

TM Kutuplu Düzlem Dalganın Yer Düzlemindeki bir Oluktan Saçılımının Moment Metodu ve Fiziksel Optik Karma Yöntemi ile Çözümü

İnci Umakoğlu*, Cengiz Özzaim
*Dumlupınar Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kütahya
inci.umakoglu@dpu.edu.tr

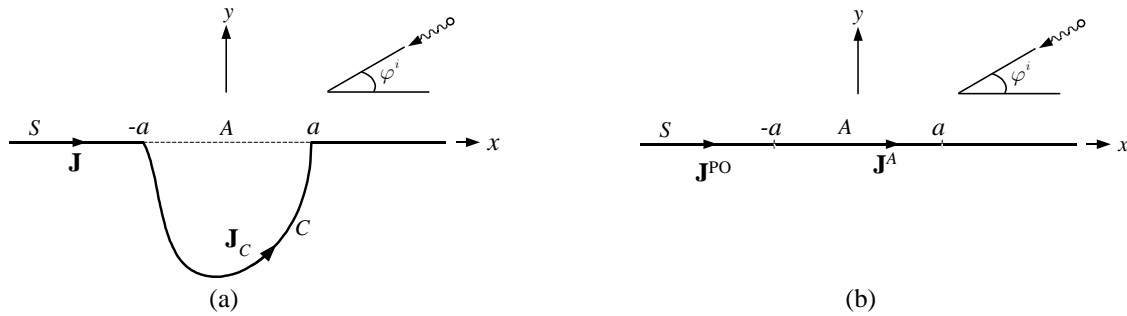
Anadolu Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Eskişehir
cozzaim@anadolu.edu.tr

Özet: Sonsuz mükemmel iletken bir düzlemde bulunan bir oluğa gelen TM kutuplu düzlem dalgaların saçılımı incelenmektedir. Kullanılan yöntem oluğun olduğu ve olmadığı durumlarda mükemmel iletken yüzeyde indüklenen akımlar arasındaki farkın oluktan yeterince uzakta sıfıra yakınsayacağına dayanmaktadır. Bu yaklaşımla olukta indüklenen akım ve sonsuz yüzey üzerindeki fark akımlarına ait elektrik alan integral denklemleri, Momentler Metodu (MoM) ve Fiziksel Optik karma yöntemi ile çözülmüştür. Dikdörtgen bir oluk üzerinde elde edilen akım dağılımları ve radar kesit alanı, literatürde elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

Abstract: Scattering of a TM plane wave by a cavity-backed infinite ground plane is investigated. Coupled electric field integral equations are obtained for the current induced in the cavity and for the difference in the induced currents in the presence and the absence of the cavity. The integral equations are solved by the Method of Moments (MoM) and the Physical Optics hybrid approach. Current distribution and the scattering cross section obtained for a rectangular groove are in good agreement with the results obtained in literature.

1. Giriş

Mükemmel iletken düzlemdeki kanal, oluk, çatlak gibi geometrilerin radar kesit alanı üzerine önemli sayıda araştırma yapılmıştır [1]-[4]. Bu uygulamalarda, geniş metalik düzlemdeki oluktan elektromanyetik dalga saçılımını bulmak gerekmektedir. Bu tip problemler içerisinde beklenen çok sayıdaki bilinmeyen sakınmak adına karma yöntemlerin uygulanması önerilmektedir [1]-[5]. Bu çalışmada, öncelikle oluklu düzlem problemi için elektrik alan integral denklemleri elde edilmiştir. Sonsuz yüzey boyunca akım bulunacağından bu denklemler MoM ile çözülemez. Çözümü mümkün kılmak için oluksuz düzlem problemi için elde edilen fiziksel optik çözümü kullanılmaktadır. Oluklu ve oluksuz durumlarda mükemmel iletken yüzeyde indüklenen akımlar arasındaki fark oluktan yeterince uzakta sönümlenecektir. Böylece olukta indüklenen akım ve sonsuz yüzey üzerindeki fark akımına ait elektrik alan integral denklemleri MoM ile çözülebilir. Bu bildiride, oluktan saçılım probleminin formülasyonu literatürdekinden farklı bir şekilde sunulmaktadır [1]-[3].



Şekil 1. Mükemmel iletken sonsuz yer düzlemi, (a) oluk varken, (b) oluk yok iken.

2. Problem Formülasyonu

TM polarizasyonlu düzlem bir dalga $\mathbf{E}^i = \hat{z} e^{jk(x \cos \varphi^i + y \sin \varphi^i)}$ ile uyarılan mükemmel iletken düzlemdeki iki boyutlu rastgele şekilli oluk Şekil 1(a)'da görülmektedir. S yüzeyi $|x| > a$, A yüzeyi $|x| \leq a$ ve, C yüzeyi de oluk içindeki yüzey olsun. S yüzeyinde indüklenen akım yoğunluğu \mathbf{J} , C yüzeyinde indüklenen akım yoğunluğu da \mathbf{J}_C olsun. Bu akımların meydana getirdiği elektrik alanlar ve gelen elektrik alan toplamının S ve C yüzeyindeki teğetsel bileşenlerinin sıfır olacağı aşağıdaki integral denklemlerinde ifade edilmektedir.

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}) + \mathbf{E}(\mathbf{J}_C)]_{\tan} = -\mathbf{E}_{\tan}^i, S \text{ yüzeyinde} \quad (1)$$

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}) + \mathbf{E}(\mathbf{J}_C)]_{\tan} = -\mathbf{E}_{\tan}^i, C \text{ yüzeyinde.} \quad (2)$$

Sonsuz S yüzeyi boyunca \mathbf{J} akımı bulunacağından yukarıdaki integral denklemlerin MoM ile direkt nümerik çözümü mümkün değildir. Bu nedenle, yukarıdaki integral denklemlerin çözümünü mümkün kılacak Şekil 1(b)'deki oluksuz sonsuz yer düzlemi önerilmektedir. Şekil 1(b), Şekil 1(a)'daki A yüzeyinin mükemmel iletken ile kapatılmasıyla elde edilir. Buradaki S yüzeyinde indüklenen akım yoğunluğu \mathbf{J}^{PO} ve A yüzeyindeki ise \mathbf{J}^A olsun. Bu akımlar sonsuz düzlemin farklı bölümlerinde bulunan aynı akımlar olup fiziksel optik prensibiyle manyetik alanın sınır koşulundan analitik olarak elde edilebilir [1]-[3]. Bu akımların meydana getirdiği elektrik alanlar ve gelen elektrik alan toplamının teğetsel bileşenleri S ve A yüzeyinde sıfır olacağı aşağıdaki integral denklemleriyle ifade edilebilir.

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}^{PO}) + \mathbf{E}(\mathbf{J}^A)]_{\tan} = -\mathbf{E}_{\tan}^i, S \text{ yüzeyinde} \quad (3)$$

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}^{PO}) + \mathbf{E}(\mathbf{J}^A)]_{\tan} = -\mathbf{E}_{\tan}^i, A \text{ yüzeyinde.} \quad (4)$$

Oluktan yeterince uzakta $\mathbf{E}(\mathbf{J})$ ve $\mathbf{E}(\mathbf{J}^{PO})$ alanlarının farkı sıfıra yakınsayacağından, \mathbf{J} ve \mathbf{J}^{PO} akımlarının farkı sonsuz düzlemin oluk civarındaki belirli bir bölgesinde var olacaktır. Dolayısıyla (3) nolu denklem (1) nolu denklemden çıkarılıp, $\mathbf{J}^P = \mathbf{J} - \mathbf{J}^{PO}$ fark akımı olarak tanımlandığında elektrik alan operatörlerinin lineer olmasından yararlanılarak (1) ve (2) nolu denklemler \mathbf{J}^P ve \mathbf{J}_C akımları cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}^P) + \mathbf{E}(\mathbf{J}_C)]_{\tan} = \mathbf{E}_{\tan}(\mathbf{J}^A), S \text{ yüzeyinde} \quad (5)$$

$$[\mathbf{E}(\mathbf{J}^P) + \mathbf{E}(\mathbf{J}_C)]_{\tan} = -[\mathbf{E}_{\tan}^i + \mathbf{E}(\mathbf{J}^{PO})]_{\tan}, C \text{ yüzeyinde.} \quad (6)$$

Şekil 1(b)'deki problem göz önüne alındığında (6) nolu denklemde $\mathbf{E}(\mathbf{J}^A) = -\mathbf{E}_{\tan}^i - \mathbf{E}(\mathbf{J}^{PO})$ olacaktır. Yukarıdaki ifade de \mathbf{J}^A fiziksel optik prensibi ve manyetik alanın sınır koşulundan analitik olarak, $\mathbf{E}(\mathbf{J}^A)$ ise nümerik olarak aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilmektedir [1]-[3]:

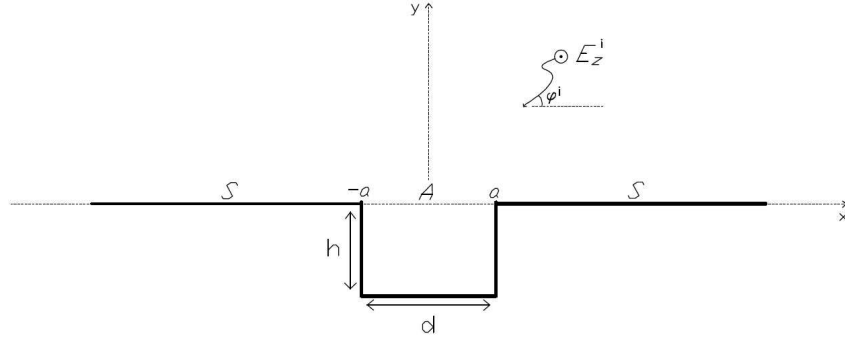
$$\mathbf{J}^A = 2\hat{y} \times \mathbf{H}^i = \hat{z} \frac{2}{\eta} \sin \varphi^i e^{jkx \cos \varphi^i}, |x| \leq a \quad (7)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{J}^A) = \frac{k}{2} \sin \varphi^i \int_A e^{jkx' \cos \varphi^i} H_0^{(2)} [k\sqrt{(x-x')^2 + y^2}] dx' \quad (8)$$

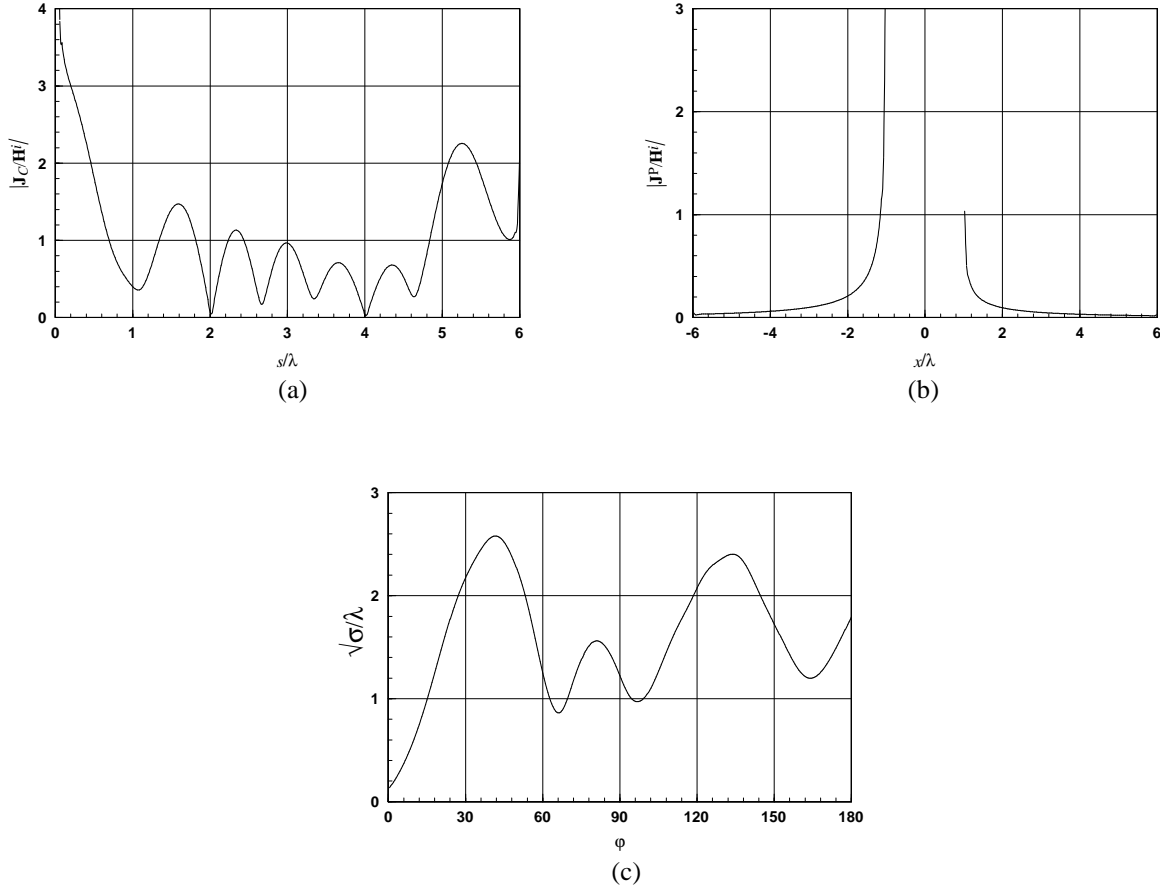
\mathbf{J}^P ve \mathbf{J}_C akımları sonlu bir yüzeyde bulunduğundan (5) ve (6) nolu integral denklemler bu haliyle MoM ile çözülebilmektedir. Saçılan alanlar \mathbf{J}^P ve \mathbf{J}_C akımlarından elde edilmektedir. (5) ve (6) nolu integral denklemlerdeki serbest uzay integral operatörleri ve onların nümerik çözümleri literatürden bulunabilir.

3. Sayısal Sonuçlar

Bölüm 2'de tanımlanan MoM-Fiziksel Optik yaklaşımını ispatlamak amacıyla genişliği, yüksekliği, ve gelen dalganın geliş açısı, $h = d = 2\lambda$, $\varphi^i = 60^\circ$ olan Şekil 2'deki dikdörtgen oluk problemi incelenmiştir. İndüklenen \mathbf{J}^P ve \mathbf{J}_C akımları dalga boyu cinsinden uzaklığa bağlı olarak sırasıyla Şekil 3(a) ve 3(b)'de gösterilmiştir. TM kutuplu dalga ile uyarılan köşeli iletkenlerin köşelerinde akım yoğunluğunun sonsuza gitmesi gerekeğinden, Şekil 3(a)'da görüleceği üzere \mathbf{J}_C akımı oluğun başlangıcında ve sonunda sonsuza gitmektedir. Şekil 3(b)'de görüldüğü gibi \mathbf{J}^P akımı oluğun hemen yakınında düzlem üzerinde beklendiği gibi sönümlenmiştir. Ayrıca, normalize edilmiş radar kesit alanı saçılma açısına bağlı olarak Şekil 3(c)'deki gibi gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar [1] ve [3] referans makalelerindeki sonuçlar ile tam uyum içerisindedir. Ayrıca \mathbf{J}^P akımı için kullanılacak farklı baz fonksiyonlarının problemin çözümünü hızlandıracağı önerilmektedir [5].



Şekil 2. Dikdörtgen oluk geometrisi.



Şekil 3. (a) İndüklenen J_C akımı (b) İndüklenen J^P akımı (c) Saçılma açısına bağlı normalize radar kesit alanı.

Kaynaklar

- [1]. Shifman Y. ve Leviatan Y., "Scattering by a Groove in a Conducting Plane -A PO-MoM Hybrid Formulation and Wavelet Analysis", IEEE Trans. on Antennas and Propag., cilt. 49 no. 12, s.1807-1811, 2001.
- [2]. Saynak U. ve Kızılay A., "Computation of the scattered fields from an arbitrary discontinuity on a perfectly conducting ground plane by a decomposition method", Turkish J. of Electrical Eng. & Comp. Sciences, 2014.
- [3]. Tretiakov Y. ve Pan G., "Coifman Wavelets in Electromagnetic Wave Scattering by a Groove in a Conducting Plane", Progress in Electromagnetics Research, cilt. 1 no. 20, 2004.
- [4]. Byun W. J., Yu J. W. Yu ve Myung N. H., "TM Scattering from Hollow and Dielectric-filled Semielliptic Channels with Arbitrary Eccentricity in a Perfectly Conducting Plane", IEEE Trans. on Mic. Theory and Tech., cilt. 46, no. 9, 1998.
- [5]. E. Jørgensen, S. Maci, ve A. Toccafondi, "Fringe Integral Equation Method for a Truncated Grounded Dielectric Slab", IEEE Trans. Antennas Propag., cilt. 49, no. 8, s. 1210-1217, Aug 2001.