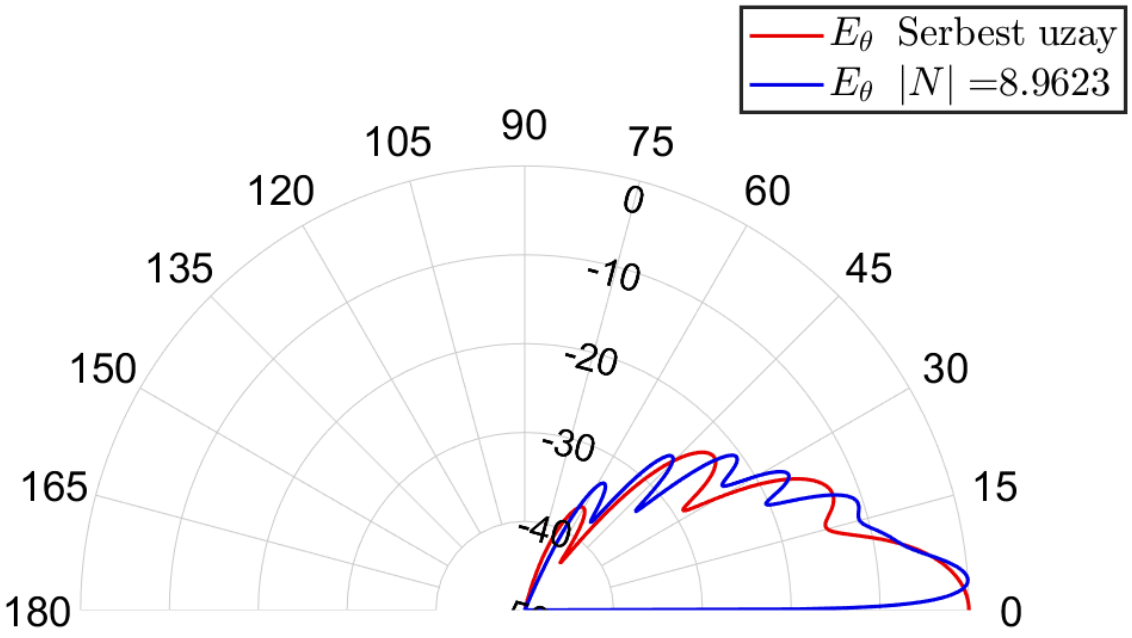
Şekil 3.10 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



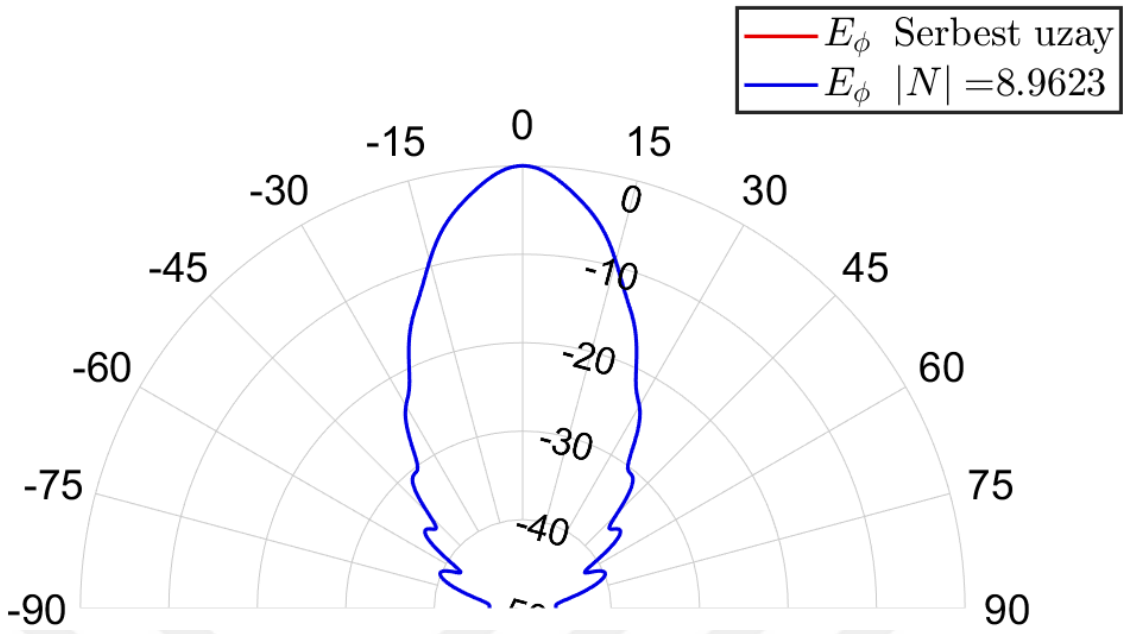
Şekil 3.11 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



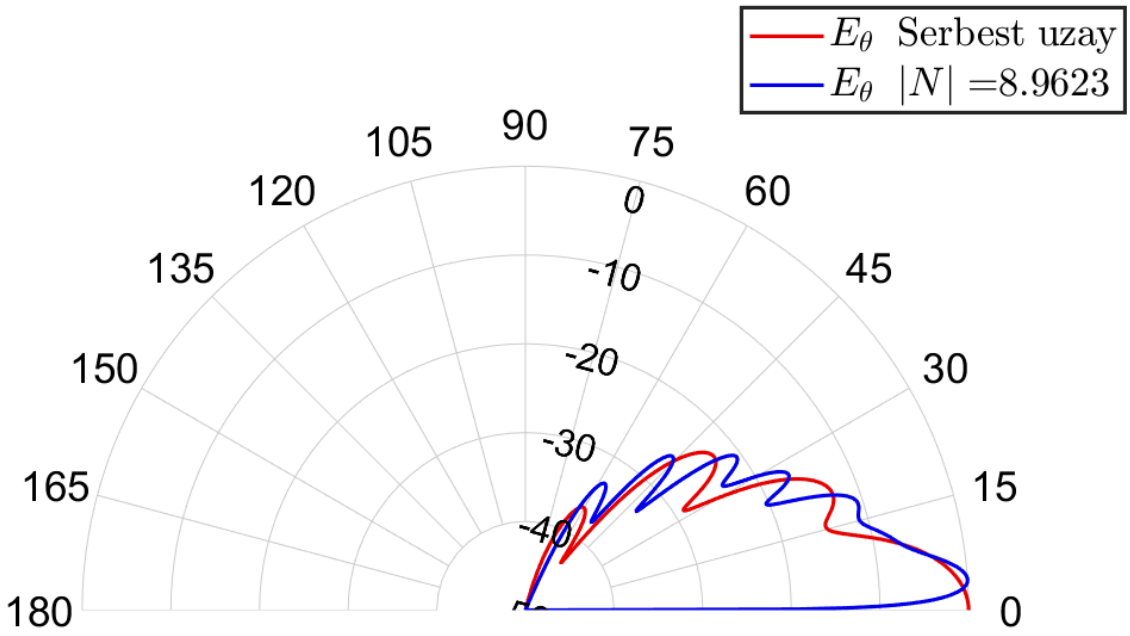
Şekil 3.12 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



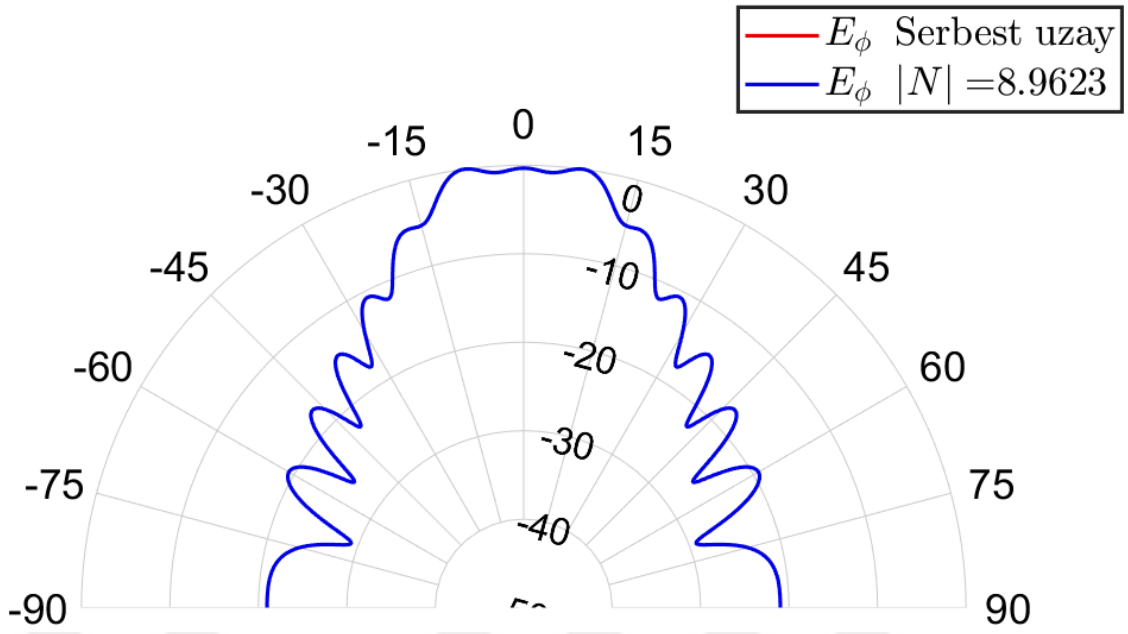
Şekil 3.13 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



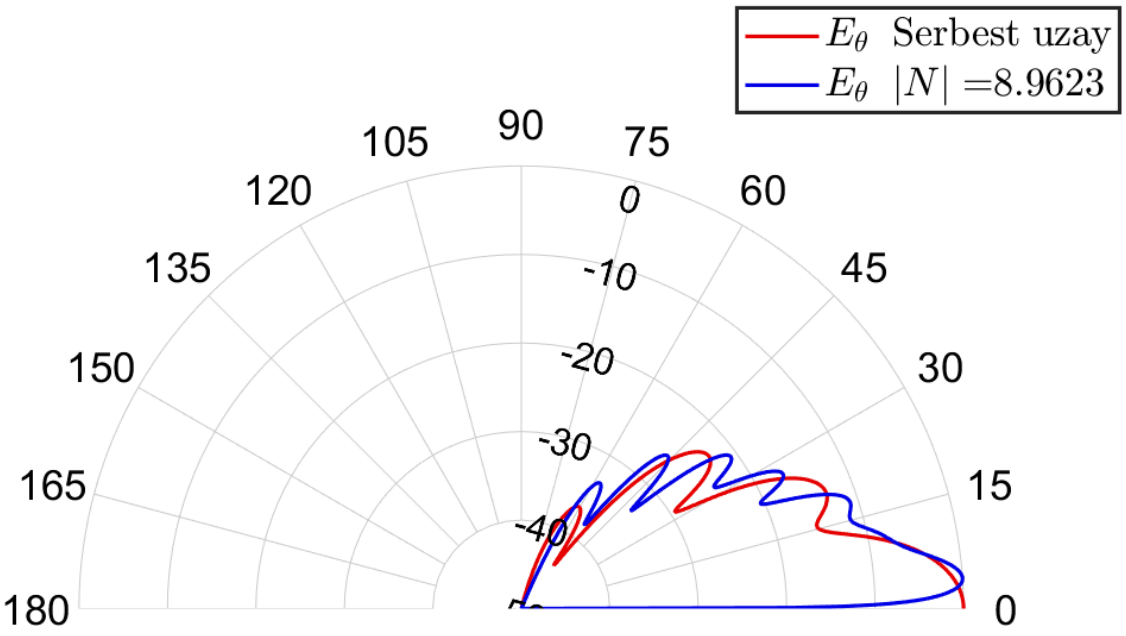
Şekil 3.14 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



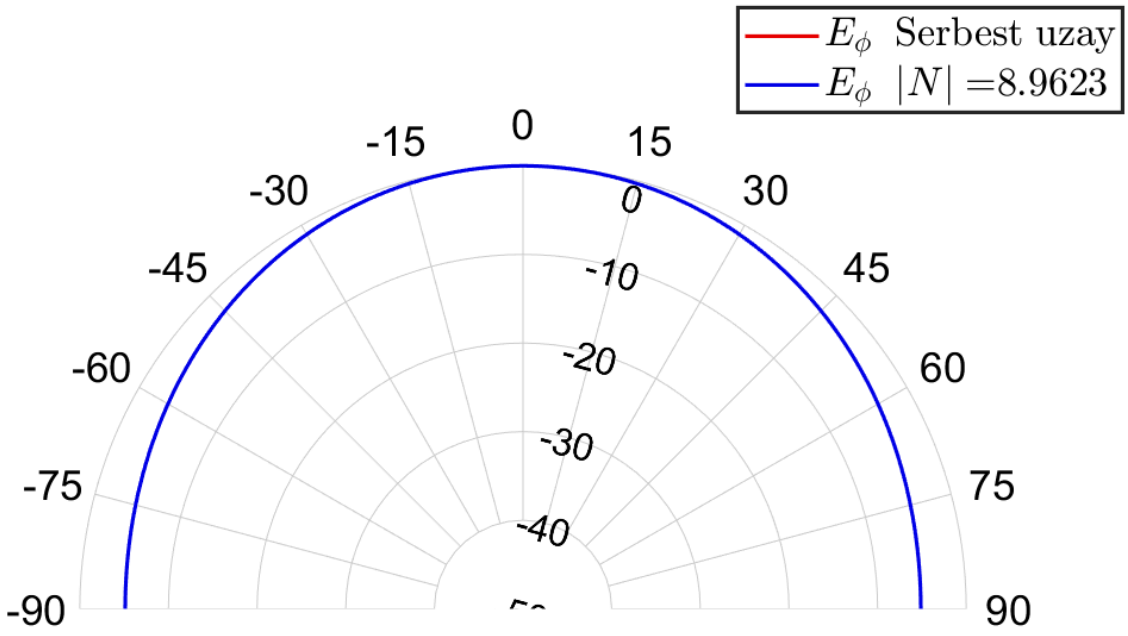
Şekil 3.15 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



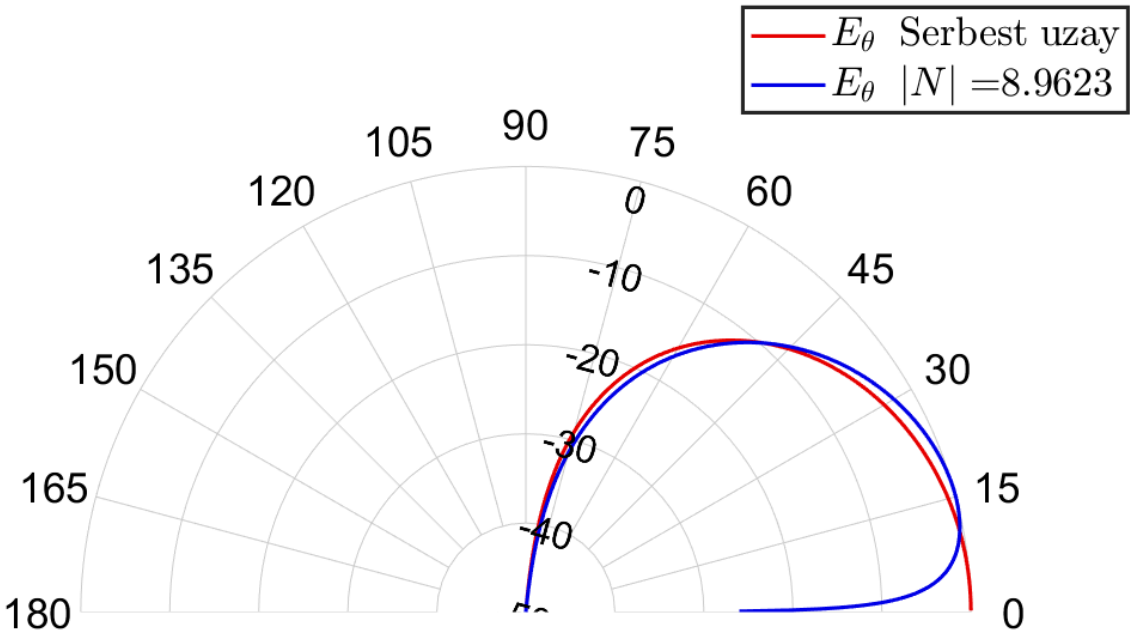
Şekil 3.16 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



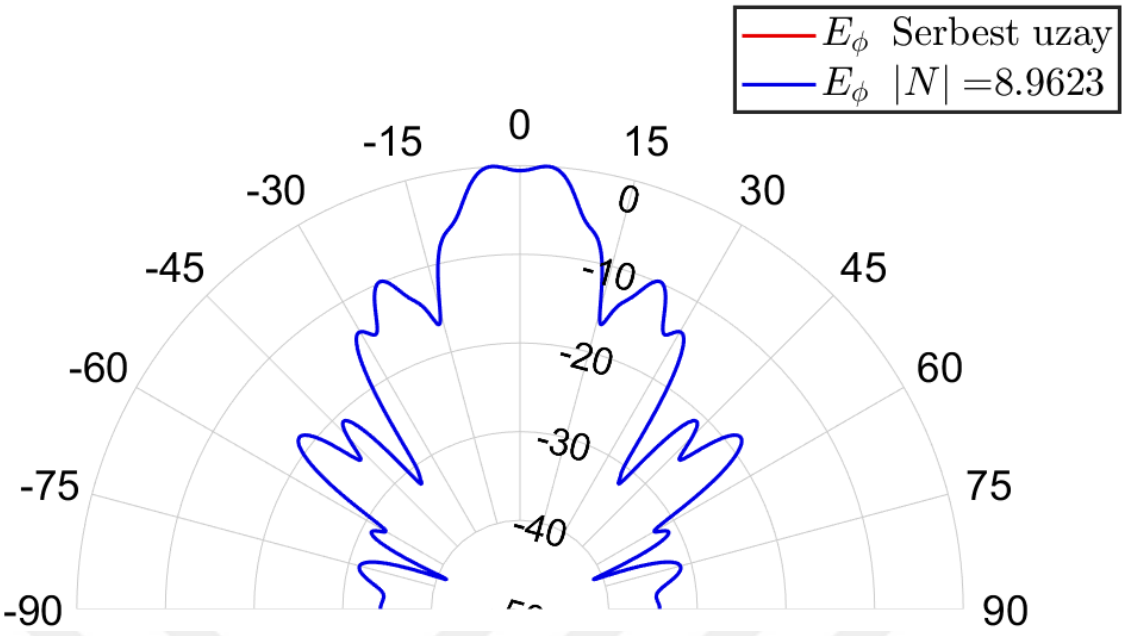
Şekil 3.17 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.18 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.19 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.20 Serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde YAY ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.

Bulgular: Antenlerin serbest uzay E- ve H-düzlem desenlerinin derece cinsinden YGHG ve dB cinsinden YLS Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2 Serbest uzayda antenlerin E- ve H-düzlemi özelliklerinin karşılaştırılması

	YGHG (derece)		YLS (dB)	
	E-düzlem	H-düzlem	E-düzlem	H-düzlem
DAA	13.6	9.2	-12.9	-23.2
ÇAA	10.5	11.0	-19.4	-27.2
DDAA	12.9	8.9	-12.2	-23.2
DÇAA	10.3	10.8	-24.4	-25.9
EDSH	13.5	50.9	-11.4	-22.5
HDSH	39.7	13.7	-4.0	-24.3
PHA	14.7	13.6	-10.6	-30.3
DPHA	13.0	20.1	-11.7	-18.9

Tablo 3.2 Serbest uzayda antenlerin E- ve H-düzlemi özelliklerinin karşılaştırılması (devamı)

KHA	11.4	12.3	-18.3	-31.8
OKHA	13.6	13.6	-33.5	-33.0

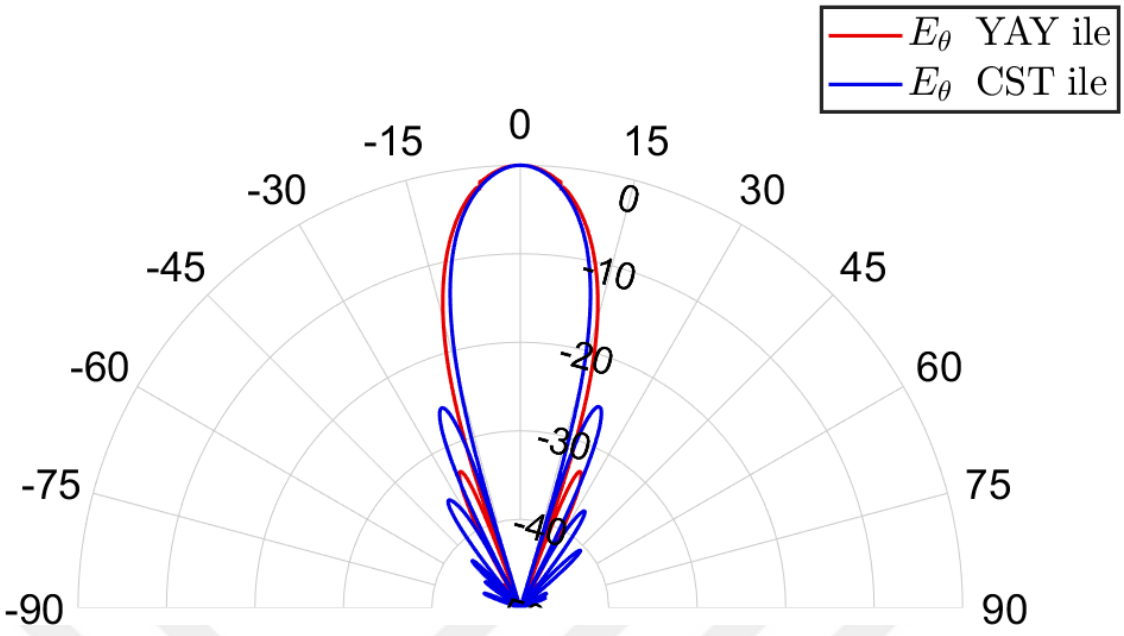
HPSHA'nın E-düzlem YGHG ve YLS'si incelenen antenlere göre en büyük olduğu, EPSHA'nın ise en büyük H-düzlem YGHG ve YLS'ye sahip olduğu görülmektedir. DÇAA ve DDAA'nın E- ve H-düzlem YGHG sırasıyla ÇAA ve DAA'dan biraz daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, E-düzlemde DDAA'nın YLS'si artarken, H-düzlemde aynı kalmaktadır. DÇAA için E-düzlem YLS azalırken H-düzlem YLS yükselmektedir. E- ve H-düzlemleri YGHG, desenleri her iki düzlemde de en düşük YLS ile simetrik görünen OKHA için aynıdır. Şekil 3-11 ve 3-12'de gözlemlendiği gibi, ışıma desenleri oldukça iyi örtüşür ve düşük YLS gerektiğinde OKHA'nın avantajını göstermektedir.

Şekil 3.1-3.20'de okyanus suyu üzerindeki açıklık ve horn antenlerin E-düzlem ışıma deseninin serbest uzaydakinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Serbest uzaydaki ışıma, ekseni etrafında simetriktir. Oysa deniz yüzeyi üzerinde durumunda, sınır koşulları nedeniyle alt yüzeyde kaybolur. Ana huzme neredeyse değişmeden kalırken, deniz düzlemi durumunda nispeten daha düşük YLS gözlemlenebilir. Okyanus suyu üzerindeki normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri, serbest uzaydaki durumlarla hemen hemen aynıdır, bunun nedeni, yüzey dalgası alanlarının YKY altındaki toplam alana nispeten çok daha küçük katkısıdır.

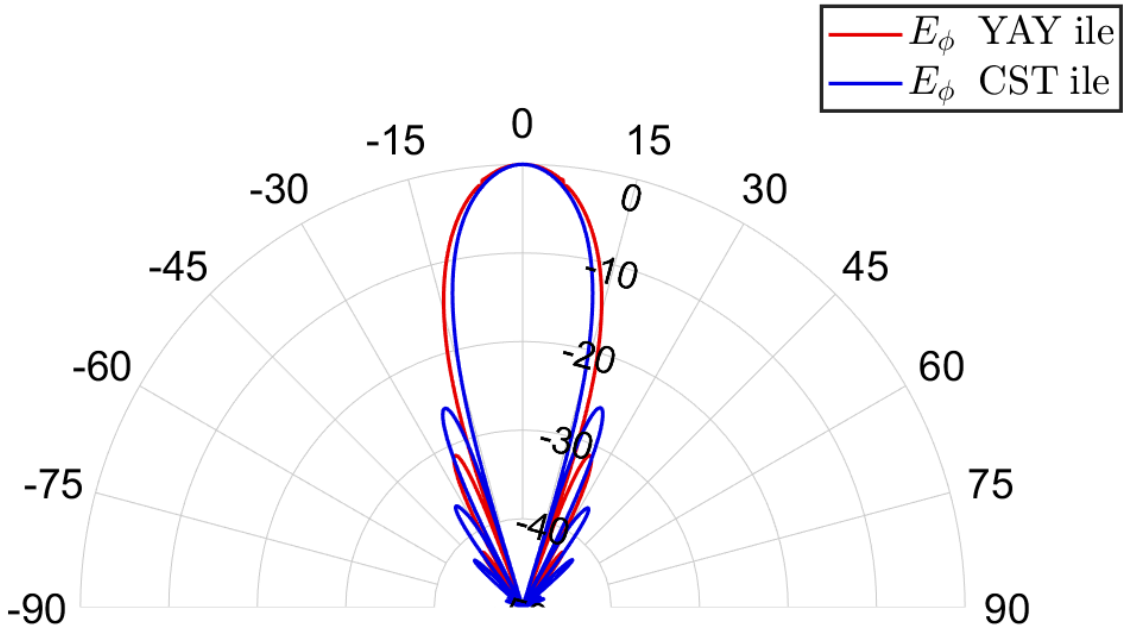
Grup 2: Serbest uzayda YAY ve CST sonuçları

Simülasyona tabi tutulan antenlerin uzak alan ışıma desenleri, ticari simülasyon yazılım paketi CST Microwave Studio Suite (CST, 2021) [19] ile İntegral Denklem (İD) çözücü seçeneği kullanılarak elde edilmiş ve antenin mükemmel elektrik iletkeni (MEİ) malzemeden yapıldığı varsayılmıştır.

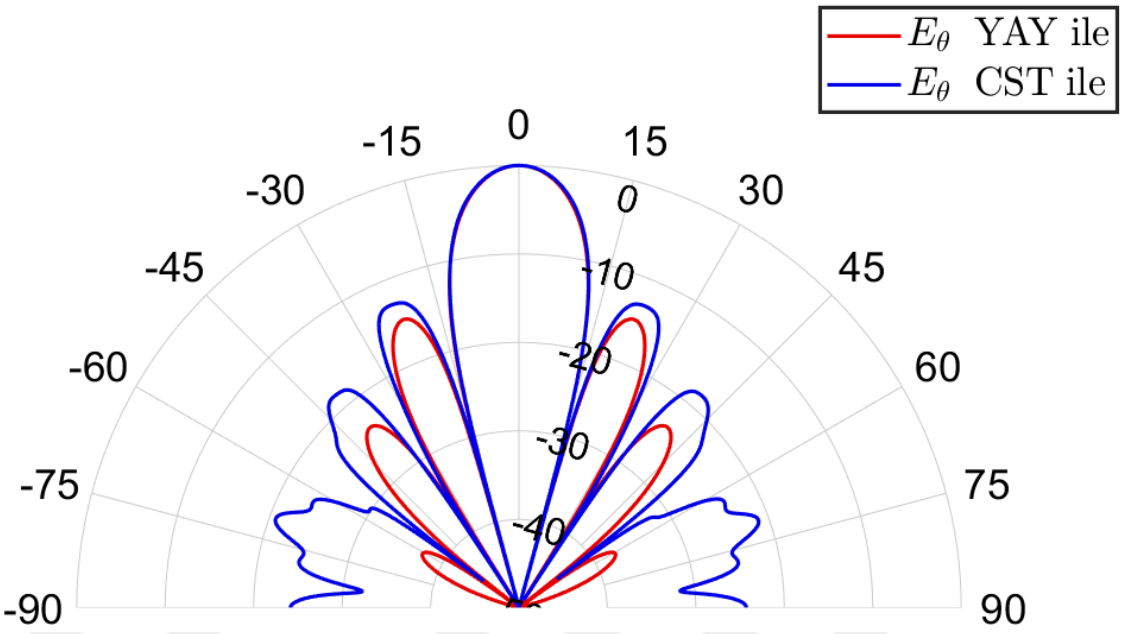
Kapalı-form formüllerinde (2.3,2.4) sunulan antenlerin normalize edilmiş E- ve H-düzlem ışıma desenleri, CST sonuçlarıyla karşılaştırıldığında serbest uzay şekilleri 3.21 ila 3.40'da gösterilmektedir.



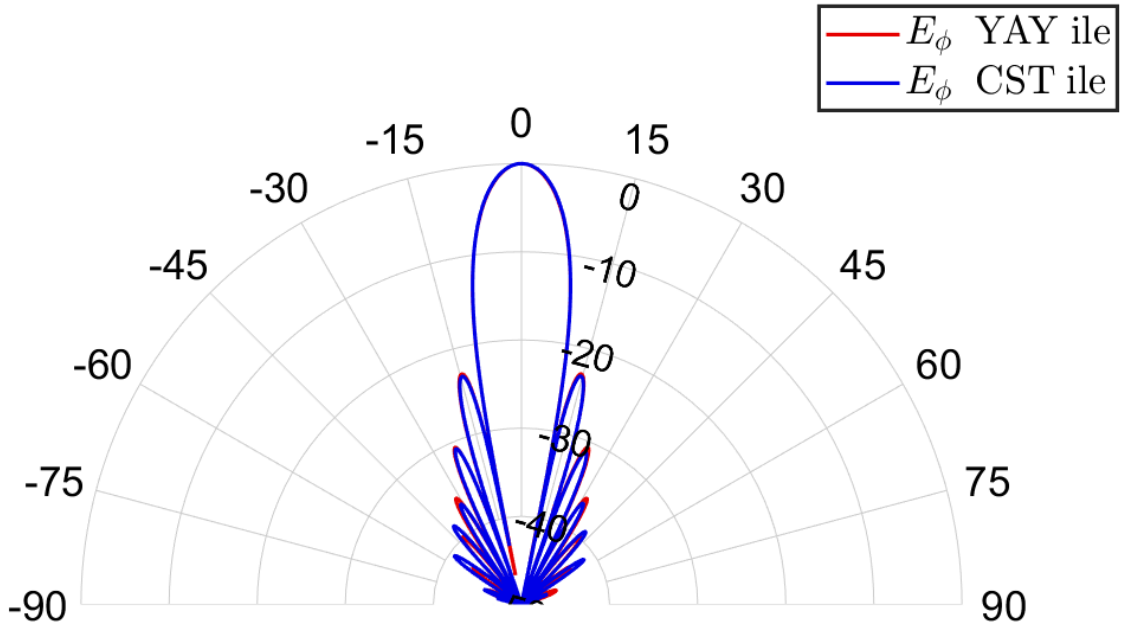
Şekil 3.21 YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



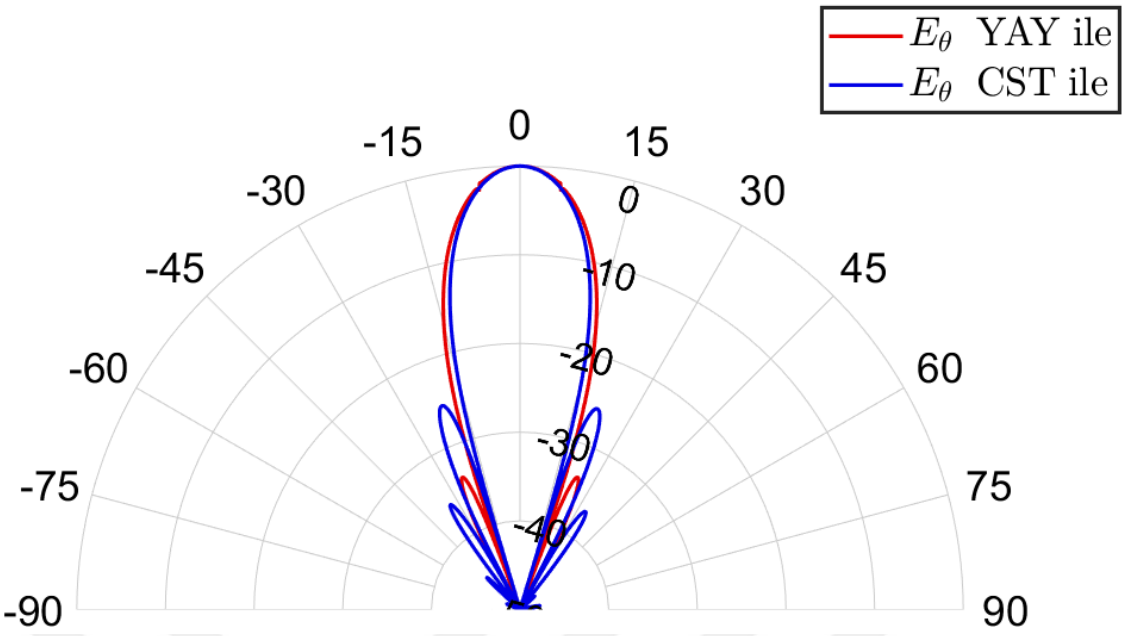
Şekil 3.22 YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



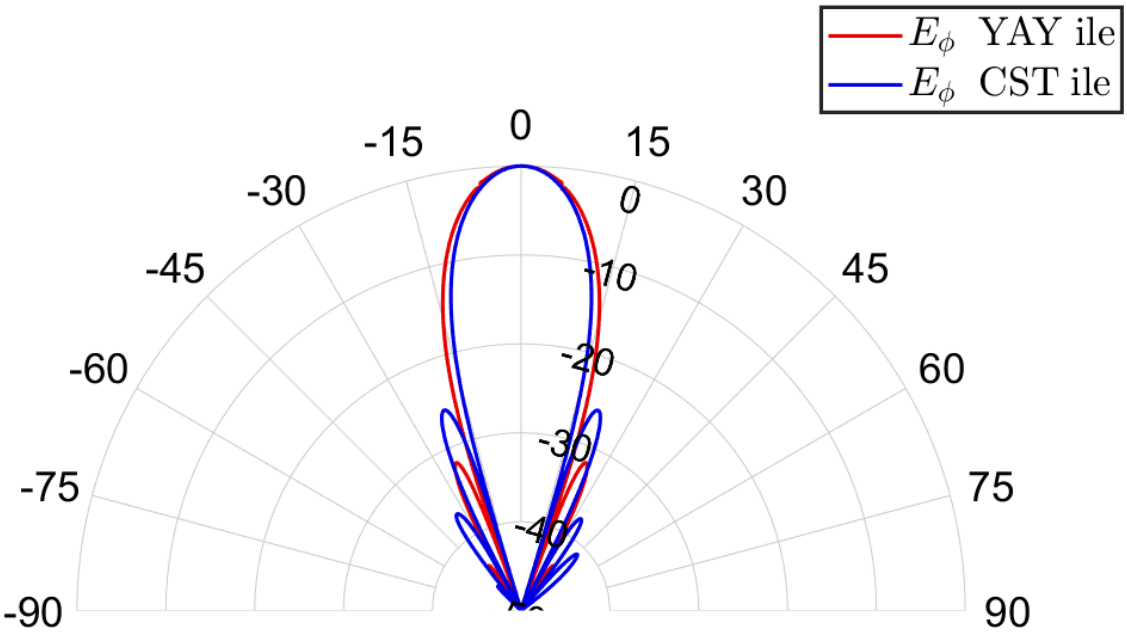
Şekil 3.23 YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



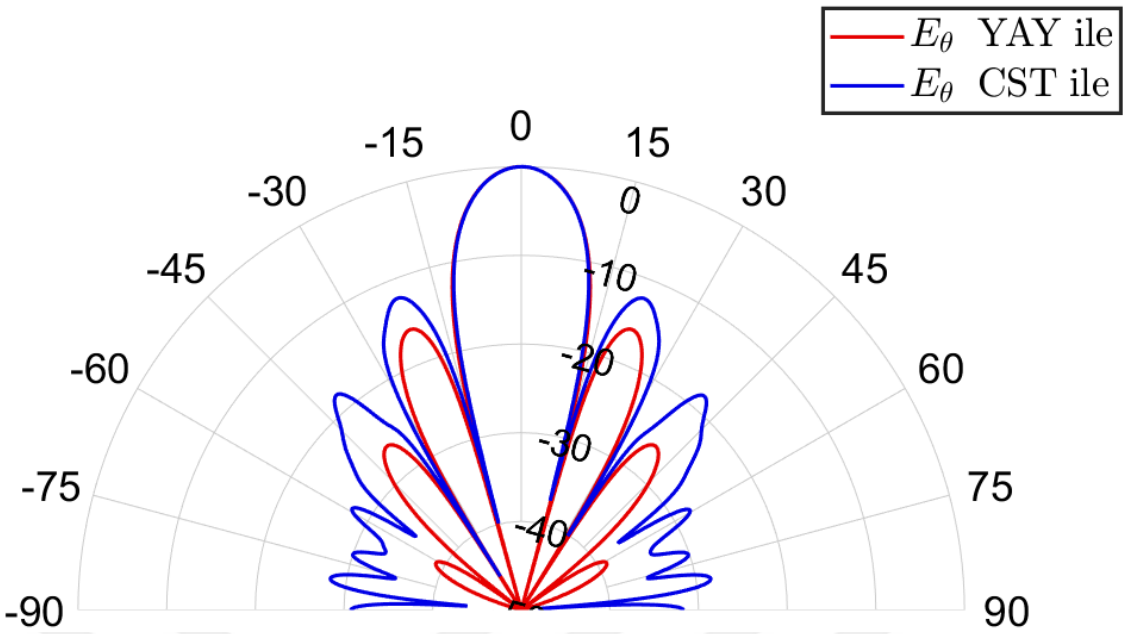
Şekil 3.24 YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



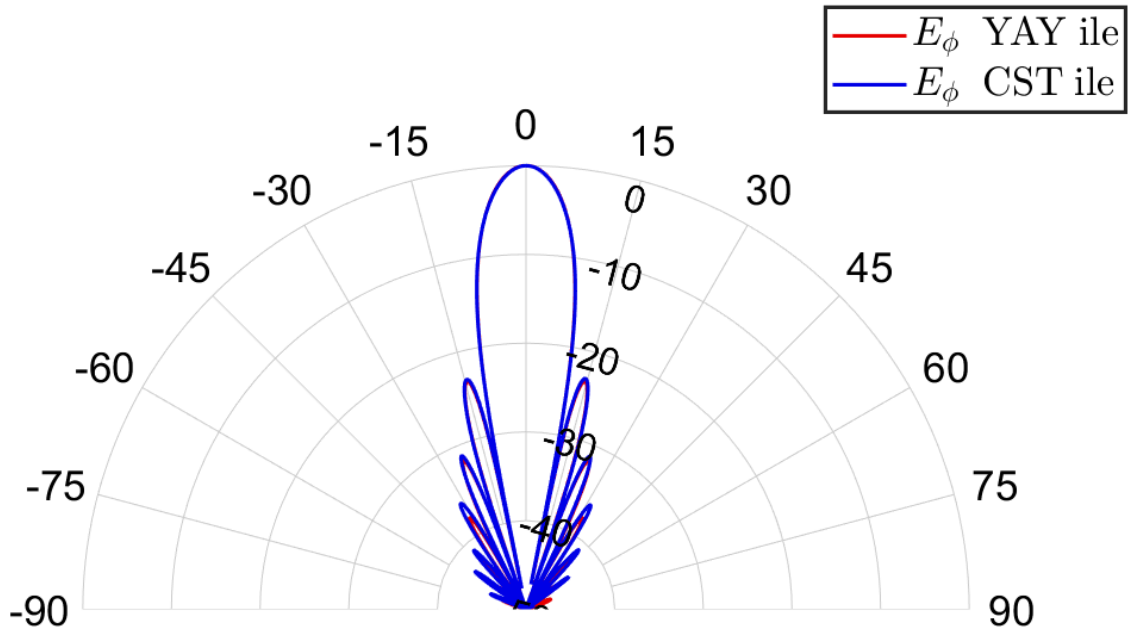
Şekil 3.25 YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



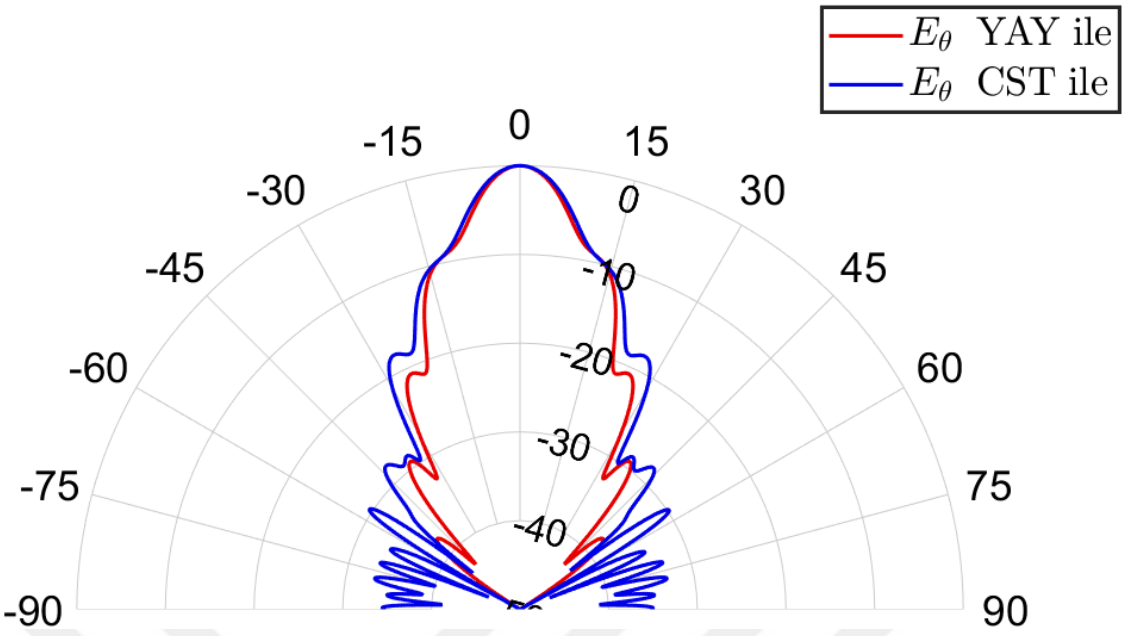
Şekil 3.26 YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



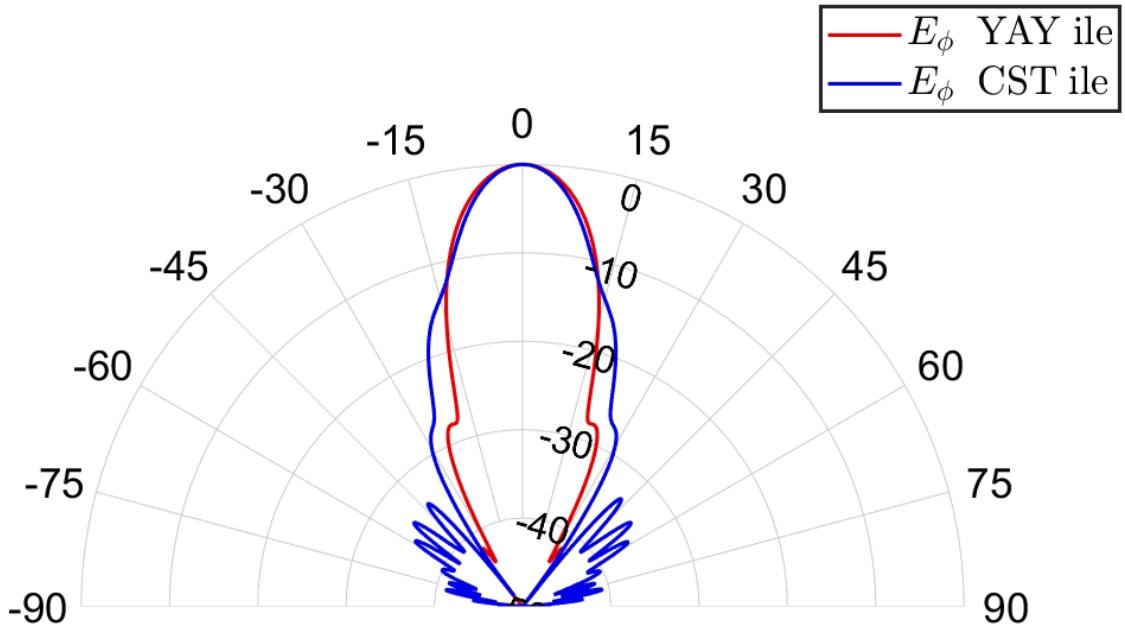
Şekil 3.27 YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



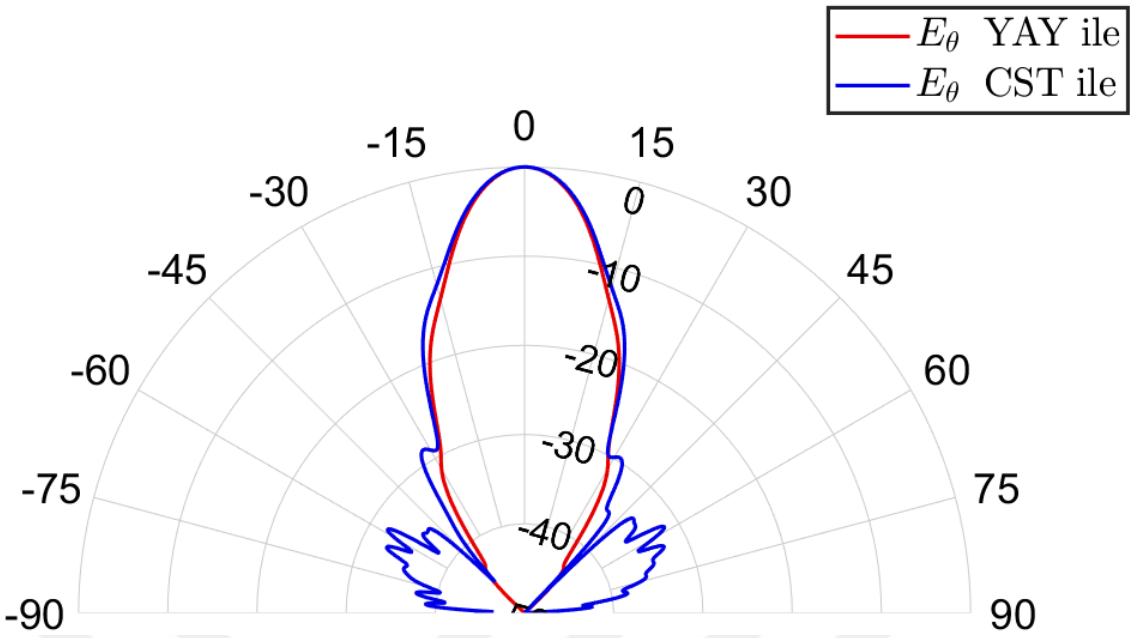
Şekil 3.28 YAYve CST ile dB cinsinden DDAA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



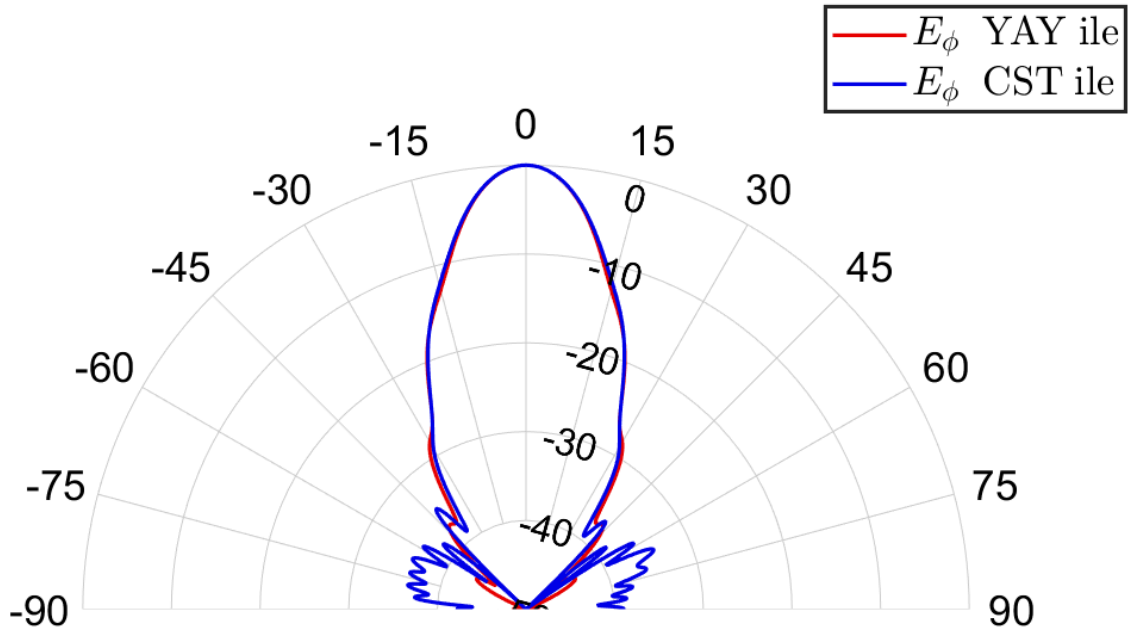
Şekil 3.29 YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



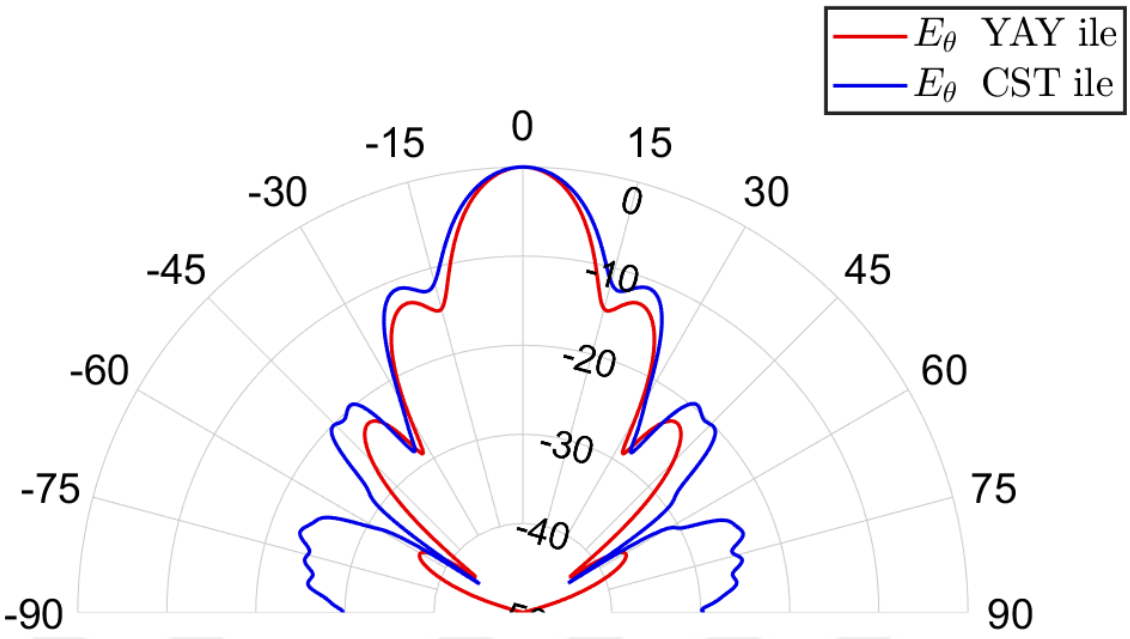
Şekil 3.30 YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



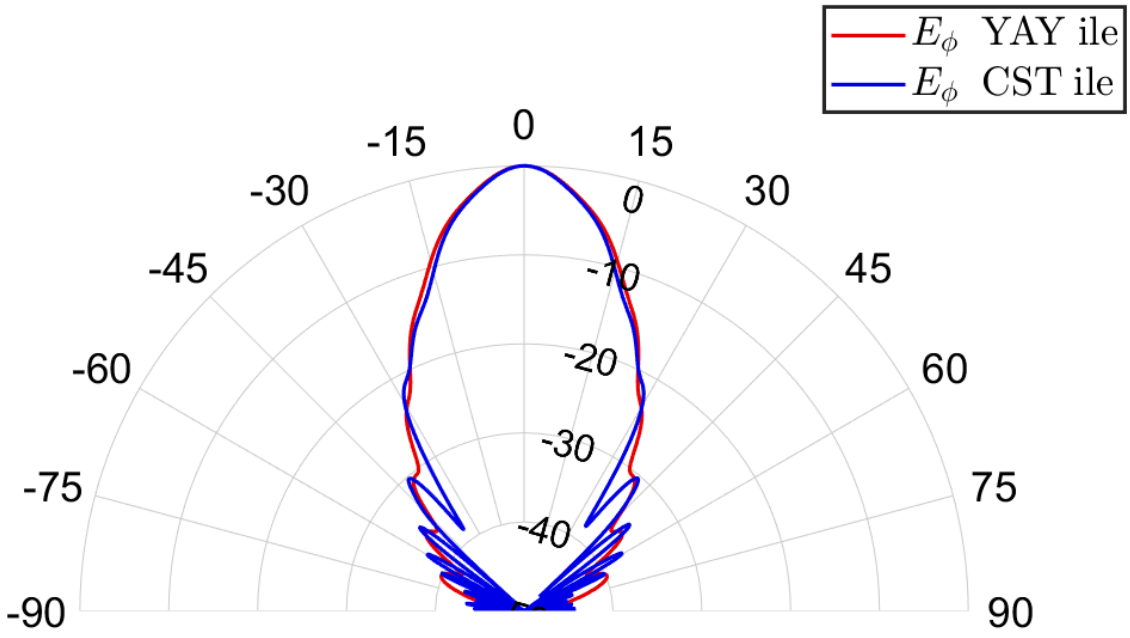
Şekil 3.31 YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



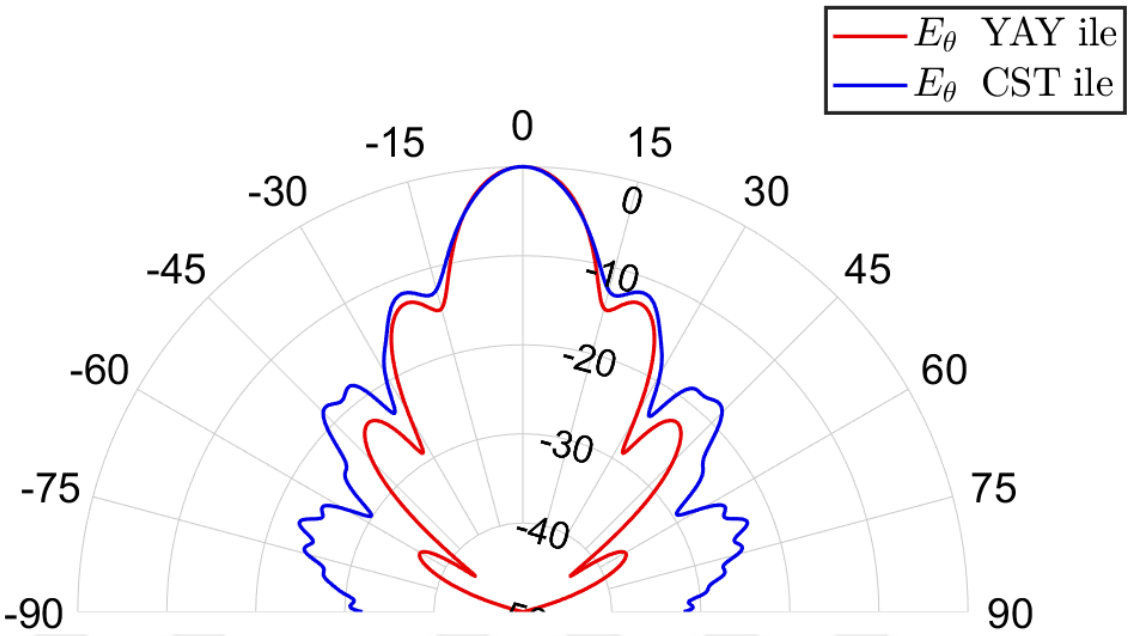
Şekil 3.32 YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



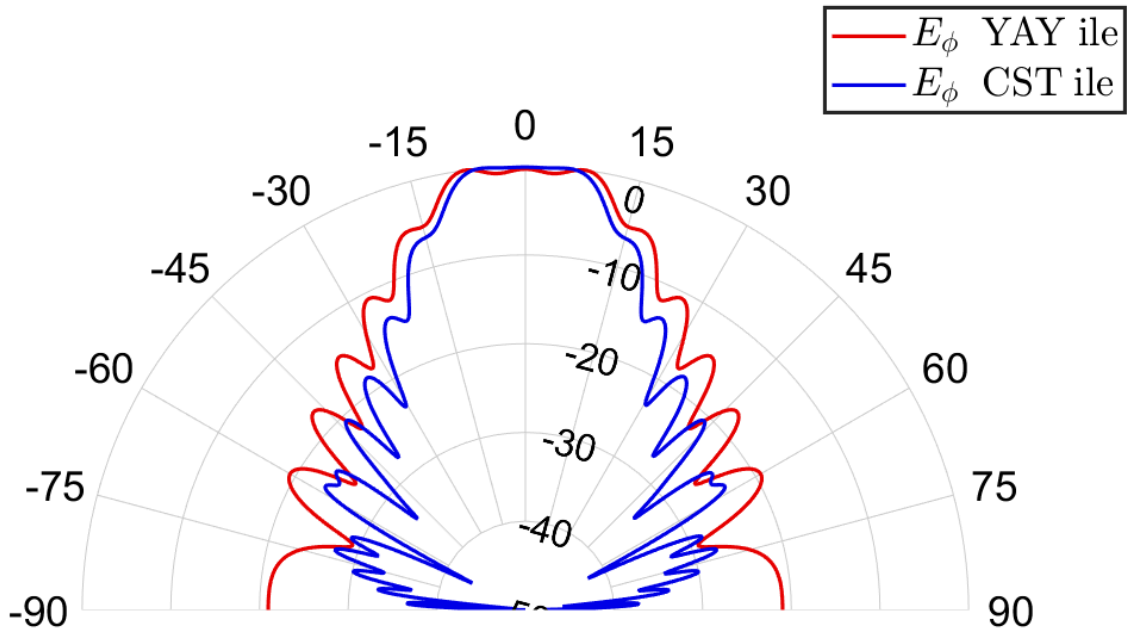
Şekil 3.33 YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



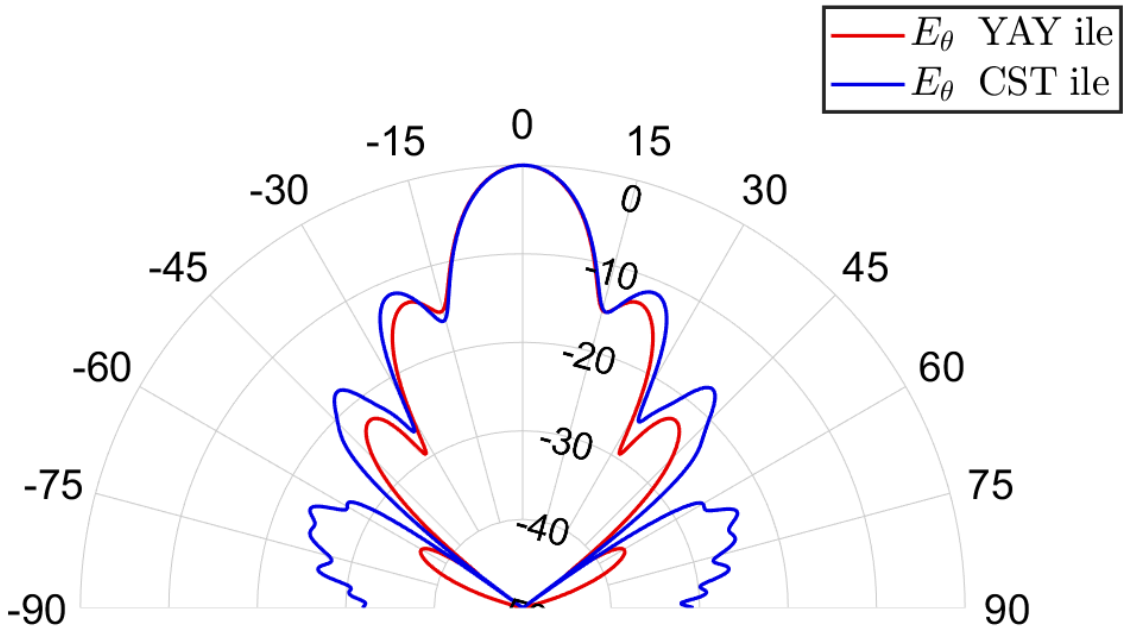
Şekil 3.34 YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



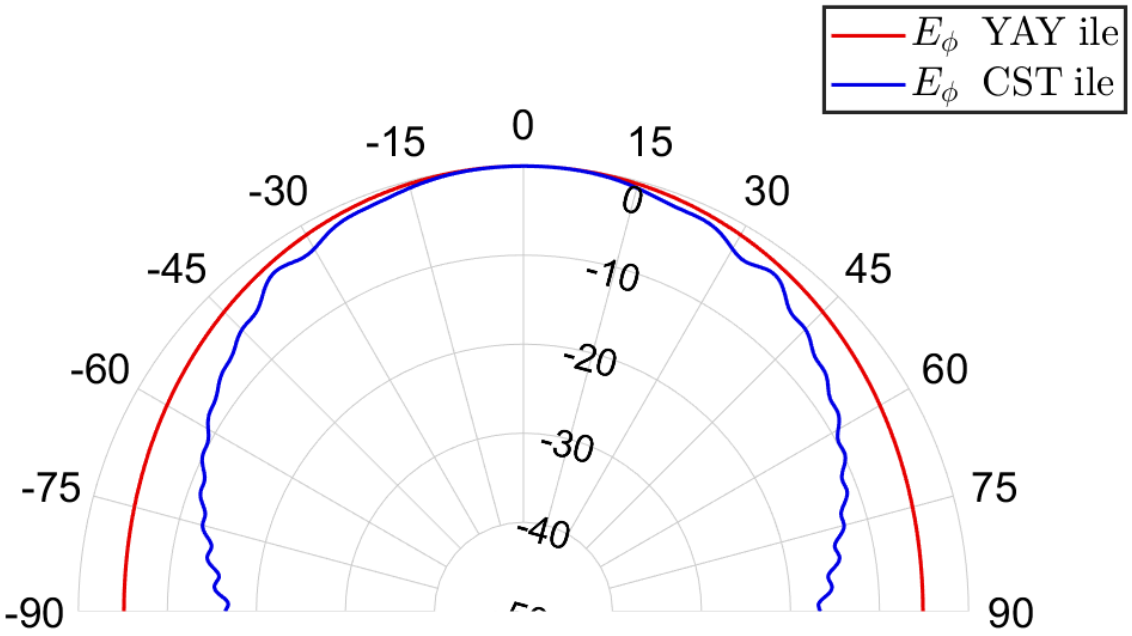
Şekil 3.35 YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



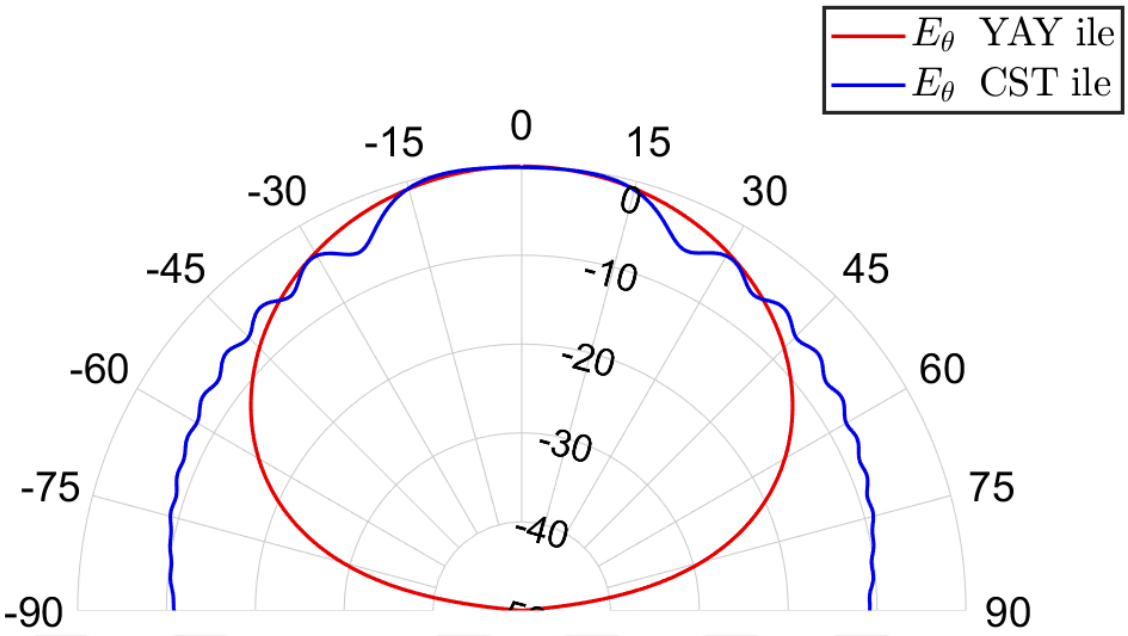
Şekil 3.36 YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



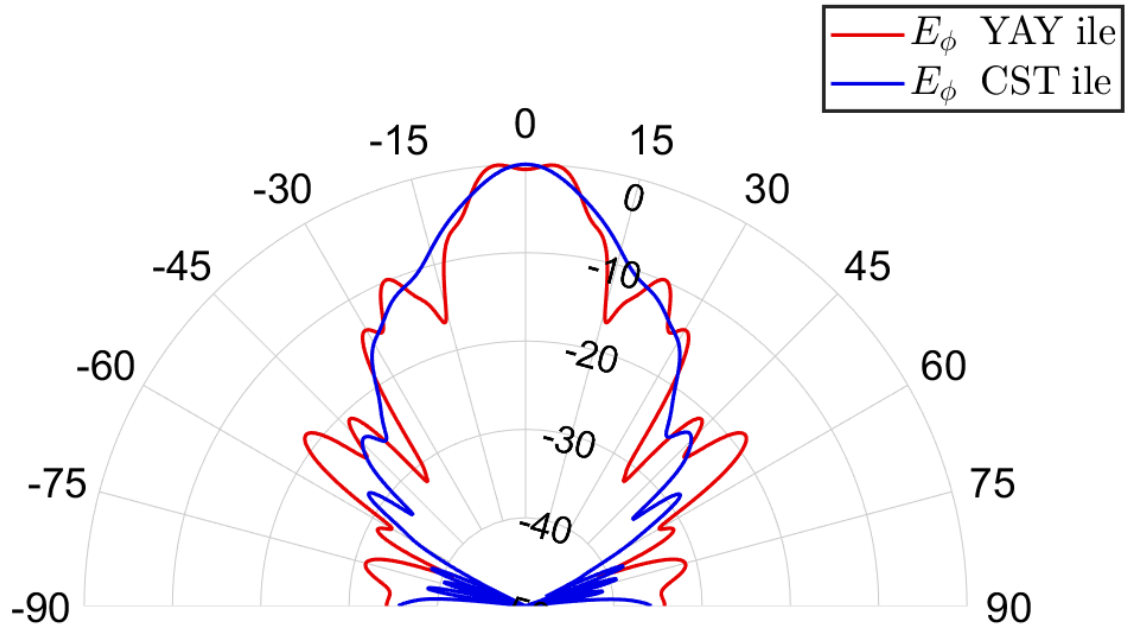
Şekil 3.37 YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.38 YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.39 YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.

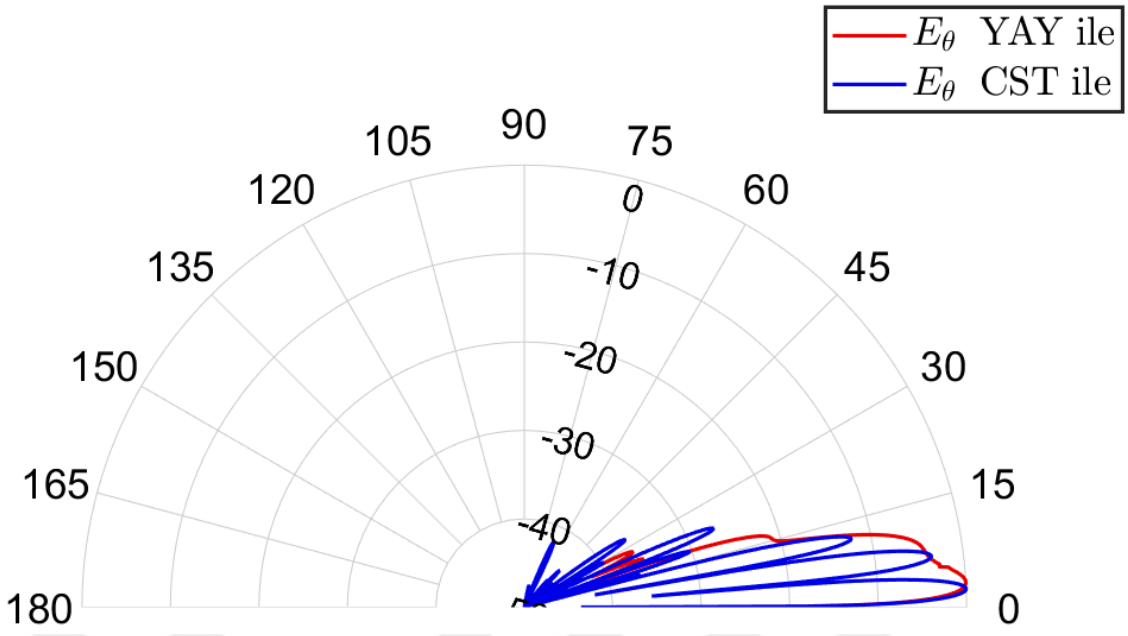


Şekil 3.40 YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın serbest uzay normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.

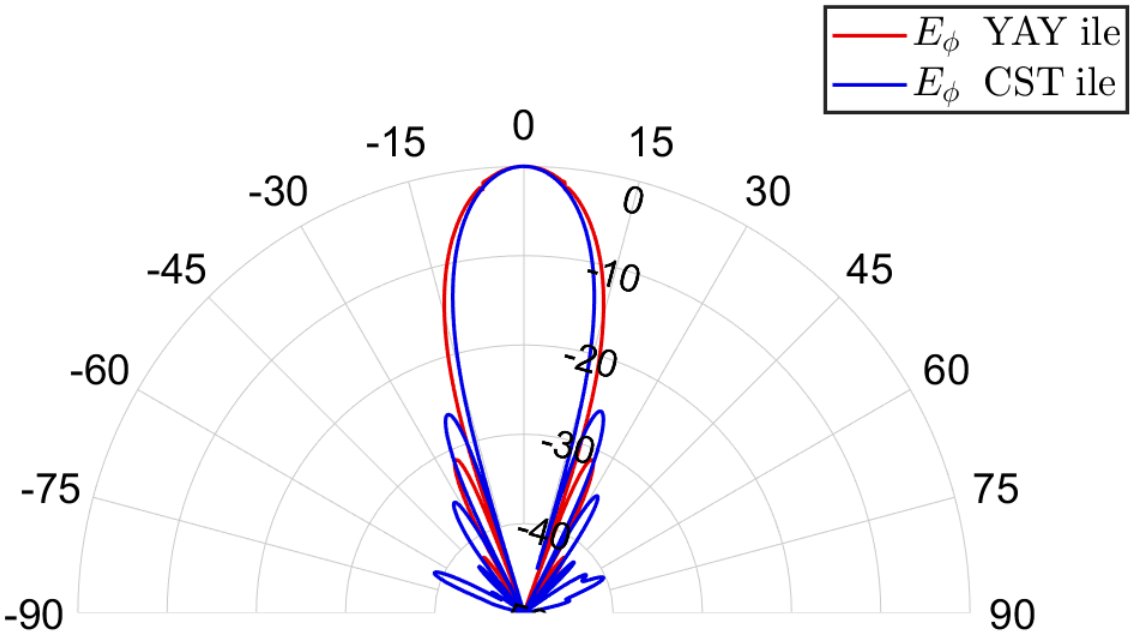
Bulgular: Serbest uzayda, YAY ve CST sonuçları, hem E- hem de H-düzlem ışıma desenlerinin ana lobunda tutarlıdır. Şekil 3.21-3.40'da θ $\pm 90^{\circ}$'a yaklaştıkça yan ve arka loblardaki farklılıklar parazitlerden kaynaklanmaktadır.

Grup 3: Deniz yüzeyi üzerinden YAY ve CST sonuçları

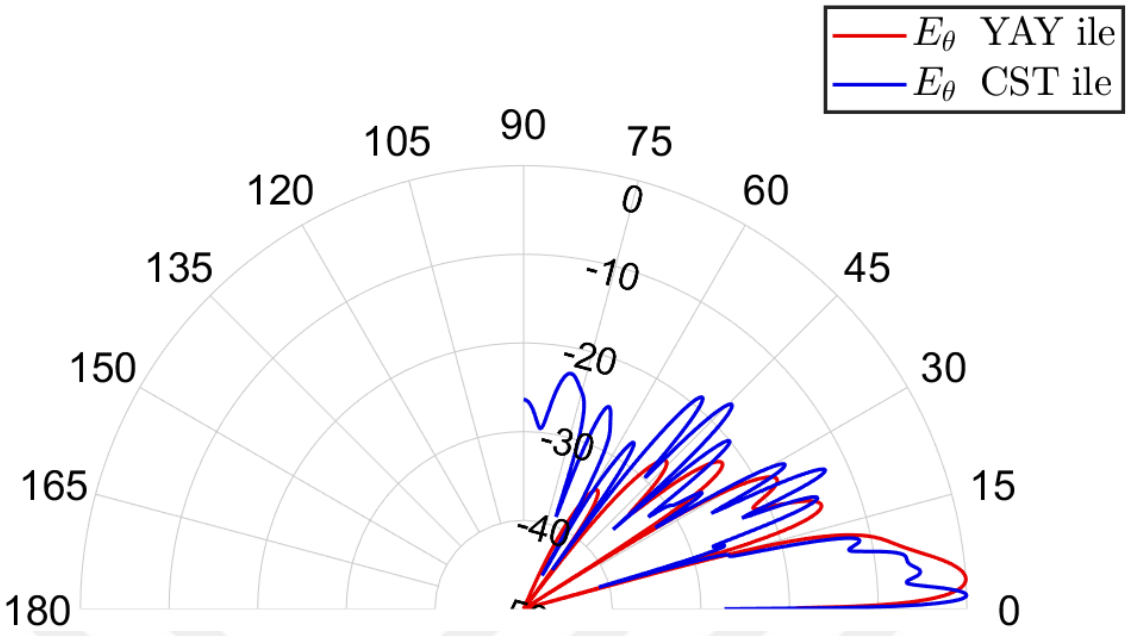
3.41-3.60 şekillerde deniz düzlemi üzerinden YAY ve CST karşılaştırmalarını göstermektedir.



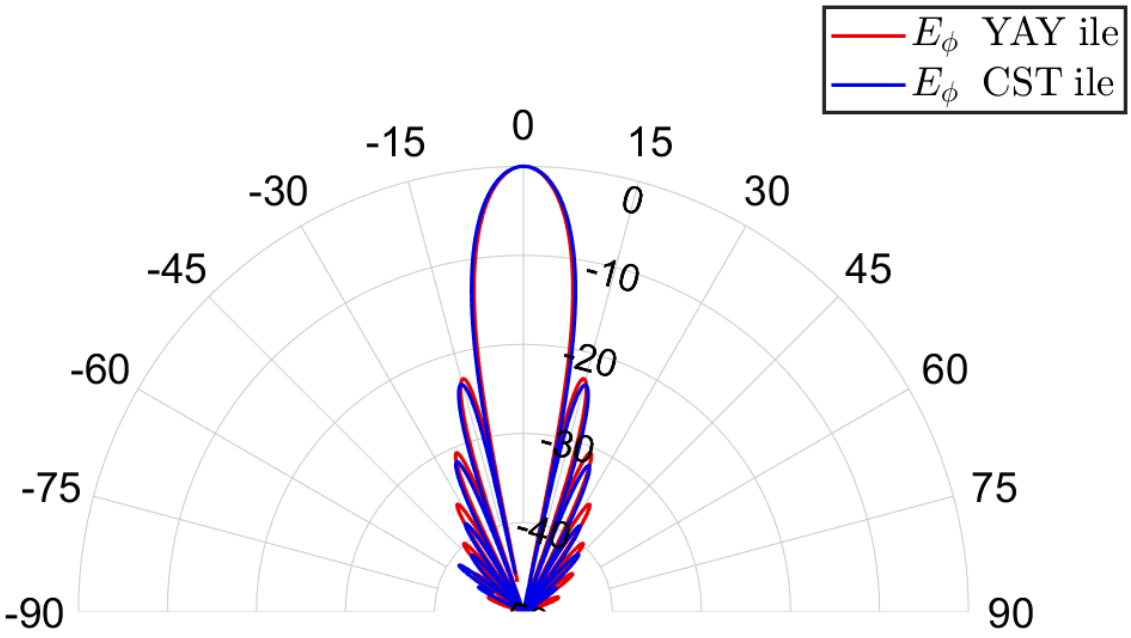
Şekil 3.41 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



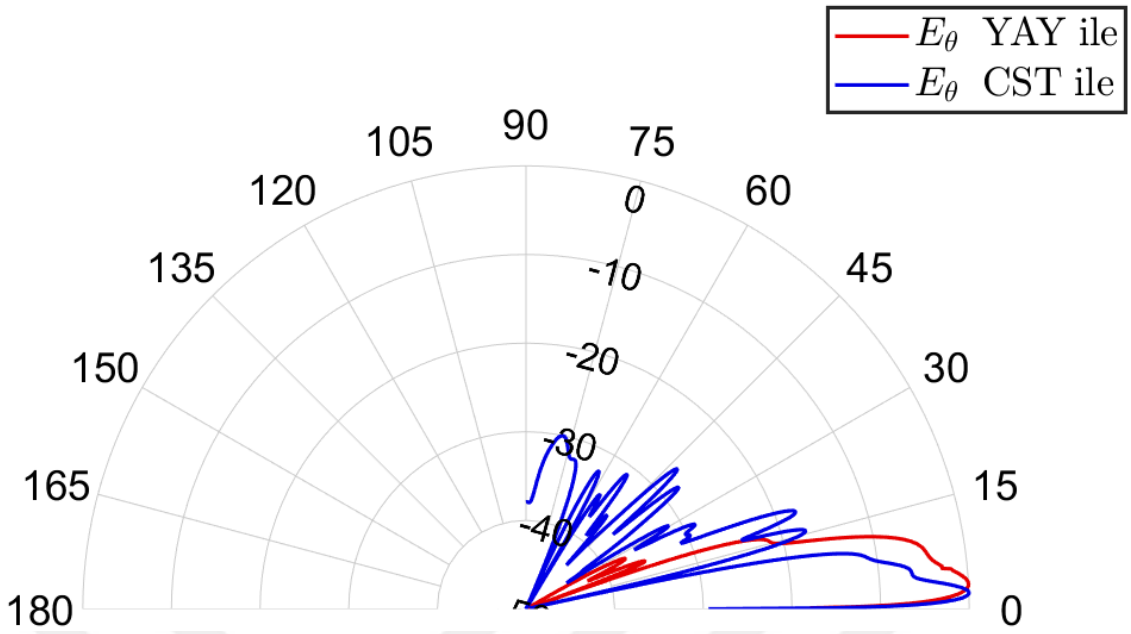
Şekil 3.42 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden ÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



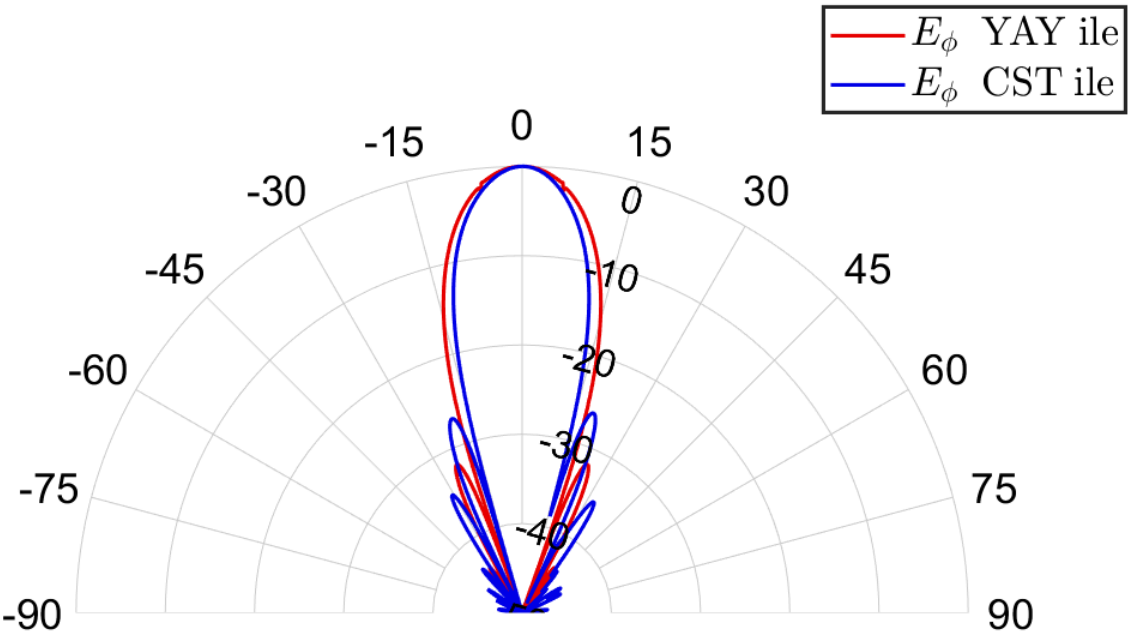
Şekil 3.43 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



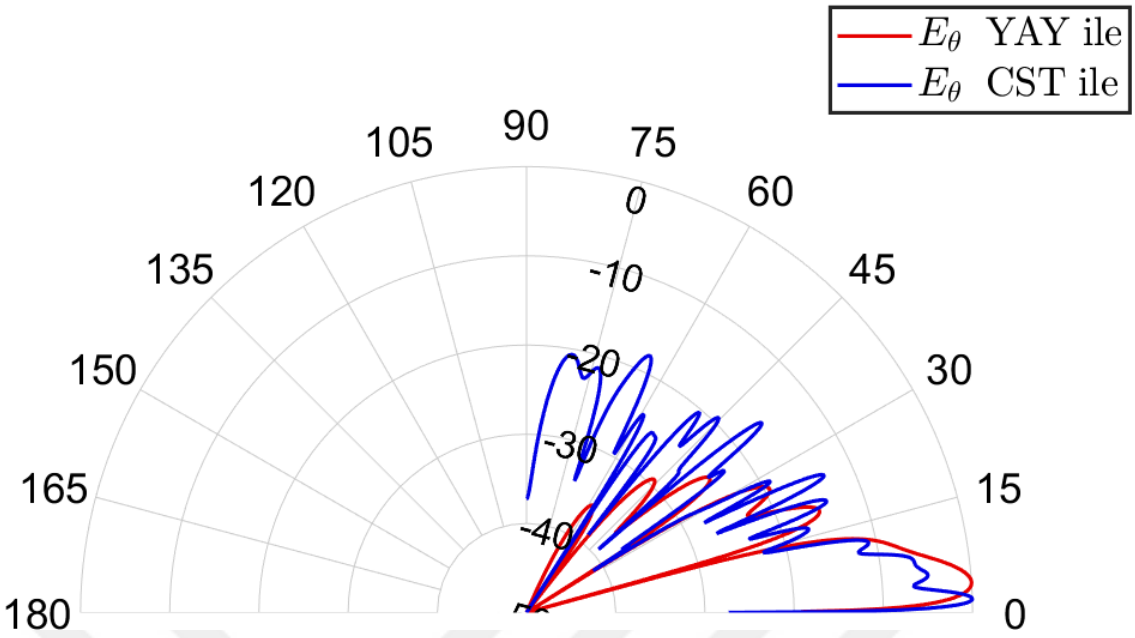
Şekil 3.44 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



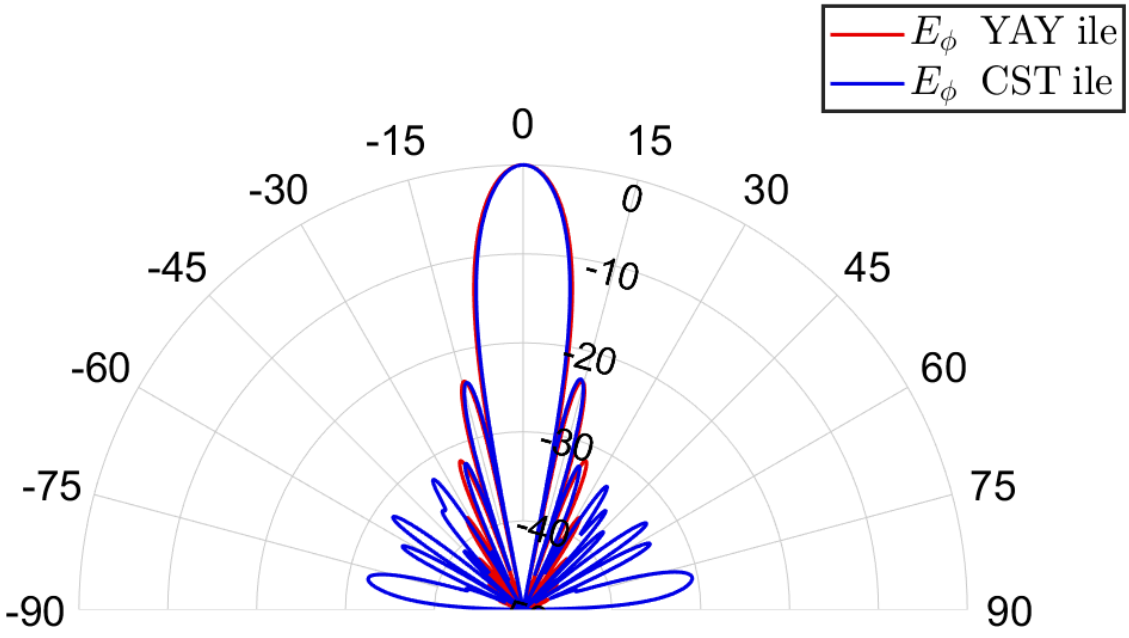
Şekil 3.45 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



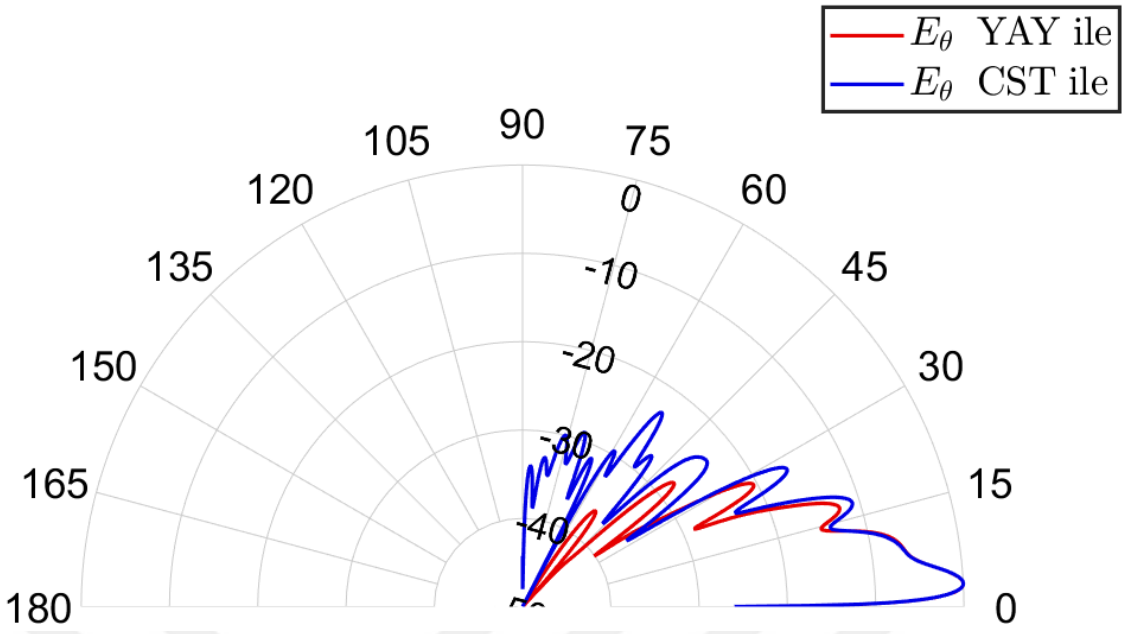
Şekil 3.46 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DÇAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



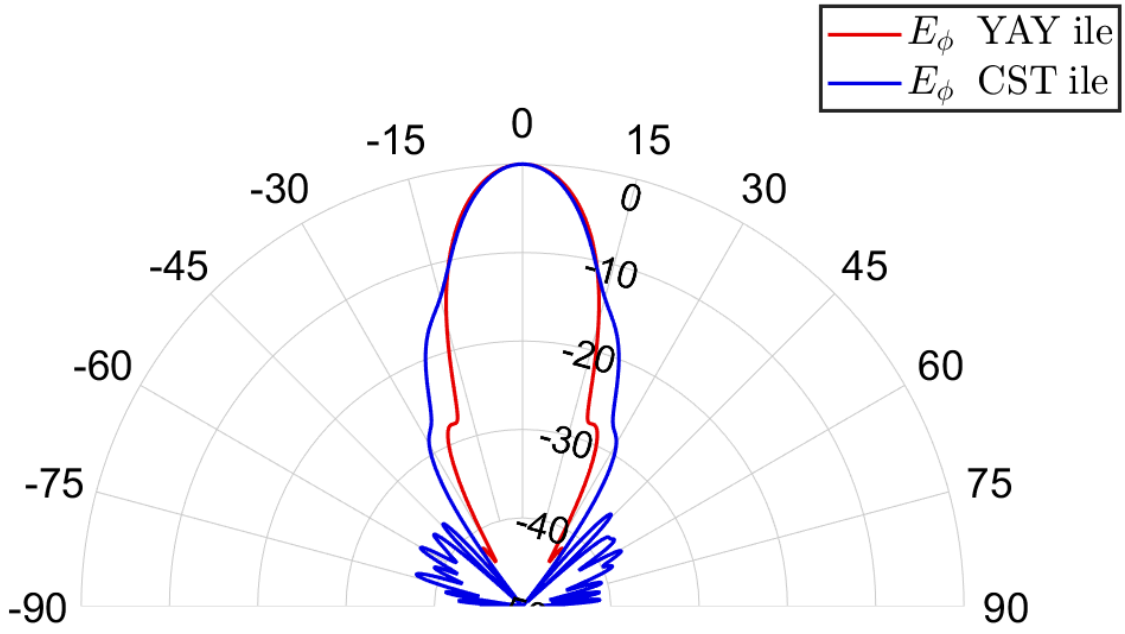
Şekil 3.47 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



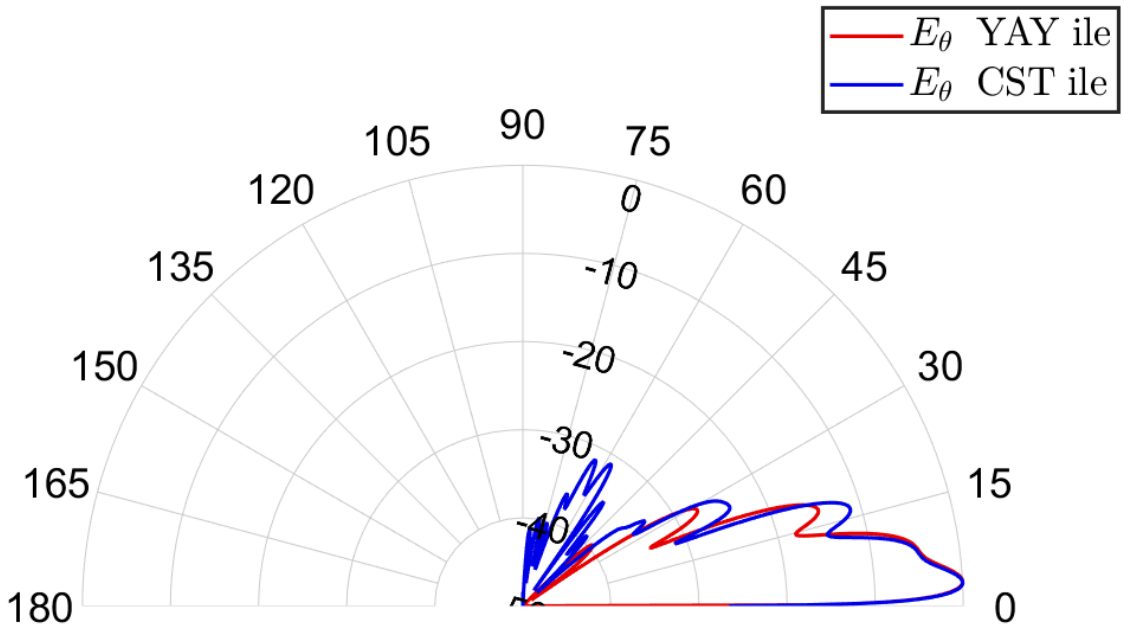
Şekil 3.48 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DDAA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



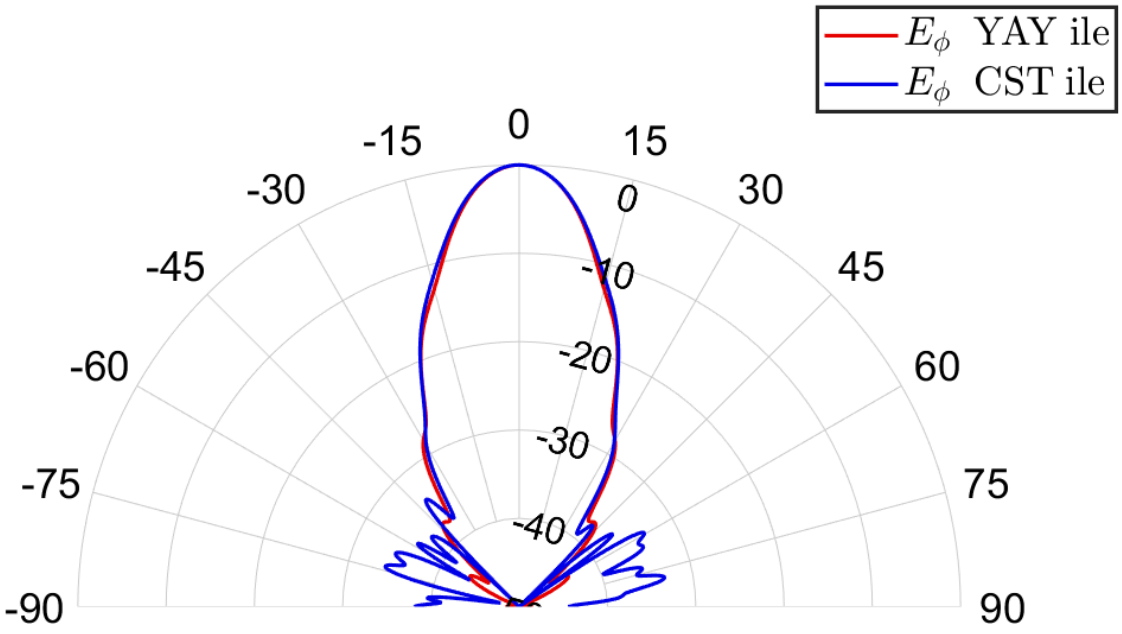
Şekil 3.49 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



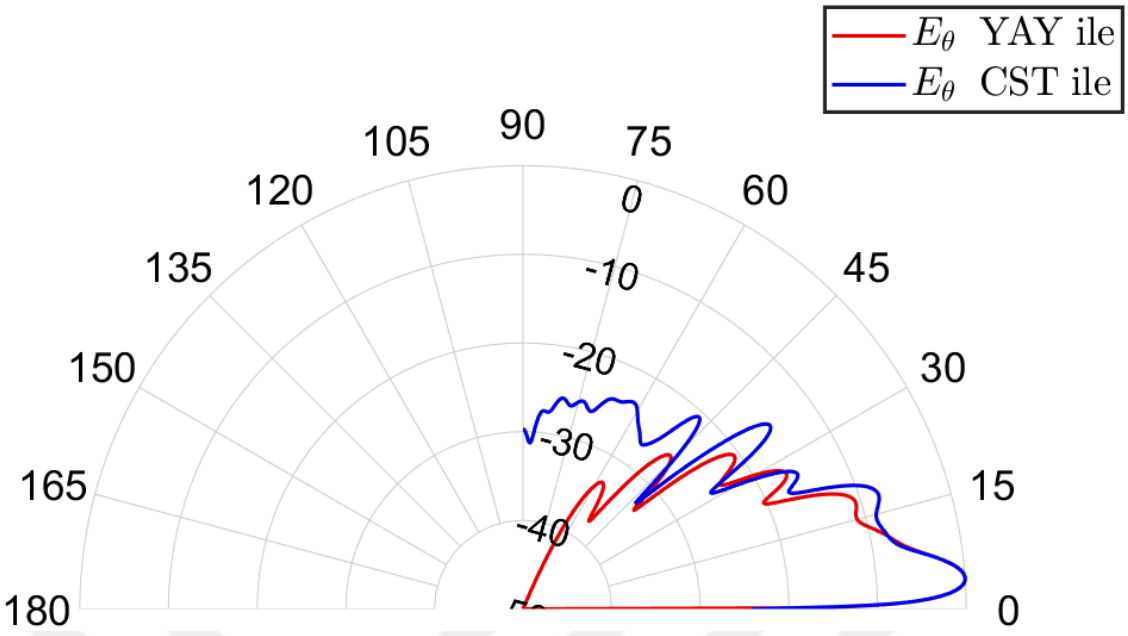
Şekil 3.50 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden KHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



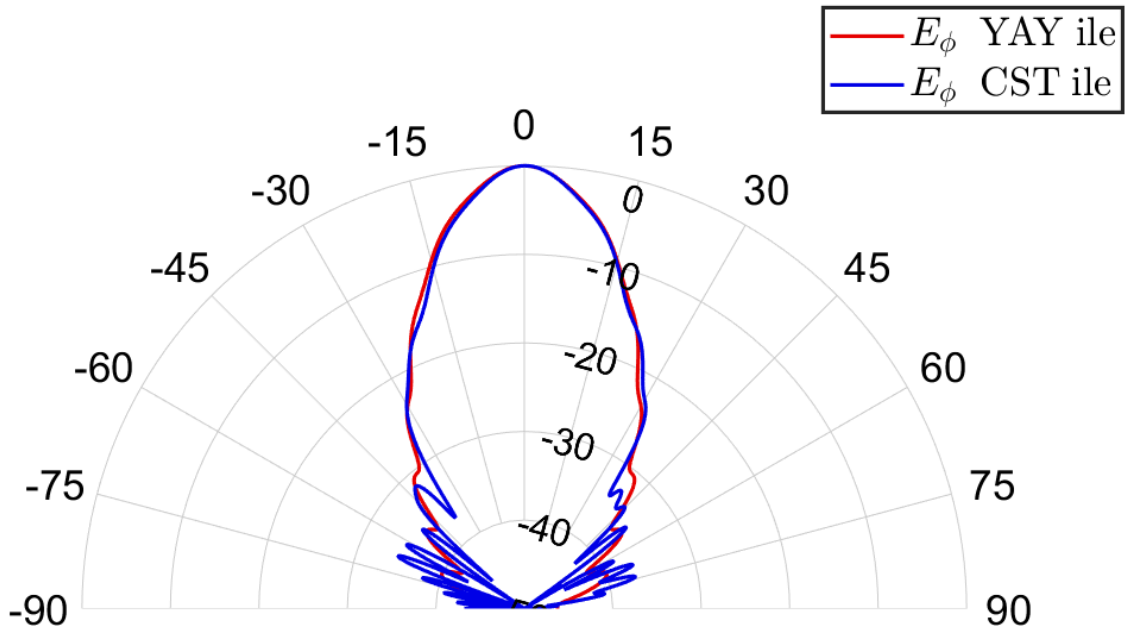
Şekil 3.51 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



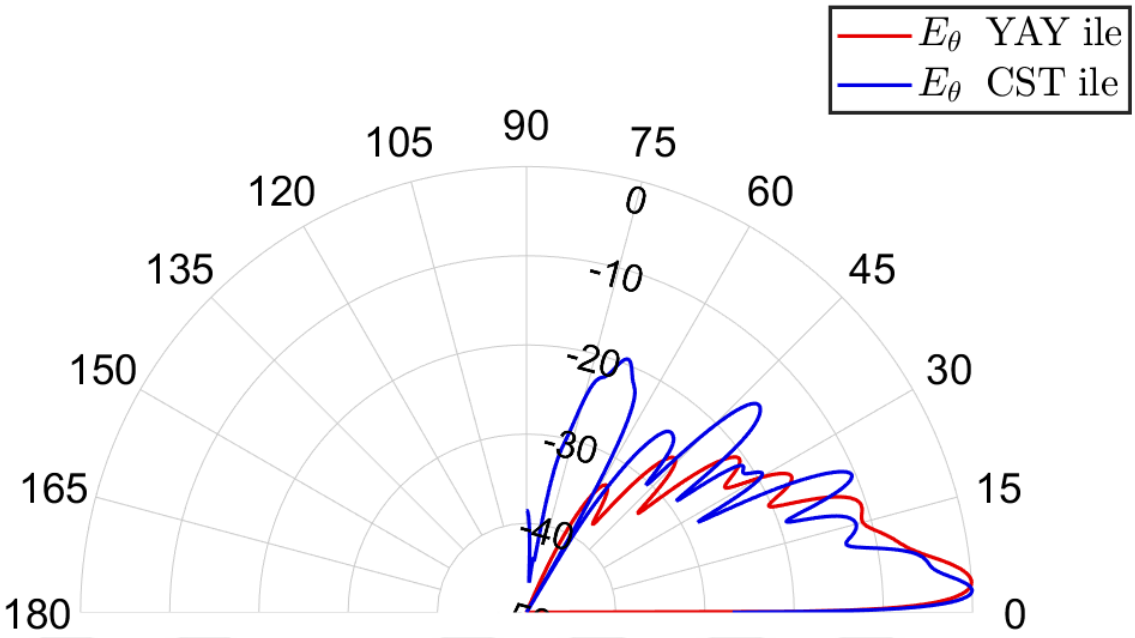
Şekil 3.52 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden OKHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



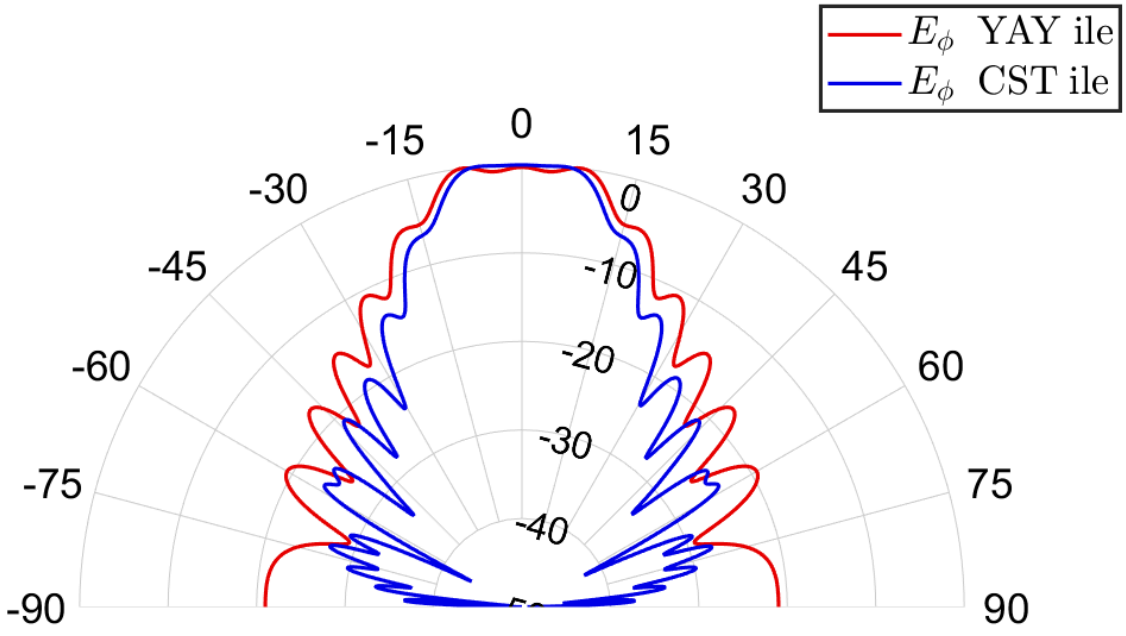
Şekil 3.53 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş E-eüzlem ışıma desenleri.



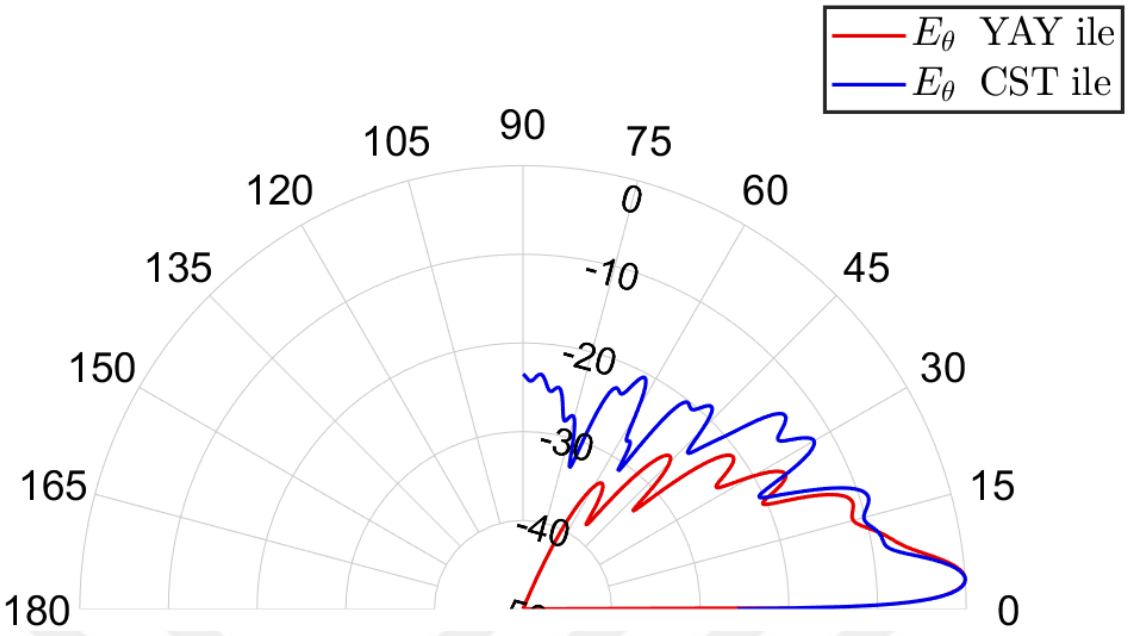
Şekil 3.54 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden PHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



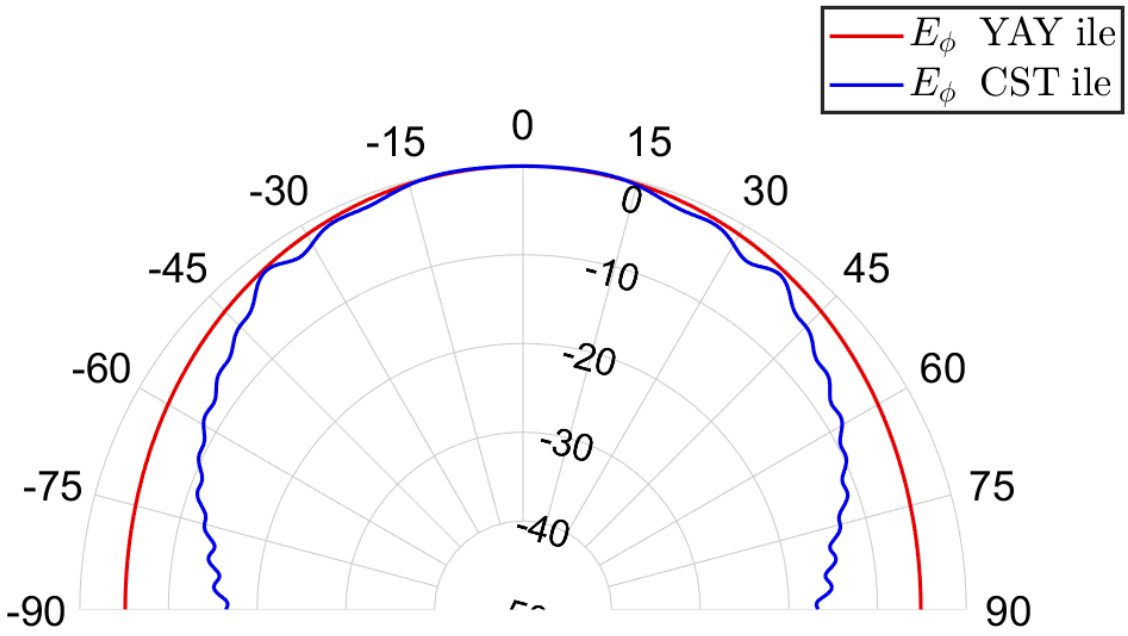
Şekil 3.55 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



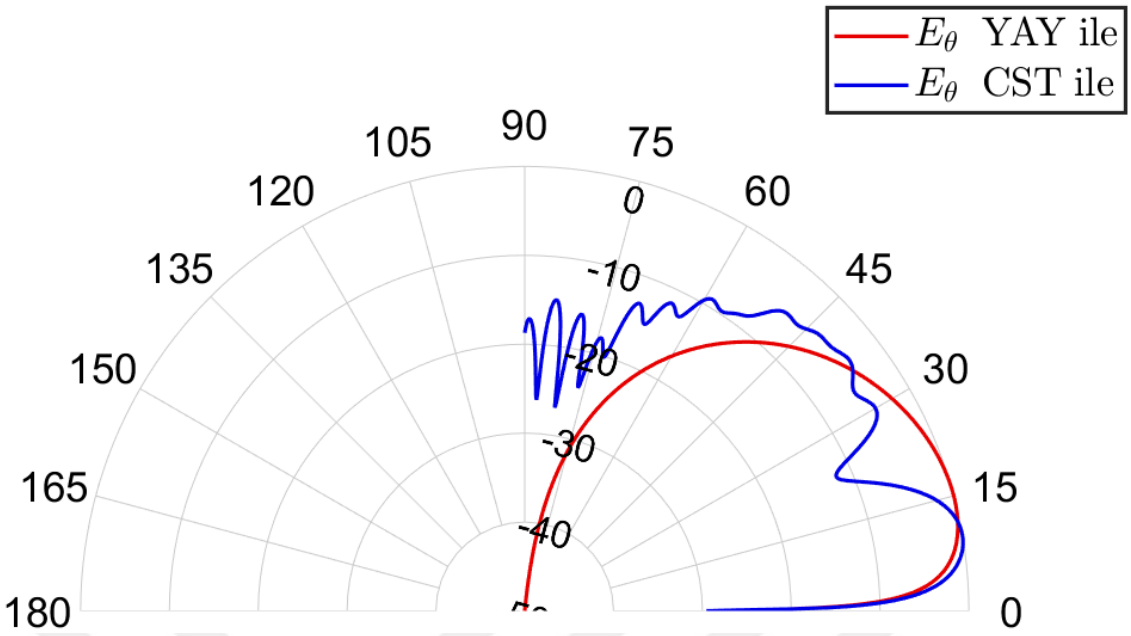
Şekil 3.56 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden DPHA'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



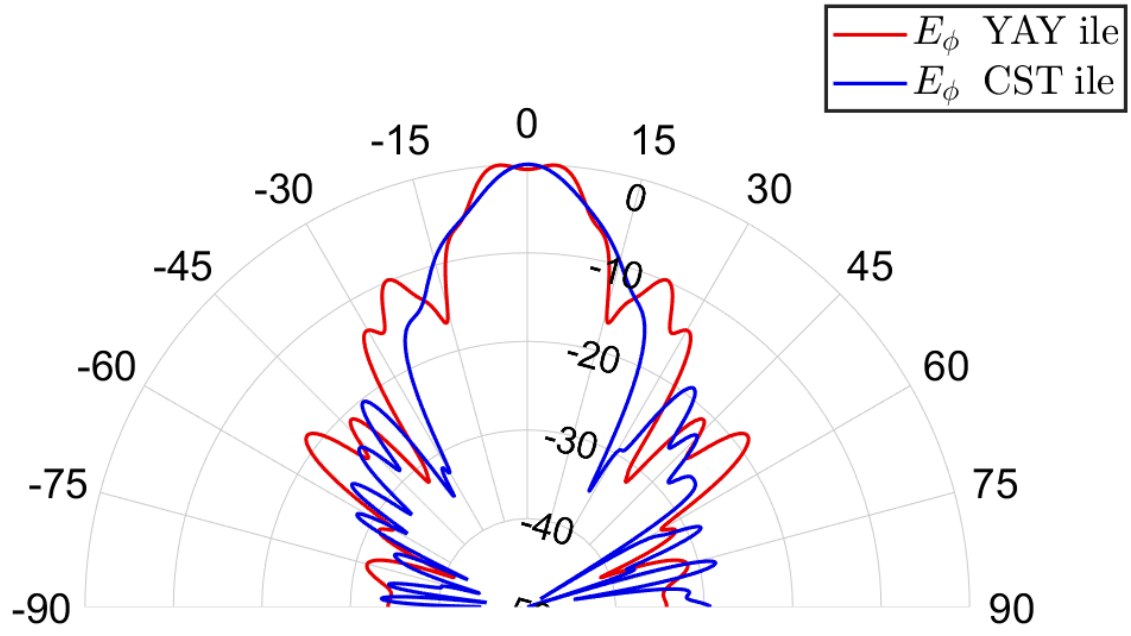
Şekil 3.57 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.58 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden EDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.59 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş E-düzlem ışıma desenleri.



Şekil 3.60 Deniz yüzeyi üzerinde YAY ve CST ile dB cinsinden HDSH'nın normalize edilmiş H-düzlem ışıma desenleri.

Bulgular: Şekil 3.41-3.60'ta görüldüğü gibi, Şekil 2.17'deki (2.71,2.72) ışıma alanları senaryo ile eşleştirilir, ancak hava-deniz ara yüzeyinin belirtilen antenlerin uzak alan sınır küresi ile kesişmemesi gerekir. Kırılan alanlar YAY'a dahil edilmez, Kırılan alanlar YAY'e dahil edilmez, ancak yan ve arka loblar üzerinde önemli etkileri olan CST'de değerlendirilir.

4
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, YKY altında X-bandında (8-12 GHz) açıklık ve horn antenler tarafından oluşturulan deniz yüzeyi üzerinde mikrodalga yayılımının analitik ve sayısal araştırmalarını rapor edilmiştir. İncelenen antenlerin E- ve H-düzlem ışıma alanları, baskın mod uyarımı altında görüntülenmiştir.

Açıklık ve horn antenlerinin kesin analitik uzak alan ifadeleri, YKY altında YAY kullanılarak sunulmuştur. YAY sonuçları, serbest uzay ve deniz yüzeyi üzerinde CST'den elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, incelenen tüm antenler için analitik ve benzetim sonuçları arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. YAY'ın alçaktan uçan hedeflerin radar imzalarının ve mikrodalga iletişim bağlantılarının analitik incelemelerinde güvenle kullanılabileceği gösterilmiştir.

Yayılımın MEİ ve kayıplı toprak gibi diğer yer türlerini araştırması ve bunları YAY tarafından okyanus yüzeyi ile karşılaştırması gibi bu tezde sunulan çalışmanın genişletilmesi için gelecekteki olası çalışmalar vardır. Bu tezdeki çalışma, bir eleman olarak açıklık ve horn antenlere odaklanmıştır; YAY kullanılarak deniz yüzeyi üzerinde yapılan araştırma, belirtilen anten dizilerini ve yarıklı veya baskılı yama antenleri ve dizileri gibi diğer açıklık benzeri anten yapılarını ele alabilir. YAY'ın gücünü ve doğruluğunu göstermek için YAY sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

[1] A.D. Olver, P.J.B. Clarricoats, A.A. Kishk and L. Shafai, Microwave Horns and Feeds, No. 39, IET, 1994.

[2] J. L. Volakis, Antenna Engineering Handbook, 4th Ed, McGraw Hill, 2007.

[3] "IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bant s", in IEEE Std 521-2019 (Revision of IEEE Std 521-2002), vol., no., pp.1-15, 14 Feb. 2020, doi: 10.1109/IEEESTD.2020.8999849.

[4] C. A. Balanis, Modern Antenna Handbook, 1st Ed., Wiley, 2008.

[5] C. A. Balanis, Antenna Theory, Analysis and Design, 4th Ed., Wiley, 2016.

[6] T. S. Bird, Fundamentals of Aperture Antennas and Arrays: From Theory to Design, Fabrication and Testing, 1st Ed., Wiley, 2016.

[7] K.A. Norton, "The Physical Reality of Space and Surface Waves in the Radiation Field of Radio Antennas", Proceedings of the Institute of Radio Engineers Vol. 25, No.9, pp.1192-1202, Sep. 1937.

[8] C. A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, 2nd Ed., Wiley, 2012.

[9] B. Polat and R. Daşbaşı, "Hertzian Dipoles Supporting Directional Currents," Proceedings of 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 494-500, doi: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252718.

[10] B. Polat and R. Daşbaşı, "Analysis of Conical Horn Antenna Radiation over Ground by Directional Currents Method," Proceedings of 20th International Conference on Microwave Techniques (COMITE) (pp. 1-6). IEEE, April 2021.

[11] D. S. Mohammed Musa, R. Daşbaşı and B. Polat, "Radiation Fields of Corrugated Horn Antenna over Lossy Dielectric Half-Space," Proceedings of International 19 May Innovative Scientific Approaches Congress-V, May 2021.

[12] Z. S. M. Mclean and Z. Wu, Radiowave Propagation over Ground. KHApman &Hall, 1993.

[13] A. P. King, "The Radiation KHAracteristics of Conical Horn Antennas," in Proceedings of the IRE, vol. 38, no. 3, pp. 249-251, March 1950, doi: 10.1109/JRPROC.1950.230734.

[14] M. G. Schorr and F. J. Beck Jr., " Electromagnetic Field of the Conical Horn", in Journal of Applied Physics vol. 21, pp. 795-801, 1950, doi: 10.1063/1.1699761

[15] M. S. Narasimhan and B. V. Rao, "Modes in a Conical Horn: New Approach," in Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. 118, no. 2, pp. 287-292, February 1971, doi: 10.1049/piee.1971.0050.

[16] P. J. B. Clarricoats and A. D. Olver, Corrugated Horns for Microwave Antennas, No. 18, IET, 1984.

[17] A. F. Kay, "The Scalar Feed, "TRG Science Report 5, AFCRL Project 4600, Contract No. AF 19(604)-8057, 1964.

[18] P. J. B. Clarricoats, "Analysis of Spherical Hybrid Modes in a Corrugated Conical Horn," Electronics Letters, 5(9), 189-190

[19] https://www.3ds.com/productsservices/simulia/products/cst-studio-suite/

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. D. S. Mohammed Musa, R. Daşbaşı and B. Polat, "Radiation Fields of Corrugated Horn Antenna over Lossy Dielectric Half-Space," Proceedings of International 19 May Innovative Scientific Approaches Congress-V, May 2021.