

Bölge Ürün Tekniği ile Kısmi Dielektrik Yüklü Horn Anten 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, TE-mod horn antenlere kısmi dielektrik yükleme tekniği kullanılarak yan kulak bastırma, ön/arka oranı arttırma, çalışma bandını genişletme ve giriş yansımaları düşürme araştırmaları yapılmıştır. Karmaşık ve keyfi yapıdaki sınır değer probleminin çözümünde Bölge Ürün Tekniği (BÜT) adı verilen hızlı, güvenilir, doğru ve kararlı bir analitik-sayısal algoritma kullanılmıştır. Yöntemin doğruluğu analitik hesaplarla karşılaştırıldıktan sonra, horn anten teknolojisine katkı sağlayabilecek sayısal sonuçlar sunulmuştur.

1. Giriş

Karışık geometrilerinden dolayı pratikte sadece birkaç tür anten yapısı analitik olarak incelenebilmektedir. Birçok antenin karakteristikleri sadece deneysel yada doğrudan numerik yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu numerik algoritmalar birçok yapının analizine uygun olmasına karşın çoğu kez çok uzun zaman almakta ve büyük kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Horn, pratikte de çok kullanılan ve iyi bilinen bir anten çeşitidir. Elektromagnetik horn antene yapılacak uygun bünye ve şekilli dielektrik parça yüklemeleri ışıma karakteristiğinde önemli iyileştirmeler sağlayabilmektedir [2]. Bu çalışmada besleme, horn ve dielektrik yüklemeden oluşan 2-boyutlu (2-B) simetrik yapılardan elektromagnetik ışıma problemi ele alınmıştır. Besleme kısmı belli uzunlukta bir dalga kılavuzu ve içindeki çizgisel kaynaktan ibarettir. Kaynak antenin boğum (throat) kısmında dominant mod dalga uyarımını sağlayacak şekilde açıklıktan uzağa yerleştirilmiştir. Dielektrik yükleme ise bir veya daha fazla ayırık çokgen yapılı ve keyfi şekilli dielektrik tabakalardan oluşmaktadır (bkz. Şekil 1). Bu problemin kesin çözümünde Bölge Ürün Tekniği (BÜT) kullanılmıştır. Tekniğe göre, H-düzlem yapısının kesiti çok açılı ve homojen doldurulmuş parçalara bölünmektedir. Bu ana parçalar sınır konturu üzerindeki eliptik koordinatlarda ayrıştırılabilen (ξ, η) ve eliptik koordinatlardaki dalga denklemi çözümüyle ifade edilen (Mathieu fonksiyonları) basit temel bölgelerin bileşiminden oluşur. Değişkenlerine ayırma yöntemi doğrultusunda, her ana parça için gerekli alan temel bölge fonksiyonlarının toplamı şeklinde verilir. Daha sonra sınır değer problemi sonsuz boyutlu katsayılar matrisinden oluşan ikinci tür cebrik matris denkleminde indirgenir. Bu sistem kesim prosedürü uygulanarak bilgisayarda çözülür ve bilinmeyen katsayılar numerik olarak elde edilir. Son olarak, ters işlem almak suretiyle antenden ışıyan alanlar hesaplanır [3].

2. Horn Anten BÜT Analizi

Şekil 1’de gösterilen dielektrik parça yüklü horn anten yapısı ele alalım. Çizgisel kaynağın TE₁₀ modu sürebilecek derecede açıklıktan uzak mesafeye konulduğu varsayalım. Dielektrik parça bölge 1, kalan kısımlar bölge 2 olarak tanımlansın. Her bir bölge kendi içinde $N^{(1)}$ ve $N^{(2)}$ adet dejenere eliptik parçadan oluşmaktadır. Temel (x, y, z) koordinat sistemine ek olarak p ’inci bölgenin j ’inci parçası için birer bölgesel kartezyen $(x_j^{(p)}, y_j^{(p)})$ ve eliptik $(\xi_j^{(p)}, \eta_j^{(p)})$ koordinat sistemi tanımlansın:

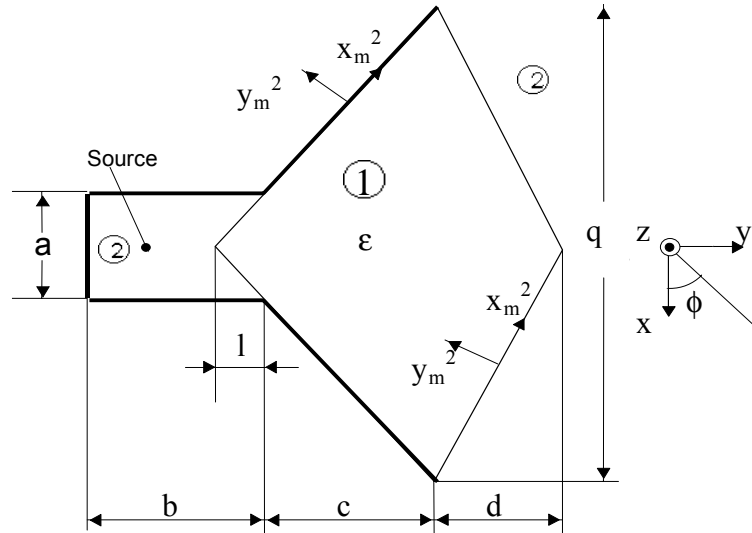
$$\begin{aligned} x_j^{(p)} &= f_j^{(p)} \cosh \xi_j^{(p)} \cos \eta_j^{(p)} \\ y_j^{(p)} &= f_j^{(p)} \sinh \xi_j^{(p)} \sin \eta_j^{(p)} \end{aligned} ; (j=1, N^{(p)}, p=1, 2) \quad (1)$$

Buna göre j ’inci parçanın uzunluğu $2f_j^{(p)}$ olacaktır. TE-mod analizi yapıldığından 2-B sınır değer problemindeki skaler fonksiyon E_z bileşeni Helmholtz denklemiyle birlikte uygun sınır, kenar ve radyasyon koşullarını sağlamalıdır. Bu durumda 1. ve 2. bölgedeki toplam elektrik alan z -bileşeni (u) şöyle tanımlanır:

$$\begin{aligned} u^{(1)} &= u_s^{(1)} \\ u^{(2)} &= u_s^{(2)} + u_0 \end{aligned} \quad (2)$$

burada, $u_s^{(1)}$ ve $u_s^{(2)}$ dielektrik bölgenin içinde ve dışındaki saçılan alan terimlerini, u_0 ise gelen alanı temsil etmektedir. Bir bölgedeki saçılan alan değeri o bölge içindeki tüm parçaların katkısı şeklinde yazılabilir:

$$u_s^{(p)} = \sum_{j=1}^{N^{(p)}} u_j^{(p)} \quad , \quad p=1,2 \quad (3)$$



Şekil 1. Kısmi dielektrik yüklü horn anten kesit geometrisi
(bölge 1: dielektrik parça, bölge 2: Kaynağı içeren hava ortamı)

$u^{(1)}$ ve $u^{(2)}$ 2-B Helmholtz denklemini (4) ve (5)'teki sınır koşullarıyla birlikte sağlamalıdır.

$$u^{(p)}=0, \quad y_j^{(p)}=0^+, \quad |x_j^{(p)}|<f_j \quad (4)$$

$$u^{(1)}\Big|_{y_j^{(1)}=0+} = u^{(2)}\Big|_{y_j^{(2)}=0+}, \quad \frac{\partial u^{(1)}}{\partial y_j^{(1)}}\Big|_{y_j^{(1)}=0+} = -\frac{\partial u^{(2)}}{\partial y_j^{(2)}}\Big|_{y_j^{(2)}=0+}, \quad |x_j^{(1)}| < f_j \quad (5)$$

Buna göre, her bir $u_j^{(p)}$ fonksiyonu eliptik koordinatlarda dalga denkleminin çözümü olan Mathieu fonksiyonları açılımı şeklinde ifade edilebilir [3]:

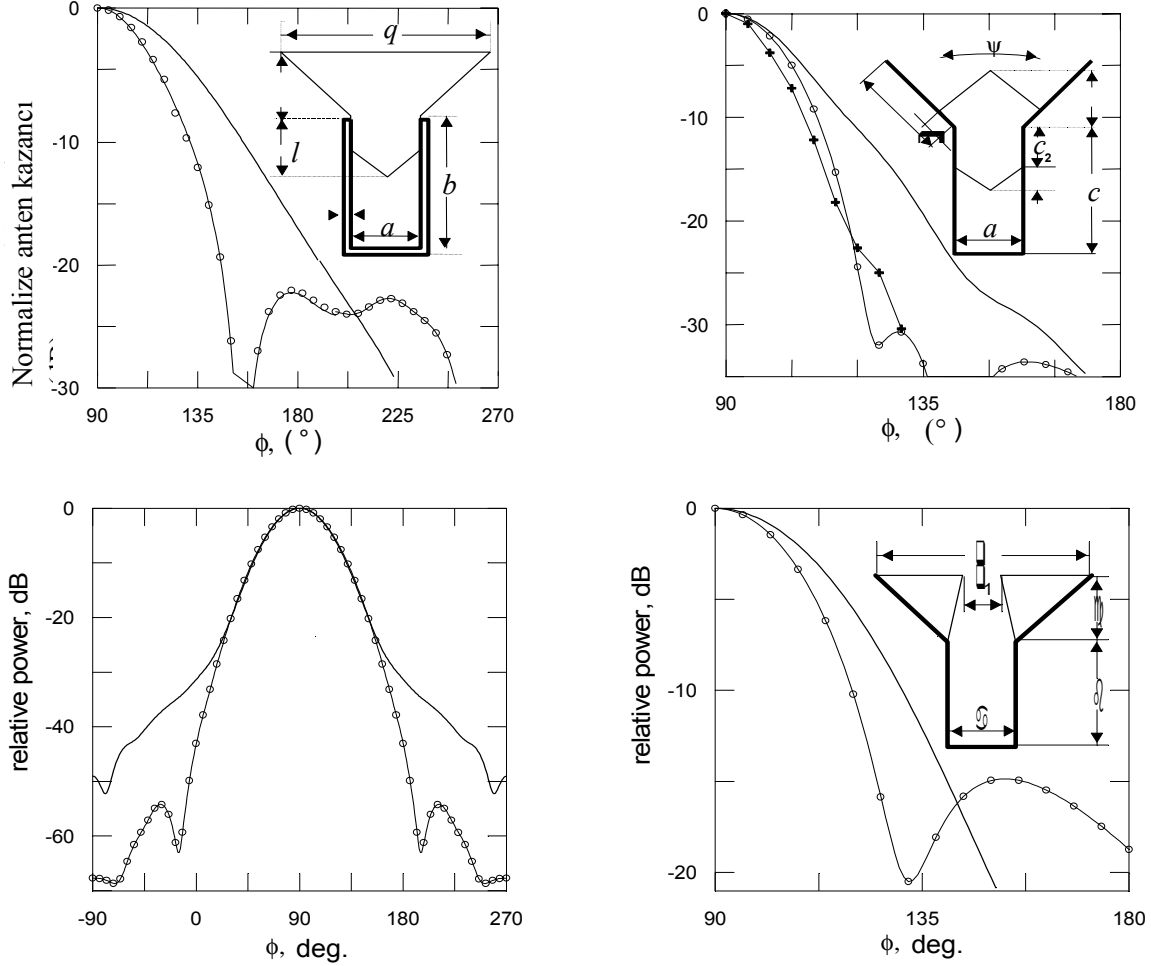
$$u_j^{(p)} = \sum_{n=0}^{\infty} {}^p D_n^j \frac{Me_n^{(2)}(\xi_j^{(p)}, q_j^{(p)})}{Me_n^{(2)}(0, q_j^{(p)})} ce_n(\eta_j^{(p)}, q_j^{(p)}) \quad (6)$$

burada; $ce_n(\eta_j^{(p)}, q_j^{(p)})$ n. derece açılal çift Mathieu fonksiyonu, $Me_n^{(2)}(\xi_j^{(p)}, q_j^{(p)})$ radyal Mathieu fonksiyonu, $q_j^{(p)} = (k^{(p)} f_j / 2)^2$, $\{^1 D_n^j\}$ ve $\{^2 D_n^j\}$ bilinmeyen açılım fonksiyon dizileridir. (6) eşitliği (3), (4) ve (5)'te yerine konulduğunda (7)'de verilen 2. türden sonsuz cebrik denklem sistemine ulaşılır. Denklemin kesim yöntemiyle çözümü sonucu bilinmeyen D_n katsayıları ve u_j bulunur, buradan ışıma paternleri hesaplanır.

$$D_m^j + \sum_{p \neq j} \sum_{n=0}^{\infty} a_{mn}^{jp} D_n^p = c_m \quad , j=1 \dots N ; m=(0, \infty) \quad (7)$$

3. Sayısal Sonuçlar

BÜT algoritması doğrulama amaçlı olarak öncelikle açık sonlandırmalı dalga kılavuzu yapısı için çözülmüş ve [1]'de verilen analitik sonuçla tamamen tutarlı ışıma paterni elde edilmiştir. Bunun yanısıra anten giriş yansıma değeri olarak 0.0662 hesaplanmıştır (bu değer Weinstein çözümünde 0.0659'dur). Şekil 2'de görüldüğü üzere uygun profilli dielektrik lens yükleme sonucunda ışıma diyagramında kritik iyileştirmeler sağlanarak ana huzme genişliği oldukça daraltılabilmekte ve yan kulak seviyeleri bastırılabilir.



Şekil 2. Dielektrik parça yüklü ve yüksüz anten ışıma paternleri

- (a) Açık sonlandırmalı dalga kılavuzu, ----: yüksüz; -o-o: yüklü ($\epsilon_r=4$)
 $(a/\lambda = 0.75, q/a = 1.35, b/a = 1.5, l/a = 0.5, l_1/a = 0.1, d/a = 0.2)$
- (b) Horn anten, ----: yüksüz -o-o: yüklü ($\epsilon_r=2.586$) <-<-: yüklü ($\epsilon_r=2.586$, ölçüm)
 $(\psi = 60^\circ, a/\lambda = 0.75, l/a = 2.95, r/a = 1.45, c/a = 2.1, c_1/a = 0.87, c_2/a = 0.3, b/a = 2.97.)$
- (c) Horn anten, ----: yüksüz -o-o: yüklü ($\epsilon_r=4$)
 $a/\lambda = 0.75, q/a = 2, b/a = 1.5, c/a = 1.5, d/a = 0.16, l/a = 0.5$
- (d) Horn anten, ----: yüksüz -o-o: yüklü ($\epsilon_r=2$)
 $a/\lambda = 0.75, q/a = 2, q_1/a = 0.23, c/a = 1.5, b/a = 1$ ($|\Gamma|=0.1063$)

Kaynaklar

- [1] Wienstein L.A., *The theory of diffraction and factorization method*, Boulder Colorado, Golem Press, 1969.
- [2] Hamid M., Al-Sulaiman A., "New types of dielectric-loaded horn antennas", *International Journal of Electronics*, 55(5), s. 729-750, 1983.
- [3] Chumachenko V.P., Türk A.S., "Radiation characteristics of wide-angle H-plane sectoral horn loaded with dielectric of multiangular shape", *International Journal of Electronics*, 88(1), s. 91-101, 2001.