

ELEKTROMANYETİK RADYASYONA KARŞI KORUYUCU TEKSTİLLERİN EKRANLAMA ETKİNLİĞİ (SE) ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Gamze KILIÇ, Hüseyin Gazi ÖRTLEK
Tekstil Müh. Böl., Müh. Fak., Erciyes Ü.
Ömer Galip SARAÇOĞLU
Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Müh. Fak., Erciyes Ü.

ÖZET

Ekran, bir elektromanyetik çevrede bir noktadan diğerine elektromanyetik alanların yayılmasını önlemek için kullanılan bir bariyerdir. Elektromanyetik ekranlama yeteneğine sahip materyaller genellikle elektromanyetik alanların şiddetini azaltmada kullanılırlar. Son zamanlarda, çoğu uygulamada metal ekranların yerine daha yaygın olarak elektromanyetik ekranlama özelliğine sahip tekstil materyaller kullanılmaktadır. Herhangi bir ekranın performansı ekranlama etkinliği (SE-Shielding Effectiveness) değeri ile ifade edilir. SE ölçümlerinin sonuçları metoda, frekans aralığına, numune boyutuna ve materyalin özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada, ekranlama teorisi anlatılmış ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstiller, ekranlama etkinliği (SE), ekran, elektromanyetik radyasyon

MEASUREMENT METHODS FOR SHIELDING EFFECTIVENESS OF PROTECTIVE TEXTILES AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION

ABSTRACT

Shield is a barrier used for preventing electromagnetic fields to scatter from one point to another point in an electromagnetic environment. Materials which have the ability of electromagnetic screening are commonly used to reduce the power of electromagnetic fields. Recently textile materials which have electromagnetic screening ability are commonly used in many applications instead of metal screens. The performance of a screen is defined with shielding effectiveness value (SE). The results of SE measurements depend on measurement method, frequency range, sample dimensions and the characteristic of the material. In this study, screening theory is explained and information about SE measurement methods of textiles for protection against electromagnetic radiation is given.

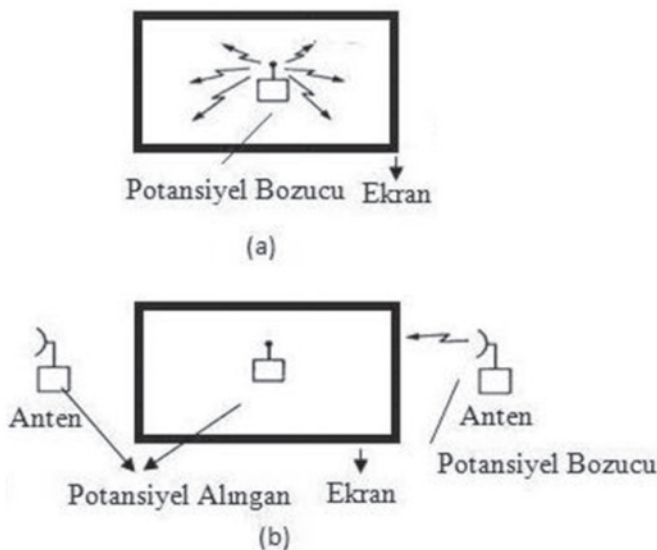
Keywords: textiles for protection against electromagnetic radiation, shielding effectiveness (SE), shield, electromagnetic radiation

GİRİŞ

Medeniyetin ilerlemesi ile elektrikli ve elektronik cihazlar günlük hayatımızda çok daha önemli bir konuma gelmiştir. Yaşamımızın her safhasına girmiş olan bu cihazların kullanımı, hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte “elektromog” olarak adlandırılan elektromanyetik çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmiştir. Elektromanyetik çevre kirliliğinden korunmanın en basit ve etkili yolu, elektromanyetik radyasyon kaynağından uzak durmaktır. Fakat bu her zaman mümkün olmayacağı için farklı korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Elektromanyetik radyasyondan korunmada kullanılan başlıca yöntemlerinden birisi ekranlamadır. Ekranlamada kullanılan klasik metal malzemelerinin sınırlı esneklik, ağırlık, korozyon ve ekranlama verimliliğini ayarlama zorluğu gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde klasik ekranlama malzemelerinin dezavantajlarından dolayı ekranlamada daha hafif, esnek ve daha düşük maliyetli tekstiller tercih edilmektedir.

Malzemelerin ekranlama etkinliği (SE – Shielding Effectiveness) uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Metal ekranlar için ekranlama etkinliğini sadece materyalin elektrik ve manyetik parametreleri ile belirleyebilirken, bükülü metalik veya grafit teller içeren materyaller, metalize yüzeye sahip plastik materyaller, kompozit materyaller ve ekranlama özelliğine sahip tekstil materyallerinde ise SE değerini sadece fiili olarak ölçerek belirleyebiliriz.

Günümüzde ekranlama amaçlı olarak geliştirilen tekstil esaslı yapıların sayısı hızla artmaktadır. Bu çalışmada, elektromanyetik radyasyonu ekranlama amaçlı geliştirilen tekstil yapılarının ekranlama etkinliğinin belirlenmesinde kullanılacak metotlar incelenmiştir.



Şekil-1 Tipik Bir Ekranın Temel Görevleri [1]

1. EKLANLAMA TEORİSİ

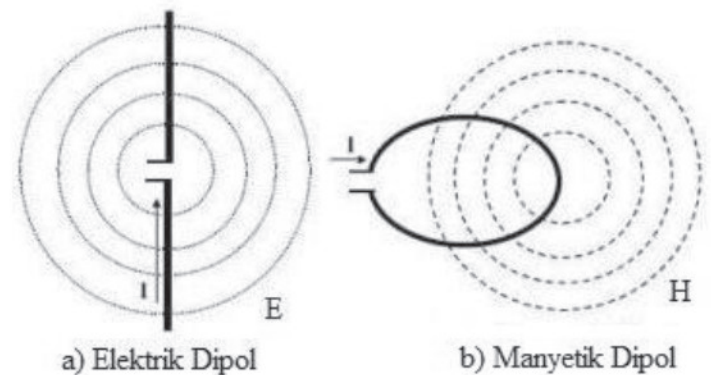
Ekranlamayı basit olarak; bir elektronik ürünün tamamının veya bir kısmının metalik bir muhafaza ile tamamen kapatılması şeklinde ifade etmek mümkündür. Ekranlama için kullanılan malzemeye de ekran denir.

Bir ekranın iki temel görevi vardır [1]:

1. Bir üründen veya ürünün elektronik kısımlarından dışarı doğru yayılan emisyonları önlemek (Şekil-1/a)
2. Harici kaynaklardan gelen ışınan emisyonların ürünün elektronik elemanlarına kuple olmasını önlemek (Şekil-1/b).

Başka bir ifade ile bir ekranın görevi, dâhili bozucuları içeride, harici bozucuları dışarıda tutarak ışınma yollu girişimi önlemektir [2]. Ekranlamanın etkili olması ekranlanacak kaynağın cinsine bağlıdır.

Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility - EMC) problemlerinde iki tip girişim kaynağı söz konusudur; elektrik dipol gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar (Şekil-2). Elektrik dipolü birbirine çok yakın iki zıt yük (ya da eşdeğer olarak içinden akım akan çok küçük doğrusal bir iletken) ile oluşur. Elektrik dipolü, etrafında elektromanyetik alanlar oluşturur. Elektrik dipolünün yakın civarındaki elektromanyetik alanların baskın bileşeni elektrik alanıdır. İçinden akım akan halka şeklindeki parçalar ise manyetik dipol gibi davranır. Manyetik dipollerin de etrafında elektrik ve manyetik alanlar oluşur. Manyetik dipolün yakın civarında ise şiddet olarak manyetik alan bileşeni, elektrik alan bileşenine göre çok güçlüdür. Elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında manyetik ekranlama gereklidir [3].



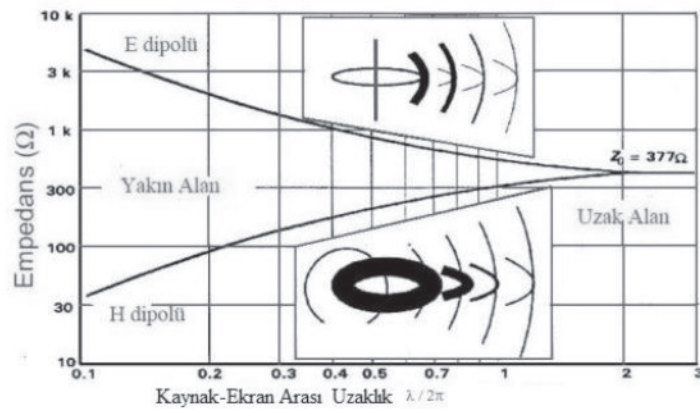
Şekil-2 Temel Elektrik Alan ve Manyetik Alan Kaynakları [5]

Elektromanyetik alanı tanımlamada kullanılan belirleyici parametrelerden birisi de dalga empedansı $Z = E/H$ olarak bilinen, elektrik alan bileşeni E' nin manyetik alan bileşeni H' a oranıdır.

Kaynak - ekran arasındaki uzaklık; dalga boyu (λ) = Işık hızı ($c = 3 \times 10^8$ m/s) / frekans (f) olmak üzere $\lambda/2\pi$ ' yi aştığında her iki dipol için de aynı dalga empedansına ulaşılmaktadır. Bu değer uzak alan için açık uzayda veya havada etkileşimli yayılma ile dalga empedansı $Z = Z_0 = 377\Omega$ olup, boşluk dalga empedansı adını alır. $\lambda/2\pi$ değeri yakın alan/uzak alan sınırı olarak kabul edilmektedir. Bazen güvenlik payı olarak bu değer iki katı alınmaktadır [3].

Elektromanyetik radyasyon kaynağının etrafındaki alanı 3'e ayrılabiliriz (Şekil-3).

- Yakın Alan (İndüksiyon) Bölgesi: Kaynağın yüzeyinden $\lambda/2\pi$ 'ye kadar olan uzaklıktaki bölgeye yakın alan bölgesi denilir. Yakın alanda empedans, elektromanyetik alan kaynağının özelliklerine, kaynağın ölçüm noktasına uzaklığına ve yayılma ortamı parametrelerine bağlıdır [4].
- Uzak Alan (Işıma) Bölgesi: $\lambda/2\pi$ uzaklıktan başlayıp sonsuza kadar uzanan bölgeye uzak alan bölgesi denilir. Bu bölgedeki elektromanyetik dalga düzlem dalga olarak adlandırılır. Çünkü yayılan dalganın cephesi düzlem olarak kabul edilir. Bu bölgede elektrik ve manyetik dipol kaynaklarının etkileri açısından bir fark yoktur.
- Geçiş Alanı: Yakın ve uzak alanın sınırındaki bölgeye geçiş alanı denilir [4].



Şekil-3 Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar [3]

Şekil-3' te yatay eksen dipolden itibaren uzaklığı, dikey eksen ise dalga empedansını göstermektedir. Şekil-3' te görüldüğü gibi elektrik dipolün yarattığı dalgaların dalga empedansı dipol yakınında çok yüksektir (5-10 kΩ kadar olabilmektedir). Oysa manyetik dipolün yarattığı dalgaların empedansı birkaç ohm' lar seviyesindedir.

Manyetik alanların elektrik alanlar ile ilişkisi ilk kez 19. Yüzyılda fizikçi James Clerk Maxwell tarafından açıklan-

mıştır [5]. Elektromanyetik teorinin temeli olan Maxwell denklemleri zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını belirtmektedir. Bir düzgün (üniform) düzlem dalga; E' nin (Aynı zamanda H' in) yayılım yönüne dik sonsuz düzlemler içinde, aynı yöne, aynı büyüklüğe ve aynı faza sahip olduğunu kabul ederek elde edilen, Maxwell denklemlerinin özel bir çözümüdür. Düzgün düzlem dalga uygulamada mevcut değildir. Çünkü böyle bir dalga oluşturmak için sonsuz genişlikli bir kaynak gerekir, fakat pratik dalga kaynakları daima sonlu genişliktedirler. Ancak, bir kaynaktan yeterince uzaktaysak, dalga cephesi hemen hemen küresel hale gelir ve büyük bir kürenin çok küçük bir kısmı çok yaklaşık olarak düzlemdir [6].

SE, bir ekrana gelen elektrik (veya manyetik) alanın büyüklüğünün (E_0 veya H_0), ekrandan geçerek ekranın ardında tekrar ortaya çıkan elektrik (veya manyetik) alanın büyüklüğüne (E_1 veya H_1) oranı olarak tanımlanabilir. SE' nin formülü (1) denkleminde verilmiştir [2].

$$SE = 20 \log(E_0/E_1) = 20 \log(H_0/H_1) \text{ (dB)} \quad (1)$$

İlerleyen bir dalganın genliğinin e^{-1} veya 0,368'lik bir çarpan kadar zayıfladığı δ mesafesi bir iletkenin **deri kalınlığı (skin depth)** veya **sızma derinliği** olarak tanımlanır. Pratikte mikrodalga frekanslarında iyi bir iletkenin deri kalınlığı öyle küçüktür ki, alanlar ve akımlar, pratik amaçlar için, iletken yüzeyinin çok ince bir tabakası içinde (yani deri içinde) sınırlanmış olarak kabul edilebilir [6]. Deri Kalınlığı (2) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}} \quad (2)$$

Burada; δ (m) deri kalınlığı, $\omega = 2\pi f$ (f dalganın frekansı), σ (Siemens/m) ortam iletkenliği, μ (Henry/m) ortamın manyetik geçirgenliğidir.

Gelen elektrik alanının bir kısmı, ekranın ön yüzeyindeki yansıtma katsayısına bağlı olarak geri yansıtılır. Gelen dalganın empedansı ekraninkinden çok farklı ise, dalga büyük oranda geri yansıtılacaktır. Eğer dalganın ve ekranın empedansları birbirlerine çok yakın ise enerji en az yansıma ile ekranın içine girebilecektir. Ön yüzeyden geçen dalganın genliği, ekranın arka yüzeyine ulaşana kadar $e^{-\alpha z}$ (α , ekran malzemesi için zayıflama katsayısı ve Z , dalga empedansı) çarpanı ile zayıflar ve bu soğurulma kaybına karşılık gelir. İyi iletken bir malzemede (α) zayıflama katsayısı ve (δ) deri kalınlığı arasındaki ilişki $\alpha = 1/\delta$ olduğundan zayıflama çarpanı $e^{-z/\delta}$ olacaktır [6].

Eğer ekran kalınlığı d , ekran malzemesinin gelen dalga frekansındaki deri kalınlığından çok büyük ($d \gg \delta$) olursa, ekranın ön yüzünden giren dalga arka yüzüne ulaştığında önemli oranda zayıflamış olur. Arka yüzeye ulaşan dalganın bir kısmı tekrar geri yansıtılma ve soğurulma işlemine maruz kalırken, bir kısmı da ekranlanan bölgeye geçer. Ekranın kalınlığı, malzemenin gelen alanın frekansındaki deri kalınlığından çok büyük olursa, ekran içinde çoklu yansımalar, soğurulmalar ve geçişler olacaktır [6].

İnce sonsuz levha yüzeyin mevcut kabul edilmiş ekranlama teorisi, 1943' te Schelkunoff tarafından önceden türetilmiş ilişkileri temel almaktadır [4]. Pasif elektromanyetik ekranlamada Schelkunoff' un teorisine göre bir metal tabaka tarafından gösterilen ekranlama etkisi, absorpsiyon kaybı, yansıma kaybı ve çoklu yansıma kaybı olmak üzere üç tip kaybın sentezi olarak tanımlanır [7]. Genel olarak, elektromanyetik dalgalar metal tabakaya etki ettiğinde bireysel ekranlama etkinliklerinin toplamı, SE (3) denkleminde verilmiştir [7].

$$SE = S_A \cdot S_R \cdot S_{MR} \text{ veya } SE(\text{dB}) = S_A (\text{dB}) + S_R (\text{dB}) + S_{MR} (\text{dB}) \quad (3)$$

Burada; S_A alanın düzlemden geçişinde meydana gelen soğurma (absorpsiyon) katkısı, S_R yansımadan gelen katkı, S_{MR} çoklu yansımalar (veya saçılmalar) gelen katkıdır.

1.1. Ekranlama Etkinliğine Soğurma Katkısı (S_A)

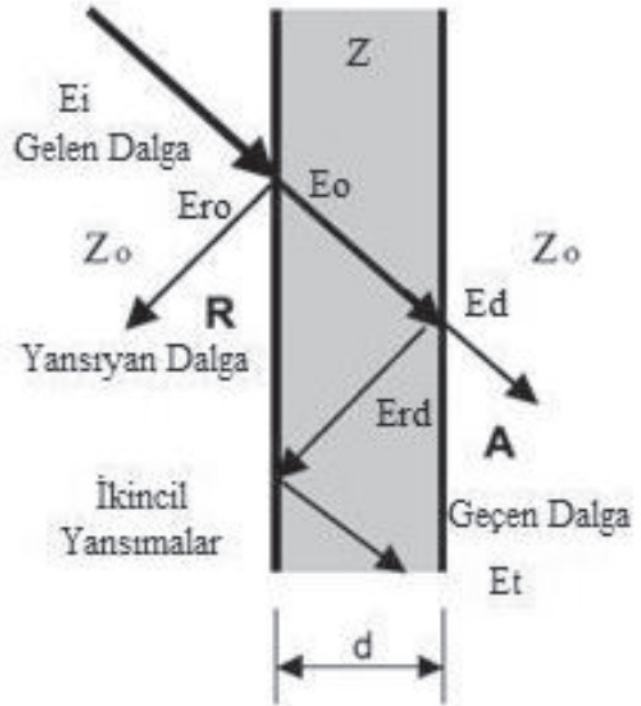
Soğurmanın sebep olduğu zayıflamadan gelen katkı (S_A), alan kaynağının tipinden bağımsızdır ve deri etkisine (skin effect) bağlı olarak tanımlanır.

Üzerinden akım geçirilen bir telde, elektrik akımı ve frekansa göre telin bütün kesiti ya da bu kesitin bir kısmı kullanılabilir. Deri etkisi, iletken üzerinden geçen akımın frekans ile değişmesi sonucu iletkenin manyetik alanının da yön değiştirmesi ve akımın iletkenin yüzeyine doğru itilmesidir. Akım yoğunluğu iletkenin merkezinden yüzeyine doğru gidildikçe artar ve bu durum iletkenin merkez kısımlarının daha az kullanılmasına yol açacağından alternatif akımda etkin direnç değerinin artmasına yol açmaktadır. Bu artış elektrik enerjisinin iletimi/dağıtımında frekansını artırmak suretiyle iletken kesitinin dolayısıyla da maliyetinin düşürülmesini sağlar. Bu durum, yüksek frekanslarda ve büyük kesitli iletkenlerde daha etkili şekilde gözlemlenir. Alternatif akımın tam aksine de doğru akımda iletkenin tüm yüzeyi kullanır [2]. S_A (4) denkleminde hesaplanabilir

$$S_A = \frac{E_0}{E_d} = \frac{H_0}{H_d} = e^{d/\delta} \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

Burada; d ekranın kalınlığıdır.

(4) eşitliğindeki 0 ve d indisleri, metalin hemen içindeki, sırasıyla, $x = 0$ ve $x = d'$ deki alan şiddetlerini gösterir. $E_0, H_0, x = 0$ için ve $E_d, H_d, x = d$ için alan şiddetleridir. Ekrana elektromanyetik dalga (E_i, H_i) çarpmaktadır. Ekrana çarpan dalganın bir kısmı yansırken (E_r, H_r) geri kalan kısmı da (E_t, H_t) ekrandan geçmektedir. Z, Z_0 sırasıyla ekran malzemesi ve boşluğun karakteristik empedanslarını göstermektedir (Şekil-4) [7].



Şekil-4 SE'nin Tanımlanması İçin, İletken Bariyere Gönderilen Düzlem Dalga Durumu [4]

Düşük frekanslarda deri kalınlığı çok büyük olduğundan, çok kalın bir levha ve/veya bağıl manyetik geçirgenliği çok yüksek bir levha kullanılmadıkça etkin bir zayıflatmadan söz edilemez. Çünkü S_A , sadece ekranın içindeki alanla ve ekran malzemesinin elektromanyetik özelliği ile ilgilidir.

1.2. Ekranlama Etkinliğine Çoklu Yansıma Katkısı (S_{MR})

Çoklu Yansıma Katkısı (S_{MR}), (5) denkleminde hesaplanabilir [2]. Ancak çoklu yansıma kayıpları birçok durumda ihmal edilmektedir.

$$S_{MR} = 1 - e^{-2d/\delta} \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

1.3. Ekranlama Etkinliğine Yansıma Katkısı (S_R)

Yansıma Katkısı (S_R), alan bariyere girerken ve bariyerdan ayrılırken olmak üzere iki defa oluşur ve (6) denkleminde hesaplanabilir [2].

$$S_R = \frac{E_{in}}{E_{out}} = \frac{H_{in}}{H_{out}} = \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

Burada; Z_0 havadaki karakteristik empedans, Z_M ise metaldeki karakteristik empedanstır.

Kaynağın, ortamın ve ekranın karakteristikleri, yakın alan ve uzak alanda farklılık gösterdiğinden S_R ifadesi de farklılık gösterecektir. Bu farklılıklar üç şekilde ifade edilebilirler:

- **E-dipolün yakın alanı**
- **H-dipolün yakın alanı**
- **Uzak alan**

Bu üç durum için S_R farklı hesaplanacaktır.

1.3.1. E-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması:

Pratik olarak kaynağın yakın alanında ve yüksek frekanslarda ($f > 30$ MHz) önemlidir. $Z_E \gg Z_M$ ön şartı ile bir E-dipolün ekranlama etkinliğine yansımadan gelen katkı (S_{RE}) olarak ifade edilir ve (7) denklemi ile hesaplanabilir [2].

$$S_{RE} = \left| \frac{(Z_E + Z_M)^2}{4Z_E Z_M} \right| \approx \left| \frac{Z_E}{4Z_M} \right| = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{\sigma \delta}{\omega \epsilon_0 r} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

Burada; r kaynaktan olan uzaklık, Z_E E dipolü için dalga empedansı, ϵ_0 kaynağı çevreleyen ortamın dielektrik geçirgenliği, σ iletkenliktir.

(7) denklemi incelendiğinde frekans ve kaynak-ekran arası uzaklık arttıkça S_{RE} 'nin azalacağı görülmektedir.

1.3.2. H-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması:

Pratik olarak kaynağın yakın alanında ve düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. $Z_H \gg Z_M$ ön şartı ile bir H-dipolün ekranlama etkinliğine yansımadan gelen katkı (S_{RH}) olarak ifade edilir ve (8) denklemi ile hesaplanabilir [2].

$$S_{RH} = \left| \frac{(Z_H + Z_M)^2}{4Z_H Z_M} \right| \approx \left| \frac{Z_H}{4Z_M} \right| = \frac{\omega \mu_0 r \sigma \delta}{4\sqrt{2}} \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

Burada; Z_H H dipolü için dalga empedansıdır.

(8) denklemi incelendiğinde frekans ve kaynak-ekran arası uzaklık arttıkça S_{RH} 'nin artacağı görülmektedir.

1.3.3. Uzak Alanın (Düzlem EM Dalgalar) Zayıflatılması:

Pratik olarak kaynaktan yeteri kadar uzaklıkta ($\gg \gamma/2\pi$) gelen dalgalar, düzlem elektromanyetik dalga olarak kabul edilebilir. Düzlem elektromanyetik dalgalar için $Z_0 = 377\Omega$ olup sabittir. Buna göre bir düzlem dalganın bir ekran tarafından zayıflatılması durumunda yansımadan gelen katkı S_{REM} olarak ifade edilir ve (9) denklemi ile hesaplanabilir [2].

$$S_{REM} = \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right| = \frac{120\pi\sigma\delta}{4\sqrt{2}} \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

Düzlem elektromanyetik dalgaların zayıflatılması ile ilgili olarak (9) denklemi incelendiğinde; d/δ 'nin küçük değerleri için geniş bir frekans aralığı boyunca zayıflatmanın frekanstan ve kaynak-ekran arası uzaklıktan bağımsız olduğu görülmektedir.

2. EKLANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜM METOTLARI

Tekstil ve çeşitli kompozit malzemelerin SE ölçümlerini, kontrollü test alanlarında ve serbest uzayda yapılan ölçümler şeklinde iki ana bölüme ayırmak mümkündür.

2.1. Kontrollü Test Alanlarında Ekranlama Etkinliği Ölçümü

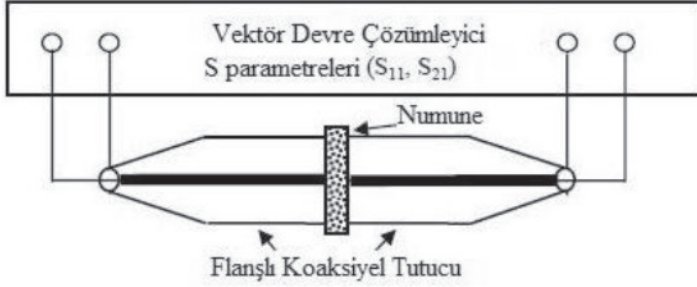
Ölçüm yerlerinde elektromanyetik çevrenin kontrol edilebildiği ve istenmeyen yansımaların istenen yansımalarından ayrılabilirdiği SE ölçümleri, kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlerdir. Kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde, koaksiyel tutucu metodu, çift-TEM hücre metodu, yankısız oda metodu yaygın olarak kullanılan kontrollü test alanlarında yapılan ölçüm metotlarıdır.

2.1.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method)

Kontrollü ortamdaki temel ölçüm metodu koaksiyel tutucu metodudur. Bu metotta bir tutucu iletim kablosu ve vektör devre çözümleyici kullanılır. Numune materyal, flanşlı koaksiyel tutucunun içine yerleştirilir ve sabitlenir (Şekil-5). S parametrelerinin ölçümüyle (S_{11} ve S_{21} yansımaları ve iletim sabitleri) toplam ekranlama etkinliği içerisinde yansımaya ve soğurmanın katkılarını belirlemek mümkündür [8].

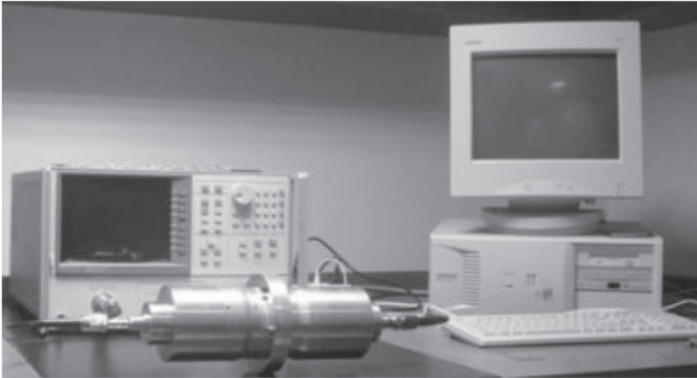
Genellikle, dinamik ölçüm aralığı 90-100 dB, çalışma frekansı 2 GHz civarındadır. Ölçülebilen maksimum çalışma frekansının artışı kenarlı koaksiyel kablo boyutlarının ve test aparatı ve beraberinde numune boyutlarının azalışına neden olur [8].

Bu ölçüm sistemi kompakttır ve otomasyona ve bilgisayar kontrolü ile veri işlemeye imkân tanır. Bu ölçüm metodunun zorluğu numune hazırlamadan kaynaklanır. Özellikle yüksek frekans ölçümlerinde numunenin boyutları küçük olmalıdır ve ayrıca koaksiyel tutucu ve numune arasındaki kontak direncinin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Kontrollü test alanında ölçümlerin bir dezavantajı da açılmal yansımanın tanımlanmasındaki zorluklardır [8].



Şekil-5 Koaksiyel Tutucu Metot [8]

Şekil-6' da koaksiyel tutucu metodu esasına göre geliştirdiğimiz test düzeneğinin bir fotoğrafı verilmiştir.



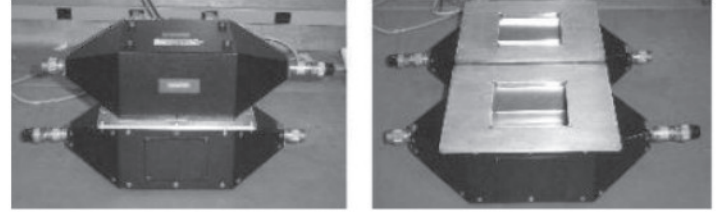
Şekil-6 Koaksiyel Tutucu Metodu Uygulaması

Koaksiyel tutucu metodu, ASTM' nin 1989' da düzlemsel materyallerin SE'sini ölçmek için geliştirilip yayınladığı bir test metodu olan D4935 standardına dayanır. Bu dokümanın en güncel revizyonu 1999 tarihlidir. İlk revizyondan farklı olarak bu doküman bu metot için uygulamanın kapsamını belirlemektedir. Bu doküman ASTM tarafından Eylül 2005' den itibaren desteklenmemesine rağmen bilgi amaçlı tedarik edilmektedir [9]. Aynı zamanda artık resmi bir standart olmamasına rağmen bu dokümanda açıklanan metot düzlem dalga için kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [4, 10, 11, 12].

2.1.2. Çift-TEM Hücre Ölçüm Metodu (The Dual-TEM Cell Method)

Çift-TEM hücre ölçüm metodu kontrollü ortamda yapılan ölçüm metotlarındandır. Bu metot ile elektromanyetik,

elektrik ve manyetik ekranlama etkinliği ölçümü yapılır. Dinamik ölçüm aralığı 80 dB' e, frekans 1 Ghz' e kadardır [13]. Şekil-7' de gösterilen çift-TEM hücresi, ortak duvardaki kare şeklindeki delik (9,1 cm x 9,1 cm) ile birbirine bağlanmış, uca doğru sivriltilmiş dikdörtgen şekle sahip bir çift koaksiyel iletim hattıdır [14].



Şekil-7 Çift-TEM Hücre [14]

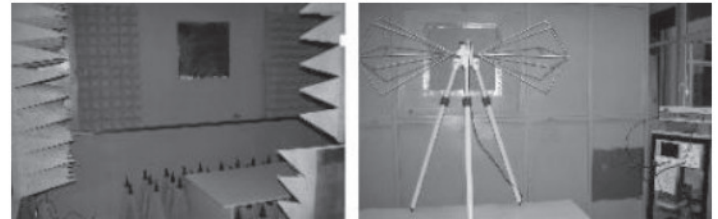
Çift-TEM hücre ölçüm sistemi; bir ikiz TEM hücresi, bir sinyal jeneratörü ve bir alıcı üniteden oluşur. Aletler ve veri toplama arasındaki iletişim otomatik bilgisayar kontrollü kontrol sistemi tarafından sağlanmaktadır. Ölçüm, iki aşamada gerçekleştirilir. Kalibrasyon aşaması olarak adlandırılan ilk aşamada, dönüştürülmüş sinyal güç seviyesi açıklığın boş olduğu durumda ölçülür. İkinci aşamada aynı ölçüm, açıklığa numune yerleştirilerek yapılır. DTEM ölçüm sisteminde SE, (10) denklemi ile tanımlanabilir [14].

$$SE = 10 \log A/B \quad (10)$$

Burada; A test numunesi olmadan ölçülen sinyal güç seviyesi, B test numunesi varken ölçülen sinyal güç seviyesidir.

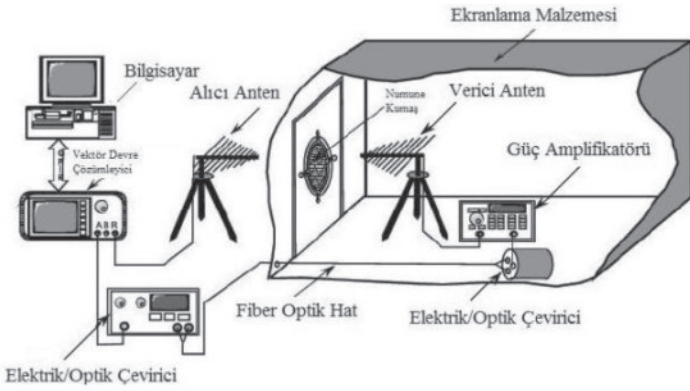
2.1.3 Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method)

Şekil-8' de geliştirdiğimiz bazı kumaş numunelerin testinde kullandığımız yankısız oda (ekranlı oda) ve test düzeneği görülmektedir.



Şekil-8 Yankısız Oda Metodu Uygulaması

Kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünün yapılabileceği MIL-STD-285 standardını temel alarak yapılan bir ölçüm düzeneği Şekil-9' da gösterilmektedir. 30 cm. çaplı daire şeklindeki test alanı, ekranlanmış odanın kapısında bir açıklık yaratarak oluşturulmuştur. Bu açıklıkta, test örnekleri ile mükemmel elektrik iletkenliği sağlayan paslanmaz çelik çift helezonlu yaylı contaya sahip dairesel bilezik bulunmaktadır [4].



Şekil-9 SE ölçümü için MIL-STD-285 metodunun adaptasyonu [4]

MIL-STD-285, SE değerlendirmede referans gösterilen standartlardan biridir. MIL-STD-285 ABD' de askeri amaçlar için geliştirilmiş ve 1956' da yayınlanmıştır. 100kHz- 10GHz frekans aralığında ekranlanmış kabinler için zayıflama ölçümlerini kapsayan ve en sık referans gösterilen standarttır. Bu standarda göre yapılan testlerde elektromanyetik bileşenler, frekanslar, gerekli ekipmanlar ve anten konfigürasyonları belirtilir. Ölçüm cihazı dışarıya yerleştirilirken, sinyal kaynağı test kabini içine yerleştirilir.

Genellikle modifiye MIL-285 olarak referans gösterilen metotta değerlendirilen materyal doğru şekilde ekranlanmış kabindeki bir açıklığı ekranlar. Açıklığın açık ve ekranlama materyali ile kapatıldığı durumdaki elektrik alan yoğunluğu E, manyetik alan yoğunluğu H veya güç P' nin karşılaştırmalı ölçümlerinin (1) denkleminde yerleştirilmesi ekranlama etkinliğinin tespit edilmesine imkân verir [4].

MIL-285'teki SE ölçmek için tanımlanan metotlar daha sonra IEEE STD-299'dakilerle değiştirilmiştir. IEEE STD-299'da ölçüm aralığı üç alt sınıfa ayrılmıştır [15]:

- Düşük Aralık - 9 kHz (50 Hz)' den 20 Mhz' e kadar – manyetik bileşen H için
- Titreşim Aralığı - 20 MHz' den 300 MHz' e kadar – elektrik bileşen E için
- Yüksek Aralık – 300 MHz' den 18 GHz (100 GHz)' e kadar – düz dalga güç P için

2.2. Serbest Uzayda Ölçüm Metodları

Tekstil ve çeşitli kompozit malzemelerin SE ölçümlerinde kullanılan bir diğer temel metot serbest uzayda ölçüm metodudur. Serbest uzay ölçüm metodları ile kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlere göre daha geniş frekans aralığında ölçüm yapılabilir. Ayrıca bu teknikler ile geniş numune boyutları için SE ölçümleri yapmak mümkündür.

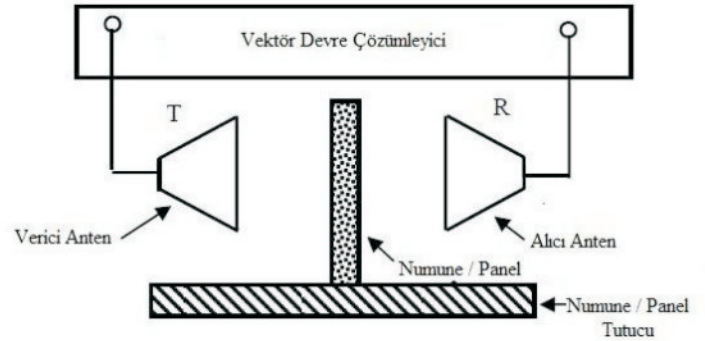
Serbest uzay ölçüm teknikleri ile çok farklı ekran tiplerinin SE ölçümü yapılabilmektedir.

Serbest uzay ölçüm tekniklerini, frekans bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri ve zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri şeklinde ikiye ayırmak mümkündür.

2.2.1. Frekans Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri

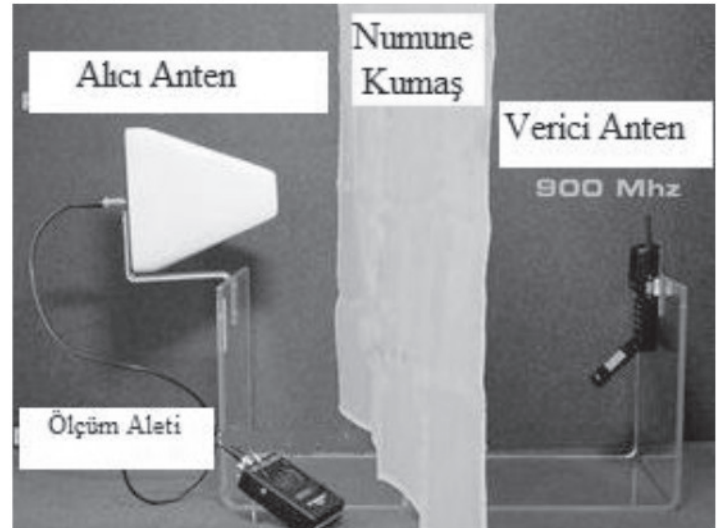
Frekans bölgesinde serbest uzay ölçüm tekniklerini serbest - uzay iletim ölçüm metodu ve serbest uzay yansıma ölçüm metodu olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Şekil-10 serbest - uzay iletim ölçüm metodunu göstermektedir. Sırasıyla numune/panel olmadan ve numune/panel ile olmak üzere iki durumda R anteni tarafından algılanan alan belirlenerek, kullanılan her frekans için SE (1) denklemi kullanılarak elde edilmektedir [8].



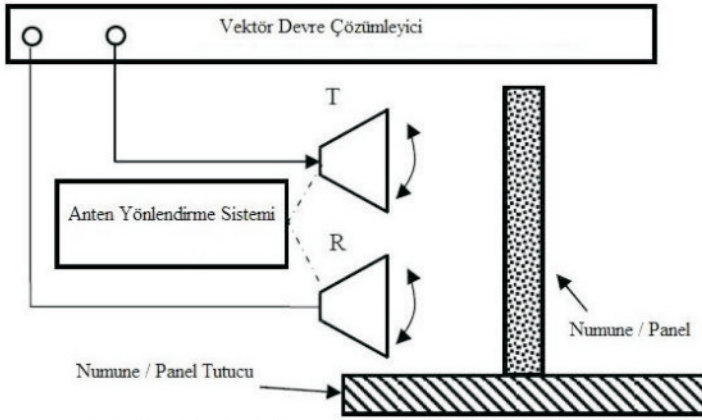
Şekil-10 Serbest-uzay iletim ölçüm metodu [8]

Şekil-11 serbest uzay iletim ölçüm metodunun uygulamasını göstermektedir.



Şekil-11 Serbest Uzay İletim Ölçüm Metodu Uygulaması [16]

Şekil-12' de serbest uzay yansıma ölçüm metodu gösterilmektedir. Şekil-12' de gösterilen sistemde antenlerin yönleri ayarlanabildiği için verici ve alıcı anten sisteminin uygun yerleşimi ile malzemenin belli bir açıdaki açılal yansıtıcılığını belirlemek mümkündür.



Şekil-12 Serbest-Uzay yansımaya ölçüm metodu [8]

Yansımaya katsayısı (RC) (11) denklemi ile hesaplanabilir [8]:

$$RC = 20 \log \frac{E^r}{E^i} \quad (11)$$

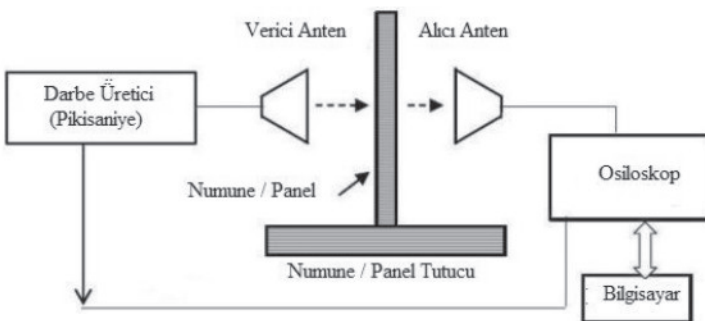
“ E^r ” numune/panel tarafından yansıtılan elektrik alan ve “ E^i ” gelen elektrik alanı temsil etmektedir.

Serbest uzay ölçüm teknikleri ile ölçüm yaparken karşılaşılan en önemli sorun elektromanyetik çevrenin kontrolüdür [8].

2.2.2. Zaman Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri

Zaman bölgesi metotları ile geniş frekans bandında SE'nin ölçümü mümkündür. Zaman bölgesi metodunda, istenen sinyal istenmeyen yansımalarından alıcı antendeki varış zamanındaki farklılıklar kullanılarak laboratuvar ortamında ayrılabilir (zaman çevirme metodu) [8]. Zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm tekniklerini iletim ölçüm metodu ve yansımaya ölçüm metodu olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Zaman bölgesi iletim metodu ile ekranlama etkinliği ölçümü Şekil-13'de gösterilmiştir.



Şekil-13 Zaman Bölgesi İletim Ölçüm Tekniği [8]

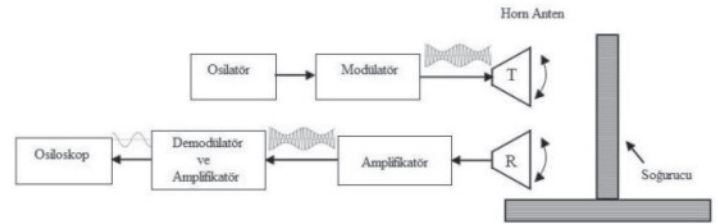
Materyallerin ekranlama etkinliği elektromanyetik alan çarptığında (1) denklemi ile aynı şekilde (12) denklemi ile hesaplanabilir [8]:

$$SE = 20 \log \frac{E_{R,0}^{peak}}{E_{R,S}^{peak}} \quad (12)$$

$E_{R,0}^{peak}$ ve $E_{R,S}^{peak}$ osiloskopta gösterilen darbeleri elektrik alanının sırasıyla ekran numunesi verici ve alıcı anten arasında yerleştirilmeden önce ve yerleştirildikten sonraki tepe değerleridir. Materyallerin ekranlama etkinliği bu iki çarpmanın frekans durumuna (SE alanının frekans bileşenlerine bağlı olarak farklıdır) bağlı olduğu için, ekran varken ve yokken farklı olabilir.

Kaydedilen veri, yani osiloskopta yakalanan darbeleri elektrik alanları, Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) kullanılarak zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüştürülebilir; bundan sonra her frekans bileşeni için ekranlama etkinliğini ve SE'nin frekans özellik grafiğini elde edebiliriz. Bu durumda, zaman bölgesi metodu ile frekans bölgesi metodunun sonuçlarını karşılaştırmak mümkündür.

Zaman bölgesi yansımaya metodu ile ekranlama etkinliği ölçüm yöntemi Şekil-14'de gösterilmiştir.



Şekil-14 Zaman Bölgesi Yansımaya Ölçüm Tekniği [8]

Ekranlama etkinliği ölçümü için zaman bölgesi metodu kullanımında dinamik alan 50-60 dB civarında iken frekans bölgesi metodu kullanımında ise 100 dB civarındadır [8].

3. SONUÇ

Teknolojik gelişmeler ile her geçen gün kullandığımız elektrikli ve elektronik aletlerin sayısı artarken, bunlardan yayılan elektromanyetik radyasyona da daha fazla maruz kalmaktayız. Elektromanyetik radyasyon, sadece çeşitli elektronik cihazların çalışma verimliliklerini etkilemekle kalmayıp canlıları da olumsuz etkilemektedir. Artan sağlık ve çevre bilinci ile elektromanyetik radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için gerek ulusal gerekse uluslararası yapılan bilimsel çalışmaların sayısı da sürekli artmaktadır.

Ekranlamada kullanılan metalik malzemelerin ekranlama etkinliği (SE) değerleri birçok durumda malzeme özellikleri ve boyut ölçüleri kullanılarak çeşitli formüllerle hesaplanabilir. Ekranlama amacı ile kullanılan kompozit malzemelerin ve tekstillerin ise SE değerlerinin mutlaka ölçülmesi gerekmektedir.

Ancak, ekranlama tekstillerinin SE ölçüm sonuçlarının analiz edilebilmesi için tek başına yeterli olabilecek bir ölçüm metodu mevcut değildir. Bilinen metotlar ile elde edilen SE ölçüm sonuçları, sadece ekranlama materyallerinin özelliklerine ve parametrelerine bağlı olmayıp aynı zamanda numunenin boyutuna, test düzeneğinin geometrisine ve elektromanyetik radyasyon kaynağının parametrelerine de bağlıdır.

Elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE değerlerinin ölçümü ülkemizde çeşitli kuruluşlarda yapılabilmektedir. Ancak, bu şekilde yapılacak ölçümler bu konuda çalışmalar yapan kişi ve kuruluşlar için zaman ve maliyet noktalarında büyük sorunlar çıkarmaktadır.

Bu durum göz önüne alındığında elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin geliştirilmesi ile uğraşan kişi ve kuruluşların, mevcut imkânlarını kullanarak SE ölçümü için kendi ölçüm aparatlarını geliştirebilecekleri düşünülmektedir.

Bu çalışmada, elektromanyetik radyasyonu ekranlama amaçlı kullanılan tekstil yapıları üzerine çalışan araştırmacılara faydalı olması amacıyla, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümlerinde etkin şekilde kullanılacak metotlar özetlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "00231.STZ.2008-1" kodlu San-Tez projesinin literatür araştırması kapsamında hazırlanmış bir derleme çalışmasıdır. Bu çalışmadaki hiçbir görüş, tespit ve kanaat Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nın resmi görüşü değildir. Desteklerinden dolayı Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve Başyazıcıoğlu Tekstil İşletmesine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Clayton R. P., (2006), *Introduction to Electromagnetic Compatibility* 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
2. Goedbloed J. J., (1992), *Electromagnetic Compatibility*, Prentice Hall International (UK) Ltd.
3. Sevgi L., Ekim 2000, *EM Uyumluluk ve Kavramlar*, EMO İstanbul Şubesi
4. Więckowski T. W., Janukiewicz J. M., January/December (2006), *Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles*, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 14, No. 5 (59).
5. Şeker S., Çerezci O., (2000), *Radyasyon Kışatması*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
6. Özsoy S., (1998), *Elektromanyetik Dalga Teorisi*, Erciyes Üniversitesi Matbaası, Kayseri.
7. Yasufuku S., (1990), *Technical Progress of EMI*

- Shielding Materials in Japan*, IEEE Electrical Insulation Magazine, No.6, Vol. 6.
8. David V., Vremeră E., Sălceanu A., Nica I., Baltag O., (2007), *On the Characterization of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials*, 15-th IMEKO TC 4 International Symposium on Novelties in Electrical Measurements and Instrumentation; Vol. I, pag. 73-78.
9. ASTM D4935-99, (2001), *Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*, ASTM.
10. Su C. I., Chern T. T., (2004), *Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness*, *Textile Research Journal*, 74-1, pg. 51
11. Koprowska J., Pietranik M., Stawski W., (2004), *New Type of Textiles with Shielding Properties*, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 12, No. 3
12. Chen H.C., Lee K.C., Lin J.H., Koch M., (2007), *Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles via Various Measurement Techniques*, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, pg.549-554
13. DS075AA.PDF , <http://www.teseospa.com> (Mayıs, 2009)
14. Donohoe, J. P., Jun Xu, Pittman C.U., Jr., (2005), *Variability of dual TEM cell shielding effectiveness measurements for vapor grown carbon nanofiber/vinyl ester composites*, *Electromagnetic Compatibility, International Symposium on Volume 1*, Page(s):190-194
15. IEEE-STD-299, (2006), *IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*, IEEE National Standards Institute.
16. <http://www.textile-wire.ch/> (Mayıs, 2009)