

**T.C.  
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**METAKRİLAT ESASLI POLİMER KOMPOZİTLERİN  
HAZIRLANMASI VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Gülay YENİCE**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**ADYAMAN, 2019**

**T.C.**  
**ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAKRİLAT ESASLI POLİMER KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI**  
**VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Gülay YENİCE**  
**Yüksek Lisans Tezi**  
**Kimya Anabilim Dalı**

Bu tez 20 / 08 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Gamze BARIM**  
**Danışman**

**Doç. Dr. Ceyran AHMEDOVA**  
**Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi Esra BARIM**  
**Üye**

**Prof. Dr. Murat KOCA**  
**Enstitü Müdürü**

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

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# METAKRİLAT ESASLI POLİMER KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gülşay YENİCE

Adıyaman Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Gamze BARIM  
Yıl : 2019, Sayfa sayısı: 53+IX

Jüri : Doç. Dr. Gamze BARIM  
Doç. Dr. Ceyran AHMEDOVA  
Dr. Öğr. Üyesi Esra BARIM

Bu çalışmada, 3-sikloheksen-1-metanol bileşiminin metakriloil klorür ile reaksiyonundan sikloheksen-3-il-metil metakrilat monomeri elde edildi. Sentezlenen monomerin ve çalışmada ayrıca kullanılacak izobornil metakrilat monomerinin homopolimerizasyonu 1,4-dioksan çözücüsü içerisinde AIBN başlatıcısı varlığında 70 °C'de serbest radikalik yolla gerçekleştirildi. Elde edilen homopolimerin ve ticari bir monomer olan izobornil metakrilat monomerinin homopolimerinin çok duvarlı karbon nanotüple farklı yüzdelerde kompozitleri çözeltide harmanlama yöntemiyle hazırlandı.

Homopolimerlerin yapısal karakterizasyonları FT-IR ve <sup>1</sup>H-NMR teknikleri kullanılarak yapılırken, kompozitlerin yapısal karakterizasyonu FT-IR tekniğiyle yapıldı. Kompozitlerin termal kararlılıkları ve elektriksel iletkenlikleri incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Metakrilat polimer; Kompozit; Serbest radikal polimerizasyon; Termal özellik; Karbon nanotüp

## ABSTRACT

### MSc Thesis

# PREPARATION OF METHACRYLATE BASED POLYMER COMPOSITES AND INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES

Gülay YENİCE  
Adıyaman University  
Institute of Science and Technology  
Department of Chemistry

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gamze BARIM  
Year : 2019 , Number of pages: 53+IX

Jury : Assoc. Prof. Dr. Gamze BARIM  
Assoc. Prof. Dr. Ceyran AHMEDOVA  
Asst. Prof. Dr. Esra BARIM

In this study, cyclohexen-3-yl-methyl methacrylate monomer was obtained from the reaction of 3-cyclohexene-1-methanol compound with methacryloyl chloride. The homopolymerization of the synthesized monomer and of the isobornyl methacrylate monomer to be used in the study was carried out by free radicals at 70 ° C in the presence of AIBN initiator in 1,4-dioxane solvent. The multi-walled carbon nanotube of the obtained homopolymer and the homopolymer of a commercial monomer, isobornyl methacrylate monomer, were prepared by solution processing method at different percentages.

Structural characterization of homopolymers was carried out using FT-IR and <sup>1</sup>H-NMR techniques. Structural characterization of composites was performed by FT-IR technique. Thermal stability and electrical conductivity of composites were investigated.

**Key Words:** Methacrylate polymer; Composite; Free radical polymerization; Thermal properties; Carbon nanotube

## BEYAN

“Metakrilat esaslı polimer kompozitlerin hazırlanması ve bazı özelliklerinin incelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Gülay YENİCE

imza

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yol gösteren ve akademik anlamda yetişmemi sağlayan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Gamze BARIM' a en derin teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca sentezlediğim polimerlerin elektriksel iletkenlik ölçümlerini alan ve yorumlayan Doç. Dr. Canan CANBAY' a da çalışmama yaptığı katkıdan dolayı teşekkür ederim.

Eğitim öğretim hayatım süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve sevgili eşim Hasari Yenice'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

**Gülay YENİCE**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN .....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Polimerlerle İlgili Temel Kavramlar .....	3
2.2. Polimerin Sınıflandırılması.....	3
2.3. Homopolimer ve Kopolimer Tanımları .....	4
2.4. Polimerizasyon Tepkimeleri .....	4
2.4.1. Kondenzasyon Yoluyla Polimerizasyon.....	5
2.4.2. Katılma (Zincir) Polimerizasyonu .....	5
2.4.2.1. Serbest Radikalik Katılma Polimerizasyonu.....	5
2.4.2.1.1. Serbest Radikalik Polimerizasyonunda Kullanılan Başlatıcılar.....	6
2.4.2.1.2. Serbest Radikalik Polimerizasyon Basamakları.....	7
2.4.2.2. İyonik Katılma Polimerizasyonu .....	9
2.5. Polimerizasyon Sistemleri .....	9
2.5.1. Çözelti Polimerizasyonu .....	9
2.5.2. Kütle (Bulk) Polimerizasyonu .....	9
2.5.3. Süspansiyon Polimerizasyonu .....	10
2.5.4. Emülsiyon Polimerizasyonu .....	10
2.6. Polimerlerin Termal Özellikleri.....	10
2.6.1. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	11
2.6.2. Diferansiyel Termal Analiz (DTA).....	11
2.6.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) .....	12
2.7. Polimerlerin Elektriksel Özellikleri .....	12
2.8. Kompozit Malzemeler .....	14
2.8.1. Polimer Kompozitler.....	14
2.8.2. Polimer Matrisli Karbon Nanotüp Kompozitleri Hazırlama Yöntemleri ..	16
2.9. Karbon Nanotüpler .....	17
2.9.1. Karbon Nanotüp Çeşitleri .....	18
2.9.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri ve Kullanım Alanları .....	19
2.10. Metakrilat İçerikli Kompozitler Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal .....	23
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler .....	23
3.1.2. Kullanılan Araç ve Gereçler .....	24
3.2. Yöntem .....	25
3.2.1. Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin (CHMA) Sentezi.....	25

3.2.2. Poli (Sikloheksen-3-il metil metakrilat) Homopolimerinin Sentezi .....	26
3.2.3. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Sentezi .....	27
3.2.4. Poli(IBMA) Homopolimerinin ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Sentezi .....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	29
4.1. Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin (CHMA) Karakterizasyonu ..	29
4.2. Poli (Sikloheksen-3-il metil metakrilat) Homopolimerinin Karakterizasyonu	30
4.3. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin FT-IR Karakterizasyonu.....	31
4.4. Poli(IBMA) ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin FT-IR Karakterizasyonu .....	33
4.5. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin TGA Ölçümleri .....	35
4.6. Polimerler Kompozitlerinin Elektriksel İletkenlik Ölçümü .....	37
4.7. Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Elektriksel İletkenlik Karakterizasyonu.....	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR .....	50
KİŞİSEL BİLGİLER.....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Karbon nanotüplerin bazı özellikleri .....	19
Çizelge 4.1 Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin TGA verileri .....	37
Çizelge 4.2 Polimer kompozitlerinin elektriksel iletkenlik verileri.....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Benzoilperoksit (BPO) başlatıcısının bozunma reaksiyonu .....	7
Şekil 2.2 AIBN'nin bozunma reaksiyonu .....	7
Şekil 2.3 Radikallerin monomere katılma reaksiyonu .....	8
Şekil 2.4 Malzemelerin direnç aralıkları .....	13
Şekil 2.5 Karbon nanotüp yapısı a-) TDKNT b-) ÇDKNT yapısı.....	18
Şekil 3.1 Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin sentezi .....	25
Şekil 3.2 Sikloheksen-3-il metil metakrilat homopolimerin sentezi.....	26
Şekil 3.3 Isobornil metakrilat homopolimerin sentezi .....	28
Şekil 4.1 CHMA monomerinin FT-IR spektrumu .....	29
Şekil 4.2 Poli (CHMA)'nın FT-IR spektrumu .....	30
Şekil 4.3 Poli (CHMA)'nın <sup>1</sup> H-NMR spektrumu .....	31
Şekil 4.4 Poli(CHMA)/ÇDKNT %1 kompozitinin FT-IR spektrumu .....	32
Şekil 4.5 Poli(CHMA)/ÇDKNT %3 kompozitinin FT-IR spektrumu .....	32
Şekil 4.6 Poli(CHMA)/ÇDKNT%5 kompozitinin FT-IR spektrumu.....	33
Şekil 4.7 Poli(IBMA)'nın FT-IR spektrumu.....	34
Şekil 4.8 Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumu a) ÇDK b) Poli(IBMA)/ÇDKNT : %1 c) Poli(IBMA)/ÇDKNT : %3 d-) Poli(IBMA)/ÇDKNT : % 5.....	34
Şekil 4.9 Poli(CHMA) homopolimerinin TGA eğrisi.....	35
Şekil 4.10 Poli(CHMA)/ÇDKNT %1 kompozitinin TGA eğrisi.....	36
Şekil 4.11 Poli(CHMA)/ÇDKNT %3 kompozitinin TGA eğrisi.....	36
Şekil 4.12 Poli(CHMA)/ÇDKNT %5 kompozitinin TGA eğrisi.....	37
Şekil 4.13 Poli(CHMA)/ÇDKNT %1 kompozitinin I-V grafiği.....	38
Şekil 4.14 Poli(CHMA)/ÇDKNT %3 kompozitinin I-V grafiği.....	39
Şekil 4.15 Poli(CHMA)/ÇDKNT %5 kompozitinin I-V grafiği.....	40
Şekil 4.16 Poli(IBMA)/ÇDKNT %1 kompozitinin I-V grafiği .....	41
Şekil 4.17 Poli(IBMA)/ÇDKNT %3 kompozitinin I-V grafiği .....	42
Şekil 4.18 Poli(IBMA)/ ÇDKNT %5 kompozitinin I-V grafiği .....	43
Şekil 4.19 Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ ÇDKNT kompozitlerinin I-V grafiği .....	44

## SİMGELER ve KISALTMALAR

$^1\text{H-NMR}$	: $^1\text{H}$ Nükleer magnetik rezonans spektroskopisi
AIBN	: Azobisizobütironitril
BPO	: Benzoil peroksit
CHMA	: Siklohekzen-3-il-metil metakrilat
ÇDKNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
DTG	: Diferansiyel termogravimetri
FT-IR	: Fourier transform infrared spektrometresi
IBMA	: İzobornil metakrilat
IDKNT	: İki duvarlı karbon nanotüp
KNT	: Karbon nanotüp
$\text{MgSO}_4$	: Magnezyum Sülfat
NaOH	: Sodyum hidroksit
Poli(CHMA)	: Poli(Siklohekzen-3-il-metil metakrilat)
PMMA	: Poli metil metakrilat
TDKNT	: Tek duvarlı karbon nanotüp
$T_g$	: Camsı geçiş sıcaklığı
TGA	: Termogravimetrik analiz
THF	: Tetrahidrofuran
$T_m$	: Erime sıcaklığı

**1. GİRİŞ**

İnsanoğlu varolduğu günden bugüne kadar polimerik malzemelerle iç içe yaşamıştır. En temel besinlerimizden biri olan patatesin temelini oluşturan nişasta, bir çok alanlarda kullandığımız doğal kauçuk, üzerimize giydiğimiz deri gibi doğal polimerlerle birlikte, gündelik kullandığımız poşetler, ayakkabılarımızın tabanları, otomobillerimizin iç aksamaları gibi sentetik polimerler günlük yaşantımız vazgeçilmez birer parçası olmuştur. Polimerlerin öncelikle düşük maliyetlerle üretilebilmeleri, hafif olmaları, kolay işlenebilir olmaları, darbelere karşı yüksek dayanımları ve malzemelere estetik görünüm kazandırabilir olmaları birçok sektörde kullanılabilmelerine imkan sağlamaktadır. Polimerlerin en önemli avantajları ise; istenilen özelliklere sahip yeni malzemelerin üretimine olanak sağlamalarıdır.

Kompozit malzeme iki ya da daha fazla bileşenden oluşan ve istenilen özelliklere sahip yeni bir malzeme üretmek amacıyla son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür. Kompozitlerin bu kadar yaygın kullanılması onların mekanik dayanımının yüksek olması, korozyon direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmasındandır. Bir kompozit malzeme temel olarak matris adı verilen ana faz ile takviye malzemesi olarak adlandırılan ikincil (tali) fazdan oluşmaktadır. Matrisde kullanılan malzeme çeşidine göre metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler olarak temelde üç grupta sınıflandırılmaktadır. Polimerik malzemelerin hafif ve kolay işlenebilir olmasından dolayı kompozit malzemelerin %90 gibi büyük bir kısmı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Son yıllarda bilim dünyasında ve teknolojik çalışmalarda büyük bir ilgi uyandıran, kompozit malzemeler için yeni bir sınıf olan nanokompozit malzemeler, takviye elemanlarının en az bir boyutunun nanometre düzeyde olmasıyla elde edilirler. Nanokompozit malzemeler ile istenilen üstün özellikler elde edilmektedir. Bu tür malzemeler daha çok otomotiv endüstrisi, ambalajlama, havacılık ve uzay sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır ve mevcut mikro ve makro polimer kompozitlerine göre daha yüksek elastik modüle, mukavemete, düşük gaz geçirgenliğine sahiptirler [1-5]. Polimer nanokompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan karbon nanotüpler (KNT) yüksek dayanım, düşük yoğunluk, geniş yüzey alanı, yüksek

termal ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleriyle bilinen nanomalzemelerdir. Bilim dünyasında, karbon nanotüplerin takviye elemanı olarak kullanıldığı polimerik nanokompozit malzemelerin üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

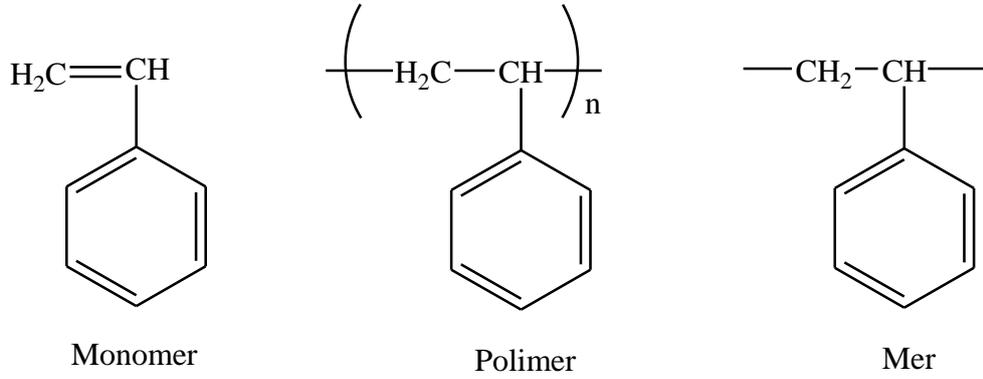
Polimerler içerisinde de, metakrilat esaslı polimerler yüzyılımızda oldukça geniş bir şekilde araştırılmaktadır. Özellikle endüstri ve tıp alanında metakrilat türevli polimerlerin kullanımı oldukça yaygındır. Örneğin; endüstride araba camları gibi materyallerin yapımında kullanılırken tıp da diş dolgu malzemesi, yumuşak kontak lens yapımı gibi alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda sentezlenen bazı metakrilat türü polimerlerin biyolojik aktif özellikleri de değerlendirilmiştir [6-7]. Akrilik, metakrilik polimerler optik özelliklere sahip olmaları ile de bilinirler. Örneğin iletişim teknolojilerinde metakrilatların termal kararlılıkları ve film yapıcı özelliklerinden faydalanılmış ve farklı birçok monomerlerle elde edilen kopolimerleri bu alanda başarıyla sonuçlanmıştır [8]. Dişçilik alanlarında farklı konsantrasyonlardaki başlatıcılarla çalışılan metakrilatların fotopolimerizasyonundan da önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Yaptığımız tez çalışmasında öncelikle, metakrilat esaslı siklohekzen-3-il-metil metakrilat monomeri sentezlendi. Bu monomerin homopolimerini serbest radikalik yolla elde edildi. Sonra termal, mekanik ve elektriksel özellikleri yüksek olan çok duvarlı karbon nanotüp ile kütlece %1, %3 ve %5 oranlarında polimer kompozitleri çözelti dökme metoduyla hazırlandı. Hazırlanan kompozitlerin termal ve elektriksel özellikleri ilave edilen çok duvarlı karbon nanotüp oranına bağlı olarak incelendi ve kompozit malzemelerin özelliklerinin, çok duvarlı karbon nanotüp oranına bağlı olarak değiştiği belirlendi.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

## 2.1. Polimerlerle İlgili Temel Kavramlar

Polimer moleküllerini meydana getiren küçük mol kütleli yapılara monomer denir. Monomer denilen bu küçük mol kütleli temel yapıların kovalent bağlarla birbirlerine bağlanması sonucu oluşan yüksek molekül kütleli yapılarına da polimer denir. Polimer zinciri içerisinde tekrar eden birimlere ise “mer” veya “segment” adı verilir [9].



## 2.2. Polimerin Sınıflandırılması

Polimerlerin sınıflandırılması farklı şekillerde olabilir. Bunlar;

- Molekül kütlelerinin büyüklüğüne göre : oligomerler, makromoleküller, jeller.
- Polimerler oluşumuna göre: doğal polimerler, yarı sentetik polimerler, sentetik polimerler
- Polimer kaynağına göre: organik polimerler, inorganik polimerler.
- Polimerleşme tepkimelerine göre: kondenzasyon polimerleri, katılma polimerleri
- Ana zincirin kimyasal yapısına göre; homozincirli doymuş polimerler, heterozincirli doymuş polimerler, doymamış bağlar içeren polimerler

- Zincirin fiziksel yapısına göre; düz zincirli, dallanmış ve çapraz bağlı polimerler
- Isıya karşı gösterdiği davranışa göre: termoplastik polimerler, termoset polimerler
- Tekrarlanan birimlerin kimyasal bileşimine göre; homopolimer, kopolimer olarak sınıflandırılabilir [5].

### **2.3. Homopolimer ve Kopolimer Tanımları**

**Homopolimer :** Polimer zinciri içerisinde tekrarlanan birimler aynı kimyasal bileşime sahipse bu tür polimerlere homopolimer denir. Buna göre poli(akrilo nitril), polistiren, poli(vinil klorür), poli(metil metakrilat) birer homopolimerlerdir.

**Kopolimer:** Polimer zinciri içerisinde iki farklı kimyasal bileşime sahip tekrarlanan birimler varsa bu yapı kopolimer olarak adlandırılır. Poli(stiren-ko-akrilo nitril), Poli(metil metakrilat-ko-stiren) birer kopolimer örnekleridir [5].

X ve Y gibi farklı yapıda ki kimyasal bileşime sahip iki monomerdan sentezlenen bir kopolimerde, X ve Y birimlerinin diziliş şekline göre de kopolimerler; rastgele, ardışık, blok ve aş kopolimer olmak üzere dört grupta incelenir.

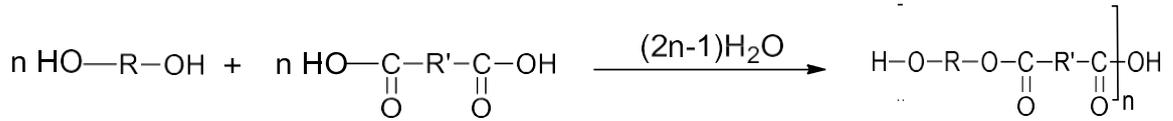
### **2.4. Polimerizasyon Tepkimeleri**

Monomerlerin polimerizasyon tepkimeleri ile polimere dönüşmesine polimerizasyon adı verilir. Polimerizasyon reaksiyonları ikiye ayrılır. Bunlar basamaklı polimerizasyon (kondenzasyon polimerizasyonu) ve katılma (zincir) polimerizasyonudur. Katılma polimerizasyonu da kendi içinde radikalik katılma polimerizasyonu ve iyonik katılma polimerizasyonu olmak üzere iki kısma ayrılır. Bağlanmanın olduğu aktif merkezin durumuna bağlı olarak da iyonik polimerizasyon, katyonik ve anyonik polimerizasyon olarak iki alt bölüme ayrılmaktadır [10].

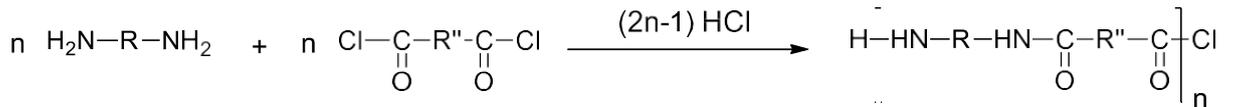
### 2.4.1. Kondenzasyon Yoluyla Polimerizasyon

Kondenzasyon tepkimeleri; yapısında fonksiyonel gruplar barındıran iki molekülün birleşerek, aralarından  $H_2O$ ,  $HCl$ ,  $NH_3$  gibi küçük bir molekülün ayrılmasıyla oluşan reaksiyonlardır. Fonksiyonel grup ise bir molekülün kimyasal reaksiyona giren kısmıdır. Kondenzasyon reaksiyonlarına katılan moleküllerde genel olarak  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$  gibi çeşitli fonksiyonel gruplar yer alır. Basamaklı polimerizasyon, fonksiyonel gruplar bulunduran moleküller arasında adım adım ilerler. Polimerizasyon ortamında yer alan her boyuttaki molekül birbirleriyle tepkimeye katılabilir. Polimerin mol kütlesi yavaş bir şekilde, geniş bir zaman aralığında artar. Kondenzasyon tepkimelerine bazı örnekler aşağıdaki gibidir [11].

- Diol ve dikarboksilik asitin kondenzasyon tepkimesi sonucu poliesterler oluşur.



- Diaminler ile dikarboksilik asitklorürler arasında  $HCl$  molekülünün ayrılmasıyla gerçekleşen kondenzasyon tepkimesi sonucunda da poliamit oluşur



### 2.4.2. Katılma (Zincir) Polimerizasyonu

#### 2.4.2.1. Serbest Radikalik Katılma Polimerizasyonu

Monomer moleküllerinin büyüyen polimer zincirine birer birer hızlı bir şekilde katılmasıyla oluşan polimerizasyon tepkimesidir. Polimer zinciri hızlı bir şekilde büyüdüğünden polimerizasyonun gerçekleştiği ortamda sadece yüksek molekül ağırlıklı polimerler ve tepkimeye girmeyen monomerler bulunur. Gerçekleşen bu polimerizasyon için en uygun monomerler bünyesinde vinilik çift

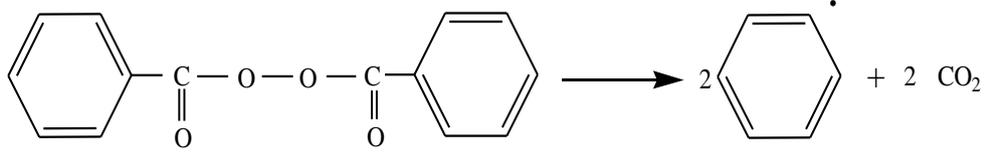
bağ bulunduran etilen, stiren gibi bileşikleridir. Doymamış şekilde bulunan vinil bileşikleri serbest radikalik başlatıcılarla ya da iyonik başlatıcılarla tepkimeye girip polimerleşme tepkimesini gerçekleştirerek aktif merkezler meydana getirirler. Katılma polimerleşmesinde zincir oluşum tepkimeleri başlama, büyüme ve sonlanma olmak üzere üç basamaktan oluşur. Kullanılan başlatıcı monomerin kimyasal yapısıyla uyumlu olmalıdır. Başlatıcı monomerdeki pi bağının açılmasını sağlar [11]. Bu amaçla başlatıcının önce uygun şartlarda radikal üretmesi gerekmektedir. Radikal, bir ya da daha çok sayıda eşleşmemiş elektronu olan atom ya da atom gruplarına denir. Bu eşleşmemiş elektronlar yüksek enerjili, son derece reaktif, kısa ömürlü ve izole edilemeyen ara ürünlerdir [12].

Bu polimerizasyon tepkimesinde her bir polimer zincirinin meydana gelmesi birkaç basamakta olur. Önce polimerleşme reaksiyonu için kullanılan başlatıcı uygun ısı veya ışık etkisiyle serbest radikallere ayrılır. Sonra bunlar monomer molekülleri ile birleşerek onları aktif hale getirir. Aktif hale gelen monomer molekülleri, yeni monomerlerle birleşerek polimerin büyümesini sağlar. Büyüyen polimer zincirindeki aktif radikaller aktifliğini kaybettiği zaman polimerleşme reaksiyonu sonlanmış olur [13].

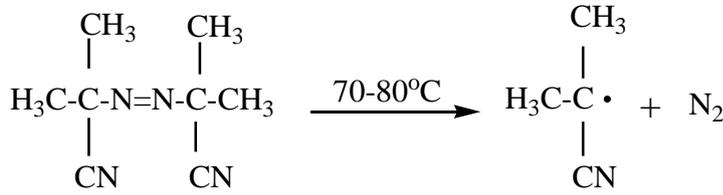
#### **2.4.2.1.1. Serbest Radikalik Polimerizasyonunda Kullanılan Başlatıcılar**

Radikalik katılma polimerizasyonu radikaller üzerinden yürüyen bir polimerizasyon türüdür. Bu polimerizasyonda ilk olarak başlatıcılar ışık, ısı, radyasyon veya fotokimyasal gibi etkenlerle radikale dönüştürülür. Radikale dönüştürülen bu başlatıcılar, vinilik yapıdaki pi bağlarını kırarak radikal oluşturur ve böylece polimerizasyon başlar. Benzoil peroksit ve azobisisobütironitril (AIBN) serbest radikalik polimerizasyonda en yaygın kullanılan başlatıcılardır. Yukarıda bahsettiğimiz başlatıcılar dışında dikünil peroksit, N-nitrosoakrilanilit, p-brombenzen diazo hidroksit, trifenilmetil azobenzen, tetrafenil süksinonitril ve persülfatlar da başlatıcı olarak kullanılabilirler [14].

Şekil 2.1' de 60-70 °C' de parçalanarak fenil radikallerini oluşturan benzoilperoksit başlatıcısının, Şekil 2.2' de ise 50-70 °C' de parçalanarak iki eşdeğer radikal oluşturan azobisisobütironitril başlatıcısının bozunma reaksiyonu verilmiştir.



Şekil 2.1 Benzoilperoksit (BPO) başlatıcısının bozunma reaksiyonu.

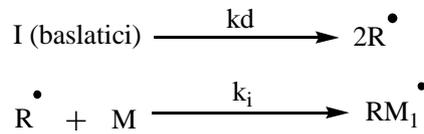


Şekil 2.2 AIBN başlatıcısının bozunma reaksiyonu

#### 2.4.2.1.2. Serbest Radikalik Polimerizasyon Basamakları

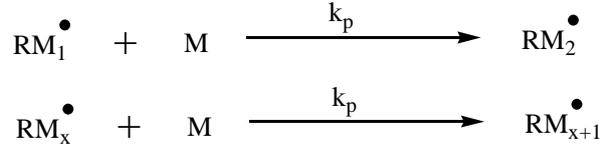
##### a-) Başlama Basamağı

Bu basamakta başlatıcı (I), türüne bağlı olarak ya ısı ya da ışık etkiyle bozundurulur ve bir radikal ( $R^\bullet$ ) oluşturur ve monomer (M) birimi bu radikal ile tepkimeye girerek ilk aktifleşmiş monomer radikalini ( $M_1^\bullet$ ) oluşturur. [15].

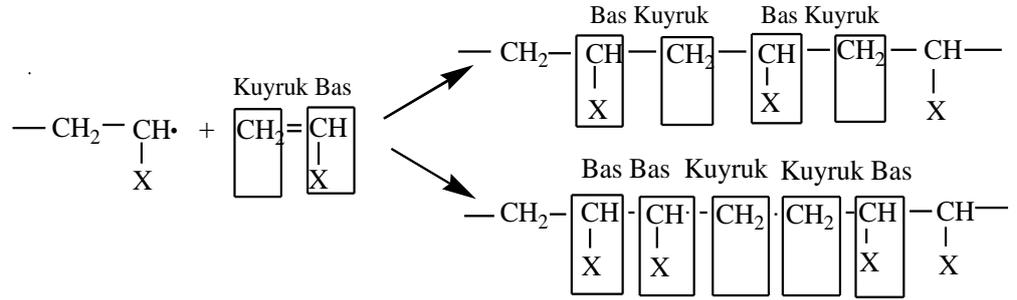


##### b-) Büyüme Basamağı

Aktifleşmiş monomer birimine diğer monomerlerin katılması büyüme basamağında olur ve polimer zinciri bu basamakta kısa süre içerisinde büyüyerek yüksek molekül ağırlıklı polimeri oluşturur.



Polimerizasyon reaksiyonunun ilerlemesi sırasında monomerler birbirlerine baş-baş, baş-kuyruğa, ya da kuyruk-kuyruğa bağlanarak birleşebilirler.



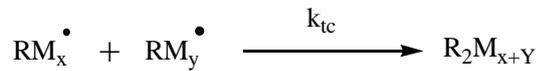
Şekil 2.3 Radikallerin monomere katılma reaksiyonu

### c-) Sonlanma Basamağı

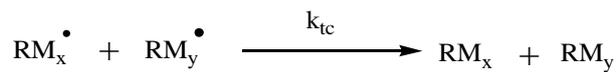
Büyümekte olan ve aktifleşmiş uca sahip olan polimer zincirlerinin, birbirleriyle reaksiyonu sonucunda radikaller aktifliklerini kaybederek sonlanırlar. Bu basamak genellikle birleşme ve orantısız sonlanma olmak üzere iki şekilde olabilir;

$\text{RM}_x^\bullet$  ve  $\text{RM}_y^\bullet$  büyüyen iki zincir radikali olsun;

Birleşme (combination) ile sonlanma:



Orantısız (disproportionation) sonlanma:



Bu polimerizasyon sisteminde sonlanma basamağı yukarıdaki iki türde olabileceği gibi tamamen orantısız veya tamamen birleşmeyle de olabilir. Bunların

dışında polimerizasyonun sonlanması; aktif merkezlerin başlatıcıya olan transferiyle, çözücüye olan transferiyle veya zincir transfer reaksiyonlarıyla da olabilir.

#### **2.4.2.2. İyonik Katılma Polimerizasyonu**

İyonik katılma polimerizasyonu katyonik ve anyonik polimerizasyon olmak üzere iki gruba ayrılır. Vinilik bileşikler ( $CH_2=CHR$ ) iyonik başlatıcılarla tepkimeye girerek karbanyon ya da karbokasyon oluştururlar. vinilik bileşikteki R; elektron elektron verici ise katyonik yolla, elektron çekici ise anyonik yolla polimerizasyon gerçekleşir [16].

### **2.5. Polimerizasyon Sistemleri**

Polimerizasyon sistemleri başlıca dört bölüme ayrılabilir. Bunlar;

- Çözelti polimerizasyonu
- Kütle (Bulk) polimerizasyonu
- Süspansiyon polimerizasyonu
- Emülsiyon polimerizasyonudur

#### **2.5.1. Çözelti Polimerizasyonu**

Çözelti polimerizasyon tepkimesinin başlangıcında polimerizasyonun gerçekleştiği ortamda monomer, çözücü ve başlatıcı bulunur. Kullanılan çözücü monomeri ve başlatıcıyı çözmelidir, dolayısıyla başlangıçta sistem homojen şekilde bulunur. Çözücünün monomeri çözmesi, polimeri de çözmemesi durumunda; oluşan polimer toz halinde çökerek ortamdaki ayrılır.

#### **2.5.2. Kütle (Bulk) Polimerizasyonu**

Kütle polimerizasyonu, diğer bir isim olarak bulk polimerizasyon olarak da adlandırılabilir. Bu polimerizasyonda monomer, doğrudan doğruya ya da çok az katkı maddeleri ile beraber belli sıcaklıkta ve basınçta polimerleştirilir. Bu

polimerizasyonda, yabancı maddelerin polimerizasyon işlemine dahil olma olasılığı çok düşüktür. Bu sebepten dolayı oldukça saf polimerler kütle polimerizasyonu ile elde edilebilmektedir.

### **2.5.3. Süspansiyon Polimerizasyonu**

Bu sistemde monomer kendisinin çözünmediği uygun bir ortam içinde dağıtılır. Başlatıcı monomerde çözünür fakat dağıtıcı ortamda çözünmez. Suda çözünmeyen monomerler için dağıtıcı ortam su olabilir. Bu durumda monomerde çözünen fakat suda çözünmeyen başlatıcılar kullanılır. İçinde başlatıcı bulunan monomer, dağıtıcı içinde 10-1000 mikronmetre çapında damlacıklar halinde bulunur ve ortama ayrıca monomer damlalarının birleşmesini engelleyen ve stabilizör denilen kimyasallar maddeler eklenir.

### **2.5.4. Emülsiyon Polimerizasyonu**

Emülsiyon polimerizasyonu, süspansiyon polimerizasyonuna benzer olarak sulu ortamda gerçekleşir. Emülsiyon polimerizasyonunu süspansiyon polimerizasyonundan ayıran temel fark, emülsiyon polimerizasyonunda organik değil su fazında çözünen bir başlatıcı kullanılmasından ileri gelmektedir.. Emülsiyon polimerizasyonunu diğer polimerizasyon tekniklerinden üstün kılan iki önemli özellik ise; polimerizasyon hızının yüksekliği ve yüksek mol ağırlıklı polimer elde edilmesidir [17].

## **2.6. Polimerlerin Termal Özellikleri**

Polimerler, kristal ve amorf bölgeler barındırırlar. Polimerdeki kristal bölgeler ürüne kırılabilirlik katarken amorf bölgeler ise tokluk özelliği kazandırır. Bu sebepten dolayı, ürünün kristalitesi mekanik özelliklerde önemli bir yer tutar. Polimerlerin doğrusal olması, moleküller arası çekim kuvvetleri ile kristal bölgelerin oluşma olasılığını artırır. Polimerlerde termal özellikler, camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) ve erime sıcaklığı ( $T_m$ ) ile ifade edilir. Camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) altında polimer

katı, sert yapıda bulunurken  $T_g$ 'nin üstünde kauçuğumsu yapıda bulunur. Ortam sıcaklığı arttıkça doğrusal polimerler amorf, kauçuğumsu yapıda bulunur. Aynı polimer ortamın sıcaklığı düştükçe ise sert ve katı halde bulunur.

Polimerler soğutulduklarında kristallenme ve camsılaşıma gibi özellikler gözlenir. Polimerlerin çeşidine göre gerçekleşen her iki durumda kullanım alanları bakımından önemli bir yer tutar. Polimerlerin hangi alanda daha elverişli oldukları kristal erime noktası ( $T_m$ ) ve camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) göre değişebilir. Eğer katı bir polimer örneği kullanılacaksa çalışma sırasında sıcaklığın hem  $T_g$ 'nin hem de  $T_m$ 'nin altında olması gerekmektedir. Ancak plastik şeklinde polimer ile çalışılıyorsa sıcaklığın  $T_g$ 'nin üstünde,  $T_m$ 'nin altında olması gerekir. Polimerlerde camsı geçiş sıcaklığına vardığında elastik hale dönüşürken, erime sıcaklığına ulaştığında katı halden sıvı hale geçme olayı gerçekleşir. Termal özellikleri belirlemede kullanılan en önemli yöntemler; TGA, DTA ve DSC yöntemleridir.

### **2.6.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)**

Termogravimetri, maddelerin sıcaklıkları değiştirilerek ağırlığındaki değişimin ölçülmesidir. Bu yöntemde ölçülen değişkenler; ağırlık, sıcaklık ve zamandır. Polimerlerin termal kararlılığının ölçülmesinde daha çok termogravimetrik analiz kullanılır. Termogravimetri polimer numunesinin ağırlık kaybını sıcaklık veya zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder. Isıtma hızının sabit olması durumunda sıcaklıkla ağırlık kaybını belirlemeye dinamik termogravimetri; sabit sıcaklıkta zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık kaybı belirlemeye ise izotermal termogravimetri adı verilir. Bu yöntemde polimerin bozunmaya başladığı sıcaklık ve %50 ağırlık kaybının oluşturduğu sıcaklık (yarı ömür sıcaklığı) rahatlıkla tespit edilebilir [14].

### **2.6.2. Diferansiyel Termal Analiz (DTA)**

Bu termal analiz tekniğinde; numune ile referans madde arasındaki sıcaklık farkı, uygulanan sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Sıcaklık programı uygulanırken, numune sıcaklığının zamanla artacağı şekilde, referans madde ve

numuneye ısıtma işlemi uygulanır. Referans madde ve numune arasındaki sıcaklık farkının numune sıcaklığına karşı grafiğinin çizimi yapılır, bunun sonucunda DTA eğrisi elde edilir. Bu yöntemde ısıtma veya soğutma esnasında, numune ve referans madde arasındaki sıcaklık değişimi belirlenir. DTA doğal ve sentetik maddelerin bileşimlerini ve termal özelliklerini tayin etmede çok sık kullanılan bir tekniktir [18].

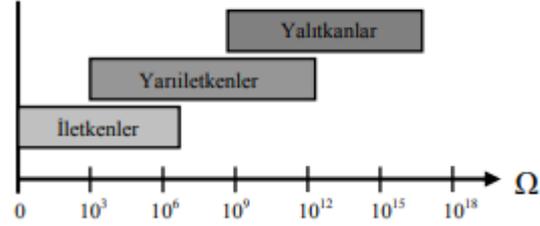
### **2.6.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)**

Kararlı çevre şartlarında tutulan bir çift mikro kalorimetreden oluşmaktadır. Bunlardan biri incelenen örneğe, diğeri ise referans maddeye ait bir özelliktir. Örnek ve referans kalorimetrelerin ısıtıcıları elektrik güç ilavesi ile yaklaşık olarak aynı şekilde programlanmış sıcaklıklarda bekletilir. İki kalorimetreye bağlanmış güçler arasındaki fark, örnekteki enerji değişim hızını ölçerek zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder.

### **2.7. Polimerlerin Elektriksel Özellikleri**

Hem elektrik hem de elektronik uygulamalarda malzemelerin elektriksel davranışları malzeme seçiminde ve kullanımında önemli rol oynamaktadır. Malzemelerin elektriksel özellikleri ise malzemenin yapısından, malzemenin bulunduğu çevreden ve malzemenin işleniş yönteminden etkilenmektedir. Elektriksel iletkenlik temel de iki yolla olur. Eğer kullanılan malzemede akım elektron akışından kaynaklanıyorsa burada elektronik iletkenlikten bahsedilir, eğer kullanılan malzemede akım yüklü iyonların hareketinden kaynaklanıyorsa burada da iyonik iletkenlikten bahsedilebilir.

Tabiattaki malzemeler elektriksel direnç değerlerine göre genelde iletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemeler olmak üzere üç guruba ayrılırlar. Şekil 2.4’de bu malzemelerin direnç aralıkları verilmiştir.



Şekil 2.4 Malzemelerin direnç aralıkları

Malzemelerin dirençlerini ölçmek için özel alet ve yöntemler kullanılır. Ohm kanunu direnç ölçümlerinin dayandığı temel kanundur. Bu kanuna göre bir malzemenin uçlarına uygulanan gerilim (V) ve malzeme üzerinden geçen akımı (I) olmak üzere direnci (R) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V = I \cdot R \quad (2.1)$$

Direnç bir malzemenin karakteristik özelliğine bağlıdır. Örneğin bakır tel aynı kesit ve uzunluktaki demir tele oranla daha düşük bir dirence sahiptir. Bu fark ohm kanununa ilave edilerek öz direnç elde edilir.

Bir malzemenin elektriksel öz direnci  $\rho$  ile gösterilir ve

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.2)$$

Burada; R = direnç ( $\Omega$ ) L = iletkenin boyu (m) A = iletkenin kesit alanı ( $m^2$ )  $\rho$  = iletkenin öz direnci (ohm.m) olmak üzere eşitlik 2.2' ye göre hesaplanır. A ile ifade edilen kesit alanı

$$A = w \cdot t \quad (2.3)$$

Malzemenin genişliği (w) ve kalınlığı (t) olmak üzere hesaplanır.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.4)$$

Öz direncin tersi olan öz iletkenlik ( $\sigma$ ) ise Eşitlik 2.4' de ifade edildiği gibidir.

Bir malzemeyi içinden geçen elektrik akımına karşı direnç gösteren değil; iletken olarak düşünmek daha doğrudur. Öz iletkenliğin birimi  $(ohm.m)^{-1}$  dir. SI biriminde ohm un tersi siemens tir.

**2.8. Kompozit Malzemeler**

En az iki farklı cins malzemenin biraraya gelerek tek bir madde özelliğine sahip malzeme oluşturması, kompozit malzeme olarak tanımlanır. Kompozit malzemeler, genellikle taşıyıcı görev yapan takviye malzemesi ve bunların etrafını sarıp bir arada tutmaya ve desteklemeye yarayan matris fazı olmak üzere iki grup maddeden oluşur. Matris fazı ile takviye kısmı arasında bir ara faz bulunur. Endüstrinin birçok alanına katkıda bulunan kompozitler son yarım yüzyıla damgasını vurmuş ve birçok alan için vazgeçilmez bir parça olmuştur. Kompozit malzemeler uzay ve havacılık sanayisinin bir çok unsurunda, silah, roket ve mühimmat malzemeleri başta olmak üzere savunma sanayisinin çoğu unsurlarında, tekstilde, inşaat sektöründe, elektrik-elektronik alanında, otomotiv sektöründe, ambalajlama ürünlerinde ve daha pek çok alanda hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir [19].

Kompozit malzemeleri üretmede ki temel amaç, malzemelerin zayıf yönlerinin istenilen amaç doğrultusunda daha iyi seviyeye getirilmesiyle, nitelikli bir malzeme elde edilmesidir. Kompozit malzemeler için temel olarak aşağıdaki özellikler aranır;

- a) Belirli ara yüzeylerle ayrılmış kimyasal yapıları birbirinden farklı olan en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması
- b) Üç boyutlu olarak farklı türdeki malzemelerin bir araya getirilmiş olması
- c) Her bir bileşenin tek başına iken sahip olmadığı özellikleri, kompozit halindeyken yapısında bulundurması

**2.8.1. Polimer Kompozitler**

Kompozit kavramı, malzemelerin bileşimini ve özelliklerini farklılaştırmak için yapılan çalışmaların sonucu oluşan bir kavramdır. Bir kompozit malzemenin özelliklerinde gözle görülebilir bir gelişme sağlamak için, iki veya daha fazla malzeme birleştirilmesi gerekir. Bir kompozitte; yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, takviye elemanlarının büyük hacimli bir kesimi olan bir matris fazına gömülür. Kompozitlerin özellikleri, kurucu fazların özelliklerinin ve bunların bağlı

miktarlarının yanında dağılmış fazın geometrisinin bir fonksiyonundan ileri gelir. Matris materyalleri genel olarak polimerler, seramikler veya metallerdir. Aynı zamanda reçineler olarak da isimlendirilen polimer matrisleri, hafif, kolay işlenebilme ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanına sahiptirler [20].

Polimer matrisli kompozitler temel olarak matris ve takviye fazından oluşmuştur, ancak matris ve takviye arasındaki bağlanma kompozit özelliklerini oldukça etkilediği için ara yüzey bağlanması çok önemlidir.

Polimerik bir kompozit malzeme, bir polimer ve sentetik veya doğal inorganik dolgu malzemesinin birleşiminden meydana gelir. Dolgu malzemesi polimerlerin mevcut özelliklerini geliştirmek ve maliyetini azaltmak için ortama eklenir. Geliştirilmiş mekanik, termal, bariyer ve yangın geciktirici özellikleri olan polimer kompozitler, çok çeşitli kullanım alanlarında tercih edilir. Katkılandırılmış polimerlerin son halleri; kendi yapısından, bileşenlerin özelliklerinden ve katkı oranlarından olduğu gibi bileşenlerin miktarları ve kompozitin mikro yapısından ve matris ile dolgu maddesi arasındaki ara yüzeyel bileşimlerinden de etkilenir. Son olarak, dolgu malzemelerinin (mekanik) özelliklerine, dolgu malzemesine ve matris arasındaki yapışma ve özellikle dolgu maddesinin en-boy oranına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. En-boy oranı çok önemli bir faktördür ve elektriksel mekanik ve termal özellikleri gibi kompozitteki birçok özellik için vazgeçilmez bir durum oluşturur [21].

Polimer matrisli kompozit malzemeler kullanmanın temel avantajları

- Polimer matrisli kompozitler daha yüksek çekme dayanımına ve sertliğine sahiptir.
- Yüksek aşınma dayanım özelliği gösterirler
- Geleneksel malzemeye göre maliyetleri düşüktür

Polimer matrisli kompozitler kullanılarak yapılan Boeing 757 ve 767 jetleri ilk büyük ticari uçaklardır. Polimer matrisli kompozitler, gövdelerin üretiminin aşamasında metallere göre daha hafiftir ve daha ucuz maliyetlidir. Bu kompozitler hafiflikleri sayesinde uçaklarda enerji tasarrufu sağlarlar. Polimer kompozit

malzemelerden yapılan kayak direkleri, alüminyum direklere göre daha hafif ve rijit özellik gösterirler.

Otomotiv endüstrisinde, diğer kompozit türlerine göre polimer matrisli kompozitler maliyet avantajından dolayı daha çok kullanılmaktadır.

Cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin endüstriyel alanlardaki kullanımlarından bazıları; gaz türbini kanatları, x-ışını ekipmanları, robotlar ve diğer makine bileşenleri, enerji depolama volanları, yakıt hücreleri, basınçlı hava tankları, tren yapıları ve ve daha sayamadığımız birçok endüstri dalıdır.

Ayrıca kayak, bisiklet, hokey sopaları, ok ve yaylar, olta takımları, tenis raketleri gibi spor ekipmanları, müzik enstrümanları, mobilya, dizüstü bilgisayar kasaları, otomobil alanında kullanılmaktadırlar [22].

### **2.8.2. Polimer Matrisli Karbon Nanotüp Kompozitleri Hazırlama Yöntemleri**

Polimer matrisli karbon nanotüpten kompozit malzeme hazırlamak için genel olarak eriyik karıştırma, yerinde polimerizasyon ve çözelti hazırlama olmak üzere üç yöntem kullanılır [23].

#### **a-) Eriyik Karıştırma**

Eriyikten karıştırma yönteminde KNT ler yüksek sıcaklıklarda, yüksek kesme kuvvetli olan karıştırıcılarla mekanik bir şekilde polimerin içerisine dağıtılabilmektedir. Bu yöntemde kesme kuvveti nanotüplerin topaklanmalarını ve birleşmelerini engellemede önemli bir yer tutmaktadır. Bu hazırlama yöntemi basit ve oldukça yaygın kullanılır fakat bu yöntem sadece termoplastik malzemelerin sentezinde kullanılabilmektedir [24, 25]. Bu yöntemle üretilen KNT-polimer kompozitleri birçok uygulama alanında alternatif malzeme olarak kullanılabilir. Bu uygulama alanlarından bazıları; ekranlarda kullanılacak esnek elektrot, elektronik kağıt, antistatik kaplamalarda, kurşun geçirmez yeleklerde, koruyucu elbiseler ve yüksek performans kompozit olarak uçak ve otomotiv endüstrisi, vb. gibi uygulama alanlarıdır [26].

**b-) Yerinde Polimerizasyon**

Bu metodla karbon nanotüpler polimerizasyon reaksiyonu sırasında monomerler içerisinde dağıtılır ve polimerizasyon ısı, ışık, başlatıcı gibi etkilerle gerçekleştirilir. Böylece karbon nanotüplerin polimer matrisi içinde kolay bir şekilde dağıtılması sağlanır. Bu sırada karbon nanotüpler polimer matrisiyle de güçlü etkileşimler oluşturabilmektedir. Yerinde polimerizasyon, tabaka yapılı nanopartiküllerin kullanıldığı nano kompozit yapılarda, polimerizasyonun tabakalar arasında gerçekleşmesi sonucu tabakalar arası mesafelerin artması ve tabakaların oluşan polimer matrisi içinde dağılmasını mümkün kılmaktadır. Bu metot daha çok çözelti veya eriyik karıştırmayla hazırlanamayan polimerlerde kullanılmaktadır.

**c-) Çözeltide Harmanlama**

Bu yöntemde, karbon nanotüpler uygun çözücü ve polimer çözeltisi içinde karıştırılır. KNT-Polimer kompoziti, çözülden çözücünün buharlaştırılmasıyla elde edilir. KNT' leri çözelti içerisinde düzgün bir şekilde dağıtmak, basit mekanik ya da manyetik karıştırıcılarla zordur. Bu yüzden KNT leri daha düzgün dağıtmak için, güçlü bir ultrasonik banyo ile ultrasonikasyon işlemi uygulanır. Bunların dışında mekanik karıştırma, manyetik karıştırma işlemleri uygulanabilmektedir [27, 24].

**2.9. Karbon Nanotüpler**

Karbon nanotüpler silindir şeklinde bir karbon allotropudur ve ilk olarak Iijima tarafından fulleren üretimi sırasında ark boşalımı yöntemi ile katotta biriken yapının geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ile incelenmesiyle bulunmuştur [28]. Bu yapı incelendiğinde uzun, ince, içi boş, kapalı bir şekle sahip daha önce görülmemiş yapılarla karşılaşmıştır. Bu yapılar  $sp^2$  bağlı karbon atomlarından oluşmuştur ve tek bir grafen tabakasının silindir oluşturacak şekilde kıvrılmasıyla oluşan silindirik şekline benzer bu yapıya karbon nanotüp denilmiştir [29]. Grafen

katmanını nano ölçüde silindir şeklinde yuvarlayarak oluşturulan yapı olarak tanımlanabilir. (Grafitin tek bir katmanına grafen denilmektedir.) Karbon nanotüplerin farklı formları ve çeşitleri mevcuttur, ancak bu çeşitleri belirlemek oldukça zordur.

### 2.9.1. Karbon Nanotüp Çeşitleri

Karbon nanotüpler birkaç mikrondan milimetreye kadar değişen uzunluklara sahip sadece karbondan oluşan yapılardır [30]. Katman sayılarına göre tek duvarlı karbon nanotüp ve çok duvarlı karbon nanotüp olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bir tek grafin yüzeyinin kıvrılmasıyla tek duvarlı karbon nanotüpler elde edilir ve çap dağılımı 1-3 nm arasındadır. Çok duvarlı karbon nanotüpler ise eş merkezli olacak şekilde belirli aralıklarla iç içe geçmiş nanotüplerin oluşturduğu şekle benzer ve çap dağılımı 2-200 nm arasında değişen bir dağılıma sahiptir [31,32]. Şekil 2.5 ' de tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüp yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Karbon nanotüp yapısı a-) TDKNT b-) ÇDKNT yapısı

### 2.9.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Karbon nanotüpler kimyasal, elektriksel ve mekaniksel olarak üstün özelliklere sahipken geniş yüzey alanlarından dolayı da farklı kullanım alanlarına sahiptir.

Karbon nanotüplerin kıvrılmış yapılarından dolayı grafen tabakasına göre daha reaktiftir ve reaktivliği belirleyen temel etken de pi orbitalleridir. Bu yapıların uç kısımları yan yüzeylerine göre daha fazla kıvrımlı olduğundan kimyasal olarak daha reaktif özellik sergilerler [33]. Grafen levhanın yuvarlanarak nanotüp oluşturması sonucunda kiral açılara bağlı olarak da farklı elektriksel özellikler sergilerler. Örneğin koltuk tipi nanotüpler iletken iken, zikzak tipi yarı iletkenler yarı iletken özellik gösterir.

Yüksek young modülüne (elastik modülü) sahip olan grafenden çok daha sağlam olan karbon nanotüpler aynı zamanda esneklerdir. Çizelge 1.2' de görüldüğü üzere karbon nanotüplerin yüksek young modülüne sahip olması bunların doğada bulunan en sağlam ve dayanıklı malzeme olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu malzemelerin kırılmadan büyük ölçüde uzayabildiği de tespit edilmiştir. Özellikle tek duvarlı karbon nanotüpler önemli ölçüde esnektir. Üzerlerine bir kuvvet uygulandığında düzleştirilebilir, kıvrılabilir ya da başka şekillerde esnetmeler yapıldığında kırılmadan kalabilirler. Üzerlerinden kuvvet çekildiği zaman eski şekillerine dönebilirler. Bu anlamda da önemli mekanik özellikler sergilemektedirler [34].

Çizelge 2.1 Karbon nanotüplerin bazı özellikleri

Malzeme	Young Modülü, GPa	Çekme Dayanımı, GPa	Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>
Tek Duvarlı KNT	1054	150	1.4
Tek Duvarlı KNT	1200	150	2.6
Elmas	600	130	3.5
Kevlar	186	3.6	7.8
Çelik	208	1.0	7.8

Karbon nanotüpler eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı geniş de bir kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a-) Oda şartlarında ortamdaki gaz oranları değişimine duyarlı olmalı sebebiyle gaz dedektörlerinin yapılmasında

b-) Yüzey alanlarının yüksek olması sebebiyle hidrojen depolamada

c-) Malzemelerde katkı maddesi olarak kullanıldığında malzemenin dayanımı ve esnekliğini artırmada

d-) Leke ve bakteri tutmayan kumaşların yapımında

e-) Yüksek elastikiyet katsayısından ve çekme dayanımından dolayı kurşun geçirmez yelek yapımında kullanılmaktadır [35, 36].

### **2.10. Metakrilat İçerikli Kompozitler Üzerine Yapılan Çalışmalar**

Kadambinee ve arkadaşları 2019 yılında fonksiyonlaştırılmış çok duvarlı karbon nanotüp- indirgenmiş grafin oksit/poli (metil metakrilat) hibrid kompozitleri sentezlemiş ve elektrik, mekanik ve termal özelliklerini araştırmıştır. rGO/PMMA içerisine aşamalı olarak fonksiyonlaştırılmış çok duvarlı karbon nanotüp ilavesiyle elde edilen f-ÇDKNT-rGO/PMMA hibrit kompozitlerinin mekanik (çekme dayanımı ve young modülü) ve termal özelliklerinde artış görülmüştür. Elde edilen hibrit kompozitde PMMA ile f-ÇDKNT-rGO arasındaki güçlü etkileşimlerin termal kararlılığın arttırılmasındaki ana neden olduğu tespit edilmiştir [37].

Anna Lis ve arkadaşları 2013 yılında PMMA' ya montmorillonit veya karbon nano tüpün katılması sonucu elde ettikleri kompozitlerin termal direnç üzerine etkisini incelemiştir. Sodyum montmorillonit veya karbon nanotüp ilavesiyle elde ettikleri PMMA kompozitlerinin saf PMMA'dan daha iyi bir termal direnç sergilediğini, termal özelliklerindeki gelişme derecesinin ise polimer matriksine katılan nano katkılayıcının dağılımına bağlı olarak değiştiğini bulmuştur [38].

Logakis, E ve arkadaşları 2011 yılında kütlece farklı yüzdelerde çok duvarlı karbon nanotüp içeren poli (metil metakrilat) (PMMA) nanokompozitlerini eriyik karışımı olarak hazırlamıştır. ÇDKNT ilavesinin PMMA matrisinin termal, mekanik, elektrik ve dielektrik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için çeşitli teknikler

kullanılmıştır. Elektriksel süzülme eşiğini, AC ve DC iletkenlik ölçümleriyle yaparak % 0,5 olarak bulmuştur [39].

Kumar ve arkadaşları 2009 yılında Poly (metil metakrilat) / çok duvarlı karbon nanotüp kompozitlerini, yerinde ve ex-insitu yöntemleriyle hazırlayıp kompozitlerin karakterizasyonunu yapmışlardır. Kütlece % 2.91 perküle edilmiş yüklemiş işleminde iletkenlikteki artış, ex-insitu hazırlanan nanokompozitlere karşılaştırıldığında insitu hazırlanan PMMA / ÇDKNT nanokompozit için daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Saf PMMA dielektrik sabiti, ex-situ yöntemiyle hazırlanan ve kütlece % 4.76 ÇDKNT içeren PMMA / ÇDKNT nano kompozitlerinde 5'ten 72'ye çıkarılmıştır. Dinamik mekanik analiz ölçümlerinde, özellikle de saf PMMA'ya kıyasla kütlece % 4,76 oranında karbon nanotüp içeren PMMA / ÇDKNT nano kompozitlerinin yüksek sıcaklıklarda depolama modülünde belirgin bir artış gözlemlenmiştir [40].

Haggenmueller ve arkadaşları 2000 yılında PMMA çözeltisi içerisindeki nanotüplere yüksek güçte sonikasyon uygulayarak nanotüpleri başarılı bir şekilde dispers etmiş ve böylece homojen yapıda nanokompozitler elde etmiştir. Kompozitleri hazırlarken eriyik karıştırma ile çözücü uzaklaştırma yöntemini kullanarak TDKNT-PMMA kompozitlerini oluşturmuş ve oluşturulan kompozitlerin elektriksel iletkenliğinin arttığı tespit edilmiştir [41].

Yakuphanoğlu ve arkadaşları 2010 yılında PMMA-KNT kompozitlerinin elektriksel özelliklerini doğru akım iletkenliği ve karmaşık empedans spektroskopisi yöntemleri ile araştırmıştır. Bir nanokompozit olarak PMMA/KNT kompozitlerinin doğru akım iletkenlik sonuçları; yalıtkan polimer matriksi içerisine çift duvarlı karbon nanotübün katılmasıyla PMMA'nın yalıtkan halden yarı iletken hale değiştiğini göstermiştir. Elde ettikleri elektronik parametreler PMMA: IDKNT kompozitinin organik yarı iletken davranış sergilediğini doğrulamıştır [42].

Yenigün 2017 yılında yaptığı çalışmada, poli(stiren-ko-glisidil metakrilat) P(St-ko-GMA) ve polivinil bütral (PVB) gibi iki farklı türde ki polimer sistemine KNT katkılayarak polimer-karbon nanotüp ilişkisini farklı yöntemleri kullanarak modelleme yapmış ve moleküler düzeyde incelenmiştir. Sentezlediği iki farklı polimer sistemi için, KNT katkılarının camsı geçiş sıcaklığına, arayüz yapısına ve

matris mekanik özelliklerine olan etkisi açısından karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Yapısında aromatik grup bulunan poli(stiren-ko-glisidil metakrilat) polimerlerinin karbon nanotüp ile katkılandırılmasıyla birlikte  $\pi$ - $\pi$  etkileşimine girebildiğini ve bu etkileşimin polimer sistemlerinin mekanik özelliklerinde ve camsı geçiş sıcaklıklarında artışa sebep olduğunu gözlemlemiştir [43].

Ulaş 2017 yılında yaptığı tez çalışmasında, sentezlediği PMMA/ÇDKNT kompozitlerinin içerisinde ki ÇDKNT miktarı arttıkça, kompozitlerin termal kararlılığının, saf PMMA'ya göre arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca ultrasonik testlere yönelik çalışmalarda ise kütlece % 2 ÇDKNT ile katılanmış PMMA kompozitlerinin mikrosertlik değerlerinin, young modülünün ve kayma modülünün saf PMMA ya göre arttığını tespit etmiştir. Yine aynı şekilde kütlece % 2 ÇDKNT katılarak sentezlenen PMMA/ ÇDKNT kompozitinin Rockwell sertliğinin saf PMMA' ya göre % 11 oranında arttığını belirlemiştir. Sonuçta, PMMA/ÇDKNT kompozitlerini yerinde polimerizasyon metoduyla sentezlemiştir. ÇDKNT' lerin, saf PMMA içerisine homojen bir şekilde dağılmasıyla, kompozitlerin fiziksel özelliklerinde iyileşme olduğunu bulmuştur [44].

**3. MATERYAL ve YÖNTEM****3.1. Materyal****3.1.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler**

3-sikloheksen-1-metanol: Reaktif olarak kullanıldı (%98'lik) Aldrich firmasından temin edildi. Kapalı formülü  $C_6H_9CH_2OH$ 'dur  $M= 112,17$  g/mol

Metakrilolil klorür: Reaktif olarak kullanıldı. Merck firmasından temin edildi. (% 97'lik). Kapalı formülü  $C_4H_5ClO$ 'dur.  $M= 104,53$  g/mol

Izobornil metakrilat: Monomer olarak kullanıldı. Sigma firmasından temin edildi. Kapalı formülü  $C_{14}H_{22}O_2$ 'dir.  $M= 222,32$  g/mol

Çok Duvarlı Karbon Nanotüp: Timesnano (Chinese Academy of Science) firmasından temin edilmiştir.

Trietilamin: Reaktif olarak kullanıldı (% 37'lik).  $C_6H_{15}N$  kapalı formülüne sahip olup molekül ağırlığı,  $M=101,19$ g/mol'dür. Sıgma Aldrich firmasından temin edildi.

Sodyum Hidroksit: Reaktif olarak kullanıldı.  $M=40,00$  g/mol'dür.

Tetrahidrofuran: Reaktif olarak kullanıldı. Kapalı formülü  $C_4H_8O$  olup molar kütlesi  $72,11$ g/mol'dür.

Metil alkol: Polimeri çöktürmek amacıyla kullanıldı. Sıgma Aldrich firmasından temin edildi.  $M=46,07$ g/mol'dür.

Diklormetan: Polimeri çözmek amacıyla kullanıldı. Sıgma Aldrich firmasından temin edildi.  $M= 84,93$ g/mol'dür.

2, 2' Azobisisobütironitril (AIBN): Serbest radikal polimerizasyon için başlatıcı olarak kullanıldı. Moleküler ağırlığı  $164,21$ g/mol olup beyaz kristal şeklindedir. Erime sıcaklığı  $103-104$  °C'dir.

Susuz magnezyum sülfat kurutucu olarak kullanıldı.

Argon ya da azot gazı: Polimerizasyon reaksiyonlarında ortamdaki oksijeni yok etmek için kullanıldı.

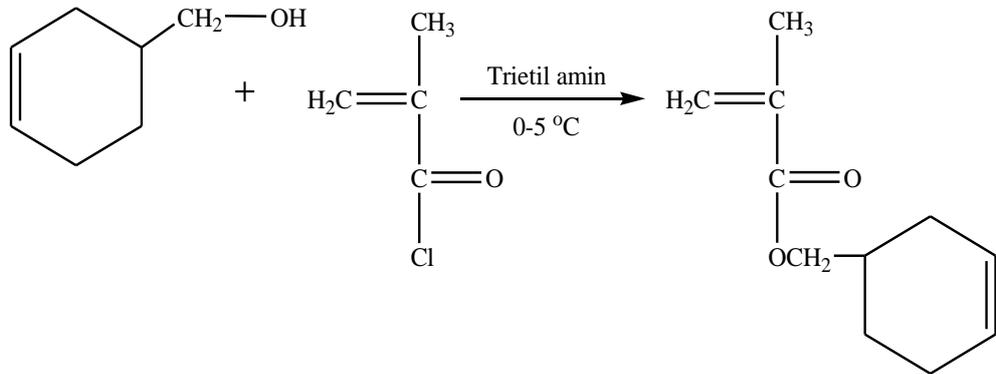
**3.1.2. Kullanılan Araç ve Gereçler**

- Tartımlar için Elektronik Terazi: Ohaus Corporation PA214C, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- <sup>1</sup>H-NMR spektrumları için Bruker 400 MHz AVIII 400. Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Elazığ.
- IR spektrumları için MATTSON 1000 FT-IR ve Perkin Elmer Spectrum 100 model FT-IR Spektrometre, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- Polimerlerin TGA eğrileri için Perkin Elmer marka SII 7300 model TGA/DTA.
- Kurutma işlemi için Elektro-Mag M 50 model Etüv, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- Karıştırma işlemi için Velp Scientific HSC marka magnetik karıştırıcı, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- Polimerizasyon için yağ banyosu, sıvı yağ (motor yağı) ve termostat, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- Cam malzeme olarak; değişik ebatlardaki polimerizasyon tüpleri, termometre, havan, mezür, huni, erlen, beher, baget, pipet, piset, damlalık, petri kabı, süzgeç kağıdı ve küçük numune şişeleri, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.
- Sentezlenen maddelerin çözücülerini uzaklaştırmak için Heidolph marka evaporatör, Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adıyaman.

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin (CHMA) Sentezi

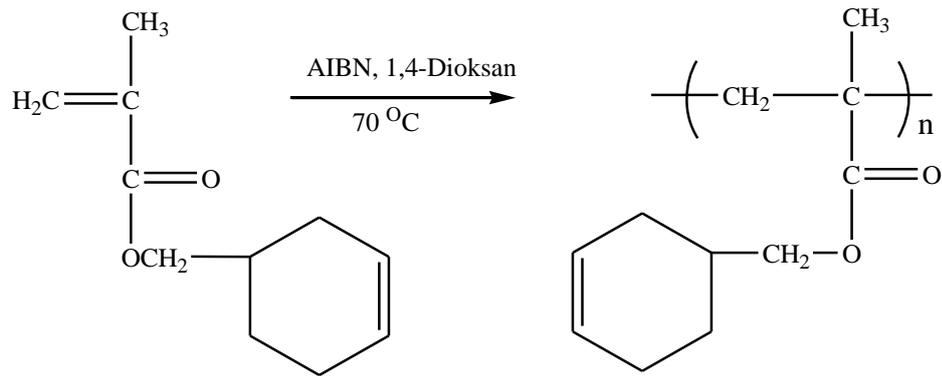
Üç boyunlu 250 mL' lik rodajlı bir reaksiyon balonuna 0,0428 mol (4,805 g) 3-sikloheksen-1-metanolun 20 mL tetrahidrofuran daki çözeltisiyle beraber 0,0470 mol (4,75 g) trietilaminin 30 mL tetrahidrofuran daki çözeltisi konularak reaksiyon karışımı 0-5 °C' ye gelinceye kadar soğutuldu. Reaksiyon balonunun diğer boyunlarına damlatma hunisi ve termometre yerleştirildi. Bu şartlar altında damlatma hunisine konan 4,92 g (0,0470 mol) metakriloilklorür'ün 30 mL THF'deki çözeltisi reaksiyon balonuna damla damla ilave edildi. Damlatma işlemi bittikten sonra polimerizasyon reaksiyonuna oda sıcaklığında bir gün daha devam edildi. Reaksiyonda oluşan trietilamin tuzu süzgeç kağıdına alındı ve çözücüsü evaporatörden uzaklaştırıldı. Sentezlenen sikloheksen-3-il metil metakrilat (CHMA) monomerinin verimi gravimetrik olarak % 50 olarak hesaplandı. CHMA monomerinin sentez şeması Şekil 3.1' de verildi.



Şekil 3.1 Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin sentezi

### 3.2.2. Poli (Sikloheksen-3-il metil metakrilat) Homopolimerinin Sentezi

Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin polimerleşme reaksiyonu serbest radikalik polimerizasyon yöntemine göre yapıldı. Bunun için bir polimerizasyon tüpüne 1 g sikloheksen-3-il metil metakrilat monomeri bırakıldı. Üzerine 0.01 g (monomer miktarının ağırlıkça %1'i) AIBN başlatıcısı ve 3 mL 1,4-dioksan çözücüsü ilave edildi. Polimer çözeltisi argon gazından geçirildi ve ağzı kapatıldı. Polimerleşme reaksiyonu 70 °C' ye ayarlı bir yağ banyosunda 24 saatte gerçekleştirildi. Polimerleşme reaksiyonu sonlandırıldıktan sonra viskoz olan polimer çözeltisine akışkanlık sağlamak amacıyla diklor metan çözücüsü eklendi. Polimeri çöktürmek için bu karışımın yaklaşık 10 katı kadar soğuk metil alkol çöktürücüsü bir behere konuldu ve manyetik karıştırıcı ile karıştırılmaya başlandıktan sonra polimer çözeltisi damla damla ilave edilerek çöktürüldü. Çöktürme işlemi bir kaç kez tekrarlandı. Sentezlenen polimer sabit tartıma gelinceye kadar önce açık havada, daha sonra vakumlu etüvde 40 °C' de kurutuldu. Homopolimerin FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR gibi spektroskopik yöntemlerle yapısal karakterizasyonu, TGA yöntemiyle ise termal karakterizasyonu yapıldı. Polimerlerin IR spektrumları ATR başlıkla katı olarak alındı. Reaksiyonun sentez şeması Şekil 3.2 de gösterildi.



Şekil 3.2 Sikloheksen-3-il metil metakrilat homopolimerinin sentezi

**3.2.3. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Sentezi**

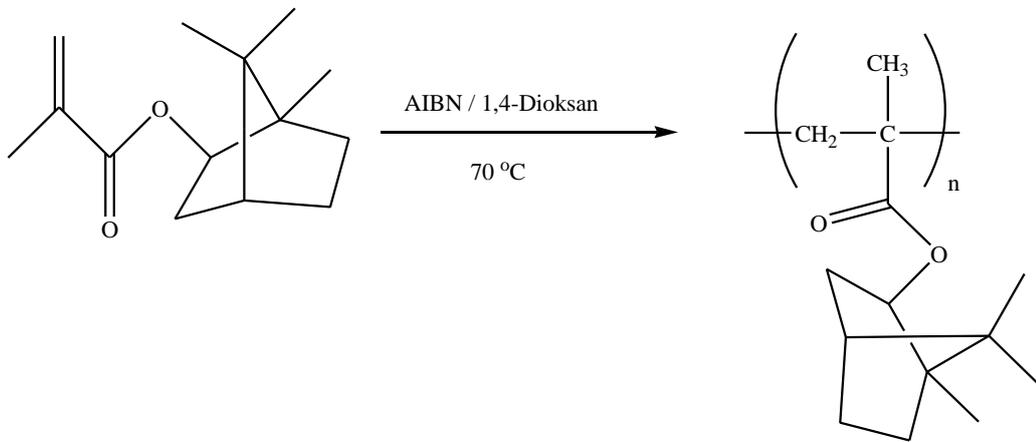
Poli (sikloheksen-3-il metil metakrilat)/çok duvarlı karbon nanotüp (poli(CHMA)/ÇDKNT) kompozitlerini sentezlemek için çözeltilerde harmanlama yöntemi kullanıldı. Bu yöntemde göre üç ayrı beher içerisine 0,4'er gram poli(CHMA) homopolimeri konularak 6 mL THF çözücüsü içerisinde tamamen çözülmesi sağlandı. Bu işlemle aynı zamanlı olarak, kullanılan polimer miktarına göre kütlece %1, %3 ve %5 oranlarında ÇDKNT tartılarak ayrı ayrı 25 mL' lik tek ağızlı balonların içerisine alındı ve üzerlerine 4'er mL THF çözücüsü eklendi. Daha sonra ultrasonik banyoda aralıklı olarak iki saat boyunca ÇDKNT' lerin dispers olmaları sağlandı. Hem poli(CHMA) için hem de ÇDKNT için gerekli işlemler bittikten sonra poli(CHMA) çözeltileri, ayrı balonlar içerisinde farklı yüzdelerde bulunan ÇDKNT çözeltileri içerisine akıtıldı. Polimer-ÇDKNT karışımlarının, önce ultrasonik banyoda onar dakika süreyle aralıklı olarak üç defa karıştırılması sağlandı. Daha sonra polimer-ÇDKNT kompozitleri bir gece boyunca oda sıcaklığında magnetik karıştırıcılar yardımıyla karıştırıldı. Bu işlemlerin bitmesi sonucunda herbir polimer ÇDKNT kompozitinin çözücüsü döner buharlaştırıcıda vakum altında uzaklaştırıldı. Elde edilen poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitleri önce açık havada, daha sonra vakumlu etüvde 40 °C'de kurutuldu.

**3.2.4. Poli(IBMA) Homopolimerinin ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Sentezi**

Ticari olarak satın alınan izobornil metakrilat (IBMA) monomeri önce içerisindeki hidrokinonu uzaklaştırmak amacıyla %5 lik NaOH çözeltisiyle yıkandı. Bu amaçla bir miktar IBMA monomeri bir ayırma hunisine alındı. Üzerine monomer miktarının üç katı kadar dietil eter çözücüsü ilave edildi. Daha sonra bu monomer çözeltisi %5 lik NaOH çözeltisi ile üç defa yıkandı. Bu işlemlerin ardından çözelti ortamı, nötralleşinceye kadar saf suyla yıkanarak ekstraksiyon işlemi tamamlandı. Ayırma hunisinden alınan monomer çözeltisi bir erlene yerleştirilerek üzerine magnezyum sülfat kurutucusu ilave edildi ve bir gece buzdolabında bekletildi.

Kurutucudan süzme yöntemiyle ayrılan monomer çözeltisi bir balona alındı ve düşük sıcaklıklarda evaporatörde vakum altında çözücüsü buharlaştırıldı. Böylece hidrokinonundan uzaklaşmış monomerimiz elde edilmiş oldu. Bu monomerden bir gram alınarak bir polimerizasyon tüpüne yerleştirildi. Üzerine 3 mL dioksan çözücüsü ve monomer miktarının %1 kadar olan 0,01 g AIBN başlatıcı ilave edildi. Ortamdan oksijeni uzaklaştırmak amacıyla yaklaşık 15 dk süreyle polimerizasyon tüpü argon gazından geçirildi ve ağzı kağıtılarak 70 °C'ye ayarlanmış yağ banyosu içerisine yerleştirildi. Polimerleşme işlemi 15 saat devam etti. Reaksiyonun sonlandırılmasıyla birlikte yoğun olan polimer çözeltisi diklor metanla seyreltik hale getirildi ve polimer çözeltisinin 10 katı kadar soğuk metil alkolde damla damla çöktürüldü. Polimeri safsızlıklardan arındırmak için çözüp çöktürme işlemi üç defa tekrarlandı. Polimer sabit tartıma gelinceye kadar önce açık havada, daha sonra vakumlu etüvde 40 °C'de kurutuldu. Poli(IBMA) homopolimeri sadece FT-IR tekniğiyle spektroskopik olarak karakterize edildi. IR spektrumları ATR başlıkla katı olarak alındı. Reaksiyonun sentez şeması Şekil 3.3' de gösterildi.

Sentezlenen poli(IBMA) homopolimerinin ÇDKNT ile kütlece %1, %3 ve %5 oranlarında üç farklı bileşimde kompozitleri hazırlandı. poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerini hazırlamak için poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerini hazırlamada kullanılan yöntemin aynısı uygulandı. Elde edilen üç farklı orandaki poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin elektriksel özellikleri incelendi.



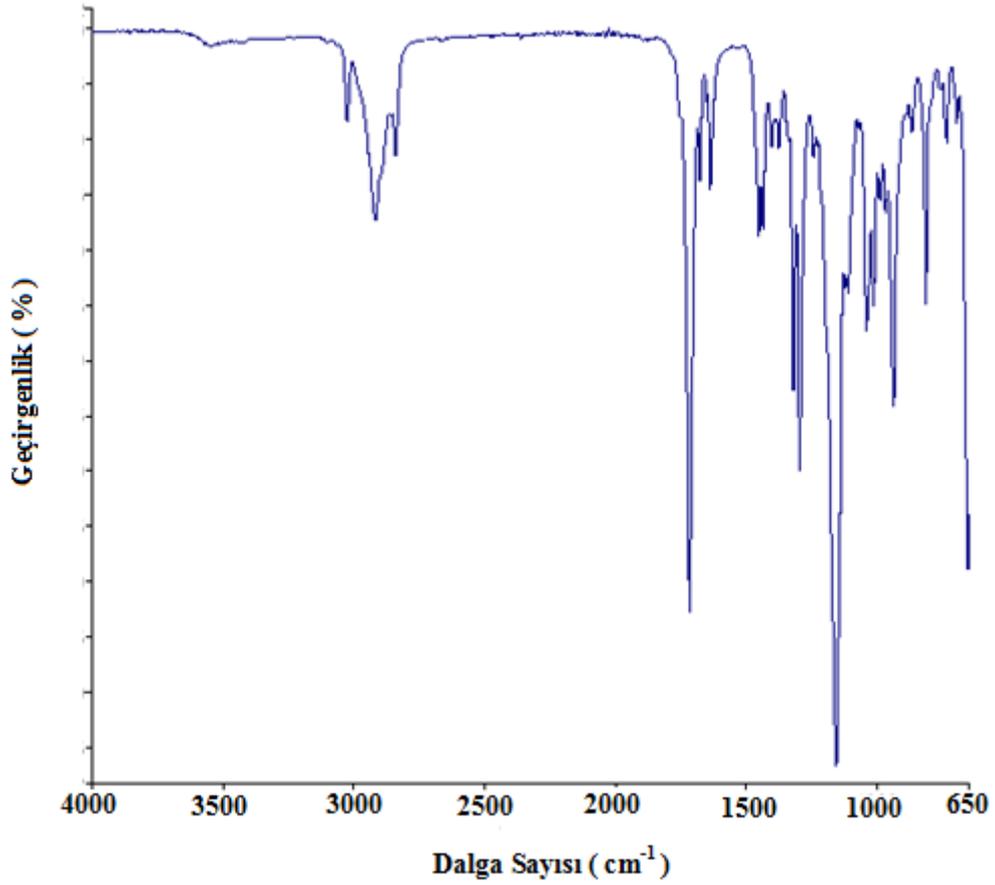
Şekil 3.3 İzobornil metakrilat homopolimerin sentezi

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

## 4.1. Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin (CHMA) Karakterizasyonu

Sentezlenen CHMA monomerinin FT-IR spektrumu Şekil 4.1' de verilmiştir. IR spektrumu ATR başlıkla sıvı olarak alınmıştır.

Şekil 4.1' de ki FT-IR spekturumu incelendiğinde  $3024\text{ cm}^{-1}$  de görülen pik sikloheksen halkasında ki C=C-H gerilme titreşimine,  $2915\text{-}2840\text{ cm}^{-1}$  arasında ki pikler alifatik C-H gerilme titreşimlerine,  $1716\text{ cm}^{-1}$  de ki pik yapıda ester grubuna ait karbonil gerilme titreşimine,  $1637\text{ cm}^{-1}$  de ki pik ise vinilik  $\text{CH}_2=\text{CH-}$  gerilme titreşimine ait monomerin oluşumunu karakterize eden piklerdir.



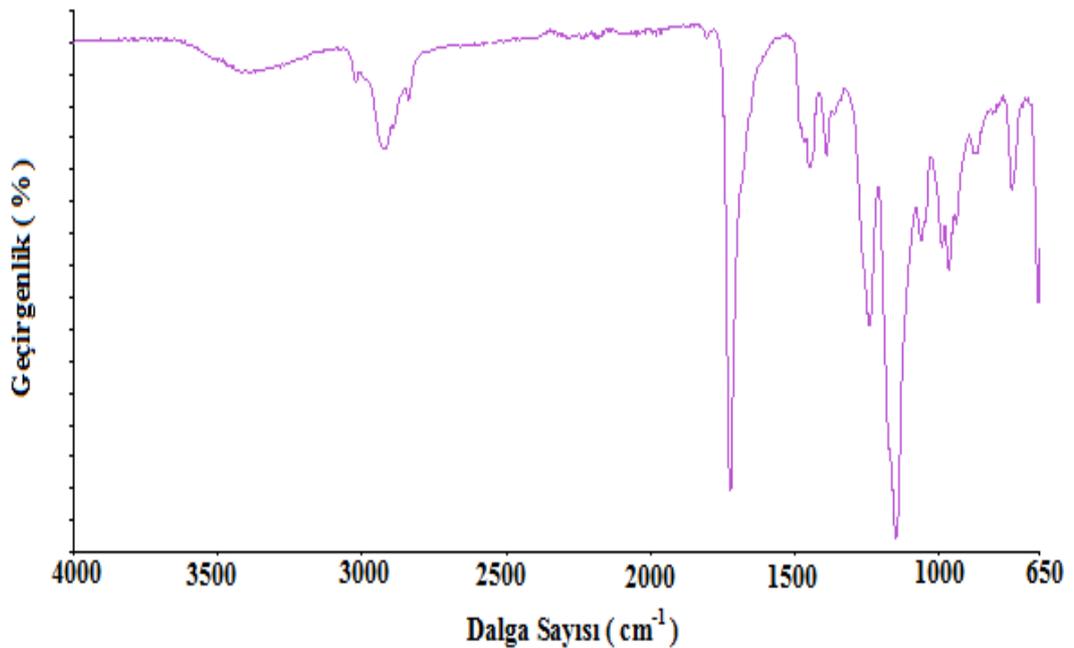
Şekil 4.1 CHMA monomerinin FT-IR spektrumu

#### 4.2. Poli (Sikloheksen-3-il metil metakrilat) Homopolimerinin Karakterizasyonu

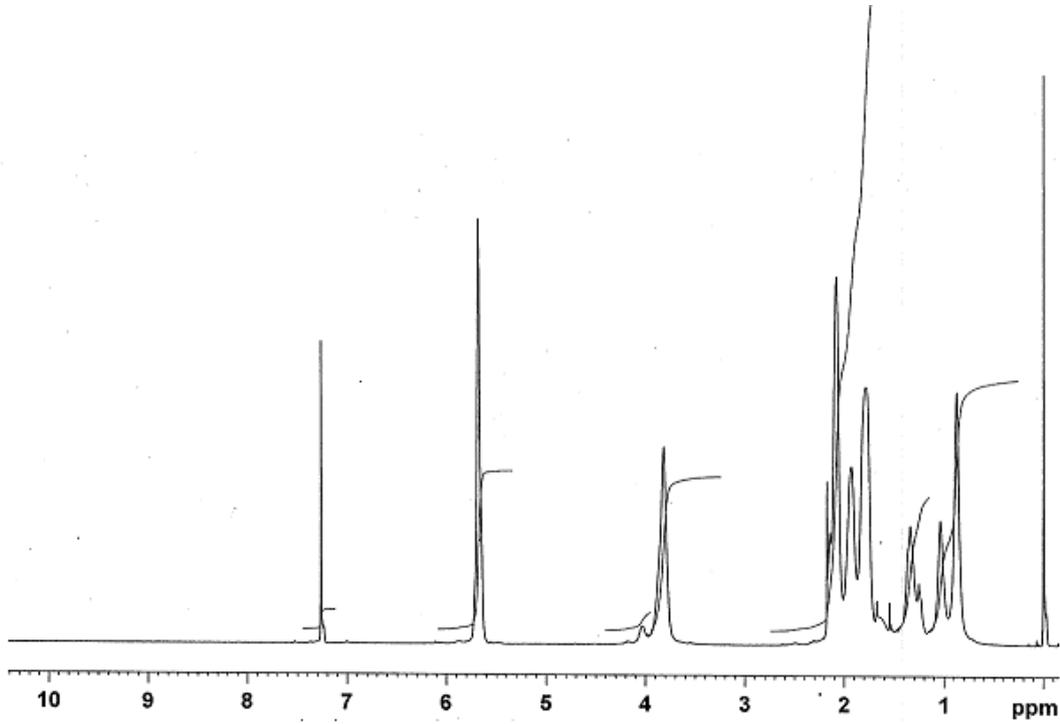
Sentezlenen poli(CHMA) homopolimerinin FT-IR spektrumu Şekil 4.2' de, <sup>1</sup>H-NMR spektrumu ise Şekil 4.3' de verilmiştir. FT-IR spektrumu ATR başlıkla sıvı olarak alınmıştır.

Şekil 4.2 incelendiğinde, 3025 cm<sup>-1</sup> de ki pik sikloheksen halkasında ki C=C-H gerilme titreşimine, 1722 cm<sup>-1</sup> de ki pik ester grubuna ait karbonil gerilme titreşimine, 1651 cm<sup>-1</sup> de ki pik sikloheksen halkasındaki CH=CH gerilme titreşimine ait homopolimeri karakterize eden piklerdir.

Şekil 4.3' de ki homopolimerin <sup>1</sup>H-NMR spektrumu incelendiğinde (ppm, CDCl<sub>3</sub>): 7, 3 ppm de CDCl<sub>3</sub> çözücü piki, 5,67 ppm' de sikloheksen halkasına ait CH=CH protonları, 3,82 ppm' de OCH<sub>2</sub> protonları, 1,57-2.17 ppm aralığında ise polimer ana zincirindeki CH<sub>2</sub> protonları ve 0,89-1,57 ppm de ise CHMA birimlerinden kaynaklanan alfa metil protonları görülmektedir.



Şekil 4.2 Poli (CHMA)'nın FT-IR spektrumu



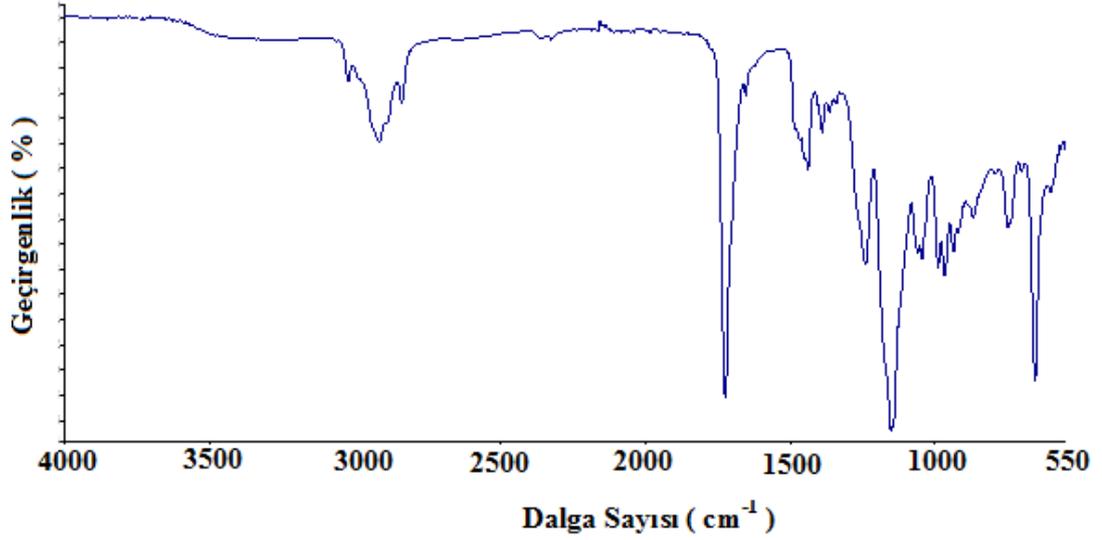
Şekil 4.3 Poli (CHMA)'nın <sup>1</sup>H-NMR spektrumu

#### 4.3. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin FT-IR Karakterizasyonu

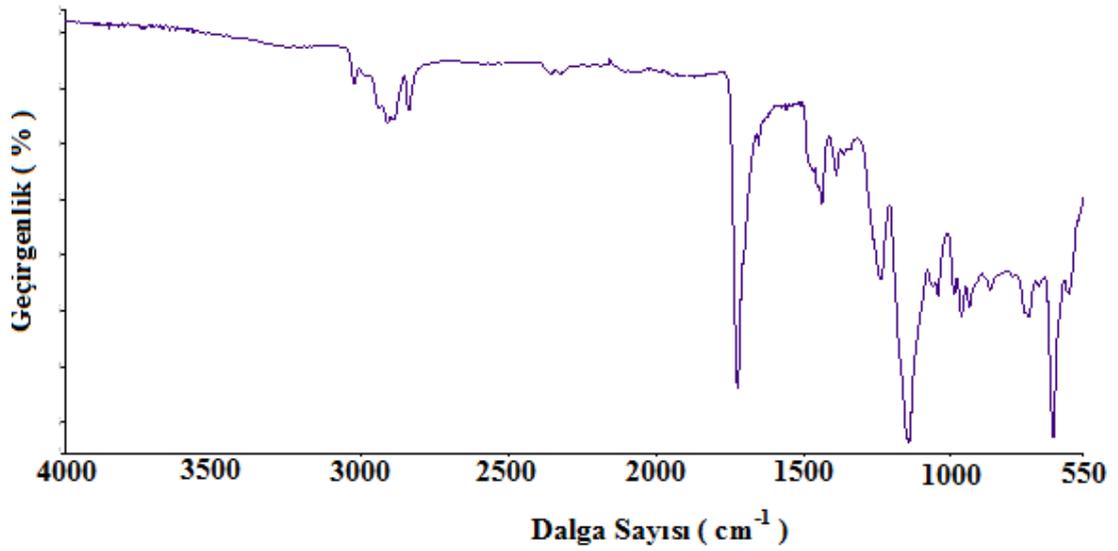
Çözeltide harmanlama tekniği ile poli(CHMA) homopolimeri içerisine ÇDKNT'in farklı yüzdelerde dispers edilmesiyle hazırlanan Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumları sırasıyla Şekil 4.4 - 4.6 arasında verilmiştir.

Poli(CHMA)/ÇDKNT:%1 kompozitinin FT-IR spektrumları incelendiğinde 3021 cm<sup>-1</sup> de ki pik siklohekzen halkasında ki C=C-H gerilme titreşimine, 1721 cm<sup>-1</sup> de ki pik ester grubuna ait karbonil gerilme titreşimine, 1648 cm<sup>-1</sup> de ki pik sikloheksen halkasındaki CH=CH gerilme titreşimine ait homopolimeri karakterize eden piklerdir.

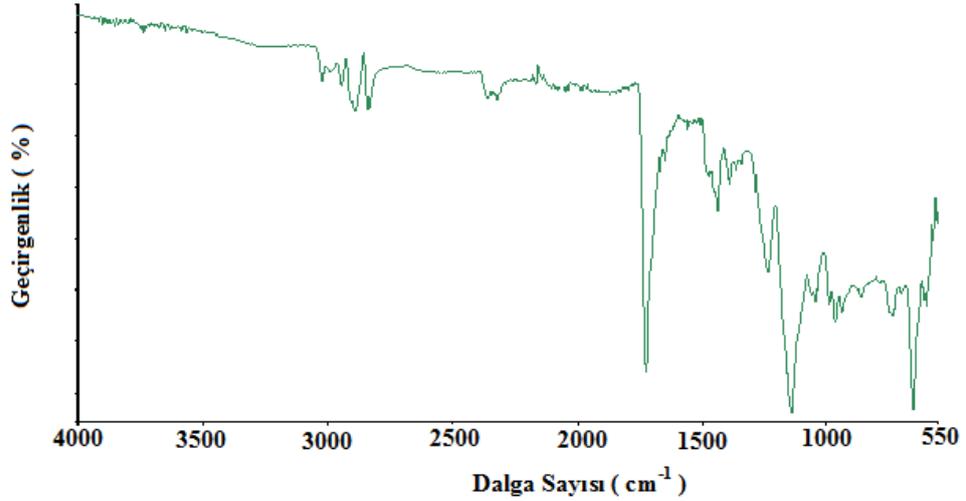
Kütlece farklı yüzdelerde oluşturulan Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumlarında da bu piklerin hepsi gözlemlenmiştir ancak her bir kompozit numunesi için gözlemlenen piklerin şiddetlerinde kaymalar meydana gelmiştir. Bu kaymalara çok duvarlı karbon natüplerin farklı oranlarda eklenmesi sebep olmuştur.



Şekil 4.4 Poli(CHMA)/ÇDKNT %1 kompozitinin FT-IR spektrumu



Şekil 4.5 Poli(CHMA)/ÇDKNT %3 kompozitinin FT-IR spektrumu



Şekil 4.6 Poli(CHMA)/ÇDKNT %5 kompozitinin FT-IR spektrumu

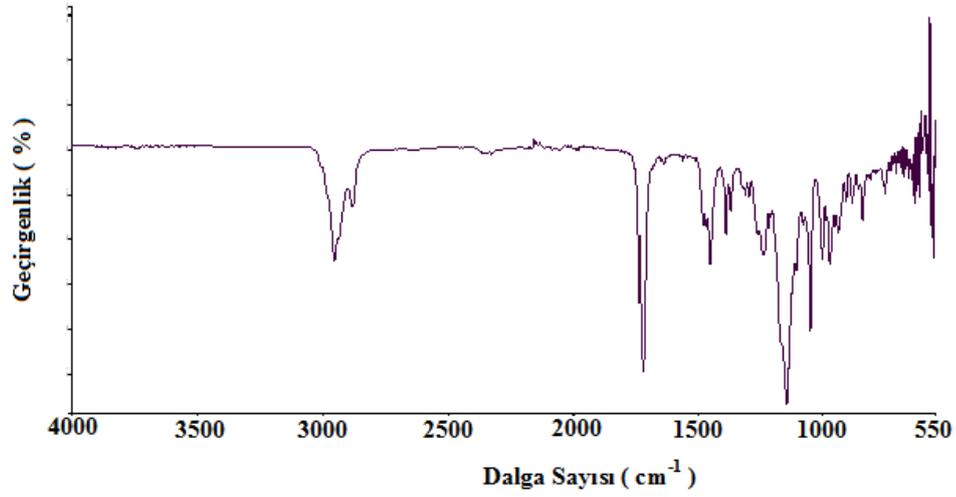
#### 4.4. Poli(IBMA) ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin FT-IR Karakterizasyonu

Sentezlenen poli(IBMA) homopolimerinin FT-IR spektrumu Şekil 4.7’ de, verilmiştir. FT-IR spektrumu ATR başlıkla katı olarak alınmıştır.

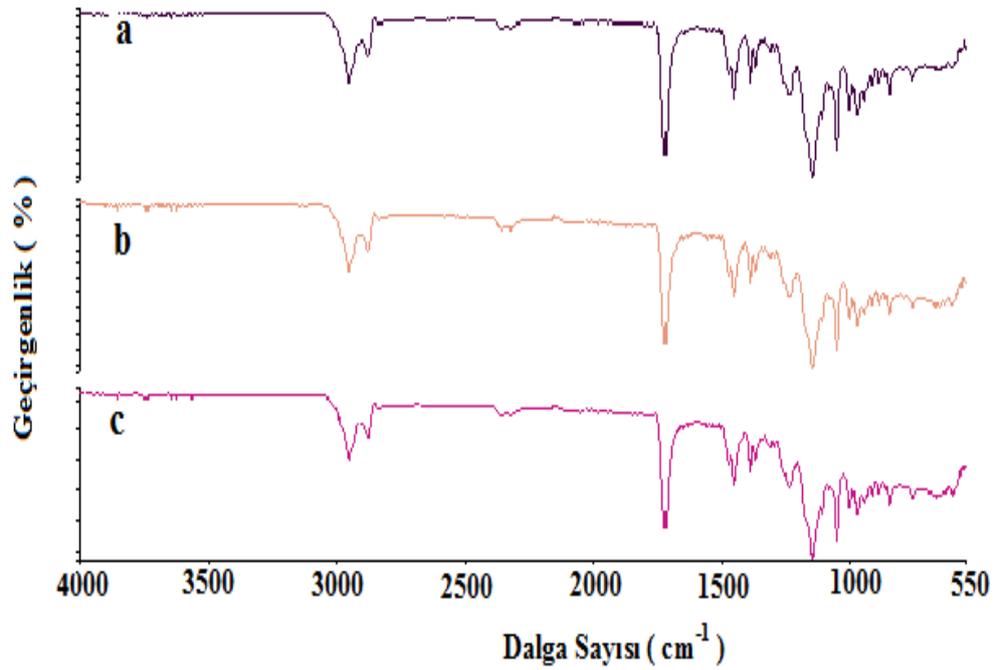
Şekil 4.7 incelendiğinde, 2950 ile 2880  $\text{cm}^{-1}$  de ki pikler alifatik C-H gerilme titreşimine, 1720  $\text{cm}^{-1}$  de ki pik ester grubuna ait karbonil gerilme titreşimine, 1150  $\text{cm}^{-1}$  de ki pik ester grubunda ki C-O gerilme titreşimine ait olan ve homopolimeri karakterize eden piklerdir.

Çözeltide harmanlama tekniğiyle farklı yüzdelerde ÇDKNT ile hazırlanan Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumları ise Şekil 4.8’ de verilmiştir.

Kütlece farklı yüzdelerle oluşturulan poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumunda poli(IBMA) homopolimerinde gözlemlenen piklerin hepsi gözlemlenmiştir ancak her bir kompozit numunesi için gözlemlenen piklerin şiddetlerinde kaymalar meydana gelmiştir. Bu kaymalara çok duvarlı karbon nanotüplerin farklı oranlarda eklenmesi sebep olmuştur



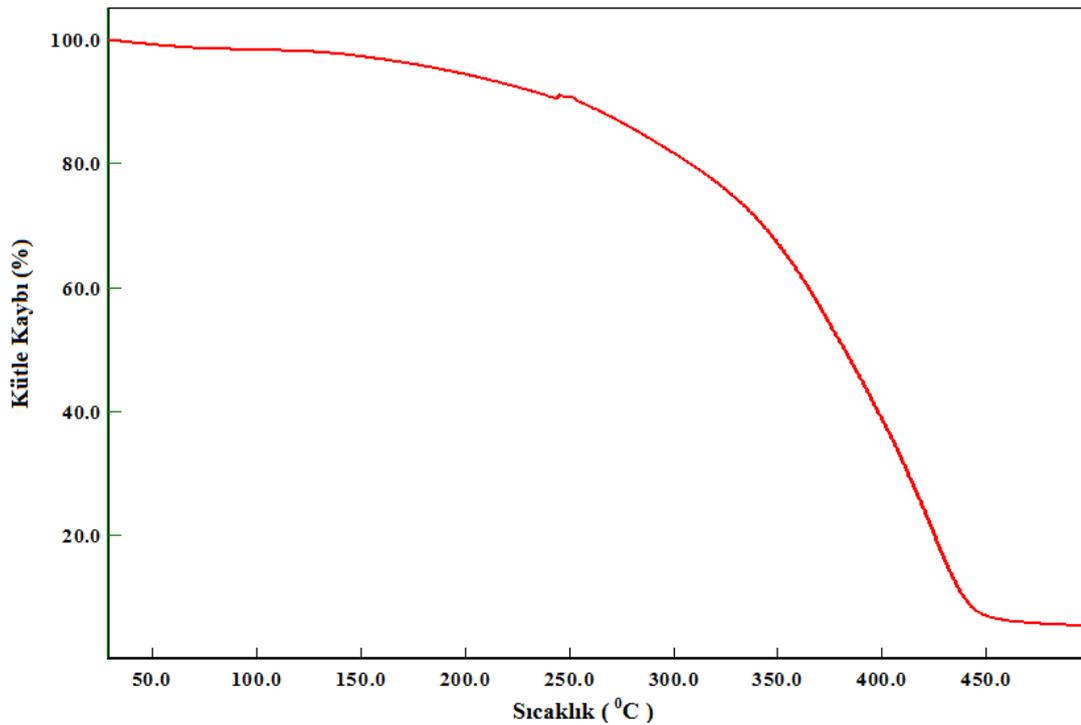
Şekil 4.7 Poli(IBMA)'ın FT-IR spektrumu



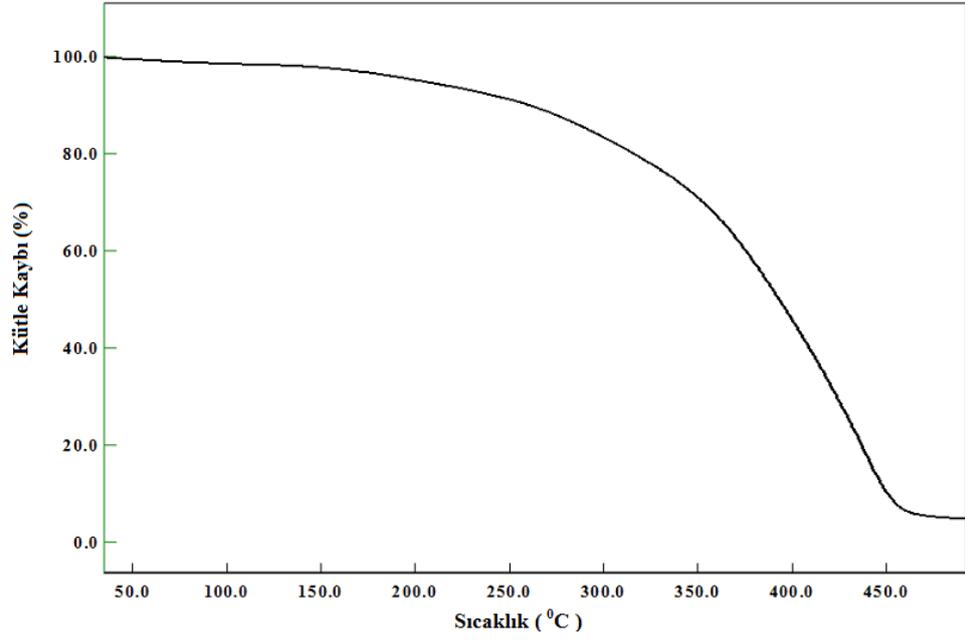
Şekil 4.8 Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumu a) Poli(IBMA)/ÇDKNT:%1 b) Poli(IBMA)/ÇDKNT:%3 c-) Poli(IBMA)/ÇDKNT:%5

#### 4.5. Poli(CHMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin TGA Ölçümleri

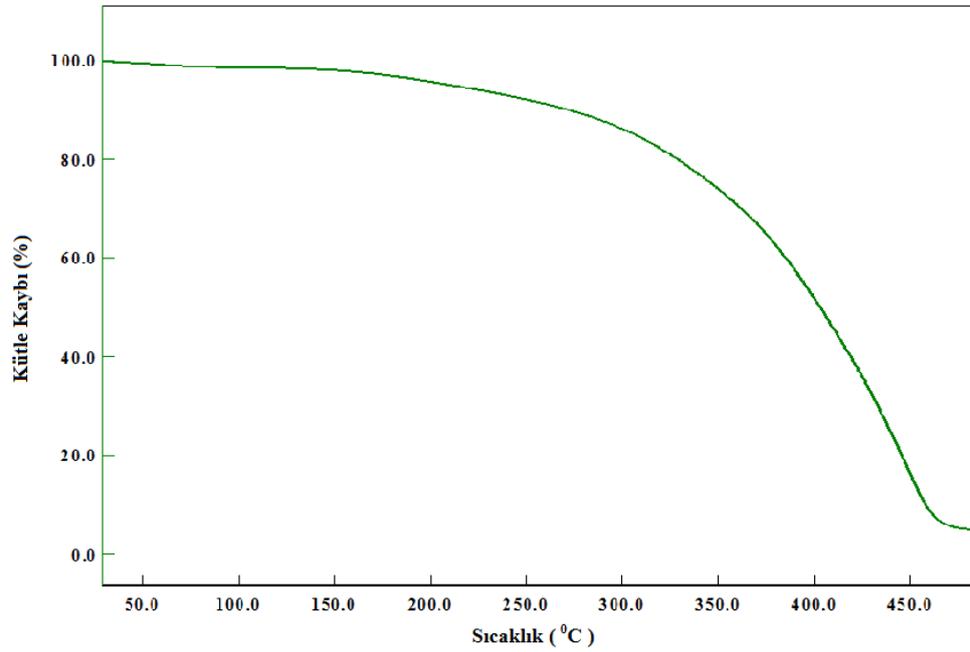
Çözeltide harmanlama yöntemiyle sentezlenen Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin termal özellikleri termogravimetrik analiz (TGA) yöntemiyle belirlendi. Bu amaçla kütlece farklı yüzdelerde hazırlanan Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitleri azot atmosferi altında 20 °C/dakika ısıtma hızıyla oda sıcaklığından 500 °C'ye kadar ısıtıldı. Kompozitlerle karşılaştırmak amacıyla poli(CHMA) homopolimerinin de aynı şartlar altında termal analizi yapıldı. Elde edilen TGA eğrileri homopolimer ve kompozitler için sırasıyla Şekil 4.9' da ve Şekil 4.(10-12)' de verildi. Bu termogramlara ait veriler ise Çizelge 4.1' de gösterildi.



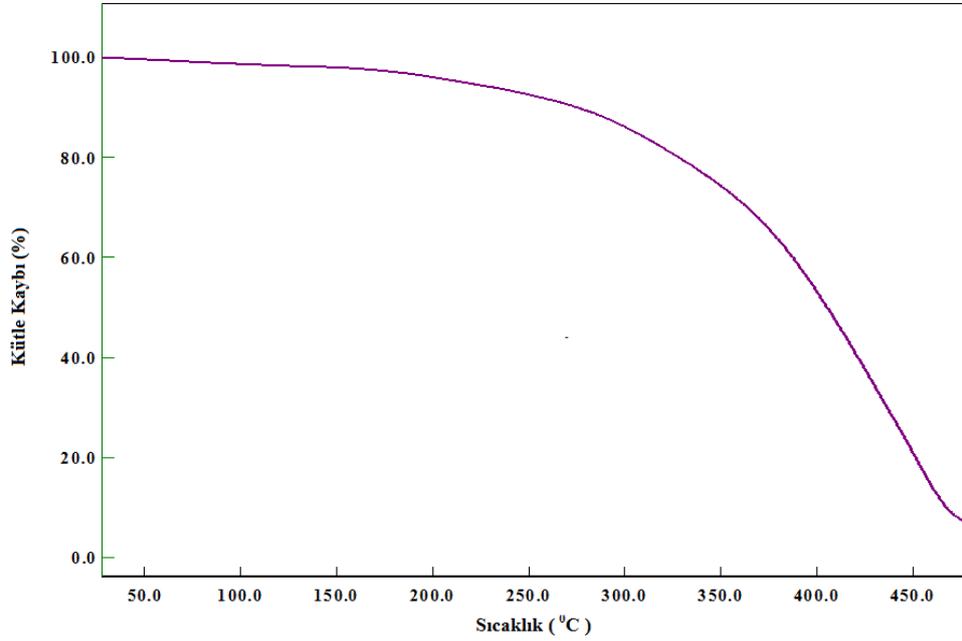
Şekil 4.9 Poli(CHMA) homopolimerinin TGA eğrisi



Şekil 4.10 Poli(CHMA)/ÇDKNT:%1 kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.11 Poli(CHMA)/ÇDKNT: %3 kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.12 Poli(CHMA)/ÇDKNT:%5 kompozitinin TGA eğrisi

Çizelge 4.1 Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin TGA verileri

Polimer ve Kompozitler	Farklı Kütle Kayıplarındaki Sıcaklıklar (°C)			
	T <sub>max</sub>	%10	%50	%90
Poli(CHMA)	448	255	382	440
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%1	412	259	390	450
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%3	416	270	401	455
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%5	422	272	403	458

T<sub>max</sub>: Maksimum bozunmanın olduğu sıcaklık

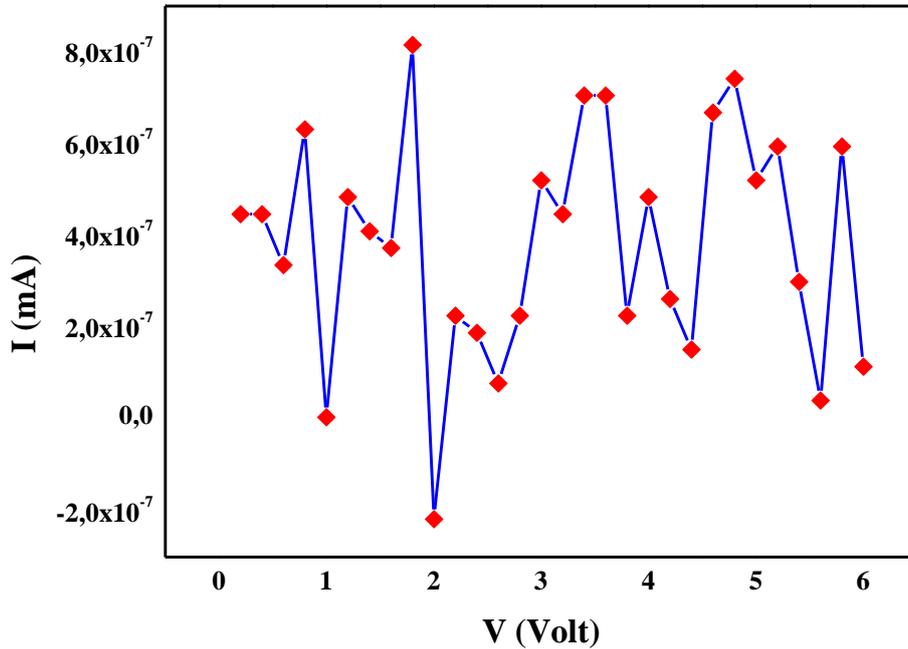
#### 4.6. Polimerler Kompozitlerinin Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerini belirlemek için akım-gerilim (I-V) ölçümleri Fytronix FY 7000 Solar Simulator kullanılarak iki probe yöntemiyle 0-6 Volt gerilim arasında 0.2 Voltluk

adımlarla karanlık ve oda sıcaklığı şartları altında ölçülmüştür. Numune kalınlıkları dijital mikrometre ile ölçülmüştür.

#### 4.7. Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT Kompozitlerinin Elektriksel İletkenlik Karakterizasyonu

Sentezlenen Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin elektriksel iletkenlik değerlerini belirlemek amacıyla her bir numune için ayrı ayrı beş ölçüm değeri alınarak ortalama direnç değeri ve standart sapmalar hesaplanmıştır. Şekil 4.(13-15) arasında Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin I-V grafikleri ve Şekil 4.(16-18) arasında ise Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin I-V grafikleri verilmiştir. Elde edilen grafiklerden her bir kompozit için iletkenlik ve direnç değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 Poli(CHMA)/ÇDKNT:%1 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

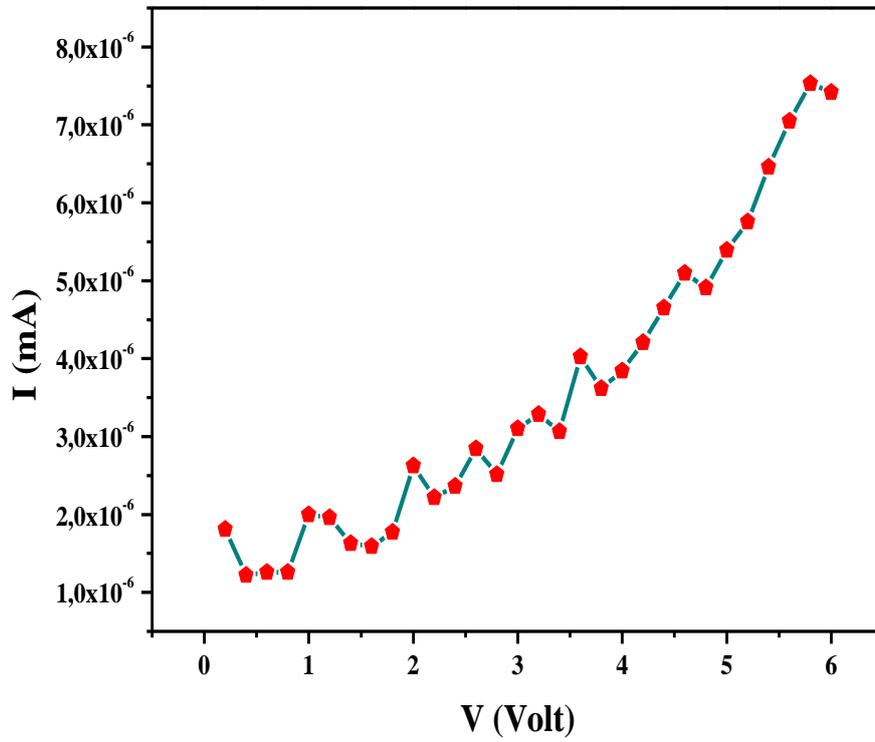
**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**dI/dV=**  $6.934 \times 10^{-12}$  Amper/Volt

**Direnç :**  $R=1.442 \times 10^{11}$  Ohm ( $\pm\%3.85$  standart hata ; tolerans)

**Öz direnç:**  $\rho=7.2 \times 10^7$   $\Omega.m$

**Öz iletkenlik:**  $\sigma=1.387 \times 10^{-8}$  S/m



Şekil 4.14 Poli(CHMA)/ÇDKNT:%3 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

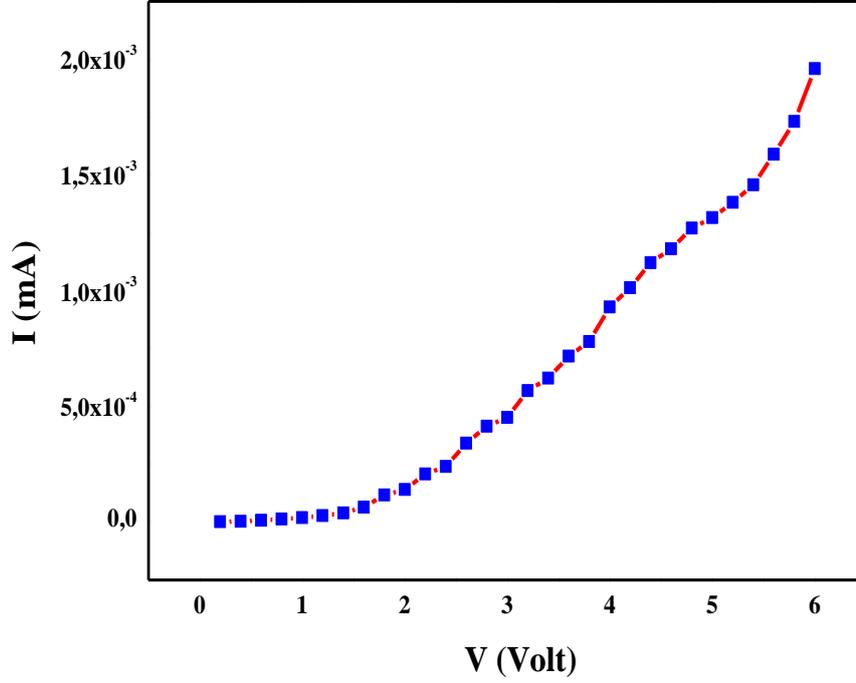
**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**dI/dV=**  $1.041 \times 10^{-9}$  Amper/Volt

**Direnç :**  $R=9.606 \times 10^8$  Ohm ( $\pm\%5.82$  standart hata)

**Öz direnç:**  $\rho=4.803 \times 10^5$   $\Omega.m$

**Öz iletkenlik:**  $\sigma=2.082 \times 10^{-6}$  S/m



Şekil 4.15 Poli(CHMA)/ÇDKNT:%5 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

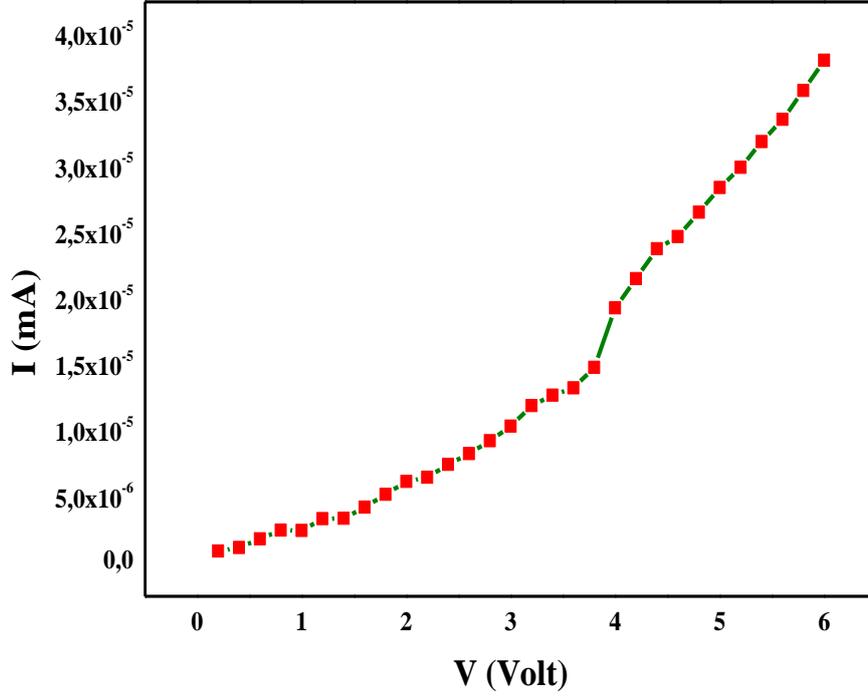
**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**$dI/dV=$**   $3.364 \times 10^{-7}$  Amper/Volt

**Direnç :  $R=$**   $2.972 \times 10^6$  Ohm ( $\pm\%4.58$  standart hata)

**Öz direnç:  $\rho=$**   $1.486 \times 10^3$   $\Omega.m$

**Öz iletkenlik:  $\sigma=$**   $6.727 \times 10^{-4}$  S/m



Şekil 4.16 Poli(IBMA)/ÇDKNT:%1 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

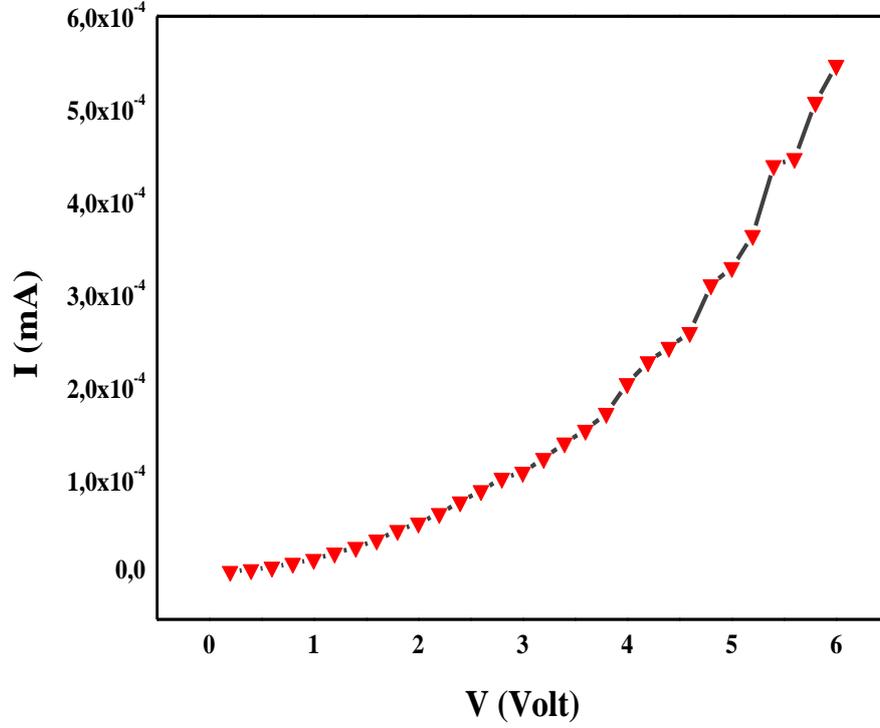
**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**dI/dV=**  $6.50714 \times 10^{-9}$  Amper/Volt

**Direnç:**  $R=1.537 \times 10^8$  Ohm ( $\pm\%4.71$  standart hata)

**Öz direnç:**  $\rho=9.852 \times 10^5$   $\Omega \cdot m$

**Öz iletkenlik:**  $\sigma=1.015 \times 10^{-6}$  S/m



Şekil 4.17 Poli(IBMA)/ÇDKNT:%3 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

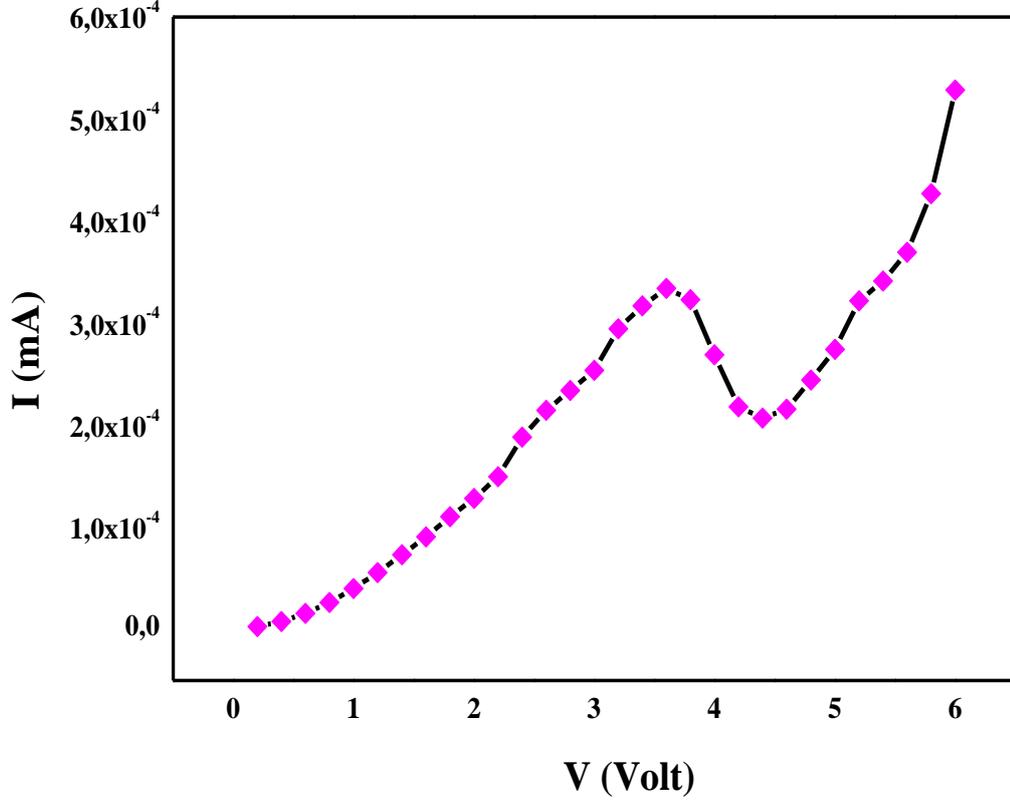
**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**dI/dV=**  $1.041 \times 10^{-9}$  Amper/Volt

**Direnç : R=**  $1.145 \times 10^7$  Ohm ( $\pm\%6.46$  standart hata)

**Öz direnç:  $\rho=$**   $5.727 \times 10^3$   $\Omega.m$

**Öz iletkenlik:  $\sigma=$**   $1.746 \times 10^{-4}$  S/m



Şekil 4.18 Poli(IBMA)/ÇDKNT:%5 kompozitinin I-V grafiği

**Pelet kalınlığı:**  $t=1$  mm

**Probe kontak alanı:**  $0.5$  mm<sup>2</sup>

**dI/dV=**  $6.968 \times 10^{-8}$  Amper/Volt

**Direnç : R=**  $1.435 \times 10^7$  Ohm ( $\pm 8.426$  standart hata)

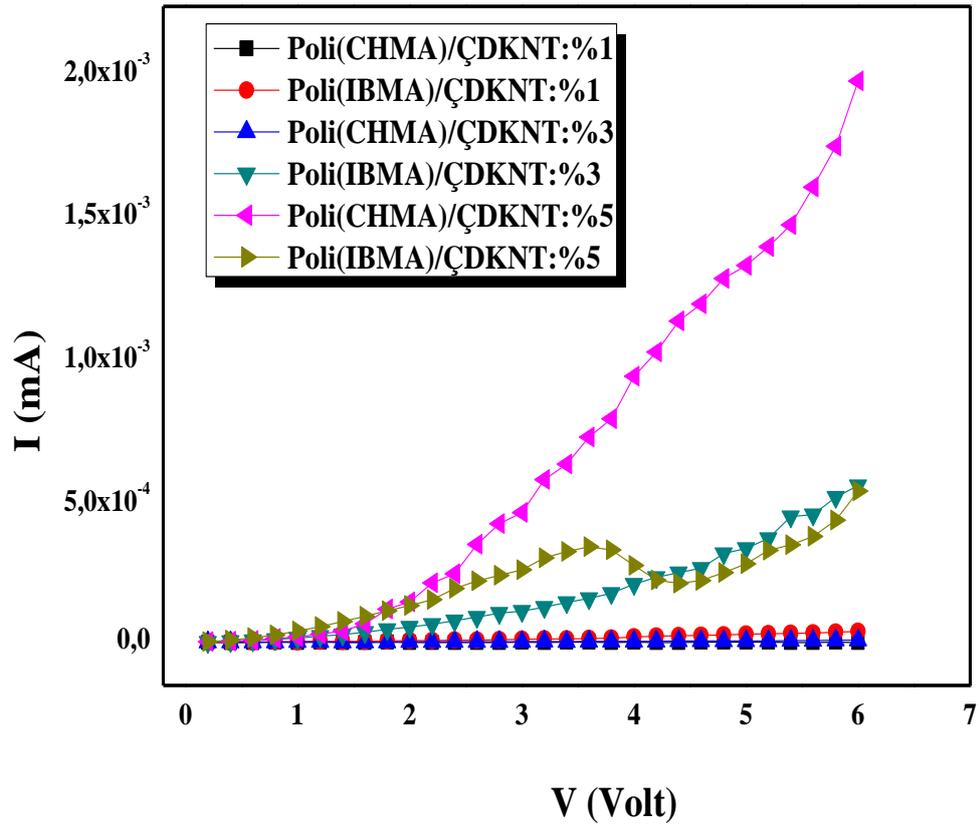
**Öz direnç:**  $\rho=7.176 \times 10^3$   $\Omega \cdot m$

**Öz iletkenlik:**  $\sigma=1.393 \times 10^{-4}$  S/m

Sentezlenen Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerine ait elektriksel iletkenlik verileri Çizelge 4.2' de, çoklu I-V grafikleri ise Şekil 4.19' da verilmiştir.

Çizelge 4.2 Polimer kompozitlerinin elektriksel iletkenlik verileri

	$R (\Omega)$	$\rho (\Omega.m)$	$\sigma (S/m)$
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%1	$1.442.10^{11}$	$7.200.10^7$	$1.387.10^{-8}$
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%3	$9.606.10^8$	$4.803.10^5$	$2.082.10^{-6}$
Poli(CHMA)/ÇDKNT:%5	$2.972.10^6$	$1.486.10^3$	$6.727.10^{-4}$
Poli(IBMA)/ÇDKNT:%5	$1.537.10^8$	$9.852.10^5$	$1.015.10^{-6}$
Poli(IBMA)/ÇDKNT:%5	$1.145.10^7$	$5.727.10^3$	$1.746.10^{-4}$
Poli(IBMA)/ÇDKNT:%5	$1.435.10^7$	$7.176.10^3$	$1.393.10^{-4}$



Şekil 4.19 Poli(CHMA)/ÇDKNT ve Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin I-V grafiği

Şekil 4.19' da hem Poli(CHMA)/ÇDKNT hem de Poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerine ait çoklu I-V grafiklerden de görüleceği üzere ÇDKNT oranı arttıkça kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri artmış ve öz dirençleri azalmıştır. Yani katkılamaların oranları arttıkça yalıtkandan yarıiletken özelliklere yaklaşma söz konusu olmuştur.

**5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Günümüzde polimerler çok yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Onun için ticari olarak var olan monomerler yanında, fonksiyonel özelliklere sahip yeni monomerler sentezlemek, onların polimerlerini elde etmek ve çeşitli durumlar için özelliklerini belirlemek, polimerlerin kullanım alanlarını genişletmek açısından önemlidir. Özellikle son yarım yüzyılda gerek ticari polimerlerin gerekse yeni sentezlenen polimerlerin içerisine farklı türdeki katkı malzemelerinin katılması sonucu oluşan kompozit malzemelerin özelliklerinde değişimler gözlemlenmiştir. Özellikle polimer matrisine katılacak nano boyuttaki katkı maddeleriyle hazırlanan polimer nanokompozitlerinin birçok özelliklerinde önemli oranlarda iyileşmeler bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında metakrilat esaslı polimerler kullanılarak ÇDKNT ile farklı oranlarda kompozitleri sentezlenmiştir. Bu amaçla ilk olarak sikloheksen-3-il metil metakrilat monomeri 0-5 °C’ de tetrahidrofuran çözücüsü içerisinde trietilamin varlığında 3-siklohekzen-1-metanolun, metakriloil klorür ile tepkimesinden elde edildi. Elde edilen monomerin yapısal analizi FT-IR ile karakterize edildi. Şekil 4.1’ de monomere ait FT-IR spektrumu incelendiğinde sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin sentezlendiğine dair en temel kanıtlardan biri 3-siklohekzen-1-metanolun yapısında bulunan ve  $3150\text{ cm}^{-1}$ ’de yayvan olarak gözlemlenen OH gerilme titreşiminin monomerin FT-IR spektrumunda gözlenmemesidir. Monomerin sentezlendiğine dair diğer kanıt ise  $1716\text{ cm}^{-1}$ ’de ester grubuna ait keskin bir C=O gerilme titreşiminin oluşmasıdır. Ayrıca  $1637\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlemlenen ve monomerdeki vinilik yapıdan kaynaklanan  $\text{CH}_2=\text{CH}$ ’ in gerilme titreşimine ait pik de monomerin oluşumunu karakterize eden en önemli piktir.

Sikloheksen-3-il metil metakrilat monomerinin serbest radikalik yolla polimerizasyonu sonucu elde edilen homopolimerinin Şekil 4.2’ deki FT-IR spektrumu incelendiğinde  $1637\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlemlenen ve monomerdeki vinilik yapıdan kaynaklanan  $\text{CH}_2=\text{CH}$ ’ in gerilme titreşimine ait pikin kaybolması homopolimerizasyonun gerçekleştiğine dair en önemli bulgudur. Ayrıca monomer ve homopolimerin FT-IR spektrumları beraber incelendiğinde monomer oluşumuna

işaret eden piklerin kimyasal kayma değerlerinin, homopolimerin FT-IR spektrumunda değişime uğradığı görülür. Öyleki; polimerizasyon sonucu konjuge yapının ortadan kalkması sebebiyle monomerin FT-IR spektrumunda  $1716\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen ester C=O ait gerilme titreşimi, homopolimerin FT-IR spektrumunda  $1725\text{ cm}^{-1}$ 'e kaymıştır. Polimerizasyonun gerçekleştiğini gösteren en önemli göstergelerden biri de homopolimerin  $^1\text{H-NMR}$  spektrumunda vinilik yapıya ait  $\text{CH}_2=\text{CH}$  protonlarının  $6.4$  ve  $5.8$  ppm'de gözlenmemesidir [45].

Ayrıca yine tez çalışmasında kullanılan ve ticari olarak satın alınan izobornil metakrilat monomeri de serbest radikalik polimerizasyon tekniğiyle polimerleştirilmiştir. Sentezlenen poli(IBMA) homopolimerinin FT-IR spektrumu incelendiğinde  $1635\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen ve monomerdeki vinilik yapıdan kaynaklanan  $\text{CH}_2=\text{CH}$ ' in gerilme titreşimine ait olan pikin kaybolması homopolimerizasyonun gerçekleştiğine dair en önemli bulgudur. Ayrıca  $1720\text{ cm}^{-1}$  de ester grubuna ait karbonil gerilme titreşim piki ve  $1150\text{ cm}^{-1}$  de yine ester grubunda ki C-O gerilme titreşimine ait olan pik homopolimeri karakterize eden piklerdir.

Çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp ticari olarak satın alınmış olup sentezlediğimiz polimerlerin kompozitlerinin üretilmesinde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Bu amaçla poli(CHMA) homopolimerinin belirlenen miktarlarına göre kütlece (%1, %3 ve %5) oranlarında ÇDKNT alınarak poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitleri elde edilmiştir. Kompozitlerin oluşumu sırasında ÇDKNT çözünmediğinden dolayı önce polimerin miktarına göre kütlece %1, %3 ve %5 oranlarında alınan ÇDKNT'lerin THF çözücüsü içerisinde ultrasonik banyoda iyice dispers olmaları sağlanmıştır. Dispers olan ÇDKNT'ler ayrı beherlerde ama aynı çözücüde çözünen poli(CHMA)'nın içerisine ilave edilmiş ve yarım saat süreyle ultrasonik banyoda her ikisinin birlikte dispersiyonu sağlanmıştır. Daha sonra polimer-ÇDKNT kompozitlerinin bir gece boyunca manyetik karıştırıcıda karışmaları gerçekleştirilmiştir. Aynı işlemler poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitleri için de yapılmıştır. Kütlece farklı yüzdelerle oluşturulan poli(CHMA)/ÇDKNT ve poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin FT-IR spektrumları incelendiğinde; matris elemanı olan homopolimerlere ait gözlemlenen piklerin hepsi kompozitlerde de

gözlemlenmiştir ancak her bir kompozit numunesi için gözlemlenen piklerin şiddetlerinde kaymalar meydana gelmiştir. Bu kaymalara çok duvarlı karbon nanotüplerin farklı oranlarda eklenmesi sebep olmuştur [23].

Sentezlenen poli(CHMA) homopolimerinin ve poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitlerinin termal bozunma sıcaklıkları TGA eğrisiyle belirlenmiştir. Poli(CHMA) homopolimeri ve kütlece üç farklı bileşimdeki Poli(CHMA)/ÇDKNT kompozitleri için kaydedilen TGA termogramları sırasıyla Şekil 4.(9-12)'de verilmiş ve termal analiz karakteristikleri de Çizelge 4.1' de listelenmiştir. Şekil 4.9'da poli(CHMA) homopolimerlerin TGA eğrisi incelendiğinde poli(CHMA)'nın başlangıç bozunma sıcaklığı 252 °C iken polimere ÇDKNT katkılanmasıyla birlikte katkılanma oranına paralel olarak polimer kompozitinin başlangıç bozunma sıcaklığının arttığı görülmüştür. Genel olarak polimerlerin termal kararlılığı hakkında bilgi veren ve %50 kütle kaybına karşılık gelen sıcaklık değerleri baz alınarak değerlendirme yapılmıştır. Buna göre poli(CHMA) homopolimeri için %50 kütle kaybına tekabül eden sıcaklık 382 °C iken %1, %3 ve %5 ÇDKNT içeren kompozitlerde bu değerler sırasıyla 390 °C, 401 °C ve 403 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde; matris fazımız olan polimer içerisine ÇDKNT takviyesinin, katkılanma oranına bağlı olarak polimer kompozitlerinin termal kararlılıklarını arttırdığı tespit edilmiş [23] ve homopolimere göre nanokompozitlerin sıcaklık artışının 8-21 °C arasında olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen poli(CHMA)/ÇDKNT ve poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Çizelge 4.2' de polimer kompozitlerinin elektriksel iletkenlik verileri ve Şekil 4.19' da poli(CHMA)/ÇDKNT ve poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinin çoklu I-V grafikleri incelendiğinde hem poli(CHMA)/ÇDKNT hem de poli(IBMA)/ÇDKNT kompozitlerinde ÇDKNT oranı arttıkça kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri artmış ve özdirençleri azalmıştır. Yani polimer matrisi içerisine takviye edilen ÇDKNT katkılanmasının oranı %1' den %5' e doğru arttıkça malzemelerin yalıtkan özellikten yarıiletken özelliğe doğru bir yaklaşım sergilemesi söz konusu olmuştur.

Sentezlenen kompozitlerin öz direnci, silikon ( $\sim 10^2 \Omega.m$ ) ile cam ( $\sim 10^{10} \Omega.m$ ) arasında bir değerde olup, silikonun öz direncine daha yakın bulunmuştur. Polimer içerisine takviye edilen ÇDKNT oranına bağlı olarak yasak enerji bandı daha dar elde edilmiş ve yarı iletkenlik özelliğinin arttığı gözlemlenmiştir [46].

## KAYNAKLAR

- [1] H.Y. Ersoy, *Kompozit Malzemeler*. İstanbul: Literatür, 2001.
- [2] A. K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*. USA: CRC Press, 1997
- [3] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Seçkin, 2006.
- [4] A. G. Arı, “Polimer nanokompozitlerin özelliklerine değişik nanopartiküllerin etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2009.
- [5] S. Basan, *Polimer Kimyası*. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, 2001.
- [6] I. Erol, “Synthesis, characterization, and biological activity of [2-oxo-2-(4-acetyl) phenyl amino] ethylene methacrylate and its derivatives”, *Journal of Polymer Science Part A-Polymer Chemistry*, vol. 42, no. 13, pp. 3157-3169, 2004.
- [7] M. B. Patel, D. A. Patel, A. Ray ve R. M. Patel. “Microbial screening of copolymers of 2,4-dichlorophenyl methacrylate with N-vinylpyrrolidone: Synthesis and Characterization”, *Polymer International*, vol. 52, no. 3, pp. 367-372, 2003.
- [8] C. Soykan ve İ. Erol, “Synthesis, spectral and thermal properties of homo- and copolymers of 2-[(5-methylisoxazol-3-yl)amino]-2-oxo-ethyl methacrylate with styrene and methyl methacrylate and determination of monomer reactivity ratios”, *European Polymer Journal*, vol. 39, no. 12, pp. 2261-2270, 2003.
- [9] Ö. Altun, “Kalgon esaslı metakrilat monomerinin, homo ve kopolimerlerinin sentezi ve karakterizasyonu”, Yüksek lisans tezi, Adıyaman Üniversitesi, 2013.
- [10] M. Saçak, *Polimer Kimyasına Giriş*, Ankara: A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, 1998.
- [11] M. Saçak, *Polimer Teknolojisi*, Ankara: Gazi Kitapevi, 2004.
- [12] R.A. Fessenden, *Organik Kimya*, Ankara: Güneş Kitapevi, 1991.
- [13] B. Baysal, *Polimer Kimyası*, Ankara: Gazi Kitapevi, 1994.
- [14] A. Kazancı, “Polimer schiff bazları ve metal komplekslerinin sentezi ve katalizör özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 2010.
- [15] S. Deniz, “Poli(Üretan-b-Akrilat) yapısında kopolimerlerin sentezi ve membran olarak kullanılabilme olanaklarının incelenmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2002.
- [16] H. Kocaokutgen, *Polimer Kimyası ve Endüstrisine Giriş*. Samsun: Yeni zamanlar dağıtım, 2012.
- [17] E. Pişkin, *Polimer Teknolojisine Giriş*. İstanbul: İnkılap Kitapevi, 1987.
- [18] D. A. Skoog, F. J. Holler ve T. A. Nieman, *Principles of Instrumental Analysis*, Philadelphia: Saunders College Publishing, 1998.
- [19] İ. Küçük, “Fonksiyonel polioksometalatlarn sentezi ve poliüretan kompozitlerinde uygulanması”, Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, 2013.
- [20] A. Ülker, “Yeni kil-polimer kompozitlerinin sentezlenmesi ile sulu çözeltilerden brilliant yellow boyasının giderimi”, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2019.
- [21] M. Kaya, “Kumarin içerikli yüzey aktif monomer sentezi ve nanokompozit hazırlanmasındaki rolü”, Yüksek lisans tezi, Adıyaman Üniversitesi, 2016.

- [22] H. Bıkmaz, “Örgü yapılı sürekli karbon fiber takviyeli polimer kompozitin katı partikül erozyonu”, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2019.
- [23] F Arslan, “Karbon nanotüp takviyeli polimer nanokompozit geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2011.
- [24] N. G. Sahoo, S. Rana, J. W. Cho, L. Li ve S. H. Chan, “Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes”, *Progress in Polymer Science*, vol. 35, no. 7, pp. 837–867, 2010.
- [25] R. Andrews, D. Jacques, M. Minot ve T. Rantell, “Fabrication of carbon multiwall nanotube/polymer composites by shear mixing”, *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 287, no. 6, pp. 395–403, 2002.
- [26] M. T. Byrne ve Y. K. Gun’ko, “Recent advances in research on carbon nanotube polymer composites”, *Advanced Materials*, vol. 22, no. 15, pp. 1672–1688, 2010.
- [27] J. H. Du, J. Baive ve H. M. Cheng, “The present status and key problems of carbon nanotube based polymer composites”, *Express Polymer Letters*, vol. 1, no. 5, pp. 253-273, 2007.
- [28] S. Iijima, “Helical microtubules of graphitic carbon”, *Nature*, vol. 354, no. 6348, pp. 56-58, 1991.
- [29] P. J. Harris, *Synthesis, Properties and applications*, Newyork: Cambridge University Press, 2009.
- [30] L. S. Cividanes, E. A. N. Simonetti, M. B. Moraes, F. W. Fernandes ve G. P. Thim, "Influence of carbon nanotubes on epoxy resin cure reaction using different techniques: A comprehensive review", *Polymer Engineering and Science*, vol. 54, no. 11, pp. 2461-2469, 2014.
- [31] K. Sarangdevot ve B. S. Sonigara, “The wondrous world of carbon nanotubes: structure ,synthesis, properties and applications“, *Journal of Carbon Chemical and Pharmaceutical Research*, vol. 7, no. 6, pp. 916-933, 2015.
- [32] C. H. Lattore, J. Alvarez-Mendez, J. Barciela-Garcia, S. García –Martin ve R. M. Peña , “Characterization of carbon nanotubes and analytical methods for their determination in environmental and biological samples”, *Analytica Chimica Acta*, Crecente, 2015, pp. 77-94.
- [33] J. Li, G. Jia, ve Y. Zhang, “ Chemical anisotropies of carbon nanotubes and fullerenes caused by the curvature directivity”, *Chemistry\_A European Journal*, European, 2007, pp . 6430 – 6436.
- [34] K. M. Liew, C. H. Wong ve M. J. Tan, “Buckling properties of carbon nanotube bundles ”, *Applied Physics Letters*, vol. 87, no. 4, pp. 041901, 2005.
- [35] M. Trojanowicz, “Analytical applications of carbon nanotubes: A review”, *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 25, no. 5, pp. 480-489, 2006.
- [36] R. Purohit, K. Purohit, S. Rana, R. S. Rana, ve V. Patel, “Carbon nanotubes and their growth methods”, *Procedia Materials Science*, USA, 2014, pp. 716-728.
- [37] K. Sa, P. C. Mahakul, S. Saha, P. N. Vishwakarma, K. K. Nanda ve P. Mahanandia, “Investigation of electrical, mechanical, and thermal properties of functionalized multiwalled carbonnanotubes-reduced graphene oxide/PMMA hybrid nanocomposites ”, *Polymer Engineering and Science*, vol. 59, no. 5, pp. 1075-1083, 2019.

- [38] A. Lis ve J. Laska, “Effect of addition of montmorillonite and carbon nanotubes on thermal resistance of poly(methyl methacrylate)”, *Polimery*, vol. 58, no. 6, pp. 467-472, 2013.
- [39] E. Logakis, C. Pandis, P. Pissis, J. Pionteck ve P. Poetschke, “Highly conducting poly(methyl methacrylate)/carbon nanotubes composites: Investigation on their thermal, dynamic-mechanical, electrical and dielectric properties”, *Composites Science And Technology*, vol. 71, no. 6, pp. 854-862, 2011.
- [40] S. Kumar, T. Rath, B. B. Khatua, A. K. Dhibar ve C. K. Das “Preparation and characterization of poly(methyl methacrylate)/multi-walled carbon nanotube composites”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 9, no. 8, pp. 4644-4655, 2009.
- [41] R. Haggemueller, H. H. Gommans, A. G. Rinzler, J. E Fischer ve K. I. Winey, “Aligned single-wall carbon nanotubes in composites by melt processing methods”, *Chemical Physics Letters*, vol. 330, no. (3,4), pp. 219-225, 2000.
- [42] F. Yakuphanoglu, I. S. Yahia, G. Barım ve B. F. Şenkal, “Double-walled carbon nanotube/polymer composites: Electrical properties under dc and ac fields”, *Synthetic Metals*, vol. 160, no. (15,16), pp. 1718-1726, 2010.
- [43] E. Ö. Yenigün, “Karbon nanotüp-polimer nanokompozitlerde çok boyutlu modelleme ile arayüz özelliklerinin incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, vol. 20, no. 3, pp. 503-511, 2017.
- [44] S. Ulaş, “The investigation of the irradiation effect on PMMA/MWCNTs polymer nanocomposites”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2017.
- [45] G. Barım, M. G. Yayla ve M. Degirmenci, “Copolymerization of cyclohexene-3-yl methyl methacrylate with styrene: synthesis, characterization, monomer reactivity ratios and, thermal properties”, *Designed Monomers and Polymers*, vol. 17, no. 7, pp: 610-614, 2014.
- [46] O. Ağma, “Karbon nanotüp takviyeli kompozit malzemelerin termal, elektriksel ve mekanik özelliklerinin tespiti”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, 2015.

**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Gülay YENİCE  
Doğum Yeri : Adıyaman  
Doğum Tarihi : 18.09.1993  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : arpacikimya046@gmail.com

**Eğitim Durumu**

<b>Derece</b>	<b>Alan</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Yüksek Lisans	Kimya	Adıyaman Üniversitesi	2019
Lisans	Kimya	Adıyaman Üniversitesi	2015
Lise		Adıyaman Lisesi	2011