



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



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

Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi

Development of Polymer Composite Structures with Electromagnetic Shielding Characteristics

Sonay DOĞAN¹, Ozan KAYACAN¹, Aytaç GÖREN²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Mart 2018 (30 March 2018)

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

Sonay DOĞAN, Ozan KAYACAN, Aytaç GÖREN (2018): Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, Tekstil ve Mühendis, 25: 109, 44-52.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920182510906>

Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :

<https://orcid.org/0000-0002-7954-1816>



Arastırma Makalesi / Research Article

ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLİ POLİMER KOMPOZİT YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ

Sonay DOĞAN¹
Ozan KAYACAN¹
Aytaç GÖREN^{*2}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
²Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

Gönderilme Tarihi / Received: 14.08.2017

Kabul Tarihi / Accepted: 15.03.2018

ÖZET: Bu çalışmada, giysi, kask, baret, bebek taşıyıcısı ve benzeri eşyaların içeriğinde kullanılmak üzere hafif ve elektromanyetik dalgalara karşı kalkanlama görevi görecektir polimer kompozit yapılar geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, karbon, karbon-kevlar ve cam lifleri içeren kumaşlar kullanılarak kompozit yapıya sahip levhalar üretilmiştir. Kompozit yapımı için dokuz farklı kumaş tipi seçilmiştir. Bu kumaşlar üzerinde çalışma yapılarak elektromanyetik dalgalara karşı en iyi kalkanlama özelliğine sahip malzemeler belirlenmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri yansıtmasız oda kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda karbon lifi ile üretilen yapının elektromanyetik kalkanlama değerlerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik kalkanlama, tekstil kompozitleri, polimer kompozitler, elektromanyetik radyasyon

DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE STRUCTURES WITH ELECTROMAGNETIC SHIELDING CHARACTERISTICS

ABSTRACT: The aim of this research is to develop a lightweight polymer composite structure with electromagnetic shielding property for clothes, helmet, hard hat, baby carriers and similar wares. For this purpose, carbon fibre, carbon-aramid fibre and glass fibre panels have been produced. Nine different fabric samples have been used for tests. Electromagnetic shielding effectiveness (EMSE) of the panels were measured in anechoic chamber in order to determine the best performances. It is seen that the structure which is produced of carbon fibre has the highest electromagnetic shielding properties.

Keywords: Electromagnetic shielding, textile composites, polymer composites, electromagnetic radiation

* **Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** aytac.goren@deu.edu.tr
DOI: 10.7216/1300759920182510906, www.tekstilvemuhendis.org.tr

<https://orcid.org/0000-0002-7954-1816>

1. GİRİŞ

Elektromanyetik dalga, birbirine dik elektrik ve manyetik alanların etkisiyle enerjinin dalgalar halinde taşımamıdır. Bu dalgalar ışık hızı ($c= 300.000$ [km/s]) ile yayılırlar. Elektromanyetik dalgaların frekans (f), periyod (t) ve dalga boyu (λ) olmak üzere 3 önemli karakteristikleri vardır. Dalganın bir periyodunda kat ettiği yol, dalga boyunu (λ) verir ve birimi metredir ($m.c= \lambda.f$ ve $\lambda= c / f$). Elektromanyetik dalgalar; radyo dalgaları, mikrodal-galar, görünür ışık, morötesi ışınlar, kızılötesi ışınlar, x ışınları ve gama ışınları olarak dalga boyları, frekansları ve taşıdıkları enerjiye göre Şekil 1'deki gibi sınıflandırılmaktadır [1,2].

Doğal elektromanyetik alanlar ve doğal elektrik alanların dışında insan yapımı kaynaklardan yayılan elektromanyetik ve elektrik alanlar günlük yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. Ev ve iş yerlerinde yaşam standartlarımızı yükselten; bluetooth cihazları, cep telefonları, yüksek gerilim hatları, radyo istasyonları, TV antenleri, düşük ve yüksek frekanslı elektrikli ev cihazlarının tümü birer elektromanyetik dalga kaynağıdır. Tablo 1'de bu kaynakların yaydığı yaklaşık elektrik alan şiddetinin değerleri verilmektedir.

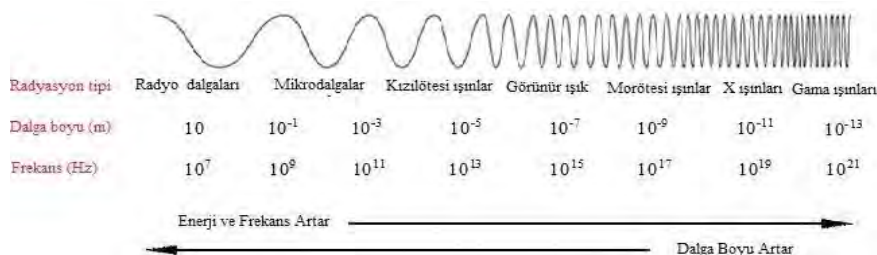
Tablo 1. Çeşitli elektromanyetik alan kaynaklarının elektrik alan şiddeti* [4]

Elektromanyetik Alan Kaynakları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)
Elektrikli battaniye	250
Mikrodalga fırın	250
Su ısıtıcı	130
Dizüstü Bilgisayar (Kablosuz iletişim)	100
Müzik seti	90
Buzdolabı	60
Ütü	60
Mikser	50
Ekmek kızartma makinası	40
Saç kurutma makinası	40
Televizyon	30
Kahve makinası	30
Elektrikli süpürge	16
Kablosuz modem	5-10
Baz istasyonu	10
Ampul	5

*Çalışma gerilimi = (110-220) V, Çalışma frekansı = 60 Hz, Mesafe= 30 cm, Cihaz elektrik alan = (V / m)

Elektromanyetik alana maruz kalma süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak bu dalgalar, cihazların bozulmasına neden olmakla birlikte

aynı zamanda yetişkinleri ve çocukları etkileyerek ciddi sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tablo 1'de verilen cihazlar dışında cep telefonlarının SAR (Specific Absorbation Rate) değerleri insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. SAR kısaltması özgül soğurma oranı, kilogram doku başına emilen elektromanyetik güçtür. Cep telefonlarını kullanan ya da aynı ortamda bulunan her insan bu etkiye maruz kalmaktadır. Limit SAR değerleri ile ilgili Avustralya / Yeni Zelanda'da RCM, Avrupa'da CE, ABD'de FCC ve Kanada'da IC limitleri standart alınabilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde FCC (Federal Communications Commission) tarafından yapılan çalışmada, insanların SAR değerine güvenli maruz kalma sınırı belirlenmiştir. FCC'nin çalışmasına göre firmaların cep telefonları üretimi için referans alması gereken SAR değeri seviyesi kilogram doku başına 1,6 watt (1,6 W/kg) dır [5]. SAR değerleri; etki altındaki dokuların biçim ve yapısından, ortamın topraklanma durumu ve yansıtıcılığından etkilenmektedir. 100 kHz ve daha düşük frekanslarda çocuklarda biyolojik etki olarak lösemi riskini arttırdığı konusunda gözlemler vardır. 100 kHz-300 GHz frekans bölgesinde; 30 dakika süreyle tüm vücutta 4 W/kg'dan daha az SAR değeri oluşturacak elektromanyetik alana maruz kalınması sonucunda, vücut ısısındaki artışın 1°C den az olduğu ve daha yoğun elektromanyetik alanların dokulara zarar verecek ısınmalara neden olacağı yapılan deneylerle gözlemlenmiştir. Frekansa bağlı olarak EM ışınma eşik değerleri; akım yoğunluğu, SAR ve güç yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmiştir. Akım yoğunluğu cinsinden eşik değeri 1 Hz- 10 MHz aralığında sinir sistemi üzerindeki etkilerden korunmayı, akım yoğunluğu ve SAR cinsinden 100 kHz-10 GHz aralığında dokularda aşırı ısınmayı engellemeyi ve güç yoğunluğu cinsinden 10 GHz-300 GHz aralığından dokularda ve vücut yüzeyinde aşırı ısınmayı engellemeyi amaçlamaktadır. 4 Hz<f<1 KHz aralığında akım yoğunluğu 100 mA/m²' den yüksek olduğu koşullarda merkezi sinir sistemini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Günlük yaşam alanları için limit değeri 10 mA/m² olarak belirlenmiştir. 10 MHz<f<10 GHz aralığında, 1°C vücut artışı temel alınmıştır ve 30 dakika boyunca 4 W/kg SAR değeri bu artışa neden olmaktadır. Günlük yaşam alanları için limit değeri 0.08 W/kg olarak belirlenmiştir ve insan sağlığı açısından bu değerlerin aşılması gerektiği düşünülmektedir [6]. Genel olarak bu zararlı tekrarlı yayılımlara maruz kalmak yetişkinlerde; kanser, beyin tümörü, baş ağrısı, yorgunluk, parkinson hastalığı ve alzheimer hastalığına, çocuklarda ise doğum öncesi ve sonrasında gelişim bozukluklarına, lösemi, beyin kanseri, öğrenme engelleri gibi hastalıklarına neden olabildiği düşünülmektedir [7,8].



Şekil 1. Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılması [3]

Bu olumsuz etkilerden korunmak için elektromanyetik kalkanlama işleminin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla yetişkinler ve özellikle bebekler için (0-2 yaş); radyasyon yansıtıcı cıbinlik, bebek yelekleri, battaniye, kalkanlama kumaşları, koruma boyaları, hamile elbiseleri, koruyucu iç çamaşırları, perdeler ve çeşitli aksesuarlar farklı hammaddeler ve yöntemlerle geliştirilmiştir. Bu amaçla dokuma, örme ve nonwoven özellikteki kumaşlar ile kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin yüzeylerin iletken lif oranı, kumaş örgü yapısı, sıklığının yanı sıra katmanların sayısı ve yerleşim açıları gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir [9-11].

Literatürde elektromanyetik kalkanlama amaçlı bor [12,13], metal [14,15], karbon lifleri [16,17], cam lifleri, bakır ve polipropilen [18] gibi hammaddelerle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Demirkurt vd. [12] tarafından bor karbür ve Tubicoat CRO kullanılarak kumaş bazlı kompozit hazırlanmış ve 1,9-2,9 GHz frekanslar arasında yapılan analizlerde bor karbür katkılı kompozit kumaşların 10 dB'in üstünde elektromanyetik kalkanlama için güvenilir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Zhu vd. [14] örme kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği üzerine çalışmışlardır. Yapılan deneylerle elektromanyetik kalkanlama amaçlı örme kumaşlar için en ideal hammaddenin "metal" olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmanın devamında örme kumaş içerisindeki metal lif içeriğinin artmasıyla elektromanyetik dalgaların daha çok geri yansıdığını, emme işleminin daha fazla gerçekleştiğini aynı zamanda kumaştaki kat sayısının, m²'deki metal lif yoğunluğunun ve uygulanan örgü türünün de kalkanlamayı etkilediğini gözlemlenmişlerdir. Bu çalışma sonucunda uygun koşullarla (konforlu, deliksiz, dikiş miktarı az) metal lif içeren örme kumaşlarla 90 dB'den daha fazla kalkanlama etkinliğine sahip koruyucu giysi tasarımının yapılabileceği gözlemlenmiştir. Luo ve Chung [16] ise kesintisiz karbon lifleri, karbon matris ve polimer matris kompozit yapıların elektro-manyetik kalkanlama etkinliği incelemişlerdir. Bu çalışmada kesintisiz karbon lifleri içeren kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin kesintili karbon liflerinden daha iyi olduğuna ulaşılmıştır. Yapılan testlere göre, karbon matris içeren kesintisiz karbon lif kompoziti epoksi matris içeren kompozite göre daha kalkanlayıcı, daha yansıtıcı ve daha iletkenidir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin 0.3MHz-1.5 GHz frekans aralığında 124 dB'e kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Cheng vd. [18] polipropilen (PP) takviyeli bakır/cam liflerinden oluşan örme kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkisi üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmada polipropilen matris fazında ve cam lifi takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Bakır teller ise kumaşa elektromanyetik kalkanlama özelliği sağlamak amacıyla iletken dolgu maddesi olarak tercih edilmiştir. Kumaşlar farklı örme yapıları ve farklı ham-madde içeriğine göre A-B(bakır/cam/PP),

C(bakır/PP), G (glass/PP) ve PC(PP)olarak sınıflandırılmıştır. 300 kHz-3 GHz frekans aralı-ğında yapılan testte bakır içeren kumaşların (A,B,C) elektromanyetik kalkanlama değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada darbe dayanımı yüksek, hafif ve elektromanyetik dalgalara karşı kalkanlama görevi görece yapılar geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dokuz farklı kumaş üzerinde çalışma yapılarak en iyi kalkanlayan kumaşlar yapı olarak seçilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kompozit Üretiminde Kullanılan Kumaşların Seçimi

Bu çalışmada hammaddesi, örme yapısı ve kumaş m² ağırlığı birbirinden farklı dokuz tip kumaş kullanılmıştır. Üretim ve test için karbon lifi, cam lifi, kevlar lifi ve karbon-kevlar liflerinden yapılmış; bezayağı, 3/1 dimi, bidiagonal, kırılmış cam lifinden üretilmiş dokusuz yüzey, 2/2 dimi, 2/2 rib, tek yönlü ve geniş tov yapısına sahip kumaşlar tercih edilmiştir. Seçilen kumaşların yapısal parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Karbon lifleri; çelikten 4,5 kat hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklı bir yapıya sahiptir ve yorulma davranışları bilinen tüm metallerden daha iyidir. Katran esaslı karbon liflerinin ise elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır. Aynı zamanda hafif, düşük yoğunluğa sahip, yüksek darbe dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve titreşim sönümlenme gibi özelliklere sahip olması nedeniyle uzay ve havacılık sanayisinde önemli bir yere sahiptir [19,20].

Cam lifleri; düşük maliyetli genel amaçlı lifler ve özel amaçlı lifler olmak üzere 2 kategoride üretilmektedir. A, C, D, E, M, ECR, AR, R, S-2 tipi gibi fiziksel özellikleri birbirinden farklı çeşitli cam lifleri vardır. Fiziksel olarak cam lifleri, düşük elektriksel iletkenlik (E tipi), yüksek mukavemet (S tipi), yüksek kimyasal dayanıklılık (C tipi), yüksek sertlik modülü (M tipi), düşük dielektrik sabiti (D tipi), saydam ve düzgün yüzey gibi özelliklere sahiptir ve kompozitlerde kullanılan cam liflerinin yoğunlukları 2.11 g/cc (D tipi) ile 2.72 g/cc (ECR tipi) arasında değişmektedir. Ayrıca cam lifleri yanmazlar, nemden etkilenir-ler, elektriği ve ısıyı iletmemektedirler. Bu özellikleri nedeniyle cam lifleri, takviye malzemesi olarak uçak, yarış arabası, roket üretiminde, röntgen ve radyasyon ışınlarını önlemek amacıyla kullanılmaktadır [21,22].

Aramid (Dupont – Kevlar) lifleri; oldukça hafif, yüksek darbe dayanımına sahip, aşınma direnci iyi, çelik ile aynı ağırlıkta ve 5 kat daha güçlü liflerdir. Mermi ve bıçaklamaya dayanıklı zırh yapımında, çeşitli giysi, aksesuar ve ekipmanları dirençli hale getirmek amacıyla kullanılmaktadırlar [23]. Bu kumaşların mekanik özellikleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 2. Kumaşların yapısal parametreleri

No	Kumaş hammaddesi	Lif kalınlığı	Dokuma kumaş örgü tipi	Kumaş yoğunluğu	Kumaş görünümü
1	Karbon lifi 1	7 μm	Bezayağı örgü	300 g/m ²	
2	Karbon kevlar lifi (%50 karbon %50 aramid)	9,5 μm	3/1 Dimi örgü	210 g/m ²	
3	Cam lifi 1	10 μm	Bidiagonal	540 g/m ²	
4	Cam lifi 2	13 μm	Kırılmış cam lifinden üretilmiş dokusuz yüzey	400 g/m ²	
5	Cam lifi 3	16 μm	2/2 Rib örgü	310 g/m ²	
6	Kevlar lifi	12 μm	3/1 Dimi örgü	300 g/m ²	
7	Karbon lifi 2	6 μm	2/2 Dimi örgü	210 g/m ²	
8	Karbon lifi 3	10 μm	Tek yönlü	800 g/m ²	
9	Karbon lifi 4 (Textreme)	7 μm	Geniş tov	600 g/m ²	

Tablo 3. Kumaşların mekanik özellikleri [24]

Hammadde	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar (Aramid) lifi	1,46	3600	124000

2.2. Kompozit Numunelerinin Üretimi

Kompozit malzemeler takviye malzemesi olarak tanımlanan lifler ve matris malzemesi olan reçineden oluşmaktadır. Takviye malzemeleri; kompozit yapıya mukavemet, sertlik, elektrik iletkenliği veya yalıtımı sağlarken matris malzemeleri; rijitlik, lifleri koruma, esneklik gibi özellikler kazandırmaktadır. Kompozit yapıların imalatında; elde yatırma, sprey kalıplama, çekme (pultrüzyon), reçine transferi kalıplama (RTM), yapısal reaksi-yon enjeksiyon kalıplama (SRIM), enjeksiyon kalıplama, filament sarma, basınçlı kalıplama, merkezkaç kalıplama, rulo sargılama ve diyafram üretimi gibi teknikler kullanılmaktadır [25].

Kompozit malzemelerin imalatında ana faz malzemesi olarak başarıyla kullanılabilen malzemelerin başında polimer esaslı malzemeler ve türevleri, metaller ve seramikler gelmektedir. Bunlara ilaveten refraktör malzemeler olarak adlandırılan cam, karbon, grafit gibi malzemelerde kompozitlerin imalatlarında kullanılmaktadır

Öte yandan ticari olarak yaygın bir şekilde kullanım alanı bulan plastik matrisli kompozitlerin üretiminde de cam, karbon ve aramid gibi lif çeşitleri uygulanmaktadır. Bu tür kompozit üretiminde kopma mukavemetinin yüksekliği, elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlaması, yüksek aşınma direncine sahip olması, uçucu olmaması, kimyasal dirençlerinin yüksekliği ile düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahip olması sebebiyle epoksi reçineler yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak Tablo 2’de gösterilen farklı yapıda 9 tip kumaş ve matris malzemesi olarak da yukarıda sayılan avantajları sebebiyle matris malzemesi olarak epoksi tercih edilmiştir

Plaka halinde üretilen kompozitler için oda sıcaklığında uygulanması kolay olan elde yatırma tekniği uygulanmıştır.

Seçilen kumaşlar 40x40 boyutlarında kesilerek düz bir zemin üzerine yatırılmıştır. Daha sonra kumaş m² ağırlığına uygun olarak 300 gram epoksi reçine üzerine 102 gram sertleştirici eklenmiştir (*Kompozit numunelerin üretiminde, “warm-curing epoxy system based on Araldite LY 564 / Hardener XB 3486 / Hardener XB 3487” (Huntsman) kullanılmıştır).

Homojen karışımı sağlanan epoksi reçine ve sertleştirici oda sıcaklığında bulunan tek katlı kumaşlara eşit olarak emdirilmiş ve kurlenmesi için bırakılmıştır. Kurlenme işleminden sonra kumaşlar tek katlı plaka halinde elektromanyetik kalkanlama testine uygun hale getirilmiştir. Şekil 2’de üretim aşamasından bazı görüntüler yer almaktadır.

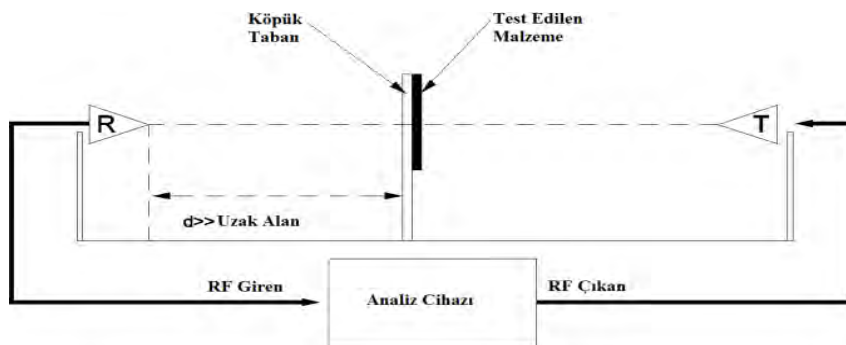
2.3. Elektromanyetik Kalkanlama (Ekranlama) Testi

Bu çalışmada seçilen kumaşlarla üretilen kompozit levhaların elektromanyetik ekranlama etkinliğinin ölçülmesinde RF odası ölçüm tekniği uygulanmıştır. Temel ölçüm metodu alıcı ve verici antenlerin uzak bölgesine yerleştirilen kompozit malzemesinin iki yüzünün sinyal zayıflatmasını esas almaktadır. Bu metotta kompozit levha bir yansıtıcı, absorplayıcı ve zayıflatıcı gibi davranmaktadır. Ölçüm düzeneği Şekil 3’de, çalışmada kullanılan sistem düzeneği ise Şekil 4’te gösterilmektedir. ASTM 4935 ölçüm standardına göre de test yapabilen deney düzeneği ile yapılan ölçümlerde hazırlanan numuneler, 700 MHz - 3 GHz arasında değişen frekanslarda iletilen sinyallerin ne kadarını geçirdiği ölçülmüştür.

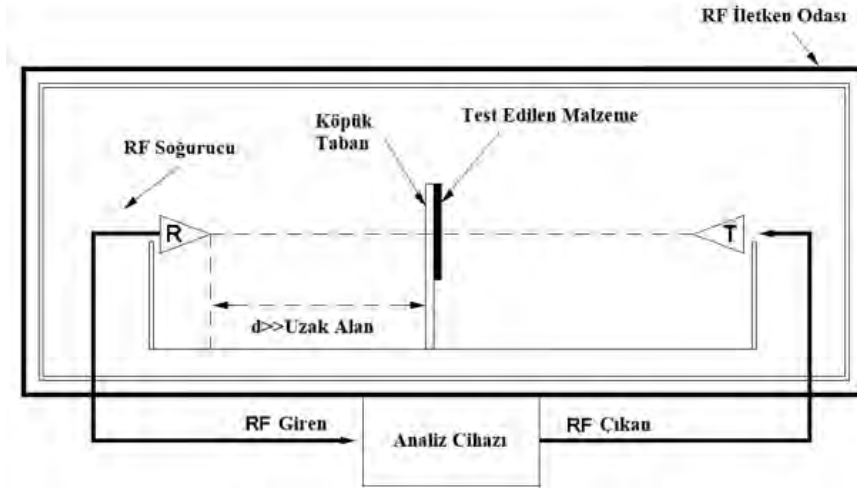
$$SE = 10 \log_{10} \frac{\text{Gelen Güç Yoğunluğu}}{\text{İletilen Güç Yoğunluğu}} = 10 \log_{10} \frac{P_I}{P_T} \quad (1)$$



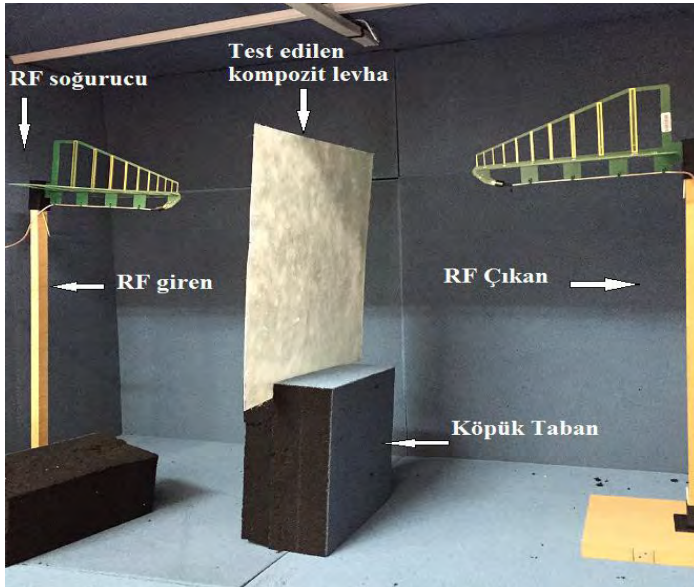
Şekil 2. Kompozit numune üretimi* görüntüleri



Şekil 3. Açık alan serbest mesafe ölçüm tekniği [27]



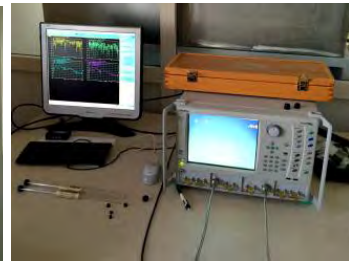
Şekil 4. Yansıtmasız oda ölçüm tekniği [27]



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Kompozit levhanın (a) açık anechoik kutudaki yerleşiminin görüntüsü, (b) kapalı anechoik kutu ve (c) ekranlama etkinliğinin ölçülmesi

Kalkanlama testleri için iletim ölçümü opsiyonuna sahip Anritsu MSD2711D spektrum analiz cihazı kullanılmıştır. Temel ölçüm yöntemi, alıcı ve verici antenlerin uzak alan bölgelerinde bulunan kompozit levhaların her iki yüzeyi üzerindeki sinyal

zayıflatılmasına dayanmaktadır. Yakın alan yayılımlarını ortadan kaldırmak için verici ve alıcı anten arasındaki mesafe, dikkate alınan frekansın maksimum uzak alan miktarından daha büyük olmalıdır. Test aşamasında ekranlama etkinliği ölçülecek kompozit yapılar spektrum analiz cihazına bağlı iki anten arasında monte edilmiştir. Ölçümler açık alanda ve içeriden RF emici duvarlarla kaplı ve çevrili RF odasında gerçekleştirilmiştir. RF odasının dışı, ölçüm ortamından dolayı oluşan istenmeyen saptırmalara karşı iletken bir malzemeden yapılmıştır. Oda içerisindeki RF emicileri çoklu yansımalar nedeniyle meydana gelen sinyalleri emmektedir. Üretilen 9 farklı kompozit yapının ekranlama etkinliğinin ölçümü bu yöntemle belirlenmiştir. Şekil 5'te ekranlama etkinliğinin ölçümünden bazı görüntüler yer almaktadır.

2.4. Araştırma Sonuçları

Ölçümlerin sonucunda dokuz farklı polimer kompozit yapının (Tablo 2) ölçümlerde kullanılan sinyal frekans değerlerine (GHz) göre ekranlama etkinlikleri, SE (dB), Şekil 6, 7, 8 ve 9'da incelenebilir.

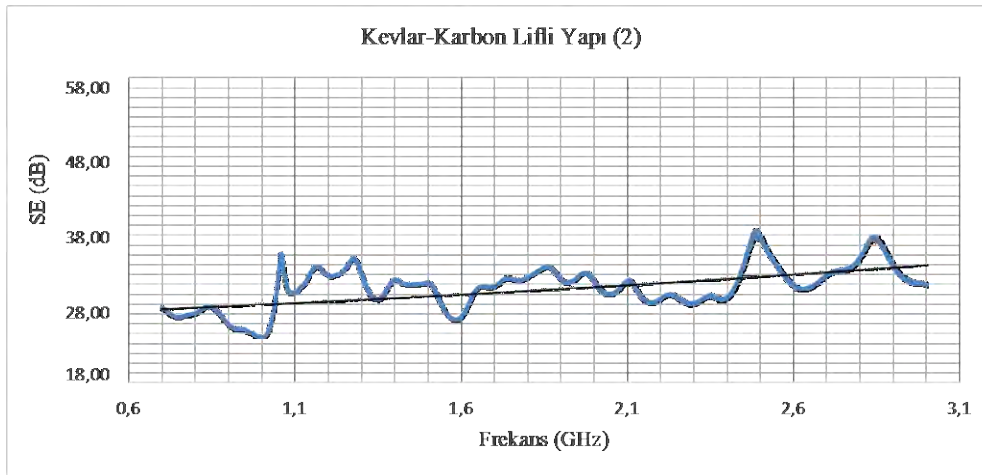
Gerçekleştirilen ölçümler değerlendirildiğinde, 3,4 ve 5 numaralı cam elyafların ve 6 numaralı kevlar lifinin ekranlama etkinliğinin çok düşük olduğu görülmektedir. Cam lifli yapılar, 1.5 GHz ile 2.5 GHz aralığında oldukça etkisiz kalmış ve sinyalleri kalkanlayamamıştır. Bu alan dışında ise 3 numaralı yapı en fazla 2.02 dB, 4 numaralı yapı en fazla 0.71dB ve 5 numaralı cam lifi yapısı ise 2.01dB etkinlik değerlerine sahip olduğundan kalkanlama kabiliyetleri yetersiz olduğu kanaati oluşmuştur. 6 numaralı aramid (kevlar) lif yapısında ise ölçümlerde SE değerinin en fazla 3.32 dB değerine ulaşabildiği gözlemlenmiştir ve bu değer kaynaktan üretilen sinyalin 1.09 - 1.10 GHz olduğu aralıktadır. Bu yapılar, Tablo 4'te belirtilen etkinlik değerlerinde en alt kademe minimum değeri olan 7 dB altında bir etkinlik değerine sahiptir. Diğer yandan, aramid lifli yapıya karbon lifler eklendiğinde yapının kalkanlama kabiliyetinin oldukça artmış olduğu söylenebilir. Şekil 6, aramid ve karbon liflere sahip 2 numaralı yapının farklı frekanslarda kalkanlama etkinliğinin gösterildiği grafiklerdir. Bu grafikte en düşük değer, 7.12dB, en

yüksek değer ise 28.92 dB değerleridir. Bu frekans bandında, 2 numaralı yapı genel sınıflandırmada orta kalkanlama kategorisine girmektedir. Ancak, yapının tek katman olarak deneylerinin gerçekleştirildiği ve kevlarların mekanik özelliklerinin özellikle yapının darbe dayanımını arttırdığı düşünüldüğünde, aramid liflerinin de yapıda olması tercihi birçok alanda anlamlı bir tercih olacaktır.

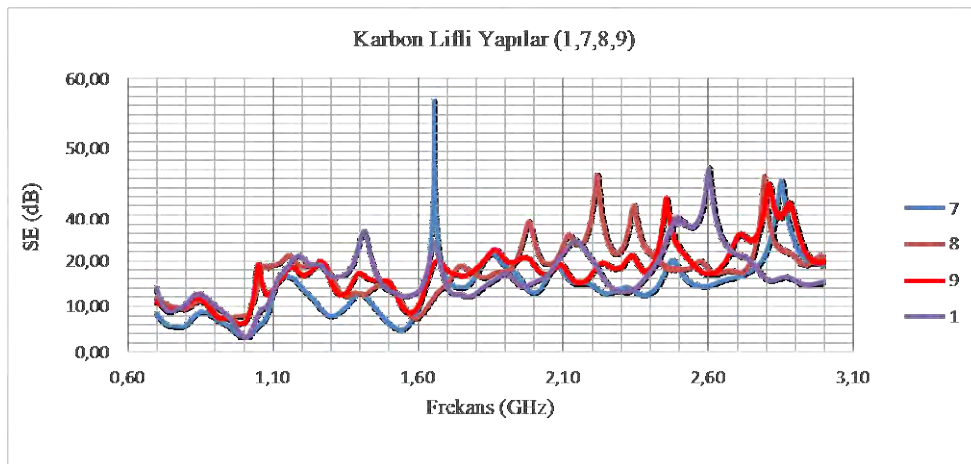
1,7,8 ve 9 numaralı karbon lifli yapıların ekranlama etkinliği ise diğer liflere oranla gözle görülecek derecede yüksektir. Bu yapılardan, 1 numaralı bezayağı örgü karbon lifli yapı minimum 3.20 dB, maksimum 40.17dB; 7 numaralı 2/2 dimi örgü karbon lifli yapı, minimum 2.96dB, maksimum 54.83dB; 8 numaralı tek yönlü karbon lifli yapı minimum 7.22dB, maksimum 38.53dB ve 9 numaralı geniş tov karbon lifli yapı ise minimum 6.08dB ve maksimum 36.77dB SE değerlerine sahiptir. 7 numaralı 2/2 dimi örgü formuna sahip karbon lifli yapı, kaynak 1.656 GHz frekans değerine sahip bir sinyal ürettiğinde, testlerde en yüksek kalkanlama değeri olan 54.83dB'lik bir etkinlikle sinyali ekranlayabilmiştir. Ancak, Şekil 7'den de görülebileceği üzere, bu bir anlık tepe değeridir. Onun dışındaki alanlarda bu yapı, diğerlerine göre daha düşük kalkanlama etkinliğine sahiptir.

Bu karşılaştırmalar sonucunda en yüksek ekranlama etkinliğine sahip karbon lifli yapı ile mekanik özellikleri daha üstün olan kevlar destekli yapı tipleri seçilmiştir. Bunlar; 1 numaralı bezayağı örgü yapısına sahip karbon lifi ve 2 numaralı 3/1 dimi örgü yapısına sahip karbon-kevlar lifidir. Bu iki lifin ekranlama etkinlikleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir.

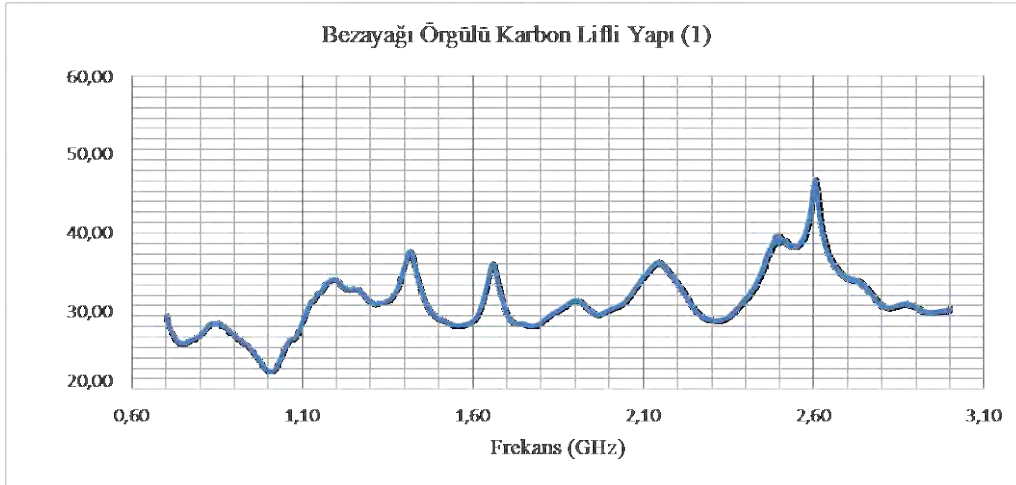
Ölçümlerde kullanılan numunelerden 1 numaralı yapı, tek katman olmasına karşın tüm bandda ortalama 16.73dB değerinde sahiptir. 1 GHz kaynak frekansı etrafında 7dB değerinden düşük SE değerleri bulunmakla birlikte, genel sınıflandırma değerlendirilmesinde 20 dB'in üzerinde geniş bir alan bulunmaktadır. Yaygın kullanılan kablosuz iletişim modüllerinin iletişim frekanslarının 2.4GHz olduğu düşünülürse, bu frekans civarında 8 numaralı yapı 22dB değerine sahiptir ancak yoğunluğu 800 g/m²'dir. 1 numaralı yapı, 300 g/m² yoğunluk ile 17.51dB SE değerine, 2 numaralı aramid-karbon lifli yapı ise 210g/m² ile 15.21 dB SE değerine sahiptir. Başka bir aralık ise cep telefonlarının sıkça kullandığı 900 MHz ve 1800 MHz civarı frekanslarda ise 1 numaralı yapı, 10.22dB ve 12.85dB; 2 numaralı yapı ise 9.73dB ve 19.31dB SE değerleri ölçülmüştür.



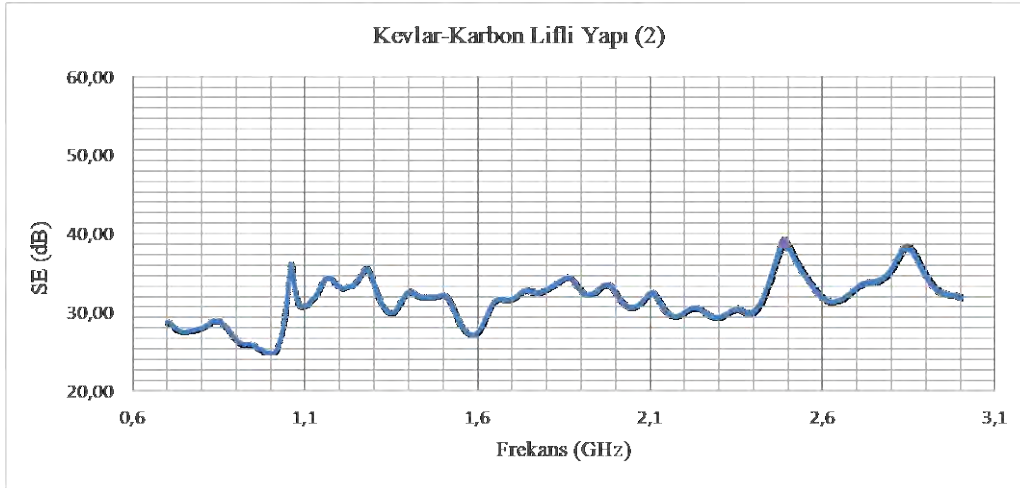
Şekil 6. Kevlar-Karbon lifli polimer kompozit yapının ekranlama etkinliği



Şekil 7. Karbon lifli kompozit yapıların ekranlama etkinliklerinin karşılaştırılması



Şekil 8. Üretim için seçilen karbon elyaf kompozit yapının ekranlama etkinliği



Şekil 9. Üretim için seçilen kevlar-karbon elyaf kompozit yapının ekranlama etkinliği

Tayvan Tekstil Araştırma Enstitüsü (TTRI)'ne göre (Belge: FTTS-FA-003) belirlenen dokuma, örgü, düğümlü, kaplamalı, lamineli ve dokuma olmayan tekstiller için elektromanyetik kal-kalkanlama iki sınıflandırma ile değerlendirilmektedir. Bu iki sınıf, profesyonel kullanım ve genel kullanım olarak adlandırılmıştır [26]. Profesyonel sınıflandırmaya, medikal araç- gereçler, karantina malzemeleri, elektronik devre/ekipman üreticileri için güvenlik giysileri, elektronik kit vb girmektedir, genel kullanım sınıflandırmasına ise gündelik giyim, ofis kıyafetleri, hamile elbiseleri, önlük, sarf elektronik ürünler, iletişimle ilgili ürünler ve diğer yeni uygulamalar girmektedir. Tablo 4'te bu sınıflandırmalara göre değerlendirme sınırları incelenebilir.

Çalışmada test edilen dokuz adet yapının içerisinde mekanik özellikleri üstün olan ve seçilen frekans bandında en etkin kalkanlama yapabilen iki yapı Tablo 4 ile birlikte, yaygın kullanılan kablosuz iletişim sinyal frekanslarına göre değerlendirildiğinde ikisinin de hafif ve kalkanlama için kullanılabilceği gözlemlenmiştir. Numuneler tek katman olarak üretilmesine rağmen, nazari düşük SE değerine sahip aramid - karbon lifli

yapının bile genel kullanım sınıflandırmasında orta sınıf olarak yaygın kullanılan sinyallerden koruma sağlayabildiği belirlenmiştir. İki ya da daha fazla katman kullanılarak, hafif ve mekanik dayanıma sahip olmasına rağmen etkin bir koruma sağlayabilecek yapılar özellikle 2 numaralı yapı ile üretilebilir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada darbe dayanımı yüksek, hafif ve elektromanyetik dalgalara karşı kalkanlama görevi görecektir polimer kompozit yapıda malzemeler geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, karbon, karbon-kevlar ve cam lifleri içeren kumaşlar kullanılarak kompozit yapıya sahip levhalar üretilmiştir. Kompozit yapıyı için 9 farklı kumaş tipi seçilmiştir. Bu kumaşlar üzerinde çalışma yapılarak elektromanyetik dalgalara karşı en iyi kalkanlama özelliğine sahip malzemeler belirlenmiştir. Serbest boşluk yöntemi ile elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri hesaplanmıştır. Seçilen karbon fiber kumaş, çekirdek malzemesi ve cam elyaf desteği ile üretim yaptığımız yapıdan alınan test numunesinde 20,1 [MPa], benzer yapı ancak karbon fiber yerine

Tablo 4. Elektro manyetik kalkanlama etkinliği değerlendirilmesi [26]

Düzy	5 Mükemmel	4 Çok İyi	3 İyi	2 Orta	1 Vasat
Elektro manyetik etkinlik sınırları (Profesyonel Sınıf)	SE>60dB	60dB≥SE>50dB	50dB≥SE>40dB	40dB≥SE>30dB	30dB≥SE>20dB
Elektro manyetik etkinlik sınırları (Genel Sınıf)	SE>30dB	30dB≥SE>20dB	20dB≥SE>10dB	10dB≥SE>7dB	7dB≥SE>5dB

seçilen hibrid aramid - karbon fiber kumaş kullanımı ile yapılan üretimden elde edilen numunede ise 39,1 [MPa] kopma dayanımına ulaşılmıştır. Deneyler ve hesaplamalar sonucunda karbon lifi ile üretilen yapının elektromanyetik kalkanlama değerlerinin belirli frekanslarda ve kevlar-karbon ile üretilen yapının ise mekanik dayanım değerlerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

İleriki çalışmalarda söz konusu malzemelerin nihai bir ürüne dönüştürülerek kullanım alanına yönelik performans testlerinin de gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, RF deneyler kısmında katkı sağlayan Arş. Gör. Şebnem Seçkin Uğurlu'ya, kompozit levhaların üretim sürecindeki katkılarından dolayı Arş. Gör. Dr. Volkan Arıkan ve Arş. Gör. Akar Doğan'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. A. Zamanian and C. Hardiman, " Electromagnetic Radiation and Human Health: A Review of Sources and Effects", High Frequency Electronics, pp. 16-26, July 2005.
2. L. Kheifets, M. Repacholi, R. Saunders, and E. van Deventer, "The Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields", Pediatrics, Vol. 116 (2), pp. 303-313, August 2005.
3. <http://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum2.html> 09.08.2017.
4. V. Prasad Kodali, "Engineering Electromagnetic Compatibility", IEEE Press, 1996.
5. <https://www.fcc.gov/general/specific-absorption-rate-sar-cellular-telephones>.
6. G. Dural, "Elektromanyetik dalgalar ve insan sağlığı", Elektromanyetik Dalgaların Sistemler ve İnsanlar Üzerine Etkileri Paneli, 26 Mayıs 2009. http://www.emo.org.tr/ekler/a56d275949eb284_ek.pdf?tipi=2&turu=X%E2%8A%86=14.
7. <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/elektromanyetik-dalganedir-13180/>.
8. <http://elektromanyetikdalga.nedir.com/>.
9. C.Chen, K.C.Lee, J.H.Lin, M.Koch, "Comparison of electromagnetic shielding effectiveness properties of diverse conductive textiles via various measurement techniques", Journal of Materials Processing Technology 192–193, 2007.
10. J.H.Lin, C.W.Lou, "Electrical Properties of Laminates Made from a New Fabric with PP/Stainless Steel Commingled Yarn", Textile Res. J. 73(4), 322-326, 2003.
11. K.B. Cheng, S. Ramakrishna, K.C.Lee, "Development of Conductive Knitted- Fabric Reinforced Thermoplastic Composites for Electromagnetic Shielding Applications", Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 13, No. 5, 378-399, 2000.
12. Demirkurt, M. Dayık, E. Cakmak, "Bor Aplike Edilmiş Kumaşların Radyasyon Önleyici Özelliklerinin İncelenmesi", Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi , 8(3), pp. 10-19, 2014.
13. S. İlker Mıstık, E. Sancak, İ. Usta, E. Dilara Koçak, M. Akalın, "Investigation of Electromagnetic Shielding Properties of Boron and Carbon Fibre Woven Fabrics and Their Polymer Composites", RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012, July 3-4 2012.
14. X. Zhu, X. Li, B. Sun, "Study On Electromagnetic Shielding Efficacy of Knitting Clothing", Przeglad Elektrotechniczny, 88(3B), pp. 42-43, 2012.
15. H. Gazi Örtlek, C. Güneşoğlu, G. Okyay, Y. Türkoğlu, "Investigation of Electromagnetic Shielding and Comfort Properties of Single Jersey Fabrics Knitted From Hybrid Yarns Containing Metal Wire", Tekstil ve Konfeksiyon, 22, pp. 90-101, 2012.
16. X. Luo, D.D.L. Chung, "Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber, Carbon- Matrix and Polymer-Matrix Composites", Composites Part B, 30(3), pp. 227-231, 1999.
17. S. Rea, D. Linton, E. Orr, J. McConnell, "Electromagnetic Shielding Properties of Carbon Fibre Composites in Avionic Systems", Microwave Review, 11(1), pp. 29-32, Jun. 2005.
18. K. B. Cheng, S. Ramakrishna, K. C. Lee, "Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper/Glass Fiber Knitted Fabric Reinforced Polypropylene Composites", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 31,10, pp. 1039-1045, 2000.
19. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/karbon-fiber-nedir/16486#ad-image-0>, 08.08.2017.
20. N. Yaman, T. Oktem, N. Seventekin, "Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları", Tekstil ve Konfeksiyon, 2/2007, pp.90-95, 2007.
21. F.T. Wallenberger, J.C.Watson, H.Li, "Glass Fibers." ASM Handbook, Volume 21 , pp. 27-34, ASM International 2001.
22. D. Özdemir, H.D.Mecit, N. Seventekin, T. Öktem, "Cam Lifleri", Tekstil ve Konfeksiyon, 1/2006, pp. 281-286, 2006.
23. http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/kevlar.html?src=SNP-en_us-DPT-kevlar-link1, 09.08.2017.
24. <http://www.metaluzmani.com/kompozitler/>, 09.08.2017.
25. <http://www.compositesworld.com/blog/post/fabrication-methods>, 07.08.2017
26. <http://www.ftts.org.tw/estandard.aspx>, 09.08.2017.
27. H. Özdemir, Ş.S.Uğurlu, A.Özkurt, "The electromagnetic shielding of textured steel yarn based woven fabrics used for clothing", Journal of Industrial Textiles, Vol. 45(3), 416-436, 2015.