

**ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KORUMA VE REZONATÖR
UYGULAMALARI İÇİN KARBON NANOTÜP/POLİ(ANİLİN-KO-
AKRİLONİTRİL) KOMPOZİTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Merve ERDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ (DİSİPLİNLERARASI) ANA BİLİM DALI

**SİVAS BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2024

Merve ERDEN tarafından hazırlanan “ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KORUMA VE REZONATÖR UYGULAMALARI İÇİN KARBON NANOTÜP/POLİ(ANİLİN-KO-AKRİLONİTRİL) KOMPOZİTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Salih ÖZBAY

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Kerim Emre ÖKSÜZ

Mühendislik Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans olduğunu onaylıyorum.

ETİK BEYAN

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Merve ERDEN
20/11/2024

ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KORUMA VE REZONATÖR UYGULAMALARI
İÇİN KARBON NANOTÜP/POLİ(ANİLİN-KO-AKRİLONİTRİL)
KOMPOZİTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve ERDEN

SİVAS BİLİM ve TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Kasım 2024

ÖZET

Organik elektronikler, silikon, germanyum ve galyum arsenit gibi geleneksel elektronik malzemelerle karşılaştırıldığında esneklik, bulunabilirlik, toksisite, uygulanabilirlik ve maliyet açısından birçok avantaj sağlayan ve yeni yeni gelişim gösteren bir malzeme sınıfıdır. Çeşitli organik elektronik malzemeler arasında, karbon nanotüplerin (KNT'lerin) polianilin (PANI) ile kompozitleri, PANI'nin KNT'lerin etrafına sarılmasıyla ortaya çıkan π - π istiflenmesinin bir sonucu olarak mükemmel yük taşıma özelliklerinden dolayı özellikle ilgi görmektedir. Son zamanlarda PANI yerine anilin bazlı bir kopolimerin KNT'lerin etrafına sarılabileceği ve böylece yük taşıma özelliklerinin geliştirilebileceği bunun da termoelektrik (TE) uygulamalar için umut vadeden bir gelişme olduğu raporlanmıştı. Her ne kadar anilin bazlı kopolimerlerle KNT'lerin kompozitleri elektriksel ve manyetik özellikler açısından ilginç sonuçlar verebilecek olsa da bu konudaki araştırmalar sadece birkaç başarılı raporla hala sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, mevcut çalışma çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT)/poli(anilin-ko-akrilonitril) kompozitlerinin hazırlanmasını ve söz konusu kompozit malzemelerin elektromanyetik kalkanlama performanslarını incelemeyi amaçlamaktadır. Kompozitler, çeşitli MWNT yüklemelerinde, oda sıcaklığında yerinde ters emülsiyon kopolimerizasyonu yöntemiyle hazırlanmış ve daha sonra ölçümlere geçilmeden önce m-kresol ortamında kamforsülfonik asit ile yeniden katkılanmıştır. Numuneler FT-IR, XRD, SEM ve VSM analizleri ile karakterize edilmiştir. Kompozitlerin permeabilite ve permitivite değerleri vektör ağ analizörü kullanılarak X-bandında elde edilen saçılma parametreleri üzerinden Nicolson-Ross-Weir yöntemi ile belirlenmiş, elektriksel iletkenlikleri 4 nokta prob yöntemi ile saptanmıştır. Son olarak elektromanyetik kalkanlama performansları yine saçılma parametreleri kullanılarak tespit edilmiştir.]

Bilim Kodu : 93415

Anahtar Kelimeler : anilin, akrilonitril, karbon nanotüp, kopolimer, permeabilite, permitivite, elektromanyetik kalkanlama

Sayfa Adedi : 50

Danışman : Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR

DEVELOPMENT OF CARBON NANOTUBE/POLY(ANILINE-CO-
ACRYLONITRILE) COMPOSITES FOR ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE
PROTECTION AND RESONATOR APPLICATIONS

(M. Sc. Thesis)

Merve ERDEN

SİVAS UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

November 2024

ABSTRACT

Organic electronics is a newly developing class of materials that offer many advantages in terms of flexibility, availability, durability, applicability and cost compared to traditional electronic technologies such as silicon, germanium and gallium arsenide. Among various organic electronic materials, composites of carbon nanotubes (CNTs) with polyaniline (PANI) have attracted attention due to their excellent charge transport processes as a result of the π - π stacking of PANI resulting from the separation of CNTs. Recently, it was reported that CNTs could be produced with an aniline-based copolymer instead of PANI, thus improving charge transport, which is a promising development for thermoelectric (TE) applications. Although interesting results can be obtained in terms of geometric and magnetic properties of CNTs with aniline-based copolymers, this technology still exists with only a few successful reports in research. Therefore, the present study aims to prepare multi-walled carbon nanotube (MWNT)/poly(aniline-co-acrylonitrile) composites and to investigate the electromagnetic shielding performances of the composite materials. The composites were prepared by the emulsion copolymerization method placed in the chamber at various MWNT loadings and then re-doped with camphorsulfonic acid in m-cresol medium before proceeding to the measurements. The samples can be linked by FT-IR, XRD, SEM and VSM analyses. The vectors of the permittivity and permeability values of the composites were determined by the Nicolson-Ross-Weir method over the scattering permit obtained in the X-band using the network analyzer, and their electrical conductivities were operated by the 4-point probe method. Finally, the electromagnetic shielding performance was determined by the scattering permit again.

Science Code : 93415

Key Words : aniline, acrylonitrile, carbon nanotube, copolymer, permeability, permittivity, electromagnet sheilding

Page Number : 50

Supervisor : Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR

TEŞEKKÜR

Hayatımın her anında her zaman yanımda olan kıymetli eőim Doç. Dr. Fuat ERDEN' e, eğitim hayatım boyunca emeklerini esirgemeyen ve yüksek lisansa başlamamda da beni destekleyen üzerimde sonsuz emekleri olan babam, annem ve kardeşlerime ve de akademik bilgisi, görüşleri, tecrübeleri ile beni aydınlatan kıymetli danışmanım Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR' e teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1. Kopolimer Sentezi.....	11
3.2. Karakterizasyon İşlemleri	16
3.2.1. Nicolson-Ross-Weir (NRW) Metodu:	17
3.2.1.1. Grup Hata (Gecikme) Tahmini Yöntemi:	20
3.2.1.2. İlk Değer Tahimini Yöntemi:.....	21
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	22
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR	46

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Tablo 3.1.1. Reaksiyon verimleri ve Nihai KNT miktarları	16



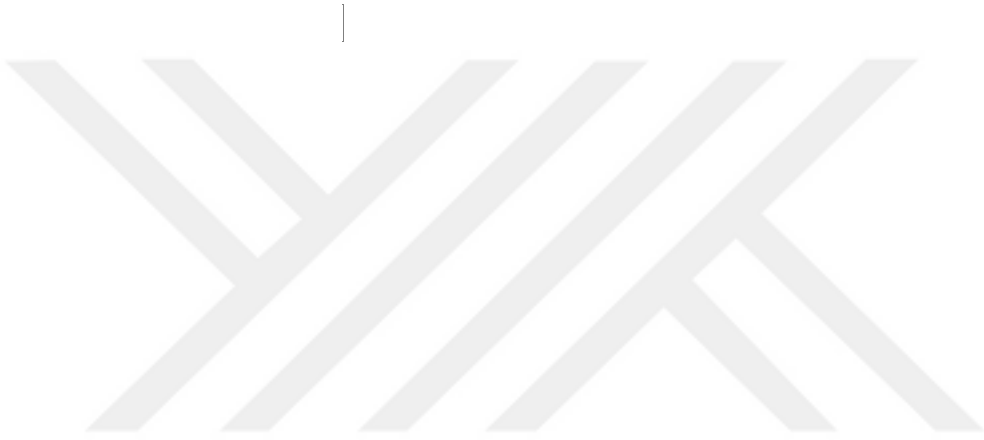
ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum	2
Şekil 1.2. x yönünde yayılan, dalga boyu λ olan elektromanyetik dalga, B manyetik alanıyla aynı fazda olan E elektrik alanı bileşenini içerir; her üç yön (E, B, ve x) birbirine diktir [1].	3
Şekil 2.1. Karbon Nanotüp Görüntüsü [29].	8
Şekil 3.2. Bir İletim Hattında, Malzemeden Yansıyan ve Malzemeyi Geçen Elektromanyetik Dalgaların Gösterimi [57]	17
Şekil 3.3 NRW Metodu Matematiksel Modeli	18
Şekil 4.1. Hazırlanan malzemelerin FT-IR sonuçları	22
Şekil 4.4. 28%MWN/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri	26
Şekil 4.5. 28%MWN/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri	27
Şekil 4.6. 55%MWN/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri	28
Şekil 4.7. 55%MWN/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri	29
Şekil 4.8. MWNT' nin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri.....	30
Şekil 4.9. MWNT (a), 55%MWNT/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompoziti (b) ve 28%MWNT/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompoziti (c) SEM görüntüleri.	31
Şekil 4.10. Elektromanyetik dalganın farkı yüzeylerde çoklu yansıması [58]	33
Şekil 4.11. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama yansıma kaybı (SE_R).....	34
Şekil 4.12. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama emilim kaybı (SE_A)	35
Şekil 4.13. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama toplam kaybı (SE_T).....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Hazırlanan filmlerin EMI kalkanlama yansıma kaybı (SE_R).....	37
Şekil 4.15. Hazırlanan filmlerin EMI kalkanlama emilim kaybı (SE_A).....	38
Şekil 4.16. Hazırlanan kopolimer ve kompozitlerin VSM ölçüm sonuçları.....	39
Şekil 4.18. Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri	41
Şekil 4.19. Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetik Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri.....	41
Şekil 4.20. %55 MWNT%45Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri.....	42
Şekil 4.21. %55 MWNT%45Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetiksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri.....	42
Şekil 4.22. %64 MWNT%36Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri.....	43
Şekil 4.23. %64 MWNT%36Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetiksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri.....	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kopolimer Sentezi (Reaksiyon başlangıcından 1 saat sonra).....	13
Resim 3.2. Kopolimer Sentezi (Reaksiyon başlangıcından 24 saat sonra).....	13
Resim 3.5. Damla Döküm Yöntemi ile Kaplanan Filmlerin Kurutulması	16
Resim 3.2. VNA Cihazı ile Saçılma Parametrelerinin Ölçümü.....	18



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Λ

Açıklamalar

İşlem Operatörü

Γ

Yansıma Katsayısı

τ

Hata

ε

Dielektriksel Geçirgenlik

μ

Manyetiksel Geçirgenlik

λ

Dalga boyu

j

Karmaşık Sayı Sanal Bileşen Parametresi

π

pi sayısı

L

Malzeme Boyu

Kısaltmalar

DNA

Açıklamalar

Deoksiriboz Nükleik Asit

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

IRAC

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı

RF

Radyo Frekans

PANI

Polianilin

KNT

Karbon Nanotüp

PAN

Poliakrilonitril

AN

Akrilonitril

MWNT

Çok Duvarlı Karbon Nanotüp

EMI

Elektromanyetik Girişim

ICP

Kendiliğinden İletken Polimer

OPV

Organik Fotovoltavik

OLED

Organik Işık Yayan Diyot

OFET

Organik Alan Etkili Transistör

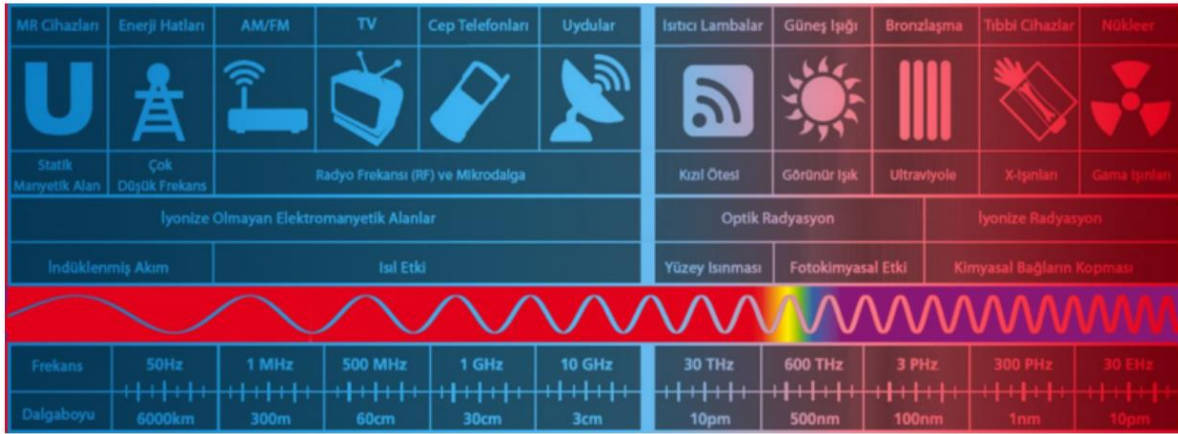
SWNT	Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
VEGF	Vasküler Entoderyal Büyüme Faktörü
SE	Kalkanlama Verimliliği
BPO	Benzoil Peroksit
CSA	Kamforsülfanik Asit
SLS	Sodyum Lauril Sülfat
XRD	X- ışını Kırınım Yöntemi
FD-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
VNA	Vektör Ağ Analizör
VSM	Manyetik Histeresis Ölçümü
NRW	Nicolson-Ross-Weir
dB	Desibel

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında çevre kirliliği önemli bir sorun olmakla birlikte gün be gün daha da artmaktadır. Eşsiz güzellikteki yaşam kaynağımız dünyayı korumanın yanı sıra insan ve canlıların sağlığını korumak için birçok örgüt ve sivil toplum kuruluşu (Devletlerarası iklim değişikliği heyeti, Dünya Sağlık Örgütü, Greenpeace, Avrupa Çevre Ajansı, Birleşmiş Milletler, vb.) çalışmalar yapmakta ve gelişmiş ülkeler bunun için ciddi bütçeler ayırmaktadır. Esasen bilim dünyasının hemen hemen her alanında çevre kirliliği üzerine her geçen gün başarılı çalışmalar yapılmaktadır.

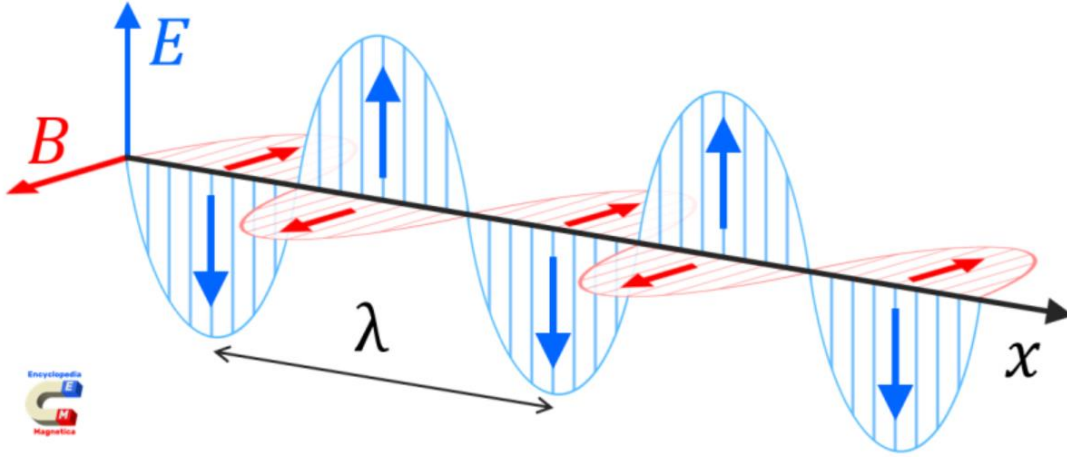
Çevre kirliliği, yeryüzünde yaşayan canlıların sağlığını olumsuz etkileyen, cansız ve çevredeki maddelere yapısal zararlar veren ve ekosistem dengesini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa karışması olarak tanımlanabilir. Çevre sorunları olarak ilk akla gelen; hava, su ve toprak kirliliği kavramları ile canlılar arasındaki ilişkidir. Öte yandan teknolojinin inanılmaz boyutlara ulaştığı günümüzde, bu üç ana kirlilik başlığına “elektromanyetik kirlilik” gibi yeni bir kirlilik türünün eklenmesi de son yıllarda bilim camiasında gündeme gelmektedir.

Günümüzde elektromanyetik kirlilik, hızla gelişen teknolojinin bir yan ürünü olarak büyük bir sorun haline gelmiştir. Söz konusu elektrik alanın kirlilik olarak adlandırılma sebebi çevre ekosistemine, insan sağlığına ve de diğer elektrik ve elektronik sistemlerin çalışmasına zarar vermesidir. Bu kirliliğin oluşumu kaçınılmazdır çünkü elektromanyetik alanlar ve dalgalar, günlük yaşamda ve teknoloji alanında pek çok uygulama bulur. Bu alanların anlaşılması, modern teknolojinin temelini oluşturur ve elektromanyetik kalkanlama gibi önemli mühendislik çözümlerinin geliştirilmesini gerekli kılar.



Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgaların kaynağı hareket halindeki yükler ve yük hareketinden oluşan akımlardır. Elektromanyetik dalgaların kaynağı hareket halindeki yükler ve yük hareketinden oluşan akımlardır. Elektrik yüklerinin sabit ve değişen hareketine bağlı olarak elektrik alan, sabit (statik) elektrik alan ve değişen (dinamik) elektrik alan olarak farklılık gösterir. James Clerk Maxwell' in elektrik ve manyetik alan arasındaki bağlantıyı bulması ile Newton fizik kuralları fiziksel geçerliliğini büyük ölçüde değiştirmiştir. Albert Einstein, Maxwell' in çalışmalarından yola çıkarak özel görelilik kuramına temel oluşturmuş ve kuantum kuramı açıklanmış ve kuantum fiziğinin anlaşılmasına geçiş sağlamıştır. Bu tarihi buluşlardan sonra bilim dünyası yeni bir boyuta geçiş yapacak bir dönüm noktası yaşamış ve modern fiziğin kapıları açılmıştır. Ayrıca Nicola Tesla da pek çok buluşunda Maxwell'den etkilenmiş ve alternatif akım ile modern elektrik iletiminin yanı sıra indüksiyon motoru, kablosuz iletişim, radar sistemleri gibi pek çok cihaz ve sistemin ilk örneklerini vererek modern teknolojinin temelini atmıştır. Günümüz modern teknoloji çağı aslında tam anlamıyla bir elektromanyetizma teorisi ve teknolojisi çağıdır.



Şekil 1.2. x yönünde yayılan, dalga boyu λ olan elektromanyetik dalga, B manyetik alanıyla aynı fazda olan E elektrik alanı bileşenini içerir; her üç yön (E, B, ve x) birbirine diktir [1].

Sonuç olarak yukarıda bahsi geçen keşifler bize elektrik ile çalışan her sistemin çalışması esnasında elektromanyetik dalga yayacağını ifade etmektedir. Her gün gelişen günümüz teknoloji çağında elektrikten vazgeçmemiz söz konusu olamayacağına göre elektromanyetik alan veya dalga kaynaklı kirliliğin de artık hayatlarımızda bir yeri olacağını kabul etmemiz gerekir. Bu durumda elektromanyetik dalga kaynaklı kirliliğe bir çözüm bulunması elzem bir konu olarak bilim dünyasında bilhassa son yıllarda öne çıkmaktadır.

Şöyle ki, elektromanyetik dalgalar; kanser, çocuklarda lösemi, dolaşım ve sindirim sistemi bozukluğu, kan basıncı, DNA sentezi bozukluğu, baş ağrısı, depresyon gibi rahatsızlıklara sebep olabilmektedir [2]. Başta bu sebepler gerekçesi ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından hem EFD (Aşırı Düşük Frekans, 3 ile 30 Hz arasında değişen) hem de RF (radyo frekans, 30-300 kHz arasında değişen) bantları “2B” kategorisine yani muhtemel kanserojen kategorisine alınmıştır. Örgütlerin verdiği bu karar doğrultusunda elektromanyetik güvenlik sınırı bazı ülkelerde düşük seviyelere çekilse de bilim insanları tarafından yine de çok yüksek olduğu savunulmaktadır.

İnsan sağlığı ve çevre kirliliği dışında elektromanyetik dalgalar elektronik devre ve sistemlerin çalışmasını da olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle sistem ve cihazların dijitalleşmesinin artması ile elektronik cihazlar daha kolay ve daha çok oranda söz konusu olumsuz etkiye maruz kalabilmektedir. Bu durum özellikle savunma ve harp sistemleri, havacılık ve uzay bilimleri, haberleşme sistemleri, kontrol sistemleri, elektrik üretim-iletim

ve dağıtım sistemleri, biyomedikal sistemler gibi birçok kritik öneme sahip alanların güvenli, sistematik, istenilen doğrultuda verimli çalışması önemlidir. Çünkü söz konusu alanlarda kullanılan elektronik sistemlerin bu başıboş elektromanyetik kirlilikten etkilenmesi önemli bir sorun oluşturmakla birlikte çözümü uzmanlık gerektiren ve henüz bilimsel çalışmaların kesin bir çözüm üretmediği yeni yeni çalışmaya başlanan ve önemi her gün artan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Efektif bir elektromanyetik kalkanlama performansı için belki de en kritik noktalardan birisi de malzeme seçimidir. Kalkanlama için malzemenin yüksek elektriksel ve manyetik geçirgenlik sahip olması önemlidir. Yüksek elektriksel iletkenlik iyi bir yansıma performansı, yüksek manyetik geçirgenlik ise manyetik dalgayı malzemenin içerisinde iken soğurup enerjiye dönüştürerek sönmölemek için önemlidir. Bu bağlamda iyi elektriksel iletkenlik ve manyetik geçirgenlik gösteren demir, nikel ve benzeri metal ve alaşımlar ilk akla gelen malzemeler olmakla birlikte metallerin yüksek kütle yoğunlukları ve ağırlıkları ile esnek formda şekillendirilmelerinin zor olması ve yüzey uygulamalarına elverişlilik noktalarında çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Bu nedenle yüksek iletkenlik, mekanik dayanıklılık ve esneklik, hafiflik ve fiyat-performans noktalarında avantajlar sağlayabilecek kompozit malzemeler ve bilhassa organik elektronik malzemeler sürdürülebilir elektromanyetik kalkanlama için avantajlı görölebilmektedir.

Bu bağlamda, polianilin (PANI) ve karbon nanotüp (KNT) kompoziti ve türevleri görece yüksek iletkenlikleri ve mekanik dayanıklılıkları nedeniyle elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında dikkat çeken malzemeler arasında yer almaktadır. Bilhassa karbon nanotüplerin benzersiz elektriksel, termal ve mekanik özellikleri kalkanlama malzemeleri geliştirirken kompozit oluşumu noktasında bu malzemeleri öne çıkarmaktadır. Bununla birlikte, bu malzemelerin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için genel olarak iletken polimerler ile kompozit olarak hazırlanmalarının daha uygun olacağı söylenebilir.

Buna göre; bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, literatürde birçok uygulama alanında sıkça kullanılan PANI/KNT sistemi üzerinde durulmuştur. Söz konusu kompozit sisteminde elektromanyetik kalkanlama performansının daha da iyileştirilebilmesi amacıyla KNT'lerin etrafına PANI yerine poli(anilin-ko-akrilonitril) sarılmasının nihai kalkanlama performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Bilindiği gibi PANI'nin aksine poliakrilonitril (PAN) yalıtkan ve genel geçer bir polimerdir. KNT ortamında yerinde polimerizasyon esnasında ANI'nin zincir yapısına akrilonitril (AN) bağlanması ile elde edilebilecek poli(anilin-ko-akrilonitril)/KNT kompozitlerinin elektromanyetik kalkanlama

özelliği noktasında bilhassa soğurma performansı açısından PANI/KNT' ye nazaran önemli iyileşmeler sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Bu hipotezimizin test edilebilmesi için poli(anilin-ko-akrilonitril)/çoklu duvarlı karbon nanotüp (MWNT) kompozitleri ters emülsiyon kopolimerizasyon yöntemi ile hazırlanmış ve farklı kompozisyonlarda hazırlanan söz konusu kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama işlevsellikleri incelenmiştir.

Elektromanyetik kalkanlama teknolojilerinin gelişimi ve bir iletken bir de yalıtkan temelli monomerlerin KNT'ler etrafına sarılmaları ile elde edilen kompozitlerin bu alandaki potansiyelinin değerlendirilmesi, hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu tez çalışması, söz konusu kompozitlerin performansını ve uygulama potansiyelini ortaya koyarak, gelecekteki araştırmalar ve teknolojik gelişmeler için sağlam bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

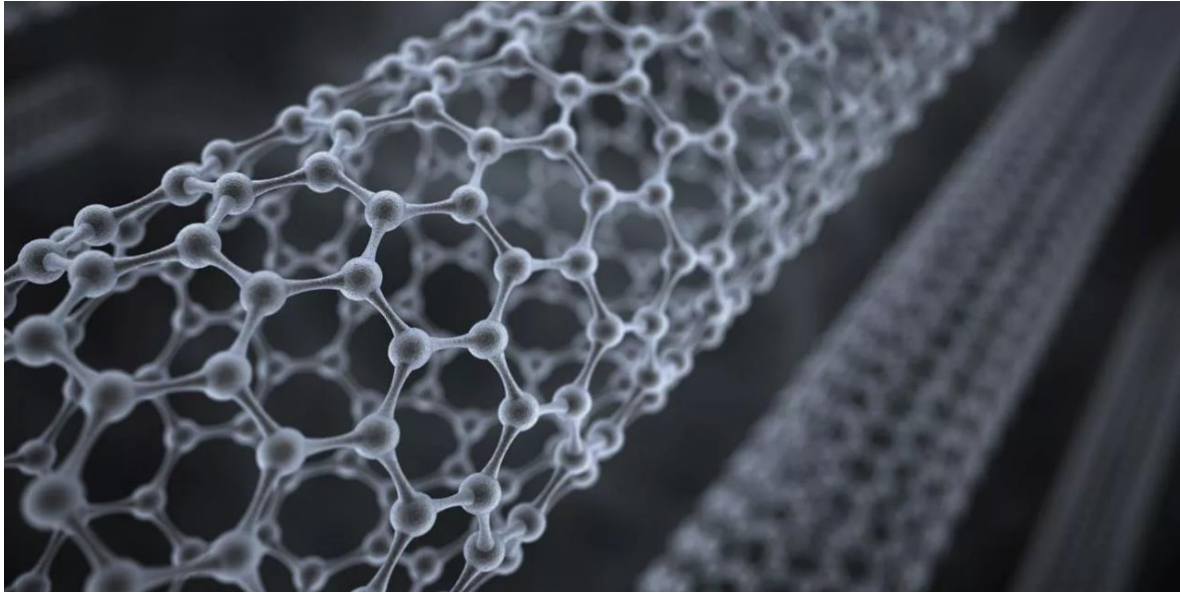
Elektromanyetik girişim (EMI) kalkanlama teknolojisi öncelikle elektronik cihazlarda yaygın elektromanyetik girişimi azaltmak ve elektronik bileşenleri korumak için kritik önem teşkil etmektedir. Mühendisliğin her alanında yeni ve üstün özellikli malzeme ihtiyacı bu alanda da elzem olarak gereklidir. Çünkü geleneksel ve yaygın olarak metaller bu alanda kullanılsa da ağır olmaları, maliyetleri ve kullanım alanlarının sınırlı olması sebepleri ile büyük dezavantajlara sahiptirler. Daha da önemlisi EMI kalkanlama için metallerde en yaygın mekanizma yansıma özelliği olsa da, kalkanlamanın emilim yoluyla gerçekleşmesi harp gizliliği teknolojisinde önemli bir yer taşımaktadır ve bu noktada iletken polimerler alternatif EMI kalkanlama malzemeleri olarak öne çıkmaktadır [3]. Özellikle hafif ve esnek özelliklere sahip iletken polimer bazlı ileri kompozit malzemelerin geliştirilmesi yeni ve artarak ilgi gören bir araştırma alanıdır.

1960 yılında iletken polimerlerin (ICP'lerin) keşfiyle birlikte, bu malzemelerin ilginç özellikleri ve geniş uygulama potansiyeli nedeniyle yoğun bir araştırma süreci başlamıştır [4]. Bu kesif bilim dünyası için öyle geniş ve ilginç bir araştırma sahası açmıştır ki 2000 yılında Heeger, MacDiarmid ve Shirakawa söz konusu iletken polimerin keşfi ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarını ile Nobel ödülüne layık görülmüşlerdir [5]. ICP'lerin elektrik-elektronik, termoelektrik, elektromanyetik, elektromekanik, elektro-optik, elektrokimya, enerji depolama ve sensörler gibi çok farklı alanlarda kullanımı her geçen gün artmaktadır. Örneğin; K. F. Schoch, Jr. bir çalışmada iletken polimerlerin elektrik ve elektronik alandaki avantajlara sahip özelliklerinin temel hususlarını vurgulamıştır [6]. Bu alanda kullanılan iletken polimer malzemelerin başlıcaları polianilin, poliasetilen, politiofen, polipirol, poli(3,4-ethylenedioxitiofen) ve benzerleridir. Bu malzemelerin yaygın kullanım alanları ise OPV(Organik Fotovoltaik), OLED(Organik Işık Yayan Diyot), OFET(Organik Alan Etkili Transistör), sensörler, anti-statik kaplama ve enerji depolama uygulamalarıdır. Ancak, bu polimerlerin potansiyel kullanım alanlarının çoğu, çözülmesi gereken bazı zorluklar nedeniyle henüz tam anlamıyla keşfedilmemiştir. Mevcut ICP'ler arasında, polianilin (PANI) en umut verici olanı olarak öne çıkmaktadır. Bunun nedeni, sentezinin kolay olması, hammadde ve üretim maliyetlerinin düşük olması, nihai performansına etki edecek yapısal özelliklerini kontrol etmenin görece kolay olması ve diğer ICP'lere kıyasla daha kararlı olmasıdır [4]. Bir başka deyişle PANI sentezi yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya inert atmosfer gibi özel koşullar gerektirmez. Normal

laboratuvar ekipmanlarıyla yapılabilir. Polimerin üretim süreci az sayıda reaksiyon adımı içerir, bu da sürecin daha hızlı ve kolay uygulanabilir olmasını sağlar. Genel olarak ilgili polimerizasyon reaksiyonu oda sıcaklığında veya düşük enerji gereksinimleriyle gerçekleştirmeye uygundur. İlgili reaksiyon sırasında güçlü asitler, bazlar veya toksik katalizörler gibi tehlikeli kimyasallar kullanılmaz. PANI sentezinde yüksek oranda hedef polimer direkt olarak üretilebilir ve yan ürün oluşumu minimumdur. Haliyle de ekstra saflaştırma adımlarına gereksinim yoktur. PANI sentezinde kullanılan başlangıç malzemeleri kolayca bulunabilir, uygun maliyetlidir ve anilinin distilasyonu haricinde özel hazırlıklar gerektirmez. Elektriksel iletkenliğe değinecek olur isek PANI'nin elektriksel iletkenliği de kullanılan katkı maddesi ve katkılama seviyesine bağlı olarak geniş bir aralıkta kontrol edilebilmektedir [7]. PANI'nin diğer bir önemli avantajı ise katı toz, film kaplama veya jel gibi birçok farklı formda hazırlanabilmesidir [8]. Bu durum PANI'nin birçok farklı uygulama alanında kullanılabilirlik kazandırmaktadır. Pek çok avantaja sahip olan PANI ile ilgili farklı disiplinlerde ve çok fazla sayıda çalışmalar yapılmıştır [9-12].

Örneğin, PANI'nin oda sıcaklığında bile etkili gaz algılama hassasiyeti onu gaz sensörlerinde etkin bir malzeme yaparken [13, 14] foto-tepkisel ince film olabilmesi özelliği ile de robotik, medikal ve optik alanında çok önemli çalışma alanları olan kızıl ötesi ışık sensörlerinde kullanımını sağlamıştır [8]. Ayrıca biyomedikal alanlarında PANI'nin biouyumluluk seviyesinin yüksek olması onu doku mühendisliğinde vazgeçilemez bir malzeme haline getirmiştir [15]. Bilhassa, PANI bazlı çeşitli kompozit malzemelerin görece yüksek termoelektrik güç faktörü ve elektriksel iletkenlik değerleri ile organik termoelektrik alanında umut vadettiği bilinmektedir [16]. İndirgeme ve yükseltgenme tepkimelerinde verimliliği ile redoks özelliklerine sahip iletken PANI, süper kapasitörler, şarj edilebilir piller ve yakıt hücreleri dahil olmak üzere elektrokimyasal enerji depolama ve dönüştürme teknolojilerinde yaygın olarak uygulanmıştır [17, 18]. PANI opto-elektrik ve diyot alanlarında araştırılmasının başarılı sonuçları doğrultusunda LED teknolojisinde kullanılmaktadır [19]. Benzer şekilde bazı diğer çalışmalarda ise antikorozyif malzeme olarak PANI'nin verimli bir performansa sahip olduğunu gösteren çalışmalar mevcut olup bunlardan birinde çelik saçların korozyondan korunması ve kendi kendini onabilen kaplamalar için PANI-epoksi kopolimeri incelenmiş [20] ve bir diğer çalışma da ise hibrit kompozit kaplama ile de demir üzerindeki başarılı korozyon önleme özelliği gösterilmiştir [21].

Son yıllarda tüm alanlarda olduğu gibi iletken polimerlerin de nano boyutlu karbon malzemeler ile kompozitlerinin hazırlanmaya başlaması organik elektronik alanında da hatırı sayılır gelişmeler yaşanmaya başlamıştır [22, 23]. KNT'ler, karbon atomlarının belirli düzeyde birbirine bağlanması ile oluşan silindirik yapılardır [24]. Bu silindirik yapı karbonların altıgen örgü dizilimi olan grafenlerin bükülmesi ile oluşmaktadır. Bu altıgen örgü sp^2 hibritleşmesi ile oluşur. Hibritleşen orbitaller karbon atomu çevresini 120° 'lik açı ile sarar ve trigonal düzlemsel bir yapı oluşturur. Bu yapı KNT' lere iyileşmiş özellikler sağlamaktadır [25]. Şöyle ki, bir s orbitali ve iki p orbitali birleşerek üç sp^2 hibrit orbitali oluşturur. Bir p-orbitali hibritleşmeye katılmaz ve boşta kalır. Hibrit orbitaller, diğer atomlarla σ (sigma) bağları, hibritleşmeyen p-orbitali ise diğer atomlarla π (pi) bağı oluşturur. σ (sigma) bağı güçlü ve kararlı bir özellik taşıırken π (pi) bağları ise esneklik taşır [26, 27]. KNT'ler, sentez tekniklerine göre tek duvarlı karbon nanotüp (SWNT), çift duvarlı karbon nanotüp (DWNT), çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT) gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde oluşturulabilir [28].



Şekil 2.1. Karbon Nanotüp Görüntüsü [29].

Hem deneysel hem de teorik çalışmalar sonucu KNT'lerin (SWNT ve MWNT dahil) üstün mekanik özelliklere, yüksek en boy oranına ($\sim 10^4$) ve mükemmel dalgalılık özelliğine sahip olduğu kanıtlanmıştır [30, 31]. Ayrıca KNT'lerin çok iyi elektriksel iletkenliklerinin yanı sıra çok hafif ve kimyasal olarak kararlı olmaları sebebiyle de kuantum teli çalışmalarında da sıkça kullanılmışlardır [32].

Literatürde karbon nanotüplerin (KNT'lerin) PANİ ile birlikte kullanıldığı kompozit malzemeler iyileştirilmiş elektriksel ve manyetiksel özellikleri ile bilhassa ilgi görmektedir [33-35]. PANİ ile sarılmış KNT'lerde PANİ ve KNT'ler pi bağı ile birbirine bağlanmış, bu bağlar iletken geçit görevi görmüş ve nihai kompozit yapıda yüksek iletkenliğe yol açmıştır [36]. Bilindiği gibi bu kompozit malzemelerde elektriksel iletkenlik değerleri yapıya eklenen KNT miktarı ile kontrol edilebilir. Bir çalışmada PANİ kaplı KNT nanofiberlerin düşük bölgesel perkolasyon derinliği ve yüksek potansiyel güç kaybı ile enerji depolama ve elektromanyetik soğurma konusunda verimli çalıştığı gösterilmiştir [37]. Benzer şekilde, yine önceki bir çalışmada saf PANİ' ye kıyasla MWNT/PANİ kompozitinin benzer elektrokimyasal tepki oranlarına sahip olduğu ancak daha düşük bir dirence ve çok daha iyileştirilmiş mekanik bütünlüğe sahip olduğu ve kompozit filmlerin özgül elektrokimyasal kapasitesinin önemli ölçüde arttığı sonucuna ulaşılmıştır [38]. PANİ/KNT yüksek iletkenliğin yanı sıra özgül kapasite değeri ile süper kapasitör için uygun bir malzemedir ve böylece enerji depolama alanında son yıllarda dikkat çekici bir kompozit haline gelmiştir [39, 40]. Söz konusu PANİ/KNT kompozitlerinin bir diğer avantajı ise hafif bir malzeme olmalarının yanı sıra gelişmiş mekanik özelliklere de sahip olmalarıdır [41]. Yine başka bir kullanım alanına göre önceki çalışmalar derlenecek olur ise PANİ'nin tek başına gaz sensörlerinde kullanılmasına göre PANİ/KNT'nin gaz sensörlerinde birlikte kullanımının daha başarılı olduğu da görülmüştür [13, 14]. Sensörlerle ilgili olarak ayrıca PANİ/MWNT dolgulu kompozitler, piezo-elektronik sistemler için uygun maliyetli, sürdürülebilir ve esnek basınç algılama uygulamaları için potansiyel gösterdiği de yine önceki çalışmalarda raporlanmıştır [42]. Biomedikal mühendisliği açısından da çarpıcı ve ilgi çekici çalışmalarda yine literatürde PANİ/MWNT kompoziti kullanımına rastlanmaktadır. Örneğin; DNA hibridizasyonunu izlemek için manyetit nanopartikülünü temel alan hassas elektrokimyasal biyosensör çalışmaları [43] ve VEGF₁₆₅ tümör belirteci tespitinde PANİ/MWNT kompoziti bazlı biosensörlerde de başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir [44].

PANİ/KNT kompozitlerinin bir diğer kullanım alanı olarak EMI koruma uygulamaları son yıllarda göze çarpmaktadır. Söz konusu kompozitler düşük yoğunluk, esneklik, yüksek mukavemet, kararlılık, yüksek elektriksel iletkenlik ve başarılı elektro manyetik kalkanlama verimi (SE) ile öne çıkmaktadır. Örneğin; farklı karbon nano dolgu maddesi ile doldurulmuş polimerik malzemeler incelendiğinde MWNT 'nin en boy oranı, elektriksel iletkenliği ve en düşük sızma eşiği ile umut veren EMI SE performansları elde

edilebilmiştir [45]. Söz konusu kompozit yapılarda polianilin veya türevlerinin kullanımının diğer polimerlere göre EMI SE üstünlüğünün yanı sıra polianilin bileşiminin kimyasal yapısını ve kristalinografik sırasını değiştirerek elektromanyetik radyasyonun bir polianilin bileşimi tarafından emilimini değiştirme yöntemi ve de korunacak nesnenin üzerine polianilin bileşiminden oluşan bir tabaka sağlamayı içeren, böylece elektromanyetik radyasyonun giriş ve çıkışının engellendiği bir elektronik koruma sağlama yöntemi de açıklanmıştır [46]. Polianilin ticari olarak uygulanabilir bir malzeme olup EMI kalkanlama uygulamaları için metal, alaşım veya metal dolgulu kompozitlerin yerini alabilecek yeterli elektriksel iletkenliği ve elektromanyetik dalga emilimi noktasında kullanılabilirliği yüksek bir malzeme olduğu başarılı çalışmalar ile ortaya konmuştur [47]. Polianilin (PAN) ve gümüş (Ag), grafit ve karbon siyahı gibi iletken tozların karışımlarının elektromanyetik girişim koruma için SE değerlerinin teorik olarak iyi bir iletken ile aynı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [48].

EMI malzemesi olarak polimer/karbon kompozitlerinin tasarımı, karakterizasyonu, avantajı ile yüksek verimi üzerine çalışmalar mevcuttur[49]. Buna ek olarak EMI koruma uygulamaları için esnek ve yüksek iletkenliğe sahip CNT/PANI filmleri geliştirilmiştir ve en yüksek yüksek özgül kalkanlama etkinliği edilmiştir [33].

Öte yandan, çok yakın bir tarihte gerçekleştirilmiş olan başka bir çalışmada PANI/KNT kompozitine akrilonitril bağlanması ile poli(anilin-ko-akrilonitril)/KNT kompozitinin termoelektrik veriminin PANI/KNT'ye nazaran arttığı raporlanmıştır [50]. Bu çalışmada yapıya akrilonitril eklenmesi ile kompozitin yük taşıma özelliklerinin kontrol edilebildiği ve bu durumun nihai termoelektrik verimin artışı sağladığı değerlendirilmiştir doğrudan etkisi açıklanmıştır. Bu çalışmayı destekleyen başka bir çalışmada karbon nanotüp-poliainilin-ko-akrilonitril kompozitinin güneş pilleri için yüksek dönüşüm hızı, artan iyonik iletkenlik ve yük taşıma kapasiteleri ile üstün performans elde edilebileceği belirtilmiştir dikkat çeker [51]. Her ne kadar poli(anilin-ko-akrilonitril)/KNT kompozitlerinin hem termoelektrik hem de güneş pili uygulamaları için PANI/KNT'ye nazaran daha iyi performans gösterdiği raporlandıysa da EMI koruma performansları üzerine ise literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bilgiler ışığında poli(anilin-ko-akrilonitril)/MWNT kompozitlerinin EMI koruma performanslarının da PANI/KNT'lere nazaran daha iyi olabileceği değerlendirilmiş ve bu yüksek lisans tezi kapsamında söz konusu poli(anilin-ko-akrilonitril)/MWNT kompozitlerinin EMI koruma performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kopolimer Sentezi

Bu tez kapsamında kullanılan anilin ($\geq 99.5\%$), akrilonitril ($\geq 99\%$), kamforsulfonyk asit (CSA) (98%), benzoil peroksit (BPO), sodyum lauril sülfat (SLS) ($\geq 99\%$), MWNT ($> 95\%$) gibi tüm kimyasallar Sigma Aldrich firmasından temin edilmiş ve alındığı şekliyle kullanılmıştır. Bilindiği üzere, PANI, anilinin kimyasal oksidatif polimerizasyonu, sulu dispersiyon, emülsiyon, ters emülsiyon, arayüz polimerizasyon ve elektrokimyasal polimerizasyon teknikleri gibi çeşitli tekniklerle sentezlenebilir [52]. Bu tez kapsamında PANI emeraldin (zümrüt) formu sentezlenirken başlatıcı olarak BPO kullanılarak ters emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile oda sıcaklığında 24 saatte sentezlenmiştir. Bu yöntem ve koşulların seçilmesinin nedeni hem yapıya akrilonitril bağlamak noktasında hem de iletkenlik üzerinde söz konusu yöntem ile sentez gerçekleştirilmesinin olumlu etkileri olabileceğindedir [53]. Bilindiği gibi literatürde anilin ve akrilonitril monomerleri ile kopolimer hazırlanması üzerine gerçekleştirilmiş üç çalışmanın [50, 54, 55], ikisinde [50, 54] ters emülsiyon polimerizasyonu yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni hem anilin hem de akrilonitril monomerlerini polimerleştirmeye uygun bir başlatıcı olan BPO'nun başlatıcı olarak reaksiyonlarda kullanılması ve bu başlatıcının (her iki monomer de suda çözünmemesine rağmen) suda çözünmemesidir. Bu nedenle de, bu tez çalışmasında reaktöre beslenen anilin ve akrilonitril suda eklenirken, başlatıcı olan BPO ise reaktöre kloroform içerisinde eklenmiş, böylece de reaksiyonlar literatür çalışmalarına [50, 54] paralel olarak ters emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Polianilin sentezi esnasında 0,006 mol BPO 30 ml kloroformda çözdürülmüştür. Aynı anda 0,006 mol SLS 15 ml deiyonize suda çözdürülmüştür. Aynı bir beherde 0,003 mol anilin ile 0,006 mol CSA 15 ml deiyonize suda yarım saat süre ile karıştırılmıştır. İlk olarak BPO-kloroform karışımı polimerizasyon reaksiyonlarının gerçekleştirileceği tek boyunlu balona alınmıştır. Daha sonra önce SLS-deiyonize su karışımı reaktöre eklenmiş bunu takiben de anilin-CSA-deiyonize su karışımı reaktöre damla damla (1 damla / 4 saniye) eklenerek reaksiyon başlatılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu 24 saat boyunca oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, reaksiyon boyunca reaktör 430 rpm hızda karıştırılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu sonrasında elde edilen polimerler 600 ml asetonda 12 saat boyunca karıştırılarak çöktürülmüştür. Daha sonra vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış, deiyonize su ve aseton ile 3'er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen

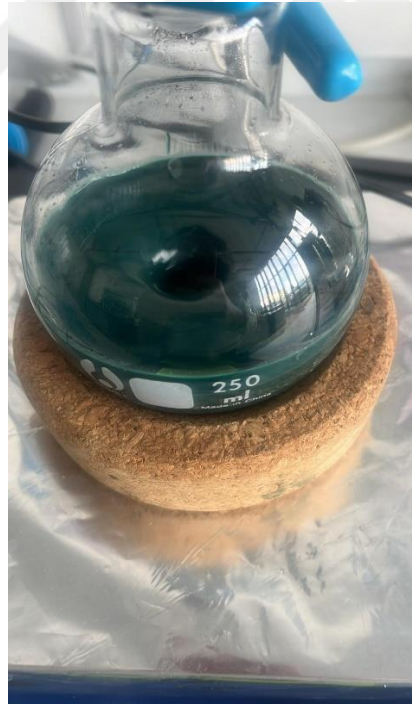
polimer 0.1 M amonyum hidroksit çözeltisinde 12 saat karıştırılarak sentez esnasında yapıya giren asidik bileşenlerden ayrıştırılmıştır [56]. Bu işlemi müteakip polimerler yine vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış deiyonize su ve etanol ile 3'er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Son olarak toz haldeki PANI, katı kütle:çözücü oranı 6 mg/mol ve ANI:CSA oranı molce 2:1 olacak şekilde hesaplanarak m-kresol ortamında CSA ile geri katkılama işlemine tabi tutulmuştur. Geri katkılama işlemi oda sıcaklığında 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Bunu müteakip elde edilen sıvı numuneler damla döküm yöntemi ile 2,2 x 0,96 cm'lik SLF cam alttaşlar üzerine damla döküm yöntemi ile kaplanarak 45 °C'de 48 saat kurutulmuştur.

Poli(anilin-ko-akrilonitril) sentezi için, 0,25 gram anilin, 0,016 gram akrilonitril ve 1,4 gram CSA tartılarak 15 mL deiyonize suya eklenmiş ve oda sıcaklığında yarım saat karıştırılmıştır. Bu esnada 1,45 gram BPO tartılarak ayrı bir beherde 30 ml kloroforma eklenerek oda sıcaklığında yarım saat süre ile karıştırılmıştır. Benzer şekilde 1,73 gram SLS tartılarak ayrı bir beherde 15 ml deiyonize suya eklenmiş ve oda sıcaklığında yarım saat karıştırılmıştır. Daha sonra BPO-kloroform karışımı polimerizasyon reaksiyonlarının gerçekleştirileceği tek boyunlu balona alınmıştır. Daha sonra önce SLS-deiyonize su karışımı reaktöre eklenmiş bunu takiben de anilin-CSA-deiyonize su karışımı reaktöre damla damla (1 damla / 4 saniye) eklenerek reaksiyon başlatılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu 24 saat boyunca oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, reaksiyon boyunca reaktör 430 rpm hızda karıştırılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu sonrasında elde edilen polimerler 600 ml asetonda 12 saat boyunca karıştırılarak çöktürülmüştür. Daha sonra vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış, deiyonize su ve aseton ile 3'er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen polimer 0.1 M amonyum hidroksit çözeltisinde 12 saat karıştırılarak sentez esnasında yapıya giren asidik bileşenlerden ayrıştırılmıştır [56]. Bu işlemi müteakip polimerler yine vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış deiyonize su ve etanol ile 3'er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Son olarak toz haldeki kopolimerler, katı kütle:çözücü oranı 6 mg/mol ve ANI:CSA oranı molce 2:1 olacak şekilde hesaplanarak m-kresol ortamında CSA ile geri katkılama işlemine tabi tutulmuştur. Geri katkılama işlemi oda sıcaklığında 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Bunu müteakip elde edilen sıvı

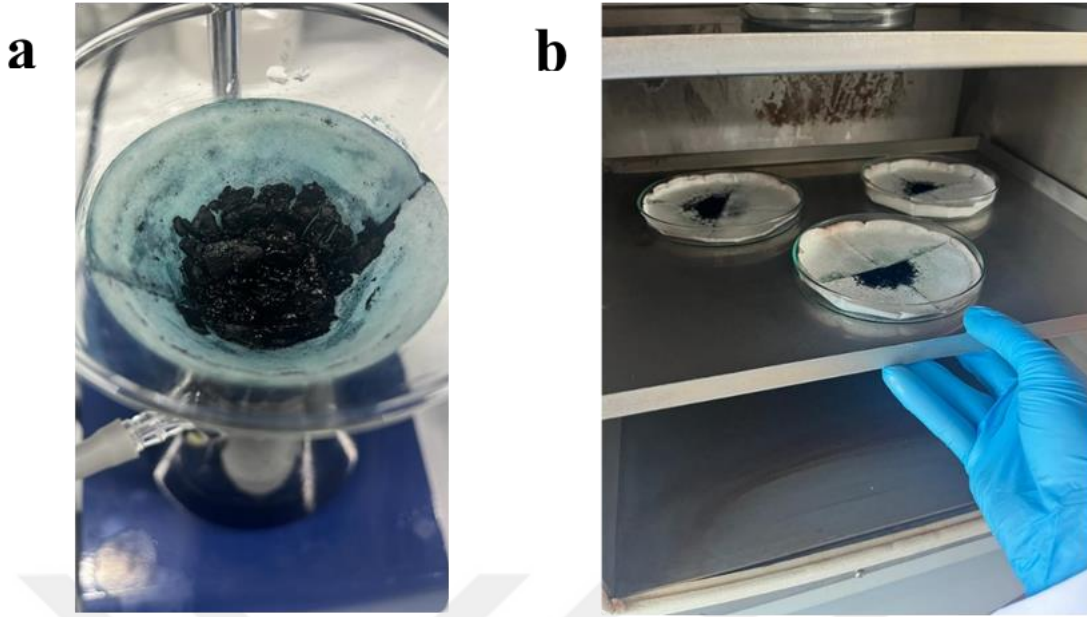
numuneler damla döküm yöntemi ile 2,2 x 0,96 cm'lik SLF cam alttaşlar üzerine damla döküm yöntemi ile kaplanarak 45 °C'de 48 saat kurutulmuştur.



Resim 3.1. Kopolimer Sentezi (Reaksiyon başlangıcından 1 saat sonra)



Resim 3.2. Kopolimer Sentezi (Reaksiyon başlangıcından 24 saat sonra)



Resim 3.3. Sentez esnasında polimerlerin süzülmesi (a) ve kurutma işlemi (b).

MWNT/poli(anilin-ko-akrilonitril) kompozitleri için ilk etapta çalışılması planlanan MWNT oranları %30, %50 ve %70 olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, MWNT/kopolimer kompozitleri sentezlenirken %30, %50 ve %70 MWNT içeren kompozitleri için sırasıyla 0,09 gram, 0,2147 gram ve 0,4683 gram MWNT tartılarak 40 mL deiyonize suya eklenmiş ve bir saat boyunca ultrasonik homojenizatörde 0°C’ de MWNT’ler tamamen dispersiyeye edilmiştir. Bu deneylerde yine 0,25 gram anilin, 0,016 gram akrilonitril ve 1,4 gram CSA tartılarak 5 mL deiyonize suya eklenmiş ve oda sıcaklığında yarım saat karıştırılmıştır. Bu esnada 1,45 gram BPO tartılarak ayrı bir beherde 50 ml kloroforma eklenerek oda sıcaklığında yarım saat süre ile karıştırılmıştır. Benzer şekilde 1,73 gram SLS tartılarak ayrı bir beherde 5 ml deiyonize suya eklenmiş ve oda sıcaklığında yarım saat karıştırılmıştır. Daha sonra BPO-kloroform karışımı polimerizasyon reaksiyonlarının gerçekleştirileceği tek boyunlu balona alınmıştır. Daha sonra önce SLS-deiyonize su karışımı reaktöre eklenmiş bunu takiben de anilin-CSA-deiyonize su karışımı reaktöre damla damla (1 damla / 4 saniye) eklenerek reaksiyon başlatılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu 24 saat boyunca oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, reaksiyon boyunca reaktör 430 rpm hızda karıştırılmıştır. Polimerizasyon reaksiyonu sonrasında elde edilen polimerler 600 ml asetonda 12 saat boyunca karıştırılarak çöktürülmüştür. Daha sonra vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış, deiyonize su ve aseton ile 3’er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen polimer 0.1 M amonyum hidroksit çözeltisinde 12

saat karıştırılarak sentez esnasında yapıya giren asidik bileşenlerden ayrıştırılmıştır [56]. Bu işlemi müteakip polimerler yine vakum filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılmış deiyonize su ve etanol ile 3'er kez yıkandıktan sonra vakum etüvüne alınarak 40 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Son olarak toz haldeki kompozitler, katı kütle:çözücü oranı 6 mg/mol ve ANI:CSA oranı molce 2:1 olacak şekilde hesaplanarak m-kresol ortamında CSA ile geri katkılama işlemine tabi tutulmuştur. Geri katkılama işlemi oda sıcaklığında 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Bunu müteakip elde edilen sıvı numuneler damla döküm yöntemi ile 2,2 x 0,96 cm'lik SLF cam altaşlar üzerine damla döküm yöntemi ile kaplanarak 45 °C'de 48 saat kurutulmuştur.



Resim 3.4. Homojenizatörde MWNT Karıştırma İşlemi

Sisteme beslenecek MWNT miktarları kopolimer sentezlerindeki monomer dönüşüm oranları kullanılarak tespit edilmiştir. Kompozitler hazırlanırken elde edilen monomer dönüşüm miktarları ile kopolimer sentezindeki monomer dönüşüm miktarlarının birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Buna göre, her ne kadar planlanan MWNT oranları %30, %50 ve %70 olsa da deneyler sonunda kompozit yapıda sırasıyla %28, %55 ve %64 MWNT olduğu tespit edilmiştir. Kompozit numuneler hazırlanırken ulaşılan monomer dönüşüm oranları ile buna göre hesaplanan kompozitlerdeki nihai MWNT miktarları Tablo 3.1.1.'de listelenmiştir.

Tablo 3.1.1. Reaksiyon verimleri ve Nihai KNT miktarları

Malzeme	Nihai MWNT oranı (%)	Monomer dönüşümü (%)
polianilin	0	≈85
poli(ANI-ko-AN)	0	≈ 81
28%MWNT/72%poli(90ANI-ko-10AN)	28	≈ 85
55%MWNT/45%poli(90ANI-ko-10AN)	55	≈ 65
64%MWNT / 36%poli(90ANI-ko-10AN)	64	≈100



Resim 3.5. Damla Döküm Yöntemi ile Kaplanan Filmlerin Kurutulması

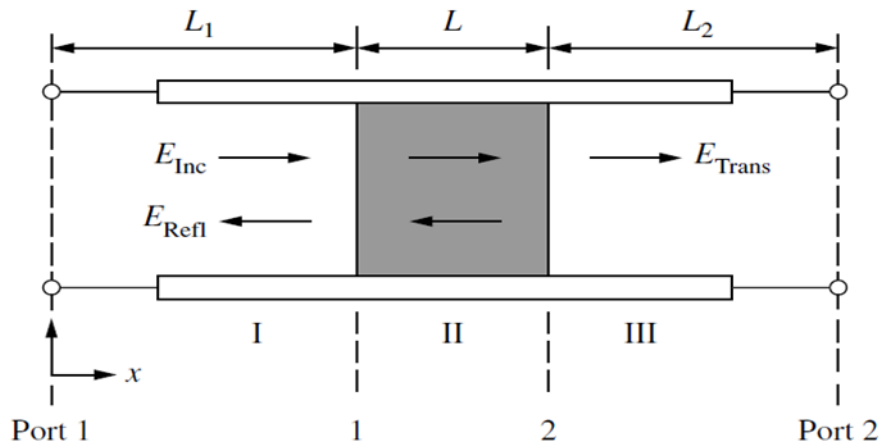
3.2. Karakterizasyon İşlemleri

Hazırlanan kopolimer ve kompozitlerin manyetik karakteristikleri VSM ölçümü ile 0-5 T aralığında ve oda sıcaklığında Cryogenics marka Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi ile incelenmiştir. Yapısal özellikler 5-55 °C aralığında oda sıcaklığında Rigaku marka X ışını kırınımı (XRD) cihazı ile Cu-K α ışını kullanılarak incelenmiştir. Polimer ve

kompozitlerin moleküler yapıları Bruker Tensor II marka Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi ile $4000-400\text{ cm}^{-1}$ de çalışılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin morfolojisi TESCAN MIRA 3 XMU marka taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Elektriksel bileşenlerin ve sistemlerin frekans yanıtı Anritsu marka S820E model VNA cihazı kullanılarak geçiş-yansıma tekniği ile X (8,2-12,4 GHz) bandında ölçülmüştür. Ayrıca EMI kalkanlama performansının daha detaylı incelenmesi için hazırlanan malzemelerin elektromanyetik özellikleri de saçılma parametreleri kullanılarak Nicolson-Ross-Weir (NRW) metodu ile hesaplanmıştır [25].

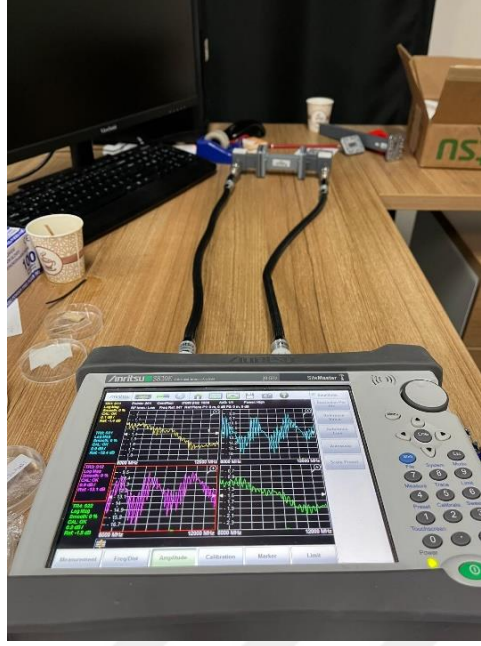
3.2.1. Nicolson-Ross-Weir (NRW) Metodu:

NRW yöntemi S parametreleri kullanılarak malzemenin elektromanyetik özelliği hakkında bilgi sahibi olmak için gerekli olan dielektrik geçirgenlik (ϵ) ve manyetik geçirgenlik (μ) değerlerinin hesaplanmasında kullanılan yaygın bir yöntemdir.

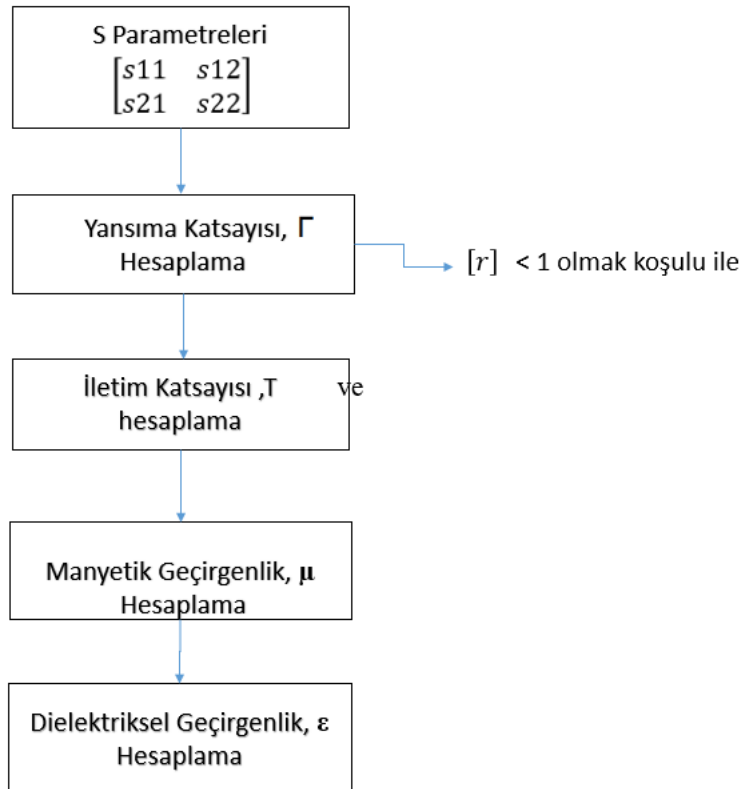


Şekil 3.2. Bir İletim Hattında, Malzemedeki Yansıyan ve Malzemeyi Geçen Elektromanyetik Dalgaların Gösterimi [57]

NRW metodu için VNA ölçümlerinin karakterize edilmesi gerekmektedir. Bunun için en uygun teknik geniş ve orta frekans bantlarında uygun karakterizasyon tekniği iletim hattı teknikleridir. Bu teknik tek port ölçümleri (yansıma) ve iki port ölçümleri (geçiş-yansıma) olarak ikiye ayrılabilir. Geçiş-yansıma tekniğinde malzeme koaksiyel hattın veya dalga kılavuzunun içine yerleştirilerek yapılır. Bu çalışmamızda VNA ölçümünde bu yöntem kullanılmıştır.



Resim 3.2. VNA Cihazı ile Saçılma Parametrelerinin Ölçümü



Şekil 3.3 NRW Metodu Matematiksel Modeli

S parametrelili kullanılarak manyetik geçirgenlik ve dielektriksel geçirgenlik parametrelerini hesaplamak en verimli metot NRW metodudur ve bunun için öncelikle yansıma iletim katsayılarının hesaplanması gerektiği Şekil 3.2.1.2.2' de gösterilmiştir.

Buna göre VNA ölçüm parametreleri kullanılarak NRW metodu için hesaplamalar şu şekilde hesaplanır [25, 58-60];

Yansıma katsayısı:

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.1)$$

Burada;

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{12}^2}{2S_{11}} \quad (3.2)$$

VNA cihazı ile ölçülen S parametrelerinin matematiksel karşılığı şu şekildedir:

$$S_{21} = \frac{T(1 - \Gamma^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.3)$$

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1 - T^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.4)$$

S parametrelerin iletim kat sayısı (T) şu şekilde hesaplanır:

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})} \quad (3.5)$$

Manyetik geçirgenlik denklemleri:

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0} \frac{1}{\lambda_c}}} \quad (3.6)$$

şeklinde verilir .

Bu denklem için ;

$$\frac{1}{\Lambda} = \left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right)^2 \quad (3.7)$$

eşitliği mevcuttur.

Dielektriksel geçirgenlik (ϵ) şu formül ile hesaplanır:

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c} - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right) \quad (3.8)$$

$$\ln \left(\frac{1}{T} \right) \dots \dots \dots \quad (3.9)$$

eşitliğinin sanal kısmı $j(\theta+2\pi n)$ sonsuz köke sahip olabilir. Bu değer problemi iki yöntemle giderilir.

3.2.1.1. Grup Hata (Gecikme) Tahmini Yöntemi:

Denklem 3.5 belirsizdir çünkü malzemenin uzunluğu dalga boyunun katı kadar arttığında iletim katsayısı T fazı değişmez. Öte yandan malzeme boyunca gecikme malzemenin toplam uzunluğunun fonksiyonudur ve faz belirsizliği giderilmesi için n değerinin hesaplanmasında ölçülen grup gecikmesi ve hesaplanan grup gecikmesi karşılaştırma yapılarak μ ve ϵ değerleri hesaplanabilir. Grup hata (τ) analizi şu denklemle yapılabilir:

Hesaplanan grup gecikmesi

$$\tau_{\text{hesaplanan}} = L \frac{d}{df} \sqrt{\frac{\epsilon_r \mu_r f^2}{c^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}} = \frac{1}{c^2} \frac{f \epsilon_r \mu_r + f^2 \frac{1}{2} \frac{d(\epsilon_r \mu_r)}{df}}{\sqrt{\frac{\epsilon_r \mu_r f^2}{c^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} L \quad (3.10)$$

Ölçülen grup hatası şu şekilde verilir:

$$\tau_{\text{ölçülen}} = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{df} \quad (3.11)$$

Bu değer ağ analizöründen elde edilir.

Hesaplanan grup gecikmesi, dalga sayısı k' 'nin açısal frekansa göre değişimiyle ilgilidir. Burada kök, $n=k$, şu şekilde bulunur:

$$\tau_{\text{ölçülen}} - \tau_{\text{hesaplanan}} \approx 0 \quad (3.12)$$

3.2.1.2. İlk Değer Tahimini Yöntemi:

λ_g ' den yola çıkarak ϵ ve μ değerleri için ilk tahmini değerlerini ϵ^* ve μ^* kullanarak yapılır. Denklem 3.7 ' den

$$\frac{1}{\Lambda} = j \left(\frac{\gamma}{2\pi} \right) \quad (3.13)$$

$$\gamma = j \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r^* \mu_r^* - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c} \right)^2} \quad (3.14)$$

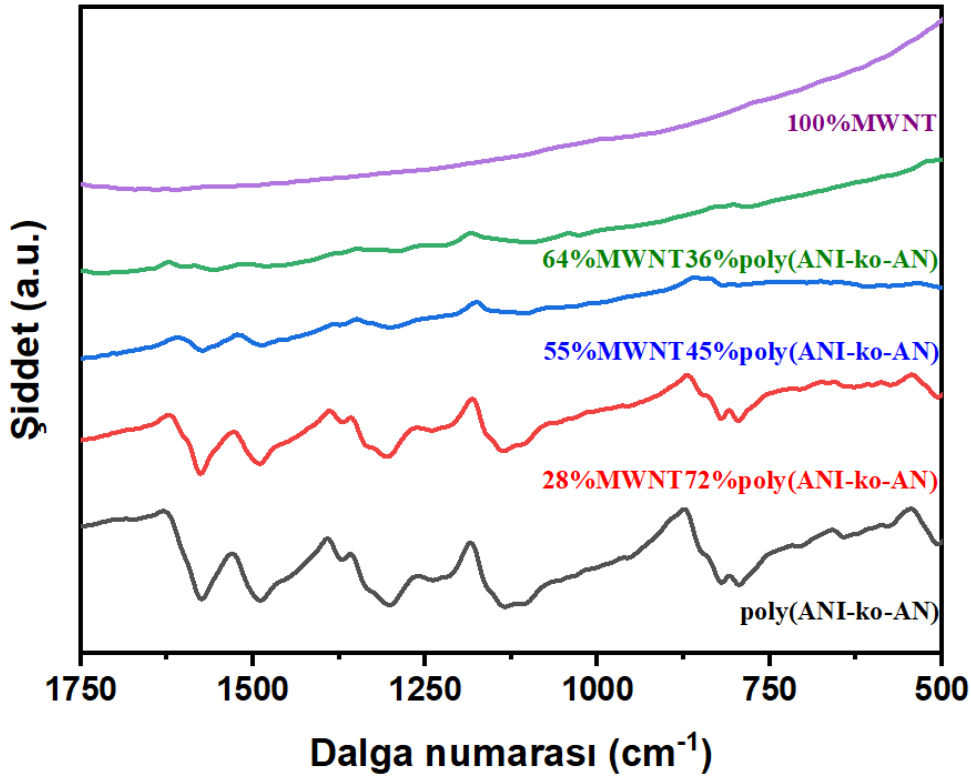
Burada ,

$$\mathcal{Re} \left(\frac{1}{\Lambda} \right) = \frac{1}{\lambda_g} \quad (3.15)$$

(3.13) ve (3.15) denklemleri eşitlenerek λ_g bulunur ve dolayısıyla n değeri hesaplanır.

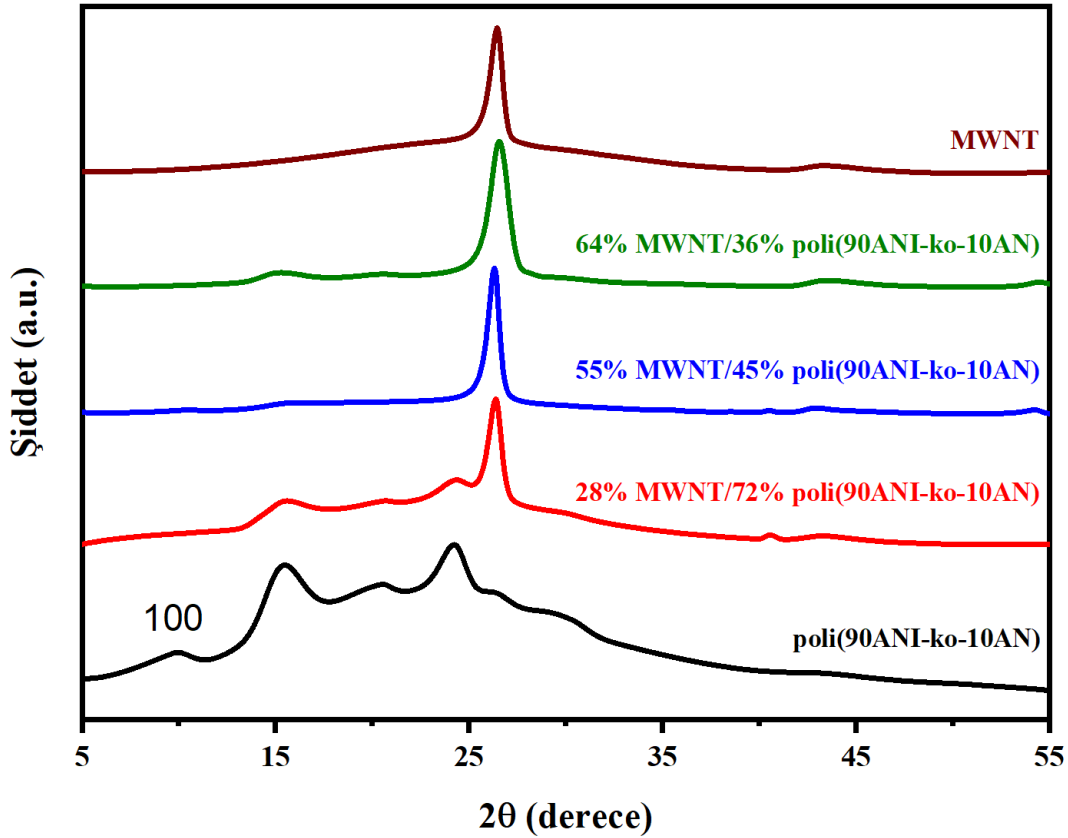
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

FT-IR sonuçları Şekil 4.1.'de verilmiş olup buna göre 1580, 1496, 1308, 1155 ve 827 cm^{-1} ' de gözlenen pikler sırasıyla aromatik C-H, C-C (kinoid) gerilme, C-C (benzenoid) germe, C-N germe, kinoidin (Q) C-H düzlem içi gerilmesi ve C-H benzenoidin (B) düzlem dışı bükülmesi kaynaklı olup PANI için karakteristik FT-IR pikleridir [12, 44, 50]. 1450 ve 1350 ve 1250 cm^{-1} ' de gözlenen pikler ise sırasıyla $-\text{CH}_2$ simetrik bükme (düzlem içi) titreşimleri, C-H bükme (düzlem içi) titreşimleri ve $-\text{CH}_2$ bükme titreşimlerine atfedilebilir ki bu durum yapıda akrilonitril varlığı nedeniyle beklenebilecek bir durumdur [51, 52]. KNT için karakteristik olarak kabul edilebilecek grafitik katmanların germe titreşimlerine atfedilebilecek pik 1630 cm^{-1} mertebelerinde kompozit numunelerde görülmüştür [53]. KNT miktarının artışı ile birlikte kompozitlerde polimer kaynaklı FT-IR piklerinin şiddet yoğunluklarında önemli azalmalar yaşanmış olup bu durum beklendiği bir sonuçtur. MWNT' lerin template görevi görmeleri neticesinde polimerler MWNT' leri sararak büyüme durumunda kaldıklarından bağ titreşimleri zayıflamış olabilir. Bu bulgular ışığında FT-IR sonuçlarının kopolimer ve kompozit oluşumlarının başarıyla gerçekleştirildiğini desteklediği değerlendirilebilir.



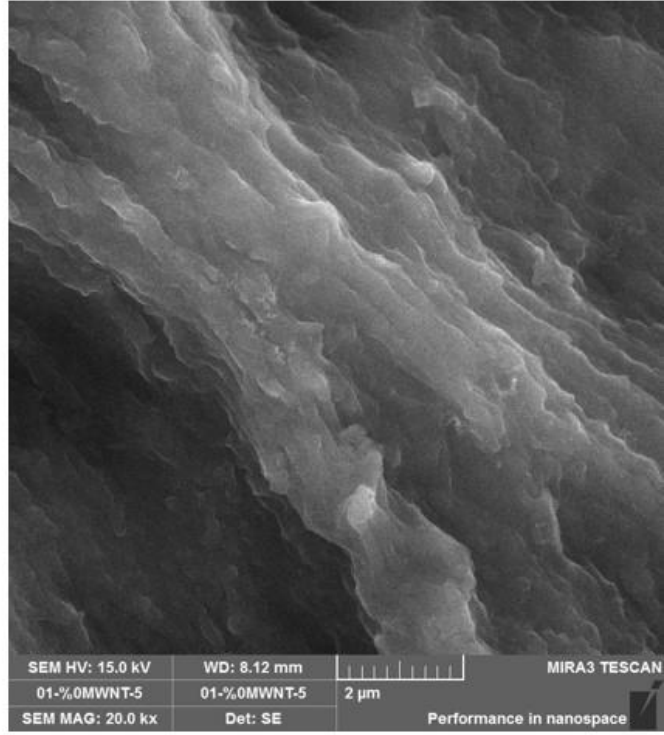
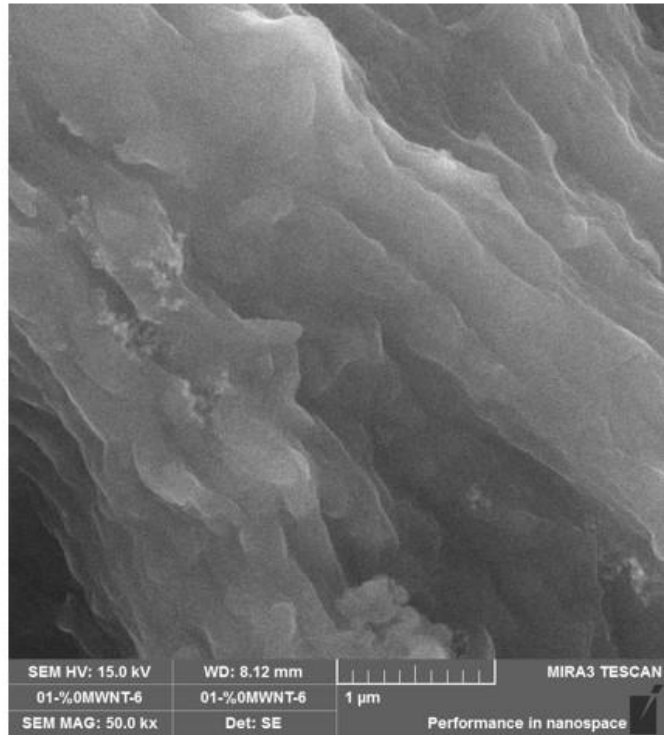
Şekil 4.1. Hazırlanan malzemelerin FT-IR sonuçları

XRD sonuçları Şekil 4.2.'de verilmiş olup buna göre 15, 20 ve 24 derecelerde gözlenen pikler yapıdaki kopolimere 26 derecede gözlenen pik ise MWNT'lerin (002) grafitik düzlemlerine atfedilmiştir [50]. MWNT grafitik pikinin kompozitlerde bilhassa MWNT miktarı arttıkça XRD sonuçlarını şiddet yoğunluğu açısından domine ettiği saptanmış olup bu durum önceki çalışmalar ile uyumludur. Burada önemli bir nokta 24 derecede gözlenen PANI'nin (110) piki ile ilgili göze çarpmaktadır. Bilindiği gibi bu pikin pozisyonu ve şiddeti polimerin elektriksel iletkenliği ile oldukça ilişkilidir. Çünkü bu pik fenil halkalarının yüz-yüze istiflenmesi ve istiflenme mesafesi ile bağlantılıdır ve yapıdaki yük taşınım olaylarını dolayısıyla da bilhassa elektromanyetik kalkanlama özelliği noktasında geri yansıtma parametresini önemli ölçüde etkileyebilecektir [61-63]. Önceki çalışmalar APS ile sentezlenen polimerlerde bu pikin bir nebze daha yüksek açılarda gözlenebildiği BPO ile sentezlenen PANI' de ise Şekil 4.2.'deki gözlemlerimize paralel şekilde elde edilebileceğini göstermektedir [50, 64]. Bu bağlamda bu pikin çok düşük açılara kaymasının fenil halkaları arasında istiflenme mesafesinin artması ve yük taşınımı için daha yüksek aktivasyon enerjilerine ihtiyaç duyulacağı anlamlarına geldiği bilinmektedir [63]. Şekil 4.2.'ye göre yapıdaki MWNT miktarı arttıkça bu pikin 26 derecelerdeki MWNT pikine doğru kaydığı ve tek bir pik formunu aldığı böylece de gerek pi-pi istiflenmesi yolu ile gerek fenil halkaları arasındaki mesafelerin azalması yolları ile yapıdaki yük taşınımının artabileceği böyle bir durumda ise nihai kompozitin bu tez çalışmasında asıl incelenmek istenen elektromanyetik kalkanlama performansı noktasında bilhassa geri yansıtma özelliğinde artışlar gözlenebileceği değerlendirilebilir.



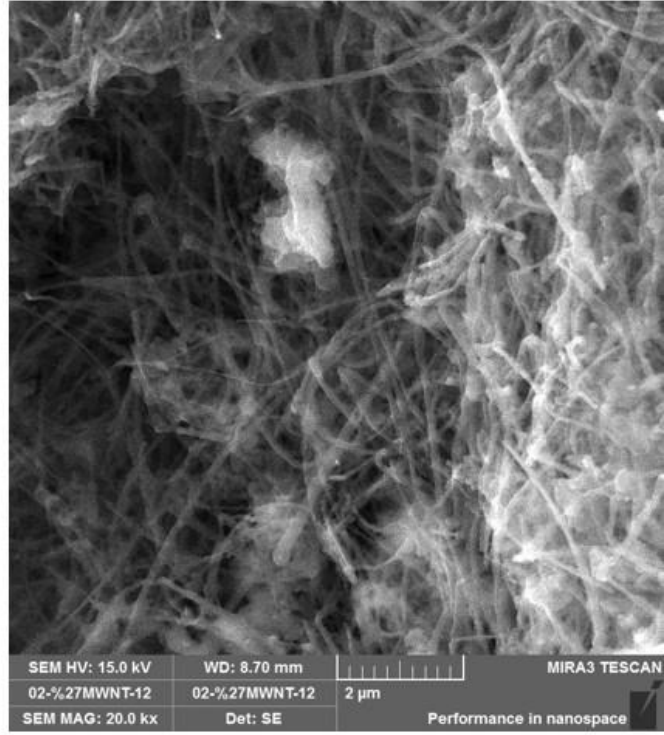
Şekil 4.2. Hazırlanan malzemelerin XRD sonuçları

Hazırlanan numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8., ve Şekil 4.9.'da sunulmuştur. Elektron mikroskobu görüntülerinde beklenmedik bir duruma rastlanmamış yapıdaki MWNT miktarı azaldıkça tüp kalınlıklarının arttığı saptanmıştır. Esasen bu tez kapsamında hazırlanan kompozitlerde, kopolimerlerin MWNT'lerin etrafını sarması beklendiğinden yapıdaki MWNT miktarı azaldıkça başka bir deyişle kopolimer miktarı arttıkça daha fazla kopolimer MWNT'lerin etrafını saracağından elektron mikroskobu görüntülerinde kopolimer miktarı ile tüp kalınları arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur. Yine, kompozitlerde tüp yüzeylerinin MWNT'ye nazaran daha pürüzlü olduğu gözlenmiştir ki bu durum da yine literatür bulguları ile uyumludur. Ek olarak, hazırlanan kompozitlerde homojen bir mikro yapı olduğu herhangi bir yönelim gözlenmediği de değerlendirilebilir.

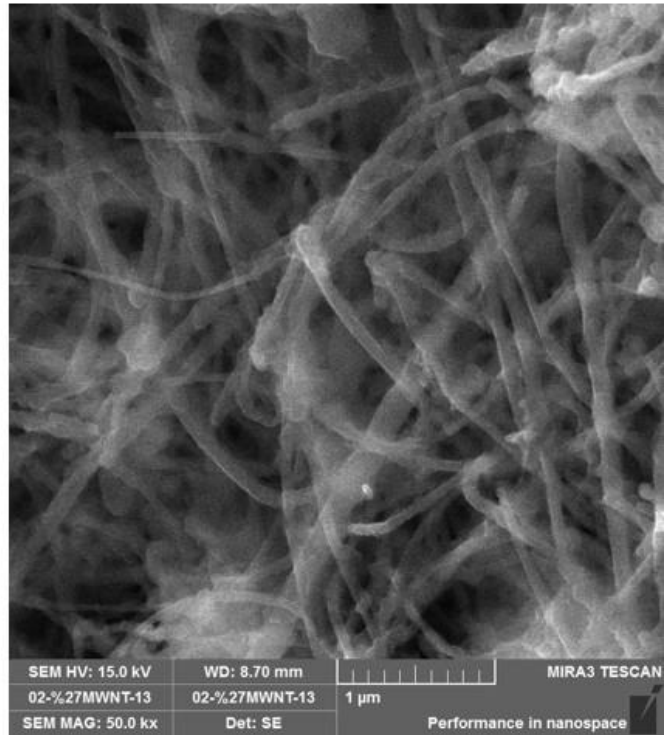
a)**b)**

Şekil 4.3. Kopolimerlerin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

a)

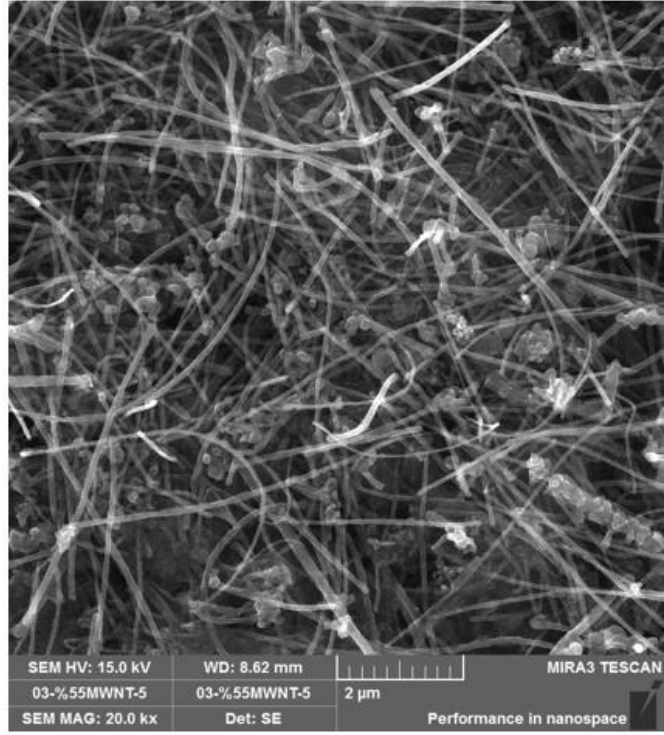


b)

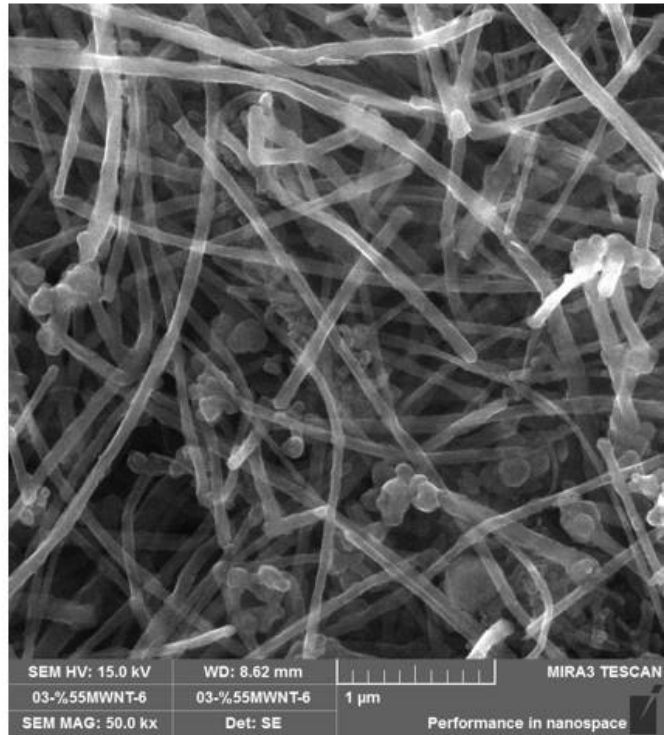


Şekil 4.4. 28%MWN/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

a)

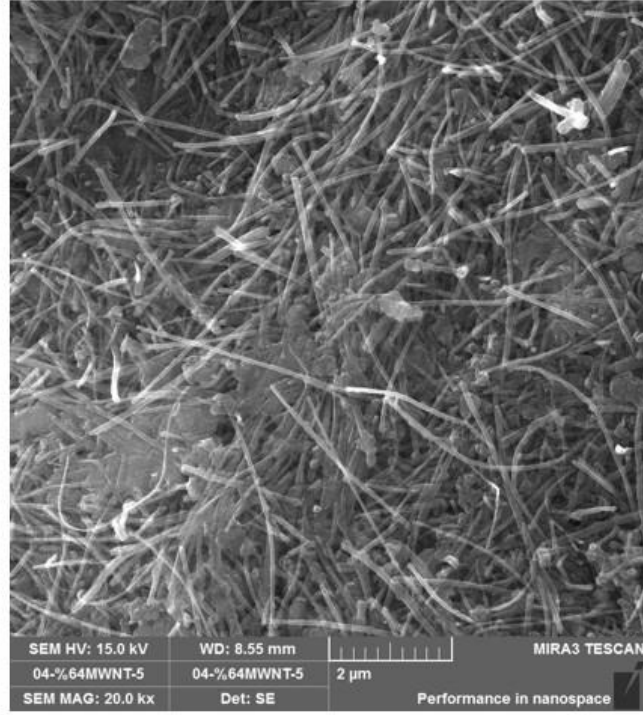


b)

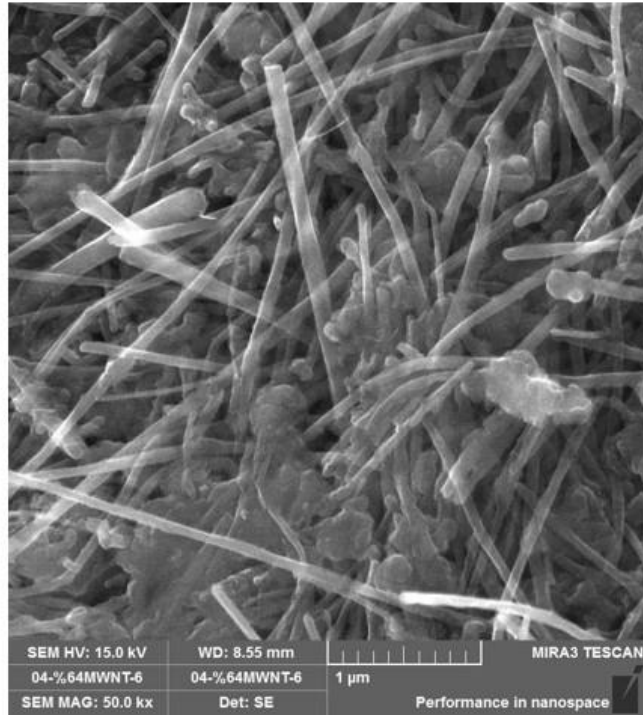


Şekil 4.5. 28%MWN/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

a)

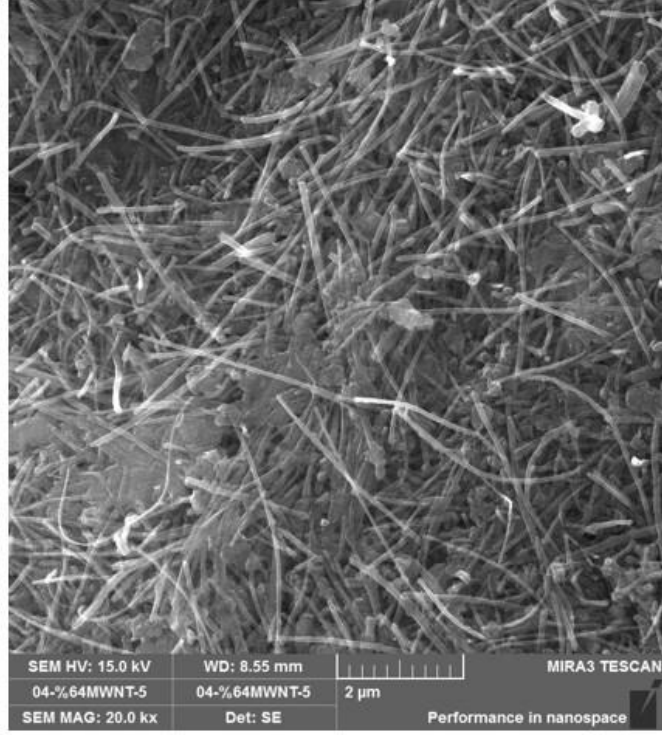


b)

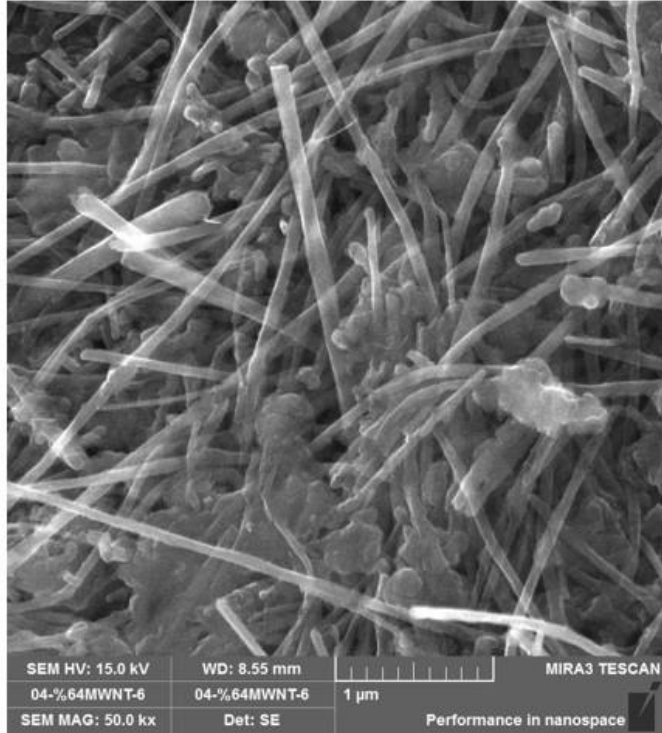


Şekil 4.6. 55%MWN/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

a)

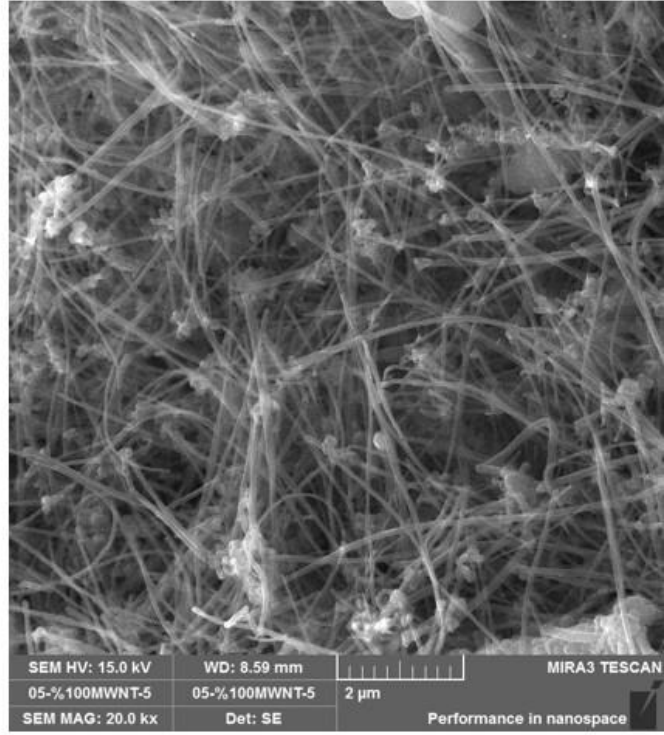


b)

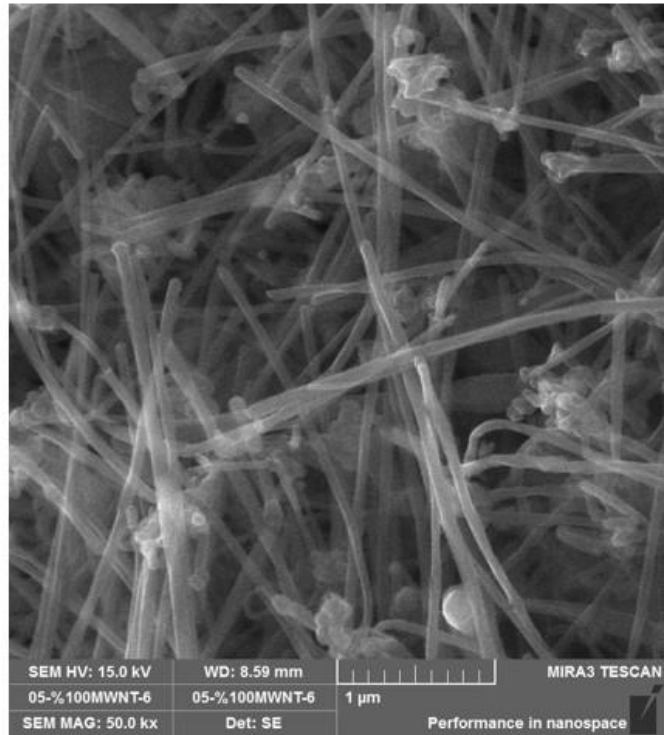


Şekil 4.7. 55%MWN/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompozitinin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

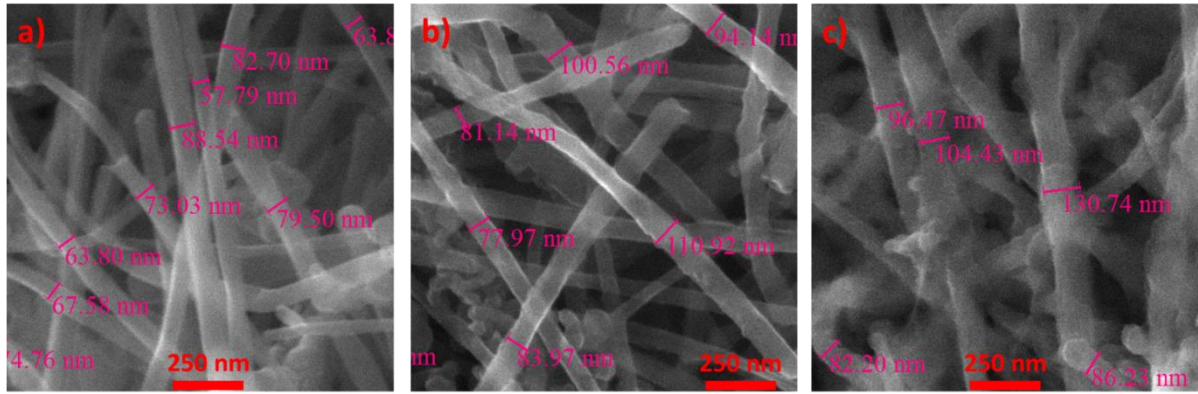
a)



b)



Şekil 4.8. MWNT' nin 20000x büyütmede (a) ve 50000x büyütmede (b) elektron mikroskobu görüntüleri

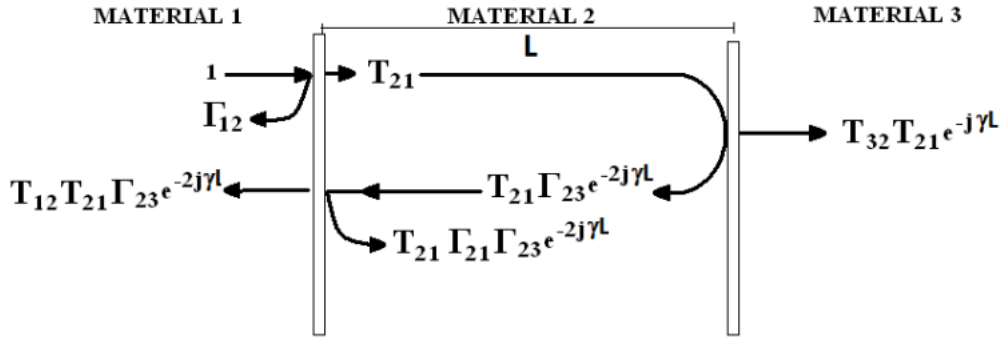


Şekil 4.9. MWNT (a), 55%MWNT/45%poli(90ANI-ko-10AN) kompoziti (b) ve 28%MWNT/72%poli(90ANI-ko-10AN) kompoziti (c) SEM görüntüleri.

Esasen, bu tez çalışmasında ulaşılması amaçlanan hedeflere ulaşıp ulaşılamadığının anlaşılması noktasında ilk adım kopolimer sentezinin başarıyla gerçekleştirilebildiğinin gösterilebilmesidir. Nihai elde edilen polimerin bir kopolimer olduğunun gösterilebilmesi için ise reaksiyon başlangıcında sisteme beslenen her iki monomerin de polimer zincirine katıldığının gösterilebilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılacak karakterizasyon yöntemleri ise genel olarak FT-IR, NMR, XRD, SEM ve DSC olarak sıralanabilir. Örneğin, FT-IR analizinde sisteme beslenen iki monomerin de ayrı ayrı polimerleşmesi durumunda her iki polimerin de karakteristik pikleri herhangi bir etkileşime rastlanmadan FT-IR spektrumunda ayrı ayrı gözükcektir. Kopolimer sentezinin başarılı olması halinde ise FT-IR spektrumunda her iki polimere ait molekül grupları yine gözlenmekle birlikte, kopolimer oluşumu kaynaklı etkileşimler, bir başka deyişle kopolimeri oluşturan monomerler arasındaki kimyasal bağlar dolayısıyla FT-IR spektrumunda homopolimerlerin FT-IR spektrumlarına nazaran hafif kaymalar beklenecektir. Benzer şekilde NMR spektrumunda da iki polimerin ayrı ayrı karışım halinde bulunduğu duruma nazaran kopolimerlerin NMR sonuçlarında monomerler arasındaki kovalent bağlar nedeniyle homopolimer NMR sonuçlarına nazaran kaymalar gözlenecektir. XRD sonuçları üzerinden bir değerlendirme yapılacak olur ise iki polimerin karışım halinde bulunması durumunda her iki homopolimerin XRD sonuçlarında gözlenen piklerin tamamı herhangi bir değişim olmadan karışımın XRD sonucunda da gözlenecek, kopolimer oluşumu durumunda ise piklerde çeşitli kaymalar ve şiddet yoğunluklarında değişimler gözlenebilecektir. SEM sonuçları üzerinden yorumlayacak olursak iki polimerin karışım halinde bulunması durumunda morfolojik gözlemler iki polimerin ayrı ayrı yer aldığı farklı faz bölgelerinin yapıda görülmesi şeklinde olacaktır. Kopolimer oluşumu

durumunda ise faz ayrımları olmadan homojen bir yapı SEM sonuçlarında göze çarpacaktır. DSC sonuçlarına bakılacak olur ise de iki polimerin ayrı ayrı yapıda bulunması halinde her iki polimerin camsı geçiş sıcaklıkları da ayrı ayrı gözlenecektir. Kopolimer oluşumu durumunda ise kopolimer türüne bağlı olarak iki polimerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinin arasında tek bir camsı geçiş sıcaklığı da gözlenebilir ayrı ayrı (fakat homopolimerlerin camsı geçiş sıcaklıklarına göre küçük farklılıklar içerebilecek şekilde) camsı geçiş sıcaklıkları da gözlenebilir. Esasen, bu tez çalışması kapsamında hazırlanan kopolimer Erden ve arkadaşlarının çalışmasındakine benzer şekilde hazırlanmıştır [50]. Bu çalışmada FT-IR, SEM ve XRD sonuçları üzerinden kopolimer oluşumu teyit edilmeye çalışılmış olup her ne kadar sentez sıcaklıkları farklı olsa da Erden ve arkadaşlarının çalışmasında elde edilen FT-IR, SEM ve XRD sonuçları ile örtüşen sonuçlar elde edilmiştir [50]. FT-IR, SEM ve XRD sonuçlarının Erden ve arkadaşlarının gözlemleri ile uyumlu olmasının yanı sıra bu çalışmada sentez sıcaklığı ilgili çalışmaya [50] kıyasla oldukça düşük olsa da elde edilen monomer dönüşüm oranımız %80'in altına inmemiştir. Buna göre her ne kadar bu tez kapsamında elde edilen numunelerin karakterizasyonunda NMR, DSC ve elemental analiz gibi ilave karakterizasyon yöntemleri kullanılmamış olsa da Erden ve arkadaşlarının çalışmasında [50] tüm bu karakterizasyon yöntemleri ile detaylı olarak analiz edilen poli(anilin-ko-akrilonitril) kopolimeri burada da benzer yöntem ile hazırlandığı ve benzer FT-IR, XRD, SEM ve monomer dönüşüm oranları elde edilmesinden mütevellit, o çalışmada [50] kanıtlandığı üzere burada elde edilen polimerin de kopolimer formunda olduğu, türünün ise rastgele kopolimer olduğu söylenebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi bu çalışmadaki reaksiyon koşulları sentez sıcaklığı haricinde Erden ve arkadaşlarının çalışmasındakine [50] benzer olarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi ilgili çalışmada poli(90anilin-ko-10akrilonitril) kopolimeri için her ne kadar reaktöre molce 90:10 oranında anilin:akrilonitril beslenmiş olsa da nihai kopolimerde molce %88.13 oranında anilin, %5.62 oranında akrilamid (AAM), %5.02 akrilik asit (AA) ve %1.24 glutarimid (GI) elde edilmiş olup bu durumun nedeni söz konusu çalışmada zaten detaylı olarak ele alınmıştır [50]. Yine de nihai kopolimer herhangi bir karışıklığa yol açmamak amacıyla terminoloji noktasında besleme koşulları baz alınarak isimlendirilmiş, yani ilgili çalışma boyunca [50], kopolimer, poli(anilin-ko-akrilonitril) kopolimeri şeklinde ifade edilmiştir. Benzer şekilde bu tez kapsamında hazırlanan kopolimerlerde de AAM, AA ve GI gibi AN türevi grupların kopolimer yapısında yer alabileceği düşünülmeyle birlikte terminoloji noktasında besleme koşulları baz alınarak isimlendirme yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında asıl amacımız olan kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama performanslarına değinecek olursak burada söz konusu elektromanyetik dalga bir ortamdan farklı bir ortama geçerken malzemenin karakteristik özelliğine göre üç farklı durum gerçekleşebilir. Bunlar yansıma, emilim ve iletimdir.



Şekil 4.10. Elektromanyetik dalganın farkı yüzeylerde çoklu yansıması [58]

Genel olarak elektromanyetik kalkanlama performansı EMI SE şu şekilde verilebilir [65].

$$\text{EMI SE} = \log \frac{1}{|S_{12}|^2} = \log \frac{1}{|S_{21}|^2} \quad (4.1)$$

S parametreleri ile elektromanyetik kalkanlama performansı parametreleri olan toplam kalkanlama verimliliği (SE_T), emilim kaybı (SE_A), yansıma kaybı (SE_R) ve çoklu yansımanın (SE_M) toplamının sonucudur. Burada eğer SE_M değeri, SE_T 15 dB' den büyük olursa ihmal edilebilir [66].

Yansıyan güç (R), iletilen güç (T) ve emilen güç (A) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$SE_T = SE_R + SE_A \quad (4.2)$$

$$SE_R = 10 \log (1/(1-|S_{11}|^2)) \quad (4.3)$$

$$SE_A = 10 \log \left(\frac{1-|S_{11}|^2}{|S_{12}|^2} \right) \quad (4.4)$$

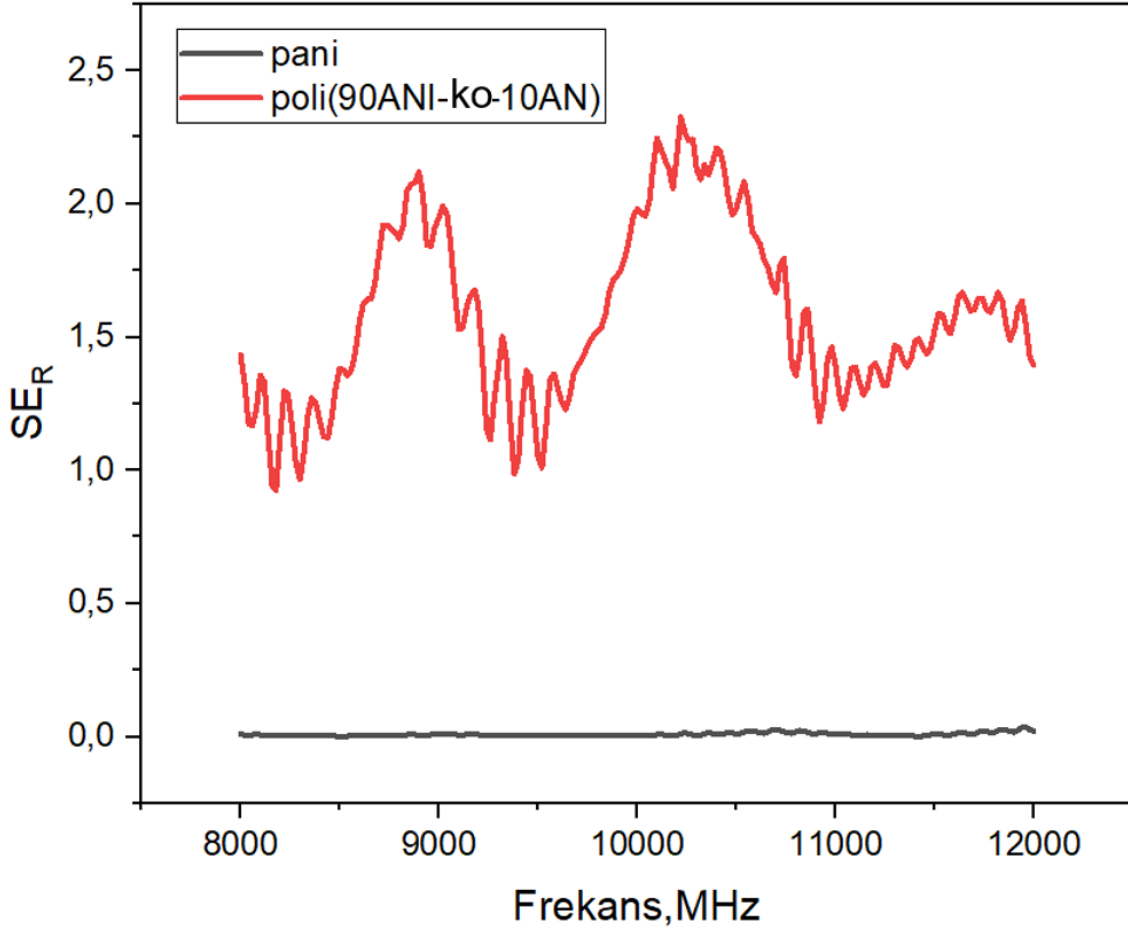
$$R = |S_{11}|^2 = |S_{22}|^2 \quad (4.5)$$

$$T = |S_{12}|^2 = |S_{21}|^2 \quad (4.6)$$

$$A=1-R-T$$

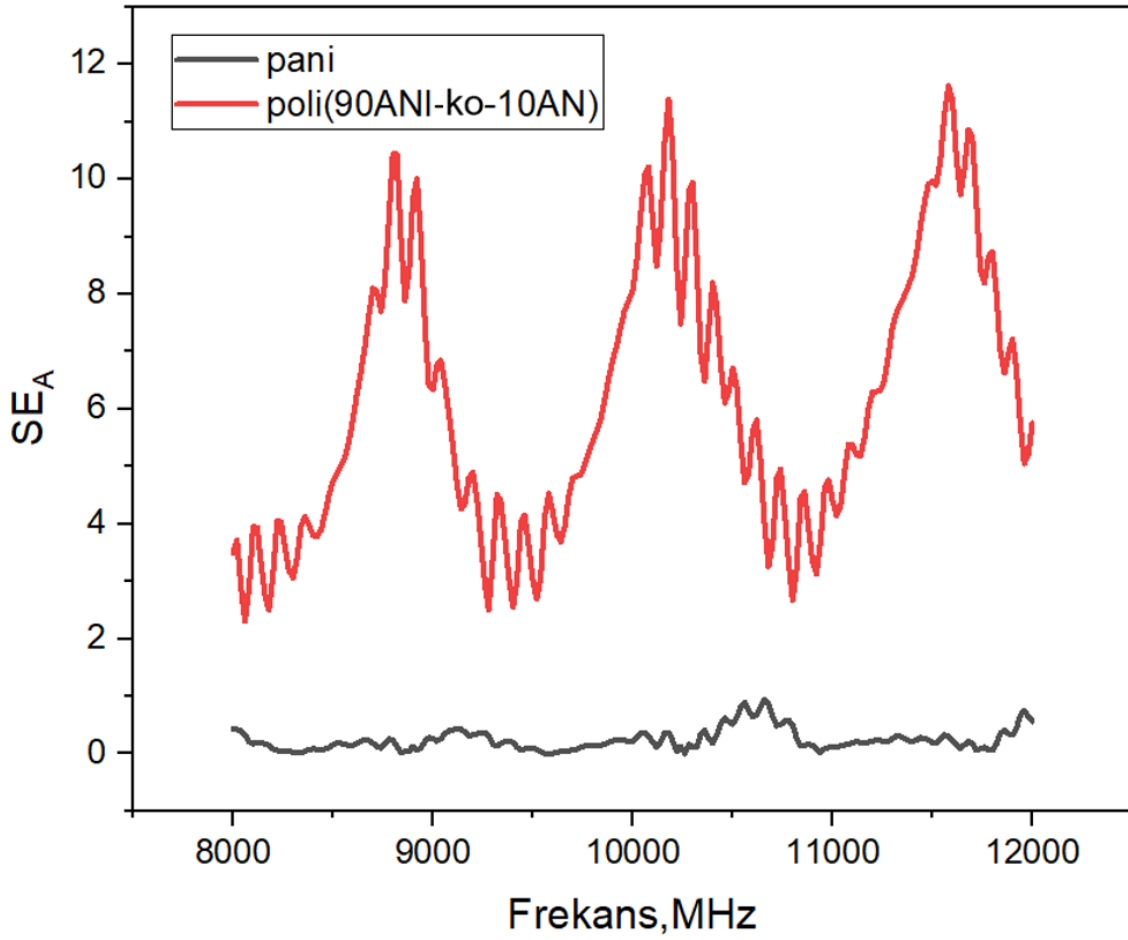
VNA ölçüm sonuçları şu şekildedir:

(4.7)



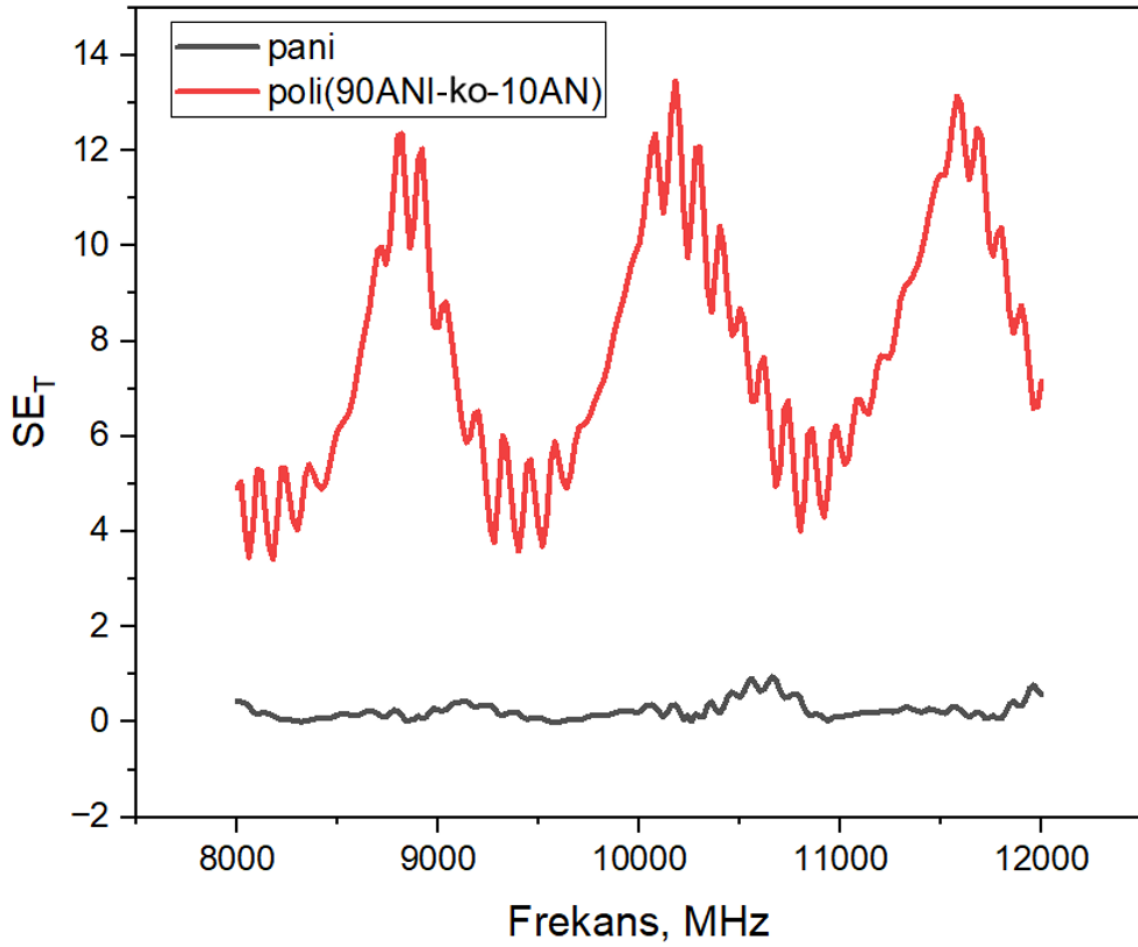
Şekil 4.11. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama yansıtma kaybı (SE_R)

Şekil 4.11.'e göre PANI'nin yansıtma özelliği çok düşüktür. Bu beklenen bir durumdur ve literatür ile uyumludur. Kopolimer oluşumu ile yapıya akrilonitril girince polimer gelen elektromanyetik dalgaları az da olsa yansıtabilmiştir. Bu durum esasen ilk beklentilerimiz ile paralel değildir. Bu durumun sebebi yapıya akrilonitril girmesi ile hazırlanan filmlerin hava ile empedans farkının saf PANI içeren filmlerin hava ile empedans farkına nazaran artmasından kaynaklanıyor olabilir. Empedans farkının artması polimerin elektiksel iletkenliğinin artmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durumu kanıtlayabilmek adına hazırlanan malzemenin elektiksel iletkenlikleri ölçülmüştür.



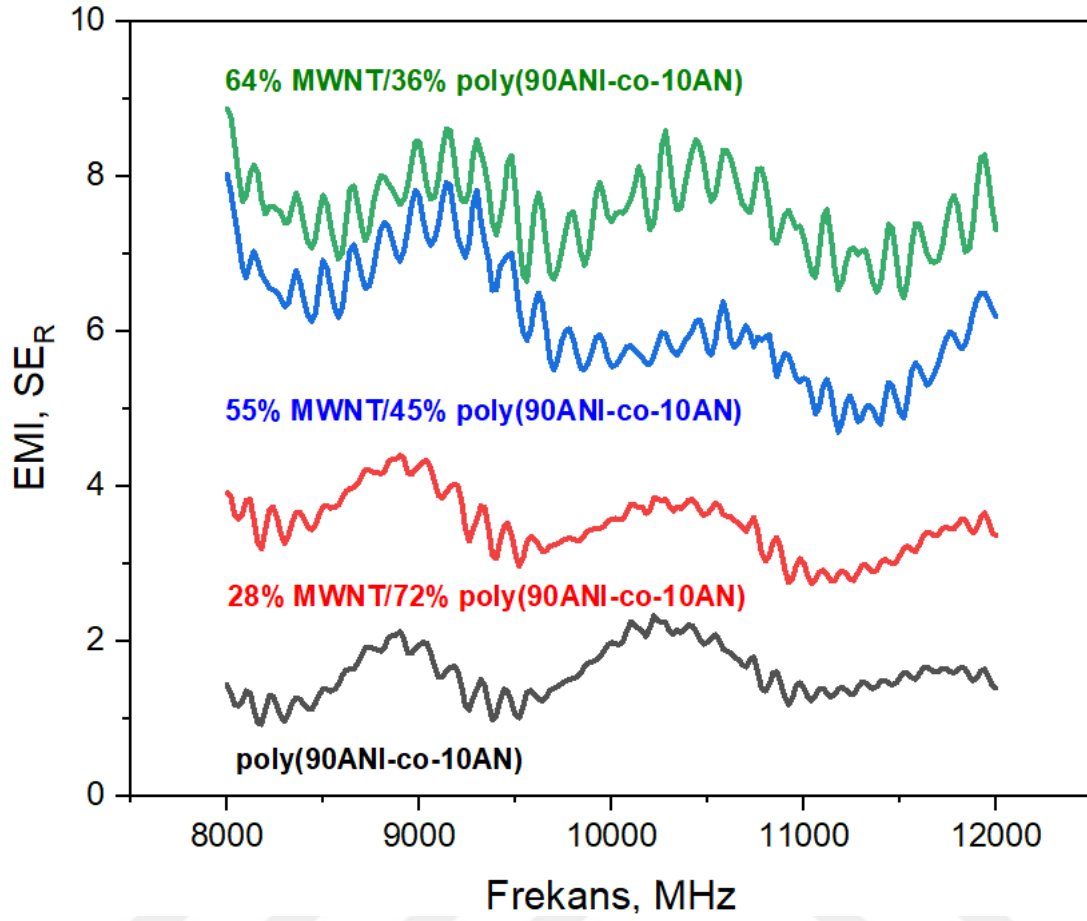
Şekil 4.12. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama emilim kaybı (SE_A)

Şekilde 4.12’de PANI ve kopolimerin X bandında emilim özellikleri verilmiştir. Buna göre yapıya akrilonitril girmesi ile polimerin elektronik dalgayı soğurma özellikleri artmıştır. Bu durumun sebebi yapıya akrilonitril girmesi ile polimerin manyetik geçirgenliğinin artması olabilir.



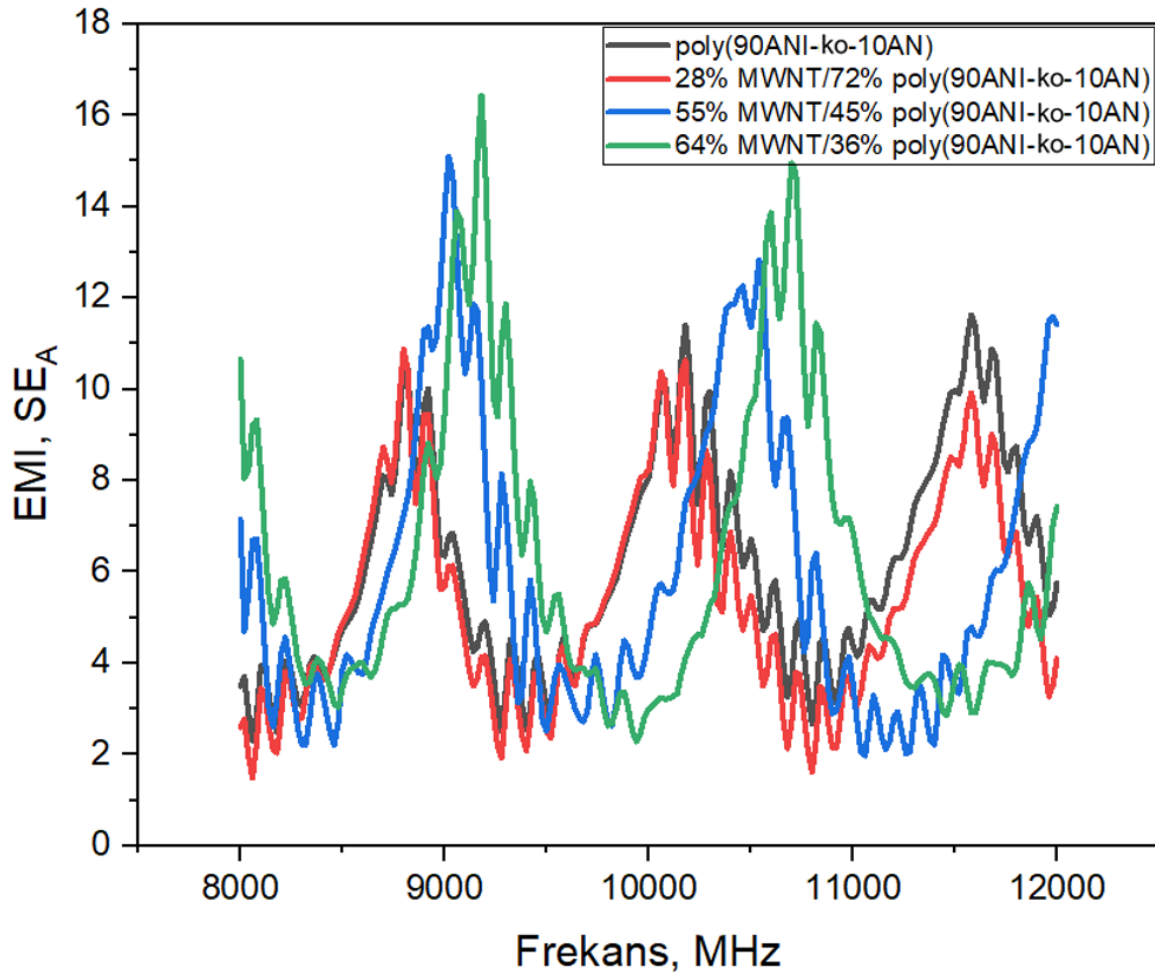
Şekil 4.13. Pani ve Poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin EMI kalkanlama toplam kaybı (SE_T)

Toplam kalkanlama verimliliği noktasında kopolimer oluşumu düz PANI'ye kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. Elde edilen en yüksek kalkanlama verimliliği EMI SE 10.2 GHz'de 13.5 dB olarak saptanmıştır. Bu değer düz polimer numuneler için literatür incelendiğinde çok yüksek bir değerdir.



Şekil 4.14. Hazırlanan filmlerin EMI kalkanlama yansıtma kaybı (SE_R)

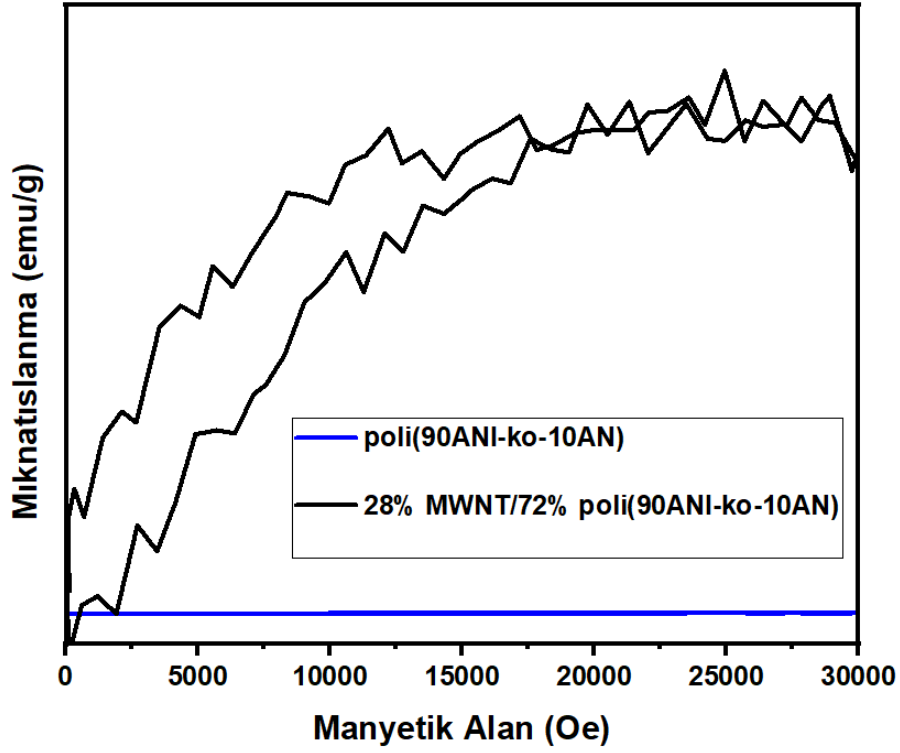
Kompozitlerinin elektromanyetik dalgayı yansıtma özellikleri Şekil 4.14.'de verilmiştir. Buna göre MWNT miktarı arttıkça yansıtma özelliği artmıştır. Maksimum yansıtma %64 MWNT oranına sahip kompozitte yaklaşık 9 dB olarak ölçülmüştür. MWNT miktarı arttıkça SE_R miktarının artması malzemenin elektriksel iletkenlik artışına ve buna paralel olarak hava ile malzeme arasındaki empedans farkının artmasına bağlanabilir. Bu durumu kanıtlayabilmek adına kompozit ve kopolimer numunelerin elektriksel iletkenlikleri 4-nokta ölçü yöntemi ile ölçülmüştür. Buna göre; poli(ANI-ko-AN)'ın elektriksel iletkenliğinin ~200 S/cm mertebelerinde, 55% MWNT içeren MWNT/poli(ANI-ko-AN) kompozitinin elektriksel iletkenliğinin ~420 S/cm, 64% MWNT içeren MWNT/poli(ANI-ko-AN) kompozitinin elektriksel iletkenliğinin ise ~475 S/cm mertebelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bir başka deyişle gerçekten de elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre kompozitlerin yük taşıma özellikleri MWNT miktarı arttıkça artmıştır. Esasen, KNT miktarı ile elektriksel iletkenliğin artması PANI/KNT sistemi için beklenebilecek bir durumdur.



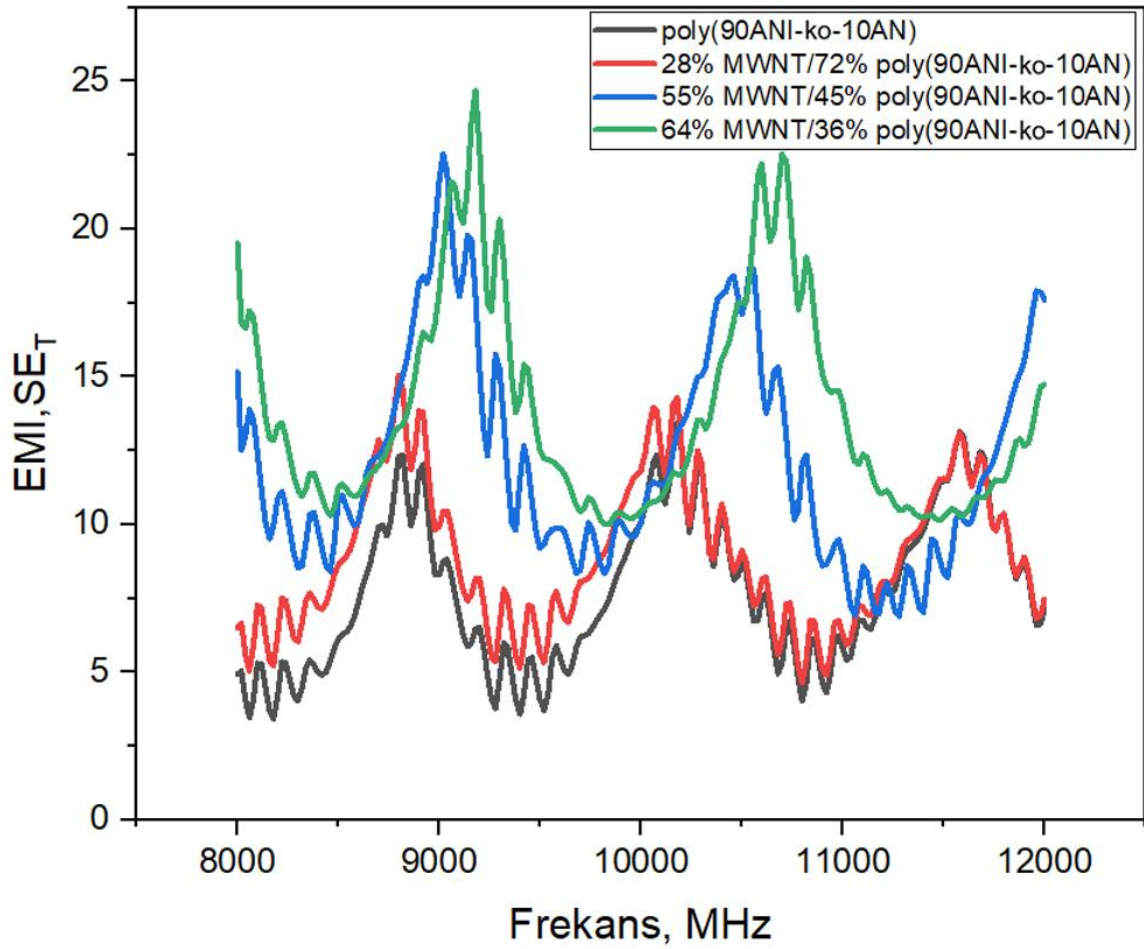
Şekil 4.15. Hazırlanan filmlerin EMI kalkanlama emilim kaybı (SE_A)

EMI SE_A değerleri Şekil 4.15.'de incelendiğinde MWNT miktarı arttıkça SE_A değerinin orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür. Elde edilen maksimum SE_A , 9 GHz' de 17 dB olarak saptanmıştır. Literatür ile karşılaştıracak olursak bu değer in önceki çalışmalarda PANI/MWNT kompozitleri raporlanan değerler ile uyumlu olduğu söylenebilir [67]. Bilindiği üzere manyetik geçirgenliğin kompleks birleşeninin (μ'') artması neticesinde malzeme içerisine tenefüs etmiş olan elektromanyetik dalgalar Eddy ve girdap akımlarına dönüşerek sönmülenir. Kompozitteki MWNT miktarı arttıkça gerçekten de μ'' değerlerinin artıp artmadığını tespit edebilmek için NRW metodu ile kompozitlerin μ'' değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de verilmiş olup MWNT arttıkça μ'' değerlerinin gerçekten de arttığı teyit edilmiştir. Ek olarak hazırlanan kopolimer ve kompozitlerin manyetik özellikleri VSM ölçümü yolu ile de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.16' da verilen VSM sonuçlarına göre poli(ANI-ko-AN) kopolimerinin manyetik geçirgenliği pasif kararludur ki doğal yollarla erişilmesi kolay olmayan bu durum söz konusu polimeri ideal bir manyetik

izolatör yapar. Beklenebileceği üzere kompozit oluşumu yani MWNT' nin varlığı ile birlikte manyetik geçirgenlikte artış saptanmış olup, bu durum NRW metodu ile frekansa bağlı elde edilen manyetik geçirgenliğin karmaşık bileşeni ve VNA sonuçları ile uyumludur.



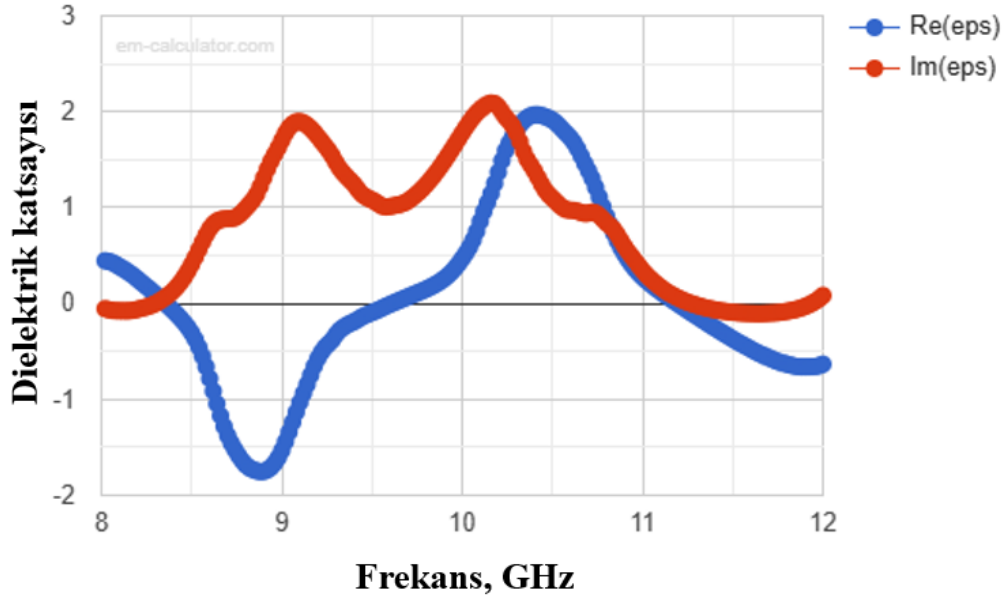
Şekil 4.16. Hazırlanan kopolimer ve kompozitlerin VSM ölçüm sonuçları



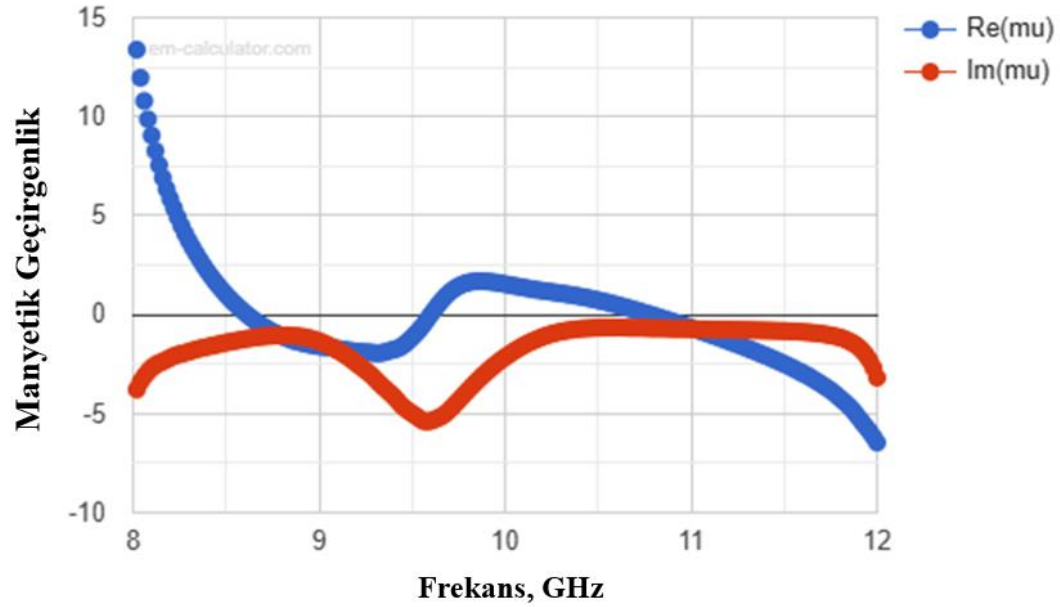
Şekil 4.17. Hazırlanan filmlerin toplam EMI kalkanlama kaybı (SEA)

Toplam kalkanlama özelliği SE_T , doğal olarak MWNT miktarı ile artmış ve maksimum elektromanyetik kalkanlama performansı %64 MWNT içeren numunede yaklaşık 25 dB olarak ölçülmüştür.

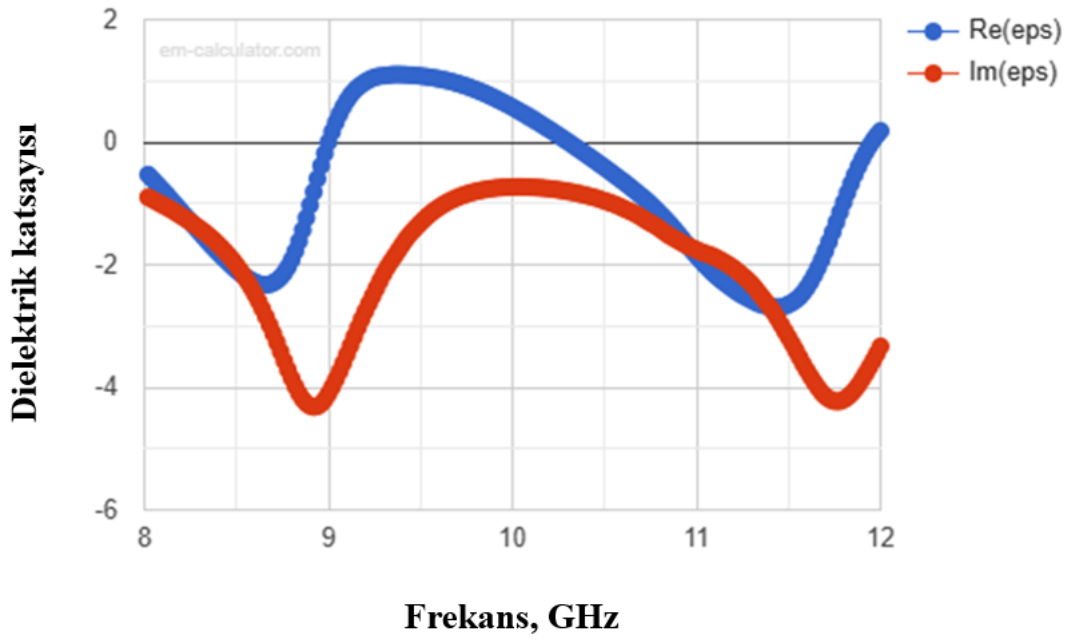
NRW metodu ile hesaplanan μ ve ϵ değerleri řu şekildedir:



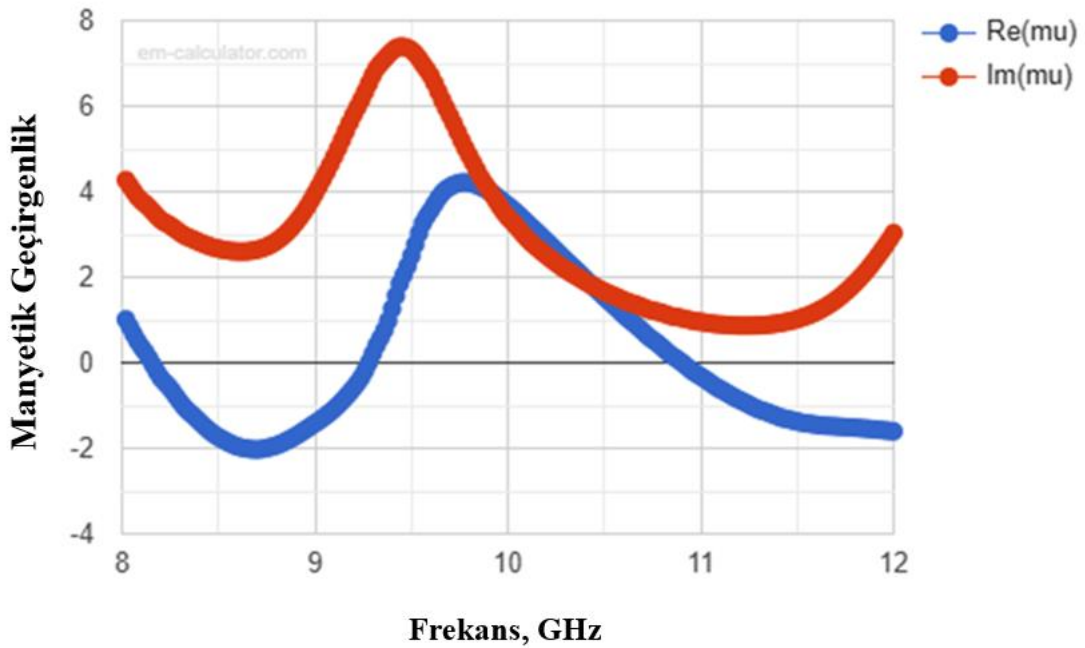
şekil 4.18. Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geęirgenlik Sanal ve Geręek Bileşenleri



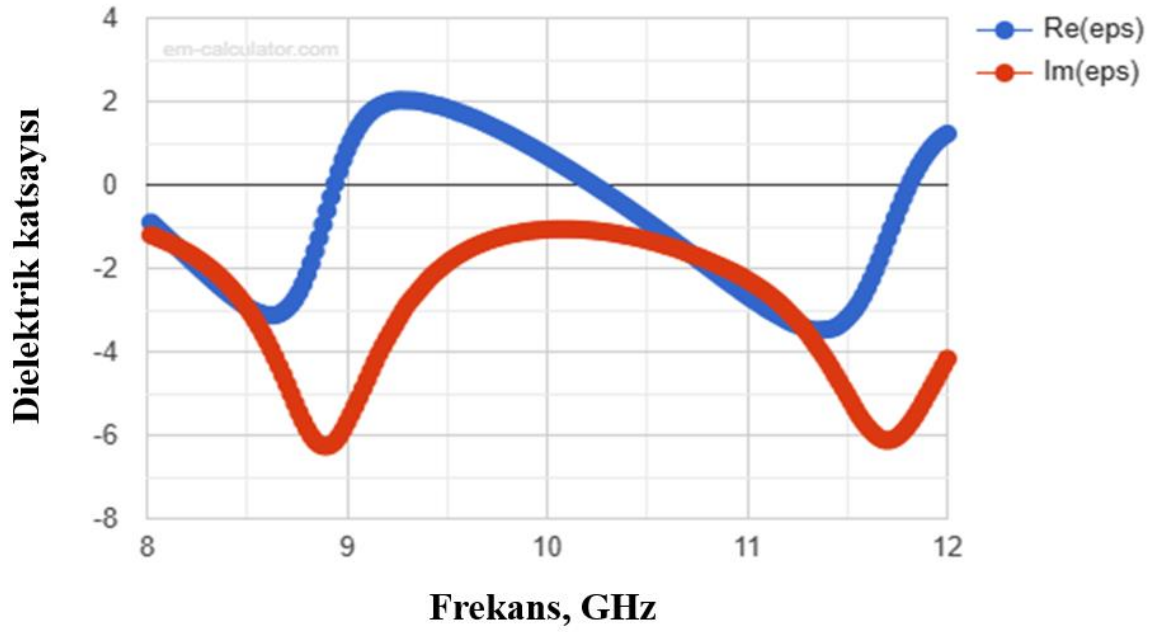
şekil 4.19. Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetik Geęirgenlik Sanal ve Geręek Bileşenleri



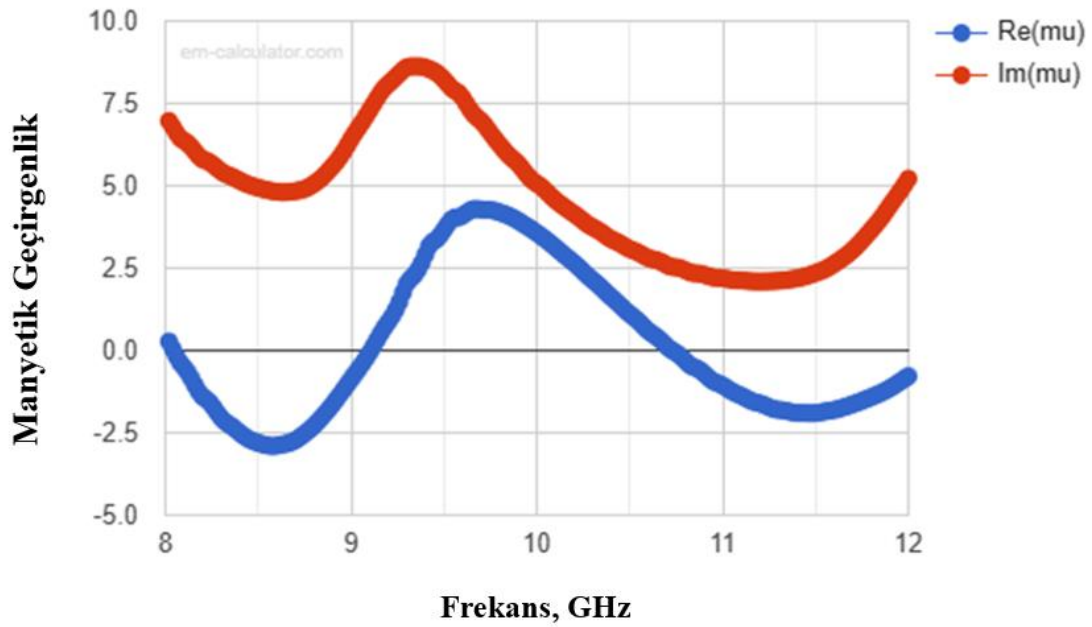
Şekil 4.20. %55 MWNT%45Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri



Şekil 4.21. %55 MWNT%45Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetiksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri



Şekil 4.22. %64 MWNT%36Poli(90ANI-ko-10AN) Dielektriksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri



Şekil 4.23. %64 MWNT%36Poli(90ANI-ko-10AN) Manyetiksel Geçirgenlik Sanal ve Gerçek Bileşenleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak yaptığımız bu çalışmada hem savunma teknolojileri, hem elektrik-elektronik mühendisliği hem de malzeme bilimi ve mühendisliği gibi birçok disiplinde önemli bir yeri olan ve her geçen gün üzerine daha da çok araştırma yapılmaya başlanan elektromanyetik kalkanlama konusu üzerinde durulmuştur. Şöyle ki, elektrik hayatlarımızda oldukça istenmeyen elektronik radyasyon da oluşacaktır. Her geçen gün elektronik sistemlerin kullanımının artması ile birlikte de oluşan elektromanyetik kirliliğin önüne geçebilecek veya hiç olmazsa azaltabilecek düzeyde efektif elektromanyetik girişim koruması sağlayan malzemeler geliştirilmesi insanlık için yine her geçen gün daha çok önem arz etmeye başlayacaktır. Hele ki elektromanyetik girişim korumasını emilim yoluyla sağlayacak malzemeler geliştirilmesi ve bu özelliğin savaş radarlarının çalıştığı X-bandında elde edilebilmesi görünmezlik uygulamaları için savunma teknolojileri alanında çok büyük bir ilerleme olacaktır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında bu doğrultuda hem esnek hem mekanik özellikleri üstün olan hem de X-bandında hatırı sayılır EMI koruma sağlayabilme potansiyeli olduğu bilinen KNT/PANI kompozitleri üzerinde durulmuştur. Şöyle ki, bu yüksek lisans tezindeki hipotezimiz literatürde EMI kalkanlama performansı üzerine zaten çalışmalar yapılmış olan KNT/PANI kompoziti yerine KNT'lerin etrafına poli(ANI-ko-AN)'dan oluşan bir kopolimer sarılması suretiyle oluşturulacak KNT/poli(ANI-ko-AN) kompozitinin KNT/PANI' ye nazaran daha yüksek EMI kalkanlama performansı gösterebileceği ve hatta EMI kalkanlama performansındaki artışın az önce bahsi geçen emilim özelliğindeki artış yoluyla olabileceği ve haliyle de savunma teknolojileri alanında görünmezlik uygulamaları için umut vadeden sonuçlar alınabileceğidir. Buna göre; poli(90ANI-ko-10AN) kopolimeri MWNT ortamında bu tezin materyal ve metot bölümünde detaylandırıldığı üzere sentezlenmiş ve elde edilen kompozitlerin farklı MWNT oranlarında EMI kalkanlama performansı incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında hipotezimizin doğrulandığı ve yapıya akrilonitril katılması ile hazırlanan KNT/poli(ANI-ko-AN) kompozitinde KNT/PANI' ye nazaran daha yüksek bir EMI kalkanlama verimi tespit edilmiştir ki artışın temelinin emilim yoluyla dalganın söğurulması olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan yola çıkarak literatürde daha önce elektromanyetik kalkanlama açısından ilk defa incelenen söz konusu poli(90ANI-ko-10AN) kopolimerinin alana yeni bir bakış açısı kazandırabileceği söylenebilir. Öyle ki; yapıya akrilonitril eklenmesi ile

MWNT içermeyen düz kopolimer numunelerin bile hatırı sayılır bir kalkanlama performansı gösterdiği görülmüştür. Akrilonitrilin MWNT'ye göre çok daha ucuz olduğu bilindiğinden bu çok önemli bir gelişme olarak değerlendirilebilir. Bu yüksek lisans tezi kapsamındaki çalışmamızın sadece X-bandında (8-12 GHz) ve akrilonitril miktarı %10 olarak sabit tutularak gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulacak olur ise elde ettiğimiz veriler ışığında ilerisi için benzer bir çalışmanın daha yüksek akrilonitril miktarlarında gerçekleştirilmesi önerilebilir. Yine başka bir öneri ise EMI koruma performansının yalnızca X-bandında değil farklı frekans aralıklarında da test edilmesi yine ileride bilim camiasınca çalışılabilecek bir alan olarak önerilebilir. Ek olarak, EMI kalkanlama performansı ile ilgili olarak MWNT'lerin etrafına sarılan kopolimerlerin mol kütlesi ve zincir uzunlukları gibi parametrelerin etkisi olabileceğini de unutmamak gerekir. Her ne kadar bu tez çalışmasında tüm deneylerde polimerizasyon reaksiyon koşulları sabit tutulmuş olsa da yani ilgili terimlerin etkisi bu tezin kapsamı dışında kalmış olsa da ileride reaksiyon koşulları değişiminin hazırlanan kopolimerlerin mol kütlesi ve zincir uzunluklarına etkisi ve bu durumun da nihai EMI kalkanlama performansına etkisi de çalışılabilir. Son olarak, yapıya akrilonitril yerine başka bir monomer eklenmesi neticesinde nasıl bir elektromanyetik kalkanlama performansı elde edilebileceği de ilginç bir araştırma sorusu olacaktır. Hatta yapıya farklı monomerler eklendiğinde nihai kalkanlama performansının nasıl değişeceği çalışılırken yapıya eklenen monomerlerin kimyasal grupları ile nihai kalkanlama performanslarının ilişkilendirilebilmesi üzerinde detaylı analizler yapılması yoluyla bilim camiasına bu alanda yön verecek düzeyde bir çalışma gerçekleştirilebileceği de önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Purcell, E.M., *Electricity and Magnetism*. 2013: Cambridge University Press.
2. Yakıncı, Z.D., *Elektromanyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkileri*. 2016. **4**(2): p. 44 - 54.
3. Wang, Y. and X. Jing, *Intrinsically conducting polymers for electromagnetic interference shielding*. *Polymers for Advanced Technologies*, 2005. **16**(4): p. 344-351.
4. Bhadra, S., et al., *Progress in preparation, processing and applications of polyaniline*. *Progress in Polymer Science*, 2009. **34**(8): p. 783-810.
5. Shirakawa, H., *The Discovery of Polyacetylene Film: The Dawning of an Era of Conducting Polymers (Nobel Lecture)*. *Angewandte Chemie International Edition*, 2001. **40**(14): p. 2574-2580.
6. Schoch, K.F., *Update on electrically conductive polymers and their applications*. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 1994. **10**(3): p. 29-32.
7. Bhadra, S., et al., *Improvement of conductivity of electrochemically synthesized polyaniline*. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007. **108**(1): p. 57-64.
8. Bang, D., et al., *Fabrication of a near-infrared sensor using a polyaniline conducting polymer thin film*. *Thin Solid Films*, 2012. **520**(22): p. 6818-6821.
9. Boeva, Z.A. and V.G. Sergeev, *Polyaniline: Synthesis, properties, and application*. *Polymer Science Series C*, 2014. **56**(1): p. 144-153.
10. Wang, H., J. Lin, and Z.X. Shen, *Polyaniline (PANI) based electrode materials for energy storage and conversion*. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 2016. **1**(3): p. 225-255.
11. Müller, D., et al., *Electrically conducting nanocomposites: preparation and properties of polyaniline (PANI)-coated bacterial cellulose nanofibers (BC)*. *Cellulose*, 2012. **19**: p. 1645-1654.
12. Della Pina, C., et al., *Polyaniline (PANI): an innovative support for sampling and removal of VOCs in air matrices*. *Journal of hazardous materials*, 2018. **344**: p. 308-315.
13. Mangu, R., S. Rajaputra, and V.P. Singh, *MWCNT-polymer composites as highly sensitive and selective room temperature gas sensors*. *Nanotechnology*, 2011. **22**(21): p. 215502.
14. Sonker, R.K., B.C. Yadav, and G.I. Dzhardimalieva, *Preparation and Properties of Nanostructured PANI Thin Film and Its Application as Low Temperature NO₂ Sensor*. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 2016. **26**(6): p. 1428-1433.
15. Qazi, T.H., R. Rai, and A.R. Boccaccini, *Tissue engineering of electrically responsive tissues using polyaniline based polymers: a review*. *Biomaterials*, 2014. **35**(33): p. 9068-86.
16. Erden, F., et al., *High-performance thermoelectric materials based on ternary TiO₂/CNT/PANI composites*. *Phys Chem Chem Phys*, 2018. **20**(14): p. 9411-9418.
17. Li, Z. and L. Gong, *Research Progress on Applications of Polyaniline (PANI) for Electrochemical Energy Storage and Conversion*. *Materials (Basel)*, 2020. **13**(3).
18. Zhao, Y., S. Si, and C. Liao, *A single flow zinc//polyaniline suspension rechargeable battery*. *Journal of Power Sources*, 2013. **241**: p. 449-453.
19. He, Y., et al., *ZnO-nanowires/PANI inorganic/organic heterostructure light-emitting diode*. *J Nanosci Nanotechnol*, 2010. **10**(11): p. 7254-7.

20. Han, R., et al., *Anti-corrosion and self-healing coatings with polyaniline/epoxy copolymer-urea-formaldehyde microcapsules for rusty steel sheets*. J Colloid Interface Sci, 2022. **616**: p. 605-617.
21. Olad, A. and R. Nosrati, *Preparation and corrosion resistance of nanostructured PVC/ZnO–polyaniline hybrid coating*. Progress in Organic Coatings, 2013. **76**(1): p. 113-118.
22. Sumio, I., *Helical microtubules of graphitic carbon*. NLETTERS TO NATURE, 1991. **354**.
23. Harris, P.J., *Carbon nanotubes and related structures: new materials for the twenty-first century*. 2001: Cambridge university press.
24. Ma, P.-C., et al., *Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2010. **41**(10): p. 1345-1367.
25. Durmuş, M., A.O. Salman, and T.Ş. Yıldırım, *NRW Metodu İle Malzemelerin Elektromanyetik Parametrelerinin Bulunması*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2018. **1**(1): p. 13-19.
26. Bhattacharya, M., *Polymer Nanocomposites-A Comparison between Carbon Nanotubes, Graphene, and Clay as Nanofillers*. Materials (Basel), 2016. **9**(4).
27. Fasolino, A., J.H. Los, and M.I. Katsnelson, *Intrinsic ripples in graphene*. Nat Mater, 2007. **6**(11): p. 858-61.
28. Soni, S.K., B. Thomas, and V.R. Kar, *A Comprehensive Review on CNTs and CNT-Reinforced Composites: Syntheses, Characteristics and Applications*. Materials Today Communications, 2020. **25**.
29. Johnson, T. *All About Carbon Nanotubes*. 2019; Available from: <https://www.thoughtco.com/what-are-carbon-nanotubes-820395>.
30. Fisher, F.T., R.D. Bradshaw, and B.L. C., *Effects of nanotube waviness on the modulus of nanotube-reinforced polymers*. APPLIED PHYSICS LETTERS, 2002. **80**: p. 4647-4649.
31. Yamabe, T., K. Fukui, and K. Tanaka, *The science and technology of carbon nanotubes*. 1999: Elsevier.
32. J. Tans, S., et al., *Individual Single-wall Carbon Nanotubes as Quantum Wires*. NATURE, 1997. **386**(474-477).
33. Li, H., et al., *Lightweight flexible carbon nanotube/polyaniline films with outstanding EMI shielding properties*. Journal of Materials Chemistry C, 2017. **5**(34): p. 8694-8698.
34. Saini, P., et al., *Polyaniline–MWCNT nanocomposites for microwave absorption and EMI shielding*. Materials Chemistry and Physics, 2009. **113**(2): p. 919-926.
35. Hosseini, S., et al., *Preparation of MWCNT/Ba_{0.2}Sr_{0.2}La_{0.6}MnO₃/PANI nanocomposites and investigation of its electromagnetic properties in KU-band*. International Journal of Physical Sciences, 2020. **15**: p. 171-181.
36. Deng, J., et al., *Carbon nanotube–polyaniline hybrid materials*. European Polymer Journal, 2002. **38**: p. 2497–2501.
37. Sarvi, A. and U. Sundararaj, *Electrical Permittivity and Electrical Conductivity of Multiwall Carbon Nanotube-Polyaniline (MWCNT-PANi) Core-Shell Nanofibers and MWCNT-PANi/polystyrene Composites*. Macromolecular Materials and Engineering, 2014. **299**: p. 1013-1020.
38. Branzoi, V., F. Branzoi, and L. Pilan, *Electrochemical fabrication and capacitance of composite films of carbon nanotubes and polyaniline*. Surface and Interface Analysis, 2010. **42**(6-7): p. 1266-1270.

39. Roy, A., et al., *Investigation on energy storage and conversion properties of multifunctional PANI-MWCNT composite*. International Journal of Hydrogen Energy, 2018. **43**(14): p. 7128-7139.
40. Thakur, A.K., et al., *Facile synthesis and electrochemical evaluation of PANI/CNT/MoS₂ ternary composite as an electrode material for high performance supercapacitor*. Materials Science and Engineering: B, 2017. **223**: p. 24-34.
41. Sushant, S., et al., *Design of MWCNT bucky paper reinforced PANI-DBSA-DVB composites with superior electrical and mechanical properties*. Journal of Materials Chemistry C, 2018. **6**: p. 12396-12406.
42. Arias-Ferreiro, G., et al., *Flexible 3D Printed Acrylic Composites based on Polyaniline/Multiwalled Carbon Nanotubes for Piezoresistive Pressure Sensors*. Advanced Electronic Materials, 2022. **8**(12).
43. Cheng, G., et al., *A sensitive DNA electrochemical biosensor based on magnetite with a glassy carbon electrode modified by multi-walled carbon nanotubes in polypyrrole*. Analytica Chimica Acta, 2005. **533**(1): p. 11-16.
44. Park, Y., et al., *Highly Sensitive Electrochemical Aptasensor for Detecting the VEGF(165) Tumor Marker with PANI/CNT Nanocomposites*. Biosensors (Basel), 2021. **11**(4).
45. Al-Saleh, M.H., W.H. Saadeh, and U. Sundararaj, *EMI shielding effectiveness of carbon based nanostructured polymeric materials: A comparative study*. Carbon, 2013. **60**: p. 146-156.
46. Epstein, A.J., et al., *ELECTROMAGNETIC RADIATION ABSORBERS AND MODULATORS COMPRISING POLYANILINE*, in *United States Patent*. 1996.
47. Geetha, S., K.K.S. Kumar, and D.C. Trivedi, *Conducting Fabric-reinforced Polyaniline Film Using p-Chlorophenol as Secondary Dopant for the Control of Electromagnetic Radiations*. Journal of Composite Materials, 2005. **39**(7): p. 647-658.
48. Lee, C.Y., et al., *Electromagnetic interference shielding efficiency of polyaniline mixtures and multilayer films*. ELSEVIER, 1999: p. 1346-1349.
49. Thomassin, J.-M., et al., *Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials*. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2013. **74**(7): p. 211-232.
50. Erden, F., et al., *Improved thermoelectric properties by copolymerization of conducting with insulating monomers on carbon nanotubes*. Progress in Organic Coatings, 2024. **190**: p. 108370.
51. Akhtar, M.S., et al., *A new carbon nanotubes (CNTs)-poly acrylonitrile (PAN) composite electrolyte for solid state dye sensitized solar cells*. Electrochimica Acta, 2011. **56**(27): p. 9973-9979.
52. Palaniappan, S. and A. John, *Polyaniline materials by emulsion polymerization pathway*. Progress in Polymer Science, 2008. **33**(7): p. 732-758.
53. Swapna Rao, P., D.N. Sathyanarayana, and S. Palaniappan, *Polymerization of Aniline in an Organic Peroxide System by the Inverted Emulsion Process*. Macromolecules, 2002. **35**: p. 4988-4996.
54. Jeevananda, T., et al., *Synthesis and characterization of poly (aniline-co-acrylonitrile) using organic benzoyl peroxide by inverted emulsion method*. Synthetic Metals, 2004. **140**(2-3): p. 247-260.
55. Hussain, M.S., et al., *Preparation, characterization, and study of the nonlinear optical properties of a new prepared nanoparticles copolymer*. Modern Physics Letters B, 2019. **33**(36): p. 1950456.

56. Xu, H., et al., *Chemical Synthesis of De-Doped Polyaniline for High Performance Aqueous Supercapacitive Material*. Journal of The Electrochemical Society, 2018. **165**(16): p. A3903-A3909.
57. DURMUŞ , M., A.O. SALMAN , and T.Ş. YILDIRIM, *NRW Metodu ile Malzemelerin Elektromanyetik Parametrelerinin Bulunması*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2018. **1**(1): p. 13-19.
58. Vicente, A.N., G.M. Dip, and C. Junqueira, *The step by step development of NRW method*, in *2011 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011)*. 2011. p. 738-742.
59. Soleimani, H., et al., *Determination of complex permittivity and permeability of lanthanum iron garnet filled PVDF-polymer composite using rectangular waveguide and Nicholson–Ross–Weir (NRW) method at X-band frequencies*. Measurement, 2012. **45**(6): p. 1621-1625.
60. Chen, H., et al., *An Improved NRW Method for Thin Material Characterization Using Dielectric Filled Waveguide and Numerical Compensation*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2022. **71**: p. 1-9.
61. Erden, F., et al., *Tailoring the Diameters of Polyaniline Nanofibers for Sensor Application*. ACS Omega, 2017. **2**(10): p. 6506-6513.
62. Józefowicz, M.E., et al., *X-ray structure of polyanilines*. Synthetic Metals, 1991. **41**(1): p. 723-726.
63. Suendo, V., et al., *Effect of face-to-face and side-to-side interchain interactions on the electron transport in emeraldine salt polyaniline*. Phys Chem Chem Phys, 2021. **23**(12): p. 7190-7199.
64. Pouget, J.P., et al., *X-ray structure of polyaniline*. Macromolecules, 1991. **24**(3): p. 779-789.
65. Shukla, V., *Review of electromagnetic interference shielding materials fabricated by iron ingredients*. Nanoscale Adv, 2019. **1**(5): p. 1640-1671.
66. Wang, Y., et al., *Multilayer-structured Ni-Co-Fe-P/polyaniline/polyimide composite fabric for robust electromagnetic shielding with low reflection characteristic*. Chemical Engineering Journal, 2020. **380**.
67. Kumar, A., V. Kumar, and K. Awasthi, *Polyaniline–Carbon Nanotube Composites: Preparation Methods, Properties, and Applications*. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2017. **57**(2): p. 70-97.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı

Uyruğu

Doğum tarihi ve yeri

Medeni Hali

Telefon

Faks

e-mail



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	SBTÜ/ Savunma Teknolojileri	2024
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi/Elektrik-Elektronik Müh.	2018
Lise	Adalet Meslek Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2024-Halen	Sivas Belediyesi-SIDAŞ A.Ş.	Elektrik-Elektronik Mühendisi
2022	ÇEDAŞ.	Elektrik-Elektronik Mühendisi

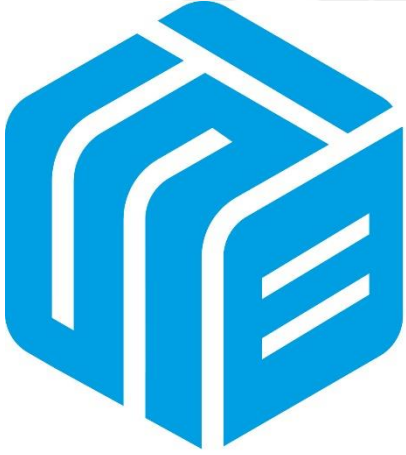
Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Merve Erden, Fuat Erden, Hüsnü Deniz Başdemir. 2024. Investigation of Magnetic Properties of Multi-walled carbon nanotube/poly(aniline-co-acrylonitrile) composites. 6. International Cappadocia Scientific Research Congress.

Hobiler: Yoga, Serbest Paraşüt, Tiyatro, Edebiyat



SIVAS
BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ