

Nikel Kaplı UHMWPE Partikülleri Yüzeyine Nanogümüş Sentezinin Elektromanyetik Ekranlama Üzerine Etkisi

Ayşe Betül Demir¹ , Gözde Ç. Efe^{2*} , Şuayb Çağrı Yener^{3,4} , Cuma Bindal⁵ 

¹ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye, aysebetuldemir54@gmail.com

² Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye. gcelebi@subu.edu.tr

³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye. syener@sakarya.edu.tr

⁴ Sakarya Üniversitesi Elektromanyetik Uygulama ve Araştırma Merkezi (SEMAM), Sakarya Üniversitesi, Türkiye.

⁵ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye. bindal@sakarya.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Elektromanyetik radyasyon koruyucu malzeme geliştirmek amacıyla UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) yüzeyleri akımsız kaplama yöntemiyle Nikel ile kaplanmış ve üzerine Ag nanopartikül sentezi yapılmıştır. Nikel kaplama ve nanogümüş katkısının tespiti ve kompozit matris içerisinde dağılımını gözlemlemek amacıyla SEM-EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. UHMWPE içerisindeki hakim fazlar Ni ve NanoAg, XRD analizi ile tespit edilmiştir. XRD analiz sonuçları tozların başarılı bir şekilde Ni kaplandığını ve NanoAg katkılı olduğunu göstermiştir. Elde edilen tozlar 180 °C'de 15 dk süresince sıcak preslemeye tabi tutularak Ni kaplı ve nanogümüş katkılı UHMWPE kompozitleri elde edilmiştir. Ni kaplı ve NanoAg katkılı UHMWPE partiküllerine, ekranlama değerlerinin belirlenmesi için EMI-SE (Elektromagnetic Interference Shielding Effectiveness) ölçümü yapılmıştır. Elde edilen ekranlama değerleri Ni kaplama için 56 dB, NanoAg katkısı için 34 dB olarak belirlenmiştir. Hem X hem de Ku-bandı için sonuçlar karşılaştırıldıklarında Ni kaplı UHMWPE partikülleri üzerine NanoAg sentezinin ekranlama değerlerini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: UHMWPE, akımsız kaplama, EMI-SE, nanogümüş, elektromanyetik kalkanlama.

Effect of Nanosilver Synthesis on Surface of Nickel Coated UHMWPE Particles on Electromagnetic Shielding

ABSTRACT

In this study, in order to develop electromagnetic radiation shielding material, UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) surfaces were coated with Nickel by electroless coating method and Ag nanoparticle synthesis was made on it. SEM-EDS analyzes were carried out in order to detect the nickel plating and nanosilver additive and to observe its distribution in the composite

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gcelebi@subu.edu.tr

matrix. The dominant phases Ni and NanoAg in UHMWPE were determined by XRD analysis. XRD analysis results showed that the powders were successfully Ni coated and NanoAg doped. The obtained powders were subjected to hot pressing at 180 °C for 15 minutes and Ni coated and nanosilver added UHMWPE composites were obtained. EMI-SE (Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness) measurement was performed on Ni coated and NanoAg doped UHMWPE particles to determine their shielding values. The obtained shielding values were determined as 56 dB for Ni coating and 34 dB for NanoAg additive. When the results for both X and Ku bands were compared, it was observed how NanoAg synthesis on Ni coated UHMWPE particles affected the shielding values.

Keywords: UHMWPE, electroless coating, emi-se, nanosilver, electromagnetic shielding.

1 Giriş

Son yıllarda, insan hayatının birer vazgeçilmez parçası olarak günlük yaşamda çok çeşitli elektrikli aletler ve yüksek frekanslı elektronik cihazlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler karmaşık devrelere sahiptir ve dolayısıyla elektromanyetik dalga yayarak elektromanyetik girişime (EMG) neden olurlar bu da cihazların performansını etkiler ve bazen tüm çalışma sistemi çökebilir. Bu nedenle elektromanyetik kirliliğin önlenmesi yani cihazların elektromanyetik uyumluluk içinde çalışması ve aynı zamanda canlı sağlığına olası zararlarının ortadan kaldırılması için elektromanyetik ekranlamaya ciddi olarak ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Elektromanyetik girişim (EMI), iletişim antenleri, ev cihazları ve cep telefonları gibi elektronik cihazların oluşturduğu radyasyon alanlarının neden olduğu istenmeyen sinyallerdir. Elektromanyetik alanlardan (EMF'ler) koruyan bir mekanizma, diğer cihazlardan gelen bozucu sinyalleri ve bunlardan kaynaklanabilecek olası arızaları azaltmak için önemlidir. Radyofrekansı (RF) ve mikrodalga (MD) frekans bölgelerindeki elektromanyetik alanlar veya dalgalar hassas elektronik ekipmanı etkileyebilir veya bozabilir [2]. Bu bağlamda kritik, yapısal olarak ticari ve özellikle de askeri alanda yüksek bağışıklığa ihtiyaç duyan sistemler için kullanılacak malzemelerin, uygun elektromanyetik ekranlama davranışı sağlayacak biçimde geliştirilmesi önemli bir çalışma konusudur. Elektromanyetik radyasyon veya EMR, herhangi bir elektromanyetik kaynaktan tüm yönlerde yayılan sinyaller olarak tanımlanabilir. Elektronik sistemlerin ve cihazların olası bozucu sinyallerden etkilenmeden birlikte uyum içinde çalışması için başvurulmuş en temel yöntemlerden birisi de ekranlamadır. Ekranlama ile EMI koruması, yüksek frekanslı devrelerin çalışmasıyla üretilen elektromanyetik dalgaların cihazdan dış dünyaya veya dış dünyadan cihaza yayılımının kesilmesi veya zayıflatılması anlamına gelir. Bu, yalnızca komşu elektronik ekipmana müdahaleyi ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda elektronik ekipmanın kendisinin harici ekipmandan etkilenmemesini sağlar. EMI ekranlama etkinliği (EMI SE, birim: dB), malzemelerin elektromanyetik dalgalardan korunma yeteneğini nicel olarak değerlendirmek için kullanılmaktadır [2].

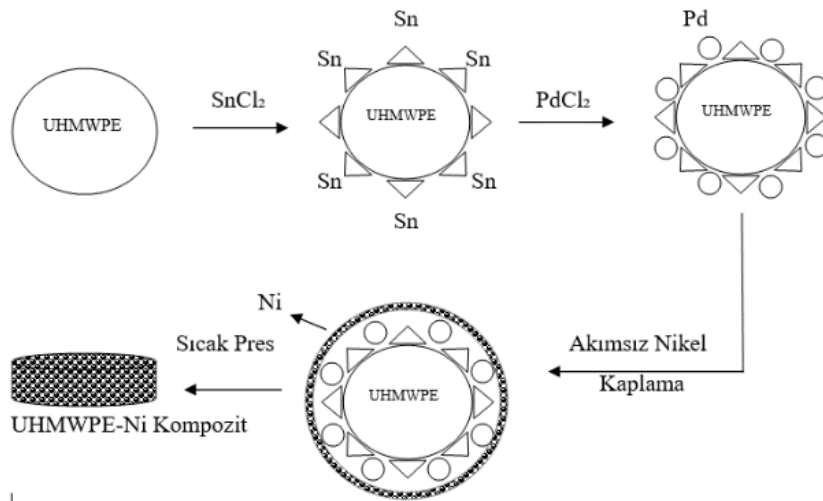
Ekranlama malzemelerinin ve ürünlerin temel amacı, içerdikleri metal elementlerin iletkenliği ile ilgilidir. En iyi iletken malzemeler metaller olduğundan, tüm metalik yüzeyler, serbest elektronları nedeniyle elektromanyetik dalgalar üzerinde yansıtıcı bir etkiye sahiptir. Ancak metaller genellikle tüketici cihazlarında karşılaşılan kapsamlı deformasyonlar için gereken süneklik ve esnekliğe sahip değildir. Bu nedenle, ultra ince, hafif, oldukça esnek ve korozyona dayanıklı EMI korumalı fonksiyonel malzemelere acil ihtiyaç vardır [2]–[4]. İletken Polimer kompozitler (CPCs), düşük yoğunlukları, korozyon direnci, rekabetçi fiyatları ve iyi işlenebilirlikleri nedeniyle EMI ekranlama alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [5], [6].

Yapılan bu çalışmada esnekliği, ucuzluğu ve kolay işlenebilirliği sayesinde dünyada çok kullanılan polimer malzemesi Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE) kullanılmıştır. Akımsız metal kaplama yöntemi ile polimer yüzeyini Nikel elementiyle kaplayıp, daha sonra Ag nanopartikül

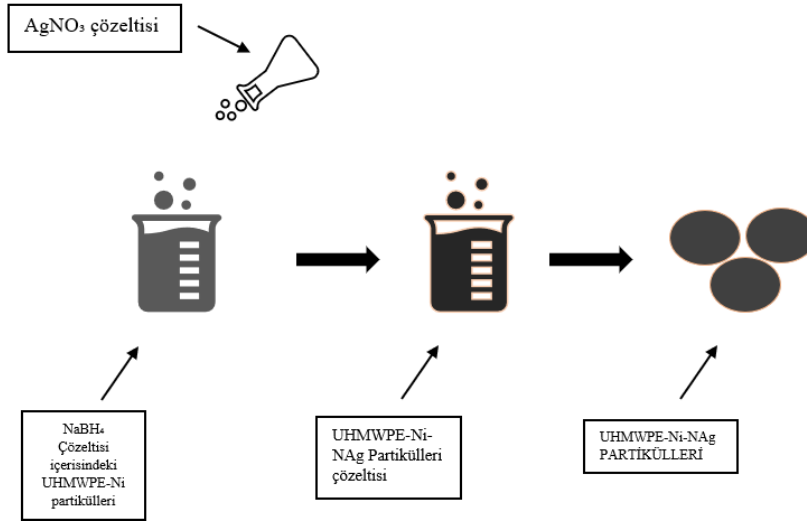
senteziyle UHMWPE-Ni partikül yüzeylerine NanoAg katkısıyla polimer tabanlı kompozitler geliştirilerek EMI ekranlama değerleri üzerine etkisi gözlemlenmiştir.

2 Deneysel Çalışma

UHMWPE tozları (Sigma Aldrich, ~100 µm partikül boyutu), etkili elektromanyetik ekranlama için metale polimer kompozitler geliştirmek üzere gerçekleştirilen Akımsız Nikel kaplama işlemi için altlık olarak kullanılmıştır. Akımsız Ni kaplamadan önce, UHMWPE tozları yüzeyi hassaslaştırmak için SnCl₂ (%99,9, Sigma Aldrich) çözeltisine ve ardından polimer yüzeyinde aktif bölgelerin sağlanması için PdCl₂ (%99,9 Alfa-Aesar) çözeltisine daldırılmıştır. Akımsız Ni kaplama banyosu, NiCl₂.6H₂O (%99,9, Sigma Aldrich), C₆H₅Na₃O₇.2H₂O (%99, Sigma Aldrich) ve NH₃.H₂O'dan oluşmaktadır. UHMWPE tozları yüzeyine elementel Ni'i çöktürmek için çözeltili indirgeme maddesi olarak NaH₂PO₂.H₂O (%99, Sigma Aldrich) eklenmiştir. Akımsız Ni kaplama banyosunun 60-70 °C'de 30 dakika süreyle karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ni kaplanmış UHMWPE partikülleri, kaplama işleminden sonra süzümüştür ve daha sonra distile su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminin ardından kompozit tozlar 60 °C'de etüvde gün boyu kurutulmuştur. Kurutulmuş Ni kaplı UHMWPE partiküllerinin bir kısmı alınarak Ag nanopartikül sentezi yöntemiyle, 100 ml NaH₄B çözeltisi içerisine UHMWPE-Ni partikülleri ilave edilip, 100 ml AgNO₃ çözeltisi damla damla ilavesiyle UHMWPE-Ni partikül yüzeylerine NanoAg sentezlenmiştir. Takiben sentez sonrası süzme ve kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ni kaplı UHMWPE ve NanoAg katkılı UHMWPE-Ni kompozit tozlar 25 mm çapındaki kalıpta 180 °C'de 15 dakika sıcak preslenmiş ve EMI ekranlama için 2 mm kalınlığında kompozitler elde edilmiştir. Akımsız Ni kaplama ve kompozit üretim sürecinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Ni kaplı UHMWPE partiküllerinin Ag nanopartikül sentez süreci ise Şekil 2'de verilmiştir. Ni ve NanoAg morfolojisini, parçacık boyutunu gözlemlemek, Ni ve NanoAg saflığını ve kalınlığını belirlemek için SEM-EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sırasında oluşan mevcut kristal fazların doğrulanması için XRD analizi yapılmıştır. Toplu metale polimer kompozit tozlarının mikroyapısal değerlendirmesi SEM-EDS analizi ile gözlemlenmiştir.



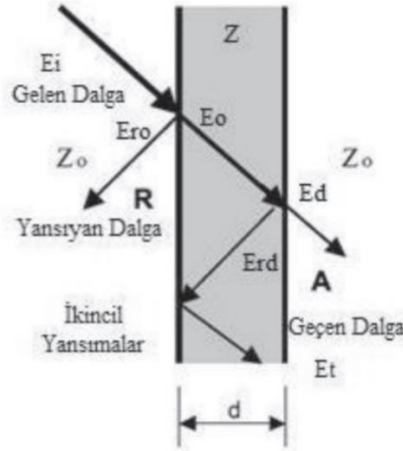
Şekil 1. Akımsız Ni kaplama ve üretim sürecinin şematik gösterim



Şekil 2. UHMWPE-Ni partikülleri yüzeyine Ag Nanopartikülleri sentez süreci

3 Teori ve Hesaplama

EMI ekranlama ölçümleri, ASTM D4935'e göre ağı analizörü ile birlikte iletim dalgası kılavuz anteni kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EMI ekranlama mekanizması, Şekil 3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. EMI Ekranlama Prensibi [7]

EMI SE, temel olarak uygun koruma malzemeleri kullanarak elektromanyetik dalgayı zayıflatma uygulamasıdır. Koruyucu malzeme, sinyal kaynağı ile alıcı arasında bir bariyer olduğundan, koruma etkinliği, zayıflama büyüklüğünü gösteren ekleme kaybı ile ilişkilidir [8]. Toplam EMI ekranlama etkinliği, gelen gücün (P_i) iletilen güce (P_t) logaritmik oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır [9]:

$$SE \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_t} \quad (1)$$

Temel olarak, bir koruyucu malzemenin ekranlama etkinliği Şekil 3'te gösterilen yansıma (SE_R), absorpsiyon (SE_A) ve ikincil (çoklu) yansımaların (SE_M) toplam etkisi olarak değerlendirilir. b. Bu üç fenomen temelinde, toplam koruma etkinlik (SE_T) şu şekilde ifade edilir:

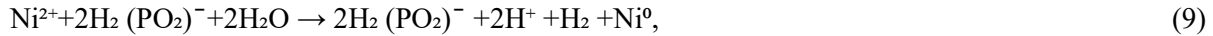
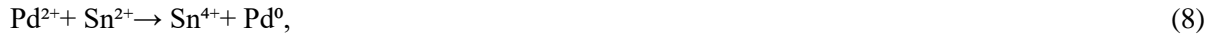
$$SE_T = SE_R + SE_A + SE_M . \quad (2)$$

Denklem (2)'den, malzemenin genel koruma performansının hem emici hem de yansıtıcı bileşenlerle ilişkili olduğu açıkça bellidir. Yansıma bileşeni temel olarak ortam ve malzeme arayüzleri arasındaki karakteristik empedans uyumsuzluğuyla ilgilidir ve iki yüzeyin EM parametrelerinin değerlerine bağlıdır. Yutulma (absorbsiyon), elektromanyetik dalga kaybından ve malzeme boyunca zayıflamasından kaynaklanır. Çoklu yansımalar, heterojen arayüzlere neden olan malzeme içindeki ikincil yansıma/soğurma olgusuyla ilgilidir. Yansıtıcı yüzey, deri kalınlığından daha büyük bir mesafe ile ayrılmışsa veya SE'nin soğurucu bileşeni 10 dB'den büyükse, yani EMI SE yeterince yüksekse, SEM terimi ihmal edilebilir ve genel SE şu şekilde basitleştirilebilir [10]:

$$SE_T \cong SE_R + SE_A. \quad (3)$$

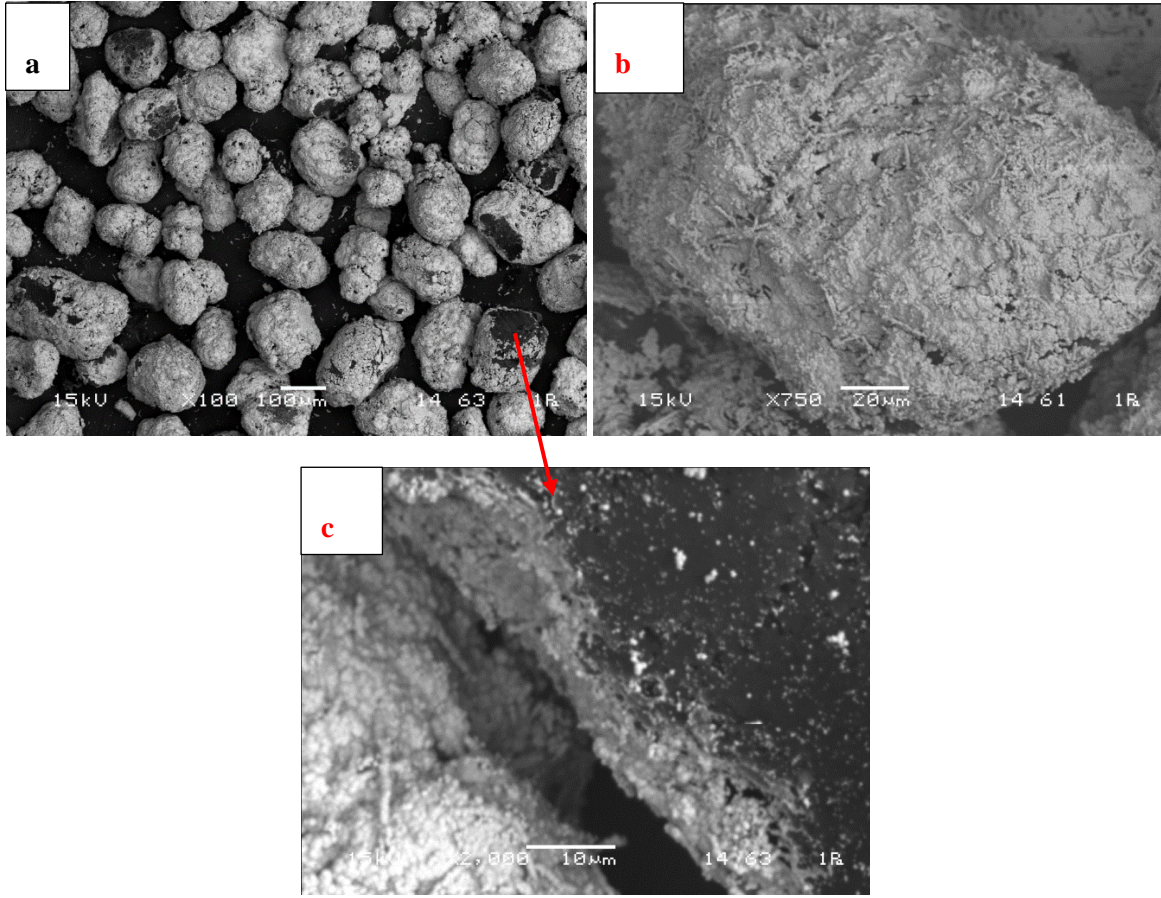
4 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Akımsız Ni kaplama işlemi aşağıdaki reaksiyonlarla gerçekleştirilmiştir:



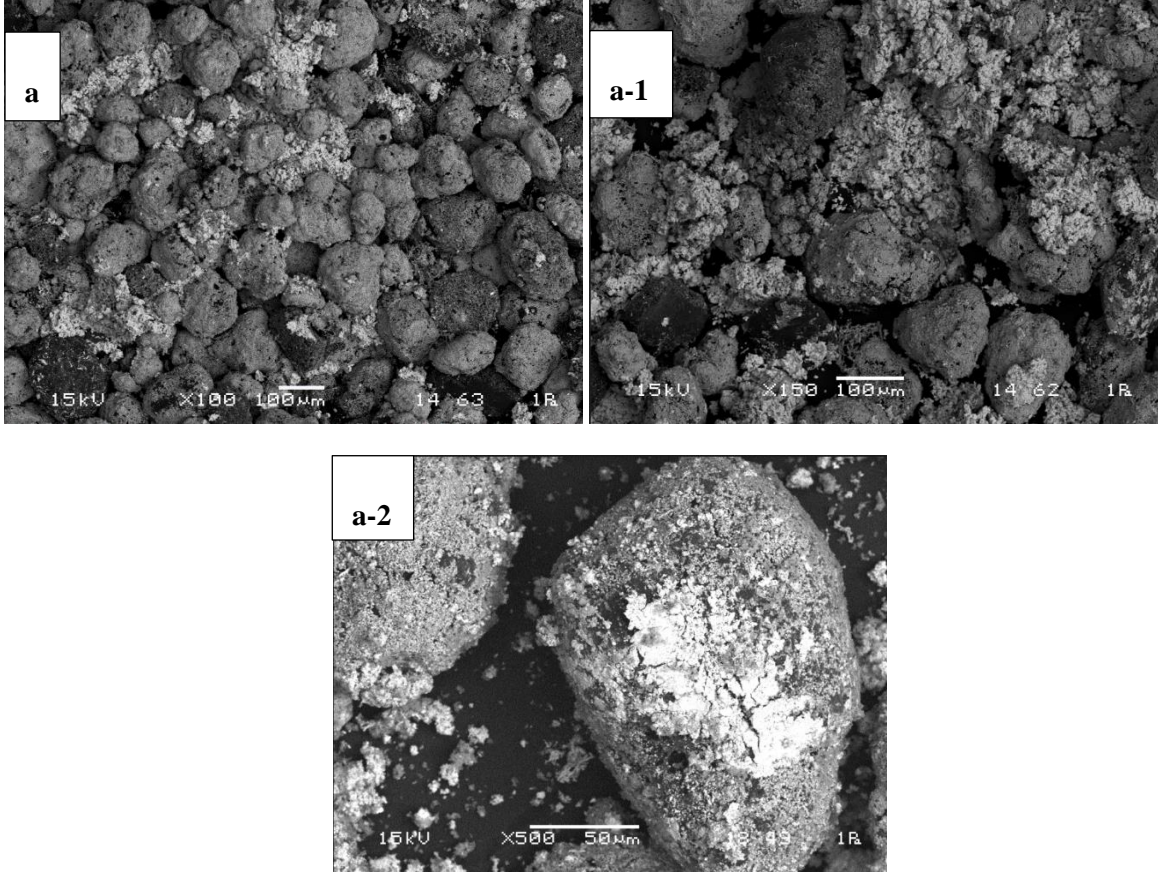
Yukarıdaki reaksiyonlara göre, UHMWPE yüzeyinde nikel kaplamanın oluşum mekanizması aşağıdaki gibi açıklanabilir. $SnCl_2$ çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan UHMWPE tozları, Pd^{2+} iyonlarının adsorpsiyonunu artırır ve daha sonra Sn^{2+} , UHMWPE'nin yüzeyinde Pd katalitik çekirdekler oluşturmak üzere Pd^{2+} ile reaksiyona girer. Reaksiyon Denklem (8) ile ifade edilebilir. Hassaslaştırılmış ve aktive edilmiş UHMWPE tozları akımsız kaplama banyosuna daldırıldığında, denklem (9)'da gösterildiği gibi bir otokatalitik redoks reaksiyonu meydana gelir. Nikel iyonları metalik Ni'ye indirgenir ve daha sonra nikel parçacıkları oluşturmak için bir araya toplanır. Yüklü Ni partikülleri UHMWPE yüzeyiyle karşılaştığında, UHMWPE üzerindeki Pd katalitik çekirdekler muhtemelen nikel partikülleri üzerindeki Ni^{2+} 'nin bir kısmı ile reaksiyona girer ve toplu reaksiyon Denklem (10)'da temsil edilmiştir. Nikel parçacıkları nihayet bu rotada UHMWPE'nin yüzeyinde biriktirilmiştir.

Ni kaplı UHMWPE ve NanoAg katkılı UHMWPE-Ni tozlarının SEM mikro yapıları, daha düşük ve daha yüksek büyütme oranlarıyla Şekil 4'te verilmiştir. UHMWPE tozları yaklaşık 100 µm parçacık boyutuna sahip olup; Nikel parçacıkları üzerine kaplanmış (Şekil 4.a) ve tüm yüzey kaplanarak nikel taneleri birbirleri üzerinde birikmeye başlamıştır. Ni parçacıkları birbirlerinin üzerine tomurcuklanarak boncuk dizilimi gibi büyümüş ve kaplanmış parçacıklar arasında Ni ağı oluşturmuştur. UHMWPE'nin yüzeyindeki Ni kaplamanın kalınlığının yaklaşık (Şekil 4.c) 2–3 µm olduğu söylenilebilir.

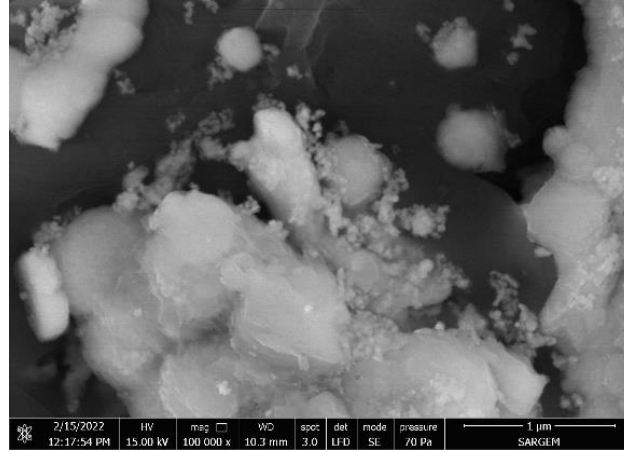


Şekil 4.a,b,c UHMWPE-Ni tozlarının farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

NanoAg katkılı UHMWPE-Ni tozlarının SEM mikro yapılarında ise yer yer aglomere olmuş Ag parçacıkları Ni elementinden daha yüksek atom numarasına sahip olduğundan daha parlak şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 5.a). Ag nanopartiküller Ni kaplı UHMWPE yüzeyine dağınık bir şekilde yerleşmiş ve üst üste çekirdeklenerek nano boyuttan mikronaltı boyutuna değişim göstermiştir (Şekil 5.a-1,a-2). NanoAg partiküllerinin daha iyi gözlemlenebilmesi için FESEM’de mikroyapı fotoğrafı alınmıştır. Mikrograftan NanoAg partiküllerinin tahmini boyutlarının yaklaşık olarak 20-30 nm olduğu söylenilebilir (Şekil 6).

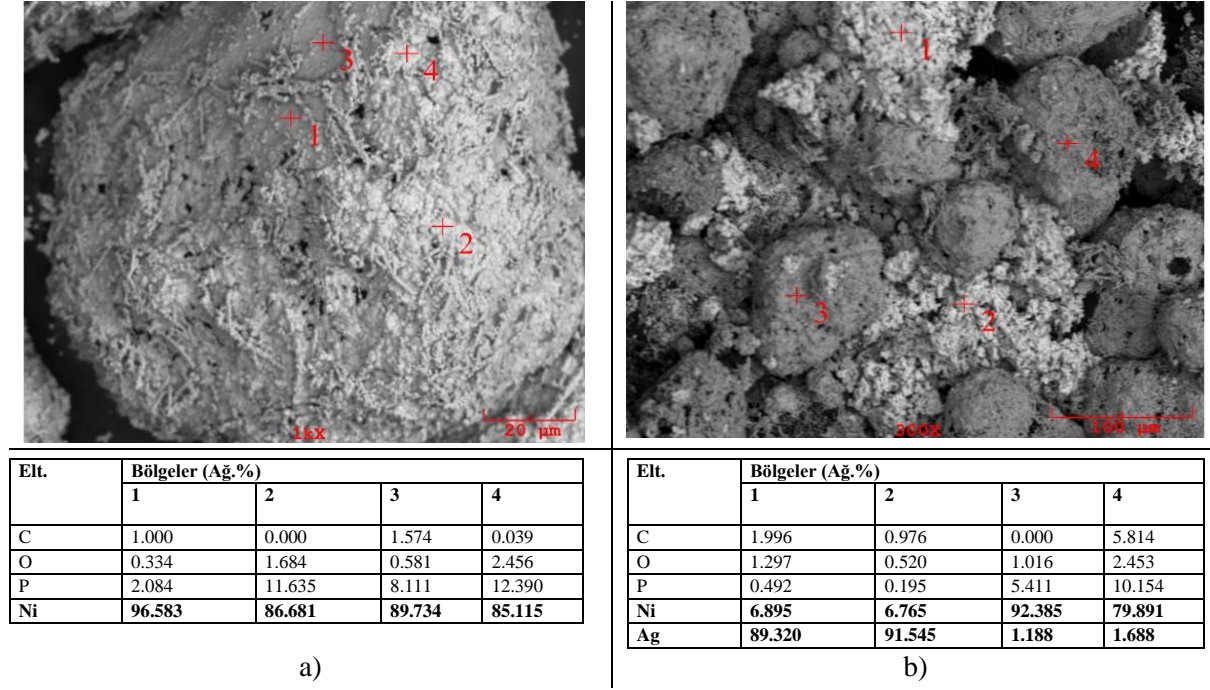


Şekil 5. NanoAg katkılı UHMWPE-Ni kompozit tozların farklı büyütmelemlerde SEM görüntüleri.



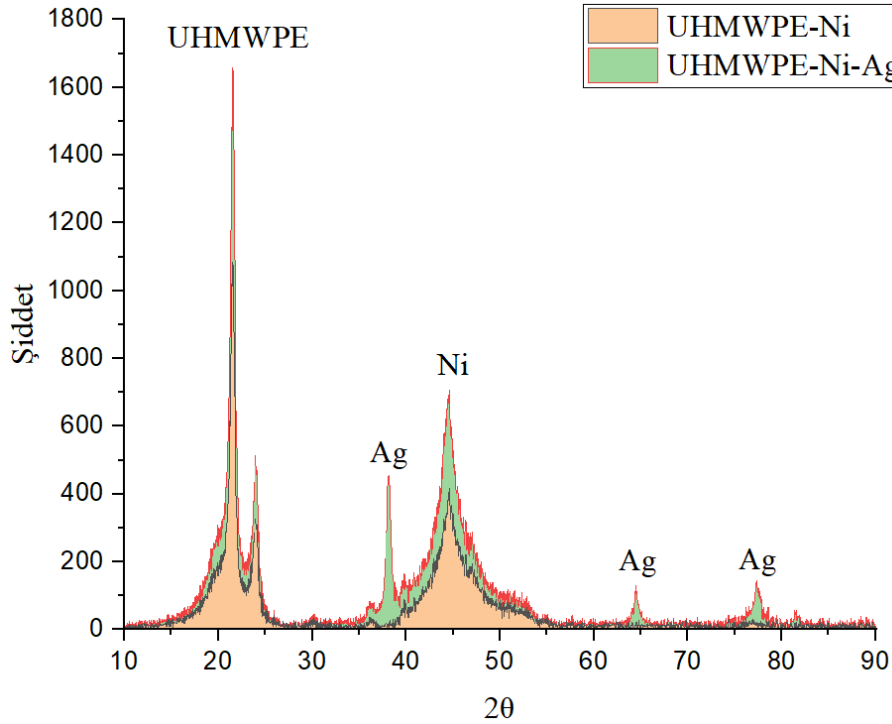
Şekil 6. NanoAg katkılı UHMWPE-Ni kompozit tozunun FESEM görüntüsü.

Ni kaplanmış UHMWPE ve NanoAg katkılı UHMWPE-Ni tozlarının SEM-EDS analizi, Şekil 7'de verilmiştir. EDS analizi, UHMWPE parçacıkları üzerindeki Ni kaplamasının başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir ve Ni ve NAg parçacıklarının tespitini ortaya koymuştur. Kaplama banyosunda bir miktar P elementinin tespiti indirgeme ajanından ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gelmektedir.



Şekil 7. a) Ni kaplanmış UHMWPE tozlarının, b) NanoAg katkılı UHMWPE-Ni tozlarının SEM-EDS analizi.

Ni kaplı UHMWPE ve Ag nanopartikül katkılı UHMWPE-Ni kompozit tozlarının baskın fazları XRD analizi ile gözlenmiştir. XRD analiz sonuçları tozların başarılı bir şekilde Ni kaplandığını ve NanoAg katkılı olduğunu göstermiştir (Şekil 8).



Şekil 8. UHMWPE-Ni ve UHMWPE-Ni-Ag kompozit tozların XRD analizi.

Yansıma ve absorpsiyon kayıpları kullanılarak elde edilen toplam koruma etkinliği sonuçları sırasıyla 8,2–12,4 GHz (X bandı) ve 12,4–18 GHz (Ku bandı) için Tablo 3.'te gösterilmektedir. Buradan hareketle Ni kaplı UHMWPE kompozit malzemenin elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm değerleri 48-57 dB aralığında değişim göstermiştir ve bu değer aralığı temel ticari uygulamalardan başlayıp havacılık alanlarına kadar uzanmaktadır. Ag nanopartikül katkılı Ni kaplı UHMWPE hibrit kompozit malzemenin elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm değerleri 25-34 dB aralığında değişim göstermiştir ve bu değer aralığında yine temel ticari uygulamalar için yeterlidir. UHMWPE-Ni ve UHMWPE-Ni-NAg kompozit malzemelerin elektromanyetik ekranlama etkinlikleri değerlendirildiğinde, Toplam ekranlama etkinliği değeri (SE_T)'nin genel olarak numunelerin dışarıdan gelen elektromanyetik dalgayı azaltmadaki başarısı olarak tanımlandığı dikkate alındığında, UHMWPE-Ni kompozit malzemenin ekranlama etkinliği başarımının UHMWPE-Ni-NAg kompozit malzemeye göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1.). UHMWPE-Ni tozları yüzeylerine Ag nanopartikül sentezinin ekranlama etkinliği üzerine etkisinin mevcut değeri azaltıcı yönde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. UHMWPE-Ni ve UHMWPE-Ni-NAg kompozit malzemelerin elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri 8,2–12,4 GHz (X bandı) ve 12,4–18 GHz (Ku bandı) için Min-Max değerleri.

Numune	(X Bandı) 8,2-12,4 GHz	(Ku Bandı) 12,4-18 GHz
	EMI SE (dB)	EMI SE (dB)
	Min-Max değerleri	Min-Max değerleri
UH-Ni	50-57 dB	48-53 dB
UH-Ni-NAg	25-29 dB	30-34 dB

EMI ekranlama ile ilgili yapılan bu araştırma ve literatürdeki araştırma sonuçlarından bazıları karşılaştırma amacıyla Tablo 2.'te verilmiştir. Tablo 2'e göre metalize polimer kompozit ekranlama malzemeleri üzerinde yapılan çalışma umut verici sonuçlar vermiştir. UHMWPE-Ni tozlarına AgNP'ler ekleyerek elde ettiğimiz hibrit kompozitler, çalışma örneklerinin çoğuna yakın ekranlama göstermiş ve AgNPs katkısının Nikel kaplamaya göre EMI ekranlama değerlerini azaltıcı yönde etkilediği doğrulanmıştır. Söğüt Ö. ve ark. , Katkı malzemesinin miktarına bağlı olarak ekranlama etkinliği değerinin değişebileceğini deneysel verilerle ortaya koymuşlardır [11]. Ayrıca Tablo 2'den yola çıkarak kompozitlerin elde edilme (üretileme) yönteminin de (akımsız kaplama ve katkılama) ekranlama verimini etkilediği söylenebilir.

Tablo 2. Bu çalışma ve literatürdeki bazı EMI koruması çalışma örnekleri.

Referans	Matris	Dolgu	Yöntem	Frekans(GHz)	EMI-SE max (dB)
[12]	Ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE)	GNPs/CNTs	Sıcak Pres	26-37.5	45
[13]	PPy/PDA	AgNW	In situ polimerizasyon yöntemi ve karıştırma işlemi	8.2-12.4	48
[14]	UHMWPE	Graphite-carbon black (CB)	Sıcak pres ile birleştirilmiş yüksek hızlı mekanik karıştırma	8.2-12.4	40
[15]	Epoxy Foam	AgNS	Yardımcı çözücü yöntemi	8.2-12.4	42
[16]	PDMS	graphene	Köpürtücü maddeler kullanılmadan tek adımlı işlem	8.2-12.4	30
[17]	PDDA	AgNW	Mayer-çubuk kaplama yöntemi	8.2-12.4	31.3
[18]	Ground tire rubber (GTR)	UHMWPE/Ni	Akımsız biriktirme işlemi	8.2-12.4	47.3
[19]	Polyvinyl butyral (PVB)	Short-cut carbon fibre (SCF)	Döküm teknolojisi	8.2-12.4	32
[20]	Polydimethylsiloxane (PDMES)	Graphene/AgNW	Sol-jel Yöntemi	8.2-12.4	34.1
Çalışmamız	UHMWPE	Ni and AgNPs	Akımsız kaplama işlemi, nanopartikül sentezi ile karıştırma ve sıcak pres	8.2-18	34

5 Sonuçlar

Mevcut çalışmada, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- (a) UHMWPE partiküllerinin Ni ile metalize edilmesi, akımsız kaplama yöntemini takiben sıcak presleme ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- (b) Ni kaplı UHMWPE kompozit parçacıkların SEM gözlemlerine göre UHMWPE parçacıkları üzerinde nikel parçacıkları birikmeye başlamış ve birbiri üzerine iğne benzeri lameller şeklinde büyüyerek çekirdeklenerek UHMWPE parçacıklarının yüzeyini homojen bir şekilde kaplamıştır.
- (c) Ni kaplı UHMWPE tozları yüzeyine yine benzer yöntem olan akımsız biriktirme ile Ag nanopartikül sentezi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- (d) Ag nanopartikül katkılı UHMWPE-Ni kompozit tozların SEM gözlemlerine göre Ag partikülleri yer yer aglomere olmuş ve aynı zamanda UHMWPE-Ni yüzeyine de dağınık bir şekilde yerleşmiştir.
- (e) Hem Ni kaplı parçacıkların hem de Ag nanopartikül sentezlenmiş tozların EDS analizleri, SEM gözlemlerini doğrulamıştır.
- (f) Ni kaplı UHMWPE tozların ve UHMWPE-Ni yüzeyine Ag nanopartikül katkılı tozların XRD analizi, kaplamalarda istenildiği gibi hakim fazların Ni ve Ag elementleri olduğunu ortaya çıkarmıştır.
- (g) Elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri, Ni kaplı UHMWPE partiküllerine göre hem X hem de Ku-bandı için 45-57 dB aralığında olduğu tespit edildi.
- (h) Bu çalışmada üretilen 45-57 dB EMI-SE performansı gösteren Ni kaplı UHMWPE kompozitler, özellikle havacılık uygulamaları için uygun adaylar olur iken; Ag nanopartikül katkılı UHMWPE-Ni kompozitlerinin elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri hem X hem de Ku-bandı için 25-34 dB aralığında iyi performans ile sınırlı kalmıştır. Bu değer bile çoğu uygulamalarda kullanıma uygun malzeme olarak yeterlidir.

6 Beyanname

6.1 Teşekkür

Yardımlarından yararlandığım, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü bünyesinde Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Altınsoy'a, ve ekranlama etkinliği ölçümlerinde sunduğu cihaz ve altyapı desteği açısından Sakarya Üniversitesi Elektromanyetik Uygulama ve Araştırma Merkezi' ne teşekkür ederim.

6.2 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

6.3 Yazarların Katkıları

1. Ayşe Betül Demir: Araştırmada sonuçlara ulaşmak için gereç ve yöntemlerin planlanması, deneylerin yapılması, verilerin düzenlenmesi ve bildirilmesi için sorumluluk almak, bulguların mantıklı açıklanması ve sunumu için sorumluluk almak, araştırma sırasında literatür taraması ile ilgili sorumluluk

almak, yazının tümü veya asıl bölümün oluşturulması için sorumluluk almak, makaleyi teslim etmeden önce sadece imla ve dil bilgisi açısından değil aynı zamanda entelektüel içerik açısından yeniden çalışma yapmak.

2. Şuayb Çağrı Yener: Sonuçlara ulaşmak için gereç ve yöntemlerin planlanması, ekranlama ölçümlerinin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi, makaleyi teslim etmeden önce sadece imla ve dil bilgisi açısından değil aynı zamanda entelektüel içerik açısından yeniden çalışma yapmak

3. Gözde F. C. Efe: Araştırma ve makale için fikir ya da hipotezin oluşturulması, Sonuçlara ulaşmak için gereç ve yöntemlerin planlanması, makaleyi teslim etmeden önce sadece imla ve dil bilgisi açısından değil aynı zamanda entelektüel içerik açısından yeniden çalışma yapmak.

4. Cuma Bindal: Araştırma ve makale için fikir ya da hipotezin oluşturulması, Sonuçlara ulaşmak için gereç ve yöntemlerin planlanması, makaleyi teslim etmeden önce sadece imla ve dil bilgisi açısından değil aynı zamanda entelektüel içerik açısından yeniden çalışma yapmak.

Kaynakça

- [1] M. Altun, İ. Karteri, M. Güneş, and M. H. Alma, "Comparative Study of Electromagnetic Properties and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Graphene Based Wood-Plastic Nanocomposites," 2017.
- [2] D. D. L. Chung, "Materials for electromagnetic interference shielding," *Mater Chem Phys*, vol. 255, p. 123587, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.MATCHEMPHYS.2020.123587.
- [3] X. Ouyang, W. Huang, E. Cabrera, J. Castro, and L. J. Lee, "Graphene-graphene oxide-graphene hybrid nanopapers with superior mechanical, gas barrier and electrical properties," *AIP Adv*, vol. 5, no. 1, p. 017135, Jan. 2015, doi: 10.1063/1.4906795.
- [4] D. D. L. Chung, "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials," 2001.
- [5] H. Duan, Y. Xu, D. X. Yan, Y. Yang, G. Zhao, and Y. Liu, "Ultrahigh molecular weight polyethylene composites with segregated nickel conductive network for highly efficient electromagnetic interference shielding," *Mater Lett*, vol. 209, pp. 353–356, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.MATLET.2017.08.053.
- [6] S. Lu *et al.*, "Electromagnetic interference shielding properties of graphene/MWCNT hybrid buckypaper," *Micro Nano Lett*, vol. 13, no. 9, pp. 1252–1254, 2018, doi: 10.1049/mnl.2018.5066.
- [7] G. Kılıç , H. G. Örtlek ve Ö. G. Saraçoğlu , "Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillere Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri", *Tekstil ve Mühendis*, c. 15, sayı. 72, ss. , Eyl. 2008
- [8] R. B. Schulz, V. C. Plantz, and D. R. Brush, "Shielding Theory and Practice," *IEEE Trans Electromagn Compat*, vol. 30, no. 3, pp. 187–201, 1988, doi: 10.1109/15.3297.
- [9] C. L. Holloway, D. A. Hill, J. Ladbury, G. Koepke, and R. Garzia, "Shielding effectiveness measurements of materials using nested reverberation chambers," *IEEE Trans Electromagn Compat*, vol. 45, no. 2, pp. 350–356, May 2003, doi: 10.1109/TEMC.2003.809117.
- [10] P. F. Wilson, M. T. Ma, and J. W. Adams, "Techniques for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials: Part I:—Far-Field Source Simulation," *IEEE Trans Electromagn Compat*, vol. 30, no. 3, pp. 239–250, 1988, doi: 10.1109/15.3302.
- [11] Ö. SÖĞÜT, E. A. DOĞAN, and U. HASAR, "Investigation of the Absorption and Reflection Capacities of Some Silver Doped Textile Products," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 15, no. 1, pp. 125–134, Mar. 2022, doi: 10.18185/erzifbed.993770.

- [12] L. Vovchenko, L. Matzui, V. Oliynyk, V. Launets, Ye. Mamunya, and O. Maruzhenko, "Nanocarbon/polyethylene composites with segregated conductive network for electromagnetic interference shielding," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 672, no. 1, pp. 186–198, Sep. 2018, doi: 10.1080/15421406.2018.1555349.
- [13] Y. Wang *et al.*, "Easily fabricated and lightweight PPy/PDA/AgNW composites for excellent electromagnetic interference shielding," *Nanoscale*, vol. 9, no. 46, pp. 18318–18325, Dec. 2017, doi: 10.1039/c7nr05951e.
- [14] C. hua Cui *et al.*, "Towards efficient electromagnetic interference shielding performance for polyethylene composites by structuring segregated carbon black/graphite networks," *Chinese Journal of Polymer Science (English Edition)*, vol. 34, no. 12, pp. 1490–1499, Dec. 2016, doi: 10.1007/s10118-016-1849-6.
- [15] X. Fan *et al.*, "Highly expansive, thermally insulating epoxy/Ag nanosheet composite foam for electromagnetic interference shielding," *Chemical Engineering Journal*, vol. 372, pp. 191–202, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.04.069.
- [16] Z. Chen, C. Xu, C. Ma, W. Ren, and H. M. Cheng, "Lightweight and flexible graphene foam composites for high-performance electromagnetic interference shielding," *Advanced Materials*, vol. 25, no. 9, pp. 1296–1300, Mar. 2013, doi: 10.1002/adma.201204196.
- [17] X. Zhu, J. Xu, F. Qin, Z. Yan, A. Guo, and C. Kan, "Highly efficient and stable transparent electromagnetic interference shielding films based on silver nanowires," *Nanoscale*, vol. 12, no. 27, pp. 14589–14597, Jul. 2020, doi: 10.1039/d0nr03790g.
- [18] A. Sheng *et al.*, "Ground tire rubber composites with hybrid conductive network for efficiency electromagnetic shielding and low reflection," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 30, no. 15, pp. 14669–14678, Aug. 2019, doi: 10.1007/s10854-019-01838-4.
- [19] B. Y. Wen, X. J. Wang, and Y. Zhang, "Ultrathin and anisotropic polyvinyl butyral/Ni-graphite/short-cut carbon fibre film with high electromagnetic shielding performance," *Compos Sci Technol*, vol. 169, pp. 127–134, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.compscitech.2018.11.013.
- [20] Y. Li *et al.*, "Facile fabrication of highly conductive and robust three-dimensional graphene/silver nanowires bicontinuous skeletons for electromagnetic interference shielding silicone rubber nanocomposites," *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 119, pp. 101–110, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.compositesa.2019.01.025.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).