



Düşük Arka/Yakın Yan Kulakçık Seviyesine Sahip Dizi Beslemeli Parabolik Reflektör Anten Tasarımı

Gökhan ŞAHAN^{1,*}, Fatih ERDEN², Erkul BAŞARAN³

¹Deniz Harp Okulu, Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, Tuzla, İstanbul

²Deniz Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği, Tuzla, İstanbul

³Piri Reis Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tuzla, İstanbul

Öz

Günümüzde sivil alanlarda olduğu kadar askeri alanlarda da önemli bir yere sahip olan antenler, radar sistemlerinde sistem karakteristiğini belirleyen en önemli elemanlardan biridir. Reflektör antenler dar hüzmeye genişlikli ve yüksek kazançlı ışınlarından dolayı radar sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Yüksek kazanç ve düşük yan/arka kulakçık seviyesi, reflektör anten tasarımındaki en önemli parametrelerdendir. Reflektör antenlerin ışın desenlerinde oluşan yan kulakçıklar istenmeyen yönlerde enerji dağılımına neden olur. Bu çalışmada, yatay ve düşey düzlemlerde düşük arka/yakın yan kulakçık seviyesine sahip özgün parabolik reflektör anten tasarımı ve performans analizi incelenmiştir. Bu maksatla, üç elemanlı Yagi antenden oluşan ikili dizi beslemeye sahip, özgün omuz ve şerit tasarımlarıyla arka/yakın yan kulakçık seviyeleri bastırılmış parabolik reflektör anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antende 1100-1200 MHz arasında 24,5 dB kazanç, yatay düzlemde -26 dB, düşey düzlemde -28,8 dB yan kulakçık seviyesi, 10° yarı-güç hüzmeye genişliği (-3 dB) elde edilmiştir. Tasarımın Avrupa Telekomünikasyon Standartları Komitesi (European Telecommunication Standards Committee-ETSI) Sınıf-2 standartlarını karşıladığı gösterilmiştir. Tasarım, analiz ve optimizasyon çalışmaları CST programında yapılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 02/06/2016

Düzeltilme: 20/08/2016

Kabul: 17/03/2017

Anahtar Kelimeler

Parabolik reflector
Yagi anten
Dizi besleme
Yan kulakçık bastırma
Arka kulakçık bastırma

Keywords

Parabolic reflector
Yagi antenna
Array feed
Sidelobe suppression
Backlobe suppression

Array Feed Parabolic Reflector Antennas Design Having Low Near Sidelobe and Backlobe Levels

Abstract

Antennas which are one of the most important components that designate the system characteristic in radar systems, nowadays have a substantial position in military as well as civil areas. Due to their narrow beamwidth and high gain radiation reflector antennas are frequently preferred in radar systems. High gain and low sidelobe/backlobe levels are one of the most significant parameters in reflector antenna design. Sidelobes in radiation patterns cause the energy to radiate in undesirable directions. In this study, parabolic reflector antenna design with low near sidelobe and backlobe levels on horizontal/vertical planes and its performance analysis are presented. For this purpose, three element Yagi array fed parabolic reflector antenna with suppressed near sidelobes and backlobes by novel shroud and strips is designed. Thus, for the proposed reflector antenna; a gain of 24,5 dB, sidelobe level of -26 dB and 28,8 dB respectively on horizontal and vertical plane, backlobe level of -42,3 dB and half power beamwidth of 10° on 1100-1200 MHz frequency band are achieved. It is shown that our design fulfills the ETSI Class-2 standards. Design, analysis and optimization studies are performed on CST program.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Parabolik reflektör antenlerin tarihçesi 1930'lu yıllara kadar uzanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında radar sistemlerinde kullanılmak üzere kalem hüzmeye antenler geliştirilmiş, 1950'lerde

parabolik reflektör antenlerin haberleşme sistemlerinde ticari olarak kullanılmasıyla birbirinden kullanışlı çok sayıda besleme anteni tasarlanmıştır.

Radar sistemlerinde reflektör antenler dar hüzmeye genişliği ve yüksek kazançlı ışınlarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun yanında; yansıtıcı yüzey geometrisinde değişiklik yapılabilen reflektör antenlerde özel ışınım karakteristikleri elde edilebilmektedir. Radar antenlerinde ışınımın düşman elektronik harp sistemleri tarafından tespit olasılığını zayıflatmak amacıyla düşük yan kulakçık seviyesi istenmektedir. Yan/arka kulakçıklar istenmeyen yönlerde enerji kaybına sebep olmakla birlikte, anteni gürültüye karşı savunmasız bırakmaktadır. Ayrıca ana hüzmeye dışındaki istenmeyen ışınlar bilgi kaçağına ve istenmeyen bozucu etkileşimlere sebep olmaktadır. Dolayısıyla reflektör antenlerin tasarımında ve performans iyileştirme çalışmalarında yan/arka kulakçık seviyelerinin bastırılması kritik öneme sahiptir.

Kenar kırınımları ve taşma kayıpları yan/arka kulakçık seviyelerinin artışında rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda; önden beslemeli reflektör antenlerde bahse konu kırınım ve kayıplar nedeniyle oluşan arka ve uzak yan kulakçık seviyelerini bastırmak için anten kenarlarının iletken bir omuz yapısıyla çevrenmesi etkili ve az maliyetli bir yöntem olarak önerilmiş [1, 2 ve 3], besleme anteni ışınım desenini bozmadan en az blokaj etkisi oluşturan besleme hatları kullanılarak arka ve uzak yan kulakçık seviyeleri düşürülmüştür [4]. Cassegrain antenlerde alt yansıtıcıyı odak noktasında sabit tutmak için kullanılan desteklerin sebep olduğu yan kulakçık seviyelerini düşürmek için farklı şekil/boyutlarda destekler tasarlanmıştır [5]. Bir başka çalışmada, ana reflektörün etrafında ya da önünde yardımcı reflektörler kullanılarak yan kulakçık seviyesinde 10 dB'lik düşüş gözlenmiştir [6]. Güncel çalışmalarda, parabolik reflektörün kenarları çift katmanlı soğurucu malzeme ile kaplanarak uzak yan kulakçık seviyesi yaklaşık 10 dB düşürülmüş [7], yakın yan kulakçık seviyesini düşürmek için parabolik reflektörün ön yüzeyine farklı şekillerde metalik şeritler yerleştirilerek 15-20 dB'lik iyileşme sağlanmıştır [8].

Bu çalışmada, özgün olarak iki elemanlı dizi beslemeli parabolik reflektör anten tasarlanmıştır. İki elemanlı dizi besleme, Yagi antenlerden, her bir Yagi anten ise üç elemandan oluşmaktadır. Tasarımın amacı, gerçekleştirilen bu özgün ön tasarımın istenmeyen kulakçıklarını bastırmaktır. Bu amaçla, iki teknik aynı anda uygulanarak analiz edilmiştir.

Birinci teknik; parabolik reflektörün kenarlarında omuz yapılarının kullanılması, ikincisi ise; reflektör sınırları arasında doğrusal olarak uzanan şerit çubukların kullanılmasıdır. Bu teknikler temel alınarak reflektör antenin kenarlarından öne doğru uzanan parabolik kesitli omuz yapısı ve antenin ön yüzeyine metalik silindirik şeritler eklenmesiyle özgün reflektör anten modeli tasarlanmıştır. Antene ilişkin tasarım kriterleri ve benzetim sonuçları da ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. ANTEN YAPISI (ANTENNA ARCHITECTURE)

2.1. Parabolik Yüzey Tasarımı (Parabolic Surface Design)

Yüksek hedef çözünürlüğüne sahip parabolik reflektör anten tasarımında öncelikle; dar açı (9° - 11°) yarı güç hüzmeye genişliklerine (HPBW) göre olması gereken parabolik reflektör çap (D) aralığı,

$$HPBW = 70^\circ \frac{\lambda}{D} \rightarrow D = 70^\circ \times \frac{260,8}{9^\circ} = 2028 \text{ mm} \quad (1)$$

$$D = 70^\circ \times \frac{260,8}{11^\circ} = 1660 \text{ mm}$$

olarak bulunur [9]. Burada λ , 1150 MHz merkez çalışma frekansına göre hesaplanan dalga boyudur. Bu çalışmada yapılacak tasarımlarda, üretimde kolaylık sağlaması açısından (1)'de hesaplanan reflektör çap aralığında piyasadaki en küçük çapa sahip hazır üretim reflektör kullanılmıştır. Bahse konu parabolik reflektörün fiziksel boyutları

Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Parabolik reflektör fiziksel boyutları (mm)

D	f (Odak uzaklığı)	f/D
1700	840	0,49

Boyutları verilen parabolik reflektörü etkili aydınlatmak için reflektörün f/D oranına göre besleme anteni tasarımı yapılmalıdır [10]. Bu kapsamda; besleme anteninde olması gereken hüzmeye genişliği ($2\theta_0$),

$$f = \left(\frac{D}{4}\right) \cot\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \rightarrow 2\theta_0 = 4 \arctan\left(\frac{D}{4f}\right) = 4 \arctan\left(\frac{1700}{4 \times 840}\right) = 107,34^\circ \cong 107^\circ \quad (2)$$

eşitliğinden yaklaşık $\theta_0 \cong 53,5^\circ$ olarak elde edilir. Bahse konu hüzmeye genişliği için uzay azalmasının neden olacağı ilave aydınlatma kaybı,

$$\text{İlave aydınlatma kaybı} = 20 \log\left(\cos^2 \frac{\theta_0}{2}\right) = -1,96 \text{ dB} \cong -2 \text{ dB} \quad (3)$$

olarak bulunur [9].

Maksimum kazanç için, reflektör kenarlarında merkeze oranla 10 dB daha düşük güç olacak şekilde besleme anteni tasarımı gerektiğinden, (3)'te hesaplanan ilave aydınlatma kaybına göre besleme anteninin reflektör kenarını -8 dB ile aydınlatması gerektiği sonucuna varılır.

2.2. CST ile Besleme Dizisi Tasarımı (Feed Array Design with CST)

Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi Mikrodalga Stüdyo (Computer Simulation Technology Microwave Studio-CST MWS) programı ile 1100-1200 MHz çalışma frekansı aralığında, ışınma deseninde maksimum kazancın 8 dB azaldığı noktalar arası 108° hüzmeye genişliğine sahip besleme anteni tasarımı yapılmıştır.

Parabolik reflektör anten sistemlerinde düşük çalışma frekansına bağlı olarak besleme anteninin büyük boyutlarda olması, parabolik yansıtıcıdan yansıyan dalgalara karşı besleme anteni blokaj etkisinin artmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda; 1100-1200 MHz (L-bant) aralığında çalışan reflektör anten sistemi için kullanılabilecek besleme anten tipleri arasında dipol anten en küçük boyutlara sahip olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Ancak eşit olmayan yatay/düşey düzlem ışınma deseni ve düşük yönlülük gibi dezavantajları dipol anteni parabolik reflektörü etkin olarak aydınlatma konusunda verimsiz kılmaktadır [11]. Dipol antenin yönlülüğünü arttırmak amacıyla dipolün (sürücü eleman) önüne ve arkasına dipolden farklı mesafe ve boyutlarda yansıtıcı/yönlendirici elemanlar eklenerek üç elemanlı Yagi anten tasarımı kullanılmaktadır.

Üç elemanlı Yagi antenlerde maksimum kazanç için elemanlar arası mesafe $0,15\lambda - 0,25\lambda$ arasında değişmelidir [12]. $0,3\lambda$, dan daha büyük eleman aralıklarında kazançta kayda değer bir düşüş gözlenmektedir. Sürücü eleman genelde $0,45 - 0,49\lambda$ uzunluk aralığında rezonansa gelmektedir. Buna karşın yönlendiriciler $0,4 - 0,5\lambda$ arasında uzunluğa sahip olmalıdır [10].

*İletişim yazarı, e-mail: gsahan@dho.edu.tr

Eleman çapları, yansıtıcı ve reflektör uzunlukları ile ters orantılıdır [13]. Işıma eksen uzunluğu yani elemanlar arası mesafe arttıkça kazanç artmaktadır [9].

Eleman çapının, uzunluğunun ve elemanlar arası aralıkların etkisini belirlemek için Ulusal Standartlar Bürosu (National Bureau of Standards-NBS) tarafından yapılan deneysel araştırma verilerinin kapsamlı bir şekilde sunulduğu bir teknik not [13] yayınlanmıştır. Bu yayın maksimum kazanç elde etmek için farklı uzunluğa sahip anten tasarımlarını kolaylaştıran çok sayıda grafiksel veri içermektedir.

Üç elemanlı Yagi tasarımında, bahse konu teknik notta yayınlanan “Yagi antenlerde $R/\lambda = 0,0085$ için parazitik elemanların optimize edilmiş, kompanze edilmemiş uzunlukları” tablosundan $l1 = 0,482\lambda$, $l2 = 0,5\lambda$, $l3 = 0,442\lambda$ ve $s1 = s2 = 0,2\lambda$ olarak alınmış, CST MWS ile yapılan benzetim sonucunda anten yansıma katsayısı yüksek ($|S_{11}| > -10$ dB) çıkmıştır.

Bunun üzerine eleman kalınlıkları arttırılmış, $R/\lambda = 0,023$ için yine aynı notta bulunan “Yagi dizilerinin eleman uzunluklarını belirleyen tasarım eğrileri” grafiğinden $l1 = 0,47\lambda$, $l2 = 0,5\lambda$, $l3 = 0,42\lambda$ ve $s1 = s2 = 0,2\lambda$ değerleriyle benzetim tekrarlanmış, ancak yansıma katsayısında iyileşme görülmemiştir. Bu tutarsızlık, teknik notta sürücü eleman besleme aralığının tanımlı olmaması ve ideal sürücü eleman için tasarım kriterlerinin belirlenmesinden kaynaklanmaktadır.

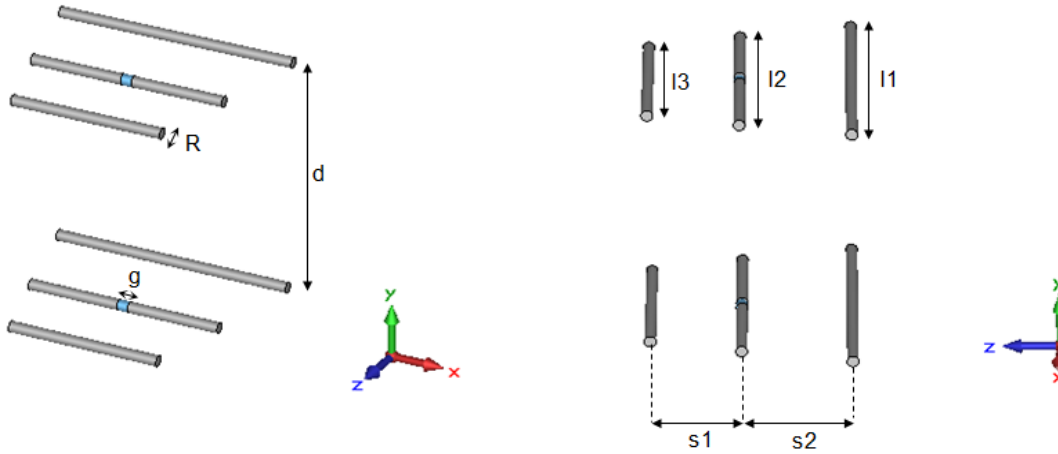
Besleme anteni tasarımında yararlanılan kaynaklardan fayda sağlanamaması üzerine özgün anten tasarımına yönelinmiştir.

Özgün besleme anteni tasarımı esnasında, Tablo 2’de sunulan eleman çapı (R), eleman uzunlukları (l1, l2, l3), elemanlar arası mesafeleri (s1, s2), diziler arası mesafe (d) ve besleme boşluğu (g) değişkenlerine farklı değerler atanarak yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde uygun ışımaya karakteristiğini sağlayacak şekilde tespit edilmiştir.

Tablo 2. Üç elemanlı Yagi anten boyutları (mm)

l1	l2	l3	s1	s2	R	d	g
131	107	83	57	47	6	130,4	6

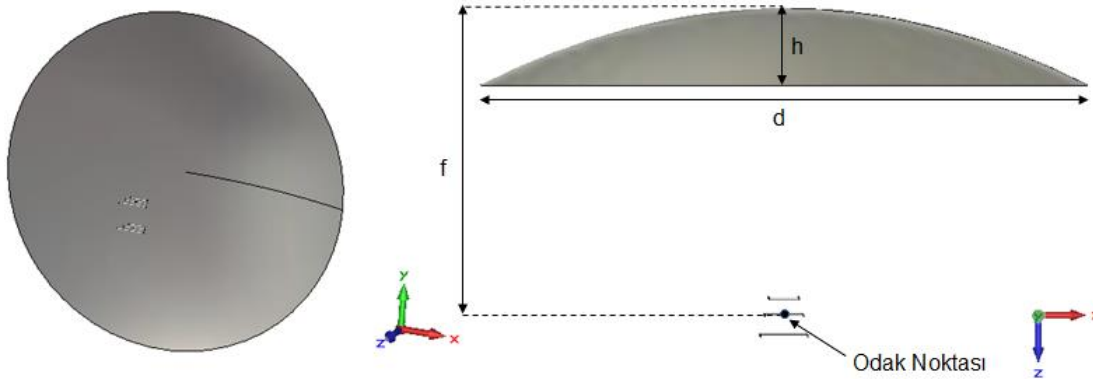
Tasarlanan üç elemanlı Yagi beslemenin düşey düzlemde çok geniş hüzme açısına sahip olduğu görülmüştür. Üç elemanlı Yagi antenin düşey düzlemdeki hüzme genişliğini azaltmak ve her iki düzlem ışımaya desenlerinde birbirine yakın hüzme genişlikleri elde etmek amacıyla düşey düzlemde iki adet üç elemanlı Yagi antenden oluşan dizi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Besleme anteni olarak tasarlanan üç elemanlı Yagi antenlerden oluşan ikili dizi besleme anteni geometrisi Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Üç elemanlı Yagi antenlerden oluşan ikili dizi anten geometrisi

2.3. Önerilen Reflektör Anten Tasarımı (Proposed Reflector Antenna Design)

Tasarlanan besleme anteni, parabolik reflektörün odak noktasında konumlandırılarak Şekil 2'de gösterilen üç elemanlı Yagi antenlerden oluşan ikili dizi beslemeli parabolik reflektör anten ön tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Üç elemanlı Yagi antenlerden oluşan ikili dizi beslemeli parabolik reflektör anten geometrisi (ön tasarım)

Kenar kırımları ve taşma kayıpları arka ve uzak yan kulakçık seviyelerinin artışında önemli rol oynamaktadır. Kırınımaya uğrayan enerjiyi soğurmak, beslemeden yayılan ve reflektör yüzey alanı dışına doğru ışıma yaparak kaybolan enerjiyi azaltmak için iletken omuz yapıları tercih edilmektedir [1].

Anten yönlülüğü ve hüzmeye genişliğini olumsuz yönde etkilemeden arka ve uzak yan kulakçık seviyesinin düşürülmesi amacıyla parabolik reflektörün kenarlarından öne doğru uzanan düz kesit omuz eklenmiştir. Tasarıma eklenen bu omuz, çalışma frekansına bağlı olarak büyük ebat ve ağırlıkta olan reflektörün daha da ağırlaşmasına neden olacağından bahse konu düz omuz, düşey düzlemde oluşturulan parabolik yüzey ile kesilerek yatay düzlemde parabolik kesitli özgün omuz yapısı oluşturulmuştur.

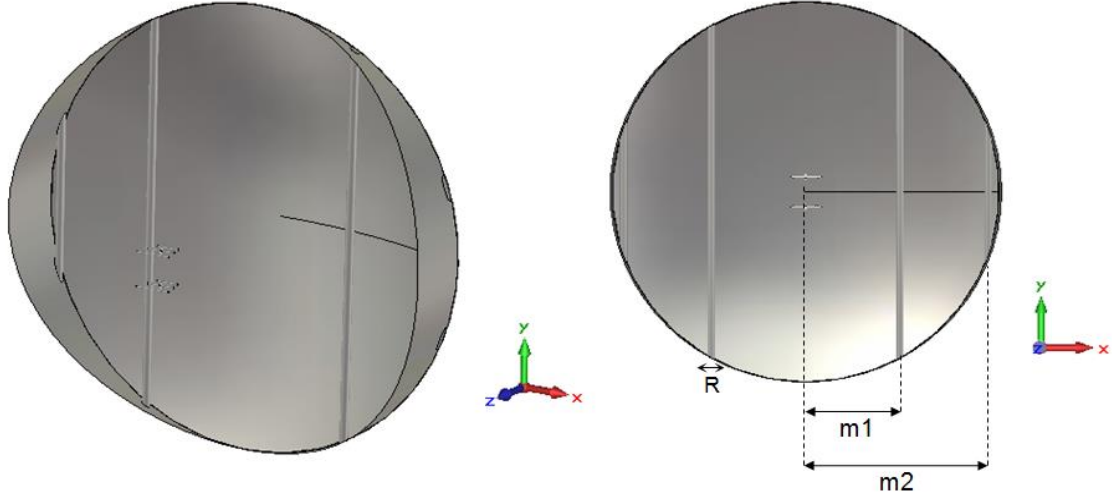
En iyi omuz uzunluğunu bulmak için, 5-50 cm arasında tarama yapılarak optimum uzunluk 36 cm olarak tespit edilmiştir. Kenar kırınımı etkisine dayanarak, yan kulakçıkların oluşmasına neden olan ışınları kırınımaya uğratarak dağıtmak için önlerine engelleyici nesne konularak yan kulakçık seviyeleri

*İletişim yazarı, e-mail: gsahan@dho.edu.tr

düşürülebilir [8]. Bu maksatla, yakın yan kulakçık seviyelerinin bastırılması için reflektör önüne dört adetiletken silindirik şerit yerleştirilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmalarında silindirik şeritlerin reflektör merkezine olan uzaklıkları ve çapları Tablo 3'te olduğu gibi tespit edilmiş ve önerilen reflektör anten geometrisi Şekil 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Silindirik şerit konum ve boyutları

m1	m2	R
420 mm	730 mm	32 mm



Şekil 3. Parabolik kesit omuzlu ve dört şeritli reflektör anten geometrisi

3. BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Şekil 2'de gösterilen ön tasarım Yagi dizi beslemeli parabolik reflektörün ışımada desenlerine ait benzetim sonuçları

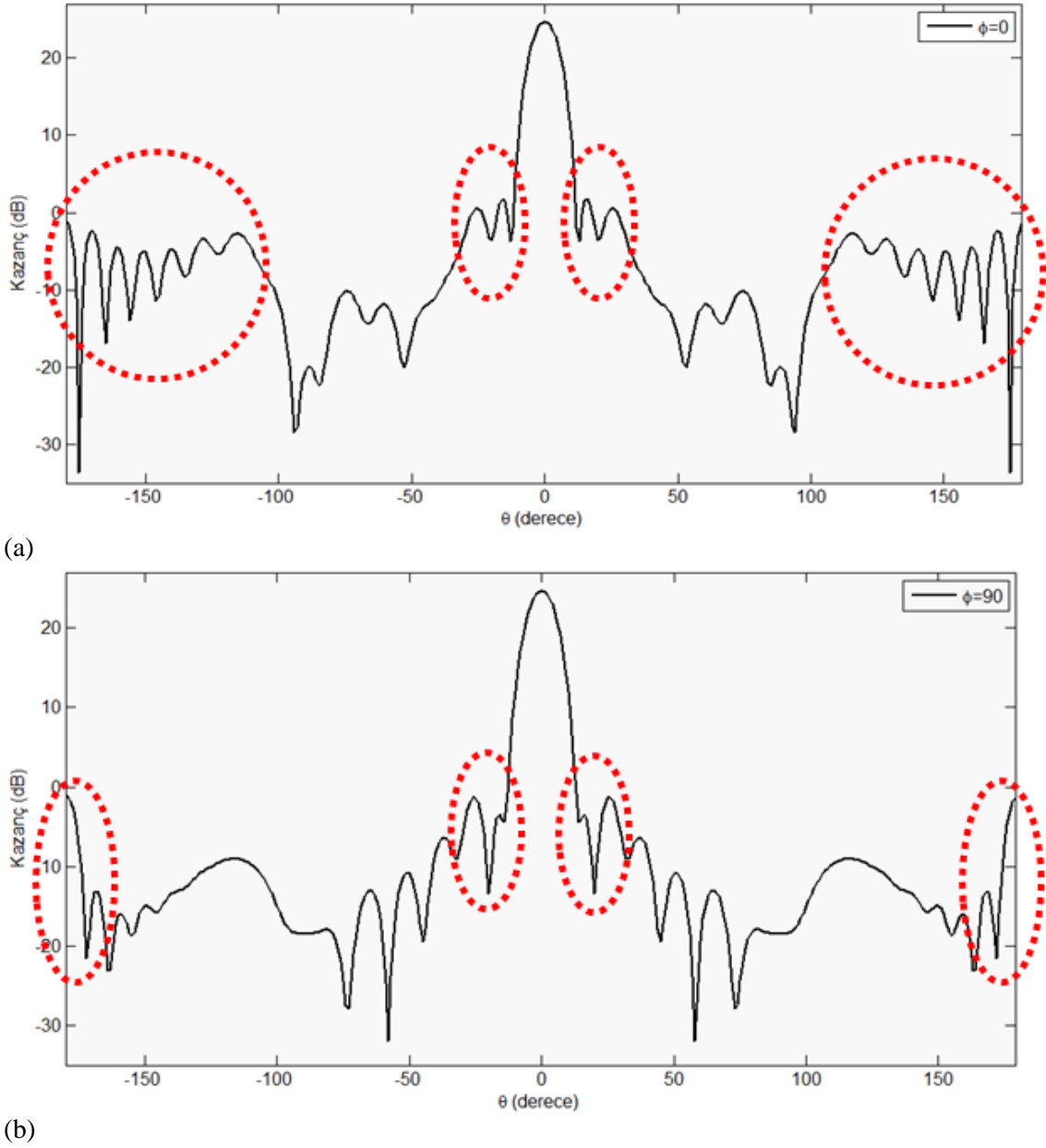
Tablo 4'te olduğu gibidir.

Tablo 4. Üç elemanlı Yagi antenlerden oluşan ikili dizi beslemeli parabolik reflektör antenin kazanç, yan/arka kulakçık seviyeleri

Kazanç	Yan kulakçık seviyesi ($\Phi = 0^\circ / \Phi = 90^\circ$)	Arka kulakçık seviyesi
24,7 dB	-22,9/25,7 dB	-25,7 dB

Yatay ($\Phi = 0^\circ$) ve düşey ($\Phi = 90^\circ$) düzlem ışımada desenlerinde düşürülmek istenen kulakçık bölgeleri

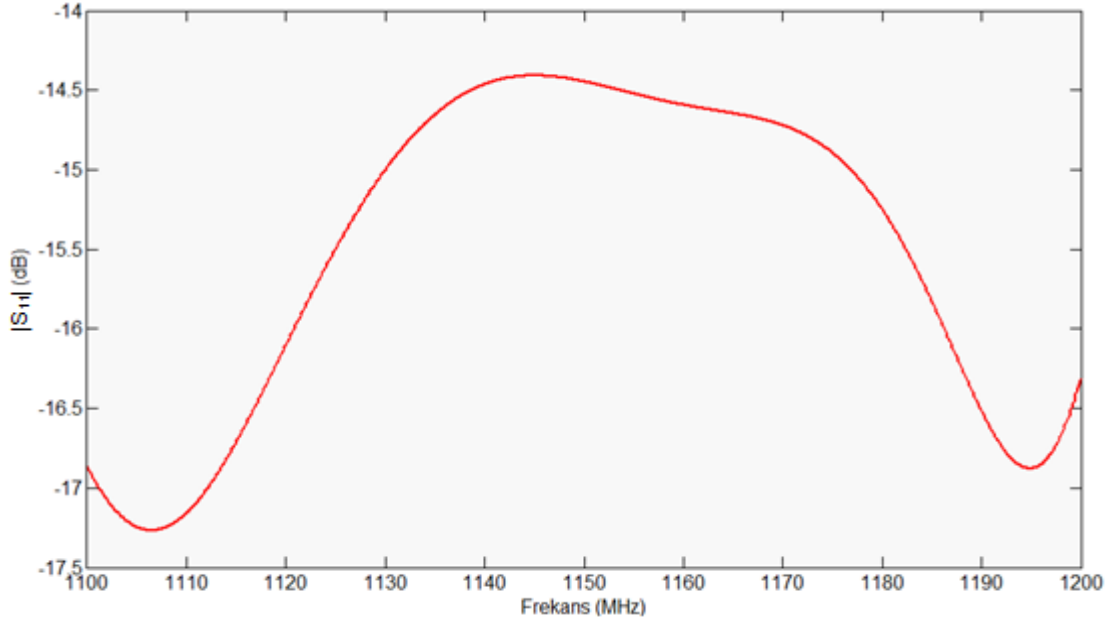
Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Ön tasarım antende düşürülmesi istenen kulakçık bölgeleri (a) Yatay düzlem (b) Düşey düzlem

Ön tasarım antene eklenen parabolik kesitli omuz ve dört silindirik şerit ile 1100-1200 MHz frekans bandında yapılan benzetimlerde

Şekil 5'te görüldüğü üzere antenin yansımaya katsayısının ($|S_{11}|$) -14 dB'den az olduğu görülmüştür.



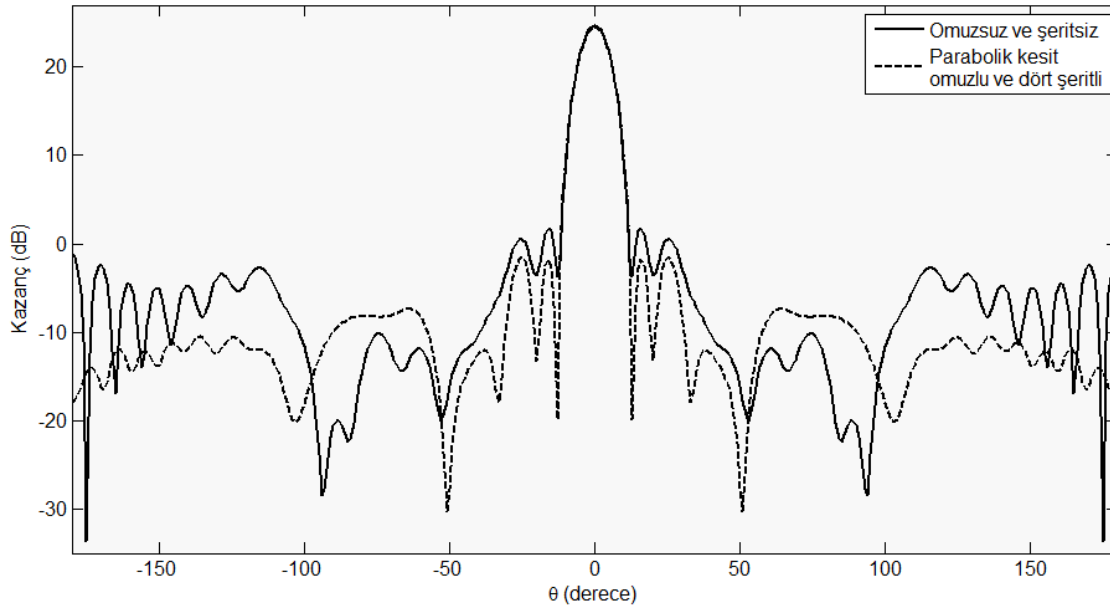
Şekil 5. Önerilen reflektör anten modeli yansımaya katsayısı $|S_{11}|$

Önerilen reflektör anten benzetim sonuçları Tablo 5’te özetlenmiştir.

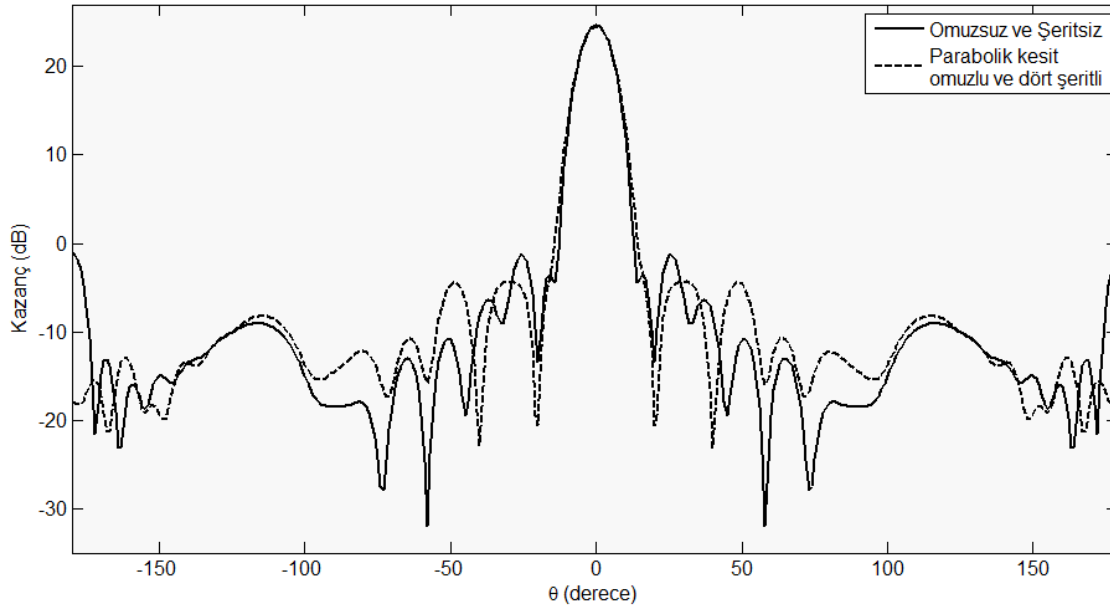
Tablo 5. Önerilen reflektör anten modeline ait kazanç, yan/arka kulakçık seviye değerleri

Kazanç	Yan kulakçık seviyesi ($\Phi=0^\circ / \Phi=90^\circ$)	Arka kulakçık seviyesi
24,5 dB	-26/-28,8 dB	-42,3 dB

Yatay/düşey düzlemdaki ışıma desenleri, ön tasarıma ait ışıma desenleriyle Şekil 6’da karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre her iki düzlemde arka kulakçık seviyesinde 16,6 dB, ana hüzmünün $\pm 50^\circ$ içerisindeki yan kulakçık seviyelerinde ise yaklaşık 3 dB’lik düşüş sağlanmıştır.



(a)



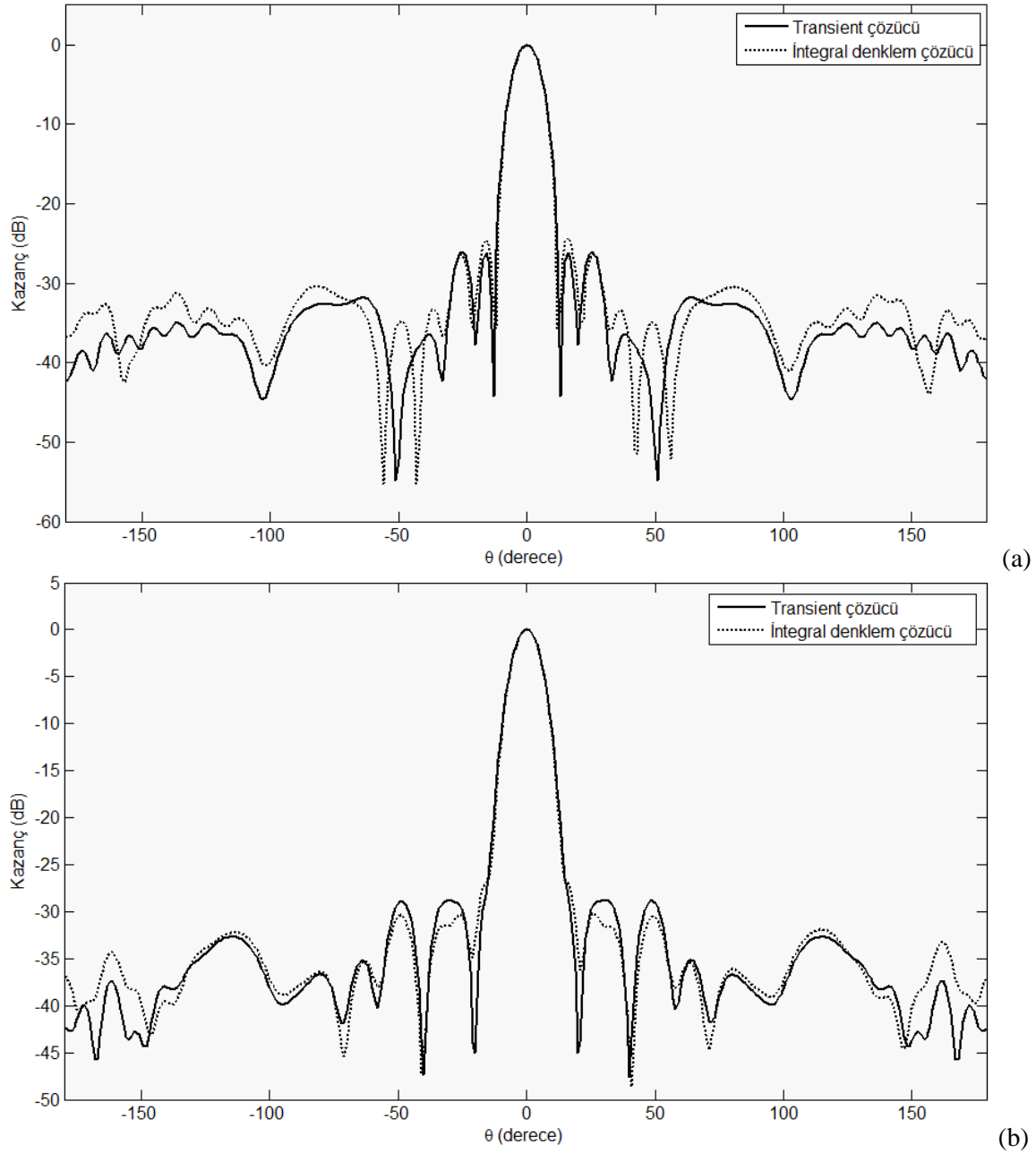
(b)

Şekil 6. Işıma desenleri karşılaştırması (a) Yatay düzlem (b) Düşey düzlem

Bu bölümde benzetimler, CST programının sonlu integrasyon yöntemi (Finite Integration Technique-FIT) ile çalışan zaman uzayı çözücüsünde gerçekleştirilmiştir. Zaman uzayı çözücü ile yapılan benzetimlerin doğruluğunu göstermek amacıyla aynı programın frekans uzayı çözücülerinden olan ve genelde elektriksel olarak büyük modellerin hesaplama verimliliği için denklem sistemi çözümünde çok seviyeli hızlı çok-kutup yöntemi (Multi Level Fast Multi-Pole Method-MLFMM) kullanan integral denklem çözücüsü ile benzetim tekrarlanmıştır.

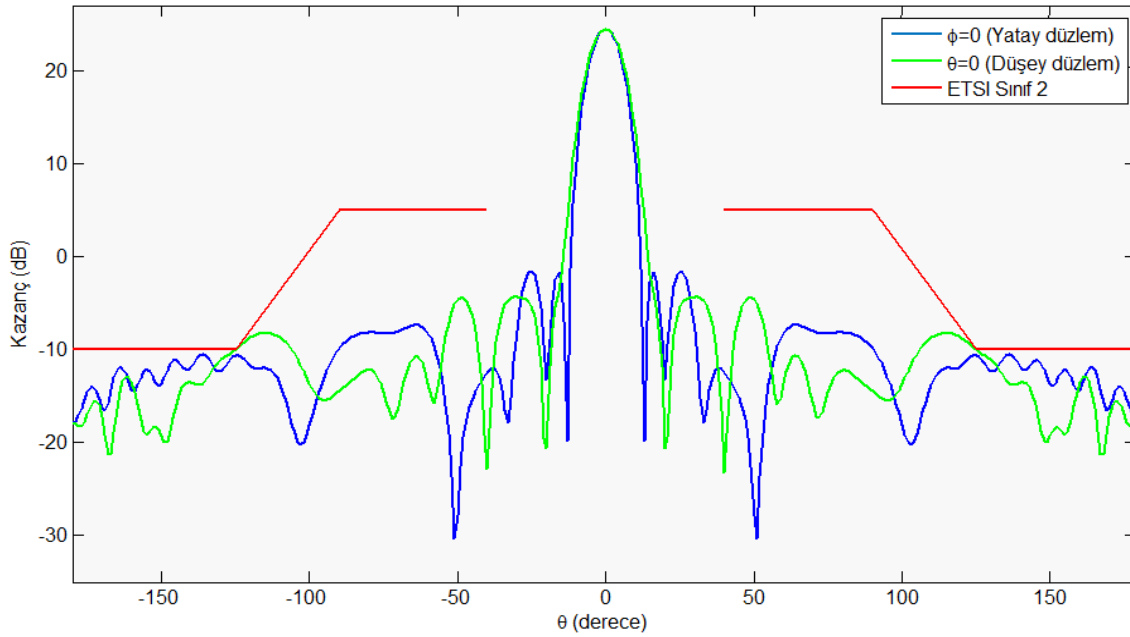
İntegral denklem çözücüsü, elektriksel açıdan büyük moment yöntemi (Method of Moments-MoM) problemlerinin çözümünü hızlandırmak için MLFMM yöntemini kullanmaktadır [14]. Ticari simülasyon araçlarının temeli olan ve ışığı/şarjı üzerinde indüklenen bilinmeyen yüzey akımı yoğunluğunun elde edilmesindeki karmaşıklığı azaltan MLFMM, MoM'a göre daha az hafıza ve işlemci gücü gerektiren bir benzetim tekniğidir [15]. Zaman uzayı çözücü ve integral denklem çözücüsü ile yapılan benzetim sonucunda elde edilen normalize ışım desenleri Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak sergilenmiştir.

*İletişim yazarı, e-mail: gsahan@dho.edu.tr



Şekil 7. Zaman uzayı çözücü ve integral denklem çözücü ile hesaplanan normalize ışınma desenleri karşılaştırması (a) Yatay düzlem (b) Düşey düzlem

Karşılaştırma sonucunda, ışınma desenlerine ait yarı güç hüzmeye genişliği ile yan ve arka kulakçık seviyelerinin yakın olduğu görülmektedir. Grafiklerde görülen farklılıklar integral denklem çözücüsünde yanlış alan çözümüne neden olan çok-kutup açılımı hatası ve her iki çözücünün karakteristik olarak bünyelerinde barındırdıkları numerik hesaplama hatalarından kaynaklanmaktadır [16]. Önerilen reflektör anten modeli ETSI Sınıf-2 standartlarını karşılamaktadır (Şekil 8) [17].



Şekil 8. ETSI Sınıf 2 standardı ile önerilen reflektör anten modeli ışınma deseni

4. YORUMLAR VE SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada yatay ve düşey düzlemde düşük arka/yakın yan kulakçık seviyesine sahip üç elemanlı Yağı dizi beslemeli parabolik reflektör anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımda önerilen yöntemde; yatay ve düşey düzlemde arka/yakın yan kulakçık seviyelerinin artmasına neden olan ışınımları dağıtmak için metalik şeritler ve parabolik kesitli omuz yapısı kullanılmıştır.

CST programının zaman uzayı çözücüsü ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda bahse konu yöntemler başarılı performans göstermiştir. Zaman uzayı çözücü ile elde edilen sonuçların doğrulanması amacıyla; CST programının integral denklem çözücüsü kullanılmış ve tutarlı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca, önerilen anten modelinin ETSI Sınıf-2 standartlarına uyumluluğu da gösterilmiştir. Çalışmada önerilen teknikler, mevcut reflektör yapısında değişikliğe neden olmadığından diğer parabolik reflektör antenlere de uygulanabilecektir. Bu çalışma, omuz iç yüzeyinin mikrodalga soğurucu malzeme ile kaplanması ve reflektör ön yüzeyinde farklı şekillerde (üçgen, dikdörtgen vb.) metalik şeritler kullanılması şeklinde genişletilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Begum S.R.U. ve Ramakrishna D., "Design and Development of 18 GHz Reflector Antenna for Microwave Point to Point Links", IEEE Annual India Conference, Hyderabad, 1-6, 16-18 Aralık 2011.
- [2] Hwang Y. ve Han C., "A GTD Analysis of Shroud-Surrounded Reflector Antenna", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Washington, D.C., USA, 389-391, 15-19 Mayıs 1978.
- [3] Narasimhan M. S., Raghavan K. ve Ramanujam P., "GTD Analysis of the Radiation Patterns of a Prime Focus Paraboloid With Shroud", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Cilt:31, Sayı:5, 792-794, Eylül 1983.
- [4] Gürcan M.E., Başaran E. ve Türetken B., "Analyzing of the Feed Line and the Shroud Effects on a Reflector Antenna Performance", URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, 1-4, 13-20 Ağustos 2011.
- [5] Satoh T., Endo S., Matsunaka N., Betsudan S. ve Katagi T., "Sidelobe Level Reduction by Improvement of Strut Shape", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Cilt 32, No 7, 698-705, Temmuz 1984.

- [6] Lang K.C., Lee S., Lang K. ve Chang D., "Sidelobe Reduction of a Parabolic Reflector with Auxiliary Reflectors", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Cilt 35, No 12, 1367-1374, Aralık 1987.
- [7] Gong Y.X., Zhen L., Mittra R., Yu W.H. ve Shao W.Z., "Edge treatment for Sidelobe Reduction of Parabolic Reflector Antenna with a Two-layer Absorber", 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Spokane WA, 2184-2186, 3-8 Temmuz 2011.
- [8] Harmouch, A.H., Kamali W.A., Sanjakdar G.A., ve El-Abed A.Y., "Effects of Metallic Strips on the Radiation Characteristics of Dish Reflector Antenna", PIERS Proceedings, Cambridge, USA, 5-8 Temmuz 2010.
- [9] Milligan, T., "Modern Antenna Design", John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2005.
- [10] Balanis, C. A., "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2005.
- [11] Singer, A., "Feed Design and Selection For Microwave Antennas", Mobile Radio Technology, Primedia Business Magazines & Media Inc., Şubat 2003.
- [12] Stutzman, W.L. ve Thiele, G.A., "Antenna Theory and Design", John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [13] Viezbicke, P.P., "NBS Technical Note 688: Yagi Antenna Design", US Department of Commerce, Washington, DC, 1976.
- [14] Reddy, C. J. ve Gampala, G., "Comparison of Various CEM Methods For Antenna Array Applications", 31st International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES), Williamsburg, VA, 1-2, 22-26 Mart 2015.
- [15] Borries, O., Jorgensen, E. ve Meincke, P., "Solution of Electrically Large Scattering Problems on a Laptop", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, 2183-2184, 19-24 Temmuz 2015.
- [16] Zhao, H., "MLFMM-Accelerated Integral-Equation Modeling of Reverberation Chambers", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Cilt 55, Sayı 5, 299-308, Ekim 2013.
- [17] ETSI EN 302 217-4-1 V1.4.1, "Fixed Radio Systems; Characteristics and Requirements for Point-to-Point Equipment and Antennas; Part 4-1: System-Dependent Requirements for Antennas", European Standard, Telecommunications Series, 2009.