

BARYUM TİTANATIN TEKSTİLDE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA UYGULAMALARINDA KULLANIMI

*Rumeysa ÇELEN**
*Yusuf ULCA Y**

Alınma:26.02.2018; düzeltme:20.04.2018; kabul:08.05.2018

Öz: Baryum titanat kimyasal formülü ABO_3 olan, rengi beyazdan griye değişen perovskit ailesine bağlı inorganik bir bileşiktir. 60 yıldan daha fazla süredir ilgi gören bir malzemedir. İlgi çekmesinin ilk nedeni kimyasal ve mekanik olarak stabil olmasıdır. Geniş kapsamda çalışılan en önemli ferro elektrik malzemelerden biridir. Elektromanyetik dalgaların kullanımının gün geçtikçe artması başta insanlar olmak üzere tüm canlıları etkilemektedir. Elektromanyetik kalkanlama uygulamalarıyla, radyasyon kullanılarak yapılan uygulamaları aksatmadan canlıların maruz kalacağı radyasyon dozunu minimize etmek ve onları korumak amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, elektromanyetik kalkanlama, tekstilde elektromanyetik kalkanlama uygulamaları, baryum titanatın yapısı, özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama uygulamalarındaki yeri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baryum titanat, elektromanyetik kirlilik, elektromanyetik kalkanlama, tekstil.

The Use of Barium Titanate in Electromagnetic Shielding Applications at Textiles

Abstract: Barium titanate is an inorganic compound which has the chemical formula ABO_3 , changing color from white to gray, depending on the perovskite family. It is a material that attracts attention for more than 60 years. The first reason for attracting attention is that it is chemically and mechanically stable. It is one of the most important ferro electrical materials studied in large scale. Increasing use of electromagnetic waves is affecting all living things, especially people. With electromagnetic shielding applications, it is aimed to minimize and protect the dose of radiation to which living beings will be exposed without interfering with radiation applications. In this study, electromagnetic shielding, electromagnetic shielding applications in textile, structure and properties of barium titanate and the use of barium titanate in electromagnetic shielding applications have been investigated.

Keywords: Barium titanate, electromagnetic pollution, electromagnetic shielding, textile.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte günlük hayatımızda elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı artmıştır. Elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri hava savunma sistemleri, radarlar, iş makineleri, evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar, cep telefonları, baz istasyonları, bilgisayarlar ve diğer tüm cihazlar ve sistemler çalışırken etrafa elektromanyetik radyasyon yayarlar. Günlük yaşamımızda kullandığımız elektrikli ve elektronik aletler yaşamımızı kolaylaştırırken beraberinde elektromanyetik çevre kirliliğini getirmiştir. Elektromanyetik çevre kirliliği 20. Yüzyılın ilk yarısından itibaren yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir (Kılıç ve diğ., 2007).

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa, Türkiye.
İletişim Yazarı: Rumeysa ÇELEN (rumeysa@uludag.edu.tr)

Elektromanyetik çevre kirliliği canlıların sağlığını tehdit etmekle birlikte, elektronik cihazlar üzerinde de olumsuz etkiye neden olmaktadır. Uzun süre elektromanyetik radyasyona maruz kalan insanlarda halsizlik, hafıza kaybı, kalp artışı hızlanma veya yavaşlama gibi etkiler ortaya çıkabilmektedir. Yüksek gerilim hatları yakınından geçen helikopterin kontrolünü yitirerek düşmesi elektronik cihazlar üzerindeki olumsuz etkisine örnek verilebilir (Okuy ve diğ., 2011). Tüm çevremizi kaplayan elektromanyetik yayınının neden olduğu zararların azaltılması çevre ve insan sağlığı açısından son derece önemli hale gelmiştir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Elektromanyetik dalga absorblama teknolojisinin gelişmesiyle (dielektrik /manyetik malzemeler, iletken polimerler gibi) geniş çeşitlilikte malzemeler ilgi odağı olmuştur. Özellikle karbon bazlı malzemeler (grafen, karbon siyahı, karbon nanotüpler gibi) yüksek iletkenlik, düşük ağırlık ve gösterdikleri uygun mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikler nedeniyle elektromanyetik kalkanlama (EMK) uygulamalarında tercih edilmektedir.

Baryum titanatın yüksek dielektrik sabiti ve iyi ferro elektrik özelliklere sahip olması önemli özelliklerindedir. Tek başına veya karbon bazlı malzemelerle birlikte kullanıldığında elektromanyetik dalga absorblama konusunda gelecek vadeden malzemelerden biri olmuştur. Literatürde elektriksel iletkenlik ve EMK uygulamalarında baryum titanat katkılı lif/iplikler ve kompozit yapılar karşımıza çıkmaktadır (Melvin ve diğ., 2017).

Değişen yaşam biçimiyle birlikte insanların tekstil ürünlerinden beklentileri değişmektedir (Kılıç ve diğ., 2007). Tekstil bilimi, farklı endüstriyel kollarla işbirliği sayesinde birçok alanda, rol almaya başlamıştır. Çalışmada, elektromanyetik kalkanlama, tekstilde elektromanyetik kalkanlama uygulamaları, baryum titanatın yapısı, özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama uygulamalarındaki kullanımı incelenmiştir.

2. ELEKTROMANYETİK RADYASYON

Maddenin yapı taşı olan atom, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve bu çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşmaktadır. Eğer çekirdekte kararsızlık oluşursa fazla nötronlar parçalanır. Bu parçalanma sırasında ortaya çıkan elektromanyetik dalga veya parçacık şeklinde enerji yayılmasına radyasyon (ışınım) denir. Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon; X ve gama ışınları ile alfa ve beta ışınları gibi girdiği ortamda iyonları ayırıştıran radyasyonlara denir. İyonlaştırıcı radyasyon dozu, kütlesi ve yarılanma süresi ile ilişkili olarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Yeterince enerjisi olmayan, bu nedenle ortamdaki atomları iyonlaştıramayan radyasyona ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyon adı verilir. Ultraviyole ışınları ve elektromanyetik rezonans nitelikli radyasyonlar, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon içermektedirler. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarının insan ve çevre üzerindeki etkileri yoğunluğuna ve frekansına göre değişiklik gösterebilir (Ahlbom ve diğ., 2004). Elektromanyetik radyasyon da elektrik ve manyetik alan dalgalarının uzayda birlikte ilerlemesidir. Bu ilerleme ışık hızıyla olur. Elektromanyetik ışınalarda iki dalga tepesi arasındaki uzaklığa dalga boyu denir ve metreyle (m) ölçülür. Belli bir noktadan bir saniyede geçen dalga sayısı da o ışımının frekansdır ve hertz (Hz) ile gösterilir (Sunay, 2000).

2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkisi

Endüstrileşme, teknoloji ve bilimdeki gelişmelerin sonucu olarak elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve günlük yaşamda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara maruz kalınmaktadır (Seyhan, 2010).

Farklı frekanslardaki elektromanyetik dalgalar hücre, bitki, hayvan ve insanları değişik biçimlerde etkilerler. Elektromanyetik dalgaların yoğunluğuna ve de fotonların sahip oldukları enerji miktarına bağlı olarak biyolojik etki veya yan etki oluşabilir. Biyolojik etki,

elektromanyetik dalgaya maruz kalma sonucunda ölçülebilir veya dikkate değer fiziksel değişiklikler olduğunda ortaya çıkar. Yan etki ise vücudun biyolojik etkiyi tolere edemediği durumlarda oluşur.

Elektromanyetik radyasyon kirliliği ciddi bir sorundur. Birleşmiş Milletler İnsan Çevre Koruma Konferansı'nda elektromanyetik dalga radyasyonu kontrol altına alınması gereken bir kirlilik olarak belirlenmiştir (Yağmur ve diğ., 2003).

2.2. Elektromanyetik Radyasyondan Korunma

Radyasyondan korunmanın amacı, radyasyon kullanılarak yapılan yararlı uygulamaları aksatmadan, insanların maruz kalacağı radyasyon dozunu minimize etmek, korunmayı sağlamaktır.

Radyasyon sonucu oluşabilecek tehlikeli durumlardan korunmak için tüm ülkeler yasal düzenlemeler yapmışlardır. Ülkemizde bu konuda tüzük ve yönetmeliklerin hazırlanması görevi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'na verilmiştir (Yılmaz, 2014).

2.2.1. Ekranlama

Elektromanyetik girişimi ekranlama, elektromanyetik dalganın bir materyal tarafından soğrulması veya yansıtılması, dolayısıyla dalganın içeri girmesine engel olunmasıdır (Cengiz, 2009).

“Elektromanyetik uyumluluk problemlerinde iki tip girişim kaynağı söz konusudur; elektrik dipol gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar. İçinden akım akan iletken tel parçaları elektrik dipol gibi, içinden akım akan halka şeklindeki parçalar ise manyetik dipol gibi davranır. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol ise yakınında güçlü manyetik alan oluşur. Elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında manyetik ekranlama gereklidir. Ekranlama yapısını tasarlamadan önce elektrik, manyetik ya da her ikisine de ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gerekir. Manyetik ekranlama düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. Manyetik ekranlama ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Elektriksel ekranlama ise yüksek frekanslarda ($f > 30$ MHz) kullanılır. Elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılır” (Sevgi, 2004).

Ekranlama Etkinliği, (SE, Shielding effectiveness), kaynak ile elektronik sistem arasında ekran yokken var olan alan şiddetinin, ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranına denir. Ekranlama etkinliği hesaplanırken (1) denklemi kullanılmaktadır.

$$SE = 20 \log (E_1/E_2) \text{ [dB]} \quad (1)$$

SE frekansla değişmektedir. SE değeri ekranlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için ise % Azalma kullanılır. % Azalma hesaplanırken (2) denklemi kullanılır.

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

2.2.2. Faraday Kafesi

Faraday kafesi yüksek frekanslı gerilimleri, elektromanyetik parazitleri ve elektriksel gürültülerin tümünün dışarıdan içeriye aynı şekilde içeriden dışarıya geçmesini engelleyen, iyi iletkenlik özelliğine sahip topraklanmış bir zırhtır (Bentli, 2007).

İletken malzemeleri oluşturan atomların en dış yörüngedeki elektronları, atomlarından kolayca ayrılarak hareket etme yeteneğine sahiptir. Kapalı bir yüzeye sahip olan iletken bir cisim elektrik alanı içerisine yerleştirildiğinde, bu elektronlar, iletkenin içerisindeki elektrik alanı sıfırlanmaya kadar hareket eder ve yeniden dağılıma uğrarlar. Faraday kafesi bu ilkeye göre çalışır, içindeki nesnelere dış elektrik alanlara karşı korur. Örneğin, topraklanmış içi boş

metal bir küre gibi kapalı bir iletken yüzey faraday kafesini oluşturabilir. İletken yüzey sürekli olmak yerine, kafes şeklinde de imal edilebilir. Kafes aralıklarından bir miktar elektrik alanı içeriye sızacak, fakat aralıklar yeterince küçükse, bu bir sorun oluşturmayacaktır. Ayrıca geometrinin küre olması şart değildir. Kapalı herhangi bir yüzey, kafes görevini yerine getirir (www.megep.meb.gov.tr, 2008). Fakat en iyi performans küre şeklindeki kafeslerle elde edilir. Faraday kafesi genel olarak; yıldırımın etkilerinden korunmak, test ölçüm laboratuvarlarından doğru sonuçlar elde etmek, TEMPEST diye bilinen elektromanyetik dinleme ve güvenlik sistemlerinde (gizli bilgilerin dışarıya çıkmasından endişelenilen durumlarda) kullanılır (Bentli, 2007).

2.3. Elektromanyetik Radyasyondan Korunmada Kullanılan Malzemeler

Elektromanyetik radyasyondan korunmada, iletken polimerler, elektro iletken boyalar ve kompozit malzemelerin yanı sıra, elektriksel olarak iletken tekstiller de kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerine elektriksel iletkenlik kazandırmak için kullanılan yöntemler çoğunlukla; iletken polimerlerin kullanımı, iletken kaplama uygulamaları ve iletken ipliklerin kullanımındadır (Kılıç ve diğ., 2007).

2.3.1. İletken Polimerlerle İlgili Çalışmalara Örnekler

İletken polimerler 1979' lu yıllardan beri bilinen malzemelerdir. Bu malzemeler askeri ve sağlık alanında, elektronik ve bilgisayar teknolojisi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Kim ve diğ. (2004) çalışmalarında elektromanyetik kalkanlama sağlamak için çok duvarlı karbon nanotüp-polimetilmetakrilat (MWCNT-PMMA) kompozit filmleri sentezlemiştir. Elektromanyetik kalkanlama değeri ASTM D4935-99 standardı ile (50MHz-13,5 GHz) aralığında yapılmıştır. MWCNT-PMMA kompozitinde elektromanyetik kalkanlama değeri MWCNT oranının artmasıyla artış göstermiştir. Manyetik geçirgenlik baz alındığında, MWCNT ve kompozitlerinin yakın alanda elektromanyetik kalkanlama için kullanabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Li ve diğ. (2006) çalışmalarında EMI ve SE değerlerini değerlendirmek için tek duvarlı karbon nanotüp (SWNT) polimer kompozitler üretmişlerdir. 10 MHz-1,5 GHz frekans aralığında test yapılmıştır. 20 dB'den fazla ekranlama etkinliği elde edilmiştir.

Akşit ve diğ. (2007) çalışmalarında polianilin ve polipirol kaplanan pamuklu kumaşların iletkenlik, dielektrik ve elektromanyetik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İletken polimerlerle yapılan kaplamalar kumaşa 10^{-2} S/cm mertebesinde iletkenlik kazandırmıştır. Ortalama elektromanyetik kalkanlama etkinliği polianilin için 3,8 dB, polipirol için 6 dB elde edilmiştir. İki malzemenin elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik koruyuculuk özellikleri arasında büyük farklılıklar görülmemiştir.

Adamhasan (2008), tez çalışmasında pamuk ve polyester ipliklerden üretilmiş dokuma kumaşlar polianilin ile kaplanarak, iletken kompozit kumaşlar üretilmiştir. Sıcaklık ve nem sabit tutulup kullanılan anilin oranları değiştirilerek iletkenlik oranındaki değişim gözlenmiştir. Yapılan bir deneyde anilin çözeltisine gümüş nitrat ($AgNO_3$) ilave edilerek iletkenliğe olan etkisi incelenmiştir. Anilin/ $AgNO_3$ / Pamuk ve Anilin/ Pamuk kompozitleri dışında elde edilen kumaşların iletkenlik değeri oldukça düşük çıkmıştır. Anilin/ Pamuk kompozit kumaşın elektriksel direnci 15×10^3 ohm/cm, Anilin/ $AgNO_3$ / Pamuk kompozit kumaşın elektriksel direnci 15×10^5 ohm/cm bulunmuştur. $AgNO_3$ 'ün iletkenliğe olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Yıldız (2011), tez çalışmasında ipliklerin iletken bir yapıya kavuşturulması amacıyla poliester ve pamuk iplikleri üzerinde, pirol monomeri buhar fazında polimerizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Polipirol ile kaplanan iplikler dokuma kumaş haline getirilip kumaşın elektrik ve elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelenmiş, bu özelliğin dört farklı $FeCl_3$ konsantrasyonlarındaki değişimleri araştırılmıştır. Poliester kumaşta en iyi kalkanlama değeri

150 g/l FeCl₃ konsantrasyonunda elde edilmiştir. Pamuklu kumaşta ise en iyi kalkanlama değeri 100 g/l lik FeCl₃ konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Tao ve diğ. (2013), çalışmalarında %100 poliester dokusuz yüzey kumaşları iletken polimerler ile kaplamışlardır. Piro/anilin kopolimer filmlerinin iletkenlik özellikleri üzerine yüzey aktif maddenin ve farklı oksidasyon maddelerinin etkileri araştırılmıştır. Poliester dokusuz yüzey kumaşlar üzerindeki iletken kopolimer kaplamalarının iletken homopolimer kaplamalara göre daha yüksek direnç değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Yıkama işleminden sonra, kopolimer ile kaplanan kumaşlar sadece polianilin ile kaplanan kumaşlara göre daha iyi, sadece polipirol ile kaplanan kumaşlara göre daha kötü sonuçlar vermiştir.

Rubeziene ve diğ. (2015), çalışmalarında, yüksek elektrostatik şarj yayılımı özelliklerini korumak ve EMR'ye karşı etkili koruma sağlamak için iki farklı elektriksel iletken kaplama ile bir tekstil malzemesi tasarlamayı amaçlamışlardır. Kaplanmış kumaşlar ile daha önce metal iplik katkısıyla ürettikleri dokuma kumaşların kalkanlama etkinliğini kıyaslamışlardır. İletken polimer olarak PEDOT-PSS (poli (3,4-etilendioksitiyofen) – polistiren sülfonat) ve karbon siyahı kullanılmıştır. Elektromanyetik kalkanlama ölçümleri 2 GHz-20 GHz aralığında yapılmıştır. İletken kaplamalara sahip kumaşlar, metal iplikler içeren kumaşlara göre belirli avantajlar sergilemiştir. Kaplanmış kumaşlar, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu giysiler için kullanabilmelerini sağlayan mükemmel elektrostatik özelliklere sahiptir. En yüksek EMK değerini PEDOT-PSS kaplı kumaş göstermiştir.

2.3.2. İletken Lifler/ İpliklerle İlgili Çalışmalara Örnekler

Kim ve diğ. (2004) çalışmalarında polianilin katkılı iletken lifler üretmiştir. Eriyik çekim yöntemiyle polianilin katkılı polipropilen lifler üretilmiş, poliester ipliklere de polianilin kaplama yapılmıştır. Eriyik çekim yöntemiyle üretilen polipropilen filamentlerin elektriksel iletkenliği, iletken malzemenin birikmesi ve yapının homojen olmamasından dolayı beklenen sonucu vermemiştir. Polianilin kaplanan polyester iplikler polipropilen ipliklere göre daha iyi elektriksel özellik göstermiştir.

Yu ve diğ. (2007) çalışmalarında eriyik çekim yöntemiyle iç içe bikomponent lif üretmişlerdir. Çalışmada polipropilen ve çeşitli masterbatchler kullanılmıştır. Masterbatchler 2 saat 100 ° C 'de kurutulmuştur. Lifin core/sheat oranı 40/60 'dır. İç malzemede Ba/Mn-Zn ferrit ve bronz tozu radar absorbe edici ajan olarak kullanılmıştır. Dış malzemeye ise infrared kamuflej için %5, %10 ve %20 oranında alüminyum parçacıklar eklenmiştir. Lifler iğneleme yöntemiyle dokusuz yüzey haline getirilmiştir. Alüminyum parçacıklar infrared ışınların absorpsiyonunda sınırlı etki göstermiştir. %40 Ba/Mn-Zn ferrit katkısıyla üretilen liflerden oluşturulan yüzeyler 9,47 dB , %40 Mn-Zn ferrit katkısıyla üretilen liflerden oluşturulan dokusuz yüzeyler 4,22 dB ekranlama etkinliği değeri göstermiştir. Bronz tozu katkısıyla üretilen liflerden oluşturulan yüzeyler %5 katkı oranında 2,92 dB, %15 katkı oranında 7,82 ve %20 katkı oranında 12,59 dB ekranlama etkinliği göstermişlerdir.

Shim ve diğ. (2008) çalışmalarında pamuk liflerinden elde edilmiş dikiş ipliklerine, daldırma yöntemini kullanarak tek ve çok duvarlı karbon nanotüplerin dispersiyonu ile polielektrolit esaslı kaplama yapmışlardır. Nanotüp ağı sayesinde etkin yük transferi, (20/cm) elektriksel iletkenlik sağlanmıştır.

Strååt ve diğ. (2012) çalışmalarında iç içe bikomponent lif üretmişlerdir. Dış kısımda PA6 iç kısımda iki farklı iletken polimer kompozit kullanmışlardır. İletken polimer kompozitlerden biri PP/Carbon black, diğeri PE/MWCNT 'dir. Katkı olarak carbon black kullanıldığında daha yüksek iletkenlik elde edilmiştir. Artan çekim oranıyla birlikte iletkenlikte düşüş gözlenmiştir. MWCNT kullanılan lifte carbon black kullanılan lifle kıyasladığımızda elektriksel iletkenlik değeri daha fazla düşüş göstermiştir.

Erdoğan ve diğ. (2012) çalışmalarında iletken poliyofen/poliester kompozit lifler üretmişlerdir. Kompozit liflerin polimerizasyon koşulları (polimerizasyon sıcaklığı, zamana bağlı poliyofen içeriği gibi) ve yüzeyel elektriksel direnci detaylı olarak incelenmiştir. Kompozit lifler, %5,7 poliyofen katkı oranında 80 kΩ en düşük yüzey direncine sahip

olmuştur. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, artan frekansla birlikte 21- 4 dB aralığında elde edilmiştir.

Özen ve diğ. (2016) çalışmalarında 1,7 dtex inceliğinde gümüş kaplı stapel poliamid elyafından dokusuz yüzeyler üretmişlerdir. Üretilen yüzeylerin yüzey direnci ve EMK etkinliği ölçülmüştür. Yüzey direnci $1,03E + 03 \Omega$ olarak ölçülmüştür. EMK etkinliği ASTM D4935-10 standardına göre 15-3000 MHz aralığında yapılmıştır. En yüksek EMK değeri 3000 MHz frekansında 36,53 dB 'dir.

Lin ve diğ. (2017) çalışmalarında PP/ MWCNT kaplı poliester iplikler üretmişlerdir. %0,5, %1, %2, %4 ve %8 olmak üzere beş farklı MWCNT katkı oranında üretim yapılmıştır. Sonrasında bu ipliklerden dokuma ve örme yüzeyler oluşturmuşlardır. İletken kumaşların kopma mukavemeti, patlama mukavemeti, elektriksel direnç ve elektromanyetik kalkanlama özellikleri değerlendirilmiştir. Optimum kopma mukavemeti ve patlama mukavemeti % 2 MWCNT katkı oranında elde edilmiştir. En düşük elektriksel direnç ve optimum elektromanyetik kalkanlama özelliği % 8 MWCNT katkı oranında elde edilmiştir. 3 katlı iletken kumaş en yüksek EMK değerini vermiştir.

2.3.3. İletken Yüzeylerle İlgili Çalışmalara Örnekler

Elektromanyetik kalkanlama sağlama amacıyla iletken ipliklerden oluşturulan dokuma, örme ve dokusuz yüzeyler kullanılmaktadır. Bu kumaşlar sağlık, elektronik, savunma başta olmak üzere endüstrinin pek çok alanında kullanılmaktadır.

Chen ve diğ. (2004) çalışmalarında paslanmaz çelik/polipropilen, bakır/polipropilen ve paslanmaz çelik/bakır/poliamid kullanarak rotor eğirme prensibiyle 3 farklı iletken kompozit iplik üretmişlerdir. Üretilen bu iplikler co-weaving-knitting denilen atkı-çözümlü ve ilmeklerle dokuma ve örme kumaşları birleştirerek bir arada bulunduran tek katlı ve çok katlı dokuma-örme kumaş kompoziti elde etmişlerdir. Çalışmada, tek katlı ve çok katlı kumaşlarda kullanılan iletken miktarının ve iletkenlerin birbiriyle temas sayılarının, kumaşların yüzey direnci, elektrostatik deşarj ve ekranlama özelliği üzerinde etkisinin ne kadar olacağını belirlemek amaçlanmıştır. EMSE ölçümleri ASTM D4935-1999 standardı temel alınmıştır. Tek katlı kompozit kumaşların çok katlı kompozit kumaşlara göre daha düşük EMSE değerine sahip olduğu görülmüştür. Çok katlı dokuma-örme kompozit kumaş ile en yüksek 55,3 dB EMSE değerine ulaşılmıştır. Tek katlı kumaşlarda bakır tel kullanılarak üretilen kompozit kumaşların, çelik tel kullanılarak oluşan kompozit kumaşlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Atkısında bakır ve paslanmaz çelik iplikleri bir arada bulunduran kompozit kumaşların, atkısında sadece bakır veya sadece çelik iplik bulunan kompozit kumaşlara göre yüksek sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir.

Roh ve diğ. (2008) çalışmalarında metal içeren çok fonksiyonlu kompozit kumaşlar üretmişler ve bunların elektromanyetik koruma, elektriksel iletkenlik, konfor ve estetik özelliklerini incelemişlerdir. Metal kompozit kumaş üretiminde metal kompozit iplikler kullanılmıştır. İpliklerde kullanılan metal filamentler gümüş, bakır, paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Şişli dokuma tezgâhında bezayağı kumaşlar üretilmiştir. Elektromanyetik koruma etkisi artmıştır.

Perumalraj ve Dasaradan (2009) çalışmalarında bakır özlü ipliklerden üretilen örme kumaşların elektromanyetik koruma verimliliğini 20-18000 MHz aralığında araştırmıştır. 0,1, 0,11, 0,12 mm çaplarındaki bakır iletken teller dolgu olarak seçilmiştir. Bu ipliklerle süprem, rib, interlok kumaşlar üretilmiştir. İlmek sıra sıklığı, ilmek çubuk sıklığı ve örme sıklık faktörü arttıkça, koruma etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Dağ (2010) tez çalışmasında, pamuk ipliği ile çeşitli incelikte olan bakır, çelik ve gümüş telleri katlanarak katlamalı iplik üretilmiştir. Üretilen bu ipliklerden bezayağı, 1/3 dimi, 2/2 panama, kırık saten ve süprem kumaşlar elde edilmiştir. Kumaşların örgü sıklığı, örgü tipi ve kumaşların kat sayıları değiştirilerek iletken yüzeyin elektromanyetik kalkanlama özelliğini nasıl etkilediğinin araştırılması hedeflenmiştir. 2/2 panama ve 1/3 dimi kumaşlar diğerlerine göre daha iyi SE göstermiştir. İki katlı kumaşın tek katlı kumaşa göre daha yüksek ekranlama

etkinliği sağlamıştır. Çalışmada üretilen kumaşlarla 15-20 dB arasında kalkanlama etkinliği sağlandığı görülmüştür.

Bilgin ve diğ. (2011) çalışmalarında binaların TEMPEST güvenliği adına güçlendirilebilmesi için pencere ve duvar içlerinde kaplama malzemesi olarak kullanılacak yapıda dokuma kumaşların geliştirilmesini amaçlamışlardır. Paslanmaz çelik tel üzerine 100 denye polyester ipliğin S yönünde kaplanmasıyla (300 tur/m) metal içerikli kompozit iplik üretilmiştir. Kumaş üretimi armürlü dokuma makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bezayağı, panama, rib ve dimi örgü tipleri kullanılmıştır. Farklı atkı sıklıklarına sahip kumaşların benzer ekranlama etkinliği gösterdiği görülmüştür. Aynı atkı ve çözgü sıklığında fakat farklı örgü yapılarına sahip kumaşların ekranlama etkinliğini kıyasladığımızda, tüm frekans aralığında bezayağı örgü yapısındaki kumaşın en yüksek ekranlama etkinliğine sahip olduğu görülmüştür. Tüm kumaşlar 30 dB ve üzeri ekranlama etkinliği göstermiştir.

Örtlek ve diğ. (2012) çalışmalarında kompozit ipliklerden üretilen süprem kumaşların elektromanyetik ekranlama ve konfor özelliğini incelemişlerdir. Üç farklı numarada pamuk ipliği ve üç farklı incelikte paslanmaz çelik teller bir araya getirilerek kompozit iplik üretmişlerdir. Kompozit iplikler ve %100 pamuk iplikler yuvarlak örme makinasında kumaş formuna getirilmiştir. Üretilen kumaşların ekranlama etkinliği incelendiğinde metal tel katkılı kompozit iplikle üretilen kumaşların, %100 pamuk ipliklerinden üretilen kumaşa göre daha yüksek ekranlama verimliliği gösterdiğini bulmuşlardır.

Özen ve diğ. (2012) çalışmalarında, poliester üst tabakası çekirdek çelik kısmının üzerine sarılı olacak şekilde paslanmaz çelik poliester liflerinden (%50/50 çelik/poliester) dokusuz yüzeyler üretilmiştir. Doku bağlama aşamasında farklı kalınlıkta 3 adet iğnelenmiş dokunmamış kumaş üretimi yapılmıştır. Elektromanyetik kalkanlama değeri incelendiğinde, frekans arttığında tüm kumaşların EMSE değerlerinin doğrusal şekilde arttığı bulunmuştur. Yüksek frekans aralığında dokunmamış kumaşların EMSE sonuçları arasındaki farklılığın daha yüksek ve belirgin olduğu anlaşılmıştır. Hacimli kumaşlar 15-3000 MHz frekans aralığında en iyi EMSE değerleri almıştır. Yapı içinde lifler arası mesafe uzaksa elektromanyetik dalgaların yansıtıldığı, lifler arası mesafe yakınsa elektromanyetik dalgaların kumaş tarafından yutulduğu sonucuna varılmıştır.

Özdemir ve Özkurt (2013) çalışmalarında paslanmaz çelikten özlü iplikler ile farklı atkı sıklıklarında dokunan iletken dimi ve hücreli örgülü kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliğini “free space measurement” tekniği ile yatay anten polarizasyonunda ölçmüşlerdir. Ölçümler 800-3000 MHz aralığında yapılmıştır. Yüksek frekans bandında hücreli örgülü kumaşlar, dimi kumaşlara göre daha iyi EMK etkinliği göstermiştir. Kumaşların EMK etkinliği değerleri atkıda artan özlü çelik iplik miktarıyla artmıştır.

Safarova ve Militky (2014) çalışmalarında elektromanyetik kalkanlama sağlayan yüksek performanslı hibrit kumaş tasarımı amaçlamışlardır. Dokuma kumaşlar metal ve meta aramid liflerinin karışımından oluşan hibrit ipliklerden üretilmiştir. Çalışmada kumaşların modül değerleri, hacimsel ve yüzeysel elektriksel dirençleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Katkı oranının modül ve direnç değerlerine etkisi, direnç ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Ayrıca %5 metal %95 meta aramid hibrit ipliklerle, %5 metal %95 polipropilen hibrit ipliklerin modül değerleri kıyaslanmıştır.

Duran ve Kadoğlu (2015) çalışmalarında iki farklı tip iletken iplikle (Gümüş /Poliamid/ Pamuk özlü iplik, Gümüş/Poliamid- Pamuk karışım iplik) elektromanyetik kalkanlama sağlayan dokuma kumaş üretimi amaçlamışlardır. İplik numarası, karışım oranı, atkı sıklığı, elektriksel direnç gibi özelliklerin EMK ‘ya etkisi incelenmiştir. Farklı iplik gruplarıyla üretilen kumaşların performans ve EMK özellikleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Tüm kumaş tipleri için atkı sıklığı arttıkça EMK değeri artmıştır. En yüksek EMK değeri Gümüş /Poliamid/ Pamuk özlü ipliklerle 200 MHz ‘de 48 dB olarak elde edilmiştir.

Gültekin ve diğ. (2018) çalışmalarında poliester kumaşa, elektromanyetik kalkanlama özelliği kazandırmak için karbon siyahı ve grafit parçacıkları kullanılarak rotasyon baskı

yapmışlardır. Bu amaçla farklı binder konsantrasyonlarında baskı patları hazırlanmıştır. Kumaşların elektriksel direnci, yıkama haslığı, yüzey morfolojisi gibi özellikleri incelenmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 15-3000 MHz aralığında değerlendirilmiştir. Poliester kumaşın EMK değeri 2190 ve 2205 MHz frekans aralığında ve düşük binder konsantrasyonunda 12,36 dB' e ulaşmıştır. Yıkama işlemi sonrası EMK etkinliği azalmış, 2295 MHz' de 6,90 dB değeri elde edilmiştir.

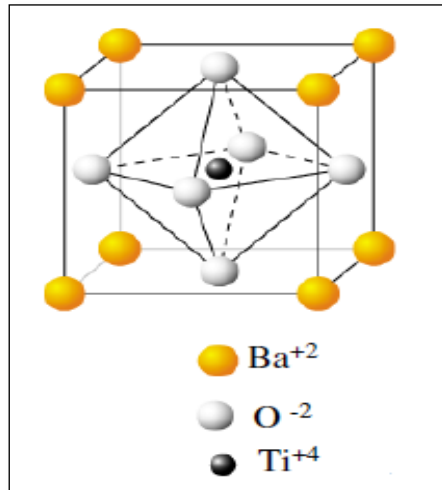
3. BARYUM TİTANAT: YAPISI, ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Perovskit ailesi elektronik, elektro optik, elektromekanik gibi çeşitli elektro-seramik uygulamalarda kullanılan pek çok titanatı kapsar (Ertuğ, 2013). Baryum titanat ($BaTiO_3$), kimyasal formülü ABO_3 olan, rengi beyazdan griye değişen perovskit ailesine bağlı inorganik bir bileşiktir (www.azom.com).

Tablo 1. Baryum titanatın kimyasal bileşimi (www.azom.com)

Element	İçerik (%)
Baryum	58,9
Titanyum	20,5
Oksijen	20,6

Baryum titanat toz veya kristal formda bulunabilir. Katı baryum titanatın yapısı sıcaklık ile değişim gösterebilir. Düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru beş farklı fazda bulunabilir; rhombohedral, ortorombik, tetragonal, kübik ve altıgen. Ferroelektrik özellikler kübik faz dışındaki tüm fazlar tarafından görüntülenir (www.chemistrylearner.com) Şekil 1' de baryum titanatın kübik yapısı görülmektedir. Küpün köselerinde Ba^{+2} kanyonları, O^{-2} anyonları ise küp yüzey merkezlerinde, Ti^{+4} atomları ise küp merkezinde bulunur.



Şekil 1:

Baryum titanatın kristal yapısı (www.aves.istanbul.edu.tr).

Baryum titanat 60 yıldan daha fazla süredir ilgi gören bir malzemedir. İlgi çekmesinin ilk nedeni kimyasal ve mekanik olarak stabil olmasıdır. Diğer nedeni ise ferroelektrik özelliğini oda sıcaklığında ve üzerinde koruyabilir olmasıdır (Jona ve Shirane, 1993). Baryum titanatın fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Baryum titanatın fiziksel özellikleri (www.azom.com)

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	6,02
Erime Sıcaklığı (°C)	1650
Young Modülü (GPa)	67
Sertlik (Mohs)	5

Sülfürik, hidroklorik ve hidroflorik asitler de dahil birçok asitte çözünür. Alkali ve suda çözünmez. Saf halde elektriksel olarak yalıtkandır. Fakat az miktarda metalle, yoğunlukla skandiyum, itriyum, neodimyum, samaryum vb. metallerle katkıldığında yarı iletken hale gelir (www.azom.com). Katkılı baryum titanat yarı iletkenlerde, PTC termistörlerde ve piezoelektrik cihazlarda geniş uygulama alanına sahiptir (Vijatović ve diğ., 2008).

BaTiO₃ ve Pb(Zr,Ti)O₃ (kurşun zirkonyum titanat, PZT) gibi metal oksitler, sahip oldukları eşsiz ferroelektrik, piyoelektrik ve piezoelektrik özellikleri nedeniyle değişik elektronik uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Joshi ve diğ., 2012). Ancak PZT seramiklerin içerdiği kurşun ve kurşun oksitinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, biyouyumlu ve çevre dostu malzemeler ilgi odağı olmuştur. Kurşun içermeyen baryum titanat en önemli alternatiflerden birisidir. (Takenaka ve diğ., 2008; Panda ve Sahoo, 2015).

Baryum titanat geniş kapsamda çalışılan en önemli ferro elektrik malzemelerden biridir. Nanolif, nanotüp ve nanoşerit gibi tek boyutlu (1D) baryum titanat nano malzemeler geliştirilebilir özellikleri ve nano cihazlardaki potansiyel uygulama alanları sebebiyle dikkat çekmektedir (Zhuang ve diğ., 2014).

Kullanım alanları:

- ✓ Saf halde elektriksel yalıtkan olarak kullanılabilir.
- ✓ Kondansatörlerde dielektrik seramik malzeme olarak kullanılır.
- ✓ Mikrofonlarda ve diğer transdüserlerde piezoelektrik bir malzeme olarak da kullanılır.
- ✓ Bileşiğin polikristalin formları pozitif sıcaklık katsayısı gösterir. Bu nedenle kendinden regüleli elektrikli ısıtma sistemleri ve termistörlerin hazırlanmasında kullanılır.
- ✓ Baryum titanat fotorefraktif uygulamalarda kullanılabilir.
- ✓ Bu maddenin ferroelektrik ve piyoelektrik özellikleri, termal kameralarda kullanılan bazı soğutmamış sensörleri üretmek için kullanılır.
- ✓ Yüksek saflıkta baryum titanat tozu, elektrikli taşıtlarda kullanılan baryum titanatlı kapasitör enerji depolama sistemleri üretiminde kullanılır.
- ✓ Doğrusal olmayan optik cihazlarda kullanılır.
- ✓ Dielektrik amplifikatörlerde ve dinamik holografide kullanılır.
- ✓ Malzeme elemanlarının aynı anda yük taşıyıp depolamaları gereken çok işlevli yapısal kapasitörlerde kullanılır (www.chemistrylearner.com , www.azonano.com).

4. BARYUM TİTANATIN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Yu ve diğ. (2011) çalışmalarında elektriksel iletkenlik bileşeni olarak çok duvarlı karbon nanotüp, ferroelektrik bileşen olarak baryum titanat kullanarak polipropilen nano kompozitler hazırlamışlardır. Polipropilene elektriksel özellik katmak için %3'ten fazla çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Çok duvarlı karbon nanotüp ve baryum titanat ilavesinin üçlü nano kompozit PP/MWCNT/BaTiO₃ 'in dielektrik geçirgenliğini büyük ölçüde artırmıştır.

Saini ve diğ. (2013) çalışmalarında öncelikle baryum polianilin-tetragonal baryum titanat nano kompozitlerin yapısal, elektriksel ve elektromanyetik korelasyonu incelenmiştir. Emülsiyon polimerizasyonu ile hazırlanan kompozitler 71,5 dB ekranlama etkinliği göstermiştir. Ekranlama etkinliğindeki bu artışın baryum titanatın dielektrik ve elektriksel özelliğine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kılıç ve diğ. (2013) çalışmalarında elektrostatik şarj özelliklerini geliştirme amaçlı eriyik çekimle baryum titanat içeren polipropilen kompozit filamentler üretilmiştir. Dört farklı baryum titanat konsantrasyonu (%0,01, %0,1, %1 ve %10) kullanılmıştır. Filamentler korona deşarjla yüklenmiş ve yüzey potansiyelleri ölçülmüştür. BaTiO₃ konsantrasyonunun ve işlem sıcaklığının liflerin elektriksel özelliğini etkilediği görülmüştür. 130 °C 'de şarj edilen numunelerle oda sıcaklığında şarj edilen numuneler kıyaslandığında, yüksek sıcaklıktakilerin özelliklerinde önemli iyileşme gözlenmiştir. Isıl şarjla birlikte BaTiO₃ katkısının filamentler gelişmiş elektrostatik özellik kazandırdığı sonucuna varılmıştır.

Qing ve diğ. (2014) çalışmalarında MWCNT/BaTiO₃/silika kompozitler iki adımlı karıştırma yöntemiyle üretilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama artan MWCNT konsantrasyonu ve sıcaklıkla artış göstermiştir. Ekranlama etkinliği 12,4-18 GHz aralığında 25 °C 'de 20 dB, 600 °C 'de 50 dB ölçülmüştür.

Tural (2014) tez çalışmasında eriyik çekim yöntemiyle baryum titanat katkılı bikomponent iplikler üretmiştir. 3 farklı katkı oranı (%1, %2 ve %3) kullanılarak üretilen bu ipliklerden iki farklı sıklıkta örme yüzeyler elde edilmiştir. İpliklerin elektriksel iletkenliği ve yüzeylerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Artan konsantrasyon oranıyla birlikte yüzeylerde elektriksel iletkenlik değerinde artış gözlenmiştir. Yüzeylerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri en yüksek 25,95 dB olarak ölçülmüştür.

Su ve Zhang (2016) çalışmalarında elektronik uygulamalar için baryum titanat takviyeli yüksek performanslı polietilen (HDPE) kompozitler hazırlamışlardır. Öncelikle baryum titanat parçacıklar kompozitte HDPE ile adezyonun artırılması için modifiye edilmiştir. Baryum titanatın hacimsel oranı %50' ye çıkarıldığında, 10 MHz 'de HDPE kompozitlerin dielektrik sabiti 2,5'dan 18,5 'a dielektrik kaybı, 0,02'den 0,10'a yükselmiştir. Hacimsel direnç $3,6 \times 10^3 \Omega m$ 'den $3,5 \times 10^{11} \Omega m$ 'ye azalmıştır. Modifiye baryum titanatın miktarı arttıkça kompozitin eğilme mukavemeti ve modülü 8 ve 90 MPa'dan 14 ve 780 MPa 'a artmıştır. Baryum titanatın artışı HDPE zincirinin hareketliliğini kısıtladığı için HDPE kompozitin kristalinitesi azalmıştır.

Melvin ve diğ. (2017) çalışmalarında baryum titanat (BT) ve karbon nanotüp (CNT) tozları poliüretan matriksle birleştirilerek BT/CNT nano kompozit üretmişlerdir. Kompozit malzemenin kalınlığı 1.1 mm'dir. Kompozit malzemede baryum titanatın ağırlıkça oranı %30'dur. 1,6 GHz'de 37,2 dB elektromanyetik kalkanlama değeri elde edilmiştir. Deneysel şartlar ve üretim metotları farklı olmasına rağmen, raporlanan diğer EM dalga absorblayıcılar arasında düşük kalınlıkta iyi absorblama değeri elde edilmiştir. Tablo 3' de farklı malzemelerle ve kumaş yapılarıyla iletken özellik kazandırılmış EMK sağlayan tekstil yüzeylerinin EMK değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 3. Çeşitli iletken tekstillerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerleri

Malzeme	Frekans	EMK [dB]	Kaynak
Karbon siyahı-grafit baskılı poliester kumaş	2190-2205 MHz	12,36	Gültekin ve diğ. (2018)
Gümüş/Poliamid/Pamuk özlü ipliklerden dokuma kumaş	200 MHz	48	Duran ve Kadoğlu (2015)
Gümüş kaplı poliamid liften dokusuz yüzey	3000 MHz	35,53	Özen ve diğ. (2016)
Polipirol kaplı poliester kumaş	1500 MHz	36,6	Kim ve diğ. (2002)
Polianilin kaplı poliester kumaş	101 GHz	21,48	Dhawan ve diğ. (2001)
Kompozit dokuma-örme kumaş	100 kHz- 1 GHz	40-50	Chen ve diğ. (2007)
Paslanmaz çelik/meta-aramid ipliklerden dokuma kumaş	1,5 GHz	35,98	Safarova ve Militky (2014)
Bakır özlü ipliklerden örme kumaş	750-1000 MHz	46-63	Perumalraj ve Dasaradan (2009)
Polipirol/kitosan kompozit film	1200 MHz	32,15-35,66	Abdi ve diğ. (2009)
Baryum titanat katkılı bikomponent ipliklerden örme kumaş	0,02 GHz	25,95	Tural (2014)
Baryum titanat/karbon nanotüp nano kompozit	1,6 GHz	37,2	Melvin ve diğ. (2017)

5.SONUÇ

Elektromanyetik kirliliğin etkilerinin azaltılması amacıyla iletken tekstil yüzeylerinin kullanımı, teknik tekstiller içerisinde önemi giderek artan, araştırma ve geliştirmeye açık bir çalışma konusu haline gelmiştir.

Elektromanyetik kalkanlama amaçlı tekstil yüzeyleri, iletken polimer, iletken lif/iplik kullanımı veya farklı bitim işlemleriyle elde edilebilmektedir. Polianilin, polipirol, politiyofen ve karbon nanotüp gibi iletken polimerlerle yapılan çalışmalar, özellikle iletken lif üretimi ve

kaplama alanında oldukça yaygındır. İletken ipliklerle ilgili çalışmalara bakıldığında paslanmaz çelik, bakır ve gümüş katkılı iletken iplik üretimi ön plandadır. Bunun dışında kompozit iletken iplikler ve az da olsa bikomponent iletken ipliklerin kullanıldığını görmekteyiz.

Baryum titanat eşsiz özellikleri nedeniyle (mekanik ve kimyasal olarak stabil olması, yüksek dielektrik sabiti gibi) geniş kapsamda çalışılan en önemli ferroelektrik malzemelerden biridir. Baryum titanat, elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında daha çok nano kompozit yapılarda karşımıza çıkmaktadır. İletken lif/iplik üretiminde ve iletken tekstil kaplamacılığında kullanımıyla ilgili literatürde bir boşluk söz konusudur. Bu alandaki çalışmalar artırılabilir.

Çalışmalar sınırlı olmasına rağmen, baryum titanatın gerek tek başına gerekse karbon bazlı malzemelerle kullanılması sonucu elde edilen değerler, umut vadeden bir elektromanyetik kalkanlama malzemesi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, baryum titanatın perovskit yapıdaki diğer malzemelere kıyasla biyouyumlu ve çevre dostu olması geleceği olan bir malzeme olacağı fikrini çevresel açıdan desteklemektedir.

Bu konudaki çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde odak noktasının ürünlerin teknik özellikleri olduğu görülmüştür. Çalışmaların çoğunda kazandırılan etkinin kalıcılığının test edilmesi konusunda eksiklikler tespit edilmiştir. Uzun vadede geliştirilen ürünlerin kullanım alanlarına bağlı olarak estetik ve konfor özelliklerinin de önem kazanacağı ve çalışmaların bu alana da yöneleceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abdi, M. M., Kassim, A. B., Ekramul Mahmud, H. N. M., Yunus, W. M. M. Ve Talib, Z. A. (2009) Electromagnetic interference shielding effectiveness of new conducting polymer composite, *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 47(1), 71-75. doi: <https://doi.org/10.1080/10601320903399834>
2. Adamhasan, A. S. (2008) Poliester/Polianilin, Pamuk/Polianilin Kompozit Kumaşlarının Hazırlanması ve Elektriksel özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
3. Ahlbom, A., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D., Swerdlow, A., & ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. (2004) Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure, *Environmental health perspectives*, 112(17), 1741. doi:10.1289/ehp.7306
4. Aksit, A., Nurhan, O. N. A. R., Kayatekin, I., Ebeoglugil, M. F., Çelik, E. ve Özdemir, İ. 2007, Polianiline Ve Polipirol Kaplanan Pamuklu Kumaşların Elektromanyetik Koruyuculuk Ve İletkenlik Özellikleri, *Tekstil ve Mühendis*, (Cilt: 14), 67.
5. Bentli, F. (2007). <http://www.emo.org.tr> , Erişim Tarihi: 09.10.2017, Konu: *Michael Faraday*.
6. Bilgin, S., Sarıtaş, Ö., Okyay, G. ve Örtlek, H. G. (2011) Askeri Ve Kamu Kuruluşlarına Ait Binaların Tempest Güvenliği İçin Farklı Yapıda Dokuma Kumaşların Geliştirilmesi, *Tekstil ve Mühendis*, (Cilt: 18), 81.
7. Cengiz, S. (2009) Elektromanyetik Girişimden Korunmada Ekranlama Etkinliği Ve Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
8. Chen, H. C., Lee, K. C. ve Lin, J. H. (2004) Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites, *Composites, Part A: applied science and manufacturing*, 35(11), 1249-1256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.04.006>

9. Chen, H. C., Lee, K. C., Lin, J. H. ve Koch, M. (2007) Comparison of electromagnetic shielding effectiveness properties of diverse conductive textiles via various measurement techniques, *Journal of Materials Processing Technology*, 192, 549-554. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.023>
10. Dağ, N. (2010) İletken Tekstil Yüzeylerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
11. Dhawan, S. K., Singh, N. ve Venkatachalam, S. (2001) Shielding effectiveness of conducting polyaniline coated fabrics at 101 GHz, *Synthetic Metals*, 125(3), 389-393. doi: [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(01\)00478-7](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(01)00478-7)
12. Duran, D. ve Kadoğlu, H. (2015) Electromagnetic shielding characterization of conductive woven fabrics produced with silver-containing yarns, *Textile Research Journal*, 85(10), 1009-1021. doi: 10.1177/0040517512468811
13. Erdoğan, M. K., Karakişla, M. ve Saçak, M. (2012) Preparation, characterization and electromagnetic shielding effectiveness of conductive polythiophene/poly (ethylene terephthalate) composite fibers, *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 49(6), 473-482. doi: 10.1080/10601325.2012.676896
14. Ertuğ, B. (2013) The overview of the electrical properties of barium titanate, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2(8), 1-7.
15. Gültekin, B. C., Gültekin, N. D., Atak, O. ve Şimşek, R. (2018) Evaluation of the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Carbon-Based Screen Printed Polyester Fabrics, *Fibers and Polymers*, 19(2), 313-320. doi:10.1007/s12221-018-7462-7
16. <http://www.chemistrylearner.com/barium-titanate.html>, Erişim Tarihi: 09.09.2017, Konu: *Barium Titanate*.
17. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf, Erişim Tarihi:11.04.2014
18. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2280>, Erişim Tarihi: 08.10.2017, Konu: *Barium Titanate (BaTiO₃) - Properties and Applications*.
19. <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3323>, Erişim Tarihi: 10.09.2017, Konu: *Barium Titanate (BaTiO₃) Nanoparticles - Properties, Applications*.
20. Jona, F. ve Shirane, G. (1993) *Ferroelectric crystals*, Dover Publications, INC., New York.
21. Joshi NJ, Grewal GS, Shrinet V, Govindan TP. ve Pratap A (2012) Synthesis and dielectric behavior of nano-scale barium titanate, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19, 83–90. doi:[10.1109/TDEI.2012.6148505](https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6148505)
22. Kılıç, A., Shim, E., Yeom, B. Y. ve Pourdeyhimi, B. (2013) Improving electret properties of PP filaments with barium titanate, *Journal of Electrostatics*, 71(1), 41-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2012.11.005>
23. Kılıç, G., Örtlek, G.H. ve Saraçoğlu, G.Ö. (2007) Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri, *Tekstil ve Mühendis*, 14.67.
24. Kim, H. K., Byun, S. W., Jeong, S. H., Ki Hong, Y., Joo, J. S., Song, K., ... ve Lee, J. Y. (2002) Environmental stability of EMI shielding PET fabric/polypyrrole composite, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 377(1), 369-372. doi: <https://doi.org/10.1080/713738488>

25. Kim, B., Koncar, V., Devaux, E., Dufour, C. ve Viallier, P. (2004) Electrical and morphological properties of PP and PET conductive polymer fibers. *Synthetic Metals*, 146(2), 167-174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2004.06.023>
26. Kim, H. M., Kim, K., Lee, C. Y., Joo, J., Cho, S. J., Yoon, H. S. ve Epstein, A. J. (2004) Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding of multiwalled carbon nanotube composites containing Fe catalyst, *Applied Physics Letters*, 84(4), 589-591. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1641167>
27. Li, N., Huang, Y., Du, F., He, X., Lin, X., Gao, H. ve Eklund, P. C. (2006) Electromagnetic interference (EMI) shielding of single-walled carbon nanotube epoxy composites, *Nano letters*, 6(6), 1141-1145. doi: 10.1021/nl0602589
28. Lin, Z. I., Lou, C. W., Pan, Y. J., Hsieh, C. T., Huang, C. H., Huang, C. L., ... ve Lin, J. H. (2017) Conductive fabrics made of polypropylene/multi-walled carbon nanotube coated polyester yarns: Mechanical properties and electromagnetic interference shielding effectiveness, *Composites Science and Technology*, 141, 74-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.01.013>
29. Melvin, G. J. H., Ni, Q. Q. Ve Wang, Z. (2017) Performance of barium titanate@ carbon nanotube nanocomposite as an electromagnetic wave absorber, *Physica Status Solidi (a)*, 214(2). doi: 10.1002/pssa.201600541
30. Okyay, G., Bilgin, S., Akgül, E. Ve Örtlek, H. G. (2011) Farklı Yapılardaki Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 1-10.
31. Örtlek, H. G., Cünesoğlu, C., Okyay, G. ve Türkoğlu, Y., (2012) Investigation of electromagnetic shielding and comfort properties of single jersey fabrics knitted from hybrid yarns containing metal wire, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 22(2), 90-101.
32. Özdemir, H. ve Özkurt, A. (2013) The Effects Of Weave And Conductive Yarn Density On The Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Cellular Woven Fabrics, *Journal Of Textile & Apparel/Tekstil Ve Konfeksiyon*, 23(2).
33. Özen, M. S., Beyit, A., Sancak, E., Yüksek, M., Usta, İ. ve Uzun, M. (2012) İğnelenmiş Dokunmamış (Nonwoven)Kumaş Kalınlığının Elektromanyetik Kalkanlamaya Etkisi, *Nonwoven Technical Textiles Technology*,56-63.
34. Özen, M. S., Sancak, E., Soin, N., Shah, T. H. ve Siores, E. (2016) Investigation of electromagnetic shielding effectiveness of needle punched nonwoven fabric produced from conductive silver coated staple polyamide fibre, *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 912-922. doi:10.1080/00405000.2015.1070604
35. Palamutcu, S. ve Dağ, N. (2009) Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3.1: 87-101.
36. Panda PK. ve Sahoo B (2015) PZT to lead free piezo ceramics: A review, *Ferroelectrics*, 474, 128–143 doi: <https://doi.org/10.1080/00150193.2015.997146>
37. Perumalraj, R. Ve Dasaradan, B. S. (2009) Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics, *Indian journal of fibre & textile research*, 34(2), 149.
38. Qing, Y., Mu, Y., Zhou, Y., Luo, F., Zhu, D. ve Zhou, W. (2014) Multiwalled carbon nanotubes–BaTiO₃/silica composites with high complexpermittivity and improved electromagnetic interference shieldingat elevated temperature, *Journal of the European Ceramic Society*, 34 (2014) 2229–2237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.02.007>

39. Roh, J. S., Chi, Y. S., Kang, T. J. ve Nam, S. W. (2008) Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics, *Textile Research Journal*, 78(9), 825-835. doi: <https://doi.org/10.1177/0040517507089748>
40. Rubežienė, V., Baltušnikaitė, J., Varnaitė-Žuravliova, S., Sankauskaitė, A., Abraitienė, A. ve Matuzas, J. (2015) Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives, *Journal of Electrostatics*, 75, 90-98.
41. Šafářová, V. ve Militký, J. (2014) Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fiber, *Textile Research Journal*, 84(12), 1255-1267. doi: <https://doi.org/10.1177/0040517514521118>
42. Saini, P., Arora, M., Gupta, G., Gupta, B. K., Singh, V. N. ve Choudhary, V. (2013) High permittivity polyaniline–barium titanate nanocomposites with excellent electromagnetic interference shielding response, *Nanoscale*, 5(10), 4330-4336. doi: [10.1039/C3NR00634D](https://doi.org/10.1039/C3NR00634D)
43. Sevgi, L. (2004) http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Eylul04.pdf, Erişim Tarihi:14.01.2013, Konu: *EMC ve Korunma yöntemleri: (I)Ekranlama*.
44. Seyhan, N. (2010) Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlığımız. *Archives of Neuropsychiatry/Noropsikiatri Arsivi*, 47(2). doi: 10.4274/npa.5661
45. Shim, B. S., Chen, W., Doty, C., Xu, C. Ve Kotov, N. A. (2008) Smart electronic yarns and wearable fabrics for human biomonitoring made by carbon nanotube coating with polyelectrolytes, *Nano letters*, 8(12), 4151-4157.
46. Strååt, M., Rigdahl, M. ve Hagström, B. (2012) Conducting bicomponent fibers obtained by melt spinning of PA6 and polyolefins containing high amounts of carbonaceous fillers, *Journal of Applied Polymer Science*, 123(2), 936-943. doi: 10.1002/app.34539
47. Su, J., ve Zhang, J. (2016) Preparation and properties of Barium titanate (BaTiO₃) reinforced high density polyethylene (HDPE) composites for electronic application, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(5), 4344-4350.
48. Sunay, Ç., (2000) <http://biltek.tubitak.gov.tr> , Erişim tarihi:24.12.2013, Konu: *Teknolojiyle birlikte gelen sorun elektromanyetik kirlilik*.
49. Takenaka, T., Nagata, H. ve Hiruma, Y. (2008) Current developments and prospective of lead-free piezoelectric ceramics, *Japanese Journal of Applied Physics*, 47(5S), 3787.
50. Tao, X., Koncar, V., Dufour, C., Onar, N. ve Aksit, A. (2010) Pirool/Anilin Kopolimerleri İle Kaplanan Pet Nonwoven Kumaşların Yapısal ve Elektriksel Özellikleri [Structural and electrical properties of pet nonwoven fabrics coated with pyrrole/aniline copolymers, *The Journal of Textiles and Engineer*, 15(72), 1-6.
51. Tural, R. (2014) İletken Bikomponent İplik Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
52. Yıldız, Z. (2011) İletken Polimerlerle Muamele Edilmiş Tekstil Yüzeylerinin Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
53. Yu, B., Qi, L., Ye, J. Z. Ve Sun, H. (2007) Preparation and radar wave absorbing characterization of bicomponent fibers with infrared camouflage, *Journal of Applied Polymer Science*, 104(4), 2180-2186. doi: <https://doi.org/10.1002/app.24854>
54. Vijatović, M. M., Bobić, J. D. ve Stojanović, B. D. (2008) History and challenges of barium titanate: Part II, *Science of Sintering*, 40(3), 235-244. doi: 10.2298/SOS0803235V
55. www.aves.istanbul.edu.tr , Erişim Tarihi: 08.08.2017, Konu: *Seramik Malzemeler*.

56. Yağmur, F., Bozbıyık, A. Ve Hancı, İ. H. (2003) Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerine etkileri, *Sted*, 12(8), 296-7.
57. Yaren, U. D. H. ve Karayılanoglu, E. T. (2005) Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni* 4 (4), 199-208.
58. Yılmaz,E.(2014)http://www.hdm.com.tr/kalite/documents/Radyasyondan_korunma.pdf, ErişimTarihi: 09.10.2017, Konu: *Radyasyondan Korunma*
59. Yu, C. R., Wu, D. M., Liu, Y., Qiao, H., Yu, Z. Z., Dasari, A.ve Mai, Y. W. (2011). Electrical and dielectric properties of polypropylene nanocomposites based on carbon nanotubes and barium titanate nanoparticles, *Composites Science and Technology*, 71(15), 1706-1712. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.07.022>
60. Zhuang, Y., Li, F., Yang, G., Xu, Z., Li, J., Fu, B., ... ve Zhang, S. (2014). Fabrication and Piezoelectric Property of BaTiO₃ Nanofibers, *Journal of the American Ceramic Society*, 97(9), 2725-2730.