

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

**KARBON NANOTÜP KATKILI PMMA/PVC NANOKOMPOZİTİNİN  
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Afşar ÇELİK  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ

VAN-2022



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

**KARBON NANOTÜP KATKILI PMMA/PVC NANOKOMPOZİTİNİN  
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Afşar ÇELİK

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-  
2020-8776 No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2022



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ danışmanlığında, Afşar ÇELİK tarafından sunulan “Karbon Nanotüp Katkılı PMMA/PVC Nanokompozitinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mehmet TUNÇ

İmza:

Üye: Prof. Dr. Esin İnan ESKİTAŞÇIOĞLU

İmza:

Üye: Doç. Dr. Mehmet Mürşit TEMÜZ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Özgül GÖK

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Afşar ÇELİK





## ÖZET

### KARBON NANOTÜP KATKILI PMMA/PVC NANOKOMPOZİTİNİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

ÇELİK, Afşar

Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ

Kasım 2022, 123 Sayfa

Bu çalışmada farklı oranlı PVC/PMMA (poli (metil metakrilat)/ poli (vinil klorür) blendlerine çeşitli miktarlarda katılan karbon nanotüplerin (CNT) elde edilen nanokompozitlerin özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla %80:20, %60:40, %50:50, %40:60 ve %20:80 oranlarında beş farklı PVC/PMMA blendi hazırlanmıştır. Blendlere %0.1, %0.5 ve %1.0 oranlarında CNT katılarak nanokompozitler, çözültiden döküm yöntemiyle sentezlenmiştir. Çözücü olarak tetrahidrofur (THF) kullanılmıştır. Hazırlanan nanokompozitlerin spektroskopik ve termal incelemeleri yapılmış, ayrıca elektriksel iletkenlikleri ölçülmüştür. SEM görüntülemesi CNT'lerin polimer matrisle iyi etkileştiğini göstermiştir. Nanokompozitlerde ise CNT'lerin yeterince homojen bir dağılım gösterdiği ve polimer matrisle iyi etkileştiği görülmüştür. XRD analizinde yapının belirgin biçimde amorf olduğu ve ortalama kristallik değerinin %15 civarında olduğu belirlenmiştir. TGA ölçümlerinde, üç aşamalı kütle kaybı görülmüştür. Birinci termal bozunmada PVC kaynaklı dehidroklorinasyonun, ikinci termal bozunmada ise polimer zincirlerindeki yapısal bozunmanın daha etkili olduğu görülmüştür. TGA analizinde, CNT katkısının kütle kaybı üzerinde etkisiz olduğu gözlenmiştir. DTG ölçümlerinde de CNT'lerin bozunma hızında etkisiz oldukları belirlenmiştir. DSC analizlerinde CNT katkısının camsı geçiş sıcaklığı üzerinde belirli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Aktivasyon enerjilerinin birinci bozunma aşamasında giderek yükseldiği daha sonra azaldığı görülmüştür. Elektriksel iletkenlikte %50:50:1 PVC/PMMA/CNT nanokompozitinde ideal perkolasyon eğrisine yaklaşılmış ve  $4.97 \times 10^{-6}$  S/cm ile yarı iletkenlik bandı sınırına ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Blend, Karbon nanotüp, Nanokompozit polimer, Poli (metilmetakrilat), Poli (vinil klorür)



## ABSTRACT

### PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBE DOPED PMMA/PVC NANOCOMPOSITE

ÇELİK, Afşar

Ph. D. Thesis, Department of Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ

November 2022, 123 pages

This study examined the effects of carbon nanotubes added in different amounts into PVC/PMMA (poly (methylmetacrylate)/poly (vinylchloride)) blends with different ratios on the properties of nanocomposites. For this purpose, five different blends of PVC/PMMA were prepared with ratios of 80:20%, 60:40%, 50:50%, 40:60%, and 20:80%. Nanocomposites were synthesized through solution casting method by adding 0%, 0.1%, 0.5%, and 1% of CNT to the prepared polymer blends. Tetrahydrofuran (THF) was used as the solvent. Spectroscopic and thermal examinations of the prepared nanocomposites were performed, and their electrical conductivities were measured. The SEM imaging showed that CNTs interacted with polymer matrix well. As for the nanocomposites, CNTs displayed an adequate level of homogeneity and interacted with polymer matrix well. The XRD analysis showed that the structure was clearly amorphous and had an average crystallinity of 15%. In TGA measurements, a three-phase mass loss was observed. It was seen that dehydrochlorination due to PVC was more effective in the first thermal degradation, while the structural degradation in polymer chains was more effective in the second thermal degradation. The TGA analysis showed that CNT addition was not effective on mass loss. Furthermore, it was determined through DTG measurements that CNTs did not affect degradation speed. The DSC analyses indicated that CNT addition did not have a marked effect on glass transition temperature ( $T_g$ ). Activation energies gradually increased at the first stage of degradation, and then decreased. As for electrical conductivity, we approached the ideal percolation curve in the 50:50%:1 PVC/PMMA/CNT nanocomposite and reached the semi-conductivity limit with  $4.97 \times 10^{-6} \text{ S/cm}^{-1}$ .

**Keywords:** Blend, Carbon nanotube, Nanocomposite polymer, Poly (methylmetacrylate), Poly (vinyl chloride).



## ÖNSÖZ

Akademik öğrenimimin son basamağında, bilimin, çok yönlü düşünceyle ve entelektüel bir merakla ne kadar ilgili olduğunu görmekten mutluyum. Bilimsel bir çalışmada karşılıklı anlayışın, iş birliğinin, samimiyetin ve paylaşmanın önemini bana öğreten herkese müteşekkirim. Bu bağlamda başta tez danışmanım Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ olmak üzere tez izleme komitemde her zaman çalışmalarımı izleyerek görüşlerini bildiren ve beni destekleyen Prof. Dr. Mehmet TUNÇ'a, Prof. Dr. Esin İnan ESKİTAŞÇIOĞLU'na teşekkür ederim. Gerek laboratuvar imkânlarını ve gerekse bilgilerini benimle cömertçe paylaşarak çalışmalarımın yürütülmesinde büyük kolaylık sağlayan Prof. Dr. Mehmet ZAHMAKIRAN, Prof. Dr. Mehmet GÜLCAN, Prof. Dr. Ertan ARDA, Doç. Dr. Gülşah SAYDAN KANBEROĞLU'na, onursal danışmanlığıyla yol gösteren değerli ağabeyim Doç. Dr. Y. Erdal ERTÜRK'e, kardeşim Öğr. Gör. Bilge ÇELİK'e ayrıca çalışmalarımda bilgilerini ve yeteneklerini benden esirgemeyen genç arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YURDERİ, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet BULUT, Yüksek Kimyager Tuba TOP ve Dr. Öğr. Üyesi Yaşar KARATAŞ'a teşekkür ederim. Elbette bütün bu süreçte daima yanımda olan, beni sabırla ve anlayışla destekleyen annem Nevin ÇELİK'e, sevgili eşim Leyla ÇELİK'e ve canım çocuklarım Aybike, İlbige ve Ertuğrul'a kucak dolusu sevgilerimi ve minnettarlığımı sunarım.

2022

Afşar ÇELİK



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Polimerler .....	1
1.1.1. Polimer tanımı .....	1
1.1.2. Polimerlerin sınıflandırılması .....	1
1.1.3. PMMA (poli (metil metakrilat)) .....	3
1.1.4. PVC (poli (vinil klorür)) .....	4
1.2. Polimer Blendleri/Karışımları .....	5
1.3. PMMA/PVC Blendleri .....	6
1.4. Karbonnanotüpler (CNT) .....	7
1.4.1. Karbon nanotüplerin özellikleri .....	7
1.5. Kompozitler .....	8
1.5.1. Kompozitlerin sınıflandırılması .....	10
1.6. Nanokompozitler .....	13
1.6.1. Metal matrisli nanokompozitler (MMNC) .....	14
1.6.2. Seramik matrisli nanokompozitler .....	14
1.6.3. Polimerik nanokompozitler .....	15
1.6.4. Polimerik nanokompozit hazırlama yöntemleri .....	16
1.6.5. Polimerik nanokompozitlerin özellikleri .....	18
1.6.6. Nanokompozit uygulamaları .....	21
1.6.7. Nanokompozitlerin dezavantajları .....	22
1.6.8. Polimerik nanokompozitlerin dezavantajları .....	22
1.6.9. CNT katkılı polimerik nanokompozitler .....	23
1.6.10. CNT- polimerik nanokompozitlerin özellikleri .....	24

	<b>Sayfa</b>
1.6.11. CNT/polimer nanokompozitlerinin uygulamaları .....	28
1.6.12. CNT-polimer nanokompozitlerinin sentezleme yöntemleri .....	31
1.7. Analiz Yöntemleri.....	33
1.7.1. Spektroskopik analizler .....	33
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ.....	39
3. MATERYAL VE METOT.....	55
3.1. Kullanılan Materyal ve Cihazlar .....	55
3.2. CNT Katkılı PVC/PMMA Blendlerinin Hazırlanması.....	55
4. BULGULAR .....	59
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	103
KAYNAKLAR.....	113
ÖZ GEÇMİŞ.....	123

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. PVC/PMMA karışımının 303.15 K'de etkileşim parametreleri ve Huggins sabitleri .....	47
Çizelge 2.2. PVC/PMMA karışımının 313.15 K'de etkileşim parametreleri ve Huggins sabitleri .....	48
Çizelge 2.3. PVC/PMMA blendlerinin TGA analiziyle ilgili veriler.....	48
Çizelge 2.4. Dielektrik özellikler; 10 kHz'deki dielektrik sabiti ve $f = 0$ , ( $\sigma_{dc}$ ).....	53
Çizelge 2.5. Termal özellikler; maksimum termal bozunma sıcaklığı ( $T_{max}$ ), camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ) ayrışma sıcaklığı ( $T_d$ ), füzyon ısı ( $H_m$ ) kristallik derecesi ( $X_c$ ).....	53
Çizelge 3.1. Polimer karışımları için (PVC/ PMMA) yüzde oranlarına göre numune kodları.....	55
Çizelge 3.2. CNT yüzdelere göre nanokompozitlerin numune kodları.....	56
Çizelge 4.1. XRD Ölçümlerine dayalı kristallik oranları. ....	72
Çizelge 4.2. Camsı Geçiş Sıcaklıkları ( $T_g$ ).....	80
Çizelge 4.3. Bütün serilerin toplu TGA verileri .....	83
Çizelge 4.4. TGA ölçümlerine dayalı aktivasyon enerjileri .....	88
Çizelge 4.5. DTA verilerine göre camsı geçiş sıcaklıkları .....	95
Çizelge 4.6. DTG Değerleri.....	99
Çizelge 4.7. Elektiksel iletkenlikler tablosu .....	99



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Dathan MS-MP8 manyetik karıştırıcı ve ultrasonik banyo.....	56
Şekil 4.1. Hazırlanan nanokompozitler. ....	59
Şekil 4.2. PVC20 serisindeki kırılma görünümleri.....	59
Şekil 4.3. PVC80-0 numunesi (%80:20:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	60
Şekil 4.4. PVC80-0.1 numunesi (%80:20:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri....	60
Şekil 4.5. PVC80-0.5 numunesi (%80:20:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri....	60
Şekil 4.6. PVC80-1 numunesi (%80:20:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	61
Şekil 4.7. PVC60-0 numunesi (%60:40:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	61
Şekil 4.8. PVC60-0.1 numunesi (%60:40:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri....	61
şekil 4.9. pvc60-0.5 numunesi (%60:40:0.5) pvc/pmma/cnt sem görüntüleri.....	62
şekil 4.10. pvc60-1 numunesi (%60:40:1) pvc/pmma/cnt sem görüntüleri.....	62
Şekil 4.11. PVC50-0 numunesi (%50:50:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	62
şekil 4.12. pvc50-0.1 numunesi (%50:50:0.1) pvc/pmma/cnt sem görüntüleri.....	63
şekil 4.13. pvc50-0.5 numunesi (%50:50:0.5) pvc/pmma/cnt sem görüntüleri.....	63
Şekil 4.14. PVC50-1 numunesi (%50:50:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	63
Şekil 4.15. PVC40-0 numunesi (%40:60:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	64
Şekil 4.16. PVC40-0.1 numunesi (%40:60:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri..	64
Şekil 4.17. PVC40-0.5 numunesi (%40:60:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri..	64
Şekil 4.18. PVC40-1 numunesi (%40:60:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.19. PVC20-0 numunesi (%20:80:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.20. PVC20-0.1 numunesi (%20:80:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri..	65

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.21. PVC20-0.5 numunesi (%20:80:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri..	66
Şekil 4.22. PVC20-1 numunesi (%20:80:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.....	66
Şekil 4.23. XRD desenleri; PVC80-(0-1) serisi. ....	67
Şekil 4.24. XRD desenleri; PVC60-(0-1) serisi. ....	68
Şekil 4.25. XRD desenleri; PVC50-(0-1) serisi. ....	69
Şekil 4.26. XRD desenleri; PVC40-(0-1) serisi. ....	70
Şekil 4.27. XRD desenleri; PVC20-(0-1) serisi. ....	71
Şekil 4.28. Örnek XRD desen grafiğinde pik altı alanlarının gösterimi.....	73
Şekil 4.29. Örnek XRD desen grafiğinde pik altı alanlarının gösterimi.....	74
Şekil 4.30. DSC grafikleri; PVC80-(0-1) serisi.....	75
Şekil 4.31. DSC grafikleri; PVC60-(0-1) serisi.....	76
Şekil 4.32. DSC grafikleri; PVC50-(0-1) serisi.....	77
Şekil 4.33. DSC grafikleri; PVC40-(0-1) serisi.....	78
Şekil 4.34. DSC grafikleri; PVC20-(0-1) serisi.....	79
Şekil 4.35. Blendlerin toplu TGA grafikleri.....	80
Şekil 4.36. TGA grafikleri; PVC80-(0-1) serisi. ....	81
Şekil 4.37. TGA grafikleri; PVC60-(0-1) serisi. ....	81
Şekil 4.38. TGA grafikleri; PVC50-(0-1) serisi. ....	82
Şekil 4.39. TGA grafikleri; PVC40-(0-1) serisi. ....	82
Şekil 4.40. TGA grafikleri; PVC20-(0-1) serisi. ....	83
Şekil 4.41. PVC40-1 numunesinin Coats-Redfern eşitliğine dayalı 1/T- log[-log(1-α)/T <sub>2</sub> ] grafiği.....	89
Şekil 4.42. DTA grafikleri; PVC80-(0-1) serisi. ....	90

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.43. DTA grafiklerinden elde edilen AC(1-4) serisi için camsı geçiş sıcaklıkları. .....	91
Şekil 4.44. DTA grafikleri; PVC60-(0-1) serisi. ....	91
Şekil 4.45. DTA grafiklerinden elde edilen PVC60-(0-1) serisi için camsı geçiş sıcaklıkları.....	92
Şekil 4.46. DTA grafikleri; PVC50-(0-1) serisi. ....	92
Şekil 4.47. DTA grafiklerinden elde edilen PVC50-(0-1) serisi için camsı geçiş sıcaklıkları.....	93
Şekil 4.48. DTA grafikleri; PVC40-(0-1) serisi. ....	93
Şekil 4.49. DTA grafiklerinden elde edilen PVC40-(0-1) serisi için camsı geçiş sıcaklıkları.....	94
Şekil 4.50. DTA grafikleri; PVC20-(0-1) serisi. ....	94
Şekil 4.51. DTA grafiklerinden elde edilen PVC20-(0-1) serisi için camsı geçiş sıcaklıkları.....	95
Şekil 4.52. DTA sonuçlarına göre camsı geçiş sıcaklıkları grafiği. ....	96
Şekil 4.53. DTG grafikleri; PVC80-(0-1) serisi. ....	96
Şekil 4.54. DTG grafikleri; PVC60-(0-1) serisi. ....	97
Şekil 4.55. DTG grafikleri; PVC50-(0-1) serisi. ....	97
Şekil 4.56. DTG grafikleri; PVC40-(0-1) serisi. ....	98
Şekil 4.57. DTG grafikleri; PVC20-(0-1) serisi. ....	98
Şekil 4.58. Elektriksel iletkenlik değerleri grafiği.....	100
Şekil 4.59. Blendlerde iletkenlik karşılaştırması. ....	100
Şekil 4.60. %1 CNT içerikli numunelerde iletkenlik karşılaştırması. ....	101



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ax</b>	Standart karot ölçüsü (36 mm çap)
<b>cm<sup>2</sup>/s</b>	Santimetrekare/saniye
<b>CoCl<sub>2</sub></b>	Kobalt(II) Klorür
<b>CO</b>	Karbonmonoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit
<b>CuO</b>	Bakır (II) Oksit
<b>C=O</b>	Karbonil grupları
<b>Ea</b>	Aktivasyon enerjisi
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b>HCl</b>	Hidroklorik Asit
<b>H<sup>+</sup></b>	Hidrojen
<b>K</b>	Potasyum
<b>kV/cm</b>	Kilovolt/santimetre
<b>KHz</b>	KiloHertz
<b>LiTFSI</b>	Lityum bis(triflorometansülfonil)imid
<b>Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Lityum Sülfat
<b>LiBF<sub>4</sub></b>	Lityum Tetrafloroborat
<b>Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub></b>	Lityumtitanyumoksit
<b>LiN(CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub></b>	Lityum triflorometansülfonimid
<b>LiClO<sub>4</sub></b>	Lityumperklorat
<b>m-SiO<sub>2</sub></b>	Trimetilsiloksan
<b>MHz</b>	MegaHertz
<b>NaClO<sub>4</sub></b>	Sodyumperklorat
<b>nm</b>	Nanometre
<b>pH</b>	Asitlik-Bazlık derecesi

## **Simgeler**

## **Açıklama**

<b>S/cm</b>	Siemens/santimetre
<b>T<sub>g</sub></b>	Camsı Geçiş Sıcaklığı
<b>T-rho</b>	Kutuplanma Sıcaklığı
<b>T<sub>b</sub></b>	Termal bozunma
<b>T<sub>m</sub></b>	Erime Sıcaklığı
<b>T<sub>d</sub></b>	Ayrışma Sıcaklığı
<b>X<sub>c</sub></b>	Kristallik derecesi
<b>V</b>	Volt
<b>µm</b>	Mikrometre
<b>θ</b>	XRD kırılma açısı

## **Kısaltmalar**

## **Açıklama**

<b>AFM</b>	Atomik Kuvvet Mikroskobu
<b>BmImTFSI</b>	1-bütül-3-metilimidazolyum Bis(triflorometilsülfonil) imid
<b>BP</b>	Benzoil Peroksit
<b>CNT</b>	Karbon Nanotüp
<b>CSA</b>	Kafur Sülfonik Asit
<b>DBP</b>	di-Bütül Ftalat
<b>DC</b>	Doğru Akım
<b>DEHP</b>	Di(Etil-2-hekzil) Ftalat
<b>DEP</b>	Dietil Ftalat
<b>DMTA</b>	Dinamik Mekanik Termal Analiz
<b>DMF</b>	Dimetilformamid
<b>DSC</b>	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Diferantial Scanning Calorimeter)
<b>DTA</b>	Diferansiyel Termal Analiz
<b>DTG</b>	Diferansiyel Termal Termogravimetrik Analiz
<b>DVB</b>	Divinilbenzen

## Kısaltmalar

## Açıklama

<b>DW</b>	Damıtılmış Su
<b>EB</b>	Kopma Uzaması
<b>EC</b>	Etilen Karbonat
<b>ESEM</b>	Çevresel Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FESEM</b>	X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi
<b>F-MNWT</b>	İşlevselleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler
<b>FTIR-ATR</b>	Fourier Dönüşümlü Kıızılötesi Spektrometre-Azaltılmış Toplam Yansıma
<b>IGC</b>	Ters Gaz Kromatografisi
<b>IR</b>	İnfrared Spektroskopisi (Infrared Spectroscopy)
<b>Kn.</b>	Kesim Noktası
<b>LDH</b>	Hidroksit Kompozitler
<b>MC</b>	Metil Selüloz
<b>MLG</b>	Çok Katmanlı Grafen
<b>MMVP</b>	Poli(metilmetakrilat-ko-vinilpirolidon)
<b>MMNC</b>	Metal Matrisli Nanokompozitler
<b>Mrad</b>	Milliradian
<b>MWCNT</b>	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
<b>NBR</b>	Nitril Kauçuk
<b>NMR</b>	Nükleer Manyetik Rezonans
<b>NP</b>	Nanopartikül
<b>NiO</b>	Nikel (II) oksit
<b>OMLS</b>	Organik Modifiye Tabakalı Silikatlar (Organic Modified Layered silicates)
<b>OTFT</b>	Organik İnce Film Transistör
<b>PAAm</b>	Poliakrilamid
<b>PANI</b>	Polianilin
<b>PC</b>	Propilen Karbonat
<b>PEO</b>	Poli Etilenoksit
<b>PMMA</b>	Poli Metilmetakrilat

**Kısaltmalar****Açıklama**

<b>PPy</b>	Polipirol
<b>PS</b>	Polistiren
<b>PVC</b>	Poli (Vinil Klorür)
<b>PVA</b>	Poli (Vinil Asetat)
<b>r-PMMA</b>	Geri Dönüştürülmüş Poli Metilmetakrilat
<b>SAN</b>	Stiren Akrilonitril
<b>SAXS</b>	Küçük Açılı X-ışını Saçılması
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskopi (Scanning Electron Microscopy)
<b>SWCNT</b>	Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
<b>TGA</b>	Termal Termogravimetrik Analiz
<b>TEM</b>	Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscope)
<b>THF</b>	Tetradiofuran
<b>TSD</b>	Termal Olarak Uyarılmış Depolarizasyon Akımları
<b>TSDC</b>	Termal Olarak Uyarılmış Depolarizasyon Akımı (Thermally Stimulated Depolarization Current)
<b>UV/Vis</b>	Ultra-viole/Visible Spectroscopy
<b>1D</b>	Tek Boyutlu

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Polimerler

Polimer terimi ilk kez 1832’de kullanılmıştır. İlk sentetik polimer (fenol-formaldehit) 1909’da Bakelite® olarak kullanıma sunulmuşken, ilk termoplastik (polistiren, Trolitul®) altı yıl sonra piyasaya sürülmüştür (Utracki ve Wilkie, 2014).

Polimerik malzemeler, gıda ambalajı, tekstil, ulaşım, havacılıktan elektronik/elektrik ve biyomedikal endüstrilerine kadar değişen uygulamalarla modern toplumsal hayatta merkezî bir öneme sahiptir (Burton ve ark, 2006; Baur ve Silverman, 2007; Dasari ve ark., 2017).

### 1.1.1. Polimer tanımı

Polimer terimi, Yunanca “poly” ve “meros” kökünden gelir. Bu terim bundan dolayı “çok parçalı” anlamına geldiği gibi “mer” denen tekrarlanan birimlerden oluşturulmuş büyük molekül anlamına da gelir. Monomerler, polimer moleküllerini oluşturan basit organik moleküllerdir. Polimerin moleküler ağırlığı, tekrar biriminin moleküler ağırlığının ve polimerizasyon derecesinin sonucudur (Billmeyer, 1984; Chanda, 2006).

### 1.1.2. Polimerlerin sınıflandırılması

#### a) Kökenlerine göre:

Polimerler, kökenlerine göre doğal, sentetik veya yarı sentetik olarak sınıflandırılabilirler. “Biyopolimer” olarak nitelenen DNA dahil olmak üzere, nişasta, selüloz ve agar gibi moleküller doğal polimerlerdir. Buna karşılık günlük hayatta sıkça kullanılan poli etilen, PMMA, poli vinil klorür PVC gibi polimerler sentetik polimerler olarak nitelenirler. Doğal polimerlerin modifikasyonu ile elde edilen rejenere selüloz gibi polimerlerse yarı sentetik polimerlere örnek olarak verilebilir.

b) Organik-İnorganik Yapılarına göre:

Polimerler organik-inorganik yapılarına göre de sınıflandırılabilir. Organik polimerler yapılarında ana zincirde karbon olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomları içeren moleküllerdir. İnorganik polimerler, organik polimerlerden daha az kullanılan, ana zincirlerinde karbon atomu yerine periyodik cetveldeki IV-VI grup elementlerinin yer aldığı polimerlerdir. Si, Ge, B, P vb. ile homo veya heterozincir yapıları oluşturmuşlardır. Alüminasilikat ve polisiloksan bunlara örnek verilebilir.

c) Zincir Türlerine göre:

Tek bir cins monomer biriminin tekrarlanmasıyla elde edilen polimerler “homopolimer” olarak adlandırılır. İki farklı monomerin karışımından oluşan polimerler ise “kopolimer” olarak adlandırılır. Üç farklı monomerin bulunduğu kopolimerlere de terpolimer denir. Polimerler,

- a- Doğrusal
  - b- Dallanmış
  - c- Çapraz bağlı
- olarak da bulunabilirler.

d) Sentez Yöntemlerine göre:

Polimerler sentez yöntemlerine göre de sınıflandırılabilir. Sentezlenmeleri, bir çift bağın açılması ve bu şekilde monomerlerin birbirine katılması yoluyla oluyorsa, bu tip polimerler “katılma polimerleri” olarak adlandırılır. Buna karşılık ester oluşumunda olduğu gibi küçük bir molekülün ayrılması yoluyla gerçekleşen kondensasyon reaksiyonlarıyla elde edilen polimerlere de “kondensasyon polimerleri” denir.

e) Morfolojilerine göre:

- a- Amorf
  - b- Yarı kristalin
  - c- Kristalin
- olarak sınıflandırılabilir.

Amorf polimerlerde, polimer zincirleri gelişigüzel bir biçimde birbirlerinin içine girmiş, yün yumaklarını andırır bir yapı gösterirler. Kristalin moleküllerde polimer zincirlerinin bütünü, belirli bir düzene girmiştir. Yarı kristalin polimerlerde ise kristalin yapı ile amorf yapı iç içe geçmiştir.

f) Isıl Davranışlarına Göre:

Isıyla ve/veya çözücülerle işlenebilirliklerine göre ise polimerler,

a- Termoplastikler

b- Termosetler

olarak ikiye ayrılır.

Termoplastikler, doğrusal yapıda, ısı ve basınçla yumuşatılarak rahatlıkla tekrar tekrar şekillendirilebilen polimerlerdir. Bunun yanı sıra uygun çözücülerde çözülerek “çözücü döküm yöntemi” gibi yöntemlerle rahatlıkla tekrar işlenebilirler.

Buna karşılık termosetler içerdikleri yoğun çapraz bağlardan dolayı ısı yollarla eritilemez ve çözücülerde çözünemezler. Bir kere şekillendirildikten sonra tekrar işlenemezler.

g) Kullanış Yerlerine göre:

Polimerler, son kullanım yerlerine göre plastikler, kauçuklar, fiberler, kaplamalar ve yapıştırıcılar olarak beş ayrı grupta incelenir (Pişkin, 1978; Saçak, 2002).

### 1.1.3. PMMA (poli (metil metakrilat))

Açık adlandırması metil ester, 2-propenoikasit, 2-metil esterdir.

PMMA, akrilat ailesine ait olan amorf bir polimerdir. PMMA, optik olarak saydam, termoplastik özellik gösteren, inorganik cam yerine yaygın olarak kullanılır, ışığın %92'sini geçirir. İnorganik cama göre daha yüksek darbe mukavemeti gösterir. Hafif, kırılmaya karşı dirençli ve elverişli işlem koşullarına sahiptir. Hava koşullarına ve çizilmeye karşı dayanıklıdır. Polimer yapısındaki bitişik metil grubunun (CH<sub>3</sub>) mevcudiyeti, kristal oluşumunu ve C-C bağlarının etrafında serbestçe dönmesini önler. 100°C dolaylarında camsı geçiş sıcaklığı gösteren, oda sıcaklığında 1.20 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip şeffaf, renksiz bir polimerdir. PMMA, güneş ışığına maruz kalmaya karşı yüksek direnç gösteren polimerler arasındadır. Çok iyi ısı kararlılığına sahiptir. 100°C'ye kadar yüksek ve -70°C'ye kadar düşük sıcaklıklara dayandığı bilinmektedir. Ayrıca 1.490'lık bir kırılma indisi ile çok iyi optik özelliklere ve insan dokusuyla iyi derecede uyumluluğa sahiptir (Ali ve ark., 2015).

Ticari üretimi genelde radikal katılma polimerizasyon reaksiyonuyla, süspansiyon veya yığın polimerizasyonu teknikleri ile gerçekleştirilir. PMMA

polimerizasyonu, anyonik mekanizma ile de yapılabilir. Anyonik polimerizasyonla sindiyotaktik veya izotaktik PMMA elde edilir. Atmosfer şartlarına dayanıklı, mekanik dayanımı yüksek ve sert, su absorpsiyonu düşük, boyutsal kararlılığı iyidir. PMMA daha çok enjeksiyon, ekstrüzyon, vakum şekillendirme, döküm, şişirerek kalıplama yöntemleri ile şekillendirilir. Enjeksiyon kalıplama 200-250°C, ekstrüzyon kalıplama 180-250°C sıcaklıkları arasında yapılır. Erimiş halde akıcılığı düşüktür. Bu nedenle enjeksiyonla kalıplamada yüksek basınçlar uygulanır ve enjeksiyon hızı düşük tutulur (Anonim, 2018a; Anonim, 2018b; Anonim, 2018c).

PMMA, optik, pnömatik çalıştırma, sensör, analitik ayırma ve iletken cihazlardaki uygulamalar için gelecek vaat eden bir polimerdir. PMMA ayrıca biyomedikal uygulamalarında, polimer elektrolitlerinde, polimer viskozitesi ve elektro-difüzyon veya elektro-ozmotik akış uygulamalarında kullanılır. Bir polimer parçası olarak uyumluluğu ve kolay işlenmesi nedeniyle, karbon nanotüpler veya diğer inorganik malzemelerle, nanoteknolojinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. PMMA, karbon nanotüp ve kopolimer arasında ara yüzeydeki davranışı artıran bir polimerdir (Ali ve ark., 2015).

#### **1.1.4. PVC (poli (vinil klorür))**

Piyasada en sık kullanılan termoplastik polimerlerdendir. PVC'nin kullanım alanları oyuncak sanayiinden inşaat malzemelerine kadar uzanır.

PVC endüstriyel olarak daha çok süspansiyon polimerizasyonu tekniğiyle üretilir. Camsı geçiş sıcaklığı 80°C dolaylarındadır.

PVC ışığa ve ısıya karşı duyarlıdır. Isıya ve ışığa maruz kaldığında, ortama verdiği HCl'in olası zararlarını önlemek için ya çeşitli katkıları kullanılır ya da malzeme tamamen yok edilir (Anonim, 2018d). PVC, çeşitli endüstrilerde geniş uygulama alanlarına sahiptir. PVC, zayıf termal stabilite, düşük darbe mukavemeti ve büyük eriyik viskozitesi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, PVC'nin modifikasyonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Algunhaim, 2015).

Esnek PVC ona bu özelliğini vermek için kullanılmış önemli oranda plastikleştirici içerirken sert PVC plastikleştirici içermez (Titow, 1990).

PVC, baş kuyruk tarzında ve 500 ile 1500 tekrar aralığında bağlanmış vinil klorür monomerlerinden oluşan bir polimerdir. Ticari PVC, %10 civarında kristal bölge içeren

amorf bir yapıdadır. PVC homopolimerinin camsı geçiş sıcaklığı aralığı 70°C-80°C'dir. (Patrick, 2004).

## 1.2. Polimer Blendleri/Karışımları

Bir polimer blendi, yapıları birbirinden farklı, moleküler düzeyde karışabilir polimerlerin, ikincil kuvvetlerin etkileşimiyle oluşmuş fiziksel bir karışımı şeklinde tanımlanabilir (Krause, 1978; Sah ve Gupta, 2013).

Genel olarak hepsi de ayrıntılı olarak çalışılmış, termoplastik-termoplastik blendler, termoplastik kauçuk karışımları, termoplastik-termoset karışımları, kauçuk-termoset karışımları ve polimer-dolgu malzemesi tarzında beş ana polimer blendinden bahsedebiliriz.

Polimer harmanlama, ticari uygulamalarda çok yönlülüğe sahip olan polimerik malzemelerin geliştirilmesinde, kolay ve düşük maliyetli bir yöntem olarak büyük ilgi görmüştür. Blendlerin özellikleri, son kullanımlarına göre, bileşen polimerlerinin doğru seçilmesiyle düzenlenebilir (Thomas ve ark., 2015).

Bugün polimer blendleri ve kompozitleri, tüm plastik üretiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Polimer karışımı oluşturmak, iyi performanslı bir malzeme üretmekte en ekonomik yöntemdir. Günümüzde polimer blendleri, birçok ekonomik malzemeyle oluşturulan üstün özellikli ürünler nedeniyle yalnız tahta ve çelik yerine değil birçok alışılmış polimer yerine de tercih edilmektedir (Utracki, 2003).

Blendlerle sistemi oluşturan bileşenlerin her birinin özelliklerinden daha üstün özellikler elde edilebilir (Sah ve Gupta, 2013).

Taşdemir (2016)'e göre, "polimer alaşımları" başlıca iki yöntemle hazırlanır. Bunlardan birincisi ortak çözücüde çözmek ve ikincisi de eriyik halde karıştırma yöntemidir. Çözeltiden dökme yönteminde çözücünün ve çevre ısısının filmin kalitesine etkisine dikkat edilmelidir. Eriyik karıştırma yönteminde ise polimerler camsı geçiş sıcaklığının üstünde ısıtılıp merdanelerden geçirilerek karıştırılır. Buradaki dezavantaj, olası çevre kirliliğinin, ürün kalitesini etkileyebilmesidir.

Polimer blendlerinin termodinamik davranışlarını anlatabilmek üzere kullanılması daha yerinde olan terim "karışabilirliktir". Karışabilirlik terimi ideal moleküler karışımı ifade etmez, ancak moleküler karıştırma seviyesinin tek fazlı bir

malzemeden beklenen makroskopik özellikleri sağlamak için yeterli olduğunu gösterir. Karışmayan polimerlerden oluşan blendleri söz gelimi iki polimerden yapılmışsa, iki camısı geçiş sıcaklığı gözlenebilir (Olabisi ve ark., 1979).

### 1.3. PMMA/PVC Blendleri

PMMA ve PVC'nin karışabilir bir blendinin hazırlanmasına yönelik olarak yapılan viskozimetrik ölçümlere dayanan bir çalışmada, çözücü olarak tetrahidrofur kullanılmış, bu iki polimerin her oranda karışabildiği, %40/60 oranı dışında sıcaklığın karışımı etkilemediği ortaya konulmuştur (Sah ve Gupta, 2013).

Ramesh ve ark. (2002) çalışmalarında, PVC'nin PMMA ve PEO (poli etilenoksit) ile hazırlanan blendlerindeki karışabilirliği incelemişlerdir. Çalışmalarında viskozimetri ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri bu iki polimerin karışabilir olduğunu göstermiştir. Polimerler arasında çekici kuvvetlerin varlığı, viskozimetrik verilerden bir parametrenin belirlenmesi ile Sun teorisine göre değerlendirilmiştir. Viskozimetrik ve termal analizler bu iki blendin karışabilir olduklarını göstermişlerdir. PVC/PMMA ve PVC/PEO blendlerindeki bu karışabilirlik, PVC'deki klor atomlarıyla PMMA ve PEO polimerlerindeki oksijen atomları arasındaki hidrojen bağı etkileşimiyle açıklanmıştır.

Stephan ve ark. (2002)'nin çalışmasında, propilen karbonat ve etilen karbonatla plastifiye edilmiş ve LiN (CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> ile hazırlanmış PVC/PMMA blendinin iyonik iletkenliği ve termal özellikleri incelenmiştir. Blend çözücü olarak susuz THF kullanılarak çözelti döküm yöntemiyle hazırlanmıştır. LiN (CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> katkılı blend filmlerinin, 30°C'nin üzerinde kayda değer bir iletkenlik gösterdikleri saptanmıştır. Çalışmada 75:25 PMMA/PVC blend filmlerinin oranının, iletkenlik ve termal stabilite açısından uygun olduğu ayrıca PMMA'nın karışımın arayüzey direncini önemli ölçüde azalttığı bulunmuştur.

Chakrabarti ve ark. (2004), PMMA/PVC blendi gibi karışımların özelliklerinin kurucu polimerlerin molekülleri arasındaki H-bağları ve dipol-dipol etkileşimleri gibi spesifik etkileşimlerle açıklanabileceğini öne sürmüşlerdir. Mzir ve ark. (2018), PVC ve PMMA'nın ağırlıkça %60'ına kadar karışabildiğini belirtmişlerdir (Aouachria ve Belhaneche-Bensemra, 2006; Mzir ve ark., 2018).

## 1.4. Karbon nanotüpler (CNT)

Son yıllarda malzeme çalışmalarında “nanoteller” ya da “nanotüpler” geliştirmeye yönelik yoğun bir ilgi görülmektedir. Organik veya inorganik malzemelerden yapılmış farklı tüp grupları içinde, ilginç elektriksel, mekanik ve yapısal özellikler gösteren CNT malzeme bilimi ve farmasötik kimya için büyük umut vaat etmektedir.

CNT’ler, uzunlukları mikrometre boyutunda, çapları 100 nm’ye varan, silindirik şekilde sarılmış grafit tabakalarından oluşan malzemelerdir (Dimitrios ve ark., 2006).

CNT’ler, özellikle örgülü yapıdaki tüplerde düzenlenmiş 6 karbon atomundan oluşan moleküller halinde hem karbon fiberlerin hem de fullerenlerin bir türevi olarak kabul edilir (Polizu, 2006; Anzara ve ark., 2020)

İçlerinde bulunan karbon katmanlarının sayısına göre sınıflandırılan kabaca iki tür CNT vardır. Tek duvarlı karbon nanotüpler (SWCNT’ler), çapı 0.4 ile 2 nm arasında değişen tek bir grafen katmanından oluşur ve genellikle altıgen paketli demetler halinde oluşur. Çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT’ler), her biri grafen tabakalardan oluşan iki veya birkaç silindirden oluşur. Çap 1 ila 3 nm arasında değişir (He ve ark., 2013; Anzara ve ark., 2020).

CNT,

- Kimyasal buhar birikimi (Chemical vapor deposition, CVD) yöntemi,
- Ark deşarj yöntemi ve
- Lazer ablasyon yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemle sentezlenebilir.

### 1.4.1. Karbon nanotüplerin özellikleri

Polimerik nanokompozitlerde kullanılan CNT’lerin başlıca özellikleri şunlardır:

- ▲ Mekanik
- ▲ Elektriksel
- ▲ Optik
- ▲ Kimyasal

Mekanik Özellikler:

- Elmas kadar yüksek bir dayanıma sahiptirler.

- Çok yüksek elastik modüle sahiptirler. Elastik modülleri 1.0-1.4 TPa arasındadır.
- Maksimum çekme mukavemeti 30 GPa'a yakındır (çeliğe oranla 100 kat yüksek).
- Yoğunlukları çeliğin 1/6'sıdır.
- 3000°C'ye kadar ısı kararlılık gösterirler.
- Kırılma dirençleri çok yüksektir.
- Esneyebilme kabiliyetleri çok yüksektir. Eğme ve şekil verme mümkündür.

Elektriksel Özellikler:

- Hem yarı iletken hem metalik iletken özellik gösterirler.
- İletkenlikleri 1 Milyar Amper/m<sup>2</sup> olabilir (Bakır = 1 milyon AMPER/m<sup>2</sup>).

Optik Özellikler:

- Optik olabilirler ancak kiral nanotüpler çok uzun olduklarında, optiklik ortadan kalkar.

Kimyasal Özellikler:

- Kimyasal olarak inerttirler.
- Grafit levhalardan daha reaktiftirler (Arslan, 2011).

## 1.5. Kompozitler

Kompozitler doğada da bulunan yapılardır. Örneğin bir tahta parçası, lignin adı verilen bir madde tarafından bir arada tutulan uzun selüloz liflerinden oluşan bir kompozittir.

İnsan medeniyetini başlatan şeyin "taklit tek boyutlu dolgu maddelerin takviye amaçlı olarak kullanmak" olduğu söylenebilir. Bina tuğlaları şeklinde saman ve çamurdan yapılma kerpiç, inşaat malzemesi olarak yaklaşık M.Ö. 4000'den beri kullanılmaktadır. Bir başka kaynağa göre kompozitlerin ilk kullanımları, erken Mısırlılar ve Mezopotamya yerleşimcilerinin güçlü ve dayanıklı binalar oluşturmak için bir çamur ve saman karışımı kullandığı M.Ö. 1500'e kadar uzanır. Kerpicin çok uzun zaman kompozit olarak kullanımından sonra kompozitlerin en görünür ve modern uygulaması çelik betonarme kullanımınıdır.

Hafif ve güçlü olmaları gibi avantajları nedeniyle, kompozitlerdeki en büyük gelişmelerin çoğu savaş zamanının ihtiyaçlarının sonucuydu. İkinci Dünya Savaşı sırasında, birçok kompozit malzeme geliştirilmiş ve laboratuvarından gerçek üretime taşınmıştır (Harish, 2007; Ngo, 2020).

Kabaca birbirine karışmayan iki veya daha fazla katının bileşimiyle oluşan katı malzemelere “kompozit malzeme” denir. Daha ayrıntılı bir tanımla iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı türdeki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya getirmek ya da farklı özellikli yeni bir malzeme ortaya çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro ölçekte birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere “kompozit malzeme” denir (Şahin, 2000).

Milton (2004) çalışmasına göre kompozitler, atomik ölçekten çok daha büyük ölçekte heterojen olan malzemelerdir. Buna karşılık onların bu heterojenlikleri bize geleneksel fiziksel hesaplamalar yapmak imkânı da sağlar. Makroskopik ölçekte en azından orta bir boyut aralığında, istatistiksel bir homojeniteye sahip oldukları söylenebilir.

Bir malzemeyi kompozit olarak adlandırmak için aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- İnsan yapısı /tasarlanmış olmalıdır.
- Farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip, ara yüzey teşkil eden en az iki malzemedenden oluşmalıdır.
- Malzemelerden herhangi biriyle elde edilemeyen mekanik özellikleri sağlayabilmelidir.
- Optimum özelliklerin elde edilebilmesi için kompozit malzemenin oluşturulması esnasında bir malzeme diğerinin içine kontrollü şekilde karıştırılmalıdır.
- Kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması gerekir.

Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik spesifik ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gereklidir. Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, ham malzeme özellikleri, çevre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir (Onat, 2015).

Ayrıca kompozitlerin taşınması gereken yapısal özellikler için şunlardan bahsetmemiz gerekir:

- Kompozit, bir karışım olmasına rağmen bir çözelti değildir yani çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz.
- Bileşenler arasında atomik düzeyde bir alışveriş olmaz, dolayısıyla kompozit bileşenleri arasında kimyasal etkileşim olmaz.
- Malzemelerin atomik seviyede bir karışım oluşturması ve yeni bir çözelti oluşturması durumunda, bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olarak adlandırılır.
- Karışımın nanometre boyutundaki partiküller ile meydana gelmesiyle oluşan bu tip kompozitler nano kompozitler olarak adlandırılır (Zor, 2018).

### **1.5.1. Kompozitlerin sınıflandırılması**

Kompozitler takviye elemanlarına veya matrislerine göre sınıflandırılabilir.

#### **1.5.1.1. Takviye elemanlarına göre kompozitler**

Kompozitler, kullanılan takviye elemanına göre fiber takviyeli, tanecik/parçacık takviyeli ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırılırlar.

Parçacık takviyeli kompozitlerde, parçacıklar bütün yönlerden yaklaşık eşit boyuttadırlar. Platelet, küre, düzenli veya düzensiz şekillerde veya karbon nanotüp olarak bulunabilirler. Partikül takviyeli nanokompozitlerde parçacıklar, genellikle matris içinde zorlukla dağıtılabildikleri için %40-50 veya daha düşük oranda parçacık taşırlar.

Fiber takviyeli kompozitlerde, fiber oranı, parçacık oranından daha fazladır ve bu da malzemenin performansını bütünüyle etkiler. Fiber kompozitler, sürekli ve süreksiz olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli fiber kompozitler genellikle tercih edilen bir yönelime sahipken süreksiz fiber kompozitler rastgele bir yönelime sahiptir. Bunlardan birincisine tek yönlü, dokuma kumaşlar ve sarmal sarım örnek verilebilirken ikincisine kıymık fiberler ve fiber matlar verilebilir.

%60-70'e varan oranlarda farklı yönelimlerdeki sürekli fiberlerin istenen sertlikte ve mukavemette tek yapraklarının sıkıştırılmasıyla laminant malzemeler hazırlanır (Hasan, 2020).

Parçacık takviyeli kompozitler, takviye unsuru olarak küçük parçacıkların kullanıldığı kompozitlerdir. Bu tip kompozitler takviye unsurunun ortalama partikül iriliğine göre büyük parçacıklı ya da dispersiyonla güçlendirilmiş kompozitler olarak sınıflandırılabilir. Birinciler, milimetre veya daha büyük boydaki parçacıklar ana yük taşıyıcılarıdır ve matris ara yüzeyindeki deformasyonu azaltma eğilimindedirler. Bu kısıtlamalar, büyük parçacıklı kompozitlerde ana güçlendirme mekanizmasıdır. İkiciler ise dispersiyon güçlendirici kompozitlerdir ve nanometre boyutundaki partikülleri kullanır. Büyük partiküllü kompozitlerin aksine, mekanik bir strese maruz kaldığında, yükün büyük kısmını matris taşır. Bu durumda güçlendirme mekanizması atomik düzeyde gerçekleşir ve dağılmış parçacıklar tarafından matris boyunca kırılma çizgilerinin yayılmasının engellenmesine dayanır.

Elastisite modülü gibi bir kompozitin mekanik özelliklerinin değer aralığı, karışımlar kuralı olarak bilinen temel bir ilke kullanılarak bulunabilir. Bu kural, bir kompozit malzemenin mekanik özelliğinin, söz konusu mekanik özelliğin tahmini teorik alt ve üst sınırları arasında kaldığını belirtir. Bu tahmin, kompoziti oluşturan malzemelerin bireysel mekanik özellikleri ve bunların hacim fraksiyonları kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama da bir kompozitin özelliğinin, onu oluşturan parçaların özelliklerinin hacim bazında ağırlık ortalamasıyla ilgili olduğu varsayımına dayanır ve şu formüllerle ifade edilir.

$$E = E_m V_m + E_i V_i \quad (1)$$

$$E = \frac{E_m V_i}{E_m V_i + E_i V_m} \quad (2)$$

(1) ve (2) nolu denklemlerde; E, elastisite modülünü V, hacim fonksiyonunu gösterirken m ve i alt simgeleri sırasıyla matrisi ve parçacık fazlarını temsil eder (Egbo, 2020; Ahmed ve Johns, 1990).

Tabakalı kompozitler yassı takviye elemanları taşıyan kompozitlerdir. En sık kullanılan takviye elemanları cam, mika, gümüş ve alüminyumdur. Bu kompozitler düzlem dışı yüksek eğilme modülüne, yüksek dayanıma sahip oldukları gibi aynı zamanda düşük maliyetlidirler. Ancak tabakaların yönlendirilebilmeleri zordur ve bu ancak sınırlı malzemelerle gerçekleştirilebilir (Arslan, 2011; Anonim, 2017).

### 1.5.1.2. Matrislerine göre kompozitler

Kompozit malzemeler matrislerine göre:

- a. Metal
- b. Seramik türevi
- c. Polimerik esaslı

olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin %90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir (Bağcı, 2006).

- Metal matrisli kompozitlerin ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımlarından oluşur. Bu kompozitlerde metal matris içine katılan dağılım fazı değişik şekillerde bulunabilir. Metal matrisli kompozitler, takviye elemanlarına göre farklı üstünlükler sergileyebilir. Örneğin seramiklerin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özelliklerinin bir araya getirilmesiyle aşınmaya dayanıklı ve gerilme mukavemeti yüksek malzemeler hazırlanabilir.
- Seramik kompozitleri tercih edilir yapan başlıca özellikleri, ısıya dayanıklı ve hafif olmalarıdır ( $d = 1.5-3.0 \text{ g/cm}^3$ ). Yüksek sıcaklıkta çalışacak parçalarda tercih edilmekle birlikte termal şoklara karşı dayanıksız, sert ve kırılğandır. Bu yüzden düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler. Bununla beraber yüksek elektrik yalıtkanlığına sahiptirler (Seydibeyoğlu, 2012; Kaya, 2016). Süneklik bir malzemenin şekil değiştirmeye ne kadar yatkın ve kabiliyetli olduğunun bir göstergesidir. Çekilen malzemenin kopmadan hemen önce gösterdiği uzamayla gözlenebilir. Tokluk ise bir malzemenin enerjiyi absorbe etme yeteneğine verilen isimdir. Doğrudan ve tek faktör olmamakla birlikte sünek malzemelerin daha yüksek tokluğa sahip oldukları söylenebilir (Anonim, 2021).
- Polimerik kompozitler; kompozit malzemelerin %90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir (Bağcı, 2006). Bu noktada polimerlerin kullanım alanlarının çeşitlenerek arttığını hatırlamak yararlıdır. Çeşitlenen kullanımlarının gerektirdiği mekanik, ısı ve elektriksel özellikleri sağlayan polimerlerin geliştirilmesi ya da mevcut polimerlerin katkı maddeleri ile istenilen özelliklere getirilmesi önem kazanmış ve bu yönde yapılan çalışmalar artmıştır (Şen, 2010). Polimerik kompozitler genellikle fiber ya da parçacık takviyeli olarak hazırlanmaktadır.

Kompozitler farklı kombinasyonlarıyla benzersiz bir üretim ve tasarım esnekliği gösterirler. Bu nedenle çelik gibi geleneksel malzemelerden farklı olarak kompozitlerin özellikleri için sabit değerler yoktur. Bununla birlikte, çoğu kompozitte ortak olan bir karakteristik özellik, düşük ağırlık-güç oranıdır. Bu özellik, onların biyomedikal, otomobil ve havacılık endüstrileri gibi çok çeşitli alanlarda da kullanılmasını sağlar. Genel olarak kompozitler, önceden belirlenmiş belirli bir yük taşıma kapasitesine ve diğer malzemelerden daha üstün olan diğer performans özelliklerine sahip olacak şekilde tasarlanır. Bu tür özellikler şunları içerir:

- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek yorulma direnci
- Yüksek darbe dayanımı
- Düşük ağırlık-güç oranı
- Düşük ısı ve elektrik iletkenliği
- Yüksek aşınma direnci
- Sürünmeye dayanıklılık (Egbo, 2020).

## 1.6. Nanokompozitler

Nanokompozitler kombinasyon özellikleri ve sundukları tasarım imkânlarıyla yüksek performanslı malzemeler olduklarını kanıtlamışlardır. Üretimde yıllık %25'e varan artışları ayrıca mühendislik plastiklerinin ve elastomerlerin üretiminde karşılaştıkları yoğun taleple ambalaj sanayiinden biyomedikal uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına ulaşmışlardır (Camargo ve ark., 2009).

Nanokompozitler, matris adı verilen bir dağılım ortamından ve bu ortamda üç boyutlu bir ağ oluşturan, biri diğerinde dağılmış en az iki fazdan oluşan malzemeleri ifade eder (Cao, 2004). Bir başka ifadeyle nanokompozitler, nano tüpler, nano parçacıklar veya nanolaminer yapıların oluşturduğu bir faza sahip olan kompozitlerdir. Bütün kompozitler gibi çok fazlıdır. Taşıdıkları nano boyutlu fazların en az 10-100 nm boyut aralığında olması, ayırt edici özellikleridir (Sen, 2020).

Nanokompozitler, saf polimerlerle karşılaştırıldığında, önemli derecede geliştirilmiş mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özellikler sergilemektedirler (Sen, 2010).

Günümüzde farklı mühendislik malzemelerinin sınırlamalarının üstesinden gelmek ve faydalı alternatifler sağlamak için nanokompozitler ortaya çıkmıştır. Nanokompozitler, matris ve dağılmış faz malzemeleri temelinde sınıflandırılabilir (Wang ve ark., 2012; Sen, 2020).

Nanokompozit malzemeler, polimer içerip içermemelerine göre organik ve inorganik nanokompozitler olarak ikiye ayrılabilir. Polimer içermeyen inorganik nanokompozitler de kendi içlerinde, taşıyıcı fazlarına göre metalik, seramik ve seramik-seramik bazlı nanokompozitler olarak sınıflandırılabilir (Khandoker ve ark., 2011; Sen, 2020).

Nanokompozitler, inorganik nanokümler, fullerenler, killer, metaller, oksitler veya yarı iletkenlerin, çok sayıda organik polimerle veya organik ve organometalik bileşiklerle biyolojik moleküllerle enzimlerle veya sol-jel türevli polimerlerle karıştırılmasıyla oluşturulabilir (Sen, 2020).

### **1.6.1. Metal matrisli nanokompozitler (MMNC)**

Metal matrisli nanokompozitler, matris olarak metalden ve takviye olarak seramikten oluşur. Bu tip kompozitler sürekli ve sürekli olmayan takviyeli malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde çoğu metal ve alaşım matris malzemeleri olarak kullanılabilir ve bunlar, belirli bir sıcaklık aralığında kararlı olması gereken dağıtıcı malzeme gerektirir. Seçim için yol gösterici yön esas olarak matris malzemesine bağlıdır. Yalnızca hafif metaller düşük yoğunluklarından kaynaklanan bir duyarlılığa sahiptirler. Titanyum, alüminyum ve magnezyum özellikle havacılık uygulamalarında çok kullanılan metallerdir. Metalik matrisli malzemelerin yüksek mukavemet sunması gerekiyorsa, yüksek modüllü takviyeler gereklidir ki bu sayede elde edilen kompozitlerin mukavemet-ağırlık oranı, alaşımların çoğundan daha yüksek olacaktır (Gupta ve ark., 2016; Tjong ve Ma, 2000).

### **1.6.2. Seramik matrisli nanokompozitler**

Seramik matrisli nanokompozitlerde hem matris hem de takviye fazı, oksitler, nitrürler, boritler, silisitler vb. gibi bir seramikten oluşur. Bazı durumlarda, seramik

matrisli nanokompozitler, ikinci bileşen olarak bir metal de taşıyabilir. İdeal durumda, seramik, nanoskopik özellikleri iyileştirmek için birbiri içinde dağıtılır. Bu kombinasyonun nanokompozitlerinin sırasıyla tribolojik ve korozyon özellikleri ile birlikte optik, elektriksel ve manyetik özellikleri iyileştirdiği bulunmuştur. Seramik matrisli nanokompozitlerin ana uygulaması ince filmlerdedir. İnce filmler, alttaki bir substrat üzerinde biriktirilen, birkaç nm ile onlarca µm kalınlığındaki katı tabakalardır. Bu da teknik yüzeylerin işlevselleştirilmesinde önemli rol oynar. Seramiklerdeki nanokompozit tabakalar  $TiO_2$  ve Cu ile içi boş katot tekniği kullanılarak üretilmiştir. Hazırlanan nanokompozitlerin, yüksek mekanik sertlik, küçük sürtünme katsayıları ve korozyona karşı yüksek direnç gösterdiği saptanmıştır (Hernandez ve Bautista, 2005; Gupta ve ark., 2016).

### **1.6.3. Polimerik nanokompozitler**

Nano boyutlu parçacıklarla takviye edilen polimer matrisli kompozitler, “polimerik nanokompozitler” olarak adlandırılmıştır. Polimerik nanokompozitler, katkı bileşeninin boyutundan kaynaklanan yüksek bir alan/hacim oranına sahiptir. Bundan dolayı da söz gelimi çok düşük kil yoğunluklarında bile büyük yüzey alanıyla artan fazlar arası etkileşim, mekanik ve fiziksel özelliklerin artışı sağlayabilmektedir. Nanokompozitlerin yanmazlık, ısıl kararlılık, fiziksel, mekanik vs. özellikleri geleneksel kompozitlere göre çok daha gelişmiştir (Yılmazbayhan, 2006). Bunlara ek olarak yüksek elastiklik modülü, yüksek mukavemet, düşük gaz geçirgenliği ve biyobozunur polimerlerin kullanılması ile artan biyobozunurluk özellikleri çok iyi elektriksel özellikleri de dikkate alınmalıdır (Köytepe ve ark., 2007).

Polimerik nanokompozitler özellikle son elli yıldır, günlük hayatın vazgeçilmez ögesi olmuşlardır. Organik kimyasal kökenli yapıları, doğanın düzenliliği ile çeşitli inorganik bileşenlerin bir kompozisyonu ile güçlendirilerek, bu yapıların, kara, hava ve deniz taşıtlarının çoğu unsurlarında, tekstil, boya, inşaat, elektrik-elektronik, gıda, ambalaj, uzay araçları, tıp gibi sahalarda yaygın olarak kullanılmasına imkân sağlamıştır (İçli, 2006).

Polimerik nanokompozitlerin esas avantajı nanometre boyutundaki katkı malzemeleriyle istenilen makroskopik özelliklerin oluşturulma kapasitesidir. Birçok

polimerik nanokompozitler, nanometre ölçütündeki tanecik boyutları, nitelik ve şekil özellikleri ile oynanılarak elde edilmektedir. Bunlar:

- Kil-polimer nanokompozitler
- Metal-polimer nanokompozitler
- Karbon nanotüp polimer nanokompozitler olarak gösterilebilir (İçli, 2006).

Ancak, nano boyutlu katkı malzemeleriyle hazırlanan kompozitlerde bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. Karşılaşılan en önemli problemlerden biri, nano tozların topaklaşmaya yüksek eğilim göstermeleridir ki bu da hedeflenen özelliklerden sapmaya yol açabilmektedir (Altan, 2014).

#### 1.6.4. Polimerik nanokompozit hazırlama yöntemleri

Polimerik nanokompozitler başlıca üç yöntemle sentezlenirler:

- Çözeltiye ekleme
- Eriyiğe ekleme
- İn situ (eşzamanlı) polimerizasyon.

Çözeltiye ekleme yöntemi, yoğun çalkalamadan (örneğin geri akış, mekanik/manyetik karıştırma, kuvvetli çalkalama, yüksek kesme homojenleştirme, banyo/sonda sonikasyonu) yararlanan özellikle CNT esaslı polimer nano-kompozitleri oluşturmak için en yaygın tekniktir. Bu yöntem, CNT'lerin polimer ile titiz ve kapsamlı bir şekilde karıştırılmasına yardımcı olur. Nanotüpün demetlenmesini ve bunların ana polimer matrisi içinde dağılmasını kolaylaştırmak için bir çözücü içinde homojenize edilerek aynı çözeltide çözünmüş polimer matris içinde dağıtılmasına dayanır. Daha sonra çözelti uçurularak nanokompozit film şeklinde elde edilir.

Bu tekniğin, çözücüde çözünen polimerlerle sınırlı olduğuna dikkat etmek gerekir. Daha iyi bir dağılım sağlamak ve yüksek güçlü çalkalamanın yol açabileceği olası deformasyonu gidermek amacıyla yüzey etken maddeler kullanılabilir veya CNT'lerin fonksiyonlandırılmasından yararlanılabilir. Bu yöntem ancak deneysel çalışmalar için etkin bir yöntemdir. Çünkü çözücü kullanımı, çevreye zarar verme potansiyelini taşır.

Eriyiğe ekleme yöntemi, özellikle termoplastik nanokompozitlerin sentezi için tipik standart yaklaşımdır. Polimerin yüksek sıcaklıkta tavlanması, dolgu materyalinin eklenmesini ve nihayet tekdüze/homojen bir kompozit durumuna gelinceye kadar

karışımın yoğurulmasını içerir. Çözücü içermediği için çevre dostudur. Buna ek olarak enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi endüstriyel süreçlerle uyumludur. Bu da daha kullanışlı olmasını ve dolayısıyla daha ekonomik olmasını sağlar. Dezavantajı dolgu malzemesini deforme edebilmesi ihtimalidir.

İn situ polimerizasyon yöntemi kısaca nanopartiküllerin bir monomere veya monomer çözeltisine eklenmesini izleyen polimerleşme sırasında matriste kendiliğinden dağılmalarına dayanır. Polimerizasyon sırasında ısıtma ve karıştırma uygulanır ve kimi zaman bir başlatıcı da kullanılır. Montmorillonitlerin takviye bileşeni olarak kullanıldığı durumlarda, yığılmış silikatların monomer varlığında şişmesi beklenir. Böylece polimer oluşumu ara katmanlar arasında meydana gelebilir. Çözelti veya hatta eriterek işlemenin aksine, yerinde polimerizasyon, nanopartiküllerin makromoleküller yerine kısa zincirli moleküllerle karıştırılmasını içerir.

Koo (2006) başka bir sınıflandırma önermiştir. Bu sınıflandırmaya göre polimerik nanokompozit sentez yöntemleri şöyle sıralanabilir.

Katı termoset ve termoplastik polimerlerle katı nanopartiküller için:

- Çözücüye ekleme
- Eriyiğe ekleme
- Üç merdaneli öğütme

Sıvı termosetler ve termoplastikler için ise:

- İn situ polimerizasyon
- Emülsiyon polimerizasyonu
- Yüksek kesim güçlü karıştırma yöntemlerinin uygunluğunu öngörmüştür.

Üç merdaneli öğütme yöntemi, sıvı bir polimere, katı nano partikülleri katmak için düşük kesim kuvvetli karıştırma olarak kabul edilir.

Emülsiyon polimerizasyon ortamının ana bileşenleri monomer(ler), dağıtıcı ortam, emülgatör ve suda çözünür başlatıcı içerir. Dispersiyon ortamı, hidrofobik monomerlerin yüzey aktif maddeler tarafından emülsiyon haline getirildiği sudur. Yüzey etken madde konsantrasyonu, kritik misel konsantrasyonunu (CMC) aştığında, yüzey etken madde küresel misel şeklinde toplanır. Böylece yüzeydeki yüzey gerilimi azalır. Bunun sonucunda hidrofobik monomerler misel çevresine girer ve tüm monomer

damlacıkları tükenene kadar reaksiyon devam eder. Sonuç olarak misel içeren monomerler boyut olarak artar (El-Hoshoudy, 2018).

Polimerik nanokompozit sentezinde emülsiyon polimerizasyonu, prensip olarak killere adsorbe edilmiş misellerde yürütülen bir polimerizasyona dayanır. Emülsiyon polimerizasyonu yönteminde genellikle metil metakrilat ve stiren, monomerler halinde suda, uzun bir süre farklı derişimlerdeki silikatlarla ve bir emülgatörle birlikte dağıtılır. Monomer, bir kısmı polimer parçacıklarının içine yerleşmiş bir kısmı da polimer parçacıklarına adsorbe olmuş silikatlarla birlikte polimerleştirilir ve böylece nanokompozit haline gelir (Anandhan ve Bandyopadhyay, 2011).

Yüksek kesim güçlü karıştırma yönteminde ise katı ya da sıvı içinde dağıtılmış nanopartiküller, sıvı polimer matrisiyle yüksek kesim güçlü bir ekipman kullanılarak karıştırılır.

#### 1.6.5. Polimerik nanokompozitlerin özellikleri

Polimerik nanokompozitlerin özellikleri kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- Mekanik özellikler
- Isı-distorsiyon sıcaklığı
- Isıl stabilite
- Alev geciktirme özelliği
- Gaz bariyer özellikleri
- İyonik- elektrik iletkenlik
- Optik şeffaflık
- Biyobozunur polimerik nanokompozitlerin biyobozunurluğu (Beşergil, 2012).

##### Mekanik özellikler:

Üzerinde uzlaşmış pek çok sonuca göre polimer matrisli nanokompozitlerin fiziksel ve mekanik davranışlarındaki karakteristik eğilimlerini, polimerin kristalinitesi ve amorfizmi ile birlikte matrisin ve dolgu maddesinin etkileşimiyle formüle edilebileceğini söyleyebiliriz (Suvorova ve ark., 2012).

##### Isı-distorsiyon sıcaklığı:

Bir polimerik malzemenin ısı-distorsiyon sıcaklığı ona uygulanan birim yüke oranla malzemenin ısı direnci olarak ifade edilir. Kil katkısıyla elde edilen HDT

değerlerine geleneksel katkılarla veya kimyasal modifikasyonlarla ulaşmak mümkün değildir. Örneğin, saf naylon 6'nın HDT değeri (65°C), organik modifiye tabakalı silikatlar (OMLS) ilavesiyle 90°C'ye kadar yükselir (Beşergil, 2012).

#### Isıl stabilite:

Bugüne kadar polimerik nanokompozitlerin ısıl stabilitesinin gelişimiyle ilgili mekanizmalar tam olarak anlaşılamamıştır. Mevcut araştırmalar henüz özel bir mekanizma ortaya koyamamıştır. Buna rağmen polimer nanokompozitlerin termal stabilizasyon mekanizmalarının, nanokompozit yapısı, polimerin morfolojik özellikleri ve bileşenlerin arayüzey etkileşimleri ile ilgili olduğu söylenebilir. Yapının kendisi, dolgu içeriği, üretim yöntemi ve bileşenlerin karışabilirliği dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenir. Bariyer oluşumu, sınırlı termal hareketler, radikal yakalama, sorpsiyon ve katalitik etkilerin her biri, polimerik nanokompozitlerde termal stabilite geliştirme mekanizmasına katkıda bulunan önemli özellikler olarak kabul edilir (Pielichowski ve ark., 2010). Isı salma hızındaki azalma ve termal kararlılıktaki artış, polimerlerde nanoparçacıkların mevcudiyetinin neden olduğu ana olgudur. Termal analiz kullanılarak çeşitli nanoparçacık/polimer kombinasyonları için termal kararlılıkta artış gözlemlenmiştir. Bu artış, bariyer etkilerinden veya polimer zincirlerinin hareketindeki bir kısıtlamadan ve belirli bir sıcaklıkta yoğunlaştırılmış malzemenin kalan ağırlığını artıran katalitik etkilerden kaynaklanabilir (Lopez-Cuesta, 2012).

#### Alev geciktirme özelliği:

Nanokompozitlerin alev geciktiriciliği üzerine birçok mekanik çalışma devam ediyor olsa da küçük boyutlarından dolayı nanoparçacıkların sinterleşebileceği ve bir polimerin yüzeyinde onu ısıdan yalıtın bir seramik-karbonkok oluşturabileceğine dair genellikle kabul edilen bir bakış açısı vardır. Polimer eriyiğinin reolojisindeki değişimle ilgili, genellikle gözden kaçın, mikro veya nano ölçekli parçacıkların başka bir fiziksel etki modu vardır. Pek düşük yüzdeli bir yükleme bile eriyik akışını önemli ölçüde azaltabilir. Erime viskozitesindeki bu değişiklik, alev geciktirici testini geçmeyi kendi başına mümkün kılmaz. Ancak diğer alev geciktiricilerle birlikte performansın iyileştirilmesi için önemli bir araç olabilir (Levchik, 2007).

#### Gaz bariyer özellikleri:

Katmanlı silikatlarla doldurulmuş polimerler, doldurulmamış polimerler veya yaygın mikrokompozitlerle karşılaştırıldığında, çeşitli özelliklerde gelişmeler

göstermiştir. Çok düşük hacimli fraksiyonlarda yüksek en-boy oranına sahip nano tabakaların katılması polimer nanokompozitlerin çekme modülünü, mukavemetini, gaz bariyer özelliklerini, ısı direncini iyileştirebilir ve yanıcılığı azaltabilir. Bu nedenle, nanoplateletlerin dahil edilmesiyle ticari ambalaj kaplarının kalınlığında bir azalma ve bariyer özelliklerinde iyileşme beklenebilir. Genel olarak, nanokompozitlerde dağılmış parçacıkların en az bir kritik boyutu nanometre aralığında (<100 nm) olmalıdır (Ghanbari ve ark., 2016).

#### İyonik-Elektrik iletkenlik:

İletken dolgu maddeleri ve yalıtkan matrislerden oluşan kompozitlerin elektriksel olarak iletken davranışını açıklamak için perkolasyon teoremi uygulanabilir. Bu teoreme göre iletken dolgu içeriği kademeli olarak arttığında, kompozit yalıtkanlıktan iletkenliğe doğru geçer. Nanokompoziti iletken yapan en düşük dopant konsantrasyonuna perkolasyon eşiği denir. Perkolasyon (sızma) geçiş aralığının altında elektron yolları yoktur ve elektriksel özelliklere matris malzemesi hâkimdir (Ponnamma ve ark., 2018).

Perkolasyon teorisi, bir ağ yapısı içindeki nesnelerin bağlanabilirliğini ve bu bağlantının, sistemin makro ölçekli özellikleri üzerindeki etkilerini açıklar. Sızma modellerinin temel odak noktası, yayılan bir ağ yapısının oluşumu üzerine bir sistemin davranışındaki keskin geçişi tanımlayan kritik fenomenlerin incelenmesidir. Perkolasyon modelleri, artan dolgu fraksiyonu ile tipik olarak keskin bir yalıtkan-iletken geçişinin gözlemlendiği polimer kompozit sistemlerin elektriksel davranışını tanımlamak için başarıyla uygulanmıştır. Perkolasyon teorisi aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\sigma \approx \sigma_0 (P - P_c)^t \quad (3)$$

Eşitlik (3)'te  $\sigma_0$  bir sabittir.  $P$  CNT ağırlık kesri,  $P_c$  ise perkolasyon eşiğine karşılık gelen CNT ağırlık kesri ve  $t$  dolgu maddelerinin iletkenliğine, temas direncine ve ağ topolojisine bağlı olan bir ön üslü faktördür (Fogel ve ark., 2015).

#### Optik şeffaflık:

Nanoparçacıkların boyutlarının görünür ışığın dalga boyundan daha az olması şeffaf nanokompozitlerin üretilmesine imkân vermektedir. Optik özellikleri korunabilen nanokompozitler, ambalaj, kaplama ve kozmetik üretiminde önemli yer tutmaktadır (Holister ve ark., 2003).

Görünür aralıktaki şeffaflık en önemli polimer özelliklerinden biri olduğundan, ekranlama özelliklerine sahip yeni malzemeler oluşturmak için diğer spektral aralıklarda

polimerik nanokompozitlerin absorpsiyonunu ayarlamak için inorganik nanoparçacıklar kullanılmıştır. Bu bağlamda, UV ve IR kalkanlarının sentezi, polimerlerin dış mekân stabilitesini geliştirmek veya güneş pili uygulamaları için kaplamada özel ilgi alanıdır (Roppoloveark., 2016).

#### Biyobozunur polimerik nanokompozitler:

Endüstride üstün özellikleri ile pek çok alanda kullanılan malzemelerdir. Doğadan parçalanmayan sentetik polimerlerin olası kıtlığına karşı biyobozunur polimerik nanokompozitlerin, gelecekte önemli bir rol oynayacakları düşünülmektedir. Bu nedenle, son on yılda birçok araştırmacı biyolojik olarak parçalanabilen polimerler ve özelliklerinin modifikasyonu üzerine odaklanmıştır. Bu bağlamda, organik ve inorganik nanomalzemelerin kullanımının biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin nanokompozitlerinin hazırlanması için daha ikna edici bir yol olduğu öne sürülmüştür. Dünya pazarının artan talebini karşılamak için, saf polimere kıyasla örneğin mekanik özellikler, bariyer özellikleri, termal kararlılık, kristalleşme hızı, bozunma hızı ve erime mukavemeti gibi gelişmiş özelliklere sahip bu çevre dostu nanokompozitler gözle görünür bir avantaja sahiptir (Bari ve ark., 2016).

#### **1.6.6. Nanokompozit uygulamaları**

Nanokompozitlerin geliştirilmiş özellikleri, daha düşük kalınlıkta filmler ve daha düşük takviye kullanımı sayesinde katı atıkların azaltılması ve özellikle ambalaj uygulamaları için geliştirilmiş üretim kapasitesi gibi birçok fayda sağlar. Ayrıca nanokompozit sistemlerin hem yeni materyallerin üretilmesini hem de yakıt hücreleri, sensörler ve kaplamalar gibi bilinen cihazların performansının artırılmasını içeren sayısız umut verici uygulaması mevcuttur. Seramik, metalik ve polimerik nanokompozitler için aşağıdaki örnekler verilebilir:

Seramik nanokompozitlerden başlıca mühendislik malzemeleri, optik fiberler, katalizörlerinin üretiminde ve ayrıca mikroelektronik ve mikroelektromekanik uygulamalarında yararlanılır.

#### Metalik nanokompozitler için potansiyel uygulamalar

Katalizörleri, manyetik cihazlar, aşınmaya dayanıklı kaplamalar ve termal olarak derecelendirilmiş kaplamalar, havacılık, deniz ve otomotiv yapıları, elektronik

paketleme, mikroelektrik uygulamaları, yüksek sıcaklık uygulamalarında yapısal malzemeler olarak özetlenebilir.

Polimerik nanokompozitlerin uygulanma alanlarına örnekler: Otomotiv endüstrisi (Naylon-6/LS otomotiv triger kayışı), havacılık (PEO/LS uçak içleri, yakıt depoları, elektrikli ve elektronik parçalardaki bileşenler, frenler ve lastikler), savunma sanayii, tekstil, mikroelektronik uygulamaları, tıbbi cihazlar, dişçilik malzemeleri (PMMA/SiO<sub>2</sub>) gıda ambalajları, bataryalar (PLA/LS) vs. olarak verilebilir (Camargo ve ark., 2009).

### **1.6.7. Nanokompozitlerin dezavantajları**

Nanokompozit uygulamasının dezavantajları, çoğunlukla, kompozitin yığın matrisine nanoparçacık eklenmesiyle ilişkili dayanıklılık ve darbe performansı ile ortaya çıkarken bunun yanı sıra:

- Formülasyon/özellik/yapı ilişkisi arasındaki yetersiz bilgilenme
- Daha basit partikül eksfoliasyonu ve dispersiyon ihtiyacı (Eksfoliasyon, nanokompozit malzeme matrisinde tabakalı dolgu partiküllerin bireysel nanoelementlere ayrılmasıdır.)
- Maliyet etkinliği

olarak sıralanabilir (Omanović-Miklićanin ve ark., 2020).

### **1.6.8. Polimerik nanokompozitlerin dezavantajları**

Polimerik matris ile birleştirilen takviye edici dolgu maddeleri, kompozite yüksek sertlik, mukavemet, alev fazlalığı, çizilme/aşınma direnci, tokluk, termal/elektriksel iletkenlik, elektromanyetik koruma, termal genleşme katsayısı, aşınma ve sönümlenme dirençleri gibi tercih edilen nitelikler kazandırır. Polimerik nanokompozitler, matrisinde dağılmış nanoparçacıklar veya nano dolgu maddeleri içeren bir polimerden oluşur. Mikro parçacıklardan nanoparçacıklara geçişin yüzey alanı-hacim oranını artırması beklenmektedir. Bu da parçacıkların yüzeyinde atomların davranışında belirgin bir artışa neden olur. Diğer parçacıklarla reaksiyona girdiklerinde parçacıkların özelliklerini etkiler. Nanopartiküllerin daha yüksek spesifik yüzey alanı nedeniyle, karışım içindeki diğer partiküllerle etkileşim daha yoğun hale gelir. Bu etkileşim, yüksek

sıcaklık kapasitesi, korozyona karşı direnç, gürültü sönümlenme, düşük maliyetli/üretici, süneklik, yüksek özgül sertlik ve mukavemet, yüksek termal iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısı gibi olumlu özelliklerin elde edilmesini sağlamıştır. Fakat buna rağmen aynı etkileşimler, polimerik nanokompozitlerde bazı kısıtlılıklara da yol açar. Örneğin polimerik nanokompozitler, kontrol edilebilir karıştırma/birleştirme, dağılımın stabilizasyonu ve dağılmış fazın uyumunu gerektirir. Dolgu oranındaki artışın kompozitin modülünü de arttırmasına rağmen bu durum tokluğu etkiler. Malzemeler daha kırılğan hale gelir ve mukavemet azalır. Ayrıca polimerik nanokompozitlerin viskoziteleri de nanodolgu içeriği ile artar ve bu da üretimi zorlaştırır. Yüksek viskoziteli bir polimer eriyik akışı ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama sırasında büyük kuvvetlerin ortaya çıkmasına veya kısa atışlara neden olur. Nanopartiküllerin en-boy oranı, yüksek yüzey alanı, düşük partikül iriliği faktörler onların matris içindeki homojen dağılımlarını etkiler. Dağılımda aglomere bölgelerin oluşumuna yol açabilir. Böylece polimerik nanokompozitlerin başlıca kısıtlılıkları tekdüze olmayan dağılım/karıştırma güçlükleri, yüksek viskozite ve aglomerasyon oluşumu olarak belirlenebilir (Julkapli ve ark., 2015).

### **1.6.9. CNT katkılı polimerik nanokompozitler**

Kompozitler hakkında son zamanlarda CNT/polimer nanokompozit materyaller ile ilgili kapsamlı araştırmalar dikkat çekicidir. Dolgu malzemesi olarak düşük hacimli CNT ilavelerinin (<%5), (%10-40) oranındaki karbon siyahı, karbon lifi, karbon grafit gibi geleneksel dolgu (filler) malzemelerine nispeten karşılaştırılabilir özellik geliştirmeleri sağladığı söylenebilir (Harish, 2007).

Karbon nanotüpler nano düzeyde olağanüstü özellikler sergileyen malzemelerdir. CNT'lerin özelliklerini makroskopik seviyelerde kullanmakta standart yöntemler oluşturmak için bu alanda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Bu alanda yapılan geçmiş çalışmalardan bazıları, CNT'lerin çeşitli polimerlere çeşitli yöntemlerle katılması hakkındadır. İlk çalışmayı Ajayan ve ark. (1994), bir CNT-polimer kompoziti üzerinde yapmışlardır. Çalışmalarında saflaştırılmış ark deşarjlı MWNT'ler, mekanik karıştırma yoluyla bir sıvı-epoksi bazlı reçine içinde dağıtılmıştır. Sıkışan hava kabarcıklarını çıkarmak için tahliyeden sonra, malzemenin 2 saat sertleştirilmiş macunları 6°C'nin üzerinde ısıtılmış, ince dilimler kesilmiş ve TEM ile izlenmiştir. Kesim sırasında

MWNT'lerin çoğunluğunun kırılmak yerine gerinim yönünde yönlendiği gözlenmiştir. Bu sonuç öncelikle CNT'lerin mükemmel mekanik özelliklere sahip olduğunu ve ayrıca böyle bir malzemede anizotropinin bir akış tarafından uyarılabileceğini ortaya koymuştur (Bal ve Samal, 2005).

#### 1.6.10. CNT-polimerik nanokompozitlerin özellikleri

CNT'lerin ortaya çıkışı, polimerik nanokompozitlerin özelliklerini geliştirmek için sayısız imkânlar sunmuştur. CNT dolgulu nanokompozitlerin elektriksel, termal, dielektrik, reolojik ve mekanik özellikleri, saf polimerlere kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bununla birlikte bütün özelliklerin aynı anda geliştirilip geliştirilemeyeceği de belirsizdir. Polimer matrisin doğası, uyumlaştırma ya da fonksiyonlandırma gibi ön işlemler, yükleme seviyesi, CNT'lerin en boy oranları ya da uzunluk/çap oranları, yüzey etken madde kullanımı gibi etkenlerin, nanokompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde etkili olduğu bilinmektedir.

Polimerik CNT nanokompozitlerin geliştirilmesindeki zorluklar, başlıca CNT'lerin yüksek maliyetinden ve teorik mekanik güçlendirme potansiyellerinin gerçekleştirilmesindeki zorluktan kaynaklanmaktadır (Wagner ve Vaia, 2004).

İstenilen performansa sahip polimer/CNT kompozitlerinin hazırlanması için çok önemli bir faktör olan, CNT'ler ve polimer matris arasındaki arayüzey etkileşimleri hâlâ tam olarak anlaşılmamıştır. Bununla birlikte, CNT'lere olan artan talep, CNT'lerin ticari seri üretimini büyük ihtimalle hızlandıracak ve maliyeti büyük ölçüde düşecektir.

Yüksek performanslı CNT/polimer nanokompozitler geliştirmenin zorlukları,

- (i) Polimerik matriste CNT'lerin homojen dağılımı
- (ii) Polimerik matristen CNT'lere verimli yük transferini sağlamak için güçlü ara yüzey etkileşimleri ile ilgilidir.

Kimyasal olarak bağlanma olmadan, CNT'ler ve matris arasındaki yük transferi esas olarak elektrostatik ve van der Waals etkileşimlerinden gelir (Zhang ve ark., 2004).

Qian ve ark. (2000) çözelti-buharlaştırma yöntemiyle hazırladıkları kompozitte, polistirene ağırlıkça %1 nanotüp eklenmesinin, elastik modülde ve kopma stresinde sırasıyla %36-42 ve %25 artışla sonuçlandığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, kompozit uygulamalarda karbon nanotüplerin etkin kullanımı, bütünlüklerini bozmadan

matrisin her yerinde homojen olarak dağılma yeteneklerine büyük ölçüde bağlıdır. Ayrıca, kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmek için gerekli bir koşul olan CNT-matris arayüzü boyunca yük transferini sağlamak için iyi bir arayüz bağlantısı gerektiği bildirilmiştir (Andrews ve ark., 2002). Yük transferi plastik deformasyonda yükün, takviye elemanına aktarılması demektir (Gürbüz ve Mutuk, 2019).

Polimer matrisle karbon nanotüp etkileşimi üç ana mekanizmaya dayanır:

Mikro-mekanik kilitleme: Bu mekanizma nanotüplerin kompozitlerinde, karbon nanotüplerin atomik olarak pürüzsüz yüzeyleri nedeniyle zor olabilir. Altıgenlikten sapma çeşitli bükülmeler ve şekil bozuklukları mekanik kilitlemede bir ölçüde yardımcı olabilir.

Matris ve CNT'ler arasındaki kimyasal bağlar: Bu mekanizma bir stres transferine imkân veren kovalent veya iyonik bağ aracılığıyla ara yüzey etkileşimini iyileştirir.

CNT'ler ve matriks arasındaki zayıf van der Waals etkileşimleri: CNT ve polimer arasında kimyasal bağ olmadığında bunların arasındaki etkileşim, elektrostatik etkileşim ve Van der Waals kuvvetlerine bağlıdır (Swain ve Jena, 2010).

CNT dolgulu nanokompozitlerin elektriksel, termal, dielektrik, reolojik ve mekanik özellikleri, saf polimerlere kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bir özelliğin iyileştirilmesi bir diğer özelliğin kaybına yol açabileceğinden, özellikleri geliştirmekte zorluklarla karşılaşılabilir. Matris polimerin doğası, en boy oranı veya CNT'lerin gerçek uzunluk/çapı, ön işleme (kovalent işlevselleştirme, polimer veya yüzey aktif maddenin yüzey kaplaması), yükleme seviyesi, kullanılan işleme tekniği ve üçüncül fazın varlığı (örn. uyumlulaştırıcı), oluşturulan nanokompozitlerin özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu bilgilere dayanarak CNT-polimerik nanokompozitlerin önemli özellikleri şunlardır:

#### Elektrik Özellikleri

Diğer karbon esaslı dolgu maddelerine (karbon siyahı, grafit, karbon fiber) kıyasla CNT'lerin çok yüksek içsel iletkenliği ve düşük uzunluk/çap oranı, araştırmacılara elektrik ileten CNT katkılı nanokompozit sentezini çekici kılmaktadır. CNT'lerin katılması, aksi takdirde yalıtkan davranacak matrisle, elektriksel iletkenliğin başlamasını sağlar. Bu, elektronların dağılmış dolgu parçacıkları arasında kolayca zıplayabilmesi/tünel yapabilmesi için ana termoset matrisi içinde üç boyutlu elektriksel olarak iletken ağların oluşumuna bağlanabilir (Saini ve ark., 2011).

Matris polimer içinde ilk sürekli dolgu parçacıkları ağının oluşturulduğu minimum dolgu yüklemesi, süzülme (perkolasyon) eşiği olarak bilinir. Elde edilen elektriksel iletkenlik seviyesine bağlı olarak, bu iletken nanokompozitler, elektromanyetik girişim (EMI) koruması, şeffaf iletken kaplama, elektrostatik boyama ve elektrostatik yayılım dahil olmak üzere çok sayıda uygulamaya sahip olabilir (Baughman ve ark., 2002; Ramasubramaniam ve ark., 2003). Özellikle elektriksel olarak iletken CNT-polimer kompozitler, anti-statik paketleme uygulamalarında ve ayrıca elektronik, otomotiv ve havacılık sektörlerindeki özel bileşenlerde kullanılmaktadır. Belirli bir matris-dolgu kombinasyonu için kritik iletken dolgu yüklemesi (yani süzülme eşiği), elektrik iletkenliğini dolgu maddesinin azaltılmış hacim fraksiyonunun bir fonksiyonu olarak bir güç yasası fonksiyonuyla hesaplanabilir.

$$\sigma = \sigma_0 (V - V_c)^t \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te  $\sigma$  kompozitin elektriksel iletkenliği,  $\sigma_0$  karakteristik iletkenlik,  $V$  dolgu maddesinin hacim oranı,  $V_c$  süzülme eşiğindeki hacim oranı ve  $t$  kritik üstür (Saini ve ark., 2011). Aşağıdaki grafiklerde CNT yüzdelerine bağlı tipik perkolasyon (süzülme) davranışları görülmektedir.

Polimer matrisi ve katkı maddesinin yoğunluğunun aynı olduğu pratik durumlarda (örneğin, ICP'ler, CNT'ler veya grafen gibi organik dolgu maddeleri için), dolgu maddesinin kütle oranı,  $p$  ve hacim oranı ( $v$ ) aynı kabul edilebilir.

CNT/polimer kompozitleri, elektriksel iletkenlik için çok düşük sızma eşiği gösterir (Ma ve ark., 2010; Khan ve ark., 2016). Örneğin, MWCNT/polimer kompozitler durumunda hacimce %0.002'ye kadar sızma eşiği bildirilmiştir (Sandler ve ark., 2003; Khan ve ark., 2016).

CNT/polimer nanokompozitlerde süzülme eşiğinin dağılım, hizalama, en boy oranı gibi birkaç parametreye bağlı olduğu bulunmuştur (Ma ve ark., 2010; Spitalsky ve ark., 2010).

İyi dağılmış nanotüpler için nanotüp demetlerine göre daha yüksek en boy oranı elde edilir, bu da daha iyi dağılım ile sızma eşiğini düşürür. Sızma eşiği, polimer matrisindeki nanotüplerin hizalanmasından da önemli ölçüde etkilenir (Khan, 2016).

### Isıl Özellikler

Polimer kompozitlerin termal iletkenliği, birçok uygulama için önemli bir malzeme özelliğidir, ancak hala geniş çapta keşfedilmemiştir. Çoğu polimerin oldukça

düşük bir termal iletkenlik sergilemesi nedeniyle, bazı uygulamalar için bir iyileştirme elde etmek kesinlikle önemlidir (Gojny ve ark., 2006). Mükemmel termal iletkenliği göz önüne alınarak, şekillendirilmiş kompozitlerin termal iletkenliğini iyileştirmek için CNT'lerin çeşitli polimer matrislere çeşitli şekillerde katılması denenmiştir (Yuen ve ark., 2007). CNT polimer nanokompozitlerinin ısı iletkenliğinin, CNT içeriğinin yanı sıra, CNT'lerin dağılım durumlarına, polimer matrisle etkileşimlerine, en boy oranlarına ve ayrıca metal safsızlıklarının varlığına da bağlı olduğu bulunmuştur (Ma ve ark., 2010; Khan ve ark., 2016). Epoksi kompozitlerdeki çeşitli CNT tipleri (SWCNT, MWCNT, DWCNT) arasında, polimer kompozitlerin termal iletkenliğini en önemli ölçüde MWCNT'lerin iyileştirdiği bulunmuştur. Karbon nanotüpler, bir grafit yapı/kafes içinde bir araya getirilmiş karbon atomlarının tutarlılığı sayesinde yüksek bir termal iletkenlik sergiler (Gojny ve ark., 2006).

#### Mekanik Özellikler

CNT'ler, dünya üzerinde bilinen diğer tüm malzemelerden daha sert ve daha güçlüdür. Young'ın CNT modülünün TPa (terapascal) mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. Bunun da onları bugüne kadar bilinen en yüksek gerilme mukavemetine sahip malzeme haline getirdiği ve CNT'lerin kırılma olmaksızın yüksek gerilmeleri sürdürebildiği düşünülmektedir. Güncel ölçümde, bireysel değerlerin 0.4 ila 4.15 TPa arasında değiştiği 11 farklı nanotüpten ortalama 1.8 TPa değeri elde edildiği ayrıca gerilim mukavemetlerinin onlarca GPa'a kadar yüksek olduğu bildirilmiştir ki bu da onların çelikten bile güçlü olduğunu göstermektedir (Sato, 2011). CNT'lerin yüksek mukavemet ve elastik modül gibi olağanüstü mekanik özellikleri onları CNT-polimerik nanokompozitleri için özellikle cazip kılmıştır. Bu özelliklerinden dolayı örneğin NASA'nın uzay asansörü projesi için kompozit kablolar için dolgu malzemesi olarak aday gösterilmişlerdir (Anonim, 2005). Genel olarak, CNT-polimer nanokompozitlerin çekme modülünün ve mukavemetinin, nanotüp yüklemesi, polimer matrisindeki dağılım ve hizalama ile arttığı bildirilmiştir (Saini, 2012). Bununla birlikte, modülden farklı olarak, CNT'lerin yeniden toplanması, viskozite birikimi sorunları, tamamlanmamış CNT'lerin polimer tarafından ıslanması ve bunların zayıf dağılımı nedeniyle gerilme mukavemeti, CNT'lerin yüklenmesiyle monotonik bir artışı izlemez. Bu nedenle, yukarıdaki olumsuz faktörlerin üstesinden gelmek için optimum CNT yüklemesi ve araçlar, iyi mekanik özelliklere sahip kompozitleri gerçekleştirmenin anahtarıdır. Ayrıca,

nanotüp yığılması, izole edilmiş nanotüplere kıyasla nanotüplerin modülünü azaltır. Çünkü nanotüpler, aralarında yalnızca zayıf dağıtıcı kuvvetler içerir (Liao ve Li, 2001).

#### Dielektrik Özellikler

Yalıtkan veya iletken polimer matrislere CNT'lerin dahil edilmesinin, dielektrik özelliklerin iyileştirilmesini sağladığı gösterilmiştir. Bu iyileştirme etkisi, Maxwell-Wagner arayüzey polarizasyonu ile sonuçlanan CNT'ler/polimer arayüzlerindeki yüklerin lokalizasyonuna bağlanabilir. Dielektrik özelliklerin, CNT'lerin en/boy oranına, gerçek uzunluğuna, işlevlendirme durumuna, yükleme düzeyine ayrıca polimerik matrisin doğasına ve kullanılan işleme tekniğine bağlı olduğu bulunmuştur (Saini ve ark., 2011).

#### Reolojik Özellikler

CNT/polimer nanokompozitlerin reolojik özellikleri, kompozit işlemenin yanı sıra kompozit dinamikleri ve mikro yapının derinlemesine araştırması için önem taşır. Güçlü arayüzey bağlarının yokluğunda ve düşük nanotüp yüklemeleri için kompozitlerin camsı geçiş sıcaklıkları sabit kalır. Düşük frekanslarda, nanotüp konsantrasyonunun artmasıyla, reolojik davranış yavaş yavaş sıvı benzeri bir davranıştan katı benzeri bir davranışa geçer (Krishnamoorti ve Giannelis, 1997).

### **1.6.11. CNT/polimer nanokompozitlerinin uygulamaları**

#### **1.6.11.1. Elektromanyetik kalkanlama**

Elektrikli-elektronik cihazların kullanımındaki artışla birlikte yaygın ve güçlü bir elektromanyetik alan maruziyeti ortaya çıkmıştır. Güçlü elektromanyetik ışınımın gerek canlılar gerekse elektronik ortamlar için çeşitli zararlara yol açmaktadır. Bu zararlardan kaçınmak için kalkanlama ya da ekranlama çalışmaları önem kazanmıştır. “*Kalkanlama ya da ekranlama; kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik alanda izole etmek*”; şeklinde tanımlanabilir (Yılmaz, 2014). Mükemmel elektriksel iletkenlikleri, düşük yoğunlukları, ideal en-boy oranları ve korozyon dayanımları ile gerek tek duvarlı gerekse çok duvarlı karbon nanotüplerin, çeşitli polimer matrislerde nanokompozitleri hazırlanmış ve bunların elektromanyetik kalkanlama etkileri ölçülmüştür (Saini ve ark., 2011; Saini ve Aror, 2012).

### 1.6.11.2. Süperkapasitör elektrotları

Kapasitör, kullanım amacı elektriği depolamak olan devre elemanıdır. Yapısı, bir dielektrik malzemeyle birbirinden ayrılmış iki yakın iletken malzemedir. Güç uygulandığında pile benzer bir şekilde iletkenlerin birinde +, diğerinde ise - yük birikir. Yük biriktirebilme kapasitesine kapasitans denir. 1 volt gerilimle biriktirilebilen yük miktarı olarak tanımlanabilir. Süper kapasitörler ise birim kütle başına 10-100 kat enerji depolayabilen kapasitörlerdir. Çok az aşınmaları, uzun ömürlü olmaları, yaklaşık 1 milyon kez şarj edilebilmeleri sayesinde elektronik cihazların vazgeçilmez elemanları haline gelmişlerdir (Anonim, 2020a). Ticari süperkapasitörlerin elektrotlarında, karbon nanotüpler, gözenekli aktif karbon veya karbon aerogelleri gibi karbon temelli nanomalzemelerden yararlanılmaktadır. Bu malzemelerin yüksek iletkenlikleri ve yüksek yüzey alanları, onları süperkapasitörlerde ideal malzemeler kılmaktadır (Soutter, 2012). CNT'ler, üstün elektriksel özellikleri, iyi mekanik ve termal kararlılıkları, kolayca erişilebilen yüzey alanları ve benzersiz gözenek yapıları nedeniyle süper kapasitör elektrot uygulamaları için cazip malzemelerdir. Çeşitli konjuge polimerler (örneğin, PANI, PPy) matrisine CNT'lerin dahil edilmesini içeren kompozit oluşturma stratejisi, elektrotların mekanik ve elektrokimyasal özelliklerini geliştirmek için etkili bir çözüm olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, mükemmel elektriksel ve mekanik özellikleri, açık boru şeklindeki mezogözenekli ağ yapısı nedeniyle, CNT'lerin konjuge polimerler gibi pseudo-kapasitif malzemeler için iyi destek malzemeleri olarak hareket edebileceği anlaşılmıştır (Zhang ve ark., 2010; Wang ve ark., 2012).

### 1.6.11.3. Fotovoltaikler

Karbon nanotüplerin (CNT) mükemmel elektron taşıma özellikleri ve mevcut polimer esaslı hafif hasat donörlerine kıyasla daha büyük elektron afiniteleri, onların, toplu heterojunction/karmabağlantılı (BHJ) tipi hibrit güneş pillerinde kullanılmasını teşvik etmiştir. Alıcı özellikleri, polimerden (donör) CNT'lere (alıcı) yük transferinin doğrudan bir kanıtı olan polimer bazlı donörün fotoluminesansını (PL) hızla söndürme (çok düşük CNT yüklemesinde) yetenekleriyle gösterilmiştir (Ren ve ark., 2011). Başka bir çalışma, SWCNT'lerin poli(3-hekziltiyofen) (P3HT) esaslı güneş pillerinde kristallik

geliştirme ve morfoloji iyileştirme (sürekli iç içe geçen ağ oluşumu) üzerindeki etkisini vurgulamıştır (Geng ve Zeng, 2006).

#### **1.6.11.4. Termoelektrik uygulamalar**

Son zamanlarda, CNT'lerin mükemmel elektriksel iletkenliği, olağanüstü mekanik özellikleri ve iyi termal stabilitesinden ve dolayısıyla çözelti ile işlenebilirlikleri, düşük termal iletkenlikleri, maliyet avantajları, onların özellikle nano ölçekli heteroyapılandırma, termogüç ve elektrik/termal iletkenliği düzenlemek için kullanılabileceklerini göstermiştir (Yao ve ark., 2010).

#### **1.6.11.5. Su arıtma**

Son yıllarda membran temelli filtrasyon teknikleri atık su arıtma uygulamaları için potansiyel alternatifler olarak ortaya çıkmıştır. Polisülfon, poliamidler, selüloz nitrat, polietersülfon gibi polimerler, uygun maliyetli kolay sentezleri, iyi termal stabilite, yüksek mekanik mukavemetleri ve biyouyumlulukları nedeniyle en umut verici/tercih edilen polimerler olarak kabul edilmişlerdir. Ancak, çok küçük gözenek boyutu, bakteriyolojik kirlenme ve inorganik/organik safsızlıkların adsorpsiyonu ile gözenek tıkanmalarından dolayı düşük verim ve kirlenme bu membranların ortak kısıtlılıkları olarak görülmüştür.

Bu bağlamda, CNT'ler, güçlü antimikrobiyal aktiviteleri, ayarlanabilir yüzey kimyası ve yüksek mekanik mukavemetleri nedeniyle, gelişmiş zehirli boya özellikleri ve mekanik mukavemete sahip kompozit membranlar yapmak için umut verici dolgu adayı olarak ortaya çıkmıştır (Khan ve ark., 2016). Zehirli boyalar, yosun, midye gibi canlıların teknenin su altında kalan yüzeyine yapışmalarını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Zehirli boyalar, bu canlıların yapıştıktan sonra büyümelerini engeller, henüz küçükken dökülmelerini ve suyun, tekne altında daha rahat akmasını sağlar (Anonim, 2015).

#### **1.6.11.6. Gaz ve kimyasal buhar sensörleri**

Geleneksel metal oksit bazlı sensörlerle ilişkili yüksek çalışma sıcaklığı, yüksek maliyetler ve karmaşık üretim protokolleri gibi ana dezavantajlar, araştırmacıları bu eksikliklerden etkilenmeyen yeni malzemeler bulmak için yeni yollar aramaya itmiştir. Bu arayışa bir cevap olarak CNT katkılı polimerik nanokompozitler devreye girmiştir. CNT'lerin iyi elektriksel iletkenlikleri ve mekanik özellikleriyle iletken polimerlerin kolay işlenebilirliğinin yararlı beraberliği, CNT katkılı polimerik kompozitlerin, gaz/kimyasal buhar sensörleri için iyi bir aday olmalarını sağlamıştır (Hatchett ve Josowicz, 2008; Kar ve ark., 2015).

#### **1.6.12. CNT-polimer nanokompozitlerinin sentezleme yöntemleri**

Etkili takviye olarak CNT'lerin avantajını en üst düzeye çıkarmak ve yüksek mukavemetli polimer kompozitler elde etmek için, CNT'ler agrega oluşturmamalı ve matris ile arayüzey etkileşimini geliştirmek için iyi dağılmış olmalıdır. CNT/polimer üretimi için çeşitli işleme yöntemleri mevcuttur.

##### **1.6.12.1. Çözeltiyle hazırlama yöntemi**

CNT-polimer kompozitlerini hazırlamak için en yaygın yöntem, her iki bileşeni belirli bir çözücü içinde karıştırmak ve ikincisini bir kompozit film oluşturmak üzere buharlaştırmaktır. Tüm çözüm işleme yöntemleri için genel protokol, CNT tozunun sıvı bir ortamda kuvvetli karıştırma ve/veya sonikasyon yoluyla dispersiyonunu, CNT dispersiyonunun bir polimer solüsyonu ile karıştırılmasını ve vakum koşullarıyla veya vakum koşulları olmadan solventin kontrollü buharlaşmasını içerir. Genel olarak, ilk adım sırasında tüplerin en verimli dağılımı banyo veya uç sonikasyonu ile sağlanır.

##### **1.6.12.2. Yığın karıştırma**

Öğütme, öğütme ortamı boyunca çarpışmalar sonucunda yerel yüksek basınç oluşumuna yol açan mekanik bir işlemdir. CNT nanoteknolojisindeki uygulamalarla ilgili

olarak, bu yöntem karbon nanoyapıların uzunluklarını azaltmak için kullanılır. Bir katı hal mekanokimyasal toz haline getirme işlemi olarak adlandırılabilir tava öğütme, bir CNT/polipropilen kompozit tozu hazırlamak için kullanılmıştır. Bu toz daha sonra homojen bir kompozit elde etmek için çift silindri bir mastikatör/ezici ile eritilerek karıştırılmıştır. Bu yöntemle CNT'lerin uzunluğu birkaç mikrometreden ~500 nm'ye düşürülmüştür. Benzer şekilde, CNT'leri polimer matrislere dahil etmek için yüksek enerjili bilyalı öğütme kullanılmıştır. Bu şekilde, CNT'lerin polimer matris içinde tatmin edici bir seviyede dispersiyonu elde edilmiş, bu da numunelerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesini, sağlamıştır. Kompozitlerin son morfolojisine bağlı olarak, yığın numuneler daha sonra ekstrüzyon gibi çeşitli tekniklerle işlenebilir.

#### **1.6.12.3. Eriyikte karıştırma**

Termoplastik yarı kristal polimerlerin erime noktalarının üzerinde ısıtıldıklarında yumuşamaları nedeniyle, eriyik işleme, CNT bazlı kompozitlerin üretimi için çok değerli bir teknik olmuştur. Ayrıca yöntem, yaygın çözücülerde çözünmemeleri nedeniyle çözelti teknikleriyle işlenemeyen polimerler için de uygundur. Genel olarak, eriyik işleme, yoğun kesme kuvvetlerinin uygulanmasıyla polimer eriyiğinin CNT malzemesiyle karıştırılmasını içerir.

#### **1.6.12.4. Yerinde polimerizasyon**

Bu yöntemde bir örnek olarak 1999'dan beri, vinil monomerlerin CNT materyali varlığında yerinde polimerizasyonu, fonksiyonel kompozitlerin hazırlanması için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu yöntemin ana avantajı, serbest polimer zincirleri ile karıştırılmış polimer aşılınmış tüplerin üretilebilmesidir. Ayrıca bir diğer avantajı da monomerik moleküllerin küçük boyutu nedeniyle, elde edilen kompozit eklentilerin homojenliği, çözeltide CNT'leri ve polimer zincirlerini karıştırmaktan çok daha yüksektir (Spitalsky ve ark., 2010).

CNT katkılı nanokompozitlerin hazırlanmasında iki büyük sorunla karşılaşılabilir.

- Malzemenin geniş yüzey alanından ve van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanan, nanotüpler arası güçlü etkileşim ile ortaya çıkan topaklaşma eğilimi ve bu eğilimin yarattığı matristeki içinde dağılım zorluğu,
- Karbon nanotüplerle matris arasındaki yetersiz arayüz tutunması (Kasım, 2018).

## **1.7. Analiz Yöntemleri**

### **1.7.1. Spektroskopik analizler**

#### **1.7.1.1. SEM (taramalı elektron mikroskopisi)**

Elektron mikroskobu, son 80 yılda bilim adamları ve mühendisler açısından devrimsel sayılabilecek bir görüntüleme teknolojisi olmuştur. Nano ölçekli malzemelerin incelenmesinde ve karakterizasyonunda benzersiz avantajlar sunmuştur. Başlangıçta oldukça pahalı ve sınırlı erişimli bir yöntem iken bugün artık 15nm'den daha küçük parçacıkları inceleyebilen nispeten daha ucuz ve erişilebilir masaüstü ölçekte bir yapıya ulaşmıştır (Inkson, 2016).

Bir elektron mikroskobunun çalışması şu şekilde özetlenebilir:

Geleneksel optik mikroskoplara göre ışık kaynağının yerini çok hızlı hareket eden elektron demeti almıştır. Numune havanın dışarı pompalandığı bir vakum odasının içinde tutulur. Optik mikroskoplardaki mercekler, elektron demetinin içinden geçtiği bir dizi bobin şeklindeki elektromıknatıs ile değiştirilir. Sıradan bir mikroskopta, cam mercekler, büyütme üretmek için içlerinden geçen ışık ışınlarını bükerek veya kırarken bir elektron mikroskobunda, bobinler elektron ışınlarını aynı şekilde bükerek. Görüntü, bir fotoğraf şeklinde (elektron mikrografi olarak adlandırılır) veya bir TV ekranı görüntüsü halinde ortaya çıkar (Woodford, 2021).

#### **1.7.1.2. XRD**

X-ışını difraktometresi yöntemi X-ışınlarının çeşitli kristal yapılarıdaki kırınımının saptanmasına dayanır. X-ışınlarının kristal düzlemlerdeki kırınımı 1912'de

Laue tarafından gözlenmiştir. Kristal üzerine yollanan X-ışını demeti belli bir kırınımına uğratarak belli doğrultularda yoğunlaşır. Bu doğrultular, kristal tabakalardan yansıyan dalgaların girişimini oluşturur. Kırınımdan sonra meydana gelen desen film üzerine kaydedilir.

X-ışını difraktometrelerinin en önemli parçaları, bir X-ışını tüpü, bir X-ışını detektörü ve bir numune tutucudur. X-ışınları, elektron üretmek için bir filamanın ısıtılmasıyla bir katot ışın tüpünde üretilir. Elektronları hedefe doğru hızlandırmak için gerilim/voltaj uygulanır. Bu hızlanan elektronlar hedef ile etkileşir ve ekranda karakteristik bir X-ışını spektrumu oluşturur. Gelen elektronlar, hedef malzemenin iç kabuk elektronlarını yerinden çıkarmak için yeterli enerjiye sahip değilse, X-ışını spektrumu oluşmayacaktır. X-ışınları ve hedef materyal arasında başlıca üç tür etkileşim gözlenir, bunlar:

- Emilim
- Saçılma
- İletimdir.

Malzemeler X-ışınlarına maruz kaldığında, X-ışınları kısmen emilir ve kısmen saçılır ve geri kalan fotonlar iletilir.

X ışınlarının kırınımını açıklayan yasa *Bragg Yasası*'dır:

$$n \cdot \lambda = 2d \sin \theta \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te  $\theta$  bir geliş açısı,  $n$  bir tam sayı,  $\lambda$ , X-ışını demetinin dalga boyu ve  $d$  düzlemler arasındaki mesafedir.

Bragg Yasası'nı iki koşul karşılar:

- Gelme açısı, saçılma açısına eşit olmalıdır.
- Bir tamsayıya sahip dalga boyları, yol uzunluğu farkına eşit olmalı ya da bir başka ifadeyle atom tabakaları arasındaki mesafe, ışının dalga boyuyla aynı büyüklükte olmalıdır.

Bu koşullar, polimerlerin kristal yapısıyla ilgili ayrıntıları hesaplamamızı sağlar (Beşergil, 2019; Ulağ, 2017).

### 1.7.1.3. Termal analizler

Kontrollü bir sıcaklık programı uygulanarak numunenin herhangi bir fiziksel özelliğindeki (ağırlık, enerji, boyut, iletkenlik vs.) oluşan değişiklikleri incelemekte kullanılan yöntemler topluluğu, termal analizler olarak adlandırılır.

Termal analiz metotları özellikle polimerlerin, killerin, alaşımların, minerallerin, tuzların, tuz karışımlarının, komplekslerin, ilaçların incelenmesinde, ayrıca kalite kontrollerinde kullanılır.

#### TGA- DTG, DTA, DSC

Termal analizde ısı uygulamasının ağırlık değişimine etkisi termogravimetrik analiz (TGA) ile ölçülür. Isı uygulamasının maddenin enerjisinin değişimine etkisi ise diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) ile ölçülür. Bunlar en önemli termal analiz yöntemleridir. TGA, ısı uygulanması sırasında maddede ağırlık kaybı olup olmadığını ve varsa bu kaybın miktarını gösterir. Öte yandan DTA ve DSC reaksiyonun endotermik mi (ısı alan) yoksa egzotermik mi (ısı veren) olduğunu gösterirken aynı anda aktarılan ısının miktarının ölçülebilmesini sağlar.

TGA grafiklerinde ağırlık veya yüzde ağırlık y (ordinat) eksenine kaydedilirken sıcaklık x (apsis) eksenine kaydedilir.

TGA sonuçlarının zamana ve sıcaklığa göre birinci türevlerinin alınmasıyla elde edilen eğriler de DTG eğrileri olarak adlandırılır.

Çalışma prensipleri ve basit diyagramları aşağıda verilen diferansiyel termal analiz yöntemi 1887'de Le Chatelier (1887) ve Roberts-Austin (1889) tarafından bulunmuştur. DTA, numune sıcaklığı ile referans madde kontrollü biçimde yani sıcaklık uygulanırken numune ve referans madde arasındaki sıcaklık farkının, sıcaklığa veya zamana bağlı ölçülmesine dayalı bir tekniktir (Gündüz, 2002; Dod ve Tonge, 1997; Temiz, 2020).

Şekillerde görüldüğü gibi erime noktasına kadar numune ve referans madde sıcaklıkları aynı şekilde artarken erime noktasında, numune ısı almaya başladığından, numune ve referans arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır. Bu durumda  $\Delta T = T_N - T_R$  olmak üzere  $\Delta T < 0$  olacaktır. Erime tamamlandığında ise, bu fark ortadan kalkacak ( $\Delta T = 0$ ), numune referansla aynı sıcaklığa gelecektir.

DSC, numune ve referansa kontrollü bir sıcaklık programı uygulanırken numune ve referans madde arasındaki birim zamanda enerji girdisi farkının sıcaklığa göre ölçüldüğü bir tekniktir (Oğuz, 2007). Burada numuneyle referans arasında sıcaklık farkının oluşmasına izin verilmez. DSC, numune ve referans maddenin aynı sıcaklıkta olabilmesi için numuneye uygulanan enerjiyi ölçer.

#### TGA Verilerine Göre Aktivasyon Enerjisi

Bir kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi için gereken enerji eşik değerine aktivasyon enerjisi denir. Aktivasyon enerjisi Arrhenius eşitliği ile hesaplanır.

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da k, tepkimenin hız sabiti, A üstel tepkime sabiti, E aktivasyon enerjisi, R evrensel gaz sabiti ve T (K) mutlak sıcaklıktır.

TGA analizinde dayalı olarak sabit sıcaklıkta aktivasyon enerjisi, Coats-Redfern eşitliğine dayalı olarak yapılmıştır (Alghunaim, 2015).

Coats-Redfern eşitliği Arrhenius eşitliğinden, kısmi kütle kaybına dayalı olarak türetilmiştir. Kısmi kütle kaybı ( $\alpha$ ), başlangıç kütlelerine ( $W_i$ ), verilen sıcaklıktaki kütle ( $W_t$ ) ve son kütle ( $W_f$ ) bağlı olarak

$$\alpha = \frac{W_i - W_t}{W_i - W_f} \quad (7)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Eşitlik (7)'den Coats-Redfern eşitliği  $\alpha$ 'ya dayalı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\log \left[ \frac{-\log(1-\alpha)}{T^2} \right] = \log \frac{R}{\Delta E} \left[ 1 - \frac{2RT}{E} \right] - \frac{1}{2.303} \frac{E}{RT} \quad (\text{Alghunaim, 2015}) \quad (8)$$

Coats-Redfern eşitliğine (Eş. (8)) dayanarak çizilen  $1/T$ 'ye karşı  $\log[-\log(1-\alpha)/T^2]$  grafiğinde bulunan eğimden hareketle;

$$E = 2.303R \times \text{Eğim} \quad (9)$$

eşitliği ile aktivasyon enerjisine ulaşılmıştır.

Bu çalışmada eşitlik (9)'a ait örnek bir hesaplama PVC40-1 numunesi TGA 2. basamak kütle kaybı aktivasyon enerjisi için yapılmış ve bulgularda TGA verilerinden sonra sunulmuştur.

#### 1.7.1.4. Elektriksel iletkenlik

Polimer malzemelerde elektronik ve iyonik iletim olmak üzere iki tür iletim gözlenir. Elektronik iletimde elektronlar yük taşıyıcı olarak rol oynarken, iyonik iletimde ise çeşitli iyonik katkılar (dopant) yük taşıyıcılar olarak görev yapar (Saçak, 2002). Elektrik akımı, her saniye bir devredeki belirli bir düğümden geçen elektrik yüklerinin miktarının bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin direnci, elektronların akma derecesiyle doğrudan ilgilidir. Elektriksel iletkenliğin ölçülmesinde Gerilimde Giriş Bias Akımı Ölçüm Doğruluğu, Gerilim Ölçüm Doğruluğu Üzerine Giriş Direnci Yükleme, Ortak Mod Gürültüsü, SMU modu gibi ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır (Bunkley, 2012).



## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

PMMA ve PVC blendi ile ilgili ilk çalışmayı, PMMA'nın taktisitesinin PVC ile etkileşimini incelemek için Schurer ve ark. (1975) yapmışlardır. Çalışmalarında PVC ve PMMA'nın farklı taktisitelere sahip karışımlarını hem yığından hem de çözeltiden:

- a- Dimetil formamid (DMF) içinde ağırlıkça %3 karışık PMMA-PVC çözeltilerinin buharlaştırılmasıyla,
- b- 10:1 fazla su-metanol karışımıyla DMF içinde ağırlıkça %3 karışık PMMA-PVC çözeltilerinden çökeltme ile ayrıca
- c- Erimiş polimerlerin 180°C'de 10 ve 12 devir/dakika ile dönen iki silindiri bir değirmende karıştırılmasıyla üç yöntemle sentezlemişlerdir.

Çalışmada izotaktik ve sindiyotaktik PMMA moleküllerine ait çözünürlük faktörleri ( $\delta$ ) sırasıyla 9.28 ve 9.55 olarak kullanılmıştır. Bu değerlerin bulunan PVC ile i- ve s-PMMA'nın çalışmada gösterdikleri karıştırma davranışındaki farkla iyi bir uyum içinde olduğu gözlenmiştir. PMMA sindiyotaktik bir mikro yapıya sahip olduğunda, PMMA ve PVC'nin, dipol-dipol veya hidrojen bağı etkileşimlerinin kendilerini daha güçlü gösterebildiği tamamlayıcı polimerler olduğu anlaşılmıştır.

Honeycutt (1994), PMMA/PVC karışabilirliği üzerinde taktisitenin etkisini araştırmıştır. Araştırmasında sindiyotaktik PMMA'nın PVC ile izotaktik PMMA'ya göre daha iyi karıştığını bildirmiştir. İzotaktik PVC'nin sindiyotaktik ve ataktik PVC'ye göre PMMA ile daha iyi karıştığını belirtmiştir. PMMA ile karışabilirliği en düşük izomerin, sindiyotaktik PVC olduğunu bildirmiştir.

Jager ve ark. (1983), PMMA/PVC blendinde polimerlerin uyumluluğunu araştırmışlardır. Çalışmaları bu iki polimerin düşük sıcaklıklarda her oranda karışabildiklerini, yüksek sıcaklıklarda ise karışabilirliğin azaldığını görmüşlerdir. Karışımın viskozitesinin ise her bir polimerin molar kütlelerinin ayrı ayrı ya da beraberce düşürülmesiyle düştüğünü belirlemişlerdir.

Vorenkamp ve ark. (1985), taktisitenin PMMA/PVC karışabilirliğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında Schurer ve ark. (1975)'nin PVC'nin sindiyotaktik PMMA ile daha iyi karıştığı verisini başlangıç noktası olarak almışlardır. Çalışmalarında izotaktik PMMA'nın yalnızca düşük molekül ağırlıklarında iyi karıştığını, ataktik ve

sindiyotaktik PMMA'nın ise daha yüksek molekül ağırlıklarında tolere edilebildiğini bulmuşlardır. PMMA'nın çeşitli taktik biçimleri için farklı molar kütleler seçerek, PVC ile benzer faz davranışına sahip karışımlar elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Bu şekilde PMMA'nın taktikliğinin PVC ile karışabilirliği üzerindeki etkisi hakkında daha nicel bir açıklama yapılabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, sindiyotaktik veya ataktik PMMA ile izotaktik PMMA arasındaki temel farklardan birinin, ikincisinin daha yüksek esnekliğe sahip olması olduğunu göstermişlerdir.

Kolesov ve ark. (1995)'in çalışmalarında Sikloheksanon ve 1,2,3-triklorpropan içindeki PVC-PMMA karışımlarında PVC'nin termal stabilitesi incelenmişlerdir. PVC'nin bozunma hızının iki faktör tarafından belirlendiği gösterilmiştir: Bir yandan bozunma hızının çözücünün PVC'nin bozunması üzerindeki etkisine, özellikle de çözücü etkisi yoluyla bağlı olduğu diğer yandan, bozunma hızının diğer polimerden etkilendiği öne sürülmüştür. İkinci polimerin etkisi, PMMA'nın bozunması sonucu oluşan metil eterin polivinil klorürün termal stabilitesini etkileyebilmesi gerçeğiyle açıklanmıştır. Aynı zamanda PMMA'nın, çözülmüş PVC makromoleküllerinin durumlarını değiştirerek PVC dehidroklorinasyon oranında değişikliklere neden olabileceği öne sürülmüştür.

Okieimen ve Urhohide (1996)'nın çalışmalarında PVC doğal kauçuk-graft-poliakrilonitril (PVC/NRPACN) ve PVC/NR-graft-PMMA'nın karışabilirliği, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve viskometri ile incelenmiştir. PVC/NR aşırı kopolimer karışımlarının DSC eğrileri, PVC'nin termal ayrışmasına dayandırılan, yaklaşık 265°C'de büyük bir endoterm gösterdiği görülmüştür. PVC/NRPMMA harmanlarının, yaklaşık 124°C'de küçük bir endotermik pik gösterdiği ve PVC/NRPACN harmanları, sırasıyla yaklaşık 160-180°C'de (iki pike dönüşen) geniş bir pik gösterdiği saptanmıştır. NRPMMA ile harmanlanmış PVC'nin karıştırma çözeltilerinin ısılarının, karışabilirlik üst sınırının oldukça üzerinde olduğu bulunmuştur.

Myachev ve Emelyanov (1997), bileşenlerin %0-100 arasında değişen oranlarından oluşan PMMA/PVC blendlerinde termomekanik ve viskozite özellikleri incelemişlerdir. Blendler, bileşenlerin "kuru" karıştırılmasıyla veya ortak bir çözücü (kloroform) kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada bileşim bölgelerinin, tek tek homopolimerlerin bağımsız camsı hallerinin gerçekleşmesiyle veya bileşenlerin birbiri içindeki çözeltilerinin oluşmasıyla (özellikle PVC'ye küçük miktarlarda PMMA

eklenmesiyle) belirlendiği bildirilmiştir. Karışım eriyiklerinin viskoz özellikleri, kılcal viskozimetre ile incelenmiş ve maksimum viskozitenin, herhangi bir bileşenin düşük (ağırlıkça %5.5'e kadar benzer) içeriklerinde gözlemlendiği gösterilmiştir. PMMA-PVC harman eriyiklerinin viskoz hali için aktivasyon enerjisinin, karmaşık bir modelde harman bileşimine bağlı olduğu öne sürülmüştür. Maksimum aktivasyon enerjileri, PVC'ye ağırlıkça %2.5 PMMA eklenmesiyle veya tam tersi durumda gözlemlendiği bildirilmiştir.

Hong ve ark. (2000), PMMA/PVC karışabilirliğinde çözücünün etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında PMMA/PVC/THF çözeltilerinde PMMA'nın ağırlık oranının  $\phi_{PMMA} < 0.7$  olması halinde çözeltinin ideal davranıştan negatif sapma gösterdiğini ve bunun da bu bileşim oranının üzerinde PMMA'nın ve PVC'nin karışamaz olduğunu gösterdiğini öne sürmüşlerdir. Çalışmalarına göre DMF'nin, taşıdıkları ortak C = O gruplarından dolayı PVC ve PMMA'ya benzer afinitesi nedeniyle, DMF'deki PVC/PMMA karışımlarının, PVC ve PMMA arasında herhangi bir yüksek düzeyde itici etkileşim olmaksızın  $\phi_{PMMA} \leq 0.3$  ve  $\phi_{PMMA} \geq 0.7$ 'de daha az karışmazlık sergilediğini belirtmişlerdir. Araştırmacılara göre PVC ve PMMA genel olarak karışabilir bileşenler olarak kabul edilir, ancak bu durum tüm PVC/PMMA/çözücü sistemlerinin kesinlikle homojen olmasını sağlayamaz. THF,  $\theta$ 'ya yakın bir çözücüdür. İyi bir çözücüde ( $k < 0.52$ ), polimer zinciri nispeten uzamış bir konformasyon sergiler. Zayıf bir çözücüde ( $0.8 < k < 10.3$ ) polimer zinciri çöker ve molekül içi kümelenme kolayca gerçekleşir. PVC ve PMMA için sırasıyla ( $k = 0.60$ ), ( $k = 0.87$ ) olmak üzere THF, PMMA için daha zayıf bir çözücüdür. PMMA/THF çözeltisindeki daha zayıf afinite, PMMA zincirlerinin THF çözeltisinde sıkı sarmallar sergilemesi gerektiğini gösterir. Tam tersine PVC zincirler THF'de daha fazla uzamış halde bulunmalıdır. Bunun nedeni, üçlü polimer çözeltisindeki karışabilirliğin hem farklı polimerler arasındaki etkileşime hem de polimer ile çözücü arasındaki etkileşime bağlı olmasıdır.

Rajendra ve Uma (2000), tuz olarak  $LiBF_4$ , plastikleştirici olarak dibütilftalat (DBP) ve çözücü olarak THF kullandıkları bir PMMA/PVC elektrolit blendi hazırlamışlardır. PVC:PMMA: $LiBF_4$ :DBP'nin çeşitli oranlarda yer aldığı blendde FTIR ve iletkenlik ölçümleri yapmışlardır. 304 K'de yapılan iletkenlik ölçümü %17.5-7.5-5-70 mol bileşiminde  $0.0046 \times 10^{-3}$  S/cm iletkenlik tespit etmiştir. Bu değerler, aynı sıcaklıkta %7.5-17.5-5-70 mol için  $0.1202 \times 10^{-3}$  S/cm, %0-25-5-70 mol için  $1.6491 \times 10^{-3}$  S/cm,

ve %25-0-5-70 mol için  $0.0001 \times 10^{-3}$  S/cm olarak ölçülmüştür. 55, 65, 75, 85 ve  $100^{\circ}\text{C}$ 'ye karşılık gelen sıcaklıklarda yapılan ölçümlerde de benzer sonuçlara rastlanmış ve blendin elektriksel iletkenliğinin PMMA miktarıyla doğru orantılı olduğu bulunmuştur.

Stephan ve ark. (2000)'nin çalışmasında, iki farklı lityum tuzu, yani lityum tetrafloroborat ( $\text{LiBF}_4$ ) ve lityumperklorat ( $\text{LiClO}_4$ ) içeren plastikleştirilmiş PVC/PMMA harman elektrolit filmlerinin iyonik iletkenlikleri AC empedans tekniği kullanılarak 25, 40, 50 ve  $60^{\circ}\text{C}$ 'de incelemiştir. İletkenliğin, tuz derişimiyle doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek PVC oranlı bileşimlerde elektriksel iletkenliğin düştüğü buna karşılık mekanik kararlılığın yükseldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra blendin PVC:PMMA 50:50 veya 30:70 ara oranlarında iyi elektriksel iletkenlik ve mekanik özellik sağlandığı bildirilmiştir.

Belhaneche ve Bedda (2001), PVC-PMMA karışımlarının yapı-özellik ilişkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, ağırlıkça %0 ila %100 arasında değişken bileşimlerin blendleri hazırlanmıştır. Numunelerin fizikokimyasal karakterizasyonları, diferansiyel taramalı kalorimetrik analiz (DSC) ve Fourier Dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile gerçekleştirilmiştir. Termogramların analizi, ağırlıkça %60 PMMA'ya kadar polimer karışabilirliği göstermiştir. Bu karışabilirliğin, PMMA'nın karbonil grupları ( $\text{C} = \text{O}$ ) ile PVC'nin ( $\text{CHCl}$ ) gruplarından hidrojen arasındaki hidrojen bağı tipinin özel bir etkileşiminden kaynaklandığı öne sürülmüştür.

Ramesh ve ark. (2002)'nin çalışmasında, PVC'nin PMMA ve PEO ile hazırlanan blendlerindeki karışabilirliği incelenmiştir. Viskozimetri ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) kullanılan deneyler gerçekleştirilmiştir. Polimerler arasında çekici kuvvetlerin varlığı, viskozimetrik verilerden bir parametrenin belirlenmesi ile Sun teorisine göre değerlendirilmiştir. Viskozimetrik ve termal analizler bu iki blendin karışabilir olduklarını gösterilmiştir. PVC/PMMA ve PVC PEO blendlerindeki bu karışabilirlik, PVC'deki klor atomlarıyla PMMA ve PEO polimerlerindeki oksijen atomları arasındaki etkileşimle açıklanmıştır.

Stephan ve ark. (2002)'nin çalışmasında, propilen karbonat ve etilen karbonatla plastifiye edilmiş ve  $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$  ile hazırlanmış PVC/PMMA blendinin iyonik iletkenliği ve termal özellikleri incelenmiştir. Blend çözücü olarak susuz THF kullanılarak çözelti döküm yöntemiyle hazırlanmıştır.  $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$  katkılı polimer

blendi filmlerinin, 30°C'nin üzerinde kayda değer bir iletkenlik gösterdikleri saptanmıştır. Çalışmada 75:25 PMMA/PVC polimer karışımı filmlerin oranının, iletkenlik ve termal stabilite açısından uygun olduğu ayrıca PMMA'nın karışımın arayüzey direncini önemli ölçüde azalttığını bulmuşlardır.

Belhaneche-Bensemra ve ark. (2003), sert ve plastikleştirilmiş PVC/PMMA karışımlarının yapı-özellik ilişkisini incelemişlerdir. Bu amaçla plastikleştirici di (etil- 2 hekzil) DEHP kullanarak ve kullanmaksızın hazırladıkları blendlerde polimerlerin karışabilirliğini DSC ve FTIR yöntemleriyle araştırmışlardır. Termal bozunma 185°C'de azot varlığında çalışılmıştır. Kütle kaybı, 30-600°C aralığında termogravimetrik olarak araştırılmış, PVC bozulmasından ortaya çıkan HCl pH analiziyle ölçülmüştür. Çalışmalarında %0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında olmak üzere PMMA içeren PVC/PMMA blendlerinde karışabilirliği araştırmışlardır. Karışabilir sistemlerde tek Tg gözlenirken çalışmalarında %50 den daha fazla PMMA içeren blendlerde iki farklı Tg gözlemişlerdir. %50:50 oranına kadar ölçülen Tg değerleri, PMMA'nın %0'dan başlayarak artan oranlarında sırasıyla 83.00, 84.00, 84.5, 85.00, 85.80, ve 96.00°C olarak ölçülmüştür.

John ve ark. (2003), çalışmalarında poli (vinil asetat)'ın (PVAc), PVC ve PMMA ile çözelti harmanlama ile polimer karışımları hazırlanmıştır ve bunların karışabilirlikleri fiziksel teknikler kullanılarak araştırılmıştır. Karışım bileşiminin farklı yüzdelinde karışım çözeltileri için viskozite, yoğunluk, kırılma indisi ve ultrasonik hız 30°C'de ölçülmüştür. Viskozite verileri kullanılarak hesaplanan etkileşim parametreleri ve fiziksel tekniklerden elde edilen sonuçlar, PVAc/PMMA ve PVAc/PVC karışımlarının karışabilir olduğunu doğrulamıştır.

Melad ve ark. (2003), THF'de PMMA ve PVC arasındaki moleküller arası etkileşimi, seyreltik çözelti viskometrisi yöntemi kullanılarak farklı sıcaklıklarda incelemiştir. Gerçek viskozite ve viskozimetrik etkileşim parametresi ikili (çözücü/polimer) ve üçlü (çözücü (1) /polimer (2) /polimer (3) /sistemi için deneysel olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, sıcaklık arttıkça polimer karışımının THF'de uyumlu olduğunu, 34°C'de gözlenen uyumsuzluğun, bu sıcaklıkta THF ve polimerler arasındaki etkileşimlerdeki artıştan kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Ferriol (2003)'ün çalışmasında, PMMA'nın ilk safhada düşük sıcaklıklarda birleşerek sonlanmasından meydana gelen baş-baş bağlanmadaki H-H bağlarının

kolaylıkla kırıldığı öne sürülmüştür. İkinci adımdaki ağırlık kaybının, orantısız sonlanmadan ötürü meydana gelen kararsız C = C çift bağlarından kaynaklandığını, son aşamadaki ağırlık kaybının ise PMMA zincirlerinin rastgele kırılmasından meydana geldiği ileri sürmüştür.

Chakrabarti ve ark. (2004), çalışmalarında, PMMA'nın çeşitli oranlarda uygun şekilde stabilize edilmiş ve plastikleştirilmiş PVC ile karıştırılmasının etkisi, fiziksel, mekanik ve termal özellikleri referans alınarak incelemiştir. Bu özelliklerin uygun bir açıklamasını bulmak için çeşitli karışımların ortaya çıkan morfolojileri de incelenmiştir. Çalışmalarında PVC/PMMA blendi ile saf PVC'nin termogravimetrik karşılaştırmasında, PVC/PMMA blendinin termal stabilitesinin saf PVC'den daha iyi olduğu ve %90:10 ve %70:30 PVC:PMMA oranlarında PMMA'nın artan oranıyla termal bozunma sıcaklığının yükseldiği gözlemlenmiştir. Çalışmalarında, karışımların iki faz morfolojisi sergiledikleri gözlenmekle birlikte, fazların sınır bölgesinin çok keskin olmadığı da belirlenmiştir. Faz homojenliğinin düşük PMMA oranlarında gözlemlendiği, artan PMMA miktarlarında gözlenmediği bildirilmiştir.

PMMA/PVC blendi gibi karışımların özelliklerinin kurucu polimerlerin molekülleri arasındaki H-bağları ve dipol-dipol etkileşimleri gibi spesifik etkileşimlerle açıklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Aouachria ve Belhaneche-Bensemra (2006), PVC'nin PMMA ile karışabilirliğini araştırmışlardır. Ağırlıkça %0 ila %100 arasında değişken bileşimlerin karışımları, plastikleştirici olarak ve ağırlıkça %0, %15, %30 ve %50 dietil-2 heksil ftalat varlığında hazırlanmıştır. PMMA ve PVC karışabilirlikleri çeşitli, Vicat yumuşama sıcaklığının belirlenmesi, polimer-polimer karışabilirlik kriterine dayalı alfa viskozimetre yöntemi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) yöntemleriyle araştırılmıştır. Karışabilirliğin PMMA karbonil grupları (C = O) ile PVC'nin (CHCl) grubu H arasındaki hidrojen bağından kaynaklandığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, viskometri yöntemi ve DSC, iki polimerin PMMA'nın ağırlıkça yaklaşık %60'ına kadar karışabildiğini bildirmişlerdir. Karışabilirliğin PMMA'nın karbonil grupları (C = O) ile PVC'nin (CHCl) gruplarındaki hidrojenler arasındaki hidrojen bağı tipinin spesifik etkileşiminden kaynaklandığı öne sürülmüştür.

Luna ve Filippone (2016)'a göre nanopartiküllerin polimer blendlerinde başlıca üç etkisinin olduğu düşünülmektedir, bunlar:

- (i) polimerler arasındaki ara yüzey gerilimini düşürmek, (emülsiyonlaştırma etkisi);
- (ii) ara yüzey yapışmasını iyileştirmek;
- (iii) birleşmeyi bastırmaktır.

Soman ve Kelkar (2009), PMMA/PVC blendi yapısal özelliklerini FTIR ile inceledikleri çalışmalarında IR spektroskopisi çalışması, PMMA'nın C = O ile PVC'nin CHCl'sinden gelen hidrojen arasındaki hidrojen bağı sayesinde PMMA-PVC blendlerinde karışabilirliğinin sağlandığını belirtmiştir. Araştırmalarında hazırladıkları harmanlama sistemi, tüm bileşim aralığında kafur sülfonik asit (CSA) ile katkılanmıştır. PVC'de, PMMA'da ve PMMA-PVC karışımlarında CSA'nın katkısı FTIR spektrumlarında değişiklikler göstermiştir. PVC ve CSA arasındaki etkileşimin, CSA'nın C = O grubu ile PVC'nin CHCl'si arasındaki hidrojen bağı yoluyla olduğu görülmüştür. PMMA'ya CSA katkısında, CSA'nın H<sup>+</sup> iyonu ile PMMA'nın C = O ve -OCH<sub>3</sub> gruplarındaki oksijen atomları arasında bir etkileşimin olduğu belirtilmiştir. PMMA/PVC blendi ile CSA arasındaki etkileşimin PMMA'nın C = O grubu oksijeni ile CSA molekülündeki H<sup>+</sup> iyonu arasındaki etkileşimden kaynaklandığı öne sürülmüştür.

Aouachria ve ark. (2009) tarafından sert ve plastikleştirilmiş PVC/ PMMA karışımlarının termal bozunması, akan bir hava atmosferinde izotermal ve dinamik termogravimetrik analiz yoluyla incelenmiştir. Ağırlık oranları %0, 10, 25, 50, 75 ve 100 olmak üzere farklı yüzdelerde PVC/PMMA blendini, ağırlıkça %0, 15, 30 ve 50 yüzdelerde plastikleştirici di-(2-etil heksil) ftalat (DEHP) varlığında hazırlamıştır. Blendlerin termal bozunması, 120 dakika boyunca 180°C'de izotermal termogravimetri ile araştırılmıştır. Ana işlemlerin PVC'nin dehidroklorinasyonu ve PMMA'nın depolimerizasyonu olduğu bulunmuştur. Dinamik termogravimetrik deneyler 30-550°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bu geniş sıcaklık aralığında sert ve plastikleştirilmiş PVC/PMMA karışımlarının termal bozunmasının üç aşamalı bir süreç olduğunu ve PMMA'nın dehidroklorinasyonu azaltarak ilk aşamada PVC'nin termal bozunması üzerinde stabilize edici bir etki yaptığı öne sürülmüştür.

Dixit ve ark. (2009), çözelti döküm yöntemi ile ağırlıkça %0 ila %100 arasında farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PMMA ve PVC polimer karışımlarının faz davranışı, karışabilirlik, morfoloji ve mekanik özellikleri ile ilgili bazı sonuçları ele almıştır. Saf PMMA ve saf PVC'nin geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) sırasıyla 90°C ve 52°C olarak

bulunmuştur. Sonuç, iki polimerin PMMA'nın ağırlıkça yaklaşık %50'sine kadar karışabildiğini göstermektedir. Karışımlardaki fazların dağılımı taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Karışımlar matriste ağırlıkça %50-75 PVC için sırasıyla 63.27°C ve 58.75°C sıcaklıkta tek bir  $T_g$  gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılara göre sınırlı karışabilirlik durumlarında, bileşenler arasında, birinci bileşence zengin fazı ve ikinci bileşence zengin fazı gösteren iki ayrı (camsı) geçiş meydana gelebilir. Bu tür blendlerin geliştirilmiş özelliğinin, kurucu polimerlerin molekülleri arasındaki H-bağları ve dipol-dipol etkileşimleri gibi spesifik etkileşimlere atfedilebileceği ve vinil klorürün hidrojeninin, bir hidrojen bağı oluşturmak için ester karbonil grubu (akrilik polimerin H-bağ alıcısı) ile etkileşime girebileceği öne sürülmüştür.

Dixit ve ark. (2010), çözüldüden döküm yöntemiyle hazırladıkları PMMA/PVC blendlerinin termofiziksel özelliklerini ve karışabilirliklerini incelemiştir. Çalışmalarında, saf PMMA ve PVC için  $T_g$  değerleri sırayla 84°C ve 52°C olarak verilirken ağırlıkça %50:50 PVC PMMA blendi için bu değer 63.2°C olarak ölçülmüştür.

Ramesh ve ark. (2010), THF ile çözücüden döküm yöntemiyle %70:30, 50:50 ve 10:90 oranlarında hazırladıkları PMMA/PVC blendine sabit %10 LiTFSI (lityum bis(triflorometansülfonil)imid) katarak kompozitin çeşitli özelliklerini incelemiştir. 70:30 PMMA/PVC oranlı blendde 115.12°C civarında bir camsı geçiş sıcaklığına rastlanmış, 50:50 ve 10:90 oranlarında ise sırayla 65.40-125.09°C ve 66.23-134.98°C civarlarında iki farklı camsı geçiş sıcaklığı gözlemiştir. Böylece DSC ölçümlerinde 70:30 oranlı karışımda  $T_g$ 'nin ve  $T_m$ 'nin düştüğünü buna karşılık  $T_d$ 'nin yükseldiğini bulmuşlardır. Bu durum TGA diyagramlarıyla da desteklenmiştir.

Kelkar ve Soman (2012) çalışmalarında, PMMA, PVC ve bunların farklı bileşimlerindeki beş karışımı, 2 Mrad dozluk gama ışınları ile ışınlanmıştır. Işınlanmış ve ışınlanmamış numunelerin yapısal, morfolojik ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı bir çalışması yapılmıştır. Işınlama nedeniyle meydana gelen yapısal değişiklikler FTIR ve X-ışını kırınım (XRD) spektrumlarında görülmüşken ester grubunun esas olarak PMMA ve karışımlardan etkilendiği öne sürülmüştür. XRD sonuçlarının, ışınlanmış örneklerin doğada, ışınlanmamış olanlara göre daha amorf olduğunu doğruladığı bildirilmiştir. DSC çalışmasının, bazı ışınlanmış numunelerin çapraz bağlanmaya maruz kaldığını, bazılarının ise bozunmaya uğradığını ortaya koyduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında ışınlanmış harman bileşimlerinden biri termal olarak daha kararlı hale

geldiği gözlemlenmiştir. SEM çalışması, ışınlanmış numunelerin kürlendiğini göstermiştir. Işınlanmış harman bileşimlerinin bazılarında mekanik özelliklerde bir gelişme gözlemlendiği bildirilmiştir.

Al-Ghait ve ark. (2012), poli(vinil klorür)/poli(metilmetakrilat) (PVC/PMMA) sisteminin karışabilirliğini, PMMA'nın ana zincirlerine bazı pirolidon birimleri ekleyerek geliştirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, radikal bir polimerizasyon yoluyla iki poli(metilmetakrilat-ko-vinilpirolidon) (MMVP) kopolimeri sentezlemiş ve ters gaz kromatografisi (IGC) ve diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) yöntemleri ile PVC/MMVP karışımlarının karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmışlardır. İki sistemin karışabilirliğinin, her karışım için tek bir Tg ile kanıtlandığını öne sürmüşlerdir. Bunun DSC analiziyle de desteklendiğini belirtmişlerdir.

Sangawar ve Moharil (2012) çalışmalarında, polipirol dolgulu PVC:PMMA ince filmlerin elektriksel, termal ve optik bant aralıklarını incelemişlerdir. TGA eğrilerinden bozunma sıcaklığının 269°C'den 273°C'ye yükseldiği görülmüştür. Polipirol dolgulu PVC:PMMA ince filmlerin elektriksel, termal ve optik bant aralıklarını inceledikleri çalışmalarında tüm numunelerin X-ışını difraktogramları amorf yapıyı ortaya çıkarmıştır. Çalışmalarında tüm numunelerin X-ışını difraktogramlarında amorf yapısını da ortaya çıkarmışlardır.

Sah ve Gupta (2013) çalışmalarında, 303.15 K ve 313.15 K'de tetrahidrofuran içindeki PVC/PMMA karışımları için yoğunluk ve viskozite katsayısı ölçülmüştür. Bu değerler aşağıdaki Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. PVC/PMMA karışımının 303.15 K'de etkileşim parametreleri ve Huggins sabitleri (Sah ve Gupta, 2013, değiştirilerek alınmıştır)

PVC/PMMA	$[\eta]$	$K_H$	$\mu$	$\alpha$
<b>100/0(PVC)</b>	0.656462	0.4517727	-	-
<b>80/20</b>	0.5146216	0.7798907	0.4575677	0.2949006
<b>60/40</b>	0.4622	1.0242064	0.5261955	0.492312095
<b>40/60</b>	0.39662792	0.472713180	-0.25565	-0.9242617
<b>20/80</b>	0.2527247	1.7430205	0.2102835	1.0213427
<b>0/100(PMMA)</b>	0.2261522	0.9569496	-	-

Çizelge 2.2. PVC/PMMA karışımının 313.15 K'de etkileşim parametreleri ve Huggins sabitleri (Sah ve Gupta, 2013, değiştirilerek alınmıştır)

PVC/PMMA	$[\eta]$	$K_H$	$\mu$	$\alpha$
<b>100/0(PVC)</b>	0.590784	0.5582969	-	-
<b>80/20</b>	0.481523	0.59053915	0.071553727	-0.0189689
<b>60/40</b>	0.4381608	0.6241702	-0.04432155	-0.0581165
<b>40/60</b>	0.353113	0.558296996	-0.10198976	-0.0310992
<b>20/80</b>	0.2250383	2.6379087	0.048943006	1.65734316
<b>0/100(PMMA)</b>	0.2067026	1.3546565	-	-

Tablodaki değerlerden (40/60) karışımının etkileşim parametresi  $\alpha$ 'nın, 303.15 K'dekine kıyasla 313.15 K'de oldukça negatif olduğu gözlenmiştir. Öte yandan,  $\mu$  parametresindeki değişimin daha az belirgindir. Viskometrik yöntem PVC/ PMMA polimer karışımının karışabilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca,  $\alpha$  parametresi dikkate alındığında, (40/60) bileşim durumu dışında, sıcaklığın bu karışımların karışabilirliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını da gözlemlemiştir.

Aouachria ve ark. (2014), plastikleştirici olarak di(2-etil heksil) ftalatın (DEHP) PVC/PMMA blendlerinin termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla, ağırlıkça %0-100 arasında değişen bileşime sahip blendler, ağırlıkça %0, %15, %30 ve %50 oranlarında di(2-etil heksil)ftalat katkısıyla hazırlanmıştır. Blendlerin termal bozunması, 50-550°C sıcaklık aralığında sentetik hava atmosferinde termogravimetrik analiz (TGA) ile araştırılmıştır. Plastikleştirici katılmamış saf blendin değişen oranlarında kütle kayıplarına bakıldığında en yüksek kütle kaybının %90:10 PVC/PMMA karışımında %52.38 olduğu gözlenirken en düşük kütle kaybınınsa %10:90 PVC/PMMA karışımında %22.38 olduğu gözlenmiştir. TGA analiziyle ilgili veriler Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. PVC/PMMA blendlerinin TGA analiziyle ilgili veriler (Aouachria ve ark., 2014, değiştirilerek alınmıştır)

DEHP(%)	Kütle kaybı %	PVC/PMMA						
		100/0	90/10	75/25	50/5	25/75	10/90	0/100
<b>0</b>	$\Delta m_1$	59.10	52.38	51.36	32.01	23.26	22.38	-
	$\Delta m_2$	17.67	21.12	22.60	38.81	63.41	72.18	97.89
<b>15</b>	$\Delta m_1$	64.22	62.11	54.26	42.25	29.28	19.23	-
	$\Delta m_2$	14.51	25.40	25.53	40.59	60.66	77.96	-
<b>30</b>	$\Delta m_1$	67.71	62.84	51.25	50.85	43.79	38.41	-
	$\Delta m_2$	13.69	21.34	28.69	41.31	44.87	55.08	-
<b>50</b>	$\Delta m_1$	74.63	74.52	66.00	63.75	52.86	4.08	-
	$\Delta m_2$	19.58	20.42	26.17	23.61	46.27	93.22	-

Nasr ve ark. (2014) çalışmalarında, PMMA'nın PVC ile ortak çözücünden dökme yöntemiyle karıştırılmasının, PMMA'nın amorf fazını ortaya çıkaran  $2\theta = 22.5^\circ$ 'de omuz ile  $2\theta = 16.4^\circ$  açılarda PMMA'nın geniş bir karakteristik pikini elde etmişlerdir. PVC'nin katılmasından sonra bu karakteristik piklerin yoğunluklarının azaldığını gözlemişlerdir. PVC/PMMA blendinin  $2\theta = 16.4^\circ$  ve  $2\theta = 22.5^\circ$  deki Bragg piklerini  $17^\circ$  ve  $25.3^\circ$ 'deki Bragg piklerine kaydırarak kristalografik organizasyondaki değişikliği ortaya çıkardığı öne sürülmüştür.

Saeed ve Khan (2015), çalışmalarında PMMA/PVC (ağırlıkça %10 PMMA/ağırlıkça %90 PVC)  $\alpha$  (alfa) ve (ağırlıkça %20 PMMA/ağırlıkça %80 PVC)  $\beta$  (beta)) karışımları ve işlevselleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpler (F-MWNTs) dolgulu alfa ve beta nanokompozitler çözelti döküm tekniği ile hazırlanmıştır. Çalışmada taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, PMMA ve PVC'nin karışım sisteminde tamamen karışabilir olduğunu göstermektedir. Alfa ve beta karışımları sisteminin termogravimetrik analizinin (TGA) termogramlarının, iki aşamalı termal bozulma olduğunu gösterdiği belirtilmiş, PMMA/PVC'nin birinci aşama bozulmasının, PVC'nin dehidroklorinasyonundan kaynaklandığı öne sürülmüştür. İlk bozunmanın yaklaşık  $260-360^\circ\text{C}$ 'de, ikinci bozunmanın ise  $440-530^\circ\text{C}$  arasında tamamlandığı belirtilmiştir. Ağırlıkça %1 ve %3 FMNW CNT'lerle hazırlanmış nanokompozitlerin bozunma eğrileriyle saf PMMA/PVC blend eğrilerinin benzeştiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, F-MWNTs/PMMA/PVC nanokompozitlerin termal stabiliteyi, saf PMMA/PVC karışımlarına kıyasla yüksek sıcaklığa (yaklaşık  $20^\circ\text{C}$ ) doğru kaymıştır. Alfa ve beta karışımlarında F-WMNT'lerin miktarı arttığında, alfa ve beta'nın mekanik özelliklerinin kademeli olarak azaldığını görmüşlerdir. Bunun, her iki tip polimer blendinde F-MWNT'lerin çatlak oluşumu/aglomerasyonundan kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Alghunaim (2015), saf PMMA/PVC blendi ve buna %5, %7.5 ve %10 oranlarında  $\text{CoCl}_2$  katarak hazırladığı kompozitlerde yaptığı TGA analizlerinde, oda sıcaklığından  $700^\circ\text{C}$ 'ye kadar  $10^\circ\text{C}/\text{dak}$  ısıtma hızında çalışmıştır. Bütün örneklerde üç bölgeli bir kayıp/bozunma eğrisi görmüştür. İlk bölge kayıplarını fiziksel olarak zayıf, kimyasal olarak güçlü bir şekilde bağlı  $\text{H}_2\text{O}$ 'nun buharlaşması ve ağırlık yüzdesi 7 olan polimerlerden CO ve  $\text{CO}_2$  gazlarının buharlaşması ile açıklamıştır.  $255^\circ\text{C}$ 'den  $485^\circ\text{C}$ 'ye kadar olan ikinci geçiş bölgesi, karışımın ağırlıkça yaklaşık %9-92'lik bir ağırlık kaybına sahip ana bozunma sıcaklığına (bozunma sıcaklığı) bağlanmıştır.  $500^\circ\text{C}$ 'den sonra

üçüncü aşamanın geçiş zirvesinin, polimerin omurgasını oluşturan ana zincirin parçalanmasından kaynaklandığını söylemiştir. Çapraz bağlı polimerlerin bozunma zirvelerinin daha az yoğun olduğunu ve  $\text{CoCl}_2$  ilavesiyle daha yüksek sıcaklıklara kaydırıldığını belirtmiştir. Ayrıca  $\text{CoCl}_2$  içeriğinin artmasıyla bozunma sıcaklığının kademeli olarak arttığını ve tüm numunelerin termal bozunmasının, numunelerin termal stabilitesinin arttığını gösteren saf polimer karışımından biraz daha yüksek sıcaklık aralıklarına doğru kaydığının açıkça görüldüğünü söylemiştir. Ayrıca, saf karışımın son ağırlık kayıplarının,  $\text{CoCl}_2$  ile karışım arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanabilecek  $\text{CoCl}_2$  katkılı numunelerinkinden daha az olduğunu saptamış ve ayrıca daha sonra  $\text{CoCl}_2$ 'nin PMMA/PVC filmlerine eklenmesinin termal stabiliteyi arttırdığını belirtmiştir.

Abdelghany ve ark. (2015), çözelti döküm tekniği ile THF çözücüsüyle hazırladıkları PVC/PMMA blendinde FTIR, UV ve XRD ölçümleri yapmışlar ve blendin her oranda karışabilir ve amorf bir yapı sergilediğini öne sürmüşlerdir.

Ishaq ve ark. (2016), PVC/PMMA karışımı ve demir(III) nanoparçacıklı PVC/PMMA nanokompozitlerini çözelti dökümü ile hazırlamışlardır. Parçacık boyutları 200 nm'den küçük demir (III) oksit nanoparçacıkları, bir sol-jel prosedürü kullanılarak hazırlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu, faz ayrımının olmadığını ve poli (vinil klorür) ile PMMA'nın karışabilir olduğunu göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu ayrıca demir (III) oksit nanoparçacıklarının polimer blendi/karışımı içinde iyi dağıldığını göstermiştir. Termogravimetrik analiz, PVC/PMMA blendi ve demir (III) oksit/PVC/PMMA için üç aşamalı bir termal bozunma göstermiştir. İkinci bozunmanın muhtemelen blend sistemindeki PVC'nin termal bozunması sırasında dehidroklorinasyondan kaynaklandığı düşünülmüştür.

Luna ve Filippone (2016)'nin çalışmalarına göre, polimer-polimer ara yüzünde biriken nanopartiküller, kısmen karışan polimer karışımlarının mikro yapısını iyileştirmede özellikle etkilidir.

Mzir ve ark. (2018), farklı PMMA ağırlık oranlarına sahip filmleri hazırlanan PVC/PMMA karışımlarını incelenmişlerdir. ATR-FTIR spektroskopisi, karışabilirliklerini incelemek için kullanılmıştır. Dielektrik özellikleri incelemek için TSDC uygulanmıştır. İncelenen PVC/PMMA karışımlarının, %60'a eşit veya daha az PMMA ağırlık oranı için karışabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Yanmaz (2018) çalışmasında saflaştırılmış ve fonksiyonlandırılmış SWCNT'ler ile PMMA'nın nanokompozitlerini çözeltiden döküm yöntemiyle sentezlemiş ve karakterize etmiştir.

Joseph ve ark. (2019), çalışmalarında PMMA/çok katmanlı grafen (MLG)/çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve PVC/MLG/MWCNT hibrit nanokompozitler dört farklı dolgu ağırlık fraksiyonu ile çözücü döküm tekniği ile hazırlanmıştır: %20 MLG, %17.5 MLG + %2.5 MWCNT, %15 MLG + %5 MWCNT ve %10 MLG + %10 MWCNT. Nanokompozitlerin çekme özellikleri ve viskoelastik doğası, dolgu ağırlık fraksiyonunun bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Araştırmacılar, hibrit kompozitlerin, sadece MLG kompozitlere kıyasla ya daha yüksek ya da hemen hemen aynı nihai çekme mukavemeti ve Young modülü sergilediğini bildirmiştir. Ağırlıkça %10 MWCNT ilavesi ile hibrit kompozitlerin elektriksel iletkenliğinde önemli bir gelişme olmuştur. Kompozitlerin diferansiyel termal analizi (DTA), artan MWCNT içeriği ile iyileştirilmiş bir termal stabilite gösterdiği bildirilmiştir.

Abdel-Fattah ve ark. (2019), çalışmalarında farklı konsantrasyonlarda MWCNT'ler içeren homojen PVC/MWCNT nanokompozit filmler hazırlamışlardır. Hazırlanan filmler, X-ışını kırınımı (XRD), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Raman spektroskopisi, UV-görünür spektroskopisi (UV-Vis.) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile karakterize edilmiştir. PVC nano-kompozit içindeki MWCNT yüzdesinin artırılmasının, termal kararlılığı, dielektrik sabitini ve AC iletkenliğini iyileştirdiği görülmüştür.

El-Gamal ve El-Sayed (2020), çalışmalarında saf PVC film için 2θ bölgesinde (13-34°) geniş bir tepe belirmiş bunun da düzensiz yapısından dolayı amorfluğu doğruladığı bildirilmiştir. Ağırlıkça %20 PMMA eklenmesi PVC ana tepenin genişlemesini arttırdığından, yani amorfluğu arttırdığından, PVC/PMMA karışım sisteminde 24.1° merkezli bir amorf tepe noktası ortaya çıkmıştır.

Naim ve ark. (2020), %5, 10 ve 25 oranlarıyla hazırladıkları kloroform/THF çözücü karışımlarında %0.45 sabit oranlı MWCNT katkılı PVC/MWCNT nanokompozitinin çeşitli özelliklerini incelemişlerdir. PVC'nin iki aşamada ayrıştığını, ana bozunma aşaması olan ilk aşamanın, dehidroklorinasyona bağlanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrışmanın bu aşamasının (birinci aşama) 225°C ile 375°C derece arasında gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Al-Muntaser ve ark. (2020), PVC/PMMA/lityumtitaniumoksit ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) nanokompozit filmlerini çözelti döküm yöntemiyle hazırlamışlardır. Hazırlanan filmlerin yapısal özellikleri XRD, TEM, FTIR, SEM ve UV/Vis spektroskopi teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. XRD modelinin, amorf polimerik matris içine gömülmüş ortalama kristalit boyutu 40 nm olan lityum titanyum oksidin kristal fazının oluşumunu ortaya koyduğu belirtilmiştir. TEM görüntülerinden gözlemlenen ortalama kristalit boyutunun, XRD sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların, saf PVC/PMMA karışımının elektriksel özelliklerini geliştirmek için dopant olarak  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  NP'lerin seçimini önerdiği belirtilmiştir.

El Sayed (2020), çalışmasında film kalınlığını ayarlayarak ve çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT'ler) ile yükleyerek termoplastik PVC ve PMMA karışımlarının fiziksel özelliklerini ayarlamayı amaçlamıştır. Bu amaçla 36.4-204  $\mu\text{m}$  aralığında kalınlıkta (PVC/MMA) filmler ve (PVC/MMA)/MWCNTs filmler çözelti dökümü kullanılarak hazırlanmıştır. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetrik (DSC), filmlerin 179-230°C sıcaklık aralığında termal stabilite sergilediğini ve erime sıcaklığının ve kristallik derecesinin artan kalınlıkla arttığını ve MWCNT'lerin ilavesinden sonra azaldığını gösterdiği belirtilmiştir. Yapılan TGA çalışmasında, oda sıcaklığından ( $\sim 22^\circ\text{C}$ ) 178°C'ye kadar gözlenen ilk ağırlık kaybının, kalıcı THF, nem, flor safsızlıkları ve CO/CO<sub>2</sub> buharlaşmasının yayılması ve dağılmasından kaynaklandığını ve ihmal edilebilir olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı %75:25 PVC/PMMA blendine değişik oranlarda kattığı CNT'lerle hazırladığı nanokompozitlerde, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel tarama kalorimetrik (DSC) analizlerinde, MWCNT katkılı PVC/PMMA ince filmlerinin 179-230°C sıcaklık aralığında termal stabilite sergilediğini ve erime sıcaklığının ve kristallik derecesinin artan kalınlıkla arttığını ve MWCNT'ler ile katkılamadan sonra azaldığını göstermiştir. Çalışmasında PMMA/PVC blendine %0.25, %0.5 ve %1 oranlarında kattığı MWCNT'lerle Tg değerleri sırasıyla 61.0°C, 59.0°C ve 59.3°C olarak bulunmuştur. Buna karşılık Td değerleri de sırayla 392°C, 402°C ve 404°C bulunmuştur.

İletkenlik, termal stabilite, camsı geçiş sıcaklıkları, kristallenme dereceleri ( $X_c$ ) ile MWCNT katkı oranları ilişkisi Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Dielektrik özellikler; 10 kHz'deki dielektrik sabiti ve  $f = 0$ , ( $\sigma_{dc}$ ), (El Sayed, 2020)

Filmler		10 kHz'de $\epsilon'$	$\sigma_{dc}$ (S/cm)	f=1MHz'de $\sigma_{ac}$ (S/m)
Kalınlığın etkisi	d = 3.64 $\mu\text{m}$	2.77	$3.51 \times 10^{-8}$	$3.62 \times 10^{-6}$
	d = 91.4 $\mu\text{m}$	3.10	$3.83 \times 10^{-8}$	$5.92 \times 10^{-6}$
	d = 204 $\mu\text{m}$	3.55	$5.24 \times 10^{-8}$	$9.65 \times 10^{-6}$
Dopantın etkisi	%0.25 WCNT	3.97	$1.96 \times 10^{-7}$	$1.44 \times 10^{-5}$
	%0.50 MWCNT	5.57	$1.39 \times 10^{-6}$	$2.59 \times 10^{-5}$
	%1.0 MWCNT	8.37	$9.25 \times 10^{-6}$	$5.48 \times 10^{-5}$

Wang ve ark., (2020), hazırladıkları PMMA/MC (metil selüloz) blendinde çeşitli mekanik özellikleri SEM görüntülerini ve XRD verilerini incelemiştir. PMMA'nın ince filmlerindeki kırılma indeksinin artan oranlı MC karışımıyla giderilebileceğini görmüşlerdir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Termal özellikler; maksimum termal bozunma sıcaklığı ( $T_{max}$ ), camı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ) ayrışma sıcaklığı ( $T_d$ ), füzyon ısısı ( $H_m$ ) kristallik derecesi ( $X_c$ ), (Wang ve ark., 2020)

Filmler		$T_{max}$ (°C)	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)	$T_d$ (°C)	$H_m$ (J/g)	$X_c$ (%)
Kalınlığın etkisi	d = 3.64 $\mu\text{m}$	262	55.0	279	394	33.4	18.97
	d = 91.4 $\mu\text{m}$	262	64.0	289	400	42.3	24.03
	d = 204 $\mu\text{m}$	252	70.0	292	395	47.6	27.04
Dopantın etkisi	%0.25 WCNT	258	61.0	289	392	42.5	24.15
	%0.50 MWCNT	259	59.0	285	402	39.7	22.55
	%1.0 MWCNT	261	59.3	280	404	36.8	20.90



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Kullanılan Materyal ve Cihazlar

Bu tezde kullanılan ortalama molekül ağırlığı 15.000 olan PMMA, düşük molekül ağırlıklı PVC, 6-13 nm  $\times$  2.5-20  $\mu$ m,  $>$ %98 CNT'ler ve  $>$ %99.9 saflıkta tetrahidrofur (THF) Sigma-Aldrich'ten temin edildi. Manyetik karıştırıcı olarak Dathan MS-MP8, ultrasonik banyo olarak Lab Companion Ultrasonic Cleaner kullanıldı.

Metot olarak Yanmaz (2018) esas alınmıştır. Polimer blendinin 1 g'lık PVC/PMMA katı karışımları % 80:20, 60:40, 50:50, 40:60 ve 20:80 oranlarında (örn. 800 mg PVC/200 mg PMMA) hazırlandı. Her orandaki karışım için 1g toplam karışımın %0.1, 0.5 ve 1'i oranında olacak şekilde CNT'ler ayrı ayrı tartıldı. Polimer karışımlarının yüzde oranları aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Polimer karışımları için (PVC/PMMA) yüzde oranlarına göre numune kodları

Numune Kodu	Numune Bileşim Yüzdeleri (%)	
PVC80	%80 PVC	%20 PMMA
PVC60	%60 PVC	%40 PMMA
PVC50	%50 PVC	%50 PMMA
PVC40	%40 PVC	%60 PMMA
PVC20	%20 PVC	%80 PMMA

#### 3.2. CNT Katkılı PVC/PMMA Blendlerinin Hazırlanması

Katı polimer karışımı 30mL'lik THF'de manyetik karıştırıcıda iki saat karıştırılarak çözüldü. 1g'lık toplam karışıma göre ayrı ayrı tartılmış CNT'ler 5'er mL'lik THF içinde, ultrasonik banyoda 24-30°C sıcaklık aralığında yarım saat disperse edildi.

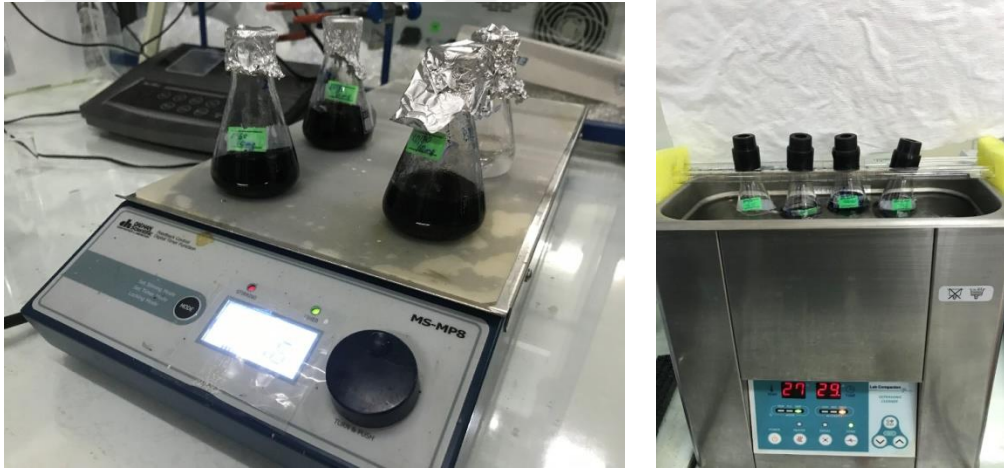
CNT dispersiyonu, polimer blendi çözeltisine dikkatle eklendikten sonra yeni karışım iki saat ultrasonik banyoda homojenize edildi. (Şekil3.1.) Ultrasonik banyodan alınan kompozit dispersiyonu bir saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra hassas şekilde petrilere döküldü.

Hazırlanan nanokompozitler CNT yüzdelere göre de (%0, 0.1, 0.5 ve 1) her bir seri için kodlama numune koduna CNT yüzdesi eklenerek tanımlanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. CNT yüzdelere göre nanokompozitlerin numune kodları

		CNT Miktarları (%)			
		%0 CNT	%0.1 CNT	%0.5 CNT	%1 CNT
Numune Kodları	PVC80	PVC80-0	PVC80-0.1	PVC80-0.5	PVC80-1
	PVC60	PVC60-0	PVC60-0.1	PVC60-0.5	PVC60-1
	PVC50	PVC50-0	PVC50-0.1	PVC50-0.5	PVC50-1
	PVC40	PVC40-0	PVC40-0.1	PVC40-0.5	PVC40-1
	PVC20	PVC20-0	PVC20-0.1	PVC20-0.5	PVC20-1

Petrilere dökülen nanokompozit dispersiyonu bir tam gün (24 saat) oda sıcaklığında bekletilerek kuruma sağlandı ve katı nanokompozit filmi elde edildi.



Şekil 3.1. Dathan MS-MP8 manyetik karıştırıcı ve ultrasonik banyo.

Çalışmada elektron mikroskobu görüntülemesinde YYÜ BUAM Sigma 300 FESEM elektron mikroskobu kullanılmıştır.

XRD analizlerinde Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi RIGAKU ULTIMA IV X-Ray Kırınım Spektrometresi cihazı kullanılmıştır.

TGA/DTG ölçümlerinde Karabük Üniversitesi MARGEM Laboratuvarlarında Hitachi STA 7300 TGA/DTA cihazından yararlanılmıştır.

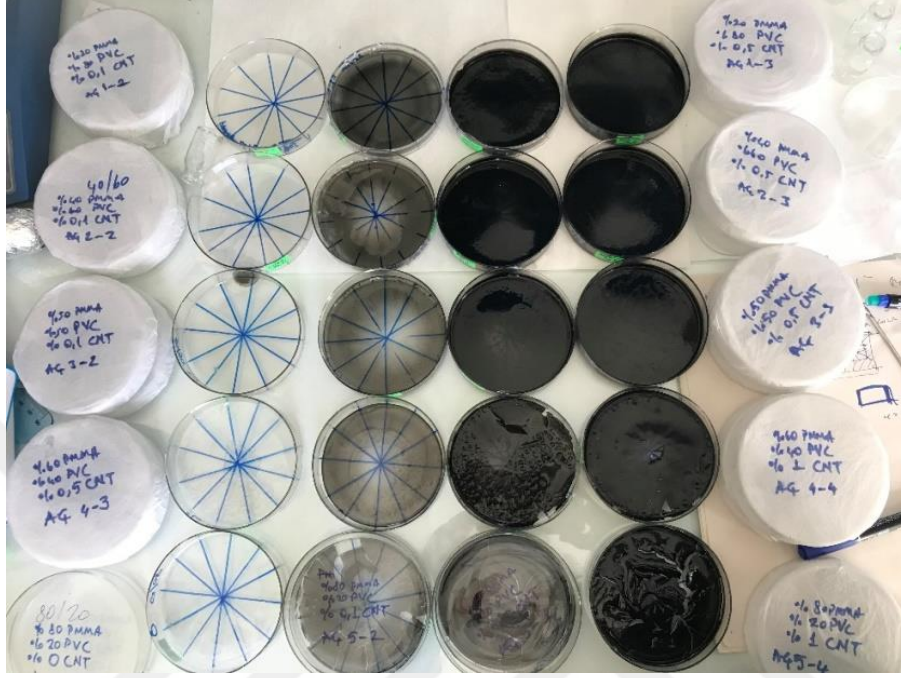
DSC ölçümleri ODTÜ MERLAB TAL biriminde Perkin Elmer Diamond Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazında yapılmıştır.

Elektriksel iletkenlik ölçümlerinde Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarı'nda Keithly Model 6517A Elektrometre ile Alternating Polarity yönteminden yararlanılmıştır.

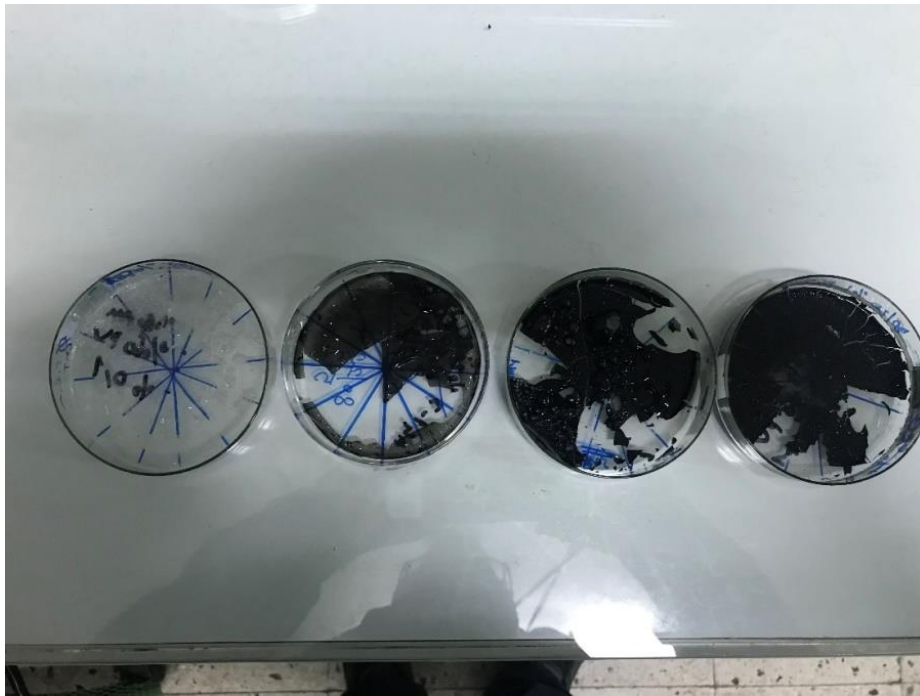




#### 4. BULGULAR

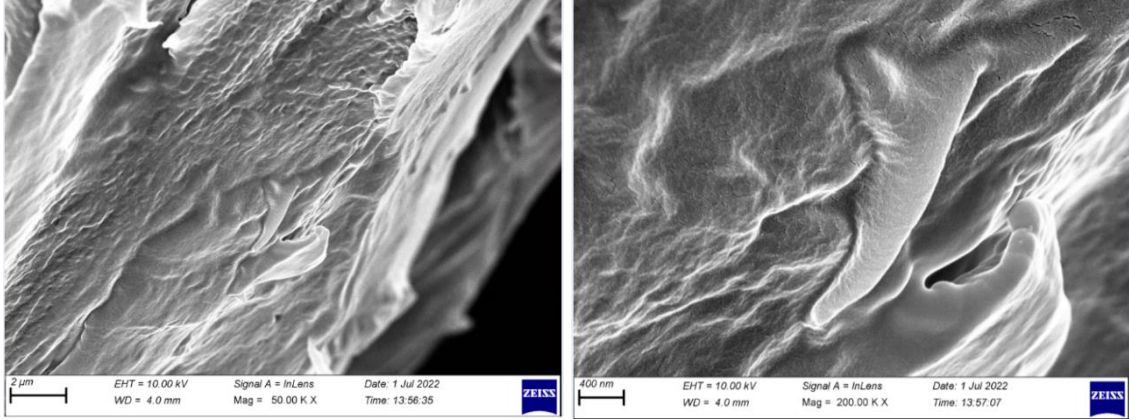


Şekil 4.1. Hazırlanan nanokompozitler.

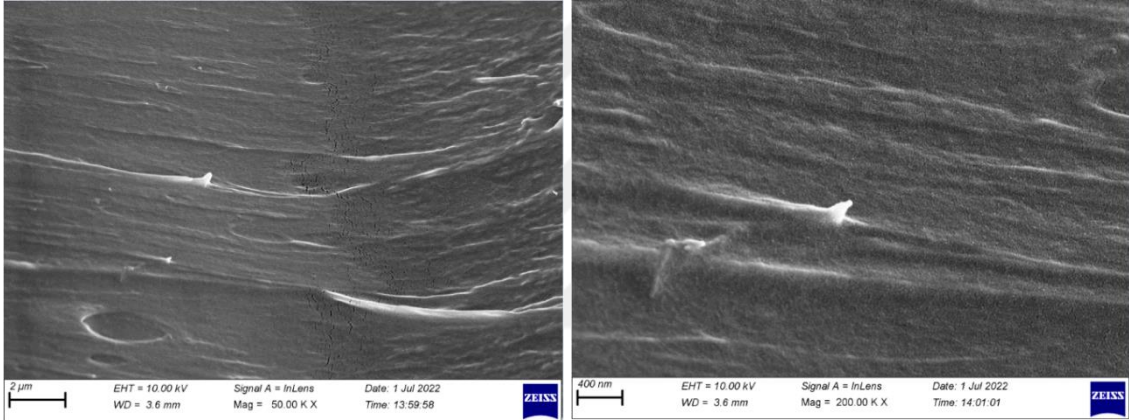


Şekil 4.2. PVC20 serisindeki kırılma görünümü.

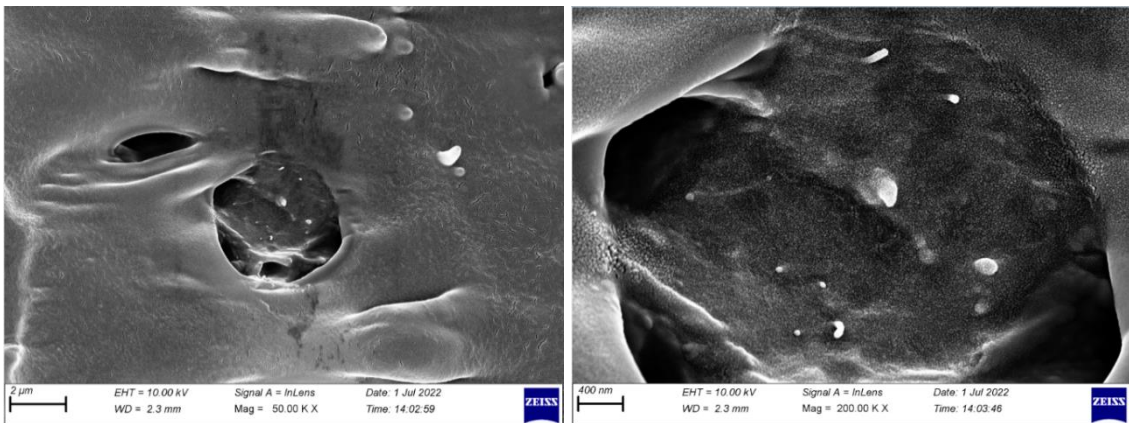
## SEM Görüntüleri



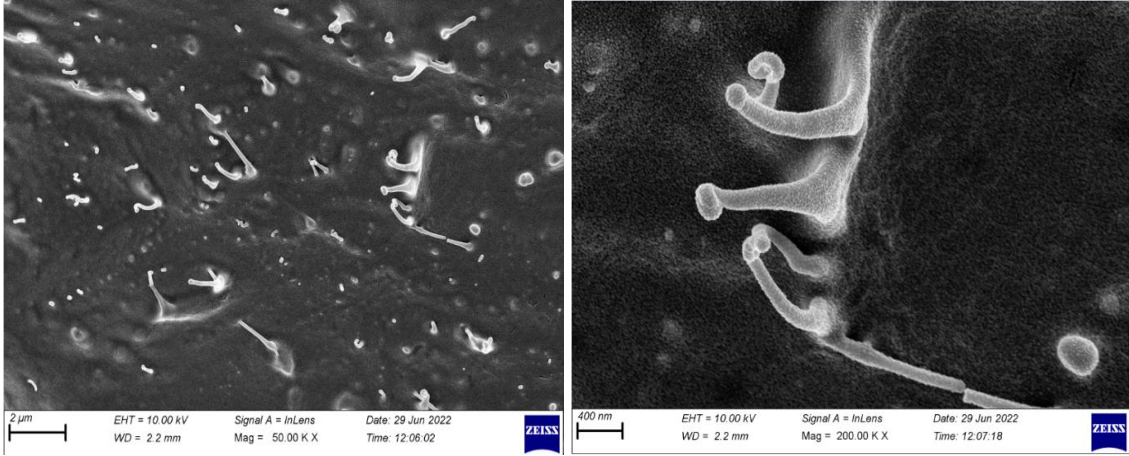
Şekil 4.3. PVC80-0 numunesi (%80:20:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



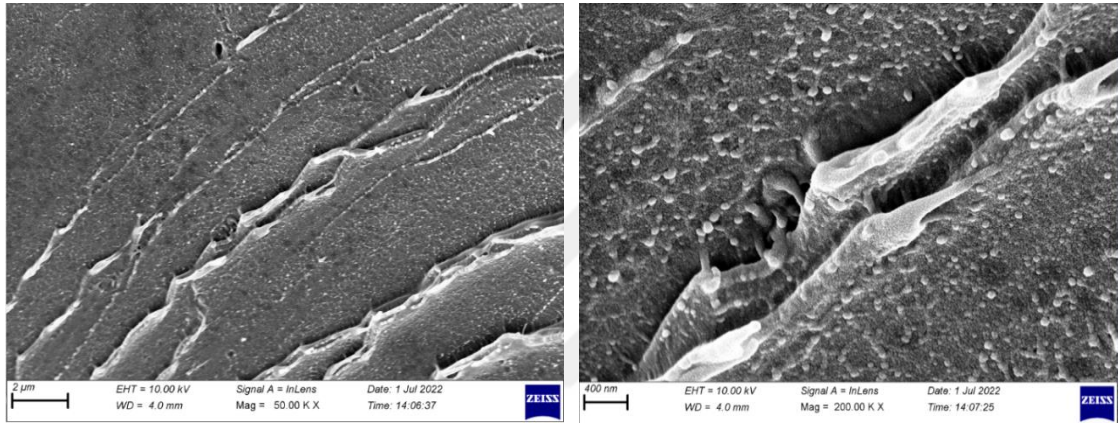
Şekil 4.4. PVC80-0.1 numunesi (%80:20:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



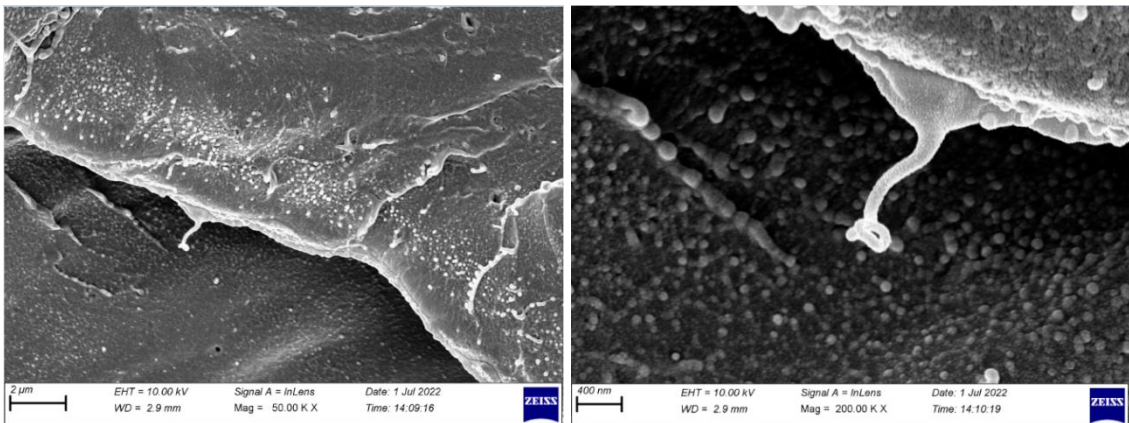
Şekil 4.5. PVC80-0.5 numunesi (%80:20:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



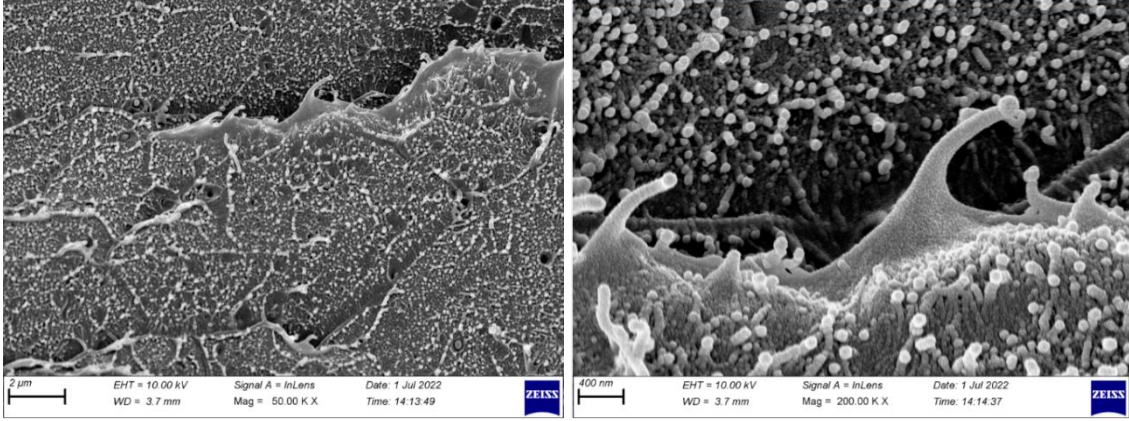
Şekil 4.6. PVC80-1 numunesi (%80:20:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



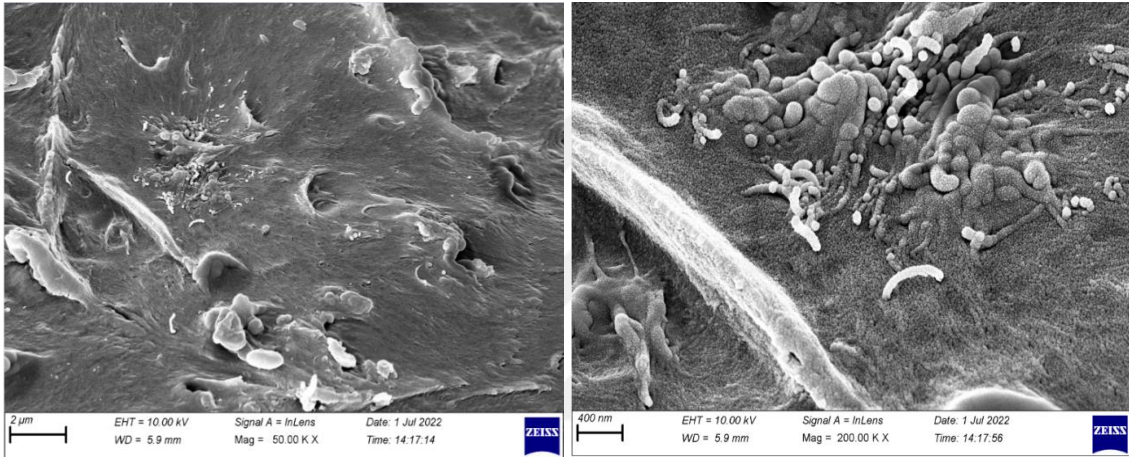
Şekil 4.7. PVC60-0 numunesi (%60:40:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



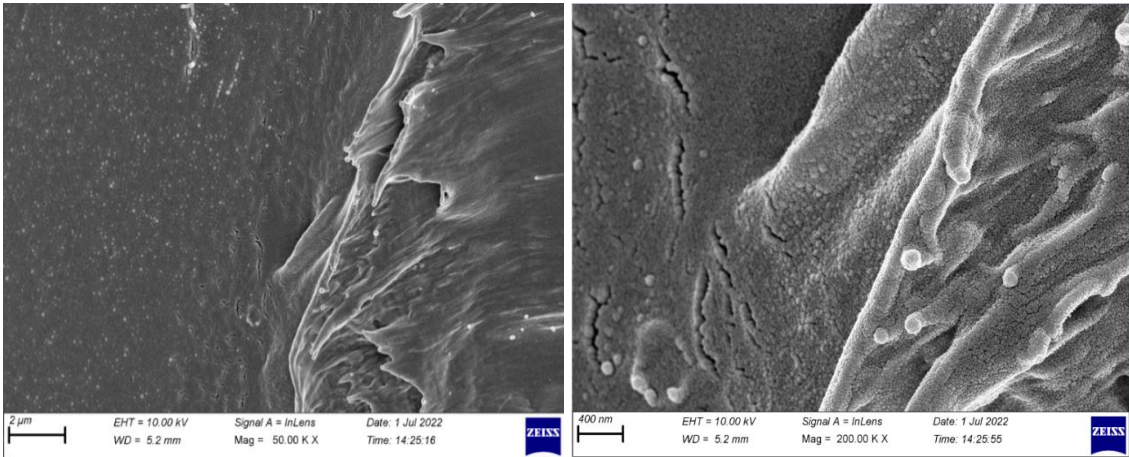
Şekil 4.8. PVC60-0.1 numunesi (%60:40:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



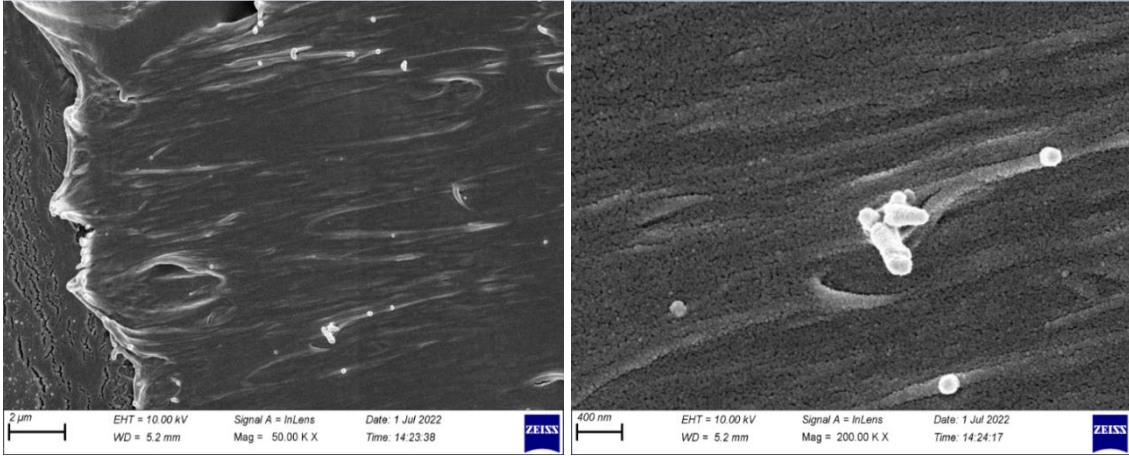
Şekil 4.9. PVC60-0.5 numunesi (%60:40:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



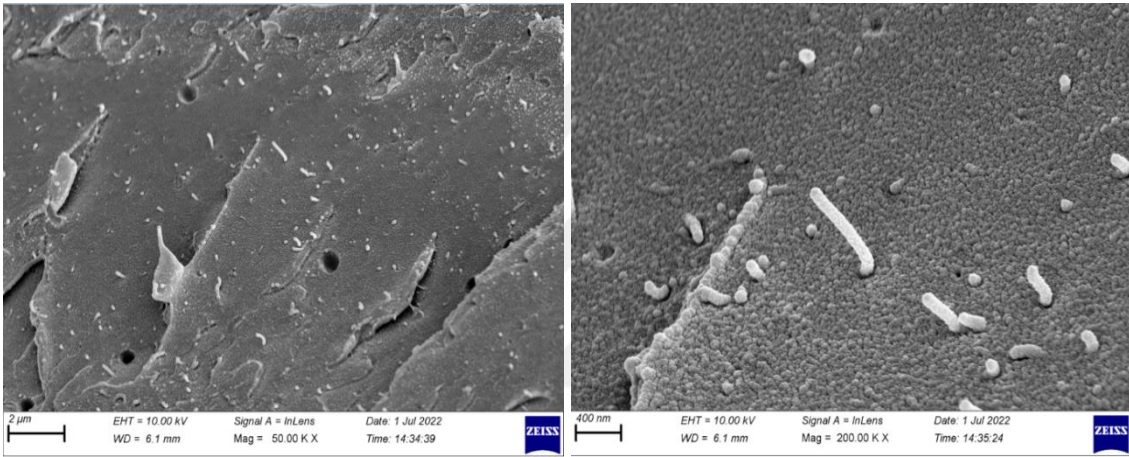
Şekil 4.10. PVC60-1 numunesi (%60:40:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



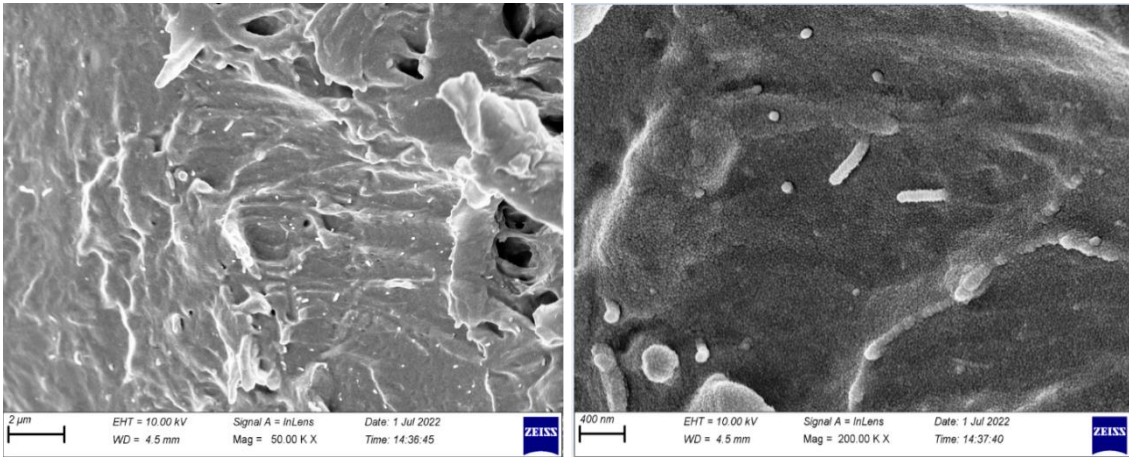
Şekil 4.11. PVC50-0 numunesi (%50:50:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



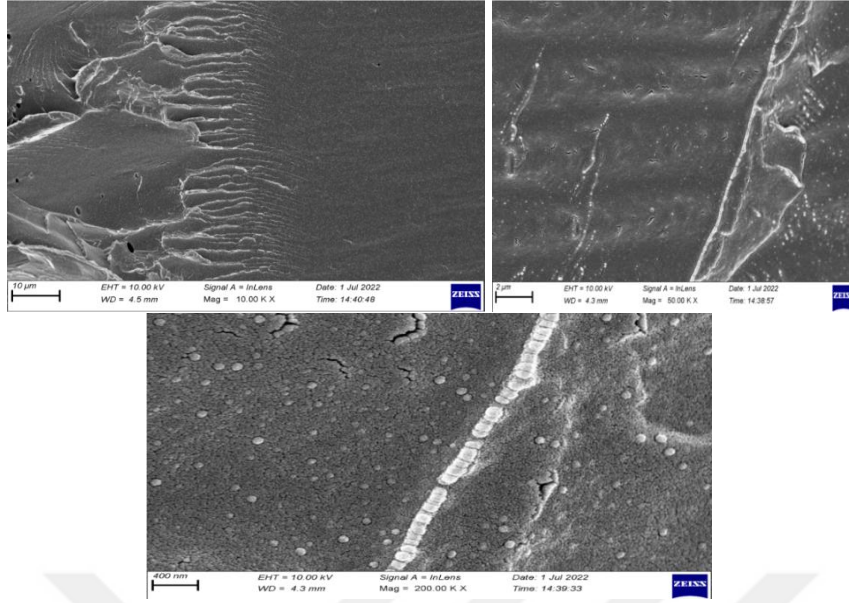
Şekil 4.12. PVC50-0.1 numunesi (%50:50:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



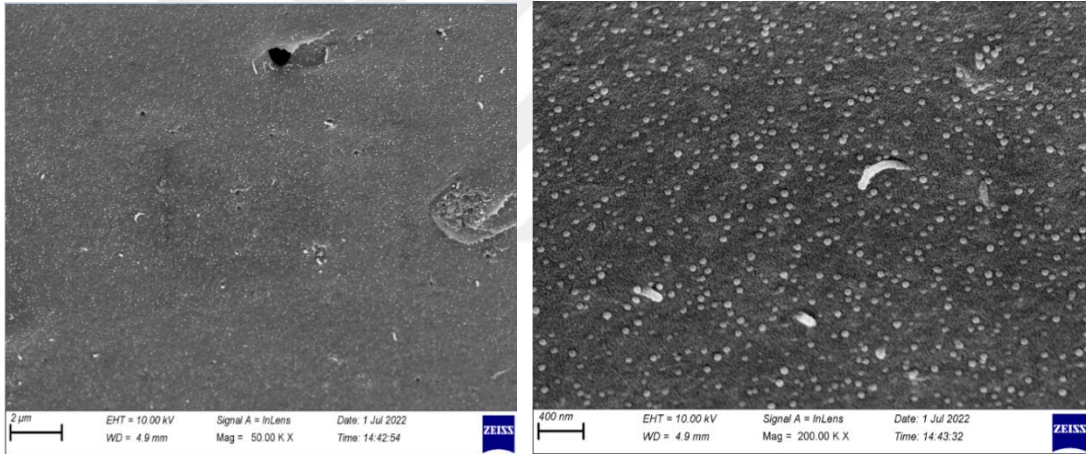
Şekil 4.13. PVC50-0.5 numunesi (%50:50:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



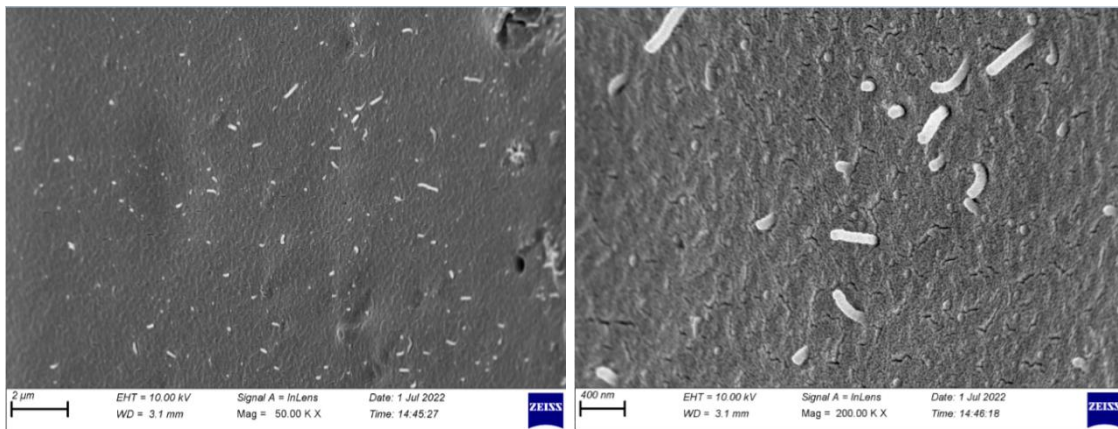
Şekil 4.14. PVC50-1 numunesi (%50:50:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



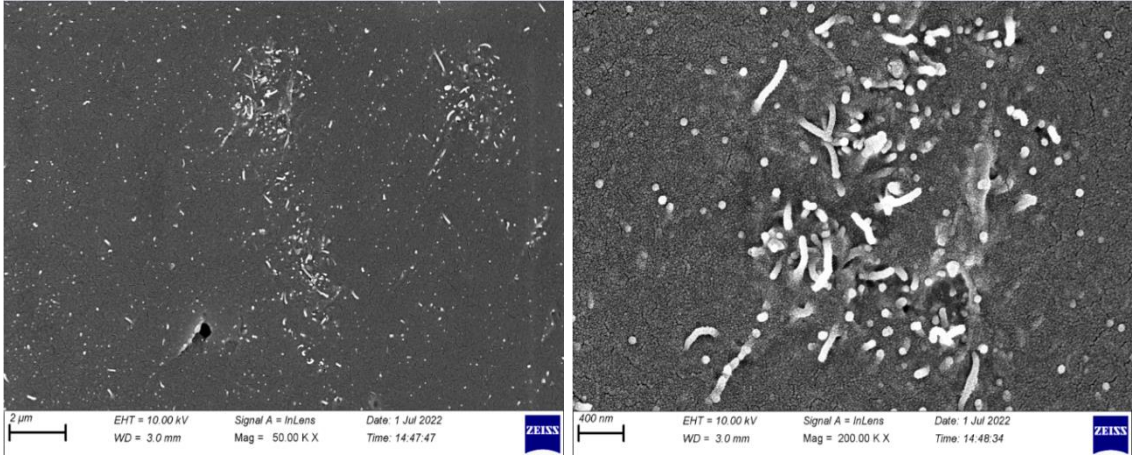
Şekil 4.15. PVC40-0 numunesi (%40:60:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



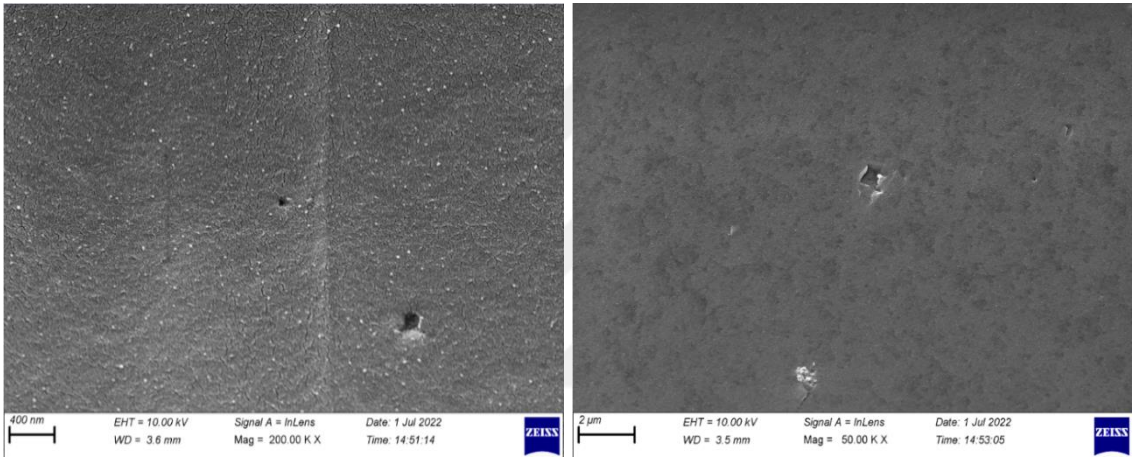
Şekil 4.16. PVC40-0.1 numunesi (%40:60:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



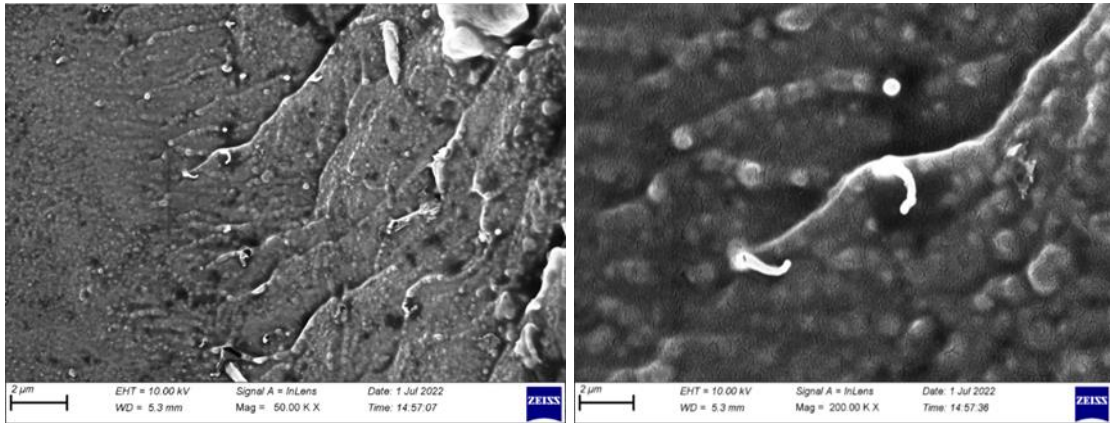
Şekil 4.17. PVC40-0.5 numunesi (%40:60:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



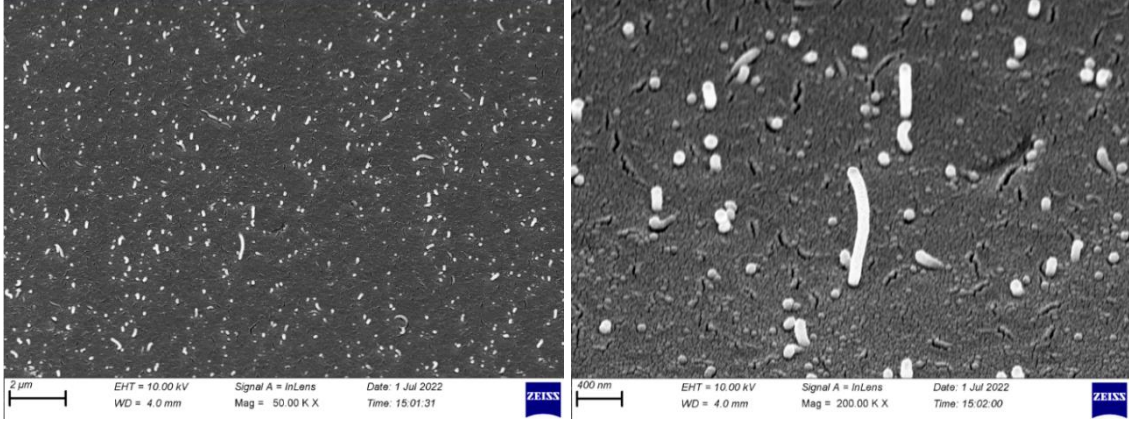
Şekil 4.18. PVC40-1 numunesi (%40:60:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



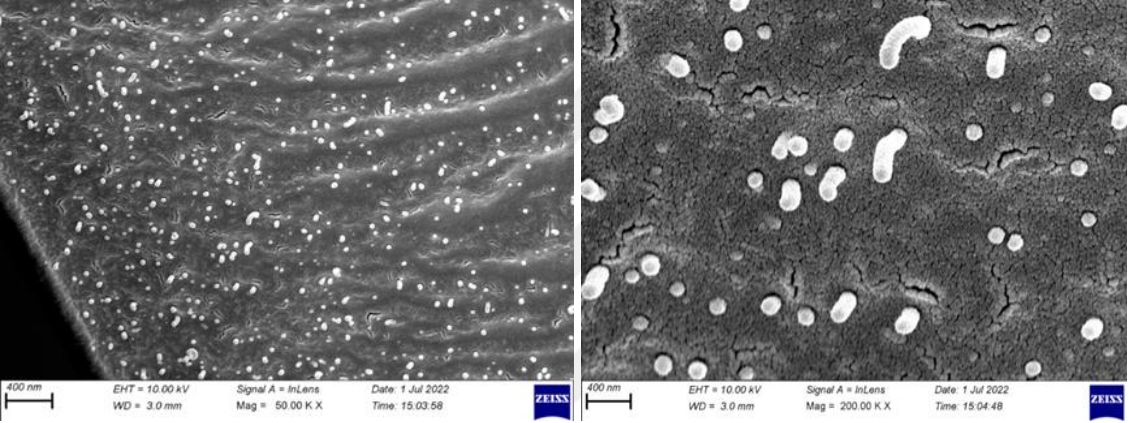
Şekil 4.19. PVC20-0 numunesi (%20:80:0) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



Şekil 4.20. PVC20-0.1 numunesi (%20:80:0.1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



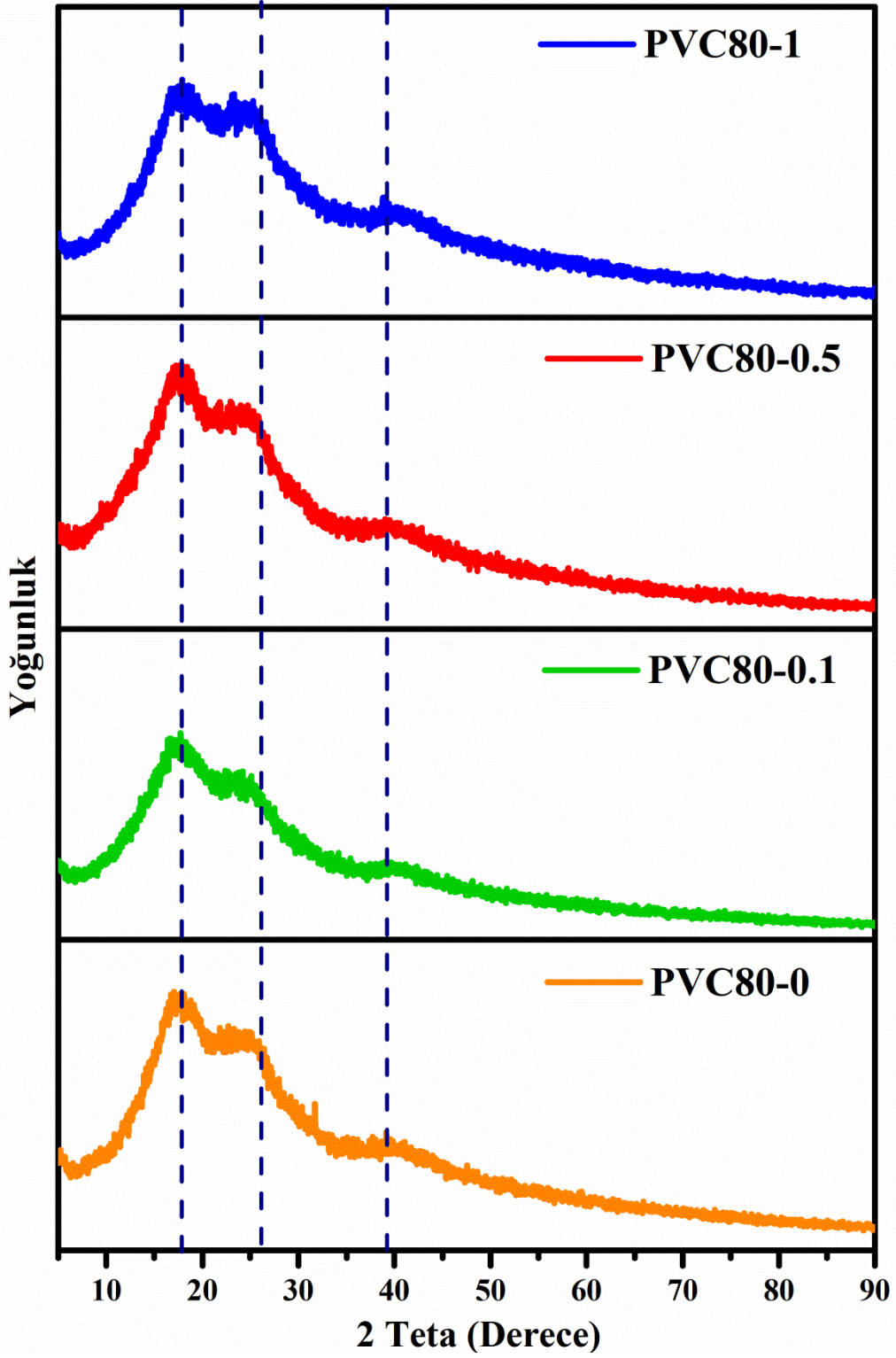
Şekil 4.21. PVC20-0.5 numunesi (%20:80:0.5) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.



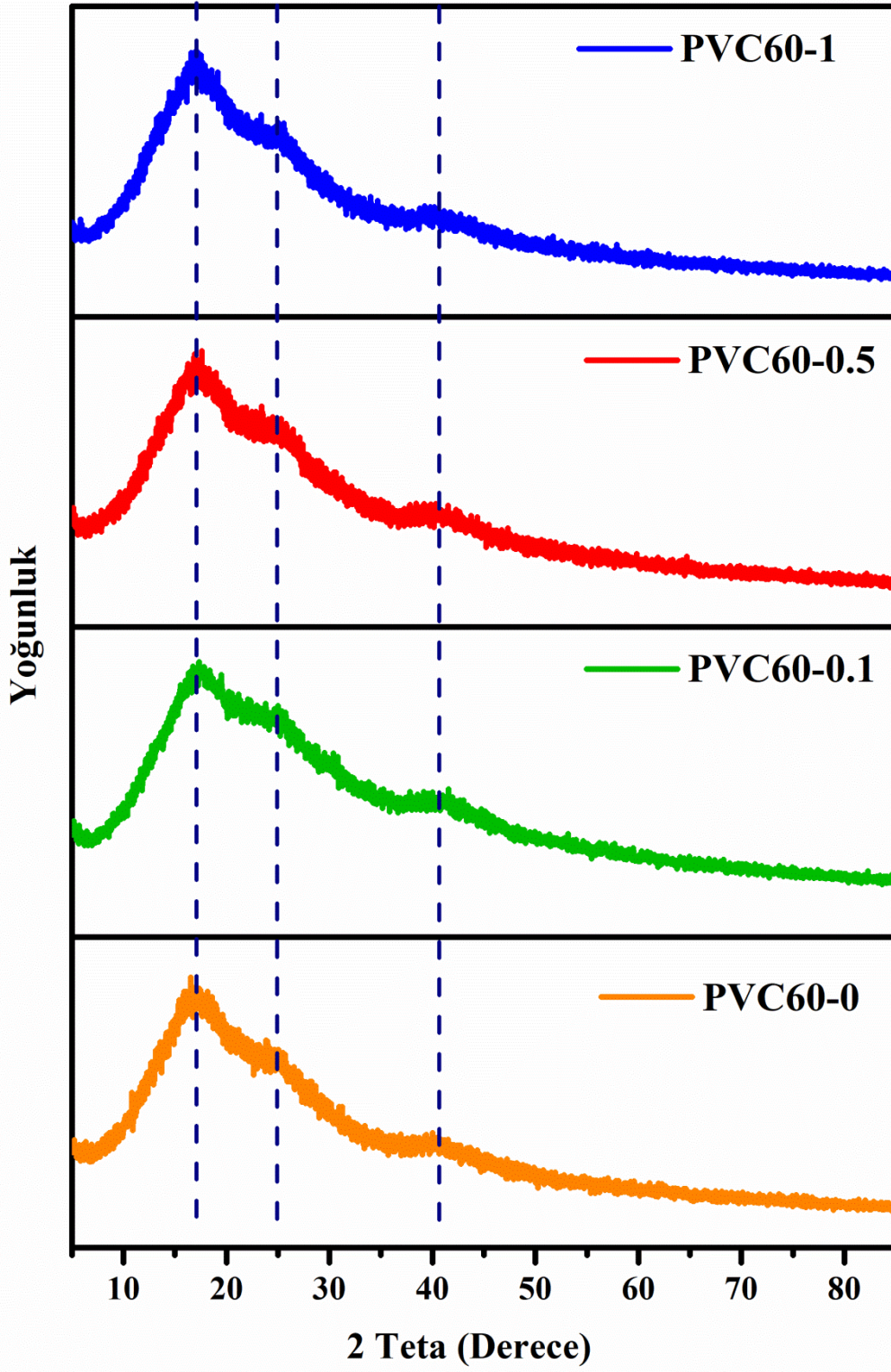
Şekil 4.22. PVC20-1 numunesi (%20:80:1) PVC/PMMA/CNT SEM görüntüleri.

### XRD analizleri

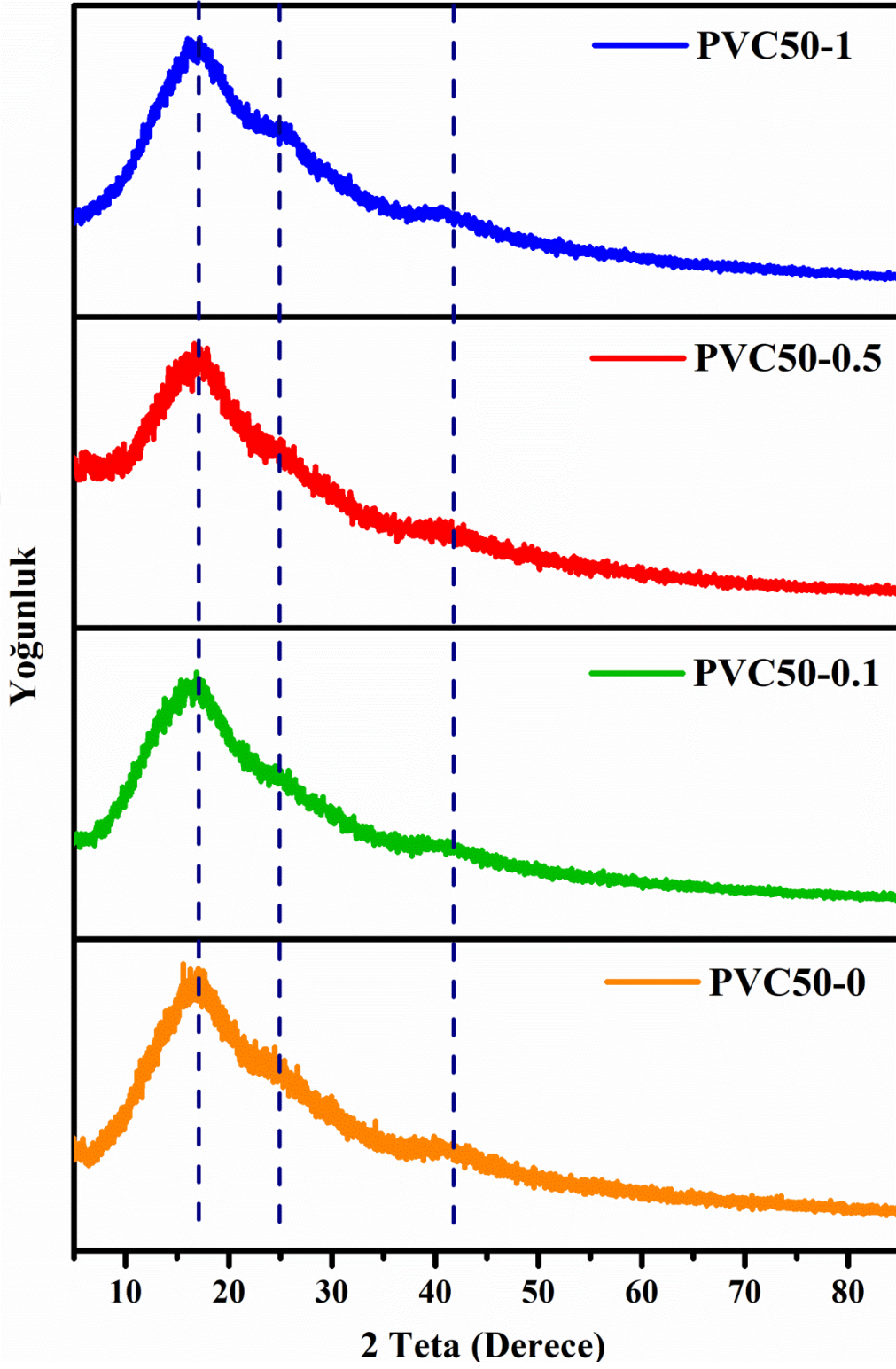
XRD analizlerinde Tarama Açısı: 3-90° Tarama Hızı: 10°/dk Dalga Boyu: Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ ) olmak üzere cihaza numuneler yerleştirilmiş, istenen açı 3-90° ayarlanarak analize başlanmıştır. Analiz 2 $\theta$  açısına karşılık yoğunluk spektrum grafiği verilerek sonlandırılmıştır.



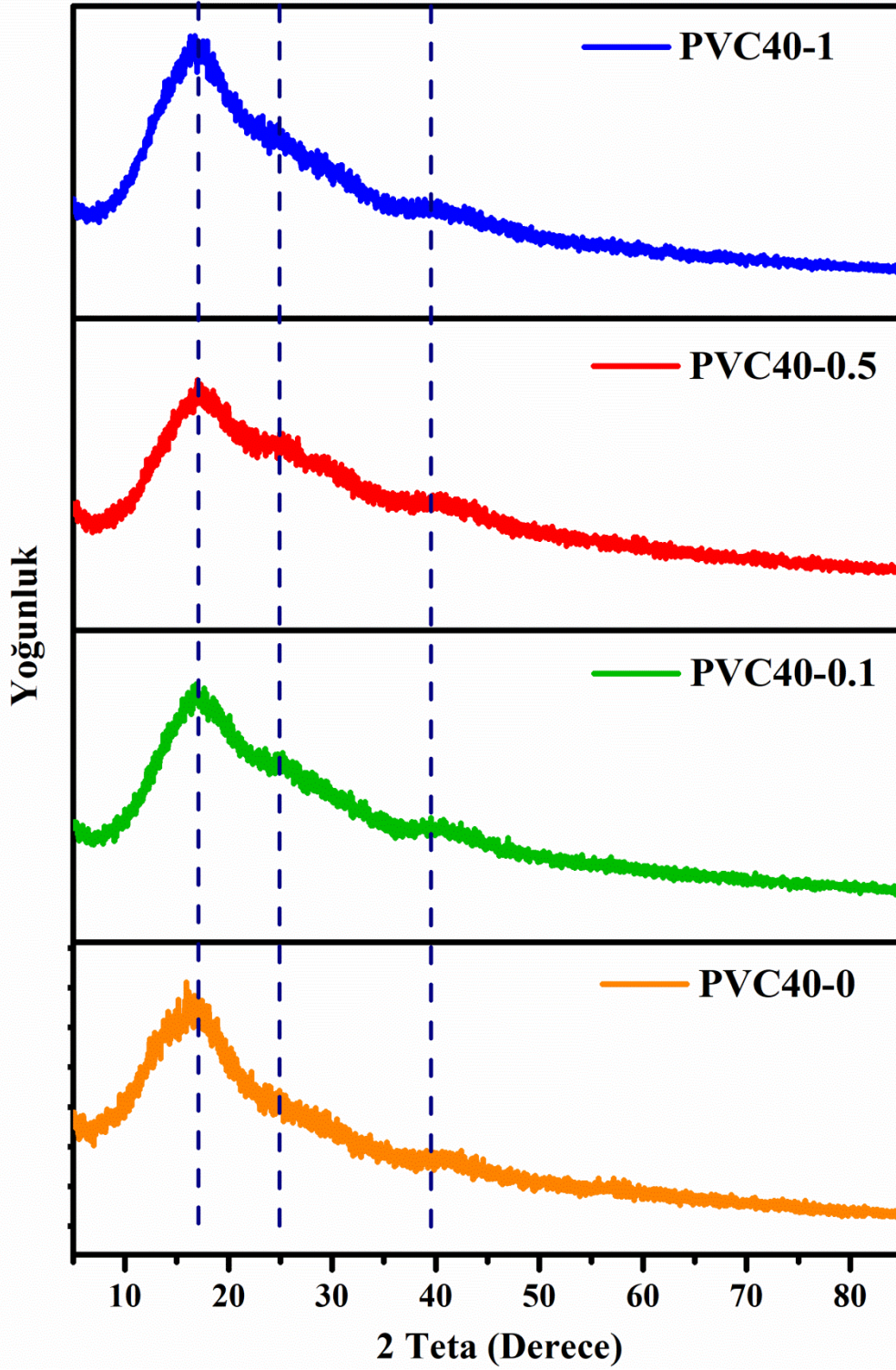
Şekil 4.23. XRD desenleri; PVC80-(0-1) serisi.



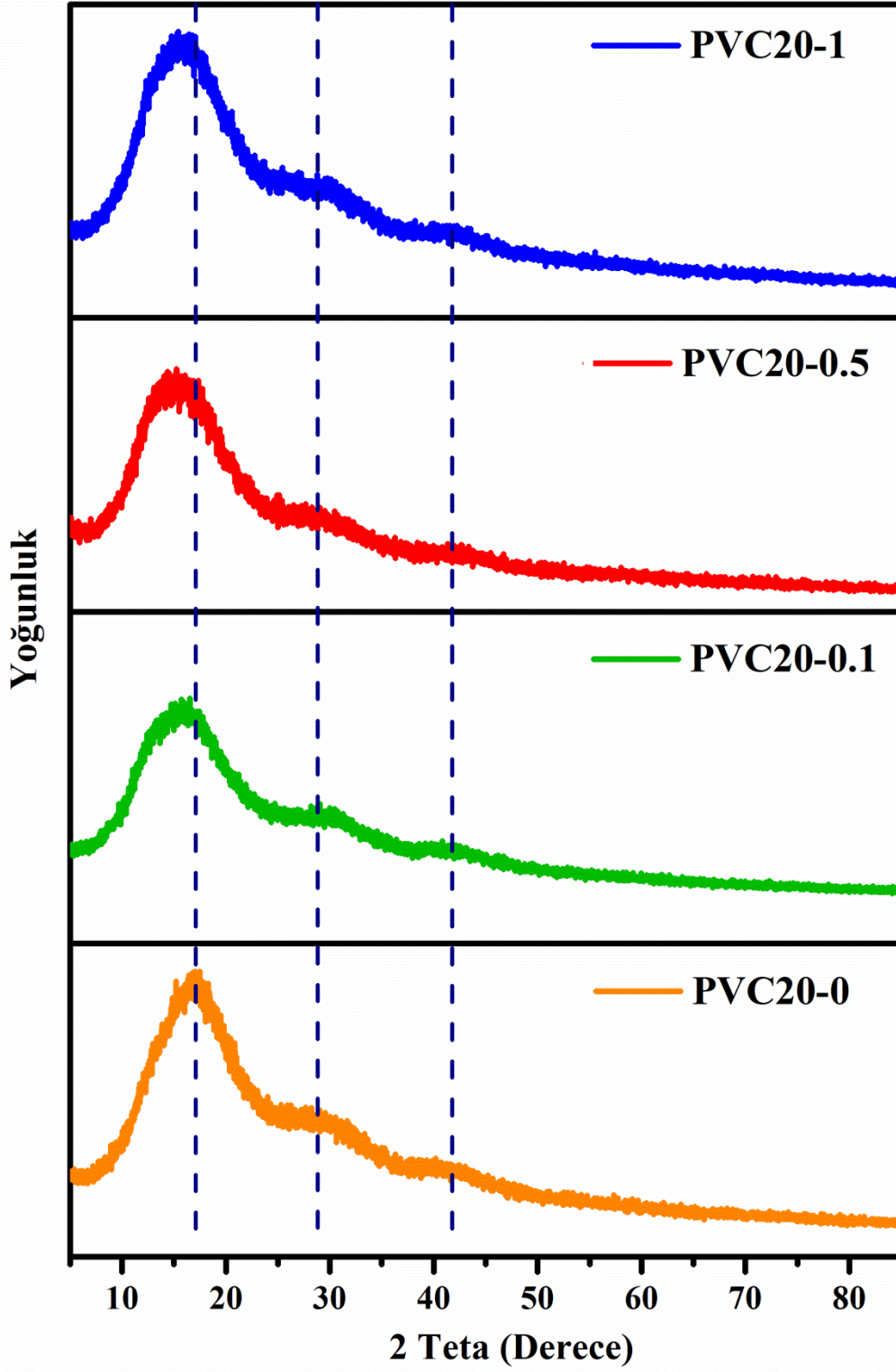
Şekil 4.24. XRD desenleri; PVC60-(0-1) serisi.



Şekil 4.25. XRD desenleri; PVC50-(0-1) serisi.



Şekil 4.26. XRD desenleri; PVC40-(0-1) serisi.



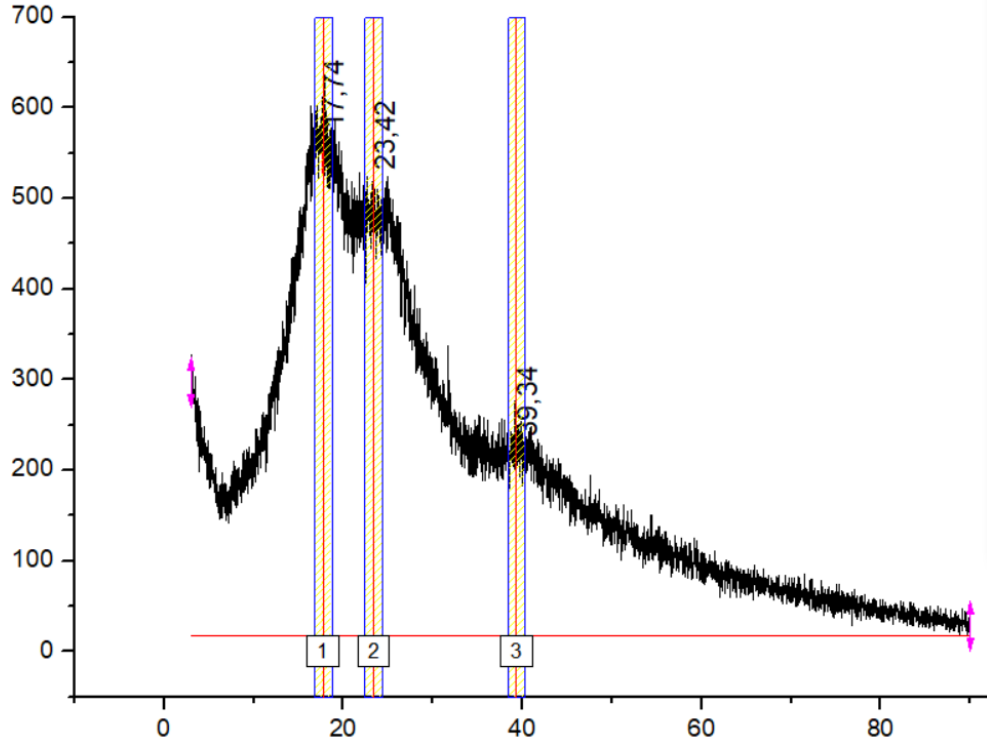
Şekil 4.27. XRD desenleri; PVC20-(0-1) serisi.

Çizelge 4.1. XRD Ölçümlerine dayalı kristallik oranları

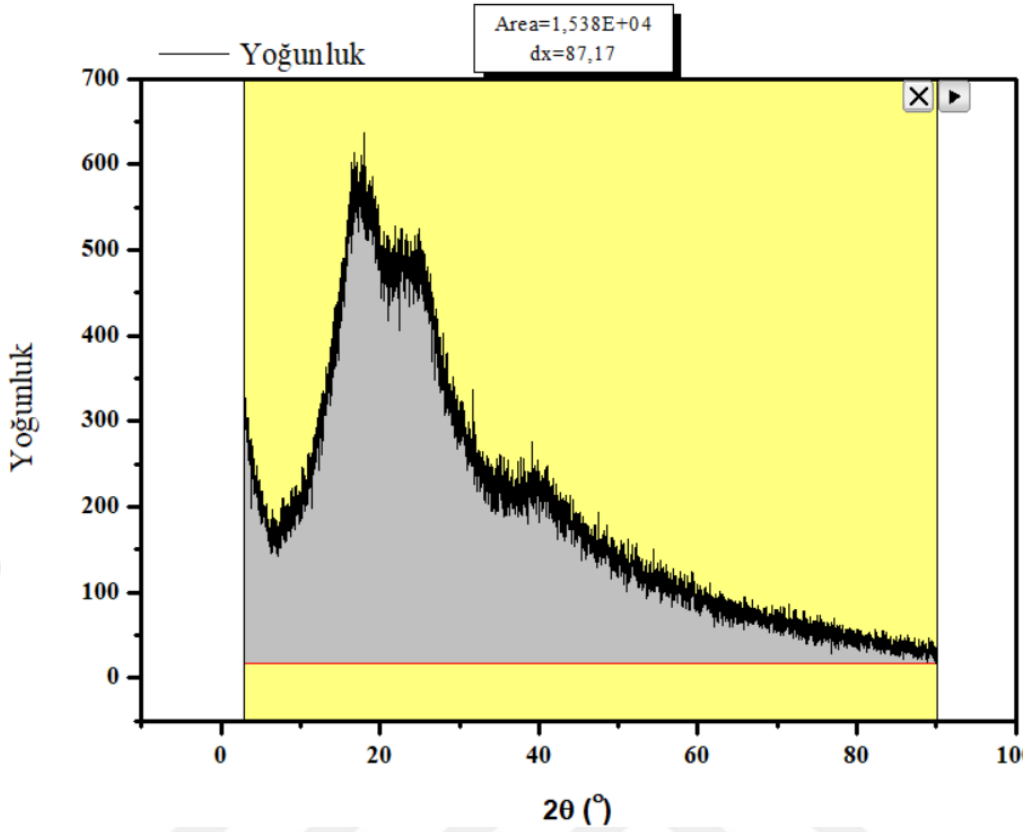
	2 $\theta$	Kristallik %		2 $\theta$	Kristallik %
<b>PVC80-0</b>	17.74	<b>15.71</b>	<b>PVC60-0</b>	16.52	<b>15.69</b>
	23.42			23.86	
	39.34			40	
<b>PVC80-0.1</b>	17.28	<b>15.90</b>	<b>PVC60-0.1</b>	17.34	<b>14.97</b>
	23.74			24.82	
	39.76			40.02	
<b>PVC80-0.5</b>	17.94	<b>15.86</b>	<b>PVC60-0.5</b>	17.6	<b>15.11</b>
	22.94			24.5	
	39.86			40.32	
<b>PVC80-1</b>	17.52	<b>14.61</b>	<b>PVC60-1</b>	16.98	<b>15.70</b>
	23.3			25	
	39.14			39.22	
<b>Ortalama Kristallik %</b>		<b>15.52</b>	<b>Ortalama Kristallik %</b>		<b>15.55</b>
<b>PVC50-0</b>	17.04	<b>15.47</b>	<b>PVC40-0</b>	16.18	<b>13.69</b>
	24.44			23.54	
	39.88			39.74	
<b>PVC50-0.1</b>	16.92	<b>14.10</b>	<b>PVC40-0.1</b>	16.68	<b>14.66</b>
	24.68			23.56	
	38.98			38.74	
<b>PVC50-0.5</b>	16.68	<b>14.17</b>	<b>PVC40-0.5</b>	17	<b>13.92</b>
	23.96			25.18	
	41.58			40.44	
<b>PVC50-1</b>	17.18	<b>15.38</b>	<b>PVC40-1</b>	16.78	<b>15.24</b>
	23.22			23.28	
	40.34			38.92	
<b>Ortalama Kristallik %</b>		<b>15.01</b>	<b>Ortalama Kristallik %</b>		<b>13.69</b>
<b>PVC20-0</b>	17.5	<b>15.39</b>			
	25.3				
	40.18				
<b>PVC20-0.1</b>	16.52	<b>14.55</b>			
	29.06				
	40.82				
<b>PVC20-0.5</b>	15.26	<b>14.49</b>			
	27.66				
	41.36				
<b>PVC20-1</b>	15.42	<b>15.04</b>			
	25.44				
	41.2				
<b>Ortalama Kristallik %</b>		<b>14.87</b>			

XRD'ye dayalı kristallik hesaplamaları:

$X_c$  (%) (Kristallik %) = (Toplam Kristal Bölge/Kristal bölge + Amorf bölge)  $\times$  100 formülüne göre bulunabilir. Buna göre Şekil 4.28'de bulunan piklerin pik altı alanlarının olası kristalliği temsil ettiği göz önüne alınarak bu pik altı alanlarının toplamının Şekil 4.29'daki toplam eğri altı alanına bölünmesi ve 100 ile çarpılmasından elde edilen değer numunenin % kristalliğini verir. Örnek bir hesaplama aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.28. Örnek XRD desen grafiğinde pik altı alanlarının gösterimi.



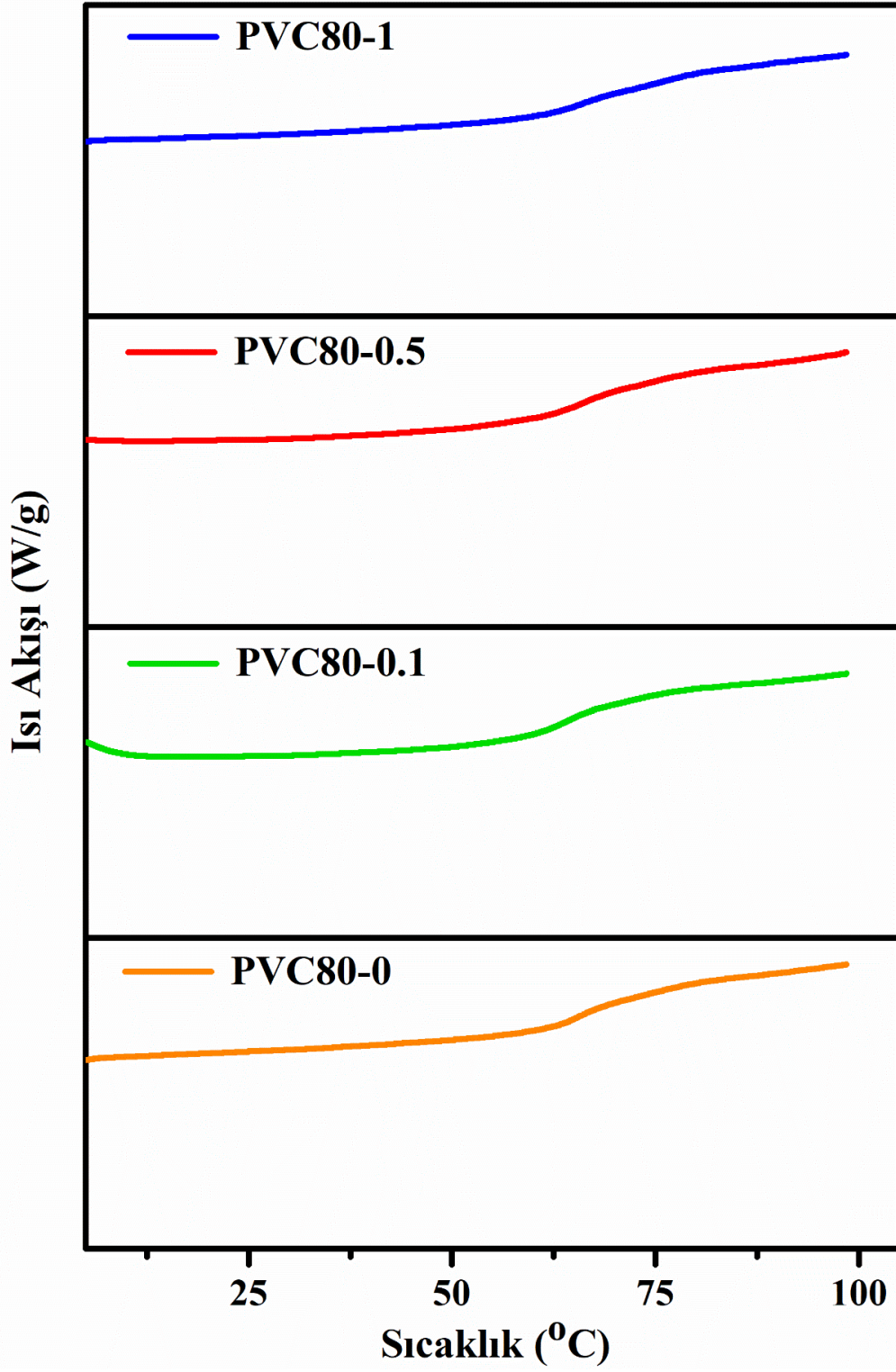
Şekil 4.29. Örnek XRD desen grafiğinde pik altı alanlarının gösterimi.

İlk örnek grafikteki piklerin Origin Pro 8.5 programında standart FWHM (yarı maksimumda tam genişlik) ile elde edilen pik altı alanlarının toplamının (Şekil 4.28) yine aynı programda elde edilen toplam eğri altı alanına (Şekil 4.29) bölünmesi ve bölümün 100 ile çarpılmasıyla kristallik yüzdesi hesaplanmıştır.

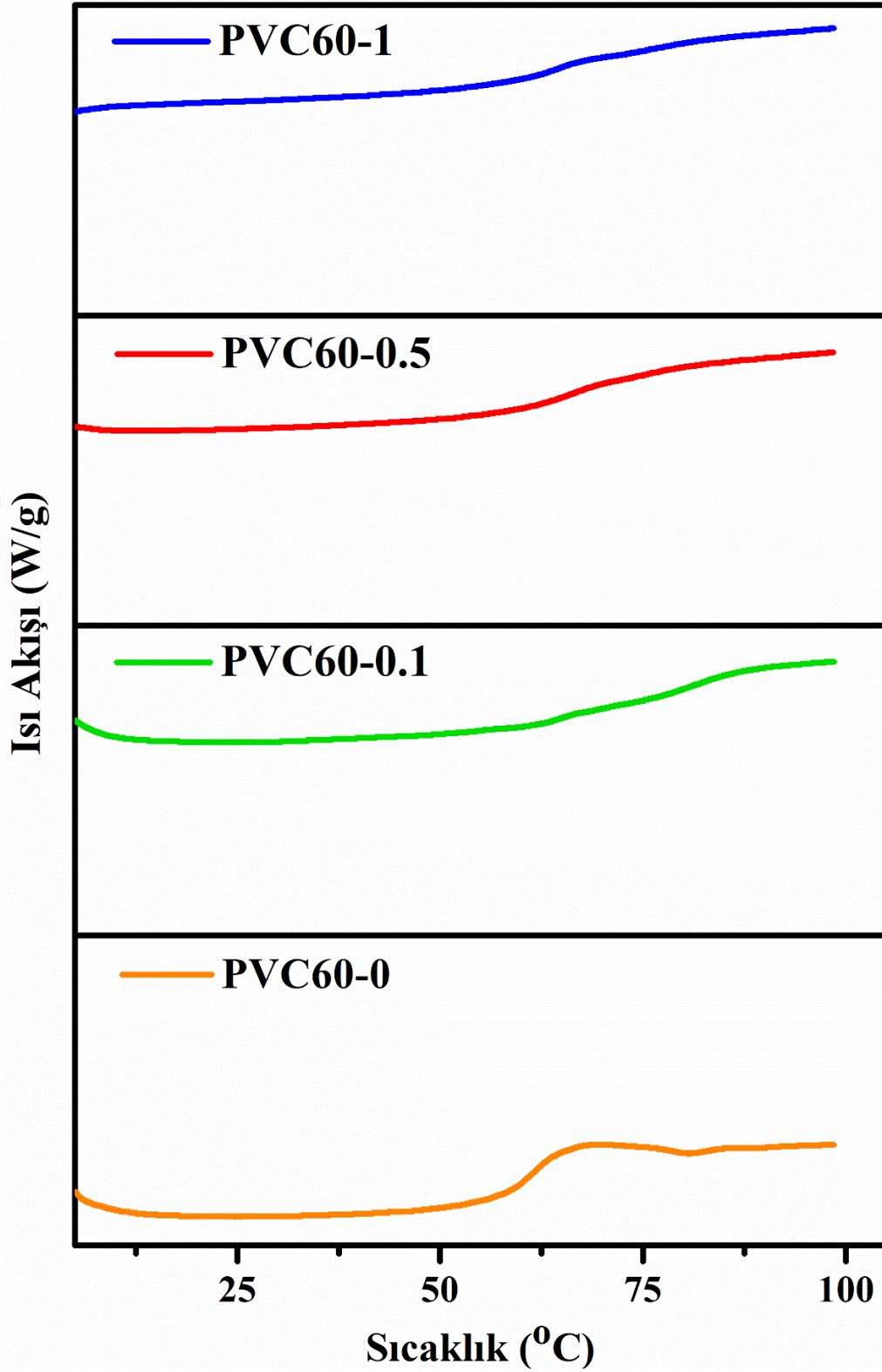
$$X_c = (1086.88 + 918.64 + 410.73) : 15380.00 \times 100 = 15.71$$

#### DSC Analizleri

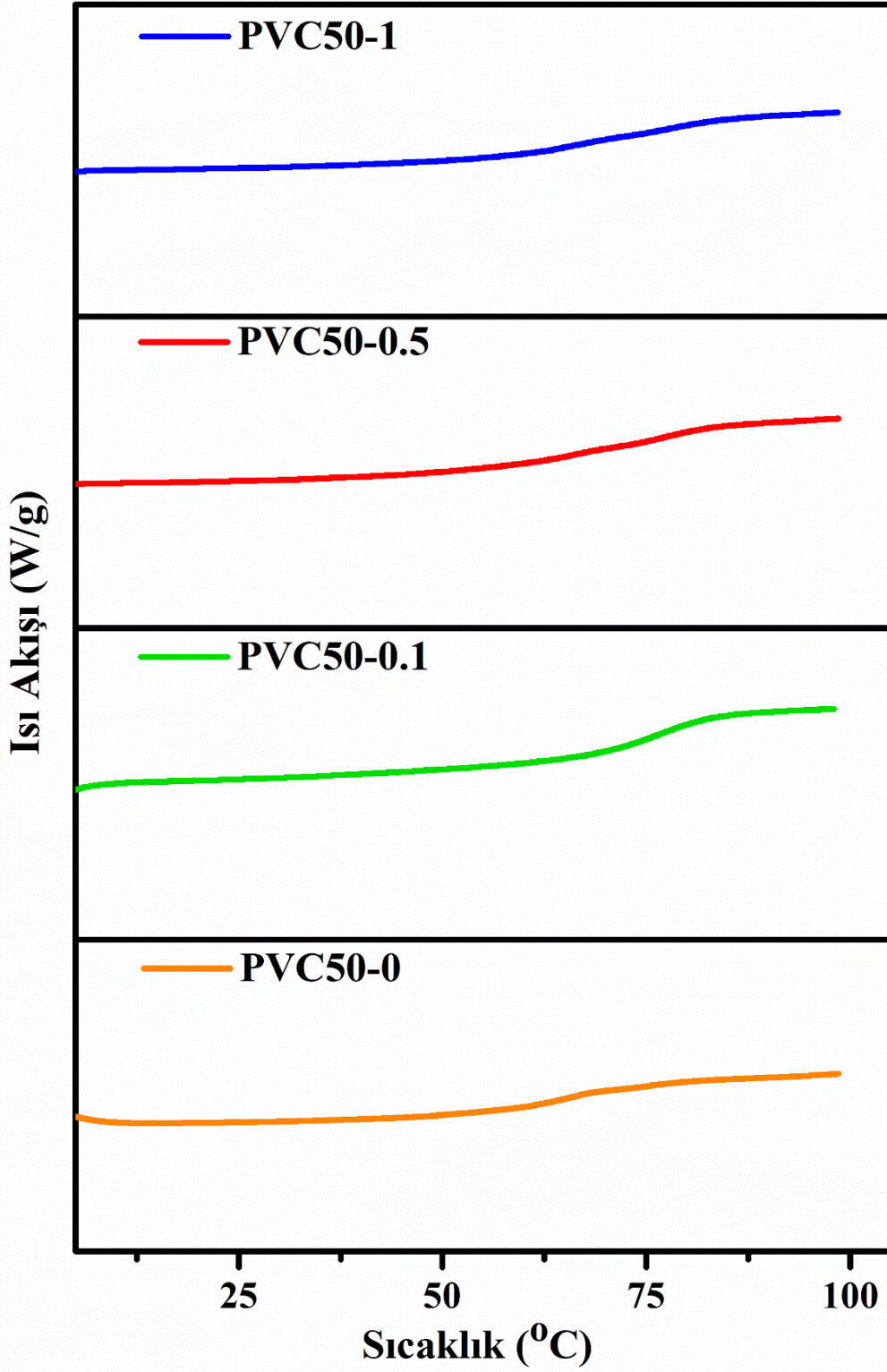
DSC analizleri 0-100°C aralığında, 10°C/dak. ısıtma hızında hava ortamında yapılmıştır. DSC grafikleri veri setlerine dayanarak Origin Pro 8.0 programıyla çizilmiştir.



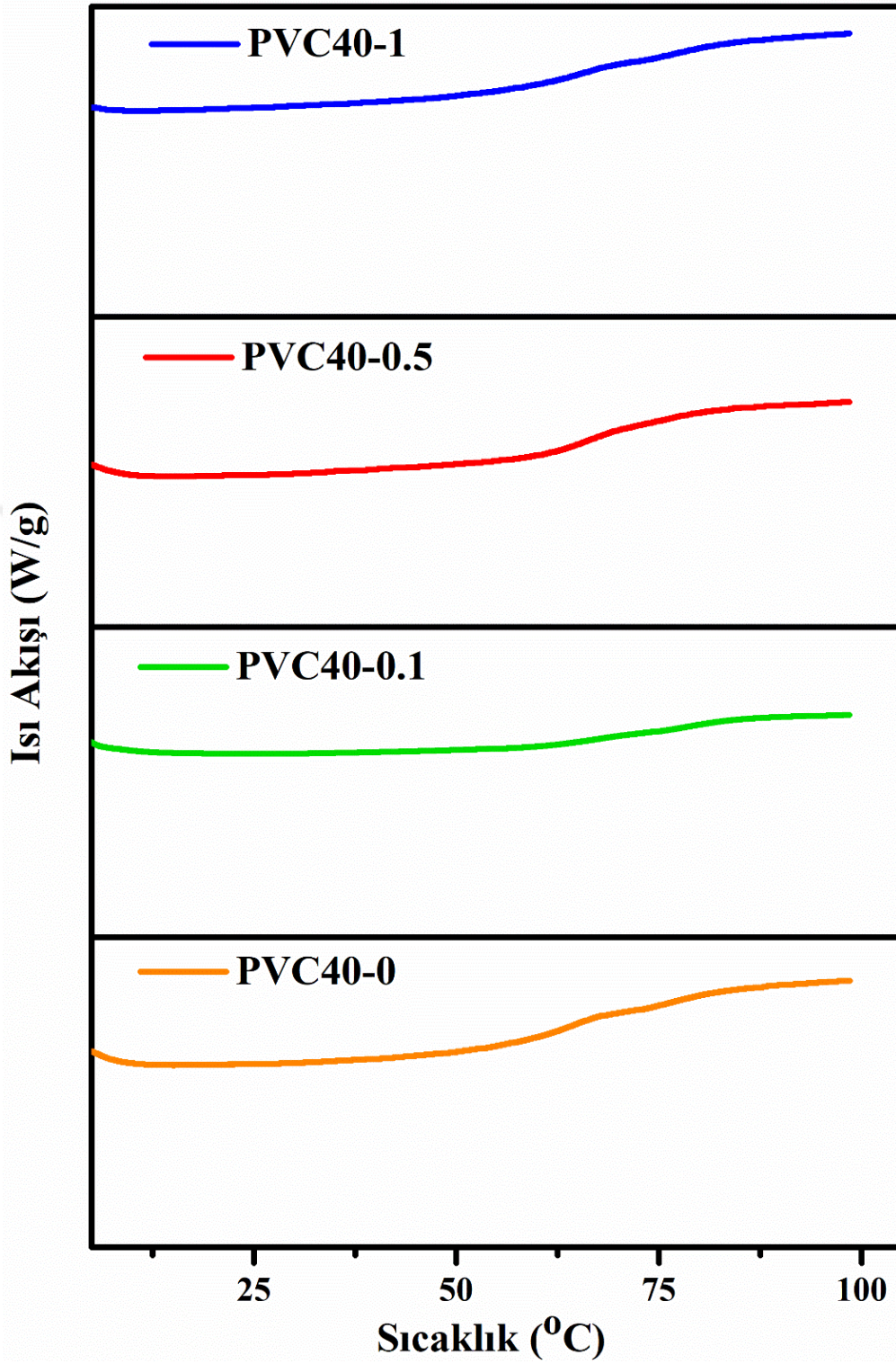
Şekil 4.30. DSC grafikleri; PVC80-(0-1) serisi.



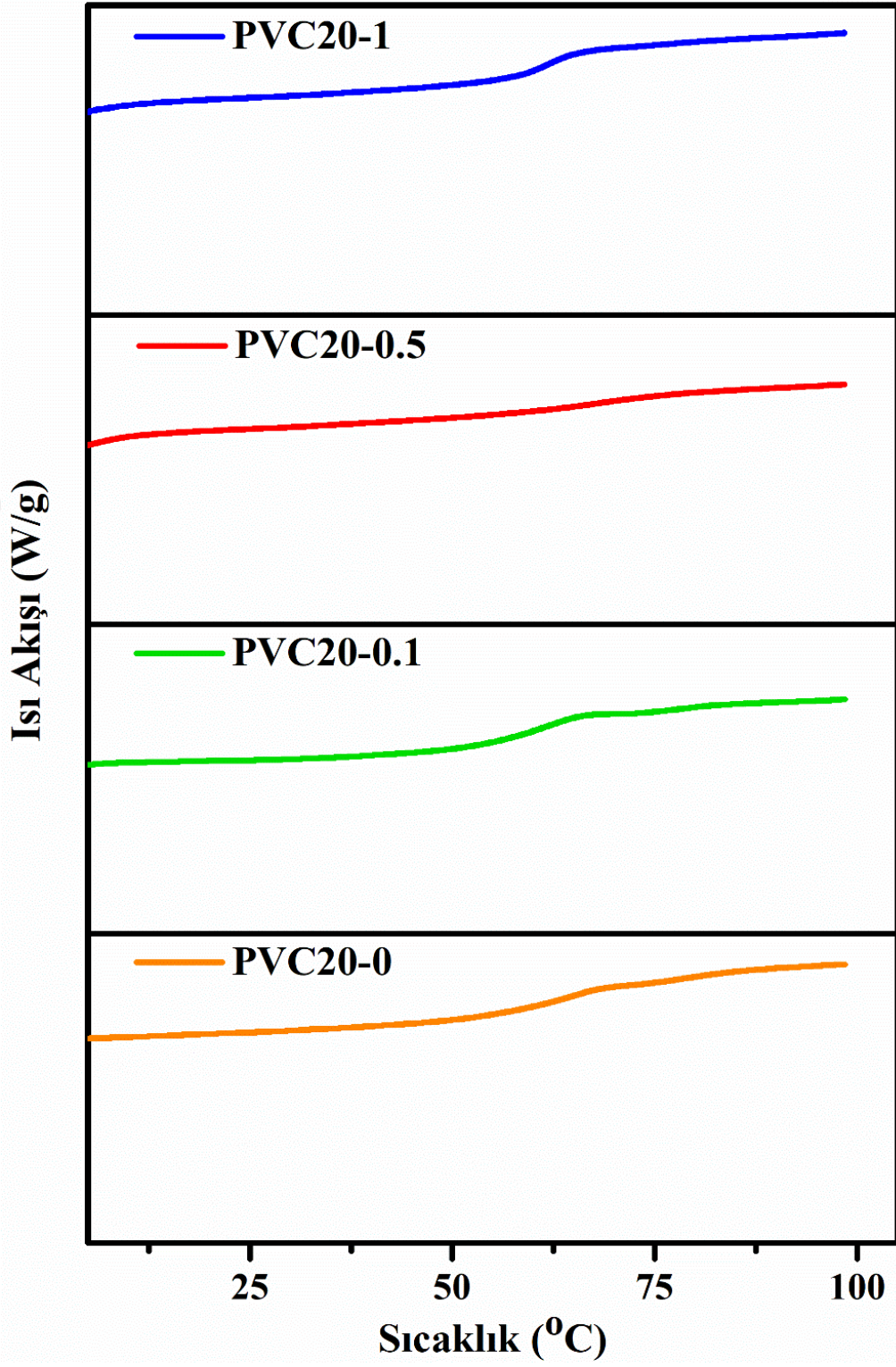
Şekil 4.31. DSC grafikleri; PVC60-(0-1) serisi.



Şekil 4.32. DSC grafikleri; PVC50-(0-1) serisi.



Şekil 4.33. DSC grafikleri; PVC40-(0-1) serisi.



Şekil 4.34. DSC grafikleri; PVC20-(0-1) serisi.

Çizelge 4.2. Camsı Geçiş Sıcaklıkları ( $T_g$ )

Numune Kodu	$T_g$ (°C)	Numune Kodu	$T_g$ (°C)	Numune Kodu	$T_g$ (°C)
PVC80-0	66.20	PVC60-0	62.58	PVC50-0	65.51
PVC80-0.1	64.36	PVC60-0.1	64.14	PVC50-0.1	76.62
PVC80-0.5	66.12	PVC60-0.5	66.31	PVC50-0.5	65.23
PVC80-1	66.90	PVC60-1	64.26	PVC50-1	66.60

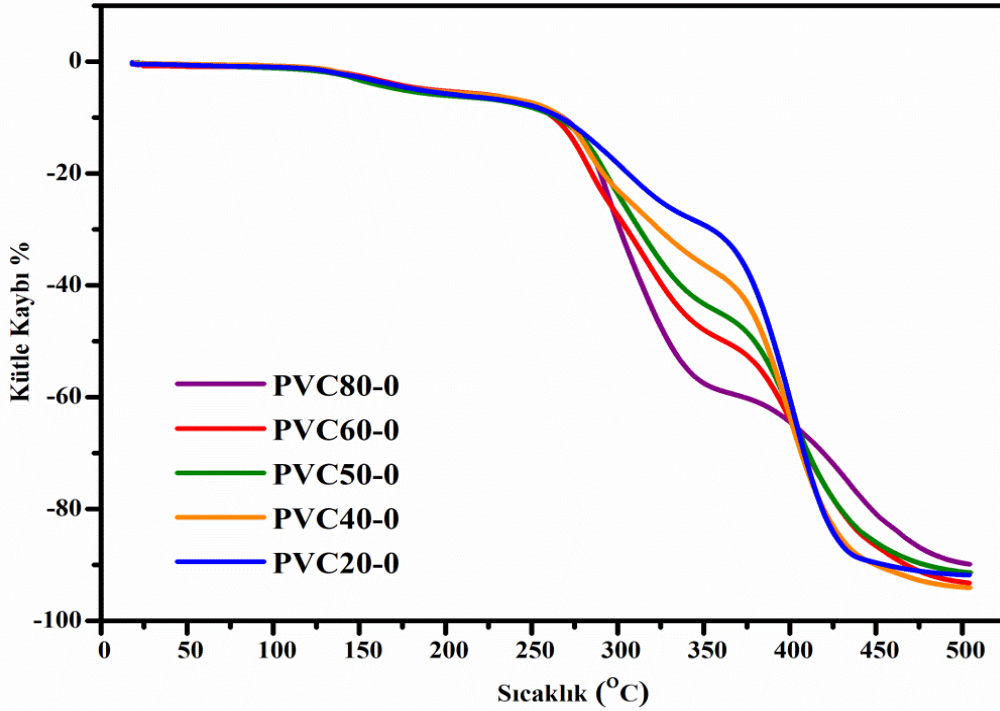
  

Numune Kodu	$T_g$ (°C)	Numune Kodu	$T_g$ (°C)
PVC40-0	64.05	PVC20-0	64.86
PVC40-0.1	66.90	PVC20-0.1	61.50
PVC40-0.5	66.21	PVC20-0.5	70.32
PVC40-1	64.06	PVC20-1	61.80

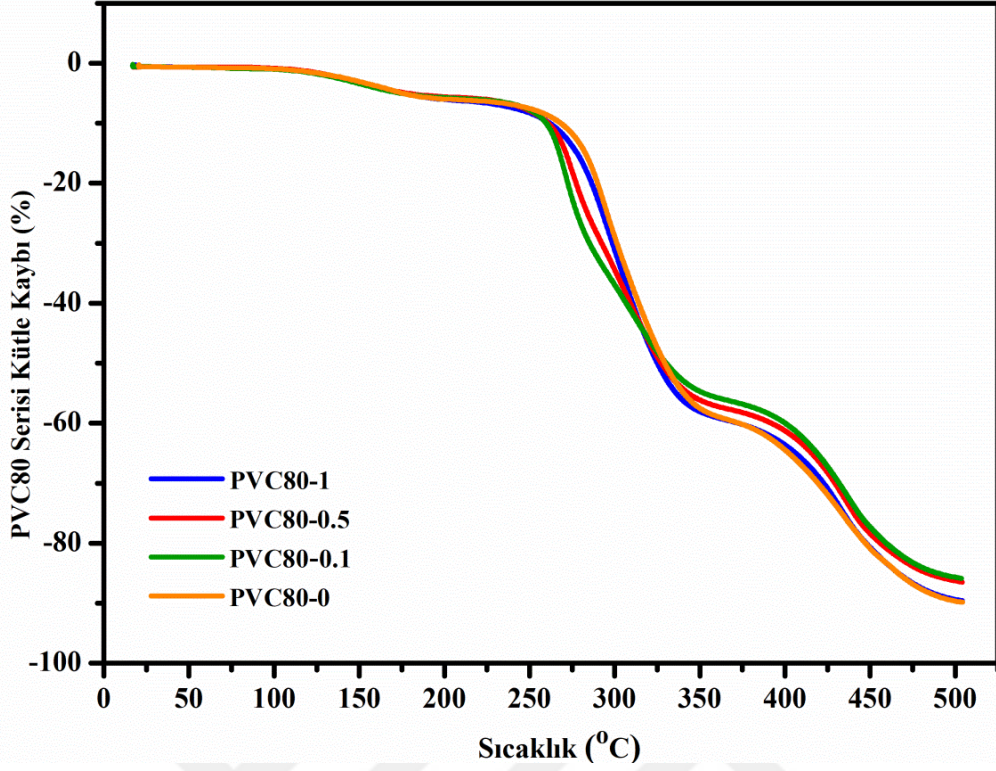
TGA, DTA ve DTG analizleri 20-500°C aralığında azot ortamında ve 10°C/dak. ısıtma hızında yapılmıştır.

#### TGA ölçüm analizleri

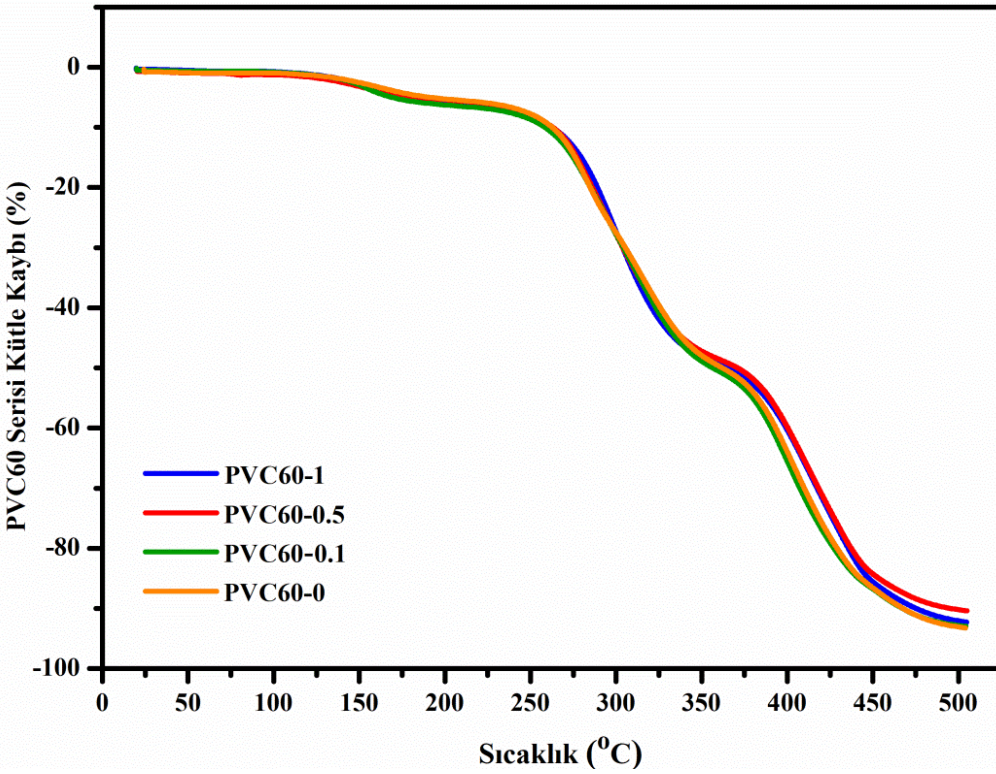
TGA grafikleri veri setlerine dayanılarak Origin Pro8.0 programında çizilmiştir.



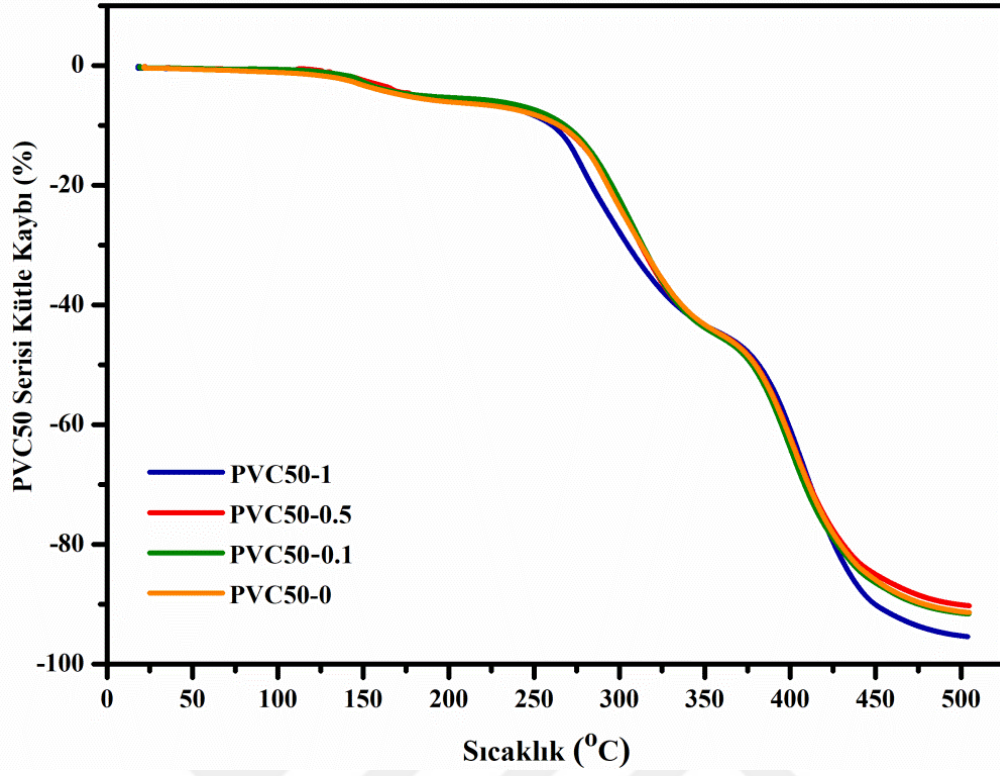
Şekil 4.35. Blendlerin toplu TGA grafikleri.



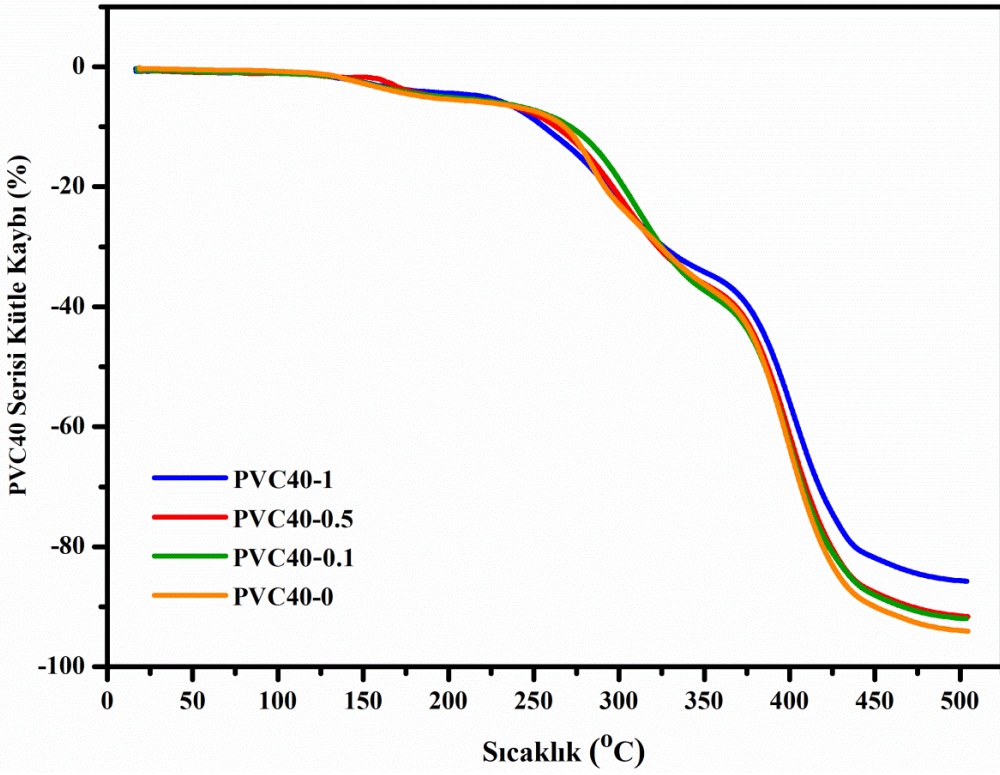
Şekil 4.36. TGA grafikleri; PVC80-(0-1) serisi.



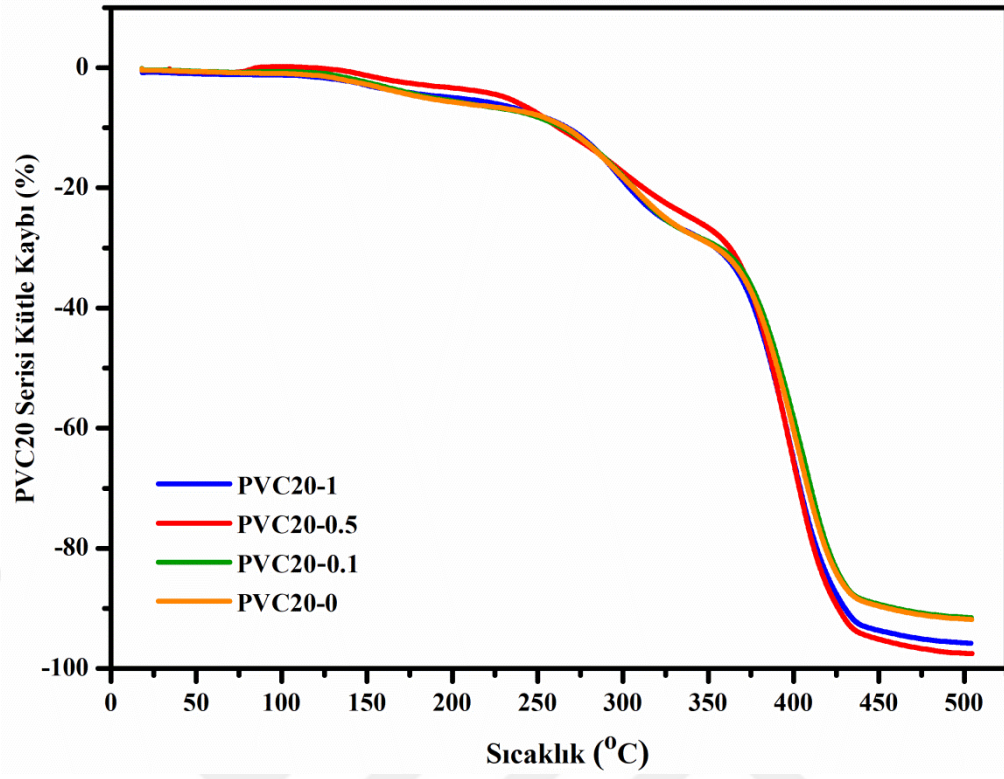
Şekil 4.37. TGA grafikleri; PVC60-(0-1) serisi.



Şekil 4.38. TGA grafikleri; PVC50-(0-1) serisi.



Şekil 4.39. TGA grafikleri; PVC40-(0-1) serisi.



Şekil 4.40. TGA grafikleri; PVC20-(0-1) serisi.

Çizelge 4.3. Bütün serilerin toplu TGA verileri

Numune	PVC80-0		PVC80-0.1		PVC80-0.5		PVC80-1		Ortalama
	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	
<b>Başlangıç</b>	105.01	0.99	104.05	1.06	104.36	0.88	104.61	0.97	
<b>Bitiş</b>	194.22	5.84	193.24	5.60	193.73	5.47	193.81	5.87	
Tb1 Kütle Kaybı (%)		<b>4.84</b>		<b>4.556</b>		<b>4.58</b>		<b>4.89</b>	<b>4.72</b>
<b>Başlangıç</b>	224.76	6.36	223.84	6.10	224.36	6.02	224.41	6.62	
<b>Bitiş</b>	349.42	57.40	348.49	54.48	349.01	56.00	348.10	57.92	
Tb2 Kütle Kaybı (%)		<b>51.05</b>		<b>48.37</b>		<b>49.99</b>		<b>51.30</b>	<b>50.18</b>
<b>Başlangıç</b>	380.58	60.82	379.74	57.22	380.29	58.66	380.16	60.69	
<b>Bitiş</b>	442.73	78.45	441.96	74.42	442.45	75.83	442.45	78.27	76.74
Tb3 Kütle Kaybı (%)		<b>17.63</b>		<b>17.19</b>		<b>17.17</b>		<b>17.59</b>	<b>17.40</b>
<b>Maks. (%)</b>	473.45	<b>86.49</b>	472.77	<b>82.85</b>	473.27	<b>83.55</b>	473.23	<b>86.33</b>	<b>84.80</b>
Numune	PVC60-0		PVC60-0.1		PVC60-0.5		PVC60-1		Ortalama
	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	
<b>Başlangıç</b>	105.44	1.01	104.93	0.85	105.41	1.31	104.92	0.79	
<b>Bitiş</b>	194.23	5.08	194.14	6.11	194.64	5.28	194.12	5.68	
Tb1 Kütle Kaybı (%)		<b>4.08</b>		<b>5.25</b>		<b>3.98</b>		<b>4.89</b>	<b>4.55</b>

Çizelge 4.3. Bütün serilerin toplu TGA verileri (devam)

<b>Başlangıç</b>	224.77	5.93	224.75	6.88	225.26	6.12	224.85	6.39	
<b>Bitiş</b>	349.16	47.77	349.39	48.75	350.17	47.25	349.50	48.12	
<b>Tb2 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>41.84</b>		<b>41.87</b>		<b>41.13</b>		<b>41.73</b>	<b>41.64</b>
<b>Başlangıç</b>	380.30	54.12	380.53	55.23	381.31	52.20	380.65	52.87	
<b>Bitiş</b>	442.48	84.87	442.76	85.23	443.46	82.48	442.96	83.43	84.00
<b>Tb3 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>30.75</b>		<b>30.00</b>		<b>30.28</b>		<b>30.57</b>	<b>30.40</b>
<b>Maks. (%)</b>	<b>473.25</b>	<b>90.84</b>	<b>473.46</b>	<b>90.89</b>	<b>474.19</b>	<b>88.28</b>	<b>473.77</b>	<b>89.81</b>	<b>89.96</b>
<b>Numune</b>	<b>PVC50-0</b>		<b>PVC50-0.1</b>		<b>PVC50-0.5</b>		<b>PVC50-1</b>		<b>Ortalama</b>
	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	
<b>Başlangıç</b>	105.58	1.23	104.83	0.66	105.53	0.68	104.34	0.95	
<b>Bitiş</b>	194.73	5.91	193.67	5.22	194.56	5.56	193.54	5.66	
<b>Tb1 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>4.686</b>		<b>4.57</b>		<b>4.88</b>		<b>4.70</b>	<b>4.71</b>
<b>Başlangıç</b>	225.32	6.70	224.77	5.83	225.18	6.3	224.18	6.43	
<b>Bitiş</b>	349.98	43.29	349.96	43.79	349.71	43.36	348.81	43.19	
<b>Tb2 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>36.59</b>		<b>37.9</b>		<b>37.03</b>		<b>36.76</b>	<b>37.08</b>

Çizelge 4.3. Bütün serilerin toplu TGA verileri (devam)

<b>Başlangıç</b>	381.07	50.67	381.01	51.46	380.79	50.35	380.01	49.38	
<b>Bitiş</b>	443.32	84.53	442.88	85.01	443.03	83.68	442.29	87.97	<b>85.29</b>
Tb3 Kütle Kaybı (%)		<b>33.86</b>		<b>33.54</b>		<b>33.33</b>		<b>38.58</b>	<b>34.83</b>
<b>Maks. (%)</b>	474.04	<b>89.55</b>	473.68	<b>89.83</b>	473.93	<b>88.33</b>	473.07	<b>93.43</b>	<b>90.29</b>
<b>Numune</b>	<b>PVC40-0</b>		<b>PVC40-0.1</b>		<b>PVC40-0.5</b>		<b>PVC40-1</b>		
	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	
<b>Başlangıç</b>	104.76	0.79	104.19	1.12	104.83	1.13	104.16	1.07	
<b>Bitiş</b>	194.11	5.26	193.39	4.86	194.09	5.02	193.42	4.26	
Tb1 Kütle Kaybı (%)		<b>4.47</b>		<b>3.74</b>		<b>3.89</b>		<b>3.20</b>	<b>3.83</b>
<b>Başlangıç</b>	224.74	6.01	224.03	5.74	224.70	5.80	224.01	5.17	
<b>Bitiş</b>	349.42	36.16	348.72	36.98	349.43	36.07	348.60	33.99	
Tb2 Kütle Kaybı (%)		<b>30.15</b>		<b>31.24</b>		<b>30.27</b>		<b>28.82</b>	<b>30.12</b>
<b>Başlangıç</b>	380.40	46.12	379.84	46.18	380.53	45.42	379.84	41.75	
<b>Bitiş</b>	442.95	88.92	442.19	86.78	442.87	86.58	442.28	80.80	<b>85.77</b>
Tb3 Kütle Kaybı (%)		<b>42.81</b>		<b>40.60</b>		<b>41.16</b>		<b>39.05</b>	<b>40.91</b>
<b>Maks. (%)</b>	473.70	<b>92.61</b>	473.01	<b>90.61</b>	473.62	<b>90.15</b>	473.01	<b>84.32</b>	<b>89.42</b>

Çizelge 4.3. Bütün serilerin toplu TGA verileri (devam)

Numune	PVC20-0		PVC20-0.1		PVC20-0.5		PVC20-1		
	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	(°C)	%Kütle Kaybı	
<b>Başlangıç</b>	104.49	1.00	104.43	0.65	106.81	0.17	104.51	1.24	
<b>Bitiş</b>	193.73	5.4	193.72	5.24	195.04	3.22	193.75	4.79	
<b>Tb1 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>4.45</b>		<b>4.59</b>		<b>3.39</b>		<b>3.55</b>	<b>3.99</b>
<b>Başlangıç</b>	224.34	6.52	224.40	6.60	225.43	4.45	224.30	5.92	
<b>Bitiş</b>	349.07	29.03	349.00	28.80	349.59	26.55	348.91	28.94	
<b>Tb2 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>22.51</b>		<b>22.18</b>		<b>22.10</b>		<b>23.02</b>	<b>22.46</b>
<b>Başlangıç</b>	380.0	40.62	380.01	39.45	380.57	42.01	380.09	42.61	
<b>Bitiş</b>	442.57	89.00	442.56	88.72	442.94	94.53	442.43	93.08	<b>91.33</b>
<b>Tb3 Kütle Kaybı (%)</b>		<b>48.38</b>		<b>49.26</b>		<b>52.52</b>		<b>50.47</b>	<b>50.16</b>
<b>Maks. (%)</b>	473.35	<b>91.00</b>	473.27	<b>90.71</b>	473.61	<b>96.61</b>	473.11	<b>94.98</b>	<b>93.33</b>

Çizelge 4.4. TGA ölçümlerine dayalı aktivasyon enerjileri

Aktivasyon Enerjisi Ea (kJ/mol)							
Numune Kodu	1. Tb	2.Tb	3.Tb	Numune Kodu	1. Tb	2.Tb	3.Tb
<b>PVC80-0</b>	131.33	113.25	109.09	<b>PVC60-0</b>	132.92	116.40	107.95
<b>PVC80-0.1</b>	131.27	113.36	109.38	<b>PVC60-0.1</b>	131.37	116.13	107.77
<b>PVC80-0.5</b>	131.58	113.10	109.07	<b>PVC60-0.5</b>	132.38	116.18	107.95
<b>PVC80-1</b>	131.26	113.06	109.08	<b>PVC60-1</b>	131.88	116.14	108.18
<b>Ortalama</b>	<b>131.36</b>	<b>113.19</b>	<b>109.16</b>	<b>Ortalama</b>	<b>132.13</b>	<b>116.21</b>	<b>107.10</b>
<b>PVC50-0</b>	131.54	117.41	107.48	<b>PVC40-0</b>	132.80	119.81	106.55
<b>PVC50-0.1</b>	132.60	117.29	107.34	<b>PVC40-0.1</b>	133.26	119.30	106.69
<b>PVC50-0.5</b>	131.94	117.23	107.31	<b>PVC40-0.5</b>	132.97	119.55	106.54
<b>PVC50-1</b>	132.24	117.91	107.59	<b>PVC40-1</b>	133.77	119.44	106.66
<b>Ortalama</b>	<b>132.09</b>	<b>117.46</b>	<b>107.44</b>	<b>Ortalama</b>	<b>133.20</b>	<b>119.52</b>	<b>106.606</b>
<b>PVC20-0</b>	132.33	121.92	105.14				
<b>PVC20-0.1</b>	132.64	121.94	105.12				
<b>PVC20-0.5</b>	137.39	123.40	105.10				
<b>PVC20-1</b>	133.82	122.36	104.92				
<b>Ortalama</b>		<b>122.40</b>	<b>105.07</b>				

### Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

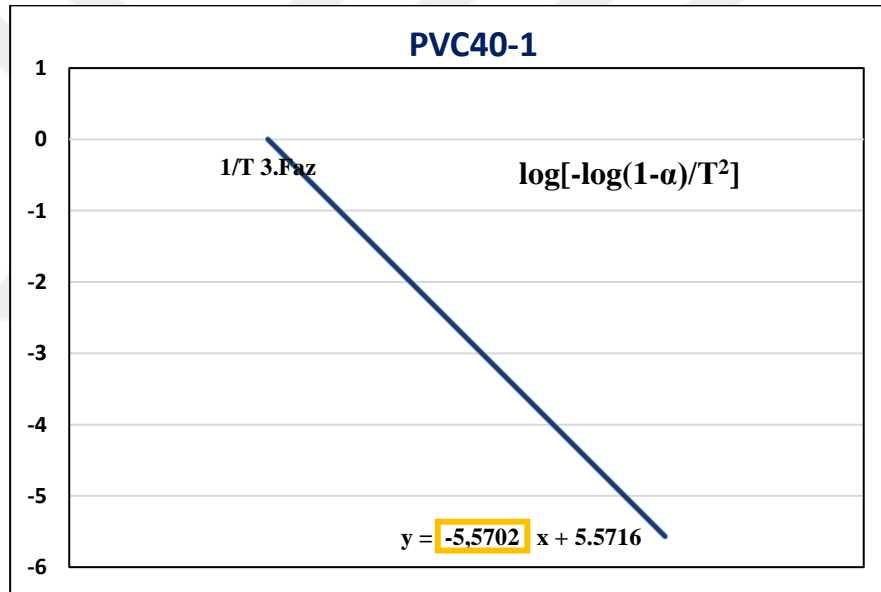
Coats-Redfern eşitliği;

$$\log \left[ \frac{-\log(1-\alpha)}{T^2} \right] = \log \frac{R}{\Delta E} \left[ 1 - \frac{2RT}{E} \right] - \frac{1}{2.303} \frac{E}{RT}$$

esas alınarak, örnek bir hesaplama PVC40-1 numunesi TGA 2. basamak kütle kaybı aktivasyon enerjisi için yapılmıştır (Alghunaim, 2015).

İlgili numunenin 2. basamak termal bozunma  $1/T$  değeri 0.0014 olarak ölçülmüştür. Verilen sıcaklıktaki  $\alpha$  değeri başlangıç kütlelerine, verili sıcaklıktaki kütle kaybı yüzdesi ile hesaplanmış kalan kütle ve nihai kütleyle bağlı olarak hesaplandıktan sonra  $\log[-\log(1-\alpha)/T^2]$  değeri hesaplanmış ve -5.5688 olarak bulunmuştur.

Grafik çizilerek eğim, programca hesaplanmıştır. Eğim sarı bantla işaretlenmiştir.



Şekil 4.41. PVC40-1 numunesinin Coats-Redfern eşitliğine dayalı  $1/T - \log[-\log(1-\alpha)/T^2]$  grafiği.

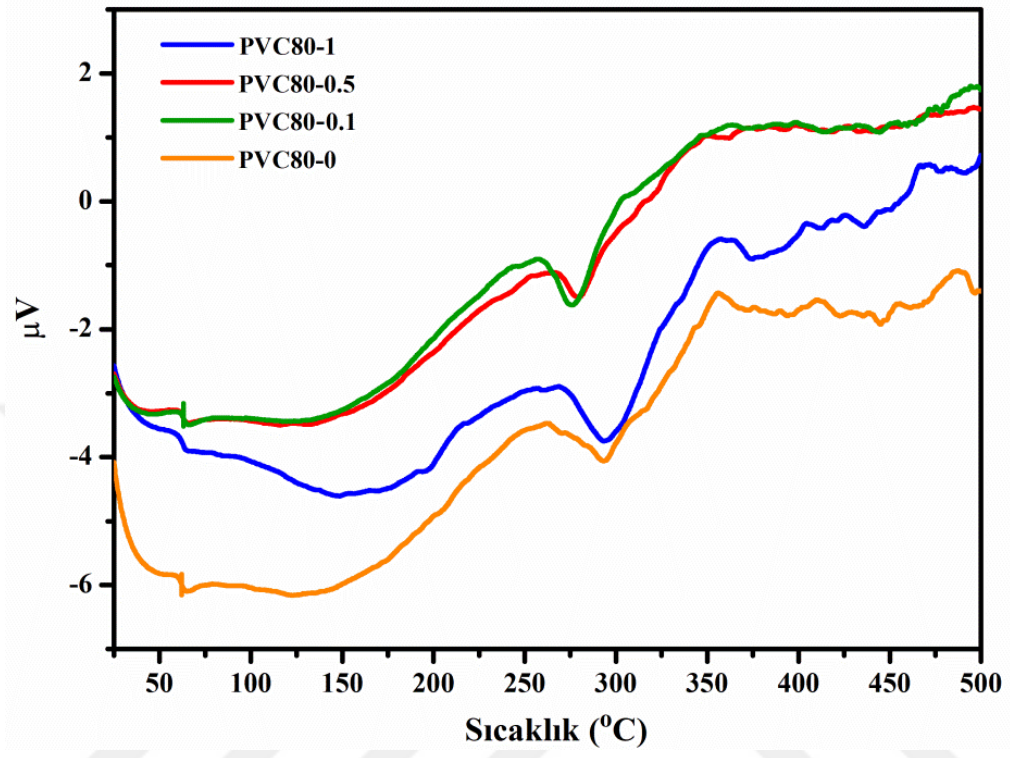
Grafiğe dayanılarak  $\frac{1}{T} - \log \left[ \frac{-\log(1-\alpha)}{T^2} \right]$  grafiğinin eğimi ve ilgili değerler yerine konularak Coats-Redfern eşitliğinden aktivasyon enerjisi (E) parametresi çekilerek;

$$Eğim = -\frac{E}{2.303R}$$

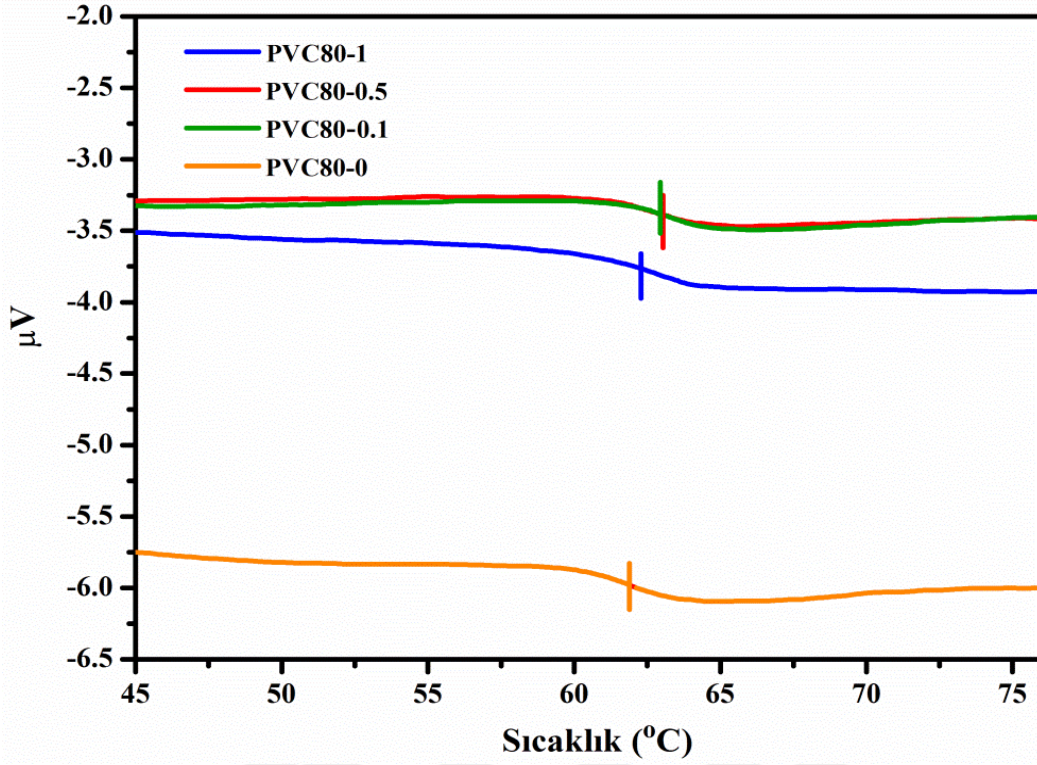
$$E = 5.5702 \times 2.303 \times 8.314 = 106.65 \text{ kJ/mol olarak bulunmuştur.}$$

DTA Analizleri

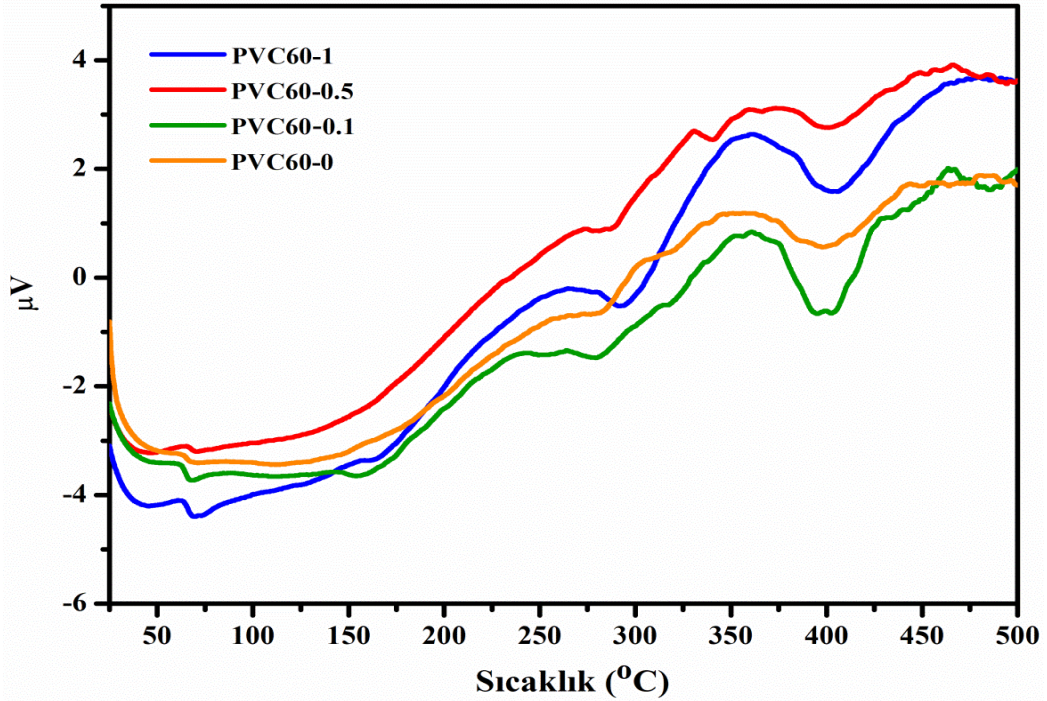
DTA grafikleri veri setlerine dayanılarak Origin Pro8.0 programında çizilmiştir.



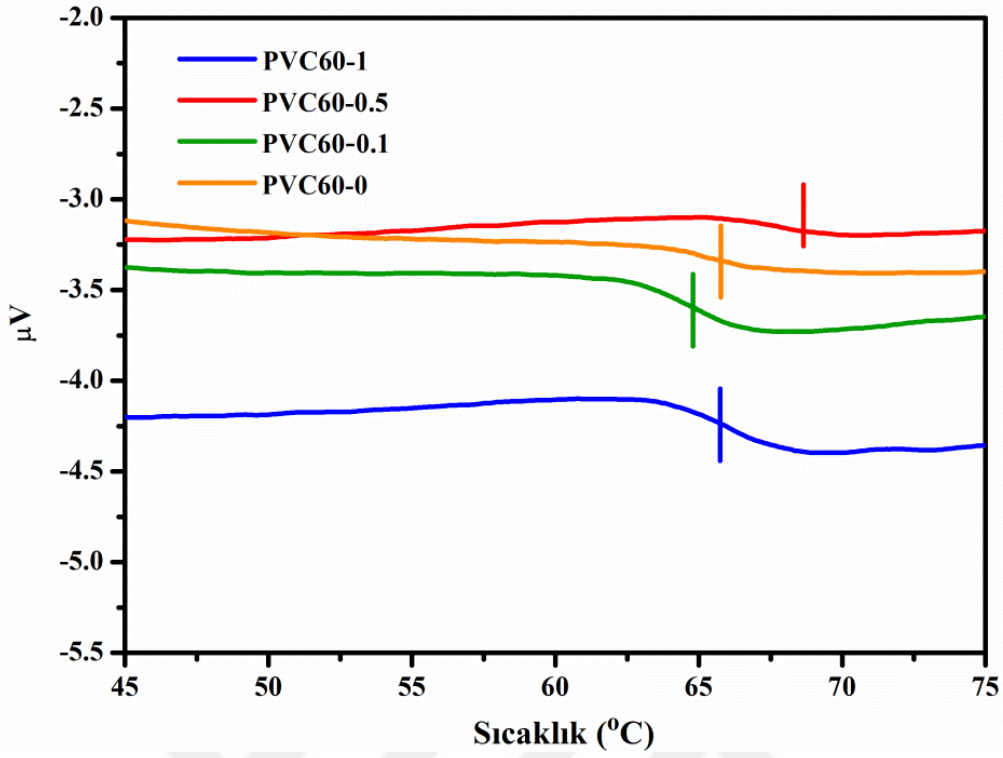
Şekil 4.42. DTA grafikleri; PVC80-(0-1) serisi.



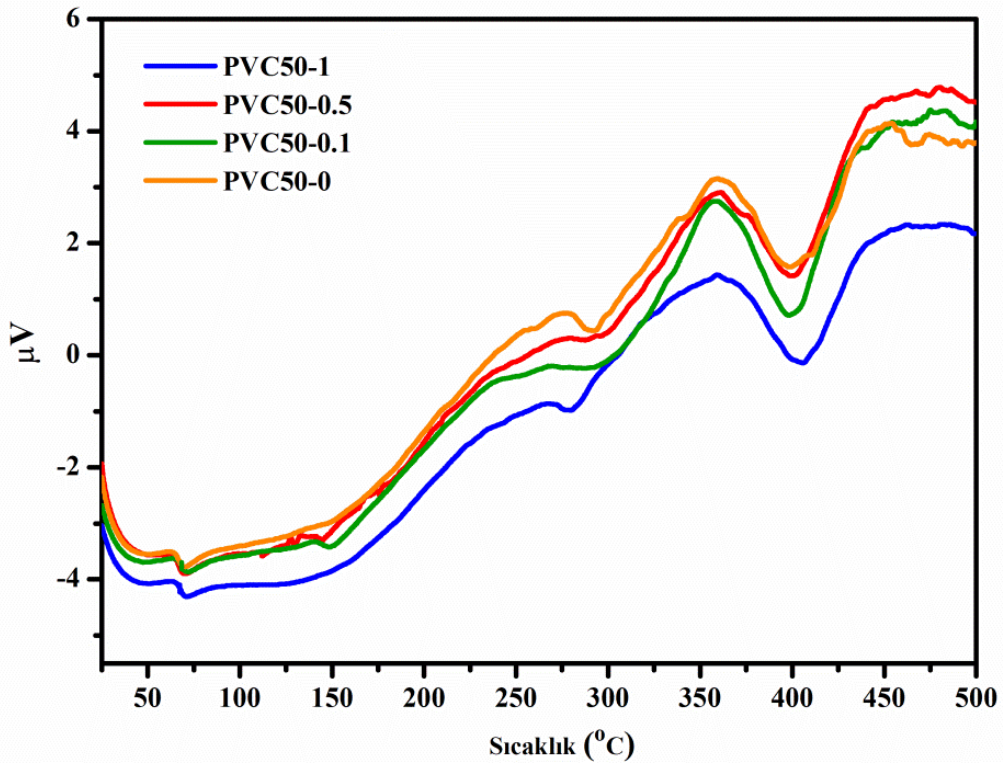
Şekil 4.43. DTA grafiklerinden elde edilen PVC80-(0-1) serisi için camlı geçiş sıcaklıkları.



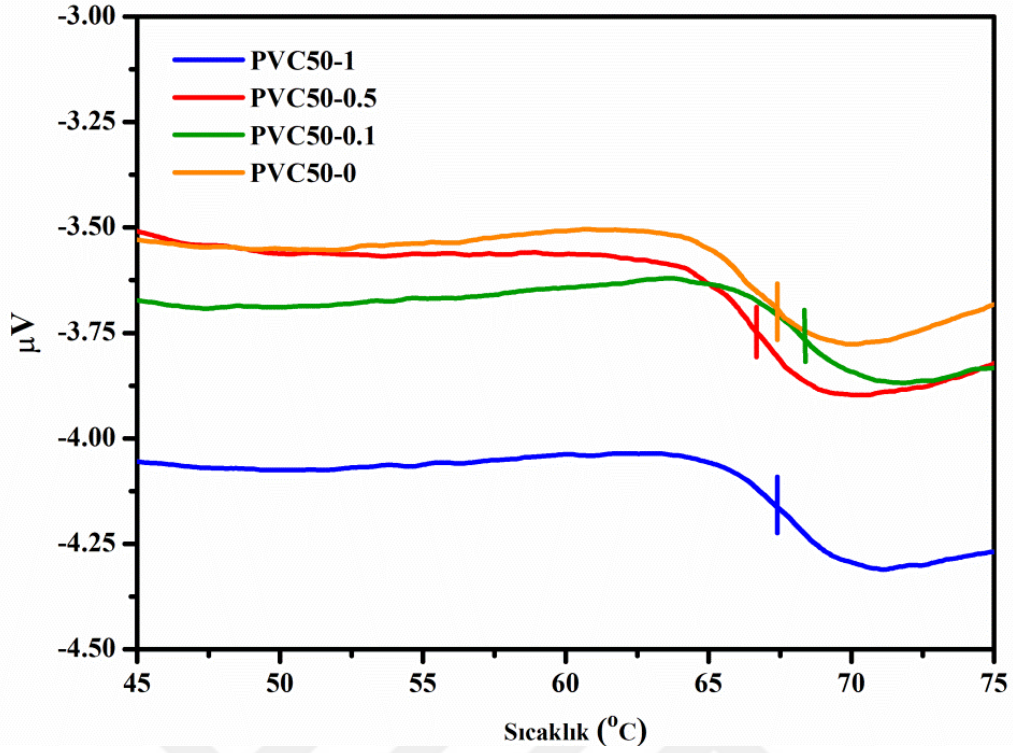
Şekil 4.44. DTA grafikleri; PVC60-(0-1) serisi.



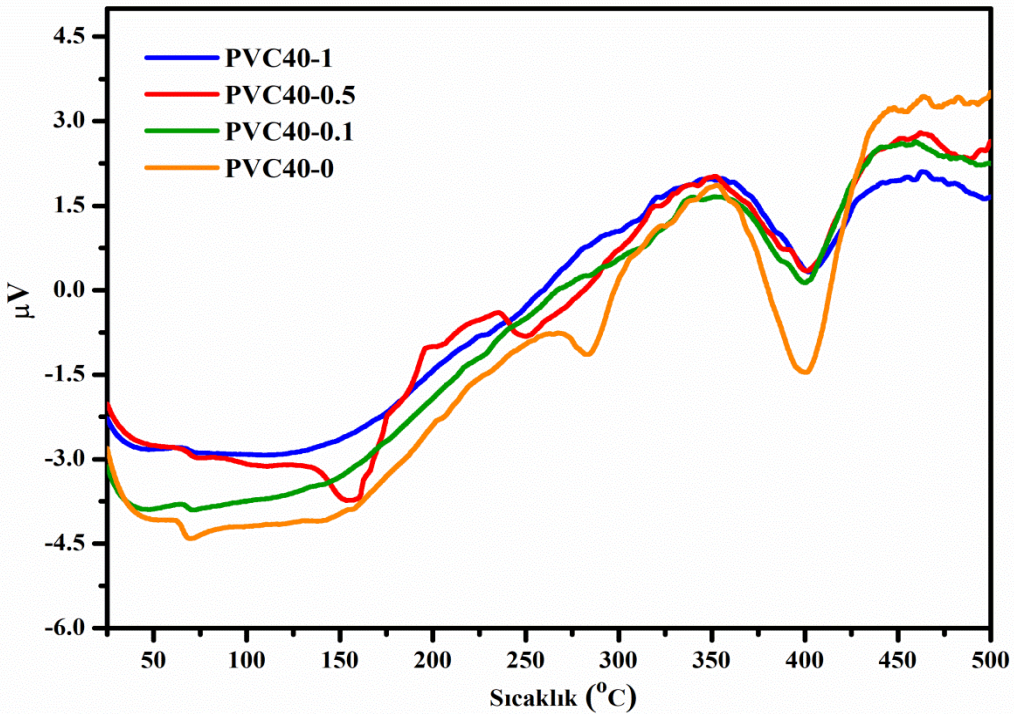
Şekil 4.45. DTA grafiklerinden elde edilen PVC60-(0-1) serisi için camı geçiş sıcaklıkları.



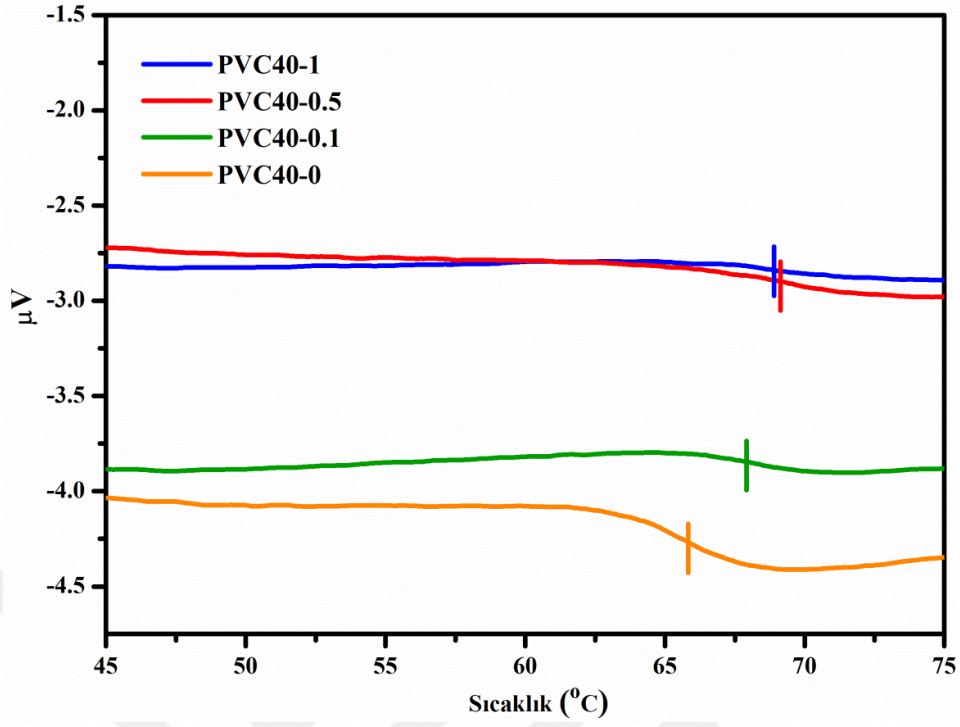
Şekil 4.46. DTA grafikleri; PVC50-(0-1) serisi.



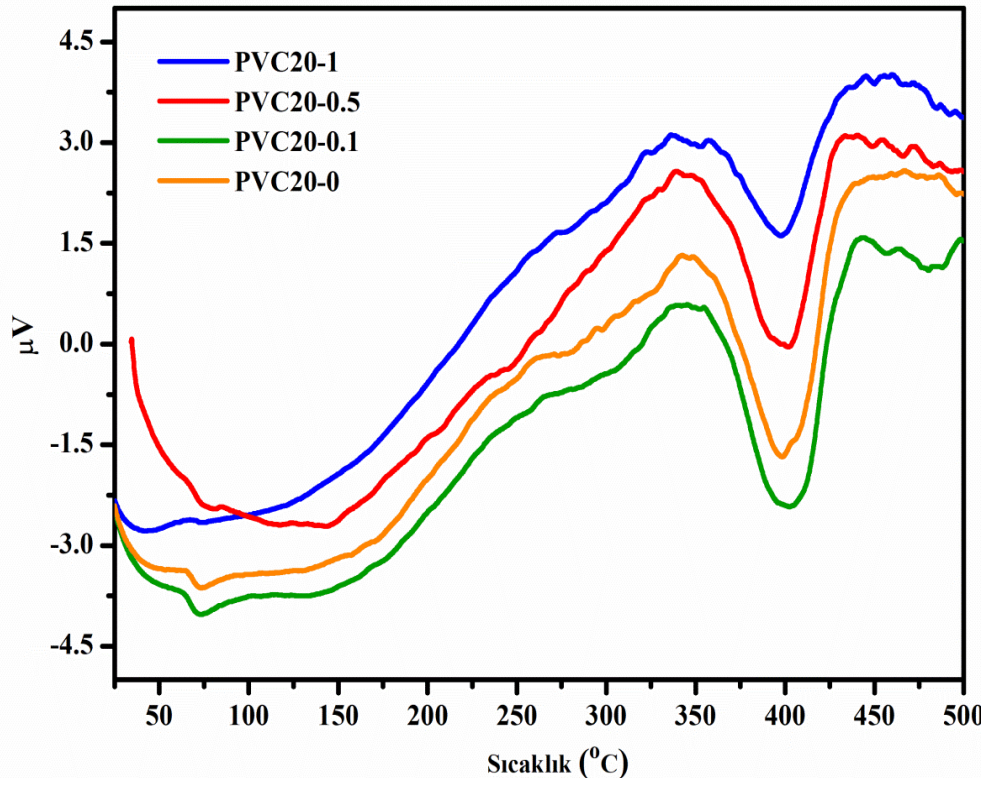
Şekil 4.47. DTA grafiklerinden elde edilen PVC50-(0-1) serisi için camı geçiş sıcaklıkları.



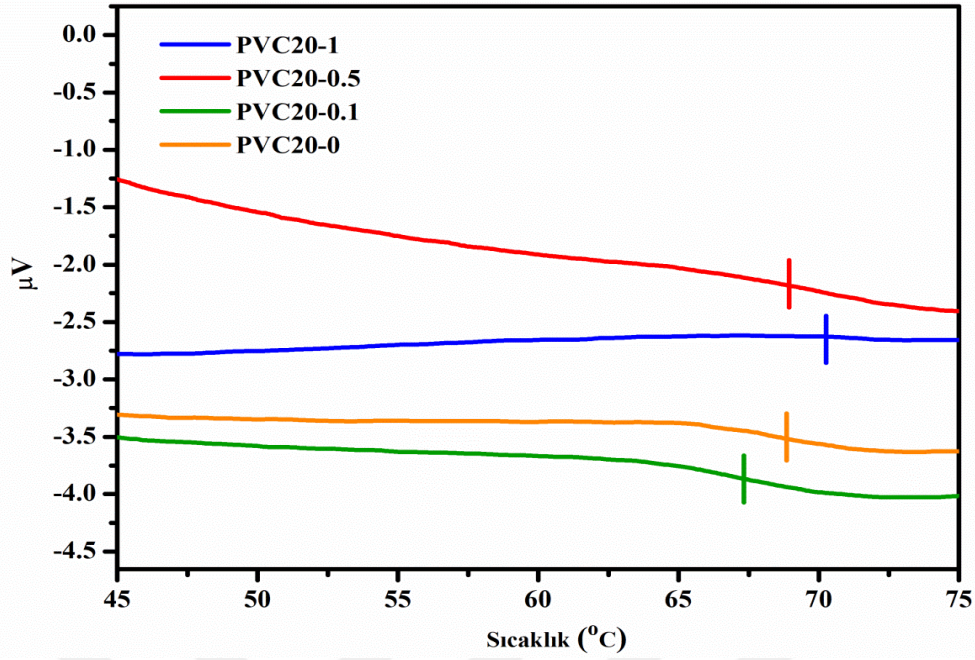
Şekil 4.48. DTA grafikleri; PVC40-(0-1) serisi.



Şekil 4.49. DTA grafiklerinden elde edilen PVC40-(0-1) serisi için camlı geçiş sıcaklıkları.



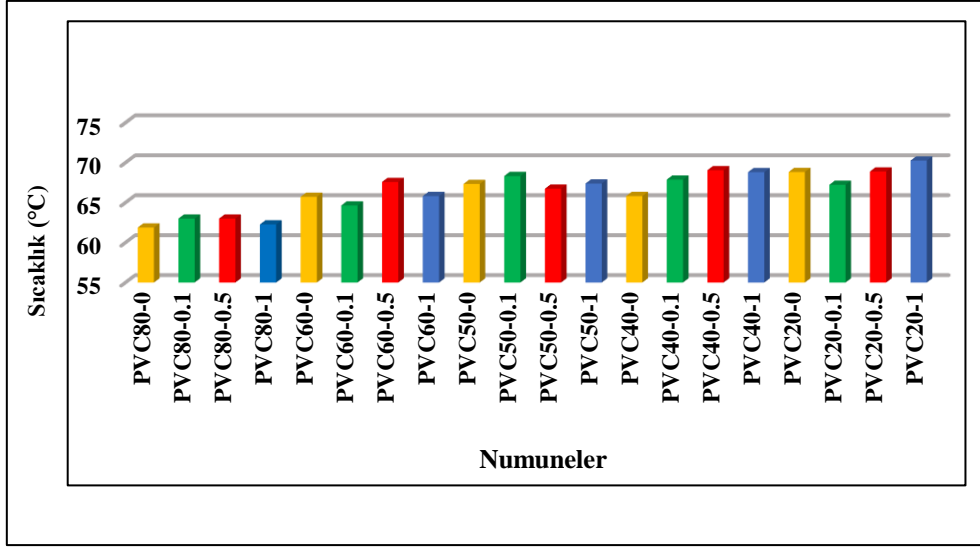
Şekil 4.50. DTA grafikleri; PVC20-(0-1) serisi.



Şekil 4.51. DTA grafiklerinden elde edilen PVC20-(0-1) serisi için camı geçiş sıcaklıkları.

Çizelge 4.5. DTA verilerine göre camı geçiş sıcaklıkları

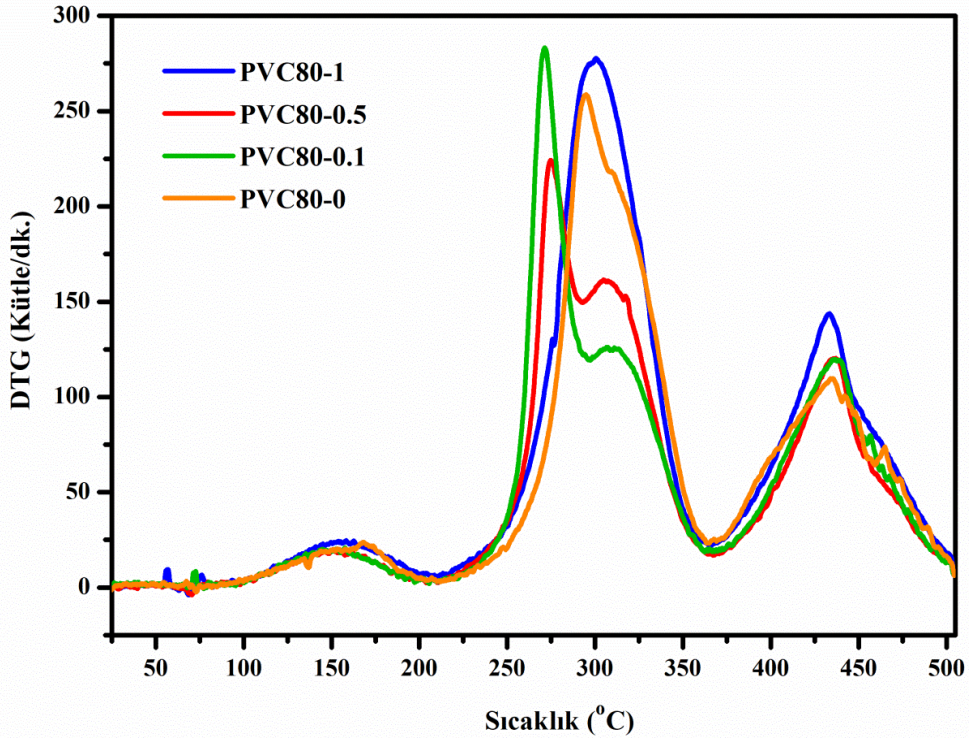
Numune Kodu	Tg
PVC80-0	61.88
PVC80-0.1	63.00
PVC80-0.5	63.00
PVC80-1	62.27
PVC60-0	65.72
PVC60-0.1	64.64
PVC60-0.5	67.58
PVC60-1	65.82
PVC50-0	67.34
PVC50-0.1	68.32
PVC50-0.5	66.75
PVC50-1	67.39
PVC40-0	65.82
PVC40-0.1	67.88
PVC40-0.5	69.06
PVC40-1	68.81
PVC20-0	68.83
PVC20-0.1	67.23
PVC20-0.5	68.89
PVC20-1	70.26



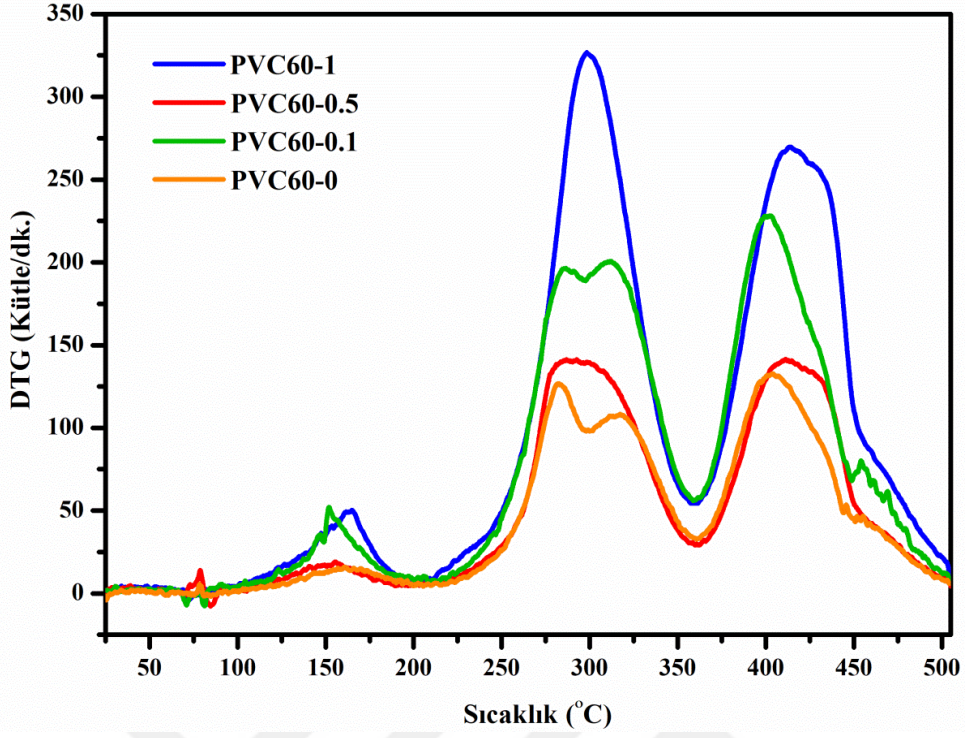
Şekil 4.52. DTA sonuçlarına göre camsı geçiş sıcaklıkları grafiği.

#### DTG Analizleri

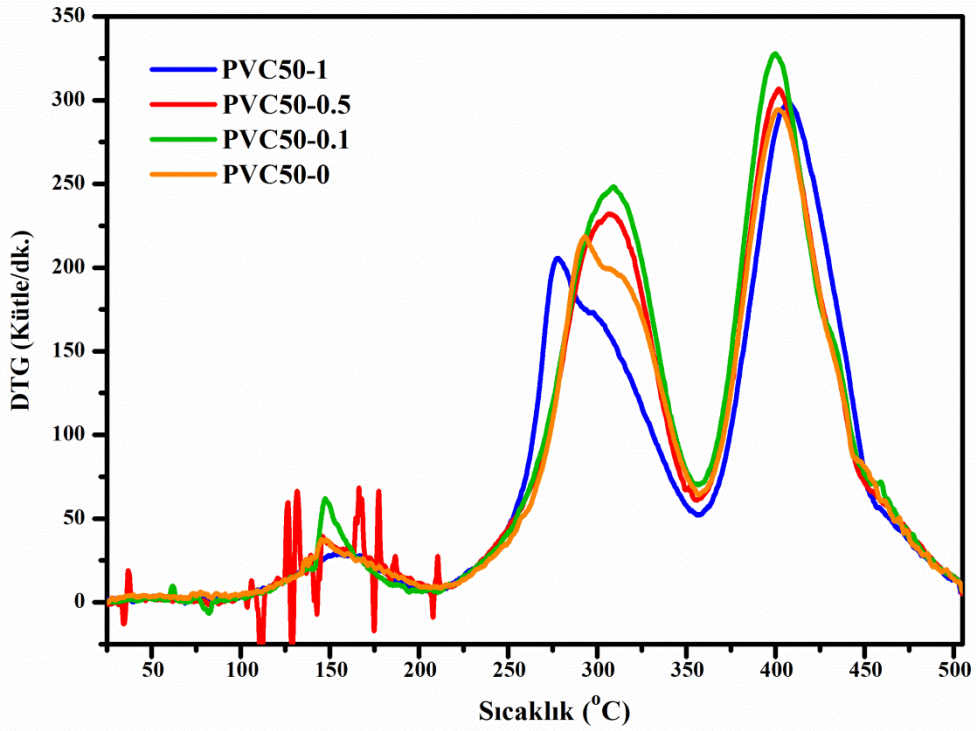
DTG grafikleri veri setlerine dayanılarak Origin Pro8.0 programında çizilmiştir.



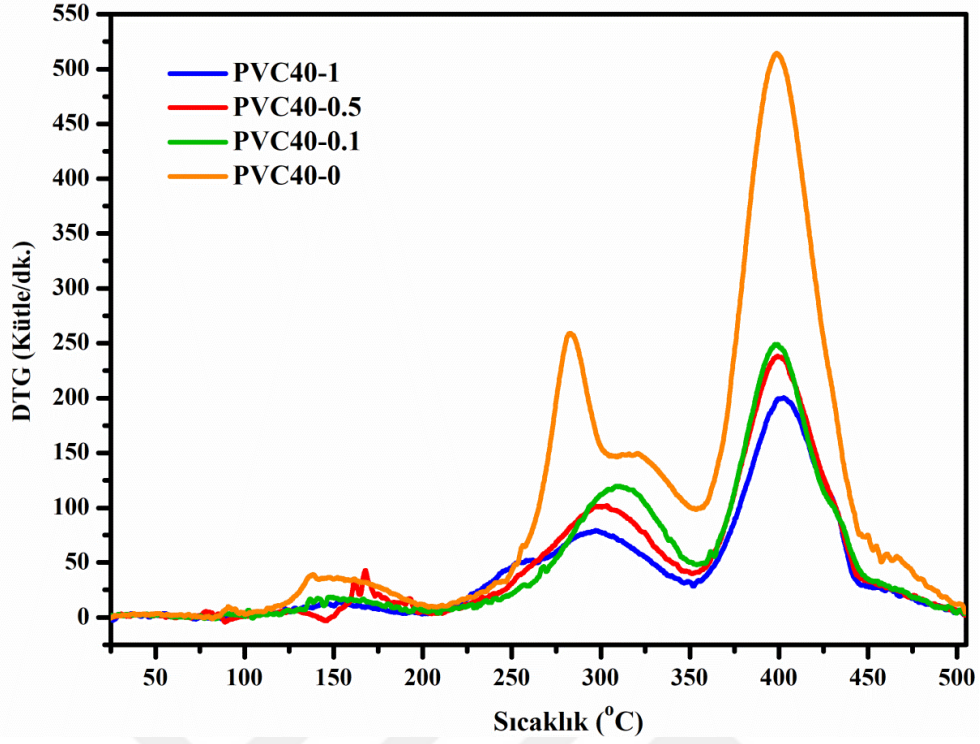
Şekil 4.53. DTG grafikleri; PVC80-(0-1) serisi.



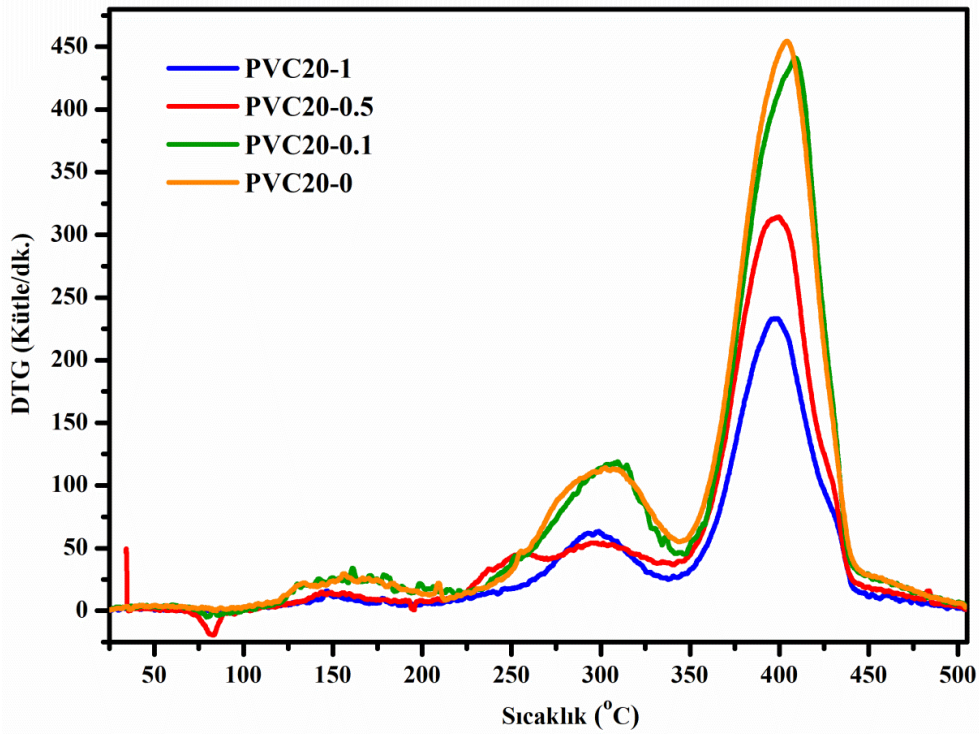
Şekil 4.54. DTG grafikleri; PVC60-(0-1) serisi.



Şekil 4.55. DTG grafikleri; PVC50-(0-1) serisi.



Şekil 4.56. DTG grafikleri; PVC40-(0-1) serisi.



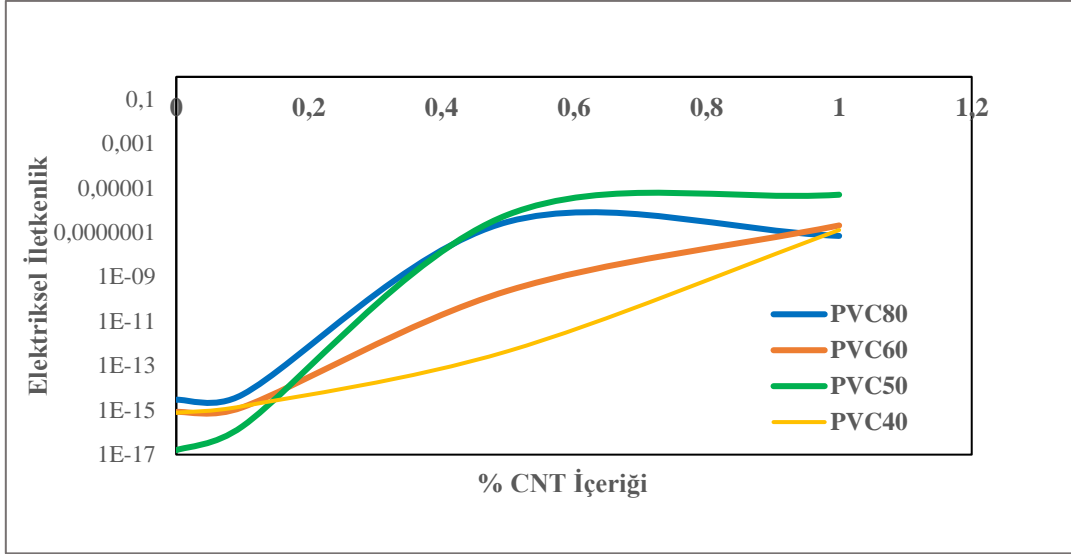
Şekil 4.57. DTG grafikleri; PVC20-(0-1) serisi.

Çizelge 4.6. DTG Değerleri

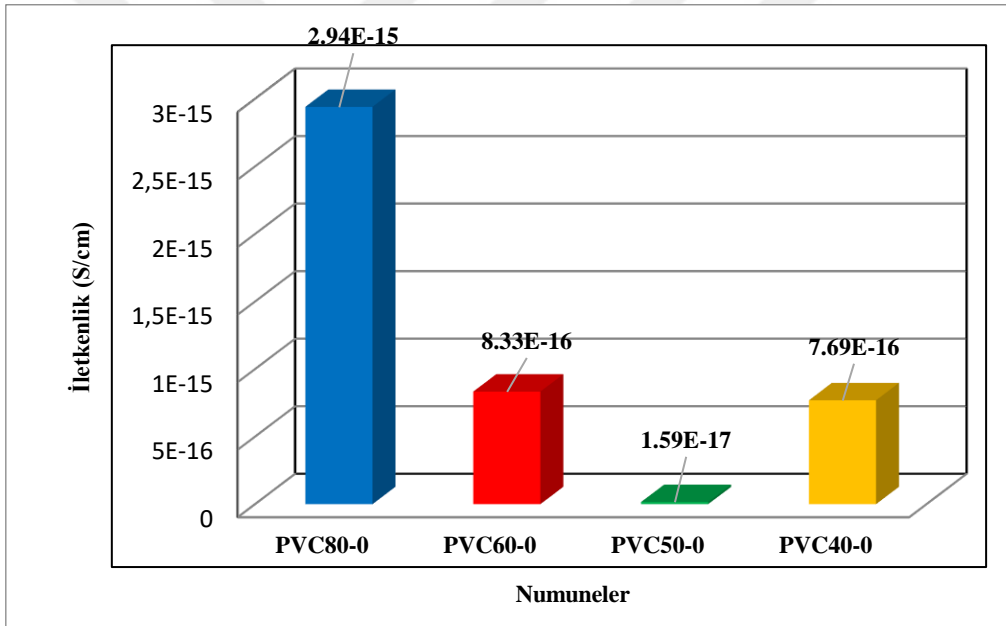
Numune Kodu	1. Tb (°C)	Kütle/Dk	2. Tb (°C)	Kütle/Dk
PVC80-0	294.77	258.67	433.86	109.67
PVC80-0.1	271.38	283.33	436.78	119.68
PVC80-0.5	274.80	224.28	436.99	120.36
PVC80-1	300.51	277.70	433.36	143.83
PVC60-0	281.78	126.36	403.51	132.28
PVC60-0.1	312.23	200.69	402.89	228.12
PVC60-0.5	292.56	141.34	411.42	141.37
PVC60-1	298.34	326.76	413.83	269.71
PVC50-0	293.03	218.59	402.10	294.46
PVC50-0.1	309.04	248.42	400.19	327.90
PVC50-0.5	306.51	232.16	401.67	306.74
PVC50-1	278.35	205.60	407.48	298.87
PVC40-0	282.95	258.95	398.82	514.19
PVC40-0.1	308.75	119.78	399.24	248.86
PVC40-0.5	303.57	102.21	399.21	238.30
PVC40-1	297.14	79.31	402.84	200.41
PVC20-0	302.54	114.41	404.04	454.45
PVC20-0.1	309.57	119.12	408.85	441.27
PVC20-0.5	295.17	54.34	399.87	314.30
PVC20-1	298.74	110.79	398.30	233.27

Çizelge 4.7. Elektriksel iletkenlikler tablosu

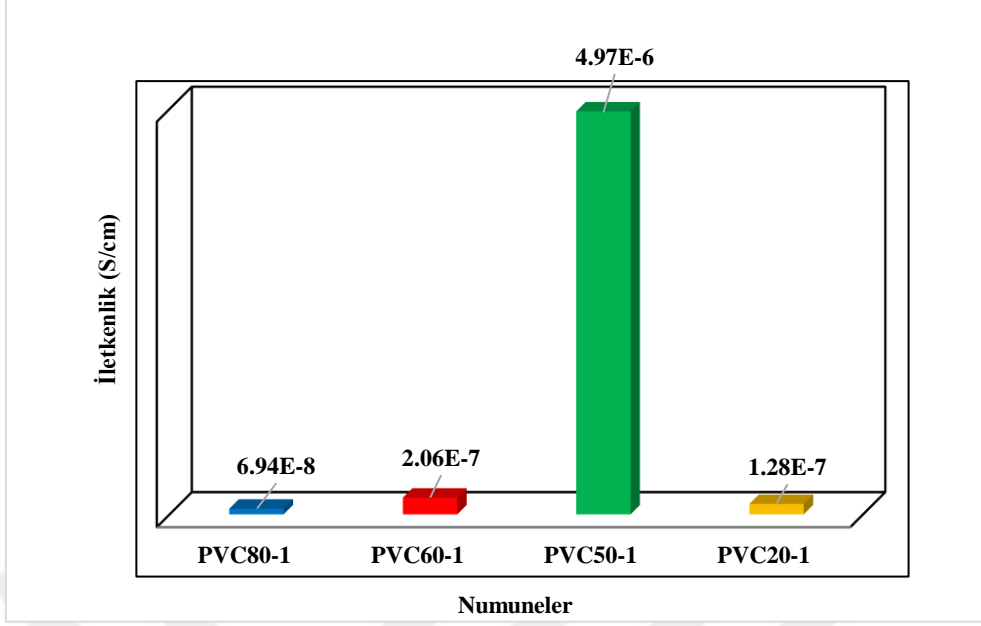
CNT (%)	PVC80 $\sigma$ (S/cm)	CNT (%)	PVC60 $\sigma$ (S/cm)
0	$2.94 \cdot 10^{-15}$	0	$8.33 \cdot 10^{-16}$
0.1	$5.05 \cdot 10^{-15}$	0.1	$1.35 \cdot 10^{-15}$
0.5	$2.98 \cdot 10^{-7}$	0.5	$2.36 \cdot 10^{-10}$
1	$6.94 \cdot 10^{-8}$	1	$2.05 \cdot 10^{-7}$
CNT (%)	PVC50 $\sigma$ (S/cm)	CNT (%)	PVC40 $\sigma$ (S/cm)
0	$1.58 \cdot 10^{-17}$	0	$7.69 \cdot 10^{-16}$
0.1	$1.89 \cdot 10^{-16}$	0.1	$1.50 \cdot 10^{-15}$
0.5	$6.21 \cdot 10^{-7}$	0.5	$4.5 \cdot 10^{-13}$
1	$4.97 \cdot 10^{-6}$	1	$1.27 \cdot 10^{-7}$
CNT (%)	PVC20 $\sigma$ (S/cm)		
0	Hesaplanamadı		
0.1	$1.12 \cdot 10^{-15}$		
0.5	Hesaplanamadı		
1	$3.61 \cdot 10^{-9}$		



Şekil 4.58. Elektriksel iletkenlik değerleri grafiği.



Şekil 4.59. Blendlerde iletkenlik karşılaştırması.



Şekil 4.60. %1 CNT içerikli numunelerde iletkenlik karşılaştırması.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Nanokompozitler, polimerlerin tek başına yeterli olmadıkları durumlarda veya kullanım alanlarını genişletmek için geliştirilmiş ileri düzeyli yapılardır. Nanokompozitler, polimerlerin ve polimer blendlerinin fiziksel, termal ve elektriksel özelliklerini iyileştirmek üzere geliştirilmişlerdir.

%80:20, 60:40, 50:50, 40:60 ve 20:80 oranlarında PVC/PMMA blendleri sentezlenerek bu blendlerin özellikleri incelendi. Bu blendlere %0.1, 0.5 ve 1 oranlarında CNT katılarak nanokompozitler elde edildi, özellikleri incelendi.

Nanokompozitlerin özelliklerinin araştırılmasında, SEM, XRD, TGA, DTG, DSC ve elektriksel iletkenlik analizleri yapıldı. Ayrıca kristallik oranları ve TGA verilerine dayalı aktivasyon enerjileri hesaplandı.

SEM analizinde  $\leq$ %50 PMMA içeren blendlerde belirgin bir faz ayrışmasına rastlanmamıştır. Buna karşılık bu oranın üstünde faz ayrışmasının bir göstergesi olabilecek ara yüzey hatları daha belirgin görülmektedir (Şekil 4.15). Ayrıca örneklerde kırılma kırılmasının ortaya çıktığı çıplak gözle gözlenmiştir (Şekil 4.2). %80 PVC içeren kompozitlerin saf blendinde faz ayrışmasına rastlanmadı, homojen bir görünüm gözlemlendi. Ayrıca PMMA'nın oranı arttıkça blend içinde pütürlü bir dokunun daha belirgin olarak ortaya çıktığı gözlemlendi (Şekil 4.16). Bu gözlemimiz literatürle uyumludur (Chakrabarti ve ark., 2004).

Chakrabarti ve ark. (2004) göre, daha yüksek bir PMMA oranında, yapıdaki bir miktar düzenlilik artar gibi görünmektedir. Araştırmacıların polarize ışık mikroskopundaki incelemeleri tipik heterojen bir polimer blendi yapısını göstermiştir. Komşu zincirlerdeki C-Cl bağları aracılığıyla dipol-dipol etkileşimi meydana gelirken halihazırda oluşturulmuş PMMA partiküllerinin, bu etkileşimi engellediği, kristallenmeyi düşürdüğü belirtilmiştir.

Bu çalışmada da  $>$ %50 PMMA içeren blendlerde bir gevreklik/kırılma gözlemlendi.

50.000 ve 200.000 büyütme oranlarında %80:20 PVC/PMMA oranlı PVC80 serisi polimer matrisli kompozitlerde CNT'lerin artan miktara bağlı olarak aglomere bölgelerine rastlanmakla birlikte homojen bir dağılım gösterdikleri gözlemlendi.

%50 ve daha az PVC oranlı kompozitlerde kompozit filmlerin esnek olduğu gözlenmiştir.

Karbon nanotüpsüz yüksek oranlı PMMA içeren blendlerin, CNT katkılı kompozitlere göre daha kırılkan olduğu gözlemlendi (Şekil 4.2). Muhtemelen karbon nanotüplerin polimerlerle yüksek etkileşimi, yüksek PMMA oranlı blendlerimizde kırılkanlığı bir ölçüde azaltmıştır. PMMA oranı arttıkça nanokompozitte meydana gelen kırılkanlığın CNT katkısı ile azaldığı ve blend bütünlüğünün, CNT'siz karışıma göre daha fazla korunduğu gözlemlendi. PMMA oranının en yüksek olduğu PVC20 serisinin CNT içermeyen PVC20-0 numunesinde blend filmi bütünlüğünü koruyamazken %1 CNT içeren PVC20-1 numunesinde kırılkanlığın sürmesine rağmen yapının bütünlüğünün daha iyi korunduğu görüldü.

PMMA ince filmlerinin kırılkanlığı ve artan PMMA miktarının PVC ikincil bağlarını zayıflatmasıyla açıklanabilecek kırılkanlık davranışı üzerinde, CNT katkılı yüksek PMMA oranlı blendlerimizde nanopartiküllerin etkisi, ilgili literatürlerle uyumludur (Luna ve Filippone, 2016).

Chuayjuljit ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilen PVC/PMMA blendi çalışmalarında elde edilen SEM görüntüleri bu çalışmada elde edilen görüntülerle uyumlu görünmektedir.

Yaptığımız XRD çalışmasında da artan PMMA oranlı kompozitlerde hesaplanan kristallik dereceleri SEM gözlemlerimizi desteklemektedir.

Chakrabarti ve ark. (2004) bu etkinin reçine matrisini, formülasyonda halihazırda mevcut olan DOP (dioktil ftalat)'tan daha fazla plastikleştiğini belirtmişlerdir. PMMA miktarının artışı, bir dereceye kadar plastikleşmeyi arttırırken düşük PMMA miktarlarında elde edilen bu plastikleşme, muhtemelen matrislerin eşzamanlı oluşumu ve daha yüksek konsantrasyonda üretilen daha fazla sayıda PMMA partikülünün agregasyona uğraması ve kendi katı ve gevrek davranışlarını sergilemek niyetinde olması sebebiyle sonraki aşamalarda azalmaktadır. PMMA fazının kırılkan davranışı PMMA'nın ester grubu ile PVC arasındaki olası hidrojen bağı etkileşimiyle birleştiğinde kompozitin kırılkanlığını arttırmaktadır.

%50'den fazla PMMA oranındaki kırılkanlık artışının ve ayrışma eğiliminin açıklanmasında çözücünün polimerlerle etkileşmesinin rolü de düşünülmelidir (Hong ve ark., 2000).

XRD analizlerimizde genel yapının amorf olduğu gözlemlendi (Şekil 4.23.-27). Bu gözlem Sangawar ve Moharil (2012) ve El-Gamal ve El-Sayed (2020) ile desteklenmektedir.

PMMA oranının artışıyla  $17.92^\circ$  ve  $25^\circ 2\theta$  piklerinin  $15.42^\circ$  ve  $25.44^\circ$  değerlerine kaydığı gözlemlendi. Bu gözlem ilgili literatürle de desteklenmektedir. Elde edilen pikler Nasr ve ark. (2014) tarafından, hazırlanan blendin  $2\theta$  değerleriyle uyumludur. Piklerin birbiriyle karşılaştırılmasında CNT katkısının amorf yapıyı değiştirmedığı gözlenmektedir.

PMMA'nın oranının artışıyla kristallikte bir azalma gözlemlendi. Bu durum Chakrabarti ve ark. (2014) çalışmalarına göre, PMMA molekülünün PVC zincirlerindeki C-Cl bağlarının ikincil etkileşimini bozarak PVC'nin kristalinitesini azalttığı düşüncesiyle açıklanabilir. Bu durum SEM gözlemleriyle de desteklenmektedir.

CNT katkısının genel olarak %0.1 ve %0.5 oranlarında sırayla azalan bir kristallik ortaya koyduğu ve %1'lik serilerde ise kristalliğin tekrar arttığı gözlemlendi (Çizelge 4.1.). Bu durum, CNT ve polimer matris arasında kimyasal bağ olmadığında, (Çalışmada kullanılan CNT'ler fonksiyonlandırılmamış olduğundan bu olasılık ihmal edilebilir) bunların arasındaki elektrostatik etkileşim ve van der Waals kuvvetlerine veya mikromekanik kilitlenmeye bağlanabilir (Swain ve Jena, 2010). SEM sonuçlarında CNT'lerin polimer matrisle iyi etkileştikleri gözlemi, bu varsayımı desteklemektedir.

CNT katkısıyla PVC/PMMA karışımına ait sinyallerin bazı bölgelerde kısmen kayma gösterse de korundukları gözlenmiştir (Şekil 4.23-27).

TGA analizimizde üç basamaklı bir kütle kaybı gözlenmiştir (Şekil 4.35-40).  $194^\circ\text{C}$ 'de biten birinci kütle kaybında bütün seriler için ortalama %4.50 kütle kaybı ölçülmüştür (Çizelge 4.3.). Çalışmamızdaki birinci basamak kütle kayıplarının çözücüden, safsızlıklardan, THF çözücünün buharlaşmasından, hapsedilmiş nemin dehidrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu gözlem El Sayed (2020) ve Ramesh ve Liew (2012) tarafından desteklenmektedir.

TGA ile yapılan analizde yaklaşık  $224-349^\circ\text{C}$  aralığında gerçekleşen 2. basamak kütle kaybında, saf blendler içinde en yüksek kütle kaybı %80:20 PVC/PMMA(PVC80-0) blendinde %57.40 olarak ölçülürken en düşük kütle kaybı %20:80 PVC/PMMA (PVC20-0) blendinde %29.03 olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra aynı CNT oranlı serilerde de CNT'siz serilerde olduğu gibi en yüksek kütle kayıplarının PVC miktarıyla

doğru orantılı olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bulunan değerler Aouachria ve ark. (2014) ile uyumludur.

TGA analizinde başlıca iki büyük bozunma eğrisi gözlenmiştir. Bu eğrilerden birincisinin çoğunlukla PVC'nin bozunmasıyla ortaya çıkan dehidroklorasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. CNT katkısız blendlerdeki büyük bozunma eğrisinde azalan PVC miktarına bağlı olarak görülen kütle kaybı azalması bu düşünceyi doğrulamaktadır. Çalışmamızda birinci bozunma tüm serilerde 224-349°C arasında gözlenmiştir. Naim ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada da birinci bozunma 225°C ile 375°C arasında gerçekleşmiştir. Bu da bizim gzlemimizle uyumludur.

TGA analizinde ana kütle kaybı basamağının başlangıç sıcaklığı ortalama 224°C olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada sabit oranlı polimer karışımında CNT katkısının bozunma sıcaklıklarında ve kütle kayıplarında anlamlı bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür. Numune serilerinin hepsinde buharlaşma kayıpları yaklaşık 194°C'de tamamlanmıştır. Bunun yanında, kütle kayıplarının ortalamalarının bu sıcaklıkta sırasıyla %-5.6944, -5.5421, -5.5875, -4.8552 ve -4.6766 olduğu gözlenmiştir. İkinci basamakta, kütle kaybının, polimer blendi matristeki PVC oranının azalmasına bağlı olduğu söylenebilir. İlgili literatürle uyumlu 348-349°C civarındaki kütle kaybının bu aşamadaki dehidroklorinizasyona bağlanması, bu çalışmadaki bulgularla desteklenmektedir. nc basamakta kütle kaybının 442°C'de maksimuma ulaştığı görülmektedir. Bu basamak polimer matrisin dimerler, trimerler ve oligomerler halinde dağıldığı aşama olarak kabul edilmektedir. Bu basamakta gözlemlenen ortalama kütle kayıplarının yüzdeleri sırasıyla %-76.7433, -84.0046, -85.2947, -85.7738 ve -91.3319 şeklinindedir. Bu artışın, polimer blendindeki PMMA oranının artmasına bağlı olduğu söylenebilir. Bu bulgular Ferriol (2003) ve Saeed ve Khan (2015) ile uyum içindedir.

Saeed ve Khan (2015) alışmalarında fonksiyonlandırılmış nanotüpler kullanılarak hazırladıkları PMMA/PVC nanokompozitlerinin bozunma sıcaklıklarının yaklaşık 20°C yükseldiğini görmüşlerdir.

DTA analizlerimizde 300°C ve 400°C dolaylarında iki ayrı endotermik pike rastlanmıştır. Bu pikler, TGA analizlerimizdeki birinci ve ikinci kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklarla örtüşmektedir. Ayrıca PMMA oranı arttığıca 400°C dolaylarındaki piklerin belirginleştiği gözlendi. Bu da kompozit yapısında önce

dehidroklorinasyonu daha sonra yapısal bozunmayı gösteren TGA grafiklerini açıklamaktadır (Şekil 4.42-52) (Çizelge 4.5).

El Sayed (2020) çalışmasında, %75:25 PVC/PMMA blendine değişik oranlarda kattığı CNT'lerle hazırladığı nanokompozitlerde, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel tarama kalorimetrik (DSC) analizlerinde, MWCNT katkılı PVC/PMMA ince filmlerinin 179-230°C sıcaklık aralığında termal stabilite sergilediğini Td değerlerinin de de sırayla 392°C, 402°C ve 404°C olduğunu görmüştür.

CNT'lerde fonksiyonlandırma, homojenizasyonun sağlanması ve polimer matrisle hidrojen bağı oluşturmak için kullanılabilir. Saf CNT'lere göre fonksiyonlandırılmış CNT'lerin termal stabiliteyi arttırması bu ikinci nedene bağlanabilir. Çalışmamızda kullandığımız fonksiyonlandırılmamış CNT'lerin ise termal stabiliteye etkili olmadıkları görülmüştür

Dixit ve ark. (2009)'nın ifade ettiği gibi karışabilir bir polimer blendi iki saf bileşenin arasında bulunan tek bir bileşime bağlı camsı geçiş sıcaklığı sergilemelidir. DSC analizlerimizde hiçbir numunede iki ayrı camsı geçiş sıcaklığı ölçülmemiştir. Bu sonuçlar blendlerimizi oluşturan polimerlerin tüm oranlarda karışabilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca SEM görüntüleri de homojenizasyonun sağlandığını ve karışabilirliği desteklemektedir.

Belhaneche-Bensemra ve ark. (2003) çalışmalarında %0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 oranlarında olmak üzere PMMA içeren PVC/PMMA blendlerinde karışabilirliği araştırmışlardır. Karışabilir sistemlerde tek T<sub>g</sub> gözlenirken çalışmalarında %50'den daha fazla PMMA içeren blendlerde iki farklı T<sub>g</sub> gözlemişlerdir. %50:50 oranına kadar ölçülen T<sub>g</sub> değerleri, PMMA'nın %0 dan başlayarak artan oranlarında sırasıyla 83.00, 84.00, 84.5, 85.00, 85.80 ve 96.00°C olarak ölçülmüştür.

Çalışmamızda farklı T<sub>g</sub> değerleri elde etmekle birlikte CNT katkısının bu değerler arasında anlamlı bir ilişki oluşturmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Dixit ve ark. (2010) çalışmalarında ağırlıkça %50:50 PVC/PMMA blendi için T<sub>g</sub> 63.2°C olarak ölçülmüştür. Nasr ve ark. (2014) çalışmalarında da 3:1 oranında hazırladıkları PVC/PMMA blendinde yaptıkları DSC analizinde T<sub>g</sub>'yi 66.23°C ölçmüşlerdir. DSC analizinde %50:50 PVC/PMMA blendimizde T<sub>g</sub> değeri araştırmacıların değerlerine yakın olarak, 65.51°C ölçülmüştür.

El Sayed (2020) çalışmasında PMMA/PVC blendine %0.25, %0.5 ve %1 oranlarında kattığı MWCNT'lerle  $T_g$  değerleri sırasıyla 61.0, 59.0 ve 59.3°C olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler, CNT katkısının PMMA/PVC/MWCNT nanokompozitinde sistematik bir fark yaratmadığını göstermektedir. Çalışmamızda %80:20 PVC/PMMA oranlı nanokompozitlerde %0.1, %0.5 ve %1 CNT katkısıyla  $T_g$  değerleri sırasıyla 64.35, 66.12 ve 66.90°C olarak ölçülmüştür. Literatür değerleri ve ölçümlerimiz CNT katkısının  $T_g$  değerlerinde anlamlı bir fark yaratmadığını göstermektedir.

DTA grafiklerinden elde edilen camsı geçiş sıcaklığı verilerimizle DSC analizlerinden elde ettiğimiz camsı geçiş sıcaklığı verileri uyumludur (Çizelge 4.5.).

Çalışmamızda DTG ölçümlerinde %50'den yüksek PMMA oranlarında CNT miktarındaki artışla bozunma hızında bir azalma görülse de CNT katkısının, tutarlı bir değişim yaratmadığı görülmüştür (Şekil 4.53-57) (Çizelge 4.6). %80:20 ve %60:40 PVC/PMMA oranlı numunelerde 250-280°C aralığında yüksek bozunma hızları görülürken, %50:50, %40:60 ve %20:80 PVC/PMMA oranlarında >300°C sıcaklıklarda daha yüksek bozunma hızlarına ulaşıldığı görülmektedir. Bu veriler TGA ölçümlerindeki 224-349°C aralığında meydana gelen dehidroklorinasyonla örtüşmektedir. PMMA oranı arttıkça daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı bir bozunmanın gerçekleşmesi de polimer ana yapılarının bozunmasına bağlanabilir.

Elektriksel iletkenlikle ilgili çalışmamızda, %50:50:0.1-1 PVC/PMMA/CNT nanokompozitlerimizde ideal perkolasyon eğrisine yaklaşılmıştır (Şekil 4.58.). Matris tipinin MWCNT'lerin elektrik iletkenliği üzerine etkisi Tohmassin ve ark. (2007) tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar, karbonil gruplarının nanotüplerin halkalı yapısıyla iyi etkileştiğini belirlemişlerdir. Bu etkileşimin onların morfolojisi ve elektrik iletkenliği için de olumlu olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda %50:50:0.1-1'e kadar PVC/PMMA/CNT nanokompozitlerimizde aşamalı olarak ideal perkolasyon eğrisine yaklaşılması, araştırmacıların, matris tipinin, CNT'li nanokompozitin elektrik iletkenliği ile ilgisi hakkındaki düşüncelerini desteklemektedir. Blendlerde en düşük iletkenliğin, %50:50 oranında görülmesi, buna karşılık artan PVC veya PMMA oranlarında görece artması dikkat çekicidir. Elektriksel iletkenliği en düşük olan %50:50 PVC/PMMA blendinin %1 CNT'li nanokompozitin elektrik iletkenliğinin en yüksek olması bu nötr iç yapıda iletkenliğin doğrudan doğruya CNT katkısından kaynaklandığı düşündürmektedir.

(Şekil 4.59, 60). Bu durum Hong ve ark. (2000)'nın değindiği çözücü etkisiyle açıklanabilir. Araştırmacılar Huggins sabitlerine dayanarak THF'in PVC için daha iyi bir çözücü olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmalarında THF'in PVC için bulunan k sabiti 0.60 iken PMMA için aynı sabit 0.87 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda THF'in hesaplanan k sabitine göre PMMA için  $0.8 < k < 1.3$  aralığında kalan zayıf bir çözücü olduğunu ortaya koymuşlardır. İyi çözücülerde polimer zincirlerinin uzadıkları ve daha iyi açıldığı bilinmektedir. Bu durumda  $\leq 50$  ve oranlarda PVC içeriklerinde, zincirlerin, CNT'lerin perkolasyonunu kolaylaştırdıkları ve dopant etkisini güçlendirdikleri düşünülmektedir. PVC60 serisinin iletkenlik grafiğindeki sapma, çözücü etkisine bağlanabilir. Sah ve Gupta (2013) çalışmalarında da %60:40 PVC/PMMA bileşimde Huggins sabitinde meydana gelen sapma göz önüne alındığında, aynı oranlı PVC60 numunemizde benzer bir sapma olduğunu düşünebiliriz. Bu durumda blendin çözünürlüğündeki azalmanın, CNT'lerin perkolasyonu için uygun bir zincir açılmasına ve uzamasına izin vermediği söylenebilir.

Çalışmamızda %0.1 ve %0.5 oranlı CNT katkılarıyla hazırlanmış nanokompozitlerde %50:50 PVC/PMMA oranına kadar elektrik iletkenliğinde belirgin bir fark görülmezken; en yüksek oranlı %1 CNT katkılı %20, 40 ve 50 PMMA içeren serilerde iletkenlikler sırayla  $6.94 \times 10^{-8}$ ,  $2.06 \times 10^{-7}$  ve  $4.97 \times 10^{-6}$  S/cm olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.7.). Bu ölçümler matris tipinin belli oranlarda, CNT iletkenliği üzerinde etkili olduğu düşüncesini desteklemektedir. %1 CNT katkısıyla diğer kompozitlerin iletkenliğinde de blendlere göre anlamlı bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu artış yarı iletkenlik bandı sınırına ulaşamamıştır. PVC20 serisinde kırılmalardan dolayı PVC20-0 ve PVC20-0.5 numunelerinde ölçüm alınamamıştır. PVC20-0.1 ve PVC20-1 numunelerinde, CNT katkısının, en düşük ve en yüksek oranlarında bile iletkenlikte diğer numunelere göre bir fark yaratmadığı gözlenmiştir.

Homojen bir dağılım, MWCNT'lerin birbirine bağlı bir dolgu ağını oluşturmasını sağlamak için esastır (Bokobza, 2012). Bu çalışmada elde edilen iletkenlik eğrilerinden, CNT'lerin iletken bir dolgu ağı oluşturmaya yeterli ölçüde homojen dağıldıklarını SEM görüntülerine de dayanarak söylememiz mümkündür.

El Sayed (2020) çalışmasında %0.5 MWCNT konsantrasyonunda  $1.39 \times 10^{-6}$  S/cm ve %1 MWCNT konsantrasyonunda  $9.25 \times 10^{-6}$  S/cm iletkenlik değerlerine ulaşmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre de %50:50 PVC:PMMA karışımlarında

CNT'nin artan miktarlarının iletkenliği arttırdığı gözlenmiştir. Bu değerler %0.1, 0.5 ve 1 CNT katkıları için sırayla  $1.89 \times 10^{-16}$ ,  $6.2 \times 10^{-7}$  ve  $4.97 \times 10^{-6}$  S/cm olarak ölçülmüştür.

TGA analizine dayalı aktivasyon enerjisi hesaplamalarında, yapı dışı maddelerin kütle kaybından ibaret olan birinci kütle kaybı basamağında tüm numunelerimizin aktivasyon enerjisi 131-132 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu verilere dayanarak numunelerimizin saflığının korunduğunu söyleyebiliriz.

Kütle kaybının ikinci basamağında ise PMMA oranının artışıyla aktivasyon enerjisinin yükseldiği görülmüştür. İkinci basamakta PVC80, PVC60, PVC50, PVC40 ve PVC20 serilerinin ortalama aktivasyon enerjileri sırayla 113.19, 116.21, 117.5, 119.52 ve 122.40 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. İkinci termal bozunma basamağında serilerin kendi içlerinde CNT miktarına bağlı olarak aktivasyon enerjilerinin hemen hemen değişmediği görülmüştür.

Aktivasyon enerjisinin yüksek olduğu reaksiyonlarda reaksiyon hızının düşük olduğu, aksine aktivasyon enerjisinin düşük olduğu reaksiyonlarda, reaksiyon hızının yüksek olduğu bilinmektedir (Erbil, 2012). Bizim çalışmamızda, PMMA oranı arttıkça birinci bozunma basamağının aktivasyon enerjisinin yükseldiği görülmektedir. Buna karşılık DTG verilerinde de birinci bozunma basamağında PMMA oranının artışına bağlı olarak kütle kaybı hızının azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde PMMA oranındaki artışla ikinci bozunma basamağında aktivasyon enerjisinin gitgide düştüğü ve buna karşılık kütle kaybı hızının arttığı görülmektedir. Aktivasyon enerjisi verilerimiz DTG verilerimizle uyumludur.

İkinci termal bozunma basamağında meydana gelen kütle kaybının büyük ölçüde PVC'nin dehidroklorinasyonundan kaynaklandığı düşünöldüğünde, dehidroklorinasyon için daha düşük bir enerji gerektiği düşünölebilir. İkinci kütle kaybı basamağında PMMA oranının artışıyla aktivasyon enerjisinin artışı bu gözlemi desteklemektedir. PVC'nin yapısal bozunması için gereken enerjinin daha düşük olduğu söylenebilir. PVC'nin görece daha küçük bir molekül olması ve kütledeki kaybın daha düşük sıcaklıkta dehidroklorinasyonla ortaya çıkması ikinci basamakta, yüksek PVC miktarında ölçölen daha düşük aktivasyon enerjisine bağlanabilir. PVC miktarının azalıp PMMA miktarının arttığı numunelerde ikinci basamakta kütle kaybının, PMMA'nın bozunmasına daha fazla dayandığı ve bu yüzden ikinci basamakta PMMA miktarının artışının, termal bozunma için gereken aktivasyon enerjisinin artışına yol açtığı düşünölebilir.

Kütle kaybının üçüncü basamağında ise PMMA miktarının artışıyla birlikte aktivasyon enerjisinde bir azalma görülmektedir. Üçüncü basamakta PVC80, PVC60, PVC50, PVC40 ve PVC20 serilerinin ortalama aktivasyon enerjileri sırayla 109.16, 107.96, 107.43, 106.60 ve 105.07 j/mol olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık nanokompozitteki PMMA miktarının artışının aktivasyon enerjisinin düşüşünde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Termal bozunma reaksiyonlarının aktivasyon enerjilerindeki bu azalma, Chakrabarti ve ark. (2014)'nin çalışmasına dayanarak, PMMA'nın miktarındaki artışın, polimer zincirleri arasındaki ikincil etkileşimleri azaltmasına ve dolayısıyla nanokompozitin termal bozunmasını kolaylaştırmasına bağlanabilir.

CNT katkısının  $T_g$  üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı göz önüne alınmalıdır. CNT katkısının nanokompozitin bozunma sıcaklıkları ve kinetiği üzerinde de belirgin ve düzenli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Termal değişimlerde özellikle PMMA oranının etkili olduğu gözlenmiştir. Genel olarak kütle kaybının nanokompozitteki PMMA oranıyla arttığı söylenebilir. Ayrıca PMMA oranı arttıkça nanokompozitlerde yapısal bütünlüğün bozulduğu ve filmlerin kırılmanlaştığı gözlenmiştir. PMMA oranının  $\leq 50\%$  olduğu blendlerde ve nanokompozitlerde esneklik ve bütünlük gerek SEM gerekse termal analizlerle saptanmıştır. Bu durum kullanılabilir nanokompozitlerin PMMA oranının  $\leq 50\%$  olması gerektiğini göstermektedir. PMMA/PVC/CNT nanokompozitinin  $T_g$  değerlerine bakıldığında, nanokompozitin  $60^\circ\text{C}$  altında kullanılabileceği söylenebilir. Çalışmamızda PMMA/PVC/CNT nanokompozitlerinin elektriksel iletkenlik ölçümlerinin dikkate değer veriler sunduğu görülmüştür.  $50:50:1$  PMMA/PVC/CNT nanokompozitinde, ideal perkolasyon eğrisine ulaşıldığı görülmüştür. Bu nanokompozitte  $10^{-6}$  S/cm yarı iletkenlik bandına ulaşılmıştır. Bu veri, sentezlediğimiz nanokompozitin yarı iletken teknolojisi için bir aday olabileceğini göstermektedir. Yarı iletkenlik sınırına ulaşıldığı  $1\%$  CNT eşik oranı dikkate alınarak daha yüksek CNT oranına sahip yeni nanokompozitlerin elektrik/elektronik kullanım imkânları üzerinde çalışılması düşünülebilir.



## KAYNAKLAR

- Abdel-Fattah, E., Alharthi, A. I., Fahmy, T., 2019. Spectroscopic, optical and thermal characterization of polyvinyl chloride-based plasma-functionalized MWCNTs composite thin films. *Applied Physics A*, **125** (7): 1-8.
- Abdelghany, A. M., Abdelrazek, E. M., El Shahawy, A., Al-Muntaser, A. A., 2015. FTIR and UV/Vis. Spectroscopy: A key for miscibility investigation of PVC/PMMA polymer blend. *Middle East Journal of Applied Sciences*, **05** (05): 36-44.
- Ahmed, S., Jones, F. R. 1990. A review of particulate reinforcement theories for polymer composites. *Journal of Materials Science*, **25**: 4933-4942.
- Ajayan, P. M., Stephan, O., Colliex, C., Trauth, D., 1994. Aligned carbon nanotube arrays formed by cutting a polymer resin-nanotube composite. *Science*, **265** (5176): 1212-1214.
- Al-Ghait, M. K., Al-Arifi, A. S., Al-Andis, N. M., Al-Othman, Z. A., Aouak, T., 2011. Miscibility enhancement on the poly(vinylchloride)/poly(methylmethacrylate) blend and characterization by inverse gas chromatography: The corrected polymer-polymer interaction parameters from the probes dependency. *Journal of Applied Polymer Science*, **124** (2): 1464-1474.
- Alghunaim, N. S., 2015. Spectroscopic analysis of PMMA/PVC blends containing CoCl<sub>2</sub>. *Results in Physics*, **5**: 331-336.
- Ali, U., Abd Karim, K. J. B., Buang, N. A., 2015. A review of the properties and applications of poly(methylmethacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, **55** (4): 678-705.
- Al-Muntaser, A. A., Abdelghany, A. M., Abdelrazek, E. M., Elshahawy, A. G., 2020. Enhancement of optical and electrical properties of PVC/PMMA blend films doped with Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> nanoparticles. *Journal of Materials Research and Technology*, **9** (1): 789-797.
- Al-Osaimi, J., Alhosiny, N., Badawi, A., Abdallah, S., 2013. The effects of CNTs types on the structural and electrical properties of CNTs/PMMA nanocomposite films. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, **13** (02): 77-79.
- Altan, M., Yıldırım, H. 2014. Nano ZnO takviyeli yüksek yoğunluklu polietilenin anti bakteriyel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde nano partikül modifikasyonun etkisi. *Mühendis ve Makina*, **55** (649): 38-42.
- Anandhan, S, S. Bandyopadhyay, S., 2011. Polymer nanocomposites: From synthesis to applications, Chap. 1. *Nanocomposites and Polymers with Analytical Methods* (Editor: Dr. John Cuppoletti). Intech.12. Son erişim tarihi: 24.08.2021.
- Andrews, R., Jacques, D., Qian, D., Rantell, T., 2002. Multiwall carbon nanotubes: Synthesis and application. *Accounts of Chemical Research*, **35** (12): 1008-1017.
- Anonim, 2005. The next giant leap. [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/27jul\\_nanotech/](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/27jul_nanotech/). Erişim tarihi:01.04.2022.
- Anonim, 2014. Daha yakın olmak için: Elektron mikroskopları. <http://www.acikbilim.com/2014/02/dosyalar/daha-yakin-olmak-icin-elektron-mikroskoplari-2.html>. Erişim tarihi: 04.06.2022.
- Anonim, 2015. Zehirli boya nedir? Zehirli seçimi ve uygulaması. <https://www.csymarine.com/blog>. Erişim tarihi: 13.04.2022

- Anonim, 2018a. Termoplastik malzemeler. <https://www.aldemirltd.com/polymer>. Erişim tarihi: 09.02.2021
- Anonim, 2018b. PMMA. <http://www.aydinplastik.com/Urun/11/PMMA.html> Erişim tarihi: 10.02.2021.
- Anonim, 2018c. PMMA (Akrilik). <http://www.kolumanplastik.com/tr/urunler/pmma-akrilik> Son erişim tarihi: 10.02.2021
- Anonim, 2020a. Süper kapasitör ve kapasitör (kondansatör) nedir? <http://www.elemasyon.com/super-kapasitor-nedir/> Son erişim tarihi: 08.04.2022.
- Anonim, 2021. Süneklik, gevreklik ve tokluk. <http://mehmetzor.com/dersler/kompozit-malzeme-mekanigi/ders-notlari/> Erişim tarihi: 12.08.2021
- Anzar, N., Hasan, R., Tyagi, M., Yadav, N., Narang, J., 2020. Carbon nanotube-a review on synthesis, properties and plethora of applications in the field of biomedical science. *Sensors International*, **1**: 1-10.
- Aouachria, K., Belhaneche-Bensemra, N., 2006. Miscibility of PVC/PMMA blends by vicat softening temperature, viscometry, DSC and FTIR analysis. *Polymer Testing*, **25** (8): 1101-1108.
- Aouachria, K., Massardier, V., Belhaneche-Bensemra, N., 2009. Isothermal and dynamic thermogravimetric degradation of rigid and plasticized poly(vinyl chloride)/poly(methyl methacrylate) blends. *International Journal of Polymeric Materials*, **58** (6): 336-346.
- Aouachria, K., Quintard, G., Massardier-Nageotte, V., Belhaneche-Bensemra, N., 2014. The effect of di-(2-ethyl hexyl) phthalate (Dehp) as plasticizer on the thermal and mechanical properties of PVC/PMMA blends. *Polímeros*, **24** (4): 428-433.
- Arslan, F., 2011. *Karbon Nanotüp Takviyeli Polimer Nanokompozit Geliştirilmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aziz, S. B., Abdullah, O., Brza, M. A., Azawy, A. K., Tahir, D. A., (2019). Effect of Carbon Nano-dots (CNDs) on structural and optical properties of PMMA polymer composite. *Results in Physics*, 102776: 1-11.
- Bağcı, İ. 2006. *Epoksi Reçinesi ile Nanokompozit Sentezi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bal, S., Samal, S. S., 2005. Carbon nanotube reinforced polymer composites-a state of the art. *Bulletin of Materials Science*, **30** (4): 379-386.
- Bandyopadhyay, S., Alex, J., Hsieh, A. J., Giannelis, E. P., 2002. PMMA Nanocomposites Synthesized by Emulsion, Chap. 3. *Polymer Nanocomposites* (Editors: R. Krishnamoorti, R. A. Vaia). ACS Symposium Series; American Chemical Society, Washington, DC. 242.
- Bari, S. S., Chatterjee, A., Mishra, S., 2016. Biodegradable polymer nanocomposites: An overview. *Polymer Reviews*, **56** (2): 287-328.
- Baughman, R. H., Zakhidov A. A., de Heer W. A., 2002. Carbon nanotubes-the route toward applications. *Science*, **297**: 787-792.
- Baur, J., Silverman, E., 2007. Challenges and opportunities in multifunctional nanocomposite structures for aerospace applications. *MRS Bulletin*, **32** (4): 328-334.
- Belhaneche-Bensemra, N., Bedda, A., 2001. Analyse de la relations structure-propriétés des mélanges PVC-PMMA. *Annales De Chimie-Science Des Matériaux*, **26** (3): 79-90.
- Belhaneche-Bensemra, N., Bedda, A., Belaabed, B., 2003. Study of the properties of rigid and plasticized PVC/PMMA blends. *Macromolecular Symposia*, 202 (1): 151-165.

- Belhaneche-Bensemra, N., Belaabed, B., Bedda, A., 2002. Study of the miscibility and the thermal degradation of PVC/PMMA blends. *Macromolecular Symposia*, **180** (1): 203-216.
- Beşergil, B. 2019. Bragg yasası (Bragg's Law). <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/bragg-yasas-bir-kristal-yuzeyine-q-ac.html>. Erişim tarihi: 09.11.2021.
- Beşergil, B., 2012. Polimer matris nanokompozitler, PMNC (polymer matrix nanocomposites, PMNC). [http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page\\_71.html](http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_71.html) Erişim tarihi: 24.09.2021.
- Billmeyer, F. W. Jr., 1984. *Textbook of Polymer Science*. Third edition. A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, New York, USA. 578.
- Bokobza, L., 2012. Multiwall carbon nanotubes-filled natural rubber: electrical and mechanical properties. *Express Polymer Letters*, **6** (3): 213-223.
- Bunkley, S.L., 2012. *Analysis Methods and Characterization of the Electrical Properties of Nanostructured Particle-Containing Polymer Thin Film*. The Aquila Digital Community, the University of Southern Mississippi.
- Burton, R. L., Brown, K., Jacobi, A., 2006. Low-cost launch of payloads to low earth orbit. *Journal of Spacecraft Rockets*, **43**: 696-698.
- Camargo, P. H. C., Satyanarayana, K. G., Wypych, F., 2009. Nanocomposites: Synthesis, structure, properties and new application opportunities. *Materials Research*, **12** (1): 1-39.
- Cao, G. 2004. *Nanostructures and Nano Materials, Synthesis, Properties, and Applications*. Imperial College Press, London. 433.
- Chakrabarti, R., Das, M., Chakraborty, D., 2004. Physical, mechanical, and thermal properties of PVC/PMMA blends in relation to their morphologies. *Journal of Applied Polymer Science*, **93** (6): 2721-2730.
- Chanda, M., 2006. *Introduction to Polymer Science and Chemistry*. CRC Press, FL, USA. 640.
- Chuayjuljit, S., Chantanaprasartporn, A., Wiparchon, J., Boonmahitthisud, A., 2013. Physical properties of plasticized poly(vinyl chloride) blended with poly(methyl methacrylate) nanoparticles synthesized by differential microemulsion polymerization. *International Journal of Polymeric Materials*, **62** (5): 247-251.
- Dasari, A., Yu, Z-Z., Mai, Y-W., 2017. Introduction: Toward Multi-functionality,1. *Polymer Nanocomposites Towards Multi-Functionality*. Springer-Verlag, London. 305.
- Demirhan, Y. Z., 2017. *Yüksek Performanslı Para-Aramid Elyaf Takviyeli Fren Balatalarının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dimitrios Tasis, D., Tagmatarchis, N., Bianco, A., Prato, M., 2006. Chemistry of carbon nanotubes. *Chemical Reviews*, **106**: 1105-1136.
- Dixit, M., Mathur, V., Gupta, S., Baboo, M., Sharma, K., Saxena, N. S., 2009. Investigation of miscibility and mechanical properties of PMMA/PVC blends. *Optoelectronics and Advanced Materials -Rapid Communications*, **3** (10): 1099 - 1105.
- Dodd, J. W., Tonge, K. H., 1997. *Termal Yöntemler*. (Çev: B. Erdoğan). Ankara.
- Dolaştır, F., 2009. *Polimer Malzemelerin Elektriksel Dirençlerinin ve Optik Geçirgenliklerinin Ölçülmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). TÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Egbo, M. K., 2020. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University*, **33** (8): 557-568.
- El Sayed, A. M., 2020. Synthesis, optical, thermal, electric properties and impedance spectroscopy studies on P(VC-MMA) of optimized thickness and reinforced with MWCNTs. *Results in Physics*, **17**: 1-13.
- El-Gamal, S., Elsayed, M., 2020. Synthesis, structural, thermal, mechanical, and nano-scale free volume properties of novel PbO/PVC/PMMA nanocomposites. *Polymer*, **206** (29): 1-17.
- El-Hoshoudy, A. N., M.B., 2018. Emulsion Polymerization Mechanism, Chap. 1. *Recent Research in Polymerization* (Editor: N. Cankaya). <https://www.intechopen.com/chapters/57833> IntechOpen, London. Erişim tarihi: 24.08 2021.
- Erbil, M., 2012. *Fizikokimya*. Nobel Yayıncılık, Ankara. 649.
- Ferriol, M., Gentilhomme, A., Cochez, M., Oget, N., Mieloszynski, J. L., 2003. Thermal degradation of poly(methyl methacrylate) (PMMA): modelling of DTG and TG curves. *Polymer Degradation and Stability*, **79** (2): 271-281.
- Fogel, M., Parlevliet, P., Geistbeck, M., Olivier, P., Dantras, E. D., 2015. Thermal, rheological and electrical analysis of MWCNTs/epoxy matrices. *Composites Science and Technology*, **110**: 118-125.
- Geng, J., Zeng, T., 2006. Influence of single-walled carbon nanotubes induced crystallinity enhancement and morphology change on polymer photovoltaic devices. *Journal of the American Chemical Society*, **128** (51): 16827-16833.
- Ghanbari, A., Heuzey, M-C., Carreau, P.J., Ton-That, M-T., 2016. Morphology and Gas Barrier Properties of Polymer Nanocomposites, Chap. 21. *Polymer Morphology* (Editor: Q. Guo). Wiley, New Jersey, USA. 397.
- Gojny, F. H., Wichmann, M. H. G., Fiedler, B., Kinloch, I. A., Bauhofer, W., Windle, A. H., Schulte, K., 2006. Evaluation and identification of electrical and thermal conduction mechanisms in carbon nanotube/epoxy composites. *Polymer*, **47** (6): 2036-2045.
- Grell, M., Wendorff, J. H., 1994. The asymmetrical orientational behavior of compatible blends of PMMA and PVC. *Colloid and Polymer Science*, **272**: 1447-1456.
- Gupta, N., Gupta, S. M., Sharma, S. K., 2019. Carbon nanotubes: synthesis, properties and engineering applications. *Carbon Letters*, **29** (5): 3.
- Gupta, P., Kumar, D., Quraishi, M. A., Parkash, O., 2016. Metal Matrix Nanocomposites and Their Application in Corrosion Control, Chap. 6. *Advances in Nanomaterials* (Editors: M. Husain, Z. H. Khan). Springer, India. 429.
- Gündüz, T., 2002. *İnstrümental Analiz*. Gazi Kitabevi, Ankara. 1357.
- Gürbüz, M., Mutuk, T., 2019. Karbon esaslı malzeme takviyeli titanyum kompozitler ve grafen üzerine yeni eğilimler. *Mühendis ve Makina*, **60** (695): 101-118.
- Harish, M., 2007. *Processing and Study of Carbon Nanotube / Polymer Nanocomposites and Polymer Electrolyte Materials* (yüksek lisans tezi, basılmamış). B.Tech, Indian Institute of Technology Madras, India.
- Hasan, Z., 2020. Composite Materials, Chap. 2. *Tooling for Composite Aerospace Structures*. Butterworth-Heinemann, Denver, Colorado, USA. 277.
- Hatchett, D. W., Josowicz, M., 2008. Composites of intrinsically conducting polymers as sensing nanomaterials. *Chemical Reviews*, **108** (2): 746-69.

- He, H., Pham-Huy, L. A., Dramou, P., Xiao, D., Zuo, P., Pham-Huy, C., 2013. Carbon nanotubes: Applications in pharmacy and medicine. *BioMed Research International*, **2013**: 1-13.
- Hernandez, T., Bautista, M.C., 2005. The role of the synthesis route to obtain densified TiO<sub>2</sub>-doped alumina ceramics. *Journal of the European Ceramic Society* **25**: 663-672.
- Holister, P., Weener, J.W., Vas, C.R., Harper, T., 2003, Nanoparticles, *Cientifica Technology White Papers*, **3**: 1-11.
- Honeycutt, J. D., 1994. A Theoretical study of tacticity effects on poly(vinyl chloride)/poly(methyl methacrylate) miscibility. *Macromolecules*, **27** (19): 5377-5381.
- Hong, P.-D., Huang, H.-T., Chou, C.-M., 2000. Study of the solvent effect on miscibility between poly(vinyl chloride) and poly(methyl methacrylate) in the solution state-viscometric measurements. *Polymer International*, **49** (4): 407-411.
- Inkson, B. J., 2016. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization, Chap. 2. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods* (Editors: G. Huebschen, I. Altpeter, R. Tschuncky, H.-G. Herrmann). Woodhead Publishing, Cambridge, USA. 320.
- Ishaq, M., Saeed, K., Ayaz, S., Ahmad, I., 2016. Synthesis and characterization of iron (III) oxide/poly (vinyl chloride)/poly (methyl methacrylate) nanocomposites. *Instrumentation Science & Technology*, **44** (5): 566-576.
- İçli, S., 2006. *Polimerik Kompozitler: Geleceğin Teknolojileri, I*. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi.
- Jagadeesan, A. K., Thangavelu, K., Dhananjeyan, V., 2020. *Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties and Applications*. 21st Century Surface Science-A Handbook.
- Jager, H., Vorenkamp, E. J., Challa, G., 1983. LCST behavior in blends of PMMA with PVC. *Polymer Communications*, **24** (10): 290-292.
- John, K., Reddy, G. J., Naidu, S. V., 2003. Miscibility studies of poly(vinyl acetate) blends with poly(methyl methacrylate) and poly(vinyl chloride). *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, **8** (4): 295-299.
- Joseph, J., Munda, P. R., John, D. A., Sidpara, A. M., Paul, J., 2019. Graphene and CNT filled hybrid thermoplastic composites for enhanced EMI shielding effectiveness. *Materials Research Express*, **6** (8): 1-12.
- Julkapli, N. M., Bagheri, S., Sapuan, S. M., 2015. Multifunctionalized Carbon Nanotubes Polymer Composites: Properties and Applications, Chap. 6. *Eco-Friendly Polymer Nanocomposites* (Editors: V. K. Thakur, M. K. Thakur). Springer, India. 579.
- Kar, P., Choudhury, A., Verma, S. K., 2015. Conjugated Polymer Nanocomposites Based Chemical Sensors, Chap. 12. *Fundamentals of Conjugated Polymer Blends, Copolymers and Composites* (Editor: P. Saini). John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA. 800.
- Kasım, H., 2018. *Karbon Esaslı Nano Katkılar ile Elektrik İletken Elastomer Nanokompozitler Geliştirilmesi: Statik ve Tekrarlı Dinamik Yükler Altında Elektriksel, Fiziksel ve Mekanik Karakterizasyonu ve Algılama Performansının Belirlenmesi* (doktora tezi, basılmamış). BUÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Kaya, A. İ., 2016. Kompozit nedir? Kompozit malzemeler ve özellikleri. <https://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>. Erişim tarihi: 12.08.2021
- Kelkar, D. S., Soman, V. V., 2012. Study of structural, morphological and mechanical properties of PMMA, PVC and their blends. *Radiation Effects and Defects in Solids*, **167** (2): 120-130.
- Khan, W., Sharma, R., Parveen Saini, P., 2016. Carbon Nanotube-Based Polymer Composites: Synthesis, Properties and Applications, Chap. 1. *Carbon Nanotubes-Current Progress of their Polymer Composites* (Editors: M. R. Berber, I. H. Hafez). Intech, London. 506.
- Khandoker, N., Hawkins, S. C., İbrahim, R., Huynh, C. P., Deng, F. 2011. Tensile strength of spinnable multiwall carbon nanotubes. *Procedia Engineering*, **10**: 2572-2578.
- Kolesov, S. V., Kulish, E. I., Minsker, K. S., 1995. Factors affecting stability of poly(vinyl chloride) in a poly(vinyl chloride)-poly(methyl methacrylate) blend in solution. *Polymer Science Series B C/c of Vysokomolekuliarnye Soedineniia*, 311-313.
- Koo, J. H., 2006. *Polymer Nanocomposites Processing Characterization and Applications*. Mc Graw-Hill, USA. 263.
- Köytepe, S., Aksüt, D., Seçkin, T., Alıcı, B., 2007. *Polüimid-kil nanokompozitlerinin mikrodalga tekniği ile elde edilmesi*. 21. Ulusal Kimya Kongresi, Malatya.
- Krause, S., 1978. Polymer-Polymer Compatibility, Chap. 2. *Polymer Blends* (Editors: P. Newman, S. Newman). Academic Press, Elsevier Inc., USA. 501.
- Krishnamoorti, R., Giannelis, E. P., 1997. Rheology of end-tethered polymer layered silicate nanocomposites. *Macromolecules*, **30** (14), 4097-4102.
- Lee, S., Yoo, J., Lee, W. 2015. Water-assisted extrusion of polypropylene/clay nanocomposites in high shear condition. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **31**: 317-322.
- Levchik, S. V., 2007. Introduction to Flame Retardancy and Polymer Flammability, Chap. 1. *Flame Retardant Polymer Nanocomposites* (Editors: A. B. Morgan, C. A. Wilkie). John Wiley and Sons, USA. 421.
- Liao, K., Li, S., 2001. Interfacial characteristics of a carbon nanotube-polystyrene composite system. *Applied Physics Letters*, **79** (25): 4225-4227.
- Lopez-Cuesta, J. M., 2012. Flame-Retardant Polymer Nanocomposites, Chap. 16. *Advances in Polymer Nanocomposites* (Editor: F. Gao). Woodhead Publishing, UK. 680.
- Luna, S. M., Filippone, G., 2016. Effects of nanoparticles on the morphology of immiscible polymer blends – Challenges and opportunities. *European Polymer Journal*, **79**: 198–218.
- Ma, P.-C., Siddiqui, N. A., Marom, G., Kim, J.-K., 2010. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **41**(10): 1345-1367.
- Ma, W., Zhang, J., Wang, X., Wang, S., 2007. Effect of PMMA on crystallization behavior and hydrophilicity of poly(vinylidene fluoride)/poly(methyl methacrylate) blend prepared in semi-dilute solutions. *Applied Surface Science*, **253** (20): 8377-8388.
- Melad, O., Rajai, B., Salem, J. K. J., 2003. Effect of variations of temperatures on compatibility of PMMA/PVC in THF ternary system. *Asian Journal of Chemistry*, **15** (2): 765-771.

- Mergen, Ö. B., 2019. *Karbon Zengin Nanomalzeme İçeren Termoplastik Kompozitlerin Elektriksel, Optik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). TÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Milton, G. W., 2004. *The Theory of Composites*. Cambridge University Press, UK. 748.
- Mohammed, G., El Sayed, A. M., El-Gamal, S., 2019. Effect of M Nitrates on the optical, dielectric relaxation and porosity of PVC/PMMA membranes (M = Cd, Co, Cr or Mg). *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, **30**: 1306-1319.
- Myachev, V. A., Emelyanov, D. N., 1997. Poly(methyl methacrylate) poly(vinyl chloride) blends: Compatibility of the components and viscous properties. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya Seriya A & Seriya B*, **39**: 1519-1522.
- Mzir, T., Khemici, M. W., Dahmane, M., Mzir, M., Douliche, N., 2018. Dielectric characterization of polyvinyl chloride/polymethyl methacrylate (PVC/PMMA) blends by TSDC technique. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, **23** (8): 675-683.
- Naim, A. F. A., Al Fannakh, H., Arafat, S., Ibrahim, S. S., 2020. Characterization of PVC/MWCNTs Nanocomposite: Solvent blend. *Science and Engineering of Composite Materials*, **27** (1): 55-64.
- Nasr, G. M., Osman, H. M., Omar, M. M., Abdelbary, A. M., 2014. Thermal and dielectric properties of PVC/PMMA loaded conductive PPY composites. *Life Science Journal*, **11** (4): 127-134.
- Ngo, T.-D., 2020. *Composite and Nanocomposite Materials: From Knowledge to Industrial Applications*. Intech, London. 240.
- Oğuz, H., 2007. Termal analizler. [http://huseyinoguz.net/mysite/TERMALANALIZLERv3\\_17-02-07.pdf](http://huseyinoguz.net/mysite/TERMALANALIZLERv3_17-02-07.pdf) Erişim tarihi: 10.11.2021.
- Okieimen, F., Urhoghide, I. 1996. Studies on miscibility of poly(vinyl chloride) with natural rubber-graft-polyacrylonitrile and natural rubber-graft-poly(methyl methacrylate), *Journal of Applied Polymer Science*, **59** (11): 1803-1808.
- Olabisi, O., Robeson, L. M., Shaw, M. T., 1979. *Polymer-Polymer Miscibility*. Academic Pres, New York.
- Omanović-Miklićanin, E., Badnjević, A., Kazlagic, A., Hajlovac, M., 2020. Nanocomposites: A brief review. *Health and Technology*, **10**: 51-59.
- Onat, A. 2015. Kompozit malzemeler ders notu. Sakarya Meslek Yüksekokulu Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı. <https://docplayer.biz.tr/12475078-Sakarya-meslek-yuksekokulu-makina-ve-metal-teknolojileri-bolumu-metalurji-programi-kompozit-malzemeler-ders-notu.html>. Erişim tarihi: 12.08.2021.
- Patrick, S., 2004. *PVC Compounds and Processing*. Rapra Review Reports, Shawbury, UK. 176.
- Pielichowski, K., Leszczyska, A., Njuguna, J., 2010. Mechanisms of Thermal Stability Enhancement in Polymer Nanocomposites, Chap. 9. *Optimization of Polymer Nanocomposite Properties* (Editor: V. Mittal). Wiley, E-Book. 440.
- Pişkin, E., 1987. *Polimer Teknolojisine Giriş*. İnkılap Kitabevi, Ankara. 199.
- Pleşa, I., 2016. Properties of polymer composites used in high-voltage applications. *Polymers*, **8** (5): 173.

- Polizu, S., Savadogo, O., Poulin, P., Yahia, L. H., 2006. Applications of carbon nanotubes-based biomaterials in biomedical nanotechnology. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **6** (7): 1883-1904.
- Ponnamma, D., Ninan, N., Thomas, S., 2018. Carbon Nanotube Tube Filled Polymer Nanocomposites and Their Applications in Tissue Engineering, Chap. 13. *Applications of Nanomaterials* (Editors: S. M. Bhagyaraj, S. O. Oluwafemi, N. Kalarikkal, S. Thomas). Woodhead Publishing, UK. 490.
- Rajendran, S., Uma, T. 2000. Conductivity studies on PVC/PMMA polymer blend electrolyte. *Materials Letters*, **44** (3-4): 242-247.
- Ramasubramaniam, R., Chen, J., Liu, H., 2003. Homogeneous carbon nanotube/polymer composites for electrical applications. *Applied Physics Letters*, **83** (14): 2928-2930.
- Ramesh, S., Liew, C.-W., Morris, E., Durairaj, R., 2010. Effect of PVC on ionic conductivity, crystallographic structural, morphological and thermal characterizations in PMMA-PVC blend-based polymer electrolytes. *Thermochimica Acta*, **511** (1-2): 140-146.
- Ramesh, S., Yahaya, A. H., Arof, A. K., 2002. Miscibility studies of PVC blends (PVC/PMMA an PVC/PEO) based polymer electrolytes. *Solid State Ionics*, **148** (3-4): 483-486.
- Ren, S., Bernardi, M., Lunt, R. R., Bulovic, V., Grossman, J. C., Gradečak, S., 2011. Toward efficient carbon nanotube/P3HT solar cells: Active layer morphology, electrical, and optical properties. *Nano Lett.*, **11** (12): 5316-5321.
- Roppolo, I., Sangermano, M., Chiolerio, A., 2016. Optical Properties of Polymer Nanocomposites, Chap. 7. *Functional and Physical Properties of Polymer Nanocomposites* (Editors: A. Dasari, J. Njuguna). John Wiley & Sons, USA. 212.
- Saçak, M., 2004. *Polimer Kimyası*. 2. Baskı. Gazi Kitabevi, Ankara. 483.
- Saeed, K., Khan, N., 2015. Preparation, morphologies and properties of multiwalled carbon nanotubes-filled PMMA/PVC blends. *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, **37** (2): 284-289.
- Sah, G. K., Gupta A. K., 2013. Miscibility studies of PVC/PMMA blends in tetrahydrofuran by viscosity, density, refractive index and ultrasonic velocity method. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, **4** (2): 288-293.
- Saini, P., Aror, M., 2012. New polymers for special applications (Editor: De Souza Gomes, A.) <http://www.intechopen.com/books/new-polymers-for-specialapplications/microwave-absorption-and-emi-shielding-behavior-of-nanocompositesbased-on-intrinsically-conducting> Erişim tarihi: 01.04.2022.
- Saini, P., Choudhary, V., Singh, B. P., Mathur, R. B., Dhawan, S. K., 2011. Enhanced microwave absorption behavior of polyaniline-CNT/polystyrene blend in 12.4-18.0GHz range. *Synthetic Metals*, **161**: 1522-1526 .
- Sandler, J. K. W., Kirk, J. E., Kinloch, I. A., Shaffer, M. S. P., Windle, A. H., 2003. Ultra-low electrical percolation threshold in carbon-nanotube-epoxy composites. *Polymer*, **44** (19): 5893-5899.
- Sangawar, V. S. A., Moharil, A. N., 2012. Study of electrical, thermal and optical behavior of polypyrrole filled PVC:PMMA thin film thermoelectrets. *Chemical Science Transactions*, **1** (2): 447-455.
- Sato, M., 2011. Elastic and plastic deformation of carbon Nanotubes. *Procedia Engineering*, **14**: 2366-2372.

- Schueler, R., Petermann, J., Schulte, K., Wentzel, H.-P., 1997. Agglomeration and electrical percolation behavior of carbon black dispersed in epoxy resin. *Journal of Applied Polymer Science*, **63** (13): 1741-1746.
- Schurer, J. W., de Boer, A., Challa, G., 1975. Influence of tacticity of poly(methyl methacrylate) on the compatibility with poly(vinyl chloride). *Polymer*, **16**: 201-204.
- Sen, M. 2020. Nanocomposite materials. *Nanotechnology and the environment*. <https://www.intechopen.com/chapters/72636> Erişim tarihi: 18.08.2021.
- Seydibeyoğlu, M. Ö., 2012. A novel partially biobased PAN-lignin blend as a potential carbon fiber precursor. *Biomed Research International*, **2012**: 1-8.
- Shieh, Y.-T., Hsieh, K.-C., Cheng, C.-C., 2017. Carbon nanotubes stabilize poly(vinyl chloride) against thermal degradation. *Polymer Degradation and Stability*, **144**: 221-230.
- Silicate Nanocomposites. *Macromolecules* **30**(14): 4097-4102.
- Soman, V. V., Kelkar, D. S., 2009. FTIR studies of doped PMMA -PVC blend system. *Macromolecular Symposia*, **277** (1): 152-161.
- Soutter, W., 2012. What is an ultracapacitor? <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3044> Erişim tarihi: 08.04.2022.
- Spitalsky, Z., Tasis, D., Papagelis, K., Galiotis, C., 2010. Carbon nanotube-polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties. *Progress in Polymer Science*, **35** (3): 357-401.
- Staab, G. H., 1999. *Laminar Composites*. First edition. Butterworth-Heinemann, US. 466.
- Stephan, A. M., Saito, Y., Muniyandi, N., Renganathan, N. G., Kalyanasundaram, S., Nimma, R., Elizabeth, E. N., 2002. Preparation and characterization of PVC/PMMA blend polymer electrolytes complexed with LiN(CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. *Solid State Ionics*, **148**: 467-473.
- Stephan, A. M., Kumar, T. P., Renganathan, N., Pitchumani, S., Thirunakaran, R., Muniyandi, N., 2000. Ionic conductivity and FT-IR studies on plasticized PVC/PMMA blend polymer electrolytes. *Journal of Power Sources*, **89** (1): 80-87.
- Suresh, S. S., Mohanty, S., Nayak, S. K., 2018. Preparation of Poly(vinyl chloride) / Poly(methyl methacrylate) recycled blends: Effect of varied concentration of PVC and PMMA in stability of PVC phase on the recycled blends. *Materials Today: Proceedings*, **5**: 8899-8907.
- Suvorova, Y. V., Alekseeva, S. I., Fronya, M. A., Viktorova, I. V., 2013. Investigations of physical and mechanical properties of polymeric nanocomposites (Review). *Inorganic Materials*, **49**: 1357-1368.
- Swain, S. K., Jena, I., 2010. Polymer/carbon nanotube nanocomposites: A novel material. *Asian Journal of Chemistry*, **22** (1): 1-15.
- Şahin, Y., 2000. *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Üniversitesi, Ankara. 327.
- Şen F. Palancıoğlu, H., Aldaş K., 2010. Polimerik nanokompozitler ve kullanım alanları. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **7** (1): 111-118.
- Taşdemir, M., 2016. *Polimer Karışımları ve Uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık, Türkiye. 320.
- Temiz, Ü. İ., 2020. *Farklı Biyokütle-Atık Karışımlarının TGA Yöntemiyle Birlikte Pirolizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). BŞEÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

- Thomas, S., Grohens, Y., Jyotishkumar, P., 2015. *Characterization of Polymer Blends: Miscibility, Morphology, and Interfaces*. First edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, USA. 994.
- Thomassin, J.-M., Lou, X., Pagnouille, C., Saib, A., Bednarz, L., Huynen, I., ... Detrembleur, C., 2007. Multiwalled carbon nanotube/poly( $\epsilon$ -caprolactone) nanocomposites with exceptional electromagnetic interference shielding properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, **111** (30): 11186-11192.
- Titow, W.V., 1990. *PVC Plastics-Properties, Processing, and Applications*. Elsevier Applied Science, London, UK. 902.
- Tjong, S. C., Ma, Z. Y., 2000. Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites. *Materials Science and Engineering*, **29**: 49-113.
- Ulağ, S., 2017. *The Investigation of The Irradiation Effect on PMMA/MWCNTs Polymer Nanocomposites* (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Utracki, L. A., Wilkie, C. A., 2014. *Polymer Blends Handbook*. Springer, UK. 2378.
- Utracki, L. A., 2003. *Polymer Blends Handbook*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1442.
- Vorenkamp, E. J., ten Brinke, G., Meijer, J. G., Jager, H., Challa, G., 1985. Influence of the tacticity of poly(methyl methacrylate) on the miscibility with poly(vinyl chloride). *Polymer*, **26** (11): 1725-1732.
- Wagner, H. D., Vaia, R. A., 2004. Nanocomposites: Issues at the interface. *Materials Today*, **7** (11): 38-42.
- Wang, G., Zhang, L., Zhang, J., 2012. A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors. *Chemical Society Reviews*, **41** (2): 797-828.
- Wang, Y., Duo, T., Xu, X., Xiao, Z., Xu, A., Liu, R., Jiang, C., Lu, J., 2020. Eco-friendly high-performance poly(methyl methacrylate) film reinforced with methylcellulose. *ACS Omega*, **5** (38): 24256-24261.
- Woodford, C., 2021. Electron Microscopes. <https://www.explainthatstuff.com/electronmicroscopes.html#howwork>. Erişim tarihi: 03.06.2022.
- Yanmaz, E., 2018. *Vinil Grubu İçeren Bazı Polimer / Modifiye Tek Duvarlı Karbon Nanotüp Nanokompozitlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu* (doktora tezi, basılmamış). BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Yao, Q., Chen, L., Zhang, W., Liufu, S., Chen, X. 2010. Enhanced thermoelectric performance of single-walled carbon nanotubes/polyaniline hybrid nanocomposites. *Acs Nano*, **4** (4): 2445-2451.
- Yao, Q., Chen, L., Zhang, W., Liufu, S., Chen, X. 2010. Enhanced thermoelectric performance of single-walled carbon nanotubes/polyaniline hybrid nanocomposites. *Acs Nano* **4**(4): 2445-2451.
- Yılmaz, R., 2014. Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, **4** (1): 136-150.
- Yılmazbayhan, A., 2006. *Maleik anhidritle graflanmış oligomerlerin ve i-pp/silikat nanokompozitlerin tepkimeli ekstrüzyon yöntemiyle sentezi ve karakterizasyonu* (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zor, M., 2018. Kompozit Malzeme Mekaniği-Ders Notları. <https://docplayer.biz.tr/108931465-3-kompozit-malzemelerin-imalat-teknolojileri-kompozit-malzeme-mekanigi-ders-notlari-prof-dr-mehmet-zor-1.html> Erişim tarihi: 15.03.2022.

## ÖZGEÇMİŞ

1995 Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nde lisans öğrenimini tamamladı. Yüksek lisans öğrenimini 2008 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı'nda tamamladı. Orta-üst düzey İngilizce bilmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.



T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 11/11./2022

Tez Başlığı / Konusu: Karbon Nanotüp Katkılı PMMA/PVC Nanokompozitinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 123sayfalık kısmına ilişkin, 04/11/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından İthenticate intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 (Yüzde Altı.) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabulettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Adı Soyadı: Afşar ÇELİK

Öğrenci No: 11911220080

Anabilim Dalı: Kimya/Fizikokimya

Programı: Doktora

Statüsü: Y.Lisans  Doktora

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR

Doç. Dr. Mustafa Hamdi KARAGÖZ

**ENSTİTÜ ONAYI**

UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)