



TEKSTİL VE MÜHENDİS

(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Tekstil Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Ölçümünde Yenilikçi Bir Test Aparatı

An Innovative Test Apparatus for Electromagnetic Shielding Effectiveness Test of Textile Materials

Ebru Seza TÜRKSOY¹, Sümeyye ÜSTÜNTAĞ², Öznur SARITAŞ³, Ömer Galip SARAÇOĞLU¹

¹Erciyes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl. Kayseri, Türkiye

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye

³Erciyes Üniversitesi, Tekstil Müh. Böl., Kayseri, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Eylül 2015 (30 September 2015)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Ebru Seza TÜRKSOY, Sümeyye ÜSTÜNTAĞ, Öznur SARITAŞ, Ömer Galip SARAÇOĞLU (2015):
Tekstil Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Ölçümünde Yenilikçi Bir Test Aparatı,
Tekstil ve Mühendis, 22: 99, 15-26.

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992015229903>

TEKSTİL MALZEMELERİNİN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE YENİLİKÇİ BİR TEST APARATI

Ebru Seza TÜRKSOY¹
Sümeyye ÜSTÜNTAĞ^{2*}
Öznur SARITAŞ³
Ömer Galip SARAÇOĞLU¹

¹Erciyes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl. Kayseri, Türkiye

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye

³Erciyes Üniversitesi, Tekstil Müh. Böl., Kayseri, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 05.06.2015

Kabul Tarihi / Accepted: 31.08.2015

ÖZET: Tekstil ve çeşitli kompozit malzemelerin elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin (SE), klasik metal plakalarda olduğu gibi hesaplanması mümkün olmadığından, ölçülmesi gerekmektedir. Koaksiyel Tutucu Metodu, tekstil malzemelerinin SE ölçümünün kontrollü test alanlarında gerçekleştirildiği bir ölçüm yöntemidir. Bu metotla yapılan ölçümlerin; test numunesinin yerleştirilmesinde zorluklar ve ölçüm frekans aralığının düşük olması gibi çeşitli dezavantajları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında öncelikle mevcut koaksiyel tutucu metodun (ASTM D 4935) dezavantajlarını ortadan kaldıracak yapıda yeni bir test aparatı geliştirilmiştir. Ardından kontrollü şartlarda üretilen hibrit kumaşların, geliştirilen test aparatı ile gerçekleştirilen SE ölçümleri, mevcut koaksiyel tutucu metottan elde edilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alan, kalkanlama etkinliği, koaksiyel tutucu method, hibrit kumaş.

AN INNOVATIVE TEST APPARATUS FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS TEST OF TEXTILE MATERIALS

ABSTRACT: Electromagnetic shielding effectiveness (SE) of textile and various composite materials should be measured since their SE values cannot be calculated as in the conventional metal plate. Coaxial Holder Method is a measurement method that SE of textile materials is tested in the controlled test area. This measurement method has several shortcomings such as limited frequency range and impractical test conditions. In this study, firstly a new test apparatus was developed with an aim to overcome limitations of ASTM D 4935. Then, SE values of hybrid fabrics produced under the controlled conditions were tested with this new test apparatus and the test results compared with SE results obtained from ASTM D 4935 method.

Key Words: Electromagnetic field, shielding effectiveness, coaxial holder method, hybrid fabric.

**Sorumlu Yazar/Corresponding author: sumeyyeustuntag@gmail.com*

DOI: 10.7216/130075992015229903, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanına elektromanyetik alan denilir. Elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri hava savunma sistemleri, radarlar, otomobil ateşleme sistemleri, iş makineleri, evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar, tıbbi cihazlar, cep telefonları, baz istasyonları, bilgisayarlar ve kullandığımız tüm elektrikli cihazlar ve sistemler çalışırken kasıtlı veya kasıtsız olarak elektromanyetik alan oluşturmaktadır [1]. Duran elektrik yükleri etrafında durgun bir elektrik alan oluşurken, hareketli yükler etrafında hem elektrik hem de manyetik alan oluşur; bu alanlar “dinamik elektromanyetik alanlar” ya da “elektromanyetik dalgalar” şeklinde tanımlanmaktadır.

Bilim ve teknolojiye gelişmelerle birlikte, elektrikli ve elektronik cihazların günlük hayatımızdaki yeri artmıştır. Yaşamımızın her safhasına girmiş olan bu cihazların kullanımı, hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte yaşam alanlarındaki elektromanyetik dalga yoğunluğunu ya da başka bir ifadeyle elektromanyetik çevre kirliliğini artırmaktadır. Elektromanyetik alanlar, hassas elektronik cihazlar üzerinde etki yaparak bu cihazların doğru çalışmasını engellemektedir. Cihaz veya sistemlerin çalışmalarında meydana gelen bu bozulma veya kötüleşmeye Elektromanyetik Girişim (Elektromagnetic Interference-EMI) problemi adı verilmektedir [1, 2]. Ayrıca elektromanyetik alanlar, elektronik bir sistem olarak kabul edilebilecek insan vücudunda da istenmeyen etkilere yol açmaktadır [2-4].

Elektromanyetik alanlardan korunmada kullanılan başlıca yöntemlerinden birisi kalkanlamadır. Kalkanlamada kullanılan klasik metal malzemelerinin sınırlı esneklik, ağırlık, korozyon ve kalkanlama verimliliğini ayarlama zorluğu gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde klasik kalkanlama malzemelerinin dezavantajlarından dolayı kalkanlamada daha hafif, esnek ve daha düşük maliyetli tekstil malzemeleri tercih edilmektedir.

Malzemelerin kalkanlama etkinliği uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Tekstil ve çeşitli kompozit materyallerin kalkanlama etkinliği (SE-Shielding

Effectiveness) değerinin, kalkanlama amacıyla yaygın olarak kullanılan klasik metal plakalarda olduğu gibi hesaplanması mümkün olmadığından, ölçülmesi gerekmektedir. Bu tür malzemelerin kalkanlama etkinliği ölçümlerini, serbest uzayda ve kontrollü test alanlarında yapılan ölçümler şeklinde iki ana bölüme ayırmak mümkündür. Geniş frekans aralığında ölçüm yapabilen serbest uzay ölçüm metotları, frekans bölgesinde ve zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Ölçüm yerlerinde elektromanyetik çevrenin kontrol edilebildiği SE ölçümler ise, kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlerdir. Koaksiyel tutucu metodu, çift-TEM hücre metodu, yankısız oda metodunu bu gruptaki ölçüm metotlarına örnek gösterebiliriz. Kalkanlama etkinliği ölçüm sonuçları, test düzeneğinin geometrisine, frekans aralığına, numune boyutuna ve elektromanyetik alan kaynağının parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

Koaksiyel tutucu metot ve yankısız oda metodu tekstil malzemelerinin kalkanlama etkinliği ölçümünde tüm metotlar içerisinde en yaygın kullanılanlardır [4-8]. Yankısız oda metoduyla yapılan değerlendirmeler, bu konuda çalışmalar yapan kişi ve kuruluşlar için zaman ve maliyet noktalarında büyük sorunlar çıkarmaktadır. Koaksiyel tutucu metot, yankısız odaya nispeten daha pratik ölçüm imkânı sunsa da, özellikle ölçüm yapılabilen frekans aralığının sınırlı olması ve araştırmacıların daha pratik test yapabilme istekleri bu çalışmanın gerekçesi olmuştur. Çalışma kapsamında geliştirdiğimiz aparatın mevcut koaksiyel tutucu metottaki sorunların önüne geçeceği düşünülmektedir.

2. KALKANLAMA TEORİSİ VE YENİLİKÇİ TEST APARATI

Çalışmanın bu bölümünde genel olarak kalkanlama teorisi ve test aparatının geliştirilme aşamaları anlatılmıştır.

2.1. Kalkanlama Teorisi

Elektromanyetik dalgalar boş uzayda ve madde içinde yayılabilen, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip, genlikleri kaynaktan uzaklaştıkça azalan enine dalgalardır. Uzayda bu dalgaların yayılması ışık hızıyla ($c = 3 \times 10^8$ m/s) gerçekleşmektedir.

Elektromanyetik dalga yayılımında iki tip girişim kaynağı söz konusudur; elektrik dipol gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar. 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 alan kaynağı yakınında elektriksel kalkanlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında manyetik kalkanlama gereklidir [9].

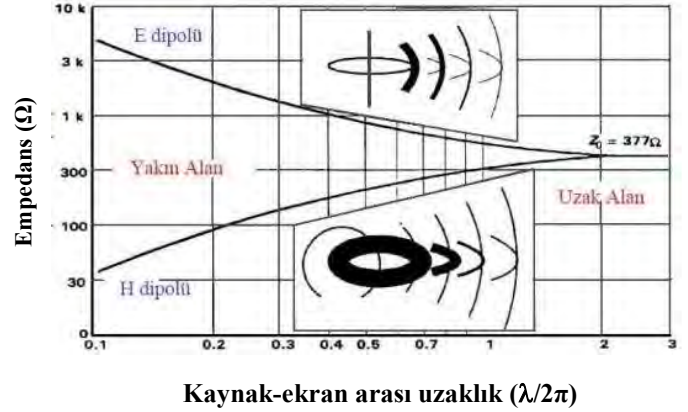
Elektromanyetik alanı tanımlamada kullanılan belirleyici parametrelerden birisi de dalga empedansı $Z=E/H$ olarak bilinen, elektrik alan bileşeni E 'nin manyetik alan bileşeni H 'a oranıdır. Özellikle düşük kazançlı antenlerde, kaynak-ekran arasındaki uzaklık; dalga boyu (λ)=Işık hızı (c)/frekans (f) 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 [1].

Elektromanyetik alan kaynağının etrafındaki alanı 3'e ayırabiliriz (Şekil 1).

- 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 [10].
- 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 [10].

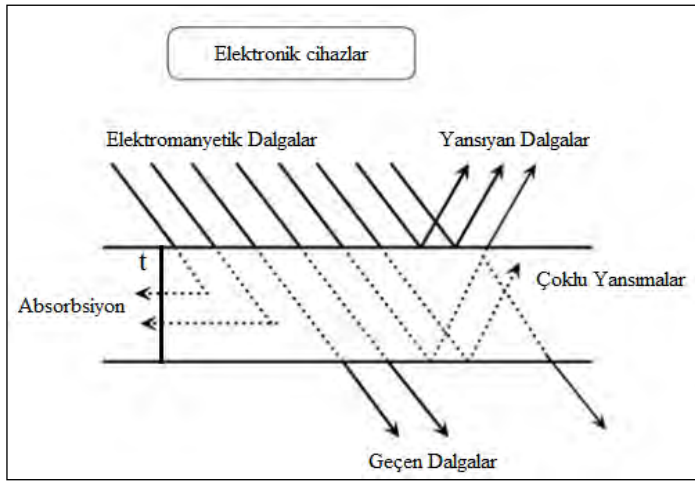


Şekil 1. Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar [1].

Şekil 1'de yatay eksen dipolden itibaren uzaklığı, dikey eksen ise dalga empedansını göstermektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi elektrik dipolün yarattığı dalgaların dalga empedansı dipol yakınında çok yüksektir. 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 açıklanmıştır [2]. Elektromanyetik teoremin 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 'ın) 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 yaklaşık olarak düzlemdir [11].

Elektromanyetik alan bir cismin içinden geçerken cisimle etkileşime girdiğinde, alanın gücünün nasıl azaldığını belirleyen üç olay vardır; absorpsiyon ile zayıflama, yansımaya bağlı zayıflama ve çoklu yansımaya bağlı zayıflama (ikincil yansıma kayıpları). Çoklu yansımaya bağlı zayıflamalar genellikle ihmal edilmektedir [12]. Şekil 2’de kalınlığı “t” olan kayıplı bir duvarda kalkanlama için mekanizma gösterilmiştir.



Şekil 2. Kalınlığı t olan duvarın kalkanlama etkinliği [13].

Bir elektromanyetik dalga bir cismin yüzeyine çarptığında, cisimdeki yükleri kendisi ile aynı frekansta salınım yapmaya zorlar. Bu zorlanmış salınım yapan yük bir anten gibi davranır ve mevcut dalgayı geri yansıtarak yansımaya neden olur [12-16]. Bir başka ifade ile dalganın uzaydaki empedansı ekrandaki empedansından farklı olduğunda elektromanyetik ekrandan yansıma olur. Bu, ekranın kalınlığından bağımsız ve materyalin iletkenliğinin, manyetik geçirgenliğinin ve dalga frekansının bir fonksiyonudur. Dalga empedansı, manyetik alanlar (düşük empedans) ve elektrik alanlar (yüksek empedans) için farklı olduğundan her dalga tipi için ekrandaki yansıma farklı karakteristikler gösterir. Metaller gibi elektrik iletken materyaller elektromanyetik alanların ekranın içine işlenmesini önleyecek şekilde yansır [12]. Yansıma, ekran özellikli malzemenin hem dış yüzeyinde, hem de iç kısmında gerçekleşmektedir. Ayrıca mevcut elektrik alan etkisi ile kutuplanan zıt yükler, ters yönlü bir elektrik alan oluştururlar ki bu da elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşenini zayıflatır [12-16].

Elektromanyetik dalganın bir kısmı titreşime zorlandığından enerji ısı formunda kaybedilir. Bu şekildeki elektromanyetik enerji kaybı absorpsiyon nedeni ile azalma şeklinde tanımlanabilir. Elektromanyetik ekrandaki absorpsiyon elektromanyetik enerjiyi termal enerjiye çevirir. Absorpsiyon kaybı, alanın dalga empedansına bağlı değildir ve bundan dolayı yakın veya uzak alan şartları ile de ilgili değildir [12].

Yansıma ve absorpsiyon esaslı kayıpların kombine efekti ekranın etkinliğini belirler. Kalkanlama etkinliği frekansla, ekran geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, çarpma yönüyle ilişkilidir [12]. Kalkanlama etkinliği, kalkanlamanın tipik bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. SE, kaynak ile gözlem noktası arasında ekran yok iken ölçülen (ya da hesaplanan) elektrik alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

SE hesaplanırken (1) ve (2) denklemleri kullanılabilir [12, 15].

$$SE \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1)$$

$$SE \text{ (dB)} = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (2)$$

P_1 = Ekran olmadan alınan güç (W)

P_2 = Ekran varlığında alınan güç (W)

E_1 = Ekran olmadan ölçülen alan şiddeti (V/m)

E_2 = Ekran varlığında ölçülen alan şiddeti (V/m)

SE frekansla değişmektedir. Değişimin nasıl olacağı ise ancak ölçü ya da sayısal benzetimler yoluyla saptanabilmektedir. SE değeri kalkanlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için ise % Azalma kullanılır. % Azalma (3) denklemine göre hesaplanabilir.

$$\% \text{ Azalma} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \quad (3)$$

(3) denkleminde $\frac{E_2}{E_1}$ yerine (2) denkleminde elde edilecek değer yazılırsa % Azalmanın SE cinsinden değeri (4) denklemindeki gibi bulunur.

$$\% \text{ Azalma} = (1 - 10^{-SE/20}) \times 100 \quad (4)$$

Pratikte verilen kalkanlama etkinliği değerlerinin anlamlı olabilmesi için Tablo 1’de SE ve % Azalma değerleri belirtilmiştir [1].

Tablo 1. SE ve % Azalma değerleri.

SE (dB)	% Azalma	Açıklama
0-10	0-68,377	Kalkanlama beklenmez
10-30	68,377-99,838	Basit Kalkanlama
30-60	99,838-99,900	Normal Kalkanlama
60-90	99,900-99,997	Yeterli Kalkanlama
90-120	99,997-99,999	Mükemmele Yakın Kalkanlama
120-	99,999 ve yukarısı	Maksimum Kalkanlama

2.2. Test Aparatının Geliştirilmesi

Koaksiyel tutucu metodu, ASTM’nin 1989’da düzlemsel materyallerin SE’sini ölçmek için geliştirilip yayınladığı bir test metodu olan D4935 standardına dayanır [17]. Bu metot düzlem dalga için kompozit malzemeler ve elektromanyetik alana karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Koaksiyel tutucu metodunda, flanşlı bir koaksiyel tutucu ve S parametrelerini (S_{11} ve S_{21} yansıma ve araya girme kayıpları) ölçebilen bir network analizör bulunmaktadır. S parametrelerinin ölçümü ile toplam kalkanlama etkinliği içerisinde yansıma ve soğurmanın katkıları belirlenebilmektedir. Koaksiyel tutucu

metodu ile SE ölçümlerinin yapılabildiği ölçüm test düzeneğinin görüntüsü Şekil 3’de görülmektedir.

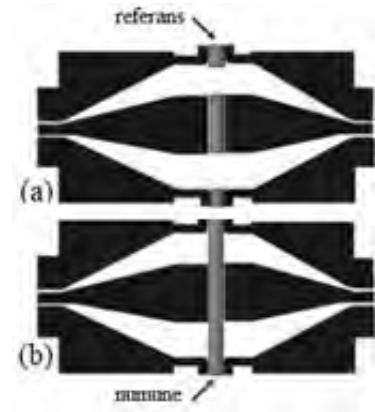
ASTM D 4935-99 standardına göre test adaptörünün dış iletken iç çapı (D) 76.2 mm ve iç iletken dış çapı (d) 33 mm’dir. Test adaptörünün iki yarısı arasındaki kapasitif bağlantıyı artırmak için, her iki yarıda 133 mm’lik flanşlar bulunmaktadır (Şekil 4).

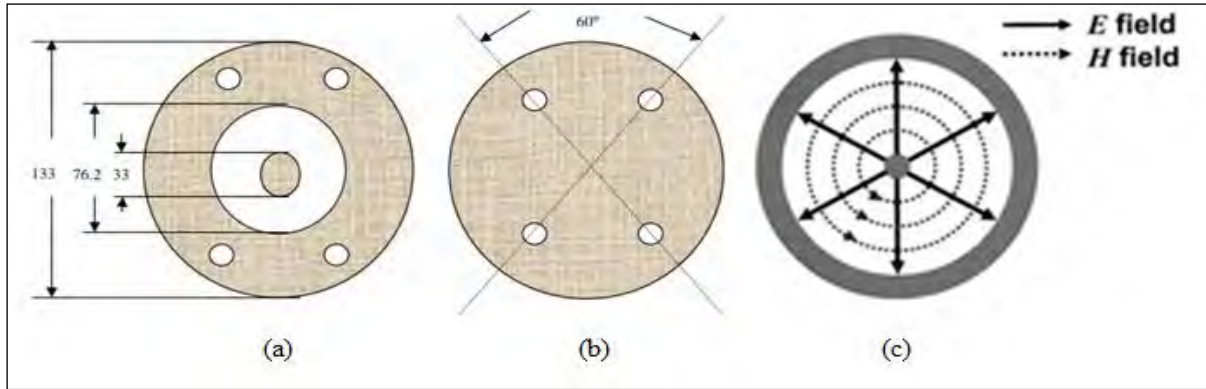
ASTM D 4935 standardına göre kumaş numunelerinin SE değerlerini belirleyebilmek için ölçüm iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, Şekil 3’de görüldüğü gibi test numunesinden hazırlanan parçalarla referans ölçüm yapılmaktadır. İkinci aşamada ise ölçüm alanına uygun olarak 133 mm dairesel formda hazırlanan fiili test numunesi koaksiyel tutucular arasına yerleştirildikten sonra ölçüm gerçekleştirilmektedir.

Tekstil malzemelerin kalkanlama etkinliği ölçümünde yaygın olarak kullanılan yanksız oda metoduna göre numune boyutunun küçük olması, ölçüm süresinin kısa olması, ölçüm yerinin esnek olması gibi avantajlara sahip olan koaksiyel tutucu metodu aynı zamanda çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu çalışmada halihazırda kullanılan ASTM D 4935-99 standardındaki ölçüm yapılabilen frekans aralığının düşük olması ve test adaptörlerinin ağırlığı gibi mevcut dezavantajları ortadan kaldıracak yapıda yeni bir test aparatı geliştirilmiştir. Şekil 5’te yeni geliştirilen test aparatının görünümüleri verilmiştir.

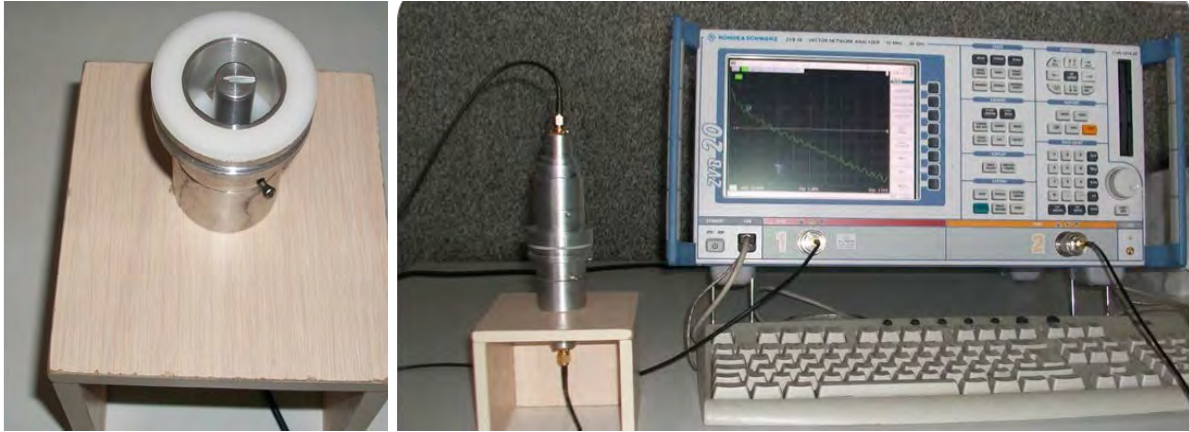


Şekil 3. Koaksiyel Tutucu Metodu test uygulaması.





Şekil 4. ASTM D4935-99 ile uyumlu bir metod için referans (a), test numunesi (b) ölçüleri ve koaksiyel hat içinde elektrik ve manyetik alan (c).



Şekil 5. Geliştirilen Koaksiyel Tutucu Test Aparatının görünümü.

ASTM D 4935 standardına göre yapılan test cihazları pirinç malzemedir. Pirinç, bakır ve kalay malzemelerinin belli oranlarda karışımlarından elde edilen bir çeşit alaşımdır. Bir alaşımların iletkenliği her zaman için bileşenlerinininkinden daha düşüktür ve alaşımların iletkenlikleri homojen olmayabilir. Bu malzemenin SE ölçüm aparatında kullanılması ölçüm sonuçlarını ideal davranıştan uzaklaştırır. Ayrıca pirinç, içerisinde bulunan bakırdan dolayı oldukça ağır bir malzemedir. Tüm bu nedenlerden dolayı yeni cihazın üretiminde pirince göre iletkenliği daha iyi ve daha hafif olan alüminyum kullanılmıştır [Alüminyum= 35.4×10^6 S/m, Pirinç (Sarı)= 16.24×10^6 S/m, SI birim sisteminde iletkenlik birimi Siemens/m'dir]. Alüminyum saf bir malzeme olduğundan dolayı iletkenliği homojendir. Bu özellik de SE ölçüm sonuçlarının sağlıklı olabilmesi için son derece önemlidir.

ASTM D standardına göre üretilen ölçüm aparatının üst frekansının maksimum değerini hesaplamak için (5) no'lu denklem kullanılmaktadır.

$$f_{\max} < \frac{c}{\frac{\pi}{2}(D+d)} \quad (5)$$

c - ışık hızı (3×10^8 m/s).

D - Dış iletken iç çapı (mm).

d - iç iletken dış çapı (mm).

(5) denklemi ile elde edilen sonuca göre ASTM D 4935 standardında üst frekans değerinin 1.73 GHz'i ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$) aşmaması gerekmektedir. Çevremizde kullandığımız elektronik cihazların yaydıkları dalgaların frekans değerleri 2 GHz ve üzerine çıkmıştır. Bu nedenden dolayı kalkanlama için gerekli görülen frekans değerlerinin de 2 GHz'in üzerinde olması istenilmektedir. SE ölçümünde frekans aralığı ölçüm cihazının boyutu ile ilişkili olduğundan dolayı geliştirdiğimiz cihazın boyutu standarda göre 1/3 oranında küçültülmüştür. Bu sayede 44,3 mm çapa sahip olan yeni aparat ile 0.01 GHz-4.5 GHz frekans aralığında sağlıklı SE ölçümleri yapılabilmektedir.

ASTM D 4935 standardına göre üretilen cihazın her bir adaptörü 7,5 kilo ağırlığındadır. Ölçüm yapan personelin kumaş numunelerini adaptörlerin arasına yerleştirdikten sonra 4 farklı noktadan vidalaması gerekmektedir. Personelin her bir testte vidaları aynı oranda güç kullanarak sıkması mümkün değildir. Bu durumların ölçüm sonucunun tekrarlanabilirliğini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Tork anahtarı kullanılarak bu sorunu gidermek olası olsa da, daha küçük boyutlara ve daha yüksek üst frekans bölgesine (4.5 GHz) sahip olan yeni aparatta ilave vidalama deliklerinin yol açabileceği elektromanyetik alan saçılmalarından ve buna bağlı hatalı ölçümlerden kaçınmak için böyle bir yöntem tercih edilmemiştir. Ayrıca vidalama sırasında numunenin zarar görmesi muhtemeldir. Bu işlem esnasında kumaş yapısında bozulma, yapı içerisindeki ipliklerin kopması gibi SE sonucunu etkileyebilecek düzensizlikler meydana gelebilmektedir.

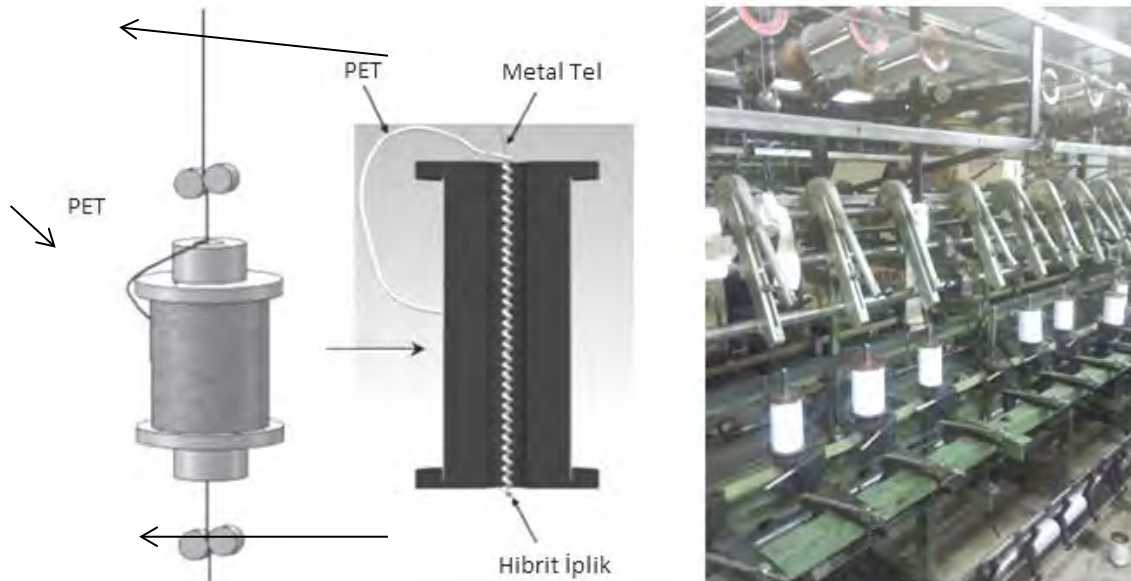
Tüm bu nedenlerden dolayı vidalama yerine, yeni test aparatında iki adaptör arasına yerleştirilen numune, vidalanmaksızın dikey konumda hizalanmaktadır. Böylece ölçüm yapan personelden bağımsız olarak test numunesine her testte aparat kendi ağırlığı kadar baskı uygulamaktadır (Şekil 5).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın deneysel kısmında elektromanyetik dalgaları kalkanlama özelliğine sahip 8 adet dokuma kumaşın, ASTM D 4935 ve yeni geliştirilen aparat ile yapılan elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerleri karşılaştırılmıştır. Dokuma kumaşların üretiminde atkı ve çözgü ipliği olarak metal tel içerikli hibrit iplikler kullanılmıştır. Hibrit ipliklerin üretiminde hammadde olarak 100 denye PET (36 filament), 35 mikron (Nm 131) AISI 316 L tipi paslanmaz çelik tel (SS) içi oyuk iğli kaplama tekniği ile bir araya getirilmiştir. Hibrit ipliklerin üretim metodu Şekil 6'da şematik olarak gösterilmiştir.

Dokuma kumaş numunelerinin kodları ve atkı sıklıkları Tablo 2' de özetlenmiştir. Ayrıca farklı örgü yapılarında üretilen kumaşların optik mikroskop altında elde edilen görüntüleri gerek hibrit ipliklerin gerekse kumaş yapısının anlaşılması amacıyla Şekil 7'de verilmiştir. K5 kodlu kumaşın yapısında sadece çözgüde metal içerikli hibrit iplik kullanılmıştır.

Kontrollü şartlarda üretilen 8 tip dokuma kumaşın hem ASTM D 4935 metodu ile hem de çalışma kapsamında geliştirilen test aparatı ile elektromanyetik kalkanlama değerleri ölçülmüş ve bu değerler birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

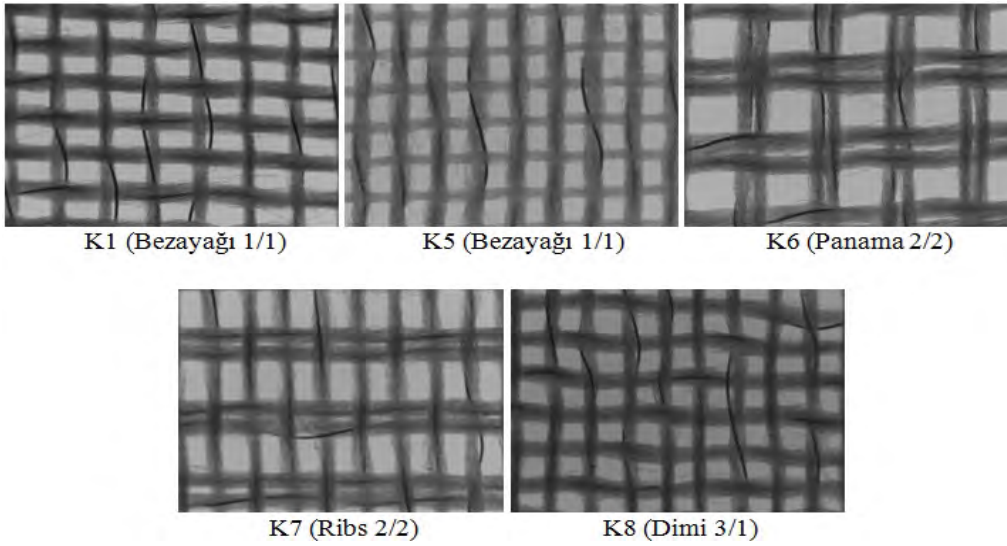


Şekil 6. Hibrit ipliklerin üretim sisteminin şematik gösterimi ve fotoğrafı.

Tablo 2. Elektromanyetik kalkanlama amaçlı üretilen kumaşların özellikleri.

Kumaş Kodu	Örgü Tipi	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Kumaş Gramajı (g/m ²)
K1	Bezayağı 1/1	21	25	106
K2	Bezayağı 1/1	23	25	112
K3	Bezayağı 1/1	25	25	116
K4	Bezayağı 1/1	28	25	120
K5*	Bezayağı 1/1	25	25	93
K6	Panama 2/2	28	25	117
K7	Ribs 2/2	28	25	118
K8	Dimi 3/1	28	25	118

* Atkı ipliği 100 denye PET'tir.

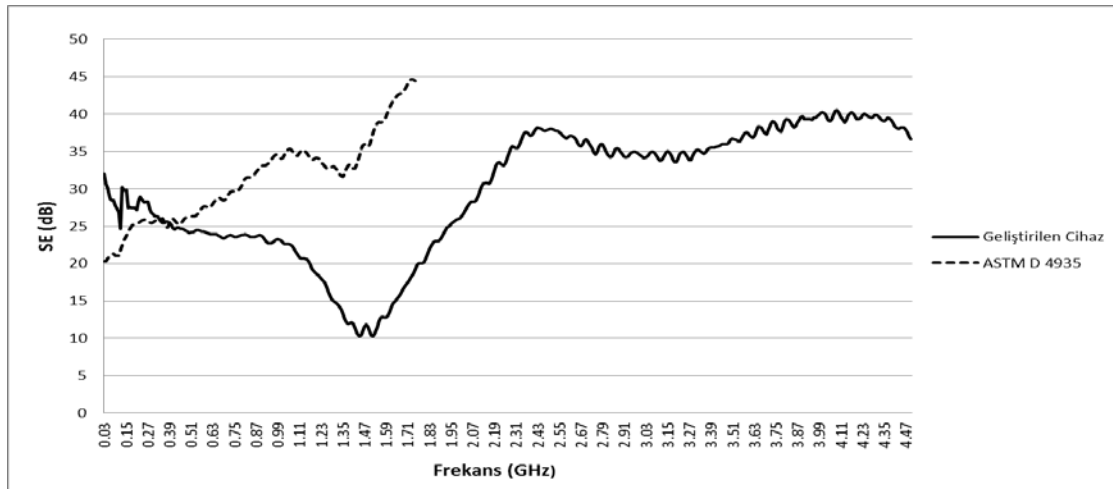


Şekil 7. Farklı örgü yapılarındaki kumaşların optik mikroskop altındaki görüntüleri.

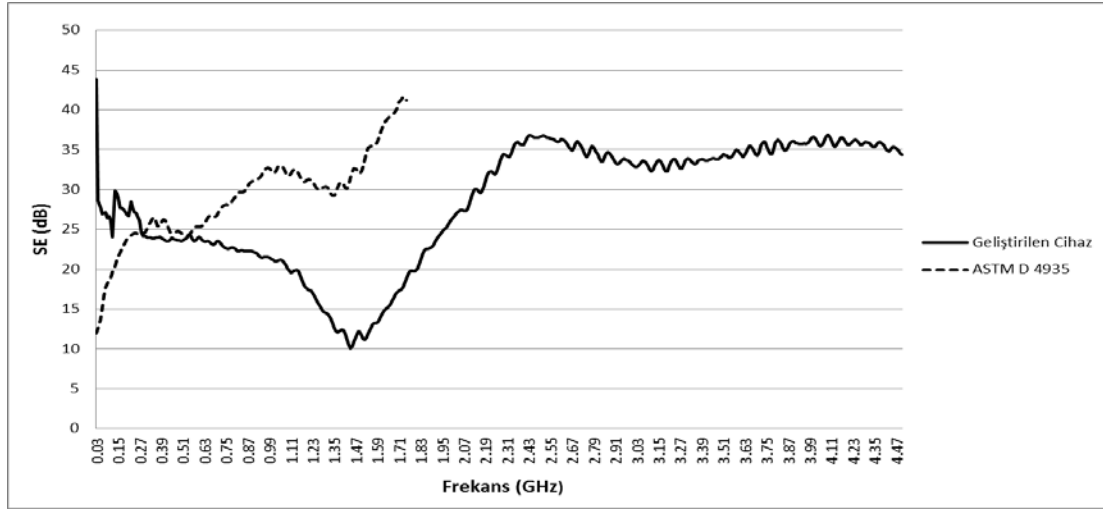
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın bu kısmında elektromanyetik alanları kalkanlama amaçlı geliştirilen 8 tip dokuma kumaşın, geliştirilen test aparatından elde edilen SE sonuçları

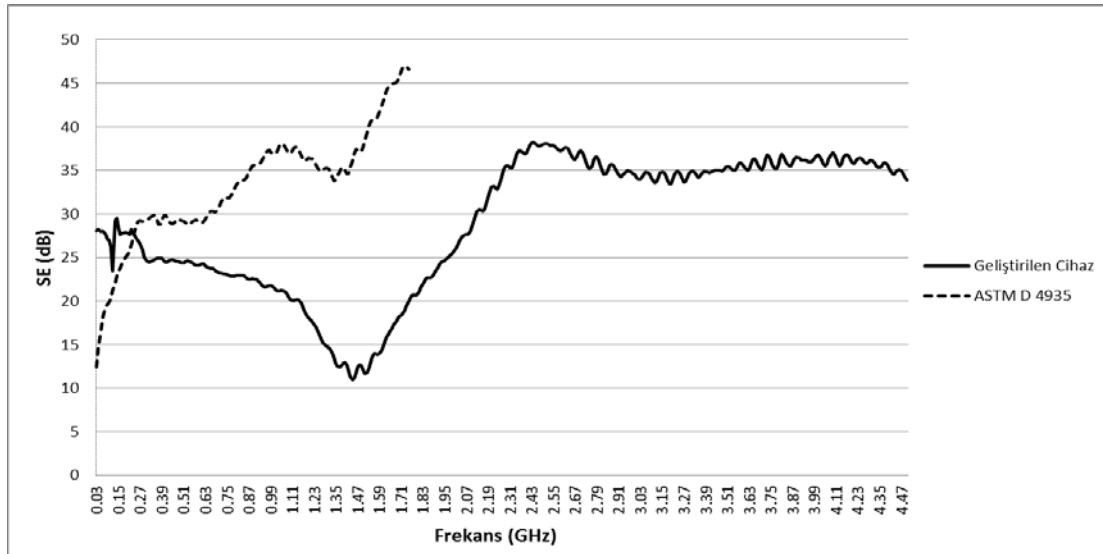
ile ASTM D 4935-99 standardına dayanan SE ölçüm sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilerek yorumlanmıştır. Dokuma kumaşların her iki test aparatına ait elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerleri Şekil 8'den Şekil 15'e kadar sırası ile verilmiştir.



Şekil 8. K1 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



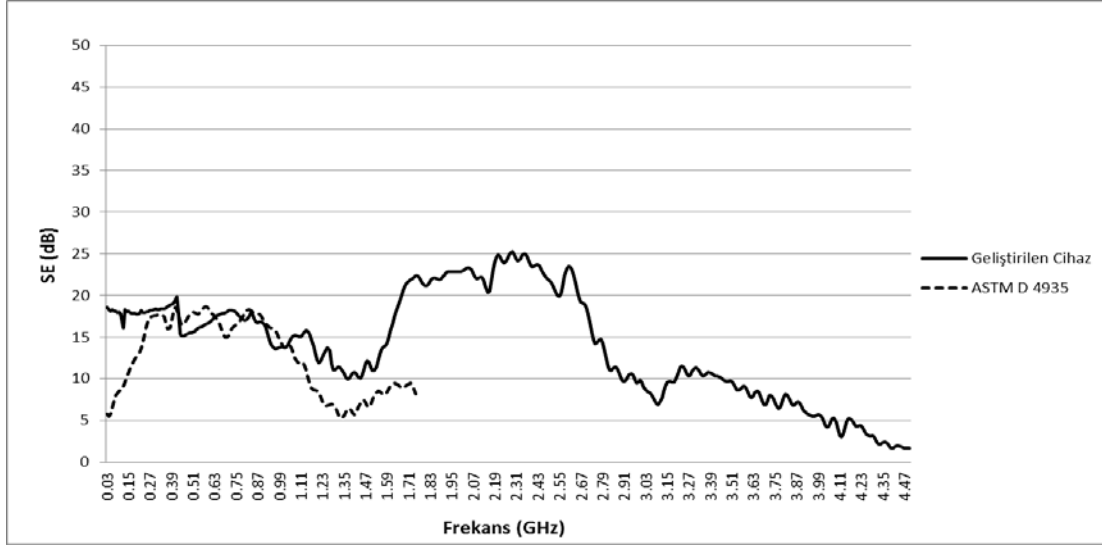
Şekil 9. K2 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



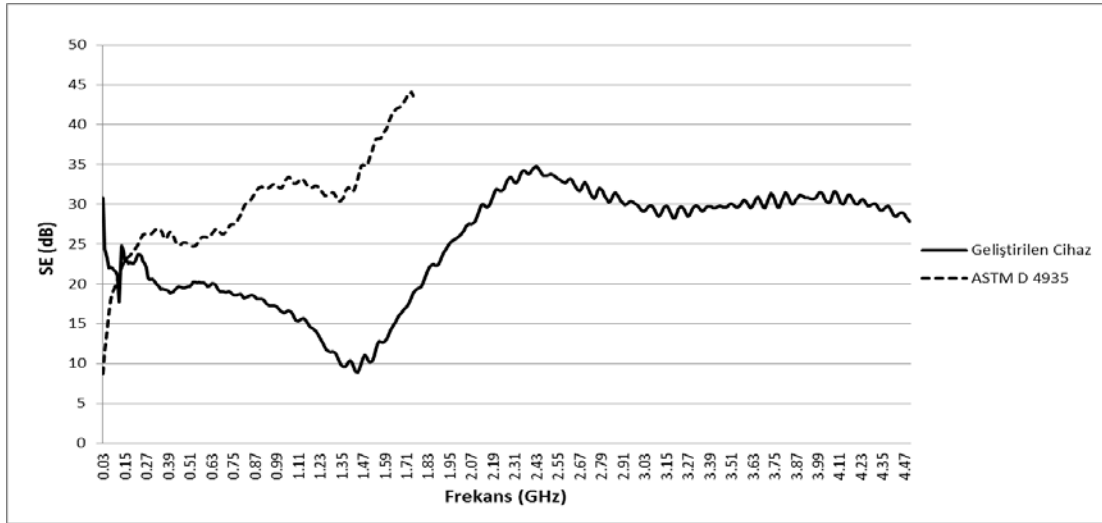
Şekil 10. K3 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



Şekil 11. K4 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



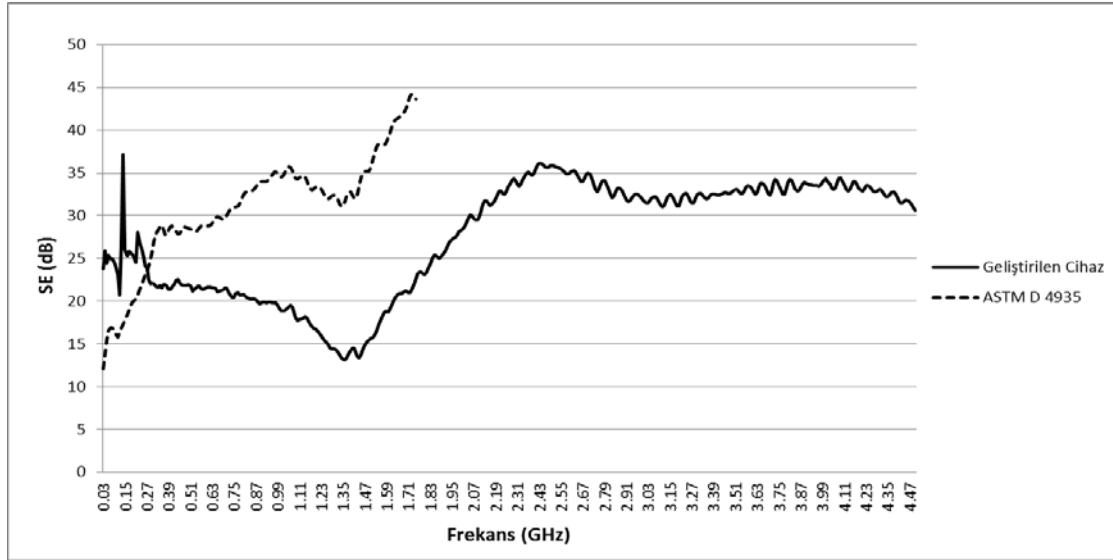
Şekil 12. K5 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



Şekil 13. K6 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



Şekil 14. K7 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



Şekil 15. K8 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.

Hibrit ipliklerden üretilen kumaşlarda, kalkanlama etkinliğinin düşük frekanslarda; frekans artışı ile bir miktar yükselmesi, yapının tasarımına ve metal içeriğine bağlı olarak bir maksimumdan sonra artan frekansla azalması beklenir [14]. Şekil 8-15 arası grafikler ASTM D 4935 standardı açısından incelendiğinde bu durumun gözlenemediği açıktır. Grafikler kendi arasında tutarlı olsa da, beklenen frekans davranışını sergileyememektedir. Bunun durum, ölçüm aparatlarının yapımında kullanılan pirinç kayıplarının yüksek frekanslarda (özellikle pirinç için hızla) arttığı, dolayısıyla bu kaybın kumaşlara ait S21 değerlerine yansıdığı ve gerçekleşmesi beklenenden daha yüksek olarak ortaya çıktığı şeklinde değerlendirilmektedir. Ancak grafikler, çalışma kapsamında geliştirdiğimiz aparat açısından incelendiğinde ölçüm sonuçlarının yüksek frekanslarda ortaya çıkan bu kayıpları kompanse edecek şekilde iyileştiği görülmektedir. Bu cihazın ideale yakın davranış göstermesinin sebebi olarak pirince göre daha iyi iletken ve homojen bir malzeme olan alüminyumun kullanılması gösterilebilir. Ayrıca frekans davranışındaki bu düzelmenin 4.47 GHz'e kadar sürdüğü görülmektedir.

Şekil 12'de görüldüğü gibi sadece çözümlenmiş metal tel içerikli hibrit iplik kullanılan K5 kodlu kumaşın SE değerleri, her iki ölçüm yöntemi için diğer kumaşlara göre büyük bir oranda düşüş göstermiştir.

Bu sonuçtan da anlaşılacağı gibi yeterli SE değeri için dokuma kumaşların hem atkı hem çözümlenmiş yönünde iletken malzeme kullanılmalıdır.

Ayrıca, yeni geliştirilen test aparatından elde edilen SE sonuçları incelendiğinde; örgü tipi dışında tüm özellikleri aynı olan K4, K6, K7 ve K8 kodlu kumaşlar arasında en yüksek SE değerine bezayağı örgü yapısında olan K4 kodlu kumaşın sahip olduğu görülmektedir. Panama, Ribs ve Dimi örgü yapısındaki (K5, K7 ve K8) kumaşların SE değerleri arasında ise belirli bir farklılık gözlenmemiştir.

5. SONUÇ

Elektromanyetik alana karşı koruyucu tekstillerin SE değerlerinin ölçümü yankısız oda metodu ile ülkemizde çeşitli özel ve kamu kuruluşlarında yapılabilmektedir. Ancak, bu şekilde yapılan ölçümler bu konuda çalışmalar yapan kişi ve kuruluşlar için zaman ve maliyet noktalarında büyük sorunlar çıkarmaktadır. Bu sorunlardan dolayı küçük boyutlu malzemelerin testine imkan veren ve pratik bir yöntem olan ASTM D 4935 standardı SE ölçümü için tercih edilmektedir. Ancak bu metodun çeşitli dezavantajları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında mevcut ASTM D 4935 standardının dezavantajlarını ortadan kaldıracak yapıda yeni bir test aparatı geliştirilmiştir.

Çalışma sonucunda geliştirdiğimiz aparatın, 4.5 GHz'e kadar ölçüm yapabildiği, özellikle küçük numune boyutlarında üretilen hibrit kumaş, kayıplı plastikler, polimer kağıtlar gibi zayıf performanslı malzemelerin kalkanlama etkinliklerinin ölçülmesinde çok kullanışlı olabileceği görülmüştür. Piyasadaki eksiklik göz önüne alındığında elektromanyetik alana karşı koruyucu tekstillerin geliştirilmesi ile uğraşan kişi ve kuruluşların, ön değerlendirmelerde kullanabilecekleri bu ölçüm aparatına ilgi gösterecekleri düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sevgi, L., (2000), *Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik*, EMO İstanbul.
2. Şeker, S., Çerezci, O., (2000), *Radyasyon Kuşatması-Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
3. Palamutçu S., Dağ N., (2009), *Fonksiyonel Tekstiller I : Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri*, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3, 1, 87-101.
4. Su, C. I., Chern, J. T., (2004), *Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness*, Textile Research Journal, 74(1), 51-54.
5. 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, 549-554.
6. Donohoe, J. P., JunXu, Pittman C.U., Jr., (2005), *Variability of dual TEM cell shielding effectiveness measurements for vapor grown carbon nano fiber/vinyl ester composites*, Electromagnetic Compatibility, International Symposium on, 1, 190-194.
7. IEEE-STD-299, (2006), *IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*, IEEE National Standards Institute.
8. Koprowska, J., Pietranik, M., Stawski, W., (2004), *New Type of Textiles with Shielding Properties*, Fibres&Textiles in Eastern Europe, 12, 3.
9. Kılıç, G., Örtlek, H.G., Saraçoğlu, Ö.G., (2009), *Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillerin Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri*, Tekstil ve Mühendis, 72, 7-15.
10. Więckowski, T. W., Janukiewicz J. M., (2006), *Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles*, Fibres&Textiles in Eastern Europe, 14, 5 (59), 18-22.
11. Özsoy, S., (1998), *Elektromanyetik Dalga Teorisi*, Erciyes Üniversitesi Matbaası, Kayseri.
12. Roh, J., S., Chi, Y., S., Kang, T., J., Nam, S., W., (2008), *Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics*, T. Res., Journal, 78 (9), 825-835.
13. Cheng, L., Zhang, T., Gua, M., Li, J., Wang, S., Tang, H., (2015), *Electromagnetic shielding effectiveness and mathematical model of stainless steel composite fabric*, The Journal of The Textile Institute, 106, 6, 577-586.
14. Yu, Z., Zhang, J., Lou, C., He, H., Chen, A., Lin, J., (2015), *Determination of electromagnetic shielding and antibacterial properties of multifunctional warpknitted fabrics*, The Journal of The Textile Institute, DOI: 10.1080/00405000.2014.984444.
15. Ersoy, M. S., Önder, E., (2008), *Shielding Textiles Against Electromagnetic Radiation*, International Nonwoven Technical Textiles Technology Magazine, 1.çeyrek, 18, 52-61.
16. Janda, N., B., (2004), *Development of a Predictive Shielding Effectiveness Model for Carbon Fiber/Nylon Based Composites*, M.Sc. Thesis, Michigan Technological University, .
17. ASTM D 4935-99, (2001), *Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*, ASTM.