



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Grafen Katkılı Odun-Plastik Nanokompozitlerinin Elektromanyetik Özellikleri ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Karşılaştırmalı Çalışması

Comparative Study of Electromagnetic Properties and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Graphene Based Wood-Plastic Nanocomposites

Mahmut Altun¹, İbrahim Karteri², Mahit Güneş^{1*}, M.Hakkı Alma³

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 46100, Türkiye,

²Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 46300,

³Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 46100, Türkiye,

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mahit GÜNEŞ , gunesmahit@gmail.com

ÖZET

Gelişen teknoloji sonucu elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı artmıştır. Buna bağlı olarak elektromanyetik çevre kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Günümüzde klasik kalkanlama malzemelerinin dezavantajlarından dolayı yüksek performanslı, daha hafif, esnek ve düşük maliyetli olan grafen katkı polimer tabanlı kompozit malzemelerin üretimi tercih edilmesi söz konusudur. Bu çalışmada, esnek, hafif, dirençli ve yüksek performanslı kalkanlama etkinliği gösteren grafen katkı odun-plastik (OPG) nanokompozitleri üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin yapısal ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EKE), yalıtım sabiti, manyetik geçirgenlik gibi elektromanyetik özellikleri 8-9 GHz frekans aralığında analiz edilmiştir. Sonuçlar üretilen polimer bazlı malzemelere çok az miktarda grafen yapıları katıldığında elektromanyetik kalkanlama performansını artırdığını ortaya koymuştur. Dolayısıyla araştırmamız kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama performansının artışı onların elektromanyetik özelliklerine dayandırmıştır. Kısacası iyi birer elektromanyetik kalkanlama malzemesi elde edilmiştir. Diğer nanokompozitlerden daha fazla oranda grafen içeren OPG-4 malzemesi 8-9 GHz frekans aralığında en yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliği sergilemiştir. Sonuç olarak bu çalışmada farklı oranlarda grafen (ağırlıkça % 0-6) içeren odun-plastik nanokompozitlerinin beş farklı kombinasyonu olan OPG-1, OPG-2, OPG-3, OPG-4 üretilmiş olup bunların elektromanyetik kalkanlama etkinliği ve elektromanyetik özellikleri araştırılmıştır. En yüksek kalkanlama etkinliği değeri OPG-4 numunesinde yaklaşık 24 dB olarak sergilenmiştir. Üretilen nanokompozitlerin elektronik koruma ve lazer koruma teknolojisinde yaygın olarak kullanılabilceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği, Grafen, Nanokompozit, Polimer.

ABSTRACT

Electrical and electronic devices have been widely used with the improvement of technology. As a result of this demand, electromagnetic pollution has become one of the most important environmental problems nowadays and in the future. Today, graphene based polymer composites which are high performed, lighter, flexible and low cost have been preferred as shielding material instead of classical shielding structures owing to their disadvantages. This paper presents the comparative study of graphene based wood-polyvinyl chloride (WPG) nanocomposites which have good flexibility, resistivity, light weight, and high performance shielding. In addition to that, electromagnetic interference shielding effectiveness (EMI SE) and electromagnetic properties, such as dielectric permittivity and magnetic permittivity are analyzed in 8-9 GHz frequency band. The results show that little amount of graphene existence in produced polymer composites provides better EMI SE. Therefore, the increase of EMI SE value is attributed to the electromagnetic properties of the nanocomposites. In short, this report determines that good electromagnetic shielding material has been obtained. OPG-4 contains more graphene amount than other composites and exhibited the highest EMI SE value in 8-9 GHz. As a result, four different combinations of wood-polyvinyl chloride-graphene nanocomposites, WPG-1, WPG-2, WPG-3, WPG-4, (with %0-6 wt graphene) have been produced and their electromagnetic shielding effectiveness and electromagnetic properties are investigated in this study. As mentioned before, the highest EMI shielding effectiveness is obtained in WPG-4 as approximately 24 dB. This paper claims that the produced structures can be efficiently handled in electronic protection and laser protection technology.

Keywords: Electromagnetic Shielding Effectiveness, Graphene, Nanocomposite, Polymer.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, insan hayatının birer vazgeçilmez parçası olarak günlük yaşamda çok çeşitli elektrikli aletler ve yüksek frekanslı elektronik cihazlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tudose ve ark., 2015). Bu cihazlara bilgisayarlar, televizyonlar, cep telefonları, mikrodalga fırınlar, ütüler, ses sistemleri, klima, fotokopi makineleri, otomobiller, uçaklar, transformatörler,

kontrol sistemleri, baz istasyonları, telekomünikasyon ağları, yüksek gerilim hatları, radyo ve televizyon vericileri, tıbbi cihazlar, uydu sistemleri, askeri savunma sistemleri, radarlar örnek gösterilebilir (Yılmaz, 2014; Gedler ve ark., 2016). Bu sistemler karmaşık devrelere sahiptir ve dolayısıyla elektromanyetik dalga yayarak elektromanyetik girişime (EMG) neden olurlar ki bu da cihazların performansını etkiler ve bazen tüm çalışma sistemi çökebilir (Eswaraiah, 2010). Bu nedenle elektromanyetik kirliliğin önlenmesi yani cihazların elektromanyetik uyumluluk içinde çalışması ve insan, hayvan ve bitki sağlığına zararlarının ortadan kaldırılması için elektromanyetik ekranlamaya ciddi olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Buna bağlı olarak biraz önce bahsettiğimiz sistemlerin elektrik enerjisini çevresiyle etkileşime girmeden verimli olarak kullanması, iletmesi ve faaliyetini sürdürmesi amaçlanır. Bu talebin karşılanması ise ekranlama malzemelerinin emme ve yansıtma yoluyla elektromanyetik dalgaların olumsuz etkilerini en aza indirmesi ile gerçekleştirilmektedir (Yesmin ve ark., 2016; Kim ve ark., 2012).

Elektromanyetik kirliliği azaltmak amacıyla elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında çeşitli metal esaslı kompozitler kullanılmıştır. Fakat metaller ağır olması, çevresel kararlılığının düşük olması, esnek bir yapısının olmaması, paslanabilmesi, uygulanabilirlik ve işlenebilirlik açısından üretim aşamasında elverişli olmaması gibi önemli sorunları beraberinde getirmekteydi (Mondal ve ark., 2017; Chen ve ark., 2015; Liu ve ark., 2014; Li ve ark., 2006). Bu yüzden son zamanlarda bilim dünyası yeni elektromanyetik kalkanlama malzemelerine yönelmiştir ve kompozitler üzerine yapılan çalışmalar ilgi odağı olmaya başlamıştır. İletken nanokompozitler özellikle GHz bandında elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında hızla popüler olmuştur. Nanokompozitlerin kalkanlamada yaygın olarak kullanılmasının sebepleri metallere kıyasla hafif olması, esnek yapıda olması, paslanma ve aşınma probleminin olmaması, işlenebilirlik ve uygulanabilirliğinin kolay olması gibi kayda değer avantajlarıyla sıralanabilir (Al-Ghamdi ve ark., 2016; Hsiao ve ark., 2014; Hsiao ve ark., 2013). Örnek olarak, karbon esaslı dolgu maddeleri (Al-Saleh ve ark., 2013; Nayak ve ark., 2014) (grafit, siyah karbon karası, karbonfiber, karbon nanofiber) içeren polimer kompozitler yüksek frekans bandında elektromanyetik kalkanlama malzemesi olarak kullanılmış ve elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği gibi nicelikleri incelenmiştir (Das ve ark., 2001). Son zamanlarda karbon esaslı malzemeler test edilmiştir özellikle de grafen esaslı kompozit yapılar kalkanlama çalışmalarında belirgin bir önem kazanmıştır.

Grafen, karbonun allotropu olan karbon atomlarının sp^2 melezleşmesi ürünüdür. Grafen çelikten çok daha güçlü ve iyi bir iletken olmasıyla çok iyi mekanik ve elektronik özelliklere sahiptir. 2004 yılında Geim ve Novoselov tarafından keşfedilmesiyle birlikte dikkatleri üzerine çekerek bilim dünyasının araştırma konusu olmuştur (Allen ve ark., 2009; Geim ve ark., 2007). Yapısındaki grafen artışına bağlı olarak polimer bir malzeme iletkenlik, esneklik ve kalkanlama malzemesi olarak iyi bir yetenek kazanır. Bu yüzden grafen iyi bir elektromanyetik kalkanlama malzemesinin vazgeçilmez yapı maddesidir (Verma ve ark., 2015). Son zamanlardaki birçok çalışmada elektromanyetik kalkanlama malzemesi olarak polimer kompozitler incelenmiştir. Bunlara örnek olarak bir çalışmada yüksek yapılı karbon karası (YY-KK)/polipropilen (high structure carbon black/ polypropylene) polimer kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama mekanizması analiz edilmiştir (Al-Saleh ve ark., 2013). Bir başka çalışmada 1 adımlı köpüklü polikarbonat/grafen nanokompozitlerinin gelişmiş elektromanyetik kalkanlama etkinliği araştırılmıştır. Sima ve arkadaşları ise biyolojik olarak parçalanabilen grafen esaslı nanokompozitlerin yalıtkanlık özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliğini araştırmışlardır (Kashi ve ark., 2016).

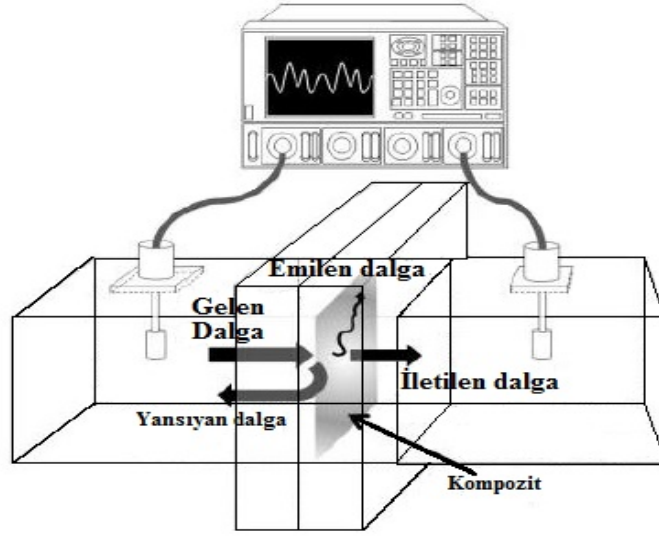
Bu çalışmada ağırlıkça % 0-6 oranda grafen içeren odun-plastik-grafen (OPG) kompozitlerinin 8-9 GHz frekans bandında elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri incelenmiştir ve kalkanlamanın emilme ve yansıma mekanizmalarındaki gelişimi ortaya konulmuştur. Teorik hesaplamamız ve analizlerimiz kompozitteki grafen artışının kompozitin daha yüksek performanslı elektromanyetik kalkanlama etkinliği sağladığını sergilemiştir. Elektromanyetik kalkanlamanın artışı kompozitin elektromanyetik özelliklerinin iyileşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Yani grafen sayesinde elektromanyetik özelliği artan OPG numunelerimiz yüksek kalkanlama etkinliği değerlerine ulaşmıştır. Özetle, çalışmamız iyi birer elektromanyetik kalkanlama malzemesi ürettiğimizi ortaya koymuştur. Ağırlıkça % 0 grafen içeren OPG-1 kompoziti yaklaşık olarak 3 dB ekranlama etkinliği değerine sahipken % 6 grafen bulunduran OPG-4 kompoziti en yüksek değeri yaklaşık 24 dB kalkanlama etkinliğine ulaşmıştır. Buradan çıkarılacak sonuç OPG kompozitlerinin elektromanyetik radyasyonun önlenmesi için iyi bir kalkanlama malzemesi olduğudur. Son olarak üretilen OPG kompozitleri uygun formlara getirilerek elektronik koruma teknolojilerinde ve batarya teknolojisinde, grafen yapılı sensör, transistör ve diğer elektronik elemanların üretiminde, giyim sektöründe, bina yapı malzemelerinde, uçak kanat ve gövde elemanlarında, medikal cihaz ve teknolojilerinde, akıllı telefonun bütün parçalarında ve ev uygulamalarında kullanılabilecektir.

2. MATERYAL ve METOD

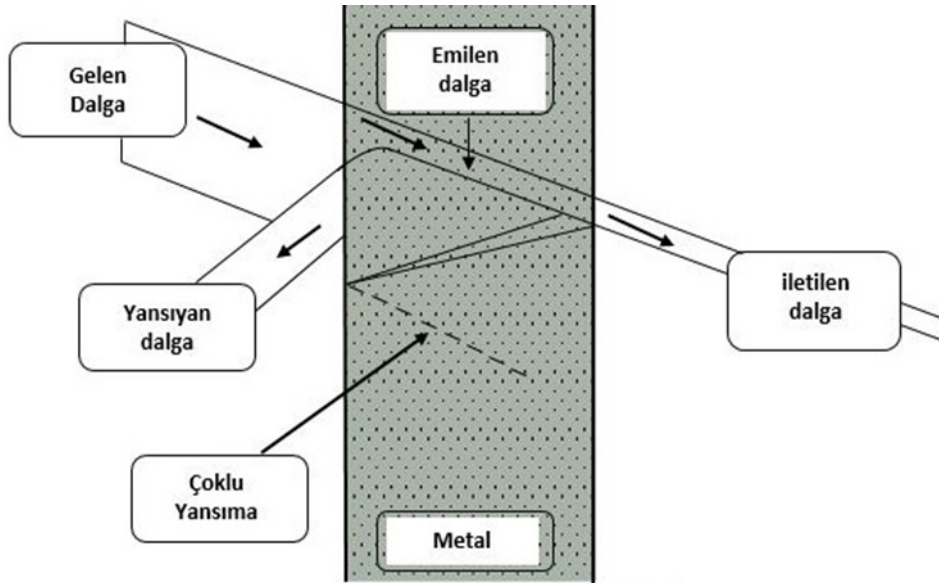
Çalışmamızdaki nanokompozit malzemenin yapısında biyolojik kaynak olarak Türkiyede yetişen çam odunu tozu (Türk çamı- Pinus sylvestris L.) kullanılmıştır. Kullanılan bu Türk çam odununun boyutu yaklaşık olarak 400-420 μm dir. Malzemenin yapısına katılan PVC (Polivinil klorid-K değeri 66) "Petkim Holding" şirketinden satın alınmıştır. Ayrıca çalışmamızda kullandığımız nanomalzeme grafen nanoplatelet tozlarıdır ve %99 dan fazla saflıkta, 150 m^2/g yüzey alan ve 5-8 nm kalınlığındadır. Bu grafen nanomalzemesi Graf Nano Teknolojik Malzemeler Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.(Kahramanmaraş/Türkiye) tarafından sağlanmıştır. İlk olarak kompozitler (OPG) ağırlıkça PVC-% 5 odun - % x grafen olmak üzere (x : 0, 1.5, 3, 6) plastik, odun, grafen ve diğer bazı ihtiyaç duyulan katkı maddeleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu 4 farklı OPG kompozitlerin çift vidalı presleyici kullanılarak topaklar halinde üretimi yapılmıştır. OPG topaklarına sıcak pres yapılırken $22.8 \times 10.2 \times 2$ mm ölçülere sahip Carver marka cihaz kullanılmıştır. OPG kompozitleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) bünyesindeki Teknokent te bulunan test ve analiz cihazlarından biri olan elektron mikroskobu tarayıcısı

(SEM-Zeiss EVO 10LS) vasıtasıyla incelenmiştir. PVC- % 5 odun - % x grafen (OPG) kompozitlerinin saçılma parametrelerinin (S parametreleri) ölçümleri 8-9 GHz frekans bandında WR-90 dalga kılavuzu olan Vektör Şebeke Analizörü ile alınmıştır.

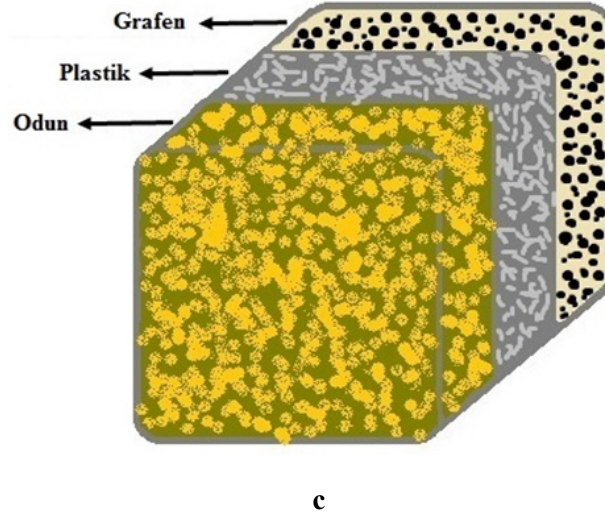
Ayrıca OPG kompozitlerinin her birinin yalıtkanlık sabiti ve manyetik geçirgenlik özellikleri analiz edilmiştir. S11 ve S22 parametreleri yansıma katsayısını, S12 ve S21 parametreleri ise iletim katsayısını ifade eder. Çalışmada kullanılan OPG kompozitlerine ait numunelerin (22.8×10.2) kalınlığı 2 mm dir. Aşağıda şekil 1a da bir malzemenin elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçüm düzeneğine ait bir örnek şematik olarak gösterilmiştir (Kim ve ark., 2012). Şekil 1b de elektromanyetik kalkanlama mekanizması şematize edilmiştir (Zhao ve ark., 2016). Şekil 1c de ise OPG kompoziti 3 ayrı bileşen olarak şematize edilmiştir.



a



b



Şekil 1 a. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Ölçüm Düzeneği b. Elektromanyetik Kalkanlama Mekanizması
c. OPG Nanokompozitlerinin Şematik Gösterimi

3. TARTIŞMA VE BULGULAR

Elektromanyetik girişime karşı toplam kalkanlama etkinliği (KE_{toplaml}) malzemenin elektromanyetik dalgayı zayıflatma başarısını gösterir ve desibel (dB) olarak ölçülür. Bu değer elektromanyetik uyumluluk için önem arz etmektedir ve KE_{toplaml} , gelen dalga gücünün (P_g) iletilen dalga gücüne (P_i) oranı ile denklem (1) deki ifade ile hesaplanır (Kim ve ark., 2012; Modak ve ark., 2015). Kalkanlamada 3 tür kayıptan bahsederiz ve bunlar :

KE_Y : Yansıma kayıpları
 KE_E : Emilme kayıpları (yutulma)
 KE_C : Çoklu yansıma kayıpları

$$KE_{\text{total}} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_t} \right) \quad (1)$$

Toplam kalkanlama etkinliği KE_{toplaml} , yansıyan KE_Y , emilen KE_E ve çoklu yansımalar KE_C nin toplamı ile de denklem (2) de olduğu gibi hesaplanabilir ve KE_C değeri çok küçük olma durumuna göre ihmal edilebilir.

$$KE_{\text{toplaml}} = KE_E + KE_Y + KE_C \text{ veya} \quad (2)$$

$$KE_{\text{toplaml}} = KE_E + KE_Y$$

DeneySEL ortamda elde edilen sonuçlara baktığımızda ölçümler doğrudan yansıma katsayısı (S_{11}) ve iletim katsayısı (S_{21}) güç ifadelerini sağlamakta olup sırasıyla yansıtılan güç (Y) ve İletilen güç (İ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Y = |S_{11}|^2 = |S_{22}|^2 \quad (3)$$

$$İ = |S_{12}|^2 = |S_{21}|^2 \quad (4)$$

$|S_{11}|^2$ ve $|S_{22}|^2$ parametreleri aynı değere sahiptir ve ikisi de yansıyan dalganın gücünü temsil etmektedir yani yansıma katsayısını temsil etmektedir. $|S_{12}|^2$ ve $|S_{21}|^2$ ifadeleri de iletilen dalganın gücünü göstermektedir bu da iletim katsayısıdır. Genel olarak baktığımızda S_{mn} parametresi kalkanlama malzemesi üzerinde ne kadar enerji transferinin gerçekleştiğinin bir ölçüsüdür. “m” kalkanlama etkinliği ölçüm cihazının elektromanyetik radyasyonun (elektromanyetik dalga) alındığı giriş ucudur. “n” ise gelen elektromanyetik dalganın iletildiği çıkış ucudur. Ölçüm düzeneğinin sağladığı çıkış değerleri S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} parametreleridir. Bu parametreler sayesinde toplam ekranlama etkinliği KE_{toplaml} , emilme-yutulma kayıpları KE_E ve yansıma kayıpları KE_Y analiz edilmektedir.

Burada yansıma ve emilme-yutulmadan kaynaklanan elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri denklem (5) ve denklem (6) da görüldüğü üzere hesaplanabilir.

$$KE_Y = -10\log(1-|S_{11}|^2) \quad (5)$$

$$KE_E = 10\log\left(\frac{1-|S_{11}|^2}{|S_{12}|^2}\right) \quad (6)$$

Şekil 1b de basit bir elektromanyetik kalkanlama etkinliği mekanizması şematize edilmiştir. Buradaki mantık gelen elektromanyetik dalganın bir kısmının metal iletken ile yansıtılmasıdır. Metal tarafından yansıtılmayan elektromanyetik dalgaların bir kısmı metal tabakadan içeri girebilecektir. Metal sayesinde zayıflatılan sinyal burada üretmiş olduğumuz polimer kompozit malzeme tarafından bir emilime uğrayacaktır. Gelen sinyalden yansıma ve emilme aşamalarını geçebilen elektromanyetik dalgalar olduğunda bu iletilen dalgadır ve kalkanlama mekanizmasını geçebilmiştir. Ayrıca gelen dalga 2 metal tabaka arasında çoklu yansımalara uğrayacaktır fakat bu çalışmada yansıma ve emilme kayıplarına kıyasla çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.

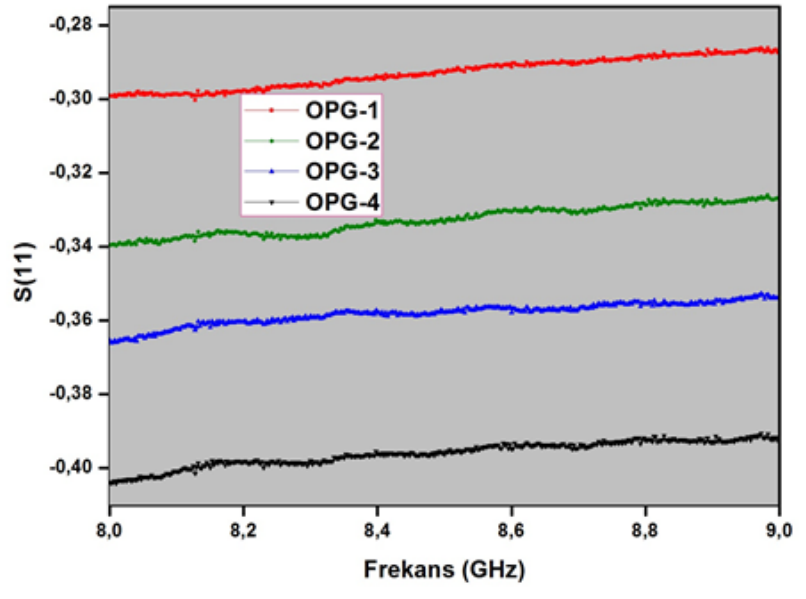
OPG kompozitlerinin 8 GHz deki yalıtkanlık sabiti (ϵ), manyetik geçirgenlik (μ), yansıma katsayısı (S_{11}), iletim katsayısı (S_{21}), emilme kalkanlama etkinliği (KE_E), yansıma kalkanlama etkinliği (KE_Y) ve toplam kalkanlama etkinliği (KE_{toplam}) değerleri tablo 1 de gösterilmektedir. Tablo 1 i incelediğimizde KE_Y değerlerinin KE_E değerlerinden çok küçük olduğu görülmektedir ki bu da elektromanyetik kalkanlama başarısında belirgin rolün emilme mekanizmasına ait olduğuna kanıtlar. Sırasıyla kompozitlerdeki grafenin ağırlıkça oranı % 0 OPG-1 de, % 1.5 OPG-2 de, % 3 OPG-3 te ve son olarak % 6 oranda OPG-4 tedir.

Tablo 1. Nanokompozitlerin 8 GHz deki Elektromanyetik Parametre Değerleri

Kompozit	ϵ (F/m)	μ (H/m)	S_{11}	S_{12}	KE_Y (dB)	KE_E (dB)	KE_{toplam} (dB)
OPG-1	2,957	0,909	-0,2989	0,6571	0,4066	3,2397	3,6463
OPG-2	3,105	0,959	-0,3395	0,1565	0,5319	15,5725	16,1045
OPG-3	3,158	0,969	-0,3655	0,1212	0,6228	17,7049	18,3277
OPG-4	3,313	0,995	-0,3961	0,0692	0,7729	22,4213	23,1942

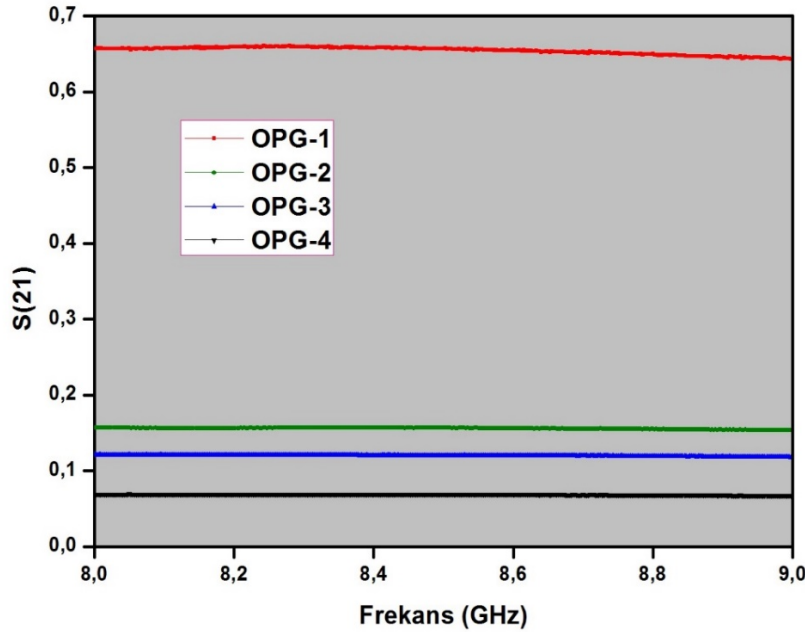
Elektromanyetik kalkanlama başarısının artması kompozitlerinin elektromanyetik özelliklerinin iyileşmesine bağlı olduğu görülmektedir. OPG-1 in yalıtkanlık sabiti $\epsilon = 2,957$ F/m ve manyetik geçirgenliği $\mu = 0,909$ H/m iken toplam elektromanyetik kalkanlama etkinliği $KE_{toplam} = 3,6463$ dB dir ; bunun yanında OPG-4 ün yalıtkanlık sabiti $\epsilon = 3,313$ F/m ve $\mu = 0,995$ H/m iken toplam elektromanyetik kalkanlama etkinliği $KE_{toplam} = 23,1942$ dB olmaktadır. Bu performansın artışı OPG nanokompozitlerinin grafen oranının yüksekliğine bağlıdır. Tablodan sırasıyla diğer OPG nanokompozitleri arasındaki elektromanyetik özelliğin artışına bağlı olarak yansıma başarısı, emilme başarısı ve toplam elektromanyetik kalkanlama (KE_Y , KE_E , KE_{toplam}) başarısının arttığı gözlemlenebilmektedir. Yine aynı yoruma şekil 2 ve şekil 3 ile ilgili sonuçlarda bahsettiğimiz gibi tabloda da S_{11} ve S_{21} katsayılarının azalmasına bağlı olarak kalkanlama performansının arttığı şeklinde varabiliriz. Son olarak tabloda KE_Y değerlerinin KE_E den çok düşük olduğu ve KE_E nin KE_{toplam} a oldukça yakın değerler olduğu sergilenmiştir ve buradan anlaşılacak olan da yansıma mekanizmasındaki başarıya kıyasla kalkanlama başarısının yüksek oranda emilme mekanizmasında olduğudur. Bu çalışmamız ürettiğimiz malzemenin emilme potansiyeli yüksek olan bir nanokompozit olmasıyla ilişkilendirilmiştir ve sonuçlar da bu ilişkiyi ispatlar niteliktedir.

Şekil 2 de görüldüğü üzere , kompozitlerin yansıma güç parametre değerleri (S_{11}) 8-9 GHz frekans band aralığında karşılaştırılmıştır. En yüksek S_{11} değeri grafen oranı % 0 olan OPG-1 nanokompozitinde sergilenmiştir. Bu değer yaklaşık olarak -0.3 olarak görülmüştür. S_{11} değerinin düşük olması kompozitteki grafen oranının artması anlamına gelmektedir. Bu sebeple en düşük S_{11} değeri ağırlıkça % 6 grafen içeren OPG-4 nanokompozitinde yaklaşık olarak -0.4 olarak ölçülmüştür. Buradan S_{11} değerinin azalması nanokompozitteki grafen oranının artmasıyla yansıma kayıplarının artması sonucu çıkarılmaktadır yani yansıma mekanizması kalkanlama etkinliğinin artması demektir.



Şekil 2. OPG Nanokompozitlerinin 8-9 GHz deki Ölçülen S_{11} Değerleri

OPG nanokompozitlerinin emilme güç parametre (S_{21}) değerleri (iletim katsayısı) 8-9 GHz frekans bandında şekil 3 te gösterilmiştir. En yüksek S_{21} değeri diğer nanokompozitlere kıyasla % 0 grafen içeren OPG-1 nanokompozitinde ölçülmüştür. Diğer taraftan en düşük değer S_{21} değeri ise grafen oranı % 6 olan OPG-4 te ölçülmüştür. Burada S_{11} ve S_{21} değerleri azaldıkça elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri artacaktır ki kompozitler arasında en yüksek kalkanlama performansı OPG-4 nanokompozitinde sergilenecektir.

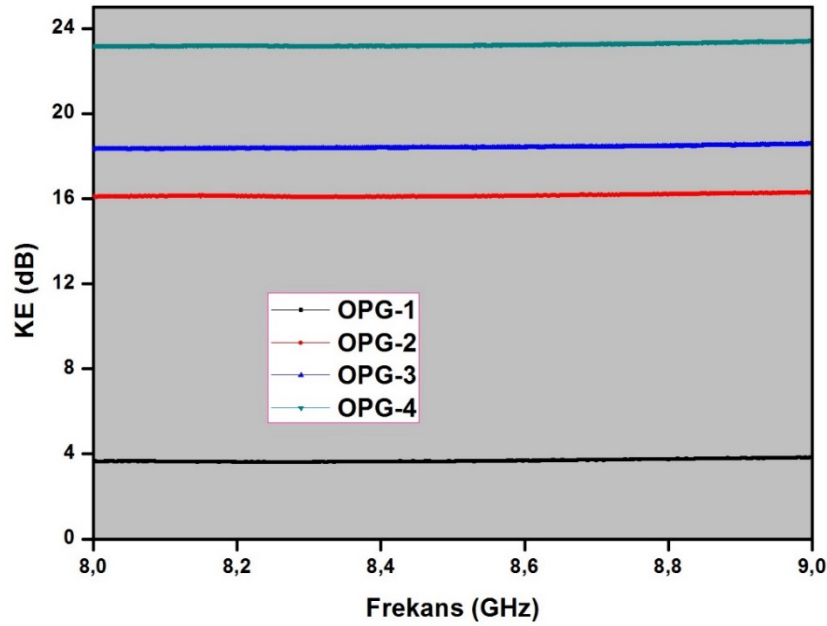


Şekil 3. OPG Nanokompozitlerinin 8-9 GHz deki S_{21} Değerleri

Tekrar hatırlatmak gerekirse, S_{11} ve S_{21} değerleri elektromanyetik kalkanlama etkinliği cihazının sağladığı nanokompozitlere ait kalkanlama performans katsayılarıdır.

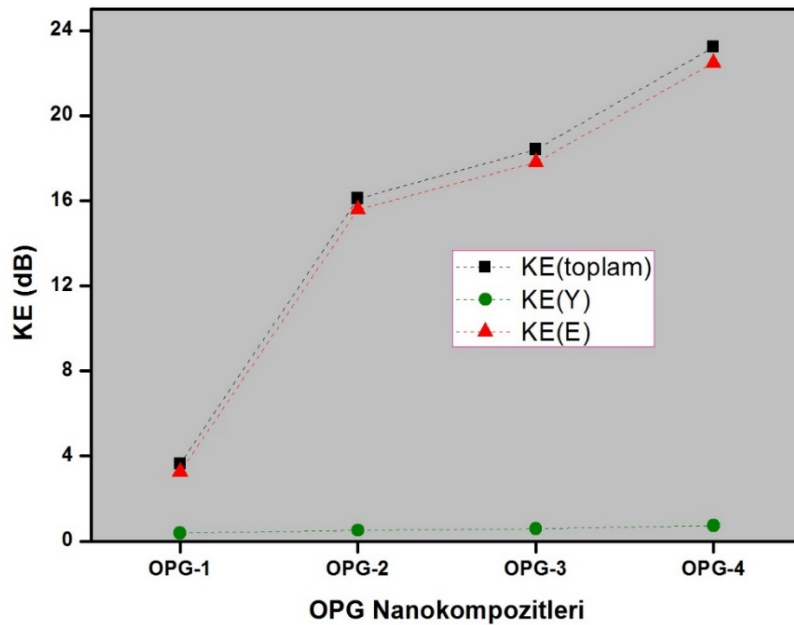
EKE ölçüm cihazından elde edilen S_{11} ve S_{21} katsayıları kullanılarak her bir OPG nanokompozitine ait toplam elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri 8-9 GHz frekans band aralığında şekil 4 te karşılaştırılmıştır. İlk olarak denklem (3) ve denklem (4) te yansıtılan güç (Y) ve iletilen güç (I) sırasıyla hesaplanmıştır. Sonrasında yansıtılan dalganın kalkanlama etkinliği KE_Y ve emilen dalganın kalkanlama etkinliği KE_E sırasıyla denklem (5) ve denklem (6) daki ifadelerle hesaplanmıştır.

Son olarak nanokompozitlerin herbiri için KE_{toplam} değerleri denklem (2) deki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. OPG-1 ağırlıkça % 0 grafen oranına sahiptir. OPG-2 % 1.5 grafen, OPG-2 % 3 grafen, OPG-3 % 6 grafen içermektedir.



Şekil 4. OPG Nanokompozitlerinin Toplam EKE Değerleri

Şekil 5 te ise örnek olarak 8.5 GHz deki KE_E , KE_Y ve KE_{toplam} değerleri karşılaştırılmıştır. Bu grafikten kalkanlamamın yüksek oranda emilme-yutulma mekanizmasında gerçekleştiğini anlayabiliriz. Çünkü KE_E değeri KE_{toplam} değerine çok yakındır ve benzer bir yörünge izlediği görülmektedir. Spesifik örnek olarak verecek olursak şekil 4 e göre OPG-3 ün 8 GHz, 8.5 GHz ve 9 GHz deki değerleri sırasıyla, OPG-3 8 GHz için 17.70 dB KE_E değeri, 0.62 dB KE_Y ve 18.32 dB KE_{toplam} değerlerine sahiptir, aynı şekilde OPG-3 8.5 GHz için , 17.80 dB KE_E , 0.59 dB KE_Y ve 18.40 dB KE_{toplam} değerlerine ve 9 GHz için 17.97 dB KE_E , 0.58 dB KE_Y ve 18.56 dB KE_{toplam} değerlerine sahiptir. Yine aynı şekilde şekil 5 e bakıldığında diğer nanokompozitlerin de yörünge ve KE değerleri incelenebilir ve aynı yorum çıkarılır.

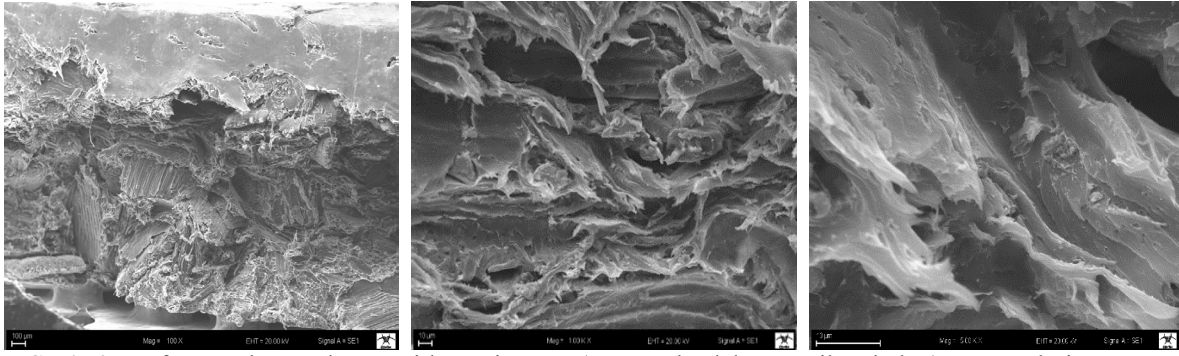


Şekil 5. 8.5 GHz deki Toplam EKE Değeri, Yansıma Kalkanlama Etkinliği Değeri ve Emilme Kalkanlama Etkinliği Değerinin Karşılaştırılması

Sonuç olarak elektromanyetik dalga OPG nanokompozitleri tarafından emilimle karşılaşır ve kaydadeğer bir zayıflamaya uğrarlar ve onları yüksek oranda geçemezler.

Bu nedenle, elektromanyetik kalkanlama başarısının yüksek oranda emilme mekanizmasında gerçekleştiği ve grafen sayesinde OPG nanokompozitlerinin elektromanyetik kalkanlama yeteneği kazandığı sonucuna varabiliriz. Sonuç olarak bu çalışma OPG nanokompozitlerinin iyi bir elektromanyetik kalkanlama malzemesi olduğunu ortaya koymuştur. Bir çalışmada grafen nanokompozitleri incelenmiştir ve % 0-15 aralığında grafen içermektedir. Bu nanokompozitlere bakıldığında kalkanlama etkinliği 0 ile 16 dB arası bir değer sergileyerek çalışmamızdaki sonuçları desteklemiştir yani grafen artışına bağlı olarak kalkanlama performansını artırdığını ortaya koymuştur (Kashi ve ark., 2016). En yüksek elektromanyetik kalkanlama değeri ağırlıkça % 15 oranda grafen içeren kompozitte 15.5 dB olarak elde edilmiştir. Bu çalışmaya kıyasla bizim üretmiş olduğumuz kompozitlerden OPG-2 % 1.5 grafen oranıyla 0.4918 dB yansıma ve 15.80 dB emilme ile 16.29 dB toplam kalkanlama etkinliği değerine ulaşmıştır. Bir başka araştırma grafen/Fe₃O₄ kompozitlerini incelemiştir ve ağırlıkça % 10 grafen içeriğiyle en yüksek 18.2 dB KE_{toplam} değeri sağlamıştır. Bu bilgiye ek olarak, bu çalışmada da görüleceği üzere kalkanlamanın çoğunluğunun emilme mekanizmasında gerçekleşmiştir ve KE_y ile KE_{toplam} benzer yörünge izlemiştir (Shen ve ark., 2013). Fe₃O₄/RGO/polianilin kompozitleri üzerine araştırma yapan Singh ve arkadaşları ise 26 dB elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri elde etmişlerdir (Singh ve ark., 2013). Çalışmamızdaki bu değer % 6 oranda grafen içeren OPG-4 nanokompoziti ile yaklaşık olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak grafen esaslı polimer yapıdaki kompozit malzemeler kaydeder bir elektromanyetik kalkanlama performansına sahip olduklarını kanıtlamıştır. Bu çalışma OPG nanokompozitlerin EKE değerlerini raporlamıştır ve onların birer iyi kalkanlama malzemesi olduğunu sonuçlarıyla birlikte destekleyerek uygulama alanlarından bahsetmiştir ve mühendislik bilimi literatürüne ve elektronik teknolojisine katkılarını ortaya koymuştur.

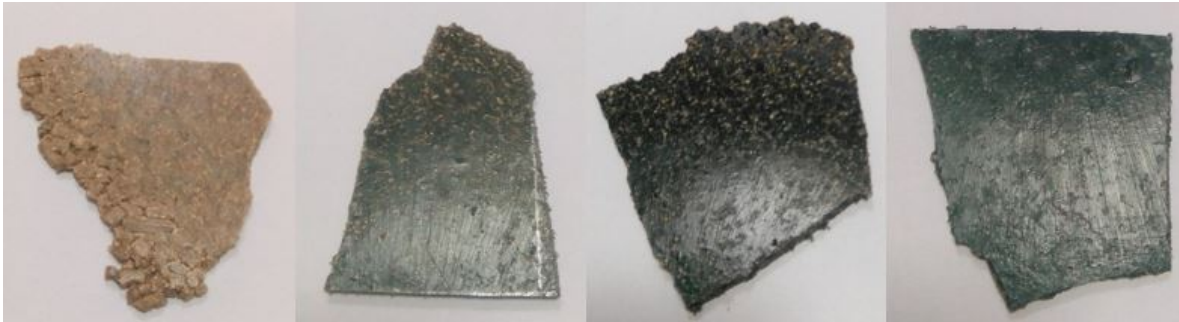
Üretilen grafen yapılarının morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile incelenmiş ve desteklenmiştir. Şekil 6 da ürettiğimiz nanokompozitlere ait TEM görüntüleri mevcuttur.



Şekil 6. Grafen Esaslı Nanokompozitlere Ait TEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri.

Sonuçlar göstermiştir ki nanokompozitlerin yapısındaki grafen düşük oranda olsa dahi, nanokompozitlerde homojen bir görüntü oluşturmuştur ve odun-plastik içinde iyi bir dağılıma sahip olup istikrarlı bir yapı sergilemiştir.

Şekil 7 deki görüntüler üretmiş olduğumuz kompozitlerin kamera kullanılarak fotoğraflanmış halleridir. Görüldüğü gibi odun plastik ve grafen iyi bir form oluşturarak malzeme halini almıştır. Üretilen OPG malzemesi elektronik teknolojisinde girişte bahsettiğimiz bütün uygulamalarda yerini alabilecektir.



Şekil 7. OPG Kompozitleri Kamera Görüntüleri

4. SONUÇ

Kompozitin yapısına katılan grafen miktarı arttıkça elektromanyetik özellikler (yalıtkanlık sabiti ve manyetik geçirgenlik) artmaktadır. Ayrıca elektromanyetik kirliliği önlemek ve elektromanyetik uyumluluğu sağlamak üzere yapılan çalışmamızda grafen artışı kompozit malzemenin daha yüksek elektromanyetik kalkanlama performansına ulaşmasını sağlamıştır. Bu başarı OPG polimer kompozitleri ile elde edilmiştir. En yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri ağırlıkça % 6 grafen içeren OPG-4 kompozitinde yaklaşık 24 dB olarak elde edilmiştir. Bu çalışma odun-plastik-grafen (OPG) kompozitlerinin iyi bir elektromanyetik kalkanlama malzemesi olduğunu ve elektronik koruma teknolojisinin ve elektronik malzeme üretimi için birçok uygulamada yerini alabileceğini ortaya koymuştur.

Teşekkür Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından ve finansal desteklerinden dolayı Graf Nano Teknolojik Malzemeler Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (Şirket kurucusu ve Sahibi: İ.Karteri) ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (Proje No: 2016/6-19 YLS) ne teşekkürlerimizi bildiririz.

5. KAYNAKLAR

- Al-Ghamdi, AA., Al-Ghamdi, AA., Al-Turki, Y., Yakuphanoglu, F., El-Tantawy, F. (2016). Electromagnetic Shielding Properties of Graphene/Acrylonitrile Butadiene Rubber Nanocomposites for Portable and Flexible Electronic Devices, *Compos Part B*;88:212e9.
- Allen, M. J., Tung, V. C., Kaner, R. B. (2009). Honeycomb Carbon: a Review of Graphene, *Chemical Reviews*, 110(1),132–145.
- Al-Saleh, M.H., Sundararaj, U. (2013). X-band EMI Shielding Mechanisms and Shielding Effectiveness of High Structure Carbon Black/Polypropylene Composites, *J. Phys. D* 46, 35304.
- Chen, Y-J., Li, Y., Chu, BTT., Kuo, IT., Yip, M., Tai, N. (2015). Porous Composites Coated with Hybrid Nano Carbon Materials Perform Excellent Electromagnetic Interference Shielding, *Compos Part B*; 70:231e7.
- Das, N.C., Chaki, T.K., Khastgir, D., Chakraborty, A. (2001). Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Ethylene Vinyl Acetate Based Conductive Composites Containing Carbon Fillers, *J. Appl. Polym. Sci.* 80, 1601–1608.
- Eswaraiah V., Sankaranarayanan V., Mishra A.K., Ramaprabhu S. (2010). Electromagnetic Interference (EMI) Shielding of Carbon Nanostructured Films, *International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE)*.
- Gedler, G., Antunes, M., Velasco, J.I., Ozisik, R. Enhanced Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Polycarbonate/Graphene Nanocomposites Foamed via 1-step Supercritical Carbon Dioxide Process. *Materials and Design* 90 (2016) 906–914.
- Geim, A. K., Novoselov, K. S. (2007). The Rise of Graphene, *Nature Materials*, 6(3), 183–191.
- Hsiao, S.-T., Ma, C.-C. M., Liao, W.-H., Wang, Y.-S., Li, S.-M., Huang, Y.-C., Yang, R.-B., Liang, W.-F. (2014). Lightweight and Flexible Reduced Graphene Oxide/Water-Borne Polyurethane Composites with High Electrical Conductivity and Excellent Electromagnetic Interference Shielding Performance, *ACS Appl. Mater.* 6, 10667–10678.
- Hsiao, S.-T., Ma, C.-C.M., Tien, H.-W., Liao, W.-H., Wang, Y.-S., Li, S.-M. (2013). Using a Non-Covalent Modification to Prepare a High Electromagnetic Interference Shielding Performance Graphene Nanosheet/Water-Borne Polyurethane Composite, *Carbon*; 60:57e66.
- I.V. Tudose, M.S., Tzagkarakis, G., Kenanakis, G., Katharakis, M., Drakakis, E., Koudoumas, E. (2015). Nanostructured Composite Layers for Electromagnetic Shielding in the GHz Frequency Range, *Applied Surface Science* 352, 151–154.
- Kashi, S., Gupta, R. K., Baum, T., Kao, N., Bhattacharya, S. N. (2016). Dielectric Properties and Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Graphene-Based Biodegradable Nanocomposites, *Materials and Design* 109, 68–78.
- Kashi, S., Gupta, R.K., Baum, T., Kao, N., Bhattacharya, S.N. (2016). Morphology, Electromagnetic Properties and Electromagnetic Interference Shielding Performance of Poly Lactide/Graphene Nanoplatelet Nanocomposites, *Mater. Des.* 95, 119–126.
- Kim, K., Koo, K., Hong, S., Kim, J., Cho, B., Kim, J. (2012). Graphene-based EMI Shielding for Vertical Noise Coupling Reduction in 3D Mixed-Signal System, *978-1-4673-2538-7/12/\$31.00, IEEE*.
- Li, N, Huang, Y., Du, F., He, X., Lin, X., Gao, H. (2006). Electromagnetic Interference (EMI) Shielding of Single-Walled Carbon Nanotube Epoxy Composites, *Nano Lett*; 6(6):1141e5.
- Liu, Y., Song, D., Wu, C., Leng, J. (2014). EMI Shielding Performance of Nanocomposites with MWCNTs, Nanosized Fe₃O₄ and Fe, *Compos Part B*; 63:34e40.
- Modak, P., Kondawar, S.B., Nandanwar, D.V. (2015). Synthesis and Characterization of Conducting Polyaniline/Graphene Nanocomposites for Electromagnetic Interference Shielding, *Proced. Mater. Sci.* 10, 588–594.
- Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., Das, N. C. (2017) Low Percolation Threshold and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Nano-Structured Carbon Based Ethylene Methyl Acrylate Nanocomposites, *Composites Part B* 119-41e56.
- Nayak, L., Chaki, T.K., Khastgir, D. (2014) . Electrical Percolation Behavior and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Polyimide Nanocomposites Filled with Carbon Nanofibers, *J. Appl. Polym. Sci.* 131, 1–12.

- Shen, B., Zhai, W., Tao, M., Ling, J., Zheng, W. (2013). Lightweight, Multifunctional Polyetherimide/Graphene@Fe₃O₄ Composite Foams for Shielding of Electromagnetic Pollution, *ACS Appl. Mater. & Interfaces* 5(21), 11383–11391.
- Singh, K., Ohlan, A., Pham, V.H., Balasubramanian, R., Varshney, S., Jang, J., Hur, S.H., Choi, W.M., Kumar, M., Dhawan, S.K., Kong, B.S., Chung, J.S. (2013). *Nanoscale* 5, 2411.
- Verma, P., Saini, P., Choudhary, V. (2015). Designing of Carbon Nanotube/ Polymer Composites Using Melt Recirculation Approach: Effect of Aspect Ratio on Mechanical, Electrical and EMI Shielding Response, *Mater. Des.* 88, 269–277.
- Yesmin, S., Barua, B. S., Khandaker, M. U., Chowdhury, M. T., Kamal, M., Rashid, M.A., Miah, M.M.H., Bradley, D.A. (2016). Investigation of Ionizing Radiation Shielding Effectiveness of Decorative Building Materials Used in Bangladeshi Dwellings, <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem>.
- Yılmaz, R. (2014). Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler, *Electronic Journal of Vocational Colleges-May/Mayıs*.
- Zhao, H., Hou, L., Lu, Y. (2016). Electromagnetic Shielding Effectiveness and Serviceability of the Multilayer Structured Cuprammonium Fabric/Polypyrrole/Copper (CF/PPy/Cu) Composite, *Chemical Engineering Journal* 297, 170–179.