

# Çift-Sağrlı Korna Antenlerin Çok Seviyeli Hızlı Çokkutup Yöntemiyle Doğru ve Hızlı Elektromanyetik Benzetimi<sup>†</sup>

Özgür Ergül<sup>1</sup>, Fatih Akdeniz<sup>1</sup> ve Levent Gürel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Bilişimsel Elektromanyetik Araştırma Merkezi (BİLCEM)

Bilkent Üniversitesi

TR-06800, Bilkent, Ankara

E-posta: ergul@ee.bilkent.edu.tr, fatihakdeniz@gmail.com, lgurel@bilkent.edu.tr

**Özet:** Çift-sağrlı korna antenlere (ÇSKA) (DRHA: double-ridged horn antenna) ait elektromanyetik ışınum problemlerinin yüksek doğrulukta çözümleri gerçekleştirilmiştir. Problemlerin formülasyonları elektrik-alan integral denklemiyle gerçekleştirilmiş, benzetimlerin verimli bir şekilde yapılabilmesi için çok seviyeli hızlı çokkutup yöntemi kullanılmıştır. Böylece, ÇSKA'ların geniş bant özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırılmıştır.

## 1. Giriş

Korna antenler, özellikle diğer antenlere göre yüksek kazanç ve düşük voltaj-duran-dalga oranı (VSWR: voltage standing wave ratio) verdiklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Ayrıca, basit geometrilere sahip olmaları sayesinde bu antenlerin analizleri, tasarımları ve imal edilmeleri kolaydır. Bu sebeple, korna antenler sıkça kullanılan ve yaygın antenlerdendir. Öte yandan, pek çok gerçek hayata ait uygulama için, bu antenlerin çalıştıkları frekans aralıklarının genişletilmesine de ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda yeni parçaların eklenmesiyle birlikte korna antenlere geniş bantlılık özelliği kazandırılmıştır. Özellikle çift-sağrlı korna antenlerden (ÇSKA) (DRHA: double-ridged horn antenna) yüksek performanslar elde edilmiştir [1].

Sağrların eklenmesiyle birlikte korna antenlerin analizleri ve tasarımları güçleşmektedir. ÇSKA tasarımlarında ortaya çıkan bu durum, gelişmiş bilgisayar kaynaklarıyla desteklenen benzetim ortamlarının kullanımını teşvik etmektedir. Bu çalışmada, sıkça kullanılan ÇSKA tasarımlarına ait elektromanyetik ışınum problemleri yüksek doğrulukta ve verimli bir şekilde çözülmüştür. Sayısal çözümler için çok seviyeli hızlı çokkutup yöntemi (ÇSHÇY) (MLFMA: multilevel fast multipole algorithm) [2] kullanılmıştır. Tasarımlar 1–18 GHz aralığında incelenmiş ve bu frekans bandı içinde kullanılmak üzere üçgenlenmiş modeller üretilmiştir. Antenler üzerinde oluşan ve bilinmeyen yüzey akımları üçgenler üzerinde tanımlanan Rao-Wilton-Glisson (RWG) [3] temel fonksiyonları ile açılmıştır. Böylece, integral denklemlerinin kullanılmasıyla birlikte büyük ve yoğun matris denklemleri elde edilmiş ve bu denklemlerin iteratif çözümleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekanslara gittikçe bilinmeyen sayıları 100,000 civarına çıktığından iteratif yöntemlerin ÇSHÇY ile hızlandırılması gerekmiştir.

ÇSKA tasarımları için literatürde de belirtilen ve yüksek frekanslara gittikçe ortaya çıkan sorunların, özellikle antenlerin ışınum özelliklerindeki bozulmaların daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda antenler üzerinde indüklenen akımlar detaylı bir biçimde incelenmiştir. Tasarımların daha iyi anlaşılabilmesi ve modeller üzerinde yapılan değişikliklerin denenmesi için ihtiyaç duyulan sayısal benzetimler, ÇSHÇY ve geliştirilen diğer tekniklerle doğru ve verimli bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

## 2. Çift-Sağrlı Korna Antenlerin Elektromanyetik Benzetimleri

Bu çalışmada kullanılan ÇSKA'lara örnek olarak Şekil 1(a)'da gösterilen model 1–18 GHz aralığında çalışacak biçimde tasarlanmıştır [1]. Mükemmel iletkenler olarak modellenen yüzeyler için elektrik-alan integral denk-

<sup>†</sup>Bu çalışma, TÜBİTAK (105E172), Türkiye Bilimler Akademisi (LG/TÜBA-GEBİP/2002-1-12), ASELSAN ve SSM tarafından desteklenmektedir.

lemi (EAİD) (EFIE: electric-field integral equation)

$$\hat{\mathbf{t}} \cdot \int_S d\mathbf{r}' \mathbf{J}(\mathbf{r}') \cdot \left( \bar{\mathbf{I}} - \frac{\nabla \nabla'}{k^2} \right) g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{i}{k\eta} \hat{\mathbf{t}} \cdot \mathbf{E}^i(\mathbf{r}) \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde,  $\mathbf{J}(\mathbf{r})$  bilinmeyen yüzey akımını,  $\hat{\mathbf{t}}$  yüzey üzerindeki teğet vektörü,  $\mathbf{E}^i(\mathbf{r})$  antenin kaynağı tarafından oluşturulan gelen elektrik alanını ve  $g(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$  boş uzaya ait Green fonksiyonunu ifade etmektedir. Bilinmeyen akımın  $\mathbf{b}_n(\mathbf{r})$  temel fonksiyonlarıyla açılması ve sınır koşullarının  $\mathbf{t}_m(\mathbf{r})$  test fonksiyonlarıyla test edilmesi sayesinde

$$\sum_{n=1}^N Z_{mn}^E a_n = v_m^E, \quad m = 1, \dots, N \quad (2)$$

şeklinde yoğun matris denklemleri elde edilir. Bu denklemde, matris elemanları

$$Z_{mn}^E = \int_{S_m} d\mathbf{r} \mathbf{t}_m(\mathbf{r}) \cdot \int_{S_n} d\mathbf{r}' \mathbf{b}_n(\mathbf{r}') g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') - \frac{1}{k^2} \int_{S_m} d\mathbf{r} \mathbf{t}_m(\mathbf{r}) \cdot \int_{S_n} d\mathbf{r}' \mathbf{b}_n(\mathbf{r}') \cdot \left[ \nabla \nabla' g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \right] \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Galerkin yönteminin uygulanmasıyla temel ve test fonksiyonları RWG olarak seçilmiştir. Örneğin, Şekil 1(a)'da gösterilen ÇSKA'nın 12 GHz ve 15 GHz'deki benzetimlerinde 97,012 ve 152,795 bilinmeyenli problemler oluşturulmuştur. Bu büyük matris denklemlerinin çözümleri iteratif olarak ve ÇSHÇY'nin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İterasyonların hızlandırılması için yakın-alan etkileşimlerinden elde edilen güçlü öniyileştiriciler kullanılmıştır.

Denklem (2)'de, sağ-taraf vektörünün elemanları

$$v_m^E = \frac{i}{k\eta} \int_{S_m} d\mathbf{r} \mathbf{t}_m(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{E}^i(\mathbf{r}) \quad (4)$$

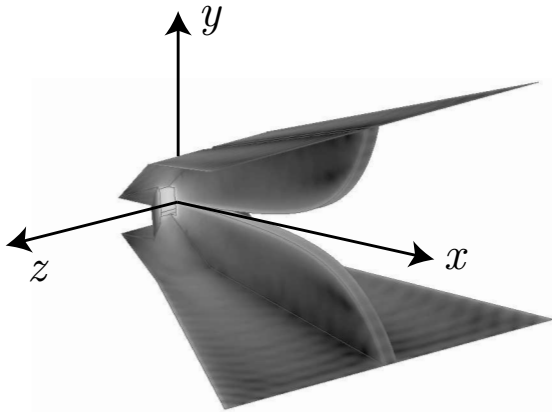
şeklinde hesaplanabilir. ÇSKA tasarımlarında kaynağın uygun bir biçimde modellenmesi için farklı yöntemler denenmiştir. Bunlardan ilkinde sağrılar birbirlerine yaklaştığı kısımdaki açıklığa ideal dipol koyulmuştur. İkincisinde ise, sağrılar birbirlerine küçük bir levha ile bağlanmış, bu levha üzerinde tanımlanan delta-gap sayesinde voltaj kaynağı modellenmiştir. Farklı kaynaklardan elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış ve bunların tutarlı oldukları tespit edilmiştir.

### 3. Sonuçlar

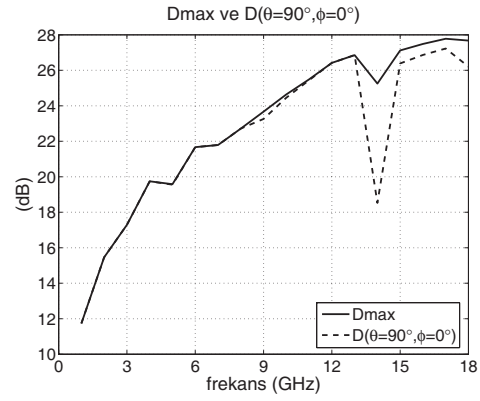
Şekil 1(a)'da gösterilen ÇSKA modelinin 1–18 GHz aralığında yapılan benzetimleri sonucunda hesaplanan maksimum kazancı ile  $x$  yönündeki kazancı Şekil 1(b)'de verilmiştir. Yüksek frekanslara gittikçe kazançların arttığı, ancak iki çeşit kazanç arasında bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Bu da, antenin tam karşısına değil, başka bir yöne doğru maksimum ışınım yaptığı göstermektedir. Bu durumun daha iyi incelenebilmesi amacıyla Şekil 2'de, E-düzlemi üzerindeki göreceli ışınım gösterilmiştir. Şekil 2(a)'da verilen 12 GHz'teki ışınım ile Şekil 2(b)'de verilen 15 GHz'deki ışınım karşılaştırıldığında maksimum ışınımın yeri bakımından bir farka rastlanmamaktadır. Bu yüzden Şekil 3'te gösterilen üç boyutlu ışınım incelenmiş ve 15 GHz'teki ışınımın aslında dört kulaktan (lobe) oluştuğu gözlemlenmiştir. Kulakların bulunduğu yerlerden dolayı bu bölünme Şekil 2(b)'deki gibi grafiklerde gözükmeyebilmektedir. Bu bulgular literatürde verilen sonuçlarla tutarlıdır [1].

### Kaynaklar

- [1] C. Bruns, P. Leuchtman ve R. Vahldieck, "Analysis and simulation of a 1-18-GHz broadband double-ridged horn antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, cilt 45, no. 1, s. 55–60, Şubat 2003.
- [2] C.-C. Lu ve W. C. Chew, "Multilevel fast multipole algorithm for electromagnetic scattering by large complex objects," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, cilt 45, no. 10, s. 1488–1493, Ekim 1997.
- [3] S. M. Rao, D. R. Wilton ve A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, cilt AP-30, s. 409–418, Mayıs 1982.

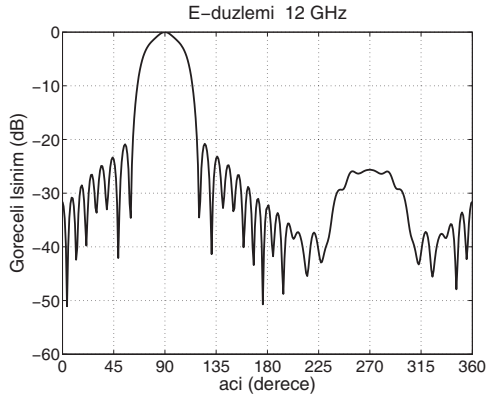


(a)

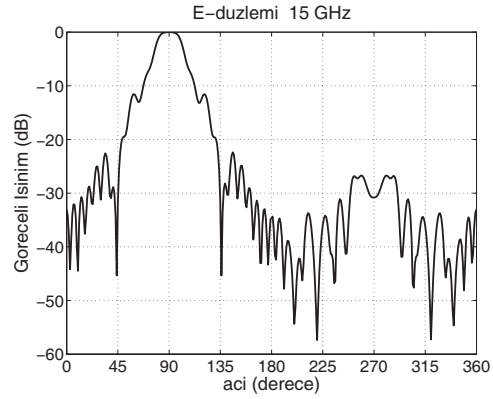


(b)

**Şekil 1.** (a) 1–18 GHz aralığında çalışacak şekilde tasarlanmış ÇSKA. (b) Tasarımın 1–18 GHz aralığında hesaplanan maksimum ve  $x$  yönündeki kazancı.

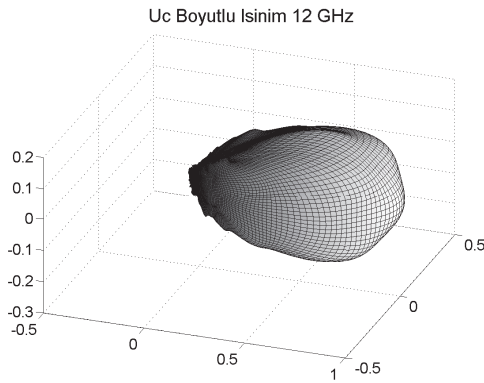


(a)

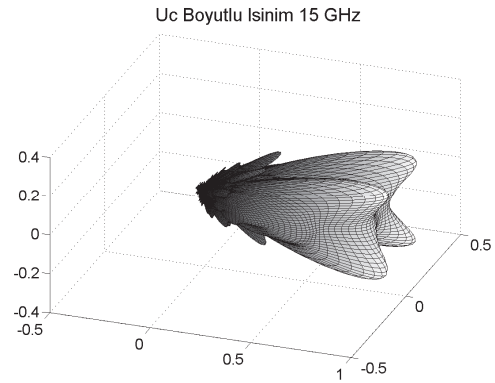


(b)

**Şekil 2.** Şekil 1(a)'daki ÇSKA tasarımının (a) 12 GHz ve (b) 15 GHz'te E-düzlemindeki göreceli ışınımı.



(a)



(b)

**Şekil 3.** Şekil 1(a)'daki ÇSKA tasarımının (a) 12 GHz ve (b) 15 GHz'teki ışınım örüntüsü.