

## Silindir Ekran için Elektromanyetik Alan Ekranlama Etkinliğinin Çözümlemesi

Niyazi İL\*, Şükrü ÖZEN, Kayhan ATEŞ, Hamza Feza CARLAK

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 07070, Antalya

### YAYIN BİLGİSİ

#### Tarihçe:

Alınış: Ekim 2019  
Kabul: Aralık 2019  
Online Yayınlanma: Aralık 2019

#### Anahtar Kelimeler:

Elektromanyetik Ekranlama  
Elektromanyetik Girişim  
Ekranlama Etkinliği  
EMC  
EMI

### ÖZET

Elektromanyetik girişimin önlenmesinde temel çözüm yöntemlerinden birisi olan ekranlama elektromanyetik uyumluluk kapsamında en önemli başlıklardan birisidir. Uygulamada ve elektromanyetik uyumluluk literatüründe ekran konusu daha çok ekran etkinliği temelinde pratik yaklaşımlarla ele alınmakta, Maxwell denklemlerine dayalı detaylı çözümlere çok az yer verilmektedir. Oysa ekranlama teorisinin iyi anlaşılabilmesi için, Maxwell denklemlerini temel alan detaylı çözümlerin yapılması gerekmektedir. Bu temel ihtiyaç dikkate alınarak, genel silindir ekran modelinde elektromanyetik alan ifadeleri analitik olarak çözülmüş, elektrik ve manyetik alana karşı ekranlama etkinliğinin analizi yapılmıştır. Genel silindir ekran modelinde elektromanyetik alan için ekran etkinliği, ekran parametreleri ve frekansa bağlı olarak incelenmiştir.

## Analysis of Electromagnetic Field Shielding Effectiveness for Cylinder Shield

### ARTICLE INFO

#### History:

Received: October 2019  
Accept: December 2019  
Available online: December 2019

#### Keywords:

Electromagnetic Shielding  
Electromagnetic Interference  
Shielding Effectiveness  
EMC  
EMI

### ABSTRACT

Shielding, one of the basic solution methods for preventing electromagnetic interference, is one of the most important topics within the scope of electromagnetic compatibility. In practice and in the electromagnetic compatibility literature, the subject matter is handled with practical approaches based on screen activity, and very few solutions based on Maxwell equations are given. However, in order to understand the shielding theory well, detailed solutions based on Maxwell's equations are required. Considering this basic requirement, electromagnetic field expressions have been analytically solved in general cylinder shield model and analysis of shielding efficiency against electric and magnetic field has been done. Shielding efficiency for electromagnetic field in the general cylinder shield model has been investigated depending on the shielding parameters and frequency.

### 1. Giriş

Elektromanyetik (EM) enerjinin tanımlanmış bir bölgeye girişini tamamen veya kısmen engellemek ya da tanımlanmış bir kaynak bölgesi sınırları içerisinde kontrol altında tutmak amacıyla yapılan işlem ekranlama adını alır [1,2]. Ekranlama, elektromanyetik dalgaların cihaz ve canlılar ile girişim etkisinin kontrolünde başvurulan temel kontrol yöntemlerinden birisidir

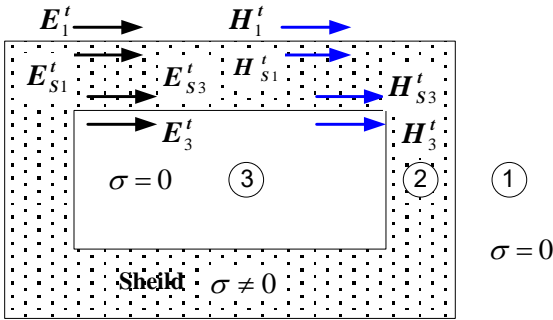
Ekran malzemesi olarak, manyetik geçirgenliği yüksek veya elektriksel iletkenliği yüksek malzemeler kullanılır. Ekranlama performansı; kullanılan ekran malzemelerinin türü, ekran kalınlığı, alan kaynağın yönlenmesi, frekans, gözlem noktası olan uzaklık gibi parametrelere bağlıdır.

## 2. Ekranlama Aşamaları

Ekranla gelen EM dalgalar üç temel aşamada zayıflar. İlk olarak, gelen EM dalganın bir kısmı hava ekran sınırında yansır, daha sonra bir kısmı ekran içerisinde yutulur, ayrıca ekran içerisinde çoklu yansımalara uğrar [3,4].

Genel ekranlama teorisi açısından temel çözüm bölgeleri Şekil 1. de gösterilmiştir. Burada 1, 2 ve 3 ile gösterilen bölgeler, sırasıyla dış ortam, ekran malzemesi ve iç ortamı (veya dış) temsil etmektedir. İç ortam boşluk olabileceği gibi bir dielektrik ortam da olabilir. E ve H alanların 1, 2 ve 3 nolu ortamlardaki yansıma, kırılma ve yayılma gibi davranışları ekranlama etkinliği üzerine etki eder. Bu ortamlarda Maxwell denklemlerinin çözümü oldukça karmaşık işlemler gerektirdiği için, ekran teorisinde genellikle bu denklemlerin, pratik tecrübelerle dayalı yaklaşık çözümleri tercih edilmektedir.

Burada, ekranlama etkinliğinde önemli görülen ve yukarıda bahsedildiği gibi bu 3 ortamdaki dalga davranışları için analitik çözümler sunulmuştur. İlk önce silindirik ekran modeli için, geri yansıyan alanlar dikkate alınmadan çözümler ele alınacak, sonra yansıma bileşeni hesaba dahil edilecek ve son olarak genel formda silindirik model çözümleri sunulacaktır.



Şekil 1. Ekran modeli çözüm bölgesi tanımı (E ve H yüzey alan ifadeleri tanjant bileşenleri olup t ile gösterilmiştir, s indisi ekran bölgesini tanımlar)

Üç boyutlu uzayda kompleks formda manyetik alan bileşeni  $\vec{H}(x, y, z)$  ve elektrik alan bileşeni  $\vec{E}(x, y, z)$  eşitlik (1) ile verilir.

$$\nabla \vec{H} = j\omega\sigma\mu\vec{H} + (j\omega)^2\varepsilon\mu\vec{H} \quad \text{ve} \quad \nabla \vec{E} = j\omega\sigma\mu\vec{E} + (j\omega)^2\varepsilon\mu\vec{E} \quad (1)$$

**1 ve 3 Bölgesi için çözüm,  $\sigma=0$ :** Yukarıda verilen denklemlerde  $\sigma=0$  ve  $k_0^2 = \omega^2\varepsilon\mu$  olduğu dikkate alınırsa kayıpsız ortamlar için dalga denklemlerinin genel ifadesi elde edilir.

$$\nabla \vec{H} = -k_0^2\vec{H} \quad \text{ve} \quad \nabla \vec{E} = -k_0^2\vec{E} \quad (2)$$

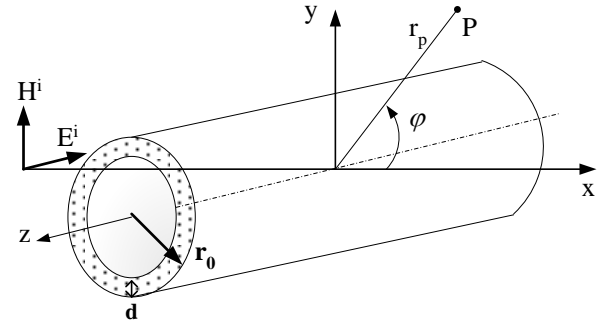
**2 Bölgesi için çözüm,  $|\sigma| \gg |j\omega\varepsilon|$ :** Ekran malzeme bölgesinde  $k^2 = j\omega\sigma\mu$  için difüzyon dalga denklemleri yazılır.

$$\nabla \vec{H} = k^2\vec{H} \quad \text{ve} \quad \nabla \vec{E} = k^2\vec{E} \quad (3)$$

Bu ifadeler için ekran çözüm bölgesine ait sınır şartları, elektrik alan için  $E_1^t = E_{S1}^t, E_3^t = E_{S3}^t$  ve manyetik alan için  $H_1^t = H_{S1}^t, H_3^t = H_{S3}^t$  şeklinde yazılabilir [4].

## 3. Genel Silindirik Ekran Modeli

Burada en genel haliyle çözüm için genel ekran modeli ele alınacaktır. Çözüm bölgesi tanımı Şekil 2 de verilmiştir [4,5].



Şekil 2. Silindirik ekran modeli

Transfer Elektromanyetik (TEM) dalgası için dalga denklemleri düzenlenirse eşitlik (4) yazılır.

$$\nabla \vec{H}^i + k_0\vec{H}^i = 0 \quad \text{ve} \quad \nabla \vec{E}^i + k_0\vec{E}^i = 0 \quad (4)$$

Kartezyen koordinatlarda aşağıdaki alan ifadeleri yazılır.

$$\vec{H}^i = \vec{H}_1 e^{-jk_0 x} \quad \text{ve} \quad \vec{E}^i = -Z_0 \vec{H}_1 e^{-jk_0 x} \quad (5)$$

Karakteristik dalga empedansı  $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$  olarak ifade edilir. Burada,  $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  [F/m] dielektrik sabit ve  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  [H/m] manyetik geçirgenlik sabitidir. TEM ifadelerinin çözümünden eşitlik (6) elde edilir.

$$\begin{aligned} H^i &= H_1 e^{-jk_0 r \cos \phi} \quad \text{ve} \\ E^i &= -Z_0 H_1 e^{-jkr \cos \phi} \end{aligned} \quad (6)$$

Silindirik koordinatlarda dalga denklemlerinin çözümünden elektrik alan ifadesi bulunur.

$$E^i = -Z_0 H_1 \left[ J_0(k_0 r) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n J_n(k_0 r) \cos n \phi \right] \quad (7)$$

Burada  $J_n$  Bessel fonksiyonlarını temsil etmektedir. Toplam alan ifadeleri ise eşitlik (8) deki gibi yazılır.

$$E = E^i + E^R \quad \text{ve} \quad H = H^i + H^R \quad (8)$$

### 3.1. Çözüm Bölgeleri İçin Alan İfadeleri

#### Bölge-1 ( $r > r_0$ ):

Bu bölgede ( $E^i + E^R = 0 \Rightarrow E^i = -E^R$ ) yaklaşımı ile yansıyan dalga ifadesi şu şekilde olacaktır.

$$E^R = Z_0 H_1 \left[ b_0 H_0^{(2)}(k_0 r) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n b_n H_n^{(2)}(k_0 r) \cos n \phi \right] \quad (9)$$

Burada,  $J_n$  Bessel fonksiyonu ve  $H_n^{(2)}$  Hankel fonksiyonudur.  $E^i(r_0) = -E^R(r_0)$  olduğundan ve  $r = r_0$  için  $b_n$  katsayısı bulunur ve denklemde yerine yazılırsa elektrik alan ifadesi için (10) denkleme ulaşılır.

$$E = E^R + E^i = Z_0 H_1 \left[ \frac{J_0(k_0 r_0)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} H_0^{(2)}(k_0 r) - J_0(k_0 r) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \left\{ \frac{J_n(k_0 r_0)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} H_n^{(2)}(k_0 r) - J_n(k_0 r) \right\} \cos n \phi \right] \quad (10)$$

Buradan,  $E = E_z(r, \phi)$  bileşeni dikkate alınarak,  $\vec{E} = -j\omega\mu_0 \vec{H}$  ifadesinden eşitlik (11) yazılır.

$$\frac{\partial E}{\partial r} = j\omega\mu_0 H_\phi \quad \text{ve} \quad \frac{\partial E}{r \partial \phi} = -j\omega\mu_0 H_r \quad (11)$$

Böylece manyetik alan  $\mathbf{H}_\phi$  ve  $\mathbf{H}_r$  bileşenleri aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$H_\phi = \frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E}{\partial r} = j H_1 \left[ J_0'(k_0 r) - \frac{J_0(k_0 r_0)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} H_0^{(2)'}(k_0 r) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \left\{ J_n'(k_0 r) - \frac{J_n(k_0 r_0)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} H_n^{(2)'}(k_0 r) \right\} \cos n \phi \right] \quad (12)$$

$$H_r = -\frac{1}{j\omega\mu_0 r} \frac{\partial E}{\partial \phi} = \frac{2jH_1}{k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} n (-j)^n \left\{ J_n(k_0 r) - \frac{J_n(k_0 r_0)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} H_n^{(2)}(k_0 r) \right\} \sin n \phi \quad (13)$$

**Ekran Bölgesi (Bölge-2)** ( $r_0 \geq r \geq (r_0-d)$ ) : Yukarıda eşitlik (12) ile verilen manyetik alan  $H_\phi$  ifadesinden

$$H_\phi(r_0) = j H_1 \left[ \frac{J_0'(k_0 r_0)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} H_0^{(2)'}(k_0 r_0) - \frac{J_0(k_0 r_0)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} H_0^{(2)'}(k_0 r_0) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \left\{ \frac{J_n'(k_0 r_0)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} H_n^{(2)'}(k_0 r_0) - \frac{J_n(k_0 r_0)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} H_n^{(2)'}(k_0 r_0) \right\} \cos n \phi \right] \quad (14)$$

ve (15) ile verilen özellik ile manyetik alan bileşeni için (16) elde edilmiş olur.

$$H_n^{(2)'} J_n - H_n^{(2)} J_n' = \frac{2}{\pi j k_0 r_0} \quad (15)$$

$$H_\phi(r_0) = -\frac{2H_1}{\pi k_0 r_0} \left[ \frac{1}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \frac{1}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} \cos n \phi \right] \quad (16)$$

Buradan,  $r_0 \gg d$  için:

$$\frac{d^2 H_\phi}{dr^2} = k^2 H_\phi \quad (17)$$

$H_\phi(r)$  ve  $H_\phi(r_0 - d)$  sınır koşullarından aşağıdaki ifade elde edilir.

$$H_\phi = \frac{\sinh((d-r_0)+r)}{\sinh kd} H_\phi(r_0) \quad (18)$$

$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} = \sigma \vec{E}$  Maxwell denklemini dikkate alarak,  $H_\phi(r_0)$  eşitliğinden elektrik alanın  $E_z$  bileşeni ( $r_0-d$ ) için yazılır ve düzenlenirse eşitlik (19) elde edilir.

$$E_z(r_0 - d) = -\frac{j}{\pi} SE \times Z_0 H_1 \left[ \frac{1}{H_0^{(2)}(k_0 r_0)} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \frac{\cos n \phi}{H_n^{(2)}(k_0 r_0)} \right] \quad (19)$$

Burada,

$$SE \approx \frac{2}{k r_0 \sinh kd} \quad (20)$$

**Bölge-3** ( $r < (r_0-d)$ ) :  $\nabla \vec{E} + k_0^2 \vec{E} = 0$  dalga denkleminin çözümünden eşitlik (21) yazılır.

$$E = c_0 J_0(k_0 r) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^2 c_n J_n(k_0 r) \cos n \phi \quad (21)$$

Süreklilik şartları kullanılarak ve  $E_z(r_0-d)$  bileşeni için verilen (19) ifadesi ile karşılaştırılarak  $C_n$  katsayısı bulunur ve yerine yazılırsa, iç bölgede Elektrik alan ifadesi şu şekilde bulunur.

$$E_3 = -\frac{j}{\pi} SE \times Z_0 H_1 \left[ \frac{J_0(k_0 r)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0) J_0(k_0 r_0)} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \frac{J_n(k_0 r)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0) J_n(k_0 r_0)} \cos n \phi \right] \quad (22)$$

Bu ifadeden, manyetik alan bileşenleri bulunur.

$$H_\phi = \frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E}{\partial r} = -\frac{1}{\pi} SE \times H_1 \left[ \frac{J'_0(k_0 r)}{H_0^{(2)}(k_0 r_0) J_0(k_0 r_0)} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \frac{J'_n(k_0 r)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0) J_n(k_0 r_0)} \cos n \phi \right] \quad (23)$$

$$H_r = -\frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E}{\partial \phi} = -\frac{2SE \times H_1}{\pi k_0 r} \sum_{n=1}^{\infty} (-j)^n \frac{J_n(k_0 r)}{H_n^{(2)}(k_0 r_0) J_n(k_0 r_0)} \sin n \phi \quad (24)$$

Buradan (25) ifadesine ulaşılır.

$$H_\phi(r=0, \phi=0) = \frac{j SE \times H_1}{\pi H_1^0 J_1^0} \rightarrow \frac{H_\phi}{H_1} = SE \times \frac{j}{\pi H_1^0 J_1^0} \quad (25)$$

Şimdi ekran modeli çözüm bölgeleri için elde edilen alan ifadelerinden ekran faktörü olarak tanımlanan ifadeleri bulalım. Manyetik alanla ilgili ekran faktörü eşitlik (26) ile ifade edilir:

$$SA_m = \ln \left( \left| \frac{H_1}{H_\phi} \right| \right) = \underbrace{-\ln(SE)}_{SA_s} + \underbrace{\ln \left( \pi \left| H_1^0 J_1^0 \right| \right)}_{\Delta SA_m} \quad (26)$$

Burada,  $SA_s$  kuasi-statik alan bileşeni için ekran sönüm faktörü ve  $\Delta SA_m$  ise manyetik alan bileşeni dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesidir.

### 3.2. Elektrik Alan için Ekran Faktörü

$$E(r=0) = -\frac{jSE \times Z_0 \times H_1}{\pi H_0 J_0} \quad (27)$$

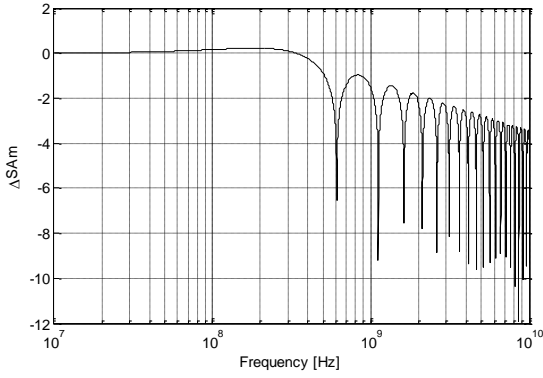
ve

$$\frac{E(r=0)}{Z_0 H_1} = -\frac{jSE}{\pi H_0 J_0} \quad (28)$$

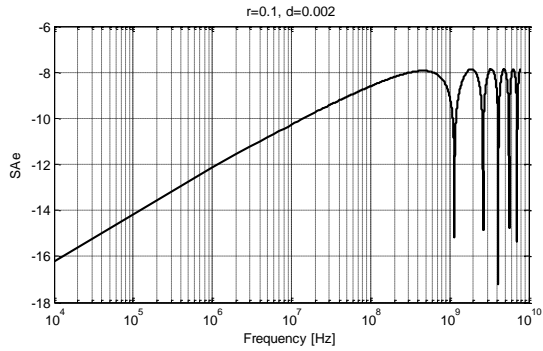
$$SA_e = \ln \left| \frac{Z_0 H_1}{E(r=0)} \right| = \ln \left( \frac{\pi H_0 J_0}{SE} \right) = \underbrace{-\ln(SE)}_{SA_s} + \underbrace{\ln(\pi |H_0 J_0|)}_{\Delta SA_e} \quad (29)$$

Burada,  $SA_s$  kuasi-statik alan bileşeni için ekran sönüm faktörü ve  $\Delta SA_e$  ise elektrik alan bileşeni dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesidir.

Genel silindir ekran modelinde Manyetik alan bileşeni için dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesi  $\Delta_{am}$  ve Manyetik alan bileşeni için ekran faktörü am nin frekansa bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Bilgisayar simülasyonu için  $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}$  [F/m],  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  [H/m], bakır için  $\sigma=5.8 \times 10^7$  [S/m], ışık hızı  $c=3 \times 10^8$  [m/s] olarak alınmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi manyetik alan dalga faktörünün tesiri ile oluşan ekran sönümlemesi, kullanılacak silindir ekran modelin dış yarıçapına bağlı olarak, belirli bir frekans değerinden sonra görülmektedir.

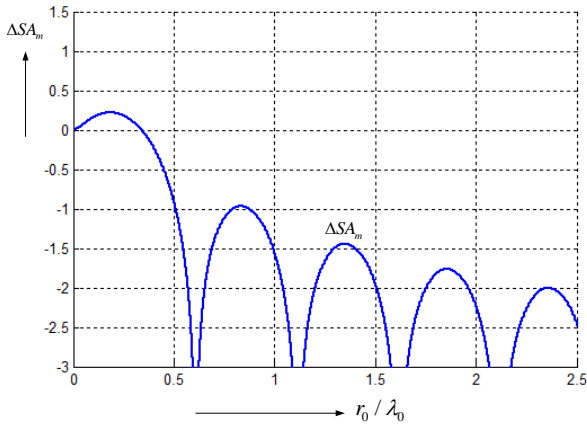


Şekil 3. Manyetik alan dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönüm sönümü ( $r_0=0.3$  ve  $d=0.002$ )



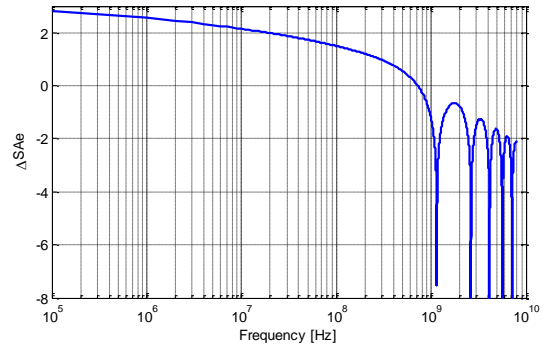
Şekil 4. Manyetik alan için ekranlama faktörünün frekansa göre değişimi

Genel silindir ekran modelinde Manyetik alan bileşeni için dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesi  $\Delta SA_m$  in  $r_0/\lambda_0$  oranına bağlı değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.

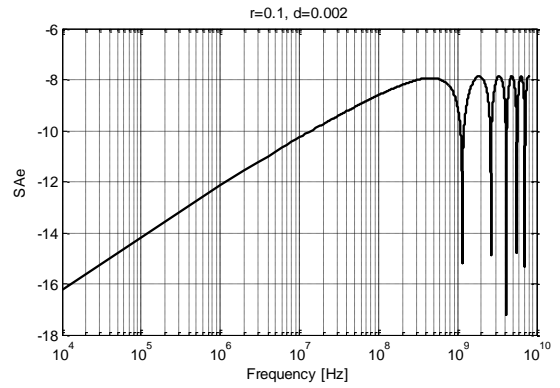


Şekil 5. Manyetik alan bileşeni için ekran sönümlemesi  $\Delta SA_m$ 'nin  $r_0/\lambda_0$  oranına bağlı değişimi

Genel silindir ekran modelinde elektrik alan bileşeni için dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesi  $\Delta SA_e$  ve elektrik alan bileşeni için ekran faktörü  $SA_e$  nin frekansa bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

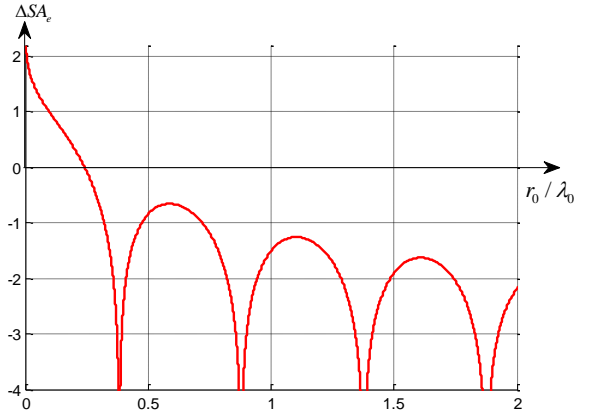


Şekil 6.  $\Delta SA_e$ 'nin frekansa bağlı değişimi ( $r=0.1$  ve  $d=0.002$ )



Şekil 7.  $\Delta SA_e$  nin frekansa bağlı değişimi

Genel silindir ekran modelinde elektrik alan bileşeni için dalga faktörünün tesir ettiği ekran sönümlemesi  $\Delta SA_e$ 'nin  $r_0/\lambda_0$  oranına bağlı değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Elektrik alan bileşeni için ekran sönümlemesi  $\Delta SA_e$ 'nin  $r_0/\lambda_0$  oranına bağlı değişimi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Ekranlama uygulamaları, elektromanyetik girişimin önlenmesinde kullanılan temel ve etkin yöntemlerden birisidir. Günümüzde giderek artan elektronik cihaz kullanımına bağlı olarak elektromanyetik radyasyon problemleri de artmaktadır. Bu nedenle elektromanyetik uyumluluk literatüründe malzemelerin ekranlama

etkinliğinin araştırılması ve bu konudaki pratik matematiksel hesaplamalar popüler bir şekilde araştırılmaya devam edilmektedir [8, 9, 10].

Bu çalışma ile elektromanyetik girişimin önlenmesi amacıyla kullanılan farklı ekranlama uygulamaları bakımından genel silindirik ekran modelinde detaylı çözümler yapılmış, elektrik ve manyetik alan için ekran faktörünün değişimi incelenmiştir. Maxwell denklemlerinin detaylı çözümleri ile tam ekran analizi için örnek bir model sunulmuştur. Dış alanın silindirik ekran ile girişim biçimleri ve genel silindirik ekran modelinde alan ifadelerine ait analitik çözümler sunulmuştur.

Elektrik ve manyetik alan için ekran etkinliği parametrelerinin değişim benzetimleri yapılmıştır. Silindirik ekran modelinde frekans analizinin yanında  $r_0$  ve  $\lambda_0$  oranlarına bağlı analizler de yapılmıştır. Genel silindirik ekran modeli birçok pratik ekranlama uygulamalarının analiz ve tasarımında kullanılabilecek bir model olarak tüm bileşenleri çözümlenmiştir.

**Not:** Bu çalışma, 25-27 Nisan 2019 tarihleri arasında Antalya/Türkiye’de düzenlenen 4. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi’nde (IMSEC 2019) sunulmuştur.

#### Kaynakça

- [1] C.R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley Interscience, NY, 1992.
- [2] F.M. Tesche, Michel I., and Torbjörn K., EMC Analysis Methods and Computational Models, John Wiley & Sons, 1997.
- [3] Özen Ş. Ari N., Elektromanyetik Uyumluluk, ISBN 978-9944-341-72-1, Palme Yayıncılık, Ankara
- [4] Jasper J., Goedbloed, Electromagnetic Compatibility, Prentice Hall, 1990
- [5] Adolf J., Schwab Elektromagnetische Vertraglichkeit, Springer-Verlag, Berlin 1990
- [6] N İl, S Ozen, M Cakir, HF Carlak, Shielding and Mitigations of the Magnetic Fields Generated by the Underground Power Cables, pp.1436-1439, PIERS Proceedings, 2015
- [7] Ö Polat, S Çömlekçi, Ş Özen, AY Teşneli, Tek Kat Ekranın Eşdeğer Devre Modeli Benzetimi

İle Ekran Verimliliğinin Karşılaştırılması, 2003

- [8] Zhang W., Zhu W., Luo T., Shen H., Huang S., Research on Magnetic Shielding Effectiveness of Different Materials Hollow Cylinder with Slits, IEEE 2nd International Electric and Energy Conference, pp. 365-370, 2018.
- [9] Mojtaba M. A., Sadeghi S., H., H., Dehmollaian M., Efficient Method for Calculating the Shielding Effectiveness of Axisymmetric Multilayered Composite Enclosures, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2019.
- [10] Araneo R., Lovat G., Celozzi S., Burghignoli P., Shielding Effectiveness of Finite Width Shields Against Low-impedance Magnetic Near-field Sources, International Applied Computation Electromagnetics Society Symposium, 2018.