

**POLİETİLENTEREFTALAT / POLİPİROL KOMPOZİT MALZEME
HAZIRLANMASI VE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM EKSPANLAMA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI¹**

*The Preparation and Investigation of Electromagnetic Interference (EMI) Shielding
Properties of Poly(Ethylene)Terephthalate/ Polypyrrole Composites**

Durdu MESKAN
Kimya Anabilim Dalı

İlyas DEHRİ
Kimya Anabilim Dalı

ÖZET

Polietilen tereftalatın (PET) esneklik özelliği ve mukavemeti ile polipirolün (PPy) elektriksel iletkenlik avantajlarını bir araya getirilerek elektromanyetik (EM) dalgaların absorpsiyonu için kompozit bir malzeme hazırlanmıştır. Bir dizi asit çözeltileri ortamında sentezlenen PET/PPy kompozit malzemelerin, elektriksel iletkenlikleri dört nokta tekniği (Four Probe) ile ölçülerek, uygun sentez ortamı belirlenmiştir. PET film yüzeyine aşındırma işlemi uygulanmış, yüzeyde örtücülük %99,84'e kadar iyileştirilmiş ve en büyük gözenek çapı 18 µ düzeyine düşürülmüştür. EMI ekranlama performansları, elektromanyetik spektrumun IR bölgesinde incelenmiş ve koruyucu etkinlik (SE) değeri 20-40dB olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:EMI ekranlama, iletken polimer, polipirol, kimyasal polimerizasyon, PET

ABSTRACT

In this study, a composite material was prepared for electromagnetic interference (EMI) shielding purposes, via chemical polymerization of polypyrrole (PPy) on polyethylene terephthalate (PET) sheet. PPy synthesis was studied in a series of acid solutions and the electrical conductivity of composite materials was measured with four probe method. The surface morphologies were investigated and etching processes were applied on the PET film surface. The surface coverage ratio was improved to 99.84% and maximum pore size was reduced to 18 µm. EMI shielding performances were examined in the IR region of the electromagnetic spectrum and the protective effectiveness (SE) value was determined in dB.

Keywords: EMI shielding, conductive polymer, polypyrrole, chemical polymerization, PET

Giriş

Günlük hayatın her alanında kullandığımız, özellikle de iletişim alanında bize kolaylıklar sağlayan cep telefonları, bilgisayarlar, radyo-TV gibi uzaktan iletişim sistemleri gibi elektronik cihazlar hayatımızı kolaylaştırırken bir yandan da bazı sorunları ortaya çıkarmıştır. Bu sorunlardan en önemlisi EMI yani elektromanyetik girişimdir. Bütün elektrikli ve elektronik cihazlar çalışırken doğaları gereği çevreye

¹ Aynı başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

bir miktar elektromanyetik radyasyon yayarlar. Aynı ortamda yayılan elektromanyetik dalgaların birbirine girişim yaparak cihazları veya sistemleri etkilemesine “Elektromanyetik Girişim” denir. EM dalgaların sistemleri etkilememesi için ya gürültü kaynağı ortadan kaldırılmalı ya da etkilenen sistemi koruma altına almak için EMI ekranlama sağlanmalıdır. EMI ekranlama amacı ile kullanılan bir malzeme elektromanyetik dalgalar ile etkileştiğinde, gelen radyasyon yüzeyde soğurulur veya yansıtılır. Elektromanyetik girişimi önlemek için iletken ya da manyetik malzemelerden yapılmış ekranlar kullanılarak elektromanyetik dalgaların zayıflatılması sağlanmaktadır. Bu girişim problemleri için “Koruyucu etkinlik (shielding effectiveness)” kavramı kullanılmaktadır.

$$SE=10\log(P^0/P)$$

EMI ekranlama performansı açısından, ilk önemli parametre elektriksel iletkenlik ikinci önemli parametre, yüzeydeki kapaticılık, diğer deyişle makro/mikro gözeneklerin çokluğu ve büyüklükleridir. İletken filmin kesintiye uğraması da EMI ekranlama özelliğini olumsuz etkilemektedir. EM dalgaların yansıtılması için yüksek elektriksel iletkenliklerinden ötürü yaygın olarak metaller kullanılmaktadır. Ancak metallerin korozyona uğramaları, ağırlıklarının fazla olması, yüksek maliyetleri uygulamalarda istenmeyen durumlar olduğu için metallerin yerini alabilecek alternatif malzeme arayışı başlamıştır. İletken polimerler; kimyasal yönden inert olmaları, korozif olmamaları, kolay işlenebilir ve hafif olmaları sebebiyle EM girişimi önlemek için alternatif bir malzemedir ve son zamanlarda iletken polimerlerin geliştirilmesi amacıyla yüksek iletkenliğe sahip, dayanıklı kompozit malzemeler üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Materyal ve Metod

Materyal

Kullanılan Kimyasal Maddeler: Piro (Py) Polietilen tereftalat (PET), Borik asit (H_3BO_3), Sülfürik Asit (H_2SO_4) Nitrik asit (HNO_3), Etanol (C_2H_5OH), Demir (III) klorür ($FeCl_3$)

Kullanılan Cihazlar: Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi Cihazı (FT-IR) Dört Nokta İletkenlik Ölçüm Cihazı (Four Probe), Mikroskop, Solidworks 2017 (Sketch Picture)

Metod

Çalışmada ilk olarak PET yüzeyleri saf su ile temizlenmiş, sonra etanol ile yıkanmış ve tekrar saf sudan geçirilerek aşındırma işlemi yaparak hazırlanmıştır. Piro monomerinin yükseltgenmesi için $FeCl_3$ kullanılmıştır. PET yüzeyinde pirolün kimyasal polimerizasyon yöntemi ile farklı asidik (1M HCl, 1M H_2SO_4 , 1M H_3PO_4 , 1M $HClO_4$, 1M $H_2C_2O_4$, 1M H_3BO_3) ortamlarda PPy sentezi gerçekleştirilmiş ve elde edilen polimerlerin iletkenlik özellikleri incelenmiştir. En yüksek iletkenliğin elde edildiği borik asit (H_3BO_3)'li ortamda, farklı PET filmler üzerinde kimyasal polimerizasyon yöntemi ile PPy filmi sentezlenmiş ve PPy/PET kompozitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitlerin yüzey morfolojisi mikroskop

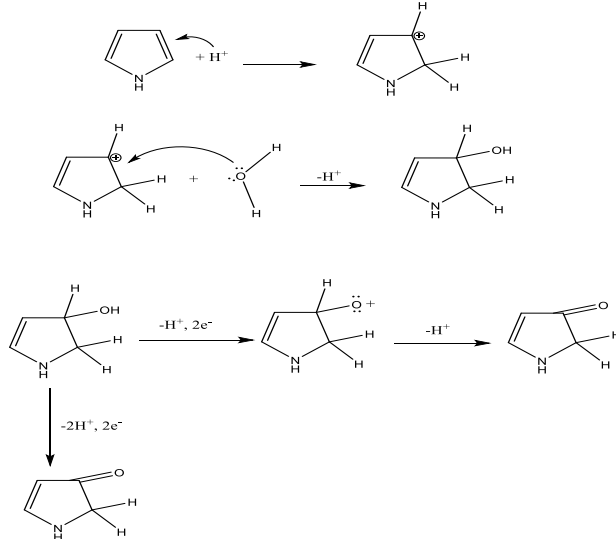
(Leika) yardımıyla incelenerek, elde edilen görüntüler Solidworks 2017 'Sketch Picture' programı yardımıyla analiz edilmiş ve %kapatıcılık, mikrogözeneklerin çapı hesaplanmıştır. PPy/PET kompozit malzemelerin elektriksel iletkenlik değerleri Four Probe cihazı ile uygulanan dört nokta tekniği ile ölçülmüştür. EMI ekranlama performansları IR cihazı ile 4400-600cm⁻¹ aralığında elde edilen spektrumların karşılaştırmalı değerlendirilmesi ile sağlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

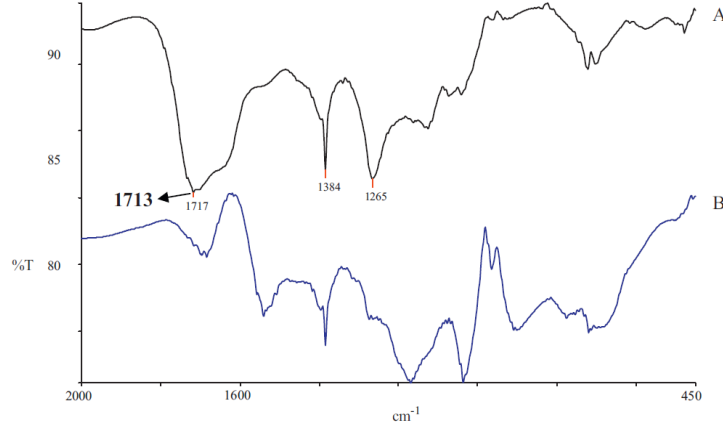
PET yüzeyinin PPy ile kaplanması çalışmaları

Demir tuzları, PPy sentezinde kullanılan yükseltgenlerdir ve bu çalışmada FeCl₃ kullanılmıştır. Pirolün FeCl₃ ile polimerleşme reaksiyonunda farklı monomer /yükseltgen oranları (Fe(III)/pirol) ile yapılmış çok sayıda sentez çalışmaları ile ilgili literatür [Kim ve ark. 2002] değerlendirilmiş ve yapılan ön denemelerde bu oran 2,5 olarak belirlenmiştir.

Pirolün polimerizasyonu için farklı asidik çözelti ortamlarında PPy sentezi gerçekleştirilmiş ve elde edilen polimerlerin iletkenlik, degradasyon dereceleri incelenmiştir. Kuvvetli asit varlığında sentezlenen PPy'lerin iletkenliğinin düşük olması yüksek proton derişimlerinin, degradasyon (aşırı yükseltgenme) tepkimesi üzerine katalitik etkisi ile açıklanmaktadır. Pirol halkasının protonlanması ile, gerçekte zayıf bir nükleofil olan suyun pirol molekülüne ilgisi artmaktadır. Bunun neticesinde devam bir dizi tepkime ile zincir üzerinde konjügasyonun kesintiye uğramasına neden olan karbonil grupları ortaya çıkmaktadır. Şekil 1'de PPy'nin aşırı yükseltgenme mekanizması verilmiştir.



Şekil 1. PPy'nin aşırı yükseltgenme mekanizması



Şekil 2.1,0M HClO₄ ortamında ve 1,0M H₃BO₃ ortamında sentezlenen PPy için FT-IR sonuçları

Şekil 2' de H₃BO₃ ortamında sentezlenen PPy' e ait FT-IR sonucu yer almaktadır. 1400-1600 cm⁻¹ arasında gözlenen absorpsiyon bantları aromatik halkadaki -C=C- gerilme titreşimlerine 1500-1600cm⁻¹ dolayındaki karakteristik pikler pirol halkasındaki -NH gerilmesine karşılık olup, 1033cm⁻¹ deki absorpsiyon bantı ise pirol halkasındaki -CH titreşimlerini göstermektedir. 1713 cm⁻¹ de görülen pikler pirolün aşırı yükseltgenmesine sonucu oluşan C=O grupları ile ilgilidir. [Ghosh, ve ark. 1998, Tüken ve ark. 2011]PPy'nin aşırı yükseltgenmesi FT-IR spektrumunda frekans kaymasına neden olduğundan, H₃BO₃ ortamında elde edilen filme kıyasla, HClO₄ ortamında sentezlenen ürünün FT-IR sonucunda söz konusu pik daha şiddetlidir.

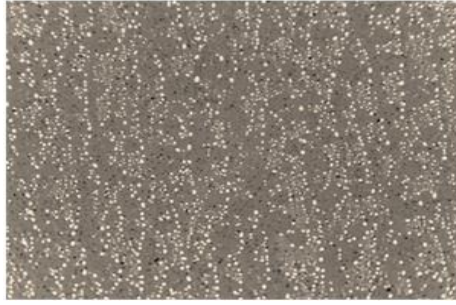
Çizelge 1. Sentezlenen PPy' e ait Kalınlık, Direnç ve İletkenlik Değerleri.

Sentez Ortamı	Kalınlık (mm)	Direnç (kΩ)	İletkenlik (S.cm ⁻¹)
1.0 M HClO ₄	0,004	-	-
1.0 M H ₂ SO ₄	0,007	18,15	2,82x10 ⁻²
1.0 M H ₃ BO ₃	0,002	1,64	2,30x10 ⁻¹

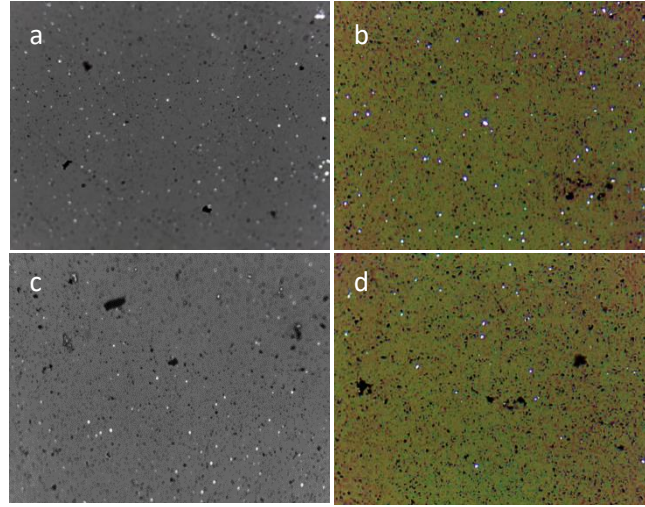
Farklı asidik ortamda sentezlene PPy' lerin ilekenlikleri 'Dört nokta iletkenlik ölçüm cihazı (Four Probe)' ile ölçülmüş ve sentez ortamının PPy' in iletkenliği üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 1.' de borik asit ortamında sentezlenen PPy' nin daha iyi elektriksel iletkenlik sergilediği belirlenmiştir. H₂SO₄'li ortamda gerçekleştirilen sentezde yüksek hidrojen iyonu derişimi, pirol'ün aşırı yükseltgenmesine neden olmaktadır. H₃BO₃'ün Ka asitlik sabiti ise (6,0x10⁻¹⁰) H₂SO₄' e oranla çok daha düşüktür.

Polietilen tereftalat (PET) Üzerinde Polipirol (PPy) Filmin Sentezi

PET üzerinİ PPy filmi sentezleyerek kaplama işleminden önce PPy filmin daha iyi tutunabilmesi için PET yüzeyine "aşındırma (etching)" olarak adlandırılan bir ön işlem gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla PET film 1M H₂SO₄ çözeltisi içinde farklı sürelerde ve sıcaklıkta bekletilerek yüzeyinin kaplama için daha elverişli hale getirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. Aşındırma işlemi yapılmamış PET yüzeyi üzerinde sentezlenen PPy filmin görüntüsü.



Şekil 4. a) Oda sıcaklığında 30 sn b) Oda sıcaklığında 60sn c) 70 °C sıcaklıkta 30 sn d) 70 °C sıcaklıkta 60 sn süre ile 1,0 M H₂SO₄ ortamında yapılan aşındırma sonrası PET üzerinde sentezlenen PPy filmin görüntüsü.

10cmx1,5cm boyutunda kesilmiş PPy kaplı PET filmin mikroskop altında 100 büyütme yüzey görüntüleri alınmıştır. Bu yüzey görüntülerinden PPy kaplı PET filmin yüzeyindeki gözeneklerin çapları ölçülmüş, alanları hesaplanmış ve toplam

yüzeyle oranlanarak, 'yüzey açıklık oranları' ve 'Minimum ve Maximum Gözenek Çapları' hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Farklı aşındırma işlemi görmüş PET Filmler Üzerinde Sentezlenen PPy filmlere ait gözenek çapları

Aşındırma İşlemi Görmemiş Yüzey		Aşındırma İşlemi Görmüş Yüzey			
		1,0 M H ₂ SO ₄			
Isıtma işlemi	–	–	–	70°C	70°C
Bekleme süresi	–	30 sn	60 sn	30 sn	60 sn
Max.gözenek çapı	22µ	20µ	20µ	37µ	18µ
Min. gözenek çapı	3,2µ	2µ	4µ	1,8µ	2µ

Çizelge 2.de aşındırma işlemi yapılmamış PET filmler üzerinde sentezlenen PPy filmlerin yüzeyindeki gözenek çapı maksimum 22µ ve minimum 3,2µ olarak ölçülmüş, aşındırma işlemi yapılan PET filmler üzerine sentezlenen PPy filmlerin yüzeyindeki gözenek çapının ise maksimum değerinin 18µ'a, minimum gözenek çapının da 2µ'a düştüğü görülmüştür. PET yüzeyine uygulanan aşındırma işlemi PPy sentez sırasında yüzey pürüzlülüğünü artırarak PPy'nin yüzeyde tutunma oranını arttırmıştır.

Çizelge 3. Farklı aşındırma işlemi görmüş PET Filmler Üzerinde Sentezlenen PPy filmlere ait gözeneklilik oranları.

Yüzey Açıklık Oranı (%)	Aşındırma İşlemi Görmemiş Yüzey			
	18,84			
Aşındırma Ortamı	Aşındırma İşlemi Görmüş Yüzey			
	1,0 M H ₂ SO ₄			
Isıtma işlemi	–	–	70°C	70°C
Bekleme süresi	30 sn	60 sn	30 sn	60 sn
Yüzey Açıklık Oranları (%)	3,08	2,31	0,44	0,16

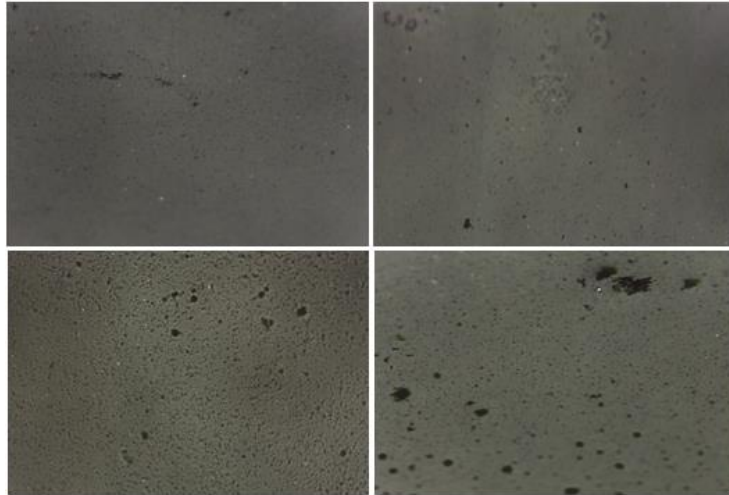
Çizelge 3'ü incelediğimiz zaman aşındırma işlemi yapılmamış PET yüzeyinin % 18,84 oranında PPy filmi ile kaplanamadığı belirlenmiştir. Bu oranaşındırma işlemi uygulanmasıyla % 0,16' ya kadar düşürülmüştür. Aşındırma süresinin artması ve işleminin ısıtma ile birlikte PPy filmin daha homojen kaplandığı ve filmin yüzeye daha iyi tutunduğu görülmüştür. Bu nedenle kompozitin hazırlanmasında kullanılacak PET filmin yüzeyine, 70 °C sıcaklıkta 1,0 M H₂SO₄ ortamında 60 sn süre ile aşındırma yapılması gerektiği belirlenmiştir.Öte yandan aşındırılmamış PET üzerindekiPPy

filmin 22 μ dolayında iken, aşındırma işlemi sonunda gözenek çapı 18 μ düşürülmüş ve 36 μ 'dan daha büyük dalga boyuna sahip EM dalganın PPy kaplı PET yüzeyinden geçemeyeceği ön görülmüştür.

Çizelge 4.Üzerinde PPy filmi kaplı PET yüzeyinde ikici kez 24 saat süre ile sentezlenen PPy Filmlere ait Yüzey Açıklık Oranları.

Sentezlenen Örnekler	1	2	3	4
Yüzey Açıklık Oranları (%)	0,06	0,06	0,10	0,07

24 saat süreyle sentezlenen PPy filmin bulunduğu PET film alınarak, tekrar üzerinde kimyasal polimerizasyon yöntemiyle 24 saat süre ile ikinci bir kat PPy filmi sentezlenmiştir.Çizelge 4 ve şekil 5 de 24+24 saat sentez süresiyle hazırlanan farklı kompozit örnekler için sonuçlar incelendiğinde PPy filmin ikinci kez kaplanması ile PET yüzeyinin daha homojen olduğunu, yüzey açıklık oranının %0.06'ya düştüğünü göstermiştir.

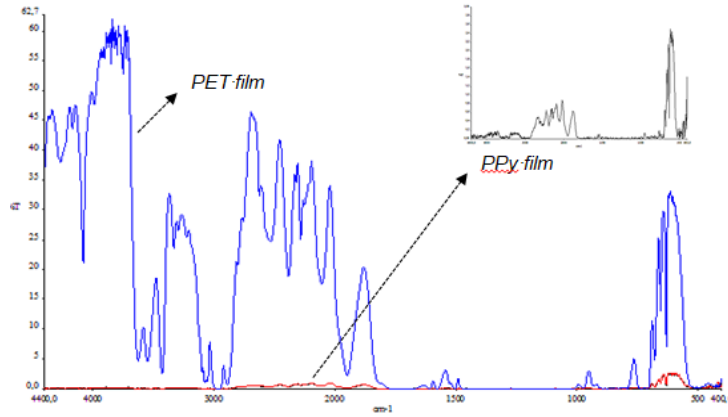


Şekil 5.Yüzeyi 2 defa ardışık olarak PPy kaplanan PET yüzeyi.

Hazırlanan PET/PPy Kompozitlerin EMI Test Sonuçları

24+24 saat sentez süresi ile hazırlanan farklı kompozit örneklerine "geçirgenlik (attenuation) testleri", orta IR alanı tarayan FT-IR Spektrumu yardımı ile yapılmıştır. PET film ve PPy/PET kompoziti için alınan FT-IR spektrumu Şekil 6 da verilmiştir. Geçirgenlik testleri, 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, elde edilen kompozitler, 4400-600 cm⁻¹ aralığında 12129 şiddetinde ışık geçişine maruz bırakılmıştır. Hazırlanan her bir kompozitin yüzeyi üzerinde seçilen üç farklı bölge için deney tekrarlanmıştır. Hem PET filmin hem de PET/PPy kompozitin ayrı ayrı IR spektrumları alınmış ve elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak PET/PPy

kompozitin geçirgenliğinin sadece PET'e göre azaldığı FT-IR spektrumunda görülmüştür.



Şekil 6. PET film ve PET/PPY kompozitine ait FT-IR Spektrumu.

Yapılan ölçümler sonucunda; çizelge 5.de görüldüğü gibi ilk başta maximum %60 geçirgenliğe sahip PET film, aşındırma işlemi ve PPy kaplanarak hazırlanmış ve PET filmin geçirgenliğinin %0,01'e kadar düştüğü görülmüştür. PET filmin koruyucu etkinlik değeri ortalama 3,5 dB seviyesindeyken aşındırma işlemi yapılmış ve PPy kaplanmış PET'in koruyucu etkinlik değeri ise 20-40 dB aralığına yükseldiği görülmüştür. PPy kaplı PET film, koruyucu etkinliği orta düzey olan bir ekranlama malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Çizelge 5. PET film ve PET/PPY kompozit örneklerine ait % geçirgenlik (% T) ve koruyucu etkinlik SE (dB) sonuçları.

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Dalga Boyu (λ) (μm)	Frekans (ν)	Yüzde Geçirgenlik (% T)		Koruyucu Etkinlik (SE) (dB)	
			PET	PET/PPy	PET	PET/PPy
4300	2,33	1,29x10 ¹⁴	45,00	0,01	3,46	40,00
4100	2,44	1,23x10 ¹⁴	45,00	0,01	3,46	40,00
3800	2,63	1,14x10 ¹⁴	60,00	0,10	2,20	30,00
3500	2,86	1,05x10 ¹⁴	18,00	0,01	7,44	40,00
3200	3,13	9,58x10 ¹³	33,00	0,10	4,81	30,00
2800	3,57	8,40x10 ¹³	45,00	0,50	3,46	23,01
2500	4,00	7,50x10 ¹³	40,00	0,60	3,98	22,22
2300	4,35	6,90x10 ¹³	38,00	0,80	4,19	20,96
2000	5,00	6,00x10 ¹³	34,00	0,90	4,68	20,45
1500	6,67	4,50x10 ¹³	3,00	0,10	15,22	30,00
900	11,11	2,70x10 ¹³	3,00	0,10	15,22	30,00
750	13,34	2,25x10 ¹³	4,00	0,10	13,98	30,00
600	16,67	1,80x10 ¹³	34,00	2,40	4,68	16,19

Sonuç Ve Öneriler

Bir dizi sentez ortamı kullanılarak, FeCl₃ başlatıcısı yardımıyla, polipirrolün kimyasal sentezi PET yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. H₃BO₃'li ortamda sentezlenen PPy'nin iletkenliği $2,30 \times 10^{-1}$ (S.cm⁻¹) ölçülmüş ve sentez ortamında kullanılan kuvvetli asitler içinde en yüksek iletkenlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, kuvvetli asitlerin varlığında aşırı yükseltgenme (bozunmaya) bağlı olarak, pi-bağlarındaki konjügasyonun bozulması ile izah edilmiştir. Aşırı yükseltgenmeye bağlı oluşan yan grupların varlığı FT-IR analizleri ile teyit edilmiştir.

PET yüzeydeki PPy filmin hem kapaticılığını arttırmak hem de gözenek büyüklüğünü düşürebilmek için, PET yüzeylerine, farklı sürelerde aşındırma yapılmış elde edilen veriler sonucu PPy filmi için en iyi kapaticılık, 70 °C sıcaklıkta 60 sn süre ile H₂SO₄ 'li ortamda aşındırma yapılarak elde edilmiştir. Aşındırma yapılmış yüzeylerde kaplamanın aşındırma yapılmamış yüzeylere göre daha iyi gerçekleştiği, yüzey açıklığının %18,84'ten %0.16 ya düştüğü görüldü. Yapılan aşındırma ve ısıtma işlemleri yüzeyi kaplayan PPy'nin daha homojen kaplandığı ve filmin yüzeye daha iyi tutunduğunu göstermiştir.

Aşındırma işlemi yapılmamış PET filmler üzerinde sentezlenen PPy filmlerin yüzeyindeki gözenek çapı maximum 22µ, aşındırma işlemi ve ardışık iki kez kaplama uygulanması ile PET/PPy yüzeyindeki gözenek çapı maximum değerinin 18µ'a düştüğü görülmüştür. Buna bağlı olarak EM dalganın girişiminin engellenmesi için ekranlama malzeme yüzeyindeki gözenek ışının dalga boyunun yarısı kadar olması gerektiğinden elde edilen PPy kaplı PET filmin 36µ ve üstü EM dalgaları ekranlayabileceği ön görülmüştür. Bu çerçevede yapılan hesaplamalar sonucunda $8,33 \times 10^{12}$ Hz dolayındaki EM dalgalarının yüzeydeki gözenekten ancak geçebileceği, daha düşük frekansa sahip EM dalgalarının bu gözenekten geçemeyecekleri belirlenmiş ve elektromanyetik spektrumun 10¹² Hz değerlerinden daha düşük frekansa sahip EM dalgalar için ekranlama malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Sentez süresinin PPy filmin kapaticılığına etkisini belirlemek için, farklı PET filmler üzerinde farklı sentez süreleri ile PPy sentezlenmiş 24 saat süreyle sentezlenen PPy filmin yüzeyinin daha iyi kaplandığı görülmüştür. Yüzey üzerinde ikinci kat PPy filmin sentezlenmesine bağlı olarak elde edilen kompozitlerin yüzey açıklık oranının %0,16 dan %0,06'ya düştüğü belirlenmiştir. Böylece PET/PPy kompozitlerin aşındırma işlemi dışında sentez süresinin ve ikinci kat kaplamanın, özellikle kapaticılık ve gözenek büyüklüğü üzerinde önemli etkileri olmuştur.

PET/PPy kompozitlerin geçen gönderilen elektromanyetik ışınımı hangi ölçüde engellediğini belirlemek ve referans olarak kullanmak üzere aynı testler PET film ile de gerçekleştirildi. Bu şekilde PET/PPy kompozitlerin PET filme oranla ortama 100 kat daha fazla oranda ışığı yansıttığı belirlenmiştir.

Yapılan ölçümlerde 4400-600 cm⁻¹ aralığında 12129 şiddetinde ışık geçişine maruz bırakılan PET/PPy kompozitin koruyucu etkinlik seviyesinin 20-40 dB aralığında olduğu, sadece PET filme göre koruyucu etkinlik değerinin yaklaşık 10 kat arttığı görülmüştür. PET tek başına kullanıldığında geçirgenlik % 60 iken PET/PPy kompozit için geçirgenlik % 0,01 olarak belirlenmiştir. Uygulama da PET/PPy

kompozitin ekranlama seviyesinin standart düzeydeki ekranlama malzemesi sınıfına girdiği belirlenmiştir. Optimize edilen PPy iletken filmi ile EMI ekranlama performansının 40dB'e kadar iyileştirilebileceği görülmüştür. PPy filmin ekranlama özelliği, konjüge pi-bağ sisteminin gelen fotonları hem soğurma hem de yansıtabilmesi ile ilişkili olarak izah edilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, PET/PPy kompozit malzemenin, EMI önleyici malzeme olarak kullanılmasının mümkün olduğu ortaya konulmuştur. İletkenlik ölçümleri ile son derece uyumlu olan bu sonuçların, yüzde geçirgenlik sonuçları ile de örtüştüğü açıkça ortaya konmuştur. EMI ekran olarak kullanılması önerilen bir kompozit malzemede, iletken filmin (bu çalışmada PPy) yüzeyde sürekliliği yani gözenekliliği de az olmalıdır. Bu amaçla yapılan testlerde, aşındırma işlemi uygulanınca iletken tabakanın gözenekliliğininile ihmal edilebilecek düzeye indirilebileceği ortaya konmuştur.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda, PPy filmin az miktarda metal nanoparçacıklarla da desteklenerek hem elektriksel iletkenlik değerinin iyileştirilmesi hem de gelen EM dalganın soğurularak zayıflatılmasının mümkün olabileceği ve bu sayede daha yüksek frekanslardaki EM dalgalara karşı da ekranlama özelliği sergileyebileceği düşünülmektedir. Klasik uygulamada, tek başına kullanılan metal malzemelerin, ağırlık dezavantajını ortadan kaldıracak ve PET gibi yaygın, ucuz bir malzemenin EMI ekranlama amacıyla kullanımının önünün açılabilmesi mümkün görünmektedir.

Kaynaklar

- Avloni, J., Florio, L., Henn, A.R., Lau, R., Sparavigna, A., Electromagnetic Shielding with Polypyrrole-Coated Fabrics
- Gahlout, P., Choudhary, V., 2016. Tailoring of Polypyrrole Backbone by Optimizing Synthesis Parameters for Efficient EMI Shielding Properties in X-band (8,2-12,4GHz)
- Ghosh, S., Bowmaker, G.A., Cooney, R.P., Seakins, J.M., 1998. Synth. Met. 95 :63–67
- Hong, Y.K., 2001. Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Fabric Complexes Coated with Conductive Polypyrrole and Thermal Evaporated Ag, Current Applied Physics 1, 439-442
- Kim, H.K., Kim, M.S., Song, K., Park, Y.H., Kim, S.H., Joo, J., 2003. EMI Shielding Intrinsically Conducting Polymer/PET Textile Composites, Synthetic Metals, 135-136
- Kim, S.H., 2003. Electrical Properties and EMI Shielding Characteristics of Polypyrrole – Nylon 6 Composite Fabrics, Journal of Applied Polymer Science Vol.87, 1969-1974
- Kim, M.S., Kim, H.S., Yun, S.W., 2002. PET Fabric/ Polypyrrole Composite With High Electrical Conductivity For EMI Shielding, Synthetic Metals 126, 233-239

- Luo, X., Chung, D.D.L., 1999. Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer-Matrix Composites, Composites Part B 30, 227-231
- Liu, Z., Bai, G., Huang, Y., Ma, Y., Du, F., Li, F., Guo, T., Chen, Y., 2007. Reflection and Absorption contributions to the Electromagnetic Interference Shielding of Single-walled Carbon Nanotube/ Polyurethane Composites, Carbon 45; 821-827
- Pomposo, J.A., Rodriguez, J., Grande, H., 1999. Polypyrrole-based Conducting Hot Melt Adhesives for EMI Shielding Applications, Synthetic Metals 104 , 107-111
- Saini, P., Choudhary, V., Singh P.B., Mathur, R.B., Dwahan, S.K., 2009. Polyaniline–MWCNT Nanocomposites For Microwave Absorption And EMI Shielding , Materials Chemistry and Physics 113, 919–926
- Shirakawa, H., Louis, E.M., Macdiarmid, A.G., Chiang, C.K. and Heeger, A.J. 1977. Synthesis of electrically Conducting organic polymers: Halogen derivatives of polyacetylene, (CH₂)_x. J. Chem. Soc. Chem. Comm., 578-580.
- Tuken, T., Çavuşoğlu, A.B., Altunbaş, E., Erbil, M., 2011. Polypyrrole Film Modified With Electroless Metal Deposition, Progress in Organic Coatings 71: 153–161
- Yıldız, Z., Usta, İ., Güngör, A., Onen, A.H., 2015. Investigation of Polypyrrole coated cotton fabrics as Electromagnetic Shielding Material, Marmara Journal of Pure Applied Sciences , 87-90
- Zhao, H., Hou, L., Lu, Y., 2017. Electromagnetic Interference Shielding of Layered Linen Fabric/Polypyrrole/Nickel (LF/PPy/Ni) Composites , Materials and Design 95 : 97–106
- Wan, C., Li, J., 2017. Synthesis and Electromagnetic Interference Shielding of Cellulose-derived Carbon Aerogels Functionalized With Fe₂O₃ and Polypyrrole, Carbohydrate Polymers 161: 158–165

