



Application of equivalent paraboloid antenna and equivalent feed methods for off-focus fed dual asymmetric reflectors

Gökşen Turgut^{1*}, Erdem Yazgan²

¹Department of Electric-Electronics Engineering, Hacettepe University, Beytepe, Çankaya, Ankara, 06800, Turkey

²Department of Electric-Electronics Engineering, TED University, Sıhhiye, Çankaya, Ankara, 06420, Turkey

Highlights:

- Analysis of 3-D off-focus fed and asymmetric dual antenna systems
- Equivalent paraboloid antenna and equivalent feed techniques
- Radiation pattern calculations for asymmetric Cassegrain and Gregorian antenna systems

Keywords:

- Off-focus feed,, dual reflector antennas
- Asymmetric dual reflector antennas
- Equivalent feed
- Equivalent paraboloid antenna
- Physical optics integral

Article Info:

Research Article
Received: 30.03.2018
Accepted: 27. 01.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.571637

Correspondence:

Author: Erdem Yazgan
e-mail:
erdem.yazgan@tedu.edu.tr
phone: +90 312 585 0027

Graphical/Tabular Abstract

Off-focus fed reflector antennas are preferred to prevent loss due to aperture blockage effect of secondary reflector and feed in the reflector antenna system. For this reason, it is important to calculate the radiation pattern in the direction of the main beam, especially for single and double reflector antennas with feeder antennas or antenna arrays shifted from the focal point.

In this study, a new formulation is given for the acceleration of the calculation by applying the Physical Optics method is modeled by using an equivalent paraboloid reflector antenna and equivalent feed techniques in 3-D off-focus fed and asymmetric structures of dual antenna systems used in satellite-earth stations.

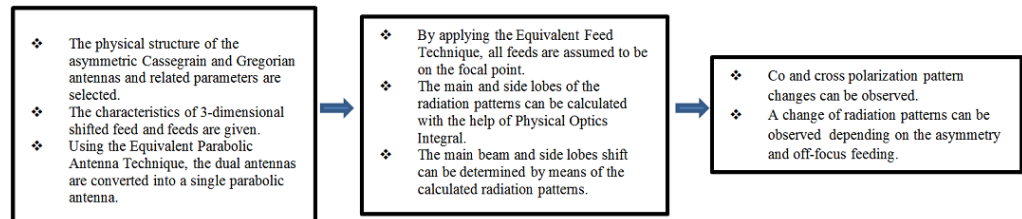


Figure A. Application of Equivalent feed and Equivalent Paraboloid Techniques for 3-D off-focus fed and Asymmetric Cassegrain and Gregorian Antennas

Purpose:

Aimed to increase the speed of calculation by combining two different techniques which helps to obtain the radiation patterns of off-focus fed and asymmetric Cassegrain and Gregorian reflectors.

Theory and Methods:

It is possible to find an equivalent model for the radiation patterns of a Cassegrain or Gregorian antenna fed by an array, using equivalent feeding and equivalent paraboloid antenna methods.

Results:

Optimization methods and genetic algorithms for estimating the parameters required for the feed and reflector parts in calculations can be easily applied for different structures

Conclusion:

In the study given in detail above, two methods are combined to provide an easy and fast solution for the calculation of the radiation pattern in the complex physical structures for Cassegrain and Gregorian reflector antenna systems. This method saves time for calculating the radiation pattern in the main beam direction and for making the necessary optimizations, especially in using the PO integral.



Odak dışı beslemeli asimetrik ikili reflektör anten sistemlerinde eşdeğer paraboloid anten ve eşdeğer besleyici yöntemlerinin uygulanması

Gökşen Turgut^{1*} , Erdem Yazgan² 

¹Hacettepe Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Beytepe, Ankara, 06800, Türkiye

²TED Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kolej, Ankara, 06420, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- 3-B odak dışı beslemeli ve asimetrik ikili anten sistemleri analizi
- Eşdeğer paraboloid anten ve eşdeğer besleyici teknikleri
- Asimetrik Cassegrain ve Gregorian anten sistemlerinde ışınma örüntüsü hesaplanması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.03.2018

Kabul: 27.01.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.571637

Anahtar Kelimeler:

Odak dışı besleme,
ikili asimetrik reflektör
antenler,
eşdeğer besleyici,
eşdeğer paraboloid anten

ÖZET

Reflektör anten sistemlerinde ikincil reflektör veya besleyici tarafından ışınma örüntüsünün engellenmesi nedeniyle oluşan kayıpları önlemek amacı ile odak dışından besleme tercih edilir. Bu nedenle odak noktasından kaymış besleyici anten veya anten dizilerine sahip tekli ve ikili reflektör antenlerin özellikle ana kulakçık yönündeki ışınma örüntüsünün hesaplanması önemli bir konudur. Bu çalışmada uydu-yer istasyonlarında kullanılan ikili anten sistemlerinin 3-B odak dışı beslemeli ve asimetrik yapılarda eşdeğer paraboloid ve odaktaki eşdeğer besleyici teknikleri ile tek bir paraboloid yansıtıcı anten şeklinde modellenmesi ve Fiziksel Optik metodu uygulanarak ışınma örüntüsünün hesaplanmasının hızlandırılması için yeni bir formülasyon verilmektedir.

Application of equivalent paraboloid antenna and equivalent feed methods for off-focus fed dual asymmetric reflectors

H I G H L I G H T S

- Analysis of 3-D off-focus fed and asymmetric dual antenna systems
- Equivalent paraboloid antenna and equivalent feed techniques
- Radiation pattern calculations for asymmetric Cassegrain and Gregorian antenna systems

Article Info

Research Article

Received: 30.03.2018

Accepted: 27.01.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.571637

Keywords:

Off-focus feed,
asymmetric dual reflector
antennas,
equivalent feed,
equivalent paraboloid
antenna

ABSTRACT

Off-focus fed reflector antennas are preferred to prevent loss due to aperture blockage effect of secondary reflector and feed in the reflector antenna system. For this reason, it is important to calculate the radiation pattern in the direction of the main beam, especially for single and double reflector antennas with feeder antennas or antenna arrays shifted from the focal point. In this study, a new formulation is given for the acceleration of the calculation by applying the Physical Optics method is modeled by using a paraboloid reflective antenna with equivalent paraboloid and equivalent feed techniques in 3-D off-focus fed and asymmetric structures of dual antenna systems used in satellite-earth stations.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: goksenturgut@gmail.com, erdem.yazgan@tedu.edu.tr / Tel: +90 312 585 0027

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uydu haberleşme istasyonlarında, radyo astronomide, radyo-linklerde ve radarlar gibi güncel mikrodalga haberleşme sistemlerinde ana yansıtıcı olarak kullanılan tekli Paraboloid uzun yıllardır araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir [1]. Daha sonra kazanç artırmak üzere kullanılan, ikili antenler olan Cassegrain ve Gregorian antenler pek çok araştırmacı için değerli ve ilginç bir olmuştur [2, 3].

Çok uzun mesafelere sinyal iletmeleri ve başkaca haberleşme sistemlerinde karışıma neden olmamaları amacı ile dar ana kulakçık, yüksek kazanç, düşük arka ve yan kulakçık seviyelerine sahip olmaları gereksinimi nedeniyle odak dışı besleme şekilleri, dizi anten beslemeleri, ikili anten sistemlerinde eksenlerin kaydırılması, alıcı-verici işaret izolasyonu yeni tasarımlar üzerinde yoğun çalışmalar yapılmasına neden olmaktadır [4, 5]. Özellikle Cassegrain ve Gregorian tipi ikili antenlerde eksenleri kaydırma durumlarında ve asimetric karmaşık yapılarda kurulu sistemler üzerinde gerçekleştirilen ölçümler veya kurulu sistemlerin parametreleri baz alınarak benzetim programları yardımı ile incelemeler yapılır [1, 2].

Reflektör antenlerin analizleri için bilinen ve geliştirilen çeşitli yöntemler mevcuttur [6]. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı yüzey akımının integralinden uzak alan ifadelerinin hesaplanmasıdır [7]. Bu yaklaşıma dayalı yöntemlerin başında Fiziksel Optik (FO) gelmektedir[8]. Bilindiği gibi Fiziksel Optik yöntemi ile yansıtıcının yaydığı alanları, yansıtıcı yüzeyine besleyiciden gelen alanların yansıtıcı yüzeyinde oluşturduğu akım yoğunluklarının tüm yüzey üzerinden ışına integrali olarak bilinen integralin alınmasıyla ana kulakçık ve yan kulakçık bölgesinde ışına örüntüsü elde edilir [9]. FO integralinde elde edilen akım ifadelerinde yansıtıcıların kenarlarında oluşan akımlar için ilave bir akım terimi eklenmesiyle uygulanan Fiziksel Kırınım Kuramı (FKK) ile kırınım etkilerinin de dikkate alınabilmesi sağlanmaktadır. FO gibi akım integrali temelli yöntemlerde temel zorluk, fiziksel yapının karmaşıklığına dayalı olarak formülasyonun yeniden yapılması ve integral çözümü süresinin uzunluğudur.

Bu çalışmada asimetric ve odak dışından besleyicili Cassegrain ve Gregorian tipi ikili antenler için literatürde bulunan eşdeğer paraboloid anten yöntemi [9] ve iki boyutlu kaymış besleyici için yansıtıcı yüzeyi üzerinde oluşan yüzey akım yoğunluklarını veren odakta eşdeğer besleyici formülasyonunu [10], gerekli koordinat dönüşümleri kullanılarak [11], odaktan üç boyutlu (3-B) kaymış besleyici için geliştirilmiş bulunan odakta eşdeğer besleyici yöntemi [12] ile birleştirilerek FO yöntemi uygulanmıştır[13, 14]. Eşdeğer paraboloid anten yönteminin kullanılabilmesi de bazı koşulların gerçekleşmesine bağlıdır. Bu koşullardan birincisi, alt yansıtıcı boyutunun 10-15λ'dan büyük olmasıdır. Ana yansıtıcı boyutunun da dalga boyundan çok büyük olması gereken koşullar arasındadır. Bunun nedeni, bu yöntemin formülasyonunda kırınım etkilerinin göz önüne

alınmadığı ışın optiği analizinin ancak bu koşullarda geçerli olabileceği gerçeğidir. Uygulanan yöntem sayesinde formülasyonda bazı parametrelere değerler vererek simetric ikili ve tekli reflektör yapılarının analizi rahatlıkla yapılabilir durumdadır. Aşağıda asimetric ikili anten sistemlerinde eşdeğer paraboloid antenin elde edilişi ve genişletilmiş 3-B odak dışı besleyici için odaktan beslemeli eşdeğer besleyici elde edilmesi yöntemleri özetlenmiştir. Daha sonra ele alınan odak dışı beslenmiş asimetric ikili antenlere FO yardımı ile düz-kutuplanmalı ve çapraz-kutuplanmalı uzak alan ışına örüntüsü değişimleri hesaplanmıştır. Geliştirilen bu formülasyon yardımı ile hava taşıtlarının ön uçlarına monteli metmalzemeler yardımı ile radar kesit alanı azaltılması ve mikroşerit antenlerdeki optimizasyon tekniklerindeki gelişmeler yardımı ile paraboloid,hiperboloid ve elipsoid yapıları faz dizi antenli radarların ışına örüntüler hesaplanabilir[16, 17].

2 FORMÜLASYON (FORMULATION)

Analiz ve formülasyon üç bölümde gerçekleştirilecektir. Bu üç bölümden ilki asimetric Cassegrain ve Gregorian ikili antenler için eşdeğer paraboloid antenin elde edilmesi[9], ikincisi literatürde odak dışı iki boyutlu biçimde kaymış besleyicili paraboloid anten için bulunan eşdeğer odaktan beslenmiş paraboloid anten için bulunan formülasyonun [10], gerekli koordinat dönüşüm yöntemlerinin [11] kullanılarak, 3-B olarak odak dışına kaymış besleyici için eşdeğer besleyicinin elde edilmesi [12] ve son olarak eşdeğer yüzey akımlarının bulunarak FO yönteminin uygulanmasıdır. Bu yöntemle ikili yansıtıcı analiz problemi, aynı kaynak ile beslenen tekli yansıtıcı problemine dönüşür[13, 14].

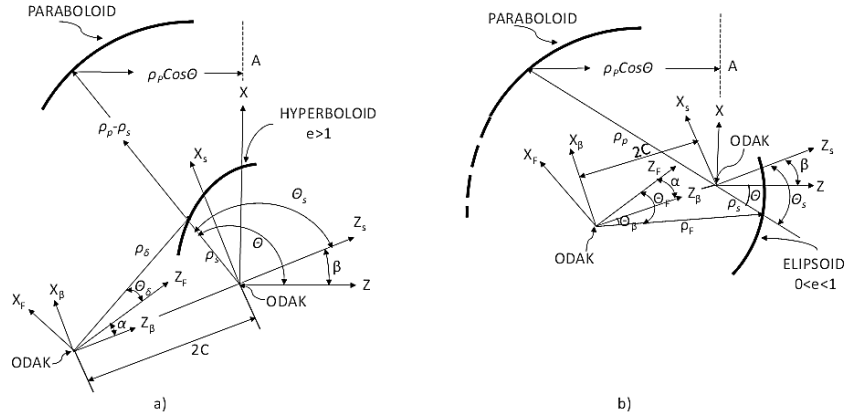
2.1. Asimetric İkili Antenler ve Eşdeğer Paraboloid Anten Modellemesi

(*Asymmetric Dual Antennas and Equivalent Parabolic Antenna Modeling*):

İkili yansıtıcı sisteminde alt yansıtıcı yüzeyine odaklardan birinden gelip diğerinden geçecek şekilde yansıtıcıdan sonra ana yansıtıcıdan (paraboloid) anten eksenine paralel olarak yansıyan ışınlar ile bunlara karşılık gelen ve gerçek odak noktasından alt yansıtıcıya gelen ışınların uzantılarıyla kesişimlerinin oluşturduğu yüzey eşdeğer paraboloid anten olarak tanımlanır. Cassegrain ve Gregorian tipi ikili yansıtıcı için, düzlem dalgayı küresel dalgaya ya da küresel dalgayı düzlem dalga çevirdiği için eşdeğer yüzey bir paraboloiddir.

Şekil 1'de eş odaklı asimetric Cassegrain ve Gregorian ikili anten yapıları görülmektedir [3, 9].

Her iki anten geometrisinde paraboloidin odak uzaklığı F , alt yansıtıcının dış merkezliliği ϵ ve iki odak arası uzaklık $2c$ olarak tanımlanmıştır. Hiperboloid ve elipsoid antenlerin simetri eksenini paraboloid antenin simetri eksenine göre β açısı kadar döndürülmüştür. Burada (x, y, z) ve (x_s, y_s, z_s) eksenleri paraboloidin odağında yer alırken, (x_f, y_f, z_f) ve $(x_\beta, y_\beta, z_\beta)$ koordinat sistemlerinin orijini hiperboloid/elipsoidin



Şekil 1. Asimetrik a) Cassegrain ve b) Gregorian anten geometrileri
(Asymmetric (a) Cassegrain and (b) Gregorian antenna geometries)

odağındadır. Bu tanımlanan koordinat sistemlerine ilişkin küresel koordinat değişkenleri sırası ile (ρ, θ, φ) , $(\rho_s, \theta_s, \varphi_s)$, $(\rho_f, \theta_f, \varphi_f)$ ve $(\rho_\beta, \theta_\beta, \varphi_\beta)$ şeklindedir. Şekilde (R, Θ, Φ) ve (X, Y, Z) anten sistemine ilişkin uzak alan gönlem noktasının sırasıyla küresel ve kartezyen koordinat sistemleri değişkenleridir. Her iki sistemde de ana yansıtıcı olarak kullanılan paraboloid üzerinde yer alan bir noktanın odak noktasından uzaklığı (Eş. 1)

$$\rho_p = \frac{2F}{1 + \sigma \cos \theta} \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Yukarıda görülen θ açısı Cassegrain yapısında saatin ters yönünde ve Gregorian yapısında saat yönünde tanımlı olacağı nedeniyle bu iki anten yapılarını bir biçimli ifade edebilmek için σ sırası ile -1 ve +1 değerini alır. Cassegrain ve Gregorian antenler için birleşik olarak

$$\rho_f + \sigma \rho_s = \frac{2e}{c} \quad (2)$$

ve

$$\rho_f = \frac{c}{e} \times \frac{e^2 - 1}{e \cos \theta_\beta - 1} \quad (3)$$

Eş. 2, Eş. 3 gibi ifade edilir.

Yukarıda verilen ikili anten yapıları için besleyici örüntüsü $\bar{E}(\theta_f, \phi_f)$ olarak alındığında açıklık düzleminde alan ifadesi Eş.4'deki gibidir.

$$\bar{E}_A = \bar{E}(\theta_f, \phi_f) \frac{1}{2F \frac{|e^2 - 1|}{(e^2 + 1) - 2e \cos \beta}} [1 + C_1 \sin \theta_f \cos \phi_f + C_2 \cos \theta_f] \quad (4)$$

burada $C_1, C_2, \sin \alpha$ ve $\cos \alpha$

$$C_1 = \frac{(e^2 - 1) \cos \alpha \sin \beta + [2e - (e^2 + 1) \cos \beta] \sin \alpha}{(e^2 - 1) - 2e \cos \beta} \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{(e^2 - 1) \cos \alpha \sin \beta - [2e - (e^2 + 1) \cos \beta] \cos \alpha}{(e^2 + 1) - 2e \cos \beta} \quad (6)$$

$$\sin \alpha = \frac{(e^2 - 1) \sin \beta}{(e^2 + 1) - 2e \cos \beta} \quad (7)$$

$$\cos \alpha = \frac{(e^2 + 1) \cos \beta - 2e}{(e^2 + 1) - 2e \cos \beta} \quad (8)$$

(Eş. 5-Eş. 8) şeklindedir. Yukarıdaki ifadelerde, pozitif açı saatin ters yönüne, negatif açı ise saat yönüne karşılık gelmektedir. İkili yansıtıcı antenin için eşdeğer paraboloid antenin tanımlanabilir olması için α açısı z_f ekseninin, eşdeğer paraboloid eksenine çakışacağı şekilde seçilmelidir. Eşdeğer odak uzaklığı ifadesi $\beta=0$ sınırında simetrik Cassegrain ve Gregorian antenlerin standart sonucuna dönüşür. Detayları [9, 13] de bulunabilen ve özeti [14] de verilen formülasyon ile yukarıdaki asimetrik Cassegrain ve Gregorian tipli ikili anten yapıları için eşdeğer paraboloid yapı aşağıda Şekil 2 ve 3 de gösterildiği şekilde elde edilebilir.

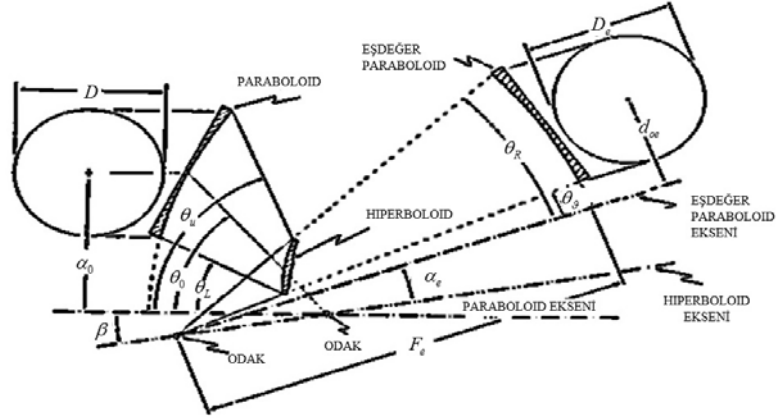
Yukarıda görülen parametreler d_o ve D : Asimetrik paraboloid antenin merkezinin simetri eksenine uzaklığı (asimetri uzaklığı) ve dairesel xy-düzlemi izdüşüm açıklığının çapı

d_{oe} ve D_e : Eşdeğer paraboloidin asimetri uzaklığı ve dairesel xy-düzlemi izdüşüm açıklığının çapı

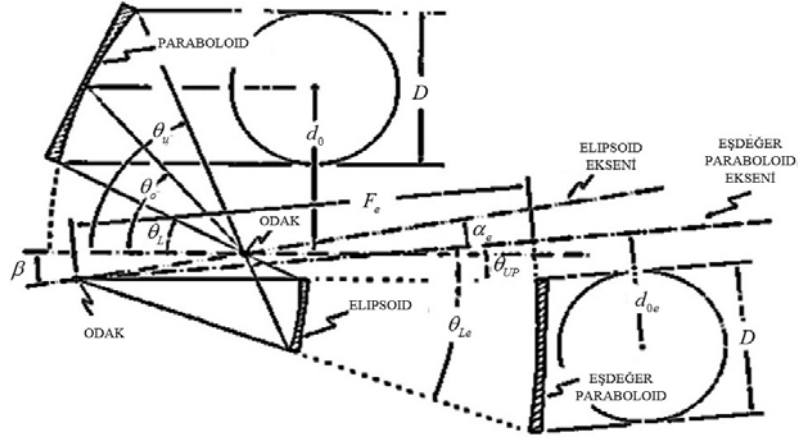
θ_{ue} ve θ_{le} : Eşdeğer paraboloidin üst ve alt kenarları ile pozitif z_f - eksen arasındaki açılar

Eşdeğer paraboloidine ilişkin D_e ve d_{oe} parametrelerini elde etmek amacıyla $y=0$ düzleminde

$$\theta_\beta = \theta_f + \alpha \quad (9)$$



Şekil 2. Dairesel çıkış açıklığına sahip asimetric Cassegrain anten için eşdeğer paraboloid [9]
(Paraboloid for asymmetric Cassegrain reflector with circular aperture [9])



Şekil 3. Dairesel çıkış açıklığına sahip asimetric Gregorian anten için eşdeğer paraboloid [9]
(Paraboloid for asymmetric Cassegrain reflector with circular aperture [9])

$$\tan\left(\frac{\theta_f + \alpha}{2}\right) = \frac{|e-1|}{e+1} \left[\tan\left(\frac{\theta - \beta}{2}\right) \right]^\sigma \quad (10)$$

ve

$$\tan\frac{\theta_f}{2} = \frac{e^2 + 1 - 2e \cos \beta}{|e^2 - 1|} \left(\tan\frac{\theta}{2} \right)^\sigma - \frac{2e}{e^2 - 1} \sin \beta \quad (11)$$

(Eş. 9, Eş. 10, Eş 11) şeklindedir.

Bu parametrelere ilişkin eşitlikler, gerekli işlemler yapılarak; eşdeğer paraboloidin üst ve alt kenarlarının odak noktasına uzaklıkları sırasıyla

$$\rho_{pue} = \frac{2F_e}{1 + \cos \theta_{ue}}, \quad (12)$$

$$\rho_{ple} = \frac{2F_e}{1 + \cos \theta_{le}} \quad (13)$$

Eş. 12, Eş. 13 olarak bulunur. Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak eşdeğer paraboloidin D_e ve eşdeğer paraboloid eksenine uzaklık d_{oe}

$$D_e = 2F_e \left(\tan \frac{\theta_{ue}}{2} - \tan \frac{\theta_{le}}{2} \right), \quad (14)$$

ve

$$d_{oe} = F_e \left(\tan \frac{\theta_{ue}}{2} + \tan \frac{\theta_{le}}{2} \right) \quad (15)$$

Eş. 14, Eş. 15 olarak bulunur.

Gregorian yapı için θ yerine θ_{ue} , θ_{le} ve σ yerine 1 konur. Aynı şekilde Cassegrain yapı için θ yerine $\pi - \theta_{ue}$, $\pi - \theta_{le}$ ve σ yerine -1 konur. Bu durumda paraboloidin üst ve alt kenarlarının negatif z - eksenine ile yaptığı açılar sırası ile θ_u ve θ_l olarak tanımlanırsa

$$D = D_e = 2F \left(\tan \frac{\theta_l}{2} - \tan \frac{\theta_u}{2} \right) \quad (16)$$

$$d_{oe} = -\sigma \left(d_0 - 2F \frac{2e \sin \beta}{e^2 + 1 - 2e \cos \beta} \right) \quad (17)$$

ve

$$d_o = F \left(\tan \frac{\theta_u}{2} + \tan \frac{\theta_l}{2} \right) \quad (18)$$

Eş. 16, Eş. 17, Eş. 18 ile ortak olarak formüle edilir.

Bu Eşdeğer Paraboloid yapılarında; İkili antene ilişkin parametrelerin uygun ($d_{oe} = 0$) seçimiyle eşdeğer paraboloid simetrik olabilir. Ana yansıtıcının dairesel izdüşüm açıklığına sahip olduğu sistemlerde, yayılan çapraz-kutuplanmış enerjiyi azaltmak amacıyla, kaynağın eşdeğer paraboloid eksenine doğru yatay olacak şekilde yönlendirilmesi tercih edilir. Genel olarak eşdeğer paraboloid ekseninin altyansıtıcı açılal merkezi ile çakışık olmaması sebebiyle bu durum besleyici enerjisinde aşırı bir taşma meydana getirir. Sistem parametreleri simetrik eşdeğer paraboloid elde edilecek şekilde seçilirse eşdeğer paraboloid eksenini altyansıtıcının açılal merkezi ile çakışır. Böylece minimum taşma ve çapraz kutuplanma seviyeleri elde edilir[14]. Bu durumda özellikle ikili ofset ve odak dışı beslemelerde tüm farklı fiziksel yapılar için tek tek formülasyon ve çözümleme yapmaya gerek kalmaz, zamandan tasarruf edilmiş olur.

2.2. Odak Dışı Beslemeli ve Asimetrik Paraboloid Yansıtıcı Antenlerden Yayılan Alanların Eşdeğer Besleyici Yardımı ile Bulunması – Yöntemin Uygulanması

(Scattering Field Formulation for Off-focus Fed and Asymmetrical Parabolic Reflector Antennas by Using Equivalent Feed Techniques)

Asimetrik yapılarla ilişkin özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

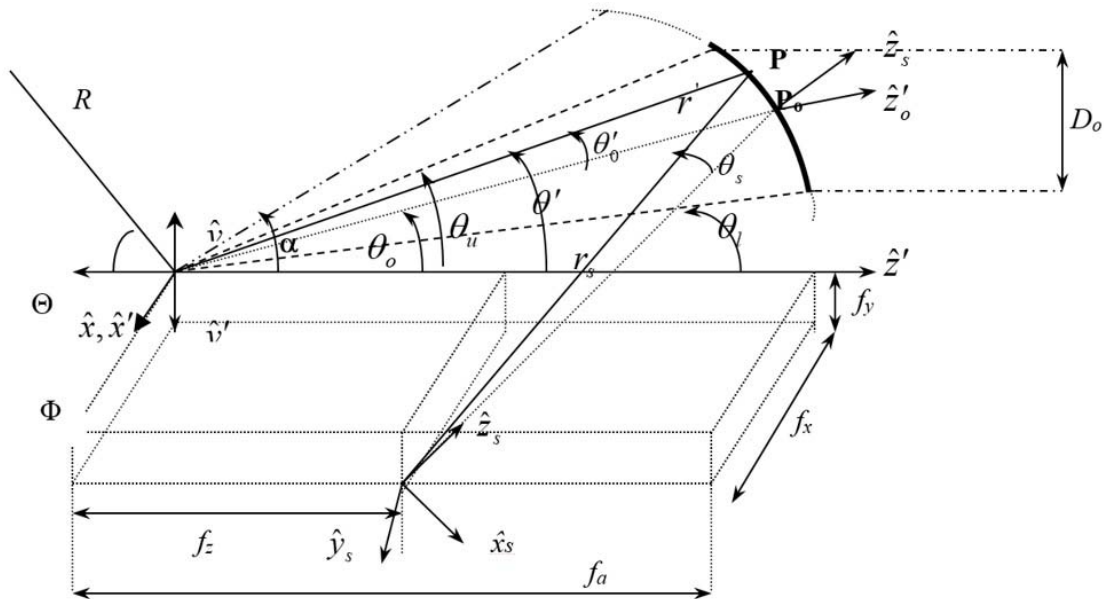
Bu yapılar açıklık tutulmasına dayalı kayıpların ortadan kaldırılması için tasarlanır. Konik yüzeyle yansıtıcı profilinin dönme eksenine göre asimetriktir. Besleyiciye ilişkin koordinat sistemi genellikle ışımının en yüksek olduğu noktanın asimetrik yansıtıcının merkezine karşılık geleceği şekilde seçilir (taşmayı engellemek amacıyla). Uydu iletişim sistemlerinde yer istasyonlarında yaygın olarak kullanılır.

Şekil 4’de asimetrik yapıya ilişkin kullanılan koordinat sistemleri görülmektedir, kullanılan değişkenler

- r_s, θ_s, ϕ_s : Besleyiciye ilişkin küresel koordinat sistemi değişkenleri
- r', θ', ϕ' : Yansıtıcıya ilişkin küresel koordinat sistemi değişkenleri
- r'_o, θ'_o, ϕ'_o ve x'_o, y'_o, z'_o : Sırasıyla, asimetrik yansıtıcının merkezine yönlendirilmiş olan eşdeğer besleyiciye ilişkin küresel ve kartezyen koordinat sistemi değişkenleri

R, Θ, Φ ; Gözlem noktasına ilişkin küresel koordinat sistemi değişkenleri

f_a : Yansıtıcının odak uzaklığı



Şekil 4. Asimetrik Paraboloid Anten Sistemi için kullanılan Koordinat Sistemleri
(Used Coordinate Systems for Asymmetric Paraboloid Antenna system)

f_x, f_y, f_z : Besleyicinin odak noktasına göre kartezyen koordinatlardaki konumu

θ_0 : Asimetri açısı

θ_u, θ_l : Asimetrik yansıtıcının yz-düzlemindeki kesitinin sırasıyla üst ve alt sınır noktalarının, asimetrik yansıtıcının elde edildiği yansıtıcıya (tüm yansıtıcıya) ait simetri eksenine yaptıkları açılar olarak tanımlanır.

Besleyicinin bulunduğu (f_x, f_y, f_z) noktaya göre Elektrik ve Manyetik alanlar

$$\begin{aligned} \bar{E}^i &= \sqrt{A(2n+1)\cos^n \theta_s} \left(\sin \phi_s \hat{\theta}_s + \cos \phi_s \hat{\phi}_s \right) \frac{e^{-jkr_s}}{r_s} \\ &= E_{\theta_s}(r_s, \theta_s, \phi_s) \hat{\theta}_s + E_{\phi_s}(r_s, \theta_s, \phi_s) \hat{\phi}_s \end{aligned} \quad (19)$$

ve

$$\begin{aligned} \bar{H}^i &= \sqrt{A(2n+1)\cos^n \theta_s} \left(-\cos \phi_s \hat{\theta}_s + \sin \phi_s \hat{\phi}_s \right) \frac{e^{-jkr_s}}{r_s} \\ &= H_{\theta_s}(r_s, \theta_s, \phi_s) \hat{\theta}_s + H_{\phi_s}(r_s, \theta_s, \phi_s) \hat{\phi}_s \end{aligned} \quad (20)$$

genel ifadeleri Eş. 19, Eş. 20 ile tanımlanabilirler. Literatürde bulunabilen koordinat dönüşümleri yardımı ile eşdeğer yüzey akımları ve odak noktasındaki eşdeğer besleyici ifadesi [10-12],

$$\bar{H}^i = H_{\theta'_0} \hat{r}'_0 + H_{\theta'_0} \hat{\theta}'_0 + H_{\phi'_0} \hat{\phi}'_0 = H_{\theta'_0}^{(e)} \hat{\theta}'_0 + H_{\phi'_0}^{(e)} \hat{\phi}'_0 \quad (21)$$

$$H_{\theta'_0}^{(e)} = H_{\theta'_0} - \frac{n_{\theta'_0}}{n_{r'_0}} H_{r'_0}, \quad H_{\phi'_0}^{(e)} = H_{\phi'_0} - \frac{n_{\phi'_0}}{n_{r'_0}} H_{r'_0} \quad (22)$$

Eş. 21, Eş. 22 şeklinde olup, burada

$$\begin{Bmatrix} H'_{r'_0} \\ H'_{\theta'_0} \\ H'_{\phi'_0} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} s'_0 T^{c'_0} \\ s'_0 A^{c_s} \\ c_s T^{s_s} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_{r_s} \\ H_{\theta_s} \\ H_{\phi_s} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

Eş. 23 eşitliği ile bulunabilir. Dönüşüm matrisleri

$$\begin{bmatrix} s'_0 T^{c'_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta'_0 \cos \phi'_0 & \sin \theta'_0 \sin \phi'_0 & \cos \theta'_0 \\ \cos \theta'_0 \cos \phi'_0 & \cos \theta'_0 \sin \phi'_0 & -\sin \theta'_0 \\ -\sin \theta'_0 & \cos \phi'_0 & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} s'_0 A^{c_s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_2 & 0 & -\sin \beta_2 \\ \sin \beta_2 \sin(\theta_0 - \beta_1) & \cos(\theta_0 - \beta_1) & \cos \beta_2 \sin(\theta_0 - \beta_1) \\ \sin \beta_2 \cos(\theta_0 - \beta_1) & -\sin(\theta_0 - \beta_1) & \cos \beta_2 \cos(\theta_0 - \beta_1) \end{bmatrix} \quad (25)$$

ve

$$\begin{bmatrix} c_s T^{s_s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_s \cos \phi_s & \cos \theta_s \cos \phi_s & -\sin \phi_s \\ \sin \theta_s \sin \phi_s & \cos \theta_s \sin \phi_s & \cos \phi_s \\ \cos \theta_s & -\sin \theta_s & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Eş. 24, Eş. 25, Eş. 26 ile elde edilebilir. Bu durumda yüzey akım ifadesi

$$\bar{J}_s = 2\hat{n} \times \bar{H}^i = 2 \left(n_{r_0} H_{\theta'_0}^{(e)} \hat{\phi}'_0 - n_{r_0} H_{\phi'_0}^{(e)} \hat{\theta}'_0 + n_{\theta_0} H_{\theta'_0}^{(e)} \hat{r}'_0 - n_{\theta_0} H_{\phi'_0}^{(e)} \hat{r}'_0 \right) \quad (27)$$

Eş. 27 ile tanımlanır. Bu eşitliklerde $f_x = f_y = f_z = 0$ değerleri ile odaktan beslemeli bir anten; $\theta_0 = 0$ ve $\phi_0 = \alpha$ alınarak simetrik bir anten yapısına dönüştürülebilir.

2.3. Yansıtıcı Antenlerde Uzak Alan İfadelerinin Bulunması (Finding Far Fields for Reflector Antennas)

Önceden de belirtildiği gibi FO integrali yardımı ile uzak alanda bulunan gözlem noktasında alanlara ilişkin formülasyon

$$\begin{Bmatrix} \bar{E}_\Theta \\ \bar{E}_\Phi \end{Bmatrix} = -\frac{jk\eta e^{-jkr}}{4\pi R} \left\{ \iint_S (2\hat{n} \times \bar{H}^i) \cdot \begin{Bmatrix} \hat{\Theta} \\ \hat{\Phi} \end{Bmatrix} e^{jkr \cdot \hat{R}} ds \right\} \quad (28)$$

olarak yazılabilir. (Eş. 28) Bulunan uzak alan elektrik alan bileşenleri Düz Kutuplanma ve Çapraz Kutuplanma bileşenlerine Eş. 29 biçimde ayrılabilir.

$$\bar{E} = E_{düz} \hat{a}_{düz} + E_{çapraz} \hat{a}_{çapraz} \quad (29)$$

Burada

$$\begin{aligned} \hat{a}_{düz} &\equiv \sin \Phi \hat{\Theta} + \cos \Phi \hat{\Phi} = -(1 - \cos \Theta) \sin \Phi \cos \Phi \hat{x} \\ &\quad + [1 - \sin^2 \Phi (1 - \cos \Theta)] \hat{y} - \sin \Theta \sin \Phi \hat{z} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{a}_{çapraz} &\equiv \cos \Phi \hat{\Theta} - \sin \Phi \hat{\Phi} = [1 - \cos^2 \Phi (1 - \cos \Theta)] \hat{x} \\ &\quad - (1 - \cos \Theta) \sin \Phi \cos \Phi \hat{y} - \sin \Theta \cos \Phi \hat{z} \end{aligned}$$

$$E_{düz}(R, \Theta, \Phi) = \bar{E}(R, \Theta, \Phi) \cdot \hat{a}_{düz} = \bar{E}(R, \Theta, \Phi) \cdot \{ \sin \Phi \hat{\Theta} + \cos \Phi \hat{\Phi} \}$$

ve

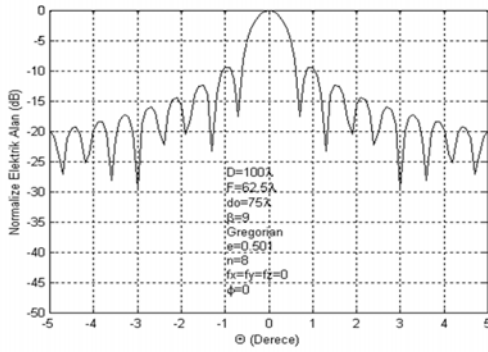
$$E_{çapraz}(R, \Theta, \Phi) = \bar{E}(R, \Theta, \Phi) \cdot \hat{a}_{çapraz} = \bar{E}(R, \Theta, \Phi) \cdot \{ \cos \Phi \hat{\Theta} - \sin \Phi \hat{\Phi} \}$$

şeklinde yazılır.

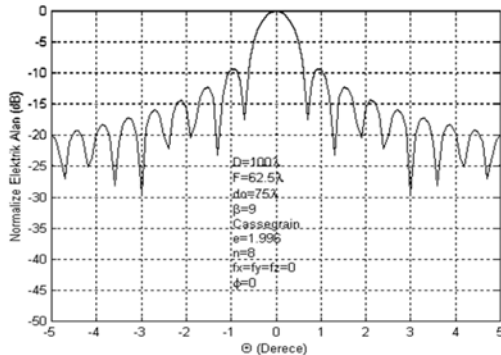
2.4. Odak Dışı Beslemeli Asimetrik Cassegrain ve Gregorian Yansıtıcı Antenlerin Işıma Örüntülerinin Eşdeğer Paraboloid ve Besleyici ile Elde Edilmesi (Finding of Radiation Patterns of Off-focused Asymmetric Cassegrain and Gregorian Reflector Antenna Systems by Using Equivalent Paraboloid and Equivalent Feed)

Yukarıda detayları verildiği gibi, eşdeğer besleyici yöntemiyle, yansıtıcının odak noktası dışında yer alan bir besleyici, yansıtıcı yüzeyinde oluşturduğu akımlarla eşit akım oluşturabilen ve odakta yer alan bir eşdeğer besleyici ile modellenebilmektedir. Böylece odak dışından beslenen bir yansıtıcının analizi, odak noktasından beslenen bir

yansıtıcının analizine dönüşmektedir. Bu yöntemin kullanılmasıyla, odaktan beslemeli ikili antenler için uygulanan eşdeğer paraboloid yönteminin odak dışı beslemeli ikili anten sistemlerine uygulaması mümkün olmaktadır. Bunun için önce odaktan beslenmiş ikili anten için eşdeğer paraboloid hesaplanmakta, ardından kaynağı odak dışına kaymış olan eşdeğer paraboloid anten için eşdeğer besleyici yöntemiyle odakta yer alan eşdeğer kaynak hesaplanmakta, son olarak da odaktan beslemeli paraboloid yansıtıcı analizi yapılmaktadır. Şekil 1a ve Şekil 1b'de görülen Cassegrain ve Gregorian ikili anten sistemleri için eşdeğer paraboloid anten yöntemi kullanılarak bulunan simetrik paraboloid anten yüzeyi üzerindeki FO akımlarının integralinin (Eş. 24) alınmasıyla elde edilen ve aynı eşdeğer paraboloid üzerinden hesaplama yapıldığında ışınma örüntülerinin aynı olduğu Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. İkili anten sistemi ve eşdeğer paraboloid odaktan beslemeli oldukları için ışınma örüntüsünde hüzme şaşılığının görülmemektedir. Yan kulakçık seviyeleri -9 dB civarındadır. Simetrik eşdeğer paraboloid koşulunu sağladığından çapraz kutuplanmış bileşen elde edilmemiştir.



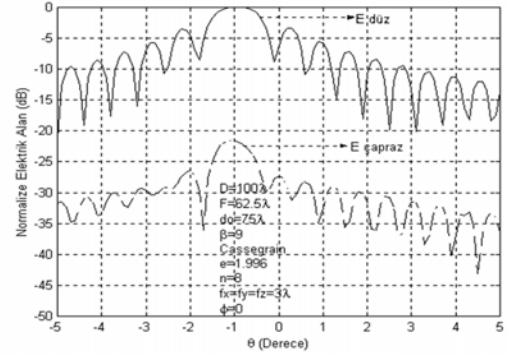
Şekil 5. Odaktan Beslemeli bir Gregorian Antenin Eşdeğer Paraboloid Yöntemi ile Elde Edilmiş Işınma Örüntüsü
 $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$
(Radiation Pattern Obtained by Equivalent Paraboloid Method of a Focus Fed Gregorian Antenna. $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$)



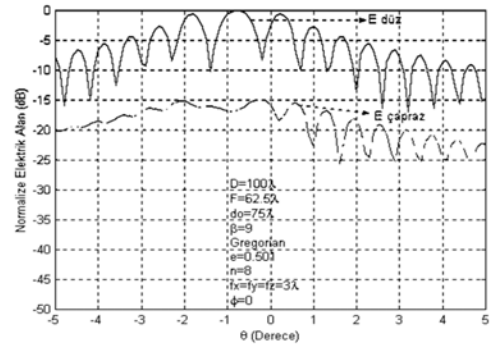
Şekil 6. Odaktan Beslemeli bir Cassegrain Antenin Eşdeğer Paraboloid Yöntemi ile Elde Edilmiş Işınma Örüntüsü
 $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$
(Radiation Pattern Obtained by Using Equivalent Paraboloid Method of a Cassegrain Antenna with a Focus Feed $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$)

Şekil 2 ve Şekil 3'de görülen ikili antenlerden alt yansıtıcı odağında yer alan besleyiciler x_f , y_f ve z_f eksenleri boyunca 3λ kadar kaydırıldığında, eşdeğer paraboloid ve eşdeğer besleyici yöntemleriyle bu sistemlere ilişkin olarak elde edilen ışınma örüntüleri Şekil 7 ve 8'de görülmektedir.

Cassegrain ve Gregorian tipindeki bu ikili antenlere ilişkin olarak bulunan bu ışınma örüntüsünde görülebileceği gibi ana hüzmede -1° civarında bir kayma gerçekleşmiştir. Cassegrain antende yankulakçık seviyesi 5 dB artarak -4 dB'ye yükselmiş, çapraz kutuplanmış alan bileşeninin en yüksek seviyesi -22,5 dB olmuştur. Gregorian antende yankulakçık seviyesi 8 dB artarak -1 dB'ye yükselmiş, çapraz kutuplanmış alan bileşeninin en yüksek seviyesi -15 dB olmuştur. Önceki antenlerden $\beta=15^\circ$ ve $d_o=90\lambda$ parametreleri ile farklı olan ve simetrik eşdeğer paraboloid koşulunu sağlamayan odaktan ve odak dışından beslemeli Cassegrain ve Gregorian anten sistemlerine ilişkin ışınma örüntüleri Şekil 9 ve 10'da görülmektedir.



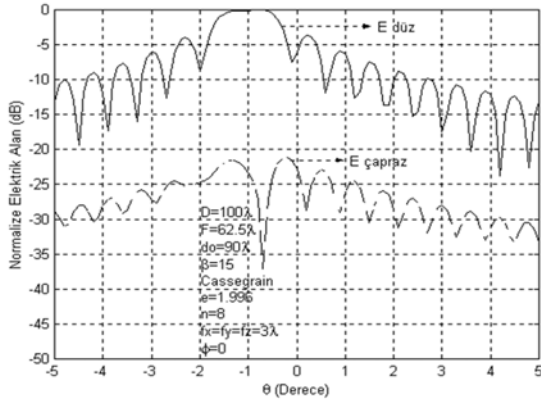
Şekil 7. Besleyicisi Odak Dışında Yer Alan bir Cassegrain Antenin Eşdeğer Paraboloid Yöntemi ile Elde Edilmiş Işınma Örüntüsü. $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$
(Radiation Pattern Obtained by Equivalent Paraboloid Method of a Cassegrain Antenna with an Off-focus Feed, $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=1,996$, $n=8$)



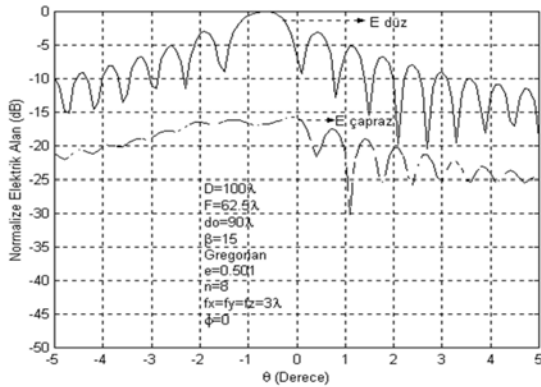
Şekil 8. Besleyicisi Odak Dışında Yer Alan bir Gregorian Antenin Eşdeğer Paraboloid Yöntemiyle Elde Edilmiş Işınma Örüntüsü. $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=0,501$
(Radiation Pattern Obtained by Equivalent Paraboloid Method of a Gregorian Antenna Located Off-Focus Fed, $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=0,501$)

Elde edilen eşdeğer paraboloid ilişkin eşdeğer odak uzaklığı $F_e=165,33\lambda$, eşdeğer asimetri uzaklığı ise $d_{oe}=24,49\lambda$ 'dır. Odaktan beslemeli antenlerin ışına örüntülerine bakıldığında çapraz kutuplanma seviyesinin simetri koşulunu sağlayan eşdeğer paraboloid göre Cassegrain ve Gregorian antenler için yükselerek sırası ile -22,5 ve -16dB civarında olduğu görülebilir.

Yukarıda elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında ana hüzme genişliği, yan kulakçık seviyesi, yan kulakçık genişliği ve çapraz kutuplanma seviyelerinin uyumlu olduğu görülür [1, 8, 15].



Şekil 9. Besleyicisi Odak Dışında Yer Alan bir Cassegrain Anteninin Eşdeğer Besleyici ve Eşdeğer Paraboloid Yöntemi ile Elde Edilmiş Işıma Örüntüsü. $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=90\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=15^\circ$, $e=1,996$, $n=8$
(Radiation Pattern of an Off-Focus Fed Cassegrain Antenna by Using Equivalent Feed and Equivalent Paraboloid Method, $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=90\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=15^\circ$, $e=1,996$, $n=8$)



Şekil 10. Besleyicisi Odak Dışında Yer Alan bir Gregorian Anteninin Eşdeğer Besleyici ve Eşdeğer Paraboloid Yöntemiyle Elde Edilmiş Işıma Örüntüsü. $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=15^\circ$, $e=0,501$, $n=8$
(Radiation Pattern of an Off-Focus Fed Gregorian Antenna by Using Equivalent Feed and Equivalent Paraboloid Method, $f_x=f_y=f_z=3\lambda$, $D=100\lambda$, $d_o=75\lambda$, $F=62,5\lambda$, $\beta=9^\circ$, $e=0,501$, $n=8$)

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yukarıda detaylı olarak verilen çalışmada, iki yansımali anten sistemlerindeki kompleks fiziksel yapılarda ışına örüntüsü hesaplamaları için kolay ve hızlı bir çözüm getiren iki yöntem birleştirilmiştir. Bu yöntem, özellikle FO integrali kullanarak ana hüzme yönünde ışına örüntüsü hesaplamasında ve gerekli optimizasyonların yapılabilmesi için zamandan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca bu yaklaşımla FO integrallerini iki kez çözmek ve uzun zamanlı integral almak gerekli değildir. Çiftli reflektörler için FO integralleri yalnızca bir kez çözülür. Bu kolay teknik, genetik algoritma yardımı ile yan kulakçık minimizasyonu için kullanılabilir. Eşdeğer besleme ve eşdeğer paraboloid anten yöntemlerini kullanarak, bir dizi ile beslenen bir Cassegrain veya Gregorian antenin ışına örüntüsü için eşdeğer model bulmak mümkündür. Hesaplamalarda besleme ve reflektör kısımları için gerekli parametreleri kestirimi için optimizasyon yöntemleri ve genetik algoritmalar kolaylıkla farklı yapılar için uygulanabilir. Bu yöntemle, bilinen bir ikili anten sistemine ilişkin eşdeğer paraboloid antenin bulunabileceği ve analiz bu sistem üzerinden yapılabileceği gibi, simetrik eşdeğer paraboloid anten üzerinden analiz edilebilecek olan ikili anten sisteminin tasarımı da eşdeğer paraboloid yöntemi kullanılarak kolaylıkla yapılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yeap, K. H., Loh, M. C., Tham, C. Y., Chong, Y. Y., Yeong K. C. and Lai K.C, Analysis of Reflector Antennas in Radio Telescopes, Advanced Electromagnetics, 5 (3), 32-38, November 2016.
2. Bird T.S. Reflector Antennas. In: Chen Z. (eds) Handbook of Antenna Technologies. Springer, Singapore, 2015.
3. Rahmat-Samii Y., Haupt R. L., Reflector Antenna Developments: Perspective on the Past, Present, and Future, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 57, 2, 85-95, April 2015.
4. Şahan G., Erden F., Başaran E., Düşük Arka/Yakın Yan Kulakçık Seviyesine Sahip Dizi Beslemeli Parabolik Reflektör Anten Tasarımı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Kısım C, 5 (3), 1-12, 2017.
5. Kong Ki-Bok, Kim Hee-Su, Aziz Rao Shahid., Design of Offset Dual-Reflector Antennas for Improving Isolation Level Between Transmitter and Receiver Antennas, Progress In Electromagnetics Research C, 57, 193–203, 2015.
6. Akçam N., Spillover Losses in Cassegrain Antennas, G. U. Journal of Science, 19, 185 - 189, 2006.
7. Gonzalez-Valdes B., Martinez-Lorenzo J., Rappaport C., ve Antonio G. P., A New Physical Optics Based Approach to Subreflector Shaping for Reflector Antenna Distortion Compensation, IEEE Transactions on Antennas & Propagation., 61 (1), 467 - 472, 2013.
8. Galindo-Israel V., A New Series Representation for the Radiation Integral with Application to Reflector Antennas, IEEE Trans. on Ant. and Prop., AP-25 (5), 1977.

9. Rusch W. V. T., Prata A., Rahmat-Samii Y., Shore R., Derivation and Application of the Equivalent Paraboloid for Classical Offset Cassegrain and Gregorian Antennas, IEEE Trans. on Ant. and Prop. AP-38, (8), 1141-1149, 1990.
10. Rusch W. V. T., An Equivalent Focused Reflector Feed in Place of any Generalized Defocused or Extended Feed, Electronics Letters, 14 (1), 1978.
11. Rahmat-Samii Y., Useful Coordinate Transformations for Antenna Applications, IEEE Trans. on Ant. and Prop., AP-27 (4), 1979.
12. Yazgan E., Şansal G. T., Three-Dimensional Equivalent Focused Feed for an Offset Paraboloidal Reflector Antenna, Electromagnetics, 24, 597-605, 2004
13. Şansal G. T., Tekli ve İkili Yansıtıcı Antenlerde Eşdeğer Besleyici ve Eşdeğer Paraboloid Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
14. Turgut G., Yazgan E., Analysis of the Asymmetric Dual Reflector Antenna Systems by Using Equivalent Feed and Antenna Concepts, ELECO 2017, 10th Int. Conference on Electrical and Electronics Eng., 30 Nov.- 2 Dec., 67-71, Bursa, Turkey, 2017.
15. Yeap K. H., Yiam C. Y., Lai K. C., Loh M. C., Lim S.K., Rizman Z. I., Analysis of Offset Antennas in Radio Telescopes, Int. J. on Advanced Science Eng. Information Technology, 6 (6), 997-1004, 2016.
16. Özden K., Özer A., Yücedağlı M. O., Koçer H., Reduction of radar cross section using metamaterial based broadband absorbers, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (4), 1105-1112, 2016.
17. Kayabaşı A., Akdağlı A., Usage of ann and anfis methods for computing resonant frequency of Slot-Loaded compact microstrip antennas, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (1), 105-117, 2016.