

# DAİRESEL DALGA KILAVUZUNA YERLEŞTİRİLMİŞ HOMOJEN OLMAYAN KAYIPLI DİELEKTRİK CİSİM İÇİN DÜZ PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Ahmet AYDOĞAN <sup>1,2</sup>

Funda AKLEMAN <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Fakültesi  
Doğuş Üniversitesi, Acıbadem 34722, İstanbul  
aaydogan@dogus.edu.tr

<sup>2</sup> Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi  
İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul  
akleman@itu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Dairesel dalga kılavuzu, düz saçılma problemi, moment yöntemi, dyadik Green fonksiyonu*

## ÖZET

*Bu çalışmada dairesel dalga kılavuzu içerisine kısmi olarak yerleştirilmiş manyetik olmayan kayıplı bir dielektrik cisim için düz saçılma probleminin çözümü incelenmiştir. Malzemenin konum, şekil ve elektriksel parametreleri bilinmektedir ve gelen elektrik alan bilgisinden faydalanarak malzemeden dolayı oluşacak saçılan alanın kestirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla boş dairesel dalga kılavuzuna ait dyadik Green fonksiyonu ifadelerini içeren problemin çözümüne ilişkin integral denklem elde edilmiştir. Elde edilen integral denklemi Moment yöntemi kullanılarak matris denklemine dönüştürülmüş ve problemin çözümüne ilişkin bilinmeyen büyüklükler bulunmuştur.*

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, dairesel dalga kılavuzuna ilişkin ters saçılma probleminin çözümü için uygun bir temel oluşturulması hedeflenmiştir. Ters saçılma problemi, bir malzemenin iletkenlik, dielektrik geçirgenlik, manyetik geçirgenlik gibi elektriksel özelliklerinin belirlenmesini ele alan bir yöntemdir. Ters saçılma probleminde hedefe yollanan elektromanyetik dalga belirlidir ve dalganın yayılma yönünde cisimden dolayı oluşan süreksizlikten kaynaklanan saçılan alan bilgisinin de ölçülebildiği kabul edilmektedir. Bu iki bilgi ile süreksizliğin elektriksel özellikleri bulunabilir. Elde edilen bilgiler fiziksel olarak, gerektiği taktirde aynı zamanda cismin şekli ve konumu ile ilgili bilgiyi de verecektir.

Ters saçılma probleminin çözümü için problemin doğasına ilişkin olarak farklı yöntemler uygulanabilir. Dalga kılavuzu yöntemi de bu yöntemlerden biridir. Literatürde dikdörtgen dalga kılavuzuna yerleştirilmiş üç boyutlu, keyfi şekilli ve kayıplı bir dielektrik cismin elektriksel parametrelerinin belirlenmesi için dyadik Green fonksiyonuna (DGF) dayalı algoritmanın işlevselliği gösterilmiştir [1]. Tanımlanan ve özel olarak dikdörtgen dalga kılavuzlarına uygulanan bu yöntemin, genel olarak dyadik Green fonksiyonu bilinen herhangi bir dalga kılavuzuna da rahatlıkla uygulanabileceği öngörülmektedir. Kullanılan dalga kılavuzunun dairesel kesitli olması durumunda, ters problemin çözülebilmesi için verilen yapıya ilişkin dyadik Green fonksiyonunun ve ilgili DGf için elde edilen algoritmanın geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu tür bir değerlendirme dairesel dalga kılavuzuna ilişkin düz problemin çözümü ile yapılabilir. Düz saçılma probleminde uygulanan elektromanyetik dalga bilgisi ile birlikte dalganın yayılma bölgesinde süreksizliğe neden olan cismin konumu, şekli ve elektriksel özellikleri bilinmektedir. Aydınlatılan cisimde oluşan akım yoğunluğun neden olduğu saçılan alanın incelenen bölgenin herhangi bir noktasında belirlenmesi düz problemin amacını oluşturmaktadır.

Hem ters saçılma problemine ilişkin temel oluşturması açısından, hem de literatürde konuya ilişkin bir çalışma olmaması nedeniyle dairesel dalga kılavuzuna yerleştirilmiş manyetik olmayan, kayıplı yalıtkan malzemeler için düz problemin çözümü bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Literatürde dairesel dalga kılavuzuna yerleştirilmiş açık metal cisimler için düz problemin çözümü incelenmiştir [2], ancak bilgimize göre kayıplı ve keyfi şekilli dielektrik cisimler için benzer bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır.

## 2. DAİRESEL DALGA KILAVUZUNDA DÜZ SAÇILMA PROBLEMİ

Bu çalışmada, dairesel kesitli dalga kılavuzuna manyetik olmayan, kayıplı ve üç boyutlu homojen olmayan bir

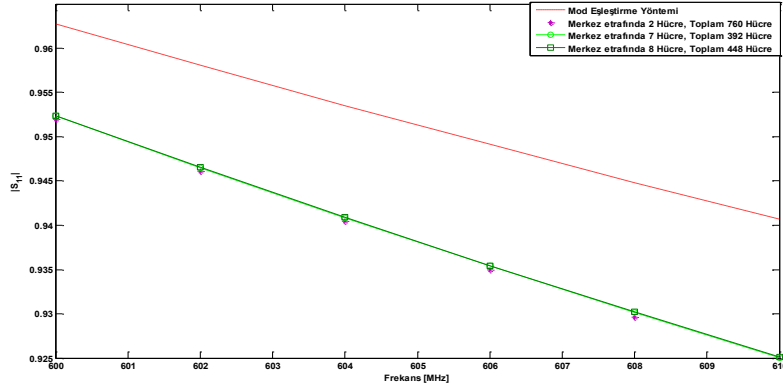
$$\vec{J}(\vec{r}) = -i\omega[\varepsilon(\vec{r}) - \varepsilon_0]\vec{E}(\vec{r}) \quad (1)$$
$$\vec{E} = i\omega\mu_0 \int G(\vec{r}, \vec{r}') \vec{J}(\vec{r}') dV' \quad (2)$$

A diagram showing a wavy surface profile. A vertical axis is labeled  $z$ . A horizontal distance is labeled  $\Delta$ . A bracket on the right indicates a height  $h$ . To the right of the bracket, the expression  $\frac{h}{\Delta} \rightarrow 0$  is written.

$$-\vec{E}(\vec{r}) = \frac{-\vec{\rho}}{i\omega[\varepsilon(\vec{r}) - \varepsilon_0]} + i\omega\mu_0 \lim_{\delta \rightarrow 0} \int_{V_D - V_\delta} G(\vec{r}, \vec{r}') \vec{J}(\vec{r}') dV' + \frac{-\vec{z}}{i\omega\varepsilon_0} \quad (3)$$

Hücrelendirme biçiminin sonuçlar üzerindeki etkinliğini arttırmak için en iyileme çalışmaları yapılmıştır. Ele alınan sayısal örneklerde incelenen cisimler kesitte  $\Phi$ 'ye göre simetrik yerleştirilmiştir. Kesit merkezinden kılavuz sınırına doğru  $\Phi$ 'ye göre hücre sayısı merkeze uzaklıkla orantılı olarak arttırılmıştır. Genel olarak sayısal yöntemlerde incelenen problemde hücre sayısının arttırılmasının sonuçların doğruluğunu yükseltmesi beklenir. En iyileme çalışmasında ise  $\Phi$  yönündeki hücre sayısının arttırıldığı fakat toplam hücre sayısının azaltıldığı durumda sonuçların tutarlılığında, Şekil 3'te de görüldüğü gibi, iyileşme olduğu - ya da en azından tutarlılığın bozulmadığı- görülmüştür. Bunun nedeni, Green fonksiyonunun  $\Phi$  -ekseninde sinüzoidal olması yüzünden bu

eksende daha iyi bir örneklemeye ihtiyaç duyulmasıdır. Öngörülebilir ki, dalga kılavuzu keyfi bir şekle sahip kesit içinde homojen olmayan bir cisim ile yüklenecek olursa, oluşabilecek üst modlar daha iyi bir örneklemeyi gerektirecektir.



Şekil 3. Tam dolu kayıplı cisim için karşılaştırma

## 2. SAYISAL SONUÇLAR

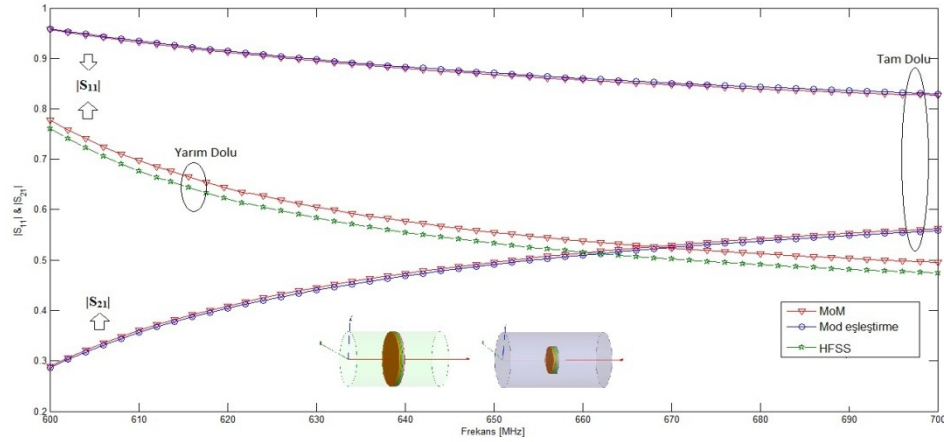
Kullanılan yöntemin ve hazırlanan algoritmanın doğruluğunu göstermek amacı ile, iki farklı durum için saçılma parametreleri hesaplanmış ve sonuçlar referans yöntem ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. İlk aşamada, kılavuzun kesitini tam olarak dolduracak şekilde seçilen ve sadece z-yönünde homojen olmayan bir cisme ilişkin saçılma parametreleri hesaplanmıştır. Bu durumda sistemin analitik çözümü mevcuttur ve hazırlanan algoritmanın kanonik analizi için uygundur. Diğer bir analiz ise, kesit içini tam doldurmayan cismin saçılma parametrelerinin hesaplanması ve sayısal bir referans çözüm ile karşılaştırılması şeklindedir. Bu sayede, algoritmanın, kesit içinde de homojen olmayan cisim için doğru sonuç verdiği gösterilmiştir. Örneklerde kullanılan kılavuzun yarıçapı 0.15 m, birinci ve ikinci kesim frekansları ise sırasıyla 586 MHz ve 765 MHz'dir. Baskın mod bölgesinde çalışmak için 600-700 MHz frekans aralığı analiz için seçilmiştir ve dairesel dalga kılavuzu baskın mod  $TE_{11}$  ile uyarılmıştır. Sayısal sonuçlar için z-yönünde üç katmanlı dielektrik cisim ele alınmıştır. Her katmanın uzunluğu 1 cm'dir. Katmanların bağıl dielektrik geçirgenlik ve iletkenlik değerleri ise sırasıyla  $\epsilon_{r1} = 6, \sigma_1 = 2.55 \times 10^{-4} S/m$ ,  $\epsilon_{r2} = 8, \sigma_2 = 3.55 \times 10^{-4} S/m$  ve  $\epsilon_{r3} = 4, \sigma_3 = 1.55 \times 10^{-4} S/m$  olarak seçilmiştir.

Sayısal örneklerde tanımlanan cismin dalga kılavuzunun kesitini tamamen ve yarı olarak doldurduğu durumlar ele alınmıştır. Tam dolu durum için sonuçlar analitik bir yöntem olan Mod eşleştirme yöntemi ile, yarı dolu durum için ise sonuçlar ticari bir simülasyon programı olan HFSS ile karşılaştırılmıştır. Tam ve yarı dolu durumlarda kayıplı dielektrik cisim için elde edilen saçılma parametrelerinin frekansa göre genlik ve faz değişimleri sırası ile Şekil 4 ve Şekil 5 ile verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere, tam dolu durumda MoM yaklaşımı ile çözülen integral denklem yöntemi ile elde edilen saçılma parametreleri, analitik referans çözüm ile hesaplanan saçılma parametreleri ile son derece uyumludur. Aynı zamanda yarı dolu durum için HFSS ve MoM ile elde edilen saçılma parametresi değişimleri de oldukça uyumludur. Ancak HFSS programının özellikle bu tipte dairesel yapılarıdaki modelleme sorunu nedeni ile, genlik değerlerinde az da olsa iki yöntem sonuçları arasında farklılık oluşmuştur. Bu sorun, HFSS'te hücre boyutları küçültülerek, yani kullanılan hücre sayısı artırılarak azaltılabilir.

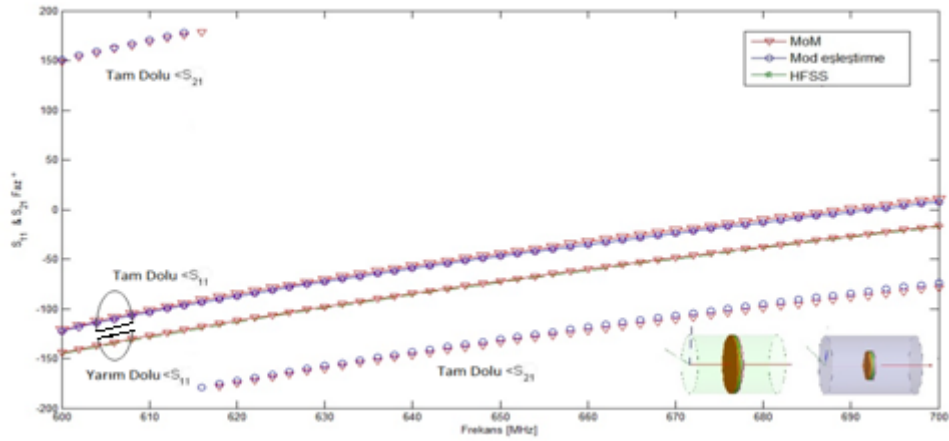
## 3. SONUÇ

Bu çalışmada Moment yöntemi kullanılarak dairesel dalga kılavuzuna yerleştirilmiş manyetik olmayan kayıplı dielektrik cisimler için düz problemin çözümü incelenmiştir. Tam dolu durumda dyadik Green fonksiyonundan yararlanılarak elde edilen integral denkleminin Moment metodu ile çözümünün tutarlılığı analitik bir yöntem olan Mod eşleştirme yöntemi ile gösterilmiştir. Yarı dolu durumda ticari bir elektromanyetik simülasyon programı olan HFSS ile önerilen yöntemin tutarlılığına bakılmıştır. HFSS paket programının yuvarlak cisimler ile çalışma sıkıntısından dolayı yarı dolu durumda sonuçlar tam dolu kadar uyumlu çıkmamıştır. Ayrıca HFSS'in uygun sonlandırma probleminden dolayı karşılaştırma için  $S_{21}$ 'e ait genlik ve faz bilgisi elde edilememiştir. Bu çalışma ile dairesel dalga kılavuzuna yerleştirilmiş dielektrik cisimlerin elektriksel parametrelerinin belirlenmesi için oluşturulacak ters problem algoritması için temel oluşturulmuştur. Ayrıca, kılavuz içindeki süresizliğin neden olduğu saçılan elektrik alan bilgisi veya toplam elektrik alan bilgisi dyadik

Green fonksiyonu temsili kullanılarak kılavuz içindeki herhangi bir noktada belirlenebilir. İleri çalışmalarda burada tanıtılan yöntem kullanılarak dairesel dalga kılavuzuna yerleştirilmiş dielektrik cisimlerin elektriksel özelliklerinin tanımlanması problemi ele alınacaktır.



Şekil 4. Tam ve yarım dolu kayıplı cisim için  $|S|$  değerleri



Şekil 5. Tam ve yarım dolu kayıplı cisim için  $\angle S$  değerleri

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK tarafından proje 108E146 kapsamında kısmi olarak desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1.] Kilic, E.; Akleman, F. Esen, B. Ozaltin, D.M. Ozdemir, O. Yapar, A. "3-D Imaging of Inhomogeneous Materials Loaded in a Rectangular Waveguide," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol.58, no.5, pp.1290-1296, May 2010.
- [2.] Victor A. Klymko, Islam A. Eshrah, Alexander B. Yakovlev, Ahmed A. Kishk, and Allen W. Glisson, "Scattering by Open Metal Obstacles in a Circular Waveguide: Dyadic Green's Function Approach", *Antennas and Propagation Society International Symposium 2004*, vol. II, pp. 2127-2130, June 2004.
- [3.] Yaghjian, A.D. "Electric dyadic Green's functions in the source region," *Proceedings of the IEEE*, vol.68, no.2, pp. 248- 263, Feb. 1980.
- [4.] Peterson, A. F., Ray S. L. and Mittra R., *Computational Methods for Electromagnetics*. New York, IEEE Press, 1998.
- [5.] Aydoğan, A.; Akleman, F. "Validation of MoM-based direct scattering analysis in circular waveguide for appropriate mesh-type decision" 14th International Conference on Mathematical Methods In Electromagnetic Theory, Aug. 2012.