
METAL İPLİKLİ DOKUMA KUMAŞLARININ ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİNİN MOBİL CİHAZLAR İLE TESPİTİ

Erhan Kenan ÇEVEN *
Ömer Faruk KARAMAN **
Ahmet Emir DİRİK ***

Alınma: 18.04.2016; düzeltme:27.07.2016; kabul: 27.07.2016

Öz: Bu çalışmada metal iplik içerikli dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin (EMSE) yeni bir yöntem ile tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla metal tel içerikli ipek viskon karışımı iplikler üretilmiş ve bu iplikler atkı ipliği olarak, polyester iplikler de çözgü ipliği kullanılarak kumaş numuneleri elde edilmiştir. Üretilen kumaşlar öncelikle kafes oluşturabilmek için 2 eş parça kesilip 90 derece döndürülerek birbiri üzerine lamine edilmiştir. Laminasyon için belirlenen kat sayıları 2,4,8,12,16 olup bu kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri mobil cihazlarda bulunan GSM modülünden okunan GSM sinyal seviyeleri üzerinden ölçülmüştür. Testler lamine edilmiş kumaş yapılarının arasına cep telefonu yerleştirilerek GSM sinyal seviyesindeki değişimler izlenmiştir. Ölçülen güç değerlerine göre EMSE değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal iplik, elektromanyetik kalkanlama etkinliği, dokuma kumaş

Measurement of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Woven Fabrics Containing Metallic Yarns by Mobile Devices

Abstract: In this study, we introduce an alternative method to evaluate the electromagnetic shielding effectiveness (EMSE) of woven fabrics containing metal wires. For experimental measurements, hybrid silk viscose yarns containing metal wires were first produced. Conductive test fabrics were then produced using the hybrid weft yarns and polyester warp yarns. The produced fabrics were separated in two parts and laminated together after rotating one fabric by 90 degrees to create a grid structure. The laminated fabrics were then folded by several times to create multiple layers such as 2,4,8,12,16. The EMSE of the multiple layered fabrics was measured over GSM signals received by a mobile device. For EMSE evaluation, the mobile device was placed between the laminated fabrics. The EMSE values of the fabrics were then calculated in accordance with the power variations of GSM signals.

Key Words: Metallic yarn, electromagnetic shielding effectiveness, woven fabrics

1. GİRİŞ

Cep telefonları günlük yaşantımızda vazgeçemediğimiz cihazlardan bir tanesidir. Cep telefonu kullanımının sürekli artması sonucu yeni vericiler kurulmakta, dolayısı ile

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059, Bursa.

** Asya Dokuma San. Tic. Ltd. Şti., 2. Sanayi Bölgesi, Kestel, Bursa.

*** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059, Bursa.
İletişim Yazarı: Erhan Kenan Çeven (rceven@uludag.edu.tr)

elektromanyetik kirlilik kaçınılmaz olarak artmaktadır.3G (Halonen, Romero ve Melero, 2004) ve 4G teknolojileri (Acar ve Yalçın, 2010) ile birlikte kullanılan GSM frekanslarının ve güçlerinin artması elektromanyetik kirliliğe olumsuz yönde katkı sağlamaktadır. Tüm bu gelişmeler elektromanyetik kalkanlama özelliğine haiz metal lifli tekstil ürünlerini daha da önemli ve popüler hale getirmektedir. Metal lifler, üretim yöntemleri ve elde edilmesi açısından metalik liflerden farklı olarak 1 ile 80 mikron arası tamamen metal çok ince filamentlerden oluşmaktadır. Bu filamentler tek başına tekstil yüzeylerinde kullanılabilirdiği gibi çeşitli yöntemler kullanılarak farklı liflerle karıştırılarak (kesikli veya filament) iplik haline getirildikten sonra da kullanılabilirler. Metal iplikler, yüksek ve sürekli iletkenlik özellikleri nedeni ile nesnelerin birbirleri ile sürtünmeleri veya ayrıştırılmaları esnasında oluşan elektrostatik yükleri iletme ve boşaltma işlevi görürler. İnsan vücudu çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik sebeplerden ötürü elektrostatik yüklenmeye maruz kalmakta ve bu yüklerin uygun bir şekilde topraklanması gerekmektedir. 2000 yılından itibaren bu alanda yapılan araştırma ve deneylerde metal içerikli iplikten mamul kumaşların insan vücudundaki yükü topraklama ile boşalttığı somut olarak göstermiştir (Varnaite, Vitkauskas, Abraitiene, Rubeziene ve Valiene, 2008). Metal iplikler anti-statik kumaş üretiminde, elektronik endüstrisinde, elektrostatikten etkilenen boyahanelerde, ilaç ve tıbbi malzeme üretim ve araştırma laboratuvarlarında çalışanların iş kıyafetlerinde, ayrıca askeri giysi yapımında kullanılmaktadır (Akopian ve Chirkov, 1999; Bonaldi, Siores ve Shah, 2010). Bunun yanı sıra, metal iplikler elektromanyetik kalkan, radar dalgası soğurması ve kızılötesi kamuflaj amaçlı kumaşların üretiminde de kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı elektromanyetik kalkanlayıcı görev gören bir kumaş elde etmek ve bu kumaşların kalkanlama etkinliklerini farklı bir yöntem ile tespit etmektir. Bu çalışmada çelik ve ipek/viskon ipliklerinden elde edilen kompozit iplikler kullanılmıştır. Bu ipliklerden dokunan kumaş ile elektromanyetik kalkanlama görevi gören giyilebilir bir ticari kumaş elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde metal içerikli dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümü ile ilgili çok çeşitli çalışmalar mevcut olmasına karşın, mobil uygulama tabanlı elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE) ölçümü üzerine bilebildiğimiz kadarı ile bir araştırma yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen veriler önerilen alternatif ölçüm metodunun tekstilde kullanılabilirliğini göstermesi açısından önemlidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Metal iplikliler dünyada ve Türkiye’de önemi her geçen gün artan bir iplik türüdür. Ülkemizde katma değeri yüksek metal ipliklerin kullanıldığı teknik tekstil üretimine verilen önem de her geçen gün artmaktadır. Metal ipliklerin en önemli kullanım uygulamalarından biri elektromanyetik kalkanlama özellikli kumaşların üretimidir. Elektromanyetik dalgalar hayatımızın her alanında kendisini göstermekte ve insan vücudunu soğurma yoluyla etkilemektedir. Bu etkilerden insan vücudunun korunabilmesi amacı ile çok çeşitli ürünler geliştirilmiştir. 1960 yılında kurulmuş olan Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilen standartlara bağlı olarak elektromanyetik kalkanlama özelliğine haiz çok farklı tekstil ürünleri bulunmaktadır. Bu ürünlerin içyapılarında iletken tel, metal lif-kimyasal lif, çelik lif-bitkisel lif ve diğer güncel polimer teknolojileri ile oluşturulmuş tekstil ürünleri bulunmaktadır. Özel tekstil yapıları sayesinde farklı frekans aralıklarında ve farklı koruma etkinlik seviyelerinde (dB) ve %99’dan daha yüksek değerlerde elektromanyetik koruma sağlanabilmektedir (Geetha, Kumar, Rao, Vijayan ve Trivedi, 2009).

Mükemmel iletken olmayan herhangi bir yüzeye çarpan elektromanyetik dalgaların bir kısmı geri yansırken diğer kısmı da ortamdan iletilir ve geçiş esnasında zayıflar (Umul ve Yalçın, 2010). Bu kayıpların (yansıma ve absorpsiyon) kombine efekti elektromanyetik kalkanlama etkinliğini belirler. Kalkanlama etkinliği frekansla, kalkanlama ekranı

geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, elektromanyetik alanın geliş yönüyle ilişkilidir (Roh, Chi, Tae Jin Kang ve Nam, 2008).

Kalkanlama etkinliği (SE) elektromanyetik kalkanlamanın tipik bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. SE, kaynak ile gözlem noktası arasında kalkanlama ekranı yok iken ölçülen (ya da hesaplanan) elektrik alan şiddetinin kalkanlama ekranı varken oluşan alan şiddetine logaritmik oranı şeklinde tanımlanmaktadır (1).

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \log \left(\frac{H_1}{H_2} \right) = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

(1) denkleminde elektrik alan şiddeti E_1 , manyetik alan şiddeti H_1 ve gelen sinyalin gücü P_1 kalkanlamanın olmadığı durumlarda elde edilen ölçüm verileridir. E_2 , H_2 ve P_2 değerleri ise kalkanlamanın olduğu durumlarda elde edilen ve zayıflama miktarını gösteren ölçüm verileridir (Roh vd., 2008). SE frekansla değişmektedir. Değişimin nasıl olacağı ise ancak ölçüm ya da sayısal benzetimler yoluyla saptanabilmektedir. SE kalkanlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için ise %Azalma kullanılır ve (2) denkleminde göre hesaplanabilir.

$$\%Azalma = 100 \left(\frac{E_1 - E_2}{E_1} \right) \quad (2)$$

(1) denkleminde E_2/E_1 yerine (2) denkleminde elde edilecek değer yazılırsa %Azalma'nın SE cinsinden değeri (3) denklemindeki gibi bulunur. Tablo 1'de farklı kalkanlama etkinliği değerlerine karşılık gelen yüzde azalma değerleri sunulmaktadır.

$$\%Azalma = 100 \left(1 - 10^{-\frac{SE}{20}} \right) \quad (3)$$

Tablo 1. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ve azaltma oran karşılıkları

Kalkanlama Etkinliği (dB)	Azalma Oranı E_1/E_2	% Azalma
20	10:1	90.000
40	100:1	99.000
60	1000:1	99.900
80	10000:1	99.990
100	100000:1	99.999
120	1000000:1	99.9999

Literatürde, iletken ipliklerle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Lou 2005 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında modifiye edilmiş ring iplik eğirme makinelerinde elastan yerine bakır ve paslanmaz çelik tel kullanmıştır (Lou, 2005). Lou, merkezde kullanılan metal tipinin, besleme pozisyonunun, fitil tipinin, büküm seviyesinin ve üretilen iplik numarasının üretilen corespun ipliklerin tüylülük ve mukavemet özelliklerini ne şekilde etkilediğini incelemiştir. Lou yapmış olduğu çalışmada iletken kompozit corespun ipliğin anti-elektrostatik ve elektromanyetik radyasyona karşı kalkanlama özelliğine sahip örme ve dokuma kumaşların üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Tekstil yüzeylerinin elektromanyetik kalkanlama özelliği göstermesi için sürekli bir iletken yüzey elde edilmesi gerekli değildir. Özünde iletken bir tel (paslanmaz çelik, bakır, vs.) ihtiva eden özlü ipliklerden oluşturulan yüzeyler, atkı boyunca ve/veya çözgü boyunca iletkenlik sağlarken, kalkanlama etkisi de sağlamaktadırlar. Bu iplikler kullanılarak oluşturulan örme

veya dokuma yüzeylerinin kalkanlama verimliliğinin atkı ve çözgü sıklığı artışı ile de arttığı gösterilmiştir.

Metal en iyi kalkanlama materyali olmasına rağmen pahalı, oksitlenme ve korozyon gibi dezavantajları vardır. Buna karşın elektronik izolasyon için kullanılan çoğu sentetik kumaşlar EM radyasyona karşı şeffaftır ve elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri neredeyse sıfırdır. Bu nevi kumaşların SE değerleri, iletkenliği ve geçirgenliği aşağıda belirtilen şekilde artırılabilir:

1. Kumaş yüzeyinin iletken polimer malzemeler (politiofen (PTh), Polianilin (PANI), polipirol (PPy)) ile kaplanması
2. Kumaş yüzeyinin iletken mürekkep ile kaplanması
3. Kumaşın metal folyo ile laminasyonu
4. Kumaş içeriğine karbon fiber takviyesi
5. Kumaşta paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi metal tel içerikli ipliklerin kullanılması

Metalik lif ve konvansiyonel ipliklerin birleşimi elektromanyetik kalkanlama sağlamak içindir. Metalik lifler ne kadar yan yana getirilirse iletkenlik ve kalkanlama da o ölçüde artar (Chen, Lee, Lin ve Koch, 2007). Metalik lifler ile üretilen kumaşlarda esneklik, elektromanyetik koruma, radyo frekans parazitlerinden korunma, ısıya dayanıklılık, ışık haslığı, vb. özelliklerin de olması istenmektedir. Chen ve arkadaşları, elektromanyetik kalkanlama için ürettikleri kumaşta dış sarmal olarak PP filament ve iç çekirdek olarak da paslanmaz çelik ve bakır tel kullanmışlardır. Kumaşlar elektronik dokuma tezgâhında üretilmiştir. Farklı kalınlık ve açılarda 4-6 kat kumaş katmanı lamine edilmiştir. Bu sayede farklı katmanlar için kalkanlama etkinliği incelenebilmiştir. Dokuma kumaş için PA6/SW/CW/PO, RTCYs ve PP filament seçilmiştir (Chen vd., 2007). Paslanmaz çelik ve bakır tel, rotor büküm prensibine göre üretilen (RTCY) iplikte kullanıldığı zaman iletkenlik, geçirgenlik, iplik ve kumaşın sağlamlığı artmaktadır. Buna ek olarak, paslanmaz çelik ve bakır tel, ucuz olması ve yüksek kalkanlama etkinliğine haiz olması sebebi ile kumaş üretiminde kullanılmıştır. Farklı kumaş yapısı ve dolgu miktarları için üretilen kumaşın EMSE değerleri 30 MHz ve 1,5 GHz frekans aralığında incelenmiştir. Tek ve çok katmanlı (1-6 kat) üretilen kumaşlara ait EMSE değerleri koaksiyel transmisyon metodu kullanılarak 16,4 dB ile 40,9 dB arasında ölçülmüştür (Chen vd., 2007).

Lin ve arkadaşları 2007 yılındaki çalışmalarında melez kesikli/metalik corespun iplikten yapılan örme kumaşın proses ve anti-elektrostatik özelliklerini incelemiştir (Lin, Lou ve Liu, 2007). Metal teller, diğer iletken liflere göre çok daha iyi ve sürekli iletkenlik özelliklerine sahiptir. Ayrıca metal tel çevresel nemden etkilenmez. Eğer metal tel direkt olarak insan tenine değerse bu durum insanı rahatsız eder. Bu olumsuz durumu iyileştirmek için Lin ve arkadaşları metal veya bakır ipliği kor iplik olarak kullanıp genel kesikli fitil şeridi ile metal ipliği kaplamışlardır. Böylece metal tel merkezde kalarak vücuda temas engellenmiştir. Üretilen metal kor iplik, double-jersey örme kumaşta kullanılmıştır. Bu sayede yüksek anti-elektrostatik ve giyilebilme özellikleri yakalanmıştır (Lin vd., 2007). Bu çalışmada, iletken iplik öz bileşeni olarak ince metal tel kaplama bileşeni olarak da ipek/viskon karışımı iplik ile kullanımı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan iplikler bez ayağı dokuma yüzeylerin hazırlanmasında kullanılmıştır. Deneysel testlerde farklı kumaş kat sayıları ile sinyal gücü (dBm) değişimlerinin etkileşimi tespit edilmiştir.

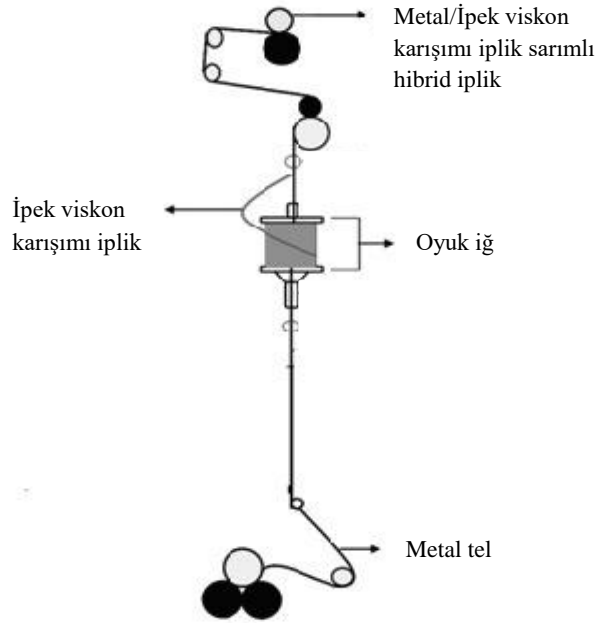
3. MATERYAL METOT

3.1. MATERYAL



Şekil 1:
Fantezi iplik katlama makinası

Bu çalışmada kullanılan metal tel içerikli iplikler Asya Dokuma San. Tic. Ltd. Şti. bünyesinde bulunan Şekil 1'de gösterilen fantezi iplik katlama makinası kullanılarak üretilmiştir. Metal tel olarak 0,034 mm çaplı çelik tel ve kaplama ipliği olarak 250 denye numaralı ipek/viskon karışımı iplik kullanılmıştır. Çelik tel kompozit iplik yapısında çekirdek bileşeni olarak kullanılmış ve 250 denye ipek/viskon karışımı iplik 250 tur/m olarak çelik telin etrafına sarılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2:
Kompozit iplik üretimi için uygulanan teknik

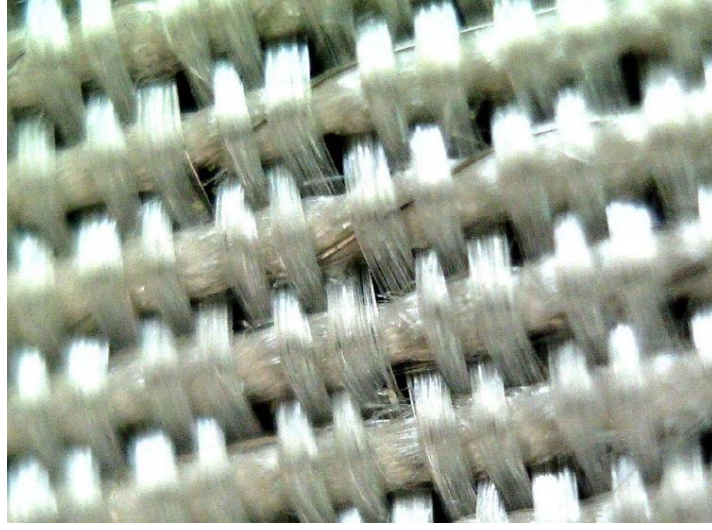


Şekil 3:
Tsudokoma su jetli dokuma makinası

Daha sonra bu iplikler Tsudokoma marka su jetli dokuma makinasında (Şekil 3) atkı ipliği olarak kullanılarak dokunmuştur (Şekil 4). Çözümlü ipliği olarak 70 denye 72 filaman %100 Teksture Puntalı Polyester ipliği kullanılmıştır. Çözgü sıklığı 66 tel/cm atkı sıklığı ise 23 tel/cm olarak belirlenmiş ve 450 devir/dk makine hızında bez ayağı örgü yapısında dokuma işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kumaşa ait mikroskop görüntüsü Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4:
Su jetli dokuma makinası atkı atma sistemi



Şekil 5:
Üretilen kumaşa ait mikroskop görüntüsü

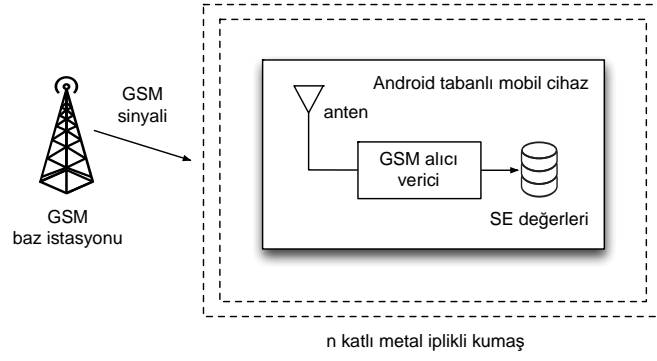
3.2.METOT

Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (SE) Ölçümü

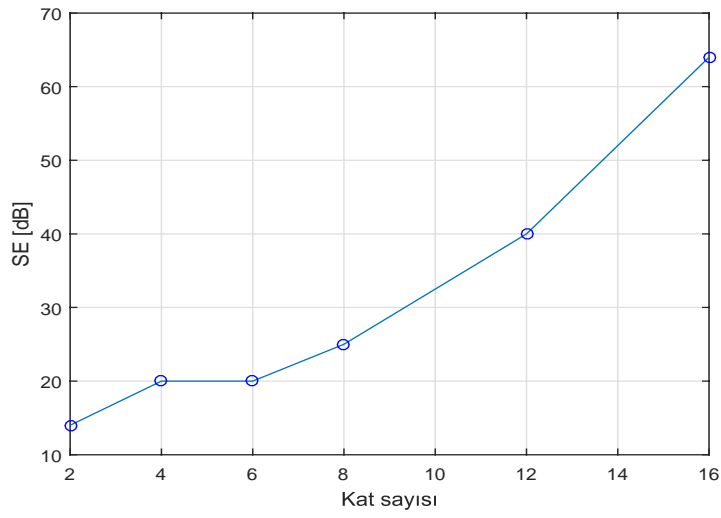
Üretilen kumaşlar öncelikle kafes oluşturabilmek için 2 eş parça kesilip 90 derece döndürülerek birbiri üzerine lamine edilmiştir. Bu şekilde atkı ipliği olarak kullanılan ipek/viskon/metal iplik karışımı iplikler birbirleri ile kafes oluşturarak kalkanlama etkinliğini arttıracaktır. Testler katlı kumaş gruplarının arasına Android işletim sistemli bir mobil cihaz koyularak gerçekleştirilmiştir. Android işletim sisteminde çalışan bir yazılım vasıtası ile cihaz kumaş ile kaplanmadan önce ve kaplandıktan sonra GSM sinyal seviyeleri 900 MHz (860 MHz - 960 MHz aralığında) ve 1800 MHz (1750 MHz - 1850 MHz) frekansları için dB mertebesinde ölçülmüş; bu sayede kumaş kaynaklı SE kalkanlama etkinliği ölçülebilmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

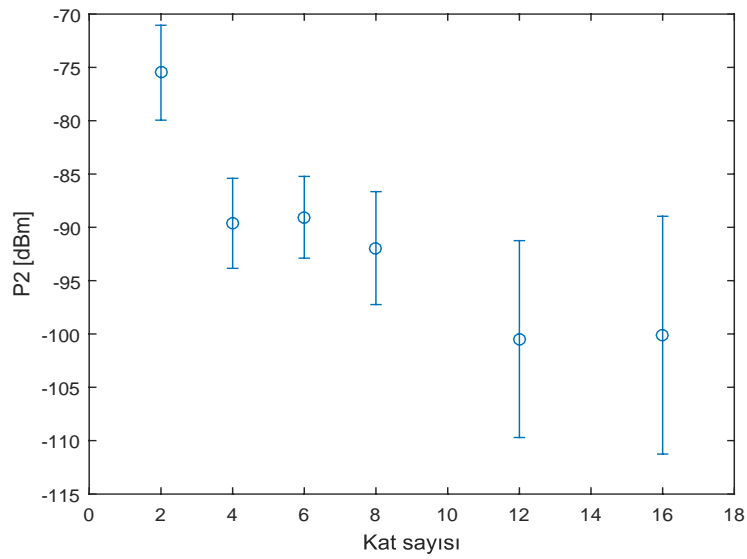
Şekil 6'da SE verilerinin toplandığı cihaz, cihazın kaplandığı kumaş ve GSM şebekesi temsili olarak gösterilmiştir. Şekil 6'da gösterilen sistem ile farklı kat sayıları için üretilen kumaşın manyetik kalkanlama etkinliği ölçülmüş ve SE ortalamaları hesaplanmıştır. SE değerleri, cihaz kumaş ile kaplanmadan ve kaplandıktan sonra ölçülen GSM sinyal güçleri üzerinden (1) denklemi ile hesaplanmıştır. Ölçümü yapılan ortalama SE değerleri ve %Azalma oranları Tablo 2'de sunulmuştur. Ölçülen SE değerleri ile kumaş katsayısı arasındaki değişim aynı zamanda Şekil 7'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6:
Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçüm sistemi



Şekil 7:
SE değerlerinin kumaş katı ile değişimi



Şekil 8:
P2 değerlerinin kumaş katı ile değişimi

Tablo 2'den görüldüğü üzere 4 katlı kumaş için GSM sinyali %90 oranında azaltılabilmektedir. 16 kat için azaltma yüzdesi %99,9 olarak ölçülmüştür. Ölçüm cihazı kumaş ile kaplı iken cihazdan okunan zayıflamış GSM sinyal gücü (P2) değerlerinin kumaş kat sayısı ile değişimi Şekil 8 ve Tablo 3'de sunulmuştur. Tablo 3'de P2 gücü değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri de verilmiştir.

Tablo 2. SE ve %Azalma değerlerinin kumaş kat sayısı ile değişimi

Kat Sayısı	SE (dB)	% Azalma
2	14,0	80,0
4	20,0	90,0
6	20,0	90,0
8	25,0	94,3
12	40,0	99,0
16	64,0	99,9

Tablo 3. P2 gücü ölçüm ortalamasının ve standart sapmasının kumaş kat sayısı ile değişimi

Kat Sayısı	Ortalama Güç P2 (dBm)	Standart Sapma P2 (dBm)
2	-75,5	4,45
4	-89,63	4,22
6	-89,06	3,83
8	-91,95	5,29
12	-100,48	9,23
16	-100,11	11,15

5. SONUÇ

Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile GSM ve WIFI sinyalleri için elektromanyetik güç ölçümü konvansiyonel yöntemlere göre alternatif olarak kullanılabilir ve aynı zamanda düşük maliyetlerle yapılabilir. Sonuç olarak geliştirilen sistem sayesinde elektromanyetik kalkanlama özellikli tekstil malzemelerinin EMSE değerleri pratik olarak ekonomik ve yeni bir yöntemle ölçülebilecektir. Bu çalışmada elde edilen EMSE değerleri bu çalışma için üretilmiş kalkanlama özellikli kumaşın kat adetleri ile doğru oranlı olarak artmıştır. Literatür ile uyumlu olan bu sonuçlar önerilen EMSE ölçümünün etkinliğini göstermesi bakımından önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde kumaş numunelerin dokunmasını sağlayan Asya Dokuma San. Tic. Ltd. Şti. Firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Acar, M. and Yalçın, U. (2010). 4G new generation LTE GSM base station antenna design. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering and Architecture*, 15(2), 23–29.
2. Akopian, V. and Chirkov, A. (1999). EMI shielding fabric and fabric articles made therefrom. *US Patent 5,968,854*.
3. Bonaldi, R. R., Siores, E., and Shah, T. (2010). Electromagnetic shielding characterisation of several conductive fabrics for medical applications. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2(4), 245–253. <http://doi.org/10.3993/jfbi03201006>
4. Chen, H. C., Lee, K. C., Lin, J. H., and Koch, M. (2007). Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and empirical equation. *Journal of Materials Processing Technology*, 184(1-3), 124–130. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.11.030>
5. Geetha, S., Kumar, K. K. S., Rao, C. R. K., Vijayan, M., and Trivedi, D. C. (2009). EMI shielding: methods and materials-a review. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(1), 2073–2086.
6. Halonen, T., Romero, J., and Melero, J. (2004). *GSM, GPRS and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS*.
7. Lin, J. H., Lou, C. W., and Liu, H. H. (2007). Process and anti-electrostatic properties of knitted fabric made from hybrid staple/metallic-core spun yarn. *Journal of Advanced Materials*, 39(1), 11–16.
8. Lou, C.-W. (2005). Process of complex core spun yarn containing a metal wire. *Textile Research Journal*, 75(6), 466–473. <http://doi.org/10.1177/0040517505053871>
9. Roh, J.-S., Chi, Y.-S., Tae Jin Kang, and Nam, S. (2008). Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics. *Textile Research Journal*, 78(9), 825–835. <http://doi.org/10.1177/0040517507089748>
10. Umul, Y. Z., and Yalçın, U. (2010). Scattered fields of conducting half-plane between two dielectric media. *Applied Optics*, 49(20), 4010–7. <http://doi.org/10.1364/AO.49.004010>
11. Varnaite, S., Vitkauskas, A., Abraitiene, A., Rubeziene, V., and Valiene, V. (2008). The features of electric charge decay in the polyester fabric containing metal fibres. *Medziagotyra*, 14(2), 157–161.