Parabolik Yansıtıcı Antenler için Açıklık Aydınlatma ve Kenar Yuvarlatma Etkilerinin Analizi

Ahmet Serdar Türk
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli,
e-mail: aserdar.turk@btae.mam.gov.tr

Özet: *Bu çalışmada, parabol kesitli silindirik yansıtıcı antenlerin kenar kırınımı etkilerini azaltmak süretiyle yan kulak seviyelerini düşürücü ve ön/arka oranını arttırıcı yöntemler incelenmiştir. Açıklık aydınlatmasına yönelik çeşitli genlik ve faz aydınlatma konfigürasyonları ele alınmış, bunun yanısıra kenar kırınımını azaltıcı kenar kıvırma (edge-rolling) yapıları analiz edilmiştir. Elektromanyetik saçılma probleminin çözümünde kararlı ve güvenilir sayısal sonuçlar üreten 2-boyutlu Analitik Regülarizasyon Metodu (ARM) kullanılmıştır. Parabol çapı, et kalınlığı, kenar genlik aydınlatma seviyesi, düzlem dalga ve açıklık uyumlu faz aydınlatması, kenar yuvarlatma parametrelerine göre ışıma paternleri hesaplanmıştır. ARM prosedürü analitik sonuçlarla doğrulanmakta ve 90 dB'e varan yan kulak seviyesi ile 30 dB ön/arka oranının elde edilmesinin mümkün olduğu gösterilmektedir*

1. Giriş

Parabolik yansıtıcı (yada çanak anten) mikrodalga radar, güç transferi, uydu ve nokta-nokta haberleşmesinde sıkça kullanılan popüler bir anten yapısıdır [4,5]. Boyutları genelde dalga boyuna göre çok büyük olduğundan bu tür antenlerin analizi çoğunlukla, kanonik yapılara dönük analitik yaklaşıklık teknikleri yada geometrik optik (GO) bazlı ışın sekme yöntemiyle yapılmaktadır [2]. Bunun yanısıra, özellikle kanonik olmayan keyfi geometrilerin analizinde moment metodu (MoM), sonlu eleman metodu (FEM) yada zaman domeni sonlu farklar metodu (FDTD) gibi doğrudan sayısal teknikler kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerin en büyük dezavantajı kavite gibi bazı kompleks yapılarda ciddi yakınsama sorunları yaşamaları ve sonucun doğruluğunun garanti edilememesidir [1]. Sınır değer problemini (SDP) 1. türden cebrik denklem setine dönüştürmeleri dolayısıyla oluşan bu olumsuz durum, SDP'ni 2. türden cebrik sisteme dönüştürerek sorunu çözen Analitik Regularizasyon Metodu (ARM) kullanılmak suretiyle giderilebilmektedir [3]. ARM başlangıç SDP'ni $(I+H)x=b,\ x,b\in l_2$ şeklinde eşdeğer fonksiyonel denkleme indirgemekte ve yakınsaması garanti edilebilen kesme yöntemiyle sayısal olarak çözmektedir. Bu makalede, 2-boyutlu (2-B) ARM sonlu kalınlıklı, mükemmel iletken, parabolik kesitli silindirik yansıtıcıdan E-polarize dalga saçılması problemine uygulanmıştır. Yansıtıcı geometrisi reflektör anten kesiti şeklinde ele alınmış, anteni odaktan besleyen fiktif kaynaklar modellenmiş ve 2-B ışıma paternleri hesaplanmıştır. Çanak boyu, et kalınlığı, kenar kıvırma, düzgün/genlik dağılımlı/faz uyumlu açıklık aydınlatma gibi parametrelere yönelik analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın temel motivasyonu mikrodalga radarlar olup, hedef tespit performansında son derece önemli yer tutan anten yan ve arka kulak seviyelerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. ARM algoritması analitik sonuçlarla doğrulandıktan sonra yapılan hesaplamalar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. ARM Prosedürü

Periyodik sürekliliği olan ve en az 2. derece türevi alınabilecek düzeyde regüler kabul edilen saçıcı kesit çizgisi üzerinde tanımlanan ve elektrik alan integral denklemlerini (EAİD) kullanan başlangıç sınır değer problemi (1), Fourier dönüşümleriyle sayısallaştırılıp regülerize edilmek suretiyle (2), 2. türden sonsuz cebrik sisteme indirgenmiştir (3). Bu sistemin en önemli avantajı, çözümünün 1. türe göre oldukça kararlı davranması ve kesilme prosedürüyle istenilen doğrulukla çözülebilmesidir (ayrıntılar için bkz. [3]).

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\left\{\ln\left|2\sin\frac{\theta-\tau}{2}\right|+K(\theta,\tau)\right\}Z_D(\tau)d\tau=g(\theta) \qquad ;\ \theta,\tau\in[-\pi,\pi] \tag{1}$$

$$K(\theta,\tau)=\sum_{s=-\infty}^{\infty}\sum_{m=-\infty}^{\infty}k_{sm}e^{i(s\vartheta+m\tau)} \quad ,Z_D(\tau)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}z_n e^{in\tau} \quad ,g(\theta)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}g_n e^{in\theta} \tag{2}$$

$$\hat{z}_s + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \hat{k}_{s,m}\hat{z}_m = \hat{g}_s \qquad ; s=\pm1,\pm2,... \qquad (3)$$

burada,

$$\hat{k}_{s,m} = -2\tau_s\tau_m\left[k_{s,-m} + (\delta_{s,0}\delta_{m,0})/2\right], \hat{z}_n = \tau_n^{-1}z_n, \hat{g}_s = -2\tau_s g_s, \tau_n = \max(1,|n|^{1/2}) \quad ;n=0,\pm1,\pm2,.. \quad (4)$$

Kesilmiş matris denklemi çözümünden elde edilen bilinmeyen eşdeğer katsayılar matrisinin tespiti sonucu, önce yüzey akım yoğunlukları, sonra yansıtıcıdan saçılan alan karakteristikleri belirlenir. Yansıtıcı geometrisi açıklık üzerinde eşdeğer faz ve genlik dağılımlarını verecek fiktif bir besleyici anten tarafından aydınlatılır. (Şekil 1).

3. Çanak Anten Tasarımı

Yukarıda bahsedilen ARM prosedürü farklı geometrik modellerde ve besleme türlerindeki parabolik antenlere uygulanmıştır. Şekil 1'de gösterilen 2-B silindirik yansıtıcı yapısı ele alınmıştır. Yansıtıcının kesiti parabol eğrisi biçimindedir. Dış odak uzunluğu b, iç odak uzunluğu a ve çanak kalınlığı c'dir. Çanak kesiti A-D noktaları arasında tanımlı L uzunluğunda kapalı bir kontur olarak aşağıdaki biçimde modellenmiştir.

$$L = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} \qquad \text{; toplam kontör uzunluğu} \qquad (5)$$

$$L_{AB} = b\tan\left(\frac{\psi_{02}-\psi_{01}}{2}\right),\ L_{CD} = a\tan\left(\frac{\psi_{02}-\psi_{01}}{2}\right),\ L_{BC} = R\pi c_1,\ L_{DA} = R\pi c_2 \qquad (6)$$

burada,

$$c_1 = (b-a)/(1+\cos\psi_{01})\ , \qquad c_2 = (b-a)/(1+\cos\psi_{02}) \qquad (7)$$

$\psi_{02} = -\psi_{01} = 30°$ ve R kenar yuvarlatma katsayısıdır. Kontör hattının (A-B-C-D-A) parametrizasyonu $l \in [0, L]$ değişkeniyle aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x = -\frac{2b\cos\varphi_1}{1+\cos\varphi_1} \qquad y = \frac{2b\sin\varphi_1}{1+\cos\varphi_1} \qquad , l \in [A,B] \qquad (8)$$

$$x = -\frac{2a\cos\varphi_2}{1+\cos\varphi_2} \qquad y = \frac{2a\sin\varphi_2}{1+\cos\varphi_2} \qquad , l \in [C,D] \qquad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} x &= c_2\cos[(-l+L_{AB})/c_2+\pi-\psi_{02}] - \frac{(a+b)\cos\psi_{02}}{1+\cos\psi_{02}} - (R-1)c_2\cos\psi_{02} \\ y &= c_2\sin[(-l+L_{AB})/c_2+\pi-\psi_{02}] + \frac{(a+b)\sin\psi_{02}}{1+\cos\psi_{02}} - (R-1)c_2\sin\psi_{02} \end{aligned}\right\} l \in (B,C) \quad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} x &= c_1\cos[(-l+L_{CD})/c_1+\pi-\psi_{01}] - \frac{(a+b)\cos\psi_{01}}{1+\cos\psi_{01}} - (R-1)c_1\cos\psi_{01} \\ y &= c_1\sin[(-l+L_{CD})/c_1+\pi-\psi_{01}] + \frac{(a+b)\sin\psi_{01}}{1+\cos\psi_{01}} - (R-1)c_1\sin\psi_{01} \end{aligned}\right\}, l \in (D,A) \quad (11)$$

burada, $l = (\theta+\pi)L/(2\pi)$ ve $l \in [0,L] \rightarrow (\theta,\tau) \in [-\pi,\pi]$ (12)

$$\varphi_1 = \psi_{01} + [(\psi_{02}-\psi_{01})l/L_{AB}],\ \varphi_2 = \psi_{02} - [(\psi_{02}-\psi_{01})(l-L_{BC})/(L_{CD}-L_{BC})] \qquad (13)$$

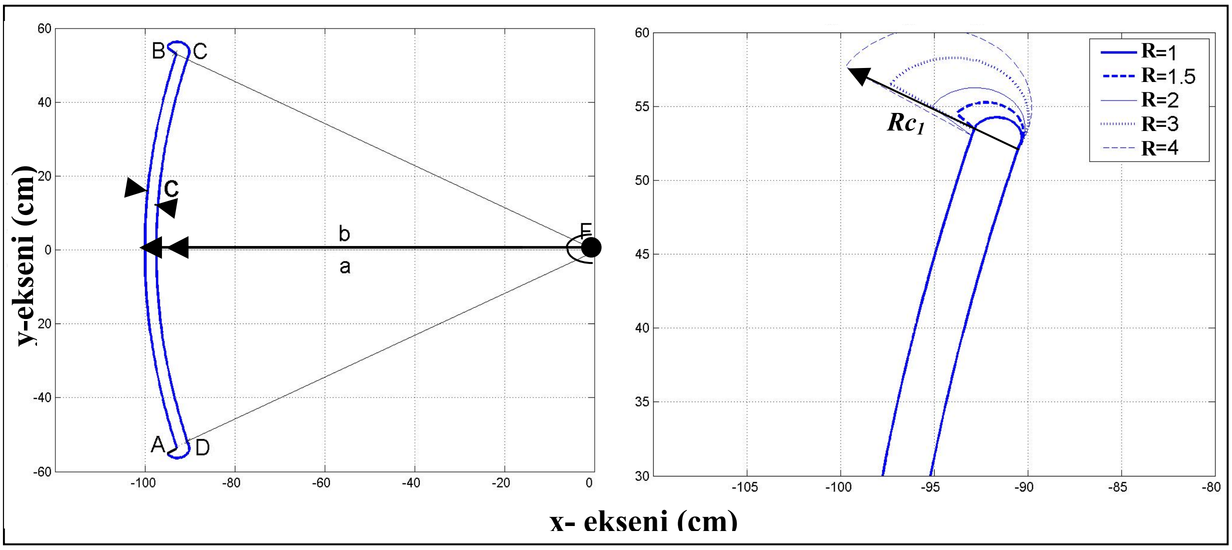
Reflektor yüzeyi üzerinde istenilen genlik ve faz aydınlatmasını sağlamak üzere bir fiktif besleme yansıtıcının odağına (F noktasına) yerleştirilmiştir. Bu bir düzlemsel dalga, çizgisel kaynak yada özel tanımlı kaynak fonksiyonu olabilir:

$$u^i(x,y) = -(i/4)H_0^1(k\sqrt{x^2+y^2}) \qquad \text{; odakta çizgisel kaynak} \qquad (14)$$

$$E_z^i(x,y) = A(y)e^{-ik(x\cos\varphi_0 + y\sin\varphi_0)} \qquad ;\ \vec{n}(\cos\varphi_0, \sin\varphi_0)\ \text{yönünde düzlem dalga} \qquad (15)$$

$$E_z^i(x,y) = A(y)e^{-i2kb/(1+\cos(\arctan(y/x)))} \qquad \text{; açıklık uyumlu faz aydınlatması} \qquad (16)$$

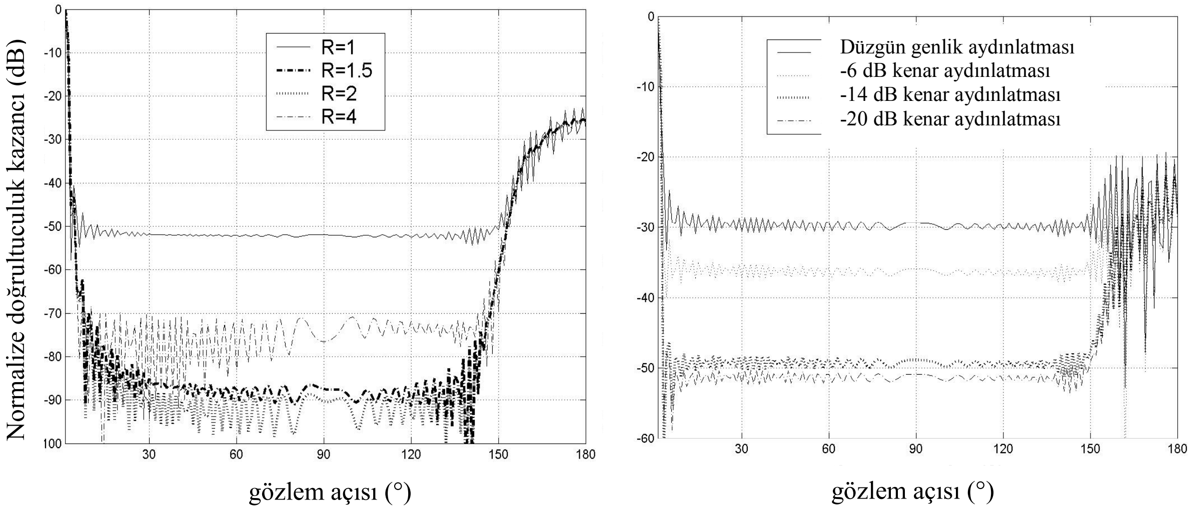
$$A(y) = 1 - y^2/\tau \qquad ;\ y \in (-d/2, d/2) \qquad (17)$$



Şekil 1. (a) Parabolik yansıtıcının XOY kesit geometrisi (b) Kenar kıvırma konfigürasyonları

Analiz işlemi değişik aydınlatma türlerinin (düzgün dağılımlı, faz uyumlu, genlik değişimli vb.) ve kenar yuvarlatma konfigürasyonlarının ışıma diyagramında ana ve yan kulaklara etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. ARM algoritması dairesel silindirin analitik çözümüyle karşılaştırılmıştır [3]. Daha sonra farklı yansıtıcı çapları, kalınlıkları ve aydınlatma paternleri için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Sayısal sonuçlara bakıldığında, ana huzme genişliğinin çanak çapıyla orantılı daraldığı, faz ve genlik uyumlu aydınlatmada yan kulak seviyelerinin oldukça düştüğü ancak bununla birlikte verim ve kazancın da azaldığı, optimum kenar kıvırma parametresiyle ise –100dB'lere varan yan kulak seviyelerinin elde edilebileceği görülmektedir (bkz. Şekil 2).

4. Sayısal Sonuçlar



Şekil 2. Değişik kenar yuvarlatma ve kenar aydınlatma katsayılarına bağlı ışıma paternleri (anten çapı=31.83λ)

Kaynaklar

[1] Wilkinson J.H., "The Algeabric Eigenvalue Problem".-Clarendon Press, Oxford, 1965.

[2] Umashankar, K., Taflove, A., "Computational Electromagnetics," Artech House, 1993.

[3] Karacuha, E., Turk, A.S., "E-polarized scalar wave diffraction by perfectly conductive arbitrary shaped cylindrical obstacles with finite thickness," Int. J. Infrared and Millimeter Waves, 22, s. 1531-1546, 2001.

[4] Skolnik, M.I, Radar handbook. McGraw-Hill, 1970.

[5] Uno, T.; Adachi, S. "Optimization of aperture illumination for radio wave power transmission", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 32, s. 628-632, 1984.