Silindirik Nesnelerde Elektromanyetik Saçılmanın Azaltılması için Tek Katmanlı Yüzey Tasarımı

Hande Bodur, Sibel Çimen
Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Kocaeli
hande.bodur@kocaeli.edu.tr, sibelgunduz@kocaeli.edu.tr

Özet: *Bu çalışmada silindirik nesnelerde elektromanyetik saçılmanın azaltılması için iletken bir silindir etrafına sarılmış, tek katmanlı bir dielektrik tabaka üzerine uygun yüzey tasarımı yapılmıştır. Elektromanyetik saçılmanın azaltılması için gerekli olan yüzey empedansı Mie saçılma teorisine göre hesaplanmıştır. Tasarım için gerekli birim hücre parametreleri yüzey empedansı kullanılarak elde edilir. Tasarımı tamamlanan silindir ve yalnızca mükemmel elektrik iletken silindir için bistatik Radar Kesit Alanı (RKA) analizleri yapılmış ve simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında tasarım silindir f=3.15 GHz' de 15.65 dB mutlak RKA azaltımı sağlamış ayrıca bu frekansta silindirin etrafında her açıda saçılmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, algılama uygulamaları, radar uygulamaları ve blokajı azaltmak için anten izolasyonu gibi ileri araştırmalar için önemli ölçüde görünmezlik sunulmaktadır.*

Abstract: *In this study, a suitable surface design has been made on a single-layer dielectric layer wrapped around a conductive cylinder to reduce electromagnetic scattering in cylindrical objects. The surface impedance required for minimizing electromagnetic scattering is calculated based on the Mie scattering theory. The design parameters for the unit cell are obtained using the surface impedance. Bistatic Radar Cross Section (RCS) analyses are conducted for both the designed cylinder and the perfect electric conductor cylinder, and simulation results are obtained. When comparing the simulation results, the designed cylinder has 15.65 dB absolute RCS reduction at f=3.15 GHz. Additionally, it is observed that scattering is reduced at all angles around the cylinder at this frequency. Considerable invisibility is presented in this study for further investigations including sensing applications, radar applications and antenna isolation for blockage reduction.*

1. Giriş

Son yıllarda belirli bir nesne etrafındaki elektromanyetik saçılmanın azaltılması prensibine dayanan ve literatürde elektromanyetik gizleme olarak bilinen konuya olan ilgi gittikçe artmıştır. Literatürde görünmezlik elde etmek için çeşitli teknikler bulunmaktadır. Bu teknikler arasında dönüşüm optiği [1], halı pelerini [2], iletim hattı [3], plazmonik gizlenme [4] ve manto pelerini [5]-[6] bulunmaktadır. Bu çalışmada manto pelerini tekniği kullanılmış ve elektromanyetik saçılmanın azaltılması için gerekli yüzey empedansı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada mükemmel elektrik iletken bir silindir etrafına ince bir dielektrik tabaka sarılmış ve elektromanyetik saçılmanın azaltılması için bu dielektrik yüzey üzerine uygun yüzey tasarımı yapılmıştır. Yapılan birim hücre yüzey tasarımı özgün olup literatürde manto pelerini tasarımlarında kullanılan geleneksel birim hücrelerden farklıdır. Tasarımda kullanılan birim hücre parametreleri yüzey empedansı kullanılarak belirlenmiştir. Tasarlanan birim hücrenin s-parametresi analizleri ile hesaplanan yüzey empedansı, elektromanyetik saçılmanın azaltılması için analitik formülle hesaplanan yüzey empedansına eşit olacak şekilde ayarlanarak nihai uzunluklar elde edilmiştir. Tasarlanan yapının saçılma azaltma performansını incelemek için bistatik RKA analizleri yapılmıştır. Simülasyon sonuçları tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindir için CST Microwave Studio kullanılarak elde edilmiştir. Frekansa göre RKA grafikleri incelendiğinde tasarım silindir f=3.15 GHz'de 15.65 dB mutlak RKA azaltımı sağlamıştır. Silindirin etrafında oluşan elektromanyetik saçılmanın azaltılması önemlidir ve bu tasarımda ilgili frekansta silindirin etrafında her açıda saçılmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Literatürde özgün birim hücre ile tasarım yapılmış tek katmanlı güncel bir çalışma olan [6]'dan 3 dB'den daha fazla saçılma iptali elde edilmiştir.

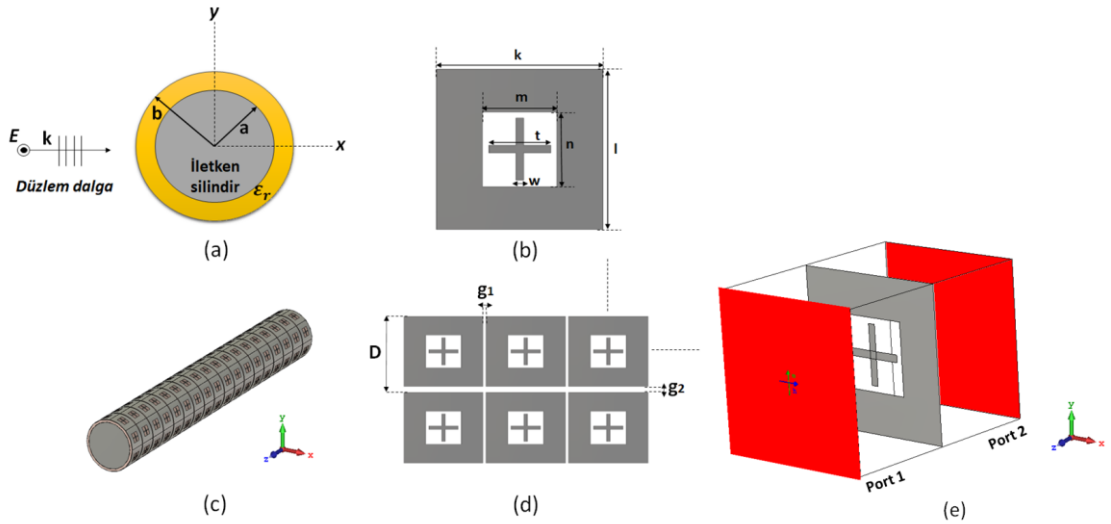
2. Tasarım

Elektromanyetik saçılmanın azaltılması için gerekli olan yüzey empedansı Z_s denklem (1) kullanılarak -32.298 ohm olarak hesaplanmıştır. Birim hücre tasarımı için gerekli parametreler Z_s değeri kullanılarak elde edilir. Birim hücre tasarımında kullanılan parametrelerin uzunlukları ayarlanarak tasarlanan birim hücrenin $Z_{s(CST)}$ değeri, denklem (1) yardımıyla saçılma iptalini sağlayacak olan Z_s değerine eşitlenmeye çalışılır. Tasarlanan birim hücrenin $Z_{s(CST)}$ değeri s-parametreleri yardımıyla denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 1 (e)).

$$Z_s = -\frac{j}{\frac{1}{\eta_d}\frac{J_n(k_d a)\,Y_n'(k_d b) - J_n'(k_d b)\,Y_n(k_d a)}{J_n(k_d a)\,Y_n(k_d b) - J_n(k_d b)\,Y_n(k_d a)} - \frac{1}{\eta_0}\frac{J_n'(k_0 b)}{J_n(k_0 b)}} \tag{1}$$

$$Z_{s(CST)} = -Z_0\frac{(1+S_{11})}{2S_{11}} \tag{2}$$

Tasarım silindir, *a* yarıçaplı mükemmel elektrik iletken bir silindir üzerine *h* kalınlığına, ε_r=10.2 (Rogers 3010) dielektrik katsayısına sahip ince bir dielektrik tabakanın sarılmasıyla toplam yarıçap *b* olacak şekilde f_0=3 GHz tasarım frekansı ile meydana gelmiştir (Şekil 1 (a)). Birim hücre geometrisi Şekil 1 (b)'de gösterilmiş ve tasarımda kullanılan parametrelerin uzunlukları Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1 (d)'de gösterildiği üzere birim hücreler öncelikle çoğullanır ve akabinde dielektrik silindirin üzerine sarılır. Birim hücre sayısı *N* silindirin çevresi boyunca tanımlanır ve tasarım silindirin etrafına 8 adet birim hücre sarılarak tasarım tamamlanmıştır. Birim hücre sayısı *N,* yapının tasarım frekansına en yakın frekansta çalışması kriterine göre belirlenmektedir. *z*-yönündeki toplam uzunluk olan *L* pratik uygulamalarda kullanılmak üzere sonlu bir uzunluk olarak belirlenmiştir. Şekil 1 (c)'de tasarım silindirin genel görünümü verilmektedir.

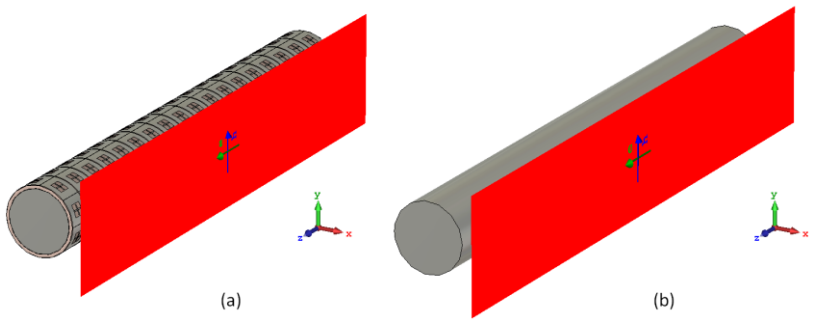


Şekil 1. (a) Tasarım silindirin kesit görünümü, (b) birim hücre geometrisi, (c) tasarım silindirin genel görünümü, (d) birim hücrelerin çoğaltılması, (e) birim hücrenin CST modeli.

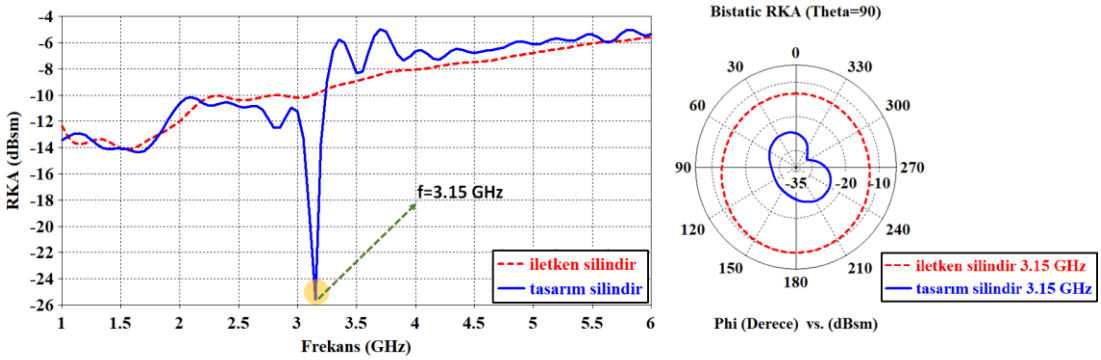
Tablo 1. Tasarımda kullanılan parametrelerin uzunlukları.

a=12.5 mm	*m=4.81 mm*	*D=10.8 mm*
b=13.77 mm	*n=4.81 mm*	*g1=0.05 mm*
k=10.76 mm	*t=4 mm*	*g2=0.5 mm*
l=10.31 mm	*w=0.5 mm*	*L=19.4 mm*

Şekil 2'de görüldüğü üzere normal geliş altında TM-polarize düzlem dalga (propagasyon normal= (-1,0,0) ve elektrik alan vektör= (0,0,1) =E_z) tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindir üzerine gönderilmiştir. Frekansa göre RKA grafikleri (θ=90°, φ=180°) ve uzak alan saçılma grafikleri tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindir için elde edilmiştir. Şekil 3 (a)'dan görüldüğü üzere f=3.15 GHz'de 15.65 dB mutlak RKA azaltımı elde edilmiştir. Şekil 3 (b) her iki silindir için x-o-y düzleminde simüle edilmiş saçılma grafiklerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindir karşılaştırıldığında silindirin etrafında her açıda kayda değer bir elektromanyetik saçılma azaltımı elde edilmiştir. Bu da çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 2. Normal geliş altında düzlem dalganın (a) tasarım silindir, (b) mükemmel elektrik ileten silindir üzerine gönderilmesi.



Şekil 3. Tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindir için (a) frekansa göre RKA grafiği, (b) f=3.15 GHz için x-o-y düzleminde saçılma grafiği.

3. Sonuç

Bu çalışmada manto pelerini yöntemi kullanılarak silindirik nesneler için elektromanyetik saçılmayı azaltacak yüzey tasarımı yapılmıştır. Elektromanyetik saçılmayı azaltmak için gerekli yüzey empedansı Z_s hesaplanmış ve bu değere göre birim hücre parametreleri elde edilmiştir. Tasarım silindir ve mükemmel elektrik iletken silindirin simülasyon sonuçları saçılma performansını incelemek için karşılaştırılmış ve tasarım silindir f=3.15 GHz'de 15.65 GHz mutlak RKA azaltımı elde etmiştir. Her iki silindir için x-o-y düzleminde saçılma grafikleri incelendiğinde silindirin etrafında her açıda kayda değer bir saçılma iptali elde edildiği gözlemlenmiştir. Literatürde olan manto pelerini çalışmaları için bant genişliği kısıtlayıcı bir faktör olmaya devam etmektedir. Çok katmanlı yapılar veya uygun birim hücre geometrisiyle bu dezavantajın üstesinden gelinmeye çalışılmaktadır.

Kaynaklar

[1]. Rajput A ve Srivastava KV., "Approximated complementary cloak with diagonally homogeneous material parameters using shifted parabolic coordinate system," IEEE Trans. Antennas Propag., cilt.65 no.3, s.1458–1463, 2017.

[2]. Martinez F ve Maldovan M., "Metamaterials: Optical, acoustic, elastic, heat, mass, electric, magnetic, and hydrodynamic cloaking," Metamaterials Today Physics., cilt.27, s.100819, 2022.

[3]. Alitalo P, Culhaoglu AE, Osipov AV, Thurner S, Kemptner E ve Tretyakov SA., "Experimental characterization of a broadband transmission-line cloak in free space," IEEE Trans. Antennas Propag., cilt.60 no.10, s.4963–4968, 2012.

[4]. Bernety MH. ve Cappelli MA., "A possible realization of plasmonic cloaking using non-magnetized plasma discharge tubes," 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI), Denver, CO, USA, Temmuz 2022.

[5]. Schofield RS, Soric JC, Rainwater D, Kerkhoff A ve Alu A., "Scattering suppression and wideband tunability of a flexible mantle cloak for finite-length conducting rods," New Journal of Phisics, cilt.16, 2014.

[6]. Yan Tay C. ve Ning Chen Z., "Azimuthally Inhomogeneous Metasurface Cloak for Cylindrical Objects," IEEE Trans. Antennas Propag., cilt.69 no.1, s.254-262, 2021.