

# FİZİKSEL OPTİK YÖNTEMİ İLE RADAR KESİT ALANI HESAPLAMALARINDA GENİŞ DÜZLEM PLAKALAR İLE MODELLEME

Ayhan Altıntaş, Aslihan Celik

Bilkent Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent, Ankara

[altintas@ee.bilkent.edu.tr](mailto:altintas@ee.bilkent.edu.tr), [aslihan@ee.bilkent.edu.tr](mailto:aslihan@ee.bilkent.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada yüzey alanı olarak geniş, herhangi büyüklükteki bir cismin Radar Kesit Alanı(RKA) hesaplamaları gösterilmiştir. Grafik programları yardımıyla büyük cisimler herhangi büyüklükteki üçgen plakalar halinde modellenmiştir. Saçınan alanı bulmak için her bir üçgen üzerinde Fiziksel Optik yüzey integrali analitik olarak hesaplanmıştır. Analitik integrasyon sayesinde üçgen plakaların boyutunda herhangi bir sınırlamaya gerek kalmamıştır.

## 1. Giriş

Büyük nesnelerin Radar Kesit Alanlarını hesaplayabilmek için yüksek frekans metodlarının kullanılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan yüksek frekans metodlarından biri Fiziksel Optiktir[1,2]. Her ne kadar Fiziksel Optik yöntemi basit olsa da analitik olarak kolaylıkla tanımlanamayan karmaşık şekilli nesneler düz plakalar halinde modellenmelidir. Her bir plakadan saçınan alan hesaplanıp toplanarak toplam alan bulunur. Bu çalışmada düz, üçgen plakalardan oluşan modeller üzerinde yoğunlaşıldı ve üçgen plaka modeli kullanarak Fiziksel Optik yaklaşımına göre saçınan alanın analitik olarak bulunabileceği gösterildi. Bu sebeple plaka modelinde herhangi büyüklükte bir nesne kullanılabilir. Bu yaklaşım gemi, bina gibi düz yüzeylerden oluşan hedeflerde iyi sonuç vermektedir.

Hesaplamalar örnek olarak F16 uçaklarının yakıt tankının üçgen plaka modeli üzerinde yapılmıştır. İndüklenen yüzey akımları da yakıt tankı modeli üzerinde Fiziksel Optik kullanılarak hesaplanıp gösterilmiştir.

## 2. Geometrik Modelleme

Üçgen plakadan saçınan alanı hesaplamak gereklidir. Global koordinat sisteminde bulunan her bir üçgen için yerel bir koordinat sistemi tanımlanabilir. Üçgen, bir köşesi yerel koordinat sisteminin merkezine( $O_i$ ) denk gelecek şekilde the  $x_i$ - $y_i$  düzleminde olsun. Üçgenin kenarlarına sırasıyla  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$  dersek,  $e_3$  kenarını  $y_i$  eksenine boyuca alabiliriz. Bu durumda  $e_1$  ve  $e_2$  kenarlarını yerel koordinatlarda şu şekilde ifade edebiliriz.

$$\begin{aligned}\alpha(x_i) &= \alpha_0 + \alpha_1 x_i \\ \beta(x_i) &= \beta_0 + \beta_1 x_i\end{aligned}\quad (1.1)$$

$E_1$  kenarının bir köşesi koordinat sisteminin merkezine denk geldiğinden  $\alpha_0 = 0$  olarak alabiliriz.

## 3. İndüklenen Yüzey Akımları

Öncelikle gelen dalga global koordinatlardan yerel koordinatlara çevirilir. Ayrıca  $\theta^i$  ve  $\phi^i$  açılarını yerel koordinatlara çevirebilmek için ilerleme vektörü yerel koordinatlara çevirilir. Daha sonra yerel koordinatlarda kartezyen koordinatlardan dairesel koordinatlara dönüştüren bir matris tanımlanır. Tanımlanan bu matris yardımıyla gelen dalganın koordinatları dairesel koordinatlara çevirilir.

Lokal koordinatlardaki gelen dalga ifadesi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\mathbf{E}_1^i(\mathbf{r}) = (\hat{\theta} E_\theta^i + \hat{\phi} E_\phi^i) e^{j\mathbf{k}^i \cdot \mathbf{r}_i} \quad (1.2)$$

Fiziksel Optik yöntemine göre, üçgen plakanın +z tarafında indüklenen yüzey akımı aşağıdaki gibi verilir

$$\mathbf{J}_s(\mathbf{r}) = \frac{2e^{j\mathbf{k}^i \cdot \mathbf{r}_i}}{\eta} (\hat{x}_i (\cos \phi^i E_\theta^i - \cos \theta^i \sin \phi^i E_\phi^i) + \hat{y}_i (\sin \phi^i E_\theta^i + \cos \theta^i \cos \phi^i E_\phi^i)) \quad (1.3)$$

burada  $\mathbf{k}^i = k\hat{\mathbf{k}}^i$ ,  $\hat{\mathbf{k}}^i = \hat{x}_i \sin \theta^i \cos \phi^i + \hat{y}_i \sin \theta^i \sin \phi^i + \hat{z}_i \cos \theta^i$  ve  $\theta^i$ ,  $\phi^i$  gelen dalganın yerel koordinatlardaki açılarını göstermektedir.  $k$  dalga numarası,  $\hat{\mathbf{k}}^i$  gelen dalga yönündeki birim vektörü,  $\mathbf{r}_i$  ise yerel koordinatlardaki uzaklıktır.

#### 4. Radar Kesit alanı Hesaplaması

Herhangi bir izleme noktasındaki saçınan uzak alan ifadesi [3]'te verilen radyasyon integralinden aşağıdaki gibi yazılır;

$$E_{\theta}(x_l, y_l) = \frac{-j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jkr_l} \iint (J_{x_l} \cos \theta \cos \phi + J_{y_l} \cos \theta \sin \phi - J_{z_l} \sin \theta) e^{jkg} dS' \quad (1.4)$$

$$E_{\phi} = \frac{-j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jkr_l} \iint (J_{x_l} \sin \phi + J_{y_l} \cos \phi) e^{jkg} dS' \quad (1.5)$$

burada  $g = x_l' \sin \theta \cos \phi + y_l' \sin \theta \sin \phi + z_l' \cos \theta$  'dır. İntegraller düz üçgen yüzeyler üzerinde alınır. (1.4) ve (1.5)'te verilen eşitlikler aşağıdaki gibi matris halinde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} E_{\theta}^s(r, \theta, \phi) \\ E_{\phi}^s(R, \theta, \phi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\theta}^i \\ E_{\phi}^i \end{bmatrix} \frac{2I_o}{\eta} \frac{j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jkr} \quad (1.6)$$

Matrisin elemanları aşağıdaki gibidir:

$$F_{11} = -\cos \theta \cos(\phi - \phi^i) \quad (1.7)$$

$$F_{12} = -\cos \theta^i \cos \theta \sin(\phi - \phi^i) \quad (1.8)$$

$$F_{21} = \sin(\phi - \phi^i) \quad (1.9)$$

$$F_{22} = -\cos \theta^i \cos(\phi - \phi^i) \quad (1.10)$$

$I_o$  integrali aşağıdaki gibi yazılır;

$$I_o = \int_{x_l'=a}^b \int_{y_l'=\alpha(x_l')}^{\beta(x_l')} e^{j(u x_l' + v y_l')} dx_l' dy_l' \quad (1.11)$$

u ve v terimleri ise şöyledir;

$$u = k(\sin \theta^i \cos \phi^i + \sin \theta \cos \phi) \quad (1.12)$$

$$v = k(\sin \theta^i \sin \phi^i + \sin \theta \sin \phi)$$

Integral limitleri;

$$\alpha(x_l') = \alpha_0 + \alpha_1 x_l' \quad (1.13)$$

$$\beta(x_l') = \beta_0 + \beta_1 x_l'$$

Burada  $I_o$  integrali analitik olarak hesaplanabilmektedir. Sonuç aşağıdaki gibi bulunur:

$$I_o = \frac{1}{jv} \left( e^{jv\beta_0} \frac{e^{jb(u+v\beta_1)} - e^{ja(u+v\beta_1)}}{j(u+v\beta_1)} - e^{jv\alpha_0} \frac{e^{jb(u+v\alpha_1)} - e^{ja(u+v\alpha_1)}}{j(u+v\alpha_1)} \right) \quad (1.14)$$

Lokal koordinatlardaki üçgenimiz için;  $a=0$  ve  $\alpha_0 = 0$  and  $b = \beta_0 / (\alpha_1 - \beta_1)$  'dir. Bu değerler ile  $I_o$  üç eksponansiyel sayı olarak ifade edilebilir.

Yukarıdaki ifadeler kullanılarak global koordinatlardaki bir üçgenden saçınan alan aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E^s(r_g, \theta_g, \phi_g) = c \cdot \overline{\overline{m_2}}(\theta_g, \phi_g) \cdot \overline{\overline{m_1}} \cdot \overline{\overline{m_2}}^T(\theta, \phi) \cdot \overline{\overline{F}} \cdot \overline{\overline{m_2}}(\theta^i, \phi^i) \cdot \overline{\overline{m_1}} \cdot E^i(0) \quad (1.15)$$

$E^s(r_g, \theta_g, \phi_g)$  global koordinatlarda  $\theta_g$  ve  $\phi_g$  yönündeki uzak mesafelerde saçınan elektrik alanını belirtir.

$E^i(0)$  gelen alanın global koordinatlardaki elemanlarını içerir.  $\overline{\overline{m_1}}$  gelen dalgayı global koordinattan lokal

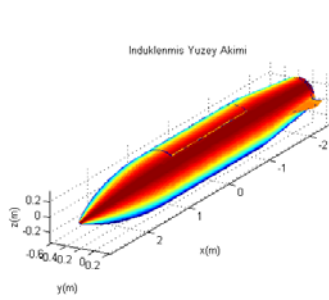
koordinata çevirir.  $\overline{m}_2$  kartezyen koordinatları küresel koordinatlara çevirir.  $\overline{F}$  matrisi lokal koordinatlardaki fiziksel optik saçınım fonksiyonudur.  $\overline{m}_2^T$  lokal koordinatlarda hesaplanan saçınım alanı kartezyen koordinatlara çevirir.  $\overline{m}_1^T$  lokal koordinatlardan global koordinatlara çevirir.  $\overline{m}_2$  ise global koordinat sisteminde kartezyen koordinatlardan küresel koordinatlara dönüştürür. C ise complex bir katsayıdır ve lokal koordinatlar ile global koordinatlar arasındaki faz ayarlamasını da içerir. Açık olarak

$$C = \frac{2I_o}{\eta} \frac{j\omega\mu}{4\pi r} e^{-jk(r-\hat{k}_i \cdot \mathbf{c}_1 - \hat{k}^s \cdot \mathbf{c}_1)} \quad (1.16)$$

şeklinde yazılabilir.

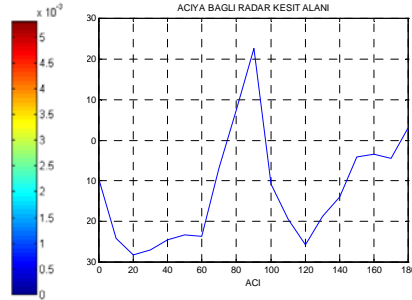
## 5. Sonuçlar

Radar Kesit Alanı hesaplamaları F16 uçaklarının yakıt tankının üçgen modeli üzerinde yapılmıştır. Şekil 1’de yakıt tankının üzerinde  $\theta_g = 45^\circ$ ,  $\phi_g = 90^\circ$  açılarından gelen dalganın etkisiyle indüklenen yüzey akımı görülmektedir. Model 136619 adet üçgenden oluşmaktadır ve hesaplamalar Pentium IV işlemcili bilgisayarda bir dakikadan kısa sürede tamamlanmaktadır. Şekil 2 ve 3’te ise yakıt tankının Radar Kesit Alanı sonuçları görülmektedir.

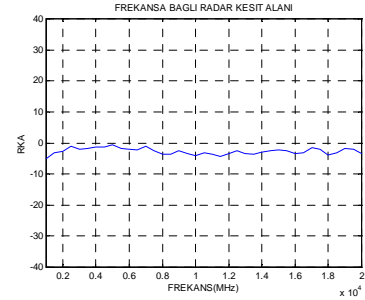


Şekil 1. F16 uçağı yakıt tankının üzerinde indüklenen yüzey akımı.

$$\theta_g : 45^\circ, \phi_g : 90^\circ$$



Şekil 2.  $\phi_g$  açısına göre Radar Kesit Alanı. Frekans:13GHz,  $\theta_g : 45^\circ$



Şekil 3. Frekansya göre Radar Kesit Alanı.  $\theta_g : 45^\circ$ ,  $\phi_g : 160^\circ$

## 5. Sonuç

Üçgen plakalarla modellenmiş büyük nesnelerin Radar Kesit Alanlarını hesaplayabilmek için Fiziksel Optik yöntemi kullanılmıştır. Her üçgen plaka için saçınım alanının Fiziksel Optik yaklaşımı analitik olarak elde edilmiştir. Yukarıda verilen formüller ve yöntem kullanılarak herhangi boyutta üçgenlerden oluşan herhangi büyüklükteki bir cismin Radar Kesit Alanı hesaplanabilir. Dairesel hatlara sahip nesnelerin üçgen modellerinde üçgenler büyüdükçe nesne gerçek formundan uzaklaşacağından, dairesel hatlara sahip nesnelerin üçgen modellerinin plaka boyutları büyüdükçe sonuç değişebilir. Hesaplamalar F16 uçaklarının yakıt tankının üçgen plaka modeli üzerinde yapılmıştır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Türk Uçak Sanayi A.Ş (TUSAS)’ye teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- [1] R.F. Harrington, “Time-Harmonic Electromagnetic Fields”, McGraw-Hill, New York, 1962.
- [2] C.A. Balanis, “Advanced Engineering Electromagnetics”, Wiley, New York, 1989.
- [3] J.H. Richmond, “The Basic Theory of Harmonic Fields, Antennas and Scattering”  
Ch. 4, The Radiation Integrals. Ohio State University Electro Science Laboratory, 1985.