

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**NADİR TOPRAK ELEMENTİ KATKILI POLİMER KOMPOZİT SENTEZİ  
VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN CEVAP YÜZEY YÖNTEMİ İLE  
OPTİMİZASYONU**

**Rabia İNCESU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYASAL TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Gülben TORĞUT**

**TUNCELİ - 2024**

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NADİR TOPRAK ELEMENTİ KATKILI POLİMER KOMPOZİT SENTEZİ  
VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN CEVAP YÜZEY YÖNTEMİ İLE  
OPTİMİZASYONU

Rabia İNCESU  
(200160011)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYASAL TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Gülben TORĞUT

TUNCELİ - 2024

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

NADİR TOPRAK ELEMENTİ KATKILI POLİMER KOMPOZİT SENTEZİ VE  
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN CEVAP YÜZEY YÖNTEMİ İLE  
OPTİMİZASYONU

Rabia İNCESU  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYASAL TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

Bu tez 04/ 01/ 2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza

İmza

İmza

Doç. Dr. Mehtap TANYOL  
(Munzur Üniversitesi)

Doç. Dr. Gülben TORĞUT  
(Munzur Üniversitesi)

Doç. Dr. Ersin PEKDEMİR  
(Fırat Üniversitesi)

BAŞKAN

DANIŞMAN

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Doç. Dr. Murat KORUNUR

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

**Proje No: YLMUB022-01**

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

04/01/2024

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Rabia İncesu

Danışman

Doç. Dr. Gülben TORĞUT

## TEŞEKKÜR

Yoğun alıŐma temposuna rağmen benden yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Gülben TORęUT'a sonsuz teşekkür ederim.

Rabia İncesu



## İÇİNDEKİLER

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>I</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Polimer Nedir?.....	1
1.2. Polimerlerin Sınıflandırılması .....	2
1.2.1. Molekül ağırlıklarına göre polimerler .....	2
1.2.2. Doğada bulunup, bulunmamasına göre polimerler .....	2
1.2.3. Kimyasal bileşimlerine göre polimerler .....	3
1.2.3.1. Organik polimerler .....	3
1.2.3.2. İnorganik polimerler .....	3
1.2.4. Isıya veya çözücülere karşı gösterdikleri davranışa göre polimerler .....	3
1.2.4.1. Elastomerler .....	3
1.2.4.2. Fiberler .....	4
1.2.4.3. Termoplastik polimerler .....	4
1.2.4.4. Termoplastik elastomer polimerler .....	4
1.2.4.5. Termoset polimerler .....	5
1.2.5. Fiziksel yapılarına göre polimerler .....	5
1.2.6. Bağ yapılarına göre polimerler .....	5
1.2.7. Zincir yapısına göre polimerler .....	6
1.2.8. Sentezlenme şekillerine göre polimerler .....	7
1.2.8.1. Kondenzasyon polimerleri .....	7
1.2.8.2. Katılma polimerleri .....	7
1.3. Polimerlerin Sentez Yöntemleri .....	7
1.3.2.1. Serbest radikalik zincir polimerizasyonu .....	8
1.3.2.2. İyonik polimerizasyon .....	9
1.4. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri .....	10
1.5. İletken Polimerler .....	11
1.5.1. İletken polimerlerin yapısı .....	12
1.5.2. Polimerlerde iletkenlik mekanizması .....	12
1.6. Polimerlerin Dielektrik Sabiti .....	12
1.7. Polimerlerin Dielektrik Kaybı .....	13
1.8. Maleik Anhidrit (MA), Monomeri .....	13
1.9. Stiren (St), Monomeri .....	15
1.10. Cevap Yüzeyi Yöntemi .....	16
1.11. Nadir Toprak Elementleri ve Özellikleri .....	16
1.12. Kadmiyum Sülfür (CdS) .....	19
1.13. Literatürde Polimerlerin Elektriksel Özellikleri Ve CYY ile İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	20
<b>2. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>25</b>
2.1. Kimyasal Maddeler .....	25

2.2. Poli (Maleik anhidrit-Stiren) Kopolimerinin Sentezi .....	25
2.3. Poli (Maleik anhidrit-Metil Metakrilat) Kopolimerlerinin Sentezi .....	25
2.4. Poli (Maleik anhidrit-Stiren)-Kadmiyum Sülfid Kompozitinin Sentezi .....	26
2.5. Poli (Maleik anhidrit- Metil Metakrilat)-Seryum (III) Nitrat Kompozitinin Sentezi ...	26
2.6. Hazırlanan Polimerler ve Kompozitlerin Karakterizasyonu .....	27
2.7. Cevap Yüzey Yöntemi ile Deneysel Dizayn .....	27
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>29</b>
3.1. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin FTIR Analizi ...	29
3.2. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin FTIR Analizi .....	30
3.3. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX Analizi .....	31
3.4. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX Analizi .....	33
3.5. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD Analizi ...	35
3.6. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD Analizi .....	35
3.7. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin Termal Analizi	37
3.8. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin Termal Analizi .....	38
3.9. Cevap Yüzey Yöntemi İle Parametreler Arasındaki Etkileşim Etkilerinin Belirlenmesi.....	39
3.9.1. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin ikinci dereceden cevap yüzey modeli için ANOVA.....	39
3.9.2. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin dielektrik sabiti için cevap yüzey ve kontur eğrileri.....	43
3.9.3. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin iletkenlik için cevap yüzey ve kontur eğrileri .....	46
3.9.4. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin ikinci dereceden cevap yüzey modeli için ANOVA.....	48
3.9.5. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabiti için cevap yüzey ve kontur eğrileri.....	52
3.9.5. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin iletkenliği için cevap yüzey ve kontur eğrileri.....	54
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>56</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>64</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Polimer'in temel yapı taşları .....	1
Şekil 1.2. Polimerlerin kullanım alanları.....	1
Şekil 1.3. Doğal polimerler .....	2
Şekil 1.4. Zincir yapısına göre polimerler.....	7
Şekil 1.5. Şematik Serbest Radikalik Zincir Polimerizasyonu.....	9
Şekil 1.6. Şematik Katyonik Zincir Polimerizasyonu .....	10
Şekil 1.7. Şematik Anyonik Zincir Polimerizasyonu .....	10
Şekil 1.8. Kompozitlerin kullanım alanları .....	11
Şekil 1.9. Şematik Kompozit oluşumu.....	11
Şekil 1.10. Polimer İletkenlik Mekanizması .....	12
Şekil 1.11. MA Kimyasal Yapısı ve fiziksel görünüşü.....	14
Şekil 1.12. MA'in halka açılma reaksiyonu.....	14
Şekil 1.13. Polistirenin sentez reaksiyonu.....	15
Şekil 1.14. NTE'lerin gösterildiği periyodik cetvel .....	17
Şekil 1.15. Bazı NTE'lerin fiziksel görünüşü .....	17
Şekil 1.16. CeNO <sub>3</sub> element hali.....	18
Şekil 1.17. CdS'in fiziksel görünüşü.....	20
Şekil 2.1. Poli (MA-ko-St) kopolimerinin sentez reaksiyonu .....	25
Şekil 2.2. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin sentez reaksiyonu .....	26
Şekil 3.1. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin FTIR spektrumu .....	30
Şekil 3.2. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve %20 CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitinin FTIR spektrumu.....	31
Şekil 3.3. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX resimleri .....	33
Şekil 3.4. Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX resimleri.....	34
Şekil 3.5. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD Grafiği.....	35
Şekil 3.6. Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD grafiği.....	36
Şekil 3. 7. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA Grafiği.....	37
Şekil 3.8. Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA grafiği.....	39
Şekil 3. 9. Poli(MA-ko-St) polimerinin dielektrik sabitinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri.....	45
Şekil 3. 10. Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için arzu edirlilik grafiği.....	45
Şekil 3. 11. Poli(MA-ko-St) polimerinin elektriksel iletkenliğinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri .....	47
Şekil 3.12. Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için arzu edirlilik grafiği.....	48
Şekil 3.13. Poli(MA-ko-MMA) polimerinin dielektrik sabitinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri .....	53

<b>Şekil 3.14.</b> Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için Poli(MA-ko-MMA) dielektrik sabitinin arzu edilirlilik grafiği .....	53
<b>Şekil 3.15.</b> Poli(MA-ko-MMA) polimerinin iletkenliğinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri.....	55
<b>Şekil 3.16.</b> Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için Poli(MA-ko-MMA)'ın iletkenliğinin arzu edilirlilik grafiği.....	55



## TABLÖLAR LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Poli(MA-ko-St)'nin Elektriksel ölçümleri için deneysel faktörler ve seviyeleri .....	28
<b>Tablo 2.2.</b> Poli(MA-ko-MMA)'ın Elektriksel ölçümleri için deneysel faktörler ve seviyeleri .....	28
<b>Tablo 3.1.</b> Poli(MA-ko-St) kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA sonuçları.....	38
<b>Tablo 3.2.</b> Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO <sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA sonuçları .....	39
<b>Tablo 3.3.</b> Merkezi kopmozit tasarıma göre deneysel faktörler ve $\epsilon$ ve iletkenlik sonuçları .....	40
<b>Tablo 3.4.</b> Poli(MA-ko-St)'nin dielektrik sabiti için Varyans analizi (ANOVA) .....	41
<b>Tablo 3.5.</b> Poli(MA-ko-St)'nin elektriksel iletkenliği için Varyans analizi (ANOVA) .....	43
<b>Tablo 3.6.</b> Merkezi kopmozit tasarıma göre deneysel faktörler ve $\epsilon$ ve iletkenlik sonuçları .....	48
<b>Tablo 3.7.</b> Poli(MA-ko-MMA)'ın dielektrik sabiti için Varyans analizi (ANOVA) .....	50
<b>Tablo 3.8.</b> Poli(MA-ko-MMA)'ın iletkenliği için Varyans analizi (ANOVA) .....	51

## SEMBOLLER VE KISALMALAR LİSTESİ

NTE	: Nadir Toprak Elementleri
CdS	: Kadmiyum Sülfid
CeNO <sub>3</sub>	: Seryum (III) Nitrat
ε	: Dielektrik sabiti
σ	: Elektriksel iletkenlik
CYY	: Cevap Yüzey Yöntemi
ANOVA	: Varyans analizi
FTIR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrofotometre
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-ışını Difraktometresi
TGA	: Termogravimetrik analiz
MA	: Maleik anhidrit
St	: Stiren
MMA	: Metil Metakrilat
AIBN	: 2,2-bis İzobütironitril
Poli (MA-ko-St)	: Poli (Maleik anhidrit-ko-Stiren)
Poli (MA-ko-MMA)	: Poli (Maleik anhidrit-ko-Metil Metakrilat)

## ÖZET

Son yıllarda polimerlere farklı katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilen kompozitlerin elektriksel özellikleri ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada katkı maddesi olarak stratejik öneme sahip Nadir Toprak Elementlerinin (NTE) tuzlarından olan Kadmiyum Sülfid ( $CdS$ ) ve Seryum (III) Nitrat Hekzahidrat ( $CeNO_3 \cdot 7H_2O$ ) tuzları kullanılmıştır. Tez kapsamında, Maleik Anhidrit monomeri ile Stiren ve Metil Metakrilat monomerlerinin kopolimerleri Serbest Radikalik Polimerizasyon metoduyla sentezlenmiştir. Bu kopolimerlerin dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ) ve elektriksel iletkenliklerini ( $\sigma$ ) optimize etmek için Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanılmıştır. Seçilen proses parametreleri (frekans, uygulanan gerilim ve NTE miktarı) arasındaki niceliksel ilişki ve bu parametrelerin modeldeki önemi varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Her iki kopolimer içinde frekansın artmasıyla dielektrik sabiti azalırken iletkenliği artış göstermiştir. NTE içeriğinin artışıyla her iki kopolimerinde elektriksel iletkenlik değerlerinde artış olmuştur. Uygulanan gerilimin her iki kopolimerde de  $\epsilon$  ve  $\sigma$  üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. ANOVA sonuçlarına göre modelin en önemli parametresi NTE miktarıdır. CYY programına uygun olarak sentezlenen kompozitlerin yapısal özellikleri Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektrofotometre (FTIR), yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskopu Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile araştırılmıştır. FTIR testleri kompozitlerde kimyasal bağlarda önemli bir değişimin bulunmadığını göstermiştir. SEM sonuçları, NTE'lerin polimer içerisinde homojen bir dağılım gösterdiğini ve polimer yüzey özelliklerini pürüzsüzleştirdiğini göstermiştir. X-ışını difraktometresi (XRD) analizi ile polimerler içindeki NTE varlığı kanıtlanmıştır. NTE'lerin polimerlerin termal özellikleri üzerine etkisi termogravimetrik analiz (TGA) ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer kompozit, Nadir Toprak elementi, Dielektrik sabiti, İletkenlik, Cevap Yüzey Yöntemi

## ABSTRACT

### Rare Earth Element Added Polymer Composite Synthesis and Optimization of Electrical Properties Using The Response Surface Method

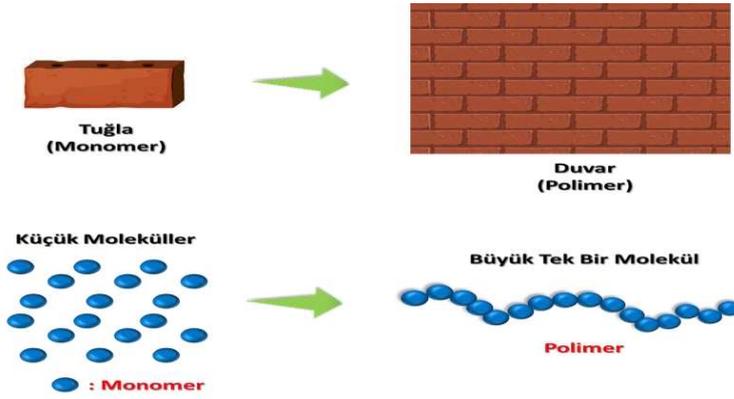
In recent years, many studies have been carried out on the electrical properties of composites obtained by adding different additives to polymers. In this study, Cadmium Sulfide and Cerium (III) Nitrate Hexahydrate salts, which are salts of strategically important Rare Earth Elements (REE), were used as additives. Within the scope of the thesis, copolymers of Maleic Anhydride monomer with Styrene and Methyl Methacrylate monomers were synthesized by the Free Radical Polymerization Method. Response Surface Method (RSM) was used to optimize the dielectric constant ( $\epsilon'$ ) and electrical conductivity ( $\sigma$ ) of these copolymers. The quantitative relationship between the selected process parameters (frequency, applied voltage and REE amount) and the importance of these parameters in the model were evaluated by analysis of variance (ANOVA). In both copolymers, as the frequency increased, the dielectric constant decreased and the conductivity increased. With the increase in REE content, there was an increase in the electrical conductivity values of both copolymers. It was observed that the applied voltage did not have a significant effect on  $\epsilon'$  and  $\sigma$  in both copolymers. According to ANOVA results, the most important parameter of the model is the amount of REE. The structural properties of the composites synthesized in accordance with the RSM program were investigated by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and the surface morphology was investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM). FTIR tests showed that there was no significant change in chemical bonds in the composites. SEM results showed that REEs were distributed homogeneously within the polymer and smoothed the polymer surface features. The presence of REE in polymers has been proven by X-Ray Diffraction (XRD) analysis. The effect of REEs on the thermal properties of polymers was examined by thermogravimetric analysis (TGA).

**Keywords:** Polymer composite, Rare Earth element, Dielectric constant, Conductivity, Response Surface Method

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Polimer Nedir?

Monomer adı verilen küçük moleküller uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimer moleküllerine dönüşürler. Şekil 1.1’de temsili monomer ve polimer kavramları gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Polimer’in temel yapı taşları

Polimerler zamanın başlangıcı; yaşamın temelini (yapı taşlarını) oluştururlar. Bu nedenle de başından beri bizimle birlikteydi. Hayvanlar, bitkiler ve tüm canlı organizmalar polimerlerden oluşur. Ancak polimerlerin gerçek doğasını 20. yüzyılın ortalarıyla birlikte anlamaya başladık. Kısa bir sürede de polimerik malzemelerin kullanımı her yere nüfuz etmiştir. Günümüzde polimerler, günlük hayatımızın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv, inşaat, lastik, medikal, giyim, oyuncak, enerji ve günlük kullanım araçlarının üretimi gibi birçok sektörde polimerler bulunmaktadır. Polimerler doğal olarak oluşabileceği gibi tamamen sentetik de olabilir (URL-1, 2023). Polimerlerin bazı kullanım alanları Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Polimerlerin kullanım alanları

## 1.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

- Molekül ağırlıklarına bağlı olarak (oligomer, makromolekül)
- Doğada bulunup, bulunmamasına bağlı olarak (doğal, yapay)
- Kimyasal bileşimlerine bağlı olarak (Organik, İnorganik )
- Isıya karşı gösterdikleri davranışa bağlı olarak
- Fiziksel yapılarına bağlı olarak (kristal, amorf)
- Bağ yapılarına bağlı olarak (doğrusal, dallanmış, çapraz bağlı)
- Zincir yapısına bağlı olarak (homopolimer, kopolimer)
- Sentezlenme şekillerine bağlı olarak (kondenzasyon, katılma) gibi özelliklerine göre sınıflandırılırlar (Kalkan, 2022).

### 1.2.1. Molekül ağırlıklarına göre polimerler

Molekül ağırlığı 500-600 g/mol civarında olan polimerlere oligomer adı verilir. Oligomer genellikle 2-10 sayıda monomerin birleşmesiyle oluşur. Yüksek molekül ağırlıklı bileşikler çoğu zaman daha uygun bir sözcük olan " Makromoleküller " olarak da isimlendirilirler.

### 1.2.2. Doğada bulunup, bulunmamasına göre polimerler

Doğadaki canlıların bünyelerinde var olan polimerlerdir. Nişasta, selüloz, doğal kauçuk vb. biyolojik aktifliğe sahip protein gibi polimerler örnek verilebilir. Doğal polimerlerin bazıları ise farklı yapıda değişik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Biyopolimer olarak isimlendirilen ve yaşamla ilgili birçok önemli faaliyetin yürütülmesinde rol alan proteinler, nükleik asitler (DNA, RNA) ve enzimler de doğal polimerlere örnek olarak verilebilir (Hamade, 2023). Şekil 1.3 doğal polimer örnekleridir.



Şekil 1.3. Doğal polimerler

### **1.2.3. Kimyasal bileşimlerine göre polimerler**

#### **1.2.3.1. Organik polimerler**

Yapılarında başta Karbon atomu olmak üzere Hidrojen, Oksijen, Azot ve Halojen (Flor, Klor, Brom, İyot) atomu bulunan polimerlerdir. Organik polimer malzemeler büyük ölçüde doğal biyolojik olarak parçalanabilen ve sentetik, toksik olmayan biyolojik olarak parçalanabilen polimerler olarak sınıflandırılır. Bozulmamış organik polimerlerin performansını artırmak için enzimler, kimyasallar ve ısı işlemleri kullanılarak doğal yapıları değiştirilir. Hem kitinin alkalik deasetilasyonundan elde edilen kitosan gibi doğal organik polimerler hem de polivinil piroolidon (PVPy), polilaktit ve polianilin (PAN) gibi sentetik organik polimerler toksik değildir, biyouyumludur, kimyasal olarak stabildir ve çevresel açıdan zararsızdır (Rullyani ve ark., 2011).

#### **1.2.3.2. İnorganik polimerler**

Ana zincirde Karbon atomu yerine periyodik cetvelde yer alan 4. ve 6. grup elementleri (Silisyum, Fosfor, Kükürt) gibi başka atomlar bulunduran polimerlere inorganik polimer denir. İnorganik polimerler yapılarında organik kısım da bulundurabilirler. Alümina silikat, doğal ve sentetik zeolitler inorganik polimer tipine örnek verilebilir (URL-2, 2023).

### **1.2.4. Isıya veya çözücülere karşı gösterdikleri davranışa göre polimerler**

#### **1.2.4.1. Elastomerler**

Elastik özellikli kauçuğa benzer katı yapısındadırlar. Bu tür elastomerik polimerlerde polimer zincirlerini bir arada tutan çok zayıf moleküller arası kuvvetler vardır. Bu zayıf kuvvetler polimerin uzatılabilmesine yardımcı olurlar. Zincirler arasında birkaç tane çapraz bağ atılır ki bu polimerin kuvvetleri tekrar toplanarak eski sertleşmiş haline dönmesini sağlar.

#### **1.2.4.2. Fiberler**

Polimer elyaflar, tamamen fiziksel bir süreçle doğal malzemelerden elde edilmek yerine sentetik kimyasallara (genellikle petrokimyasal kaynaklardan) dayanan yapay elyafların bir alt kümesidir. Fiberler çok güçlü mekanik özelliklere sahiptirler. Bu durum Hidrojen bağı gibi güçlü moleküller arası bağlarla ilgili olabilir. Bu yüzden de kristalin formda bulunurlar. Kıyafetler, halıda kullanılan ipler, halatta fiber yapılar kullanılır. Naylon fiberi çok kuvvetlidir daha doğrusu çekip uzatamazsınız.

#### **1.2.4.3. Termoplastik polimerler**

Plastik kelimesini günlük hayatta çok kullanırız. Plastik denmesinin sebebi bükülebilir, her şekle girebilir ve kalıba kolaylıkla sokulabilmeleridir. Sıcak olduklarında ise bu işlemler daha da kolaylaşır. Termoplastikler, işlenmeden önce ısıtılarak yumuşatılabilen, daha sonra soğumaya ve sertleşmeye bırakılabilen polimerlerdir. Soğuduktan sonra kimyasal özelliklerinde hiçbir değişiklik görülmez, bu da yeniden eritilip birkaç kez yeniden kullanılacakları anlamına gelir.

#### **1.2.4.4. Termoplastik elastomer polimerler**

Termoplastik elastomerler, hem termoplastik hem de elastomerik özelliklere sahip malzemelerden oluşan bir kopolimer sınıfı veya polimerlerin (genellikle plastik ve kauçuk) fiziksel bir karışımıdır. Termoplastik elastomerler hem kauçuksu malzemelere hem de plastik malzemelere özgü avantajlar gösterir. Termoplastik elastomer kullanmanın faydası, orta derecede uzamalara kadar esneme ve diğer malzemelere göre daha uzun bir ömür ve daha iyi bir fiziksel aralık yaratarak neredeyse orijinal şekline dönme yeteneğidir. Termoset elastomerler ile termoplastik elastomerler arasındaki temel fark, yapılarındaki çapraz bağlanma tipidir. Aslında çapraz bağlanma, yüksek elastik özellikler kazandıran kritik bir yapısal faktördür (URL-3,2023).

#### 1.2.4.5. Termoset polimerler

Termosetler, uzun vadeli özellikleri nedeniyle birçok uygulamada tercih edilen yapı malzemeleridir. Termoset polimerlerin geri dönüşümü, teknolojik zorluğu nedeniyle acil çözülmesi gereken sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Termosetler dolgu malzemesi dışında aynı amaçla geri dönüştürülemez. Çok yüksek sıcaklıklara ısıtılsa bozunurlar.

#### 1.2.5. Fiziksel yapılarına göre polimerler

Molekül zincirlerinin birbirlerine göre tertiplenme şekilleri plastiklerin fiziksel yapısını meydana getirir. Bu bakımdan amorf, kristalin ve kısmi kristalin olmak üzere üç kısma ayrılırlar.

**Amorf polimerler;** Molekül zincirleri birbirlerine göre gelişigüzel şekilde birbiri içine girmiş yün yumakları şeklindedir. Moleküller kendi aralarında rastgele bağlanmış olup, kristalleşme ya da çapraz bağlar yoktur. Bu tip polimerler cama benzer ve saydamdırlar. Amorf yapıya sahip plastiklerin çekme mukavemetleri yüksektir.

**Kristalin polimerler;** Polimer zincirlerinin tamamı belli bir düzene girmiş veya kristalleşmiştir. Genellikle polimer eriğin veya çözeltilisinin soğutulmasıyla elde edilir. Kristalin yapının oluşması, molekül zincirlerinin şekline (lineer, dallanmış ve çapraz bağlı ve moleküller arasındaki kuvvetlere bağlıdır.

**Kısmi Kristalin polimerler;** Polimerik yapının bazı bölümleri kristalin bazı bölümleri amorf yapıdadır. Aynı kimyasal bileşime sahip fakat lineer ve dallanmış molekül zincirleri olan polimerlerdir. Bu plastiklerin özellikleri yapıda mevcut olan kristalin faz yüzdesine bağlıdır.

#### 1.2.6. Bağ yapılarına göre polimerler

##### 1.2.6.1. Düz zincirli (lineer) yapıda polimerler

En basit polimerdir ve tek bir düz karbon-karbon bağı çizgisi halinde bulunur. Doğrusal polimerler oluşturulduklarında lif şeritleri oluşturabilir veya çok güçlü ve

kırılması zor bir ağ oluşturabilir. Doğrusal polimerlerde dallanma yoktur. Yoğunlukları yüksektir. Yüksek erime ve kaynama noktasına sahiptirler. Doğrusal polimerlerin bazı yaygın örnekleri Teflon ve polipropilendir. (URL-4, 2023).

### 1.2.6.2. Dallanmış yapıda polimerler

Bir polimerlerin ana zincirlerine, kendi kimyasal yapısına benzer dal görüntüsünde başka zincirlerin kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşan polimerlere dallanmış zincirli polimerler adı verilir.

### 1.2.6.3. Çapraz bağlı yapıda polimerler

Çapraz bağlı polimerler, uzun polimer zincirlerinin, birbirine bağlı polimer zincirlerinden oluşan bir 3 boyutlu matris oluşturmak üzere birbirine çapraz bağlandığı polimerlerdir. Daha spesifik olarak, polimerin tüm kısmı çapraz bağlama yöntemine maruz bırakıldığında bir polimer çapraz bağlanmıştır. Bu polimer türü çözünmez, ancak uygun çözücülerde belli miktarda şişer. Çok çapraz bağa sahip polimerler çözücülerden etkilenmez. Çapraz bağlanmayla polimer zincirleri hareketliliklerini kaybeder. Bu nedenle erimeyecekleri ya da akmayacakları için kalıpla da şekillendirilemezler. Çapraz bağlı polimerlerin örnekleri arasında polyester cam elyafı, yapıştırıcılar, vulkanize kauçuk, epoksi reçineler bulunur.

### 1.2.7. Zincir yapısına göre polimerler

**Homopolimer;**Bir polimerin tek bir monomer biriminin tekrarlanmasından oluşmasıdır. Örnek: etilenden elde edilen polietilen ve stirenden elde edilen polistren

**Kopolimer;**Eğer polimer molekülü iki farklı monomerin birleşmesinden oluşuyorsa buna “kopolimer” denir. Şekil 1.4, zincir yapısına göre polimerleri özetlemektedir.

**Homopolymer :** -A-A-A-A-A-A-A-A

**Random copolymer :** -A-B-B-A-B-A-A-B

**Alternating copolymer :** -A-B-A-B-A-B-A-B

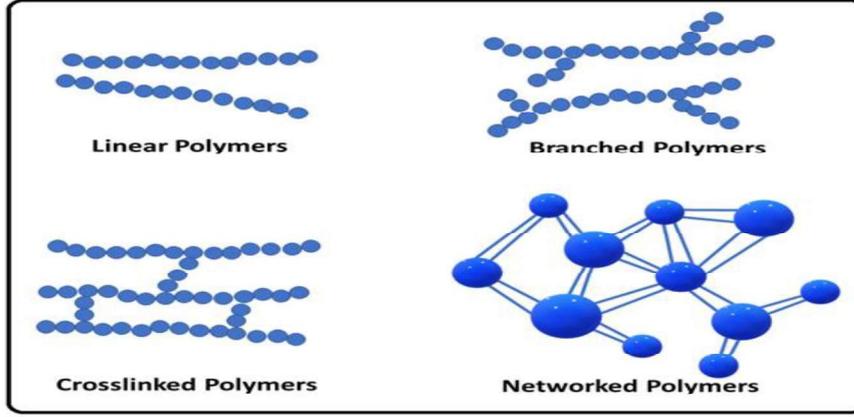
**Block copolymer :** -A-A-A-A-B-B-B-B

**Graft copolymer : -A-A-A-A-A-A-A-A**

**B**

**B**

**B**



**Şekil 1.4.** Zincir yapısına göre polimerler

### **1.2.8. Sentezlenme şekillerine göre polimerler**

#### **1.2.8.1. Kondenzasyon polimerleri**

-OH, -COOH ve -NH<sub>2</sub> gibi fonksiyonel gruplar içeren iki tane monomerin reaksiyona girerek açığa su veya amonyak gibi küçük gruplar açığa çıkar.

#### **1.2.8.2. Katılma polimerleri**

Sentez reaksiyonu bir çift bağı açılması ve monomerlerin birbirine zincirin halkaları gibi katılması ile oluşan polimerlerdir.

### **1.3. Polimerlerin sentez yöntemleri**

#### **1.3.1. Kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyon**

-OH, -COOH ve -NH<sub>2</sub> gibi fonksiyonel gruplar içeren iki tane monomerin reaksiyona girerek açığa su veya amonyak gibi küçük gruplar açığa çıkar. Polimerizasyon sırasında, ilk olarak bir dimer oluşur. Dimer, iki monomerin tepkimesi sonucu oluşur. Oluşan bu dimer de, başka monomerle tepkimeye girerek tetramere dönüşür ve bu 5

şekilde zincirler büyüme devam eder. Polimerizasyon ortamında monomer ve dimer türü küçük moleküller belli bir süreden sonra kalmaz. Bunun sonucunda polimerizasyon boyunca her boydaki zincir birbiriyle tepkimeye girebilir. Yüksek mol kütleli polimer polimerizasyonun sonuna doğru elde edilir çünkü polimerizasyon süresi arttıkça polimer mol kütlesi artar (URL-5, 2023).

### **1.3.2. Katılma (zincir) polimerlerizasyonu**

Sentez reaksiyonu bir çift bağın açılması ve monomerlerin birbirine zincirin halkaları gibi katılması ile oluşan polimerlerdir. Zincir katılma polimerizasyonunda genellikle doymamış bağlar içeren etilen, Stiren, Vinil Klorür gibi monomerler doğrudan birbirlerine katılarak polimer zincirini meydana getirirler.

Katılma (Zincir) Polimerizasyonu;

Serbest radikaller

İyonlar (anyonlar ve katyonlar)

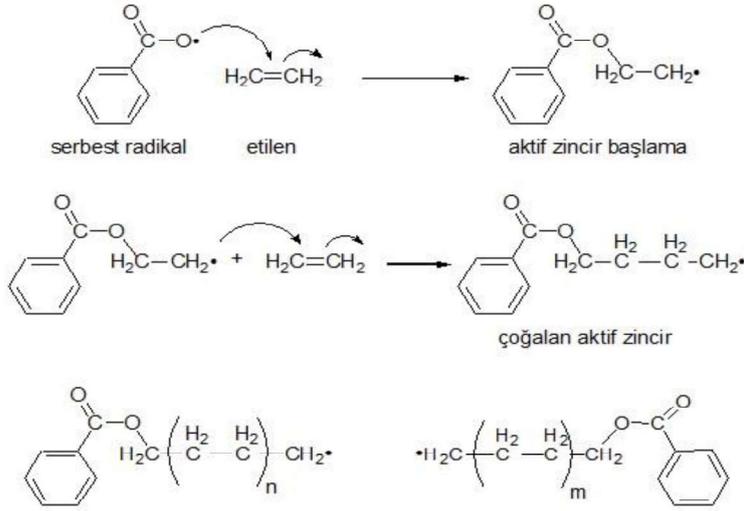
Koordinasyon kompleks sistemler üzerinden yürürler.

Katılma (Zincir) polimerizasyon yöntemlerinin hepsinde bulunan en önemli ortak özelliği, polimer zincirinin çok kısa sürede (0.1 sn gibi) yüksek molekül ağırlığına (105 – 107 gibi) ulaşmasıdır. Reaksiyonun başlamasından çok kısa bir sürede bile, ortamda çok az fakat oldukça yüksek molekül ağırlıklı polimer ve çok sayıda monomer vardır. Zaman ilerledikçe monomerlerin polimere dönüşümü artar, ancak oluşan polimerin molekül ağırlığı değişmez.

#### **1.3.2.1. Serbest radikalik zincir polimerizasyonu**

Serbest radikal polimerizasyonu, vinil monomerlerden polimerler oluşturmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Serbest radikal polimerizasyonu, temel adımlar olarak başlatma, yayılma, zincir aktarımı ve sonlandırmadan oluşan bir zincir reaksiyon mekanizması yoluyla ilerler. Azo bileşikleri ve peroksitler, serbest radyal polimerizasyon proseslerinde ticari olarak kullanılan başlıca başlatıcılardır (Saçak, 1998). İlk reaksiyon veya başlangıç basamağı, monomerlerle reaksiyona girerek yayılan radikaller oluşturan oldukça aktif serbest radikaller üretir. Daha sonra, çoğalma basamağında, bu çoğalan radikaller mevcut monomerlerle reaksiyona girmeye devam ederek polimerlerin etkili bir

şekilde oluşmasını sağlar. Sonlanma basamağı, çoğalan radikal polimer rekombinasyona veya orantısızlaşmaya maruz kaldığında meydana gelir. Zincir transfer reaksiyonları, çoğalan radikalın sistemdeki diğer kimyasal türlerle reaksiyona girmesiyle meydana gelir.

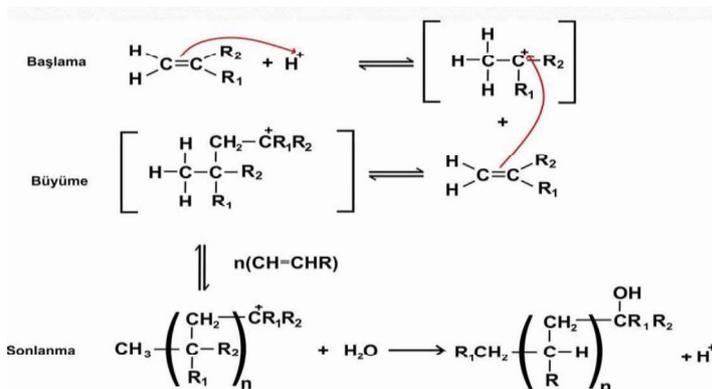


Şekil 1.5. Şematik Serbest Radikalik Zincir Polimerizasyonu

### 1.3.2.2. İyonik polimerizasyon

#### Katyonik zincir polimerizasyonu

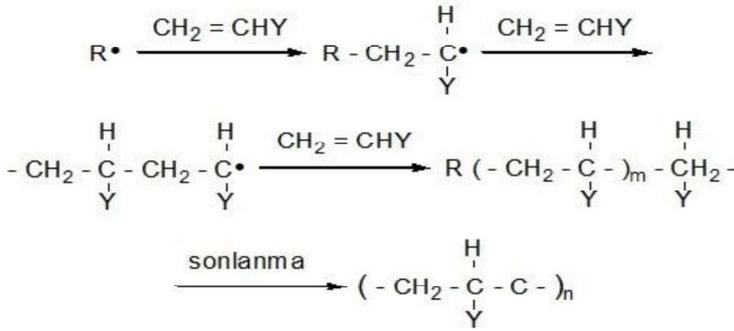
Katyonik polimerizasyon, monomerlerin oluşan katyonik merkeze katılmasıyla zincir büyümesi üzerinden ilerleyen iyonik polimerizasyon türüne verilen addır. Büyüyen zincir ucunda bulunan protonun monomer, polimer, karşı iyon veya çözücüye transfer reaksiyonları ile katyonik polimerizasyonun sonlanması gerçekleşir.



## Şekil 1.6. Şematik Katyonik Zincir Polimerizasyonu

### Anyonik zincir polimerizasyonu

Anyonik aktif merkez oluşumu anyonun doğrudan monomere katılması veya elektron aktarımı sonucu anyonik polimerizasyonun gerçekleşir. Anyonik aktif merkez üzerinden zincire monomerlerin katılmasıyla da ilerler. Anyonik polimerizasyon, polimerizasyon ortamında bulunan safsızlıklar nedeniyle veya sonlaması ortamdaki monomerlerin tükenmesiyle gerçekleşir (Saçak, 1998).



## Şekil 1.7. Şematik Anyonik Zincir Polimerizasyonu

### 1.4. Kompozit malzemeler ve özellikleri

İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek daha üstün özellikli malzeme oluşturulmasıdır. Kompozit maddeler genel olarak matris ismi verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı ismi iki bileşenden meydana gelir. Bu iki bileşen grubundan, matris malzeme plastikde formasyona geçişte oluşabilecek çatlak, şekil bozukluğu gibi sorunların ilerlemelerini önleyici ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmek gibi etkilere de sahiptir. Takviye malzemesi ise kompozitlere dayanıklılık ve yük taşıma özelliğini vermektedir. Kompozit malzemeler yaygın malzemelerle karşılaştırıldığında daha ucuz, daha hafif, daha güçlü veya daha dayanıklı olan malzemeleri içermektedir.



**Şekil 1.8.** Kompozitlerin kullanım alanları

Son yarım yüzyıla damgasını vuran polimer kompozitler, bugün endüstri dallarına hakimiyetinin yanında, sosyo-ekonomik ortamın da vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Tüm kara, hava ve deniz taşıtlarının çoğu unsurları, tekstil, boya, inşaat, elektrik-elektronik, gıda, ambalaj, tıp ve diğer bir çok teknoloji ürünlerinde ki geniş kullanım alanları polimer kompozitleri günlük yaşamımızla bütünleştirmektedir. Bu hızlı yayılımın kökeni, polimer kompozitlerin organik kimyasal temel yapılarından kaynaklanmaktadır .Cam takviyeli plastik, beton, cam elyafı, araba lastiği, plastikler, seramik gibi maddeler kompozitlere örnekler verilebilir.



**Şekil 1.9.** Şematik kompozit oluşumu

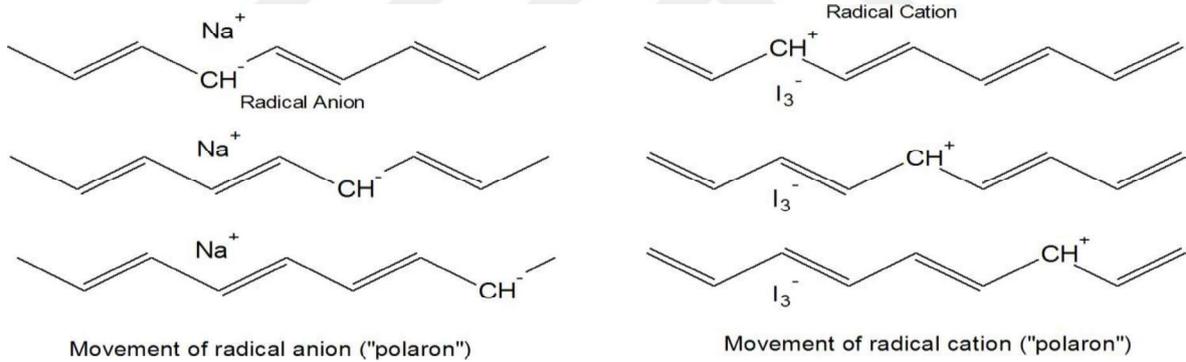
### 1.5. İletken Polimerler

İletken polimerler veya daha doğrusu, kendinden iletken polimerler elektriği ileten organik polimerlerdir. Bu tür bileşikler metalik iletkenliğe sahip olabilir veya yarı iletken

olabilir. İletken polimerlerin en büyük avantajı, esas olarak dağılıma özelliği ile işlenebilir olmalarıdır. Diğer bir avantajlı yönü dispersiyon yoluyla işlenebilmelerinin kolay olmasıdır. İletken polimerler genellikle termoplastik değildir, yani ısıyla şekillendirilemezler. Ancak yalıtkan polimerler gibi bunlar da organik malzemelerdir. Yüksek elektrik iletkenliği sunabilirler ancak ticari olarak temin edilebilen diğer polimerlere benzer mekanik özellikler göstermezler. Elektriksel özellikler, organik sentez yöntemleri ve gelişmiş dispersiyon teknikleri kullanılarak ince ayar yapılabilir.

### 1.5.1. İletken polimerlerin yapısı

İletken polimerleri diğer polimerlerden ayıran temel özellik, karbon atomları arasında birbirini izleyen ardışık tek ve çift bağlara sahip olmasıdır. Bu şekilde sırayla değişen bağ yapısına konjugasyon denir. Bu nedenle iletken polimerlere konjuge polimerlerde denilmektedir.



Şekil 1.10. Polimer İletkenlik Mekanizması

### 1.5.2. Polimerlerde iletkenlik mekanizması

İletken polimerlerin sentezi, polimerlerin sentezi gibi gerçekleşmektedir. Başlama, büyüme ve sonlanma basamaklarını içermektedir.

### 1.6. Polimerlerin Dielektrik Sabiti

Elektromanyetizmada bir malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneğini

ölçmeye yarayan katsayıya dielektrik sabiti (yalıtkanlık sabiti) denir. Polimer matrisli kompozitlerin dielektrik davranışının anlaşılması, yeni malzemelerin mühendislik uygulamalarında çok önemlidir. Bu tür sistemler, çeşitli özellikleri nedeniyle onları teknolojik açıdan önemli ve diğer alternatif malzemelere göre rekabetçi kılmaktadır. İletken polimer kompozitlerin kapasitörler, kendi kendini düzenleyen ısıtıcı, aşırı sıcaklık koruması cihazlar, elektromanyetik girişim için antistatik malzemeler elektronik cihazların ekranlanması, elektrik iletkeni mikro elektronikte yapıştırıcılar ve devre elemanları gibi alanlarda uygulanabilir. Çeşitli metallerle doldurulmuş polimer kompozitler ilginç özellikleri davranış ve maliyet etkinliği gibi nedenlerden dolayı birçok mühendislik alanı için ilgi çekicidir.

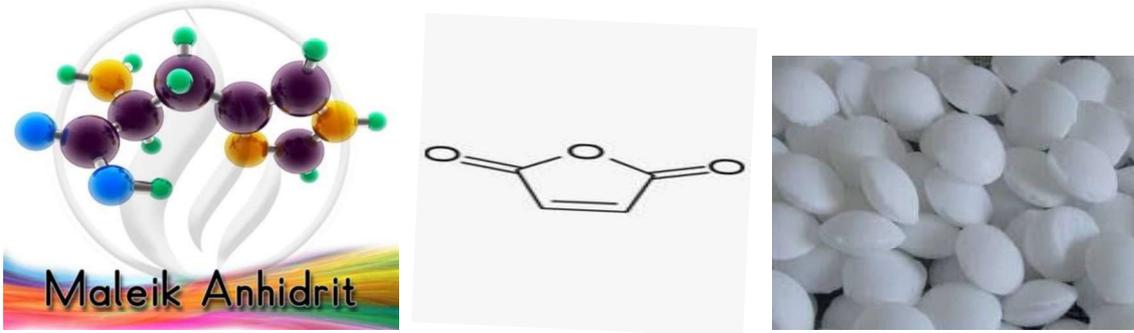
### **1.7. Polimerlerin Dielektrik Kaybı**

Elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürülme oranını ifade etmektedir. Gıdaların bu dielektrik özellikleri ise frekansa, sıcaklığa, su ve tuz içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Relaksasyon zamanı, (gevşeme süresi) dielektrikte bulunan moleküllerin hareketinin ölçüsü olarak bilinir. Başka bir deyişle relaksasyon zamanı; elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen süredir. Relaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansından küçük olduğu zaman kutuplanma kolaylıkla oluşur. Bunun sonucunda da dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar küçülür. Frekans artınca kutuplanma alanı takip etmekte zorlanır. Bu durumda kayıplarda en üst seviyede olur. Frekans artmayı sürdürürse, kutuplanma olmaz ve dolayısıyla dielektrik kayıp olmaz.

### **1.8. Maleik Anhidrit (MA), Monomeri**

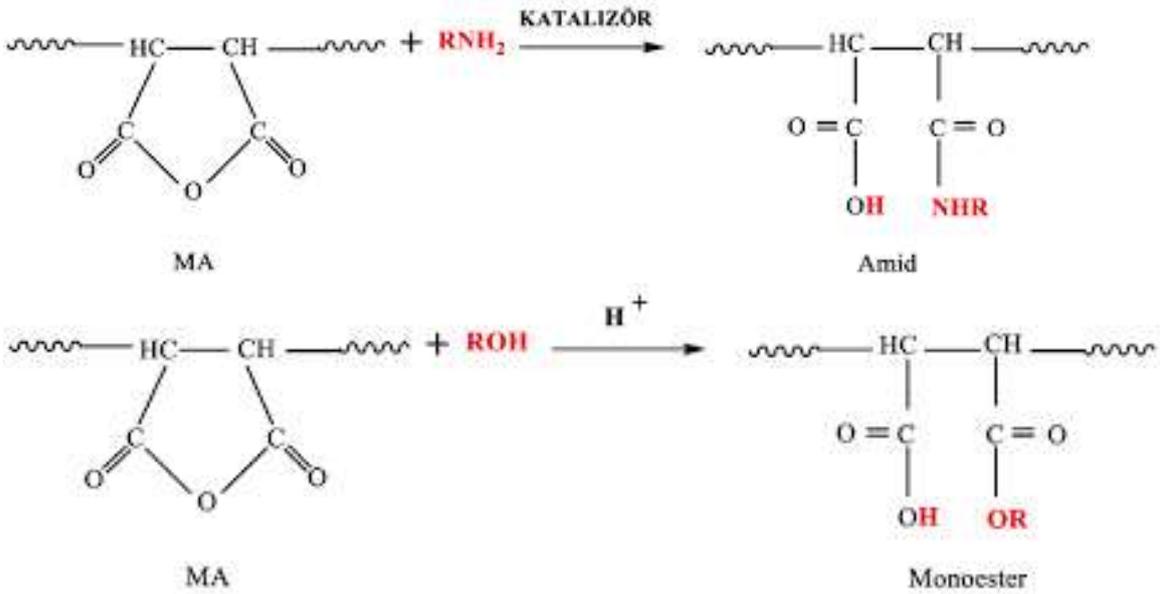
Maleik anhidrit (MA),  $C_4H_2O_3$  formülüne sahip organik bir bileşiktir. Maleik asidin asit anhidritidir. Buruk bir kokuya sahip, renksiz veya beyaz bir katıdır. Kaplamalar ve polimerlerdeki uygulamalar için büyük ölçekte endüstriyel olarak üretilir. Dünya maleik anhidrit üretiminin yaklaşık %50'si doymamış polyester reçinelerin üretiminde kullanılıyor. Maleik anhidrit, kişisel bakım ürünleri arasında saç spreyleri, yapıştırıcılar ve zemin cilaları gibi birçok alanda karşımıza çıkar. Ayrıca su arıtma deterjanları, böcek öldürücüler ve mantar öldürücüler, farmasötikler ve diğer kopolimerler için kullanılan

bileşiklerin öncüsüdür. Maleik anhidrit grubu birçok doğal üründe bulunur ve bunlardan bazıları umut verici tedavi edici veya böcek öldürücü aktivite gösterir (Xiaolong ve ark., 2007).



Şekil 1. 11. MA Kimyasal Yapısı ve fiziksel görünüşü

MA, halka açılma tepkimeleri için oldukça elverişlidir. Bunun nedeni ise içerikli kopolimerlerin reaktif anhidrit halkasıdır. Modifiye edilme özelliğine sahiptir (Karakuş, 2015).



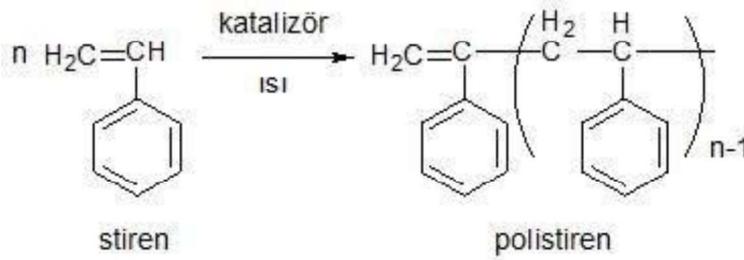
Şekil 1. 12. MA'in halka açılma reaksiyonu

#### Maleik anhidrit monomerinin fiziksel özellikleri

Moleküler Ağırlığı	98,06 g/mol
Oda Koşullarında Yoğunluğu	1,48 g/cm <sup>3</sup>
Kaynama Noktası	202°C
Erime Noktası	52,8 °C

### 1.9. Stiren (St), Monomeri

Stiren, polistiren plastikler, cam elyafı, kauçuk ve lateks yapmak amacıyla kullanılan ve yanıcı özelliğe sahip olan sıvı haldeki bir maddedir. Stirenin görünüşü trene benzemektedir. Parlak ve saydam bir yapıya sahiptir. Çizilme direncine karşı dayanıklılık gücü fazladır. Stirenler, bu özelliği sayesinde kozmetik alanında kullanılmaktadır.



Şekil 1. 3. Polistirenin sentez reaksiyonu

Stirenler, dış mekanlar için uygun özellikte olmasına rağmen UV ışınlarına karşı dayanıklı olanları da bulunmaktadır. Kimyasal direnci yüksek olan stirenler, yüksek oranda yüzey sertliğine sahiptir (Akgün, 2021).

#### Stiren Monomerinin Fiziksel Özellikleri

Moleküler Ağırlığı	104,14912 g/mol
Yoğunluğu	0.909 g/cm <sup>3</sup>
Kaynama Noktası	145 °C
Erime Noktası	-31 °C
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	490 °C

Stirenler reaktif yapıdadır ve suda sınırlı olarak çözünürler. Uçucu özelliği az olan stirenler, tatlımsı bir kokuya sahiptirler. Çok yüksek ısılarda oluşan buharı, havadan ağır özelliktedir. Bu nedenle yer seviyesinde biriktirmektedir. Stirenler, polimerlerin üretiminde de kullanılır. Dünya genelinde en çok tercih edilen plastik hammaddelerden olan stirenler, çeşitli teknolojilerden yararlanılarak işlenmektedir. Vinil benzen, etilen benzen ve feniletilen gibi çeşitleri bulunmaktadır. Stirenin elde edilmesinde birkaç farklı yoldan yararlanılabilir. Stiren kolayca homo polimerleşme ve kopolimerleşme özelliği gösterir.

Stiren monomerinin polimerleşmesi genellikle serbest radikal mekanizması ile gerçekleşir (URL-7, 2023).

### **1.10. Cevap Yüzeyi Yöntemi**

Cevap yüzeyi yöntemi (CYY) bazı girdi değişkenleriyle bir veya daha fazla çıktı değişkeninin arasındaki ilişkiyi inceler. Yöntem ilk kez 1951'de G.E.P Box ve K. B. Wilson tarafından ortaya atılmıştır. CYY temelde tasarlanmış deneylerle elde edilmiş verilere uydurulan polinomlar yardımıyla en iyileme (optimizasyon) yapabilmeyi sağlar. Cevap yüzeyi yönteminde, karmaşık sistemlerin modellenmesi için genelde ikinci dereceden polinomlar kullanılsa da daha yüksek dereceden polinomların da kullanılabilir. Cevap yüzeyi modelinin oluşturulması toplanmış verilerle katsayılarının tahmin edilmesiyle oluşur. En iyi istatistiksel model bile kullanılsa dahi tam anlamıyla kesin bir doğruluk yoktur. Ancak gerçek hayattakine yaklaşımda bulunulur. Cevap yüzeyi yönteminde istatistiksel modeller kullanılır. Cevap yüzeyi yöntemi etkili bir çözüm yöntem olmasına tam bir kesinlik içermez.

### **1.11.Nadir Toprak Elementleri ve Özellikleri**

Nadir toprak elementleri (NTE) kimyasal olarak benzer özellikler gösteren 15 elementten oluşmaktadır. Bu elementler periyodik tabloda atom numaraları 57'den (Lantanyum- La) 71'e (Lutesyum- Lu) kadar olan elementlerdir. Nadir toprak elementleri ayrıca lantanid grubu elementler olarak da adlandırılabilir. Atom sayısı 39 olan Yttrium (Y) ile atom numarası 21 olan skandiyum (Sc) elementleri de benzer iyon çapları ve küçük atomik çapları nedeniyle NTE grubunda yer almaktadırlar.

1	2																18	
1	H																2	He
2	3	4																
	Li	Be																
3	11	12																
	Na	Mg																
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88																
	Fr	Ra																

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

Şekil 1. 14. NTE'lerin gösterildiği periyodik cetvel

Nadir toprak elementleri (NTE) doğada az bulunan elementler değildir. Nadir olarak görülen mineraller içinde oksit bileşenleri olarak 18. ve 19. yüzyıllarda tespit edilmiş olmalarından dolayı “Nadir” ismini almışlardır. En yaygın olarak bulunan nadir toprak element (NTE) Ce'dir. Ce'ni yer kabuğunda bulunma miktarı bakır ve kurşundan daha fazladır. Yer kabuğunda en az miktarda bulunan nadir toprak elementleri (NTE) gümüş ve civa elementleridir. NTE'ler günümüzde “yeşil elementler” olarak da bilinmektedir. Bununla birlikte NTE'ler, LCD ve LED TV'lerde, elektrikli taşıtlar, mknatıslarda, şarj edilebilir pillerde, MR makineleri, dijital kameralar ve cep telefonları gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan birçok ileri teknoloji ürünlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 1. 15. Bazı NTE'lerin fiziksel görünüşü

## 1.12. Seryum Nitrat

Lantanit grubu elementlerinden olan Seryum, yaygın bulunan “nadir” elementlerdendir.



**Şekil 1. 16.** CeNO<sub>3</sub> element hali

Nadir toprak elementleri arasında ilk olarak keşfedilen metal seryumdur. Adını cüce gezegen olan “Ceres”ten almıştır. Kullanım alanının çeşitli ve yaygın olmasının nedeni grubundaki diğer lantanitlere göre farklı özellikler göstermesidir. Doğada nadir değildir ve saf olarak bulunmaz. Doğada daha çok serit, monazit, bastnatsit ve allanit minerallerinde yer almaktadır. Bu mineraller aynı zamanda en önemli ticari kaynaktır. Seryum bu minerallerdeki lantanit metallerin neredeyse yarısını oluşturur. Seryum katıldığı alaşımlarda sıcaklığa karşı direnç sağlar. Bu element ilaçlarında kullanılabilir. İlk olarak gaz lambası gömleklerinde kullanılmıştır. Ayrıca çakmaktaşı yüzde 50 oranında seryum bulundurur. Günümüzde; cam cila, katalitik konvertörler, pigmentler, televizyon cam plakaları, jet motorları alaşımları, karbon ark lambaları, porselen kaplamalar, enerji tasarruflu ampuller, projektörler, mıknatıslar, paslanmaz çelik, akkor lambalar, manyetik optik kompakt diskler, krom kaplamalar, gözlükler, kendi kendini temizleyen fırınların gibi alanlarda Seryum kullanılmaktadır (URL-8, 2023).

### **Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Kimyasal sembolü	Ce
Atom numarası	58
Atom ağırlığı	140,11
Yoğunluğu	6,77
Erime noktası	799 °C
Kaynama noktası	3443 °C

Seryum havadan etkilenir, donuklaşır ve yüzeyinde yıpranan bir oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka demirin paslanması gibidir. Seryum suyla reaksiyon gerçekleştirebilir. Bu reaksiyon soğuk suda yavaş, sıcak suda ise hızlıdır. Gerçekleşen reaksiyondan seryum hidroksit ve hidrojen gazı üretir. Seryumun demir ile alaşımı oldukça reaktiftir.

### 1.13.Kadmiyum Sülfür (CdS)

Periyodik tablonun II. grup elementlerinden Kadmiyum (Cd) ile VI. grup elementlerinden Kükürt (S)'den oluşan bileşiğe kadmiyum sülfür denir. Sarı-turuncu renkte ve yarıiletken özelliğe sahiptir.

#### Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal sembolü	CdS
Atom numarası	48
Atom ağırlığı	112.411 g/mol'dür
Yoğunluğu	4.83 g/cm <sup>3</sup>
Erime noktası	1750 °C

Bileşiği oluşturan elementlerden Cd; periyodik cetvelin II B gurubunda yer almaktadır. Atom numarası 48, atom ağırlığı ise 112.411 g/mol'dür. Yumuşak bir metal olan Cd mavi-beyaz renktedir. Cd ve Cd'nin tüm bileşikleri zehirli olduğundan çıplak elle temas edilmemelidir. Bileşiği oluşturan diğer element S; periyodik cetvelin VI A grubunda yer almaktadır. CdS, II-VI grubu bileşiğidir. CdS ucuz tekniklerle elde edilebilir. Düşük özdirence sahip CdS; yarıiletken, oda sıcaklığında geniş bir yasak enerji aralığına ve direkt bant geçişine sahip n tipi bir foto iletken yarı iletken malzemedir. CdS filminin 2,42-2,5 eV arasında yasak enerji aralık değeri değişmektedir.



**Şekil 1. 17.** CdS'in fiziksel görünüşü

CdS bileşiği; piroteknikte ve güneş pillerinde kullanılan suda çözünmeyen , parlak altıgen kristal yapıda turuncu renkli bir tuzdur (URL-9, 2020).

#### **1.14. Literatürde Polimerlerin Elektriksel Özellikleri Ve CYT ile İlgili Yapılmış Çalışmalar**

**Karabacak ve ark., (2022);** yaptıkları çalışmada, son yıllarda polimerler ve karışımlarının elektriksel özellikleri ile ilgili araştırma makalelerini derlemişlerdir. İletken polimerler ve polimerlerin farklı maddelerle hazırlanan kompozitlerinin metal ile kıyaslanabilir özellikte iletkenlik değerine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca diğer iletken malzemelerle kıyaslandığında, düşük yoğunluğa sahip, korozyon direnci yüksek, işlenmesi kolay ve düşük maliyetli olduğunu bulmuşlardır. Derlenen bu çalışmada, havacılık, uzay ve savunma sanayi, otomotiv ve otomotiv yan sanayinde kullanılmak üzere önemli polimer ve karışımlarının geliştirildiğini vurgulamışlardır.

**Hakkak ve ark., (2015);** yaptıkları çalışmada PAN ve PVdF çözeltilerinin elektrospunlenmesiyle Poliakrilonitril/poli (viniliden florür) lifli membranları sentezlemişlerdir. Seçilen elektrospunleme parametreleri, yani uygulanan voltaj, çözelti konsantrasyonu ve PVdF içeriği arasında niceliksel bir ilişki elde etmek için yanıt yüzeyi yöntemini kullanmışlardır. Modeldeki parametreler değişken analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Polimer elektrolit membranların iyi iyonik özellikler gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Gerilimin iyonik iletkenlik üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır.

**Razavi ve ark., (2022);** yaptıkları çalışmada, daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olması amacıyla farklı nanopartiküller kullanılarak iletken polimer bazlı kompozitler

oluşturmuş ve farklı sınıflandırma teknikleriyle sayısal olarak ele almışlardır. Polimer bazlı kompozitlerin iletken olmama özelliği nedeniyle, iletken olmama kusurunun altındaki diğer olumlu avantajları (örn. hafiflik ve stresli korozyon), bu makalenin karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmeye çalışmıştır. Bu amaçla, girdi faktörü olarak epoksi reçineye farklı ağırlık yüzdelerine sahip karbon siyahı (CS), karbon nanotüp (CNT) ve genişletilmiş grafit (GR) eklenmiş ve yanıt faktörü olarak numunelerin elektriksel iletkenliği ölçülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlar, en yüksek elektrik iletkenliğe sırasıyla % 10, % 15 ve % 25 oranında CNT, CS ve GR kullanılarak ulaşıldığını kanıtlamıştır.

**Dyartanti ve ark., (2017);** yaptıkları çalışmada, poli (viniliden) florür) (PVDF) bazlı Polimer Jel Elektrolit Membranları (MPGE'ler) faz ters çevirme yöntemiyle hazırlamışlardır. Gözenek oluşturucu madde olarak pirolidon (PVP), çözücü bir madde olarak N, N-dimetil asetamid (DMAc) ve çözücü olmayan su kullanmışlardır. Merkezi kompozit tasarım (CCD) deney tasarımı kullanılarak membranların iyonik iletkenliğini optimize etmişlerdir. Model, polimer elektrolit membranlardan optimum iyonik iletkenliği bulmak için kullanılmıştır. Polimer elektrolit membranlar, ortam sıcaklıklarında  $6,3-8,7 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$  düzeyinde iyi iyonik iletkenlik göstermiştir. İyonik iletkenlik, PVP ve nanokil konsantrasyonuyla artma ve PVDF bileşimiyle azalma eğiliminde olmuştur. Model, PVDF, PVP ve nanokil konsantrasyonu sırasıyla %8,01, %8,04 ve %10,12 olarak ayarlandığında  $8,47 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$  maksimum iyonik iletkenliği öngörmüştür.

**Zazoum, (2019);** yaptığı çalışmada, öğütme işlemiyle LDPE/TiO<sub>2</sub> nanokompozitlerinin hazırlanmasını optimize etmek için kutu Behnken tasarımına (BBD) dayanan yanıt yüzeyi metodu (RSM) kullanıldı. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) matrisi, titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) nanopartikülleri ile güçlendirildi. Üç ayrı değişkenin, yani TiO<sub>2</sub> nanopartikül içeriği, öğütme süresi ve numune kalınlığının nanokompozitlerin dielektrik dayanımı üzerindeki etkileşim etkileri BBD kullanılarak araştırıldı. Sonuçlar, TiO<sub>2</sub> nanopartikül içeriğinin ve numune kalınlığının, dielektrik mukavemet performansının iyileştirilmesi üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu gösterdi. Maksimum dielektrik dayanım için optimum faktörleri belirlemek amacıyla sayısal optimizasyon uygulandı. Proses parametreleri, ağırlıkça %3,00 TiO<sub>2</sub> içeriği, 39,90 dakika öğütme süresi ve 1,00 mm numune kalınlığı olduğunda optimum dielektrik dayanımının  $84,76 \text{ kV mm}^{-1}$  olduğu sonucunu göstermiştir.

**Zazoum, (2020);** yaptığı çalışmada, optimize edilmiş dielektrik kırılma dayanımına sahip bilyalı öğütme işlemiyle hazırlanan poliviniliden florür (PVDF)/baryum titanat (BT) nanokompozit filmi tasarlamak için bir yanıt yüzey metodolojisi (RSM) önermiştir. Üç ayrı kontrol değişkeninin nanokompozitlerin dielektrik dayanımı üzerindeki etkileşim etkilerini RSM kullanarak incelemiştir. Maksimum dielektrik bozulma mukavemeti için optimum faktörleri elde etmek amacıyla sayısal optimizasyon kullanmıştır. Giriş kontrol faktörleri BT boyutu 6 nm, BT hacim oranı %10 ve öğütme süresi 43,74 dakika olduğunda dielektrik kırılma mukavemetinin optimum değerinin  $219,01 \text{ kV mm}^{-1}$  olduğunu belirtmiştir.

**Kandi ve ark., (2022);** yaptıkları çalışmada, erimiş silika hazırlamada yanıt yüzeyi yöntemini başarıyla kullanmışlardır. Giriş parametreleri olarak, katı yükleme, monomer içeriği, monomer oranı ve katkı maddesi olarak Bor Nitrür kullanmışlardır. Bu parametrelerin doku mukavemeti, gözeneklilik ve dielektrik sabiti üzerine etkilerini, 6'lı merkezi kompozit merkezli tasarıma göre incelemiştir. Oluşturulan modelin benzersizliği Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak incelenmiştir ve %95 güven düzeyinde olduğu bulunmuştur. Sonuçların sayısal incelemesi, çalışılan aralıkta üç süreç değişkeninin yanıtlar üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen matematiksel modellerin yüksek  $R^2$  değerlerine sahip olması test ile tahmin edilen veriler arasındaki iyi ilişkiyi göstermiştir.

**Kandi ve ark., (2022);** yaptıkları çalışmada, gözenekli erimiş silika ( $\text{SiO}_2$ ) seramik kompozitleri yeni bir jel döküm işlemi kullanarak üretmişlerdir. Deneyler altı merkezli noktalı yüz merkezli tasarıma sahip Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) merkezi kompoziti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katı yükleme (SL), monomer oranı (RM), monomer içeriği (MC) gibi jel döküm prosesinin proses parametreleri olarak seçilmiştir. Katkı maddesi olarak Silikon Nitrit ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) seçilmiş olup, eğilme mukavemeti (FS), gözeneklilik (Por.) ve dielektrik sabiti (DE) yanıt parametreleri olarak belirlenmiştir. Tek parametre ve etkileşim parametresinin yanıtlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Varyans Analizi (ANOVA) sonucuna göre modelin güven düzeyi %95 olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz şunu kanıtladı: Giriş parametrelerinin yanıtlar üzerinde kritik bir etkisi vardır. Türetilen RSM matematiksel modelleri daha yüksek bir  $R^2$  değerine sahiptir (FS %97,62, Por. %95,12 ve DE %95,93), bu da gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki kritik ilişkiyi gösterir. En uygun yanıtlar, proses parametreleri SL %47,95, katkı ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) ağırlıkça %10,43, ağırlıkça %15 MC ve RM için, FS 86.173 MPa, Por, %39,767 ve DE 6,949 olarak elde edilmiştir.

**Çakmak ve Torğut, (2016);** yaptıkları çalışmada farklı oranlarda dietoksikarbonil metilmetakrilat ve barbitürük halkası içeren metakrilat homopolimerlerini ve bunların stirenle kopolimerlerini hazırlamışlardır. Hazırlanan polimerlerin oda sıcaklığında frekansa bağlı olarak dielektrik sabiti ve dielektrik kaybı belirlenmiştir. Bütün polimerler için frekans arttıkça dielektrik sabitinin azaldığı, yüksek frekanslarda ise sabit kaldığı sonucuna varmışlardır.

**Karakuş, (2015);** yaptığı çalışmada Maleik Anhidrit'in, değişik monomerler kullanarak (Stiren, Vinil Asetat, Metil Metakrilat, Allil Fenil eter) serbest radikal polimerizasyon tepkimesi kopolimerlerini sentezlemiştir. Kopolimerler, amin (-NH<sub>2</sub>) gruplu ilaç etken maddeleri ile modifikasyona uğratarak sağlıklı hücreler üzerine olan sitotoksik etkileri, kanser hücresi üzerine olan antiproliferatif etkileri ve bazı bakteriler üzerine olan antibakteriyel etkileri araştırılmıştır.

**Baruah ve Laskar, (1996);** Yaptıkları bir çalışmada, Stiren ve maleik anhidritin radikal kopolimerizasyonunu başlatıcı olarak AIBN kullanılarak 60 °C'de N, N-dimetilformamid içerisinde gerçekleştirmiştir. Kopolimer bileşimleri, doğrudan titrasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Monomer reaktivite oranları Fineman-Ross, Kelen-Tudos ve dönüşüm bazlı Kelen-Tudos yöntemleriyle hesaplanmıştır. Moleküler ağırlıkları ve polidispersite indekslerini belirlemek için jel geçirgenlik kromatografisi kullanılmıştır. Termal bozunma ve aktivasyon enerjisi, çeşitli termogravimetrik analizler ve diferansiyel taramalı kalorimetrik modeller ile belirlenmiştir. Kopolimerin termal bozunmasının iki aşamalı olduğu ve polistirenden daha düşük bir sıcaklıkta bozunduğu görülmüştür.

**Klumperman, (2010);** yaptığı çalışmada Stiren ve Maleik Anhidrürün kopolimerizasyon mekanizmasını tartışmıştır. Zincir büyüme sürecini tanımlamak için doğru seçim olarak sondan bir önceki birim modelinin lehine ikna edici kanıtlar sağlayan bir genel bakış verilmiştir. Ayrıca stiren ve maleik anhidrürün canlı radikal kopolimerizasyonu açısından yeni gelişmeler mekanik açıdan tartışılmıştır.

**Kalandaragh, (2010);** yaptığı bir çalışmada, saf Poli Vinil Alkol (PVA) ve Kadmiyum Sülfid ile nanokompozitin (CdS-PVA) dielektrik özelliklerini 298 Kelvin ile 498 Kelvin sıcaklık aralığında ve 200 Hz ile 1 MHz frekans aralığında incelemiştir. Hem saf PVA hem de CdS-PVA nanokompoziti için dielektrik sabiti, tüm sıcaklıklarda frekansın artmasıyla azalmıştır. CdS-PVA nanokompozitindeki dielektrik sabiti değerlerinin saf polimere göre oldukça büyük olduğu sonucunu bulmuştur.

**Khurana ve Jaggi, (2020);** yaptıkları bir çalışmada, CdS nanoyapılarının dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve elektriksel iletkenliğini, farklı sıcaklıklarda ve 1 kHz ila 5 MHz frekans aralığında incelemiştir. Frekans arttıkça dielektrik kaybın azaldığını bulmuşlardır. Buda nanoyapıların iyi bir optik kaliteye sahip olmasıyla ilişkilidir. Ayrıca, yüksek frekans bölgesinde dielektrik sabiti ve dielektrik kaybının düşük değerlere sahip olduğu ve sıcaklıktan bağımsız olduğu gözlenmiştir.

**Sheng ve ark., (2017);** tarafından yapılan bir çalışmada, yeni bir çözelti döküm yöntemiyle farklı kadmiyum sülfür (CdS) içeriğine sahip kadmiyum sülfür/poli(metil metakrilat) (CdS/PMMA) nanokompozit filmlerini hazırlamışlardır. Hazırlanan filmlerin elektriksel iletkenlik özelliklerini incelemiş ve PMMA matrisinde artan CdS miktarıyla iletkenlik değerlerinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Buna neden olarak ise CdS parçacıkları arasındaki artan temas ve  $Cd^{2+}$  iyon aktarımını göstermişlerdir.

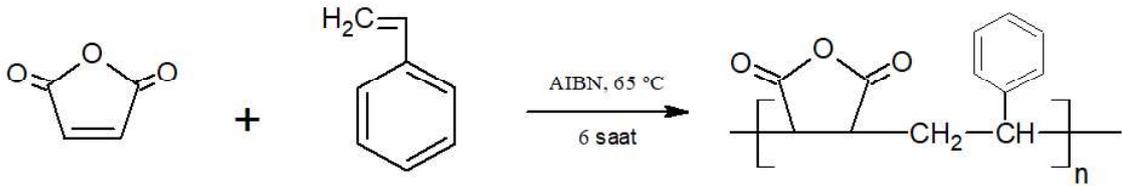
## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Kimyasal Maddeler

Tezde kullanılan Maleik Anhidrit, Metil Metakrilat ve Stiren monomerleri ile 1,4-Dioksan ve Etil alkol Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Seryum (III) Nitrat Hekzahidrat (%99,99 saflıkta) ve Kadmiyum Sülfür (%98 saflıkta) Bostonchem firmasından temin edilmiştir. 2,2-bis İzobütironitril Sigmadan alınmış ve Kloroformda kristallendirilerek kullanılmıştır. Kullanılan monomer ve çözücüler analitik saflıktadır.

### 2.2. Poli (Maleik anhidrit-Stiren) Kopolimerinin Sentezi

Maleik anhidrit (MA) ve Stiren (St) kopolimerini sentezlemek için, kapaklı bir deney tüpüne 20 ml 1,4-Dioksan koyuldu. Soğuk ortamda şişeye 2 g MA ve 2 g St ilave edildi. Daha sonra bu karışımına başlatıcı olarak 0,04 g AIBN ilave edildi. Çözünmenin tamamlanmasının ardından karışım, oksijenin uzaklaştırılması için 10 dakika boyunca argon gazından geçirildi. Polimerizasyon tüpü 65°C'ye ayarlanan yağ banyosuna yerleştirilerek polimerizasyon reaksiyonu başlatıldı. 6 saat sonunda kıvamlaşan polimer çözeltisi etil alkolde çöktürülerek süzüldü. Oda sıcaklığında bir süre bekletilen polimer 40 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutuldu. Poli(MA-ko-St) polimer sentezinin şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.

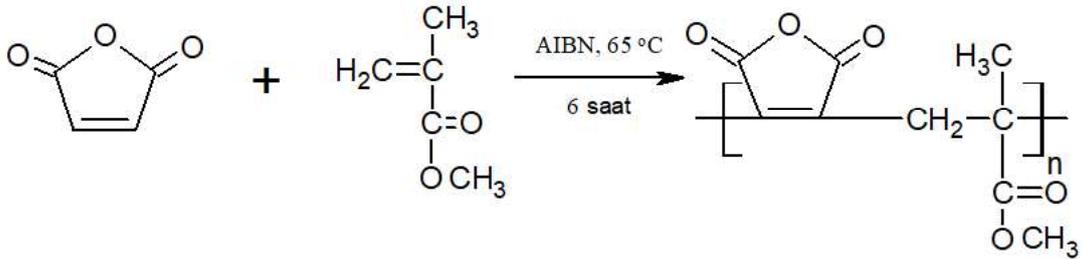


Şekil 2.1. Poli (MA-ko-St) kopolimerinin sentez reaksiyonu

### 2.3. Poli (Maleik anhidrit-Metil Metakrilat) Kopolimerlerinin Sentezi

Maleik anhidrit (MA) ve Metil Metakrilat (MMA) kopolimerini sentezlemek için, bir polimerizasyon tüpüne 20 ml 1,4-Dioksan yerleştirildi. Tüpe sırasıyla 2 g MA ve 2 g

MMA eklendi. Daha sonra reaksiyon karışımına 0,04 g AIBN radikal başlatıcısı ilave edildi. Çözünmenin tamamlanmasının ardından karışım, oksijenin uzaklaştırılması için 10 dakika boyunca argon gazından geçirildi. Bu işlemden sonra polimerizasyon tüpü 65 °C'ye ayarlanan yağ banyosuna bırakılarak reaksiyon başlatıldı. 6 saat sonunda kıvamlaşan polimer çözeltisi etil alkolde çöktürülerek süzüldü. Oda sıcaklığında bir süre bekletilen polimer 40°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutuldu. Poli(MA-ko-MMA) polimer sentezinin şematik gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



**Şekil 2.2.** Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin sentez reaksiyonu

#### 2.4. Poli (Maleik anhidrit-Stiren)-Kadmiyum Sülfid Kompozitinin Sentezi

Poli(MA-ko-St)-CdS kompozitleri çözelti karıştırma tekniği ile sentezlendi. İlk olarak 4 farklı beherde 0,5'er g poli(MA-ko-St) 20 mL diklorometan içerisinde çözüldü. Kopolimer tamamen çözüldükten sonra, istenilen miktardaki CdS'ler (ağırlıkça %4.05, 10.0, 15.95, 20.0) her bir kopolimer çözeltisine eklendi ve ultrasonik su banyosunda yaklaşık 30 dakika karıştırılarak polimer çözeltileri içinde CdS'in uygun şekilde dağılması sağlandı. Karışımlar etil alkolde çöktürüldü. Elde edilen kompozitler önce oda sıcaklığında sonra nemin tamamen uzaklaştırılması için 40°C'de etüvde 24 saat kurutuldu.

#### 2.5. Poli (Maleik anhidrit- Metil Metakrilat)-Seryum (III) Nitrat Kompozitinin Sentezi

Poli(MA-ko-MMA)-CeNO<sub>3</sub> kompozitleri çözelti karıştırma tekniği ile sentezlendi. 0,5'er g poli(MA-ko-MMA) kopolimerleri 20 mL diklorometan içerisinde çözüldü. Kopolimerler tamamen çözüldükten sonra, istenilen miktardaki CeNO<sub>3</sub>'lar (ağırlıkça

%4.05, 10.0, 15.95, 20.0) kopolimer çözeltilerine eklendi ve ultrasonik su banyosunda yaklaşık 30 dakika karıştırılarak polimer çözeltisi içinde uygun şekilde dağılması sağlandı. Karışımlar etil alkolde çöktürüldü. Elde edilen kompozitler önce oda sıcaklığında sonra nemin tamamen uzaklaştırılması için 40°C'de etüvde 24 saat kurutuldu.

## 2.6. Hazırlanan Polimerler ve Kompozitlerin Karakterizasyonu

Saf kopolimer ve kompozitlerin kimyasal analizi, oda sıcaklığında 400–4000 cm<sup>-1</sup>ATR modunda bir Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektrofotometre (FTIR, Jasco 6700) kullanılarak gerçekleştirildi. Saf kopolimerin ve kompozitlerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopi (SEM-EDS, Hitachi S-3500) ile araştırıldı. Numunelerin XRD verileri, 40 kV voltajda ve 15 mA akımda bir X-ışını difraktometresi (XRD, Rigaku miniflex-600) kullanılarak alındı. Kompozitlerin termal özellikleri, Shimadzu TGA-50 termobalans kullanılarak termogravimetrik analiz (TGA) ile incelendi. Yaklaşık 5 mg'lık numuneler, 10°C/dakikalık bir ısıtma hızında 25°C'den 500°C'ye ısıtıldı. Numunelerin dielektrik ve iletkenlik özelliklerini test etmek için bir Novocontrol Technologies (Alpha-AN) analizörü kullanıldı. Oda sıcaklığında 0.1 g olarak tartılan numunelerin 5 ton basınç altında peletlerihazırlandı ve dielektrik özellikleri incelenmeye hazır hale getirildi. Peletlerin dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) ve elektriksel iletkenlikleri ( $\sigma$ ), (2.1) ve (2.2) denklemleri kullanılarak hesaplandı.

$$\epsilon' = \frac{C_p d}{\epsilon_0 A} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{G d}{A} \quad (2.2)$$

burada  $C_p$ = kapasitans,  $d$  = numunenin kalınlığı,  $A$  = numunenin etkin alanı,  $\epsilon_0$  = vakumun geçirgenliği,  $G$  = iletkenliktir.

## 2.7. Cevap Yüzey Yöntemi ile Deneysel Dizayn

Bu çalışmada tasarım sürecini geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek için bir deney yöntemi tasarımı olan cevap yüzey yöntemi (CYY) kullanılmıştır. CYY'de kullanılan deneysel dizaynlarından biri olan 2<sup>3</sup> faktöriyel merkezi kompozit tasarım, frekans ( $A$ ), uygulanan voltaj ( $B$ ) ve katkı miktarı ( $C$ )'nin etkileşimini araştırmak için kullanılmıştır. Bu üç bağımsız değişken için ( $n=3$ ), merkezi kompozit tasarım beş seviyede

( $-\alpha$ , -1, 0, 1,  $+\alpha$ ) 8 faktöriyel nokta, 6 merkez nokta ve 6 aksel nokta içeren 20 deney serisi ile gerçekleştirilmiştir. Değişkenlerin çalışma aralığı ve değerleri Tablo 2.1 (Poli(MA-ko-St) kopolimeri için)ve Tablo 2.2'de (Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri için) verilmiştir. Dielektrik sabiti ve iletkenlik tasarım deneylerinden elde edilen cevap (bağımlı değişken) olarak alınmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Design Expert 7 (Stat-Ease, USA) programı proses değişkenlerinin etkileşimini değerlendirmek, bulunan verilerin istatistiksel analizi, varyans analizi (ANOVA) ve grafiksel analizleri içinkullanılmıştır. Proses cevabı ve üç bağımsız değişken arasındaki matematiksel ilişki, aşağıda verilen kuadratik eşitlik ile ifade edilir.

*dielektrik sabiti ve iletkenlik (R)*

$$= \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (2.3)$$

burada

$R$  : cevap(dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, iletkenlik),

$\beta_0$  : sabit katsayı,

$\beta_i$  : doğrusal katsayılar,

$\beta_{ii}$  : kuadratik katsayılar

$\beta_{ij}$  : etkileşim katsayıları

$x_i$  ve  $x_j$  : değişkenlerin kodlanmış değerleridir.

**Tablo 2.1.** Poli(MA-ko-St)'nin elektriksel ölçümleri için deneysel faktörler ve seviyeleri

Faktör	Aralık ve değerleri				
	$-\alpha(-1,682)$	-1	0	+1	$+\alpha(+1,682)$
A: Frekans (Hz)	100	5147	12550	19952	25000
B: Uygulanan gerilim (volt)	-10	-5,95	0,00	5,95	10
C: Katkı miktarı (%)	0	4,05	10	15,95	20

**Tablo 2.2.** Poli(MA-ko-MMA)'ın elektriksel ölçümleri için deneysel faktörler ve seviyeleri

Faktör	Aralık ve değerleri				
	$-\alpha(-1,682)$	-1	0	+1	$+\alpha(+1,682)$
A: Frekans (Hz)	100	10214	25050	39885	50000
B: Uygulanan gerilim (volt)	-10	-5,95	0,00	5,95	10
C: Katkı miktarı (%)	0	4,05	10	15,95	20

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

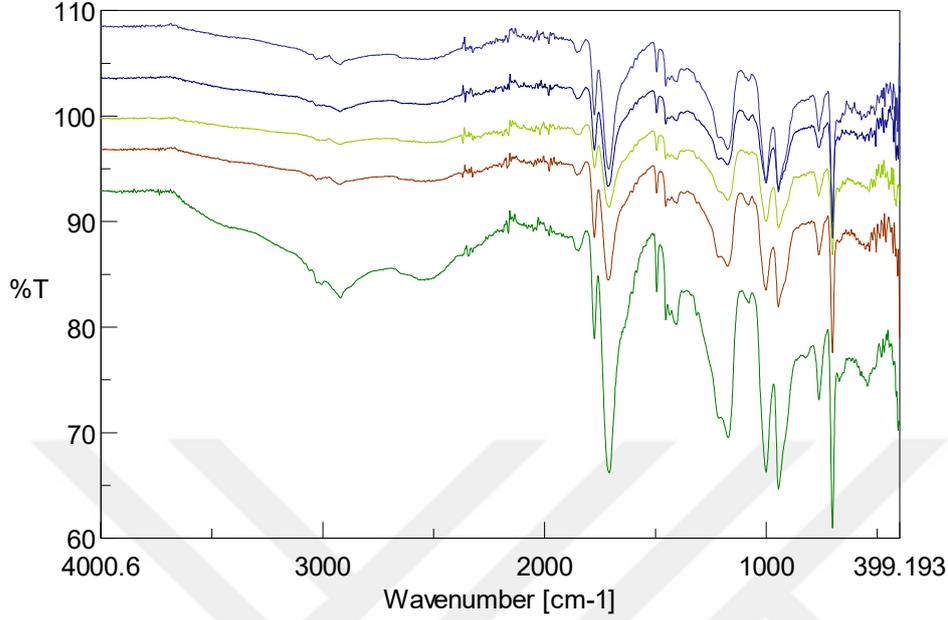
Bu çalışmada, frekans, voltaj ve nadir toprak elementleri tuzları (Kadmiyum Sülfid, Seryum (III) Nitrat.7H<sub>2</sub>O) katkılama miktarını içeren üç parametre arasındaki niceliksel ilişkiyi araştırmak için cevap yüzey yöntemi kullanılmış ve bunların poli(MA-ko-ST) ve poli(MA-ko-MMA) kopolimerlerinin dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve elektriksel iletkenliği üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitlerin elektriksel özellikleri literatürde ilk kez CYT kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada bu parametreler eş zamanlı olarak incelenmiş ve optimizasyon yapılarak optimum koşullar belirlenmiştir.

Sentezlenen kopolimerler ve NTE ile hazırlanan kompozitlerin kimyasal yapısı FTIR ile incelenirken, yüzey özelliklerini analiz etmek ve polimerde NTE'lerin varlığını kanıtlamak için SEM analizi yapılmıştır. Ayrıca NTE katkısının kopolimerlerin termal kararlılığına etkisini incelenmiştir.

#### 3.1. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile Hazırlanmış Kompozitlerinin FTIR Analizi

FTIR değerleri 400 ve 4000 cm<sup>-1</sup> arasında kaydedilmiştir. Şekil 3.1 saf poli(MA-ko-St) ve farklı CdS içeriğine sahip poli(MA-ko-St)-CdS kompozitlerinin FTIR eğrilerini göstermektedir. Spektrumda 3080-3020 cm<sup>-1</sup> de stiren birimlerine ait aromatik =C-H gerilme titreşimlerini, 1600 cm<sup>-1</sup> deki band aromatik C=C gerilme titreşimini göstermektedir. 1500 ve 1450 cm<sup>-1</sup> de halka gerilmesine ait bantlardır. 760 ve 700 cm<sup>-1</sup> deki iki tane band aromatik halkadaki =C-H düzlem dışı eğilme titreşimlerine ait karakteristik piklerdir. 2922 cm<sup>-1</sup> civarındaki pikler stiren ana zincirdeki alifatik C-H gerilme titreşimlerine aittir (Yılmaz ve Coşkun, 2018). 1845 ve 1775 cm<sup>-1</sup> deki bantlar MA döngüsündeki C=O grubunun simetrik ve asimetrik gerilme titreşim tepelerini gösterir (Rzaev ve ark., 2002; Torğut, 2019). 1168 ve 1130cm<sup>-1</sup> C-O ve C-O-C anhidrit bantlarıdır. Spektrumlarda görüldüğü gibi, poli(MA-ko-St) ve poli(MA-ko-St)-CdS'nin FTIR bantları temel olarak aynıdır. Düşük katkı yüzdesinden dolayı CdS'nin polimer içerisinde bariz bir sinyalinin olmadığı görülmektedir. Ancak Cd-S'ün germe bandıyla ilgili 730 cm<sup>-1</sup> dalga sayısına karşılık gelen bir piki vardır. Önceki çalışmalarda 650 cm<sup>-1</sup>

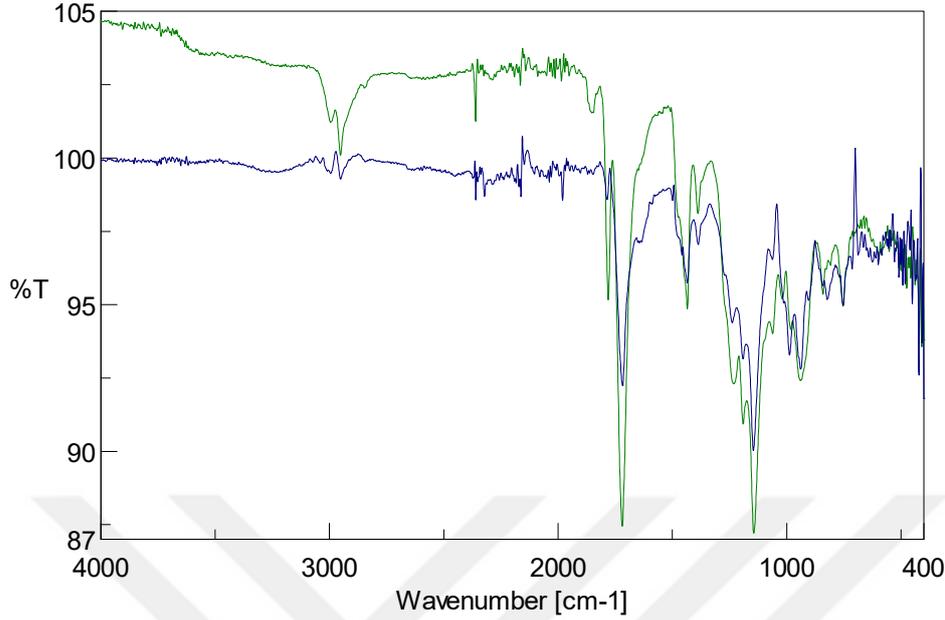
ve  $730\text{ cm}^{-1}$ 'deki bantların Cd-S germe bandına karşılık geldiği bulunmuştur (Desai ve ark., 2017; Önal, 2020).



**Şekil 3.1.** Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin FTIR spektrumu

### **3.2. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile Hazırlanmış Kompozitlerinin FTIR Analizi**

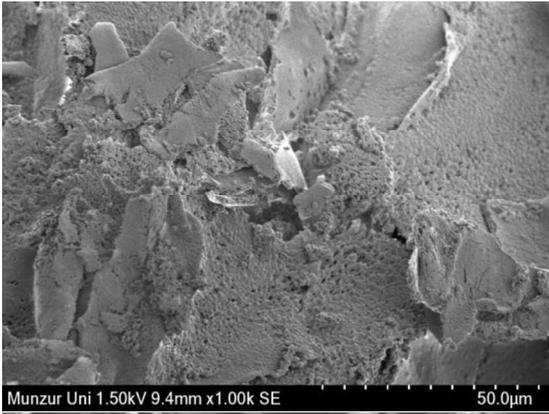
FTIR değerleri  $400$  ve  $4000\text{ cm}^{-1}$  arasında kaydedilmiştir. Şekil 3.2 saf poli(MA-ko-MMA) ve farklı CdS içeriğine sahip poli(MA-ko-MMA)-%20CeNO<sub>3</sub> kompozitlerinin FTIR eğrilerini göstermektedir. Buradaki en karakteristik sinyaller PMMA birimine atfedilen  $2990$ -  $2949\text{ cm}^{-1}$  alifatik C-H gerilmesi,  $1718\text{ cm}^{-1}$  -COO ester karbonili gerilmesi,  $1143\text{ cm}^{-1}$  C-O-C asimetrik gerilme titreşimlerine ait sinyallerdir (Kurt ve ark., 2014).  $1845$  ve  $1785\text{ cm}^{-1}$ 'deki bantlar MA döngüsündeki C=O grubunun simetrik ve asimetrik gerilme titreşim tepelerini gösterir (Rzaev ve ark., 2002; Torğut, 2019).  $1168$  ve  $1130\text{ cm}^{-1}$  C-O ve C-O-C anhidrit bantlarıdır. Spektrumlarda görüldüğü gibi, poli(MA-ko-MMA) ve poli(MA-ko-MMA)-CeNO<sub>3</sub>'ün FTIR bantları temel olarak aynıdır. Düşük katkı yüzdesinden dolayı CeNO<sub>3</sub>'ün polimer içerisinde bariz bir sinyalinin olmadığı görülmektedir.



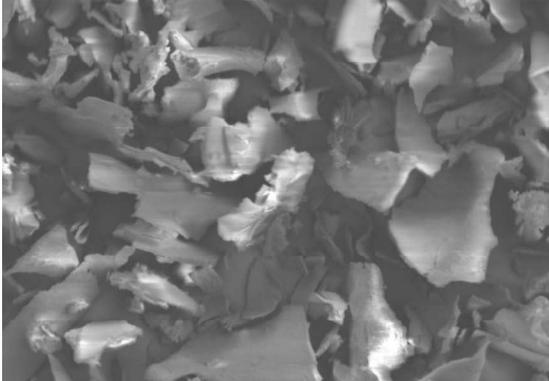
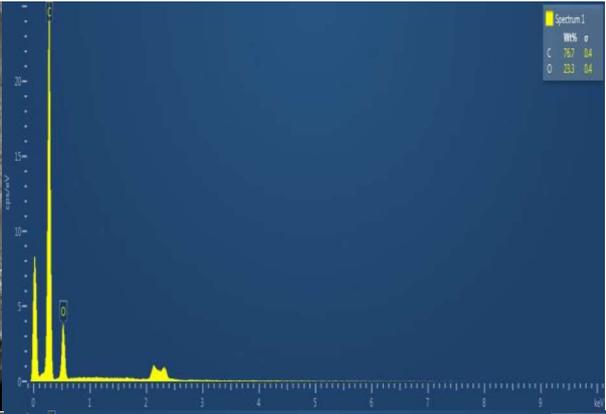
**Şekil 3.2.** Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve %20 CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitinin FTIR spektrumu

### **3.3. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile Hazırlanmış Kompozitlerinin SEM-EDX Analizi**

Hazırlanan Poli(MA-ko-St) kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin yüzey morfolojisini ve içeriğini gözlemlemek için SEM-EDX yöntemleri kullanılmıştır. Şekil 3.3'te verilen SEM görüntüleri (Şekil 3.3 a-e), kopolimer molekülleri arasında kadmiyum sülfid kristallerinin yerleştiğini ve artan miktarla birlikte yüzeyde bir katman oluşturduğunu göstermiştir. Kompozitlerin yüzeyinin saf polimere göre nispeten daha pürüzlü olduğu ve artan CdS miktarı ile yüzeyde toplanmış CdS partikülleri gözlenmiştir. Ayrıca CdS tabakalarının polimer içerisinde homojen ve iyi dağılmış olarak görülmektedir. Bu, CdS ile Poli(MA-ko-St) arasındaki iyi uyumluluk ve arayüz etkileşimlerine bağlanabilir (Gürler ve Torğut, 2022). Kopolimer ve kompozitlerin tesadüfen seçilen alanlarında atomik dağılımları belirlemek için EDX analizi ve element haritalaması gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerinde beklendiği gibi CdS oranları artmıştır.



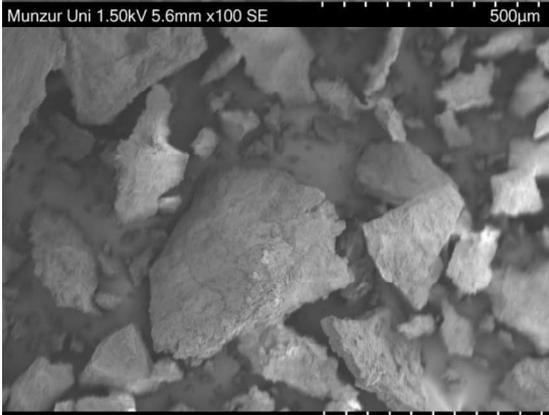
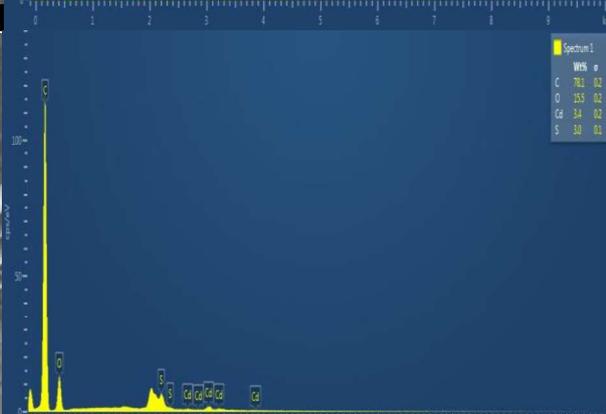
Munzur Uni 1.50kV 9.4mm x1.00k SE 50.0µm



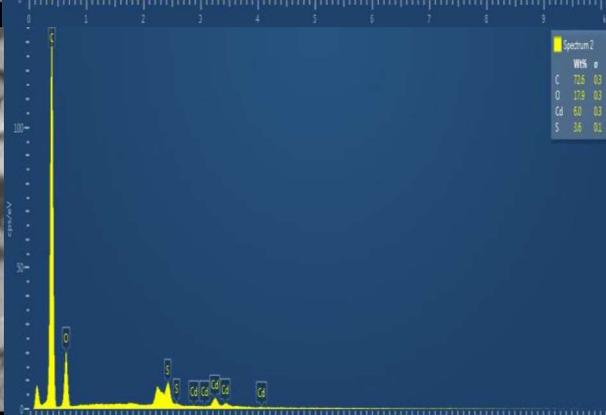
Munzur Uni 1.50kV 5.6mm x250 SE 200µm

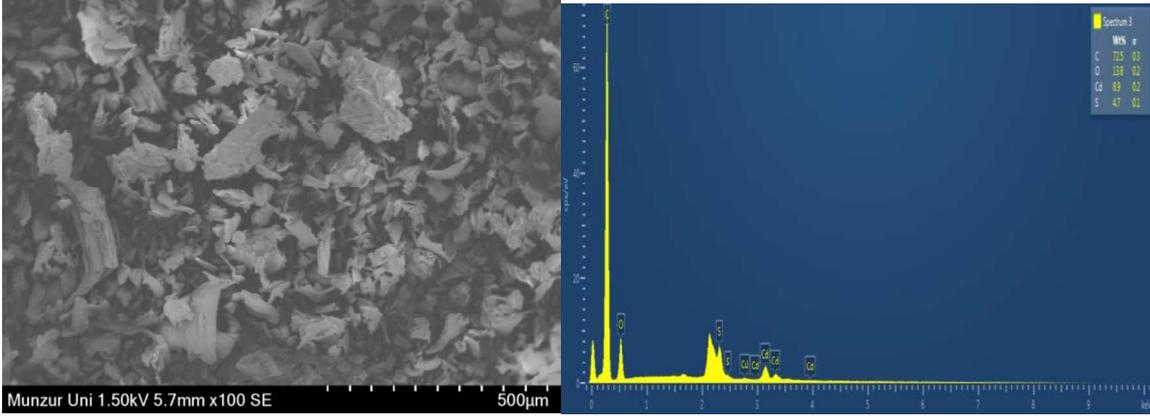


Munzur Uni 1.50kV 5.6mm x100 SE 500µm



Munzur Uni 1.50kV 5.5mm x100 SE 500µm

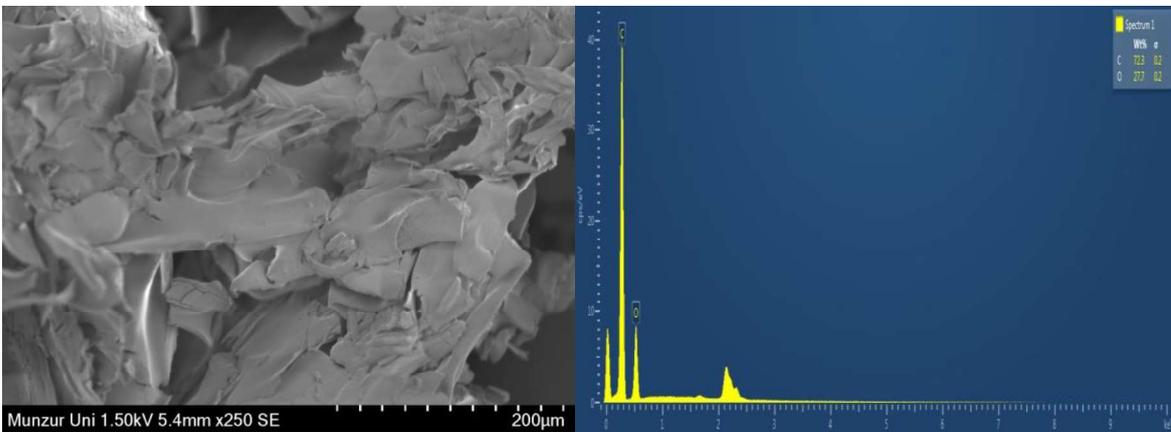


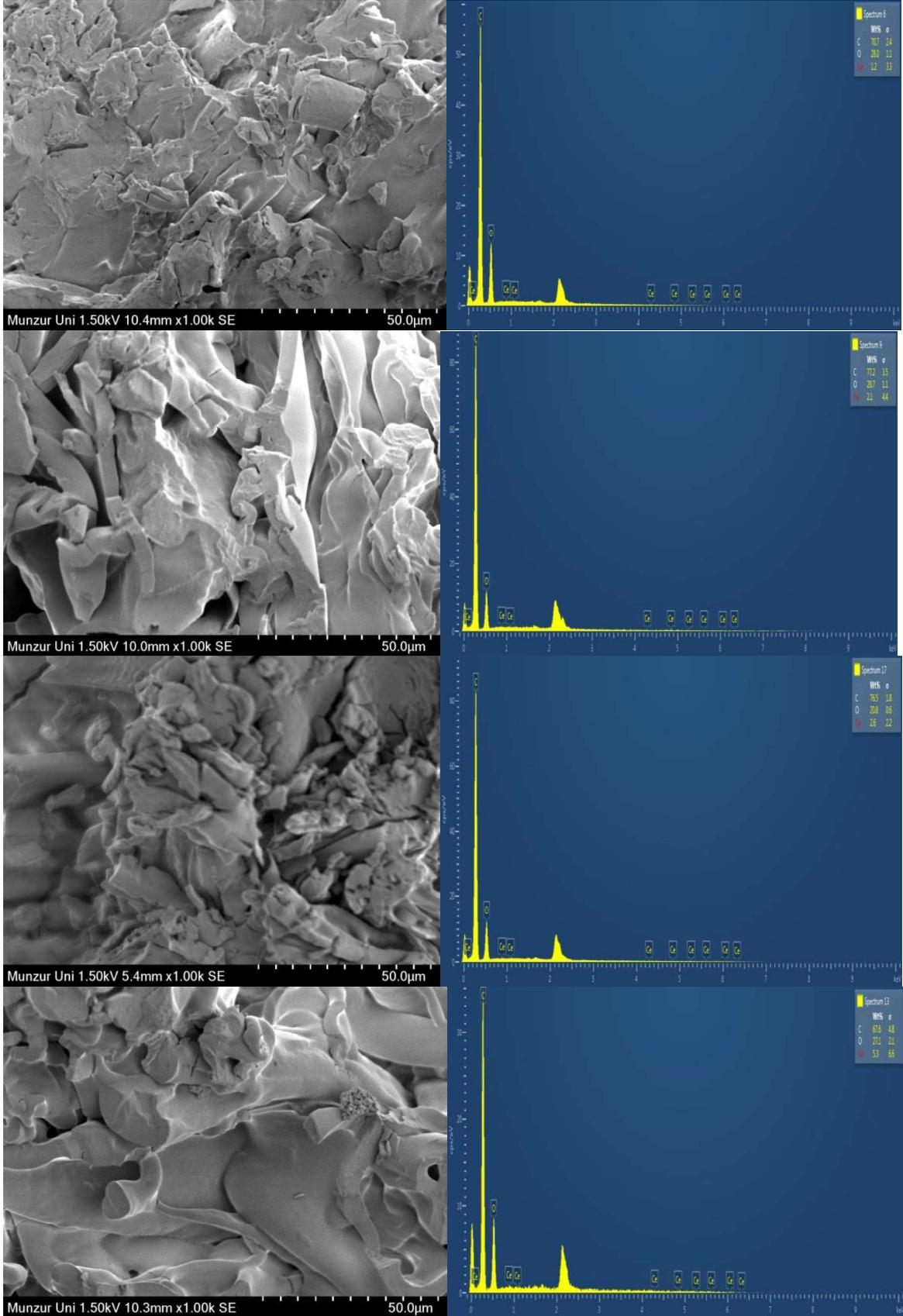


**Şekil 3.3.** Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX resimleri

### 3.4. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile Hazırlanmış Kompozitlerinin SEM-EDX Analizi

Hazırlanan Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin yüzey morfolojisini ve kompozitlerdeki CeNO<sub>3</sub> içeriğini gözlemlemek için SEM-EDX yöntemleri kullanılmıştır. Şekil 3.4'te verilen SEM görüntüleri (Şekil 3.4 a-e), kopolimer molekülleri arasına CeNO<sub>3</sub> kristallerinin yerleştiğini ve artan miktarla birlikte yüzeyde bir katman oluşturduğunu göstermiştir. Kompozitlerin yüzeyinin saf polimere göre nispeten daha pürüzlü olduğu ve artan CeNO<sub>3</sub> miktarı ile yüzeyde toplanmış CeNO<sub>3</sub> partikülleri gözlenmiştir. Ayrıca SEM şekillerinden CeNO<sub>3</sub>'ın polimer içinde homojen olarak dağıldığı sonucuna varılabilir. Kopolimer ve kompozitlerin tesadüfen seçilen alanlarında atomik dağılımları belirlemek için EDX analizi ve element haritalaması gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerinde beklendiği gibi CeNO<sub>3</sub> oranları artmıştır.

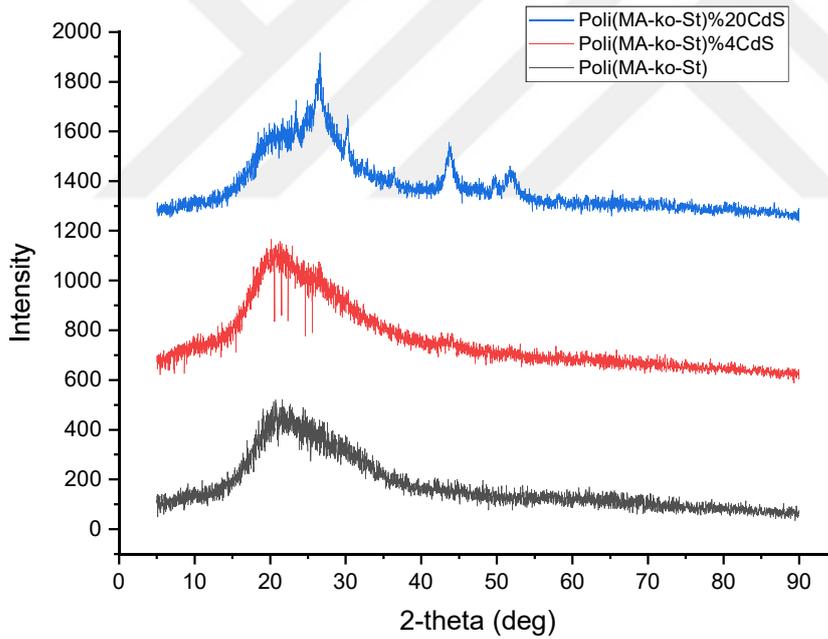




Şekil 3.4. Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM-EDX resimleri

### 3.5. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile Hazırlanmış Kompozitlerinin XRD Analizi

Hazırlanan Poli(MA-ko-St) kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin kristallik özelliklerini incelemek için X ışını kırınımı kullanılmıştır. Şekil 3.5 Poli(MA-ko-St) kopolimeri ve Poli(MA-ko-St)<sup>%4CdS</sup> ve Poli(MA-ko-St)<sup>%20CdS</sup> kompozitlerinin toz X-ışını kırınım modelini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, amorf yapıya sahip olan saf Poli(MA-ko-St) kopolimerinde belirgin keskin piklere rastlanmamıştır. Ancak CdS içeren kompozitlerde, CdS'in altıgen yapısını ortaya koyan (100), (002,  $2\theta = 26.523^\circ$ ), (101), (102), (110), (103), (200) (110,  $2\theta = 43.805^\circ$ ) ve (201) tepe noktalarının varlığı XRD spektrumunda mevcuttur. Buda literatürdekilerle oldukça uyumludur (Kumar ve Dutta, 2014). CdS miktarı arttıkça bahsedilen tepe noktalarında pik şiddeti artmış ve kristalitesi artmıştır.

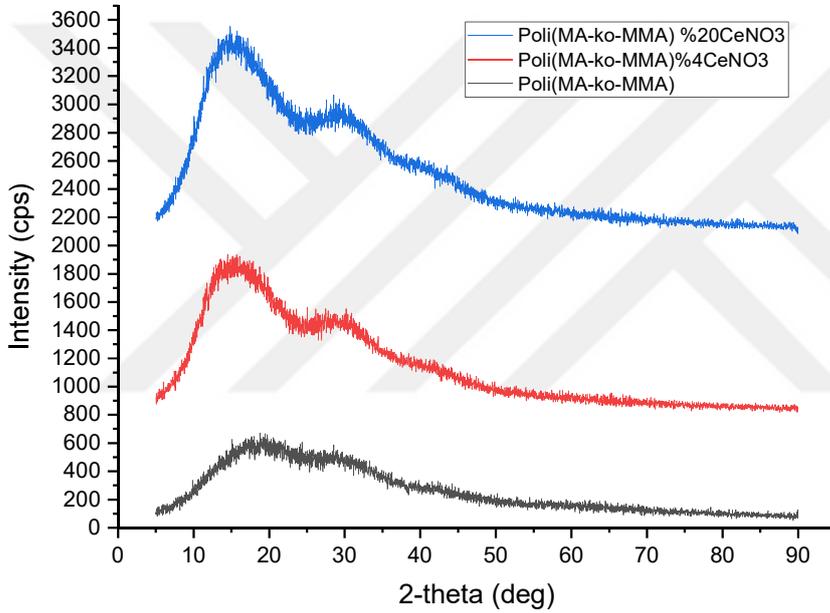


Şekil 3.5. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD Grafiği

### 3.6. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile Hazırlanmış Kompozitlerinin XRD Analizi

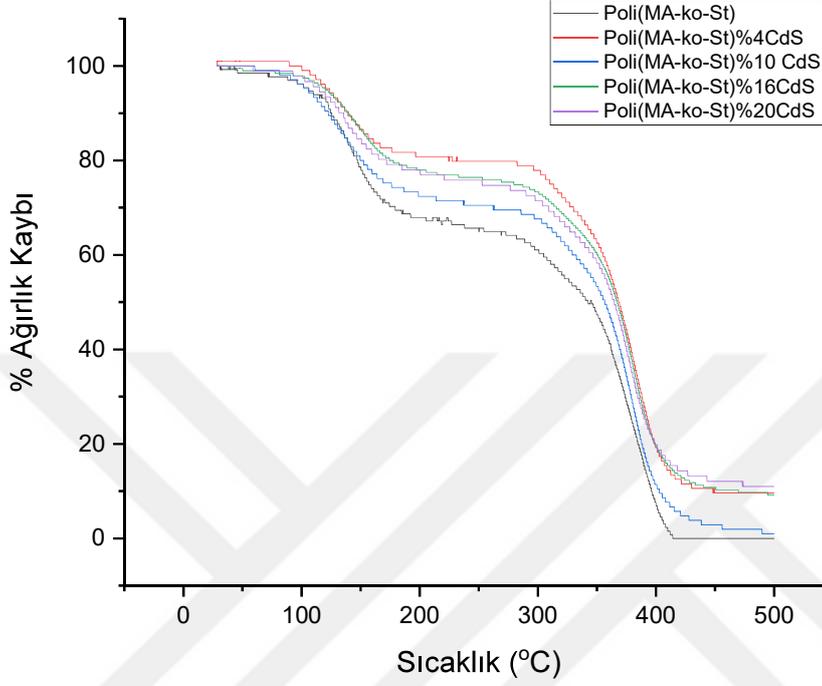
Hazırlanan Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin kristallik özelliklerini incelemek için X ışını kırınımı kullanılmıştır. Şekil

3.6 Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve Poli(MA-ko-MMA)<sup>%4CeNO<sub>3</sub></sup> ve Poli(MA-ko-MMA)<sup>%20CeNO<sub>3</sub></sup> kompozitlerinin toz X-ışını kırınım modelini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, amorf yapıya sahip olan saf Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinde belirgin keskin piklere rastlanmamıştır. XRD diyagramına göre saf polimer ve kompozitleri arasında dikkat çekici bir değişiklik görülmemiştir. Saf CeNO<sub>3</sub> 2θ=2,1°C'de bir yansıma zirvesi sergiler (Darmiani ve ark., 2013). Kompozitlerde bu noktada küçük değişiklik olmuştur. Buda literatüre göre CeNO<sub>3</sub>'ın polimer matrisi içerisinde çözündüğü sonucunu gösterir (Darmiani ve ark., 2013).



**Şekil 3.6.** Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitlerinin XRD grafiği

### 3.7. Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile Hazırlanmış Kompozitlerinin Termal Analizi



**Şekil 3. 7.** Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA Grafiği

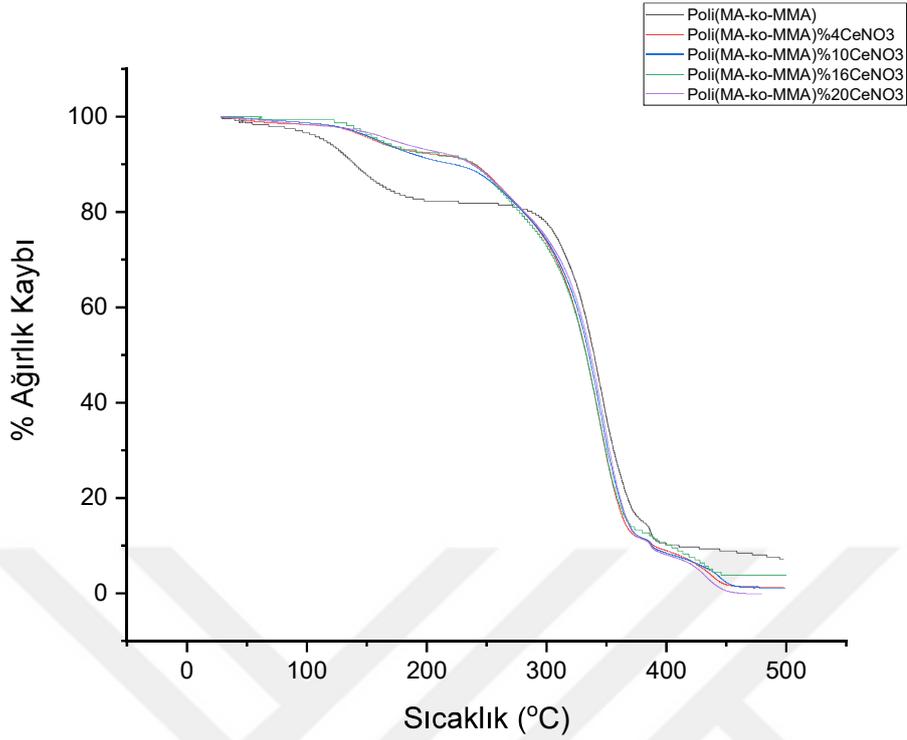
Poli(MA-ko-St) ve ağırlıkça %4, 10, 16 ve 20 CdS içeren kompozitlerin termogravimetrik analizi, nitrojen gazı altında, 500 °C'ye kadar 10 °C/dk ısıtma hızıyla TGA ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, polimer ve kompozitler iki basamaklı bir bozunma sergilemiştir ve bozunma sıcaklıkları büyük bir farklılık göstermemiştir. İlk bozunmaları 180 °C'de gözlenirken, 2. bozunmaları yaklaşık 300 °C'de gerçekleştirmiş. Bu termogramda dikkat çeken nokta kompozitlerdeki CdS miktarı arttıkça 2. bozunma sıcaklığının yükselmiş olmasıdır. Bu davranış, CdS parçacıklarının polimer kompozitlerin termal stabilitesini artırdığını gösterir. Aynı zamanda hem Poli(MA-ko-St) kopolimerinin hemde CdS ile kompozitlerinin bozunması yaklaşık 420 °C'de tamamlanmıştır. Kompozitlerdeki atık miktarı ise CdS miktarıyla artış göstermiştir. Sonuçlar Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

**Tablo 3. 1.** Poli(MA-ko-St) Kopolimeri ve CdS ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA sonuçları

<b>Films</b>	<b>T<sub>b</sub> °C</b>	<b>T<sub>ib</sub> °C</b>	<b>T<sub>bitiş</sub> °C</b>	<b>Atık miktarı %</b>
Poli(MA-ko-St)	170	280	420	0
Poli(MA-ko-St) <sup>%4CdS</sup>	174	286	430	3
Poli(MA-ko-St) <sup>%10CdS</sup>	176	290	450	15
Poli(MA-ko-St) <sup>%16CdS</sup>	180	293	460	16
Poli(MA-ko-St) <sup>%20CdS</sup>	185	300	470	18

### **3.8. Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve CeNO<sub>3</sub> ile Hazırlanmış Kompozitlerinin Termal Analizi**

Kütlece farklı oranlarda CeNO<sub>3</sub> kullanılarak hazırlanan Poli(MA-ko-MMA) kompozitlerinin TGA eğrileri Şekil 3.8'de verilmiştir. TGA eğrileri incelendiğinde 100 °C'nin altındaki kütle kayıpları kompozitlerdeki nem kaybını gösterir. Ayrıca hem saf Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri hemde CeNO<sub>3</sub> ile hazırlanmış kompozitleri iki basamaklı bir bozunma göstermişlerdir. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin birinci bozunma sıcaklığı 200 °C civarındayken ikinci bozunma sıcaklığı 320 °C'dedir. Kompozitlerin bozunma sıcaklıkları birbirlerine yakın olmakla birlikte Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin bozunma sıcaklığından daha düşüktür. Bu durum, CeNO<sub>3</sub> içeriğinin artmasıyla birlikte Poli(MA-ko-MMA)'ın termal kararlılığının azaldığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca kompozitlerin atık miktarında saf Poli(MA-ko-MMA)'ın atık miktarına göre gözle görülür bir azalma olduğu tespit edilmiştir. TGA sonuçları Tablo 3.2'de özetlenmiştir.



**Şekil 3.8.** Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri ve  $CeNO_3$  ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA grafiği

**Tablo 3.2.** Poli(MA-ko-MMA) Kopolimeri ve  $CeNO_3$  ile hazırlanmış kompozitlerinin TGA sonuçları

Films	$T_b$ °C	$T_{ib}$ °C	$T_{bitiş}$ °C	Atık Miktarı %
Poli(MA-ko-MMA)	198	330	400	9
Poli(MA-ko-MMA)%4CeNO <sub>3</sub>	160	272	445	7
Poli(MA-ko-MMA)%10CeNO <sub>3</sub>	154	265	447	5
Poli(MA-ko-MMA)%16CeNO <sub>3</sub>	151	260	449	5
Poli(MA-ko-MMA)%20CeNO <sub>3</sub>	150	257	450	2

### 3.9. Cevap Yüzey Yöntemi İle Parametreler Arasındaki Etkileşim Etkilerinin Belirlenmesi

#### 3.9.1. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin ikinci dereceden cevap yüzey modeli için ANOVA

Bu çalışmada, frekans, uygulanan voltaj ve CdS miktarının polimerin dielektrik sabiti, ve elektriksel iletkenliği üzerine etkileşim etkisi CYY kullanılarak incelenmiştir ve bu değerler ayrı ayrı belirlenmiştir. Seçilen parametrelerin kodlanmış değerleri ve tahmini ve gerçek cevapları içeren deney tasarımı Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.** Merkezi kopmozit tasarıma göre deneysel faktörler ve  $\epsilon$  ve iletkenlik sonuçları

Sıra no	Frekans (Hz)	Voltaj (V)	CdS miktarı (kütlece%)	Dielektrik sabiti		İletkenlik	
				Deneysel	Tahmin edilen	Deneysel	Tahmin edilen
1	1	1	-1	6.98212	6.58	1.650E-009	-1.088E-007
2	0	0	-1,682	6.98212	7.63	6.650E-010	5.577E-007
3	0	0	0	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
4	1	-1	1	11.6429	11.26	1.388E-007	6.962E-007
5	1	-1	-11	6.01522	5.48	1.687E-009	-1.132E-007
6	-1	-1	-1	8.74054	8.32	9.933E-009	-2.091E-007
7	0	0	0	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
8	1,682	0	0	6.26628	6.87	2.742E-008	-3.391E-007
9	0	0	0	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
10	0	0	0	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
11	0	0	1,682	16.9064	17.22	3.432E-006	2.388E-006
12	1	1,682	0	8.01623	8.34	6.862E-008	-1.812E-007
13	-1,682	0	0	9.47311	9.83	8.862E-008	-3.209E-008
14	0	0	1,682	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
15	-1	1	1	13.2079	13.06	7.043E-007	1.164E-006
16	0	-1,682	0	7.49565	8.13	4.549E-008	-1.918E-007
17	-1	-1	1	14.1948	13.91	7.006E-007	1.156E-006
18	0	0	0	7.46778	7.44	4.529E-008	5.922E-008
19	-1	1	-1	7.74288	7.45	9.933E-009	-2.031E-007
20	1	1	1	12.6471	12.39	1.392E-007	7.028E-007

Dielektrik sabiti için bağımsız parametreler arasındaki kuadratik ilişki ve tepkisi aşağıdaki denklemle gösterilmiştir.

$$\epsilon = +7,44 - 0,88A + 0,063B + 2,85C + 0,49AB + 0,047AC + 6,01BC + 0,32A^2 + 0,28B^2 + 1,76C^2 \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de, pozitif işaretler sinerjistik etkiyi gösterirken negatif işaretler antagonistik bir etki gösterir (Kumar ve ark., 2009). Denklem (3.1)'den görülebileceği gibi frekans ( $A$ ) negatif etkiye sahipken gerilim ( $B$ ) ve CdS miktarı ( $C$ ) pozitif etkiye sahiptir. Bu durum frekans arttıkça dielektrik sabitinin azaldığını, CdS miktarı ve uygulanan gerilimin artmasıyla arttığını göstermektedir. Tablo 3.4'de seçilen her bir terimin önemi belirlenirken  $p$ -değeri ( $\text{Prob} > F$ ) kullanılmıştır. Bu tabloya göre poli(MA-ko-St)'nin tepkisi için modelin anlamlı terimlerinin  $A$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $A^2$  ve  $C^2$  olduğu açıktır. 0,05'ten küçük  $F$  veya  $P$

değerleri  $\epsilon$  ( $P < 0,05$ ) üzerinde önemli bir katkıyı desteklemektedir (Bagheri ve ark., 2019). Katsayıların  $P$  değerleri karşılaştırıldığında, CdS miktarının ve frekansın doğrusal bir etkiye sahip olduğu ( $P$  değerlerinin düşük olması nedeniyle) bu değişkenlerdeki değişikliklerin  $\epsilon$ 'yi değiştireceğini göstermektedir. Ayrıca bu sonuçlar özellikle CdS miktarının ( $P < 0,0001$ )  $\epsilon$  üzerinde en etkili değişken olduğunu göstermektedir.

ANOVA bize hangi faktörün en önemli olduğunu gösterir. Ayrıca araştırılan faktörler arasındaki ilişkiyi belirler ve deney sonuçlarının anlamlı olup olmadığı hakkında bilgi verir (Wang ve ark., 2016). Genel olarak  $Prob > F$  değerinin 0,05'ten küçük olması, faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğunu ve modelin oluşturulan verilerle iyi uyum sağladığını gösterir (Yang ve ark., 2016; Mousavi ve ark., 2016). ANOVA'dan elde edilen  $\epsilon$  sonuçları Tablo 3.4'de gösterilmektedir. Modelin  $P$  ve  $F$  değerleri sırasıyla  $< 0,0001$  ve 15,48'dir. Tablo 3.4'de gösterilen  $F$  değeri ve  $p$ -değerine göre poli(MA-ko-St) kopolimerinin  $\epsilon$  değeri için frekans, gerilim ve CdS etkilerinin yanı sıra faktörlerin etkileşim etkilerinin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısının yüksek değeri ( $R^2 = 0,98$ ), toplam varyasyonun sadece %2'sinin model tarafından açıklanamadığını göstermektedir. Yeterli hassasiyet, sinyal gürültü oranını ölçer ve iyi tanımlanmış bir model için oranın 4'ten büyük olması istenir (Radnia ve ark., 2017).

Bu çalışmada, modelin yeterli hassasiyet oranı 4'ten büyüktür (32,825) ve bu sonuç yeterli bir sinyal olduğunu göstermektedir. Varyasyon katsayısı, modelin güvenilirliğini tanımlar. Modelin varyasyon katsayısı % 10'un altındaysa, modelin tekrarlanabilirliği dikkate alınabilir. Yapılan bu çalışmada CV değeri 5,58 olarak bulunmuştur.

**Tablo 3.4.** Poli(MA-ko-St)'nin Dielektrik sabiti için Varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Kareler toplamı	DF	Ortalama kare	$F$ - değeri	$p$ -değeri Prob > F	
Model	168,59	9	18,73	73,29	< 0,0001	önemli
$A$ -frekans	10,53	1	10,53	41,20	< 0,0001	
$B$ -Voltaj	0,054	1	0,054	0,21	0,6544	
$C$ -CdS miktarı	110,82	1	110,82	433,55	<0,0001	
$AB$	1,968	1	1,96	7,65	0,0199	
$AC$	0,017	1	0,017	0,068	0,7993	
$BC$	$2,89 \times 10^{-4}$	1	$2,89 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-3}$	0,9738	
$A^2$	1,49	1	1,49	5,84	0,0362	
$B^2$	1,14	1	1,14	4,48	0,0605	
$C^2$	44,77	1	44,77	175,15	< 0,0001	
Kalan	2,56	10	0,26			
Uyum Eksikliği	2,56	5	0,51			
Saf Hata	0	5	0			

Cor Total	171,14	19	
$R^2$			0,98
$R^2$ -Ayarlanmış			0,97
$R^2$ -Tahmini			0,88
Yeterli hassasiyet			32,825
Varyasyon katsayısı			5,58

Deneysel cevap, deneysel faktörlerin Poli(MA-ko-St) kopolimerinin elektriksel iletkenliği( $\sigma$ ) üzerindeki etkisini gösteren bir polinom denklemi olarak modellenenabilir. Elde edilen kodlanmış faktörler (parametreler) cinsinden ikinci dereceden fonksiyon aşağıdaki denklemle verilmiştir.

$$\sigma = +8,20 + 8,79 \times 10^{-7}A + 1,49 \times 10^{-9}B + 3,96 \times 10^{-6}C + 4,85 \times 10^{-10}AB + 1,44 \times 10^{-6}AC + 1,15 \times 10^{-9}BC + 9,40 \times 10^{-8}A^2 + 9,30 \times 10^{-8}B^2 + 2,93 \times 10^{-6}C^2 \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de, pozitif işaretler sinerjistik etkiyi gösterirken negatif işaretler antagonistik bir etki gösterir. Denklem (3.2)'den görülebileceği gibi her üç parametrede Poli(MA-ko-St) kopolimerinin elektriksel iletkenliği üzerine pozitif etki yapmaktadır. Yani frekans, voltaj ve CdS miktarındaki artış polimerin iletkenliğini artırmaktadır. ANOVA'dan çeşitli istatistiksel parametreler için elektriksel iletkenlik değerleri hesaplandı. Tablo 3.5, ikinci derece model için her bir terimin önemini gösteren ANOVA sonuçlarını listelemektedir. Yine bu polimerin ANOVA tablosu incelendiğinde (Tablo 3.5), Poli(MA-ko-St)'nin tepkisi için modelin anlamlı terimlerinin  $A$ ,  $C$ ,  $AC$  ve  $C^2$  olduğu açıktır. 0,05'ten küçük P değerleri model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir. P değerleri 0,05 ile 0,15 arasındaysa parametrelerin yanıt üzerinde marjinal bir etkisi vardır ve ilk yaklaşımda dikkate alınmalıdır (Iranmanesh ve ark., 2016). P değeri ne kadar küçük olursa cevap değişkenine katkı sağlamak o kadar önemlidir (Chieng ve ark., 2012; Bezerra ve ark., 2008). Ancak P değeri 0,15'ten büyük olan parametreler göz ardı edilebilir. Çalışmamızda F değerinin 28,08 olması ve olası F değerinin 0,0001'den küçük olması nedeniyle seçilen model anlamlıdır. Ayrıca Tablo 3.5'de görülüyorki; frekans ( $A$ ) ve CdS katkısının birinci ve ikinci dereceden etkisi ( $C$ ,  $C^2$ ) ve frekans ve CdS katkısının iki seviyeli etkileşimi önemli model terimlerini temsil eder ve Poli(MA-ko-St)'nin iletkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu modelin önemsiz terimi olan voltaj ( $B$ ) çıkarılabilir veya iyileştirilebilir. Sonuçlar, CdS yüklemesinin polimerin iletkenliğinde diğer parametrelere göre önemli bir rol oynadığını göstermektedir. İletkenlik için korelasyon

katsayısının yüksek değeri ( $R^2= 0.96$ ), deneysel veriler ile model arasında iyi bir ilişki olduğunu gösterir.

**Tablo 3.5.** Poli(MA-ko-St)'nin Elektriksel iletkenliği için Varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Kareler toplamı	DF	Ortalama kare	F- değeri	p-değeri Prob > F	
Model	$3,66 \times 10^{-10}$	9	$1,23 \times 10^{-11}$	28,08	< 0,0001	önemli
A-frekans	$1,05 \times 10^{-11}$	1	$5,11 \times 10^{-12}$	7,29	<0,0223	
B-Voltaj	$3,05 \times 10^{-17}$	1	$3,05 \times 10^{-17}$	$5,58 \times 10^{-5}$	0,9942	
C-CdS miktarı	$2,14 \times 10^{-10}$	1	$7,61 \times 10^{-11}$	147,74	<0,0001	
AB	$1,88 \times 10^{-18}$	1	$1,88 \times 10^{-18}$	$3,43 \times 10^{-6}$	0,9986	
AC	$1,66 \times 10^{-11}$	1	$5,99 \times 10^{-12}$	11,50	0,0069	
BC	$1,06 \times 10^{-17}$	1	$1,06 \times 10^{-17}$	$1,95 \times 10^{-5}$	0,9966	
A <sup>2</sup>	$1,27 \times 10^{-13}$	1	$7,30 \times 10^{-13}$	0,088	0,7730	
B <sup>2</sup>	$1,24 \times 10^{-13}$	1	$8,28 \times 10^{-13}$	11,50	0,7753	
C <sup>2</sup>	$1,24 \times 10^{-10}$	1	$2,35 \times 10^{-11}$	85,51	< 0,0001	
Kalan	$1,45 \times 10^{-11}$	10	$5,48 \times 10^{-13}$			
Uyum Eksikliği	$1,45 \times 10^{-11}$	5	$1,04 \times 10^{-12}$			
Saf Hata	$5,24 \times 10^{-12}$	5	$4,68 \times 10^{-14}$			
Cor Total	$1,66 \times 10^{-10}$	19				
R <sup>2</sup>			0,96			
R <sup>2</sup> -Ayarlanmış			0,92			
R <sup>2</sup> -Tahmini			0,88			
Yeterli hassasiyet			19,216			
Varyasyon katsayısı			54,42			

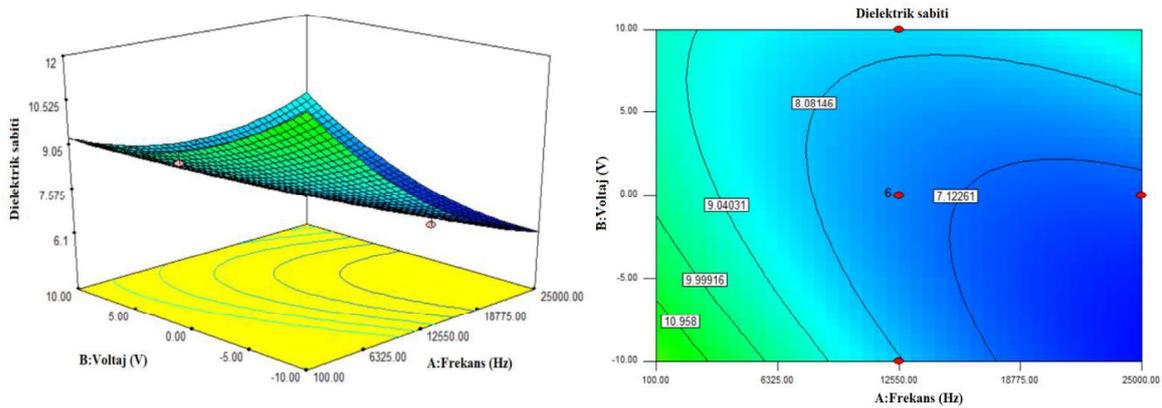
### 3.9.2. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin dielektrik sabiti için cevap yüzey ve kontur eğrileri

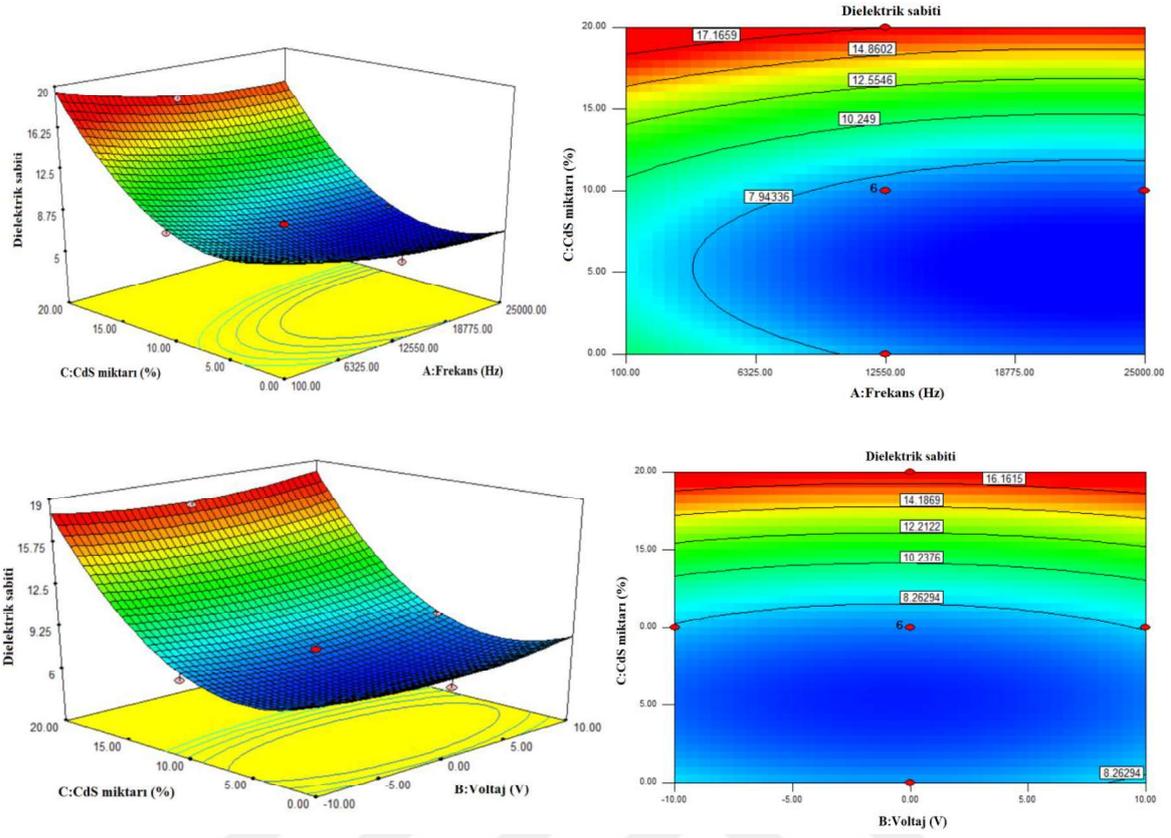
Poli(MA-ko-St) kopolimerinin dielektrik sabitini araştırmak için seçilen değişkenlerin optimum değerlerini belirlemek ve değişkenler arasındaki etkileşimi anlamak amacıyla kurulan modele dayalı olarak üç boyutlu cevap yüzey ve 2 boyutlu kontur grafikleri çizilmiştir ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. 3 boyutlu grafiklerde yarı eğriliğin varlığı, etkileşimli efektlerin önemini göstermektedir (Hafeez ve ark., 2019). Şekil 3.9a,  $\epsilon$  üzerindeki frekans ve gerilim etkileşiminin 3 boyutlu çizimini ve 2 boyutlu konturunu göstermektedir. Şekil 3.9a, frekansın  $\epsilon$  üzerinde olumsuz etki yaptığını yani frekansın artmasıyla cevabın azaldığını göstermektedir. Aynı zamanda şekilde voltajın cevap üzerinde önemli bir etkisinin olmamakla birlikte pozitif bir etki yaptığını görmekteyiz. En yüksek  $\epsilon$  değeri düşük frekanslarda görülmüştür.  $\epsilon$ , yükleri bir malzeme üzerinde depolama

yeteneğini ölçen bir katsayıdır. Elektrik alanı altında bazen polar yapıları polimerlerin dipollerinin yönlendirilmesi gerekir. Yüksek frekanslarda bu süre yeterli olmadığından  $\epsilon$  sabiti azalır (Ebrahimi ve ark., 2013). Polimerler alternatif bir elektrik alanında bırakıldığında elektronlar ve atomlar yer değiştirir, böylece elektrik yükünün merkezleri değişir ve bu da elektriksel polarizasyona neden olur.

Frekans ve CdS yüklemesinin bir fonksiyonu olarak  $\epsilon$ 'nin 3 boyutlu cevap grafiği ve 2 boyutlu konturu, Şekil 3.9b'de gösterilmiştir. CdS miktarının artması ve frekansın azalması  $\epsilon$  değerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca, CdS miktarının  $\epsilon$  üzerindeki etkisinin düşük frekansta daha önemli olduğu açıktır. Gerilim sabit tutulduğunda Poli(MA-ko-St) için düşük frekansta ve CdS'nin yüksek yüklemesinde  $\epsilon$ 'de keskin bir artış olmuştur. Bu veriler ANOVA tarafından çok iyi bir şekilde doğrulanmaktadır. Polimer içinde iyi dağılmış dolgu maddesi daha yüksek  $\epsilon$  verecektir.  $\epsilon$ 'deki bu artış, CdS parçacıkları ile polimer molekülleri arasındaki arayüzde meydana gelen ara yüzey polarizasyonuna bağlanabilir (Kratky ve ark., 2012; Şahal ve ark., 2022).

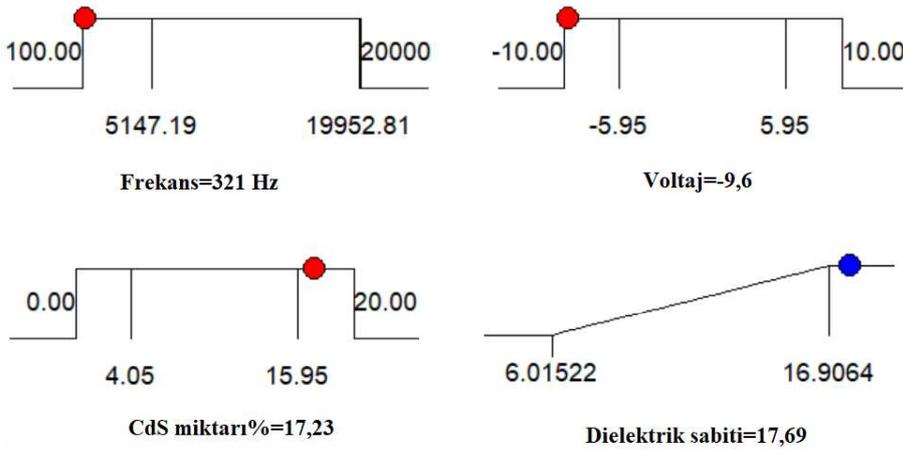
Şekil 5c,  $\epsilon$  üzerindeki gerilim ve CdS miktarı etkileşiminin 3 boyutlu çizimini ve 2 boyutlu konturunu göstermektedir. Şekil 3.9c'den görülebileceği gibi, hem CdS miktarının artmasıyla hemde uygulanan gerilimdeki artışı ile  $\epsilon$  artmıştır. Ancak CdS miktarındaki artışın cevap üzerindeki etkisi voltajdan daha fazladır.





**Şekil 3. 9.** Poli(MA-ko-St) polimerinin dielektrik sabitinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri

Poli(MA-ko-St) kopolimerinin maksimum dielektrik sabiti için Desing expert'in desirability fonksiyonu kullanılmıştır ve optimum şartlar belirlenerek ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Bulunan optimum şartlar, frekans için 321 Hz, voltaj için -9,6 Volt ve CdS miktarı için %17,23'dür. Bu şartlarda  $\epsilon$  değeri 17,69 olarak bulunmuştur.



**Şekil 3. 10.** Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için arzu edilirlilik grafiği.

### 3.9.3. Poli(MA-ko-St) kopolimerinin iletkenlik için cevap yüzey ve kontur eğrileri

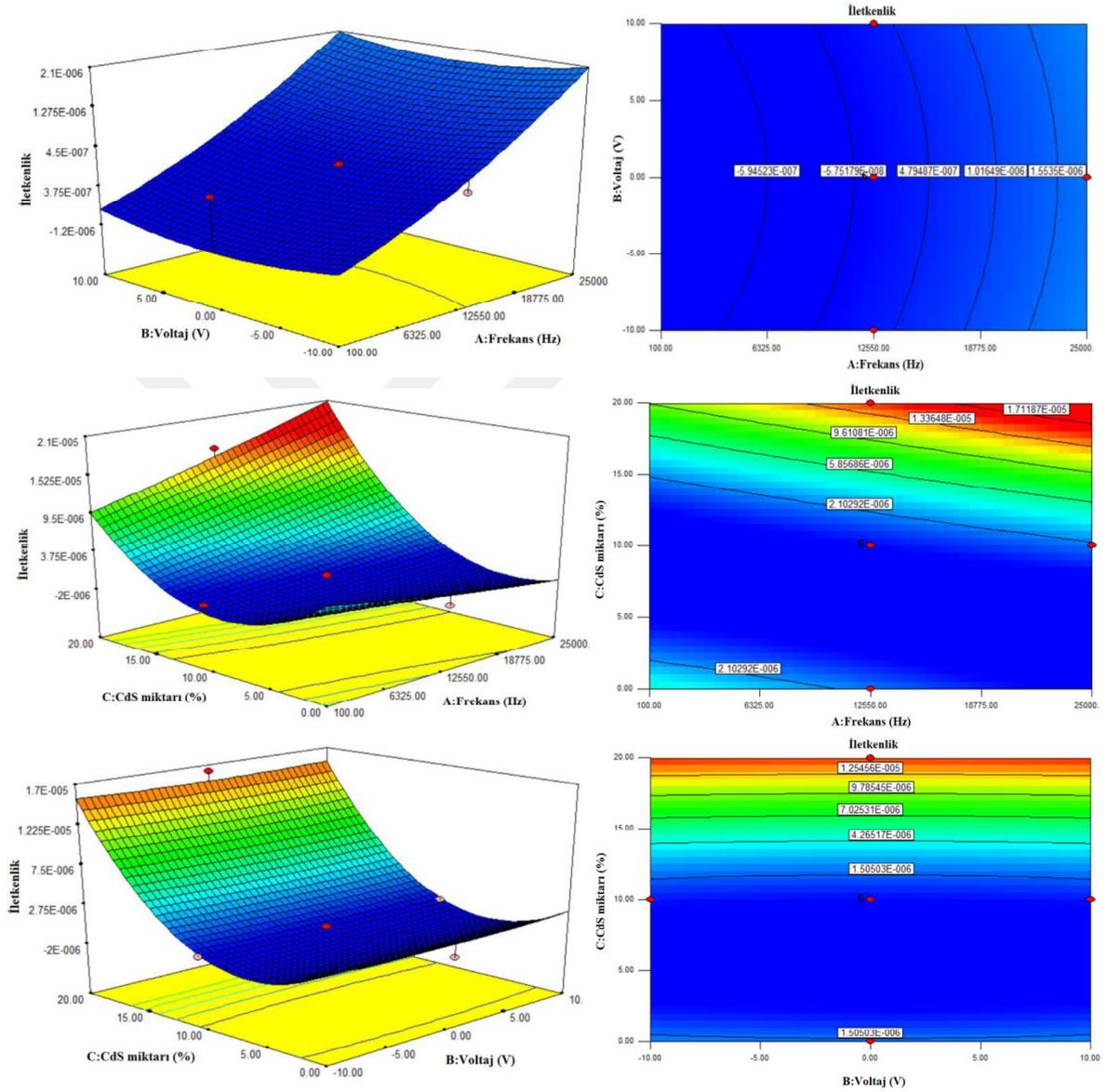
Şekil 3.11, çalışmada belirlenen değişkenlerin iletkenlik üzerindeki etkisini incelemek ve değişkenler arasındaki etkileşimi anlamak için üç boyutlu cevap yüzeyi (3D) ve kontur çizimlerini göstermektedir. Rakamlar, değişkenlerin birbirine bağımlılığını ve maksimum elektrik iletkenliği için her parametrenin optimum değerini gösterir. Şekil 3.11a, CdS içeriği sabit tutulurken frekansın ve voltajın bir fonksiyonu olarak 3 boyutlu tepki yüzeylerini ve kontur grafiklerini göstermektedir. Oda sıcaklığında yapılan ölçümlerde görülmüştür; elektriksel iletkenlik frekans arttıkça artarken, uygulanan voltajın değişmesinden önemli ölçüde etkilenmemiştir. Oda sıcaklığında %10CdS katkılı kompozit için, 100, 12550 ve 25000 Hz'de iletkenlik değerleri sırasıyla  $1,21 \times 10^{-8}$  S/cm,  $9,53 \times 10^{-8}$  S/cm ve  $1,91 \times 10^{-7}$  S/cm olarak bulunmuştur. Bu, frekans arttıkça iletkenliğin arttığını gösterir. İletkenlikteki bu artış, yük taşıyıcılarının düşük ve yüksek frekanslardaki farklı davranışlarından kaynaklanıyor olabilir. Düşük frekanslarda birden fazla yük taşıyıcının bir segmentten diğerine geçişi tünelleme yoluyla sağlanır ve az miktarda elektrik sağlanır. Daha yüksek frekanslarda, daha fazla miktarda yük taşıyıcının tünellenmesi nedeniyle daha fazla iletkenlik vardır (Gürler ve Torğüt, 2021).

Şekil 3.11b, frekansın ve CdS miktarının sabit bir voltajda elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekillerde değişen CdS miktarının iletkenlik üzerinde oldukça olumlu bir etkisi olduğu açıktır. Polimer içerisinde iyi dağılmış CdS polimere daha yüksek bir iletkenlik kazandırmıştır. Aynı zamanda artan frekans değeri ile de iletkenliğin artış gösterdiğini söyleyebiliriz.

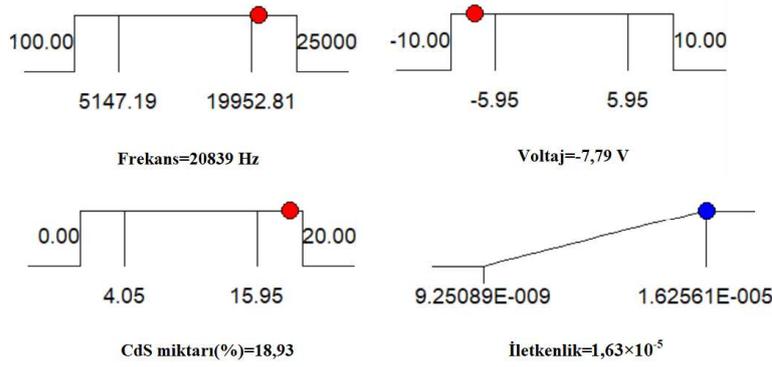
Uygulanan gerilim ve CdS miktarıyla Poli(MA-ko-St) kopolimerinin iletkenliğinin değişimi arasındaki ilişkiyi gösteren, Şekil 3.11c gösterilen cevap yüzey grafiğine göre, yüksek CdS katkılama polimerde maksimum elektrik iletkenliğine yol açmıştır. Bu durum, Poli(MA-ko-St) ve CdS molekülleri arasındaki elektronik ve dipol polarizasyonunu artıran iyi arayüz polarizasyonundan kaynaklanıyor olabilir (Torğüt ve Gürler, 2021). Ancak iletkenliğin voltajla önemli ölçüde değişmediği gözlenmiştir. ANOVA'da bu sonucu desteklemektedir.

Şekil 3.12'de Poli(MA-ko-St) kopolimerinin CdS ile hazırlanan kompozitlerinin maksimum elektriksel iletkenliğini elde etmek için belirlenen optimum koşullar gösterilmiştir. Bu değerler tasarlanan Desing expert'in desirability programı ile alındı.

Optimum koşullar frekans için 20839 Hz, voltaj için  $-7,79$  V ve CdS yüklemesi için %18,93'dür. Bu koşullar altında elektriksel iletkenlik değeri  $1,63 \times 10^{-5}$  S/cm olarak bulunmuştur.



**Şekil 3. 11.** Poli(MA-ko-St) polimerinin elektriksel iletkenliğinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri



Şekil 3.12. Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için arzu edirlilik grafiği.

### 3.9.4. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin ikinci dereceden cevap yüzey modeli için ANOVA

Yapılan çalışmada, frekans, uygulanan voltaj ve  $CeNO_3$  miktarının Poli(MA-ko-MMA)kopolimerinin dielektrik sabiti ve elektriksel iletkenliği üzerine etkileşim etkisi CYY kullanılarak incelenmiştir ve bu değerler ayrı ayrı belirlenmiştir. Seçilen parametrelerin kodlanmış değerleri ve tahmini ve gerçek cevapları içeren deney tasarımı Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

**Tablo 3.6.** Merkezi kopozit tasarıma göre deneysel faktörler ve  $\epsilon$  ve iletkenlik sonuçları

Sıra no	Frekans (Hz)	Voltaj (V)	$CeNO_3$ miktarı (kütlece%)	Dielektrik sabiti		İletkenlik	
				Deneysel	Tahmin edilen	Deneysel	Tahmin edilen
1	1	1	-1	9.63	9.89	1.046E-006	1.083E-006
2	0	0	-1,682	6.70	6.26	1.990E-007	3.811E-007
3	0	0	0	5.62	5.15	8.036E-009	1.959E-008
4	1	-1	1	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008
5	1	-1	-11	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008
6	-1	-1	-1	8.46	7.98	3.955E-007	3.955E-007
7	0	0	0	6.06	6.31	1.654E-008	4.015E-008
8	1,682	0	0	8.13	8.25	9.741E-007	8.645E-007
9	0	0	0	4.70	4.96	2.618E-010	3.834E-008
10	0	0	0	5.11	5.22	4.610E-009	-4.872E-008
11	0	0	1,682	6.07	6.33	6.672E-008	1.186E-007
12	1	1,682	0	5.96	5.96	1.114E-007	4.828E-009
13	-1,682	0	0	5.62	5.14	9.940E-009	6.610E-008
14	0	0	1,682	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008
15	-1	1	1	8.46	7.98	1.656E-007	2.339E-007
16	0	-1,682	0	5.13	5.24	4.620E-009	-1.171E-007

17	-1	-1	1	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008
18	0	0	0	8.17	8.28	9.762E-007	9.113E-007
19	-1	1	-1	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008
20	1	1	1	6.06	6.04	6.657E-008	6.442E-008

Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabiti için bağımsız parametreler arasındaki kuadratik ilişki ve tepkisi aşağıdaki denklemle gösterilmiştir.

$$\hat{\epsilon} = + 6,04 - 0,090A + 5,58B + 1,47C - 7,22 \times 10^{-3}AB - 0,049AC + 1,80 \times 10^{-3}BC + 0,024A^2 + 0,098B^2 + 0,49C^2 \quad (3.3)$$

Daha öncede bahsedildiği gibi denklem (3.3)'de, negatif belirtiler antagonistik etki gösterirken, pozitif işaretler sinerjik etki gösterir. Denklem (3.3)'de görüldüğü gibi frekans ( $A$ ) negatif etkiye sahiptir. Bu, bu faktör arttığında Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabitinin azaldığını göstermektedir. Gerilim ( $B$ ) ve  $CeNO_3$  miktarı ( $C$ ) pozitif etkiye sahiptir. Bu durum uygulanan gerilim ve  $CeNO_3$  miktarının  $\hat{\epsilon}$ 'yi artırdığını göstermektedir. Her bir terimin önemi, Tablo 3.7.'de gösterilen  $p$ -değeri ( $Prob > F$ ) ile belirlenmiştir. Bu tabloya göre  $C$ ,  $A^2$  ve  $C^2$  model terimleri anlamlıdır, ve tablo  $p$ -değeri 0,05'ten küçük olan diğer model terimlerinin önemsiz olduğu gösterilmiştir. ( $p > 0,05$ ).

Modelin varyans analizinden (ANOVA) de görülebileceği gibi, verilerin model ile uyumu oldukça önemlidir. 44,78 model  $F$  değeri ve 0,0001'den düşük  $p$ -değeri, modelin, Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabiti için çok önemli olduğunu ifade etmektedir. Tablo 3.7'den de görüldüğü gibi korelasyon katsayısının yüksek değeri ( $R^2 = 0,97$ ), toplam varyasyonun sadece %3'ünün model tarafından açıklanamadığını göstermektedir.  $R^2$ 'nin daha yüksek değeri ile incelenen deneysel aralıktaki regresyon modelinin uyumluluğunun daha iyi olduğunu ifade eder (Dastkhon ve ark., 2017). Ayrıca Ayarlanmış  $R^2$  değeri (0,95), modelin Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin  $\hat{\epsilon}$ 'nin tahmin edilen ve deneysel değerleri arasında iyi bir uyum gösteren önemli bir faktör olduğunu onaylamıştır. Bu nedenle uygulanan model, deneysel değişkenler arasında tahmin yapmak için yeterlidir. İyi bir model için yeterli hassasiyet oranının 4'ten büyük olması istenir (Radnia ve diğ., 2017).

Bu çalışmada, modelin yeterli hassasiyet oranı 24,54'tür ve bu sonuç yeterli bir sinyal olduğunu göstermektedir. Varyasyon katsayısı, modelin güvenilirliğini tanımlar. Modelin varyasyon katsayısı % 10'un altındaysa, modelin tekrarlanabilirliği dikkate alınabilir ve bu çalışmada CV değeri 4,37 bulunmuştur.

**Tablo 3. 7. Poli(MA-ko-MMA)'ın dielektrik sabiti için Varyans analizi (ANOVA)**

Kaynak	Kareler toplamı	DF	Ortalama kare	F- değeri	p-değeri Prob > F	
Model	32,61	9	3,62	44,78	< 0,0001	önemli
A-frekans	0,015	1	0,015	0,18	0,6765	
B-Voltaj	4,26×10 <sup>-4</sup>	1	4,26×10 <sup>-4</sup>	5,27×10 <sup>-3</sup>	0,9435	
C-CeNO <sub>3</sub> miktarı	29,43	1	29,43	363,67	<0,0001	
AB	4,17×10 <sup>-4</sup>	1	4,17×10 <sup>-4</sup>	5,15×10 <sup>-3</sup>	0,9442	
AC	0,019	1	0,019	0,24	0,6356	
BC	2,59×10 <sup>-4</sup>	1	2,59×10 <sup>-4</sup>	3,20×10 <sup>-4</sup>	0,9861	
A <sup>2</sup>	0,38	1	0,38	4,75	0,0542	
B <sup>2</sup>	0,054	1	0,054	0,67	0,4334	
C <sup>2</sup>	2,94	1	2,94	36,35	0,0001	
Kalan	0,81	10	0,081			
Uyum Eksikliği	0,81	5	0,16			
Saf Hata	0	5	0			
Cor Total	33,42	19				
R <sup>2</sup>			0,97			
R <sup>2</sup> -Ayarlanmış			0,95			
R <sup>2</sup> -Tahmini			0,81			
Yeterli hassasiyet			24,54			
Varyasyon katsayısı			4,37			

Deneysel cevap, deneysel faktörlerin Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin elektriksel iletkenliği( $\sigma$ ) üzerindeki etkisini gösteren bir polinom denklemi olarak modellenebilir. Elde edilen kodlanmış faktörler (parametreler) cinsinden ikinci dereceden fonksiyon aşağıdaki denklemle verilmiştir.

$$\sigma = -2,72 \times 10^{-7} + 1,09 \times 10^{-11}A + 3,43 \times 10^{-11}B + 9,69 \times 10^{-9}C - 3,09 \times 10^{-15}AB - 2,30 \times 10^{-12}AC + 7,24 \times 10^{-12}BC + 8,94 \times 10^{-17}A^2 + 3,080 \times 10^{-10}B^2 + 4,87 \times 10^{-9}C^2 \quad (3.4)$$

Çalışmanın bu aşamasında, Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin elektriksel iletkenliğini optimize etmek için ana etkili bileşenler olarak frekans, uygulanan voltaj ve % CeNO<sub>3</sub> seçildi. Faktörlerin kodlanmış değerleri, deney tasarımı ve sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Denklem 3.4, frekans (A), voltaj (B) ve %CeNO<sub>3</sub> miktarının (C) bir fonksiyonu olarak Poli(MA-ko-MMA)'ın iletkenliği temsil eder. Denklem 3.4 F testi ile kontrol edilmiştir ve cevap yüzeyi karesel modeli için ANOVA Tablo 3.8'de verilmiştir. 0,05'ten küçük olasılık (P) değerleri, model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir. 0,1000'den büyük değerler model terimlerinin anlamlı olmadığını gösterir. Model, F değeri ve çok düşük bir olasılık değerinden de (P değeri <0,0001) anlaşılacağı üzere son derece anlamlıdır. ANOVA sonuçlarına göre doğrusal etki açısından Poli(MA-ko-MMA)'nın

iletkenliği için frekans ve %CeNO<sub>3</sub> miktarı (sırasıyla P=0.0016 ve P<0,0001) oldukça anlamlıdır. Frekans ve %CeNO<sub>3</sub> miktarının ikinci dereceden terimlerinin katsayıları (sırasıyla P=0,1030 ve P<0.0001) çok anlamlı görünmektedir. Ancak voltaj ve voltajın frekans ve %CeNO<sub>3</sub> miktarı ile etkileşim etkileri sırasıyla (P=0,3913 ve P=0,4180, P=0,4172) hiçbir anlam taşımadı.

İletkenlik için  $R^2$  değerinin 0,96 olması modelin doğruluğunu göstermektedir.  $R^2$  değeri, gözlemlenen yanıt değerlerindeki değişkenliğin deneysel parametreler ve bunların etkileşimleri tarafından ne kadar açıklanabileceğinin bir ölçüsünü verir.  $R^2$  değerleri 1'e ne kadar yakın olursa, deneysel ve tahmin edilen değerler arasındaki korelasyon o kadar iyi olur ve model yanıtı o kadar iyi tahmin eder. Yüzde olarak ise;  $R^2$ , iletkenlik için %96'lık toplam varyasyonun bağımsız değişkenlere atfedildiğini ve toplam varyasyonun yalnızca yaklaşık %5'inin model tarafından açıklanamayacağını belirtir. Modelin varyasyon katsayısı 43,92 bulunmuştur.

CYY'nin amacı, hangi deneysel parametrelerin gürültüye kıyasla daha büyük sinyaller ürettiğini tespit etmektir.

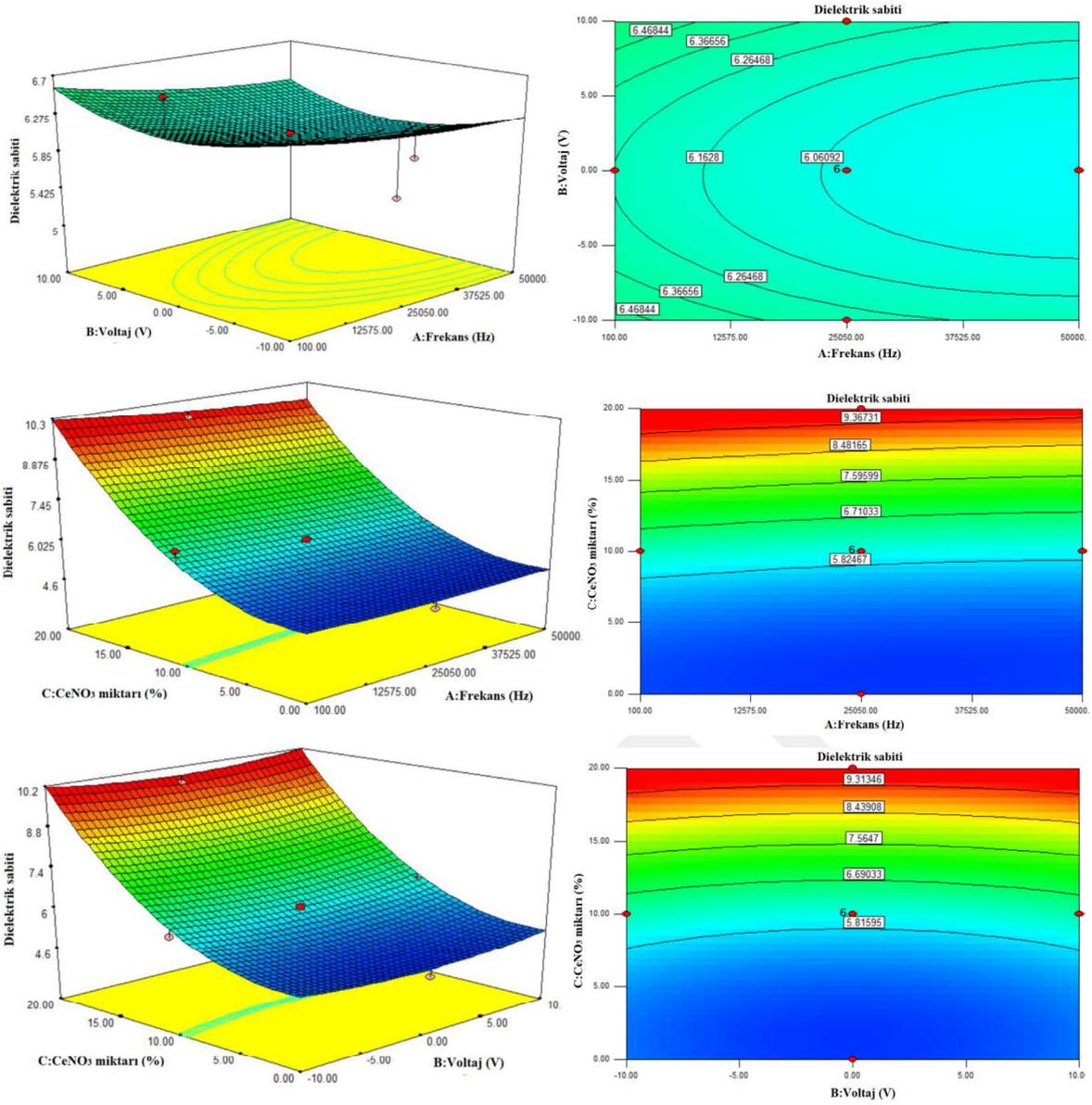
**Tablo 3.8.** Poli(MA-ko-MMA)'ın iletkenliği için Varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Kareler toplamı	DF	Ortalama kare	F- değeri	p-değeri Prob > F	
Model	$4,21 \times 10^{-12}$	9	$2,45 \times 10^{-13}$	26,59	< 0,0001	önemli
A-frekans	$1,70 \times 10^{-13}$	1	$1,70 \times 10^{-13}$	18,49	0,0016	
B-Voltaj	$7,42 \times 10^{-15}$	1	$7,42 \times 10^{-15}$	0,80	0,3913	
C-CeNO <sub>3</sub> miktarı	$1,31 \times 10^{-12}$	1	$1,31 \times 10^{-12}$	142,60	<0,0001	
AB	$6,59 \times 10^{-15}$	1	$6,59 \times 10^{-15}$	0,71	0,4180	
AC	$2,44 \times 10^{-13}$	1	$2,44 \times 10^{-13}$	26,42	0,0004	
BC	$6,62 \times 10^{-15}$	1	$6,62 \times 10^{-15}$	0,72	0,4172	
A <sup>2</sup>	$2,97 \times 10^{-14}$	1	$2,97 \times 10^{-14}$	3,22	0,1030	
B <sup>2</sup>	$4,02 \times 10^{-16}$	1	$4,02 \times 10^{-16}$	0,043	0,8390	
C <sup>2</sup>	$4,43 \times 10^{-13}$	1	$4,43 \times 10^{-13}$	48,02	<0,0001	
Kalan	$9,24 \times 10^{-14}$	10	$9,24 \times 10^{-15}$			
Uyum Eksikliği	$9,24 \times 10^{-14}$	5	$1,84 \times 10^{-14}$			
Saf Hata	0	5	0			
Cor Total	$2,30 \times 10^{-12}$	19				
$R^2$			0,96			
$R^2$ -Ayarlanmış			0,92			
$R^2$ -Tahmini			0,69			
Yeterli hassasiyet			17,65			
Varyasyon katsayısı			43,92			

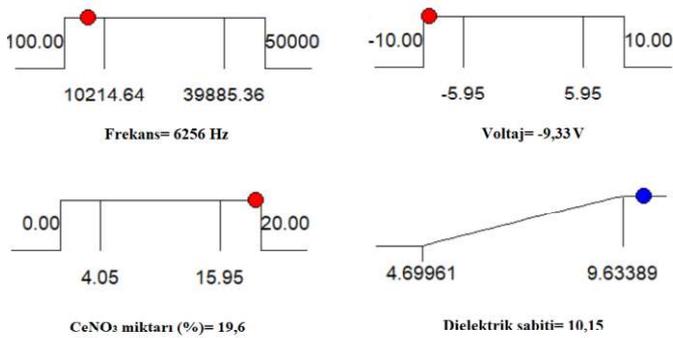
### 3.9.5. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabiti için cevap yüzey ve kontur eğrileri

CYY analizi ile elde edilen regresyon denklemi üç boyutlu ve iki boyutlu kontur grafikleri ile ifade edilebilmektedir. Poli(MA-ko-MMA)'ın dielektrik sabiti için gerekli olan her bir bileşenin optimal değerlerini bulmak ve ortam bileşenlerinin etkileşimini anlamak için istatistiksel olarak uygun bir modelle cevap yüzey eğrileri çizilir (Kaushik ve ark., 2006; Tepe ve Dursun, 2014). Tüm grafikler Şekil 3.13'de sunulmuştur. Her egride bir değişken sıfır (0) düzeyinde tutularak iki faktörün etkisi verilmiştir. Şekil 3.13a'da frekansın etkisinin nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Düşük frekanslarda  $\epsilon$  değerleri daha yüksek iken, frekansın artışıyla sabitlenmiştir. Şekil 3.13a'daki kontur eğrilerinin dairesel doğasından, frekans ile voltaj arasında hemen hemen hiçbir etkileşimin görülmediği söylenebilir. Şekil 3.13b, frekans ile  $CeNO_3$  arasında orta düzeyde bir etkileşimin olduğunu göstermektedir.  $CeNO_3$  miktarının artışıyla  $\epsilon$  değerleri önemli ölçüde artmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi Şekil 3.13c de benzer sonuç sergilemiştir.

Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin  $\epsilon$  değerini maksimum elde etmek için optimum koşullar, arzu edilebilirlik fonksiyonu ile belirlendi. Maksimum  $\epsilon$  değeri sırasıyla 6256 Hz frekans, -9,33 V gerilim ve %19,6  $CeNO_3$  miktarında 10,16 olarak belirlendi (Şekil 3.14). Arzu edilebilirlik değeri 1'e ne kadar yakınsa (Tepe ve Dursun, 2014) maksimum aktiviteye ulaşmak için seçilen ortam bileşenlerinin seviyeleri o kadar uygun olur.



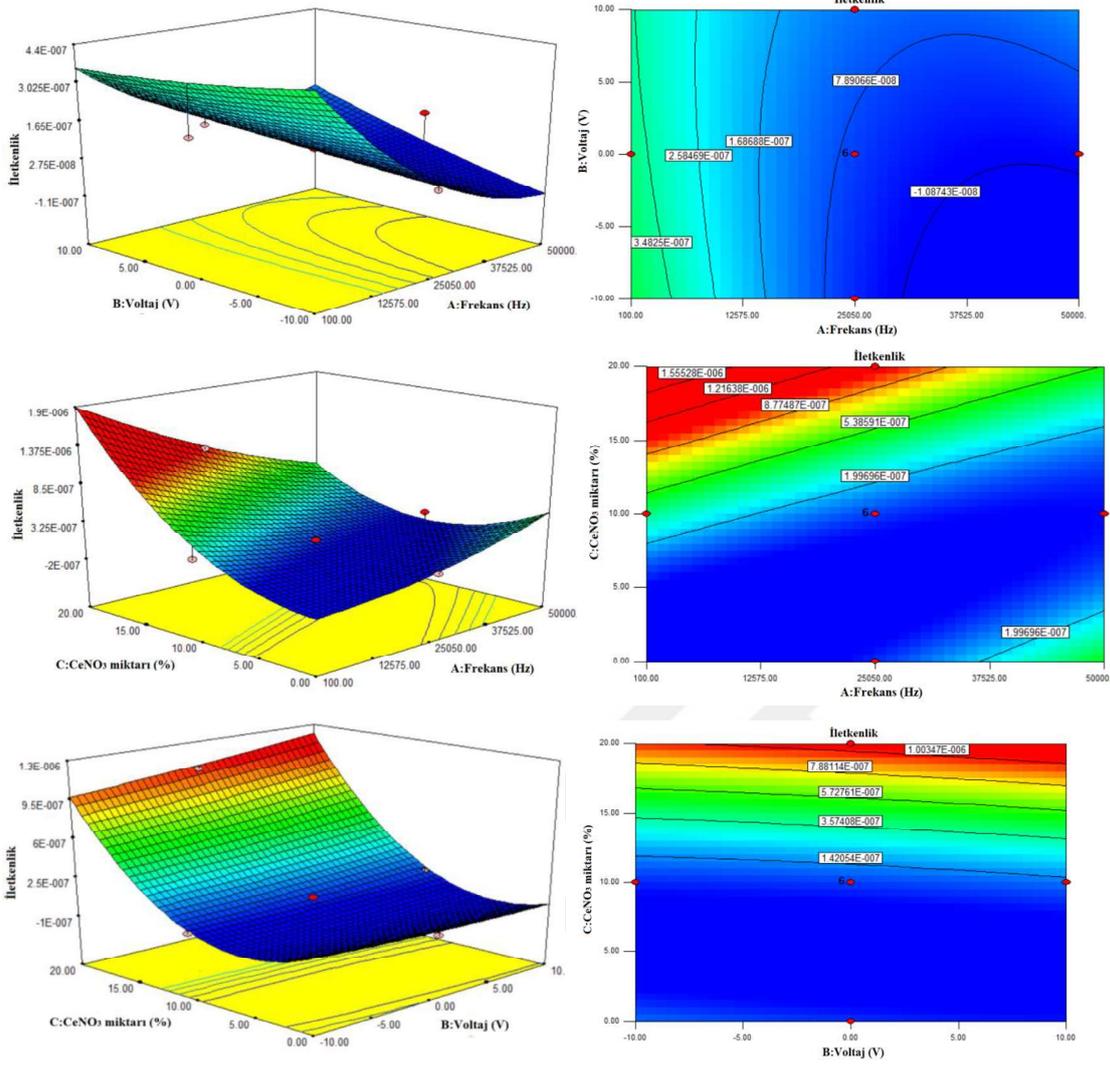
Şekil 3.13. Poli(MA-ko-MMA) polimerinin dielektrik sabitinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri



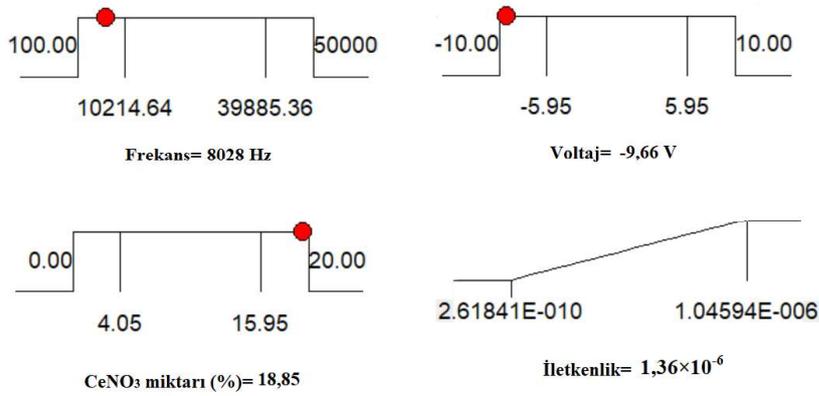
Şekil 3. 14. Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için Poli(MA-ko-MMA) dielektrik sabitinin arzu edilirlilik grafiği

### 3.9.6. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin iletkenliği için cevap yüzey ve kontur eğrileri

Şekil 3.15, çalışmada belirlenen değişkenlerin iletkenlik üzerindeki etkisini incelemek ve değişkenler arasındaki etkileşimi anlamak için üç boyutlu cevap yüzeyi (3D) ve kontur çizimlerini göstermektedir. Rakamlar, değişkenlerin birbirine bağımlılığını ve maksimum elektrik iletkenliği için her parametrenin optimum değerini gösterir. Tüm grafiklerde bir değişken sıfır (0) düzeyinde tutulurken iki faktörün etkisi ortaya konmuştur. Şekil 3.15a, CeNO<sub>3</sub> miktarı sabit tutulurken frekansın ve voltajın bir fonksiyonu olarak 3 boyutlu tepki yüzeylerini ve kontur grafiklerini göstermektedir. Oda sıcaklığında yapılan ölçümlerde görülyorki; elektriksel iletkenlik, frekans ve uygulanan gerilim arttıkça artış göstermiştir. Şekil 3.15a'daki kontur eğrilerinin dairesel olmasından dolayı, frekans ile voltaj arasında az bir etkileşimin olduğu söylenebilir. Şekil 3.15b, frekansın ve CeNO<sub>3</sub> miktarının sabit bir gerilimde iletkenlik üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekillerde değişen CeNO<sub>3</sub> miktarının iletkenlik üzerinde oldukça olumlu bir etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. Aynı zamanda artan frekans değeri ile de iletkenliğin artış gösterdiğini söyleyebiliriz. Şekilden, frekans ile CeNO<sub>3</sub> arasında iyi bir etkileşimin olduğunu söyleyebiliriz. Frekans sabit tutulduğunda Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin iletkenliğine gerilim ve CeNO<sub>3</sub> miktarının etkileşimli etkisi Şekil 3.15c'de gösterilmiştir. Hem artan gerilimle hem de artan CeNO<sub>3</sub> miktarıyla iletkenliğin artış gösterdiği açıktır. Şekil 3.15b ve Şekil 3.15c'deki 2 boyutlu eğriler, A ile C ve B ile C arasında karşılıklı bir etkileşim olduğunu gösterdi. Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin iletkenlik değerini maksimum elde etmek için optimum koşullar, arzu edilebilirlik fonksiyonu ile belirlendi. Maksimum  $\sigma$  değeri sırasıyla 8028 Hz frekans, -9,66 V gerilim ve %18,85 CeNO<sub>3</sub> miktarında  $1,36 \times 10^{-6}$  olarak belirlendi (Şekil 3.16).



Şekil 3. 15. Poli(MA-ko-MMA) polimerinin iletkenliğinde elde edilen üç boyutlu cevap yüzey eğrileri (3D) ve kontur grafikleri



Şekil 3. 16. Üç bağımsız değişkenin sayısal optimizasyonu için Poli(MA-ko-MMA)'ın iletkenliğinin arzu edilirlık grafiği

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, ilk olarak Poli(Maleik anhidrit-Stiren)ve Poli(Maleik anhidrit-Metil Metakrilat) kopolimerleri Serbest Radikalik Polimerizasyon metoduyla sentezlendi. Polimerlerin dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ) ve elektriksel iletkenliğini ( $\sigma$ ) optimize etmek için seçilen parametrelerde belirtilen oranlarda sırasıyla, nadir toprak elementlerinden olan Kadmiyum Sülfid ve Seryum Nitrat bileşikleriyle kompozitleri hazırlandı. Optimizasyon işleminde Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanıldı. Oda sıcaklığında seçilen parametreler (frekans, uygulanan gerilim ve NTE miktarı) arasındaki niceliksel ilişki ve bu parametrelerin modeldeki önemi varyans analizi (ANOVA) incelemesi ile değerlendirildi. Hazırlanan kompozitlerin, yapı karakterizasyonu FTIR ile, yüzey özellikleri SEM ile ve kompozitlerdeki NTE varlıkları XRD ile analiz edildi. Ayrıca polimer ve kompozitlerin termal özellikleri TGA ile incelendi ve NTE'lerin termal özelliklere etkisi karşılaştırıldı. Ana sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- FTIR testleri kompozitlerde kimyasal bağ ve kristalleşmede önemli bir değişimin bulunmadığını göstermiştir. SEM sonuçları, NTE'lerin polimer yüzeyinde iyi bir dağılım gösterdiğini ve polimerdeki boşlukları doldurarak polimer yüzeyini pürüzsüzleştirici etki yaptığını göstermiştir. XRD verilerine göre ise polimerlerdeki NTE varlıkları açıkça görülmektedir. Amorf yapı gösteren her iki polimerde kristalik özellik gösteren NTE piklerine rastlanmıştır.
- Polimer ve kompozitlerin termal özellikleri karşılaştırıldığında her iki polimerde de kullanılan NTE'ler polimerlerin bozunma sıcaklığını düşürmüştür.
- Poli(MA-ko-ST) kopolimeri ve CdS ile hazırlanan kompozitlerde artan frekansla dielektrik sabiti değerleri düşmüştür. CdS katkısı polimerin dielektrik sabiti üzerinde önemli bir artış meydana getirmiş ve literatürde kullanılan birçok dolgu maddesine göre daha iyi bir sonuç sağlamıştır. 12550 Hz frekansta ve 0 Volt gerilimde, saf Poli(MA-ko-ST) kopolimeri için  $\epsilon$  değeri 6,98 iken, bu değer, %10 ve %20 CdS katkılı kompozitler için sırasıyla 7,46 ve 16,90 olarak bulunmuştur. Uygulanan gerilimin ise  $\epsilon$  üzerinde önemli bir etki yapmadığı görülmüştür.
- ANOVA sonuçlarına göre Poli(MA-ko-ST) kopolimerinin dielektrik sabiti için seçilen modelin  $P$  ve  $F$  değerlerinin sırasıyla  $<0,0001$  ve 15,48 olması modelin anlamlı olduğunu göstermiştir. Poli(MA-ko-ST) kopolimeri için optimum şartlar

belirlendiğinde, maksimum  $\epsilon$  değerine (17,69), 321 Hz frekansında, -9,6 V gerilimde ve ağırlıkça %17,23CdS içeriğinde ulaşıldığını göstermiştir.

- Poli(MA-ko-ST) kopolimeri ve farklı CdS miktarlarında hazırlanan kompozitleri için CYY ile incelenen elektriksel iletkenlik sonuçları, artan frekansla ve CdS içeriğiyle birlikte iletkenliğin arttığını göstermiştir. Özellikle seçilen aralıklarda CdS miktarının diğer parametrelere göre daha fazla etkili olduğu görülmüştür. ANOVA’da çıkan sonuçta bunu desteklemiştir. En yüksek iletkenlik değeri, 20839 Hz frekans, -7,79 V gerilim ve %18,93CdS katkısında  $1,63 \times 10^{-5}$  S/cm olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer, CdS’nin polimerin iletkenliğini, literatürde bulunan birçok katkı maddesine göre daha fazla artırdığı sonucunu doğurmuştur. %96 olarak çıkan korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri deneysel veriler ile model arasında iyi bir ilişki olduğunu kanıtlamıştır.
- Poli(MA-ko-MMA) kopolimeri, en yüksek dielektrik sabiti değerine (10,16), 6256 Hz frekans, -9,33 V gerilim ve %19,6 CeNO<sub>3</sub> miktarında ulaşmıştır.  $\epsilon$ , artan frekansla azalıp yüksek frekanslarda sabit kalma eğilimi göstermiştir. CeNO<sub>3</sub> içeriği polimerin  $\epsilon$ ’ni olumlu etkileyerek oldukça yüksek değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Uygulanan gerilimin neredeyse bir etkisi olmamıştır.
- ANOVA sonuçlarına göre Poli(MA-ko-MMA) kopolimerinin dielektrik sabiti için seçilen modelin *P* ve *F* değerlerinin sırasıyla <0,0001 ve 15,79 olması modelin anlamlı olduğunu göstermiştir. Modelin en önemli parametresinin *P*<0,0001 olması kaynaklı CeNO<sub>3</sub> olduğu görülmüştür.
- Tez kapsamında seçilen değişkenlerin Poli(MA-ko-MMA)’ın iletkenliği üzerindeki etkisini incelemek ve değişkenler arasındaki etkileşimi anlamak için üç boyutlu cevap yüzeyi (3D) ve kontur grafikleri sonuçlarına göre, CeNO<sub>3</sub> miktarı ve frekansın etkisi büyüktür. Uygulanan gerilim iletkenliği etkilemekle birlikte diğer parametrelere nazaran daha az bir değişime sebep olmuştur. Poli(MA-ko-MMA)’ın elektriksel iletkenliği için frekans ve CeNO<sub>3</sub> miktarı (sırasıyla *P*=0,0016 ve *P*<0,0001) oldukça anlamlıdır. CeNO<sub>3</sub> miktarı parametresinin ikinci derece etkileşim katsayısı (*P*<0,0001) çok anlamlı görünmektedir. Frekans ve CeNO<sub>3</sub> miktarı arasındaki etkileşim etkisi de oldukça önemlidir. (*P*=0,0004). Uygulanan gerilimin frekans ve CeNO<sub>3</sub> miktarı ile etkileşim etkileri sırasıyla (*P*=0,4180 ve *P*=0,4172) hiçbir anlam taşımadı.

Bu tez çalışmasından yola çıkarak, hazırlanan polimerlerden farklı NTE'ler katkı maddesi olarak kullanılarak ticari öneme sahip yeni ürünler elde edilebilir.

Üretilen kompozitlerin özellikle CdS ile katkılananların ( $\text{CeNO}_3$ 'den daha yüksek dielektrik sabiti ve iletkenlik kazandırdığı için) elektriksel iletkenlik gerektiren her türlü elektronik parça, iletken kaplamalar, enerji depolama sistemleri, sensörler gibi birçok alanda uygulama alanı bulabileceği söylenebilir.

Seçilen parametrelerin uygulama aralıkları çeşitlendirilerek farklı özelliklere sahip birçok malzeme geliştirilebilir.



## 5. KAYNAKLAR

- Akgün, D.**, 2021. Stiren-maleik anhidrit kopolimer sentez ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 107s.
- Bagheri, A.R., Arabi, M., Ghaedi, M., Ostovan, A., Wang, X., Li, J., Chen, L.**, 2019. Dummy molecularly imprinted polymers based on a green synthesis strategy for magnetic solid-phase extraction of acrylamide in food samples. *Talanta*, 195:390–400.
- Baruah, S. D., Laskar, N. C.**, 1996. Styrene-maleic anhydride copolymers: Synthesis, characterization, and thermal properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 60:649-656.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., Escaleira, L. A.**, 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5):965-977.
- Chen, Xiaolong; Zheng, Yuguo; Shen, Y.**, 2007. "Natural Products with Maleic Anhydride Structure: Nonadrides, Tautomycin, Chaetomelic Anhydride, and Other Compounds". *Chemical Reviews*. 107 (5): 1777–1830
- Chiang B. W., Ibrahim N. A., Wan Yunus W. M. Z.**, 2012. Optimization of Tensile Strength of Poly(Lactic Acid)/Graphene Nanocomposites Using Response Surface Methodology. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 51(8):791-799.
- Çakmak, İ., Torğut, G.**, 2016. Barbitürük Asit Halkası İçeren Metakrilat Polimerlerinin Dielektrik Ölçümleri. *Firat University Journal of Science*, 28(1):1 – 5.
- Darmiani, E., Rashed, G. R., Zaarei, D., Danaee, I.**, 2013. Synergistic Effects of Montmorillonite/Cerium Nitrate Additives on the Corrosion Performance of Epoxy-Clay Nanocomposite Coatings. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(10):980-990.
- Dastkhooon M, Ghaedi M, Asfaram A, Goudarzi A., Mohammadi SM, Wang S**, 2017, Improved adsorption performance of nanostructured composite by ultrasonic wave: Optimization through response surface methodology, isotherm and kinetic studies, *Ultrason Sonochem*; 37:94–105.
- Desai, K. R., Pathan, A. A. ve Bhasin, C. P.**, 2017. Synthesis, Characterization of Cadmium Sulphide nanoparticles and its Application as Photocatalytic degradation of Congored. *International Journal of Nanomaterials and Chemistry*, 3:39–43.
- Dyartanti, R., Susanto, H., Widiasa, I. N., Purwanto, A.**, 2017. Response surface method (RSM) for optimization of ionic conductivity of membranes polymer electrolyte poly (vinylidene fluoride) (PVDF) with polyvinyl pyrrolidone (PVP) as pore forming agent. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 206:012052

- Ebrahimi, H., Hadi, J. S., Al-Ansari, H. S.,** 2013. A new series of Schiff bases derived from sulfa drugs and indole-3-carboxaldehyde: Synthesis, characterization, spectral and DFT computational studies. *Journal of Molecular Structure*, 1039:37-45.
- Gürler, N., Torğut G.,** 2021. Graphene-reinforced potato starch composite films:Improvement of mechanical, barrier and electrical properties. *Polymer Composites*, 42:173–180.
- Gürler, N., Torğut, G.,** 2022. Physicomechanical, thermal and dielectric properties of ecofriendly starch-microcrystalline cellulose-clay nanocomposite films for food packaging and electrical applications. *Packaging Technology and Science*, 35:473–483.
- Hafeez A., Akhter Z., Gallagher J. F., Khan N. A., Gul A., Shah F. U.,** 2019. Synthesis, Crystal Structures, and Spectroscopic Characterization of Bis-aldehyde Monomers and Their Electrically Conductive Pristine Polyazomethines. *Polymers*, 11(9):1498.
- Hakkak, F., Rafizadeh, M., Sarabi, A. A., Yousefi, M.,** 2015. Optimization of ionic conductivity of electrospun polyacrylonitrile/poly (vinylidene fluoride) (PAN/PVdF) electrolyte using the response surface method (RSM). *Ionics*, 21:1945–1957.
- Hamade, R.,** 2023. RAFT/MADIX polimerizasyonu ile iyi-tanımlanmış telekelik poliakrilonitril makrofotobaşlatıcısının sentezi ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 64s.
- Iranmanesh, S., Mehrali, M., Sadeghinezhadb, E., Ang, B. C., Ong H. C., Esmailzadeh, A.,** 2016. Evaluation of viscosity and thermal conductivity of graphene nanoplatelets nanofluids through a combined experimental–statistical approach using respond surface methodology method. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 79:74-80.
- Kalandaragh, Y. A.,** (2010). Dielectric properties of CdS-PVA nanocomposites prepared by ultrasound-assisted method. *Optoelectronics And Advanced Materials – Rapid Communications*, 4(11):1655 – 1658.
- Kalkan, A.,** 2022. Yeni fotoaktifbir zincirtransfer ajanının sentezi ve RAFT/MADIX polimerizasyonunda kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 62s.
- Kandi, K. K., Punugupati, G., Madhukar, P., Rao, C. S. P.,** 2022. Effect of boron nitride (BN) on mechanical and dielectric properties of fused silica ceramic composites. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 59:565–577.
- Kandi, K. K., Punugupati, G., Madhukar, P., Rao, C. S. P., Chavali, M.,** 2022. Influence of Silicon Nitride (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) on Mechanical and Dielectric Properties of a Novel Fused Silica Ceramic Composites. *Silicon*, 14:7503–7516.
- Karakuş, G.,** 2015. Bazı Maleik Anhidrit İçeren Kopolimerlerin Amin Yapılı İlaç Etken Maddeleri İle Türevlendirilmesi, Yapısal Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktiviteleri. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 19: 121-125.

- Kaushik, R., Saran, S., Isar, J., Saxena, R. K.,** 2006. Statistical optimization of medium components and growth conditions by response surface methodology to enhance lipase production by *Aspergillus carneus*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 40:121–126.
- Khurana, K., Jaggi, N.,** (2020). Modifications in structural, optical, and dielectric properties of CdS nanostructures: role of different solvents. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31:10334–10346.
- Klumperman, B.,** 2010. Mechanistic considerations on styrene–maleic anhydride copolymerization reactions. *Polymer Chemistry*, 1:558-562.
- Kratky, M., Vinsova J., Volkova M., Buchta V., Trejtnar F., Stolarikova J.,** 2012. Antimicrobial activity of sulfonamides containing 5-chloro-2-hydroxybenzaldehyde and 5-chloro-2-hydroxybenzoic acid scaffold. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 50:433
- Kumar, N., Dutta, V.,** 2014. Fabrication of polymer/cadmium sulfide hybrid solar cells [P3HT:CdS and PCPDTBT:CdS] by spray deposition. *Journal of Colloid and Interface Science*, 434:181–187.
- Kumar, R., Singh, R., Kumar, N., Bishnoi, K., Bishnoi, N.,** 2009. Response surface methodology approach for optimization of biosorption process for removal of Cr (VI), Ni (II) and Zn (II) ions by immobilized bacterial biomass sp. *Bacillus brevis*. *Chemical Engineering Journal*, 146:401–407.
- Kurt, A., Çağlayan, Z., Bektaş, H. S.,** 2014. Preparation of poly(methyl methacrylate)/clay nanocomposites and investigation of some physical properties. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 32:71-80.
- Mousavi, M.R., Rafizadeh, M., Sharif, F.,** 2016. Effect of electrospinning on the ionic conductivity of polyacrylonitrile/polymethyl methacrylate nanofibrous membranes: optimization based on the response surface method, *Iranian Polymer Journal*, 25:525–537.
- Önal M.,** 2020. Güneş pilleri için kimyasal banyo biriktirme yöntemi ile üretilen zno, cds, pbs ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, 77s.
- Radnia, H., Nazar, A.R.S., Rashidi, A.,** 2017. Experimental assessment of graphene oxide adsorption onto sandstone reservoir rocks through response surface methodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80:34–45.
- Razavi, S. M., Sadollah, A., Al-Shamiri, A. K.,** 2022 Prediction and optimization of electrical conductivity for polymerbased composites using design of experiment and artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 34:7653–7671.
- Rullyani, C., Ramesh, M., Sung, C. F., Lin, H. C., Chu, C. W.,** 2018. Natural polymers for disposable organic thin film transistors. *Organic Electronics*, 54:154-160

- Rzaev, Z.M.O., Dincer, S., Koseli, V., Kesim, H., Piskin, E.,** 2002. Radical copolymerization of N-isopropylacrylamide with anhydrides of maleic and citraconic acids. *Europane Polymer Journal*, 38:2143-2152.
- Saçak, M.,** 1998. Polimer kimyasına giriş. A. Ü. F. F. Yayınları. No. 50. Ankara.
- Sheng, C. K., Amin, K. A. M., Hong, L. L., Hassan, M. F., Ismail, M.** (2017) Investigation of Morphological, Structural and Electrical Properties of Cds/ PMMA Nanocomposite Film Prepared by Solution Casting Method. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(11): 10023-10031.
- Şahal, H., Torğut, G., Canpolat, E.,** 2022. Optimization of Electrical Conductivity of SA-graphene Nanocomposites Using Response Surface Methodology. *Chemical Research in Chinese Universities*,38(2):596—602.
- Tepe, Ö., Dursun, A. Y.,** 2014. Exo-pectinase production by *Bacillus pumilus* using different agricultural wastes and optimizing of medium components using response surface methodology. *Environmental Science and Pollution Research*, 21:9911–9920.
- Torğut G.,** 2019. Fabrication, characterization of poly(MA-co-NIPA)-graphene composites and optimization the dielectric properties using the response surface method (RSM). *Polymer Testing*, 76:312-319.
- Torğut G., Gürler, N.,** 2021. Nanofiller reinforced biodegradable PHA/PLA composites: physico-chemical, thermal and dielectric properties. *Journal of Polymer Research*, 28: 452.
- URL-1,** 2023. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polimer>. Polimer. 14 Aralık 2023.
- URL-2,** 2023. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/196152/mod\\_resource/content/0/KYM%20345%20Yeni%20Malzemeler-Polimerler.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/196152/mod_resource/content/0/KYM%20345%20Yeni%20Malzemeler-Polimerler.pdf). 2023.
- URL-3,** 2023. [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic\\_elastomer](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic_elastomer)
- URL-4,** 2023. <https://www.aatbio.com/resources/faq-frequently-asked-questions/what-is-a-linear-polymer.2023>
- URL-5,** 2023. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=78362,1,2023>. 2023.
- URL-6,** 2023. <https://okimya.com.tr/asitler/maleik-anhidrit/>. 2023.
- URL-7,** 2023. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Stiren>. 26 Kasım 2023.
- URL-8,** 2023. <https://www.makaleler.com/seryum-nedir>.
- URL-9,** 2020. [https://www.atamanchemicals.com/cadmium\\_sulfide\\_u26005/?lang=TR](https://www.atamanchemicals.com/cadmium_sulfide_u26005/?lang=TR).2020

**Wang, B., Okoth, O.K., Yan, K., Zhang, J.,** 2016. A highly selective electrochemical sensor for 4-chloro phenol determination based on molecularly imprinted polymer and PDDAfunctionalized graphene, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 236:294–303.

**Yang, X., Wang, Y., Liu, W., Zhang, Y., Zheng, F., Wang, S., Zhang, D., Wang, J.,** 2016. Aportable system for on-site quantification of formaldehyde in air based on Gquadruplex halves coupled with a smartphone reader. *Biosensors and Bioelectronics*, 75:48–54.

**Zazoum, B.,** 2019. Optimization of dielectric strength of polymer/TiO<sub>2</sub> nanocomposites for high voltage insulation. *Materials Research Express*, 6(11): 1150g8.

**Zazoum, B.,** 2020. Evaluation and Optimization of Dielectric Properties of PVDF/BaTiO<sub>3</sub> Nanocomposites Film for Energy Storage and Sensors. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9:115005.

