

# DİKDÖRTGEN AÇIKLIKLI DİKDÖRTGEN YAPILARDA EKRANLAMA VERİMİ

Cihan Erbaş<sup>1</sup>

Sedef Kent<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: [erbas@ehb.itu.edu.tr](mailto:erbas@ehb.itu.edu.tr)

<sup>2</sup> e-posta: [kent@ehb.itu.edu.tr](mailto:kent@ehb.itu.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Elektromagnetik uyumluluk, Elektromagnetik ekranlama, Ekranlama Verimi*

## ÖZET

*Bu bildiride dikdörtgen açıklıklı bir dikdörtgen yapıda ekranlama verimliliği incelenmiştir. Elektronik cihazlarda girişimi önlemek için uygulanmakta olan elektromagnetik ekranlamada ekranlama verimliliğini belirlemek büyük önem taşır. Elektrik ve magnetik ekranlama verimi, cihazı çevreleyen ekranın boyutları, kullanılan çalışma frekansı, iletken duvarların kalınlığı ve elemanın ekran içindeki konumunun bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Diğer bir önemli parametre ise ekranlamayı negatif yönde etkileyen boşluklardır. Boşluklardan olan sızmalar ekranlama verimini azaltacağından istenmeyen durumlardır. Bu çalışmada mikrodalga frekans bandında ve belirli bir frekansta elektrik ve magnetik ekranlama verimi için model çıkarılmış hesaplamalar yapılmıştır. Ele alınan dikdörtgen yapı boyutları itibarı ile bir mikrodalga fırınına aittir. Uyarma modu olarak TE<sub>10</sub>, çalışma frekansı olarak ısıtmaya ayrılan 2.45 GHz seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar ekranlama verimliliğinin insan sağlığına zarar vermeyecek düzeyde olduğunu göstermiştir.*

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi elektromagnetik ekranlama cihazlardan yayılım ve radyasyonu önlemek ve azaltmak amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla metallere, metalize plastikler ve iletken bileşikler kullanılır. Ekran, kapladığı ortam içinde elektromagnetik alanı azaltmak için kullanılan herhangi bir kılıftır. Ekranlama verimi (shielding effectiveness) EV tasarım problemlerinde elektromagnetik uyumluluğun ölçümü için temel bir göstergedir. Ekranlayıcının performansı frekansın fonksiyonu olan ekranlama verimi ile gösterilir. EV elektrik veya magnetik alanlar için

$$EV = -20 \log_{10} \frac{E_1}{E_2} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$EV = -20 \log_{10} \frac{H_1}{H_2} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada

E<sub>1</sub>: ekran varken oluşan elektrik alan şiddeti  
E<sub>2</sub>: ekran yokken oluşan elektrik alan şiddeti  
H<sub>1</sub>: ekran varken oluşan magnetik alan şiddeti  
H<sub>2</sub>: ekran yokken oluşan magnetik alan şiddeti

Yukarıda belirtilen her iki halde de kaynak sabit bir konumdadır ve ( E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> ) parametreleri farklı bir noktada ölçülmüşlerdir. Genellikle EV için 30-50 dB arasında değişen değerler kabul edilebilir sayılır. 60-90 dB arasında değişen EV ise yüksek kalitedeki bir ekranlamayı gösterir.

Ekranlamanın yetersiz olduğu durumlar nadiren iletken olarak kullanılan maddeden, çoğunlukla da ekranda açıklıkların bulunması durumunda ortaya çıkar. Üretim sırasında cihaz üzerinde açıklıkların bulunması ekranlama verimini oldukça azaltıcı etkiye sahiptir. Bu açıklıklar havalandırma ve elektronik elemanların soğutulması, kablo delikleri gibi özellikle bırakılabileceği gibi bazen de vidalanan paneller arasında olduğu gibi istenmeden bırakılmış olabilir. Ekranlama kılıfın duvarları değil de özellikle açıklıklarından enerjinin sızması ile belirlenir. Elektrik ve magnetik ekranlama frekansa, açıklığın boyutlarına, kılıfın boyutlarına, duvar kalınlığına ve elemanın kılıf içindeki konumuna bağlıdır.

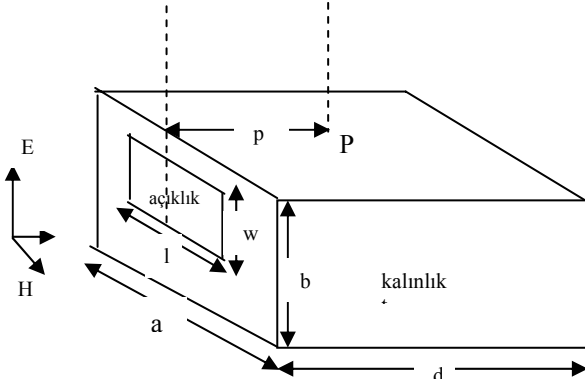
Ekranlama verimi analitik olarak veya teknikler zaman domeni sonlu farklar ( FDTD ) ve moment metodu gibi sayısal yöntemlerle belirlenebilir. Analitik formülasyonda basit geometriye sahip yapılara ait tasarım parametrelerinin etkisi incelenirken, sayısal yöntemler daha karmaşık yapıları modelleyebilir. Burada parametrelerin belirlenmesi için analitik yöntem kullanılacaktır.

Bu çalışmada bir açıklıklı boşluğun elektrik ve magnetik ekranlama verimi eşdeğer devre yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Ardından bu model mikrodalga ile ısıtma tekniğine uygulanmıştır. Tipik boyutlarda bir mikrodalga fırını ele alınarak standart 2.45 GHz ısıtma frekansı ile çalışılmıştır. Elektrik ve magnetik ekranlama veriminin uzaklıkla değişimi incelenmiş ve benzeşimi yapılmıştır. 1-3 GHz

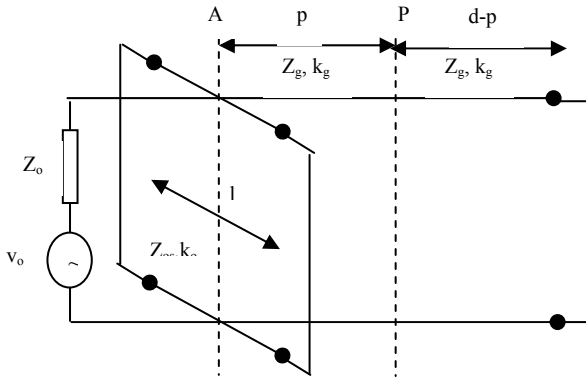
arasındaki frekans aralığına bakıldığında seçilen nokta için ekranlama verimliliğinin tatmin edici sonuç verdiği görülmüştür.

## 2. TEORİ VE SİSTEM MODELİ

Dikdörtgen şeklinde açıklığı bulunan boş bir kılıf Şekil:1'de verilmiştir. Bu yapıya ait eşdeğer devre modeli ise Şekil:2'de görülmektedir [1]-[2]. Eşdeğer devrede ışınım kaynağı  $V_o$  gerilimi ve  $Z_o = 377 \Omega$  empedansı ile karakterize edilmektedir. Kılıf karakteristik empedansı  $Z_g$  ve propagasyon sabiti  $k_g$  olan sonu kısa devre edilmiş bir dalgakılavuzu olarak modellenmiştir. Açıklık ise her p uzaklığı için akım ve gerilim cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 1. Dikdörtgen kutu ve açıklık



Şekil 2. Açıklıklı dikdörtgen yapının eşdeğer devre modeli

Açıklık bir transmisyon hattı olarak gösterildiğinden  $Z_{ap}$ 'yi ve  $Z_{os}$  karakteristik empedansını belirlemek mümkündür. Şekil 1'de de görüldüğü gibi açıklığın genişliği  $w$ 'dir. Açıklığın karakteristik empedansı [1]

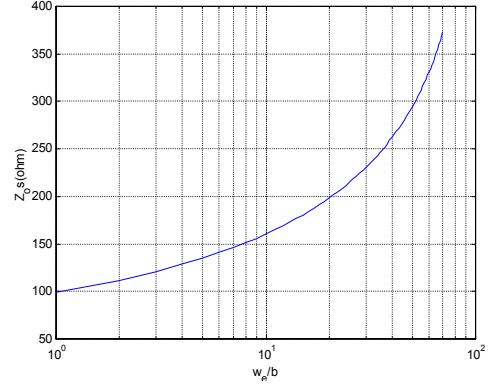
$$Z_{os} = 120 \cdot \pi^2 \cdot \left[ \ln \left( 2 \cdot \frac{1 + \sqrt{1 - (w_e/b)^2}}{1 - \sqrt{1 - (w_e/b)^2}} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada etkin genişlik

$$w_e = w - \frac{5t}{4\pi} \left( 1 + \ln \frac{4\pi \cdot w}{t} \right) \quad (4)$$

olarak belirlenir. Şekil:3  $Z_{os}$ 'in  $w_e/b$  ile değişimini göstermektedir.

Thevenin teoremine göre  $Z_{os}$ ,  $v_o$  ve  $Z_{ap}$  birleştirilerek eşdeğer gerilim ve kaynak empedansı hesaplanabilir. Ekranlı durumda P noktasındaki gerilimin ( $v_p$ ), ekranlı halde yine aynı noktadaki gerilime ( $v'_p$ ) oranı elektrik ekranlama verimi olarak tanımlanır. Benzer şekilde ekranlı durumda P noktasındaki akımın ( $i_p$ ), ekranlı halde yine aynı noktadaki akıma ( $i'_p$ ) oranı magnetik ekranlama verimi adını alır.



Şekil 3. Karakteristik empedans  $Z_{os}$ 'in  $w_e/b$ 'ye göre değişimi

Çevreleyen kılıfın olmaması durumunda P noktasındaki gerilim  $v_p = v_o / 2$  ve akım  $i'_p = v_o / 2 \cdot Z_o$  olarak bulunur. Buna göre elektrik ve magnetik verimlilik [1]

$$EV_E = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{v_p}{v'_p} \right| = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{2 \cdot v_p}{v_o} \right| \quad (5)$$

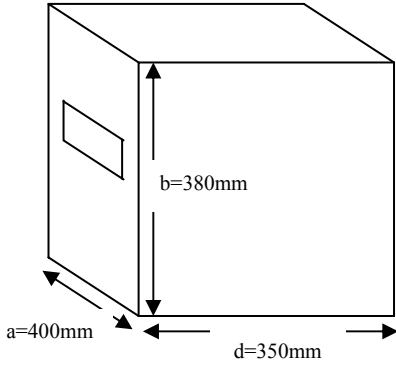
$$EV_M = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{i_p}{i'_p} \right| = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{2 \cdot i_p \cdot Z_o}{v_o} \right| \quad (6)$$

## 3. SAYISAL SONUÇLAR

400 x 380 x 350 mm boyutlarındaki bir dikdörtgen yapının üzerinde an 86.36 x 43.18 mm boyutlarında dikdörtgen bir açıklık bulunması durumunda ekranlama verimliliği hesaplanmıştır. Verilen boyutlar Şekil 4'te görülen tipik bir mikrodalga fırınına aittir. Standart çalışma frekansı mikrodalga ile pişirmeye uygun olan 2.45 GHz'dir. Dikdörtgen boşluk TE<sub>10</sub> modundaki bir gelen dalga ile uyarılmıştır.

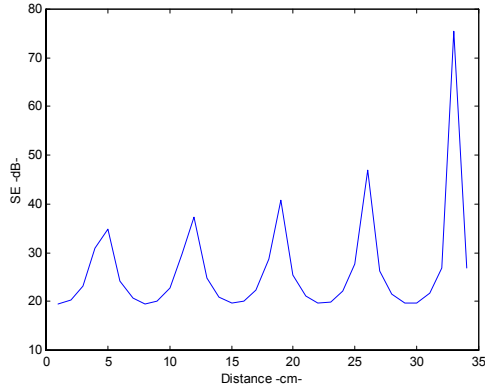
$\epsilon_r = 1$  and  $\epsilon_r = 5$  olması durumunda elektrik ve magnetik ekranlama verimliliği frekansın ve p uzaklığının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. p noktası açıklığın merkezinden d uzaklığı boyunca ölçülmüştür. Bu durumda p sıfır ile d arasında değerler alır. Kaynak gerilimi  $v_o$  200 V, çevreleyen kılıfın duvar kalınlığı t 1 mm alınmıştır. Etkin genişlik  $w_e$ 'nin negatif değer almasını önlemek için (4)'e göre bu kalınlığın 27.17 mm'yi geçmemesi gerekmektedir.

Çalışmada ayrıca 2.45 GHz'de elektrik ve magnetik ekranlama veriminin fırın içinde d ile değişimi hesaplanmıştır.

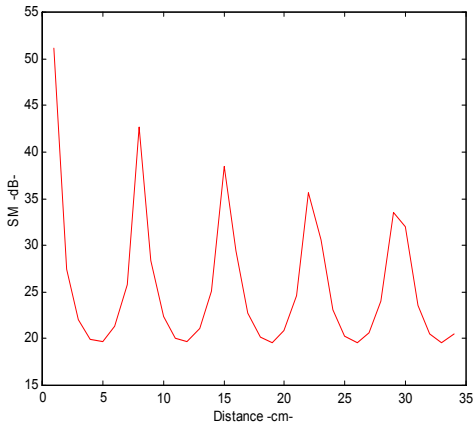


Şekil 4. Tipik bir mikrodalga fırını

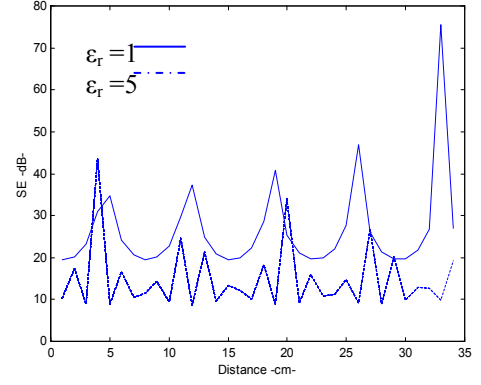
$\epsilon_r = 1$  için elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.  $\epsilon_r = 1$  ve  $\epsilon_r = 5$  olması durumunda verimliliklerin karşılaştırılması Şekil 7 ve Şekil 8'den görülebilir. Elektrik ve magnetik ekranlama verimi  $\epsilon_r = 1$  için p uzaklığının 340 mm seçildiği durumda ve 1 – 3 GHz arasında hesaplandığında Şekil 9 ve Şekil 10'da görülen değişimler elde edilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12 ise  $\epsilon_r = 1$  ve  $\epsilon_r = 5$  durumları için bulunan sonuçlar verimliliştir.



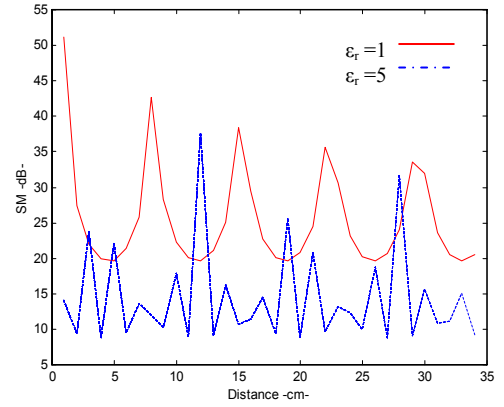
Şekil 5. Elektrik ekranlama verimliliği f=2.45 GHz,  $\epsilon_r=1$



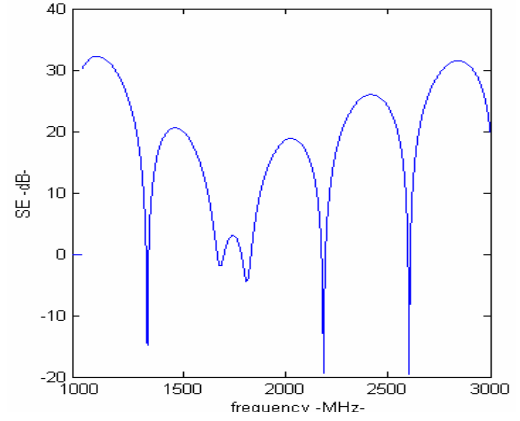
Şekil 6. Magnetik ekranlama verimliliği f=2.45 GHz,  $\epsilon_r=1$



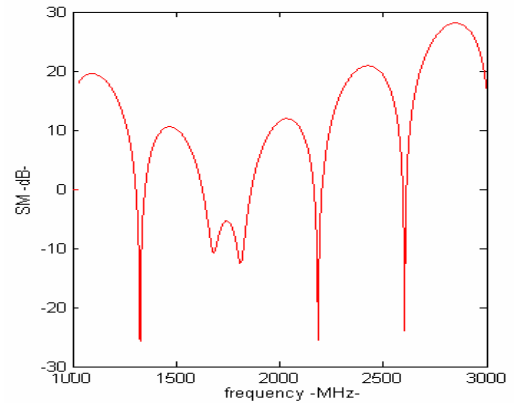
Şekil 7. Elektrik ekranlama verimliliği:  $\epsilon_r=1$  ve  $\epsilon_r=5$



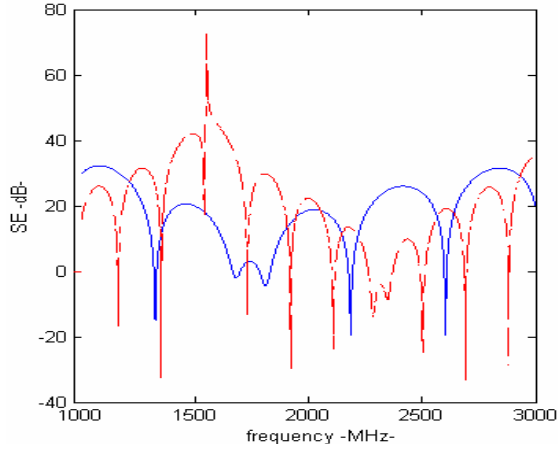
Şekil 8. Magnetik ekranlama verimliliği:  $\epsilon_r=1$  ve  $\epsilon_r=5$



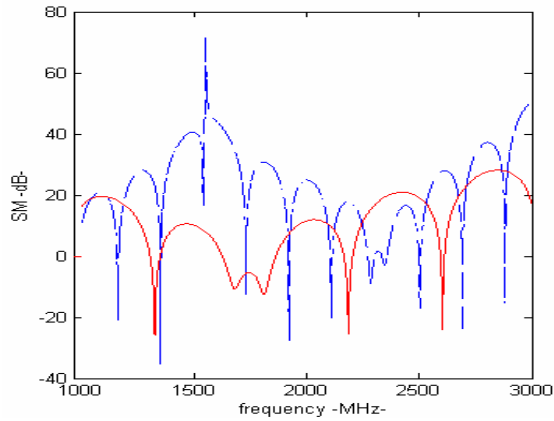
Şekil 9.  $\epsilon_r=1$ , p = 340 mm için 1 – 3 GHz arasında elektrik ekranlama verimliliği



Şekil 10.  $\epsilon_r=1$ , p = 340 mm için 1 – 3 GHz arasında magnetik ekranlama verimliliği



Şekil 11.  $p = 340$  mm için 1 – 3 GHz arasında elektrik ekranlama verimliliği değişimi



Şekil 12.  $p = 340$  mm için 1 – 3 GHz arasında magnetik ekranlama verimliliği değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Dikdörtgen açıklıklı dikdörtgen yapılar için elektrik ve magnetik ekranlama verimi incelenmiş ve 1-3 GHz frekans aralığı için simüle edilmiştir. Sistem modellemesi eşdeğer devre yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Yukarıda bahsedilen araştırma ekranlama verimi hakkında dikkate değer sonuçlar içermektedir. Sonuçlar, elektrik ve magnetik ekranlama verimi açısından kabul edilebilir olan 20-80 dB aralığındadır. Her iki ekranlama verimliliği de yüksek frekans bağımlılığına sahiptir. Sistemde farklı bir bağıl dielektrik sabitinin kullanımı ekranlama veriminin uzaklık değişirken düşmesine sebep olmaktadır. Simülasyon sonuçları, elde edilen bulguların mikrodalga ısıtma teknolojisinde kullanılabileceğini göstermektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Robinson M. P., Benson T. M., Christopoulos C., Dawson J. F., Ganley M. D., Marvin A. C., Porter S. J., Thomas W. P., *Analytical Formulation for the Shielding Effectiveness of Enclosures with Apertures*, 'IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility', cilt **40**, sf. 240 – 247, 1998.
- [2] Robinson M. P., Turner J. D., Thomas D. W. P., Dawson J. F., Ganley M. D., Marvin A. C., Porter S. J., Benson T. M., Christopoulos C., *Shielding Effectiveness of a Rectangular Enclosure with a Rectangular Aperture*, 'Electronics Letters', cilt **32**, pp. 1559 – 1560, 1996.
- [3] Erbas C., Kent S., *Shielding Effectiveness of a Rectangular Cavity with Aperture between 1-3 GHz*, 2003 IEEE Uluslararası Elektromagnetik Uyumluluk (EMC) Sempozyumu, 11-16 Mayıs 2003, İstanbul, Türkiye.
- [4] Kent, S., Kent E.F., *Microwave Heating of Dielectric Objects*, 'Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy', cilt **37**, sf. 63-71, 2002.
- [5] Amri, A., Saidane A., *TLM Simulation of Microwave Sintering of Ceramics Using SiC Stimulus*, 'Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy', cilt **36**, sf. 89 – 99, 2001.
- [6] Tsaliovich, A., *Electromagnetic Shielding Handbook for Wired and Wireless EMC Applications*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1999.
- [7] Christopoulos, C., *Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility*, CRC Press, Florida, 1995.
- [8] Chatterton, P., *EMC: Electromagnetic Theory to Practical Design*, Wiley, Chichester, 1992.
- [9] Weston, D. A., *Electromagnetic Compatibility : Principles and Applications*, Dekker, New York, 1991.
- [10] Morgan, D., *A Handbook for EMC Testing and Measurement*, Peter Peregrinus Ltd, Stevenage, 1994.
- [11] Kodali, V. P., *Engineering Electromagnetic Compatibility*, IEEE Press, New York, 1996.