



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



NANOPARTİKÜL KATILMIŞ PAN  
NANOFİBERLER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ  
TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN  
ÜRETİMİ, X-IŞINI VE ELEKTROMANYETİK  
DALGALARIN SOĞURULMASI

Mustafa Mert KURDİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2023  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Mert KURDIŞ tarafından hazırlanan “Nanopartikül Katılmış Pan Nanofiberler ile Güçlendirilmiş Termoplastik Kompozitlerin Üretimi, X-Işını ve Elektromanyetik Dalgaların Soğurulması” adlı tez çalışması 19/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Şennur CANDAN

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Ahmet AVCI

.....

#### Üye

Prof. Dr. Meltem Demirel KARS

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 221319010 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 1649B022214778 nolu 2210/C-Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mustafa Mert KURDIŞ

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# NANOPARTİKÜL KATILMIŞ PAN NANOFİBERLER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, X-IŞINI VE ELEKTROMANYETİK DALGALARIN SOĞURULMASI

**Mustafa Mert KURDIŞ**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**2023, 75 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**Prof. Dr. Meltem Demirel KARS**

**Prof. Dr. Şennur CANDAN**

Teknolojik gelişmelerin artmasıyla birlikte radyasyon kavramı oldukça ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunları çözmek için ileri fonksiyonel malzeme ihtiyaçları ve bu ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan çalışmalar hızlı bir şekilde artmaktadır. Havacılık, otomotiv, medikal sektörü ve savunma sanayii gibi çalışma sahalarında ileri fonksiyonel malzemeler gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Radyasyon ve X-Işınlarına maruz kalımının etkilerini en aza indirmek amacıyla kalkanlama malzemeleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu kalkanlama malzemeleri teknolojik çalışmalarla birlikte daha fonksiyonel bir biçimde tasarlanması, hafifliği ve esnekliği ön plana çıkaracak şekilde olması için çalışmalar yapılmaktadır. Savunma sanayii'nde ise radar kesit alanı düşürülmesi, hafif ve dayanıklı alternatif ileri fonksiyonel malzeme arayışları her geçen gün artmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Poliakrilonitril (PAN) polimerinin içerisine %1Ag, %1SiC ve %0.5Ag+ %0.5SiC nanopartikülleri katılarak nanopartikül katkılı PAN nanofiberleri üretilmiştir. Üretilen PAN nanofiberleri Elium 188 ® termoplastik matris reçinesi içerisine el yatarma yöntemiyle yerleştirilerek Elium+PAN tabakalı termoplastik nanokompozitleri üretilmiştir. Üretilen Elium+PAN tabakalı termoplastik nanokompozitlerinin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) görüntüleri alınmıştır. X-Işını kırınım analizi (XRD), Termogravimetrik (TGA), Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) karakterizasyon testleri, X-Işınları azalım testleri ve EMI testleri yapılarak X-ışınlarını ve elektromanyetik dalgaları soğurma özellikleri araştırılmıştır. Elium+PAN tabakalı termoplastik nanokompozitleri 200 mA, 100 mSec ve 20 mAs değerlerini sabit tutarak 40 kV, 60 kV, 80 kV ve 100 kV doz değerlerinde 100 cm mesafeden ölçümler yapılarak X-Işınları azalım testleri gerçekleştirilmiştir. Nanokompozitlerin X-Bandında (8.2-12.4 GHz) aralığında EMI testleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan testler sonucunda Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5SiC tabakalı termoplastik nanokompoziti 40 kV, 60 kV, 80 kV ve 100 kV doz değerlerinde en iyi zayıflatma katsayısına ulaştığı görülmüştür. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin içerisindeki nanopartikül miktarının eser miktarda olmasına rağmen bulunan değerler gelecek çalışmalar için önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** EMI, Nanofiber, PAN, Radyasyon Koruma, Termoplastik Kompozit

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **PRODUCTION OF THERMOPLASTIC COMPOSITES REINFORCED WITH NANOPARTICLE ADDED PAN NANOFIBERS, ABSORPTION OF X-RAY AND ELECTROMAGNETIC WAVES**

**Mustafa Mert KURDIS**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN BIOMEDICAL ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**2023,75 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**Prof. Dr. Meltem Demirel KARS**

**Prof. Dr. Sennur CANDAN**

With the increase in technological developments, the concept of radiation has become a very serious problem. To solve these problems, the needs for advanced functional materials and the studies carried out in line with these needs are increasing rapidly. Advanced functional materials are increasing in importance day by day in work areas such as aviation, automotive, medical sector and defense industry. Shielding materials are used to minimize the effects of exposure to radiation and X-Rays. Efforts are being made to design these shielding materials in a more functional way, together with technological studies, and to emphasize lightness and flexibility. In the defense industry, the search for reducing the radar cross-sectional area and for light and durable alternative advanced functional materials is increasing day by day.

In this master's thesis study, nanoparticle-doped PAN nanofibers were produced by adding 1% Ag, 1% SiC and 0.5% Ag+0.5% SiC nanoparticles into the Polyacrylonitrile (PAN) polymer. Elium+PAN layered thermoplastic nanocomposites were produced by placing the produced PAN nanofibers into Elium 188 ® thermoplastic matrix resin by hand lay-up method. Scanning Electron Microscope (SEM) images of the produced Elium+PAN layered thermoplastic nanocomposites were taken. X-Ray diffraction analysis (XRD), Thermogravimetric (TGA), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) characterization tests, X-Ray attenuation tests and EMI tests were performed to investigate the absorption properties of X-rays and electromagnetic waves. X-Ray attenuation tests were carried out by measuring Elium+PAN layered thermoplastic nanocomposites from a distance of 100 cm at dose values of 40 kV, 60 kV, 80 kV and 100 kV, keeping the values of 200 mA, 100 mSec and 20 mAs constant. EMI tests of nanocomposites were carried out in the X-Band (8.2-12.4 GHz) range.

As a result of the tests, it was seen that Elium+PAN/0.5Ag+0.5SiC layered thermoplastic nanocomposite reached the best attenuation coefficient at 40 kV, 60 kV, 80 kV and 100 kV dose values. Although the amount of nanoparticles in layered thermoplastic nanocomposites is in trace amounts, the values found are important for future studies.

**Keywords:** EMI, Nanofiber, PAN, Radiation Protection, Thermoplastic Composite

## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimime başladığım andan itibaren her zaman bilgisini tecrübesini bana aktararak doğru bir yol almam için üzerime titreyen, akademik çalışmalarımın yürütülmesini deneylerin işleyişlerinden, sahada ve teorik kısımda her detayı yorulmadan ilk günkü heyecanla anlatan ve her zaman örnek aldığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ahmet AVCI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında EMI testlerini yapılmasında ve deneylerin yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen ve mühendislik alanında her zaman bildiklerini aktaran, beni geleceğe yönlendiren sayın Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK'e teşekkür ederim.

Tez kapsamında malzeme üretimi konusunda bilgisini aktararak malzemelerin üretilmesinde, deneylerin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Muhammet Ali ŞENYURT'a teşekkür ederim.

Laboratuvar içi deneysel süreçlerde bilgisini ve tecrübesini paylaşan bölüm arkadaşım sayın Öğr. Görevlisi Cansu GÜNEŞ'e teşekkür ederim

Tez kapsamında EMI testlerinin yapılmasında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesini destekleyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü'ne vermiş oldukları finansal katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimi gerçekleştirmemde, maddi ve manevi destekleyip zor zamanlarda gelecek için yönlendiren ve desteklerini her zaman hissettiren, çalışmamı 2210/C-Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı/İleri Fonksiyonel Malzeme kategorisinde bana BİDEP bursiyer hakkı veren TÜBİTAK ailesine çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde emeği olan, her zaman beni koruyup daha iyisini başarabilmem için vargücüyle çalışan, her zaman desteklerini sonuna kadar hissettiren ve kendilerinden ödün vererek beni yetiştiren canım aileme, babam Erdiç KURDİŞ'e kardeşim Halil İbrahim KURDİŞ'e ve en önemlisi başarılarımın tamamını borçlu olduğum annem Nalan KURDİŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Mert KURDİŞ  
KONYA-2023

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Nanomalzeme.....	5
2.2. Nanofiber .....	6
2.2.1. Nanofiber Uygulamaları .....	6
2.2.2. Elektro-Eğirme Yöntemiyle Nanofiber Üretimi .....	7
2.2.2.1. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber Üretim Düzenegi.....	8
2.2.2.2. Elektro-Eğirme İşlemi Aşamaları .....	8
2.2.2.3. Jet Oluşumu .....	9
2.2.2.4. Jetlerin Bükülmesi .....	10
2.2.2.5. Fiberlerin Katılaşması ve Tamburda Birikmesi.....	12
2.3. Kompozit Malzeme.....	13
2.3.1. Kompozit Malzeme Sınıflandırılması.....	13
2.3.1.1. Matris .....	14
2.3.1.2. Polimer Matrisli Kompozitler .....	15
2.3.1.3. Termoset Matrisli Kompozitler.....	15
2.3.1.4. Termoplastik Matrisli Kompozitler .....	16
2.3.1.5. Termoset ve Termoplastik Matrislerin Karşılaştırılması .....	16
2.3.1.6. Takviye Elemanı .....	17
2.3.1.7. Elyaf Takviyeli Kompozitler .....	17
2.2.2. X-Işınları .....	19

2.2.2.1. Karakteristik X-Işınları .....	19
2.2.2.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Tipi X-Işınları .....	20
2.2.2.3. X-Işını Tüpü .....	20
2.2.2.4. X-Işınlarının Kullanım Alanları .....	21
2.2.3. Elektrik ve Manyetik Alan .....	22
2.2.3.1. Elektrik Alan .....	22
2.2.3.2. Manyetik Alan .....	23
2.2.3.3. Elektromanyetik Alan .....	23
2.2.3.4. Elektromanyetik Spektrum .....	24
2.2.3.5. Elektromanyetik Kirlilik .....	25
2.2.3.6. Elektromanyetik Kirliliğin İnsanlar Üzerindeki Etkisi .....	25
2.2.3.7. Elektromanyetik Alanların Cihazlar Üzerindeki Etkisi .....	26
2.2.3.8. Elektromanyetik Ekranlama .....	27
2.2.3.9. Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (EMI SE) .....	28
2.2.3.10 Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (EMI SE) Seviyeleri .....	29
2.3. Bu Çalışmanın Literatürdeki Yeri .....	29
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>31</b>
3.1. Elektro-Eğirme Yöntemi ile PAN Nanofiber Üretimi .....	31
3.1.1. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler .....	32
3.1.2. Deneylerin Yapılışı .....	33
3.1.2.1. Çözeltilerin Hazırlanması .....	33
3.1.2.2. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber Üretimi .....	33
3.1.2.3. Nanofiberleri Tabakalı Termoplastik Nanokompozit Haline Getirilmesi .....	34
3.2. Karakterizasyon Analizleri .....	35
3.2.1. Morfolojik Analiz (SEM) .....	36
3.2.2. XRD Analizi .....	36
3.2.3. FTIR Analizi .....	37
3.2.4. TGA Analizi .....	37
3.2.5. Mekanik Analiz .....	37
3.3. X-Işını Azalım Testleri .....	38
3.4. Elektromanyetik Dalgaların Ekranlama (EMI) Testi .....	38

<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>39</b>
4.1. Nanofiberlerin Sonuçları.....	39
4.1.1. Nanofiberlerin Morfolojik (SEM) Analizi .....	39
4.1.2. Nanofiberlerin XRD Analizi .....	42
4.1.3. Nanofiberlerin TGA Analizi .....	43
4.1.4. Nanofiberlerin Mekanik Analizi .....	44
4.2. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Analizi .....	46
4.2.1. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Morfolojik (SEM)Analizi .....	46
4.2.2. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin XRD Analizi .....	49
4.2.3. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin FTIR Analizi .....	50
4.2.4. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin TGA Analizi .....	52
4.2.5. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Mekanik Analizi .....	53
4.3. X-Işını Azalım Testi.....	55
4.4 EMI Test Sonuçları .....	59
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
5.1 Sonuçlar .....	65
5.2 Öneriler .....	69
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C	Celcius
Ag	Gümüş
cm	Santimetre
g	Gram
kV	Kilovol
mAs	Mili Amper Saniye
mGy	Mikro Gtray
MPa	Megapaskal
mSec	Milisecond
mSv	Milisievert
nm	Nanometre
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
SiC	Silisyum Karbür
μ	Mü (Lineer Zayıflatma Katsayısı)
μm	Mikrometre

### Kısaltmalar

DMF	N-N Dimetilformamid
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
PAN	Poliakrilonitril
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
v/v	Hacim Başına Hacim oranı
w/v	Hacim başına ağırlık oranı
XRD	X Işını Kırınımı

## 1. GİRİŞ

Teknoloji ve gelişim insanoğlunun son zamanlarda vazgeçilmez en büyük ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Ama gelişen bu teknoloji ve gün geçtikte artan ihtiyaçlar gelişen teknolojik cihazların faydalarının yanında zararlarını da getirmiştir. Günlük ihtiyaçlarımızı karşıladığımız ev aletlerinden hayatımızı devam ettirdiğimiz pek çok teknolojik araç ve gereç çalıştığı süreç boyunca dışarıya yayılım yapmaktadır. Bu yayınlara elektromanyetik dalga girişimleri adı verilmektedir. Elektromanyetik girişiminin hem çevredeki elektronik cihazlara hem de insanlar üzerindeki etkileri azımsanmayacak kadar önemli bir konudur. Elektromanyetik dalgalardan korunmak amacıyla cihazlara olan mesafimizi arttırsakta bu alınan önlem yeterli gelmemektedir. İletişim cihazları, baz istasyonları, elektronik cihazlardan gelen radyo ve mikrodalga radyasyonu çevredeki canlıları ve diğer teknolojik cihazları oldukça etkilemektedir. Bu elektromanyetik girişimlerin insanlar ve canlılar üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalara bakıldığında elektromanyetik dalgaların canlıların DNA yapılarında olumsuz etkiler gösterdiği görülmüştür (Carpenter, 2013).

Elektromanyetik girişim ve radyasyon kavramları gösterdiği etkilerden dolayı her geçen gün daha önemli bir kavram haline gelmektedir. Oluşan bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. İstenmeyen bu elektromanyetik radyasyonları azaltmak amacıyla ileri fonksiyonel koruyucu malzemelerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için araştırma sahaları her geçen gün artmaktadır (Jia vd., 2014).

Nanoteknoloji kavramının gelişmesiyle birlikte pek çok sahada nanomalzemelerin ileri fonksiyonel malzeme olarak kullanılması ve geliştirilmesi için çok yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Nanoteknoloji kavramıyla birlikte malzemelerin boyutlarını küçülterek malzemelere yeni özellikler kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu sayede malzeme makro yapıdan mikro yapıya geçerken yeni kazandığı özellikler sayesinde kullanım alanlarında ve etkilerinde artışlar meydana gelebilmektedir.

Nanoteknolojiyle birlikte malzemelerin nano boyutlara indirgenerek yeni kompozit malzemeler ile ileri fonksiyonel malzemelerin üretimi geliştirilmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Bu ileri fonksiyonel kompozit malzemelerin önemli noktada olmasına rağmen bazı üretim zorluklarına sahiptir. Bunlara örnek vermek gerekirse kompozit malzeme üretimi esnasında tercih edilen matris ile takviye elamanı arasındaki oluşan uyumsuzluklar sebebiyle malzemedeki fiziksel süreksizlikler meydana gelmektedir. Meydana gelen bu fiziksel süreksizlikler ve tabakalar arasındaki uyumsuzluklar

malzemenin arayüzeylerini zayıflatarak mekanik dayanımlarda azalma, delaminasyon hasarları ve burkulma gibi istenmeyen sorunlara yol açabilmektedir (Yar, 2017). Bu sorunların oluşmasını engellemek için kompozit malzemelerde matris ve takviye elamanın uyumun oldukça önem arz etmektedir. Kompozit malzemelerde matris ve takviye elamanı arasındaki oluşan hasarları engellemek ve kompozit malzemelerin arayüzeylerini iyileştirmek amacıyla nano boyutta partiküller kullanılarak malzemelerin arayüzeylerinde tokluk dayanımının artmasının sağlanmasını, matris malzemeyi ve takviye elamanını modifiye ederek oluşan hasarları minimuma indirgenmesini ve malzemelerde olumlu yönde iyileştirmelerin yapılması oldukça önem arz etmektedir (García vd., 2007; Garcia vd., 2008; Lu vd., 2012; Yadav vd., 2006). İleri fonksiyonel kompozit malzemelerin üretimi aşamasında ara yüzeylerini iyileştirmek ve iki fazlı kompozit malzemelerde matris ve takviye elemanın uyumunun fonksiyonelleştirilebilmesi için elektro-eğirme yöntemi oldukça başarılı bir yöntemdir (Jeong vd., 2006; Yeo ve Friend, 2006).

İleri fonksiyonel malzeme üretimi konusunda ileri kompozit malzemeler hem ticari faaliyetler açısından hemde akademik çalışmalar açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında elektro-eğirme yöntemiyle üretilen içerisine gümüş (Ag) ve silisyum karbür (SiC) nanopartikülleri katkılanan PAN nanofiberlerinin Elium 188 ® termoplastik matris içerisine tabakalar halinde yerleştirilerek Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5SiC tabakalı termoplastik kompozitlerin üretimi amaçlanmıştır.

Bu yüksek lisans tezinde kullanılan Poliakrilonitril (PAN) polimeri akrilonitril monomerinin polimerizasyonu sonucunda üretilen bir termoplastik polimer türüdür. PAN polimerinin kimyasal formülü  $(C_3H_3N)_n$ 'dir. PAN polimeri yüksek mukavemet değerleri, esneklik ve kimyasal direnç konusunda oldukça iyi özelliklere sahip bir polimer türüdür (Güçlü, 2023). Ticari amaçla kullanılan çoğu karbon lifleri temel olarak PAN polimerinden türetilmektedir (Laffont vd., 2004). PAN polimeri temel ticari amaçla kullanım yaygınlığından dolayı ticari piyasada elde edilebilirliği oldukça fazladır. PAN polimeri yapısından dolayı elektro-eğirme yöntemi kullanılarak belirli bir yumuşaklık sergileyen malzeme türlerinin üretimini kolay ve oldukça verimli bir şekilde gerçekleştirebilmektedir (Chae ve Kim, 2006).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında elektro-eğirme yöntemi kullanılarak PAN polimerlerinin içerisine katkılanan Ag nanopartikülleri 1-100 nanometre boyutlarında

olup antimikrobiyal, optik ve katalitik çalışmalarında kullanılan metal bir malzemedir. Ag nanopartikülleri sahip olduğu elektriksel, termal, optik ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı geniş çalışma sahalarında kendisine yer bulmaktadır (Esmeray ve Özata, 2019). Ag nanopartikülleri antibakteriyel özelliğinden dolayı biyomalzemelerde, iletkenliğinin oldukça iyi olmasından dolayı elektronik malzemelerde iletkenliğinin artırılması amacıyla sensör ve optik malzemelerde kullanılmaktadır. Ag nanopartikülü yapılan çalışmalarda iletkenliği artırarak elektronların transferini hızlandırmasını sağlamıştır. Bu sayede sensör gibi malzemelerde hassaslığının artırıldığı görülmüştür (Esmeray ve Özata, 2019; Ren vd., 2005; Vijayaraghavan vd., 2007).

SiC nanopartikülleri yüksek sertlik, yüksek termal iletkenlik ve yüksek mekanik dayanımlarından dolayı pek çok çalışma sahasında kullanılmaktadır (Chandrasekaran ve El-Ghannam, 2023). SiC yüksek sıcaklığa dayanımından dolayı yüksek sıcaklıklarda çalışabilen güç yarı iletkenlerinde önemli rol oynamaktadır. SiC sahip olduğu termal iletkenlik ve elektron hızı gibi özellikleriyle geniş bantlı bir yarı iletken malzemedir (Zhao, 2009). SiC yüksek elektron hareketliliğine sahip olduğundan dolayı ticari alanda radyo frekans güç kaynakları teknolojilerinde kullanabilmektedir (Formicone, 2018).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında matris malzeme olarak tercih edilen Elium 188 ® termoplastik reçinesi geri dönüşürebilirlik, daha yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla yakın zamanda geliştirilmiştir (Kazemi vd., 2019). Elium 188 ® termoplastik reçinesi ticari amaçla üretilmiş olup epoksi termoset malzemelere alternatif olarak kullanım amacıyla piyasada yer edinmesini amaçlamaktadır (Kazemi vd., 2021, 2019). Elium 188 ® termoplastik reçinesi yeni üretilmiş olmasından dolayı üzerine yapılmış literatürde çok çalışma bulunmamaktadır. Elium 188 ® termoplastik üzerindeki yapılan çalışmalar daha çok mekanik dayanımı ve malzemenin epoksi malzemelere yönelik kıyaslamalar üzerinedir. Ayrıca Elium 188 ® termoplastik reçinesi içerisine PAN nanofiber takviyeleri eklenerek güçlendirilmesi literatürde bulunmamaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Elium 188 ® termoplastik matris reçinesine elektro-eğirme yöntemiyle üretilen PAN nanofiberleri el yatırma yöntemi kullanılarak Elium+PAN tabakalı termoplastik kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elektro-eğirme yöntemi kullanılarak PAN polimerine %1 Ag, %1 SiC ve %0.5Ag+%0.5SiC nanopartikülleri katılanmıştır.

Literatürde daha öncesinde Elium 188 ® termoplastik reçinesine PAN nanofiberleri takviye edilmediği gibi Elium 188 ® termoplastik reçinesinin elektromanyetik dalgalar üzerindeki soğurma özellikleride incelenmemiştir. Bu yüksek

lisans tez çalışmasında Elium 188 ® termoplastik reçinesinin ve Elium+PAN tabakalı termoplastik nanokompozitlerin elektromanyetik spektrumda bulunan X-Işınları ve radar özellikleri incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmayla birlikte Elium 188 ® reçinesi, Elium+PAN tabakalı termoplastik kompozitlerinin içerisine kaktılanan %1Ag, %1SiC ve %0.5Ag+%0.5SiC nanopartiküllerinin PAN polimeri içerisinde ve Elium 188 ® matris üzerindeki etkileri hakkında detaylıca bilgi edilecektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Nanomalzeme

Nanomalzemeler genellikle 1-100 nm boyutlarında bulunmaktadır. Nanomalzemeler yaklaşık olarak 100 ila 1000 tane atomun bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Nanomalzemeleri oluşturan atomlar oluşturdukları nanomalzemelere kendilerinin sahip olduğu manyetik, elektrik, optik gibi özellikleri muazzam derecede aktarmaktadırlar. Bu özelliklere sahip olan nanomalzemeler teknolojik açıdan elektronik, tıp ve mühendislik gibi alanlarda önemli çalışma imkanları sunmaktadır (Özsevgeç ve Yayla Eskici, 2019). Tablo 2.1’de nanomalzemelerin çeşitlerini ve boyutlarını örnek verilerek gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Nanomalzeme Türleri (Özsevgeç ve Yayla Eskici, 2019)

Malzemeler	Yaklaşık Boyut (nm)	Örnek
Nano Gözenekli Katılar	0.5-10	Zeolitler, Alimüna
Nanokristaller veya Kuantum Noktalar	1-10	Metaller, Yarı İletkenler, Manyetik Materyaller
Nanopartiküller	1-100	Metaller, Seramik Oksitler
Nanoteller	1-100	Metaller, Yarı İletkenler, Oksitler, Nitritler
Nanotüpler	1-100	Karbon
İnce Filmler	1-1000	Yarı İletkenler

Nanomalzemeleri oluşturan atomların makro ortam ile mikro ölçekteki atomların gösterdiği davranışlar birbirlerine göre farklılık gösterebilmektedirler. Bunu örnek vererek açıklamak gerekirse; demir cevherindeki atom davranışları ile nano boyuttaki demir atomunun gösterdiği karakteristik özellikler farklı olmaktadır. Başka bir örnek vermek gerekirse silisyum’dan elde edilen bir tel yarı iletken bir özelliğe sahiptir. Bu tel nano boyutlara getirilmeye başlandığında boyutu küçüldükçe tel iletkenlik özelliği göstermeye başlamaktadır. Makro yapıları ve nanoboyutundaki atomların dizilişlerini değiştirerek farklı karakteristik özelliklere sahip olan malzemelere örnek vermek

gerekirse karbon yapıtaşından oluşan elmas ile grafit örneği verilebilir. Elmas dünyada bulunan en sert malzeme iken grafit kurşun kalemlerde kullanılabilir. Bunu atomların nanoboyutta istenilen düzeyde ve istenilen düzende birleştirilmesiyle elde edildiği söylenebilir (Özsevgeç ve Yayla Eskici, 2019). Tüm bu özelliklere bakıldığında Nanomalzemelerin günümüz teknolojisi ve gelecek teknolojisi için önem arz ettiği söylenebilir. Malzemeleri nano boyutlarda kontrol ederek elde edeceğimiz malzemelere istenilen özellikler eklenebilir.

## **2.2. Nanofiber**

Nanofiberler genellikle 1,0 mikrondan daha küçük olan yapılara verilen isimdir. Nanofiberler literatürde Nanoelyaf, Nanolifler gibi terimler olarakda geçmektedir. Genellikle nanofiberler 50 ila 300 nm arasında değişkenlik göstermektedirler. Nanofiberler geometrik açıdan ince uzatılmış ipliksi yapıda bulunan elyaflar olarakda bilinmektedirler (Çimen Güneş, 2021). Nanofiberlerin boyutları küçük olmasından dolayı yapısal olarak daha az kusurları bulunmaktadır. Nanofiberler yapısal olarak az kusurlara sahip olmalarından dolayı mekanik özellikleri oldukça iyidir (Aladağ Tanik, 2016). Nanofiberlerin çapları nano boyutta ve oldukça küçük olmalarından dolayı yüzey/hacim oranları yüksektir. Nanofiberlerin sahip olduğu bu yüksek yüzey/hacim oranı onlara yüksek spesifik yüzey alanına sahip olma özelliği kazandırmaktadır. Bu spesifik yüzey alanları oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise nanofiberlerin bu spesifik yüzey alanlarında iyonları ve çeşitli nano boyuttaki partikülleri tutmasıdır. Nanofiberlerin sahip olduğu bu spesifik yüzey alanları sayesinde yüzeyde tutunan nano boyuttaki partiküllerin yüzeye yayılma kapasitesini arttırmaktadır (Aladağ Tanik, 2016).

### **2.2.1. Nanofiber Uygulamaları**

Nanofiberler kullanılması sonucunda elde edilen ürünler yüksek katma değerli olmaktadır. Nanofiberlerin sahip olduğu muhteşem özelliklerinden dolayı kendilerine geniş uygulama alanları bulabilmektedir. Nanofiberler yapısal olarak küçük boyutlarda olduğu için zararlı maddeleri geçirmesini engelleyerek hava ve su filtrasyon sistemlerinde uygulanmaktadırlar. Nanofiberler biyomühendislik alanında spesifik yüzeye sahip olduğu için ve bu yüzeyde hücre büyümesine imkân sağladığı için kullanılmaktadır. Buna örnek olarak kemik, diş ve deri gibi organların kaplamalarında yeni yapay organ oluşturma işlemlerinde uygulanabilmektedir. Nanofiberler tekstil sektöründe ise UV

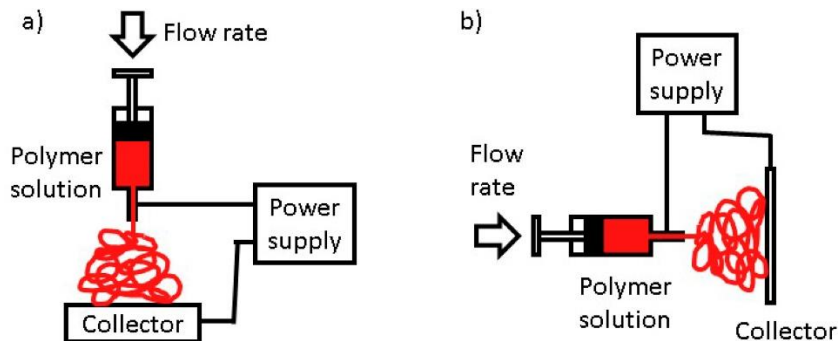
ışınlarına karşı dayanıklı, yanmaya ve su geçirmeye karşı dirençli ürünler elde edebilmek için üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Demirel, 2016).

### 2.2.2. Elektro-Eğirme Yöntemiyle Nanofiber Üretimi

Elektro-eğirme (Elektrospin) yöntemi oldukça basit ve uygun maliyetli bir yöntemdir (Yan vd., 2022). Elektro-eğirme yöntemi son yıllarda mikro-nano polimerler kullanarak elyaf hazırlama teknolojisi olarak üzerine ciddi ilgi çekmiştir. Elektro-eğirme yöntemi nanofiber üretimlerinde ultra ince elyaflar elde etmek için kullanımı kolay olduğundan dolayı çokça tercih edilmektedir (D. Lv vd., 2018).

Elektro-eğirme yöntemi oldukça eski bir tarihe dayanmaktadır. Elektro-eğirme yöntemi 1600'lü yıllarda William Gilbert tarafından keşfedilmiştir. William Gilbert elektromanyetizmanın sıvılar üzerindeki etkisini incelerken tesadüfi bir şekilde elektro-eğirme yönteminin temellerini atmıştır. William Gilbert sonrasında bir su damlasına belli aralıklarla elektriksel olarak bir yüzeye koni şeklinde çekimlendiği gözlemiştir. Bu gözlemler elektro-eğirme yönteminin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Arıcı, 2018).

Elektro-eğirme yönteminden nanofiberler elde edebilmek için belli başlı parametreler vardır. Elektro-eğirme yöntemi atmosferik basınçta ve oda sıcaklığında kullanılmaktadır. Elektro-eğirme yönteminde düşük akım ve yüksek voltaj sayesinde yüksek elektrik akım alanı elde edilmektedir. Elde edilen bu elektrik akım alanı sayesinde polimerik çözeltiler kullanılarak mikro lifler nanoliflere dönüşmektedir. Bu dönüşüm yani nanolif (nanofiber) elde edilmesine Elektro-Eğirme Yöntemiyle Nanofiber elde edilmesi adı verilmiştir (İbrahim ve Klingner, 2020). Elektro-eğirme yönteminde kullanılan cihazların iki ana kurulumu vardır. Bunlar dikey ve yatay konumlu Elektro-eğirme cihazları olarak bilinmektedir. Elektro-eğirme cihazları Şekil 2.1.'de verilmiştir.

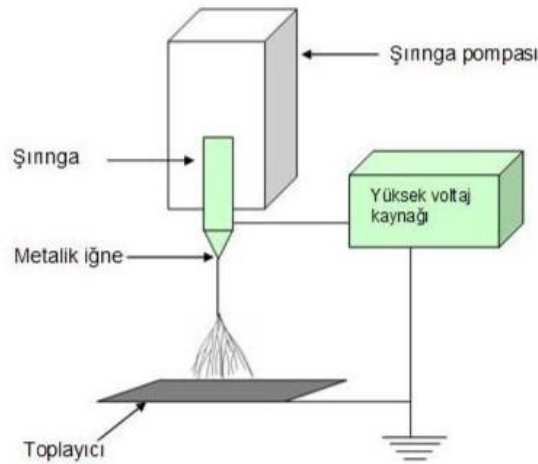


**Şekil 2.1.** Elektro-Eğirme Yönteminin Kurulum Şemaları (Ibrahim ve Klingner, 2020) **A)** Tipik Dikey Kurulum Elektro-Eğirme Cihazı **B)** Tipik Yatay Kurulum Elektro-Eğirme Cihazı (Ibrahim ve Klingner, 2020)

### 2.2.2.1. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber Üretim Düzenegi

Elektro-eğirme yönteminde kullanılan sistem 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar yüksek voltaj kaynağı, lüle (şırınga ve şırınga ucu) ve metal toplayıcı yüzey'dir (Süslü, 2009).

Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber elde edilmek istenildiğinde öncelikle üretilmesi istenen polimer seçilir. Sonrasında seçilen polimer uygun çözücü yardımıyla çözelti oluşturulur. Oluşturulan bu çözelti şırıngaya doldurulur ve çözelti haznesine koyulur. Buradaki çözelti haznesi şırınganın içindeki polimerin dışarıdan herhangi bir zarara uğramamasını sağlar. Sonrasında şırınga bir pompa tarafından sürekli itilerek şırınganın içerisindeki çözelti şırınga ucundaki metalik iğneye iletilir. Metalik iğne ve tambur arasında uygulanan yüksek voltajdan dolayı nanofiber elde edilir (Süslü, 2009; Şenyurt, 2017). Elektro-eğirme yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



**Şekil 2.2.** Elektro-Eğirme Yöntemi Temel Bileşenleri (Süslü, 2009)

### 2.2.2.2. Elektro-Eğirme İşlemi Aşamaları

Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber elde etme işlemini 3 başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar;

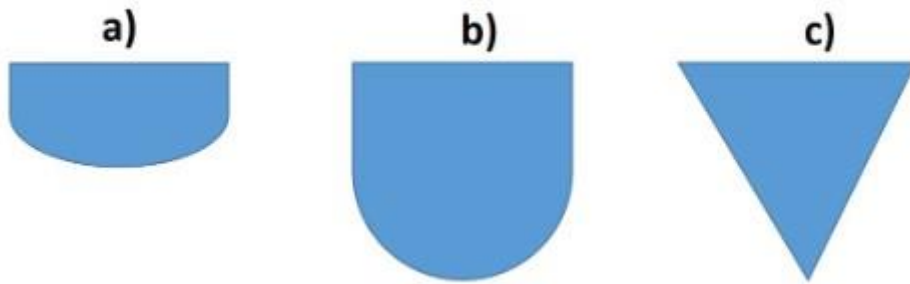
- Yüklenmiş jetlerin düz bir hat boyunca uzamaya başlaması
- Bu jetlerin uygulanan yüksek voltaj ile bükülmesi veya ayrılması

- Metal toplayıcı yüzeyde mikro boyutta ya da nano boyutta fiberlerin katılaşması

Şeklinde sıralanabilir (Kocaman vd., 2020).

### 2.2.2.3. Jet Oluşumu

Elektro-eğirme yönteminde kullanılan çözeltiliye elektriksel kuvvet uygulanması sonucunda şırınga ucunda çözeltili elektrik kuvvetiyle yüklenir ve çözeltili damlasının boyutu ve elektriksel kuvvetin etkisi zaman geçtikçe değişir. Uygulanan yüksek voltaj sayesinde şırınga ucundaki çözeltili damlacığı şekli ilk başlarda yarım küre halindeyken zaman geçtikçe koni şeklini alır. Damlacığın koni şeklini almasına Taylor Konisi adı verilmektedir. Şırınga ucunda bulunan metalik iğnedeki çözeltili damlacığına etki eden yüksek elektriksel kuvvet damlacığı öncelikle Taylor Konisi haline getirir. Sonrasında Taylor Konisine etki eden elektriksel kuvvet buradaki yüzey geriliminide yener ve kritik voltaj değerini aşar. Bu kritik voltaj değerini aşıldıktan sonra çözeltili püskürtülecek kıvama gelir (Kocaman vd., 2020). Çözeltinin Taylor Konisi haline gelme aşaması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Çözeltinin Damlacık Halinden Taylor Konisine Dönüşme Aşaması (Kocaman vd., 2020)

$$V_c^2 = 4 \frac{H^2}{h^2} \left( \ln \left( \frac{2h}{R} \right) - 1,5 \right) (1,3\pi R\gamma) (0,09) \quad (2.1)$$

Taylor kritik voltaj değerini hesaplariken;  $V_c$  kritik voltaj değeridir. Burada şırınganın ucundaki metalik iğne ile tambur arasındaki mesafeyi  $H$  ile ifade edilmektedir. Çözeltinin koyulduğu şırıngadaki toplam mesafe ise  $h$  ile ifade edilmektedir. Kullanılan metalik iğne ucunun dış çapı ise  $R$  ile ifade edilmektedir.  $\gamma$  ise kullanılan polimerik çözeltinin yüzey gerilimi ifade eder. Formülde bulunan 0,09 değeri ise kullanılan voltaj kaynağındaki voltajı ifade eden katsayıdır (Kocaman vd., 2020).

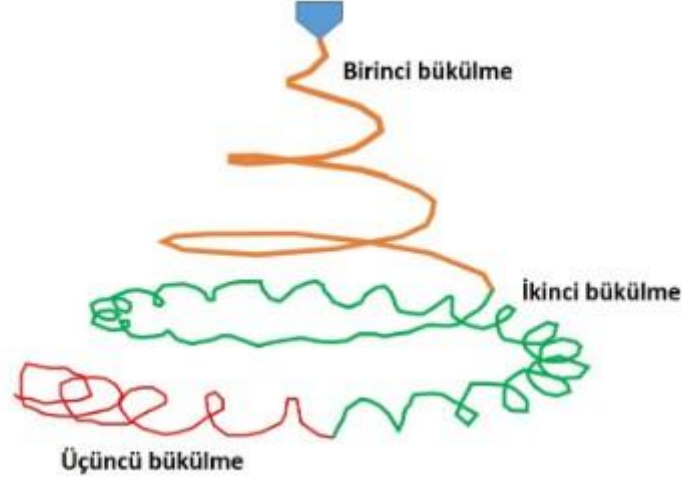
Şırınganın ucundaki metalik iğnedeki polimerik çözelti kritik voltaj değerine ulaştıktan sonra elektrik alana maruz kalmaktadır. Bu elektrik alana ise Kritik Elektrik Alan adı verilmektedir. Kritik alan  $E_c$  ile ifade edilmektedir.

$$E_c = \sqrt[4]{4\gamma\rho g/\varepsilon^2} \quad (2.2)$$

Kritik elektrik alan formülünde  $g$  yer çekimini ifade etmektedir.  $\gamma$  ise kritik elektrik voltaj değerinde de olduğu gibi yüzey gerilimini ifade etmektedir.  $\rho$  ise kullanılan polimerik çözeltinin yoğunluğu için kullanılır (Kocaman vd., 2020). Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber elde etmek istendiğinde kritik elektrik alan ve Taylor kritik elektrik voltaj değerleri oldukça önemlidir.

#### 2.2.2.4. Jetlerin Bükülmesi

Taylor kritik voltaj noktasıyla iğne ucundaki çözelti konikleştikten sonra kritik elektrik alan ile çözelti elektrik kuvvetleriyle yüklenir. Yüklenen jetlerin çapları iğneden kopup metal tambura yaklařtıķça voltajın etkisinden dolayı azalmaktadırlar. Elektriksel kuvvetin uygulanamamasından dolayı iğneden ayrılan jetler tambura doğru hareket ederken uzama ve bükülme eğilimi gösterirler. Jetler bulunduğu elektriksel alandan dolayı toplayıcıda bükülerek toplanırlar.



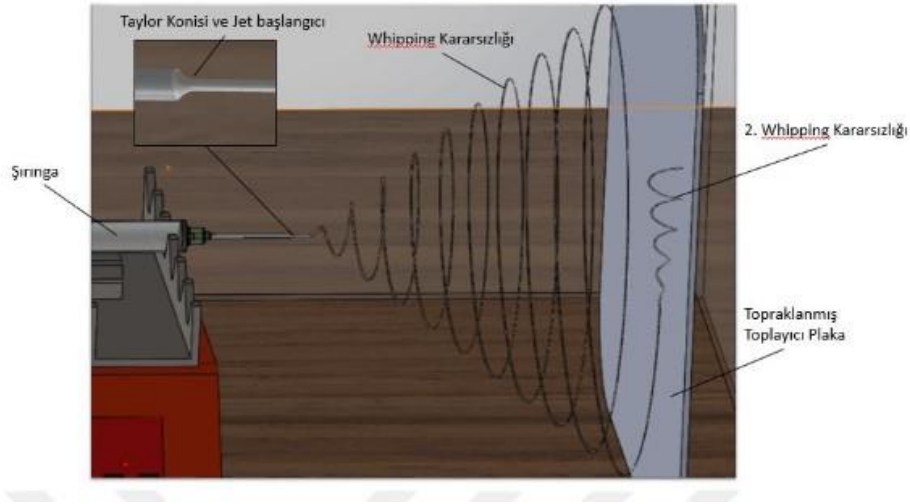
Şekil 2.4. Yük Dağılımında Kararsızlık Sonucunda Oluşan Fiber Yapılar (Kocaman vd., 2020)

Nano boyutta fiberler elde edilmek istendiğinde oluşan jetlerin uzamaları istenmeyen bir olaydır. Elektro-eğirme yöntemiyle sağlıklı nanofiberler elde edilmek istendiğinde jetlerin elektrik alan etkisine maruz kaldığında bükülmenin oluşmasını ve bu şekilde metal tambura toplanmasını istenmektedir. Şekil 2.4'te yük dağılımındaki kararsızlık sonucunda oluşan fiber yapı şematize edilmiştir. Başlangıçta çözelti iğne ucundan çıkarkan kalın olmasına rağmen kararsızlıkların etkisiyle gittikçe incelmektedir (Kocaman vd., 2020).

Jetlerde bükülme kavramı elektrik alanın etkisiyle yük dağılımından dolayı kararsızlık sonucunda oluşur. Bu kararsızlıklar 3 tip olarak ayrılabilir. Bunlar;

- Rayleigh Kararsızlığı
- Eksenel Simetrik Elektrik Alan Akımlanması
- Whipping Kararsızlığı (Demirel, 2016; Kocaman vd., 2020; Şenyurt, 2017)

Elektro-eğirme yönteminde Whipping kararsızlığı en çok karşılaşılan kararsızlıktır. Whipping kararsızlığı Şekil 2.5'te şematize edilmiştir. Whipping kararsızlığı jet yüzeyinde bulunan elektron yüklerinin birbirlerini itmeleri sonucunda meydana gelmektedir. Elektron yükler birbirlerini ittiklerinde etrafa homojen bir biçimde dağılmazlar. Bu rastgele dağılım sonucunda jette merkezden radyal bir biçimde bir tork meydana gelir. Jetler şırınga ucundaki metal iğneden ayrılıp plakaya yaklaştıkça ana jetten küçük jetler ayrılırlar. Polimer jeti olabildiğince incelendiğinde ise Whipping kararsızlıkları meydana gelir.

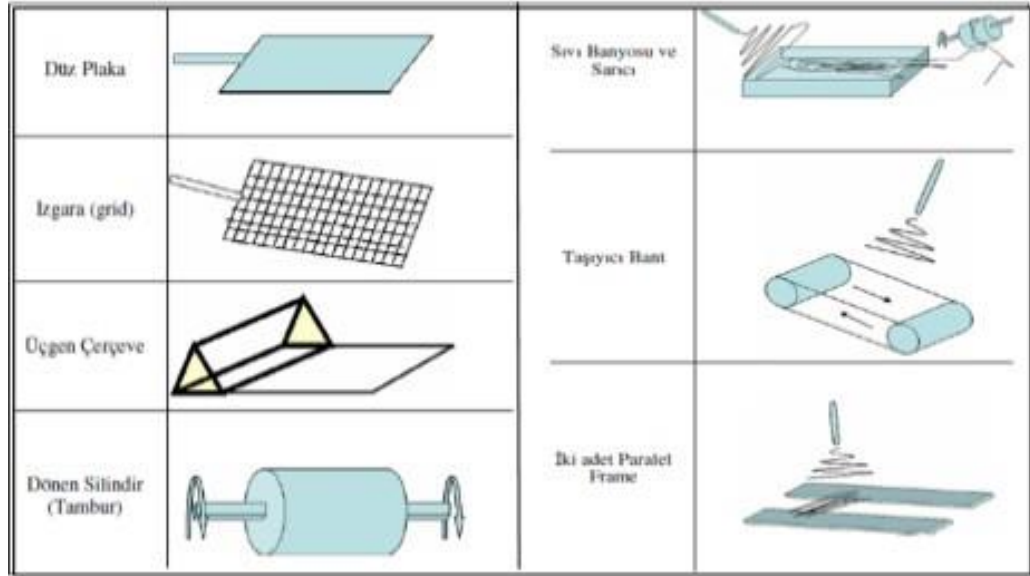


Şekil 2.5. Elektro-Eğirme Yönteminde Meydana Gelen Whipping Kararsızlığı (Şenyurt, 2017)

### 2.2.2.5. Fiberlerin Katılaşması ve Tamburda Birikmesi

Elektro-eğirme yönteminde elde edilecek olan fiberler için genellikle çözelti olarak polimerler kullanılmaktadır. Jetler uzamaya başladığında polimerlerin çözücülerini zaman geçtikçe buharlaşmaya başlar. Polimer çözeltisindeki çözücüler buharlaşmaya başladığında geride sadece yüklü polimer fiberler kalır. Bu yüklü fiberler tambura doğru yaklaştıkça katılaşma ve buharlaşma olayı artar. Jetlerin buharlaşma ve katılaşma sürelerini ortamın nem ve ortam sıcaklığı oldukça etkilemektedir. Jetler buharlaşırken ortamdaki nem miktarı arttığında katılaşma süresi yavaşlamaktadır. Katılaşma işleminin yavaşlaması ise fiberlerin uzamasını ve bu uzayan fiberlerin daha ince bir yapıda olmasını sağlar. Oluşan bu fiberler tambur yüzeyine çarparak bir kuvvetle karşılaşılır. Bu çarpışma sonucunda fiberler bu kuvvetin etkisinde kalarak bükülme kararsızlığına uğrarlar. Bu sayede fiberler tamburda birikmiş olurlar (Bahar, 2019; Kocaman vd., 2020; Şenyurt, 2017).

Elektro-eğirme yönteminde fiberlerin biriktiği metal tambur ya da toplayıcı yüzey farklı şekillerde kullanılabilir. Bunlar tambur yüzeyin şekli, yapısı ve hareket haline göre isimlendirilebilmektedir. Şekil 2.6.'da Elektro-eğirme yönteminde kullanılan tamburlar gösterilmiştir.



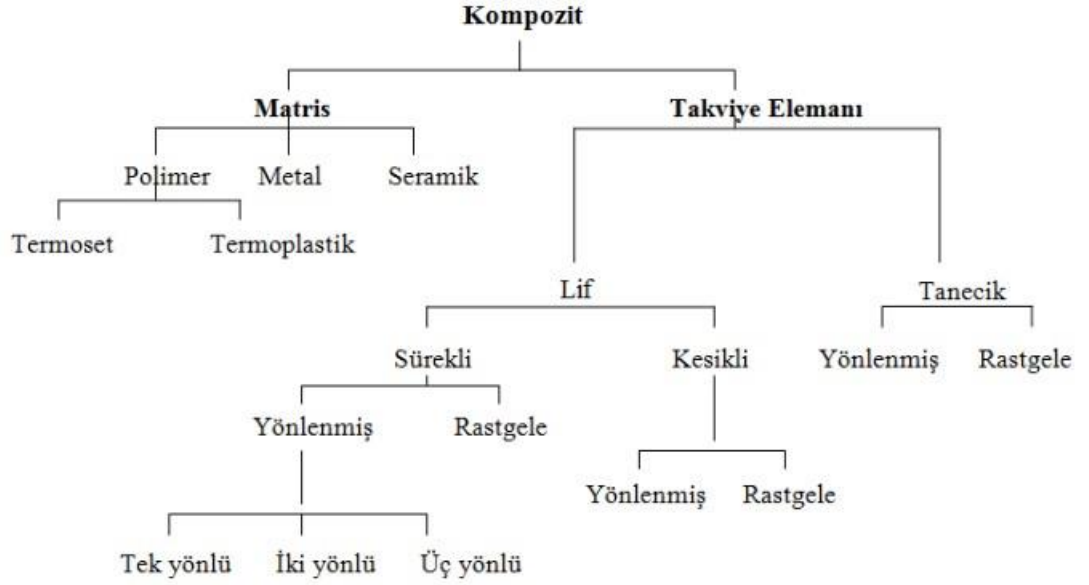
Şekil 2.6. Elektro-Eğirme Yöntemi Tambur Çeşitleri (Bahar, 2019)

### 2.3. Kompozit Malzeme

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla malzemenin kendilerine ait en iyi özellikleri birleşerek elde edilen yeni malzemeye aktarmak istenilmesi sonucunda elde edilir (Akarsu, 2011). Kompozit malzemeleri oluşturan yapılar makro seviyede birleşerek kompozit malzemeleri meydana getirirler (İşler, 2015). Kompozit malzemeleri oluşturan yapılar birleşirken yapıların atomları arasında bir alışveriş olmaz. Ve bu yapıların birleşimi gözle görülebilecek düzeyde gerçekleşmektedir (Asi, 2018). Kompozit malzemeleri oluşturan yapılar genellikle kendi iyi özelliklerini koruyarak kompozit malzemelere aktarırlar (Hayırkuş, 2021).

#### 2.3.1. Kompozit Malzeme Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler çok fazlı malzeme olarak sınıflandırılırlar. Kompozit malzemeler oluşturulurken iki yapı tarafından meydana gelirler. Bunlar takviye elamanı ve takviye elamanını çevreleyen maktris yapılarıdır (Akarsu, 2011). Kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kompozit Malzemeleri Oluşturan Yapılar ve Sınıflandırılması (Akarsu, 2011)

### 2.3.1.1. Matris

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris yapılarının temel anlamda 3 görevi vardır. Bunlar; kompozit malzeme üretiminde kullanılan takviye elemanı dışarıdan gelecek darbelere ve kuvvetlere karşı korumak, takviye elemanını bir arada tutarak dağılmasını engellemek ve takviye elemanına gelen yükleri eşit derecede dağıtmaktır (İşler, 2015). Kompozit malzeme üretiminde tercih edilen matris malzemesi ilk başlangıç halinde düşük viskoziteye sahip olması beklenir. Fakat sonrasında bu matris malzemesi takviye malzemesiyle birlikte kullanılıncaya katı forma geçerek takviye malzemesini dış etmenlerden koruması beklenir (İşler, 2015). Kompozit malzemelerin şeklini çoğu zaman kullanılan matris elemanı belirlemektedir (Akarsu, 2011).

Kompozit malzeme üretimi için kullanılan matris elemanı malzeme olarak 3 farklı yapıda incelenebilir. Bu matris elemanı malzeme yapısı olarak polimer, metal veya seramik olarak tercih edilebilmektedir. Tercih edilen matris yapısına göre kompozitler şu başlıklar altında incelenebilmektedirler;

- Polimerik Kompozitler
- Metalik Kompozitler
- Seramik Kompozitler

Şeklinde sınıflandırılabilirler.

### 2.3.1.2. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler literatürde plastik matrisli kompozitler olarak da kendine yer bulmuştur. Polimer matrisli kompozitlerin hafif ve kolay işlenebilme özellikleri onlara oldukça avantaj sağlamaktadır. Polimer matrisli kompozitler dayanımı iyi olması darbe özellikleri oldukça emebilmesi, aşınma dayanımı gibi özelliklerinden dolayı uçak sanayi, gemi ve otomobil sektöründe ve birçok mühendislik alanında oldukça önemli çalışma alanları vardır (Hayırkuş, 2021). Kompozit malzeme üretiminde tercih edilen matrislerin %90 gibi büyük bir oranı polimer matrislidir (İşler, 2015). Polimer matrisli kompozitler kendi içlerinde 2 ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar;

- Termoset Matrisli Kompozitler
- Termoplastik Matrisli Kompozitler

### 2.3.1.3. Termoset Matrisli Kompozitler

Termosetler monomerlerin kimyasal reaksiyon sonucunda uzun polimer moleküller haline gelmesiyle meydana gelirler. Polimer matrisli kompozit elde etmek istenildiğinde ve termoset esaslı matris kullanıldığında genellikle termosetler sıvı halde bulunurlar. Termoset malzemeye ısı verildiğinde kimyasal tepkimeye uğrayarak sertleşir ve katı hale gelir. Termoset polimerlerin polimerizasyon sürecinden dolayı ısıtıldığında sonra sertleşirler ve tekrar eski hallerine geri dönmezler (İşler, 2015). Termosetler yüksek sıcaklığa dahi dayanıklı olup kimyasal reaksiyonlara karşı çözünme olaylarına dayanıklıdır. Bu dayanıklılık kötü hava koşullarına dahi termoset malzemelere uzun ömür gibi avantajlar sağlamaktadır (İşler, 2015). Fakat termoset reçineler kırılğan özelliğine sahiptir. Ve yüksek sıcaklıkları arttıkça mukavemet dayanımı azalmaktadır (Ekrem, 2006). Termoset matrisli kompozit malzemelerde genellikle epoksiler, polyesterler ve fenolikler oldukça sık kullanılmaktadır (Ekrem, 2006). Tablo 2.2’de epoksi, polyester ve fenolik malzemelerin kendine özgü malzeme özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Termoset Plastik Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri (Ekrem, 2006)

<b>Malzeme Özellikleri</b>	<b>Epoksi</b>	<b>Polyester</b>	<b>Fenolik</b>
<b>Yoğunluğu</b>	1.11	1.04-1.46	1.24-1.32
<b>Elastik Modülü (MPa)</b>	7000	3400	4800
<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	70	41-90	34-62
<b>Kopma Uzaması (%)</b>	3-6	42	1.5-2.0
<b>Isıl İletkenlik</b>	0.19	0.19	0.15
<b>Isıl Genleşme (1/°C)</b>	45-65	55-100	68

Epoksi, Polyester ve Fenolik gibi reçineler uzun ömürlü olma özelliklerine sahiptirler. Fakat fiyatları oldukça yüksektir (Ekrem, 2006).

#### **2.3.1.4. Termoplastik Matrisli Kompozitler**

Termoplastik malzemeler termoset malzemelere göre daha farklı davranış biçimleri göstermektedirler. Termoplastik malzemelere ısı verildiğinde termosetler gibi katılaşmazlar aksine yumuşama özelliği gösterirler. Termoplastik malzemeler soğutulduğunda ise katılışır. Termoplastik malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi bu işlemleri defalarca tekrarlanması mümkündür. Bu özellik termoplastik malzemelere yeniden işlenebilme özelliğini sağlamaktadır (Asi, 2018). Termoplastik malzemelerin geri dönüşüm kapasitesinin olması, raf ömrünün uzun olması ve sertleşme süreçlerinde organik çözücülere ihtiyaç duymaması gibi özellikler termoplastiklere güvenli çalışma ortamı sağlamaktadır (İşler, 2015). Termoplastik malzemeler oda sıcaklığında katı halde bulunurlar ve herhangi bir soğutucuya ihtiyaç duymadan depolanabilirler. Termoplastikler neme karşı dayanıklılık gösterirler. Termoplastiklerin düşük yoğunluğa ve düşük iletkenliğe sahip olması, ışığı geçirmemesi ve düşük ısı iletim özelliğine sahip olması termoplastik malzemeleri tercih etmekte önemli rol oynamaktadır (Ekrem, 2006).

#### **2.3.1.5. Termoset ve Termoplastik Matrislerin Karşılaştırılması**

Tablo 2.3'te termoset ve termoplastik malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması tablo halinde verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Termoset ve Termoplastik Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması (Hayırkuş, 2021)

<b>Termoset Malzemeler</b>	<b>Termoplastik Malzemeler</b>
Düşük Gerinmelerde kopar. Raf Ömrü Sınırlıdır.	Yüksek Gerinmelerde Kopar. Raf Ömrü Uzundur
Yapışkandır.	Yapışkalan Değildir. (Kullanım Avantajı)
Kürleşme Süresi Uzundur.	Proses Zamanı Kısa Süredir.
Üretim Sıcaklığı Düşüktür.	Üretim Sıcaklığı ve Viskozitesi Yükseklerdir.
Isı Altında Erimez, Bozunur	Isıtma ve Basınca Yumuşar, Geri Dönüşümü Mümkündür.
Örnek: Epoksi, Melamin, Bakalit, Silikon, Poliüretan	Örnek: Poliamid, Polikarbonat, Polipropilen, Akrilonitril Bütadien, Polivinil Klorür, Elium 188 ®

### 2.3.1.6. Takviye Elemanı

Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak takviye elemanı oldukça önemli rol oynamaktadır. Takviye elemanı kompozit malzemeye gelen yükü çok yüksek oranda taşıma görevini üstlenmektedir. Takviye elemanı kompozit malzemenin mukavemetini dayanımı arttırırken bir diğer yandan kompozit malzemenin elektrik iletkenliği veya yalıtkanlığı hakkında rol oynamaktadır. Takviye elemanı yükün büyük kısmını üstlenip kompozite dağıttığı için matris ile uyumlu olması oldukça önemlidir. Burada uyumlu kavramı takviye elemanı ile matris arasındaki ara yüzey bağ kuvvetinin iyi olması anlamına gelmektedir (Asi, 2018). Kompozit malzemelerde kullanılacak takviye malzemeleri farklı şekillerde olabilmektedir. Bunlar; tanecik, sürekli elyaf ve kesikli elyaf şeklinde olabilir (Asi, 2018).

### 2.3.1.7. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemelerde takviye malzemesine göre Elyaf (Fiber) takviyeli kompozitler en çok tercih edilen kompozit türüdür. Elyaf takviyeli kompozitler yumuşak veya sünek matris malzemesinin içine yerleştirilirler. Yerleştirilen bu elyaf takviyesi matrisin ve kompozitin özgül dayanım özelliklerinde iyileşmesini sağlar (Ekrem, 2006). Elyaf takviyeli kompozitlerde matris elemanı dışardan gelen kuvvetleri elyaflara transfer ederek kompozit malzemeye yumuşaklık, mukavemet artışı ve tokluk özelliği sağlar. Takviye elemanı elyaflar ise gelen kuvvetin büyük bir bölümünü dağıtarak kuvveti taşır (Ekrem, 2006).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme, eğme, çentik darbe dayanımı gibi birçok mekanik özellikleri diğer takviye elamanlı kompozitlere göre daha iyidir. Bundan dolayı Elyaf takviyeli kompozitler daha çok tercih edilmektedir (Asi, 2018). Elyaf ile matris malzemesinin kompozit malzemedeki hacimsel oranları mukavemeti belirlemede oldukça önem taşımaktadır. Yani bu olay şu şekilde açıklanabilir: Elyaf oranı arttıkça dayanım artmaktadır. Fakat artan elyaf oranını bir süre sonra matris taşıyamaz ve matris elemanı takviye elamanın ıslanma sorunu yaşatarak takviye elemanı ile matris malzemesi birbirlerine bağlanma sorunu yaşayabilirler. Bu olayda mukavemetin artması yerine tam tersinde bir etki yaratarak mukavemetin düşmesini sağlayabilir (Asi, 2018).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mukavemetini ve dayanımı belirleyen bir diğer olay ise kullanılan elyafın (fiberin) çapı ve boyutudur. Yani kullanılan takviye elemanı olarak elyafın çapı ne kadar küçük olursa tercih edilen matris malzemesinin elyafı ıslatması o kadar kolay olur. Elyafın ıslanabilme özelliği daha iyi bir kompozit elde edeceğinden dolayı dayanımı artmış olur.

Elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi esnasında mukavemeti ve dayanımını etkileyen bir diğer husus ise takviye elemanı yani tercih edilen elyafın (fiberin) matris malzemesine yerleştirilme şeklidir. Yani kullanılan elyaf demetlerine dışarıdan uygulanan yük elyafın yerleştirilme yönünde uygulanırsa malzemenin mukavemeti yüksek çıkarken elyafa dik uygulandığında kompozit malzemenin mukavemetinde düşüşler gözlemlenmiştir (Asi, 2018).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma dayanımları ve korozyon dayanımları oldukça iyi olmasından dolayı otomotiv, uzay ve havacılık sektörleri, inşaat sektörü ve kimya endüstrisi gibi alanlarda oldukça tercih edilmektedir (Asi, 2018). Bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

**Tablo 2.4.** Bazı Elyaf Malzemelerinin Mekanik Özellikleri (Hayırkuş, 2021)

Elyaf	Yoğunluk (Mg.m <sup>-3</sup> )	Elastite Modülü (Gpa)	Poisson Oranı	Çekme Gerilmesi (GPa)
SiC	3	400	0.2	2.4
Bor	2.6	400	0.2	4
HM Karbon	1.95	Eksenel 380	0.2	2.4
		Radyal 12		
E-cam	2.56	76	0.22	2
Nicalon	2.6	76	0.2	2
Saffil	3.4	300	0.26	2
Selüloz	1	80	0.3	3

İnce ve tek yönlü elyaf takviyeli polimer matrisli yapılara genellikle katman (tabaka) adı verilmektedir. Tabakalı kompozit malzemeler elde edilmek istendiğinde bu katmanlar istenilen açı ve düzenlerde üst üste yerleştirilerek oluşturulmaktadır (Hayırkuş, 2021). Tabakalı kompozitler elde edilirken reçinenin katmanlar arasında homojen şekilde yayılması ve hacim oranlarının üniform olması gerekmektedir (Hayırkuş, 2021).

## 2.2.2. X-Işınları

X-Işınları dalga boylarının kısa ( $10^{-10}$  m) ancak frekansları ( $10^{15}$  Hz) oldukça yüksek olan bir elektromanyetik dalga çeşitidir. X-Işınlarının frekans aralığı görünür bölgedeki ışık türünden yaklaşık 1000 kat daha yüksek bir frekansa sahiptir. X-Işınlarının sahip olduğu yüksek frekans aralığı sayesinde X-Işınlarının malzemeye nüfuz etme yeteneği oldukça fazladır. Yapılan araştırmalarda X-Işınlarının malzemelere nüfuz etme özelliğinden dolayı X-Işınlarından etkilenen hücrelerde sıcaklık artışları, hücre genetiğinde değişim ya da hücre ölümü gibi olumsuz etkilerin olabildiği gözlemlenmiştir (Cacık, 2022; Kayhan, 2003).

X-Işınları oluşum şekilleri açısından 2 kategoride incelenmektedir. X-Işınlarının oluşum türü olarak birincisi Karakteristik X-Işınları olarak adlandırılmaktadır. Bu Karakteristik X-Işınları doğada doğal yollardan oluşmakta olup herhangi bir uyaran sonucunda atomdaki elektronların yer değişmesiyle birlikte atomun ışımaya başlaması sonucunda oluşmaktadır. Diğer bir X-Işını oluşum türü ise Frenleme (Bremsstrahlung) tipi X-Işınları olarak adlandırılmaktadır. Frenleme tipi X-Işınları yapay ortamlarda atomlardan elektronların koparılması karşısındaki bulunan plakaya düşürülüp durdurulması sonucunda elde edilen ışımayla meydana gelmektedir (Cacık, 2022; Kayhan, 2003).

### 2.2.2.1. Karakteristik X-Işınları

Karakteristik X-Işınları atomların sahip oldukları elektronların farklı yörüngelerde yer almasından dolayı kaynaklanmaktadır. Karakteristik X-Işınlarında atomların herhangi bir uyaran sayesinde yeterli bir seviyede elektron ile etkileşim haline geçerek elektronların bir üst seviyeye geçmesiyle gerçekleşir. Bu Karakteristik X-

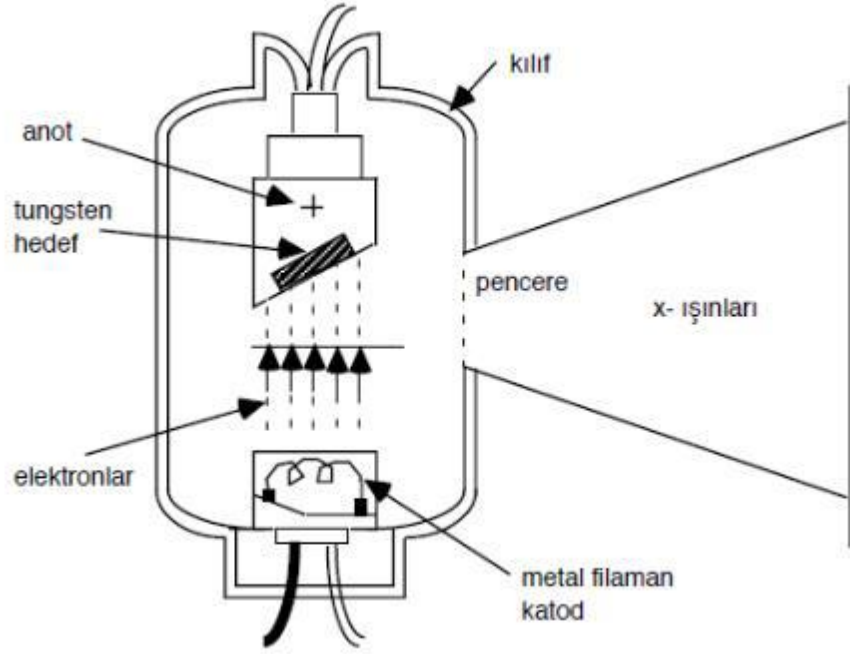
Işınlarının en büyük özelliği olarak uyarılma işlemi bittikten sonra elektron tekrar kendi yörüngesine geçerek kararlı yapıya dönme eğilimindedir. Bu karakteristik X-Işınları tekrar geriye kararlı yapıya dönerken uyarıldığı ve aldığı enerjiyi ışıma yaparak geri bırakmaktadır. Bu ışıma işlemi her atom için farklılık göstermektedir. Bu ışıma enerjisi atomun karakteristik özelliklerini taşımaktadır (Cacık, 2022; Kayhan, 2003).

### **2.2.2.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Tipi X-Işınları**

Frenleme (Bremsstrahlung) tipi X-Işınları yapay ortamda elde edilen elektronların hızlandırılarak karşısında konumlanan maddenin atomlarına çarptırılarak durdurulması sonucunda elde edilen X-Işınlarıdır. Frenleme tipi X-Işınları hedefteki atomun çekirdeğine yaklaştıkça çekirdeğin pozitif yükünün oluşturduğu elektrik alandan etkilenerek ivmeli hareket yapmaya zorlanarak dışarıya fotonlar yaymaktadır. Frenleme tipi X-Işınları sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sahiptir.

### **2.2.2.3. X-Işını Tüpü**

X-Işınlarının üretim yöntemleri arasında en çok kullanılan frenleme tipi X-Işınlarıdır. Frenleme tipi X-Işınlarının üretilmesi X-Işını tüpleri sayesinde gerçekleşmektedir. X-Işınları tüpleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. X-Işını Tüpü (Cacık, 2022)

X-Işınlarının X-Işını tüpü kullanılarak üretilme işlemi sırasında katot ve anot arasında yüksek voltaj işlemi uygulanır. Bu yüksek voltaj sayesinde katot uçtan hızlandırılan elektronlar havası alınmış tüpün içersinde anot metalindeki yüksek atom numaralı madde ile etkileşime girmesiyle oluşmaktadır. Genellikle katot için tungsten filamanlar kullanılırken anot için ise tungsten metal levha kullanılmaktadır. Anotta kullanılan metal malzeme genellikle açılı şekilde konumlandırılır. Bu malzemenin açılı olması sayesinde elde edilen X-ışınları yönlendirilerek kullanılabilir.

#### 2.2.2.4. X-Işınlarının Kullanım Alanları

X-Işınlarının 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmesinden itibaren günümüze kadar pek çok alanda X-Işınları kullanılmaktadır. X-Işınlarının kullanımı geçmişten bugüne kadar kullanım alanları olarak oldukça önem taşımaktadır. X-Işınlarının kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Medikal alanlarda iç organların, kemiklerin, kanserli doku ve organların hasarları tespitinde ve tedavisinde kullanılmaktadır.

- Kimya alanında malzemelerin kristal yapıları hakkında detaylı bilgi edinmek ve atomik bağ yapılarının incelenmesi için kullanılmaktadır.
- Doğada bulunan ya da yeni keşfedilen elementlerin tespitinde ve atomik özelliklerinde kullanılmaktadır.
- Sanayi ve mühendislik alanlarında kullanılan ve üretimi gerçekleştirilen malzemelerin kontrolü esnasında kullanılmaktadır.
- Gündelik hayatta havalimanı, gümrük ve güvenlik gereksinimin olduğu alanlarda güvenlik amacıyla kullanılmaktadır.

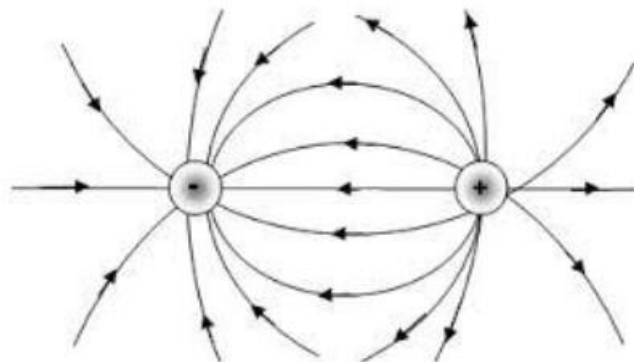
### 2.2.3. Elektrik ve Manyetik Alan

#### 2.2.3.1. Elektrik Alan

Pozitif bir birim yüke ( $Q$ ) etki eden elektrostatik kuvvete elektrik alan denmektedir (Demirel, 2012). Elektriksel alan terimini daha da açmak gerekirse durağan bir yükün elektriksel kuvvete maruz kalmasını temsil etmektedir (Engin, 2011). Yani elektrik yüklü bir cisim üzerine elektriksel bir kuvvet etki ediyorsa orada elektrik alan oluşmaktadır (Engin, 2011). Elektrik alan vektörel bir büyüklük olmakta birlikte kuvvet çizgileri ile gösterilmektedir. (Demirel, 2012).

Elektriksel alanlar 2 türlü oluşmaktadır. Birincisi doğada kendiliğinden elektrik alan yaratan olaylar ve ikinci ise insanlar tarafından yapılmış teknolojik cihazların oluşturduğu elektriksel alanlardır.

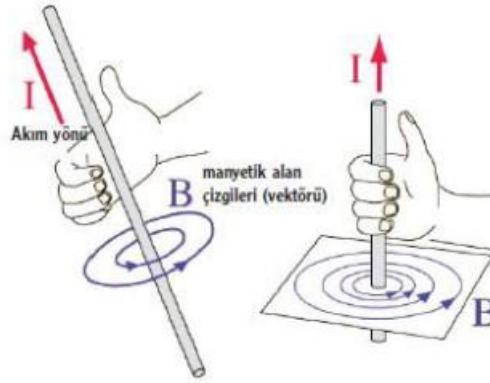
Elektrik alan (+) yükten (-) yüke doğru bir yol izler ve elektrik alan kaynaktan uzaklaştıkça elektrik alanın şiddeti azalmaktadır (Koyuncu, 2020).



Şekil 2.9. Elektrik Alan Çizgileri (Koyuncu, 2020)

### 2.2.3.2. Manyetik Alan

Manyetik alan günlük yaşamda her yerde bulunan ve karşımıza oldukça sık çıkan bir terimdir. Akım geçen ve akımın geçmesini sağlayan her madde manyetik alan oluşturur. Buna örnek vermek gerekirse mıknatıslar ve dünyanın iç kesimleri dahi manyetik alan oluşmasında önemli rol oynamaktadır (Demirel, 2012). Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür ve B harfiyle gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Manyetik Alan Çizgileri Gösterimi (Demirel, 2012)

Manyetik alan ortamda bulunan elektrik akımına göre oluşur ve bu elektrik akımına göre artış göstermektedir (Demirel, 2012) .

### 2.2.3.3. Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alan hem elektrik alan hem de manyetik alan bileşenlerine sahiptir ve elektrik yüklerinin hareketlerinden doğan bir kuvvettir. Elektromanyetik alan elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanına verilen isimdir (Demirel, 2012). Hareketli yüklerin etrafında hem elektrik hem de manyetik alan oluşmasına “Dinamik Elektromanyetik Alanlar” ya da “Elektromanyetik Dalgalar” adı verilir (Demirel, 2012).

Elektromanyetik alan kaynakları hem doğal kaynaklar tarafından hem de insan tarafından üretilmiş teknolojik aletler tarafından meydana gelebilmektedir. Tablo 2.5’te elektromanyetik alan kaynakları verilmiştir.

**Tablo 2.5.** Elektromanyetik Alan Kaynakları (Demirel, 2012)

<b>Doğal Elektromanyetik Alan Kaynakları</b>	<b>Doğal Olmayan Elektromanyetik Alan Kaynakları</b>
Güneş Bazı Uzak Yıldızlar	Tv ve Bilgisayarlar Elektrik Akımı Taşıyan Elektrik Hatları
Yıldırım	Elektrikli Ev Aletleri Radyo ve Tv Vericileri Telsiz Haberleşme Sistemleri Hücrel Telefon Sistemleri (GSM)

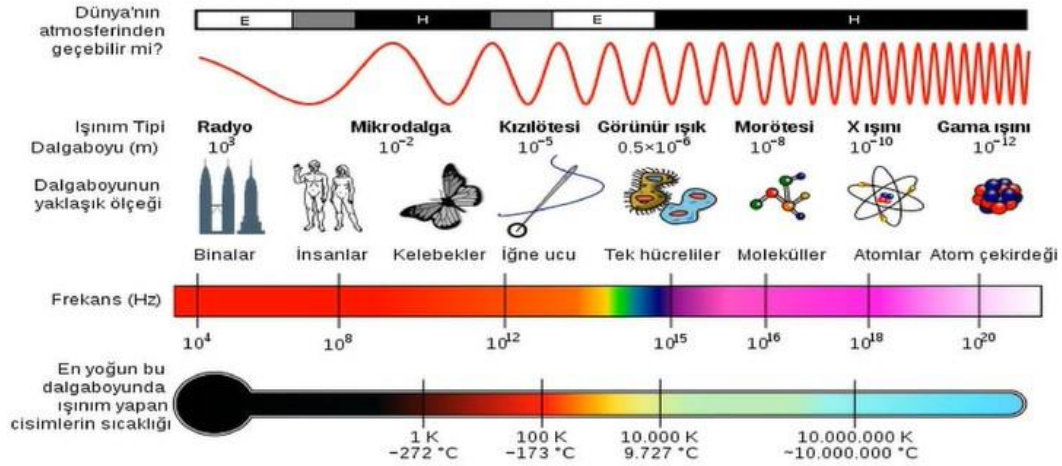
### 2.2.3.4. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum bütün elektromanyetik dalgaların yani gamma ışınlarından radyo dalgalarına kadar olan dalgaların dizilim biçimine verilen isimdir (Tezel, 2013). Elektromanyetik spektrum içinde dalga boyları elektrik dalgaları ( $10^{10}$ ) ile kozmik ışınlar ( $10^{-16}$ ) arasında değişmektedir (Tezel, 2013). Elektromanyetik spektrumda frekans arttıkça enerji de artmaktadır. Elektromanyetik spektrumdaki radyo hizmetleri tablosu Tablo 2.6’da verilmiştir. Elektromanyetik spektrum Şekil 2.11’de verilmiştir.

**Tablo 2.6.** Radyo Hizmetleri Tablosu (ITU-R) (İbrahim, 2019)

<b>Band</b>	<b>Frekans</b>	<b>Dalga Boyu</b>	<b>Kullanıldığı Alan</b>
VLF	3-30 kHz	100-10 km	Navigasyon, Sonar
LF	30-300 kHz	10-1 km	Radyo ile yön bulma, seyir ve navigasyonel yardım
MF	300-3000 MHz	1km-100 m	AM yayını, deniz radyosu, yön bulma
VHF	30-300 MHz	10-1 m	TV, FM yayını, hava trafik kontrolü, polis, taksi mobil haberleşme
UHF	300-3000 MHz	1m-10cm	TV, Uydu habelleşmesi
SHF	3-30 GHz	1cm-1 mm	Uçak Radarı, mikrodalga linkleri, mobil haberleşme, uydu haberleşmesi
EHF	30-300 GHz	1 cm-1mm	Radar deneysel amaçlar

Tablo 2.6’da verilen Band değerleri sırasıyla VLF (Çok Düşük Frekans)’den başlayarak LF (Düşük Frekans), MF (Orta Frekans), VHF (Çok Yüksek Frekans), UHF (Ultra Yüksek Frekans), SHF (Süper Yüksek Frekans), EHF (Son Derece Yüksek Frekans) şeklinde verilmiştir (İbrahim, 2019).



Şekil 2.11. Elektromanyetik Spektrum (Cacık, 2022)

### 2.2.3.5. Elektromanyetik Kirlilik

Elektromanyetik dalgaların teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün etkileri daha artmaktadır. Bundan dolayı önceden elektromanyetik alanın atmosfer üzerinde etkisi daha küçükken her gün bu etki daha da artmaktadır. Elektromanyetik alanın oluşturduğu her frekans çevresinde ve atmosferde bulunan insan, hayvan, bitkiler ve teknolojik cihazlar için negatif etki yaratan bir unsur haline gelmiştir.

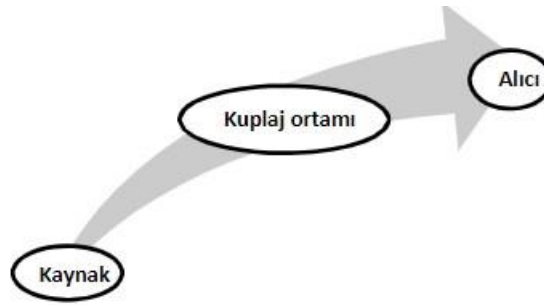
### 2.2.3.6. Elektromanyetik Kirliliğin İnsanlar Üzerindeki Etkisi

Elektromanyetik dalgaların teknolojinin gelişmesiyle birlikte ekonomik ve sosyal hayatta sanayileşmenin getirisiyle birlikte enerji üretimi, iletimi ve kullanılması sonunca insanlara kısa süreli ve uzun süreli etkiler bırakmaktadır.

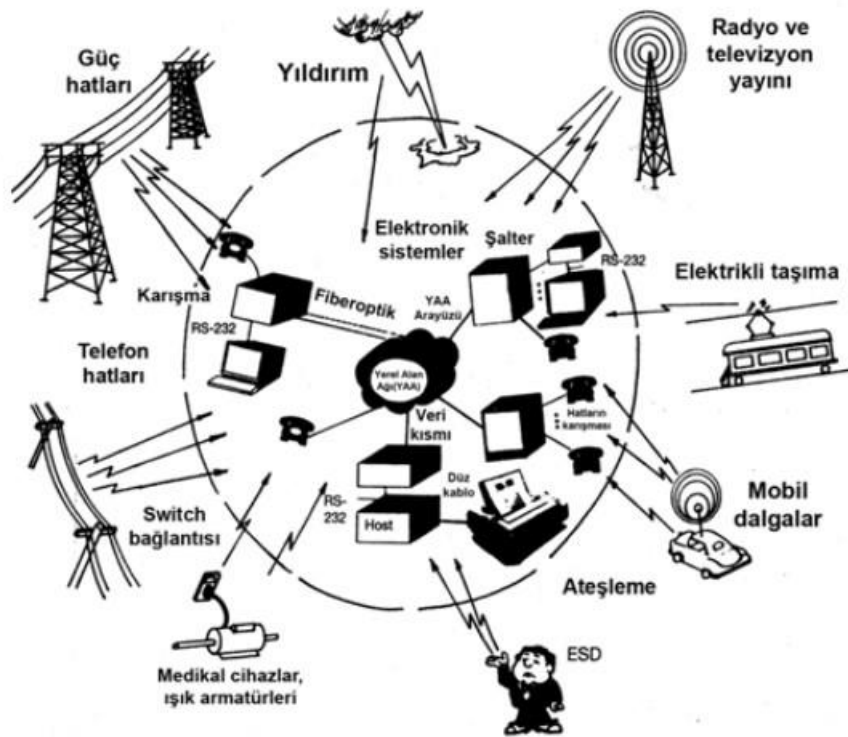
Elektromanyetik alan doğrudan gözle görülemese ve o an hemen hissedilmese bile sonuçlarının ağır olabileceği zamanlar vardır. Günümüzde teknolojik cihazların gelişmesiyle birlikte elektromanyetik alan gözle görülemese bile bu cihazlar sayesinde ölçülebilir. Bu elektromanyetik alanların kısa ve uzun zamanda etkileri insanlar üzerinde çeşitli rahatsızlıklar oluşturabilmektedir. Bu elektromanyetik dalgalar kısa zamanlı olarak; baş ağrısı, yorgunluk, halsizlik, kas ve eklem bölgelerinde ağrı gibi, görme bozukluğu ve baş dönmeleri gibi rahatsızlıklar meydana getirebilmektedir. Elektromanyetik dalgalar insanlar üzerinde uzun süreçte oluşturduğu etkiler ise; sinirlerde bazı hasarlar, alzheimer ve parkinson hastalığı, beyin hasarları, DNA kırılması gibi uzun süreçte olumsuz hastalıklara neden olabilmektedir (Demirel, 2012).

### **2.2.3.7. Elektromanyetik Alanların Cihazlar Üzerindeki Etkisi**

Elektromanyetik alanlar sadece insanlar ve canlılar üzerinde değil teknolojik cihazların çalışmasına da oldukça etki ederler. Elektrikli teknolojik cihazlar uygun çalışabilmesi için ortamdaki elektromanyetik dalgaların oranları ve diğer cihazları ne derece etkilediği önem taşımaktadır. Manyetik ve elektrik alan değerlerinin yüksek değerlere çıkması elektrikli cihazların çalışma performansını engelleyebildiği için bu değerlere çıkılması istenmemektedir. Elektronik cihazların çalışmaları esnasında diğer teknolojik cihazların çalışmasında aksaklıklar yaratması ve onların düzgün bir biçimde çalışmasını engellemesine elektromanyetik girişim (EMI) adı verilmektedir (Zhang vd., 2019). Elektromanyetik girişim (EMI) teknolojik cihazların içinde bulunan kabloların iletkenliklerinde veya cihazın etrafa yaymış olduğu ışınımlardan dolayı oluşmaktadır. Elektronik cihazların diğer cihazların yaydığı elektromanyetik dalgalara karşı uyumlu veya yayılan dalgalardan etkilenmeden çalışabilmesine elektromanyetik uyumluluk (EMC) adı verilmektedir (Cengiz, 2009). Elektromanyetik girişim (EMI) 3 unsurda oluşmaktadır. Bunlar; Elektromanyetik girişim kaynağı, kaynakla alıcı arasında bağlantıyı sağlayan (kuplaj) ve alıcıdır. Şekil 2.12’de elektromanyetik girişim (EMI) şematize edilmiştir. Ayrıca EMI kaynakları Şekil 2.13’te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.12. Elektromanyetik Girişim (EMI) Şematize Edilmesi (Cengiz, 2009)



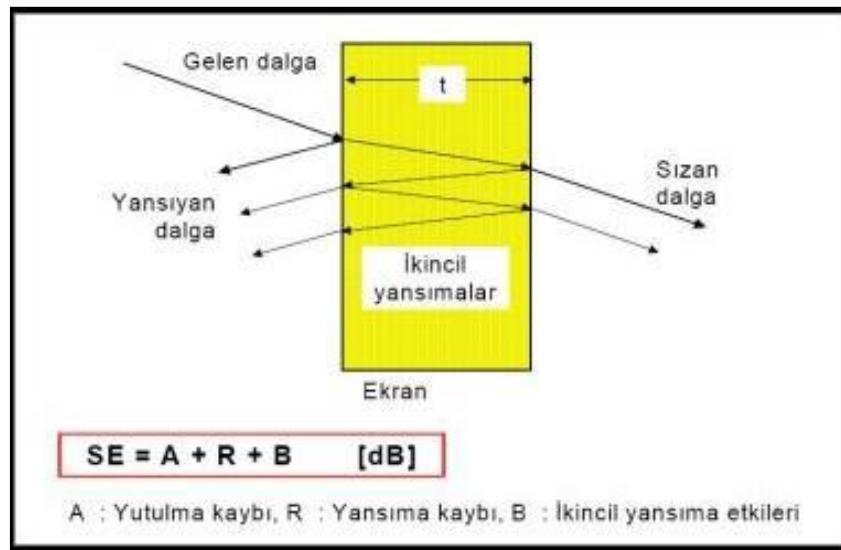
Şekil 2.13. Elektromanyetik Girişim (EMI) Oluşturan Kaynaklar (Cengiz, 2009)

### 2.2.3.8. Elektromanyetik Ekranlama

Elektromanyetik ekranlama, istenmeyen elektromanyetik dalgaların olumsuz etkilerinden korunmak ve dalgaların oluşturduğu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Elektromanyetik ekranlama cihazların uygun ortamda çalışmasını sağlamak için oldukça önemlidir. Elektromanyetik ekranlama işlemleri temelde 2 amacı vardır. Bunlar:

- Bir oda da veya herhangi bir ortamda bulunan cihazın ya da devrenin çevredeki elektromanyetik dalga kaynaklarına karşı izole edilmek istenmesi
- Bir cihaz ya da herhangi bir dalga kaynağından ortama yayılan elektromanyetik enerjinin içeriye ya da dışarıya çıkmasını engellemek amacıyla yapılabilmektedir (Koyuncu, 2020).

Elektromanyetik ekranlama yapılmak istendiğinde genellikle tercih edilen malzemeler iyi iletken özelliği olan malzemeleri tercih edilmektedir. Bir elektromanyetik dalga bir yüzeye çarptığı 3 aşamayı izler. İlk olarak çarpan elektromanyetik dalga yansır. Çarpan elektromanyetik dalganın yansımayan kısmı elektromanyetik ekran tarafından soğurulur. Ekran tarafından soğurulan dalgalar ekran tarafından çoklu yansımalara uğrayarak etkileri azaltılır (Koyuncu, 2020). Elektromanyetik ekranlama işleminin şematik gösterimi Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Elektromanyetik Ekranlama İşlemi (Yilmaz, 2014)

### 2.2.3.9. Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (EMI SE)

Elektromanyetik dalgaların soğurulması için kullanılacak malzemeler elektromanyetik ekranlama etkinliğine (EMI SE) sahiptir. Bu ekranlama etkinliği elektromanyetik alan şiddetinin ekran olmadan önceki ilk halinin ekran kullanıldıktan sonraki haline oranını desibel (dB) cinsinden ifade edilmesine Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (EMI SE) denilmektedir. Ekranlama etkinliği (SE) ne kadar

yüksekse elektromanyetik ekranlama işlemi de o derece başarılı olmaktadır. Ekranlama etkinliği sonucu eğer negatif çıkarsa (-) burada rezonans olayı gerçekleşmiş olur. Bu rezonans işlemi elektromanyetik alanın ve dalgaların engellenmesi anlamına değil elektromanyetik dalgaların kuvvetlenmesi anlamına gelir ve burada ekranlama işlemi söz konusu değildir. Ve bu istenen bir olay değildir (Koyuncu, 2020).

### 2.2.3.10 Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (EMI SE) Seviyeleri

Yapılan elektromanyetik ekranlamanın iyi bir elektromanyetik uyumluluk sağlayabilmesi için kullanılan malzemenin özelliklerine, çalışma frekans aralığına, ekran üzerindeki delik ve boşluk yapılarına dikkat edilmelidir (Karakaş, 2012).

Elektromanyetik ekranlama işleminin ne kadar başarılı olduğu ve bu ekranlama seviyelerinin kıyaslanabilmesi için Tablo 2.7.'de elektromanyetik ekranlama dereceleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.7.** Elektromanyetik Ekranlama Dereceleri (Karakaş, 2012)

Ekran Zayıflatma Seviyesi	Düzy Tanımı
0-10 dB	Kötü
10-30 dB	Zayıf
30-60 dB	Orta
60-90 dB	İyi
>90 dB	Mükemmel

Ekranlama etkinliği için sınıflandırma Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Genellikle ortalama bir ekranlama için 20-30 dB civarında bir ekranlama etkinliği istenmektedir.

### 2.3. Bu Çalışmanın Literatürdeki Yeri

Literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde X-Işınlarının ve Elektromanyetik Dalgaların Ekranlanması üzerine yapılan çalışmalar önemli bir noktadır. Literatürdeki bu çalışmalara bakıldığında X-Işınları ve Elektromanyetik Ekranlama işlemleri için alternatif pek çok malzeme üretimi ve kullanımı için çalışmalar hızla artmaktadır. Üretilen bu ileri fonksiyonel malzemeler metal, plastik ve seramik yapılarda olabilmektedir. Son zamanlardaki çalışmalar incelendiğinde termoplastik malzemeler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda termoplastik matrisli

kompozit yapıların kullanım alanları ve üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Bu tez kapsamında tercih edilen Elium 188 ® termoplastik matrisli kompozit malzemeler üzerinde literatürde bazı mekanik hasar analizleri incelenmiştir. Ancak bunlar oldukça başlangıç düzeyinde gerçekleşmiştir. Literatürdeki Elium 188 ® termoplastik matris malzemesi içerisine Saf PAN nanofiber, PAN fiber içerisine Ag ve SiC'lerle modifiyelenmiş nanofiberler ile güçlendirilmiş Elium 188 ® matrisli tabakalı nanokompozitlerin X-Işını Azalım Testleri, EMI testleri ve mekanik hasar analizleri incelenmemiştir. Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında Saf PAN nanofiberler, PAN polimer ağırlığınca %1 Ag, %1 SiC ve %0.5Ag+ %0.5 SiC katkılı nanofiberler üretilerek Elium 188 ® matrisli 12 katmanlı tabakalı termoplastik nanokompozitler üretilmiştir. PAN nanofiberlerin Elium 188 ® termoplastik matrisine katkısı gözlemlenebilmesi için Saf Elium 188 ® termoplastik matrisi tabaka haline getirilmiştir. Üretilen Bu PAN nanofiberlerinin ve fiber katkılı Elium 188 ® tabakalı termoplastik nanokompozitlerin SEM, XRD, TGA, FTIR, Mekanik Çekme Testleri incelenmiştir. Elium 188 ® termoplastik matrisinin X-Işınları ve EMI testleri daha önce incelenmediği için bu çalışma ile Elium 188 ® termoplastik matrisinin ve katkılanan PAN nanofiberlerin mekanik, fiziksel X-Işını Azalım Testleri ve EMI testleri deneysel olarak detaylı şekilde incelenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek Lisans Tezinin bu bölümünde, Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılan deneysel çalışmaların ve gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve ekipmanlar hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Deneysel çalışmaların başlangıcı olarak Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiberlerin üretimi Necmettin Erbakan Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. SEM, XRD, TGA, DSC karakterizasyon analizleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (BİTAM) yapılmıştır. Elde edilen nanofiberlerin tabakalı termosplastik kompozit haline getirilme işlemi 2M Dynamics Makine Sanayi Ticaret LTD. ŞTİ. firmasında gerçekleştirilmiştir. Üretilen tabakalı termosplastik nanokompozitlerin SEM, XRD, TGA karakterizasyon analizleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (BİTAM) yapılmıştır. Tabakalı nanokompozitlerin X-Işını Azalım Testleri Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. Tabakalı termosplastik nanokompozitlerin elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkileri anlaşılması için Elektromanyetik Ekranlama Testleri (EMI) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'nde yapılmıştır. Üretilen nanofiberlerin ve tabakalı termoplastik nanokompozitlerin mekanik testleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

#### 3.1. Elektro-Eğirme Yöntemi ile PAN Nanofiber Üretimi

Elektro-eğirme yöntemi ile Tablo 3.1'de gösterilen nanofiber çeşitlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen nanofiberlere karakterizasyon testleri uygulanarak kendileri arasında avantajlı ve dezavantajlı oldukları konular kıyaslanmıştır.

**Tablo 3.1.** Üretilen Nanofiber Çeşitleri

No	Nanofiber Çeşidi	Amaç
1	Saf PAN	Saf PAN nanofiberin nanopartikül katkısız karakteristik özellikleri belirlemek
2	PAN/Ag	PAN polimerine Ag katkılanarak nanofibere iletkenlik ve yeni özellikler kazandırmak
3	PAN/SiC	PAN polimerine SiC nanopartikülü katkılanarak nanofiberin mukavemet özelliğini iyileştirilmesini ve yeni özelliklerin kazandırmasını sağlamak
4	PAN/Ag+SiC	PAN polimerine Ag ve SiC nanopartikülleri aynı anda katılarak birbirleri arasındaki etkileşimi ve yeni karakteristik özelliklerini incelemek

### 3.1.1. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber üretimi için Poliakronitril (PAN) polimeri ( $M_w=150,000$ ) BIOSYNTH Carbosynth, dimetilformamid (DMF,  $C_3H_7NO$ ) Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Silisyum Karbür (SiC) ve Gümüş (Ag) nanopartikülleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Laboratuvarından temin edilmiştir.

Deney aşamasında PAN polimerik solüsyonunu hazırlanması için malzemelerin ağırlıkça ölçümleri için hassas terazi (RADWAG, AS220.R2) kullanıldı. PAN polimerik solüsyonu ağırlıkça ölçüldükten sonra ultrasonik karıştırıcıya (Bandelin Sonopuls- HD 2200) maruz bırakıldı. Sonrasında polimerik solüsyon manyetik karıştırıcıda (Thermomac-TMD19-D) bekletildi. Oluşturulan PAN polimerik solüsyonun nanofiber üretiminde Elektro-eğirme (Eraktek İnvasyon) ve Elektro-eğirme cihazındaki pompa düzeneği ve şırıngalar (New Era Pump Systems, Inc.) kullanıldı. Kullanılan Elektro-eğirme cihazı ve düzenek Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Elektro-Eğirme Cihazı

### 3.1.2. Deneylerin Yapılışı

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC, PAN/Ag+SiC nanofiberlerin Elektro-eğirme yöntemiyle üretim gerçekleştirilmesi için öncelikle her bir nanofiberin polimerik solüsyonu hazırlanması gerekir. Elektro-eğirme yönteminde polimerik solüsyon üretim parametreleri üzerindeki etkisi oldukça fazla olduğu için çözücü ve polimer oranı büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı optimum polimer ve çözücü oranları bulunarak elektro-eğirme yöntemiyle nanofiberler üretilmiştir.

#### 3.1.2.1. Çözeltilerin Hazırlanması

Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber üretiminde optimum polimer/çözücü oranlarının tespit edilebilmesi için ilk olarak farklı çözücü ve polimer oranlarında polimerik solüsyon hazırlayıp deneme üretimleri gerçekleştirildi. Bu deneme üretimleri sonucunda optimum polimerik solüsyon oranları belirlendi. Tüm nanofiber üretimleri için hazırlanan polimerik solüsyonlarda polimer/çözücü karışımları ağırlık/hacim (w/v) ölçümleri esas alınarak hazırlandı. PAN polimeri için çözücü olarak DMF kullanıldı.

Saf PAN polimeri (%10 w/v), DMF çözücüsü içerisinde 24 saat boyunca 70 C° sıcaklığında manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırıldı.

Ag, SiC, Ag+SiC nanopartikül katkılı nanofiberlerin üretimi aşamasında ise öncelikle çözücü içerisine nanopartikül eklenerek ultrasonik homojenizatörde 15 dakika bekletildi. Bu sayede nanopartiküllerin çözücü içerisinde homojen bir hale gelmesi sağlandı. Sonrasında nanopartiküller çözücü içerisinde karıştıktan sonra PAN polimeri (%10 w/v) eklendi. PAN polimeri eklendikten sonra manyetik karıştırıcı 24 saat boyunca 70 C° sıcaklıkta çözücü içerisinde polimerin ve nanopartiküllerin homojen bir kıvam alması sağlandı.

#### 3.1.2.2. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber Üretimi

Elektro-eğirme yöntemi sırasıyla Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberler üretildi. Tablo 3.2’de her bir nanofiberin üretiminde uygulanan parametreler verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak hazırlanan polimerik solüsyonlar 10 mL’lik şırıngalara çekilerek Elektro-Eğirme cihazına yerleştirildi. Şırıngalar polietilen bir kılcal boru sayesinde metal iğne (iç çap=0.56 mm) arasındaki bağlantı sağlandı. Şırıngalarda bulunan polimerik solüsyonların bir pompa sayesinde iğne ucuna sürekli akışı sağlandı.

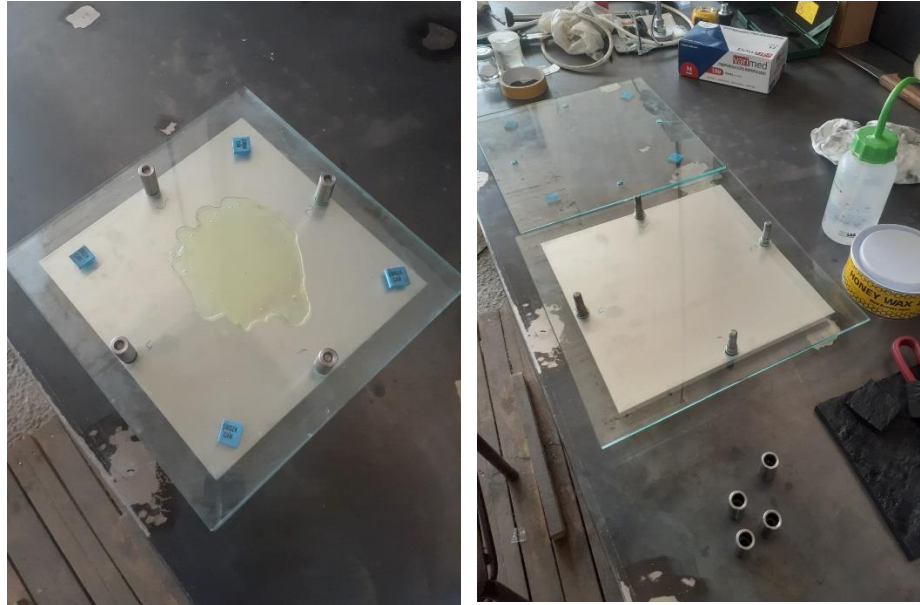
Voltaj kaynağı sayesinde oluşan tambur ve iğne ucundaki oluşan elektrik alanının etkisiyle fiberlerin oluşumu sağlandı. Fiberler aliminyum folyo ile kaplanmış döner tambur plakada toplanmıştır. Elektro-eğirme ile nanofiberlerin üretimlerinin tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3.2.** Nanofiber üretim parameterleri

Nanofiber	Mesafe(cm)	Voltaj(kV)	Besleme oranı (ml/h)
Saf PAN	13-15	27	1
PAN/Ag	13-15	28	1.2
PAN/SiC	12	28	1
PAN/Ag+SiC	13	30	1

### 3.1.2.3. Nanofiberleri Tabakalı Termoplastik Nanokompozit Haline Getirilmesi

Elektro-eğirme yöntemiyle elde edilen PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberler Elium 188 ® matris reçine kullanılarak tabakalı termoplastik nanokompozit haline getirilmiştir. Elium 188 ® termoplastik reçine Dost Kimyadan temin edilmiştir. Nanofiberlerin tabakalı kompozit haline getirilmesi için el yatırma yöntemi kullanılmıştır. Nanofiberlerin el yatırma yöntemiyle üretilmesinde fiber ve reçine arasında hava kabarcığının kalması istenmeyen büyük bir sorundur. Bu sorunu çözmek için 2M Dynamics Makine Sanayi Ticaret LTD. ŞTİ. firmasıyla birlikte el yatırma yöntemine uygun bir kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıp tasarımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kalıp Tasarımı

El yatırma yöntemiyle tabakalı kompozitlerin üretimi için nanofiberler 150x150 mm boyutlarında kesildi. Sonrasında fiberlerin cam yüzeyden rahatlıkla ayrılabilmesi için kalıp ayırıcı iki cam yüzeye de 20 dakikalık periyotlarla uygulandı. Bu işlem 6 defa tekrarlandı. Kalıp ayırıcı yüzeye uygulandıktan sonra Elium 188 ® matris reçinesi içerisine ağırlıkça %2 oranında kürleştiricisi eklenerek hızlı bir şekilde homojenize hale getirildi. Elium 188 ® termoplastik reçinesi oldukça hızlı kürleştiği ve formu sıvı halden katı hale çok hızlı geçtiği için burada oldukça hızlı davranıldı. Elium 188 ® reçinesi öncelikle cam yüzeye döküldü. Sonrasında reçine olan yüzeye nanofiber eklendi. Nanofiber katmanları reçine ve nanofiber olmak üzere toplamda 12 fiber katmanlı tabakalı termoplastik nanokompozitler elde edildi.

### 3.2. Karakterizasyon Analizleri

Yapılan çalışmalar sonunda üretilen nanofiberlerin ve nanokompozitlerin karakteristik özellikleri hakkında detaylı bilgilere sahip olmak amacıyla morfolojik yapısı, mekanik özellikleri, X-Işını azalım testi ve elektromanyetik dalgaların ekranlanması (EMI) özellikleri hakkında testler yapılmıştır. Nanofiber ve tabakalı termoplastik nanokompozitlerin yüzey morfolojisi ve karakteristik özellikleri için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), XRD (X-Işınları Difraksiyonu), TGA (Termal Gravimetrik Analiz), FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) analizleri yapılmıştır. Nanofiberlerin ve tabakalı termoplastik nanokompozitlerin mekanik

özelliklerinin yorumlanabilmesi için çekme test cihazı ile kuvvet-uzama, gerilme-yüzde uzama grafiği elde edilerek malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin X-ışını Azalım Testleri ve EMI (Elektromanyetik Dalgaların Ekranlaması) testleri yapılarak tabakalı termosplastik nanokompozitlerin X-ışınları ve elektromanyetik dalgalar üzerindeki soğurulma özellikleri incelenmiştir.

### 3.2.1. Morfolojik Analiz (SEM)

Elektro-eğirme yöntemiyle üretilen nanofiberlerin ve tabakalı termosplastik nanokompozitlerin yüzey morfolojik yapıları hakkında detaylı bilgiye sahip olmak için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) (Hitachi-SU 1510) kullanılarak elde edilen görüntüler incelenmiştir. SEM analiz yönteminde yüzeydeki iletkenlik elde edilecek görüntülerde önemli bir rol oynamaktadır. Bundan dolayı üretilen nanofiberlerin ve tabakalı nanokompozitlerin SEM analizi yapılmadan önce numune yüzeylerindeki elektrik iletkenliğinin artırılması için Leica, EM, ACE600 marka kaplama cihazı ile altın/paladyum ile kaplanmıştır. SEM görüntüleri alınırken 5 kV elektriksel potansiyel farkı uygulanarak, 5KX, 10KX ve 15KX büyütme oranlarında SEM görüntüleri alınmıştır. Elde edilen SEM görüntülerini IMAGE-J görüntü analiz programı kullanılarak nanofiberlerin ortalama fiber çapları hesaplanmıştır. SEM analizi ve IMAGE-J programı sayesinde nanofiberlerin yüzey pürüzlülüğü, fiber dağılımı ve fiber çapları hakkında bilgiler elde edilmiştir.

### 3.2.2. XRD Analizi

X-ışını kırınım analizi (XRD), X-ışınlarının kristallerin atomik yapısına çarparak kırılmasını inceleyen bir yöntemdir. Her bir kristalin kendine özgü atomik yapısı, X-ışınlarının farklı açılarda kırılmasına neden olur. Bu kırınım desenleri, her bir kristali tanımlayan bir nevi parmak izi gibidir. XRD analizi, numuneyi tahrip etmeden analiz yapılmasını sağlar ve çok az miktardaki numunenin bile analizini mümkün kılar.

Ag ve SiC katkılı PAN Nanofiberlerin kristal fazlarını tanımlamak ve bu sayede kimyasal bileşim bilgilerini tespit edilmesi için XRD (PANalytical EMPYREAN) analizi yapılmıştır. XRD analizi sırasında tarama hızı 1°/dakika'ya, tarama aralığı 0° ile 90° aralığına ve adım boyutu 0.05 °'ye ayarlanmıştır.

### 3.2.3. FTIR Analizi

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, bir tür titreşim spektroskopisidir. Bu yöntemde, bir numuneye kızılötesi (IR) ışınları gönderilir ve numunenin IR ışınlarını soğurması ölçülür. Numunenin IR ışınlarını soğurma şekli, numunenin kimyasal yapısı hakkında bilgi verir.

Elektro-eğirme yöntemiyle üretilen nanopartikül katkılı PAN nanofiberlerin ve tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Elium 188 ® matris reçinesi içerisindeki moleküllerin yapısındaki bağların tanımlanmasını sağlamak için FTIR cihazı ile (Thermo Scientific – Nicolet iS20) analizi yapılmıştır. FTIR analizi 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.4. TGA Analizi

Termogravimetrik Analiz (TGA) sıcaklığın ya da zamanın bir fonksiyonu olarak malzemeye sıcaklık verilmesi sonucunda malzemede meydana gelen kütle kayıplarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Nanofiberlerin ve Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin sıcaklığa bağlı kütle kaybı ölçümünün yapılması için TGA (Setaram – Labsys Evo) analizi yapılmıştır. TGA analizi azot atmosferi altında, 0-800 °C aralığında ve 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5. Mekanik Analiz

Mekanik testler içerisinde çekme testi en temel ve oldukça popüler bir analiz yöntemidir. Çekme testinde numuneyi iki çene arasında sabitlenerek bir çenenin numuneyi dikey yönünde yukarıya doğru çekme kuvveti uygulanarak malzemenin çekme yüklemesine verdiği tepki ölçülmesiyle bulunmaktadır.

Saf PAN nanofiberler ve Ag, SiC nanopartikül katkılı PAN nanofiberlerin gerilme mukavemeti, elastik modülü ASTM D38-14 standardına göre çekme testi ile belirlenmiştir.

Elium 188® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozit numuneleri ASTM D38.33977 standardına uygun şekilde hazırlanmış ve çekme testleri uygulanmıştır.

Çekme testi analizleri Shimadzu AG-X marka çekme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. X-Işını Azalım Testleri

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin X-Işını azalım testi Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir. X-Işını azalım test düzeneği olarak PTW marka 30 cm<sup>3</sup> küresel iyon odası tipi dedektör, PTW marka Unidose Weblin model elektrometre ve Varyan marka dijital röntgen tüpü kullanılmıştır.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin X-Işını azalım testleri yapıldıktan sonra X-Işını azalım değerleri bulunmuştur. X-Işını azalım değerleri kalınlığa bağlı olarak Lineer Zayıflatma Katsayısı  $\mu$  (cm<sup>-1</sup>) bulunmuştur.

### 3.4. Elektromanyetik Dalgaların Ekranlama (EMI) Testi

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Elektromanyetik Dalgaların Ekranlama (EMI) testleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. EMI testlerinde Anritsu (VNA Master MS2023C) cihazı kullanılmıştır. EMI testleri X-bandında 8.2 GHz-12.4 GHz aralığında gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik dalgaların parçalarından biri olan X-Band frekans aralığı (8.2-12.4 GHz) uydu haberleşmesi, navigasyon, denizcilik fonksiyonları, radar, hava trafik kontrolü gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. X-bandının frekans aralığının oldukça çeşitli alanlarda uygulanmasından dolayı yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında X-band (8.2-12.4 GHz) aralığı tercih edilmiştir. Elektromanyetik ekranlama (EMSE) değerlerinin ölçülmesinde kullanılan ASTM-D-4935 standardı bu çalışmada uygulanabilmesi pek mümkün değildir. Bundan dolayı Elektronik Mühendisleri Enstitüsü standart dükümanı Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü standart dökümanı IEEE 2715-2023'e göre oluşturulan "Standartlaştırılmış tekniklerden türetilmiş teknikler" sınıfında yer alan ve ASTM D-4935 ve IEEE 299 standartlarının bir kombinasyonu olan ve literatürde kabul gören bir teknik kullanılmıştır (Mutlu vd., 2023a; Yıldırım vd., 2022; Zaroushani vd., 2016). Tabakalı termoplastik nanokompozitler; Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü tarafından belirlenen dalga kılavuzu yöntemi ile, X-Bandında 8.2-12.4 GHz frekans aralığında, bir dalga kılavuzunun arasına numuler yerleştirilerek giriş ve çıkış sinyallerinin network analizör tarafından alınıp verildiği bir sistemde gerçekleştirilmiştir. S parametrelerinin ölçümüyle (S11- yansıma ve S21 araya girme kayıpları) toplam kalkanlama (EMI SE) etkinliği içerisinde yansıma ve soğurma katkılarını içeren değerler (S21) belirlenmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yüksek Lisans Tezinin araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ilk kısım olarak Yüksek Lisans Tezi kapsamında üretilen Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin morfolojik (SEM), mekanik, XRD ve TGA sonuçlarına yer verilmiştir.

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ikinci kısım ise nanofiberleri Tabakalı Termoplastik Nanokompozit haline getirdikten sonra yapılan morfolojik, mekanik, XRD, TGA, FTIR karakterizasyon analizlerine yer verilmiştir. Ayrıca tabakalı termoplastik nanokompozitlerin X-Işını Azalım testleri ve EMI test sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

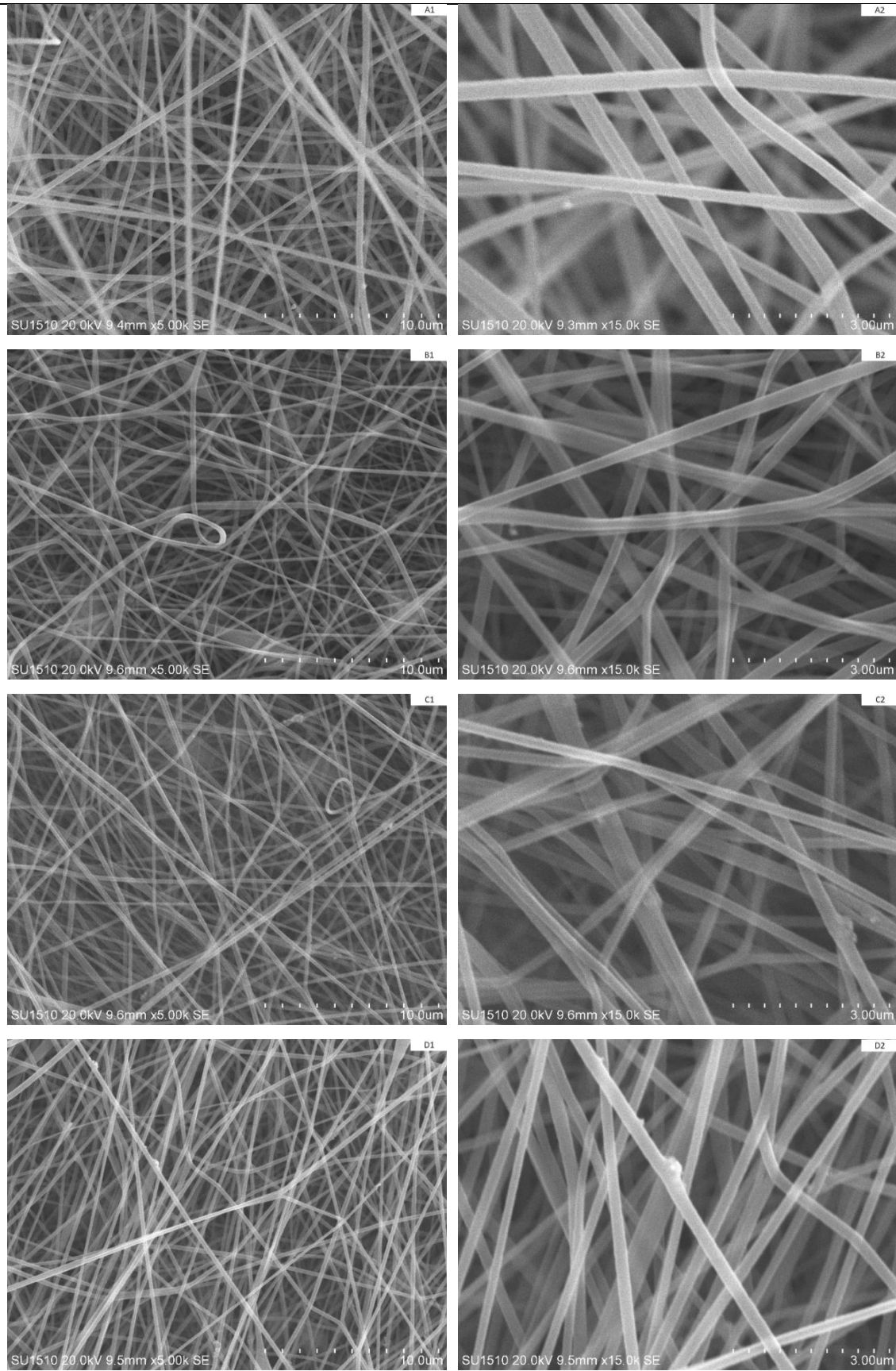
### 4.1. Nanofiberlerin Sonuçları

#### 4.1.1. Nanofiberlerin Morfolojik (SEM) Analizi

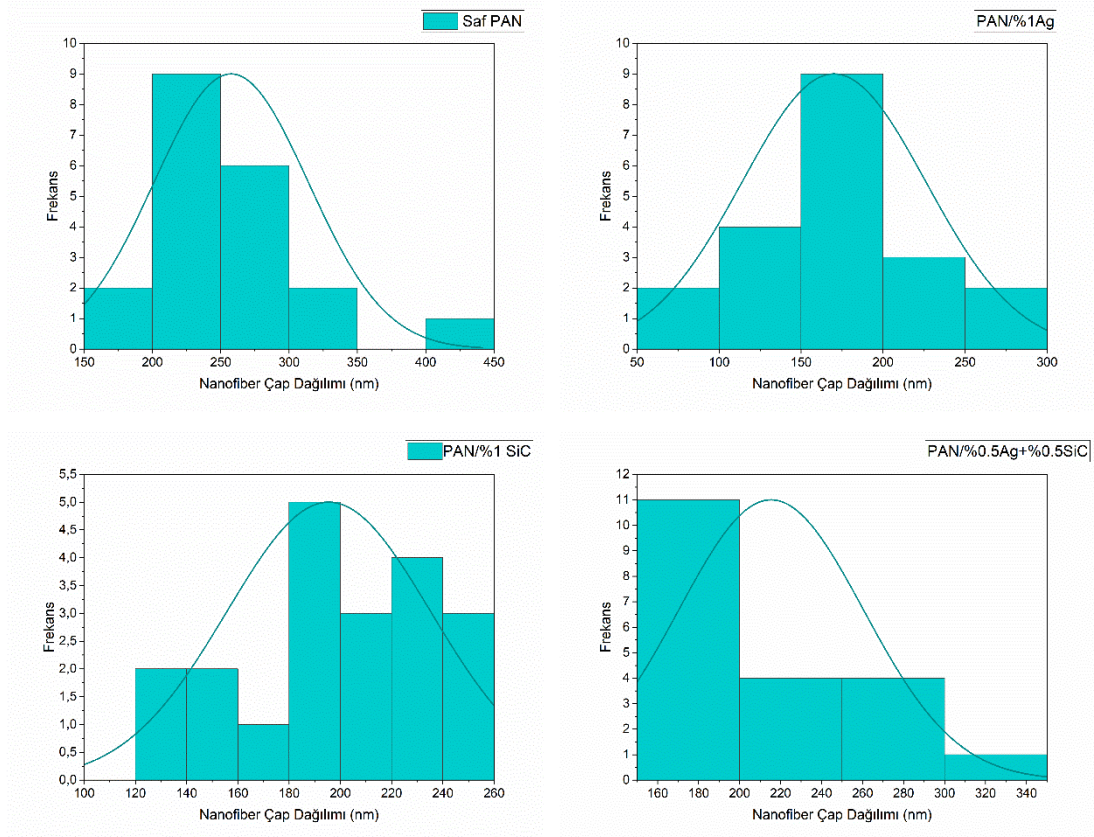
SEM ile elde edilen görüntülerden Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin fiber çaplarının ortalama fiber çap değerleri, minimum çap değerleri ve maksimum fiber çap değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Fiber çap değerlerinin bulunmasında kullanılan Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin SEM görüntüleri Şekilde 4.1’de gösterilmiştir. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin SEM görüntüleri incelendiğinde üretilen nanofiberlerin morfolojik yapısında boncuksuz fiberler üretildiği gözlemlenmiştir. Üretilen nanofiberlerin boncuksuz olması fiber çaplarını oldukça etkilemiştir. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin ortalama fiber çapları sırasıyla 257 nm, 170 nm, 195 nm ve 215 nm olarak bulunmuştur. Nanofiberlerin çap dağılımları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1** Nanofiber çapları ve dağılımı

Nanofiber	Ortalama Nanofiber Çapı (nm)	Maksimum Fiber Çapı (nm)	Minumum Fiber Çapı (nm)	Standart Sapma
Saf PAN	257	427	179	55
PAN/Ag	170	287	80	54.7
PAN/SiC	195	253	121	38.7
PAN/Ag+SiC	215	338	177	43.9



**Şekil 4.1.** Üretilen Nanofiberlerin SEM Görüntüleri **A)**Saf PAN **B)**PAN/Ag **C)**PAN/SiC **D)**PAN/Ag+SiC



Şekil 4.2. Nanofiberlerin Çap Dağılımı

Üretilen nanofiberlerin ortalama fiber çap olarak en yüksek değer Saf PAN nanofiberlerin olduğu bulunmuştur. Saf PAN nanofiberlerine eklenen % 1 Ag, % 1 SiC ve %0.5Ag+%0.5SiC nanopartikülleri fiber çaplarında düşüş sağlamıştır. Ortalama fiber çaplarına bakıldığında Ag nanopartikülü fiber çaplarında en fazla düşüşü sağladığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak eklenen AgNP fiberleri daha fazla iletkenlik özelliği sağlayarak oluşan jetlerin daha ince olmasını ve bu sayede fiber çaplarında azalma meydana gelmesini sağladığını düşünebiliriz (Barani, 2014). SiC nanopartikülleri Ag nanopartiküllerine göre daha yalıtkan bir yapı göstermektedir. Bu yalıtkanlık göz önüne alındığında PAN/SiC nanofiberlerinin ortalama fiber çapları PAN/Ag nanofiberlerinin ortalama fiber çaplarına göre daha yüksek çıktığını söyleyebiliriz. Ama yine de PAN/SiC nanofiberlerinin çaplarının katkısız saf PAN nanofiberlerine göre fiber çaplarında düşüş sağladığı görülmektedir. PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin çapları PAN/Ag ve PAN/SiC nanofiberlerinin çaplarından daha büyük olsada Saf PAN nanofiberlerinin çaplarından daha düşüktür. Bunun nedeni ise PAN/Ag+SiC nanofiberlerinde bulunan Ag ve SiC nanopartiküllerinin Elektro-Eğirme üretimi öncesinde hazırlanan polimerik solüsyon aşamasında Ag ve SiC nanopartiküllerinin homojen şekilde hazırlanırken iki farklı

nanopartikülün karışımı daha zor olması olarak yorumlanabilir. Ayrıca SiC nanopartikülünün Ag nanopartiküle göre daha yalıtkan olması ve tek başına üretilen PAN/Ag nanofiberlerine göre iletkenliği azaltarak jetlerdeki oluşan elektrik alanı azalttığını söyleyebiliriz. Elektrik alandaki bu azalma fiber çaplarını etkilemiş olduğu düşünülebilir.

#### 4.1.2. Nanofiberlerin XRD Analizi

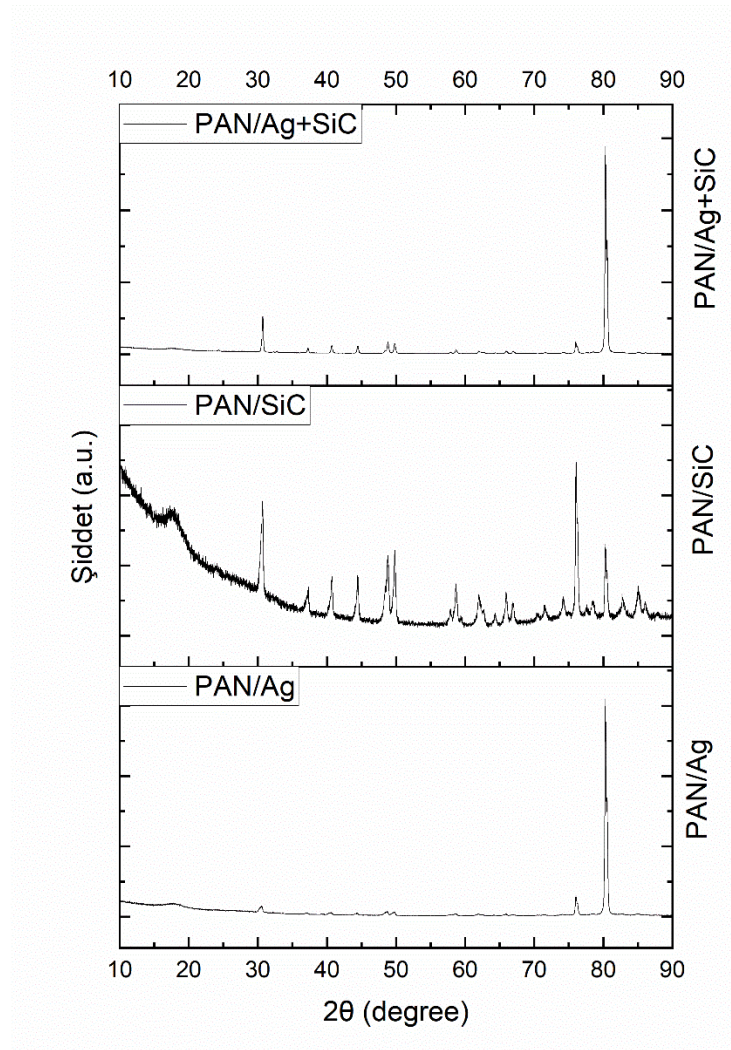
PAN nanofiberlerinin içerisindeki Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin varlığını ispatlamak için XRD analizi yapılmıştır. Yapılan XRD analizi ile kristal tepe noktalarında gözlemlenen pikler sayesinde nanopartiküllerin varlığı saptanmıştır. PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin içerisindeki Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin kristallik eğrileri Şekil 4.3'te verilmiştir.

PAN/Ag nanofiberlerinin XRD analizindeki kristal pikleri incelendiğinde  $2\theta$ 'de  $30.5^\circ$ ,  $40.4^\circ$ ,  $76.1^\circ$  ve  $80.3^\circ$ 'de 4 kristal pik gözlemlenmiştir. Bu kristal pikler yüzey merkezli kübik (fcc) gümüş kristallerinin (111), (200), (220) ve (311) kristalografik düzlemlerine atfedilmiştir (C. Wang vd., 2019). Gözlemlenen bu kristal pikler PAN nanofiberlerinin içerisinde Ag nanopartiküllerinin varlığını göstermektedir.

PAN/SiC nanofiberlerinin XRD analizindeki kristal pikleri incelendiğinde  $2\theta$ 'de  $30.67^\circ$ ,  $49.8^\circ$ ,  $76.06^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında pikler gözlemlenmiştir. Tüm SiC nanopartikülünün kırılma pikleri kübik SiC nanopartikülüne endekslenebilir. Bu SiC kristal pikleri (111), (200), (220) ve (311) kristalografik düzlemlerine atfedilmiştir (B. Wang vd., 2017).

PAN/Ag+SiC nanofiberindeki XRD analizindeki kristal pikler incelendiğinde  $2\theta$ 'de  $30.6^\circ$ ,  $44.4^\circ$  ve  $49.9^\circ$  SiC nanopartikülün oluşturduğu kristal pikler gözlemlenmiştir. Ayrıca  $2\theta$ 'de  $75.9^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında Ag nanopartikülün oluşturduğu kristal pikler gözlemlenmiştir.

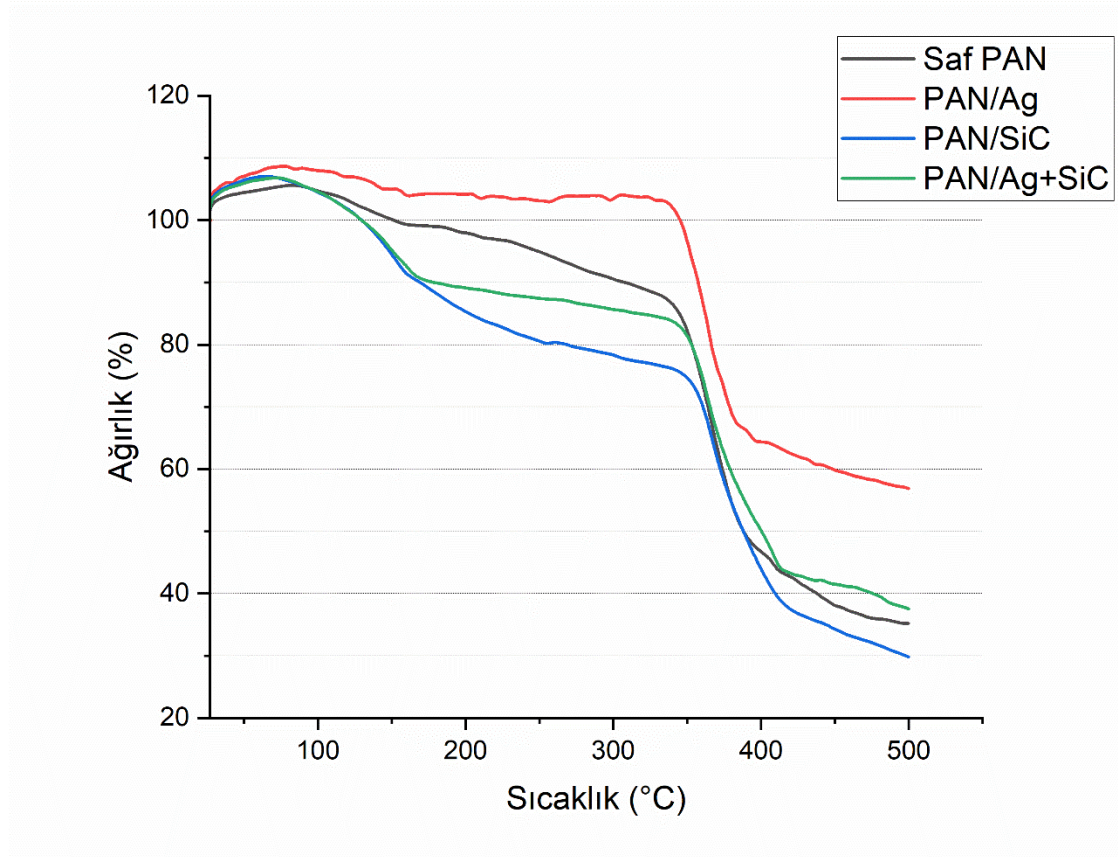
Ag ve SiC nanopartiküllerinin XRD analizindeki kristal pikleri inceleyen benzer çalışmalar göz önüne alındığında (B. Wang vd., 2017; C. Wang vd., 2019) PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerindeki Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin PAN nanofiberlerinin içerisinde olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.3. PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC Nanofiberlerinin XRD spektrumları

#### 4.1.3. Nanofiberlerin TGA Analizi

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin termal bozunma eğrileri Şekil 4.4'te verilmiştir. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin TGA analizi sonucunda nanofiberlerin termal olarak kararlılık gösterdiği sıcaklık aralığı, termal bozunma aralığı ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin ağırlık kayıpları sırasıyla 340-390 °C, 340-380 °C, 345-410 °C, 345-410 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmiştir. Sıcaklık artışına bağlı ağırlık kayıpları ise sırasıyla Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC için yaklaşık %64.6, %43.1, %70.2 ve %62.4 olarak bulunmuştur. Tüm nanofiberler arasında termal kararlılığı %43.1 ile PAN/Ag nanofiberi olmuştur. Tablo 4.2'de nanofiberlerin TGA değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Nanofiberlerin TGA Grafiği

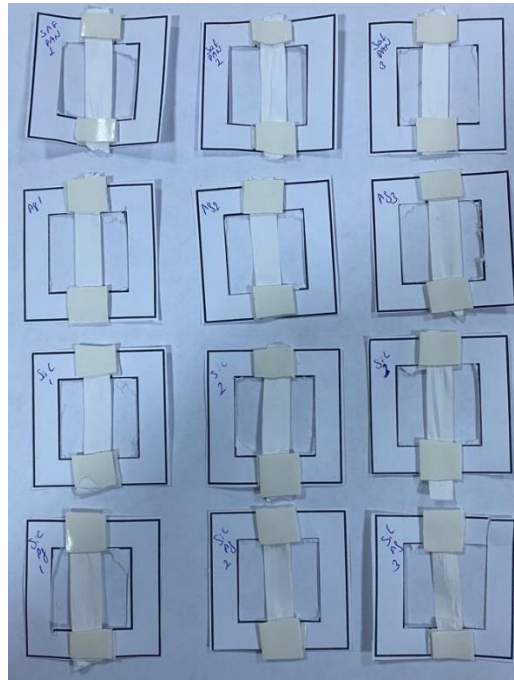
Tablo 4.2. Nanofiberlerin TGA Analiz Değerleri

Nanofiber	Ağırlık Kayıplarının Gerçekleştiği Sıcaklıklar (°C)	Ağırlık Kayıplarının Yüzde Değerleri (%)
Saf PAN	340-390	64.6
PAN/Ag	340-380	43.1
PAN/SiC	345-410	70.2
PAN/Ag+SiC	345-410	62.4

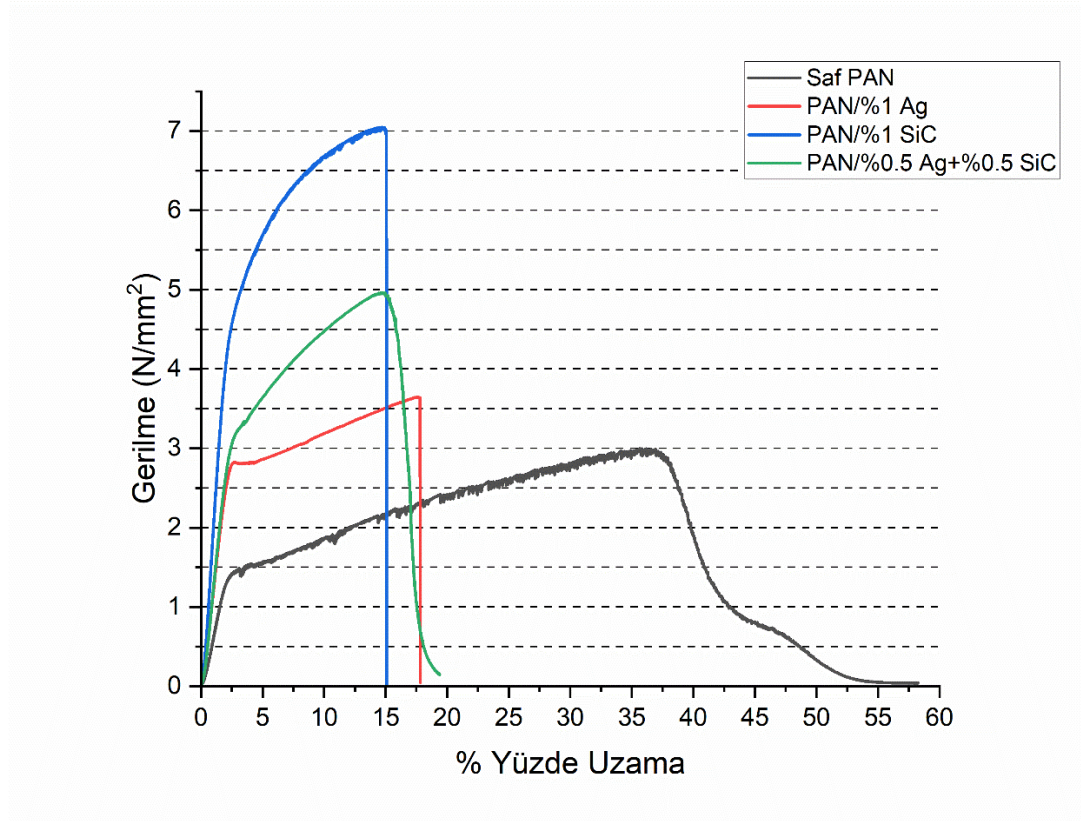
#### 4.1.4. Nanofiberlerin Mekanik Analizi

Elektro-eğirme yöntemiyle üretilen Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin mekanik dayanımları hakkında bilgi edinmek amacıyla çekme testi yapılmıştır. Nanofiberler 10\*50 mm olacak şekilde ASTM D38-14 standartına uygun şekilde şablonlarda hazırlanmıştır. Çekme testi için hazırlanan şablonlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Hazırlanan şablonlara göre nanofiberlerin 10 mm boyutundaki kısımları çekme cihazının çenelerine yerleştirilmiştir. Ve bu çekme testi 5 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC

nanofiberlerine uygulanan bu çekme testi sonucunda nanofiberlerin Gerilme/Yüzde Uzama grafikleri elde edilmiştir. Nanofiberlerin elde edilen Gerilme/Yüzde Uzama grafikleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Tablo 4.3'te Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin maksimum gerilme ve maksimum yüzde uzama değerleri verilmiştir. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin maksimum gerilme değerleri sırasıyla 3 MPa, 3.6 MPa, 7 MPa ve 4.9 MPa olarak bulunmuştur. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin maksimum yüzde uzama değerleri ise sırasıyla 35.64, 17.56, 14.7 ve 14.9 olarak bulunmuştur. Nanofiberlerin Gerilme/Yüzde Uzama grafikleri incelendiğinde Saf PAN nanofiberinin içerisine katılan Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin Saf PAN nanofiberine göre mukavemet konusunda olumlu yönde artış sağlamıştır.



Şekil 4.5. Nanofiberlerin Çekme testi için hazırlanan şablon



Şekil 4.6. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin Gerilme/Yüzde Uzama grafiği

Tablo 4.3. Nanofiberlere ait maksimum gerilme ve maksimum yüzde uzama değerleri

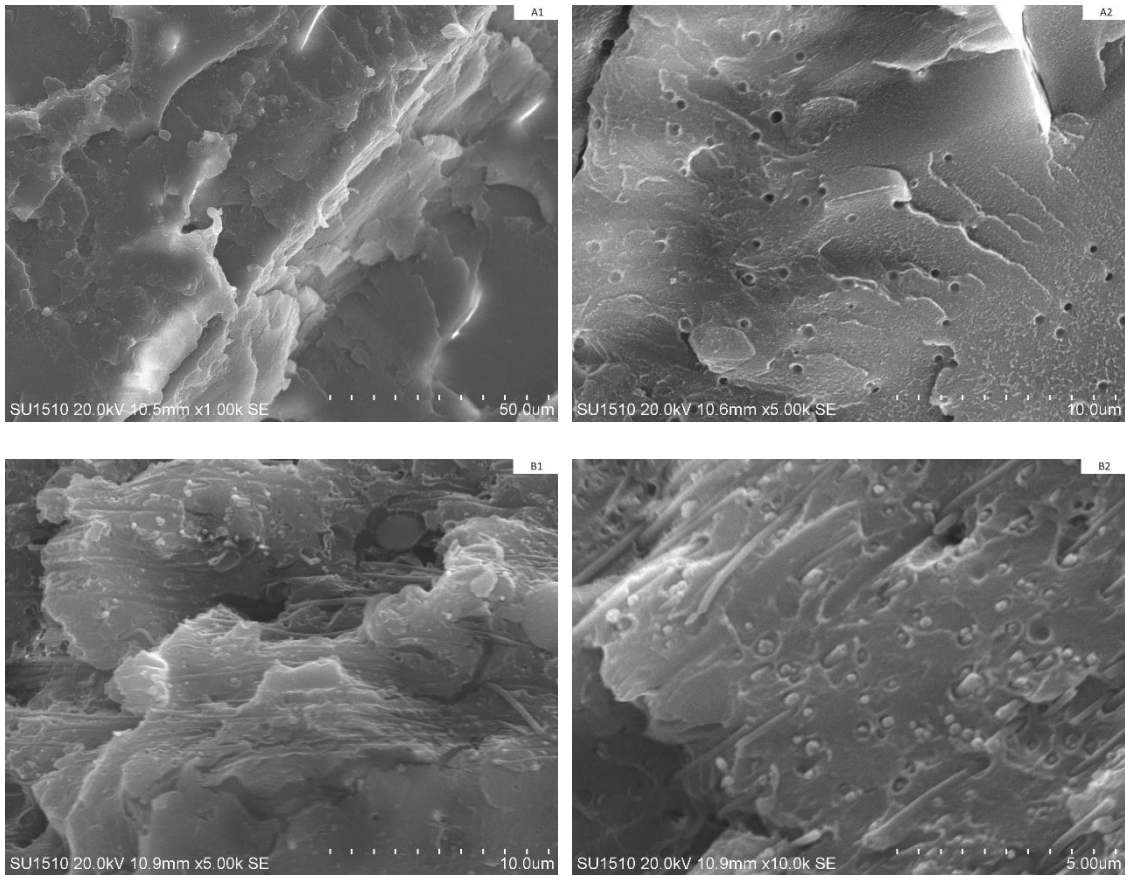
Nanofiber	Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Maksimum Yüzde Uzama (%)
Saf PAN	3	35
PAN/Ag	3.6	17.56
PAN/SiC	7	14.7
PAN/Ag+SiC	4.9	14.9

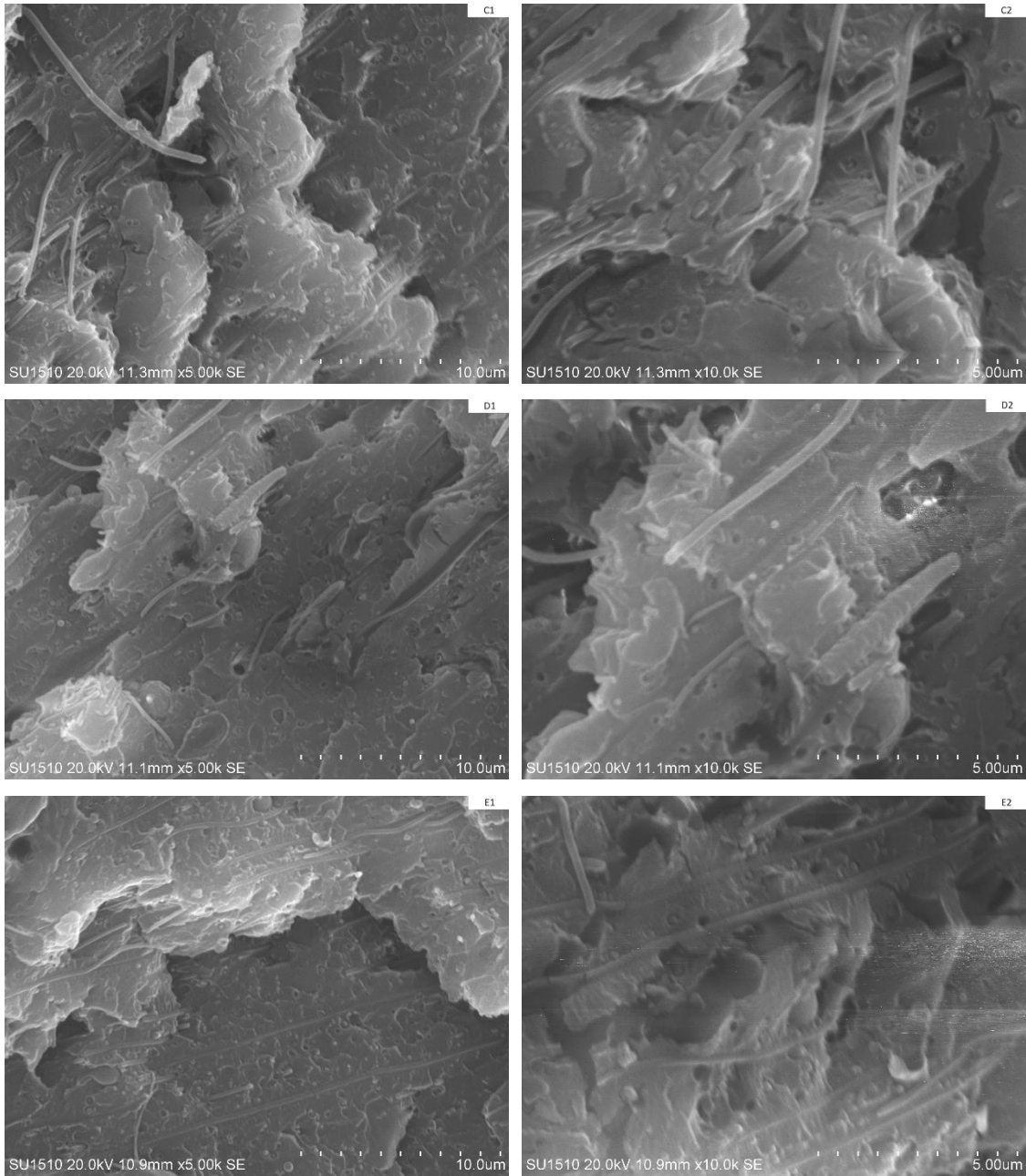
## 4.2. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Analizi

### 4.2.1. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Morfolojik (SEM) Analizi

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin tabakalı termoplastik nanokompozit haline getirildikten sonra nanofiberlerin matris içerisindeki morfolojik yapıları, fiberin matris içerisindeki konumu ve Elium 188 ® matrisi içerisinde hava kabarcığının oluşup oluşmadığı hakkında detaylı bilgilere sahip olunması için SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan SEM görüntülerinde nanofiberler kesik oluşmaması için

Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin çekme testi uygulandıktan sonra Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin kopan kırık yüzeyinde SEM analizi gerçekleştirilmiştir. SEM analizi Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC Tabakalı Termoplastik Nanokompozit numulerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizinde elde edilen görüntüler Şekil 4.7’de verilmiştir. Elde edilen SEM görüntülerinde Saf Elium 188 ® tabakalı termoplastik nanokompozitin SEM görüntülerinin yakınlaştırma boyutu 1.00 K X ve 5.00K X’tir. Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin ise 5.00K X ve 10.00K X’tir. SEM görüntüleri elde edilirken Elium 188 ® matris malzemesinin yüksek elektron maruzuna kaldığında yüzeyi bozarak yapısının değiştiği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı SEM görüntülerinde daha yakına girilmesi konusunda zorluklar yaşanmıştır. Bu zorluklardan dolayı Saf Elium 188 ® matris malzemesinin 1.00 K X ve 5.00K X boyutlarında görüntüleri elde edilmiştir.





**Şekil 4.7.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin SEM görüntüleri  
**A)**Saf Elium, **B)**Elium+PAN **C)**Elium+PAN/%1Ag **D)**Elium+PAN/%1SiC  
**E)**Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerinden elde edilen SEM görüntülerinde nanofiberlerin Elium 188 ® matris içerisindeki konumları gösterilmiştir. A2 SEM görüntüsündeki Saf Elium 188 ® matrisinin yüzeyinde porozite olduğu gözlemlenmiştir. Bu oluşan porozitenin sebebinin hava kabarcığı olduğu düşünülmektedir. Diğer SEM görüntüleri incelendiğinde ise bu porozitenin kaybolduğu görülmektedir. Saf Elium 188 ® matrisinde bu porozitenin oluşup nanofiberli yapılarda oluşmamasının sebebi ise Nanofiberler Elium 188 ® matrisine el yatırma yöntemi ile

yatırılırken bir rulo sayesinde fiberlerin yatırılma açısına göre matrise dikkatlice serilmiş ve oluşan hava kabarcıkları minimize edilmiştir. Bu sayede yüzeyde oluşabilecek poroziteler engellenmiştir.

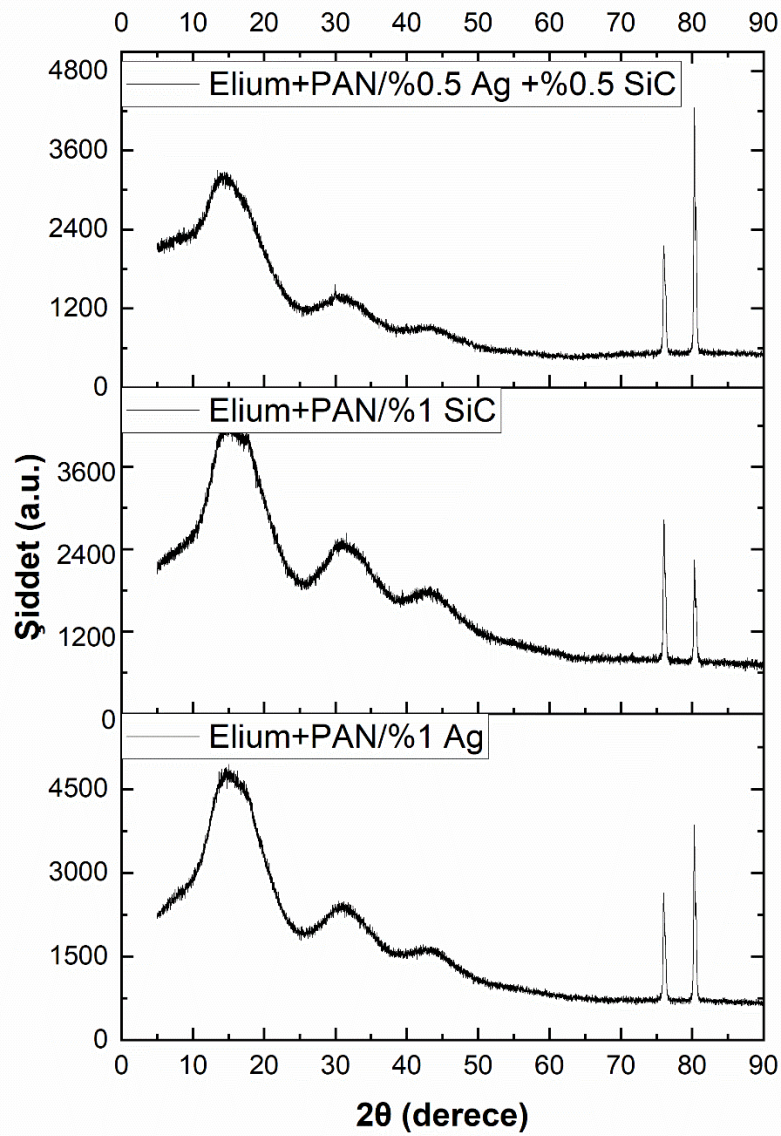
#### 4.2.2. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin XRD Analizi

PAN nanofiberlerinin Elium 188 ® matrisinin içerisinde tabakalı termoplastik nanokompozit haline getirildikten sonra nanopartiküllerin malzeme içerisindeki varlığına bakılması için tabakalı termoplastiklerden Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1 SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+ %0.5SiC nanokompozitlere XRD analizi yapılmıştır. Yapılan XRD analizi sonuçlarının grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir.

Elium+PAN/%1Ag tabakalı termoplastik nanokompozitin içerisindeki Ag nanopartikülünün XRD analizindeki kristal pikleri incelendiğinde  $2\theta$ ’de  $76^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında kristal pik vermiştir. Elium 188 ® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitler PAN/Ag nanofiberindeki pikler ile özdeşlik göstermiştir.

Elium+PAN/%1SiC tabakalı termoplastik nanokompozitin içerisindeki SiC nanopartikülünün XRD analizindeki kristal pikleri incelendiğinde  $2\theta$ ’de  $31^\circ$ ,  $76.08^\circ$  ve  $80.2^\circ$  noktalarında kristal pik vermiştir. Elium 188 ® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitler PAN/SiC nanofiberindeki pikler ile özdeşlik göstermiştir.

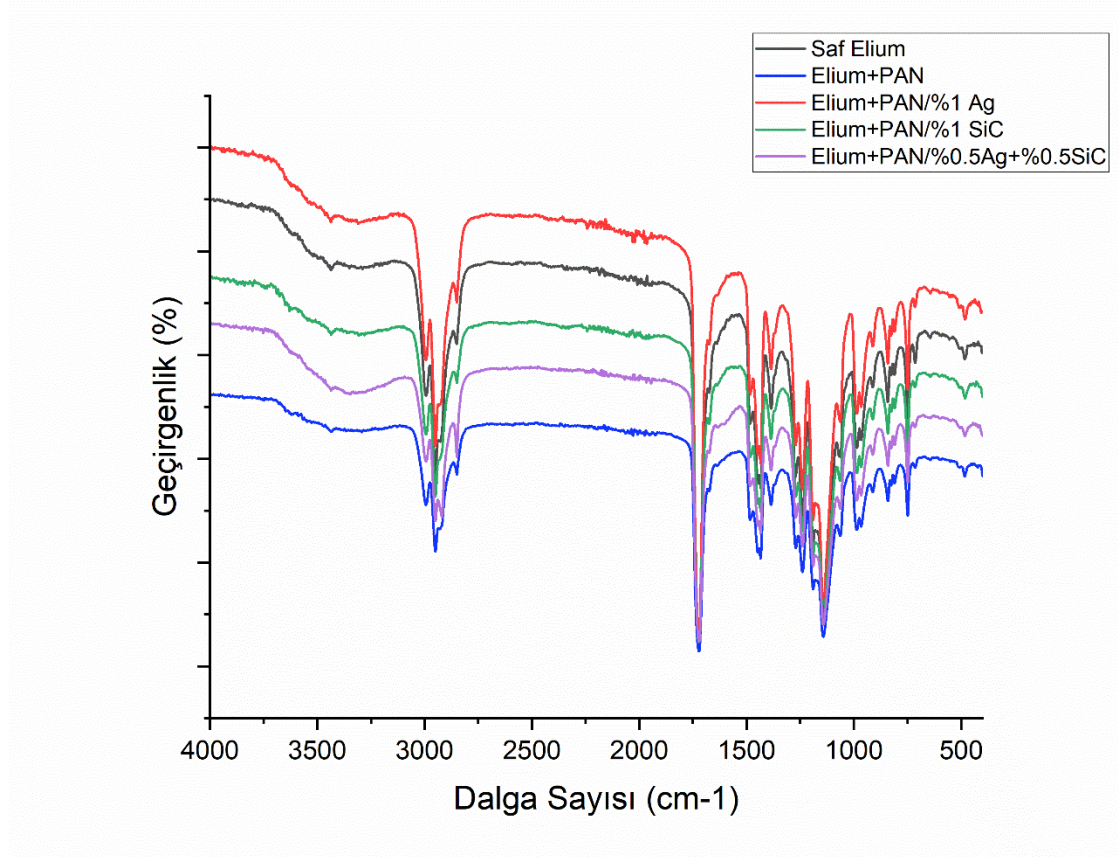
Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5SiC tabakalı termoplastik nanokompozitin içerisindeki Ag ve SiC nanopartiküllerinin XRD analizindeki kristal pikleri incelendiğinde  $2\theta$ ’de  $29.9^\circ$ ,  $76.2^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında pik vermiştir.



Şekil 4.8. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin XRD grafikleri

#### 4.2.3. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin FTIR Analizi

Üretilen Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Elium 188 ® matrisi içerisinde Ag ve SiC nanopartiküllerinin kimyasal karakterizasyonları, fonksiyonel grupları ve bunların kimyasal yapıya etkileri incelenmek amacıyla FT-IR analizleri incelenmiştir. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin FT-IR spektrum analizleleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

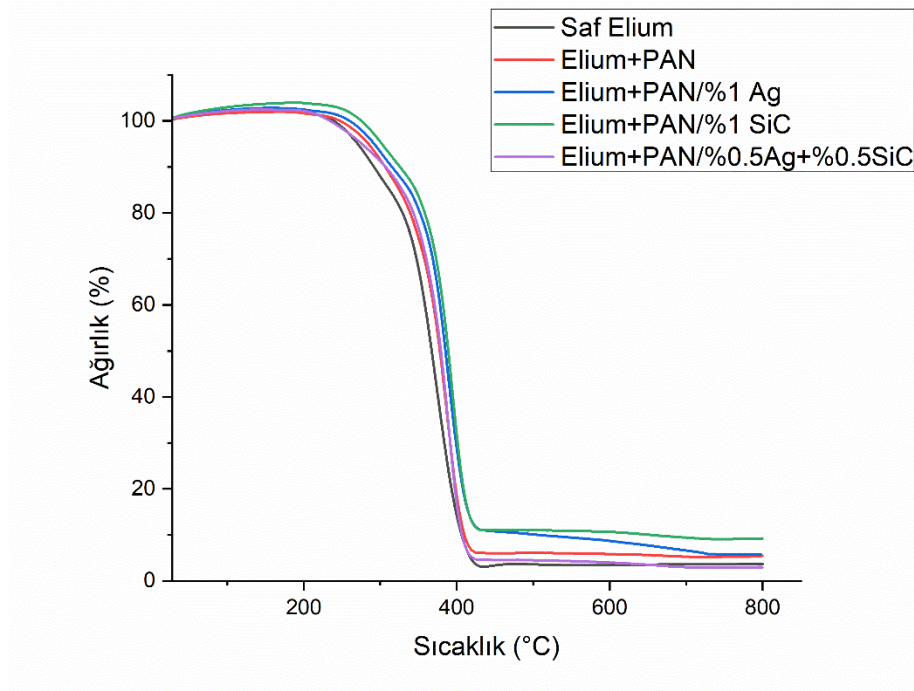


Şekil 4.9. Elium 188 ® Matrisli Termoplastik Nanokompozitlerin FT-IR spektrumu

2950  $\text{cm}^{-1}$  ve 2848  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bantlar PAN lifinin karbonik zincirlerindeki C-H gerilmesinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir (Kahraman vd., 2018). Bütün tabakalı termoplastik nanokompozitlerin FT-IR spektrumlarında 2956  $\text{cm}^{-1}$ 'deki gerilme titreşimleri  $\text{CH}_2$  bağlanmasını temsil ettiği görülürken, 1723  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C=O bandı PMMA bazlı Elium 188 ® termoplastik reçinedeki esterin varlığını doğrulamaktadır. Elde edilen FT-IR spektrumlarındaki sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarda bildirilen MMA ve PMMA'nın genel bileşimi ile ilgilidir (Sugumaran vd., 2017; Vijayakumari vd., 2013). Elde edilen FT-IR spektrumlarındaki Elium 188 ® termoplastik reçinesinin içerisindeki Ag ve SiC nanopartiküllerinin Elium 188 ® termoplastik reçinesinin bileşenlerini etkilemediği görülmüştür. Elium 188 ® termoplastik reçinesine eklenen Ag ve SiC nanopartiküllerin kimyasal bağlarından ya da fonksiyonel grupların oluşmasından ziyade yalnızca belirli karakteristik zirvelerin yoğunluğunu azalttığı görülmektedir.

#### 4.2.4. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin TGA Analizi

Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Elium 188 ® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitlerin termal bozunma eğrileri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin TGA analizi sonucunda tabakalı termoplastik nanokompozitlerin termal olarak kararlılık gösterdiği sıcaklık aralığı, termal bozunma aralığı ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin ağırlık kayıpları sırasıyla 200-427 °C, 210-425 °C, 245-431 °C, 245-427 °C, 204-420 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmiştir. Sıcaklık artışına bağlı ağırlık kayıpları ise sırasıyla yaklaşık %96.68, %94.67, %94.25, %90.78, %97.22 olarak bulunmuştur. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin TGA analiz değerleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir.



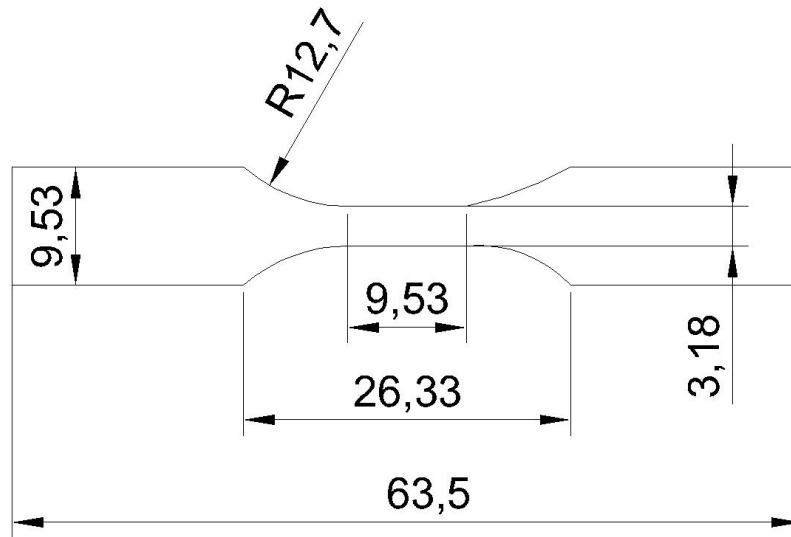
Şekil 4.10. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin TGA grafiği

**Tablo 4.4.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin TGA Analiz Değerleri

Nanofiber	Ağırlık Gerçekleştiği Sıcaklıklar (°C)	Kayıplarının Ağırlık Yüzde Değerleri (%)
Saf Elium	200-427	96.68
Elium+PAN	210-425	94.67
Elium+PAN/%1 Ag	245-431	94.25
Elium+PAN/%1 SiC	245-427	90.78
Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5	204-420	97.22

#### 4.2.5. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Mekanik Analizi

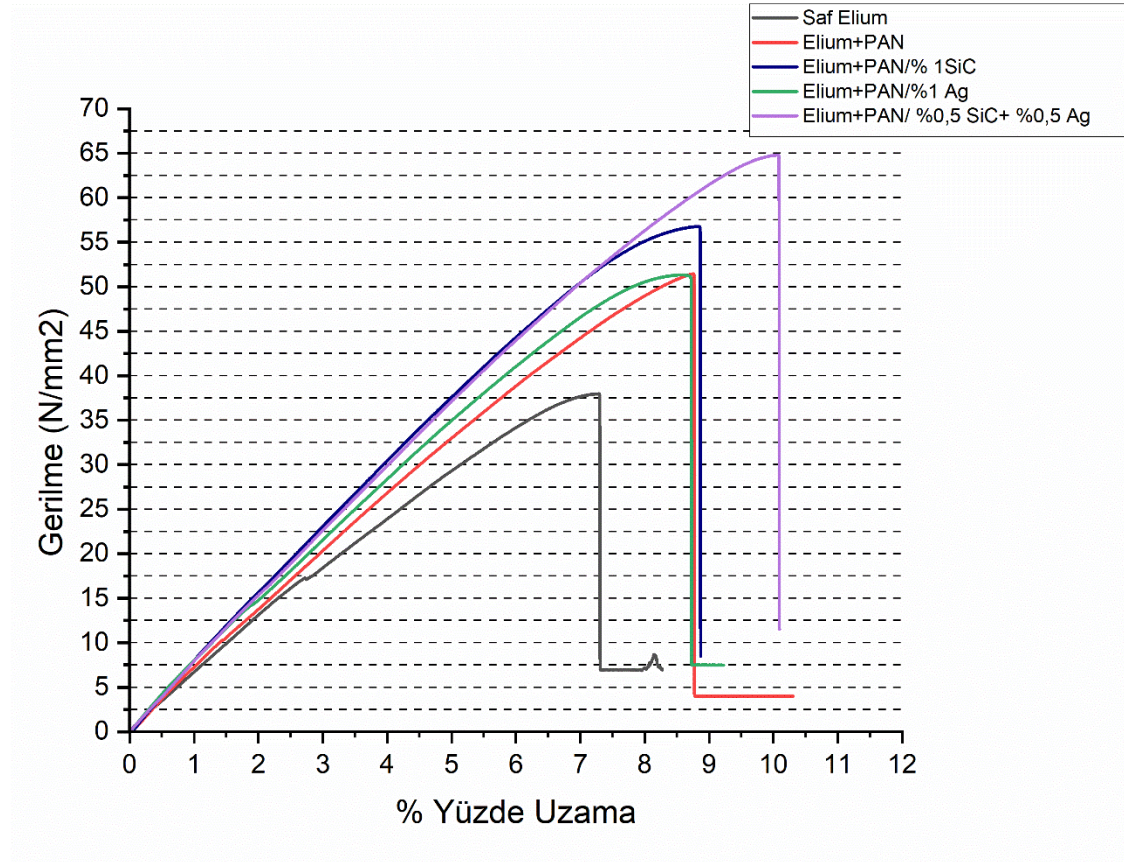
Üretilen Elium 188 ® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitler sırasıyla Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC ASTM D638.33977 standardına göre 9.53mm\*63.5mm ebatlarında kesilmiştir. ASTM D638.33977 dog bone numunesi Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. ASTM D638.33977 Standardına göre çekme testi numune ölçüleri (Cacık, 2022)

Dog Bone numunesi haline getirilen Elium matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitler Shimadzu AG-X marka çekme cihazının çenelerine bağlanmıştır. Çekme testi 1 mm/dk sabit çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çekme testi sonucunda gerilme-yüzde uzama grafiği elde edilmiştir ve elde edilen grafik Şekil 4.12’de verilmiştir. Tablo 4.5’te Elium matrisli Tabakalı Termoplastik

Nanokompozitlerin maksimum gerilme ve maksimum yüzde uzama değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12. Elium Matrisli Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Gerilme-Yüzde Uzama Grafiği

**Tablo 4.5.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Maksimum Gerilme ve Maksimum Yüzde Uzama Değerleri

Tabakalı Termoplastik Nanokompozit	Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Maksimum Yüzde Uzama (%)
Saf Elium	37.9663	7.2871
Elium+PAN	51.4439	8.7516
Elium+PAN/ %1Ag	51.3327	8.5865
Elium+PAN/ %1SiC	56.7612	8.8174
Elium+PAN/ %0.5Ag+ %0.5 SiC	64.8055	10.08

### 4.3. X-Işını Azalım Testi

X-Işını azalım testleri Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nün X-Işını Soğurma Testleri Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. X-Işını azalım testlerinde ölçümlerin yapılırken sonuçların doğru olabilmesi için tabakalı termoplastik nanokompozitlerin boyutu ve şekline göre düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenek Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. X-Işını Azalım Testleri İçin Kurulan Düzenek

Tabakalı termoplastik nanokompozitler X-Işını tüpü ve dedektör arasında bulunmaktadır. X-Işını azalım testindeki bu düzeneğin amacı X-Işını tüpünden çıkan X-Işınlarının tabakalı termoplastik nanokompozite nüfuz edip kompoziti geçip dedektörde toplanarak tabakalı termoplastik nanokompozitin X-Işınlarına karşı verdiği geçirgenlik oranının bulunmasıdır. Tabakalı termoplastik nanokompozitler, X-Işını azalım testlerinde doğru sonuç alınabilmesi için dedektörü tam ortayalacak şekilde konumlandırılmıştır.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin test düzeneği kurulduktan sonra 200 mA, 20 mAs ve 100 mSec değerleri sabit tutularak 40 kV, 60 kV, 80 kV ve 100 kV

değerlerinde X-Işını atışları gerçekleştirilmiştir. X-Işını şutlamaları bütün tabakalı termoplastik nanokompozitlerde gerçekleştirilmiştir. X-Işını şutlamaları önce tabakalı termoplastik nanokompozit olmadan ( $I_0$ ) ve sonrasında tabakalı termoplastik nanokompozit yerleştirilerek ( $I$ ) ölçülmüştür. Elde edilen her bir  $I$  ve  $I_0$  değerleri kaydedilmiştir. Kaydedilen  $I$  ve  $I_0$  değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin X-Işını Soğurma Sonuçları

X-Işını (kV)	I ve $I_0$ (mGy)	Saf Elium	Elium+ PAN	Elium+ PAN/Ag	Elium+ PAN/SiC	Elium+ PAN/Ag+SiC
40 kV	$I_0$	648	660	670	670	669
40 kV	$I$	597	614	620	615	608
60 kV	$I_0$	1585	1600	1630	1615	1628
60 kV	$I$	1494	1500	1548	1533	1524
80 kV	$I_0$	2690	2750	2800	2725	2791
80 kV	$I$	2556	2611	2684	2602	2661
100 kV	$I_0$	3373	3367	3145	3305	3380
100 kV	$I$	3235	3202	3029	3181	3254

X-Işını şutlamalarından sonra elde edilen  $I$  ve  $I_0$  değerleri ve tabakalı termoplastik nanokompozitlerin kalınlıkları kullanılarak sabit  $\mu$  değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu  $\mu$  değeri doğrusal zayıflatma katsayısı demektir.  $I$  değeri dedektörün önünde tabakalı termoplastik nanokompozit varken elde edilen kV değerinin mikro Gray (mGy) cinsinden değeridir.  $I_0$  ise dedektör ve X-Işını tüpü arasında herhangi bir malzeme yokken elde edilen kV değerinin mikro Gray (mGy) cinsinden değeridir. Denklemde tabakalı termoplastik nanokompozitlerin kalınlıkları  $t$  ile ifade edilmiştir. Elde edilen kalınlığa bağlı  $\mu$  değeri denklem 4.1'de verilmiştir.

$$I = I_0 \cdot e^{(-\mu \cdot t)} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 kullanılarak

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{(-\mu \cdot t)} \quad (4.2)$$

4.1 denklemi kullanılarak 4.2 X-Işını iletimini gösteren  $T$  denklemi elde edilmektedir. Denklemde bulunan  $T$  değeri X-Işınlarının iletimini göstermektedir.

$$\mu = \frac{(-\ln T)}{t} \quad (4.3)$$

4.2 X-Işını iletimini gösteren T denklemi kullanılarak kalınlığa bağlı lineer azaltma katsayısını ( $\mu$ ) veren 4.3 denklemi elde edilmektedir. Denklem 4.3 de bulunan t değeri Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin kalınlığı cm cinsinden ifade etmektedir. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin kalınlık değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin cm cinsinden değerleri

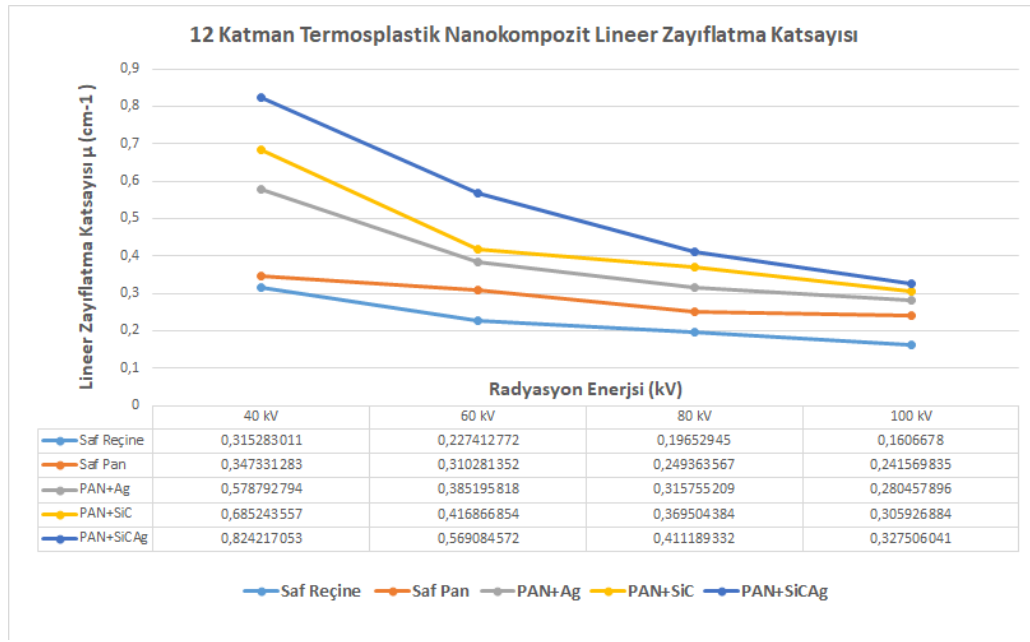
	Saf Elium	Elium+ Pan	Elium+ PAN/Ag	Elium+ PAN/SiC	Elium+ PAN/Ag+SiC
<b>Kalınlık (cm)</b>	0,260	0,208	0,134	0,125	0,116

Elde edilen I, I<sub>0</sub> değerleri ve Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin kalınlık değerleri Denklem 4.3’te yerine koyularak üretilen bütün Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin  $\mu$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan  $\mu$  değerleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

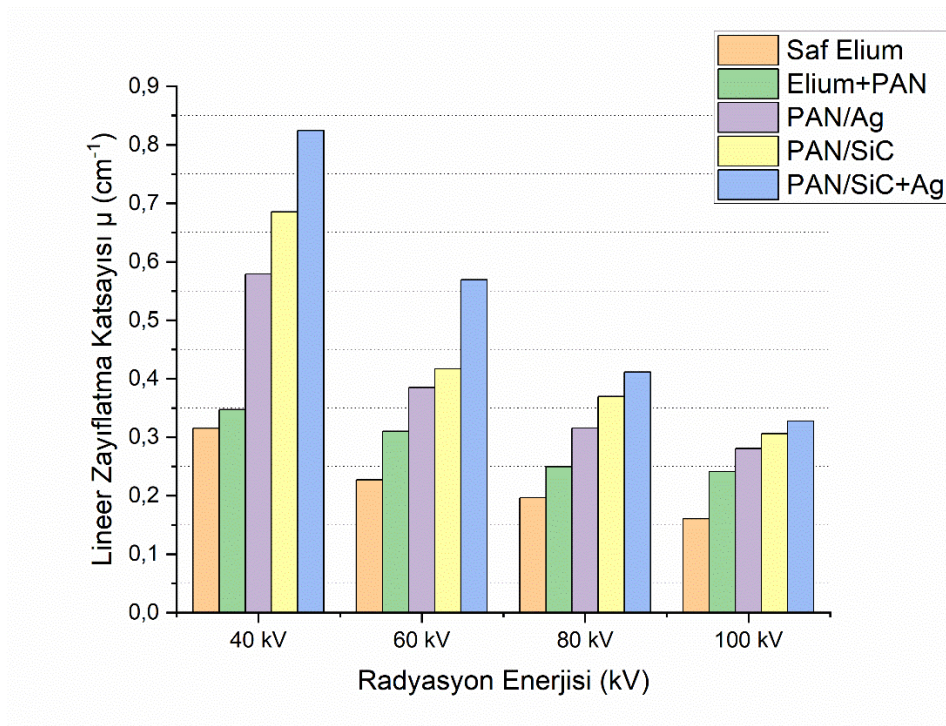
**Tablo 4.8.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin lineer azaltma katsayıları

	Saf Elium	Elium+ PAN	Elium+ PAN/Ag	Elium+ PAN/SiC	Elium+ PAN/SiC+Ag
<b>40 kV</b>	0,315283011	0,347331283	0,578792794	0,685243557	0,824217053
<b>60 kV</b>	0,227412772	0,310281352	0,385195818	0,416866854	0,569084572
<b>80 kV</b>	0,19652945	0,249363567	0,315755209	0,369504384	0,411189332
<b>100 kV</b>	0,1606678	0,241569835	0,280457896	0,305926884	0,327506041

Denklem 4.3. sayesinde elde edilen Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin  $\mu$  değerleri 40 kV, 60 kV, 80 kV ve 100 kV değerleri arasındaki bağlantı Şekil 4.14. ve 4.15’te gösterilmiştir.



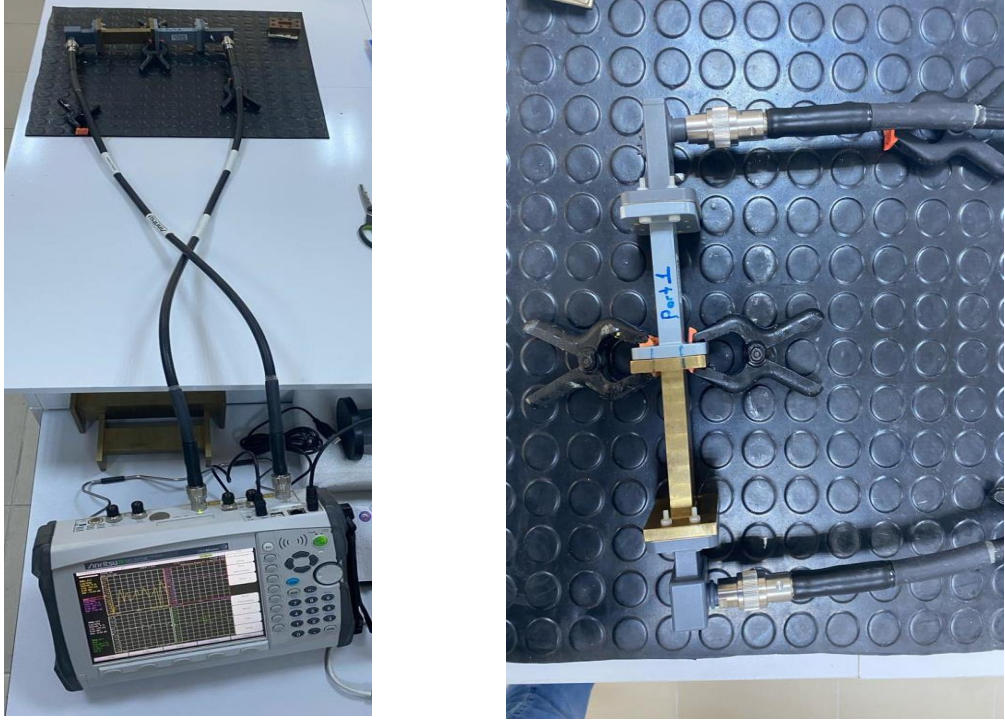
**Şekil 4.14.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Radyasyon Enerjisine Göre Lineer Azaltma Katsayısı Grafiği



**Şekil 4.15** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin Radyasyon Enerjisine Göre Lineer Azaltma Katsayısı Bar Grafiği

#### 4.4 EMI Test Sonuçları

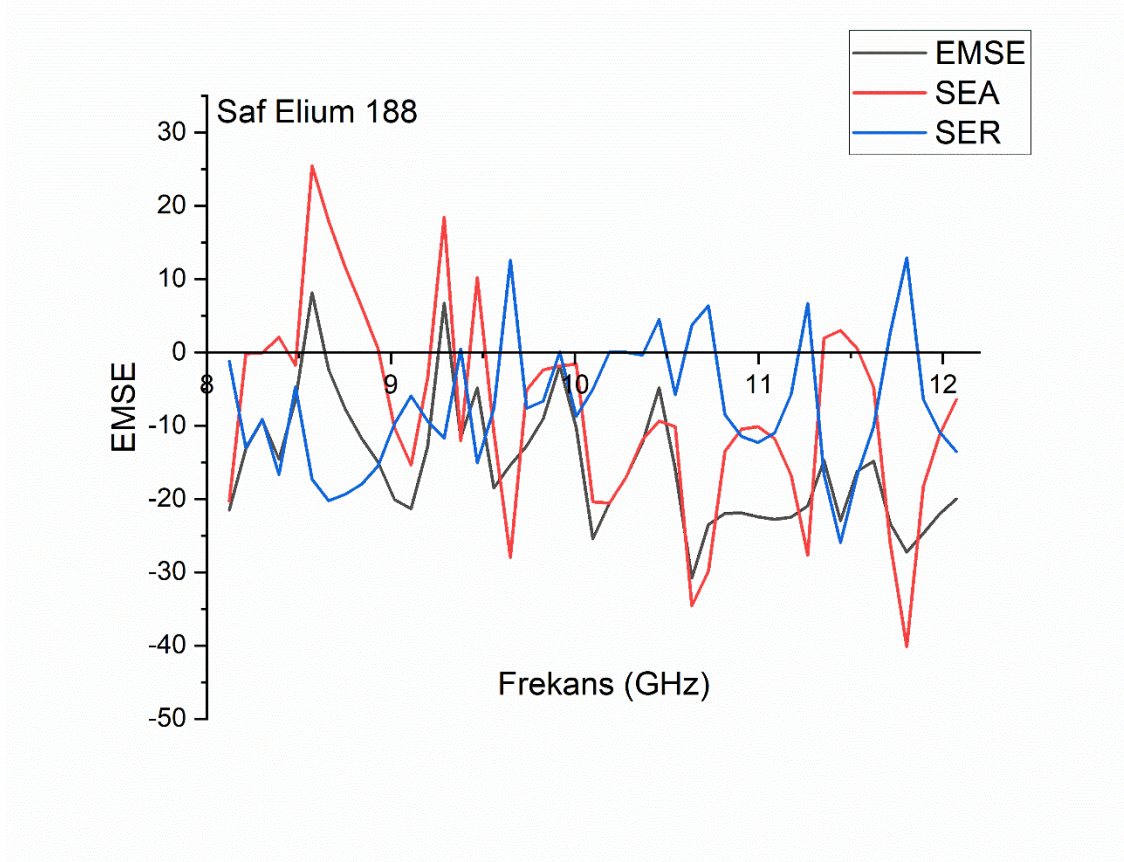
Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Elektromanyetik Dalgaların Ekranlama (EMI) testleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. EMI testleri için oluşturulan standart düzenek Şekil 4.16’da verilmiştir. EMI testleri X-Bandında (8.2-12.4 GHz) aralığında gerçekleştirilmiştir.

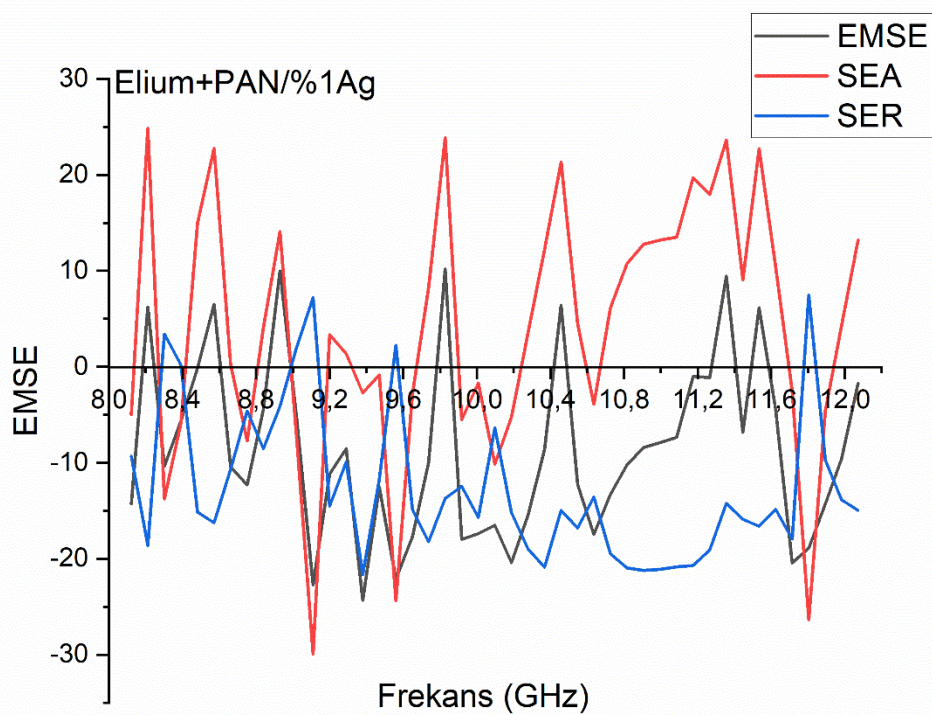
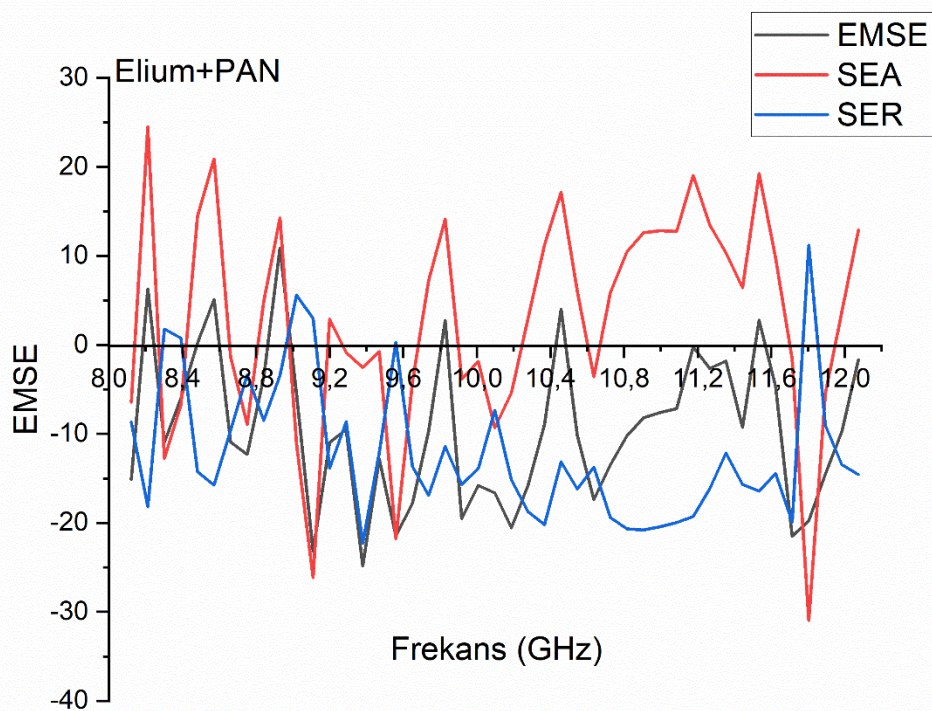


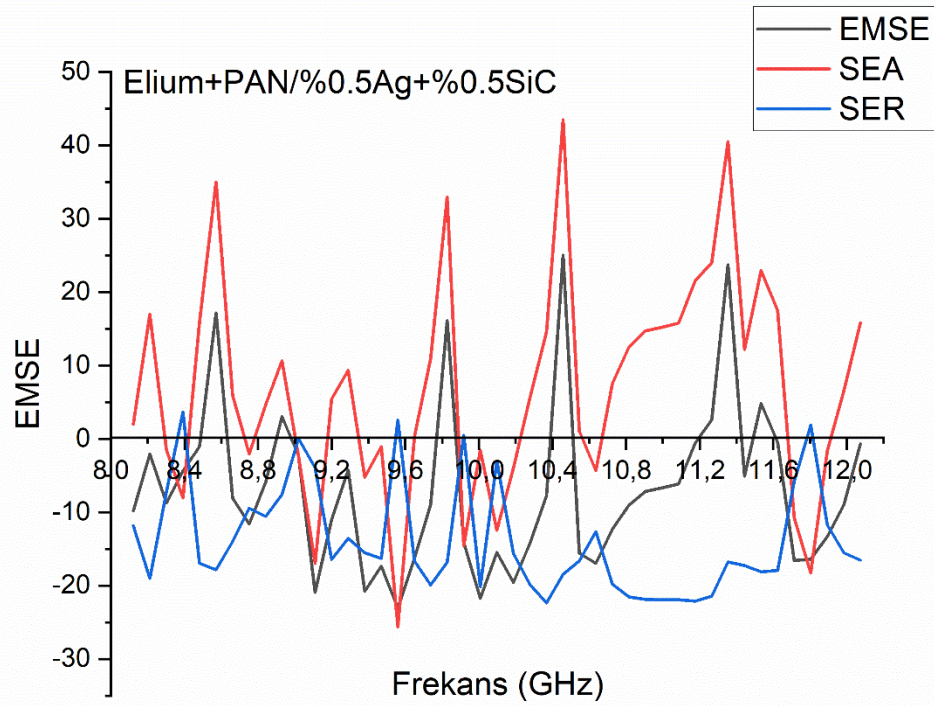
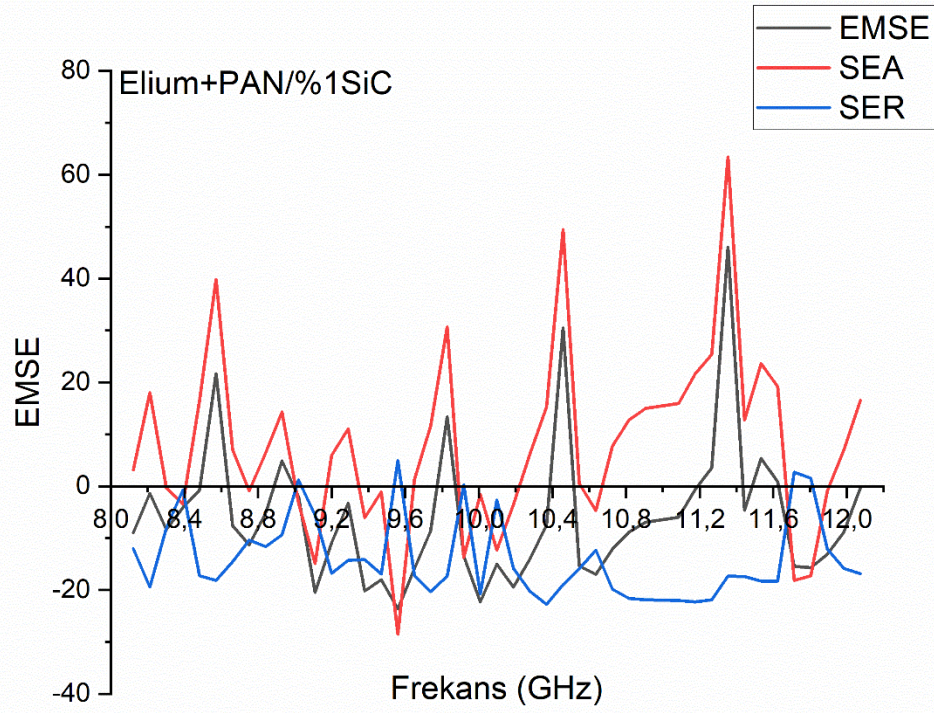
Şekil 4.16. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin EMSE değerlerinin ölçülmesi

Ölçülen toplam EMSE (SETotal), SEA (SE absorbans) ve SER (SE yansıma) değerleri grafik halinde Şekil 4.17’de verilmiştir. Ayrıca elde edilen EMSE, SEA ve SER değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir. Elde edilen değerler tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EM kalkanlama özelliklerinin ortaya koymaktadır. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMSE değerleri sırasıyla -15.441 dB, -9.338 dB, -8.641 dB, -5.948 dB ve -6.951 dB olarak bulunmuştur. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin SEA değerleri sırasıyla -8.141 dB, +2.766 dB, +3.929 dB, +8,061 dB ve +6.921 dB olarak bulunmuştur. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı

termoplastik nanokompozitlerin SER değerleri sırasıyla -7.299 dB, -12.104 db, -12.570 dB, -14.010 dB ve -13.872 dB olarak bulunmuştur.







Şekil 4.17. Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin EM değerleri

**Tablo 4.9.** Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin EM Değerleri

Tabakalı Termoplastik Nanokompozit	EMSE (dB)	SEA (dB)	SER (dB)
Saf Elium	-15.441	-8.141	-7.299
Elium+PAN	-9.338	2.766	-12.104
Elium+PAN/ %1Ag	-8.641	3.929	-12.570
Elium+PAN/ %1SiC	-5.948	8.061	-14.01
Elium+PAN/ %0.5Ag+ %0.5 SiC	-6.951	6.921	-13.872

Bir malzemenin ticarileşebilmesi için literatürde EMSE değerlerinin bazı kaynaklar tarafından 20 dB (Peng vd., 2022) bazı kaynaklarda ise 30 dB (Mutlu vd., 2023b; Peng vd., 2022) EMSE değerlerine sahip olması gerektiği söylenmektedir.

Üretilen Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMSE değerleri literatürdeki bir malzemenin ticarileşebilmesi için olması gereken EMSE değerlerinden daha aşağıda çıkmıştır. Bu EMSE değerlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi iletkenlik kavramıdır (Liang vd., 2020). Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlere yapılan 4 nokta iletkenlik testiyle termoplastik nanokompozitlerin iletkenlik değerleri incelenmiştir. Yapılan bu 4 nokta iletkenlik testiyle birlikte malzemelerinin hepsinin yalıtkan olduğu gözlemlenmiştir. Elektromanyetik dalgaların soğurulma sürecinde elektromanyetik dalgaların malzemeye nüfuz ettiği noktalarda elektromanyetik dalgalar malzemenin içerisindeki iletken ağları takip ederek düşük değerli ısıya dönüşerek yok olmaktadır (H. Lv vd., 2015). Üretilen Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin içerisine koyulan Ag ve SiC nanopartikülleri miktar olarak ağırlık %1Ag, %1SiC ve %0.5 Ag+%0.5 SiC olarak oldukça eser miktardadır. Ayrıca SiC nanopartikülü yarı iletkenler sınıfında olmakta ve yarı iletken sınıfında yalıtkan kısmına daha yakın bir noktada konumlanmaktadır. Tabakalı termoplastik nanokompozitlere eklenen Ag, SiC nanopartikülleri malzemeleri yalıtkan yapıdan iletken yapıya geçirmekte yeterli olamamıştır. Bundan dolayı tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMSE değerleri ve SEA değerleri istenilen düzeylere çıkmakta başarılı olamamıştır. EMSE değerlerini etkileyen önemli bir diğer faktör ise malzemenin kalınlığıdır (Hong vd., 2021). Malzemenin kalınlığının artması bazı noktalarda EMSE değerlerinde artış gösterebilmektedir. Üretilen tabakalı termoplastik nanokompozitlerin üretimi aşamasında kullanılan el yatırma yöntemi sırasında her

numune eşit miktarda Elıum 188  termoplastik reğineyi emmemiştir. Bunlardan dolayı malzemeler arasında kalınlık farkları vardır. Ve ayrıca Saf Elıum 188  numunesi sırasında kalıp işlemi ile baskı yapılmadığı için diğer numunelere göre kalınlığı daha fazladır. Elde edilen EMSE değerlerinde oluşan farkların bundan dolayı gerçekleştiği dşunlebilir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar karşısında alternatif ileri fonksiyonel malzeme olarak nanofiber katkılı tabakalı termoplastik nanokompozitlerin üretimi amaçlanmıştır. Nanofiberlerin içerisine nanopartikül katkılayarak matris içerisinde tabakalı termoplastik nanokompozitlerin kullanım alanları ve endüstriyel piyasadaki yerleri her geçen gün hızla artmaktadır. Nanopartikül katkılı termoplastik nanokompozitlerin hafifliği, esnekliği ve dayanımından dolayı hafif yapı malzemeleri olarak otomotiv endüstrisinde, uçak kanat ve yapı malzemelerinde oldukça önemli bir konumdadır. Kompozit malzemelere nanopartiküller katkılanarak iletkenlik, manyetizma ve enerji depolama gibi özelliklerinin iyileştirilmesi sayesinde kapasitör, batarya ve enerji depolama malzemelerinde önemli bir yer edinmektedir.

Termoplastik nanokompozitlerin hafif ve uygulanabilir özelliği sayesinde uzay ve havacılık sektöründe yakın gelecek olarak 2030 NASA uzay projesi gibi oldukça önemli alanlarda tabakalı termoplastik nanokompozitlerin uzay gibi yerlere taşınabilir ve kullanılabilir özelliklerinin radyasyon gibi önemli sorun teşkil eden konulara çözüm sunabilecek bir çözüm önerisi olması bu nanokompozitleri önemli bir noktaya getirmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında tabakalı termoplastik nanokompozitlere katkılanan nanofiberlerin polimer malzemesi olarak PAN seçilmiştir. PAN polimerine %1Ag, %1SiC ve %0.5Ag+%0.5SiC nanopartikülleri katkılanarak PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberleri üretilmiştir. Üretilen nanofiberlerin tabakalı termoplastik haline getirilmek için Elium 188 ® termoplastik reçinesi seçilmiştir. Elium 188 ® termoplastik reçinesi oldukça yeni bir malzeme olup üzerine literatürde fiber katkılı bir malzeme olmamasından dolayı Elium 188 ® termoplastik reçinesi tercih edilmiştir. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin SEM, XRD, TGA, FTIR gibi karakterizasyon testleri, X-Işınları azalım testleri ve EMI üzerindeki etkileri deneysel olarak geniş çapta incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Üretilen Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin ortalama fiber çapları sırasıyla 257 nm, 170 nm, 195 nm ve 215 nm olarak bulunmuştur. PAN nanofiberine katkılanan Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartikülleri fiber çaplarında düşüş

sağlamıştır. Üretilen nanofiberler arasında ortalama en düşük fiber çapının 170 nm ile PAN/Ag olduğu bulunmuştur. Ag nanopartikülünün iletkenliği sayesinde nanofiber üretimi esnasında oluşan elektrik alanındaki artış olması fiber çapında daha fazla düşüş sağladığını düşündürmektedir.

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin XRD analizleri incelendiğinde kristal tepe noktalarında gözlemlenen pikler sayesinde Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerin varlığı saptanmıştır. PAN/Ag nanofiberlerinin  $2\theta$ 'de  $30.5^\circ$ ,  $40.4^\circ$ ,  $76.1^\circ$  ve  $80.3^\circ$ 'de 4 kristal pik gözlemlenmiştir. PAN/SiC nanofiberlerinin  $2\theta$ 'de  $30.67^\circ$ ,  $49.8^\circ$ ,  $76.06^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında pikler gözlemlenmiştir. PAN/Ag+SiC nanofiberindeki  $2\theta$ 'de  $30.6^\circ$ ,  $44.4^\circ$  ve  $49.9^\circ$  SiC nanopartikülün oluşturduğu kristal pikler gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu kristal pikler Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin varlığını kanıtlamıştır.

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerine TGA analizleri yapılarak nanofiberlerin termal bozunma aralığı ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin ağırlık kayıpları sırasıyla  $340-390^\circ\text{C}$ ,  $340-380^\circ\text{C}$ ,  $345-410^\circ\text{C}$ ,  $345-410^\circ\text{C}$  sıcaklık aralında gerçekleşmiştir. Sıcaklık artışına bağlı ağırlık kayıpları ise sırasıyla Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC için yaklaşık %64.6, %43.1, %70.2 ve %62.4 olarak bulunmuştur.

Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin mekanik dayanımları hakkında bilgi edinmek amacıyla çekme testi yapılmıştır. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerin maksimum gerilme değerleri sırasıyla 3 MPa, 3.6 MPa, 7 MPa ve 4.9 MPa olarak bulunmuştur. Saf PAN, PAN/Ag, PAN/SiC ve PAN/Ag+SiC nanofiberlerinin maksimum yüzde uzama değerleri ise sırasıyla %35.64, %17.56, %14.7 ve %14.9 olarak bulunmuştur. Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin Saf PAN nanofiberinin mukavemetini arttırdığı ancak yüzde uzama değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan dolayı nanofiberler daha gevrek bir yapı haline geldiği gözlemlenmiştir.

Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerinin SEM görüntüleri incelenerek tabakalı kompozitlerde Elium 188 ® termoplastik matris içerisindeki fiberlerin konumu, fiber yapıları, morfolojik yüzeyi ve reçine içerisinde porozite oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Elde edilen SEM görüntülerinde Saf Elium 188 ® reçinesinde porozite oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat nanofiber katkılı tabakalı termoplastik nanokompozitlerde bu porozitenin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Saf Elium 188 ® matrisi içerisindeki porozite oluşup diğer yapılarda oluşmamasının sebebini yapılan kalıp tasarımı sayesinde fiberlerin el yatırma yöntemi ile yerleştirilirken oluşan bütün hava kabarcıklarını engelleyip fiberin reçine içerisinde doğru konumlanmasıyla ilişkilendirebiliriz.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerden Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+ %0.5SiC nanokompozitlere XRD analizi yapılmıştır. Elium+PAN/%1Ag tabakalı termoplastik nanokompozitin  $2\theta^\circ$ 'de  $76^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında kristal pik vermiştir. Elium 188 ® matrisli tabakalı termoplastik nanokompozitler PAN/Ag nanofiberindeki pikler ile özdeşlik göstermiştir. Elium+PAN/%1SiC tabakalı termoplastik nanokompozitin  $2\theta^\circ$ 'de  $31^\circ$ ,  $76.08^\circ$  ve  $80.2^\circ$  noktalarında kristal pik vermiştir. Elium 188 ® matrisli Tabakalı Termoplastik Nanokompozitler PAN/SiC nanofiberindeki pikler ile özdeşlik göstermiştir. Elium+PAN/%0.5Ag+ %0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitin  $2\theta^\circ$ 'de  $29.9^\circ$ ,  $76.2^\circ$  ve  $80.3^\circ$  noktalarında pik vermiştir.

Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC ASTM D638.33977 standardına göre çekme testleri yapılmıştır. Tabakalı termoplastik nanokompozitlere yapılan çekme testi sonucunda Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin maksimum gerilme değerleri sırasıyla 37.96 MPa, 51.44 MPa, 51.33 MPa, 56.76 MPa ve 64.80 MPa olarak bulunmuştur. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin yüzde uzama değerleri sırasıyla %7.28, %8.75, %8.58, %8.81 ve %10.08 olarak bulunmuştur. Saf Elium 188 ® matrisine katkılanan Saf PAN nanofiberi çekme değerini %35.51 artış sağlamıştır. PAN nanofiberlerine katkılanan %1 Ag Saf Elium 188 ® termoplastik matris reçinesine göre %35.22 artış sağlamıştır. Ancak %1 Ag nanopartikül katkılı Elium+PAN/%1Ag tabakalı termoplastik nanokompoziti Elium+PAN tabakalı matrisine göre çekme değerini %0.21 düşürmüştür.

%1 SiC ve %0.5 Ag+ %0.5 SiC nanopartikülleri Elium+PAN tabakalı termoplastik nanokompozitine göre çekme değerlerini sırasıyla %10.34 ve %25.97 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin X-Işınları Azalım testleri gerçekleştirilerek tabakalı termoplastik nanokompozitlerin Lineer Zayıflatma Katsayıları bulunmuştur. Yapılan X-Işınları Azalım testleri 40 kV, 60kV, 80 kV ve 100 kV'da gerçekleştirilmiştir. Elium 188 ® termoplastik matrisine katkılanan nanofiberler sayesinde lineer zayıflatma katsayılarında artış gözlemlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayılarında Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin değerleri sırasıyla 40 kV'da 0.31  $\mu$ , 0.34  $\mu$ , 0.57  $\mu$ , 0.68  $\mu$  ve 0.82  $\mu$ , 60 kV'da 0.22  $\mu$ , 0.31  $\mu$ , 0.38  $\mu$ , 0.41  $\mu$  ve 0.56  $\mu$  80kV'da 0.19  $\mu$ , 0.24  $\mu$ , 0.31  $\mu$ , 0.38  $\mu$  ve 0.41  $\mu$  100kV'da 0.16  $\mu$ , 0.24  $\mu$ , 0.28  $\mu$ , 0.30  $\mu$  ve 0.32  $\mu$  olarak bulunmuştur.

Bulunan lineer zayıflatma katsayıları Radyasyon Enerjisi arttıkça düşüş gözlemlenmiştir. En iyi lineer zayıflatma katsayıları 40kV radyasyon enerjisinde gözlemlenmiştir. Radyasyon enerjisi arttıkça tabakalı termoplastik nanokompozitlerin lineer azaltma katsayılarında düşüşler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu düşüşlerin olması beklenmektedir. Çünkü radyasyon enerjisi arttıkça tabakalı termoplastik nanokompozitlerin radyasyon enerjilerini absorbe etmeleri azalmaktadır. 40 kV, 60kV, 80kV ve 100kV radyasyon enerjilerinde tabakalı termoplastik nanokompozitlerin lineer zayıflatma katsayısı değerleri Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5SiC malzemesinde gözlemlenmiştir. Tabakalı termoplastik nanokompozit malzemelerde aynı anda eklenen Ag ve SiC nanopartikülü (Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5SiC) diğer malzemelere göre X-Işınlarını daha başarılı bir şekilde absorbe etmiştir.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin iletkenlikleri hakkında bilgi sahibi olunmak amacıyla 4 nokta iletkenlik testleri yapılmıştır. Yapılan bu testler sonucunda Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin hepsinde herhangi bir akım görülmemiştir. Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin bu sonucundan dolayı malzemelerin yalıtkan olduğu gözlemlenmiştir.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMI testleri X-Bandında (8.2-12.4 GHz) yapılarak tabakalı termoplastik nanokompozitlerin radar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMSE değerleri sırasıyla (-15.441 dB), (-9.338 dB), (-8.641 dB), (-5.948 dB) ve (-6.951 dB) olarak bulunmuştur. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin SEA değerleri sırasıyla (-8.141 dB), (+2.766 dB), (+3.929 dB), (+8,061 dB) ve (+6.921 dB) olarak bulunmuştur. Saf Elium, Elium+PAN, Elium+PAN/%1Ag, Elium+PAN/%1SiC ve Elium+PAN/%0.5Ag+%0.5 SiC tabakalı termoplastik nanokompozitlerin SER değerleri sırasıyla (-7.299 dB), (-12.104 dB), (-12.570 dB), (-14.010 dB) ve (-13.872 dB) olarak bulunmuştur.

Tabakalı termoplastik nanokompozitlerin EMSE değerleri incelendiğin yaklaşık 10 dB civarlarında olduğu gözlemlenmektedir. Bu değer 10 dB civarlarında olmasının temel sebebi ise EMI değerlerinde en önemli faktörün iletkenlik ve manyetizma özelliği olduğu bilinmektedir. Yapılan 4 nokta iletkenlik testiyle malzemelerin yalıtkan olmasından dolayı bu EMSE değerleri 10 dB civarlarında kalmıştır.

## 5.2 Öneriler

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasının sonunda elde edilen bu sonuçlara göre ileride daha iyi sonuçların alınabilmesi ve bu değerlerin geliştirilmesi için aşağıdaki adımlar uygulanabilir:

Elektro-eğirme yöntemiyle üretilen PAN nanofiberlere katılanan Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerin miktarı oldukça eser miktarda tercih edilmiştir. Katılanan Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin miktarları %1'den daha fazla katılarak sonuçlarda olumlu yönde artış olabilmesi beklenmektedir.

Tercih edilen Ag, SiC ve Ag+SiC nanopartiküllerinin yerine kullanılacak alternatif nanopartiküller ile yapılan çalışmalar tekrarlanıp elde edilen sonuçların kendileri arasında kıyaslanması oldukça önem taşımaktadır.

Tercih edilen Elium 188 ® termoplastik reçinesi literatürde ilk defa nanofiber katılarak tabakalı termoplastik nanokompozit haline getirilmiştir. Tercih edilen Elium 188 ® termoplastik reçinesinin kürleştirme oranları değiştirilerek yeni malzemeler elde edilebilir. Bu elde edilen malzemelerin sonuçları kıyaslanarak daha iyi mukavemet, Lineer azaltma katsayılarında artış gözlemlenebilir.

Elium 188 ® termoplastik reçinesi içerisine yerleştirilen nanofiberlerin katman sayıları üzerinde değişiklikler yapılarak kalınlığa bağlı liner azaltım katsayıları arasında yeni ilişkiler kurulabilir.

Elium 188 ® reçineli Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin içerisine yerleştirilen nanofiberlerin tek çeşit ya da sabit oranların yerine farklı nanofiberler ile kombinleyerek yeni Tabakalı Termoplastik Nanokompozitler üretilip onlar arasındaki bağlar incelenebilir.

Elium 188 ® reçineli Tabakalı Termoplastik Nanokompozitlerin içerisine yalnızca nanofiberler değil reçinenin içersine yeni nanopartiküller ekleyerek malzemeye ekstra yeni özellikler kazandırılabilir.

Elium 188 ® malzemesinin yalıtkanlık özelliğini kaybettirilerek iletken haline getirilmesi için kullanılan nanopartiküllerin daha iletken malzemeler olarak seçilebilir. Bu sayede malzemenin iletkenliğinin artırılmasıyla birlikte EMI testinde EMSE değerlerinde artış olması beklenmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akarsu, U. 2011. "*Biyobozunur polimer nanokompozit geliştirilmesi*" (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Aladağ Tanık, N. 2016. "*Nanolif kaplı kalem grafit biyosensör yüzeyinde spesifik nükleik asit dizilerinin hibridizasyonunun elektrokimyasal olarak tespiti*" (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Arıcı, A. 2018. "*Elektrospin metodu ile hazırlanan polimer/mwcnt nanofiberlerin özelliklerine mwcnt çapının ve uzunluğunun etkisinin araştırılması*" (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Asi, D. 2018. "*Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin araştırılması*" (Doktora Tezi). Uşak Üniversitesi, Uşak.
- Bahar, B. 2019. "*Elektro çekim yöntemi ile fotokromik özellikli poliüreten esaslı nanolif yapıları yüzeylerin üretimi ve karakterizasyonu*" (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Barani, H. 2014. "Antibacterial continuous nanofibrous hybrid yarn through in situ synthesis of silver nanoparticles: Preparation and characterization". *Materials Science and Engineering C*, 43, 50-57.
- Cacık, F. 2022. "*Elektrospin cihazı ile nanomalzeme kullanarak X ışınlarından koruma malzemesi üretimi*" (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Carpenter, D. O. 2013. "Human disease resulting from exposure to electromagnetic fields". *Reviews on Environmental Health*, 28(4), 159-172.
- Cengiz, S. 2009. "*Elektromanyetik girişimden korunmada ekranlama etkinliği ve elektromanyetik ekranlama uygulamaları*" (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Chae, D. W., Kim, B. C. 2006. "Effects of zinc oxide nanoparticles on the physical properties of polyacrylonitrile". *Journal of Applied Polymer Science*, 99(4), 1854-1858.
- Chandrasekaran, S., El-Ghannam, A. 2023. "*Additive Manufacturing of 3D Printed SiC Composites: Strengthening and Densification Through Surface Modification and Use of Mineral Binders*". *ProQuest Dissertations and Theses*. United States -- North Carolina.

- Çimen Güneş, C. 2021. "*Kekik özütü kullanarak yeşil sentezlenmiş gümüş nanopartikül katkılı pcl/pla nanokompozit fiber üretimi, karakterizasyonu ve antibakteriyel etkisinin araştırılması*" (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Demirel, N. 2012. "*Elektro çekim yöntemiyle elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip nanolif üretimi*" (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Demirel, R. B. 2016. "*Elektroçekim yöntemi ile nanofiber üretimi ve uygulamaları*" (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Ekrem, M. 2006. "*Cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları*" (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Engin, F. Z. 2011. "*Polianilin poliester (pani/pes) ve polianilin poliamid (pani/pa) kompozit kumaşlarının oluşturulması, elektromanyetik kalkanlama etkinliklerinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*" (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniveristesi, İstanbul.
- Esmeray, E., Özata, O. 2019. "Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliğinde Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 521-527.
- Formicone, G. F. 2018. "A Highly Manufacturable 75-150 VDC GaN-SiC RF Technology for Radars and Particle Accelerators". *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 31(4), 440-446.
- García, E. J., Hart, A. J., Wardle, B. L., Slocum, A. H. 2007. "Fabrication and nanocompression testing of aligned carbon-nanotube-polymer nanocomposites". *Advanced Materials*, 19(16), 2151-2156.
- Garcia, E. J., Wardle, B. L., John Hart, A. 2008. "Joining prepreg composite interfaces with aligned carbon nanotubes". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(6), 1065-1070.
- Güçlü, N. 2023. "*Antosiyanin katkı polikaprolakton esaslı nanoliflerin elektro çekim yöntemi ile üretimi ve pH sensörü olarak kullanımlarının araştırılması*" (Yüksek Lisans Tez.). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Hayırkuş, A. 2021. "*Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme esaslı çok hafif sandviç plakların sonlu elemanlar analiz yöntemi ve deneysel olarak incelenmesi*" (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.

- Hong, X., Peng, T., Zhu, C., Wan, J., Li, Y. 2021. "Electromagnetic shielding, resistance temperature-sensitive behavior, and decoupling of interfacial electricity for reduced graphene oxide paper". *Journal of Alloys and Compounds*, 882.
- Ibrahim, H. M., Klingner, A. 2020. "A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications". *Polymer Testing*, 90.
- İbrahim, M. M. A. 2019. "*Bursa uludağ üniversitesi merkez yerleşkesinde farklı frekans bantlarının elektromanyetik alan kirliliğine etkisinin analizi*" (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- İşler, H. 2015. "*Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin esneklik katsayılarının ultrasonik ölçümü*" (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Jeong, J. S., Jeon, S. Y., Lee, T. Y., Park, J. H., Shin, J. H., Alegaonkar, P. S., ... Yoo, J. B. 2006. "Fabrication of MWNTs/nylon conductive composite nanofibers by electrospinning". *Diamond and Related Materials*, 15(11), 1839-1843.
- Jia, J., Sun, X., Lin, X., Shen, X., Mai, Y. W., Kim, J. K. 2014. "Exceptional electrical conductivity and fracture resistance of 3D interconnected graphene foam/epoxy composites". *ACS Nano*, 8(6), 5774-5783.
- Kahraman, H. T., Yar, A., Avcı, A., Pehlivan, E. 2018. "Preparation of nanoclay incorporated PAN fibers by electrospinning technique and its application for oil and organic solvent absorption". *Separation Science and Technology*, 53(2), 303-311.
- Karakaş, B. 2012. "*Nanoakışkan malzemelerin elektromanyetik ekranlama özellikleri*" (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Kayhan, E. 2003. "*Çift enerjili X-Işını absorpsiyometrisi tekniği kalite kontrol ölçümlerine ilişkin değerlendirme*" (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kazemi, M. E., Shanmugam, L., Dadashi, A., Shakouri, M., Lu, D., Du, Z., ... Yang, J. 2021. "Investigating the roles of fiber, resin, and stacking sequence on the low-velocity impact response of novel hybrid thermoplastic composites". *Composites Part B: Engineering*, 207.
- Kazemi, M. E., Shanmugam, L., Lu, D., Wang, X., Wang, B., Yang, J. 2019. "Mechanical properties and failure modes of hybrid fiber reinforced polymer composites with a novel liquid thermoplastic resin, Elium®". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 125.

- Kocaman, B., Altun, K., Aydın, R., Yalçın, M., Demirbaş, M. 2020. "*Türkiye'de mühendislik ve fen bilimlerinde akademik araştırmalar*". (K. Altun, Ed.). Ankara: İksad Yayınevi. Geliş tarihi gönderen [www.iksadyayinevi.com](http://www.iksadyayinevi.com)
- Koyuncu, K. 2020. "*Elektromanyetik ekranlama özelliği gösteren uhmwpe-ni kompozitlerinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu*" (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Laffont, L., Monthieux, M., Serin, V., Mathur, R. B., Guimon, C., Guimon, M. F. 2004. "An EELS study of the structural and chemical transformation of PAN polymer to solid carbon". *Carbon*, 42(12-13), 2485-2494.
- Liang, C., Hamidinejad, M., Ma, L., Wang, Z., Park, C. B. 2020. "Lightweight and flexible graphene/SiC-nanowires/ poly(vinylidene fluoride) composites for electromagnetic interference shielding and thermal management". *Carbon*, 156, 58-66.
- Lu, M., He, B., Wang, L., Ge, W., Lu, Q., Liu, Y., Zhang, L. 2012. "Preparation of polystyrene-polyisoprene core-shell nanoparticles for reinforcement of elastomers". *Composites Part B: Engineering*, 43(1), 50-56.
- Lv, D., Zhu, M., Jiang, Z., Jiang, S., Zhang, Q., Xiong, R., Huang, C. 2018. "Green Electrospun Nanofibers and Their Application in Air Filtration". *Macromolecular Materials and Engineering*, 303(12).
- Lv, H., Liang, X., Ji, G., Zhang, H., Du, Y. 2015. "Porous three-dimensional flower-like Co/CoO and its excellent electromagnetic absorption properties". *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(18), 9776-9783.
- Mutlu, G., Yıldırım, F., Ulus, H., Eskizeybek, V. 2023a. "Coating graphene nanoplatelets onto carbon fabric with controlled thickness for improved mechanical performance and EMI shielding effectiveness of carbon/epoxy composites". *Engineering Fracture Mechanics*, 284.
- Mutlu, G., Yıldırım, F., Ulus, H., Eskizeybek, V. 2023b. "Coating graphene nanoplatelets onto carbon fabric with controlled thickness for improved mechanical performance and EMI shielding effectiveness of carbon/epoxy composites". *Engineering Fracture Mechanics*, 284.
- Özsevgeç, T., Yayla Eskici, G. 2019. "Nanoteknoloji". İçinde D. Yener (Ed.), *Fiziğin bilim ve teknolojiadaki uygulamalar* (ss. 177-189). Ankara: Pegem Akademi.

- Peng, T., Wang, S., Xu, Z., Tang, T., Zhao, Y. 2022. "Multifunctional MXene/Aramid Nanofiber Composite Films for Efficient Electromagnetic Interference Shielding and Repeatable Early Fire Detection". *ACS Omega*, 7(33), 29161-29170.
- Ren, X., Meng, X., Chen, D., Tang, F., Jiao, J. 2005. "Using silver nanoparticle to enhance current response of biosensor". *Biosensors and Bioelectronics*, 21(3), 433-437.
- Sugumaran, D., Juhanni, K., Karim, A. 2017. "Removal of copper (II) ion using chitosan-graft-poly(methyl methacrylate) as adsorbent".
- Süslü, A. 2009. "*Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber ve nanotüp üretimi*" (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Şenyurt, M. A. 2017. "*Grafen ve naylon 6.6 nano elyaf katkılı yapıştırıcıların alüminyum-karbon elyaf takviyeli kompozit levhaların yapıştırma bağlantılarına farklı sıcaklık koşulları altında etkisi*" (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Tezel, S. 2013. "*Elektromanyetik ekranlama özellikli örme kumaş geliştirilmesi*" (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Vijayakumari, G., Selvakumar, N., Jeyasubramanian, K., Mala, R. 2013. "Investigation on the electrical properties of polymer metal nanocomposites for physiological sensing applications". İçinde *Physics Procedia* (C. 49, ss. 67-78). Elsevier B.V.
- Vijayaraghavan, R., Islam, S. K., Zhang, M., Ripp, S., Caylor, S., Bull, N. D., ... Sayler, G. S. 2007. "A bioreporter bioluminescent integrated circuit for very low-level chemical sensing in both gas and liquid environments". *Sensors and Actuators B: Chemical*, 123(2), 922-928.
- Wang, B., Sun, L., Wu, N., Wang, Y. 2017. "Combined synthesis of aligned SiC nanofibers via electrospinning and carbothermal reduction". *Ceramics International*, 43(13), 10619-10623.
- Wang, C., Wang, W., Zhang, L., Zhong, S., Yu, D. 2019. "Electrospinning of PAN/Ag NPs nanofiber membrane with antibacterial properties". *Journal of Materials Research*, 34(10), 1669-1677.
- Yadav, S. N., Kumar, V., Verma, S. K. 2006. "Fracture toughness behaviour of carbon fibre epoxy composite with Kevlar reinforced interleave". *Materials Science and Engineering: B*, 132(1), 108-112.
- Yan, B., Zhang, Y., Li, Z., Zhou, P., Mao, Y. 2022. "Electrospun nanofibrous membrane for biomedical application". *SN Applied Sciences*, 4(6).

- Yar, A. 2017. "*Elektrospin yöntemiyle üretilmiş nano-mat katmanın karbon kumaş/epoksi kompozitlerde kırılma davranışına ve mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesi*" (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Yeo, L. Y., Friend, J. R. 2006. "Electrospinning carbon nanotube polymer composite nanofibers". *Journal of Experimental Nanoscience*, 1(2), 177-209.
- Yıldırım, F., Kabakçı, E., Şaş, H. S., Eskizeybek, V. 2022. "Multi-walled carbon nanotube grafted 3D spacer multi-scale composites for electromagnetic interference shielding". *Polymer Composites*, 43(8), 5690-5703.
- Yılmaz, R. 2014. "Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler". *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 4(1), 136-150.
- Zaroushani, V., Khavanin, A., Mortazavi, S. B., Jonidi Jafari, A. 2016. "Efficacy of Net Epoxy Resin for Electromagnetic Shielding in X-Band Frequency Range". *Health Scope*, 5(3).
- Zhang, N., Zhao, R., He, D., Ma, Y., Qiu, J., Jin, C., Wang, C. 2019. "Lightweight and flexible Ni-Co alloy nanoparticle-coated electrospun polymer nanofiber hybrid membranes for high-performance electromagnetic interference shielding". *Journal of Alloys and Compounds*, 784, 244-255.
- Zhao, F. 2009. "71 W (19.7 W/mm) SiC BJTs for long-pulse UHF radar applications". *Solid-State Electronics*, 53(11), 1169-1172.