

## Küresel-Dikdörtgensel Baskılanmış Anten ve Anten Dizilerinin Kovuk Yöntemi ile Analizi

Oğuz Demir, Gülbin Dural\*  
Haberleşme ve Bilgi Teknolojileri Grup Başkanlığı, Aselsan A.Ş.  
Ankara  
oguzdemir@aselsan.com.tr

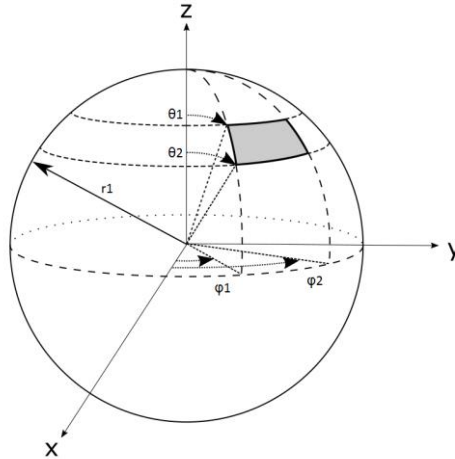
Orta Doğu Teknik Üniversitesi\*  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ankara  
gulbin@metu.edu.tr

**Özet:** Bildiride, küresel-dikdörtgensel mikroşerit anten ve anten dizilerinin analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Temel analiz yöntemi olarak kovuk modeli kullanılmış ve küre üzerinde meydana gelen eşdeğer manyetik akım yoğunlukları elde edilmiştir. Akımların kürenin varlığında yarattıkları yayılım, küresel dalga harmonikleri ile modellenmiş ve harmoniklerin katsayıları Vektör-Legendre Dönüşümü kullanılarak bulunmuştur. Aynı yaklaşım küresel anten dizisi için de uygulanmış, elde edilen radyasyon desenleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

**Abstract:** The manuscript focuses on the analysis of spherical-rectangular microstrip antenna and antenna arrays. Cavity model is employed as the basic analysis approach and equivalent magnetic current densities are derived. The radiation of currents are modeled by means of the spherical wave harmonics in the presence of the sphere, and their coefficients are obtained in the spectral domain using Vector-Legendre Transform. The approach is applied to both single element and array structures and resulting radiation patterns are examined and compared.

### 1. Giriş

Mikroşerit baskılanmış antenler, çeşitli yüzeyleri kaplayabilme özellikleri, hafif ve ince yapıları, kolay üretim ve ucuz maliyetleri sebebiyle mikrodalga haberleşme uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Küresel anten dizisi, yarım küre uzayda tek ve çoklu huzmeler halinde yayılım yapabileme yeteneğine sahip ve yön bulma, uydudan izleme, telemetri gibi uygulamalarda etkili bir çözüm olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada küresel-dikdörtgensel baskılanmış antenlerin tek başlarına ve dizi halindeki davranışları kovuk yöntemi uygulanarak formüle edilmiş, elektromanyetik yayılım desenleri ortaya çıkarılmış ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Örnek küresel-dikdörtgensel anten geometrisi

## 2. Kovuk Yöntemi ve Formülasyonu

Kovuk yöntemi mikroşerit antenlerin analizlerinde yaygın kullanıma sahiptir. Baskılanmış anten ve toprak arasında kalan ve çok ince olan yalıtkan bölgekovuk olarak modellenir. Kovuğun yan duvarları mükemmel manyetik iletkenlerden (PMC) oluşmuştur. Bu bölgede oluşan radyal yönlü TMr modundaki elektrik alanlar, TEr modundaki elektrik alanlara göre daha baskındır. Bu modların çözümleri Helmholtz denklemini çözerek bulunabilir [1]:

$$(\nabla^2 + k_d^2) \frac{A_r}{r} = 0 \quad , \quad k_d = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemin çözülmesi ile edilecek manyetik vektör potansiyeli ifadesi aşağıda verilmektedir:

$$A_r = -k_d \sin(\theta_1) \times \left[ \hat{Y}'_n(k_d r_1) \hat{J}'_n(k_d r) - \hat{J}'_n(k_d r_1) \hat{Y}'_n(k_d r) \right] \\ \times \left[ Q_n^m(\cos(\theta_1)) P_n^m(\cos(\theta)) - P_n^m(\cos(\theta_1)) Q_n^m(\cos(\theta)) \right] \times \cos[m(\varphi - \varphi_1)] \quad (2)$$

Denklem (1)'de geçen  $\hat{Y}(x), \hat{J}(x)$  ifadeleri küresel yapılar için daha kolay çözüm sağlayan Schelkunoff türü birincil ve ikicil tipte Bessel fonksiyonlarıdır.  $P_n^m(x), Q_n^m(x)$  ifadeleri ise Associated Legendre fonksiyonlarıdır. Ayrıca yine denklem (1)'de geçen ve mod parametreleri olan m ve n, bu denklemin elde edildiği sırada ortaya çıkan transendental eşitliklerin çözümü ile bulunabilir. Bahsi geçen  $r_1, \theta_1, \varphi_1$  ifadeleri ise şekil (1)'deki geometrik parametrelerdir. Sonuç olarak, kavite içindeki elektrik alan için gereken formül:

$$E_r = \frac{1}{j\omega\epsilon_d} \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + k_d^2 \right) A_r \quad (3)$$

Kovuk içinde oluşan elektrik alanların, kavitenin PMC olarak düşünülebilecek yan yüzeylerde yarattığı denk manyetik akım yoğunlukları, tüm yan yüzeylerde uygulanacak sınır koşulları ile elde edilir [2]:

$$\vec{M}_{eq} = \int_{r_1}^{r_2} \vec{n} \times \vec{E}_r \cdot dr \quad , \quad \vec{n} : \text{ ilgili yan yüzeyin normal vektörü} \quad (4)$$

Bulunan manyetik akımlar mükemmel elektriksel iletkenliğe sahip (PEC) küre kürenin varlığında yayılım yapmaktadır. Havadaki yayılımın bulunabilmesi için küresel elektriksel ve manyetik potansiyel ifadelerinin harmonikler halinde modellenmesi ve katsayılarının bulunması gerekmektedir [3,4]:

$$A_r^{air} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a(m, n) \hat{H}_n^{(2)}(k_o r) P_n^{|m|}(\cos(\theta)) e^{jm\varphi} \quad (5)$$

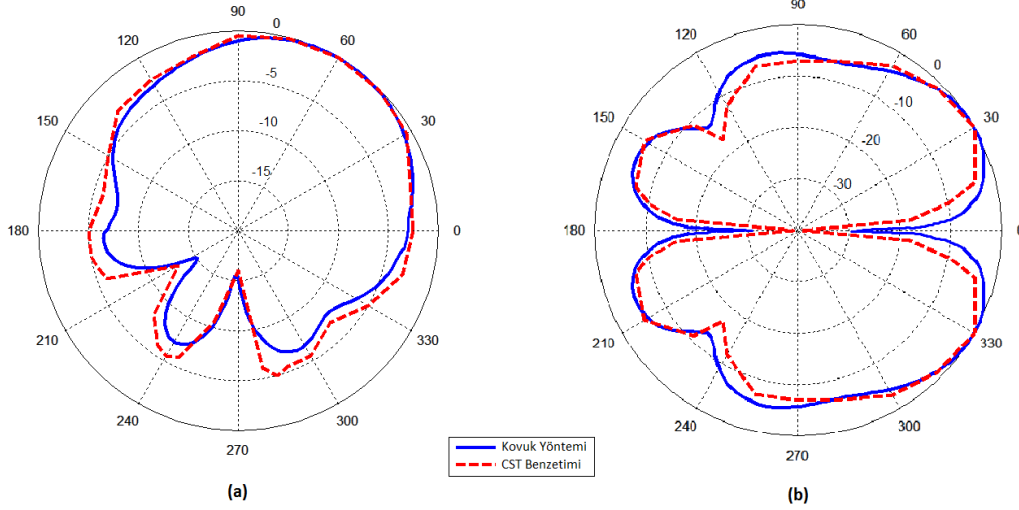
$$F_r^{air} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^n f(m, n) \hat{H}_n^{(2)}(k_o r) P_n^{|m|}(\cos(\theta)) e^{jm\varphi} \quad (6)$$

(6) ve (7) numaralı denklemlerdeki katsayıların bulunabilmesi için sınır koşullarının sağlanması yeterlidir. Bununla birlikte uzamsal bölge yerine spektral bölgede çalışmak daha kolay olduğundan akım ve alanlara Vektör-Legendre Dönüşümü [5], akım ve alanlara uygulanmış ve sınır koşulları burada sağlanmıştır.

Yöntemin birden fazla anten için aynı anda uygulanması analitik olarak fazladan yük getirmez. Sadece denklem (4)'teki manyetik akım ifadesinin her bir anten için güncellenmesi yeterli olacaktır.

### 3. Sayısal Uygulamalar

Kovuk yönteminin geçerliliğini gözlemek amacıyla tipik bir küresel-dikdörtgenel baskılanmış antenin yayılım deseni elde edilmiştir. Daha sonra aynı yöntem, iki elemanlı anten dizisi için de uygulanmıştır. Sonuçlar CST yazılımından elde edilen benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



**Şekil 2.** (a) Tek anten için (y-z düzlemi) yayılım deseni,  $r_1=0.1$  m,  $\varphi_1=4/9*\pi$ ,  $\varphi_2=5/9*\pi$ ,  $\theta_1=1/4*\pi$ ,  $\theta_2=15/36*\pi$ ,  $\epsilon_r=4.3$ ,  $\delta r=4.5$  mm,  $f=1.5$  GHz (b) İki elemanlı anten dizisi için (y-z düzlemi) yayılım deseni,  $f=1.5$  GHz

Şekil (2.b)'de verilen yayılım, şekil (2.a)'daki yayılım desenini sağlayan antenlerden birer tanesinin, kürenin  $\varphi=\pi/2$  ve  $\varphi=3*\pi/2$  koordinatlarına yerleştirilmesiyle oluşan anten dizisine aittir. Bu bağlamda, şekil (2.a) ve (2.b)'de gözlenen yayılım desenleri, yöntemin başarısı açısından fikir vermektedir. Kavite yöntemi, temel ve yan lobların yerlerini tam olarak tespit edebilmiş, büyüklükleri açısından da güçlü bir benzerlik yakalamıştır.

### 4. Sonuçlar

Kovuk yönteminin, küresel-dikdörtgenel mikroşerit antenlerin analizinde pratik ve hızlı bir yöntem olduğu gözlenmiştir. Tek bir anten elemanının ve ikili anten dizisinin yayılım desenleri incelendiğinde, CST yazılımı simülasyon sonuçlarıyla yüksek uyumluluk tespit edilmiştir. Kovuk yönteminin basit formülasyonunun aynı zamanda küresel anten dizileri için de uygulanabilir olduğu ortaya çıkmış, karmaşık numerik yöntemler uygulanmadan yayılım deseninin elde edilebileceği gösterilmiştir. İleri çalışma olarak, çeşitli küresel anten dizilerinin bu yöntemle basitçe analiz edilmesi ve yön bulma uygulamaları için bu antenlerin verimliliğinin tespit edilmesi düşünülmektedir.

### Kaynaklar

- [1]. R.F.Harrington, "Time harmonic electromagnetic fields", McGraw Hill, 1961.
- [2]. L.A.Costa, O.M.C Pereira-Filho ve F.J.S. Moreira, "Analysis of spherical-rectangular microstrip antennas" Proceedings SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics, Brasilia, Brezilya, Temmuz 2005, s. 279-282.
- [3]. W.Y. Tam ve K.M. Luk "Resonance in spherical-circular microstrip structures", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., cilt.39 no.4, Nisan 1991, s.700-704.
- [4]. W.Y. Tam ve K.M. Luk "Far field analysis of spherical-circular microstrip antennas by electric surface current models", IEEE Proc., cilt.138, no.1, Şubat 1991, s.98-102.
- [5]. N. Burum, Z. Sipus, "Theoretical and experimental study of spherical arrays", IEEE Melecon, Dubrovnik, Hırvatistan, Mayıs 2004.