



**FONKSİYONELLEŞMİŞ ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP-
POLİMER KOMPOZİTLERİNİN TERMAL VE ELEKTRİKSEL
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Serpil YILMAZ
Doktora Tezi
Kimya Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet COŞKUN

EYLÜL -2016

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

**FONKSİYONELLEŞMİŞ ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP-POLİMER
KOMPOZİTLERİNİN TERMAL VE ELEKTRİKSEL DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Serpil YILMAZ

01117201

Anabilim Dalı: Kimya

Programı: Fizikokimya

Danışman: Prof. Dr. Mehmet COŞKUN

EYLÜL-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FONKSİYONELLEŞMİŞ ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜP-POLİMER
KOMPOZİTLERİNİN TERMAL VE ELEKTRİKSEL DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Serpil YILMAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.09.2016
Tezin Savunulduğu Tarih : 14.10.2016

Tez danışmanı : Prof.Dr. Mehmet COŞKUN (Fırat.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Kadir Demirelli (Fırat.Ü.)

: Doç.Dr. Esin Kaya (Muş Alpaslan Ü.)

: Doç Dr. Gamze Barım (Adıyaman Ü.)

: Yrd. Doç Dr. Hilmi Erten (Fırat Ü.)

EYLÜL-2016

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde destek ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım her zaman yanımda olan ve kendisiyle çalışmaktan büyük gurur duyduğum hocam, sayın Prof. Dr. Mehmet COŞKUN'a sonsuz saygı ve minnettarlığımı sunarım.

Araştırmalarım süresince desteklerini gördüğüm değerli hocalarım Prof Dr. Kadir Demirelli'ye, Doç. Dr. Zülfiye İlder, arkadaşlarım Doç. Dr. Cumhur Kırılmış, Doç. Dr. Gamze Barım, Yrd. Doç. Dr. Gülben Torğut, Yrd. Doç. Dr. Fatih COŞKUN, Arş. Gör. M. Ersin PEKDEMİR, Arş. Gör. Dr. Demet COŞKUN'a, Arş. Gör. Fatih BİRYAN ve Öğr. Görevlisi Kenan KORAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum kimya bölümündeki tüm hocalarım ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince yanımda olan her konuda desteğini ve içten sevgisini gördüğüm eşim Mustafa YILMAZ'a, bensiz geçen çalışma saatlerimde az da olsa şikayet eden yaşama sebebim çocuklarım Sahra ve Kayra YILMAZ' a içten duygularıyla teşekkür ederim.

Herşeyden önce benim bu günlere gelmemde emekleri olan her zaman destek ve ilgilerini gördüğüm annem Mürşide SARMAN, babam Kasım SARMAN, kardeşlerim Seçil Sarman İŞÇİ ve Murat SARMAN'a şükranlarımı sunmaktan büyük mutluluk ve onur duyarım.

Doktora çalışmalarına FÜBAP FF-12-33 nolu proje ile mali destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ayrıca teşekkür ederim.

SERPİL YILMAZ

Elazığ-2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IX
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII
TABLOLAR LİSTESİ	XXIII
KISALTMALAR	XXVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Karbon Nanotüplerin Fonksiyonelleştirilmesi.....	3
1.2. Karbon Nanotüp/Polimer Kompozitler	6
1.2.1. Polimerler	7
1.2.2. Kompozit Malzemeler	7
1.3. Karbon Nanotüp/ Polimer Nanokompozitleri Hazırlama Metotları	8
1.3.1. Çözelti Karışımlarıyla Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması.....	8
1.3.2. Eriyik Karışımlarıyla Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması.....	8
1.3.3. Polimerizasyon Yerinde Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması.....	8
1.4. Dentritik Polimerler Kullanılarak Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması.....	9
1.5. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri.....	9
1.6. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Elektrik İletkenliği.....	9
1.7. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Termal Özellikleri	11
1.8. Polimerlerin Elektriksel Özellikleri	11
1.8.1. Dielektrik Sabiti	12
1.8.2. Kondüktans (G).....	13
1.8.3. Susseptans (B).....	13
1.9. Karbon Nanotüp Fonksiyonelleştirilmesi, Polimer / Nanokompozitini Oluşturma ve Onların Özellikleri İle İlgili Literatür Çalışmaları.....	13
2. MATERYAL VE METOT	20
2.1. Kullanılan Cihazlar	20
2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	20
2.3. MWNT-COOH Sentezi.....	21
2.4. MWNT-COCl' nin Sentezi.....	22
2.5. MWNT-OH'ın Sentezi.....	22

2.6.	MWNT-poli(ϵ -CL) Sentezi	23
2.7.	MWNT-poli(ϵ -CL) ve Brompropiyonil Bromür ile MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşılatıcının Hazırlanması	23
2.8.	MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşılatıcı ile Stirenin ATRP Yoluyla Polimerleştirilmesi	24
2.9.	MWNT-PCL-b-PSt Diblok Kopolimerinin ATRP Makrobaşılatıcısı Olarak Kullanılıp Glisidilmetakrilat ile Triblok Kopolimer Sentezi	24
2.10.	MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA Triblok Kopolimeri ile % 1, % 3, % 5, % 7 Oranında (ağırlıkça) MWNT-COOH İçeren Nanokompozitlerin Hazırlanması	25
2.11.	Bisfenol A Propaksilat Diglisidil Eter ve Piperazinden Kopolimer [Poli(BAPDE-ko-P)] Sentezi	25
2.12.	MWNT-COOH ve 3-amino propiltrimetoksi Silan (APTS) Kullanılarak MWNT-Si-NH ₂ 'nin Sentezlenmesi	26
2.13.	Poli(BAPDE-ko-P) Kopolimeri ile MWNT-COOH ve MWNT-Si-NH ₂ Karışım Oranı Toplamda %2, %5, %10, %15 ve %20 Olacak Şekilde Oluşturulan Nanokompozitlerin Hazırlanması	27
2.14.	Glisidil Metakrilat ve Stirenin Serbest Radikalik Yolla Kopolimerleştirilmesi	27
2.15.	Poli(GMA-ko-St) Polimerinin, MWNT-Si-NH ₂ Kullanılarak Halka Açma Reaksiyonu	28
2.16.	Poli(GMA-ko-St) Polimeri ve MWNT-Si-NH ₂ ile Nanokompozitlerinin Oluşturulması	29
2.17.	p-Toluidin ve p-Hidroksibenzaldehit Kullanılarak Schiff Bazı (THB) Sentezi	30
2.18.	Schiff Bazı ve Akrilolil Klorür ile Schiff Bazı Yan Gruplu Monomer (THB-A) Sentezi	31
2.19.	Schiff Bazlı Polimerinin [poli(THB-A)] Sentezi	31
2.20.	Poli(THB-A) Polimerden, [poli(THB-A)-Ni] Nikel Kompleksinin Sentezi	32
2.21.	Poli(THB-A) Polimeri, Poli(THB-A)-Ni Kompleksi ve MWNT-Si-NH ₂ ile Poli(THB-A)/Poli(THB-A)-Ni/MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Oluşturulması	33
2.22.	Schiff Bazı, Schiff Bazı Monomeri, Schiff Bazı Polimeri ve Schiff Bazı Nikel Kompleksi Atıklarının Eldesi	33
3.	BULGULAR.....	34
3.1.	Çıkış Maddesi Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWNT) Karakterizasyonu	34
3.2.	MWNT-COOH Bileşiğinin Karakterizasyonu	35
3.3.	MWNT-COCl Bileşiğinin Karakterizasyonu	35
3.4.	MWNT-OH Bileşiğinin Karakterizasyonu	36

3.5.	MWNT-poli(ϵ -CL) Karakterizasyonu	37
3.6.	MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşlatıcısının Karakterizasyonu	39
3.7.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt Diblok Kopolimerin Karakterizasyonu	40
3.8.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Triblok Kopolimerin Karakterizasyonu	42
3.9.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT-COOH Nanokompozitlerinin Karakterizasyonu	45
3.10.	Bisfenol A Propaksilat Diglisidil Eter ve Piperazinden Oluşan Kopolimerin Karakterizasyonu	45
3.11.	MWNT-Si-NH ₂ Karakterizasyonu	49
3.12.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) Kopolimeri ve Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Karışımıyla (MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂) Oluşturulan Nanokompozitlerin Karakterizasyonu	50
3.13.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimerinin Karakterizasyonu	51
3.14.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Kopolimeinin Karakterizasyonu	53
3.15.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve MWNT-Si-NH ₂ ile Oluşturulan Nanokompozitlerin Karakterizasyonu	56
3.16.	Schiff Bazının (THB) Karakterizasyonu	58
3.17.	Schiff Bazı Monomerinin (THB-A) Karakterizasyonu	59
3.18.	Schiff Bazı Polimerinin [poli(THB-A)] Karakterizasyonu	61
3.19.	Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] Karakterizasyonu	63
3.20.	Poli(THB-A)/Poli(THB-A)-Ni/MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerin Karakterizasyonu	64
3.21.	THB Atığının Karakterizasyonu	65
3.22.	THB-A Atığının Karakterizasyonu	66
3.23.	Poli(THB-A) Atığının Karakterizasyonu	67
3.24.	Poli(THB-A)-Nikel Atığının Karakterizasyonu	68
3.25.	MWNT Ucundaki Karboksil Grubu Miktarının Titrasyonla Tayini	69
3.26.	Yapıların Morfolojilerinin İncelenmesi	69
3.26.1.	MWNT'nin Morfoloji İncelenmesi	69
3.26.2.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt Diblok Kopolimerin Morfolojisinin İncelenmesi	71
3.26.3.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Triblok Kopolimerin Morfolojisinin İncelenmesi	72
3.26.4.	MWNT- PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/(% 5 'lik MWNT- COOH Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	73
3.26.5.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) Kopolimeri Morfolojisinin İncelenmesi	74
3.26.6.	MWNT-Si-NH ₂ 'nin Morfolojisinin İncelenmesi	75

3.26.7.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) Kopolimeri/% 20'lik (MWNTCOOH+MWNT-Si-NH ₂) Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi.....	76
3.26.8.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) Polimerinin Morfolojisinin İncelenmesi	77
3.26.9.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) Polimerinin Morfolojisinin İncelenmesi	78
3.26.10.	Poli(% 6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi	79
3.26.11.	Poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi	80
3.26.12.	Poli(% 21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi	81
3.26.13.	Poli(% 28 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi	82
3.26.14.	Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> - St) /% 5 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	83
3.26.15.	Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) /% 12 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	84
3.26.16.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) /% 5 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	85
3.26.17.	Poli (% 21 GMA- <i>ko</i> -St) /% 12 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	86
3.26.18.	Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) /% 5 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	87
3.26.19.	Poli(%28 GMA- <i>ko</i> -St) /% 12 MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	88
3.26.20.	Poli(THB-A) Schiff Bazı Polimeri Morfolojisinin İncelenmesi.....	89
3.26.21.	Poli(THB-A)Polimeri / poli(THB-A)-Ni Kompleksi / % 2'lik MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	90
3.26.22.	Poli(THB-A) polimeri / Poli(THB-A)-Ni Kompleksi /% 8 'lik MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi	91
3.27.	Polimerlerin GPC Ölçümleri	92
3.27.1.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St)'nin GPC Ölçümleri.....	92
3.27.2.	Poli(THB-A) Schiff Bazı Polimerinin GPC Ölçümü	94
3.28.	Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri.....	95
3.28.1.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Diblok ve Triblok Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri	95
3.28.2.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT-COOH Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri.....	96
3.28.3.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri	99
3.28.4.	Farklı Yüzdelerde Hazırlanmış Olan Poli(GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri.....	101

3.28.5.	Halkası APTS ile Açılmış [Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)] Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri	103
3.28.6.	Poli(% 6, 5 GMA- <i>ko</i> -St) Polimeri ve Poli(% 6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması	105
3.28.7.	Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması.....	107
3.28.8.	Poli (% 21 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli (%21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması.....	109
3.28.9.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması.....	111
3.28.10.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri.....	113
3.28.11.	Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri.....	115
3.28.12.	Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri.....	117
3.28.13.	Schiff Bazı Polimeri [poli(THB-A)], Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] ve poli(THB-A)/poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri	119
3.29.	Polimerlerin İletkenlik Ölçümleri.....	121
3.29.1.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt ve MWNT-PCI- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Diblok ve Triblok Kopolimerlerin İletkenlik Ölçümleri	121
3.29.2.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt-PGMA / MWNT-COOH Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri	123
3.29.3.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri	125
3.29.4.	Farklı Yüzdelerdeki Poli(GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimerlerin İletkenlik Ölçümleri.....	128
3.29.5.	Halkası Açılmış Kopolimerlerin [Poli (GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)] İletkenlik Ölçümleri.....	131
3.29.6.	Poli(% 6, 5 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli (% 6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması	134
3.29.7.	Poli(% 13 PGMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması	137
3.29.8.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(%21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması	140
3.29.9.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması	143

3.29.10.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri.....	146
3.29.11.	Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri.....	149
3.29.12.	Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri.....	152
3.29.13.	Schiff Bazı Polimeri [poli(THB-A)], Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] ve poli(THB-A)/poli(THB-A)-Ni/MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri	155
3.30.	Termal Analiz Ölçümleri.....	158
3.30.1.	MWNT-COOH'ın TGA Ölçümü.....	158
3.30.2.	MWNT-poli(ϵ -CL)'nin TGA ve DSC Ölçümleri.....	159
3.30.3.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt Diblok Kopolimerinin TGA ve DSC Ölçümleri	160
3.30.4.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA Triblok Kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri	162
3.30.5.	MWNT-Si-NH ₂ 'nin TGA ve DSC Ölçümleri.....	163
3.30.6.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) Kopolimer ve Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri.....	165
3.30.7.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) Polimerlerin TGA ve DSC Ölçümleri.....	166
3.30.8.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerlerin TGA ve DSC Ölçümleri.....	168
3.30.9.	Poli(% 6,5 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(%6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerlerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması	170
3.30.10.	Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması	170
3.30.11.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St)) Kopolimeri ve Poli(% 21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması	172
3.30.12.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St)) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması	173
3.30.13.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St)) /MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri	175
3.30.14.	Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri	177
3.30.15.	Poli(%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri	178
3.30.16.	Schiff Bazı (THB), Schiff Bazı Monomeri (THB-A) ve Schiff Bazı Polimerinin Poli(THB-A) TGA ve DSC Ölçümleri	180

3.30.17.	Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi ve Schiff Bazı Polimeri / Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi / MWNT-Si-NH ₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri	181
3.31.	Poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si NH ₂ Nanokompozitlerinin Manyetizasyon ve Manyetik Süssebtibilite Ölçümleri	183
4.	TARTIŞMA.....	184
	KAYNAKLAR.....	203
	ÖZGEÇMİŞ	218



ÖZET

Bu çalışmada çok duvarlı karbon nanotüpe (MWNT) “grafting from” yöntemiyle polimer aşılması yapıldı. Bunun için çok duvarlı karbon nanotüp $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ yükseltgen asitlerle reaksiyona sokuldu ve MWNT üzerinde $-\text{COOH}$ grubu oluşturuldu. Sonrasında MWNT-COOH, SOCl_2 ile açılklorür türevine dönüştürülüp etilen glikolle muamele edildi. Oluşan MWNT-OH, $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ katalizörlüğünde ϵ -kaprolakton halkası ile reaksiyona sokularak halka açılması polimerizasyonu yapıldı ve devamında sodyum karbonat katalizörlüğünde α -brompropionil bromür ile uç açılması yapılarak atom transfer radikal polimerizasyon başlatıcı merkez oluşturuldu. Elde edilen yapı ATRP’de makrobaşlatıcı olarak kullanılıp $\text{CuBr}/2,2'$ -bipridin katalizörlüğünde önce stiren, daha sonra glisidil metakrilat ile polimerleştirilerek MWCNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimeri sentezlendi. Triblok kopolimer ile % 1, % 3, % 5 ve % 7 oranında MWNT-COOH içerecek şekilde nanokompozitler hazırlandı.

Çalışmanın diğer bölümünde glisidil metakrilat ve stirenin farklı oranlardaki kopolimerleri, azobisisobütironitril (AIBN) katalizörlüğünde serbest radikalik yolla hazırlandı. MWNT-COOH, 3-amino propil trimetoksi silan ile reaksiyona sokulup asit uçlu nanotüp amin uçluya dönüştürüldü (MWNT-Si-NH₂). Amin uçlu nanotüp poli(glisidil metakrilat -ko-stiren) ile modifiye edildi. Farklı bileşimlerdeki kopolimerler ile oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 olacak şekilde MWNT-Si-NH₂ kullanılarak nanokompozitler hazırlandı.

Bisfenol A propoksilat diglisidil eter ve piperazinden oluşan kopolimer sentezlendi. Sentezlenen kopolimerle MWNT-COOH ve MWNT-Si-NH₂ karışımı ağırlıkça toplamda % 2, % 5, %10, %,15 ve % 20 olacak şekilde nanokompozitler hazırlandı.

Araştırmanın diğer kısmında p-toliidin ve benzaldehitden, Schiff bazı sentezlendi. Sonrasında akriloyl klorür ile trietilamin yanında monomer sentezlendi ve monomer serbest radikalik yolla polimerleştirildi. $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak metal kompleksine dönüştürüldü. Elde edilen bu polimerik kompleks ile % 2, % 8 ve % 15 oranında (ağırlıkça) MWNT-Si-NH₂ içeren nanokompozitler hazırlandı.

Sentezlenmiş olan bütün yapılar FT-IR ile çözünen yapılar ayrıca ¹H-NMR ve ¹³C-NMR ile karakterize edildi. Polimerlerin ve nanokompozitlerin termal davranışları DSC ve TGA ile ölçüldü ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldı. Ortalama molekül ağırlıkları ve polidispersite değerleri ise GPC ile ölçüldü.

Ayrıca elde edilen polimer ve nanokompozitlerin morfolojisini incelemek için SEM görüntüleri kullanıldı. Schiff bazlı polimer-nikel kompleksinin SEM-EDX analizi ile

oluşan kompleksteki nikel metalinin oranı belirlendi. Schiff bazlı polimer-nikel kompleksinin ve nanokompozitinin magnetik süsseptibilitesi ve magnetyzaston ölçümleri alındı.

Polimerlerin ve nanokompozitlerin elektriksel özellikleri frekansa ve sıcaklığa bağlı olarak araştırıldı. Dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü, iletkenlik, susseptans değerleri grafikleştirilerek birbirleriyle karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: MWNT, “Grafting from”, ATRP, nanokompozit, dielektrik özellikler, iletkenlik, SEM, termal analiz



SUMMARY

Investigation of Thermal and Electrical Behaviors of Functionalized Multi Walled Carbon Nanotubes-Polymer Composites

In this study, polymer grafting to multiwalled carbon nanotube (MWNT) was achieved by grafting from method. For this aim, the multiwalled carbon nanotube was reacted by oxidizing acids such as $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$, and $-\text{COOH}$ group was introduced to MWCNT. Then, the MWNT-COOH converted to an acylchloride derivative with SOCl_2 was reacted by ethylene glycol. The ring open polymerization (ROP) was achieved by using ϵ -caprolacton in presence of $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ as catalyst and the MWNT-COOH prepared in this study, and later it was created a core for initiator of atom transfer radical polymerization by making end acylation with α -bromopropyonyl bromide in presence of sodium carbonate as catalyst. The MWCNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblock copolymer was produced as result of polymerization of first styrene and later glycidyl methacrylate via product prepared using $\text{CuBr}/2,2'$ -bipyridyne as catalyst and a macroinitiator for ATRP. The nanocompozits were prepared from triblock copolymers with content % 1, % 3, % 5 and % 7 MWNT-COOH.

In the other part of this study, theirs copolymers in the different ratios of glycidyl methacrylate and styrene were prepared by free radical polymerization method using azobisisobutyronitrile (AIBN) as initiator. The MWNT-COOH was converted form a acid ended nanotup to an amine ended strucuture ((MWCNT-Si-NH₂)). The amine ended nanotup was modified by poly(glycidyl methacrylate -co-styrene). The nanocompozits were prepared from copolymers with different compositions by using ratios of % 3, % 5, % 8 and % 12 MWNT-Si-NH₂.

A copolymer containing bisphenol-A propoxilat diglycidyl ether and piperazine was synthesized. Nanocompozits were prepared from synthesized copolymers with a mixture of MWNT-COOH and MWNT-Si-NH₂ containing totally % 2, % 5, % 10, %,15 and % 20 by weight.

In the other part of this investigation, a Schiff-base was produced from reaction of p-toluidyne and benzaldehyde. Furthermore, monomer was synthesized from its reaction with acryloyl chloride in the presence of triethylamine, and monomer was polymerized by free radical polymerization method. It was converted to its metal complex by using

$\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Nanocomposites containing the MWNT-Si-NH₂ in ratios of % 2, % 8 and % 15 (by weight) using prepared polymeric complex were produced.

All the structures synthesized were characterized by FT-IR, and also soluble substances were characterized by ¹H-NMR and ¹³C-NMR techniques. Thermal behaviors of polymers and nanocomposites were measured by DSC and TGA, the results revealing were compared with each others. The values of average molecular weights and polydispersity were measured by GPC.

The SEM images were used to investigation morphologies of polymer and nanocomposites. Ratio of nickel metal in the complex produced was estimated by analysis of SEM-EDX of polymer-nickel complex with schiff bases. Magnetization measurements and magnetic susceptibilities of polymer-nickel complex with schiff bases were recorded.

The electrical properties of polymer and nanocomposites were investigated depending on frequency and temperature. The values of dielectric constant, dielectric loss factor, conductivity and susceptance were plotted, and the results were compared to each others

Keywords: MWNT, “Grafting from”, ATRP, nanocomposite, dielectric properties, conductivity, SEM, thermal analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Karbonun bazı allotropları: (a) Elmas, (b) Grafit, (c) Lonsdaleite, (d)Karbon nanotop (C60) ve (e) Karbon nanotüp.....	1
Şekil 1.2.	Tek katmanlı karbon nanotüplerin katlanış şekillerine göre çeşitleri(a) Zigzag, (b) Armchair ve (c) Kiral	2
Şekil 1.3.	Tek ve çok katmanlı nanotüplerin şekilleri	3
Şekil 1.4.	SWNT için tipik hatalı kısımlar ve fonksiyonelleştirme (A) beş ya da yedi halkalı karbon yapısından dolayı kıvrılma, (B) sp hataları (R= H, OH), (C) oksidasyon sırasında yüzeydeki hatalı kısımlarda oluşan karboksilik asit grupları, (D) oksidasyon sırasında uç kısım açılması ve karboksilik asit gruplarının oluşturulması [48].....	4
Şekil 2.1.	MWNT-COOH sentez reaksiyonu	21
Şekil 2.2.	MWNT-COCl sentez reaksiyonu	22
Şekil 2.3.	MWNT-OH'ın sentez reaksiyonu	22
Şekil 2.4.	MWNT-poli(ϵ -CL)sentez reaksiyonu.....	23
Şekil 2.5.	MWNT- poli(ϵ -CL) –Br makrobaşlatıcı sentez reaksiyonu	23
Şekil 2.6.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt diblok kopolimerinin sentez reaksiyonu.....	24
Şekil 2.7.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimerinin sentez reaksiyonu.....	25
Şekil 2.8.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) kopolimer sentezi.....	26
Şekil 2.9.	MWNT-Si-NH ₂ sentez reaksiyonu	26
Şekil 2.10.	GMA ve stirenin serbest radikalik yolla kopolimerleşme reaksiyonu	28
Şekil 2.11.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) sentezi	29
Şekil 2.12.	THB sentez reaksiyonu.....	30
Şekil 2.13.	THB-A monomerin sentez reaksiyonu	31
Şekil 2.14.	Poli(THB-A) sentez reaksiyonu	32
Şekil 2.15.	Poli(THB-A)-Ni sentez reaksiyonu.....	32
Şekil 3.1.	MWNT'nin FT-IR spektrumu.....	34
Şekil 3.2.	MWNT-COOH'ın FT-IR spektrumu	35
Şekil 3.3.	MWNT-COCl'nin FT-IR spektrumu	36
Şekil 3.4.	MWNT-OH'ın FT-IR spektrumu.....	37
Şekil 3.5.	MWNT-poli(ϵ -CL)bileşiğinin FT-IR spektrumu	38
Şekil 3.6.	MWNT-poli(ϵ -CL) bileşiğinin ¹ H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl ₃).....	38
Şekil 3.7.	MWNT-poli(ϵ -CL)–Br makrobaşlatıcı FT-IR spektrumu	39
Şekil 3.8.	MWNT-poli(ϵ -CL)-Br makrobaşlatıcı ¹ H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl ₃)	40

Şekil 3.9.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrumu	41
Şekil 3.10.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt diblok kopolimerin ¹ H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl ₃)	42
Şekil 3.11.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimerin FT-IR spektrumu	43
Şekil 3.12.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimerin ¹ H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl ₃)	44
Şekil 3.13.	MWNT- PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT- COOH nanokompozitlerinin FT-IR spektrumu	45
Şekil 3.14.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) FT-IR spektrumu	46
Şekil 3.15.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) kopolimeri a) ¹ H-NMR b) ¹³ C-NMR spektrumları (Çözücü:CDCl ₃)	47
Şekil 3.16.	MWNT-Si-NH ₂ FT-IR spektrumu.....	49
Şekil 3.17.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / [MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit karışımının FT-IR spektrumu.....	50
Şekil 3.18.	poli(GMA- <i>ko</i> -St)'nin FT-IR spektrumu	51
Şekil 3.19.	a)%6,5 GMA, b) %13 GMA, c)%21 GMA, d)%28 GMA içeren poli(GMA- <i>ko</i> -St)'nin ¹ H-NMR spektrumları (Çözücü:CDCl ₃).....	53
Şekil 3.20.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)'nin karşılaştırılmış FT-IR spektrumları	54
Şekil 3.21.	a) % 6,5 GMA b) % 13 GMA c) % 21 GMA, d) % 28 GMA içeren poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> - St) ¹ H-NMR spektrumları (Çözücü:CDCl ₃).....	55
Şekil 3.22.	Poli(% 13GMA- <i>ko</i> -St) ve nanokompozitlerinin karşılaştırılmış FT-IR spektrumu.....	56
Şekil 3.23.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> - St) ve nanokompozitlerinin karşılaştırılmış FT-IR spektrumu.....	57
Şekil 3.24.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) ve nanokompozitlerinin karşılaştırılmış FT-IR spektrumu.....	57
Şekil 3.25.	THB'nin FT-IR spektrumu	58
Şekil 3.26.	THB'nin ¹ H-NMR spektrumu (Çözücü:DMSO).....	59
Şekil 3.27.	THB-A'nın FT-IR spektrumu	60
Şekil 3.28.	THB-A'nın ¹ H-NMR spektrumu(Çözücü:CDCl ₃)	60
Şekil 3.29.	Poli(THB-A)'nın FT-IR spektrumu	61
Şekil 3.30.	Poli(THB-A)'nın ¹ H-NMR spektrumu(Çözücü:CDCl ₃)	62
Şekil 3.31.	Poli(THB-A)-Ni kompleksinin FT-IR spektrumu.....	63
Şekil 3.32.	Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerin FT-IR spektrumu	64
Şekil 3.33.	THB ve THB atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu	65
Şekil 3.34.	THB-A ve THB-A atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu	66
Şekil 3.35.	Poli(THB-A) ve Poli(THB-A) atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu.....	67

Şekil 3.36.	Poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A)-Ni atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu.....	68
Şekil 3.37.	Saf MWNT'nin SEM görüntüleri a) x 30 000, b) x 100 000.....	70
Şekil 3.38.	MWNT-PCL-b-PSt SEM görüntüleri a) x 20 000, b) x 30 000	71
Şekil 3.39.	MWNT- PCL-b-PS-b-PGMA a) x 50 000, b) x 100 000 deki SEM görüntüleri.....	72
Şekil 3.40.	MWNT- PCL-b-PSt-b-PGMA/% 5 'lik MWNT- COOH nanokompozit a) x 5000, b) x 25 000 deki SEM görüntüleri	73
Şekil 3.41.	Poli(BAPDE-ko-P) kopolimerinin a) x 85, b) x 2000 deki SEM görüntüleri.....	74
Şekil 3.42.	MWNT-Si-NH ₂ a) x 30 000, b) x 70 000 deki SEM görüntüleri.....	75
Şekil 3.43.	Poli(BAPDE-ko-P)/%20'lik(MWNTCOOH+MWNT-Si-NH ₂) nanokompozitinin a) x 50 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri	76
Şekil 3.44.	Poli(% 21 GMA-ko-St) kopolimerinin a) x 5000, b) x 10 000 deki SEM görüntüleri.....	77
Şekil 3.45.	Poli(% 28 GMA-ko-St) kopolimerinin a) x 5000, b) x 10 000 deki SEM görüntüleri.....	78
Şekil 3.46.	Poli(% 6,5 GMA-MWNT-ko-St) yapısı a) x 30 000, b) x 50 000 deki SEM görüntüleri.....	79
Şekil 3.47.	Poli(% 13 GMA-MWNT-ko-St) yapısı a) x 50 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri.....	80
Şekil 3.48.	Poli(% 21 GMA-MWNT-ko-St) yapısı a) x 100 000, b) x 180 000 deki SEM görüntüleri.....	81
Şekil 3.49.	Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St) yapısı a) x 60 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri.....	82
Şekil 3.50.	Poli(% 13 GMA-ko-St) / % 5 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) x 50 000 deki SEM görüntüleri.....	83
Şekil 3.51.	Poli(% 13 GMA-ko-St) / % 12 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) x 65 000 deki SEM görüntüleri	84
Şekil 3.52.	Poli(% 21 GMA-ko-St) /% 5 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri.....	85
Şekil 3.53.	Poli(% 21 GMA-ko-St) /% 12 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin x 30 000, b) x 90 000 deki SEM görüntüleri.....	86
Şekil 3.54.	Poli(%28 GMA-ko-St) /% 5 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 30000, b)Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri.....	87
Şekil 3.55.	Poli(%28 GMA-ko-St) /% 12 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin x 7000, b) x 30 000 deki SEM görüntüleri.....	88
Şekil 3.56.	Poli(THB-A) polimerinin x 50 000 deki SEM görüntüsü	89

Şekil 3.57.	Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 2 MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri.....	90
Şekil 3.58.	Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 8 'lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitinin a) x 10 000, b) x 100 000 deki SEM görüntüleri.....	91
Şekil 3.59.	Poli(% 6,5 GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerinin GPC eğrisi	92
Şekil 3.60.	Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerinin GPC eğrisi	93
Şekil 3.61.	Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerinin GPC eğrisi	93
Şekil 3.62.	Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerinin GPC eğrisi	94
Şekil 3.63.	Poli(THB-A) polimerinin GPC eğrisi	94
Şekil 3.64.	Polimerlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	95
Şekil 3.65.	Polimerlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	96
Şekil 3.66.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	96
Şekil 3.67.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimer/MWNT-COOH kompozitinde dielektrik sabitinin modifiye nanotüp yüzdesiyle değişimi	97
Şekil 3.68.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	97
Şekil 3.69.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	98
Şekil 3.70.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği.....	98
Şekil 3.71.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	99
Şekil 3.72.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin modifiye nanotüp yüzdesiyle değişimi	99
Şekil 3.73.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	100
Şekil 3.74.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	100
Şekil 3.75.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	101
Şekil 3.76.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	101

Şekil 3.77.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	102
Şekil 3.78.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	102
Şekil 3.79.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	103
Şekil 3.80.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	103
Şekil 3.81.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	104
Şekil 3.82.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	104
Şekil 3.83.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği.....	105
Şekil 3.84.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	105
Şekil 3.85.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	106
Şekil 3.86.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	106
Şekil 3.87.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	107
Şekil 3.88.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	107
Şekil 3.89.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	108
Şekil 3.90.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	108
Şekil 3.91.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	109
Şekil 3.92.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	109
Şekil 3.93.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	110
Şekil 3.94.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	110
Şekil 3.95.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	111
Şekil 3.96.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	111
Şekil 3.97.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	112
Şekil 3.98.	Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	112
Şekil 3.99.	Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	113
Şekil 3.100.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	113
Şekil 3.101.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	114
Şekil 3.102.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	114
Şekil 3.103.	Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	115

Şekil 3.104. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	115
Şekil 3.105. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği.....	116
Şekil 3.106. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	116
Şekil 3.107. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	117
Şekil 3.108. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	117
Şekil 3.109. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	118
Şekil 3.110. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	118
Şekil 3.111. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği.....	119
Şekil 3.112. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği	119
Şekil 3.113. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği	120
Şekil 3.114. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	120
Şekil 3.115. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği	121
Şekil 3.116. Polimerlerinin log σ - log F grafiği	121
Şekil 3.117. Polimerlerinin log σ - Frekans grafiği	122
Şekil 3.118. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	122
Şekil 3.119. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği	123
Şekil 3.120. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği.....	123
Şekil 3.121. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	124

Şekil 3.122. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	124
Şekil 3.123. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA kopolimer ve MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - T grafiği.....	125
Şekil 3.124. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	125
Şekil 3.125. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	126
Şekil 3.126. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	126
Şekil 3.127. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	127
Şekil 3.128. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - T grafiği	127
Şekil 3.129. Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi	128
Şekil 3.130. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği.....	128
Şekil 3.131. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	129
Şekil 3.132. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	129
Şekil 3.133. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği	130
Şekil 3.134. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği	130
Şekil 3.135. Poli(GMA- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	131
Şekil 3.136. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	131
Şekil 3.137. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği.....	132
Şekil 3.138. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	132
Şekil 3.139. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	133
Şekil 3.140. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği.....	133
Şekil 3.141. Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	134
Şekil 3.142. Polimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	134
Şekil 3.143. Polimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	135
Şekil 3.144. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	135
Şekil 3.145. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	136
Şekil 3.146. Polimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği.....	136
Şekil 3.147. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	137

Şekil 3.148. Polimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	137
Şekil 3.149. Polimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	138
Şekil 3.150. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	138
Şekil 3.151. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	139
Şekil 3.152. Polimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği.....	139
Şekil 3.153. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	140
Şekil 3.154. Polimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	140
Şekil 3.155. Polimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	141
Şekil 3.156. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	141
Şekil 3.157. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	142
Şekil 3.158. Polimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği.....	142
Şekil 3.159. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	143
Şekil 3.160. Polimerlerin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği	143
Şekil 3.161. Polimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	144
Şekil 3.162. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	144
Şekil 3.163. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	145
Şekil 3.164. Polimerlerin $\log \sigma$ - T grafiği.....	145
Şekil 3.165. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	146
Şekil 3.166. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği.....	146
Şekil 3.167. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	147
Şekil 3.168. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	147
Şekil 3.169. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	148
Şekil 3.170. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - T grafiği.....	148
Şekil 3.171. Poli(%13 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi	149
Şekil 3.172. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - $\log F$ grafiği.....	149
Şekil 3.173. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - Frekans grafiği	150
Şekil 3.174. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	150
Şekil 3.175. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği.....	151

Şekil 3.176. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ -T grafiği.....	151
Şekil 3.177. Poli(%21 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi	152
Şekil 3.178. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ -log F grafiği.....	152
Şekil 3.179. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ -Frekans grafiği	153
Şekil 3.180. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	153
Şekil 3.181. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin ln σ - 1/T grafiği.....	154
Şekil 3.182. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ -T grafiği.....	154
Şekil 3.183. Poli (%28 GMA- <i>ko</i> -St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi	155
Şekil 3.184. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği.....	155
Şekil 3.185. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği.....	156
Şekil 3.186. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi.....	156
Şekil 3.187. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin ln σ - 1/T grafiği.....	157
Şekil 3.188. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin log σ -T grafiği.....	157
Şekil 3.189. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	158
Şekil 3.190. MWNT-COOH'ın TGA eğrisi.....	159
Şekil 3.191. MWNT-poli(ϵ -CL) polimerinin TGA eğrisi.....	160
Şekil 3.192. MWNT-poli(ϵ -CL) polimerinin DSC eğrisi	160
Şekil 3.193. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt'nin TGA eğrisi.....	161
Şekil 3.194. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt'nin DSC eğrisi	161
Şekil 3.195. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin TGA eğrileri.....	163
Şekil 3.196. MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin DSC eğrileri	163

Şekil 3.197. MWNT-Si-NH ₂ 'nin TGA eğrisi.....	164
Şekil 3.198. MWNT-Si-NH ₂ 'nin DSC eğrisi.....	164
Şekil 3.199. Polimer ve polimer / nanokompozitlerin TGA eğrileri.....	166
Şekil 3.200. Polimer ve polimer / nanokompozitlerin DSC eğrileri.....	166
Şekil 3.201. Polimerlerin TGA eğrileri.....	167
Şekil 3.202. Polimerlerin DSC eğrileri.....	168
Şekil 3.203. Halkası açılmış polimerlerin TGA eğrileri.....	169
Şekil 3.204. Halkası açılmış polimerlerin DSC eğrileri.....	169
Şekil 3.205. Polimerlerin DSC eğrileri.....	170
Şekil 3.206. Polimerlerin TGA eğrileri.....	171
Şekil 3.207. Polimerlerin DSC eğrileri.....	171
Şekil 3.208. Polimerlerin TGA eğrileri.....	172
Şekil 3.209. Polimerlerin DSC eğrileri.....	173
Şekil 3.210. Polimerlerin TGA eğrileri.....	174
Şekil 3.211. Polimerlerin DSC eğrileri.....	174
Şekil 3.212. Poli(%13 GMA-ko-St)/ MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit TGA eğrileri.....	176
Şekil 3.213. Poli(%13 GMA-ko-St)/ MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC eğrileri.....	176
Şekil 3.214. Poli(% 21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit TGA eğrileri.....	177
Şekil 3.215. Poli(% 21 GMA-ko-St / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC eğrileri.....	178
Şekil 3.216. Poli(% 28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit TGA eğrileri.....	179
Şekil 3.217. Poli(% 28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC eğrileri.....	179
Şekil 3.218. Schiff Bazı/ Schiff Bazı monomeri ve Schiff Bazı polimerinin TGA eğrileri.....	180
Şekil 3.219. Schiff Bazı, schiff bazı monomeri ve schiff bazı polimerinin DSC eğrileri.....	181
Şekil 3.220. Poli(THB-A) polimeri, poli(THB-A)-Ni kompleksi ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin TGA eğrileri.....	182
Şekil 3.221. Poli(THB-A) polimeri, poli(THB-A)-Ni kompleksi ve Poli(THB-A)/ Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerinin DSC eğrileri.....	182
Şekil 3.222. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /% 2 'lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit manyetizasyon grafiği.....	183
Şekil 3.223. Poli(THB-A)-Ni'nin SEM-EDX görüntüsü ve elementel analiz sonucu.....	183
Şekil 3.224. a) poli(GMA-ko-St) ve b) poli(GMA-MWNT-ko-St) olmak üzere dielektrik sabitinin kopolimerdeki GMA yüzdesine bağlılığı.....	196

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Karbon nanotüplerin tipik özellikleri	3
Tablo 1.2.	Karbon nanotüp/polimer kompozitlerin elektrik iletkenliği.	11
Tablo 2.1.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P)/[MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂]nanokompozit oluşturma şartları.....	27
Tablo 2.2.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) serbest radikalik yolla polimerleştirme şartları.....	28
Tablo 2.3.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) polimerinin MWNT-Si-NH ₂ ile nanokompozit oluşturma şartları.....	30
Tablo 2.4.	Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve MWNT-Si-NH ₂ ile nanokompozit oluşturma şartları.....	33
Tablo 3.1.	MWNT'nin FT-IR spektrum değerlendirmesi	34
Tablo 3.2.	MWNT-COOH'ın FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	35
Tablo 3.3.	MWNT-COCl'nin FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	36
Tablo 3.4.	MWNT-OH'ın FT-IR spektrum değerlendirmesi	37
Tablo 3.5.	MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin FT-IR spektrum değerlendirmesi	38
Tablo 3.6.	MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin ¹ H-NMR spektrum değerlendirmesi.....	39
Tablo 3.7.	MWNT-poli(ε-CL)-Br makrobaşılatıcı FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	40
Tablo 3.8.	MWNT-poli(ε-CL) -Br makrobaşılatıcı ¹ H-NMR spektrumu değerlendirmesi	40
Tablo 3.9.	MWNT-PCL-PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	41
Tablo 3.10.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt diblok kopolimerin ¹ H-NMR spektrumu değerlendirmesi	42
Tablo 3.11.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimerin FT-IR spektrum değerlendirmesi	43
Tablo 3.12.	MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA triblok kopolimerin ¹ H-NMR spektrum değerlendirmesi	44
Tablo 3.13.	MWNT- PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA/MWNT- COOH nanokompozitlerinin FT-IR spektrum değerlendirmesi	45
Tablo 3.14.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	46
Tablo 3.15.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) kopolimeri ¹ H-NMR ve ¹³ C-NMR spektrum değerlendirmeleri.....	48
Tablo 3.16.	MWNT-Si-NH ₂ FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	49
Tablo 3.17.	Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) kopolimer / [MWNT-COOH+MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit karışımının FT-IR spektrum değerlendirmesi.....	50
Tablo 3.18.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) FT-IR spektrumları değerlendirmesi	51
Tablo 3.19.	Poli(GMA- <i>ko</i> -St) ¹ H-NMR spektrumları değerlendirmesi.....	53
Tablo 3.20.	Poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)' nin FT-IR spektrumları değerlendirmesi	54
Tablo 3.21.	Poli(GMA- MWNT- <i>ko</i> -St)'nin ¹ H-NMR spektrumları değerlendirmesi.....	56

Tablo 3.22. Poli(GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit FT-IR spektrum değerlendirmesi	58
Tablo 3.23. THB'nin FT-IR spektrum değerlendirmesi	58
Tablo 3.24. THB'nin ¹ H -NMR spektrum değerlendirmesi	59
Tablo 3.25. THB-A'nın FT-IR spektrum değerlendirmesi	60
Tablo 3.26. THB-A'nın ¹ H-NMR spektrum değerlendirmesi	61
Tablo 3.27. Poli(THB-A) FT-IR spektrum değerlendirmesi	62
Tablo 3.28. Poli(THB-A) ¹ H-NMR spektrum değerlendirmesi	62
Tablo 3.29. Poli(THB-A)-Ni kompleksi FT-IR spektrum değerlendirmesi	63
Tablo 3.30. Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozitlerin FT-IR spektrum değerlendirmesi	64
Tablo 3.31. THB atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi	65
Tablo 3.32. THB-A atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi	66
Tablo 3.33. Poli(THB-A) polimer atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi	67
Tablo 3.34. Poli(THB-A)-Ni atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi	68
Tablo 3.35. Poli(GMA-ko-St)'nin GPC ölçüm sonuçları	92
Tablo 3.36. Poli(THB-A) polimerinin GPC ölçüm sonucu	94
Tablo 3.37. MWNT-COOH'ın TGA verileri	158
Tablo 3.38. MWNT-poli(ε-CL)'nin DSC ve TGA verileri	159
Tablo 3.39. MWNT-PCL-b-PSt kopolimerinin DSC ve TGA verileri	161
Tablo 3.40. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin DSC ve TGA verileri	162
Tablo 3.41. MWNT-Si-NH ₂ 'nin DSC ve TGA verileri	164
Tablo 3.42. Poli(BAPDE-ko-P) kopolimer ve poli(BAPDE-ko-P) / [MWNT-COOH- MWNT-Si-NH ₂] nanokompozitleri DSC ve TGA verileri	165
Tablo 3.43. Poli(GMA-ko-St) kopolimerlerin DSC ve TGA verileri	167
Tablo 3.44. Poli(GMA-MWNT-ko-St) kopolimerlerin DSC ve TGA verileri	168
Tablo 3.45. Polimerlerin DSC ve TGA verileri	170
Tablo 3.46. Polimerlerin DSC ve TGA verileri	171
Tablo 3.47. Polimerlerin DSC ve TGA verileri	172
Tablo 3.48. Polimerlerin DSC ve TGA verileri	173
Tablo 3.49. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri	175
Tablo 3.50. Poli(%21 GMA-ko-St)) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri	177
Tablo 3.51. Poli(%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri	178
Tablo 3.52. THB, THB-A ve poli(THB-A)'nın DSC ve TGA verileri	180
Tablo 3.53. Poli(THB-A)-Ni kompleksi ve Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri	181
Tablo 4.1. Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	190
Tablo 4.2. Polimerlerin 100 Hz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	191

Tablo 4.3.	Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	192
Tablo 4.4.	Polimerlerin 100 Hz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	193
Tablo 4.5.	Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	193
Tablo 4.6.	Polimerlerin 1kHz 295 K ve 373 K'deki iletkenlik değerleri.....	193
Tablo 4.7.	Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	194
Tablo 4.8.	Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	195
Tablo 4.9.	Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri	195
Tablo 4.10.	Schiff bazı nikel kompleksi elementel analiz sonuçları	202



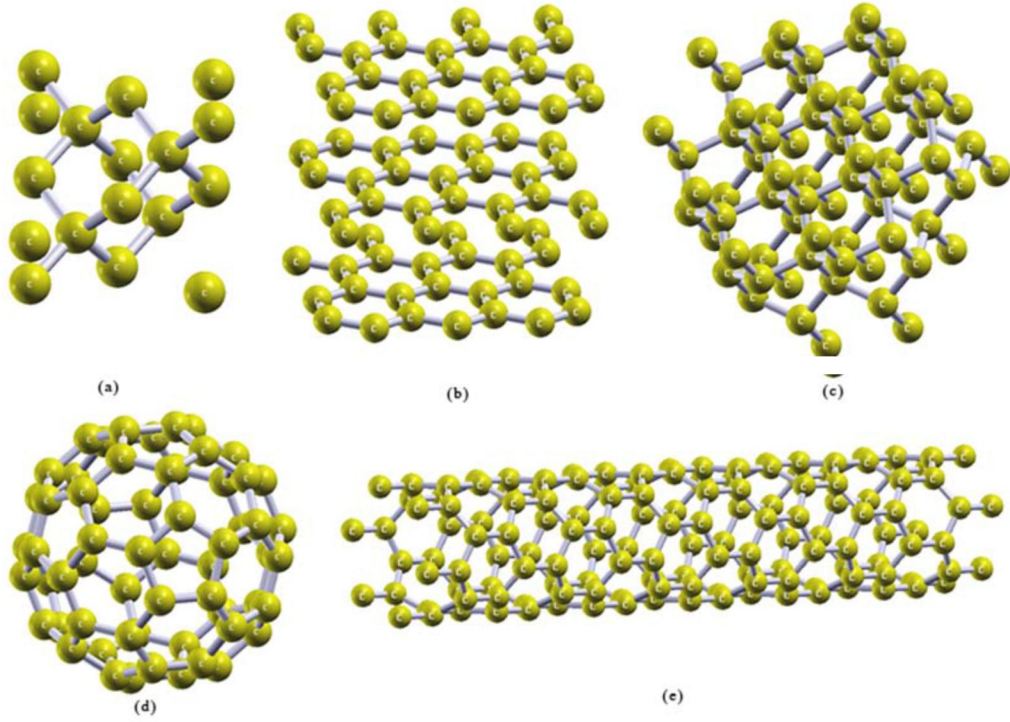
KISALTMALAR

APTS	: 3-Amino Propil Trimetoksi Silan
ATRP	: Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu
BAPDE	: Bisfenol A Propaksilat Diglisidil Eter
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
FT-IR	: Fourier Transform Infrared
GMA	: Glisidil Metakrilat
GPC	: Jel Geçirgenlik Kromatografisi
HI	: Heterojenlik İndisi ya da Polidispersite
Mn	: Sayıca Ortalama Molekül Ağırlığı
Mv	: Viskozite Ortalama Molekül Ağırlığı
Mw	: Ağırlıkça Ortalama Molekül Ağırlığı
MWNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
NMR	: Nükleer Manyetik Rezonans
P	: Piperazin
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
St	: Stiren
T	: Sıcaklık
TGA	: Termogravimetrik Analiz
THF	: Tetrahidrofur
σ	: İletkenlik

1. GİRİŞ

Elmas, grafit ve amorf karbon olmak üzere 1980 yılında karbonun sadece üç formu biliniyordu. Harold Kroto ve arkadaşlarının, Rice Üniversitesi'nde (ABD), yıldızlararası tozda bulunan malzemelerin sentetik olarak üretilmesine yönelik yürüttükleri çalışmalar sırasında, 1985 yılında rastlantı sonucu keşfettikleri fullerenerin, tümüyle karbon atomlarından oluşan, içi boş, kapalı kafes yapıli molekülle olduğu anlaşıldı.

Karbon malzemeler grafit, elmas, karbon fiber, fullerener ve karbon nanotüpler olmak üzere birçok formda bulunabilirler. Karbonun bu kadar farklı yapı oluşturma nedeni, karbon atomunun çok farklı çeşitlerde değerklik bağı oluşturunabilmesindendir.



Şekil 1.1. Karbonun bazı allotropları: (a) Elmas, (b) Grafit, (c) Lonsdaleite, (d) Karbon nanotop (C60) ve (e) Karbon nanotüp

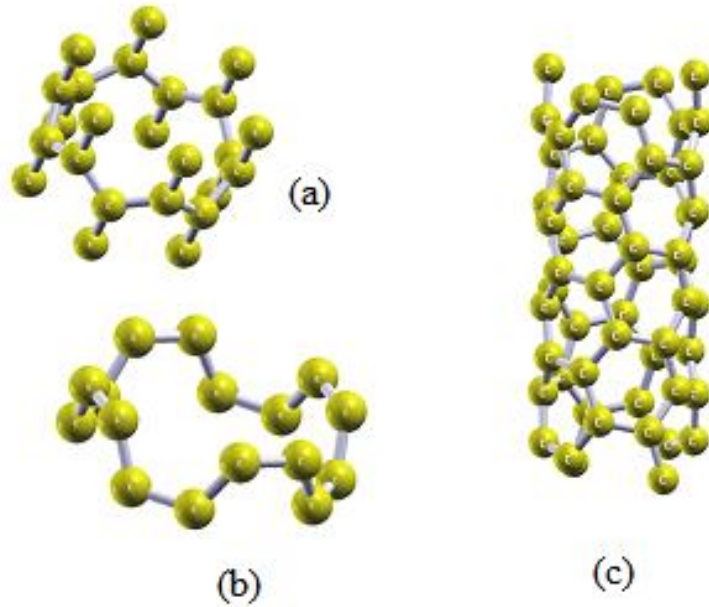
Karbon nanotüpler birkaç nanometreye kadar yarıçaplı 100-300 nm boyunda silindir şeklinde makromoleküllerdir. Karbon nanotüpler ilk Lijima tarafından 1991 yılında keşfedilmiştir [1]. Nanotüpler, nanoelektronik ve fotovoltelik türevleri [2,3] süper iletkenler [4], elektromekanik elemanlar [5], elektrokimyasal kapasitörler [6], nanoteller [7] ve

nanokompozit materyaller gibi [8,9] pek çok potansiyel uygulamalarda dikkat çekmiştir. Ayrıca, karbon nanotüp / polimer nanokompozitler yapay kaslar, akıllı deri ve mikroeletromekanik sistemler gibi yapıların üretiminde kullanma potansiyelleri vardır [10-14].

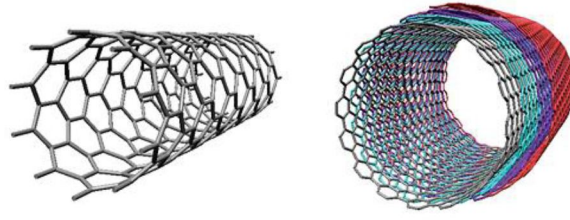
Karbon nanotüpler; tek duvarlı karbon nanotüpler SWNT [15,16], iki duvarlı karbon nanotüpler (DWNT) [17,18], ya da çok duvarlı karbon nanotüpler, MWNT [1] olarak sınıflandırılırlar. SWNT ve DWNT bir ya da iki iç içe geçmiş grafen levhadan oluşurken MWNT birkaç konsantrik silindirik kabuktan oluşur. MWNT'ler de iç grafit tabakalardan dış grafit tabakalara gidildikçe grafit yüzeylerde bozulmalara rastlanır ki en dış grafit tabakası çoğu zaman bozuktur. MWNT'lerin çoklu grafit tabakaları arasındaki mesafe 0,34 nm kadardır [19].

Karbon nanotüplerin iki bağ çeşidi vardır. En saf haliyle grafitte bulunan silindir duvar boyunca σ bağları hegzagonal ağı oluşturur. π bağları nanotüplerin yüzeyine diktir. Farklı tüpler arasındaki van der-walls etkileşimini zayıflatmaktan sorumludurlar.

Karbon nanotüpler mükemmel mekanik, elektrik, termal ve magnetik özelliklere sahiptir [20,21]. Bu özellikler karbon nanotüplerin kirallığı ve çapına bağlıdır. Tablo 1.1.'de karbon nanotüplerin tipik özellikleri gösterilmiştir [22-27].



Şekil 1.2. Tek katmanlı karbon nanotüplerin katlanış şekillerine göre çeşitleri (a) Zigzag, (b) Armchair ve (c) Kiral



Şekil 1.3. Tek ve çok katmanlı nanotüplerin şekilleri

Tablo 1.1. Karbon nanotüplerin tipik özellikleri [22-27]

ÖZELLİK	SWNT	DWNT	MWNT
Gerilme Gücü (GPa)	50–500	23–63	10–60
Elastik modülü (TPa)	~1	-	0.3–1
Kırılma noktasında uzama(%)	5.8	28	-
Yoğunluk (g/cm ³)	1.3–1.5	1,5	1.8–2.0
Elektrik iletkenliği (S/m)		~10 ⁶	
Termal kararlılık		>700 °C (havada)	
Tipik çap	1 nm	~5nm	~20nm
Specifik yüzey alanı		10–20m ² /g	

Karbon nanotüpler çeşitli yollarla sentezlenir. Bunların arasında ark boşalımı [15] lazerle aşındırma, kesme ve çıkarma [28], yüksek basınçlı karbon monoksit HİPCO [29] ve kimyasal buhar yöntemini sıralayabiliriz [30,31].

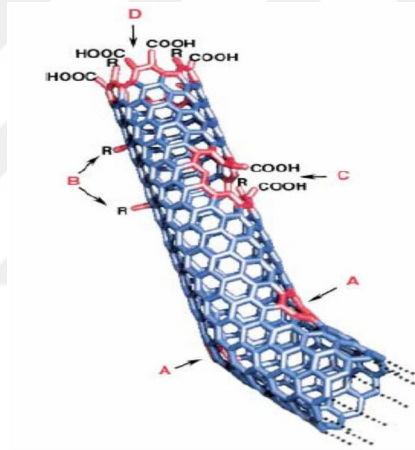
1.1. Karbon Nanotüplerin Fonksiyonelleştirilmesi

Karbon nanotüpleri kovalent ve kovalent olmayan fonksiyonelleştirmeye yapıları değiştirilir [32]. Karbon nanotüpteki amorf karbonları ve metal parçacıklardan oluşan safsızlıklar oksidatif yolla uzaklaştırılır [33,34].

Kovalent olmayan fonksiyonelleştirmede karbon nanotüpler yüzey aktif maddeler ve biyo makromoleküller ile sarılır. Yüzey aktif maddelerin varlığında sulu faza karbon nanotüpler transfer edilebilirler [35,36]. Karbon nanotüpler anyonik, katyonik ve iyonik olmayan yüzey aktif maddeler kullanılarak suda dağıtılırlar [37-40].

sp² hibritleşmiş karbon nanotüpler karbon atomlarının π orbitallerinden dolayı levha şeklindeki düz grafenden daha reaktiftirler. Karbon nanotüpdeki bu yapı şekli onların kimyasal türler ile kovalent bağlanma eğilimlerini artırır [41]. Kovalent

fonksiyonelleşmede sp^2 -C hibriti yapan karbon atomları sp^3 -C atomlarına dönüşür ve karbon nanotüp simetrisi bozulur [42]. Bu da karbon nanotüpdeki elektronik ve taşıma özelliklerinde değişime sebep olur. Ama bu durum karbon nanotüpün çözücülerde çözünmesi ve dağılması anlamında fayda sağlar. Kovalent fonksiyonelleşme nanotüp üzerinde nanotüpün duvarına maddenin doğrudan bağlanması ya da karboksil gruplarının modifikasyonu ile gerçekleştirilir. Karbon nanotüp yüzeyinde oksijen, hava, konsantre sülfirik asit, nitrik asit, sulu hidrojen peroksit ve asit karışımlarının oksidasyon ile -OH, -COOH oluşturulur [43,44]. MWNT'nin yüzeyi C-C bağlarının düzgün yapılarından dolayı mükemmeldir. Fakat yapıya asit ucu sokulduğu zaman bu mükemmellik bozulur [45-47]. Sıcaklık ve asit ile muamele süresi ile karbon nanotüp yüzeyindeki -COOH grubunun sayısı değişir [46]. Nanotüp uçları aynı zamanda oksidasyon ile açılabilir.



Şekil 1.4. SWNT için tipik hatalı kısımlar ve fonksiyonelleştirme (A) beş ya da yedi halkalı karbon yapısından dolayı kıvrılma, (B) sp hataları ($R=H, OH$), (C) oksidasyon sırasında yüzeydeki hatalı kısımlarda oluşan karboksilik asit grupları, (D) oksidasyon sırasında uç kısım açılması ve karboksilik asit gruplarının oluşturulması [48].

Polimer molekülleri ile karbon nanotüplerin kovalent fonksiyonelleştirilmesi ve polimer/karbon nanotüp nanokompozit oluşumunda “grafting to” ve “grafting from” şeklinde iki temel yaklaşım vardır [49,50].

Grafting to yaklaşımında ticari polimer molekülleri ya da hazırlanmış moleküller karbon nanotüp yüzeyine tutturulur. Bunun için kompozit hazırlarken polimerin uygun reaktif fonksiyonel gruba sahip olması gerekir. Bu yolla amidasyon, esterleşme, radikal yakalama gibi kimyasal reaksiyonlar ile polimerler karbon nanotüp yüzeyine tutturulurlar. Karbon nanotüpde -COOH grubu tiyonil klorür ($SOCl_2$) ile açıl klorüre dönüştürülüp

sonrasında polietilen glikolün OH grubu ile “grafting to” yaklaşımıyla esterleşmesi gerçekleştirilmiştir [51].

Yine grafting to yöntemi ile siklo katılma sonucu uç N_3 fonksiyonelli polistiren ile SWNT aşılantısıdır [52]. Polipropiyonil etilenimin-ko-etilenimin (PPEI-EI) veya poli(vinil asetat-ko-vinilalkol) amit bağları ve ester bağları ile karbon nanotüp yüzeyine bağlanmıştır [53,54]. Poli(sodyum-4-stirensülfat) [55], poli(-2-vinilpiridin) [56], poli(m-aminobenzen sülfonikası) [57], PMMA [58], poliimit [59,60] grafting to yaklaşımı ile bağlanan yapılara örnektir.

Grafting from yaklaşımında ise karbon nanotüp destekli başlatıcı kullanılarak veya karbon nanotüp yüzeyine reaktif karbon nanotüp varlığında monomerlerin laboratuvar şartlarında polimerizasyon ile bağlanır. Burada polimer-karbon nanotüp kompozitin oldukça yoğun aşılantısı avantajıdır. Poliamit 6 [61,62], PMMA [63,64], PSt[65,66], poli(akrilik asit) PAA [67], poli(t.bütıl akrilat) [68], poli(N-izopropil akrilamit) (NIPAM) [69], poli(4-viniliden piridin) [70] ve poli(N-vinil karbazol) [71], gliserol monometakrilat(GMA) [72] gibi polimerler monomerlerinin radikalik, anyonik, katyonik, halka açılması veya kondenzasyon polimerizasyonu yoluyla karbon nanotüp yüzeyinde “grafting from” yaklaşımıyla oluşturulmuştur.

Fonksiyonelleştirme işlemi klik kimyası kullanılarak da yapılır. Bu yolla Huisgen (3+2) siklo katılma reaksiyonu nanomalzemelerin katılması, modifikasyonu ve sentezi için icat edilen [73] ideal bir reaksiyondur. Huisgen (3+2), CuI katalizörlüğünde son yıllarda uç alkinler ve azotürler arasında gerçekleşen dipolar siklo katılma sonucu 1,2,3-triazoller formu son yıllarda bulunmuştur [74,75]. Bu reaksiyon küçük moleküllerin sentezi [76], dendrimerler [77,78], dendronize polimerleri [79-81] ve biyolojik türevli makro moleküller [82] için çok başarılıdır. Klik kimyasının pek çok üstün yönleri vardır. Diğer fonksiyonel grupları tolare ederek yüksek verimle, yüksek saflık ve geçirgenlikle sulu şartlar altında kullanıma uygundur [83]. Asetilenler ve azotürler biyolojik ortamlarda geniş organik reaksiyon şartlarında korumanın olmaması sebebiyle izlenebilir. Huisgen siklo katılmasına örnek olarak Adronov ve arkadaşları tarafından SWNT ve polistiren fonksiyonelleştirmesini örnek olarak verebiliriz [84]. Yine Gao ve arkadaşları MWNT’lerin tabaka tabaka bu yolla kovalent fonksiyonelleşmesini başarmışlardır [85].

1.2. Karbon Nanotüp/Polimer Kompozitler

Karbon nanotüpler, C-C kovalent bağları ve kesintisiz hegzagonal ağ yapıları nedeniyle bilinen en güçlü ve en esnek malzemelerdendir. Karbon nanotüpler mükemmel özellikleri yüzünden polimer kompozitler için yüksek performanslı takviye olarak kullanılmışlardır. Karbon nanotüplerin polimerlerle birlikte nanokompozit bir yapıya dönüştürülmesi ile daha gelişmiş mekanik, elektriksel, termal ve optik özelliklere sahip ürünler elde edilir ve çok daha geniş bir alanda kullanımları söz konusu olur. Bu amaçla çeşitli polimerler kullanılarak kompozitler elde edilmektedir. İlk olarak Ajayan ve arkadaşları karbon nanotüpü polimerde dolgu maddesi olarak kullanıp nanokompozitini rapor etmişlerdir [86]. Her yıl polimer kompozitleri üzerine patentler alınmakta ve gün geçtikçe makalelerin sayısı artmaktadır [87]. Çeşitli polimer matriksler, termoplastikler dahil [88-90], termosetting reçineler [91,92], sıvı kristal polimerler [93,94], suda çözünür polimerler [57], konjuge polimerler [3] ve diğerleri kompozitlerde kullanılmıştır. Polimer kompozitlerde karbon nanotüp varlığı, gerilme gücü [95,96], gerilme modülü [97,98], sertlik [99], camsı geçiş sıcaklığı [100,101], termal iletkenlik [102,103], elektrik iletkenliği [104,105], çözücü direnci [106], ve optik özelliklerde [107,108] iyileşme sağlar. Karbon nanotüplerin vander walls etkileşimleri yüzünden polimer matriks içinde kümeleşme olur ve onları hizalayıp dağıtmak zor olur. Topaklanmayı önlemek için karbon nanotüpler fonksiyonelleştirilirler. Karbon nanotüplerin kompozit içinde dağılımı iyi yapılmazsa iletkenlik yüksek bile olsa, büyük dielektrik kayıplara sebep olur. Pek çok araştırmacı polimer içinde karbon nanotüp dağılımının iyileştirilebilmesi üzerine çalışma yapmışlardır [109-120].

Karbon nanotüpler pek çok önemli çalışmanın kaynağı olmuşken, bazı özellikleri yüzünden birkaç uygulamada ilerlemesi engellenmiştir. Epoksit bazlı nanokompozitler yoğun uygulamalar açısından çokca incelenmiştir. Bunların arasında elektronik, havacılık ve otomatik endüstrisini sayabiliriz [121-123]. Ancak yapılan çalışmalarda bazen fikir ayrılıkları meydana gelmiştir. Epoksi reçinelerin mekanik özelliği karbon nanotüpün % 1' den daha azıyla bile artırılabilir [124,125]. Diğer kompozitlerle tutarsızlığın sebebi olarak aslında uygun şekilde fonksiyonelleşme yapılamaması gösterilmiştir. Epoksitte karbon nanotüp dağılımının karışıklığı, matris ve karbon nanotüp arasında ara yüzeydeki adhezyonla ilgilidir.

1.2.1. Polimerler

Polimerler, çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli veya dallanmış yapıda yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir [126]. Günümüzde oldukça yaygın kullanım alanı bulunan polimer malzemeler, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmış atomların uzun molekül zincirlerinden oluşurlar. Yün, reçine, ipek gibi doğal polimerlerin yanı sıra özellikle 1920'lerden sonra gelişen polimerizasyon teknikleriyle birçok yapay polimer elde edilmıştır. Düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli ve kimyasal ajanlara karşı dayanıklı olan polimerler, kullanım alanlarına göre, metaller gibi birçok malzemenin yerini almaya başlamışlardır.

Çeşitli kopolimer yapılarını içeren blok ve aşırı kopolimerler ileri teknoloji ürünleri olarak istenen malzeme özelliklerine sahiptir [127-129].

1.2.2. Kompozit Malzemeler

İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemelerdir. Kolay biçim verilebilmesi, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı onları önemli yapmaktadır.

Yapılan pek çok çalışma sonucuna göre, nanokompozitlerin pek çok üstün özelliği bulunmaktadır. Nanokompozitlerin en önemli özelliği, üzerlerine uygulanan yükü çok iyi bir şekilde taşıyabilmeleri ve oluşabilecek deformasyonları engelleyebilmeleridir. Daha düşük maliyetle elde edilirler. Yanma dayanımları daha fazla olup, elektrik iletkenlikleri daha yüksektir. Termal stabiliteyi artırırlar ve ısıl bozulma sıcaklığını yükseltirler. Kimyasal etkenlere dayanıklılıkları yüksektir. Taşımada büyük yakıt ve enerji kazanımı sağlarlar. Yüksek gerilme modülü ve boyut stabilitesi gibi mekanik özellikler gösterirler. Nanokompozit yapısında bulunan su ve hidrokarbonlar, gaz geçirgenliğini azaltırlar. Konvansiyonel dolgulu polimerlerle kıyaslandığında optik geçirgenlik özellikleri daha iyidir.

Karbon nanotüpler sahip olduğu elektriksel, termal ve mekanik özelliklerinden dolayı polimer malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Karbon nanotüp ve polimer nanokompozit hazırlarken karbon nanotübün topaklanma oluşturmaması için polimer matrix içinde iyi dağıtılması gerekir. Birkaç farklı yolla karbon nanotüp /polimer kompozit hazırlamak mümkündür [130].

1.3. Karbon Nanotüp/ Polimer Nanokompozitleri Hazırlama Metotları

1.3.1. Çözelti Karışımlarıyla Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması

Bu yöntemde karbon nanotüp uygun bir çözücünde dağıtılır. Polimer bu çözücünde karıştırılır. Karbon nanotüp/polimer kompoziti çökeltme veya buharlaştırma ile oluşturulur [130]. Bilindiği gibi saf karbon nanotüpü çözücü içinde dağıtmak oldukça zordur. Bu işlem için yüksek güçte ultrasonikasyon gerekir. Safadi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 30 dakika süreyle 300 W da dismembratör ve ultrasonikasyon kullanılmıştır [131]. Polistirenin karbon nanotüp içinde düzgün şekilde dağıtılması başarılmıştır.

1.3.2. Eriyik Karışımlarıyla Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması

Çözelti karışımlar hazırlamak için polimerin uygun bir çözücünde çözünmesi gerekmektedir. Pek çok polimer için bu sorun oluşturabilir. Eriyik karışımları ise yaygın ve basit bir yöntem olup çözünmeye gerek yoktur. Özellikle termoplastik polimerler için yararlıdır. Yüksek sıcaklık ve yüksek kesme kuvveti ile mixer yada daha kuvvetli bir dağıtıcı kullanılarak polimer içinde karbon nanotüp mekanik olarak dağıtılır [132]. Bu yaklaşım basit ve şimdiki uygulamalar ile uyumludur. Zhang ve arkadaşları [133] kuvvetli karıştırıcı kullanarak ağırlıkça % 1'lik MWNT içeren naylon 6/ MWNT nanokompoziti hazırlamışlardır. SEM görüntüsünden iyi dağılım sağlandığı ve kompozitte mekanik açıdan önemli gelişme sağlandığı söylenmiştir. Bu uygulamayla yine pek çok çalışma yapılmıştır. Polipropilen /karbon nanotüp [134-136], yüksek yoğunluklu polietilen/karbon nanotüp [137], polikarbonat/karbon nanotüp [138-140], polimetakrilat/karbon nanotüp [141-144] bu çalışmalar arasındadır.

Bu yöntemde kompozitin yüksek vizkozitesi yüzünden karbon nanotüp yüklemesi fazla olacağı için karbon nanotüp miktarı az olmalı ve miktar iyi ayarlanmalıdır.

1.3.3. Polimerizasyon Yerinde Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması

Bu metotda karbon nanotüp monomerde dağıtılarak polimerleştirilir. Karbon nanotüpün yüksek yüzdeleri kolayca dağıtılır ve polimer matrixle güçlü etkileşimler oluşur. Çözünemeyen ve termal olarak kararlı olmayan polimerlerin karıştırılması, çözelti ve eriyik yöntemiyle oluşturulamayan kompozitler kolay şekilde hazırlanır. Bu yönüyle kullanışlı bir yöntemdir. Huet ve arkadaşları [145] MWNT ile güçlendirilmiş poliamit

nanokompozitlerini, açillenmiş MWNT varlığında monomerinden bu yöntemle sentezlemişlerdir.

1.4. Dendritik Polimerler Kullanılarak Karbon Nanotüp Kompozitlerinin Hazırlanması

Dendrimerler üç boyutlu küresel ya da küreye benzeyen spiral moleküler yapısal şekilleriyle dendrimerik ve hiper dallanmış polimerler olarak ilaç taşıyıcı sistemlerden kimyasal sensörlere kadar çok geniş uygulama alanı yüzünden polimer araştırmalarında büyük yer tutar [146-148]. Dendrimerler hiçbir yapısal kusur olmaksızın ideal dallanmış birimleri simetrik yapıları ve kontrol edilebilirliğiyle eşsiz boyutlara sahiptir [149,150]. Bunun yanında hazırlanmaları çok adımlı sentez reaksiyonlarını gerektirir. Oysa hiperdallanmış polimerler tek adımlı sentez işlemleriyle rastgele dallı yapılara sahiptir [151-152]. Son zamanlarda dendritik polimerler karışık olmayan yapıları, üç boyutlu küresel yapıları yüksek fonksiyonelleşmeyle polimer matrix içinde karbon nanotüpün dağıtılmasında kullanımı artış göstermiştir. Aynı molar kütleye sahip lineer polimerlere nazaran çözelti ve eriyik karışımlarında yüksek çözünürlük ve düşük vizkositeye sahiptir [153,154].

1.5. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri

Karbon nanotüplerin olağanüstü mekanik özellikleri ve geniş boy/en oranları polimer takviyeli karbon nanotüp nanokompozitlerin gelişiminde onları avantajlı kılar [130]. Tabakasında bulundurduğu karbon-karbon kimyasal bağları sayesinde doğada bilinen en güçlü yapı grafendir. Bu yüzden karbon nanotüplerin çok iyi mekanik özelliklere sahip olması beklenir. Teorik olarak karbon nanotüpler doğada bilinen maddelerden daha güçlü ve serttir [155]. Yapılan çalışmalara göre, MWCNT'lerin Young modülleri tüp çapına veya kiralitesine çok fazla bağlı olmayıp, yaklaşık 1.8 TPa değerine sahiptir [156].

1.6. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Elektrik İletkenliği

Keşfedildiklerinden beri karbon nanotüplerin elektriksel özelliği ve bu özelliğinden dolayı nanoboyutlu araçlarda kullanımına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Karbon nanotüplerin elektriksel özellikleri tüp yapısına bağlı olarak metalik ve yarı iletken özellik

gösterir [157]. Karbon nanotüplerin yapılarının farklılaşmasıyla değişen bu iletkenlik özellikleri bilinen hiçbir malzemede bu kadar çok değişemez. Kristal kusur barındırmayan nanotüplerde elektronlar, herhangi bir elektriksel direnç ile karşılaşmadan tüp boyunca hareket edebilirler. MWNT'lerin her bir katmanı farklı kristal yapıdadır. Bu yüzden davranışları çok daha karmaşıktır. Koltuk nanotüpler metalik özellik gösterirken, kiral ve zikzak nanotüpler yarı iletkenidir [155]. Metalik nanotüpler çok iyi iletkenidir. Bir karbon nanotüp demeti 1×10^9 A/cm² yoğunluğunda akım taşıyabilirken bakır tellerde bu değer 1×10^6 A/cm² seviyesindedir [158]. Yüksek iletkenlik ve yüksek boy/en oranı gösteren karbon nanotüpler kompozitlerin iletkenliğinde de mükemmellik sağlayarak iletkenliğinde artışa sebep olur. Geçirgenlik teorisi, bize önceden yalıtkan olan polimerle iletken dolgu içeren kompozitleri iletken yapmak için kritik konsantrasyon olduğunu bildirir[130].

Geçirgenlik teorisine göre;

$$\sigma_c = A(V - V_c)^B$$

σ_c ; kompozitin iletkenliği,

V ; karbon nanotüpün hacim fraksiyonu

V_c ; Geçirgenlik eşiğindeki karbon nanotüpün hacim fraksiyonu

A ve B sabitler olmak üzere nanokompozitin iletkenliği hakkında fikir sahibi olunabilir.

Geçirgenlik eşiği ağırlıkça % 0,0025'den [159] % birkaç olanlara kadar rapor edilmiştir [160]. Elektrik iletkenliği için geçirgenlik eşiği polimer/karbon nanotüp nanokompozitlerdeki hizalanma-sıralanma [161,162], dağılım [163, 164,165], karbon nanotüp yüzeyindeki modifikasyon derecesi [46], polimer tipi [166], kompozit oluşturma metotları [164] ve boy/en oranına bağlı olarak değişir. Tablo 1.2. 'de nanokompozitlerin bazıları için elektrik iletkenlik ve eşik değer verilmiştir.

Tablo 1.2. Karbon nanotüp/polimer kompozitlerin elektrik iletkenliği [130].

Polimer Tipi	Nanotüp tipi	Eşik Değer(% W)	Nanotüp (% W)	Max İletkenlik(S/m)
polistren	MWNT	0.15–0.2	2	10^3
polikarbonat	SWNT-Fonks.	0.11	7	$4,81 \times 10^2$
polistren	SWNT-Fonks.	0.045	7	6,89
Poli(vinil asetat)	XD -CNT	-	20	$4,8 \times 10^3$
poli(metil metakrilat)	MWNT	0.3	40	3×10^3
poli(metil metakrilat)	SWNT	0.17	10	$1,7 \times 10^3$
poli(metil metakrilat)	SOCl ₂ -doplanmış SWNT	0.17	13,5	10^4
Poli(vinil alkol)	MWNT	5–10	60	100
Poli(vinil asetat)	SWNT	0.04	4	~15
Epoksi	MWNT	0.0025	1	2

Nanokompozitlerde kimyasal fonksiyonelleştirme elektrik iletkenliğinde bazen düşüşe sebep olabilir. Bunun sebebi olarak, nanotüp yüzeyinde karbon-karbon bağlarının çapraz kafes yapısında kusurların artışına ve nanotüpün fonksiyonelleşmeyle π konjugasyonunun bozulması gösterilir [130].

1.7. Karbon Nanotüp / Polimer Nanokompozitlerin Termal Özellikleri

Karbon nanotüplerin bir diğer önemli özelliği ısı iletkenlikleridir. Aynı ortam şartları altında ısı iletkenliği en yüksek materyallerin başında karbon nanotüpler gelmektedir. Karbon nanotüplerin ısı iletkenlikleri ortalama 6000 W/mK civarındadır. Ayrıca karbon nanotüpler ısı açısından oldukça stabildir. Vakum ortamında 2800 °C, atmosferik şartlarda ise 750 °C sıcaklığa kadar bozunmadan kalabilirler [157]. Diğer metalik iletkenler ise 600–1000 °C sıcaklıkta bozunmaktadırlar.

1.8. Polimerlerin Elektriksel Özellikleri

Polimerler elektriksel özelliklerinden ve farklı yapıya sahip olduklarından dolayı elektrik ve elektronik endüstrisinde insan yaşamında önemli bir yerdedirler. Büyük molekül ağırlığına sahip polimerler elektrik yalıtım özelliği gösterirler yani dielektriktirler [167]. Polimerleri, dielektrik sabiti (ϵ), kondüktans (G), süssepans (Bp) gibi elektrik parametreleri kullanılarak karakterize etmek mümkündür [168].

Elektrik iletkenliği yapıda bulunan serbest yüklere ve bunların yapıdaki hareketlerine bağlı olarak değişir. İletim, elektronlar veya iyonlarla sağlanır. Polimer zincirleri ve

zincirlere bağılı sabit yükler elektrik iletimine katılmazlar. Polimerin elektriğı iletebilmesi serbest yüklerin hareket etmesi için, elektrik gerilim uygulandığı zaman iletim yollarının olması gerekir. Amorf polimerlerde polimer zincirleri arasındaki boşluklar veya kristal polimerlerde kristal hataları ve düzensizlikler uygun iletim yollarını oluşturur ve serbest yükler hareket edebilir [167,169].

1.8.1. Dielektrik Sabiti

Bir materyale dışarıdan elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğıne sahipse bu madde dielektrik olarak adlandırılır. Bunlar elektriğı iletmezler yalıtkan olarak sınıflandırılırlar fakat uygulanmış olan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisiyle atom ve elektronlar yer değıştirir ve elektrik yük merkezleri kayar, elektriksel kutuplaşma olur. Oluşan elektriksel dipoller, dielektrik malzeme yüzeyinde elektrik yük birikimine sebep olur. Dielektrik sabiti, dielektrik kayıp ve iletkenlik; sıcaklık, nem, basınç, moleküler yapıya bağılı olarak değışiklik gösterir. Polimerler polarize olabilirler ve küçük mıknatıs gibi elektrik alan etkisinde yönlenirler [167]. Polarizasyon olayı dielektrik sabiti (ϵ) ile ifade edilmektedir. Dielektrik sabiti bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji saklandığını ve malzemenin içinde ne kadar enerji kaybolduğunu gösterir. İmpedance Analyzer cihazı katı maddelerin dielektrik sabitinin ölçülmesinde kullanılır. Katı maddelerin dielektrik sabitlerinin bulunması, impedans analizörde kapasitans (C) ölçümüyle yapılır. Dielektrik sabitinin bulunması için aşağıdaki formül kullanılır [170].

$$\epsilon' = C \frac{d}{\epsilon_o A}$$

ϵ : Dielektrik sabiti

ϵ_o : Boşluğun dielektrik sabiti ($8,85 \times 10^{-12}$)

A : Numunenin alanı (m^2 cinsinden)

C : Numunenin Kapasitansı (Farad)

d : Numunenin çapı (mm cinsinden)

Dielektrik sabiti, dielektrikte depolanan enerjiyi yani gelen enerjinin dielektrikle etkileşimini gösterirken dielektrik kayıp faktörü, malzeme içinde depolanamayan kayıp

akım ve ısıya dönüşerek harcanan enerji olarak tanımlanır [170,171]. Dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kaybı (ϵ'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur:

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{\text{Çevrim başına kaybolan enerji}}{\text{Çevrim başına depolanan enerji}}$$

1.8.2. Kondüktans (G)

Elektrik akımının belirli bir elektrik alanı üzerinden belirli bir yol boyunca ne kadar iyi ve kolay aktığının göstergesidir. Birimi SI birim sisteminde Siemens (S)'dir. Ölçülen kondüktans parametresi ile iletkenlik (σ) değerleri hesaplanabilir.

$$\sigma = \frac{G \cdot d}{A}$$

G : Kondüktans

d : Kalınlık

A : Örneğin alanı

σ : iletkenlik

1.8.3. Susseptans (B)

Akım ve gerilim dalgalanması olduğu zaman, devre veya sistemde depo edilen enerjiyi ifade eder [172]. Birimi Simens'dir.

1.9. Karbon Nanotüp Fonksiyonelleştirilmesi, Polimer / Nanokompozitini Oluşturma ve Onların Özellikleri İle İlgili Literatür Çalışmaları

Hiroshi Kitamura, Masaru Sekido ve arkadaşları 2011 yılında 1,2-1,5 nm çap ve 2,5µm uzunluğa sahip tek duvarlı karbon nanotüp (SWNT) satın alarak, dumanlı nitrik asit ile karıştırıp sonike etmişlerdir. Bunu yaparken de farklı sıcaklık ve süreler denemişler, ürünün yapısını FT-IR, raman spektroskopisi, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS), termogravimetrik analiz ile aydınlatılmaya çalışılmışlardır. XPS ile yüzeyde farklı fonksiyonellenen grupların kantitatif tayini için kullanılarak, sıcaklık 10 °C den 90 °C ye arttırıldığı zaman -COOH gruplarının miktarının % 2,8'den % 9,3'e arttığını ve bu yöntemle çok duvarlı karbon nanotüpler, grafit ve karbon fiberler hazırlanması için yararlanılabileceğini söylemişlerdir [173].

V. Datsyuka, M. Kalyva ve arkadaşları, 2008 yılında H_2SO_4 'ün HNO_3 ve H_2O_2 ile karışımı gibi asidik ve NH_4OH/ H_2O_2 gibi bazik kimyasallarla çalışmış ve oksidasyonun karbon nanotüpün yapısal sağlamlığına etkisini araştırmışlardır. Yapıları araştırırken elektron mikroskop ve termogravimetrik analizi kullanmışlar. X-Ray fotoelektron spektroskopisiyle her bir oksidasyon ürününün farklı fonksiyonelleştiğini doğrulamışlar. Raman spektroskopisi ölçümleriyle de grafit olmayan karbon miktarını ve kimyasal işlemler arasındaki bağıntıyı araştırmışlar. Değiştirilmiş karbon nanotüp materyalleri, kimyasal işleme girmiş karbon nanotüpdeki $-COOH$ derişimi titrasyon yapılarak tayin edilmiştir. Sağlamlığın yükseltgenme işlemine ve yükseltgeyiciye bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir [174].

Karbon nanotüplerin suda ve organik çözücülerde yetersiz çözünürlüğü onları tanımlamada önemli bir problemdir. Okutan Elif, Aydın O Gülşah ve arkadaşları 2011 yılında yaptığı çalışmayla polimer bağlı karbon nanotüplerin kompozit malzemeleri uygun çözücüde çözünür olabildiğini göstermişlerdir. "Grafting to" yöntemiyle sentezlenmiş olan çok duvarlı karbon nanotüp/poli(organofosfazen) kompozitinin çözünürlük testlerinde THF, N,N dimetil formamit (DMF), dimetil sülfoksit ve suda iyi çözüldüğü, 1,2-diklor etanda az, kloroform ve asetonda çözünmediği gösterilmiştir. [175].

Jang-Hwan Jeon, Jung Hyurk ve arkadaşları 2009 yılında polistiren aşılınmış MWNT'yi ATRP ile 72 saatte 110 °C de 1,2-diklorbenzende brom uçlu polistiren ve MWNT'den grafting to yaklaşımıyla hazırlanmışlardır. Brom uçlu polistiren, MWNT'nin fonksiyonelleştirmesi için başlatıcı olarak kullanıldı. ATRP ile $CuBr$ ve N,N,N'',N'',N'' – pentametildietilentriamin katalizör olarak kullanılıp stiren ile sentezlemişlerdir. Polistiren aşılı MWNT karakterizasyonu için 1H -NMR, FT-IR, DSC, TGA ve SEM kullanılmış ve yapının çeşitli organik çözücülerde yüksek çözünürlüğü olduğu bulunmuştur. Aşılınmış polistiren miktarını % 40-90 olarak bulmuşlar. TGA ve DSC ölçümlerinden polistiren - Br'un daha düşük sıcaklıkta bozulduğunu ama MWNT aşılı polistirenin Tg'sının daha yükseğe kaydığını bulmuşlardır. Polistiren /polistiren aşılı MWNT nanokompozit karışımını, DMF çözücü ortamında polistiren ve polistiren aşılı MWNT'den hazırlamışlar ve SEM ve TEM (geçirimli elektron mikroskobu) görüntülerinden nanokompozitte polistiren aşılı MWNT'nin π - π etkileşimi sayesinde polistiren matrice homojen dağıldığını belirtmişlerdir[176].

Chia-Chung Wu ve arkadaşları 2015 yılında çok iyi dağıtılmış polieterimid (PEI) dolgulu çok duvarlı karbon nanotüp hazırlamışlardır. MWNT, organik asitler ile muamele

edilerek yüzeyin π konjuge iskeletine karboksilik asiti kovalent bağlamışlardır. Yapıları X-Ray fotoemisyon spektroskopisi, Raman ve FT-IR spektroskopisiyle incelemişler ve asit ile muamelenin grafit katmanları arasındaki kusur miktarını artırdığını belirtmişlerdir. Bu sayede a-MWNT üzerinden organik polimer ve karbon nanotüp arasındaki bağlanmayı sağlamışlar. Asitle muamele edilmiş a-MWNT /PEI ve muamele edilmemiş n-MWNT/PEI nin farklı bileşimlerdeki nano kompozitleri hazırlanarak plaka yöntemiyle 10 kHz den 1 MHz'e kadar dielektrik özellikleri ölçülmüş a-MWNT /PEI nano kompozitinin n-MWNT /PEI nano kompozite oranla dielektrik sabitinde artış olduğunu gözlemlemişler. Aynı şekilde nano kompozitteki nanotüp miktarının artmasıyla dielektrik sabitinin arttığını belirtmişler ve bu artışın ilave edilen a-MWNT'nin elektrik iletkenliğinden kaynaklandığını göstermişlerdir [177]. Saf haldeki nano kompozite oranla a-MWNT deki artış buradaki karboksil ve hidroksil gruplarının PEI ile etkileşiminin artmasıyla açıklanmıştır. a-MWNT ve PEI matriksinin n-MWNT ve PEI matriksine göre daha iyi dağılmasının nanotüp tortulamasının azaltılmasının asitle muameleyle başarıldığını göstermişlerdir [178]. Kayıp faktörde aynı şekilde MWNT miktarı arttıkça artmış ve a-MWNT/PEI de artışın daha az olduğunu bulmuşlardır. Frekans ve sıcaklığa karşı dielektrik özellikleri araştırılmış frekans arttıkça dielektrik sabiti azalmış fakat nano kompozitteki nanotüp miktarı arttıkça frekansla dielektrik sabitinin arttığını söylemişlerdir. Sonuç olarak Yamada modeli, Lichterecker logoritmik modele göre a-MWNT/PEI nano kompozitlerinin dielektrik sabitlerini tahmin etmede daha etkili olduğunu bulmuşlardır [179].

Chan Yank ve arkadaşları 2009 yılında çok duvarlı karbon nanotüp içeren kompozitleri rapor etmişler. MWNT yapısını poli(piról) (PPy) ile mikroemilsiyon polimerizasyonu ile kaplamışlar, TEM, X-Ray ve Raman spektroskopisiyle yapıyı incelemişlerdir. Hazırladıkları farklı kompozitlerin kararlı yüksek dielektrik sabiti (~ 44), oldukça düşük dielektrik kaybı ($<0,07$) ve büyük enerji yoğunluğu ($en 4,95 J cm^3$) na sahip olduğunu göstermişlerdir. Dielektrik performanstaki büyük artış, polimer matrikste MWNT'nin çok iyi dağıtılmasıyla, organik PPy iskeletinden kaçak akımın kesilip hareketli yük perdelemesinden kaynaklandığını söylemişlerdir. Böyle MWNT kompozitlerin yük ve elektrik enerjisi depolamada kullanılabilir olduğunu, elektrik güç sistemleri ve modern elektronik sistemlerde anahtar rol oynadıklarını söylemişlerdir [180].

Qun Li, Qinghong Xue ve arkadaşları 2008 yılında saf, asitlenmiş ve ester fonksiyonelleşmiş MWNT'den, poli(viniliden florid) (PVDF) de süspansiyon

buharlaşmasıyla nanokompozitleri hazırlamışlar. FT-IR ve XPS ile karboksilik asit ve ester gruplarının MWNT yüzeyinde oluştuğunu göstermişlerdir. Raman spektroskopisinden amorf karbon materyalleri ve safsızlığın kimyasal fonksiyonelleşme ile azaldığını gösterdiler. Nanokompozitlerde elektrik iletkenliğini ve dielektrik özelliklerini araştırarak, hacimce % 3,8 lik MWNT eşik değeri kabul ettiler. Bu değerden sonra yüksek dielektrik özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. En yüksek dielektrik sabiti 1 kHz’de karboksilik fonksiyonelleşmiş MWNT/PVDF nanokompozitin hacimce % 8’lik oranında 3600 olarak gözlemlenmiştir. Bunu hazırlık yöntemi ve MWNT ile polimer arasındaki arayüzeye atfetmişlerdir [181].

Xin Zhao, Kunyuan Sui ve arkadaşları 2012 yılında poli(etilenglikol-b-poliakrilonitril) (PEG-b-PAN) serbest radikalik polimerizasyonla çok duvarlı karbon nanotüpü aşımışlardır. Elde edilen yapı FT-IR ve TGA ile karakterize edilmiş DMF içine dağıtılmış aşılı MWNT-g-(PEG-b-PAN)’ın TEM görüntüleri alınarak polimer tabakalarına MWNT’nin kaplandığı belirtilmiştir. Viskoelastisitesi reometre ile incelenmiş ve 1 ay boyunca stabil olduğunu gözlemlemişlerdir [182].

Yunhe Zhang, Dan Xu ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada, karbonnanotüp/ftalosiyonin/poliviniliden florür üçlü kompozitin dielektrik özelliklerini araştırmışlar. Karbon nanotüp/polimer kompozitleri, yüksek dielektrik sabitleriyle elektronikte ve elektrik endüstrisinde çokça istenen malzemelerdir. Bununla birlikte iletkenliği yüksek karbon nanotüpler, polimerde kötü dağılıma sahip olursa yüksek dielektrik kaybına yol açacağından yarı iletkenlerle veya iletken olmayan yapılarla karbon nanotüp çekirdekleri ile dolgulu yapıların üretiminin gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada tetra-amido- ftalasiyonin bakır (4NH₂-CuPc) kaplı, asitli çok duvarlı karbon nanotüp (a-MWNT) π - π etkileşimleri sayesinde kompozitler üretilmiş. Kaplama kalınlığı, karışımdaki 4NH₂-CuPc nin derişimiyle ayarlanmış ve TEM, XPS analizleri ile onaylanmıştır. a-MWNT/ 4NH₂-CuPc, poli(viniliden florid) (PVDF)’ye eklenerek a-MWCNTs/4NH₂-CuPc/PVDF nanokompoziti hazırlanıp dielektrik özellikler araştırılmış. Bu kompozitlerin dielektrik özelliklerinin 4NH₂-CuPc’nin a-MWNT’yi adsorpladığında en iyi değere ulaştığı söylenmiştir. Ağırlıkça % 9 MWNT ve % 13,5 4NH₂-CuPc (kütle oranı a-MWCNTs:4NH₂-CuPc = 1:1.5) olduğunda dielektrik sabiti 3200 ve kayıp faktörü 1 kHz de 2,1 olarak saptanmıştır. 4NH₂-CuPc parçacıkların çoğunluğu matrix içinde serbest olursa elektron taşıyıcı tünel oluştururlar. Elektrik iletkenliği ve dielektrik kayıpları artışla sonuçlanır. Bununla beraber 4NH₂-CuPc

parçacıkların çoğunluğu a-MWCNT yüzeyi ile kaplanırken kaplamada hatalar olursa bu tünellerin oluşumu engellenir. Bu iki etki arasındaki ilişki kompozitlerde karşılıklı olarak birbiriyle yarışır [183].

Siu Ming Yuen, Chen-Chi M Ma ve arkadaşları 2007 yılında silan ile modifiye edilmiş MWNT/PMMA kompozitlerini hazırlayarak bunun elektrik direncini, termal iletkenlik ve kararlılığını araştırmışlardır. Öncelikle MWNT, 3-izosiyanat trietoksilan ile modifiye edilmiş metil metakrilat (MMA) ve viniltrietsilan (VTES) ile PMMA-VTES den çapraz bağlı PMMA-VTES hazırlayarak sonrasında Si-MWNT ile kompozitini oluşturmuşlar. SEM ve TEM görüntülerinden polimer matrix içine iyi dağıtıldığını söylemişlerdir. Yüzey ve hacim elektrik direnci MWNT arttıkça azaldığını belirtmişlerdir. Termal iletkenliğini ise PMMA-VTES içine düzenli şekilde ağırlıkça % 0,99 Si-MWNT eklendiğinde %87,5 artmıştır. Termal kararlılığında ise hava ve azotta küçük bir miktarı (ağırlıkça % 0,5) Si- MWNT eklendiğinde bile arttığını söylemişlerdir [184].

Penk Chenk Ma, Jong Kio Kim ve arkadaşları 2007 yılında silan ile fonksiyonelleştirilmiş karbon nanotüp ve epoksi nanokompozitler hazırlayarak bunların özelliklerinin araştırmışlardır. Epoksi bazlı nanokompozitleri fonksiyonelleştirerek ve fonksiyonelleştirmeksizin karbon nanotüp ile hazırlamışlardır. Nanokompozitlerin özelliklerini SEM, TGA, dinamik mekanik analiz (DMA), elektrik iletkenliği, üçlü nokta eğilimi, kırılma dayanıklılığı gibi özelliklerini ölçmüşlerdir. Silan ile fonksiyonelleşmemiş karbon nanotübün elektrik iletkenliği fonksiyonelleşmiş olana göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini de epoksi reçine ve silan ile fonksiyonelleşmiş karbon nanotüp arasında kovalent bağ yüzünden ara yüzey etkileşimine bağlamışlardır. İyi dağıtılmış karbon nanotübü iletken olmayan silanın sarmasıyla bu özelliği göstermiştir. Bunun yanında silan içeren karbon nanotüp kompozitler içermeyene nazaran daha iyi termal stabilite, bükülme modülü ve gücü, kırılma dayanıklılığı gibi termomekanik özelliklerin daha iyi olduğu söylenmiştir [185].

Ren-Shen Lee, Wen-Hsin Chen ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada grafting from yöntemiyle halka açılma polimerizasyonu ve klik reaksiyonu ile polimer aşılması yapmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüpler hidroksil grupları ile modifiye edilip ϵ -caprolakton (ϵ -PCL) ve α -cloro- ϵ -caprolakton (P α ClCL) halka açılma polimerizasyonu ile nanotüp yüzeyinde oluşturulmuştur. Sodyum azit ile klor üzerinden azitine dönüştürülerek sonrasına uç alkinlerin çeşitli türleri ile bakır katalizörlüğünde siklo katılma vererek klik reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşturulmuş yapılar FT-IR, TGA,

NMR, XPS ile karakterize edilip HR-TEM yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu ile görüntüleri alınmış ve polimer yapısını nano tüp içine başarı ile dağıtıldığını söylemişlerdir. MWNT-g-PCL ve MWNT-g-Pa_{N3}CL-g- alkin, kloroform ve THF gibi organik çözücülerde kolayca çözündüğünü söylemişlerdir. MWNT-g-PCL için MWNT'nin ortalama kalınlığını yaklaşık 8-10 nm, MWNT-g-Pa_{N3}CL-g- PBA için 3 nm olarak belirlemişlerdir [186].

Fan-Long Jin, Kyong Yop Rhee ve arkadaşları 2011 yılında karbon nanotüpü kovalent fonksiyonelleştirerek yüzeyde halka açma polimerizasyonu ile epoksidin halkasını açmışlardır. Bunu 60,70, 80 °C için ayrı ayrı yapmışlardır. FT-IR ile karbon nanotüpün yan duvarlarına bağlı polieter ve epoksit gruplarını göstermişlerdir. TGA sonuçlarından polieterin karbon nanotüp (CNT) yüzeyinde büyüdüğünü, polieterin ağırlık başına % 14-74(W) arasında aşıldığı söylenmiştir. Asitle muamele edilmiş karbon nanotüp (a-CNT) ve F70-CNT nin elementel kompozisyonunun ise O/C oranının % 5,1 den % 29,8 e önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir [187,188].

Bing Du, Ulrich A. Handge ve arkadaşları 2013 yılında ATRP yoluyla metil metakrilat ve stirenden oluşturulan (PMMA-*ko*-St) ile MWNT'yi fonksiyonelleştirip, SAN/PPE (polisitiren-*ko*-akrilonitril/poli 2,6- dimetil-1,4-fenileneter) blendini ve kompozitin dielektrik ve reolojik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. PMMA-*ko*-St kopolimerlerini ATRP ile MWNT üzerine aşılamışlardır. Kopolimerin moleküler ağırlığı reaksiyon zamanı ile kontrol edilmiştir. Düşük molekül ağırlıklı kopolimer ile aşılı MWNT, SAN/PPE blendin ara yüzeyine keskin olarak yerleştirilmiş ve PPE fazda birkaç tüp dağıtılmıştır. Aşılı kopolimerin miselleşmesi yüzünden ara yüzey yakınında MWNT'nin topaklandığı görülmüştür. Topaklanma PMMA-*ko*-St kopolimerinin molekül ağırlığının artması ile daha belirgin hale geldiği söylenmiştir. Eriyikte düşük molekül ağırlıklı kopolimer ile MWNT içerikli kompozitin dinamik modülün saf MWNT ile olan kompozitten daha büyük olduğunu söylemişlerdir. Graft kopolimerin molekül ağırlığının artması kompozit modülün azalmasında bir etki olduğunu göstermişlerdir. SAN/PPE blendinin kompleks viskozitesi saf MWNT varlığında olağanüstü artmıştır. Bu değerler düşük molekül ağırlıklı PMMA-*ko*-St ile MWNT fonksiyonelleştiği zaman karbon nanotüp-karbon nanotüp birbirini etkilediği gibi MWNT ara yüzeyinde etkileşim iyileştirildiğinde artar. Dielektrik ölçüm sonuçlarından ise kompozitlerin saf MWNT'nin düşük bir miktar (%1 w) ilavesinde bile iletkenliğinin büyük ölçüde gelişim gösterdiği bulunmasına rağmen fonksiyonelleşmiş MWNT ile SAN/PPE kompozitinde küçük artışlar

elde edilmiştir. Nanotüp ve PPE fazında oluşan tamamlanmamış iletken ağ düşük iletkenliğin sebebi olarak gösterilmiştir [189].

T.-E. Chang ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada stiren ve SWNT'nin çeşitli konsatrasyonlarıyla hazırlanmış PSt/SWNT nanokompozitin yapısı, morfolojisi, mekanik ve elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Raman spektroskopisi ve elektron mikroskopu kullanarak ilk termal tavlı SWNT'nin PSt'deki dağılımını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermişlerdir. Tavlama 350 derecede 4 saat kum banyosunda SWNT bekletilerek hazırlanmış. Dielektrik ölçümlerinden saf PSt/SWNT kompozitine oranla tavlandırılmış olan PSt/SWNT kompozitinin daha düşük geçirgenlik eşiğinde (% 0,3 den daha az,w) elektrik iletkenliğinin yüksek olduğunu söylemişlerdir. Tavlandırılmış olan SWNT'nin PSt içinde mekanik modülünü hafif arttırdığını bulmuşlardır [190].

Mei Yang ve arkadaşları 2007 yılında MWNT'nin poliamit-6 ile kovalent fonksiyonelleştirmesini ϵ -kaprolaktamın halka açılma polimerizasyonu ile sodyum kaprolaktamat katalizörlüğünde gerçekleştirmişlerdir. Hazır alınmış hidroksil gruplu MWNT-OH'ın doğrudan reaksiyonuyla öncelikle izosiyanat fonksiyonelli MWNT oluşturulmuştur. Devamında ϵ -kaprolaktam ile fonksiyonelleştirilme gerçekleştirilip, Na ve ϵ -kaprolaktam ile halka açılma polimerizasyonu ile poliamit-6 fonksiyonelli şekline dönüştürülmüştür. Anyonik halka açma polimerizasyonu 6 saat ve 170 °C de gerçekleştirilmiştir. FT-IR spektroskopisi ile başlangıçta ve izosiyonatın bitimindeki MWNT takibi yapılmıştır. Termogravimetrik analiz ile son ürününün % 40-65 polimer ağırlığına sahip olduğunu ve elektron mikroskop görüntülerinden de polimer tapakalarının MWNT yüzeyinde homojen olarak nispeten dağıldığını poliamit-6'nın yapısına MWNT'nin başarıyla sokulduğunu göstermişlerdir [62].

Tzong-Ming Wu ve arkadaşlarının 2005 yılındaki çalışmalarında karboksilik asit içeren MWNT (c-MWNT) ile doplanmış polianilin tuz formunun (PANI-ES) sentezini tanımlamışlardır. FT-IR ve Raman spektroskopisi ile MWNT'nin uç ve yan duvarlarındaki COOH grubunu gösterdiler. MWNT ve anilin monomeri arasındaki π - π^* elektron etkileşimi ve c-MWNT'nin asit grupları ile anilin monomerinin amino grupları arasındaki hidrojen bağlarına bağlı olarak MWNT yüzeyinde anilin moleküllerinin absorplanması ve polimerizasyonunu gerçekleştirdiler. Yapı analizleri FESEM ve HRTEM ile yapıldı. PANI-ES/c-MWNT kompozit iletkenliğini MWNT ihtiva etmeyen PANI'ya nazaran % 50-70 oranında artırdığını buldular [191].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Cihazlar

- Tartımlar için elektronik terazi: Chyo J.L. 180 model
- ^1H -NMR spektrumlarının alınması için AVENCE III Bruker marka 400 MHz ^1H ve 100 MHz ^{13}C -NMR spektroskopisi
- FT-IR spektrumları için Perkin Elmer Spectrum One FT-IR spektrometresi
- Polimerlerin DSC ölçümleri için SHIMADZU marka DSC-50 ünitesi
- Polimerlerin TGA eğrileri için SHIMADZU marka TGA-50 termobalans
- Polimerlerin ortalama molekül ağırlıklarının tayini için Agilent 1100 series, Gel Permeation Chromatography (GPC) cihazı
- Yapıların SEM görüntüleri için JEOL markaJSM-700IF Taramalı Elektron Mikroskopi Cihazı
- Kurutma işlemleri için Elektro-Mag M50 model etüv
- Karıştırma işlemi için Benchmark H4000-HSE marka magnetik karıştırıcı/ısıtıcı
- Homojenliğin sağlanması için Everest Cleanex 411 model ultrasonik banyo
- Polimerizasyon için yağ banyosu, sıvı yağ (silikon veya motor yağı) ve termostat
- Cam malzeme olarak; değişik ebatlardaki polimerizasyon tüpleri, termometre, havan, mezür, huni, erlen, beher, baget, pipet, piset, damlalık, petri kabı, süzgeç kağıdı ve küçük numune şişeleri

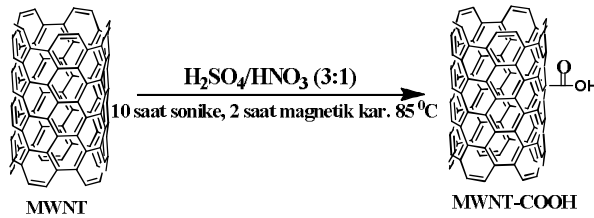
2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

- Çok Duvarlı Karbon Nanotüp: Grafen Kimya Sanayi Şti.'den hazır temin edildi. Ortalama Çapı: 9,5 nm, uzunluğu: $>1,5\mu$, saflığı: $> \%90$
- Monomerler: Glisidil metakrilat ve stiren (bütün monomerler Merck olup stiren $\%5$ 'lik NaOH çözeltisiyle, GMA ise (Al_2O_3) ile yıkanıp vakum altında damıtılarak kullanıldı.
- Kurutucular: Susuz magnezyum sülfat (MgSO_4), metalik sodyum (Na), susuz aliminyum oksit (Al_2O_3)

- Çözücüler: 1,4-dioksan, tetrahidrofuran, etil alkol, kloroform, diklorometan, toluen ve NMR spektrumları için döterolanmış kloroform (d-kloroform), DMSO, d_6 -DMSO)
- Çözücülerden THF(susuz) hazırlanırken normal THF içine NaOH atılıp bir gece bekletildi, süzülüp içine metalik Na atılarak bir gece daha bekletildi ve Na üzerinden damıtılarak kullanıldı.
- Katalizör sistem: CuBr ve 2,2'-bipiridin, Sn(Oct)₂, AIBN
- İnert gaz: Argon gazı, azot gazı
- Durdurucu: Hidrokinon
- Çöktürücüler: n-hekzan, etil alkol,

2.3. MWNT-COOH Sentezi

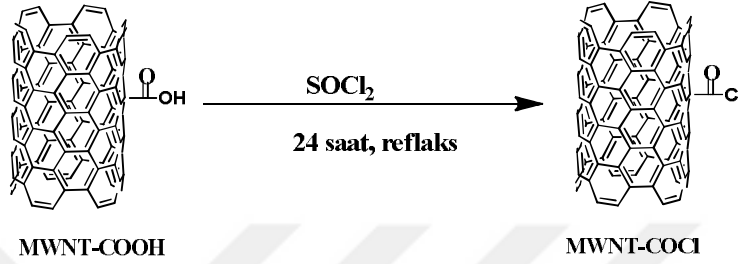
Çok duvarlı karbon nanotüpün karboksilleme işlemi literatürde [192] verilen prosedüre uygun şekilde gerçekleştirildi. Bunun için 2 gr MWNT alınarak 250 ml'lik bir reaksiyon balonuna konuldu. Üzerine 40 mL ($H_2SO_4:HNO_3 = 3:1$ oranında olacak şekilde % 96'lık H_2SO_4 ve % 65'lik HNO_3) asit karışımı yavaş yavaş eklendi. Ultrasonik banyoda 20 dk oda sıcaklığında karıştırıldıktan sonra 10 saat $85^\circ C$ 'de ultrasonik banyoda geri soğutucu altında karıştırıldı. Aynı karışım ayrıca $85^\circ C$ 'de 2 saat geri soğutucu altında magnetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Karışım oda sıcaklığına soğutuldu. Asite eşdeğer NaOH ile nötürleştirildikten sonra süzülerek süzgeç kağıdında kalan kısım birçok kez saf su ile yıkanıp pH kontrolü yapıldı. Böylelikle MWNT yapısı fonksiyonelleştirilerek yapıya karboksil grupları sokulmuş oldu. Elde edilen katı (MWNT-COOH) vakumlu etüvde 24 saat kurutuldu. MWNT-COOH 'un sentez reaksiyonu Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. MWNT-COOH sentez reaksiyonu

2.4. MWNT-COCl' nin Sentezi

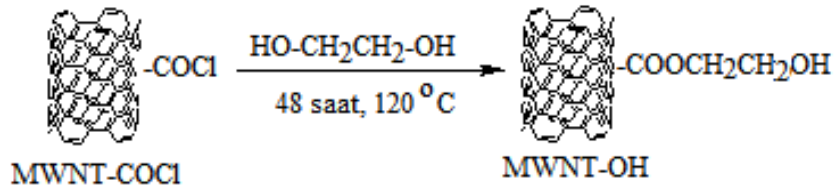
MWNT-COCl'yi sentezlemek amacıyla 100 mL'lik reaksiyon balonuna 0,3 g MWNT-COOH konulup üzerine 10 mL SOCl_2 eklenerek argon gazı geçirildi. Geri soğutucu altında 24 saat $72-75^\circ\text{C}$ 'de reflaks edildi. Reaksiyon bitiminde katı süzülerek üç kez mutlak THF ile yıkandı. Elde edilen katı vakum altında 40°C 'de bir gece kurutuldu. MWNT-COCl reaksiyonu Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. MWNT-COCl sentez reaksiyonu

2.5. MWNT-OH'ın Sentezi

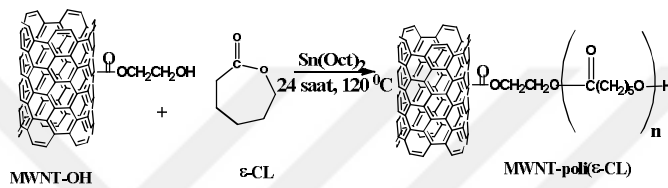
0,2 g MWNT-COCl reaksiyon balonuna alınarak üzerine 5 mL etilen glikol ilave edildi. Balonun ağzına geri soğutucu takılarak yağ banyosunda 120°C de manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak 48 saat reflaks edildi. 48 saatın sonunda reaksiyon içeriği oda sıcaklığına soğutuldu ve MWNT-OH süzülerek ayrıldı ve birkaç kez mutlak THF ile yıkandı. Daha sonra vakum altında 50°C 'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu. Oluşum reaksiyonu Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. MWNT-OH'ın sentez reaksiyonu

2.6. MWNT-poli(ϵ -CL) Sentezi

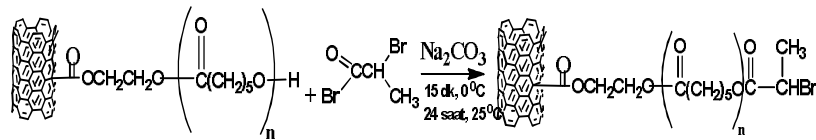
MWCNT-OH, kalay (II) oktat, ($\text{Sn}(\text{Oct})_2$), katalizörlüğünde ϵ -kaprolaktonun(CL) halka açılması polimerizasyonunda başlatıcı olarak kullanıldı. Reaksiyon balonuna 0,1 g MWCNT-OH, 0,55 g CL ve çözücü olarakda yaklaşık 10 mL toluen eklendi. 1-2 damla $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ ilave edildi. Reaksiyon ortamının inert olması için argon gazı geçirildi. Yağ banyosunda 120°C 'de 24 saat reaksiyona devam edildi. Reaksiyon sonunda ortamdaki katı süzülerek ayrıldı. Polimer, n-hekzanda çöktürülerek vakum altında 45°C 'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu. Oluşum reaksiyonu Şekil 2.4' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. MWNT-poli(ϵ -CL)sentez reaksiyonu

2.7. MWNT-poli(ϵ -CL) ve Brompropiyonil Bromür ile MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşlatıcının Hazırlanması

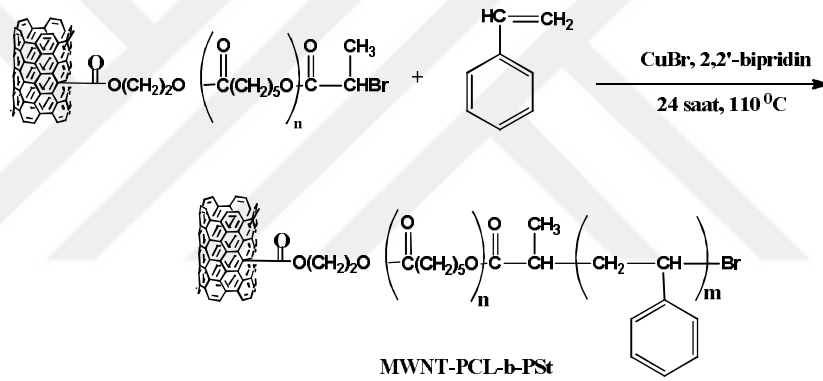
Bunun için 0,07 g MWNT-poli(ϵ -CL), 10 mL mutlak THF, 0,25 g sodyum karbonat (Na_2CO_3), reaksiyon balonuna konuldu. Buz banyosu hazırlanarak balon banyoya yerleştirildi ve sıcaklık $0-5^\circ\text{C}$ olunca 0,5 g α -brompropiyonil bromür reaksiyon balonuna karıştırılarak damla damla eklendi. Damlatma işlemi tamamlanınca buz banyosu kaldırılarak oda sıcaklığında 24 saat reaksiyona devam edildi. Bu sürenin sonunda oluşan tuz süzülerek ayrıldı ve alttaki karışım n-hekzana damlatılarak çöktürüldü. Süzülen polimer, vakum altında 40°C 'de 24 saat kurutuldu. Makrobaşlatıcının oluşum reaksiyonu Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. MWNT- poli(ϵ -CL) –Br makrobaşlatıcı sentez reaksiyonu

2.8. MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşlatıcı ile Stirenin ATRP Yoluyla Polimerleştirilmesi

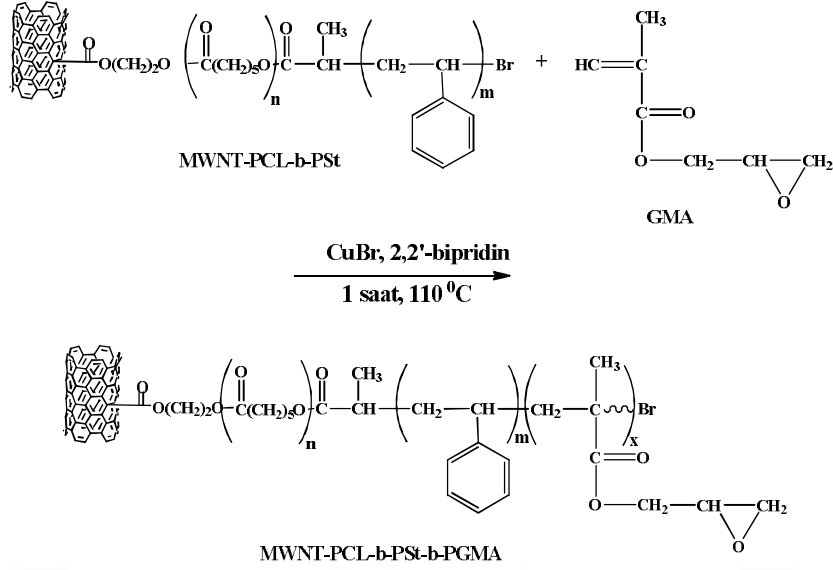
Sentezlenen makrobaşlatıcı MWNT-poli(ϵ -CL)-Br, bu basamakta ATRP başlatıcısı olarak kullanılıp çok duvarlı karbon nanotüp- ϵ -kaprolakton-stiren (MWNT-PCL-*b*-PSt) diblok kopolimeri hazırlandı. Öncelikle 0.0068 g bakır bromür (CuBr), 0,0149 g 2,2'-bipiridin diklor metanda çözölerek kompleks oluşturuldu. 0,02 g MWNT-P(ϵ -CL)-Br makrobaşlatıcı ve monomer olarak da 0,5 g stiren polimerizasyon tüpüne eklendi, argon gazı geçirilerek yağ banyosunda 110 °C'de 24 saat polimerleştirildi. Kıvamlı polimer diklormetanla seyreltilerek, 1-2 damla hidroklorikasit (HCl) damlatılmış etil alkolde çöktürölü. Polimer, vakum altında 40 °C'de 24 saat kadar kurutuldu. Polimerin oluşum reaksiyonu şekil 2.6'da gösterildi.



şekil 2.6. MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerinin sentez reaksiyonu

2.9. MWNT-PCL-*b*-PSt Diblok Kopolimerinin ATRP Makrobaşlatıcısı Olarak Kullanılıp Glisidilmetakrilat ile Triblok Kopolimer Sentezi

0,03 g CuBr, 0,065 g 2,2 bipiridin polimer tüpüne konularak az miktar diklor metanda çözölü. 0,06 g MWNT-PCL-*b*-PSt makrobaşlatıcı ve 3 g glisidil metakrilat eklenip argon gazı geçirildi. Yağ banyosunda 110 °C'de yaklaşık 1 saat polimerleştirildi. Kıvamlı polimer diklormetanda seyreltilerek, HCl damlatılmış etil alkolde çöktürölü. Triblok kopolimer vakum altında 45 °C'de 24 saat kurutuldu. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA 'nın sentez reaksiyonu şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerinin sentez reaksiyonu

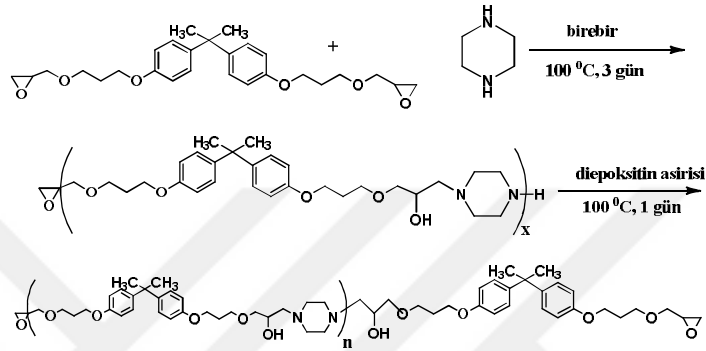
2.10. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA Triblok Kopolimeri ile % 1, % 3, % 5, % 7 Oranında (ağırlıkça) MWNT-COOH İçeren Nanokompozitlerin Hazırlanması

0,495 g triblok kopolimer, MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA, reaksiyon balonuna konulup 8 mL kloroform eklenerek çözüldü. Kompozit karışımının ağırlıkça % 1 oranında 0,005 g MWNT-COOH tartılarak aynı balona konuldu. Ultrasonik banyoya alınarak 20 dk oda sıcaklığında, 3,5 saat de tamamen homojen olana kadar geri soğutucu altında reflaks edilerek karıştırıldı. Ultrasonik banyodan alınan reaksiyon karışımının 5 saat de magnetik karıştırıcıyla yağ banyosunda yine reflaks edilerek karıştırılması sağlandı. Bu işlemin sonunda reaksiyon içeriği oda sıcaklığına soğutuldu. Alkolde çöktürüldü, süzülerek vakum altında 50 °C’de 24 saat kurutuldu. Aynı işlemler MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimeri ile, % 3 MWNT-COOH (0,015 g), % 5 MWNT-COOH (0,025 g) ve % 7 MWNT-COOH (0,035) olacak şekilde tekrarlandı.

2.11. Bisfenol A Propaksilat Diglisidil Eter ve Piperazinden Kopolimer [Poli(BAPDE-ko-P)] Sentezi

Bisfenol A propaksilat diglisidil eter ve piperazin mol olarak birebir olacak şekilde reaksiyona sokuldu. Bunun için 3,085 g bisfenol A propaksilat diglisidil eter tartılarak reaksiyon balonuna konuldu, 5 mL 1,4-dioksan eklenerek çözüldü. Aynı bir yerde 0,5820 g piperazin yine 1,4-dioksanda çözülerek reaksiyon balonuna eklendi azot gazı geçirilip

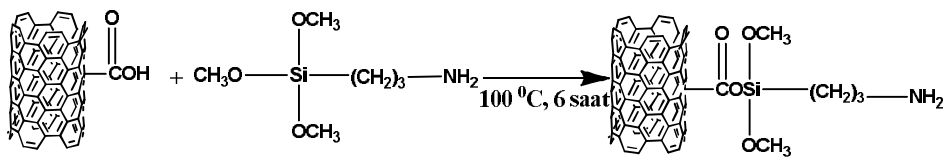
ultrasonik banyoda iyice çözünüp karıştırılması sağlandı. Sonra reaksiyon magnetik karıştırıcıya alınarak 3 gün 100 °C’de reflaks edildi. Üç günün sonunda reaksiyon ortamına Bisfenol A propaksilat diglisidil eterin aşırısı (0,55 g) ve 2 mL dioksan eklenip azot gazı geçirildi bu haliyle reaksiyona 100 °C’de 24 saat daha devam edildi. Sürenin bitiminde kopolimer oda sıcaklığına soğutularak metanol-su karışımına damla damla ilave edilip çöktürüldü [193]. Süzülerek vakum altında 50 °C’de 24 saat kurutuldu. Polimerin oluşum reaksiyonu Şekil 2.8’de gösterildi.



Şekil 2.8. Poli(BAPDE-ko-P) kopolimer sentezi

2.12. MWNT-COOH ve 3-amino propiltrimetoksi Silan (APTS) Kullanılarak MWNT-Si-NH₂’nin Sentezlenmesi

Reaksiyon balonuna 0,5 g MWNT-COOH ve 40 mL toluen konularak ultrasonik banyoda 15 dk karıştırıldı. MWNT-COOH’ın aşırısı (10 kat) 5 g 3-amino propiltrimetoksi silan, (CH₃O)₃Si-CH₂CH₂CH₂-NH₂, eklendi. APTS’nin ağırlıkça % 1’ i 0,05 g hidrokinon eklendi, azot gazı geçirilerek 100°C’de 6 saat reflaks edildi. Reaksiyon bitiminde oda sıcaklığına soğutulmuş olan MWNT-Si-NH₂ süzüldü. Süzgeç kağıdında üstte kalan kısım birkaç kez etil alkol ile yıkanarak vakum altında 50 °C’de 24 saat kurutuldu [194]. Karboksil ucu aminlenmiş olan çok duvarlı karbon nanotüpün oluşum reaksiyonu Şekil 2.9’da gösterildi.



Şekil 2.9. MWNT-Si-NH₂ sentez reaksiyonu

2.13. Poli(BAPDE-ko-P) Kopolimeri ile MWNT-COOH ve MWNT-Si-NH₂ Karışım Oranı Toplamda %2, %5, %10, %15 ve %20 Olacak Şekilde Oluşturulan Nanokompozitlerin Hazırlanması

Bisfenol A propaksilat diglisidil eter ve piperazinden sentezlenmiş olan kopolimerden poli(BAPDE-ko-P) 0,45 g alınarak reaksiyon balonuna konuldu ve 5 mL dioksan eklenerek çözünmesi sağlandı. Kompozit karışımının ağırlıkça % 5'i MWNT-COOH (0,025 g) ve yine ağırlıkça % 5 'i (MWNT-Si-NH₂) (0,025 g) olacak şekilde toplamda % 10[MWNT-COOH + MWNT-Si-NH₂] (0.05 g) olan karışım aynı balona eklendi ve ultrasonik banyoda 3 saat karıştırıldı. Oradan alınarak 1 saat de magnetik karıştırıcıda 80°C'de karıştırılan karışım oda sıcaklığına soğutulup damla damla suya ilave edilerek çöktürüldü. Kompozit çökelek vakum altında 40 °C'de 24 saat kurutuldu. Aynı işlemler [MWNT-COOH+ MWNT-Si-NH₂] miktarı toplamda % 2, % 5, %15 ve % 20 olacak şekilde beş farklı oranda nanokompozit oluşturuldu. Nanokompozit karışımının oluşum şartları Tablo 2.1.'de verildi.

Tablo 2.1. Poli(BAPDE-ko-P)/[MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂]nanokompozit oluşturma şartları*

Poli(BAPDE-ko-P) (g)	MWNT-COOH (g)	MWNT-Si-NH ₂ (g)	MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂ % (toplam)
0.490	0.005	0.005	2
0.475	0.0125	0.0125	5
0.450	0.025	0.025	10
0.425	0.0375	0.0375	15
0.400	0.05	0.05	20

*Sıcaklık: 80°C, Süre: 3 saat sonike, 1 saat normal karıştırma,

Çözücü/Çöktürücü : 1,4-dioksan/H₂O

2.14. Glisidil Metakrilat ve Stirenin Serbest Radikalik Yolla Kopolimerleştirilmesi

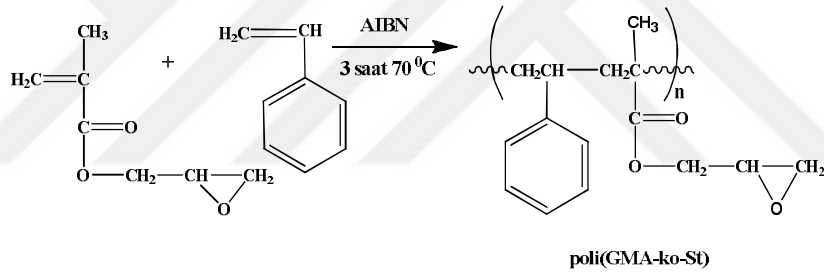
Polimerizasyon balonunun içine 4 g (38.5 mmol) stiren (St), 0,287 g (2 mmol) glisidil metakrilat (GMA) tartılarak konuldu. Çözücü olarak 4mL diklor metan eklenerek çözünmeleri sağlandı. Balonun içine katalizör olarak 0,066 g AIBN [2,2'-Azobis(2-metillpropionitril)]eklenip, argon gazı geçirildi. Polimer balonunun ağzı kapatılarak 70 °C' ye ayarlanmış yağ banyosuna bırakıldı. Üç saat sonra kıvamlaşan kopolimer yağ banyosundan çıkarılarak soğutuldu. Vizkozitesini azaltmak için diklor metan ilave edildi. Damla damla etil alkol içinde çöktürüldü. Kopolimer, vakum altında 45°C'de 24 saat

kurutuldu. GMA ve stirenin kopolimerleşme reaksiyonu Şekil 2.10'da gösterildi. Aynı kopolimerleşme reaksiyonu Tablo 2.2. de gösterildiği gibi GMA ve stirenin farklı oranları içinde gerçekleştirildi.

Tablo 2.2. Poli(GMA-*ko*-St) serbest radikalik yolla polimerleştirme şartları*

Kopolimer	Monomer karışımında GMA (% mol)	GMA(g)	St(g)	AIBN (g)	Kopolimerdeki GMA (¹ H-NMR den bulunan, %mol)
poli(GMA- <i>ko</i> -St)	5	0.2870	4	0,066	6.5
poli(GMA- <i>ko</i> -St)	10	0.6074	4	0.070	13.0
poli(GMA- <i>ko</i> -St)	20	1.3667	4	0.078	21.0
poli(GMA- <i>ko</i> -St)	25	1.8223	4	0.084	28.0

*Süre 3 saat, 70 °C de, Çöktürücü : Etanol

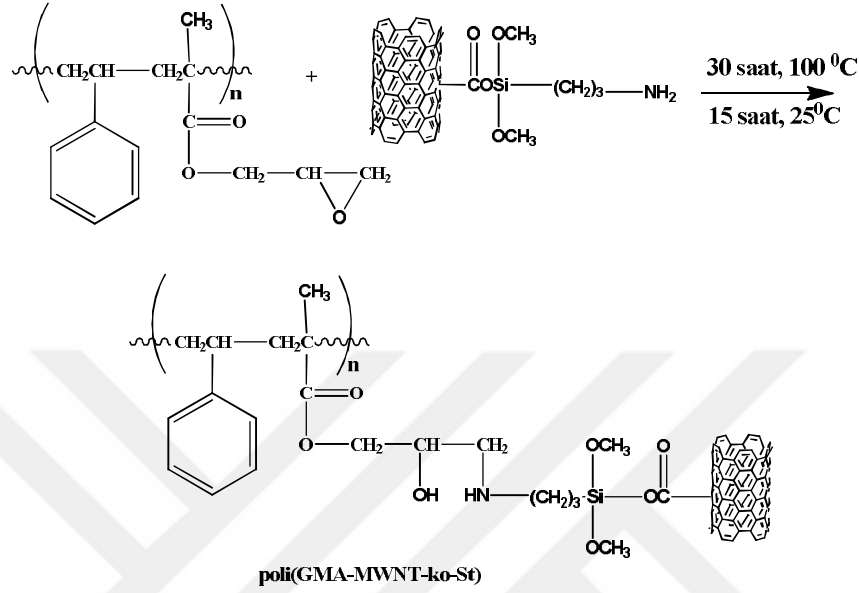


Şekil 2.10. GMA ve stirenin serbest radikalik yolla kopolimerleşme reaksiyonu

2.15. Poli(GMA-*ko*-St) Polimerinin, MWNT-Si-NH₂ Kullanılarak Halka Açma Reaksiyonu

Bunun için reaksiyon balonuna 0,29 g poli(GMA-*ko*-St) alınarak 10 mL dioksanda çözüldü. Aynı reaksiyon balonuna 0,5 g MWNT-Si-NH₂ konularak argon gazı geçirildi. Ultrasonik banyoda iyice karıştırıldı. Magnetik karıştırıcıya alınarak 100 °C'de 30 saat reflaks edilip, 15 saatde oda şartları olmak üzere toplam 45 saat reaksiyon sürdürüldü. Reaksiyonun bitiminde süzülerek katı kısım birkaç defa dioksanla yıkandı ve süzöntü ile birleştirildi. Süzöntüden çözücü biraz buharlaştırılarak değiştirildi. Etil alkole damla damla ilave edilip polimer çöktürüldü. Epoksit halkası açılmış olan polimer [poli(GMA-MWNT-*ko*-St)] vakum altında 45 °C'de 24 saat kurutuldu. Aynı işlemler Tablo 2.2.'deki şartlara

göre polimerleştirilen, poli(glisidil metakrilat-*ko*-stiren), [poli(GMA-*ko*-St)], polimerleri için de uygulandı. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerinin MWNT-Si-NH₂ kullanılarak halka açma reaksiyonu Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Poli(GMA-MWNT-ko-St) sentezi

2.16. Poli(GMA-*ko*-St) Polimeri ve MWNT-Si-NH₂ ile Nanokompozitlerinin Oluşturulması

Kısım 2.14. de açıklandığı gibi oluşturulan poli(GMA-*ko*-St) polimerleri ile MWNT-Si-NH₂ oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 olan nanokompozitleri hazırlandı. Reaksiyon balonunun içine 0,485 g poli(GMA-*ko*-St) tartılarak konuldu. 5 mL kloroformda çözüldü. Aynı balonun içine 0,015 g (%3) MWNT-Si-NH₂ tartılıp eklendi. Karışım ultrasonik banyoya yerleştirilerek 90 °C’de 2 saat sonike edildi. Magnetik karıştırıcıya alınan reaksiyon balonu 90°C’ ye ayarlı yağ banyosunda 2 saat daha karıştırıldı. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra oda sıcaklığına soğutuldu. Kıvamlaşan nanokompozit/polimer kloroformda seyreltildi. Etil alkol içine damlatılarak çöktürüldü, süzülüp vakum altında 45°C’de 24 saat kurutuldu. Tablo 2.3.’de nanokompozit karışımı oluşturma şartları verilmiştir.

Tablo 2.3. Poli(GMA-ko-St) polimerinin MWNT-Si-NH₂ ile nanokompozit oluşturma şartları*

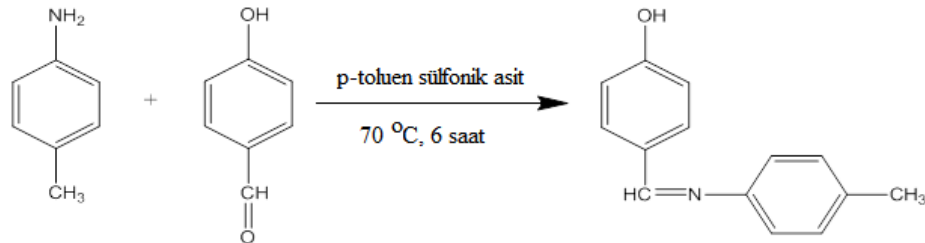
poli(GMA-ko-St) (g)	Kopolimerdeki GMA (% mol)	MWNT-Si-NH ₂ (% ağırlık)	MWNT-Si-NH ₂ (g)
0,485	13	3	0.015
0,475		5	0.025
0,460		8	0.04
0,440		12	0.06
0.485	21	3	0.015
0,475		5	0.025
0,460		8	0.04
0,440		12	0.06
0.485	28	3	0.015
0,475		5	0.025
0,460		8	0.04
0,440		12	0.06

*Sıcaklık: 90 °C, Süre: 2 saat sonike, 2 saat normal karıştırma,

Çözücü/Çöktürücü: 1,4-dioksan/etil alkol

2.17. p-Toluidin ve p-Hidroksibenzaldehit Kullanılarak Schiff Bazı (THB) Sentezi

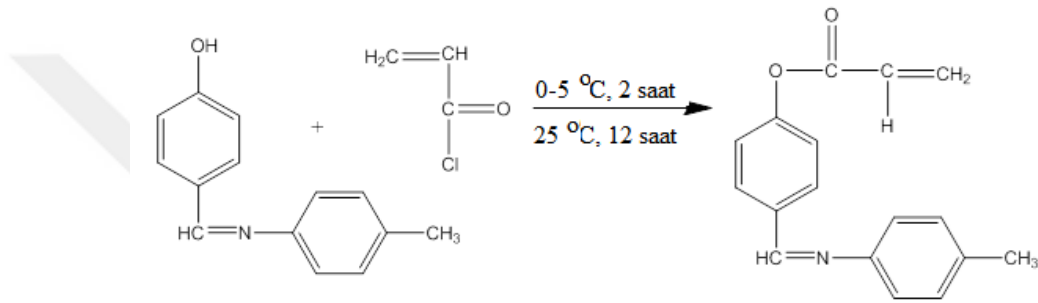
2,14 g (20 mmol) p-toluidin susuz etil alkolde çözülüp reaksiyon balonuna konuldu. Karışıma spatül ucuyla p-toluen sülfonik asit eklendi. Sıcaklık 70 °C ayarlanarak reaksiyon balonu ısıtıldı. Ayrı bir yerde 2,44 g (20 mmol) benzaldehit susuz etil alkolde çözüldü ve damla damla 70 °C' ye ısıtılmış olan karışıma ilave edildi. Reaksiyona 70 °C de, 6 saat süreyle devam edildi. Oda sıcaklığına soğutulup süzülde, çökelek kurutuldu ve etil alkolde kırstallendirildi. Kristallendirilen çökelek vakum altında 40°C de 24 saat kurutuldu. Schiff bazının oluşumu Şekil 2.12'de gösterildi.



Şekil 2.12. THB sentez reaksiyonu

2.18. Schiff Bazı ve Akriloil Klorür ile Schiff Bazı Yan Gruplu Monomer (THB-A) Sentezi

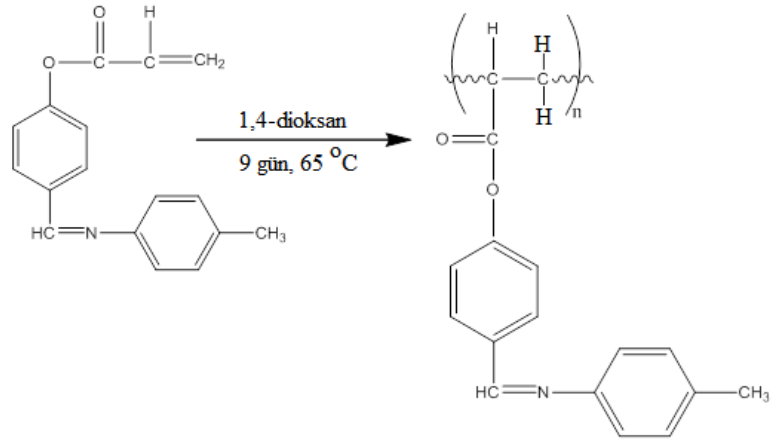
2,9565 g(14 mmol) schiff bazı reaksiyon balonuna konulup susuz THF’ de çözüldü. Buz banyosuna alınarak sıcaklık 0-5 °C’ ye ayarlandı. 1,843 g (18,2 mmol) trietilamin eklendi. Mağnetik karıştırıcıda karıştırılan reaksiyon balonunun içine damla damla 1,6484 g (18,2mmol) akriloilchlorür konuldu. Reaksiyon önce 0-5 °C’ de 2 saat, daha sonra oda sıcaklığında 12 saat devam ettirildi. Reaksiyon balonundaki karışım buzlu suya dökülerek çöktürüldü. Çökelek vakum altında 40°C’de 24 saat kurutuldu. Monomerin oluşum reaksiyonu Şekil 2.13’de gösterildi.



Şekil 2.13. THB-A monomerin sentez reaksiyonu

2.19. Schiff Bazlı Polimerinin [poli(THB-A)] Sentezi

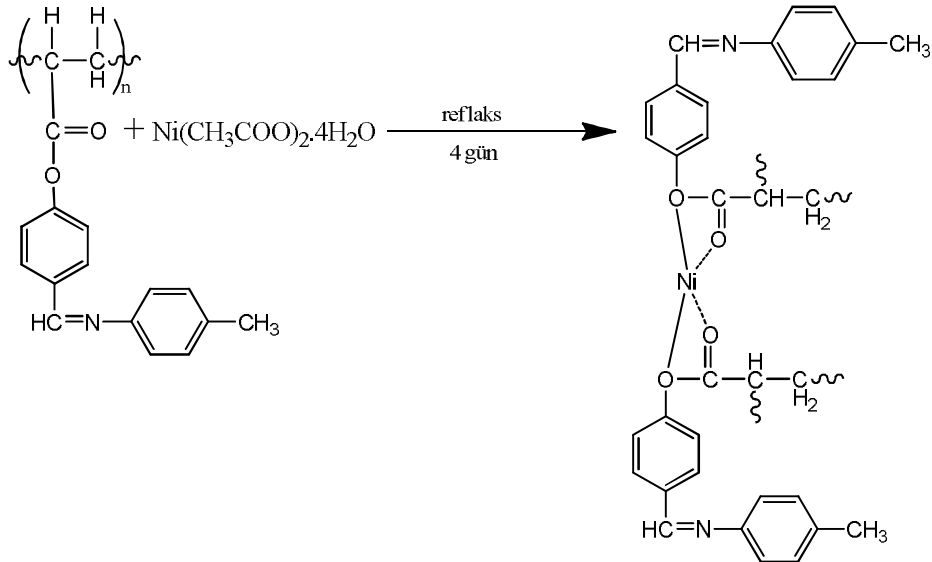
Polimer tüpüne 1 g monomer tartılarak konuldu. 4 mL 1,4-dioksan eklenip çözülmesi sağlandı. 0,01 g AIBN eklenip argon gazı geçirildi. Ağzı kapatılarak 65°C’ye ayarlanmış yağ banyosuna daldırılıp serbest radikalik yolla polimerleştirilme başlatıldı. Dokuz gün sonra kıvamlaşan polimer yağ banyosundan çıkarılıp polimerizasyon sonlandırıldı. Polimer 1,4-dioksan çözücüsüyle seyreltilip, etil alkol içine damlatılarak çöktürüldü. Polimer, vakum altında 45 °C’de 24 saat kurutuldu. Polimerin oluşum reaksiyonu Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Poli(THB-A) sentez reaksiyonu

2.20. Poli(THB-A)Polimerden, [poli(THB-A)-Ni] Nikel Kompleksinin Sentezi

Bir reaksiyon balonu içine schiff bazlı polimer 1,35 g tartılarak konuldu. 50 mL 1,4-dioksan eklenip çözüldü. Ayrı bir yerde 0,63 g nikel asetat tetra hidrat $[\text{Ni}(\text{Ac})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, 7 mL sıcak suda çözülerek balona damla damla eklendi. Dört gün magnetik karıştırıcıda karıştırılarak reflaks edildi. Dördüncü günün sonunda reaksiyon sonlandırılıp oda sıcaklığına soğutuldu. Süzülerek üstteki kısım vakum altında 40°C 'de 24 saat kurutuldu. Metal kompleksinin oluşum reaksiyonu Şekil 2.15'de gösterildi.



Şekil 2.15. Poli(THB-A)-Ni sentez reaksiyonu

2.21. Poli(THB-A) Polimeri, Poli(THB-A)-Ni Kompleksi ve MWNT-Si-NH₂ ile Poli(THB-A)/Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Oluşturulması

Diğer nanokompozit hazırlama yöntemlerinden farklı olarak havanın içine 0.1693 g schiff bazlı polimer konuldu. 0,5 mL diklor metan ile çözüldü. Aynı havana 0.0400 g polimerin nikel kompleksi eklendi. Polimer ile nikel kompleksi karışımına ağırlıkça % 2 olacak şekilde 0,0042 g MWNT-Si-NH₂ aynı havana eklenerek ve iyice ezilerek karıştırıldı, homojen şekilde dağılması sağlandı. Polimer/polimer-nikel kompleksi/ MWNT-Si-NH₂ nanokompozit karışımı vakum altında 45°C’de 24 saat kurutuldu. Benzer işlemler, MWNT-Si-NH₂ oranı % 8 ve % 15 olacak şekilde tekrarlanarak diğer kompozitler Tablo 2.4.’de verildiği gibi hazırlandı.

Tablo 2.4. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve MWNT-Si-NH₂ ile nanokompozit oluşturma şartları

Polimer / Polimer Ni Kompleksi Toplam (g)	MWNT-Si-NH ₂ (g)	MWNT-Si-NH ₂ (% ağırlıkça)
0.205	0.0042	2
0,193	0,0167	8
0,178	0.0313	15

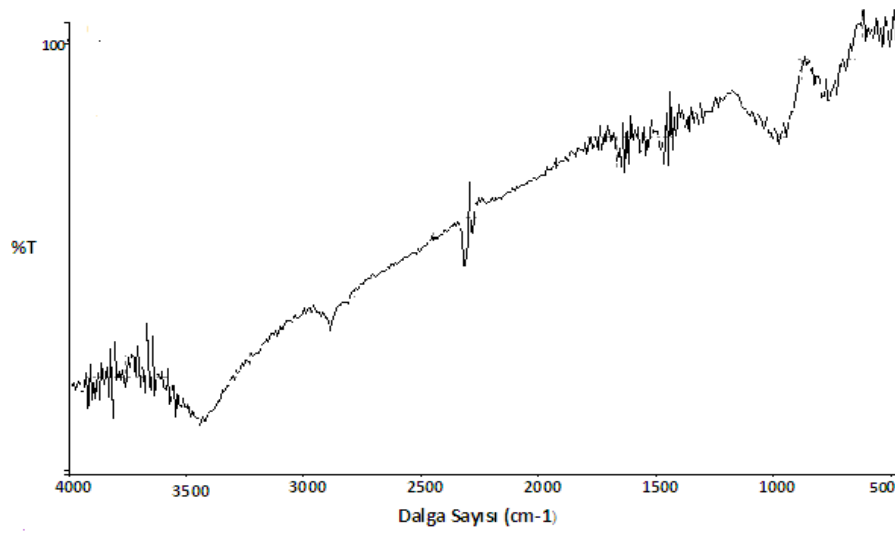
2.22. Schiff Bazı, Schiff Bazı Monomeri, Schiff Bazı Polimeri ve Schiff Bazı Nikel Kompleksi Atıklarının Eldesi

Bu amaçla alınan belirli miktarlardaki schiff bazı, schiff bazı monomeri, schiff bazı polimeri ve schiff bazı nikel kompleksinin örnekleri azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 395 °C’ye kadar TGA cihazında ısıtılıp atıkları alındı.

3. BULGULAR

3.1. Çıkış Maddesi Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWNT) Karakterizasyonu

Satın alınarak reaksiyonlarda kullanılacak olan saf MWNT bileşiğinin FT-IR spektrumu Şekil 3.1 ve değerlendirmesi Tablo 3.1’de verildi.



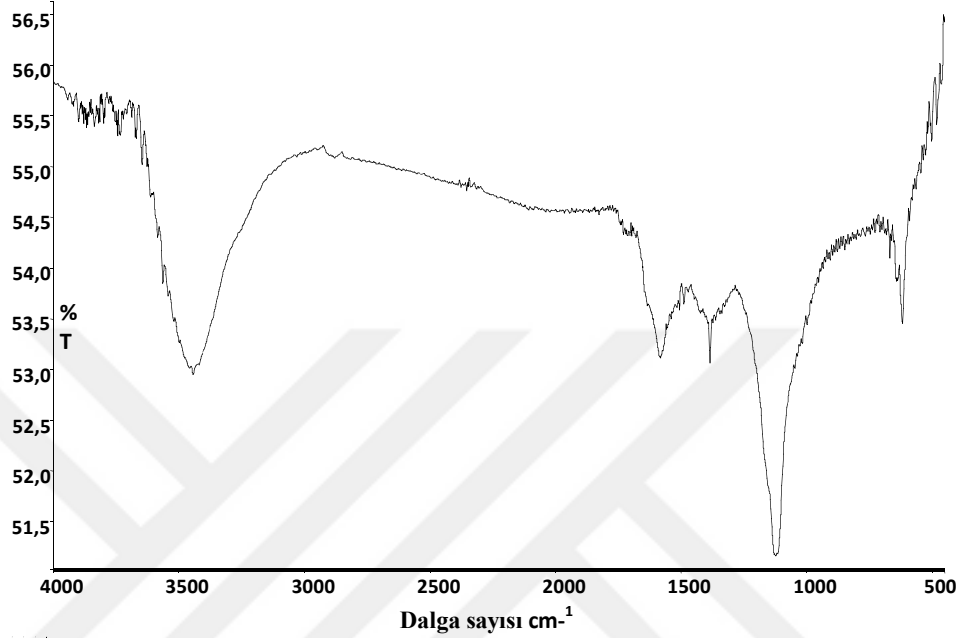
Şekil 3.1. MWNT’nin FT-IR spektrumu

Tablo 3.1. MWNT’nin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
3400	O-H gerilmesi
2850	Alifatik C-H gerilmesi
1600	O-H eğilmesi
1000	C-O gerilmesi

3.2. MWNT-COOH Bileşiminin Karakterizasyonu

Asitlenerek fonksiyonelleştirilmiş olan çok duvarlı karbon nanotüpün (MWNT-COOH) FT-IR spektrumu Şekil 3.2 ve değerlendirmesi Tablo 3.2’de verildi.



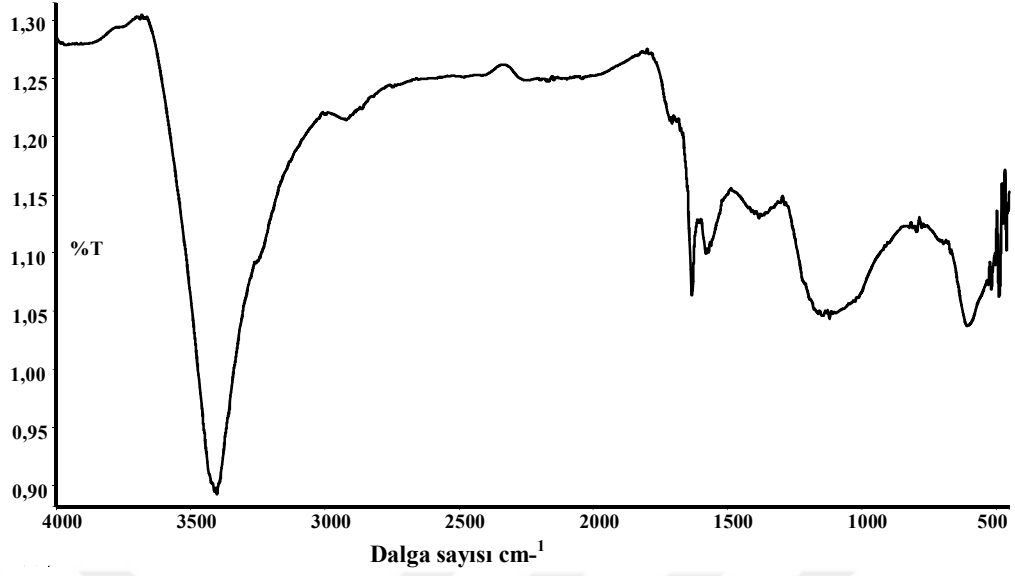
Şekil 3.2. MWNT-COOH’ın FT-IR spektrumu

Tablo 3.2. MWNT-COOH’ın FT-IR spektrum değerlendirmesi

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
3445	-OH gerilmesi
1718	C=O gerilme
1580	C=C gerilmesi (nanotüp kısmındaki)
1128	C-O gerilme

3.3. MWNT-COCl Bileşiminin Karakterizasyonu

MWNT-COOH bileşiminin tiyoni klorürle oluşturulan MWNT-COCl bileşiminin FT-IR spektrumu Şekil 3.3 ve değerlendirmesi Tablo 3.3’de verildi.



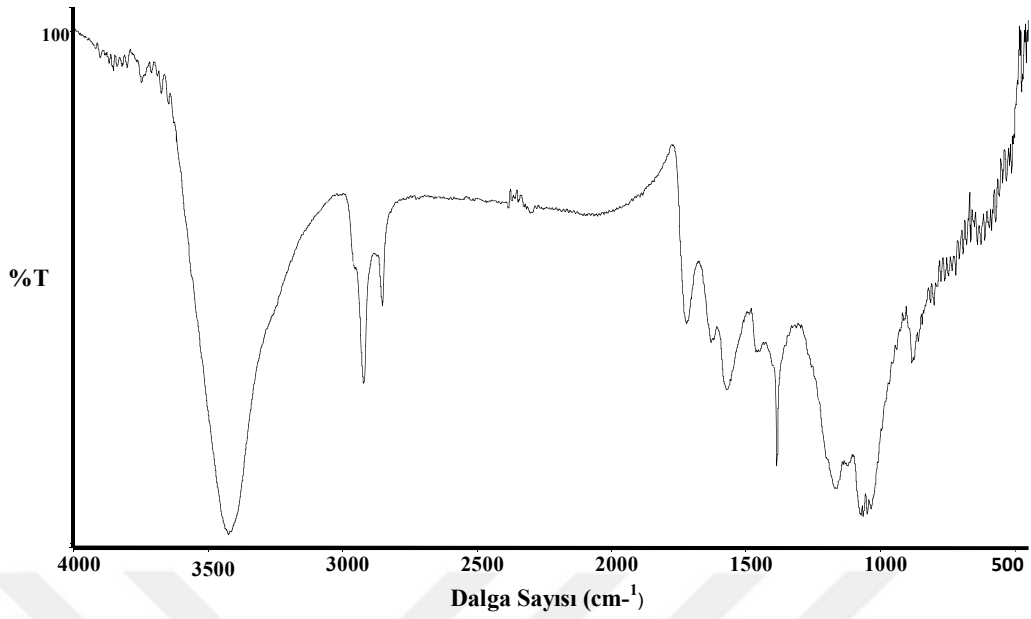
Şekil 3.3. MWNT-COCl'nin FT-IR spektrumu

Tablo 3.3. MWNT-COCl'nin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
1728	C=O gerilme
1632 ;1580	C=C gerilmesi konjuge ve konjuge olmayan (nanotüp kısmındaki)
1117	C-O gerilme
603	C-Cl

3.4. MWNT-OH Bileşiğinin Karakterizasyonu

MWNT-COCl bileşiğinin etilen glikol reaksiyonundan elde edilmiş olan MWNT-OH'ın FT-IR spektrumu Şekil 3.4 ve değerlendirmesi Tablo 3.4'de verildi.



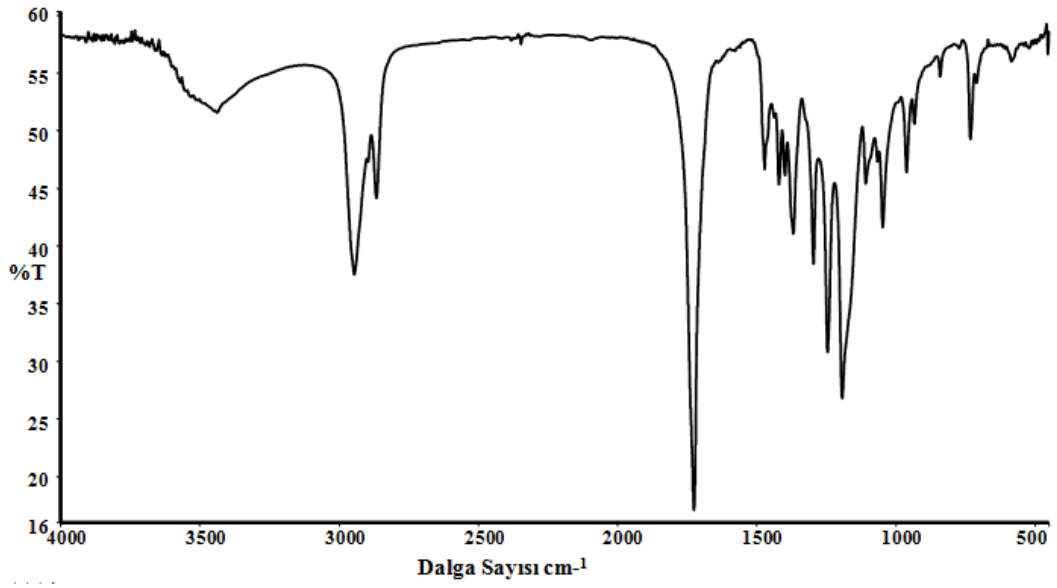
Şekil 3.4. MWNT-OH'ın FT-IR spektrumu

Tablo 3.4. MWNT-OH'ın FT-IR spektrum değerlendirmesi

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
3423	O-H gerilmesi
2922 ;2853	Alifatik C-H gerilmesi
1722	C=O gerilme
1169	C-O-C asimetrik gerilmesi
1050	C-O-C simetrik gerilmesi

3.5. MWNT-poli(ε-CL) Karakterizasyonu

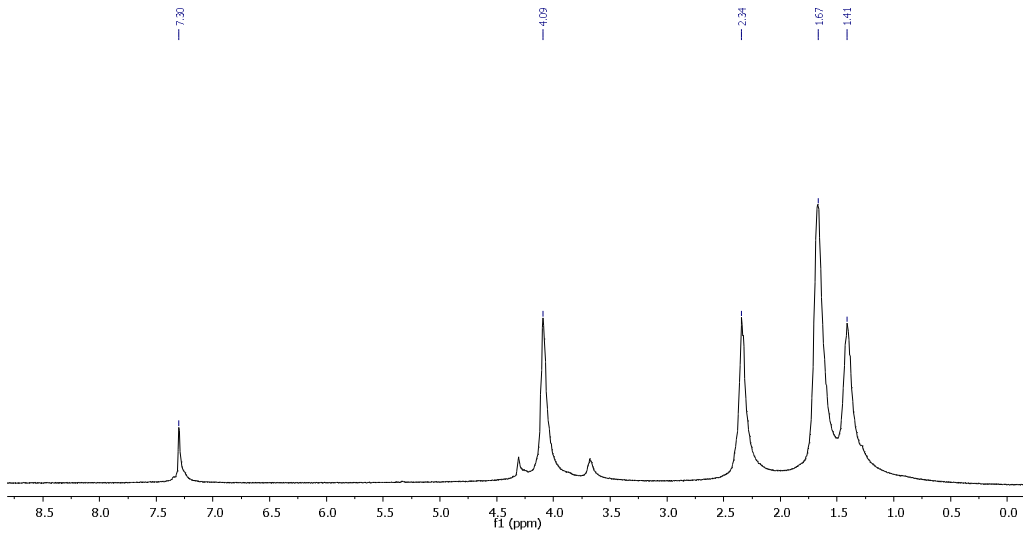
MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin FT-IR spektrumu Şekil 3.5 ve değerlendirmesi Tablo 3.5'de, ¹H-NMR spektrumu Şekil 3.6 ve değerlendirmesi Tablo 3.6'da verildi.



Şekil 3.5. MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin FT-IR spektrumu

Tablo 3.5. MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
3440	O-H gerilmesi
2945, 2865	Alifatik C-H gerilmesi
1724	C=O gerilme
1295 ;1244	C-O-C asimetrik gerilmesi
1192 ;1046	C-O-C simetrik gerilmesi
732	Metilendeki C-H eğilme (rock titreşim), en az 4 metilen grubu arka arkaya bağlı olduğu zaman gözlenir.



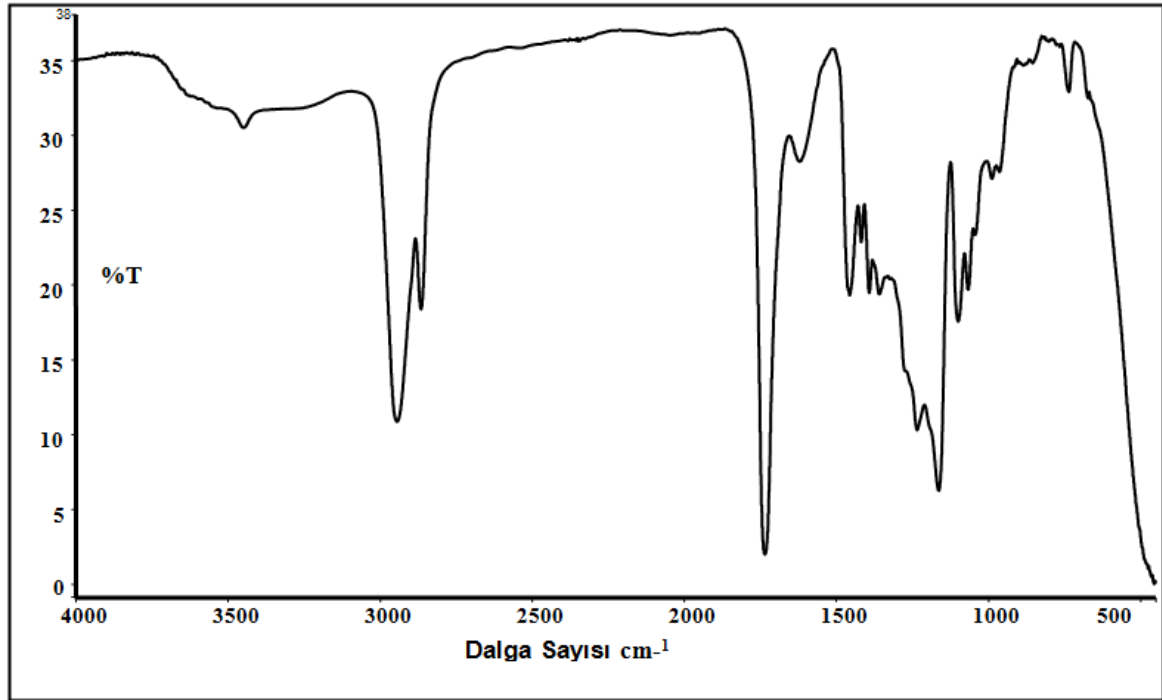
Şekil 3.6. MWNT-poli(ε-CL) bileşiğinin ¹H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl₃)

Tablo 3.6. MWNT-poli(ϵ -CL) bileşiğinin ^1H -NMR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
MWNT-poli(ϵ -CL)	7,3	Çözücü piki
	4,1	$\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{C}(=\text{O})-$
	3,7	$\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{H}$ (uç grupta)
	2,3	$\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$
	1,7	$\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$
	1,4	$\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{H}$ protonu

3.6. MWNT-poli(ϵ -CL)-Br Makrobaşılatıcısının Karakterizasyonu

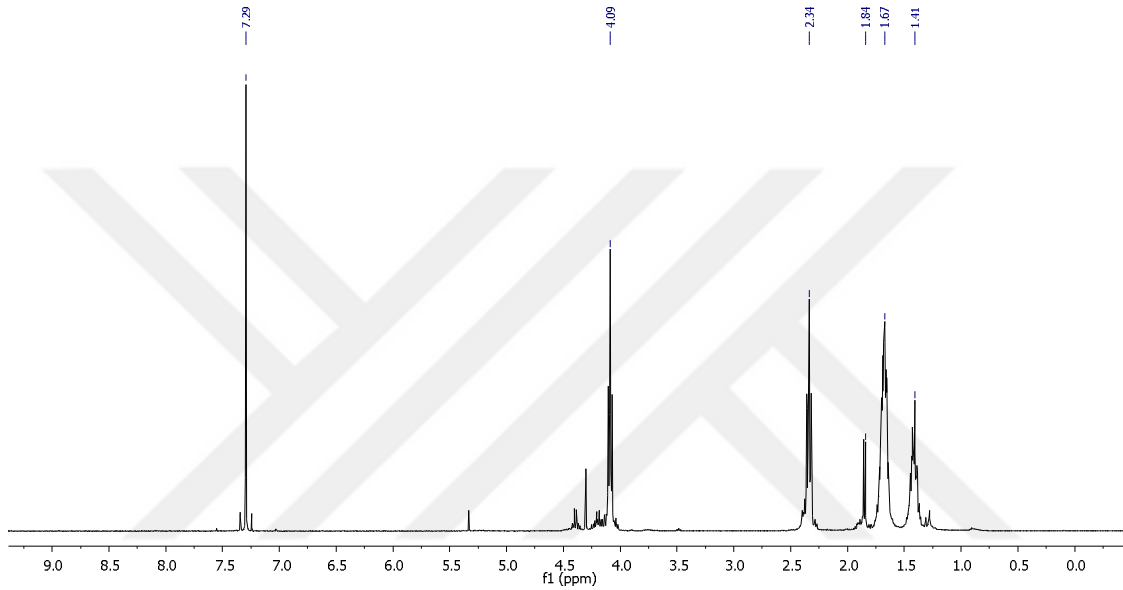
Makrobaşılatıcı [MWNT-poli(ϵ -CL)-Br]'un FT-IR spektrumu Şekil 3.7 ve değerlendirmesi Tablo 3.7'de; ^1H -NMR spektrumu Şekil 3.8 ve değerlendirmesi Tablo 3.8'de verildi.



Şekil 3.7. MWNT-poli(ϵ -CL)-Br makrobaşılatıcı FT-IR spektrumu

Tablo 3.7. MWNT-poli(ϵ -CL)-Br makrobaşılatıcı FT-IR spektrum değerlendirmesi

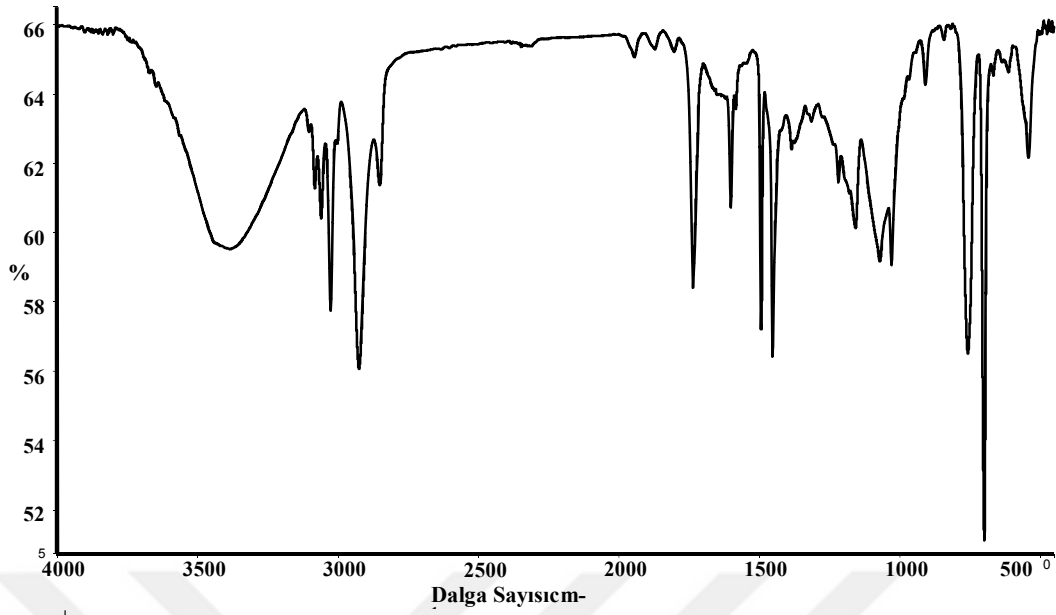
Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
MWNT-poli(ϵ -CL)-Br	2944 ;2865	Alifatik C-H gerilmesi
	1738	C=O gerilme
	1456	Alifatik C-H eğilmesi
	1235 ;1163	C-O-C asimetrik gerilme
	1099 ;1066	C-O-C simetrik gerilme

**Şekil 3.8.** MWNT-poli(ϵ -CL)-Br makrobaşılatıcı ¹H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl₃)**Tablo 3.8.** MWNT-poli(ϵ -CL) –Br makrobaşılatıcı ¹H-NMR spektrumu değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
MWNT-poli(ϵ -CL)-Br	7,3	Çözücü piki
	4,4	Br' un bağlı olduğu CH prutonu
	4,2	OOCCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OOCCH(CH ₃)Br protonu
	2,3	O(O=)CCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OOCCH(CH ₃)Br protonu
	1,9	Br' a yakın olan CH ₃ protonu
	1,7	OOCCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OOCCH(CH ₃)Br protonları
	1,5	OOCCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OOCCH(CH ₃)Br protonu

3.7. MWNT-PCL-b-PSt Diblok Kopolimerin Karakterizasyonu

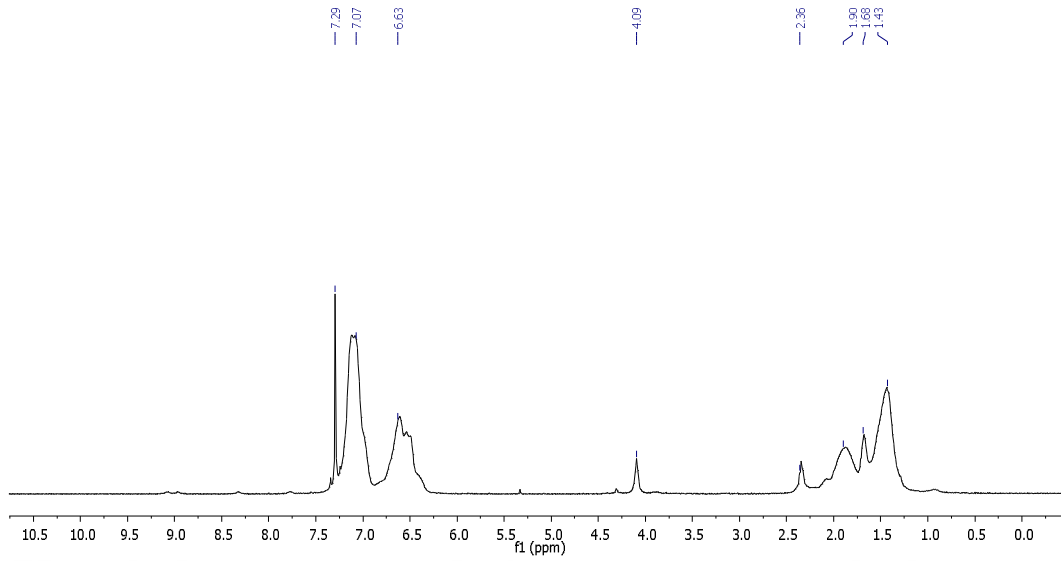
MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrumu Şekil 3.9, değerlendirmesi Tablo 3.9’da, ¹H-NMR spektrumu Şekil 3.10 değerlendirmesi Tablo 3.10’da verildi.



Şekil 3.9. MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrumu

Tablo 3.9. MWNT-PCL-PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt	3059 ;3025	Aromatik C-H gerilme
	2924 ;2852	Alifatik C-H gerilme
	1945-1700	Monosüstitüe benzen overton ve kombinasyon bandı
	1735	C=O gerilme
	1600	Aromatik C=C gerilme
	1442 ;1452	Alifatik C-H eğilme
	756 ;698	Aromatik =C-H düzlem dışı eğilme
	1235 ;1163	C-O-C asimetrik gerilme
	1099 ;1066	C-O-C simetrik gerilme



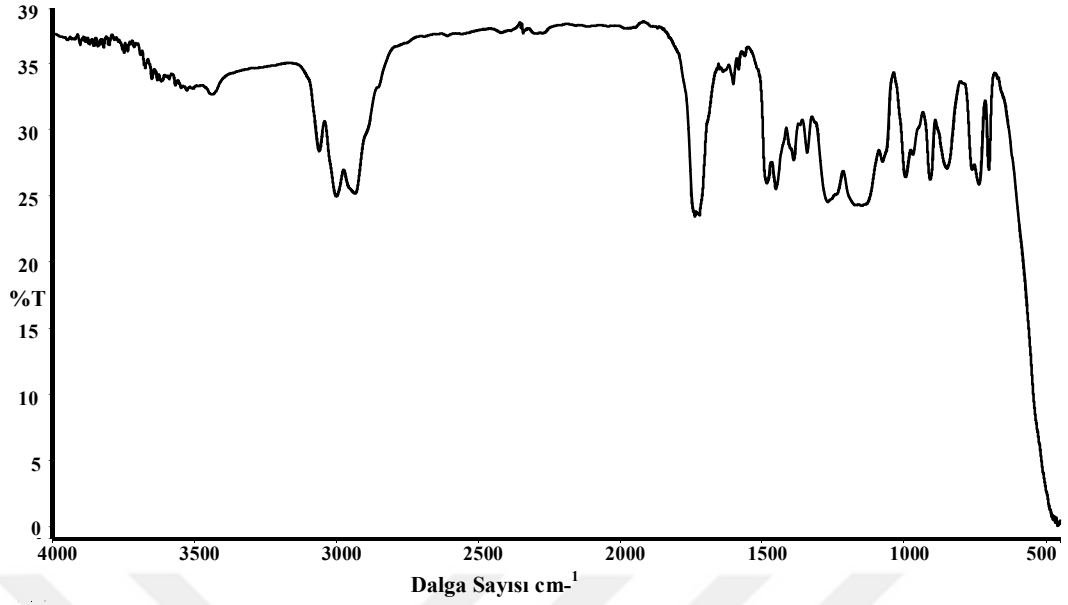
Şekil 3.10. MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerin ¹H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl₃)

Tablo 3.10. MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerin ¹H-NMR spektrumu değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt	6,5-7,3	St birimindeki aromatik halka protonları
	4,3	St biriminin brom uçlu-CH protonu
	4,1	ε-CL birimindeki -(CH ₂) ₄ CH ₂ OOCCH(CH ₃) protonu
	2,3	ε-CL birimindeki karbonil komşulu protonlar
	2,1	Ana zincirdeki St birimlerindeki -CH protonu
	1,9-1,4	Ana zincirdeki-CH ₂ protonları ve ana zincire bağlı bir birimdeki CH ₃ protonları

3.8. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA Triblok Kopolimerin Karakterizasyonu

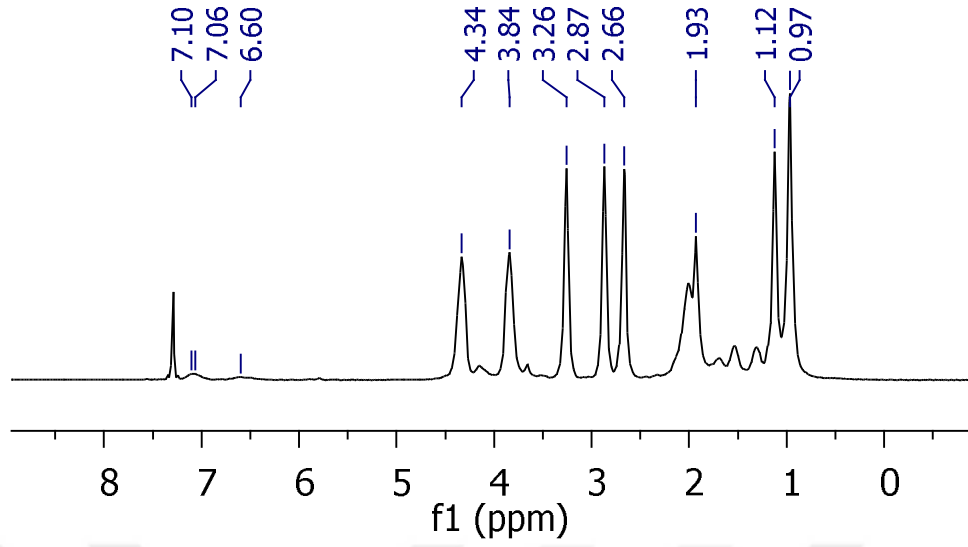
Grafting from yöntemi kullanılarak polimer aşılması gerçekleştirilen çok duvarlı karbon nanotüp MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerinin, FT-IR spektrumu Şekil 3.11 ve değerlendirmesi Tablo 3.11’de, ¹H-NMR spektrumu Şekil 3.12 ve değerlendirilmiş şekli Tablo 3.12’de verildi.



Şekil 3.11. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerin FT-IR spektrumu

Tablo 3.11. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA	3060	Aromatik C-H gerilme
	3000	Epoksit halkasındaki C-H gerilmesi
	2932	Alifatik C-H gerilme
	1735; 1724	C=O gerilmesi
	1270	C-O-C asimetrik gerilme
	1150	C-O-C simetrik gerilme
	1250	Epoksit simetrik halka gerilmesi(I.Band)
	849	Epoksit (II. Band)
	738	Epoksit (III. Band)



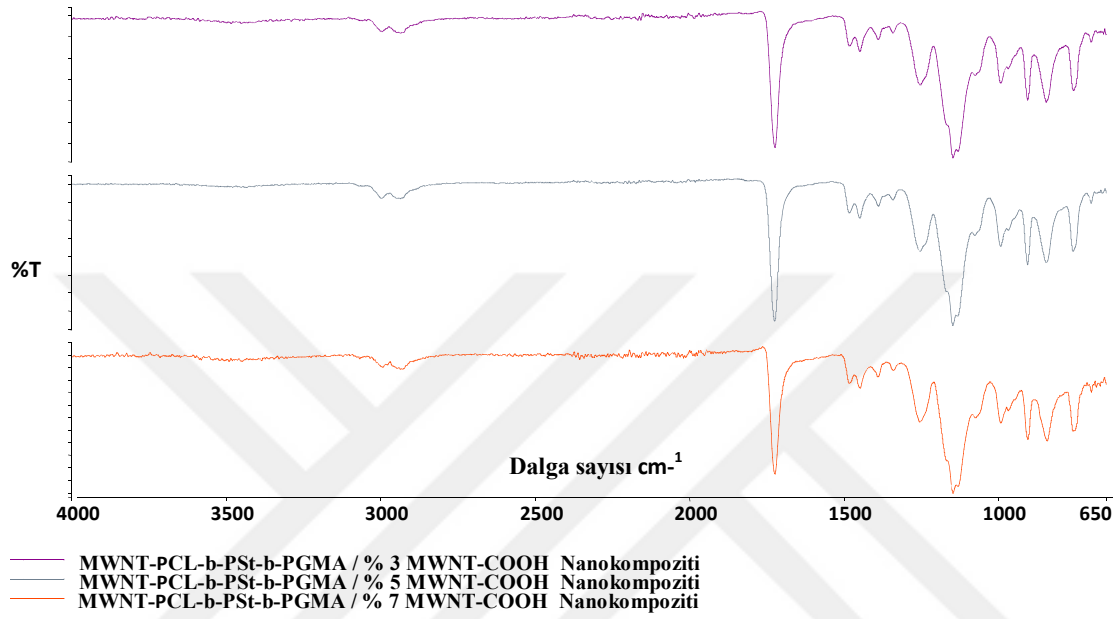
Şekil 3.12. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerin ¹H-NMR spektrumu (Çözücü:CDCl₃)

Tablo 3.12. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerin ¹H-NMR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA	6,5-7,3	Stbirimindeki aromatik halka protonları
	4,3; 3,9	GMA birimindeki ester oksijenine bağlı –CH ₂ protonları (iki pik)
	3,3	GMA birimindeki epoksit halkasındaki –CH protonu
	2,7; 2.4	GMA birimindeki epoksit halkasındaki –CH ₂ protonu(iki pik)
	1,93	GMA birimindeki zincirdeki –CH ₂ protonu
	1,12 -0,97	GMA birimindeki CH ₃ protonları
	4.1	ε-CL birimindeki ester oksijenine bağlı protonlar

3.9. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT-COOHN anokompozitlerinin Karakterizasyonu

MWNT-COOH oranı %3, %5 ve %7 olan; MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA / (MWNT-COOH) nanokompozitlerinin çakıştırılmış FT-IR spektrumu şekil 3.13 ve değerlendirmesi de Tablo 3.13’de verildi.



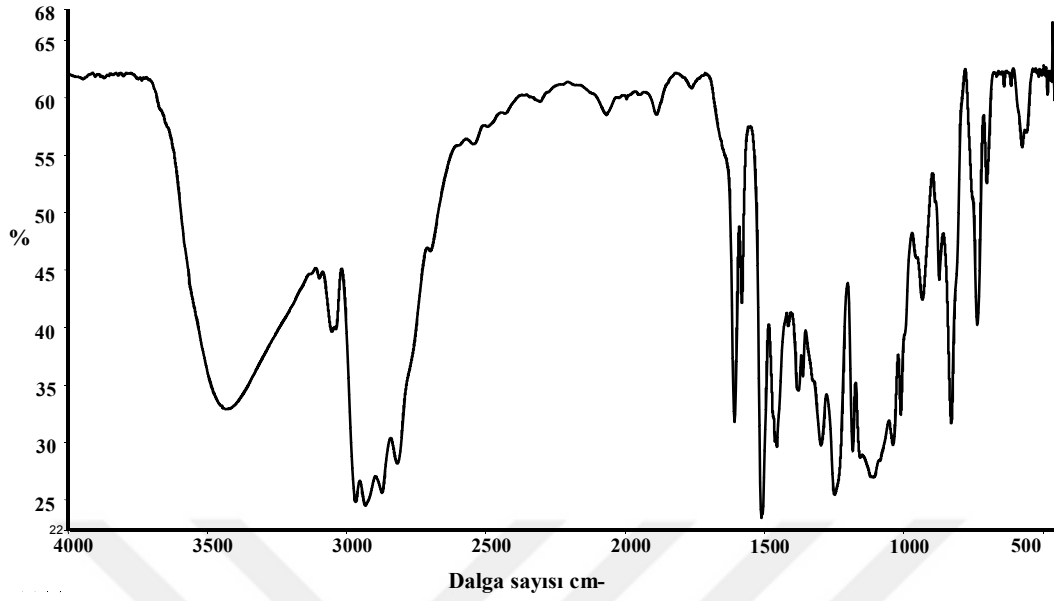
şekil 3.13. MWNT- PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT- COOH nanokompozitlerinin FT-IR spektrumu

Tablo 3.13. MWNT- PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT- COOH nanokompozitlerinin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
MWNT- PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> - PGMA/ MWNT-COOH nanokompozit karışımı	2995; 2935	Alifatik CH gerilme
	1724	C=O gerilmesi
	1255	C-O-C asimetric gerilme
	1145	C-O-C simetric gerilme
	905	Epoksit bandı

3.10. Bisfenol A Propaksilat Diglisidil Eter ve Piperazinden Oluşan Kopolimerin Karakterizasyonu

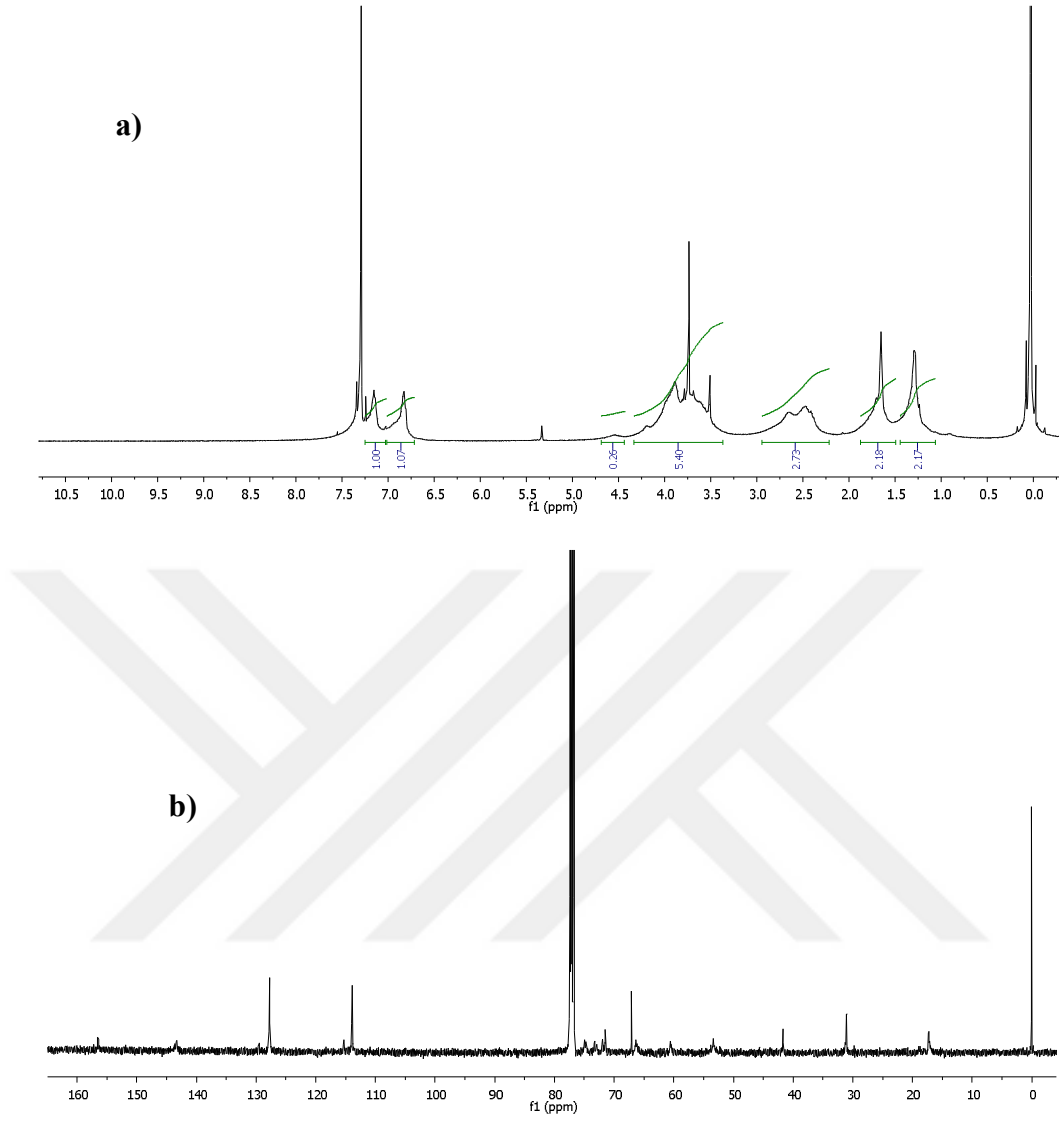
Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimerinin FT-IR spektrumu şekil 3.14 ve değerlendirmesi Tablo 3.14’de; ¹H-NMR ve ¹³C-NMR spektrumları şekil 3.15. ve değerlendirmeleri Tablo 3.15’de verildi.



Şekil 3.14. Poli(BAPDE-ko-P) FT-IR spektrumu

Tablo 3.14. Poli(BAPDE-ko-P) FT-IR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(BAPDE-ko-P)	3428	OH gerilme
	3054	Epoksit -CH gerilmesi
	2970-2818	Alifatik -CH gerilmesi
	1885 ve 1764	1,4-disüstitüe benzen halkası için overton ve kombinasyon bandı (iki tanedir ve yüksek enerjili olan daha şiddetlidir)
	1607	Aromatik C=C gerilmesi
	1360 ve 1384	-C(CH ₃) ₂ düzlem içi eğilmesi (bu band iki tanedir ve aralarında yaklaşık 22-25 cm ⁻¹ fark vardır)
	1247	Epoksit halka gerilmesi
	1020	C-N ve C-O gerilme
	908	Epoksit simetrik halka gerilmesi
	830	p-disüstitute aromatik halkada =C-H düzlemdışı eğilmi titreşimi
	735	Epoksit CH eğilmesi
	574;557	CCN deformasyon [195].



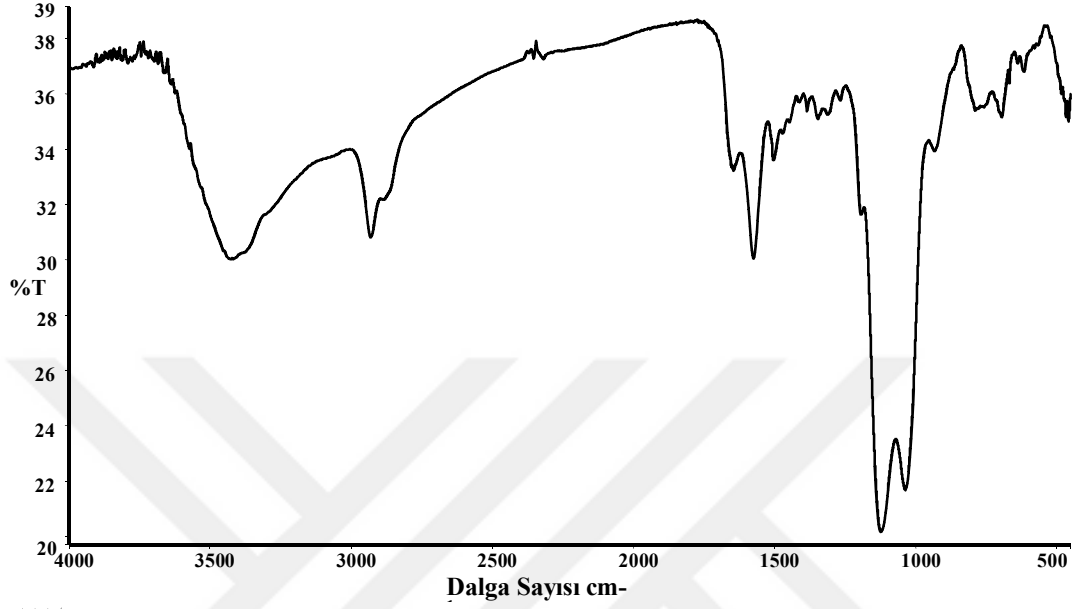
Şekil 3.15. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimeri a) ^1H -NMR b) ^{13}C -NMR spektrumları (Çözücü: CDCl_3)

Tablo 3.15. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimeri ¹H-NMR ve ¹³C-NMR spektrum değerlendirmeleri

Spektrum	Kimyasal Kayma(ppm)	Sinyal Türü
¹ HNMR)	7,2	BAPDE kısmındaki aromatik halka oksijene –m konumdaki protonlar
	6,8	BAPDE kısmındaki aromatik halka oksijene –o konumdaki protonlar
	4,6-3,4	Aromatik halkaya bağlı oksijene komşu eterik CH ₂ protonları
		OH'ın bağlı olduğu CH protonu
		OH protonu
		OH- CH- <u>CH₂</u> -O- <u>CH₂</u> - CH ₂ -CH ₂ -O-Ar protonları
		Glisidil grubundaki oksijenin her iki yanındaki CH ₂ protonları
	2,8-2,4	Epoksit halkasındaki CH protonu
		Piperazin halkasındaki CH ₂ protonu
		Piperazinin bağlı olduğu CH ₂ protonu
		Epoksit halkasındaki CH ₂ protonu
	1,7	O-CH ₂ - <u>CH₂</u> -CH ₂ -O-Ar
	1,3	Aromatik halkaya bağlı CH ₃
¹³ CNMR)	156	BAPDE kısmındaki aromatik halkada oksijenin bağlı olduğu ipso karbonu
	143	BAPDE kısmındaki aromatik halkada alifatik grubun bağlı olduğu ipso karbonu
	128	BAPDE kısmındaki aromatik halkada oksijene - m konumdaki CH karbonu
	114	BAPDE kısmındaki aromatik halkada oksijene - o konumdaki CH karbonu
	78	CDCl ₃ çözücü piki
	73-75	Glisidil eterdeki CH ₂ karbonu, aromatik eterdeki alifatik CH ₂ karbonu (zincirin iç kısmındaki)
	65, 66	Uçlardaki glisidil eterin zincir tarafındaki eterik CH ₂ karbonu, OH grubunun bağlı olduğu CH karbonu
	60	Piperazin halkasının içindeki ve etrafındaki CH ₂ karbonları
	53	Epoksit halkasındaki CH karbonu
	42	-C(CH ₃) ₂ yapısındaki kuarterner karbon
	45	Epoksit halkasındaki CH ₂ karbonu
	31	CH ₃ karbonları

3.11. MWNT-Si-NH₂ Karakterizasyonu

MWNT-Si-NH₂'nin FT-IR spektrumu Şekil 3.16 ve değerlendirmesi Tablo 3.16'da verildi.



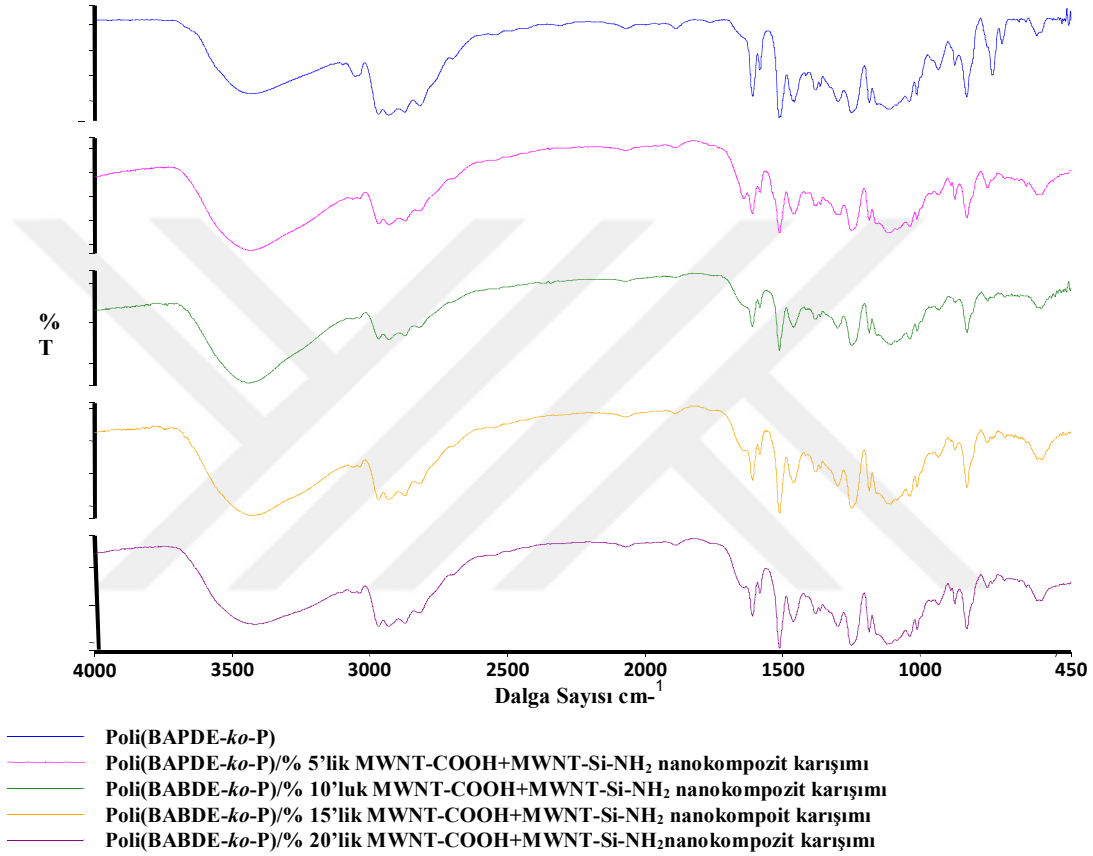
Şekil 3.16. MWNT-Si-NH₂ FT-IR spektrumu

Tablo 3.16. MWNT-Si-NH₂ FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
MWNT-Si-NH ₂	3400-3290	NH ₂ gerilme
	2930-2880	CH gerilme
	1120	O-Si-O asimetrik gerilme
	1035	O-Si-O simetrik gerilme
	930	NH ₂ eğilme

3.12. Poli(BAPDE-*ko*-P) Kopolimeri ve Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Karışımıyla (MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂) Oluşturulan Nanokompozitlerin Karakterizasyonu

Farklı oranlarda hazırlanmış olan Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimer/nanokompozit karışımının çakıştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.17 ve değerlendirmesi Tablo 3.17’de verildi.



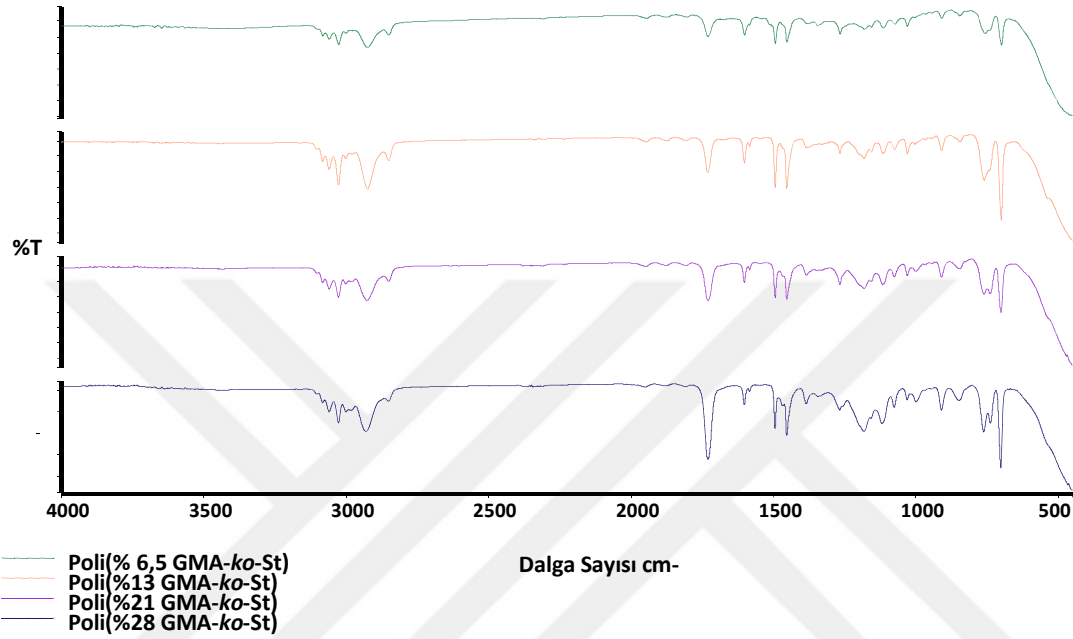
Şekil 3.17. Poli(BAPDE-*ko*-P) / [MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımının FT-IR spektrumu

Tablo 3.17. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimer / [MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımının FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) / MWNTCOOH+MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit karışımı	3419	OH, NH gerilmesi
	2967-2817	Alifatik CH gerilmesi
	1642	NH eğilmesi
	1119	C-N; C-O; O-Si-O gerilme

3.13. Poli(GMA-*ko*-St) Kopolimerinin Karakterizasyonu

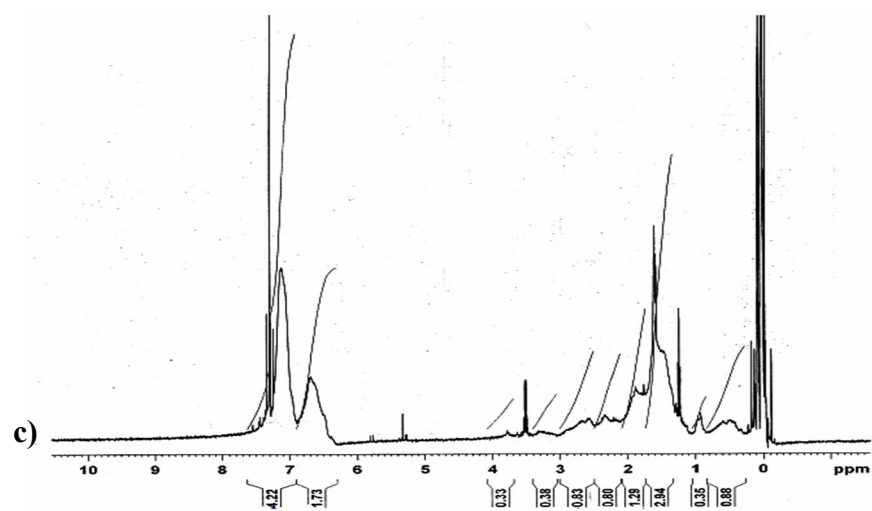
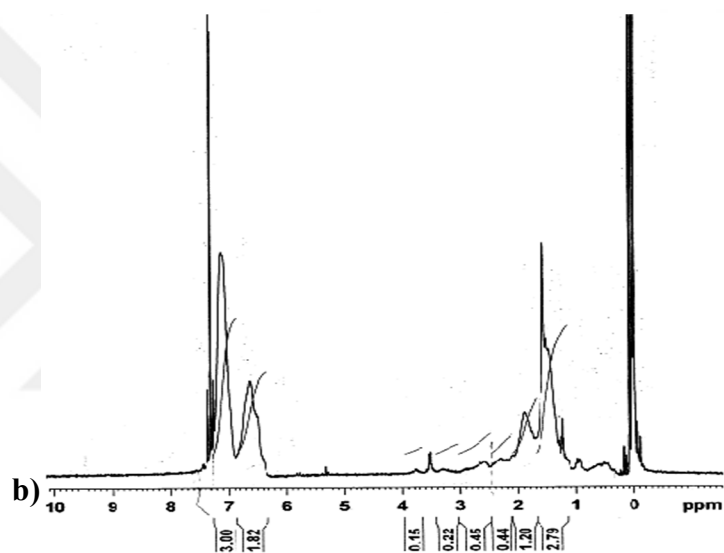
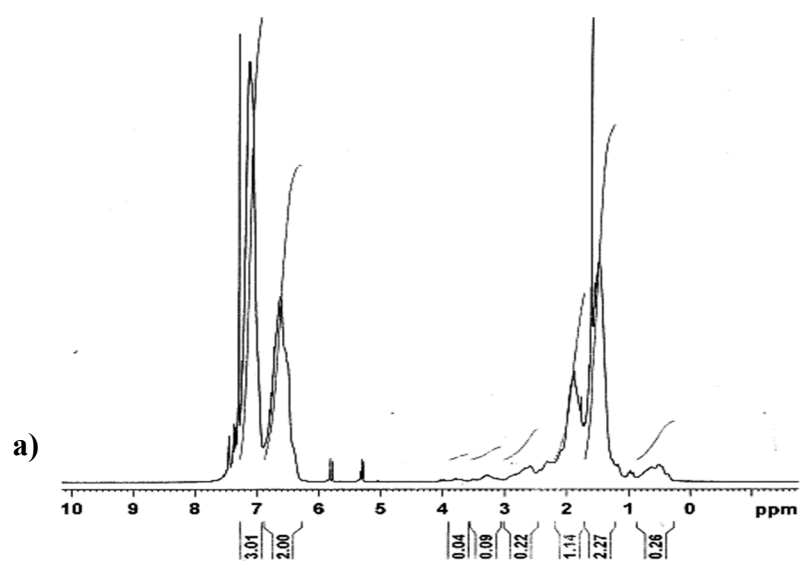
Serbest radikalik polimerizasyon yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan farklı oranlardaki kopolimerlerin karşılaştırılmış FT-IR spektrumları Şekil 3.18 ve değerlendirmesi Tablo 3.18’de; ¹H-NMR spektrumları Şekil 3.19 a), b), c), d) ve değerlendirmesi ise Tablo 3.19 ‘da verildi.

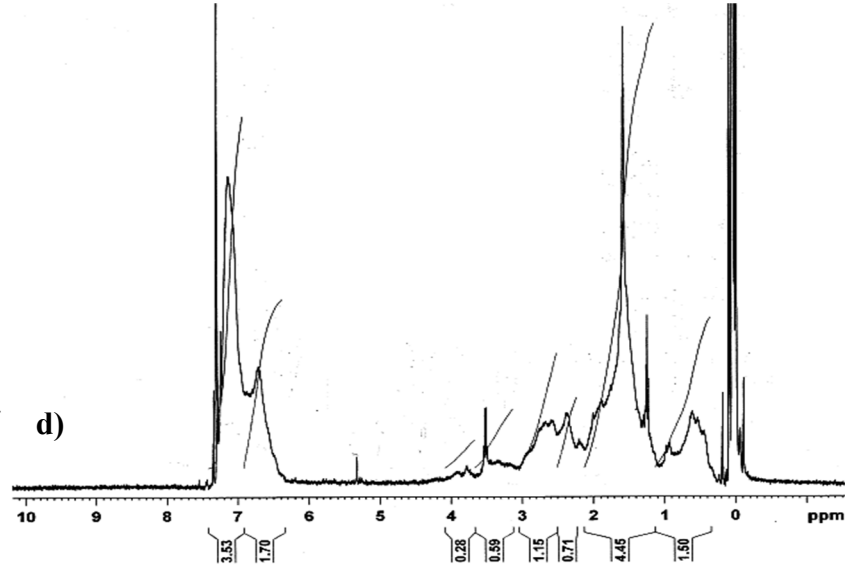


Şekil 3.18. poli(GMA-*ko*-St)’nin FT-IR spektrumu

Tablo 3.18. Poli(GMA-*ko*-St) FT-IR spektrumları değerlendirilmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(GMA- <i>ko</i> -St)	3059-3025	Aromatik CH gerilmesi
	2924-2850	Alifatik CH gerilmesi
	1950-1800	Mono süstitüe aromatik halka overton ve kombinasyon bantları
	1728	C=O gerilme
	1601	C=C gerilme
	1265; 843	Epoksit simetrik ve asimetrik halka gerilme
	738	Epoksit CH eğilmesi
	761;700	mono süstitüe aromatik halka C-H düzlem dışı eğilme





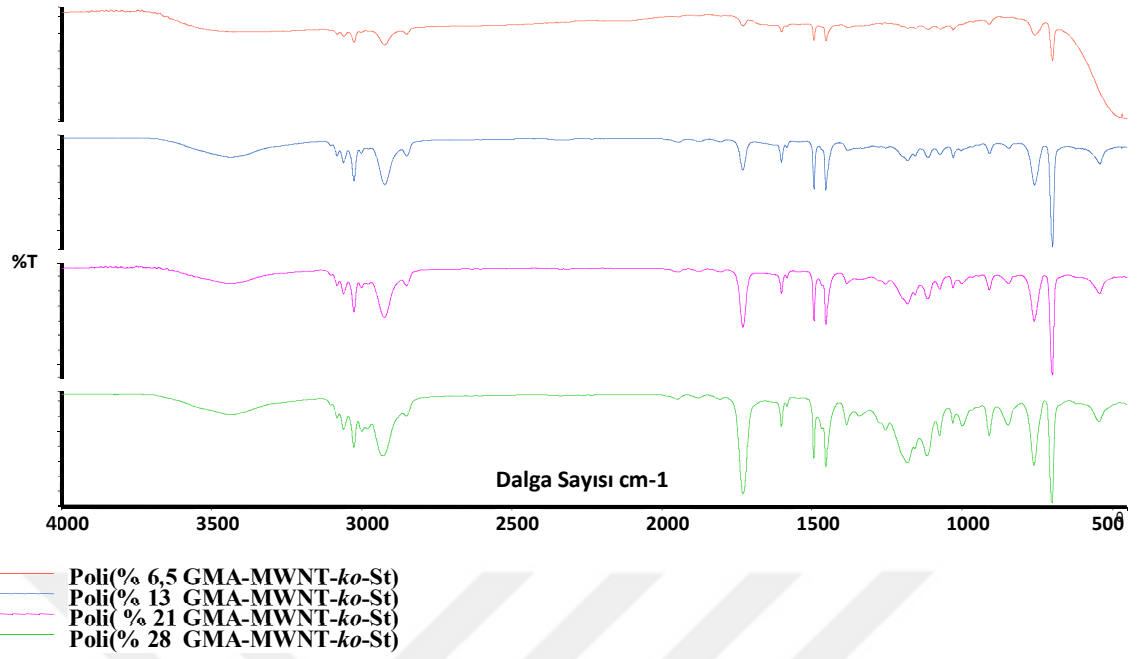
Şekil 3.19. a) %6,5 GMA, b) %13 GMA, c) %21 GMA, d) %28 GMA içeren poli(GMA-*ko*-St)'nin ¹H-NMR spektrumları (Çözücü:CDCl₃)

Tablo 3.19. Poli(GMA-*ko*-St) ¹H-NMR spektrumları değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
poli(GMA- <i>ko</i> -St)	7,3	Çözücü piki
	7-6,6	ST birimindeki aromatik halka protonları
	3,7-1,8	GMA birimindeki epoksit halkasının bağlı olduğu CH ₂ protonu
		GMA birimindeki epoksit halkasındaki CH protonu
		GMA birimindeki epoksit halkasındaki CH ₂ protonu
		ST birimindeki aromatik halkanın bağlı olduğu zincirdeki CH protonu
		ST birimindeki aromatik halkanın bağlı olduğu zincirdeki CH ₂ protonu
	1,3	GMA birimindeki CH ₃ protonu

3.14. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) Kopolimeinin Karakterizasyonu

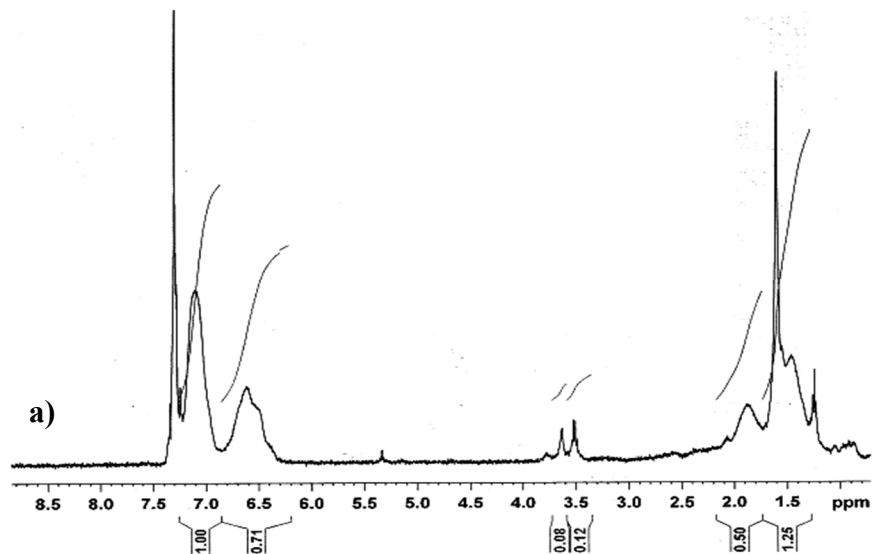
MWNT-Si-NH₂'nin grafting to yöntemi ile yapısına poli(GMA-*ko*-St) kopolimerinin sokulmasıyla oluşan yapıların karşılaştırılmış FT-IR spektrumları Şekil 3.20'de ve değerlendirmesi Tablo 3.20'de; ¹H-NMR spektrumu Şekil 3.21. a), b), c), d)'de ve değerlendirmeleri Tablo 3.21'de verildi.

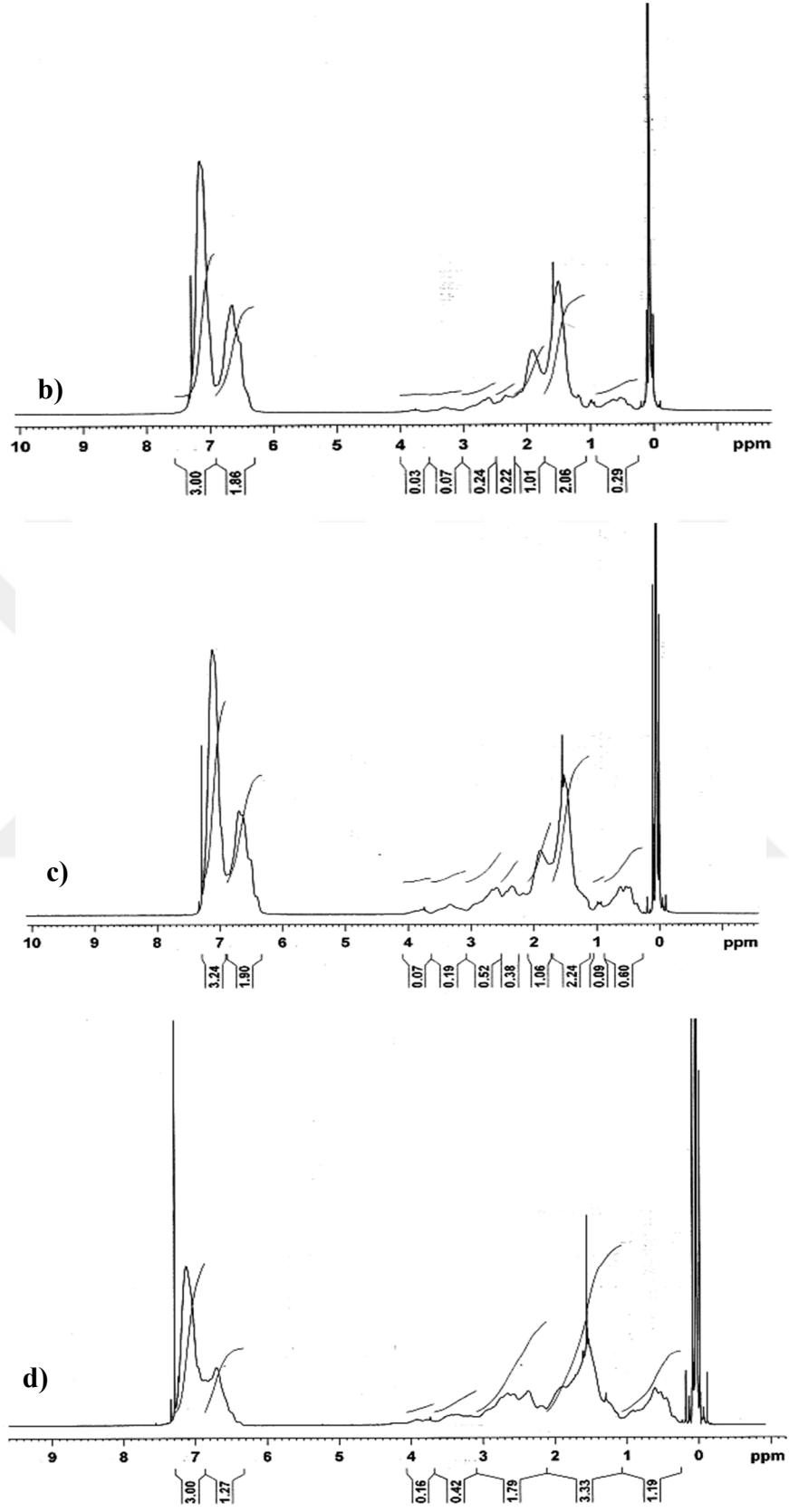


Şekil 3.20. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St)'nin karşılaştırılmış FT-IR spektrumları

Tablo 3.20. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St)'nin FT-IR spektrumları değerlendirilmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
poli(GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	3440	OH gerilme
	3082-3026	Aromatik CH gerilme
	3000-2852	Alifatik CH gerilme
	1729	C=O gerilme
	1117	O-Si-O asimetrik gerilme
	543	C-C-N deformasyon





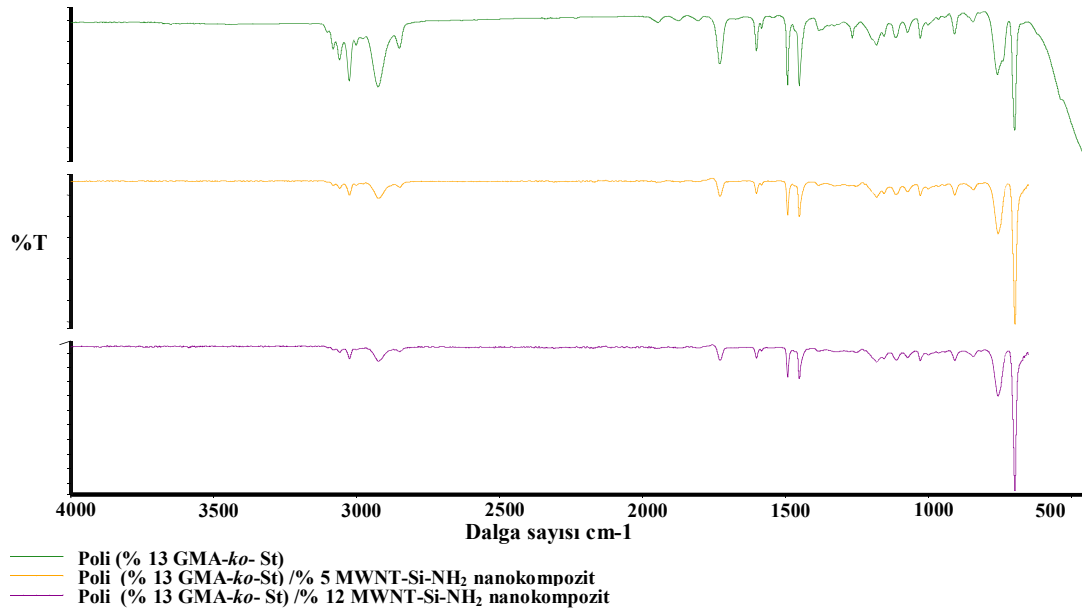
Şekil 3.21. a) % 6,5 GMA b) % 13 GMA c) % 21 GMA, d) % 28 GMA içeren poli(GMA-MWNT-ko- St) ^1H -NMR spektrumları (Çözücü: CDCl_3)

Tablo 3.21. Poli(GMA- MWNT- ko-St)'nin ¹H-NMR spektrumları değerlendirmesi

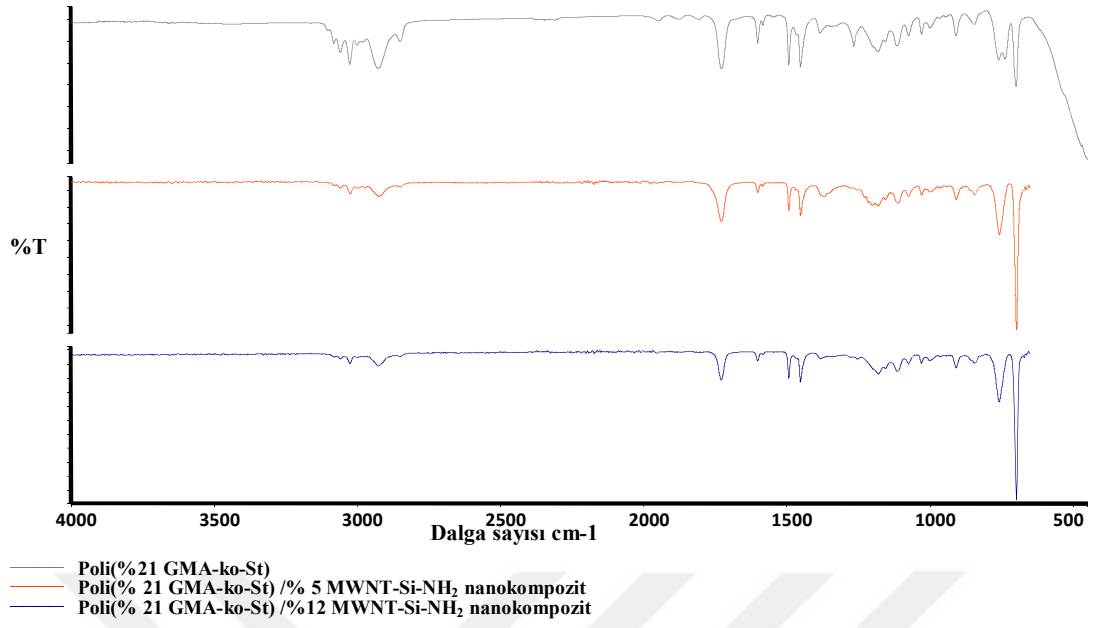
Spektrum	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Değerlendirme
¹ H-NMR	7.1-6.7	St birimi aromatik halka protonları
	4.3-3.1	Halkası açılmış GMA biimindeki O=COCH ₂ CHOH protonu Halkası açılmış GMA biimindeki O=COCH ₂ CHOH protonu SiOCH ₃ protonu OH ve NH protonları
	3.0-2.1	-CH ₂ NHCH ₂ - ve -CH(fenil)- protonları
	2.0-1.1	Ana zincirdeki -CH ₂ - ve propil grubundaki CH ₂ (C-CH ₂ -C) protonları
	1.0-0.4	GMA daki CH ₃ ve -CH ₂ Si-

3.15. Poli(GMA-ko-St) Kopolimeri ve MWNT-Si-NH₂ ile Oluşturulan Nanokompozitlerin Karakterizasyonu

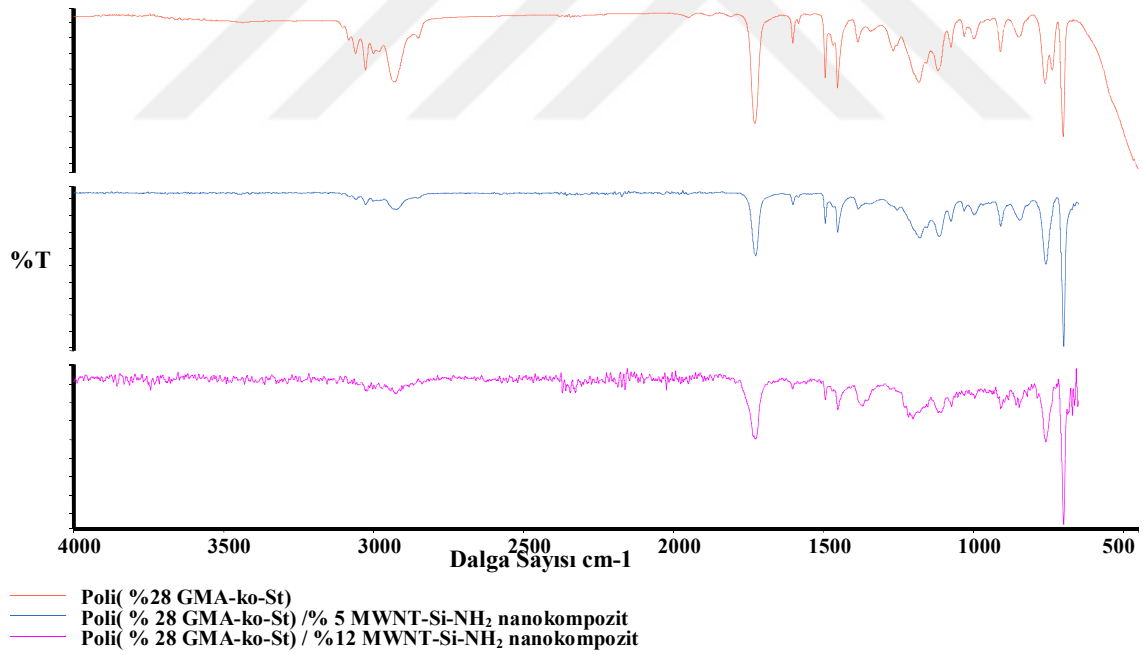
Daha önce Tablo 2.3. de verilmiş olan nanokompozit karışımlardan MWNT-Si-NH₂ oranı % 5 ve % 12 olanların FT-IR spektrumları alınarak karşılaştırıldı. FT-IR spektrumları Şekil 3.22. Şekil 3.23. Şekil 3.24. ve değerlendirmesi Tablo 3.22’de verildi.



Şekil 3.22. Poli(% 13GMA-ko-St) ve nanokompozitlerinin karşılaştırılmış FT-IR spektrumu



Şekil 3.23. Poli(% 21 GMA-*ko*- St) ve nanokompozitlerinin çakıştırılmış FT-IR spektrumu



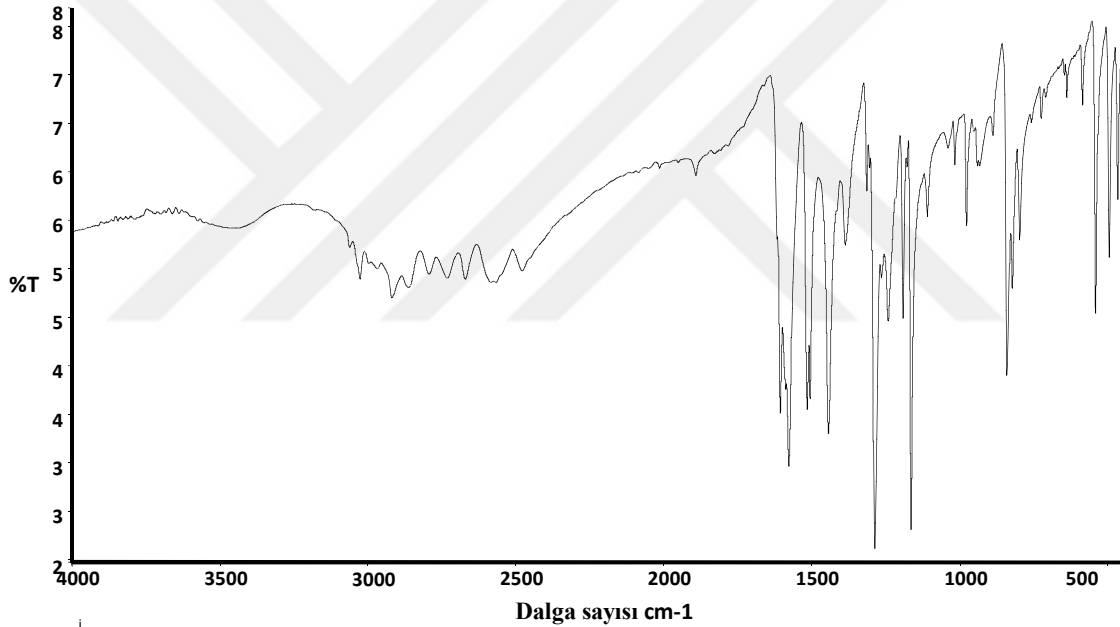
Şekil 3.24. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) ve nanokompozitlerinin çakıştırılmış FT-IR spektrumu

Tablo 3.22. Poli(GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit FT-IR spektrum değeriendirilmesi

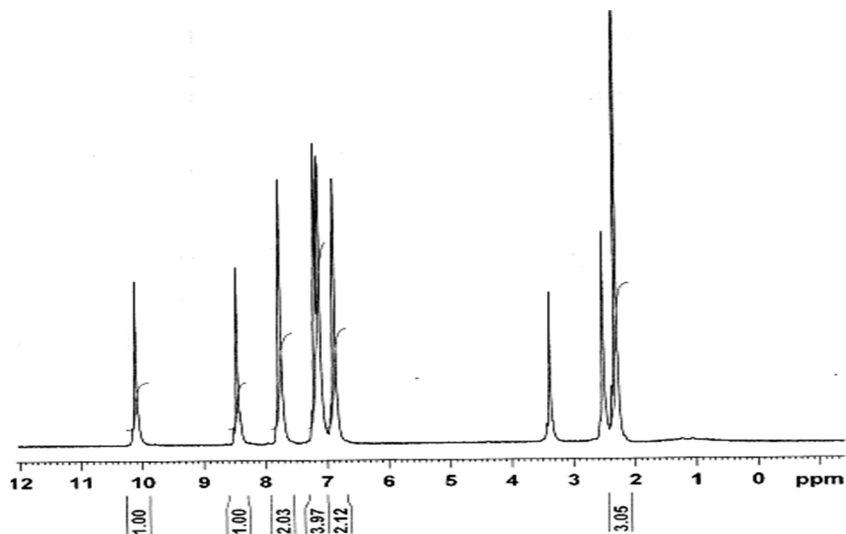
Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
poli(GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	3081-3000	Aromatik CH gerilme
	2927-2854	Alifatik CH gerilme
	1729	C=O gerilme
	1113	C-N; C-O; O-Si-O gerilme

3.16. Schiff Bazının (THB) Karakterizasyonu

p-toluidin ve p-hidroksibenzaldehit kullanılarak elde edilen schiff bazının FT-IR spektrumu Şekil 3.25 ve değeriendirilmesi Tablo 3.23’de; ¹H-NMR vespektrumu Şekil 3.26 ve değeriendirmeleri Tablo 3.24’de verildi.

**Şekil 3.25.** THB’nin FT-IR spektrumu**Tablo 3.23.** THB’nin FT-IR spektrum değeriendirilmesi

Bileşik	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
THB	3447	OH gerilmesi
	3060-2990	Aromatik CH gerilmesi
	2915-2866	Alifatik CH gerilmesi
	1606	C=N
	1573	Aromatik C=C gerilme
	1241	C-O-H



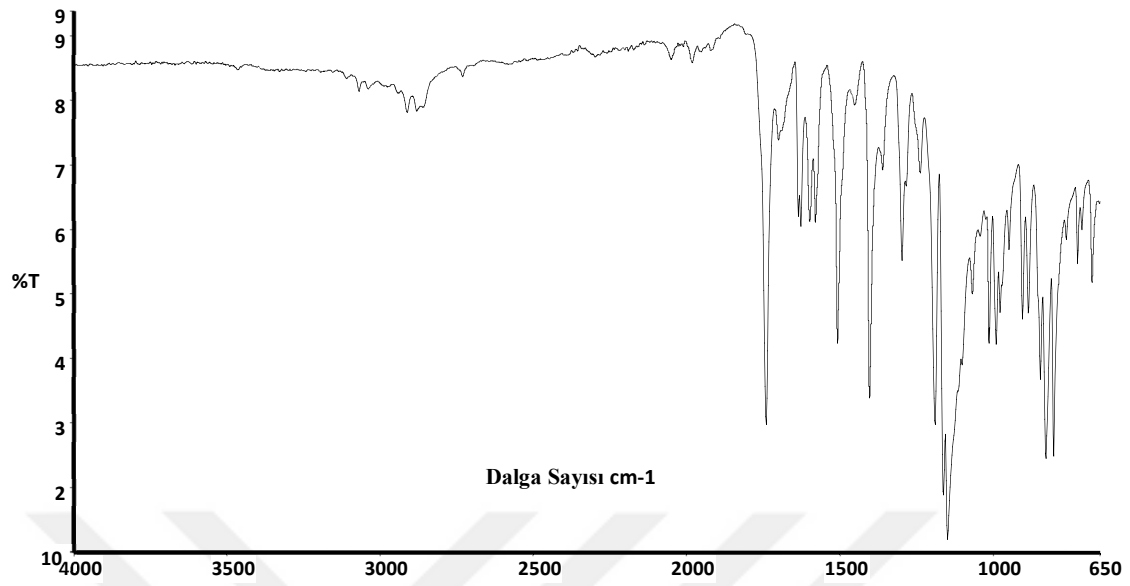
Şekil 3.26. THB'nin ^1H -NMR spektrumu (Çözücü:DMSO)

Tablo 3.24. THB'nin ^1H -NMR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
THB	10	OH protonu
	8,5	Ar-CH =N-Ar protonu
	7,7	OH'a meta konumundaki aromatik halka protonu
	7,2	=N 'a meta konumundaki aromatik halka protonu
	7,1	=N 'a orto konumundaki aromatik halka protonu
	6,8	OH'a orto konumundaki aromatik halka protonu
	3,4	DMSO su piki
	2,5	Çözücü piki
	2,3	=N' para konumundaki alifatik CH_3 protonu

3.17. Schiff Bazı Monomerinin (THB-A)Karakterizasyonu

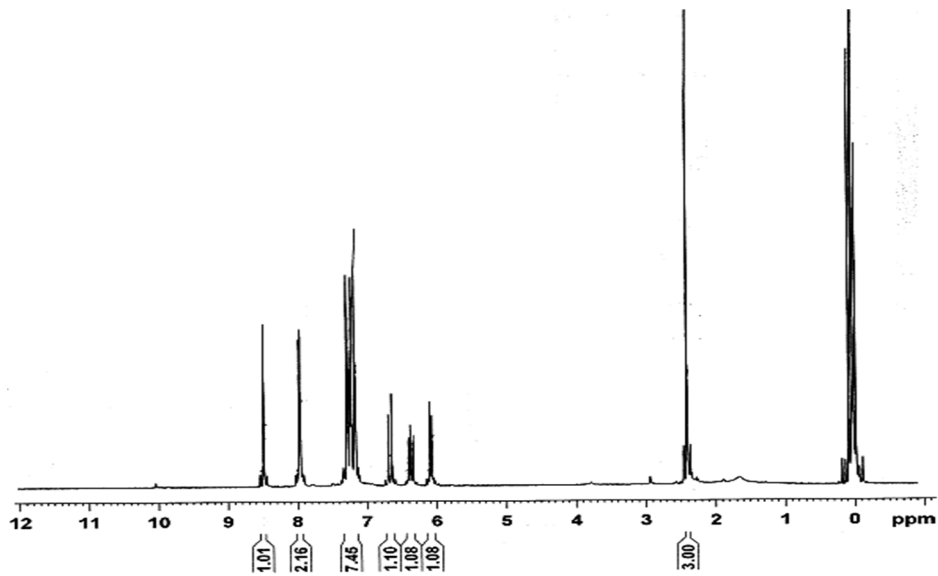
Schiff bazının akriloil klorürle etkileştirilerek elde edilmiş olan monomerinin FT-IR spektrumu Şekil 3.27 ve değerlendirmesi Tablo 3.25'de; ^1H -NMR spektrumu Şekil 3.28 ve değerlendirmesi Tablo 3.26'da verildi.



Şekil 3.27. THB-A'nın FT-IR spektrumu

Tablo 3.25. THB-A'nın FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
THB-A	1740	C=O gerilme
	1635	Alifatik C=C gerilme
	1630	C=N gerilme
	1600	Aromatik C=C gerilme
	1404	CH ₂ asimetrik eğilme
	1148-1066	C-O-C gerilmesi



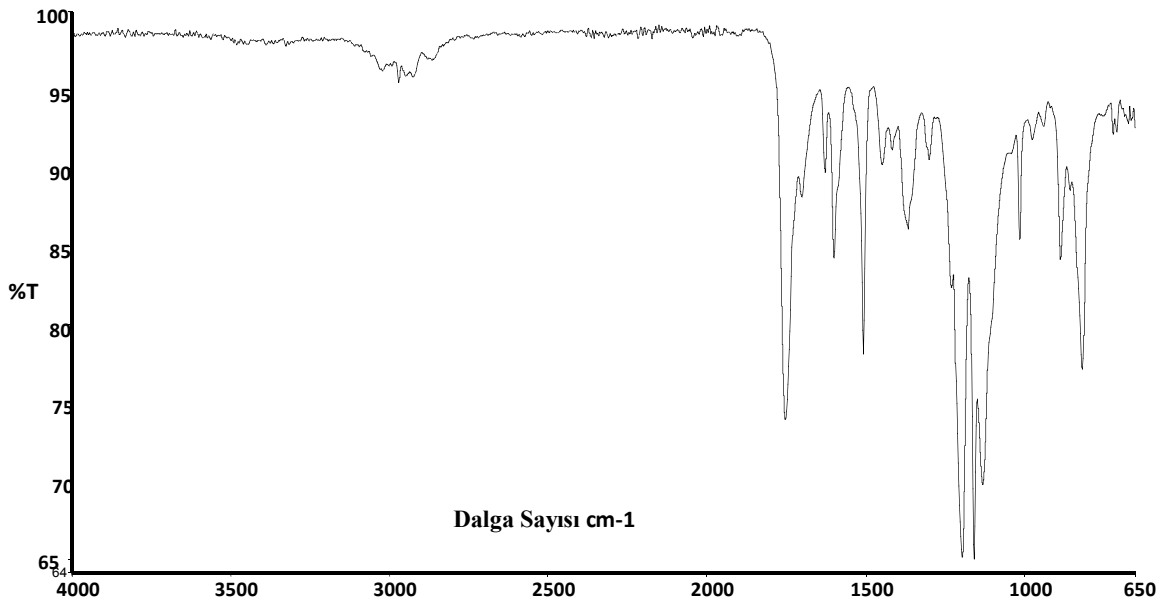
Şekil 3.28. THB-A'nın ¹H-NMR spektrumu(Çözücü:CDCl₃)

Tablo 3.26. THB-A'nın ^1H -NMR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
THB-A	8,4	Ar-CH=N-Ar protonu
	7,9	-OC=O'ya meta konumundaki aromatik halka protonu
	7,4	-OC=O'ya orto konumundaki aromatik halka protonu
	7,3	=N 'a meta konumundaki aromatik halka protonu
	7,2	=N 'a orto konumundaki aromatik halka protonu
	6,7	-CH=CH ₂ protonu (estere cis-konumunda)
	6,4	-CH=CH ₂ protonu (estere geminal)
	6,1	CH=CH ₂ protonu (estere trans konumundaki)
	2,4	Alifatik CH ₃ protonu

3.18. Schiff Bazı Polimerinin [poli(THB-A)] Karakterizasyonu

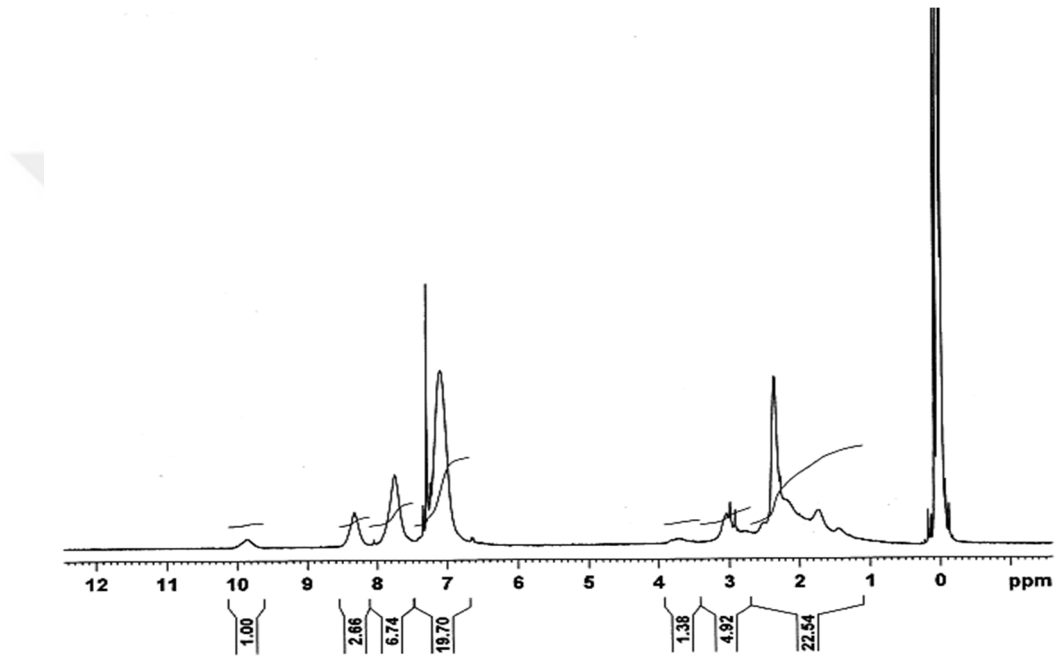
Serbest radikalik yolla polimerleştirilen bileşiğin FT-IR spektrumu Şekil 3.29 ve değerlendirmesi Tablo 3.27'de; ^1H -NMR spektrumu Şekil 3.30.ve değerlendirmesi Tablo 3.28'de verildi.



Şekil 3.29. Poli(THB-A)'nın FT-IR spektrumu

Tablo 3.27. Poli(THB-A) FT-IR spektrum değerlendirmesi

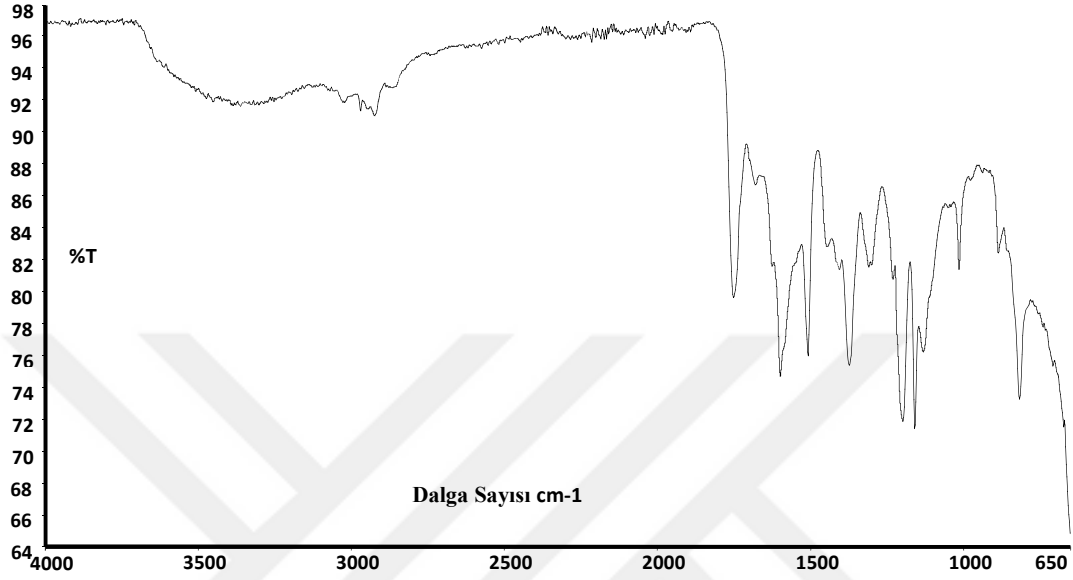
	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
poli(THB-A)	1752	C=O gerilmesi
	1630	C=N gerilme
	1598	Aromatik C=C gerilme
	1158	C-O-C gerilmesi

**şekil 3.30.** Poli(THB-A)'nın ¹H-NMR spektrumu(Çözücü:CDCl₃)**Tablo 3.28.** Poli(THB-A) ¹H-NMR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Kimyasal Kayma (ppm)	Sinyal Türü
poli(THB-A)	8,3	Ar-CH=N-Ar protonu
	7,7-7,1	-OC=O'ya meta konumundaki aromatik halka protonu
		-OC=O'ya orto konumundaki aromatik halka protonu
		=N 'a meta konumundaki aromatik halka protonu
		=N 'a orto konumundaki aromatik halka protonu
	3,7-1,4	Zincirdeki -CH-CH ₂ - protonu
		Zincirdeki-CH-CH ₂ - protonu
		CH=N'a para konumundaki alifatik CH ₃ protonu

3.19. Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] Karakterizasyonu

Schiff bazı polimeri ve nikel asetat tetra hidra kullanılarak sentezlenen kompleksin FT-IR spektrumu Şekil 3.31 ve değerlendirmesi Tablo 3.29’da verildi.



Şekil 3.31. Poli(THB-A)-Ni kompleksinin FT-IR spektrumu

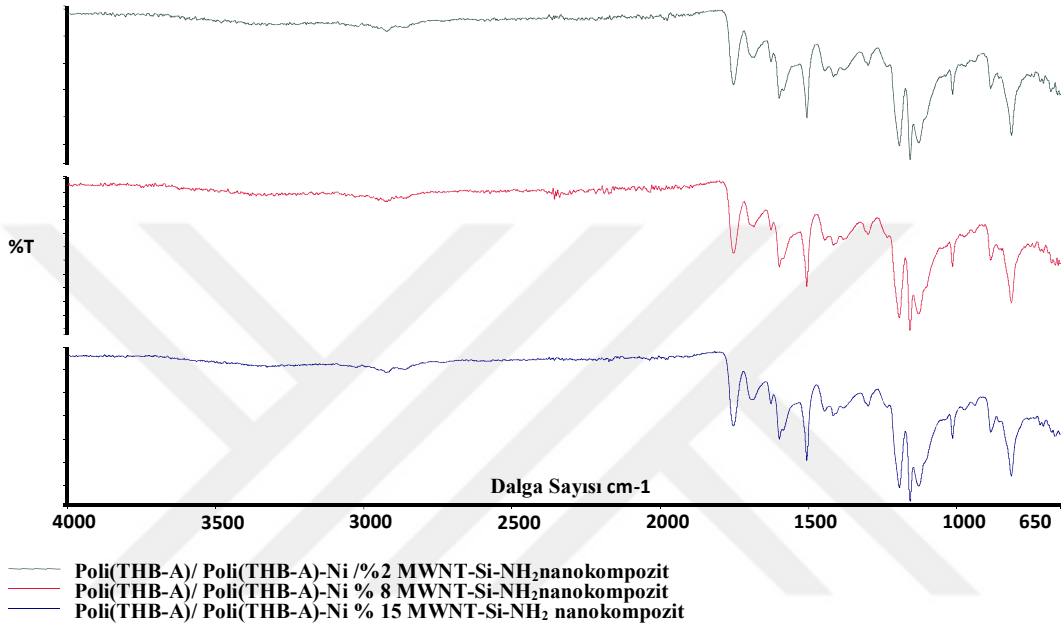
Tablo 3.29. Poli(THB-A)-Ni kompleksi FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
poli(THB-A)-Ni	1750	C=O gerilmesi
	1627	C=N gerilme
	1598	Aromatik C=C gerilme
	1155	C-O-C gerilmesi

3.20. Poli(THB-A)/Poli(THB-A)-Ni/MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerin

Karakterizasyonu

MWNT-Si-NH₂'nin karışımdaki ağırlıkça oranı % 2, % 8 ve % 15 olacak şekilde hazırlanan Schiff bazı polimeri /schiff bazı nikel kompleksi /MWNT-Si-NH₂ nanokompozit karışımının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.32 ve değerlendirmesi Tablo 3.30'da verildi.



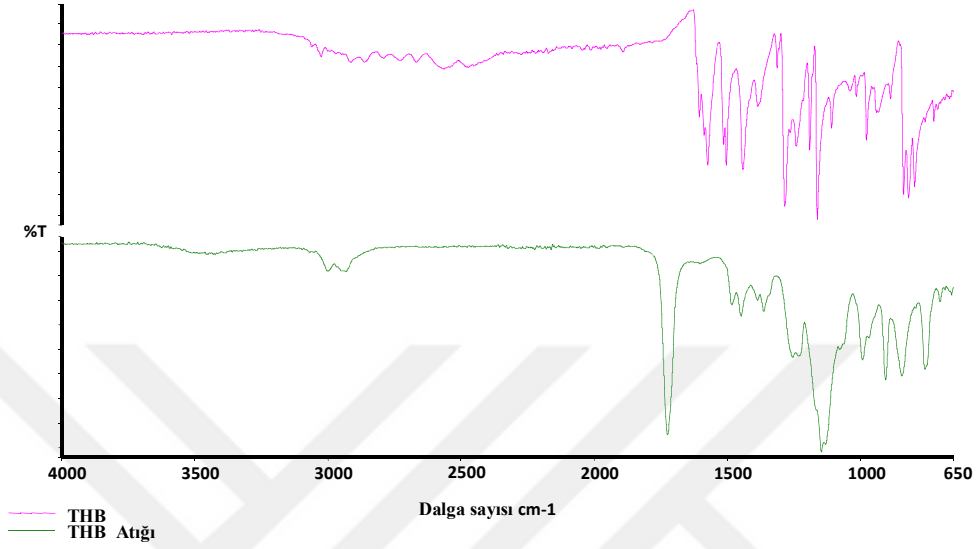
Şekil 3.32. Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerin FT-IR spektrumu

Tablo 3.30. Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerin FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(THB-A)/ Poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	1752	C=O gerilmesi
	1627	C=N gerilme
	1597	Aromatik C=C gerilme
	1157	O-C-O gerilmesi
	1128	C-N; O-Si-O gerilmesi

3.21. THB Atığının Karakterizasyonu

Schiff bazı ve 395 °C ye kadar ısıtılmış schiff bazı atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.33 ve değerlendirmesi Tablo 3.31’de verildi.



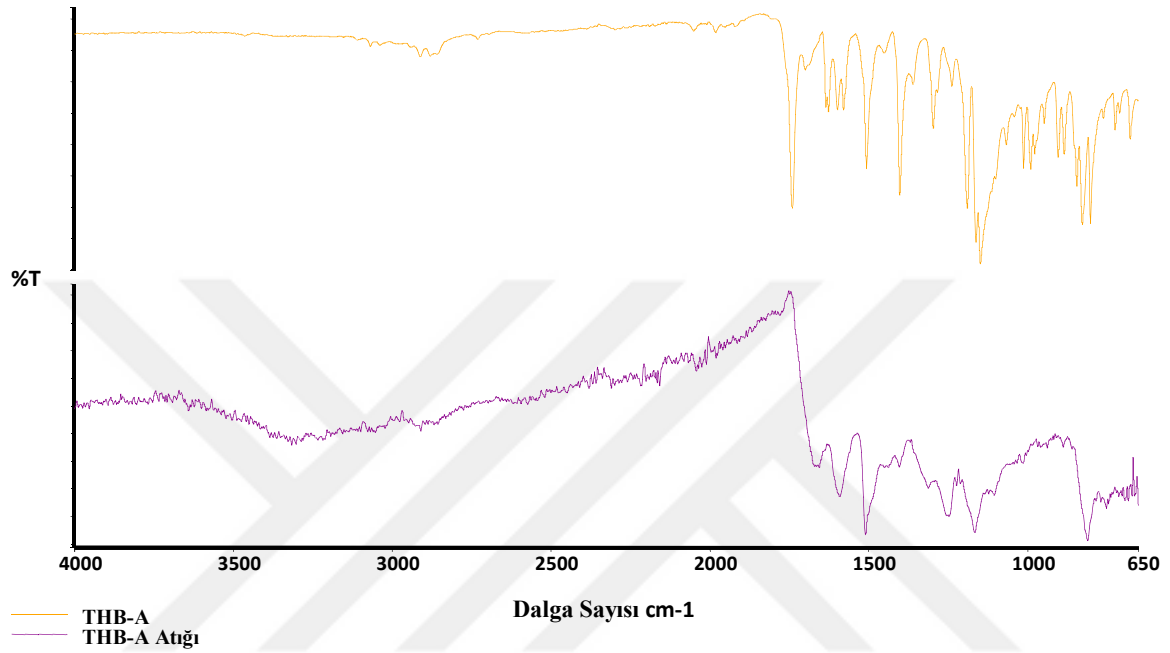
Şekil 3.33. THB ve THB atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu

Tablo 3.31. THB atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
THB Atığı	3000-2933	Alifatik CH gerilme
	1724	C=O gerilme
	1484-1447	Alifatik CH düzlem içi asimetric eğilme
	1384-1363	Alifatik CH düzlem içi simetric eğilme
	1253-1227	Aromatik düzlem içi eğilme
	1164	O-C-O asimetric gerilme
	1147-1129	O-C-O simetric gerilme

3.22. THB-A Atığının Karakterizasyonu

Schiff bazı monomeri 395 °C ye kadar ısıtılarak schif bazı monomer atığı elde edildi. Schiff bazı monomer ve atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.34 ve değerlendirmesi Tablo 3.32’de verildi.



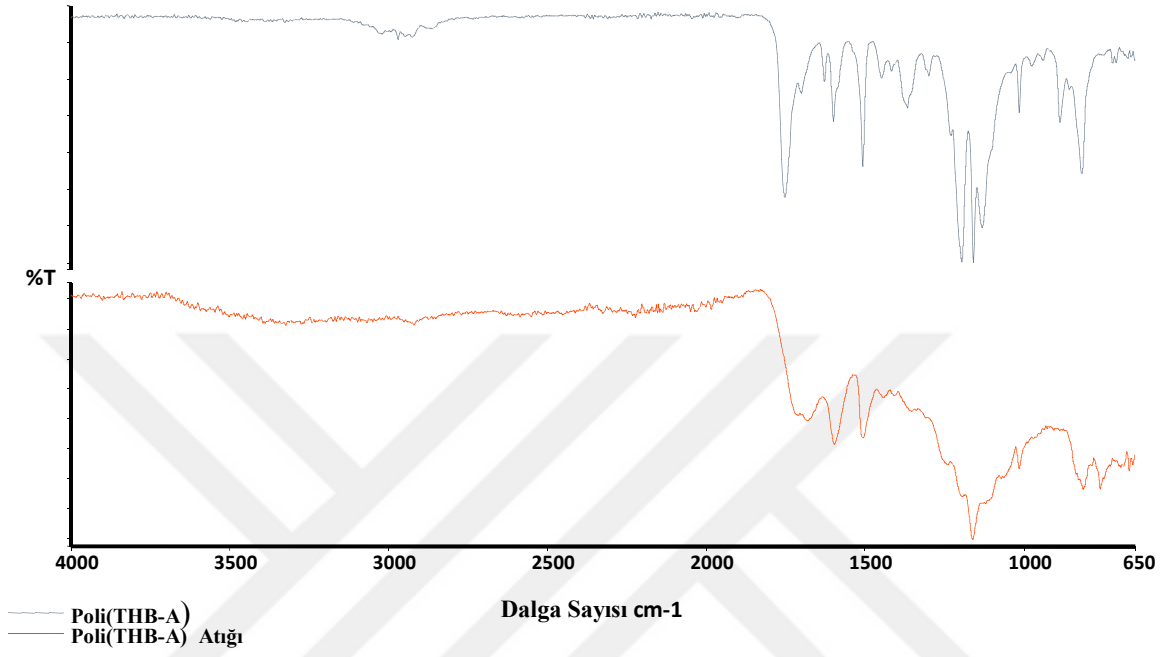
Şekil 3.34. THB-A ve THB-A atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu

Tablo 3.32. THB-A atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
THB-A atığı	3320	OH; NH gerilme
	1670-1657	Alifatik C=C gerilme
	1590-1509	Aromatik C=C gerilme
	1247	O-C-O asimetric gerilme
	1165	O-C-O simetric gerilme

3.23. Poli(THB-A) Atığının Karakterizasyonu

Schiff bazı polimeri ve 395 °C ye kadar ısıtılmış polimer atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.35 ve değerlendirmesi Tablo 3.33’de verildi.



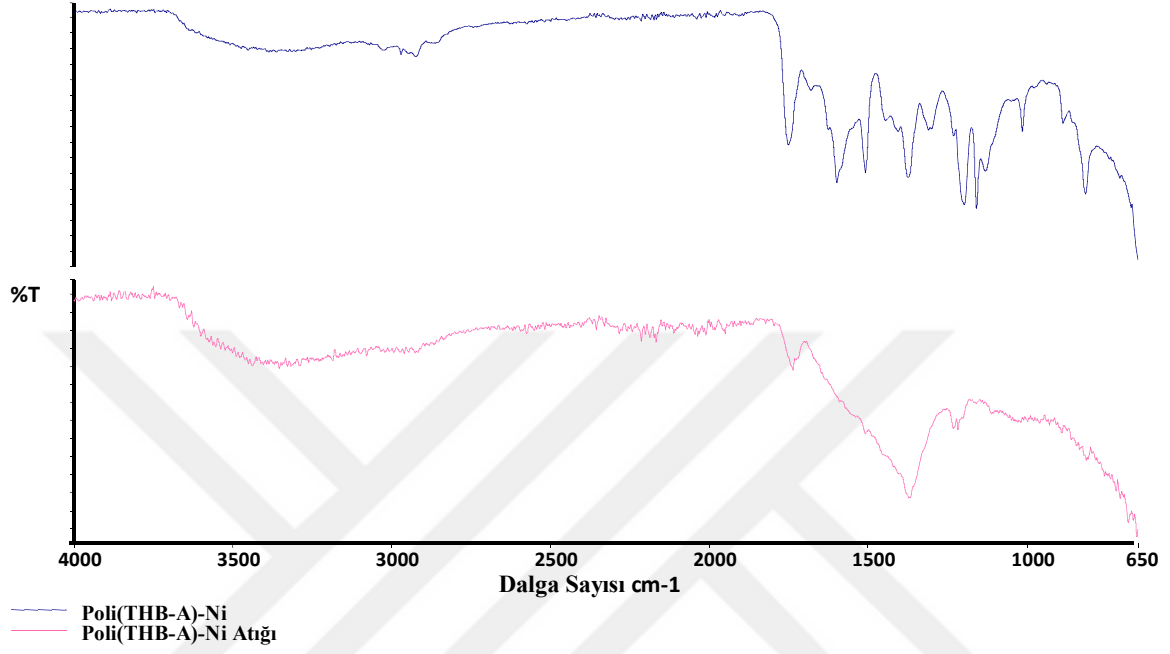
Şekil 3.35. Poli(THB-A) ve Poli(THB-A) atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu

Tablo 3.33. Poli(THB-A) polimer atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi

Yapı	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(THB-A) atığı	3323	OH; NH gerilme
	1713-1680	C=O
	1596-1505	Aromatik C=C gerilme
	1160-1014	O-C-O gerilme

3.24. Poli(THB-A)-Ni Nikel Atığının Karakterizasyonu

Poli(THB-A)-Ni kompleksi ve 395 °C ye kadar ısıtılmış atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu Şekil 3.36 ve değerlendirmesi Tablo 3.34’de verildi.



Şekil 3.36. Poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A)-Ni atığının karşılaştırılmış FT-IR spektrumu

Tablo 3.34 Poli(THB-A)-Ni atığının FT-IR spektrum değerlendirmesi

Polimer	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim Türü
Poli(THB-A)-Ni atığı	3353	OH gerilme
	1739-1722	C=O
	1370	Alifatik C-H düzlem içi eğilme
	1230-1214	O-C-O gerilme

3.25. MWNT Ucundaki Karboksil Grubu Miktarının Titrasyonla Tayini

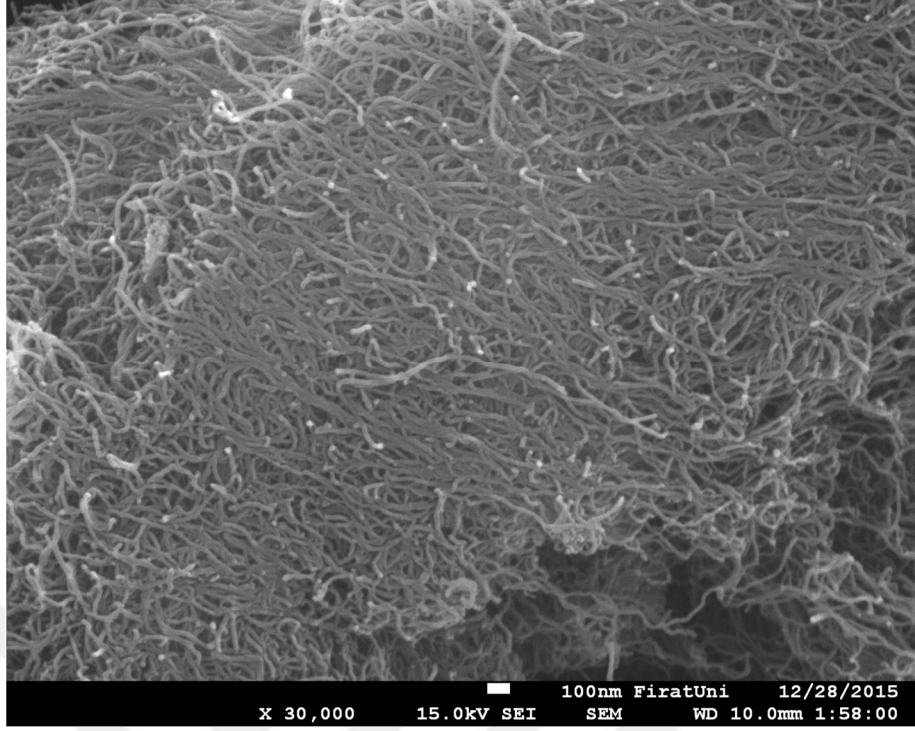
MWNT-COOH ucundaki karboksil grubunun miktarı titrasyon yapılarak bulundu. Bunun için yoğunluğu 1,186 g/ml ve % 37 lik olan hidroklorik asitten (HCl) 4,15 ml alınıp saf suyla 500 ml ye tamamlandı. 2 gram sodyum hidroksit (NaOH) alınıp saf suyla 500 ml ye tamamlandı. NaOH ve HCl' nin ayarlaması yapıldı. Öncelikle NaOH 'ı ayarlamak için $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ (ogzalik asit dihidrat) etüvde 2 h kurutuldu. 0.1274 g tartılarak 50 ml suda çözüldü. 2-3 damla fenol ftalein damlatılıp NaOH ile titre edildi. Dönüm noktasında harcanan titrant hacmi V kaydedildi Gerekli hesaplama yapılarak NaOH'ın normalitesi bulunmuş oldu. Hesaplanmış olan bu normaliteden HCl'nin normalitesine geçilerek o da ayarlanmış oldu. Ayarlı NaOH ve ayarlı HCl ile yapıdaki karboksil ucunu hesaplamak için titrasyona geçildi. 1,0014 gr MWNTCOOH uçlu karbon nanotüpten alınıp erlene konuldu üzerine 20 mL ayarlı NaOH (0,0676 N) eklendi ve 1 saat bekletildi. İçine birkaç damla fenol ftaleinindikatörü damlatıldı. Bürete de ayarlı HCl (0,0713 N) konuldu ve erlendeki kısım titre edildi. Geri titrasyon ile 9 ml HCl harcandı. Gerekli hesaplamalar yapılarak çok duvarlı karbon nanotüpün asit ucunun, 1,004 gram MWNT-COOH için 0,709 mmol olduğu bulundu.

3.26. Yapıların Morfolojilerinin İncelenmesi

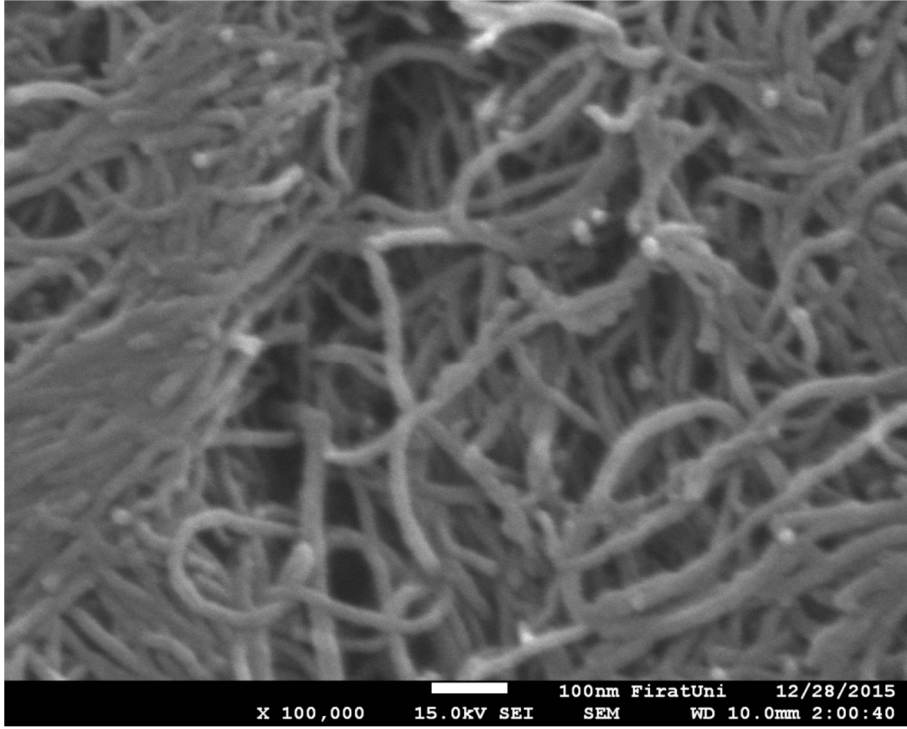
Sentezlenmiş olan polimer ve nanokompozit karışımlarının morfolojilerini incelemek için taramalı elektron mikroskopu kullanıldı ve SEM görüntüleri alındı.

3.26.1. MWNT'nin Morfoloji İncelemesi

MWNT için farklı boyutlarda ve farklı bölgelerden alınmış olan SEM görüntüleri Şekil 3.37. a) ve b) de verilmiştir.



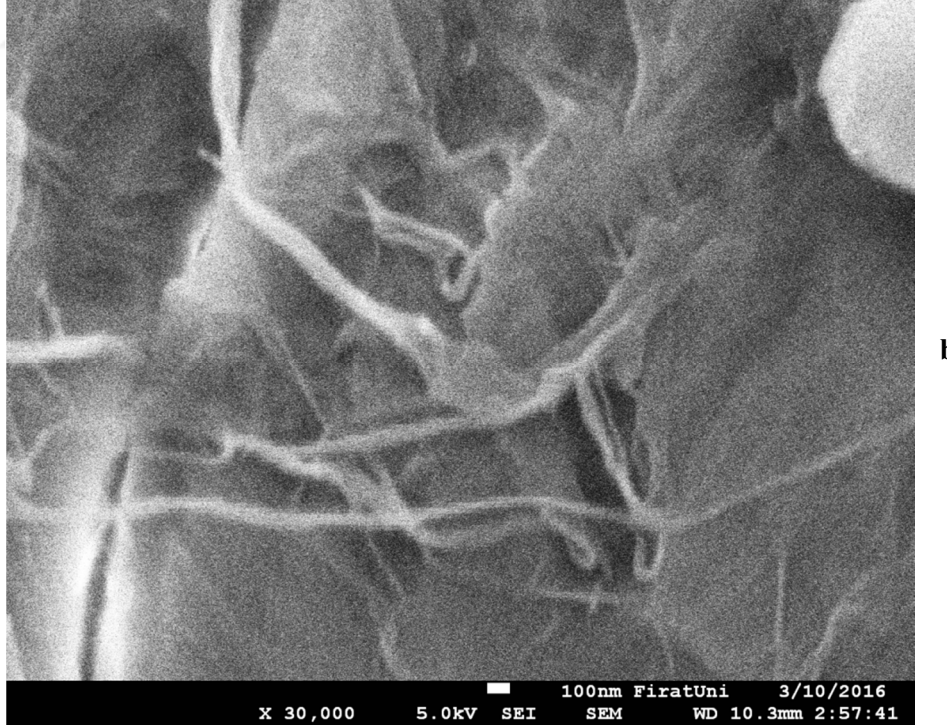
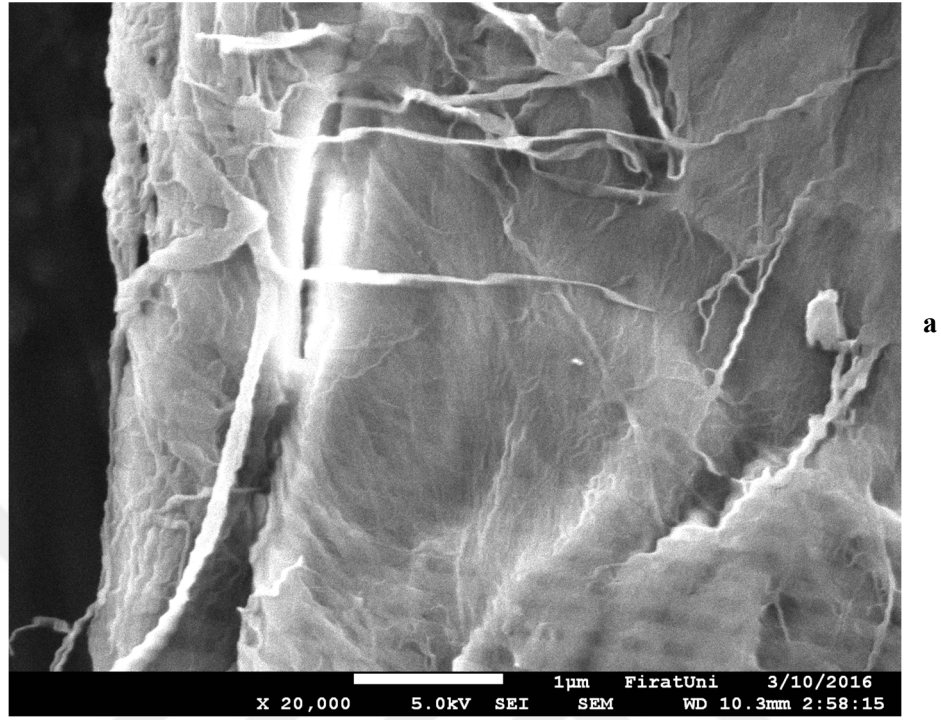
a



b

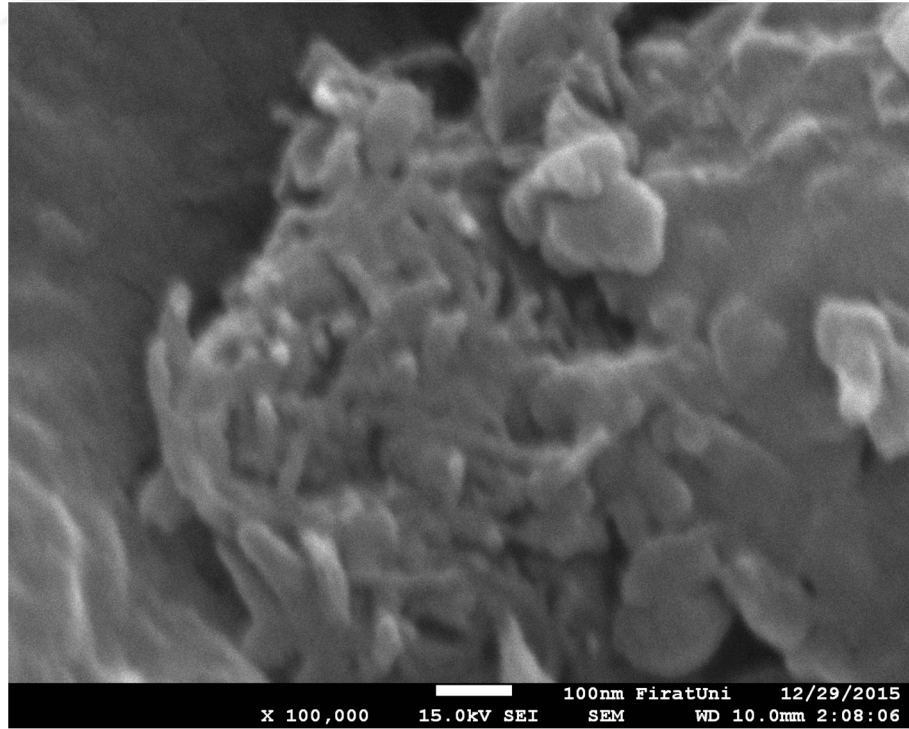
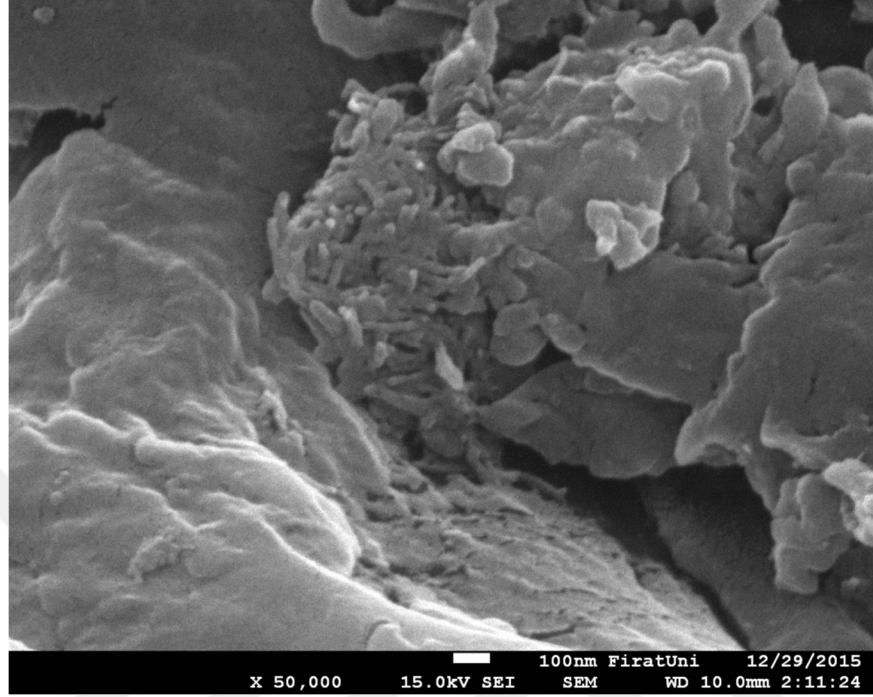
Şekil 3.37. Saf MWNT'nin SEM görüntüleri a) x 30 000, b) x 100 000

3.26.2. MWNT-PCL-*b*-PSt Diblok Kopolimerin Morfolojisinin İncelenmesi



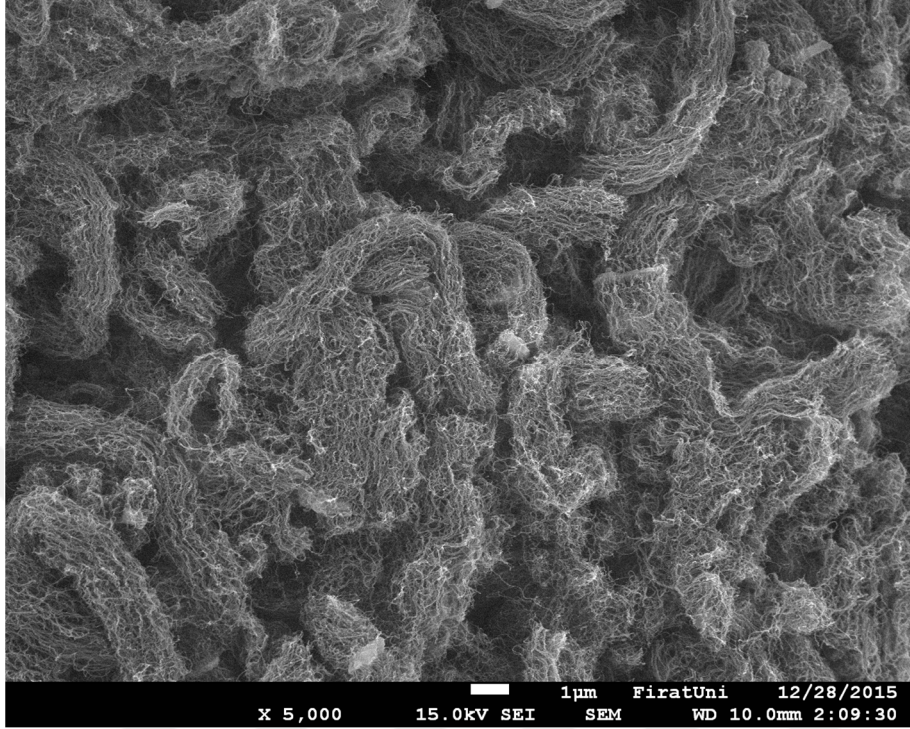
Şekil 3.38. MWNT-PCL-*b*-PSt SEM görüntüleri a) x 20 000, b) x 30 000

3.26.3. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA Triblok Kopolimerin Morfolojisinin İncelenmesi

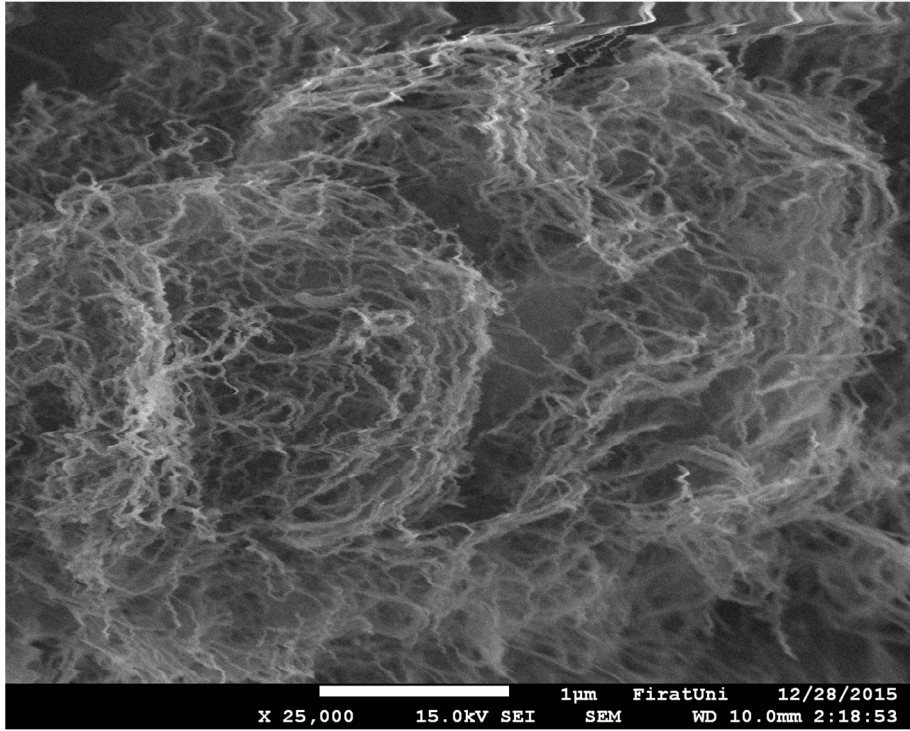


Şekil 3.39. MWNT- PCL-*b*-PS-*b*-PGMA a) x 50 000, b) x 100 000 deki SEM görüntüleri

3.26.4. MWNT- PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/(% 5 'lik MWNT- COOH Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



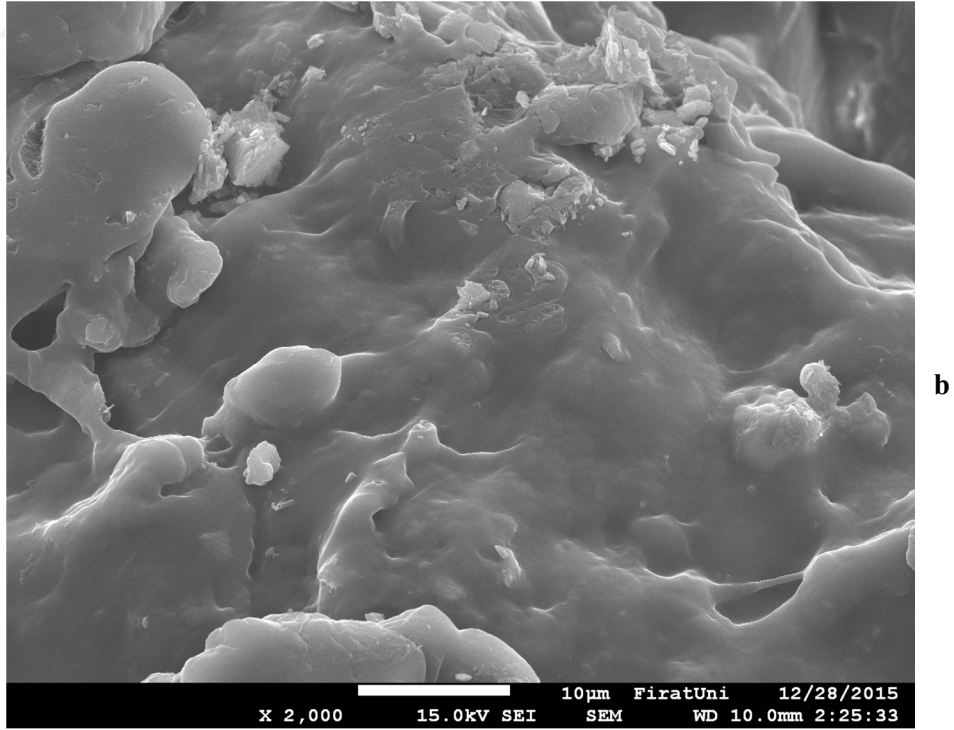
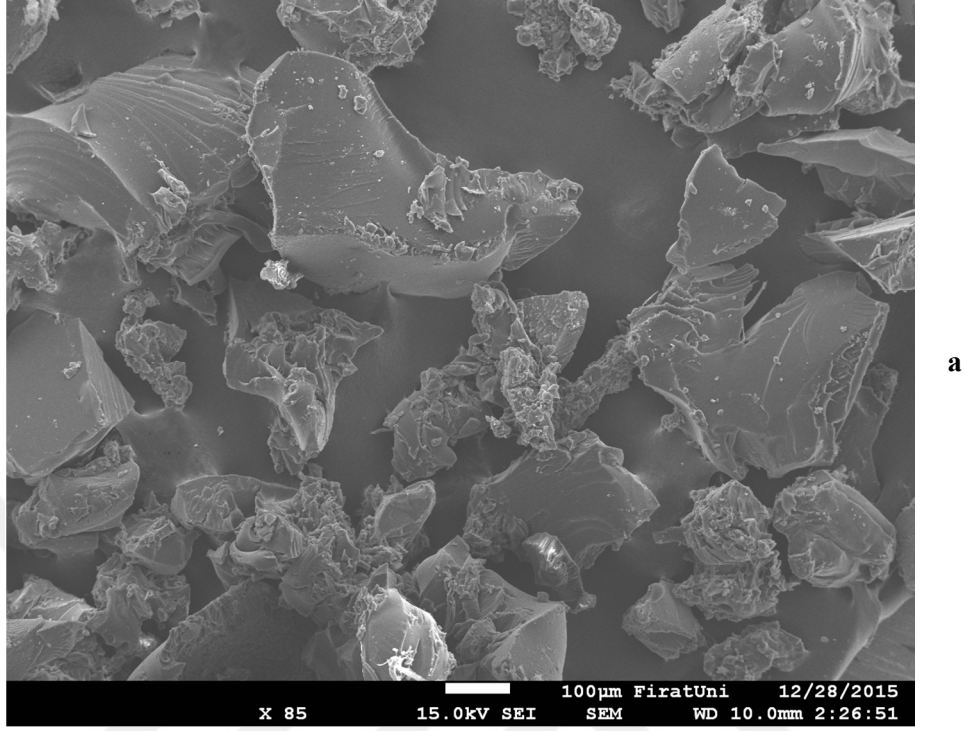
a



b

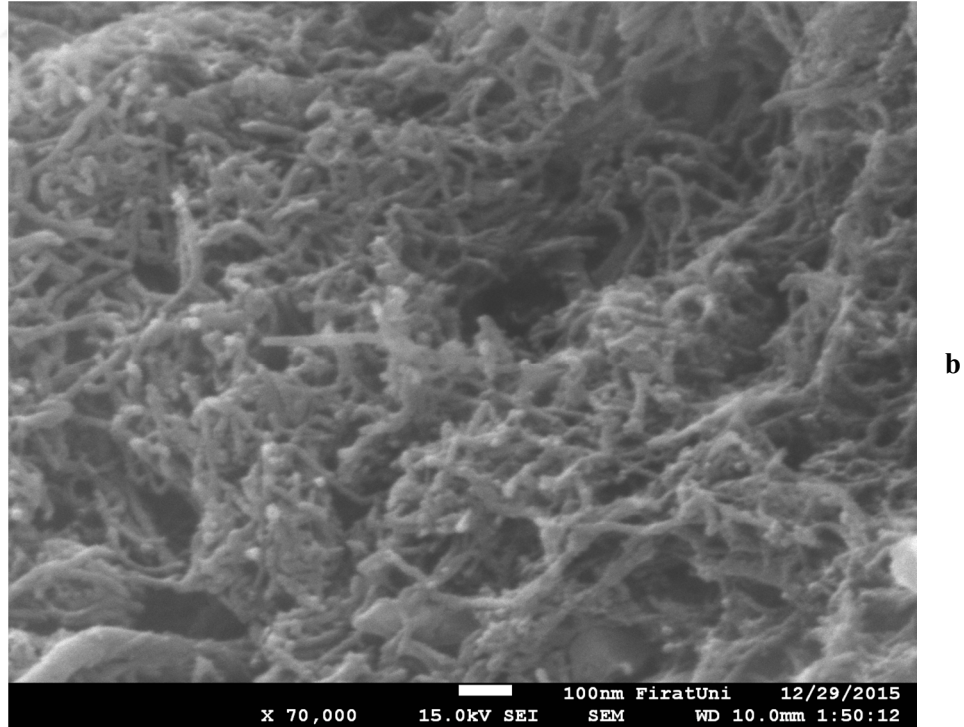
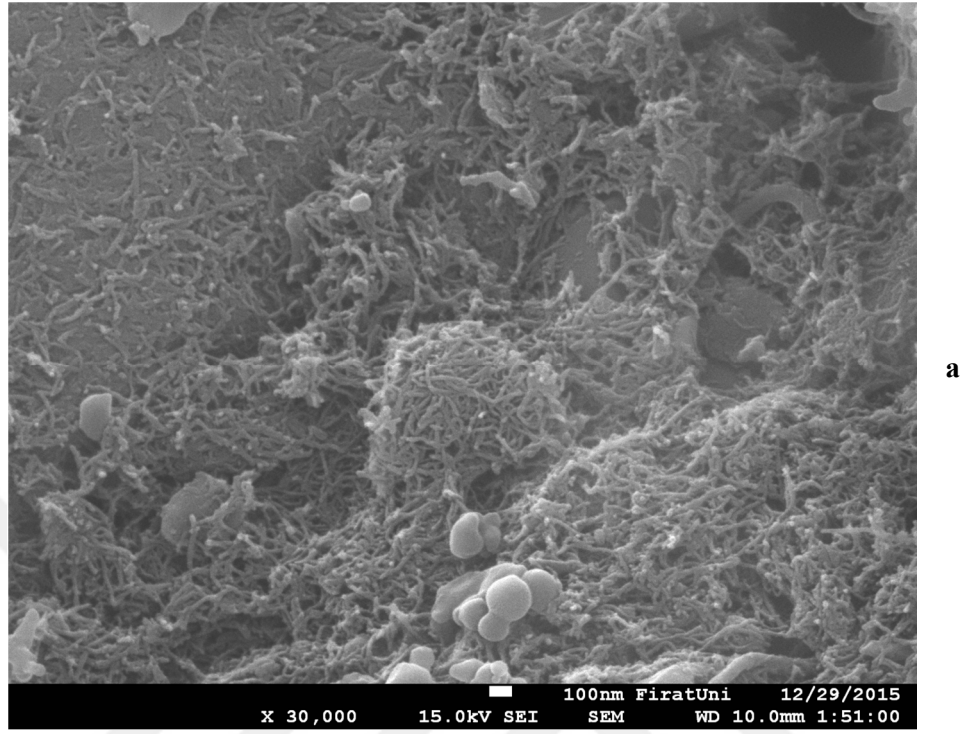
Şekil 3.40. MWNT- PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/% 5 'lik MWNT- COOH nanokompozit a) x 5000, b) x 25 000 deki SEM görüntüleri

3.26.5. Poli(BAPDE-*ko*-P) Kopolimeri Morfolojisinin İncelenmesi



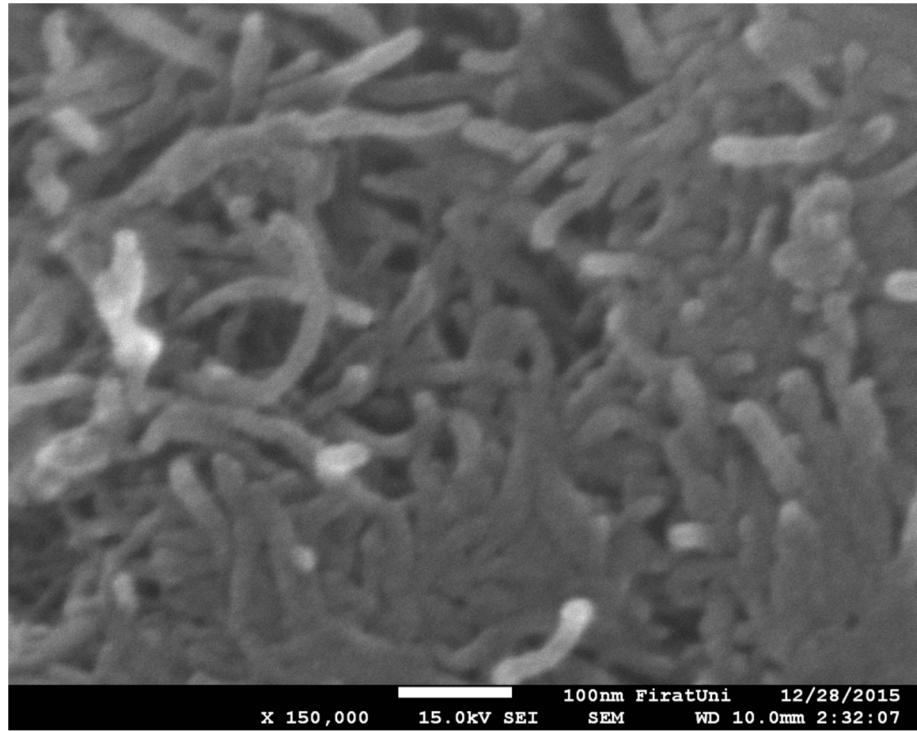
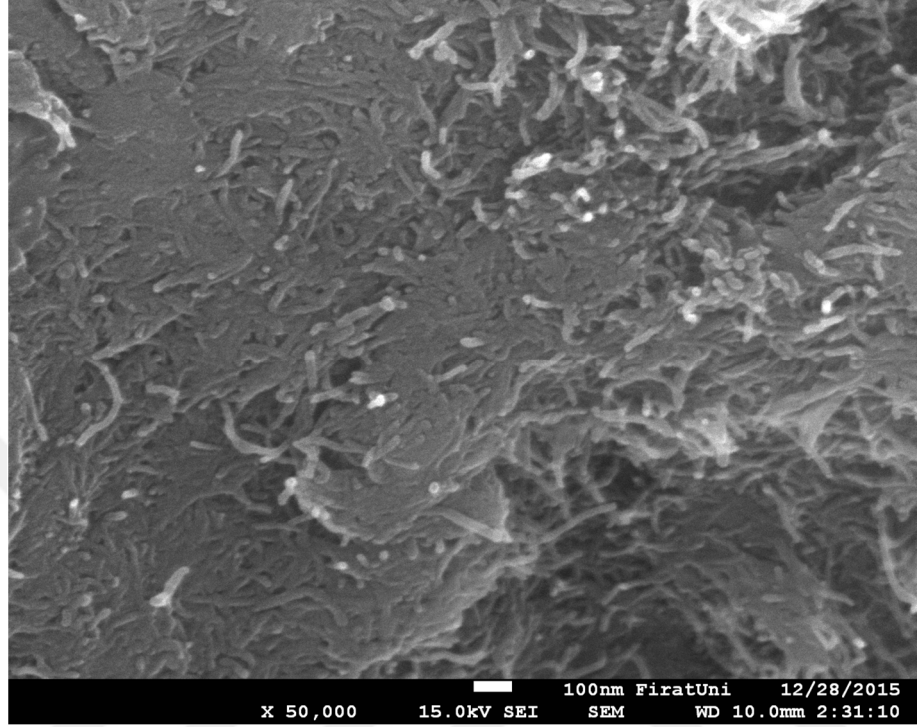
Şekil 3.41. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimerinin a) x 85, b) x 2000 deki SEM görüntüleri

3.26.6. MWNT-Si-NH₂ 'nin Morfolojisinin İncelenmesi



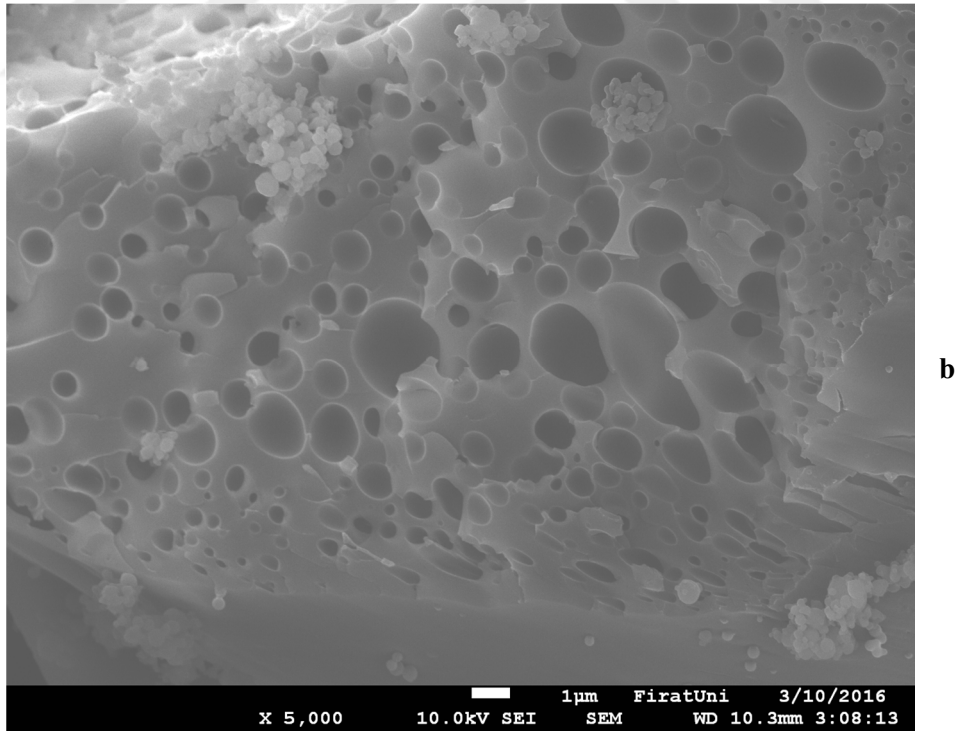
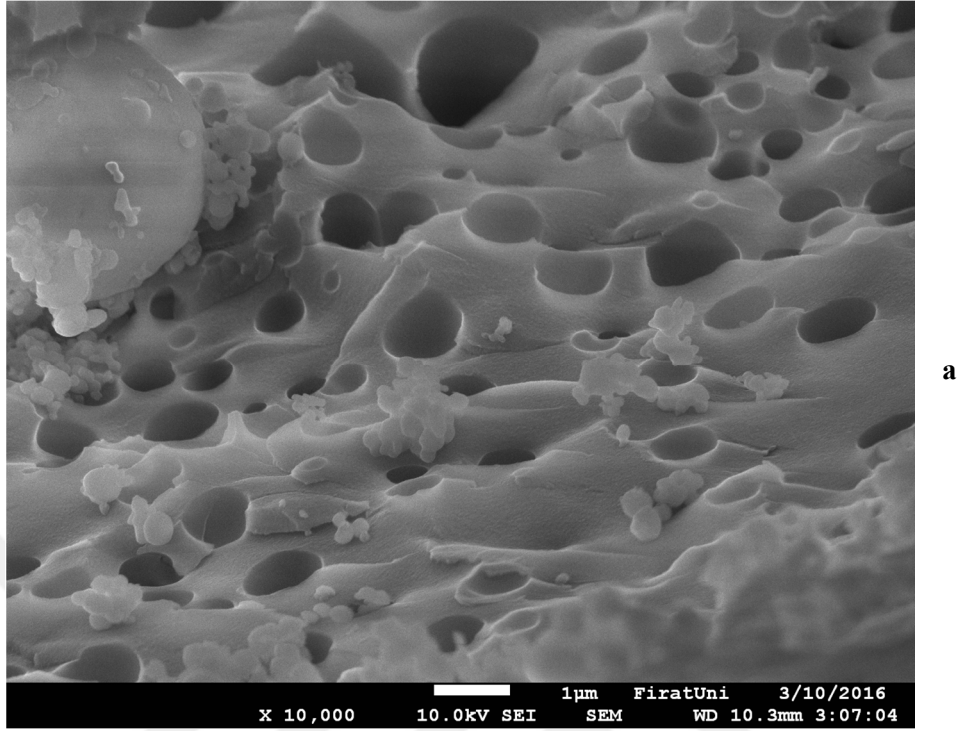
Şekil 3.42. MWNT-Si-NH₂ a) x 30 000, b) x 70 000 deki SEM görüntüleri

3.26.7. Poli(BAPDE-*ko*-P) Kopolimeri/ % 20'lik (MWNTCOOH+MWNT-Si-NH₂) Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



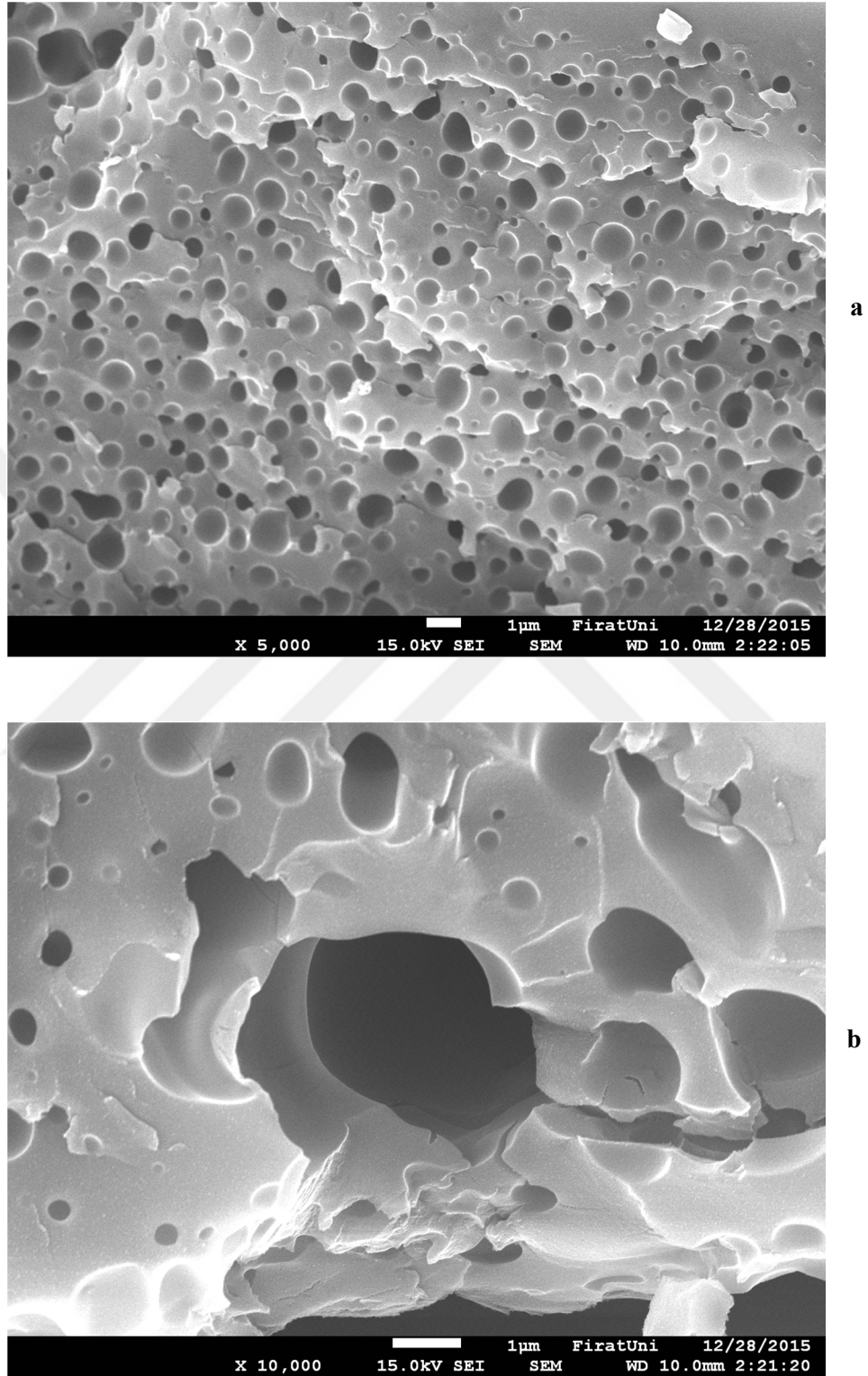
Şekil 3.43. Poli(BAPDE-*ko*-P) / % 20'lik (MWNTCOOH+MWNT-Si-NH₂) nanokompozitinin a) x 50 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri

3.26.8. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) Polimerinin Morfolojisinin İncelenmesi



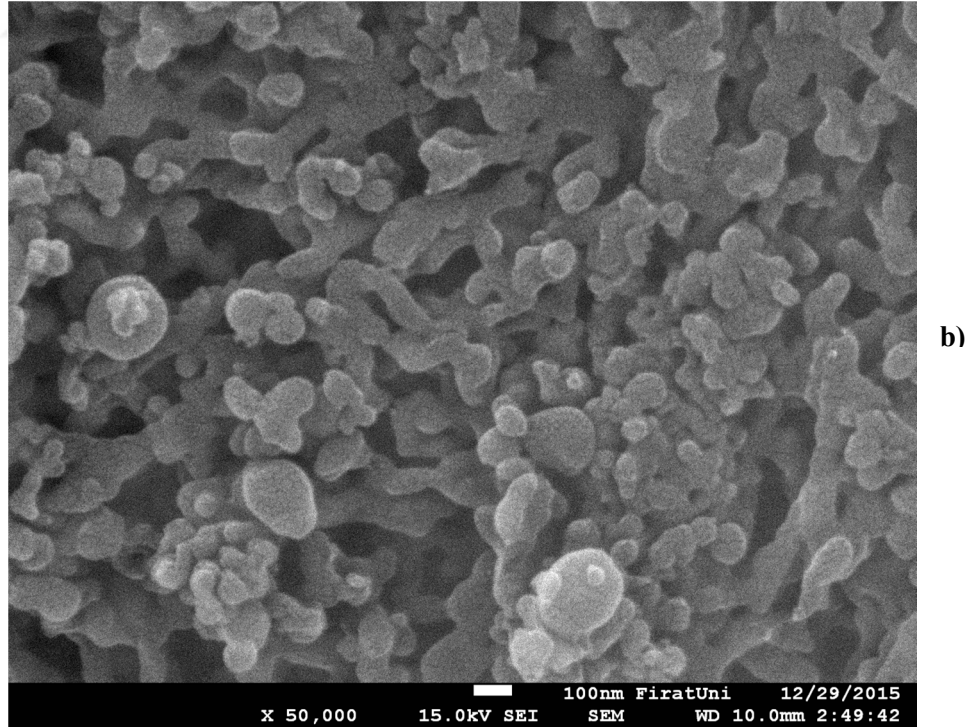
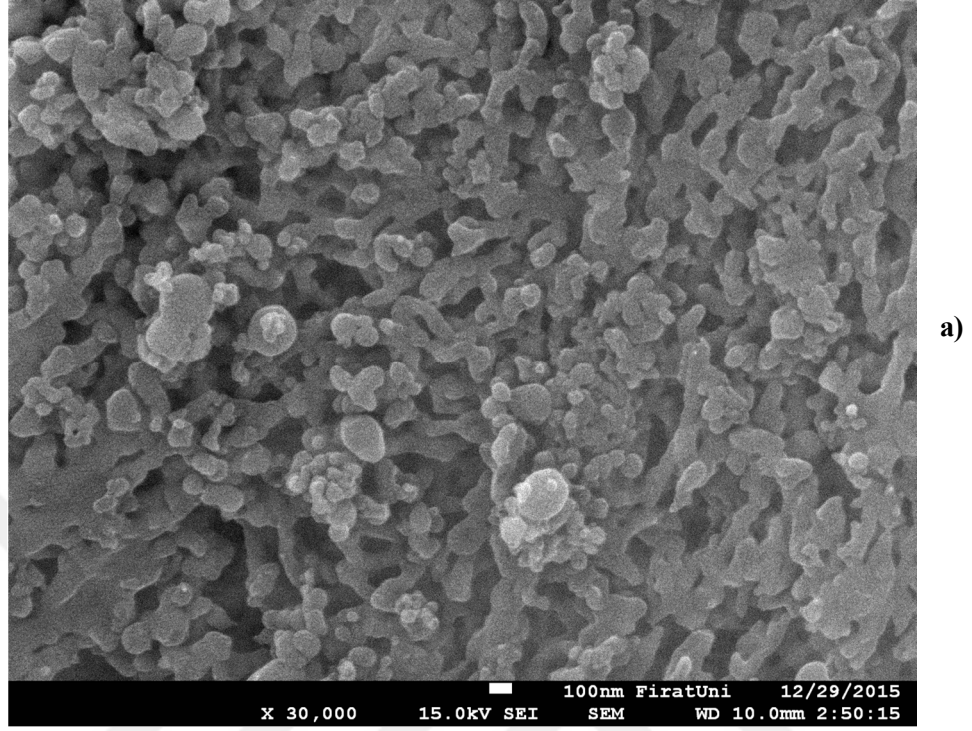
Şekil 3.44. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) kopolimerinin a) x 5000, b) x 10 000 deki SEM görüntüleri

3.26.9. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) Polimer Morfolojisinin İncelenmesi



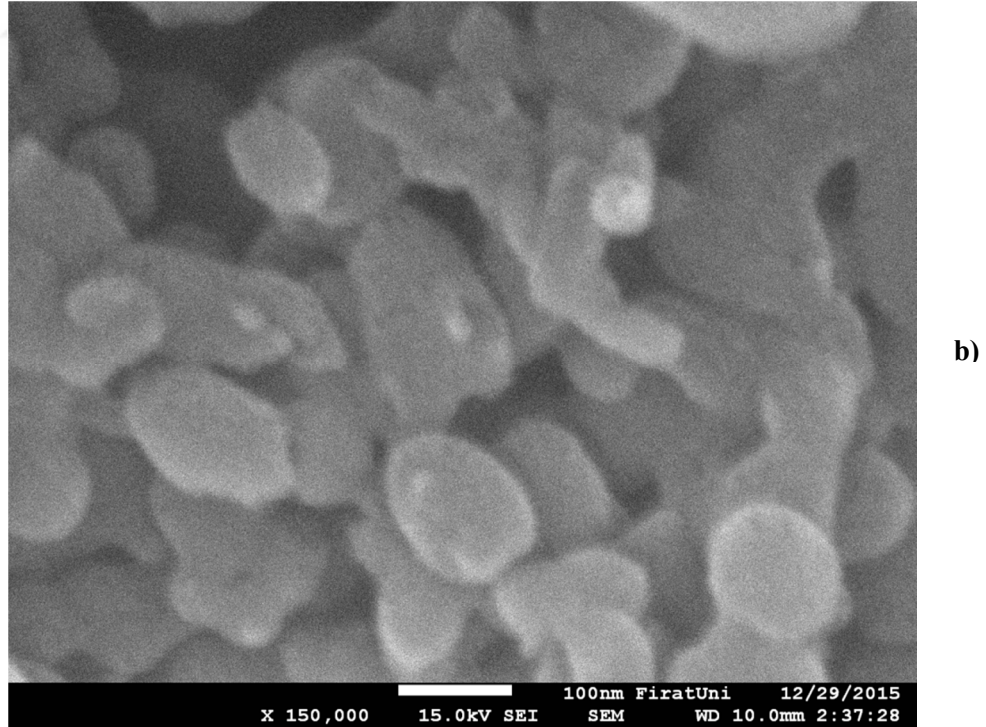
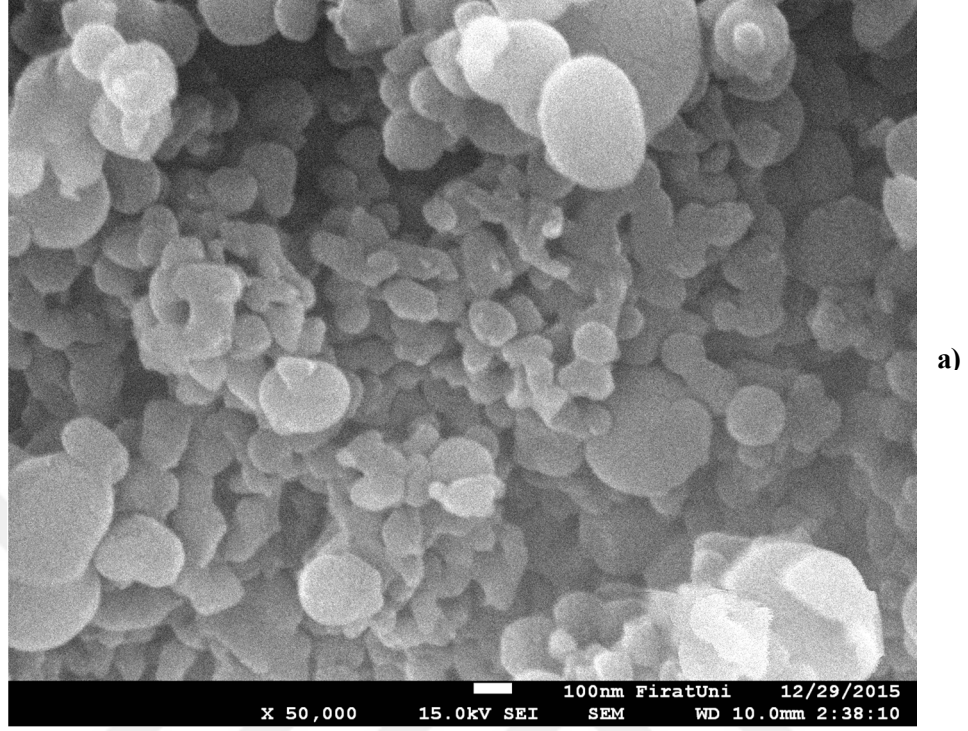
Şekil 3.45. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) kopolimerinin a) x 5000, b) x 10 000 deki SEM görüntüleri

3.26.10. Poli(% 6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi



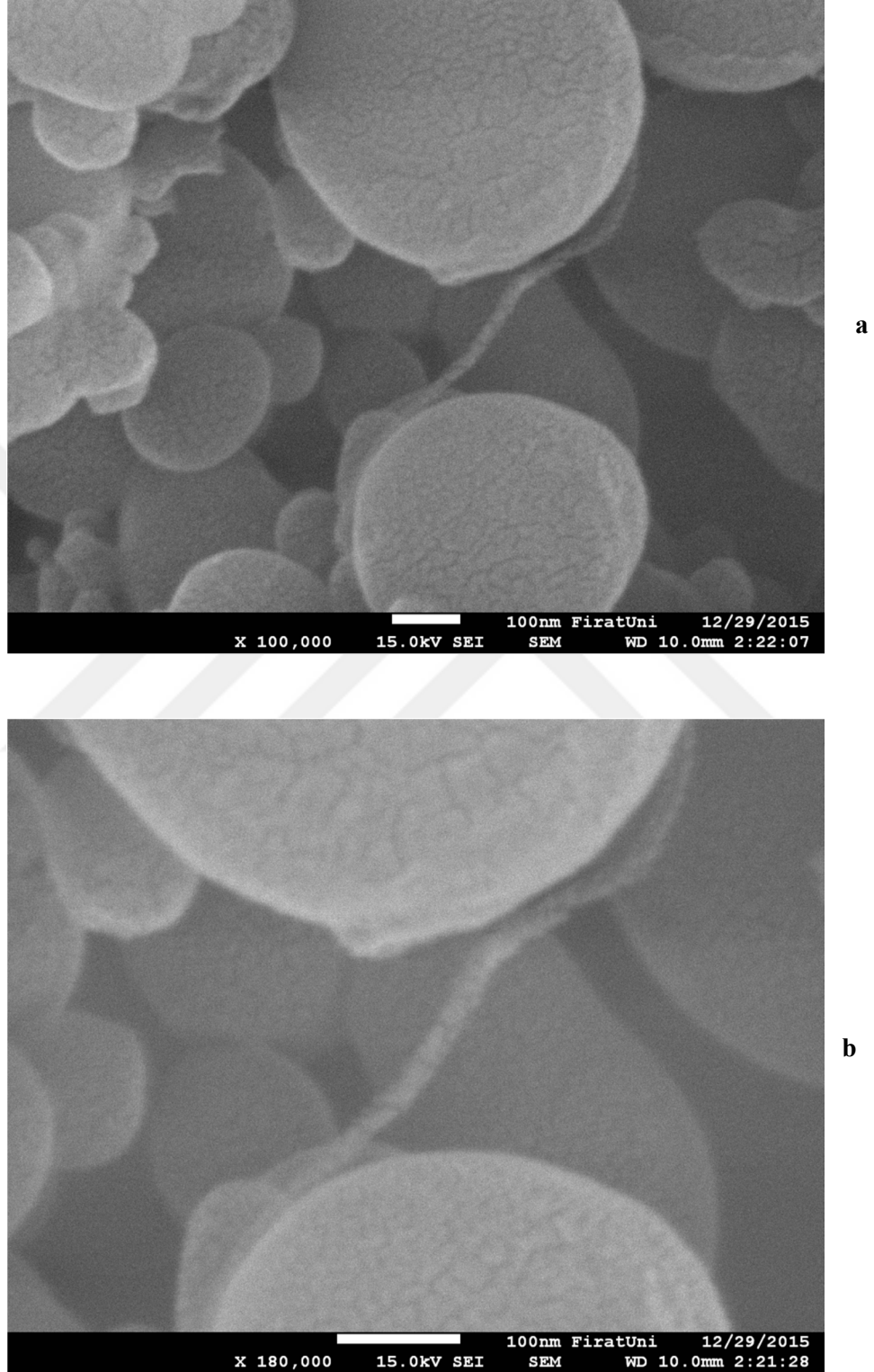
Şekil 3.46. Poli(% 6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) yapısı a) x 30 000, b) x 50 000 deki SEM görüntüleri

3.26.11. Poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi



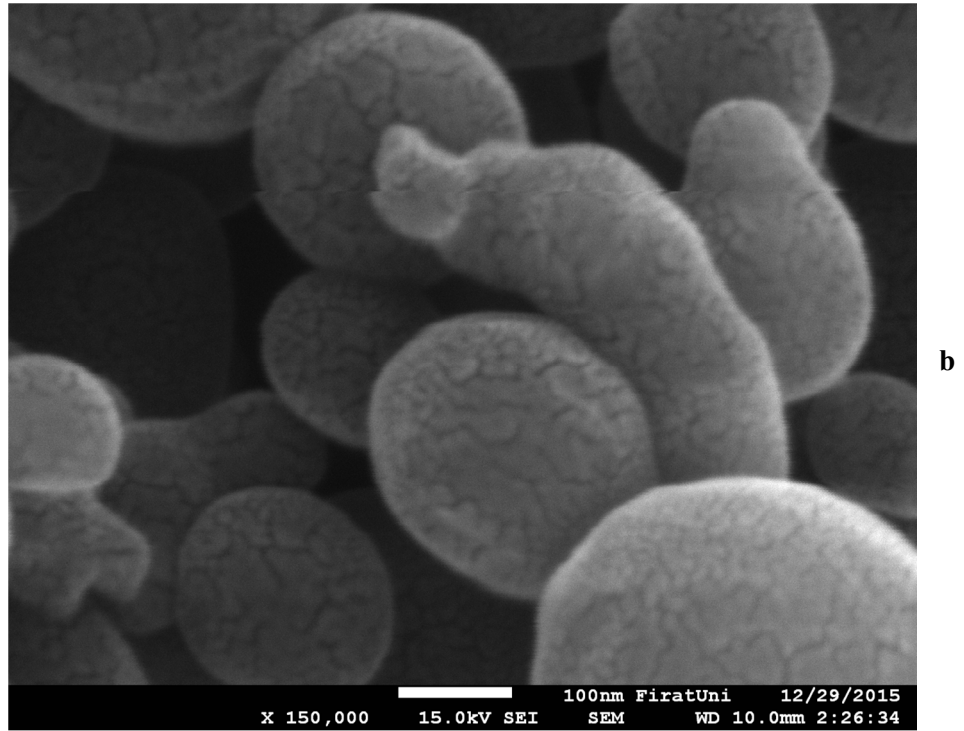
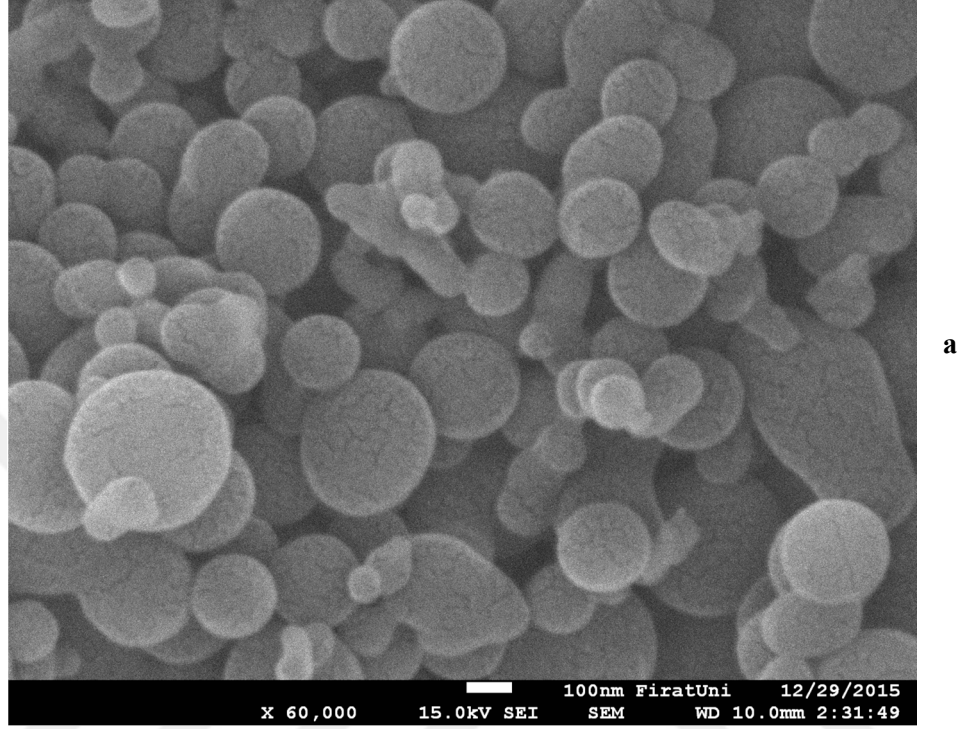
Şekil 3.47. Poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St) yapısı a) x 50 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri

3.26.12. Poli(% 21 GMA-MWNT-*ko*-St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi



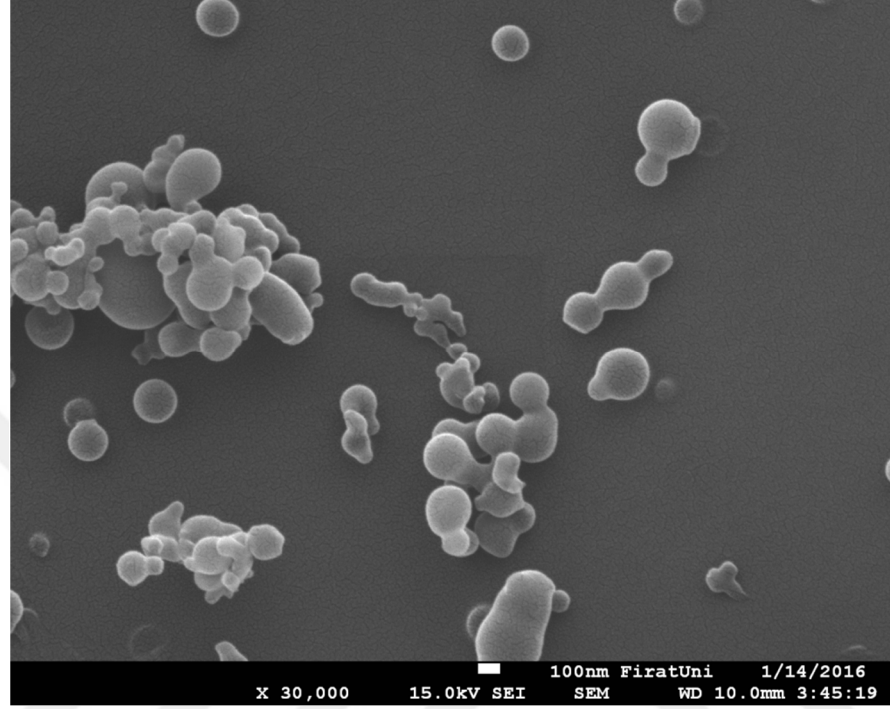
Şekil 3.48. Poli(% 21 GMA-MWNT-*ko*-St) yapısı a) x 100 000, b) x 180 000 deki SEM görüntüleri

3.26.13. Poli(% 28 GMA-MWNT-*ko*-St) Yapısının Morfolojisinin İncelenmesi

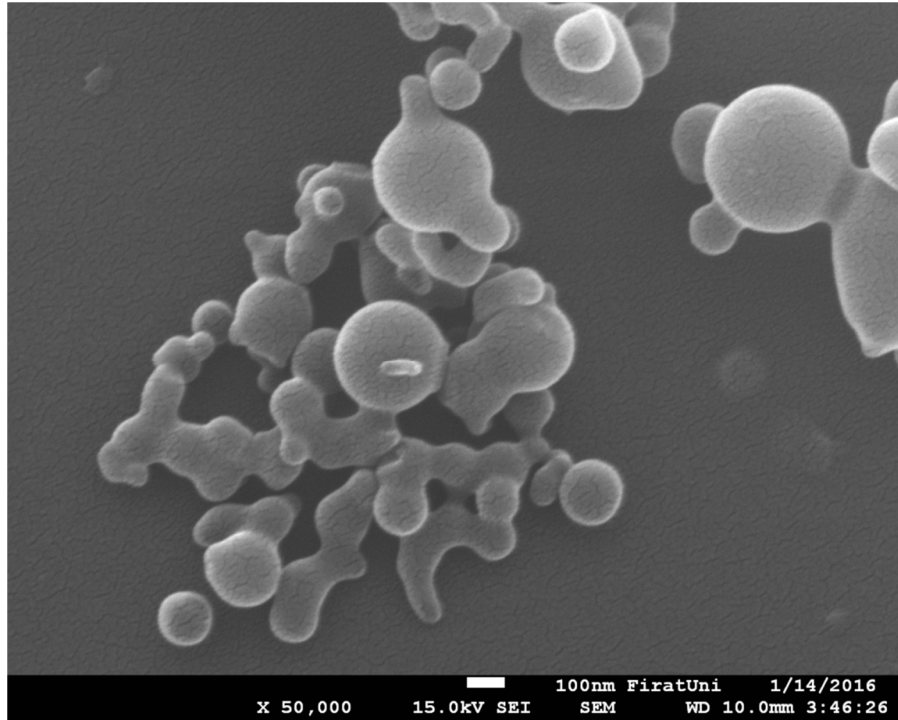


Şekil 3.49. Poli(% 28 GMA-MWNT-*ko*-St) yapısı a) x 60 000, b) x 150 000 deki SEM görüntüleri

3.26.14. Poli(% 13 GMA-*ko*- St) /% 5 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



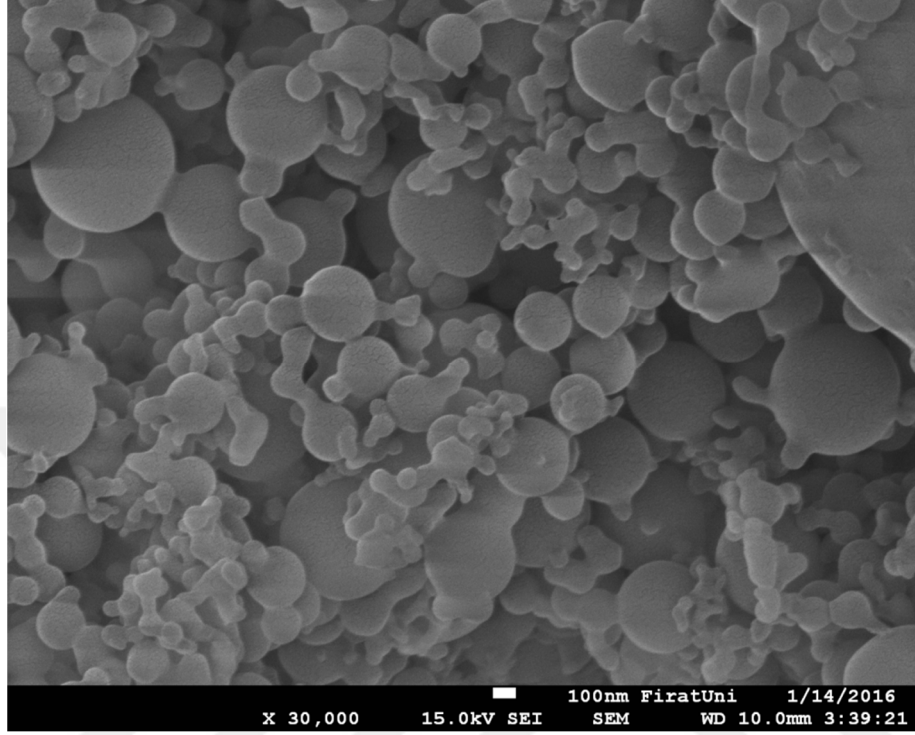
a



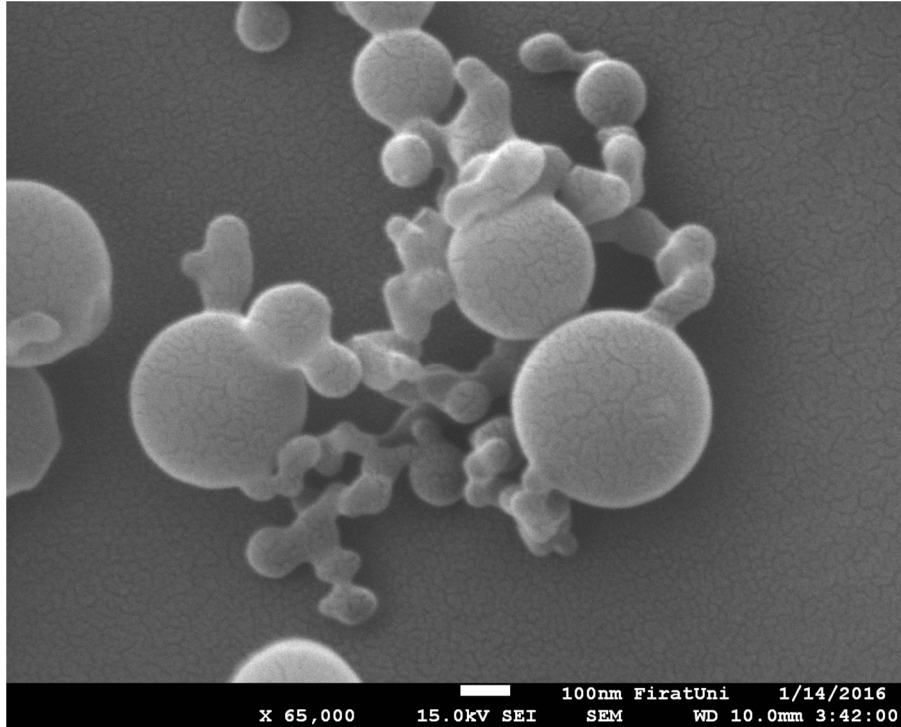
b

Şekil 3.50. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) / % 5 MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) x 50 000 deki SEM görüntüleri

3.26.15. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) /% 12 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



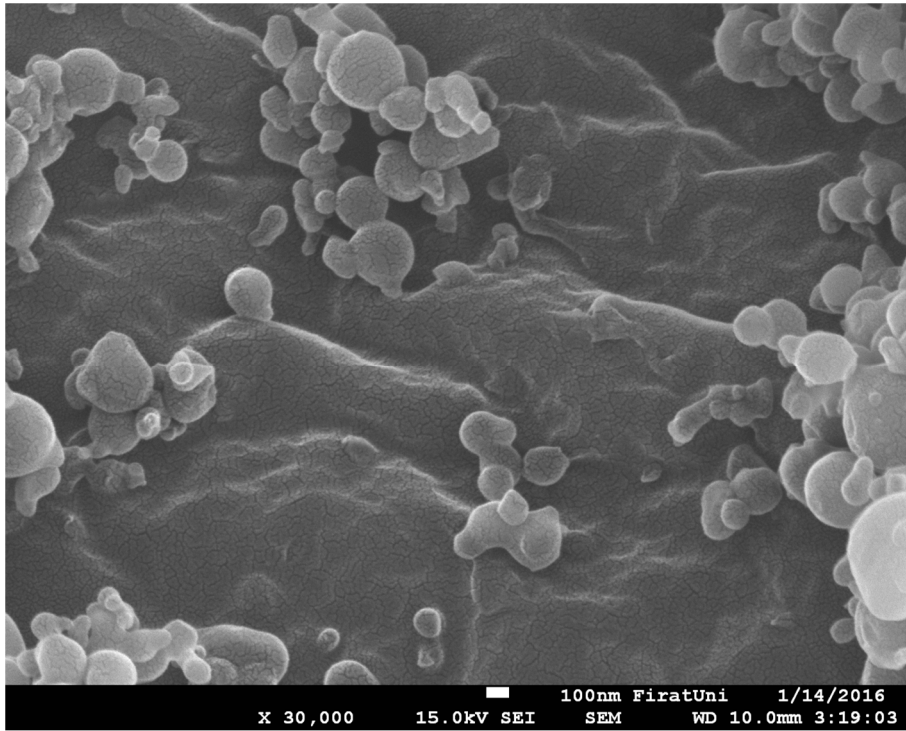
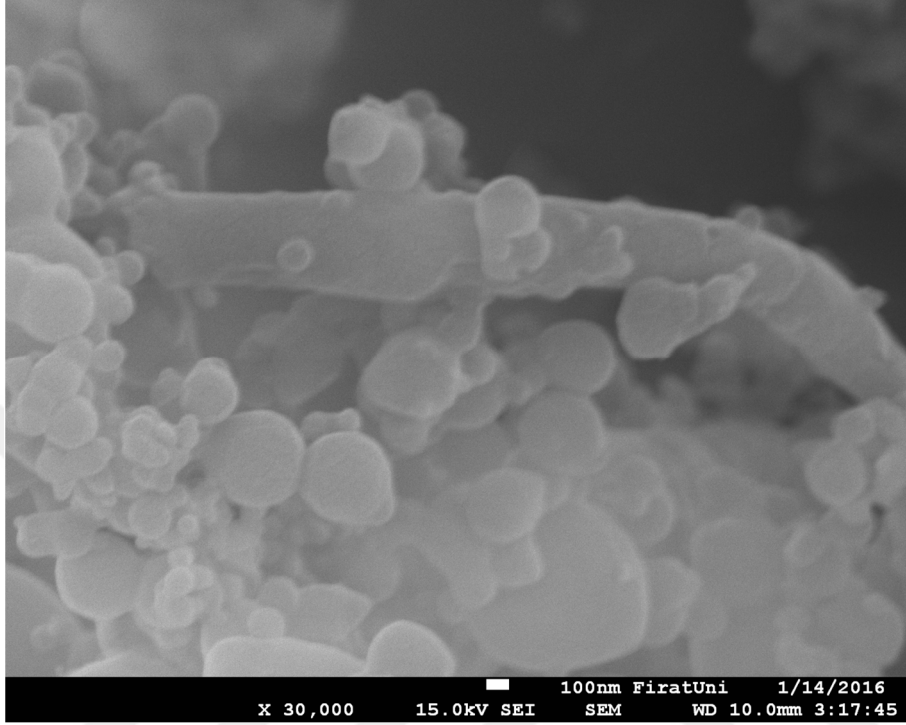
a



b

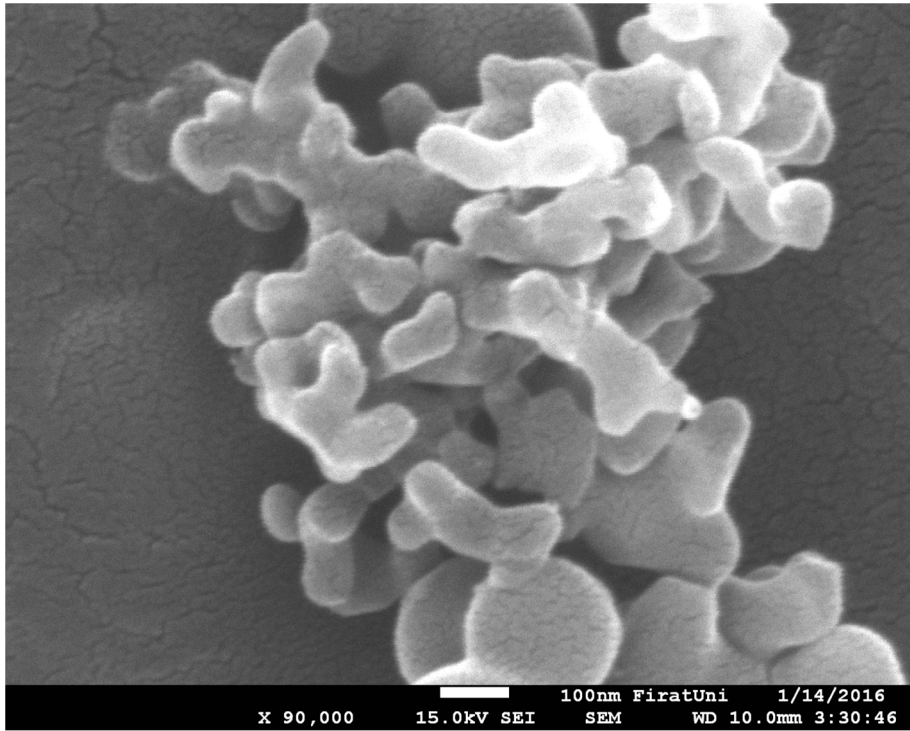
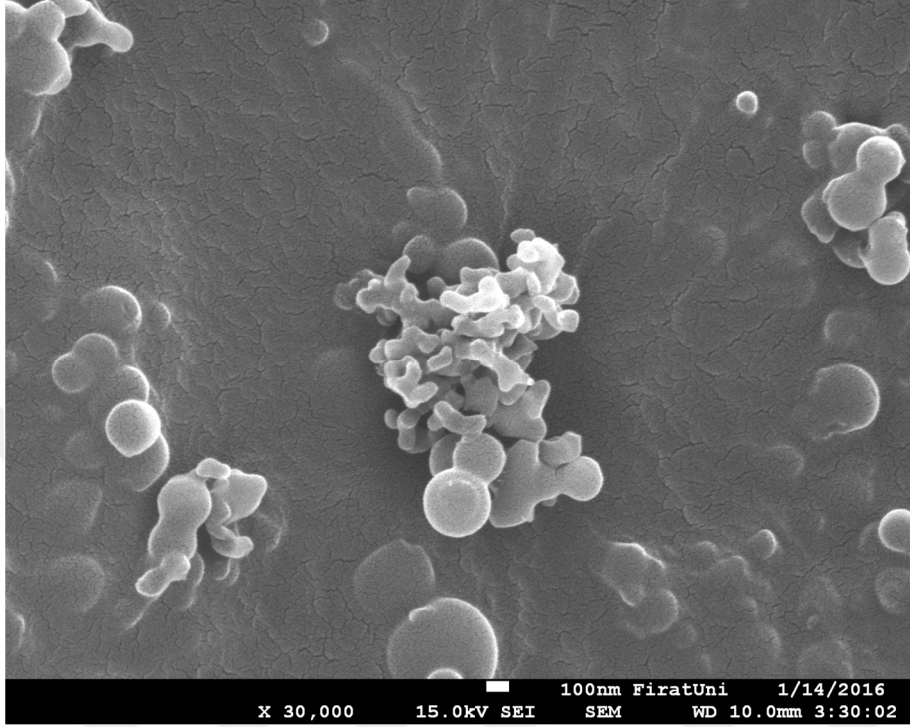
Şekil 3.51. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) / % 12 MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) x 65 000 deki SEM görüntüleri

3.26.16. Poli(% 21 GMA-ko-St) /% 5 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



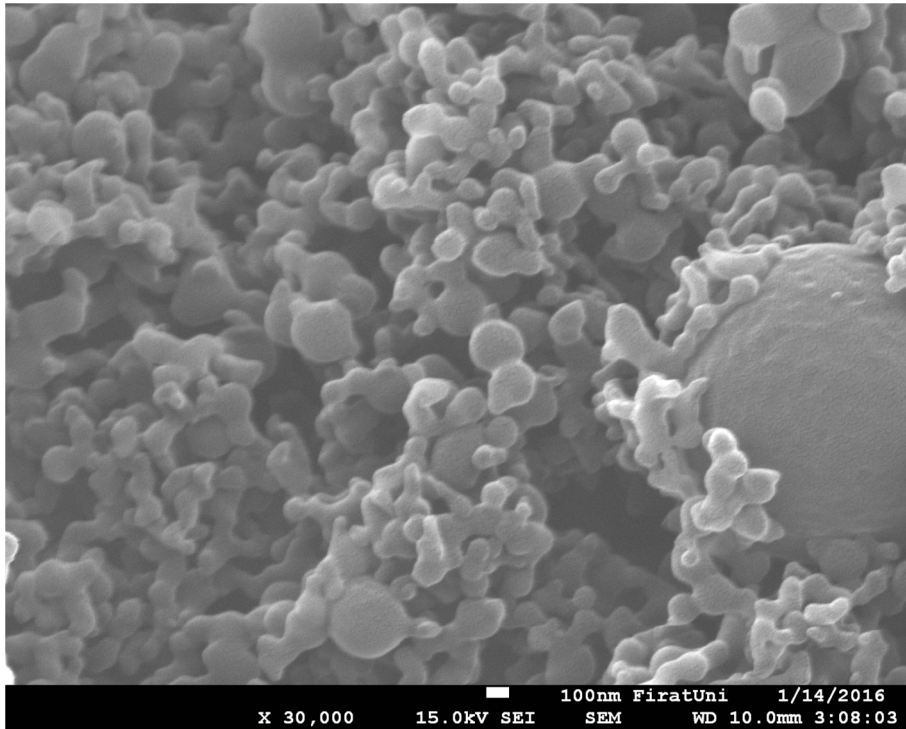
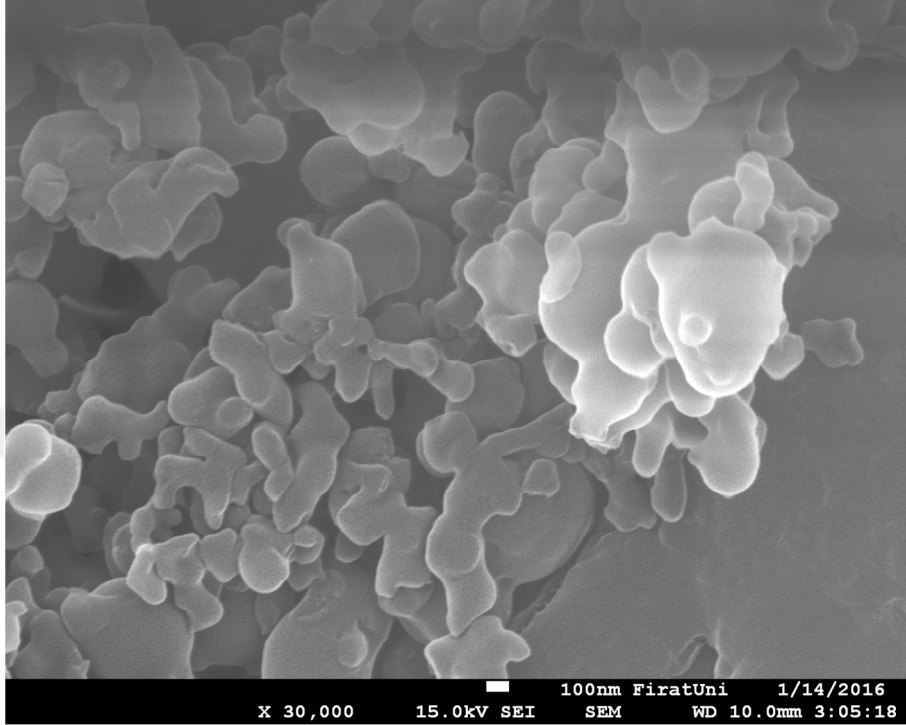
Şekil 3.52. Poli(% 21 GMA-ko-St) /% 5 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitinin a) x 30 000, b) Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri

3.26,17. Poli (% 21 GMA-*ko*-St) /% 12 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



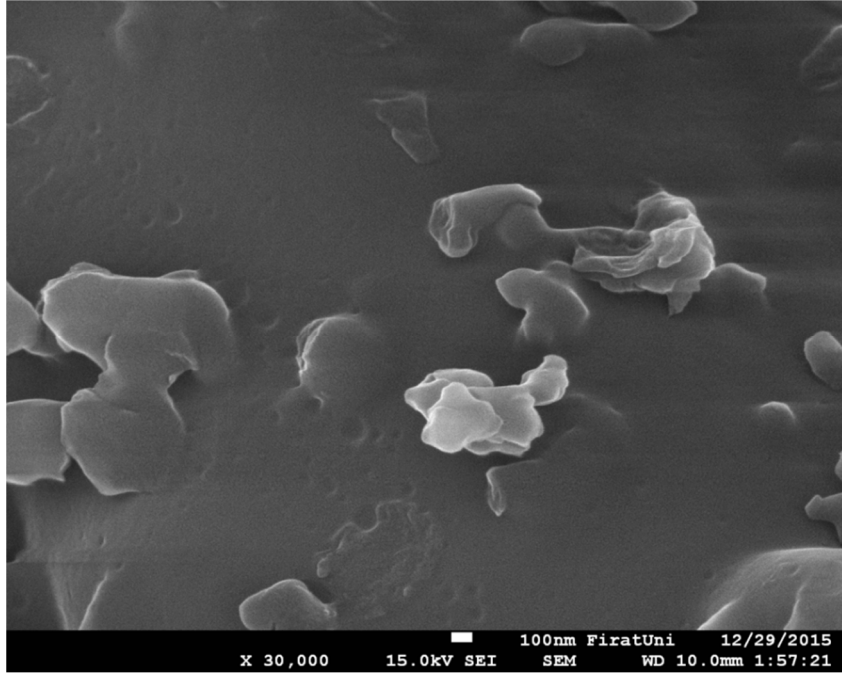
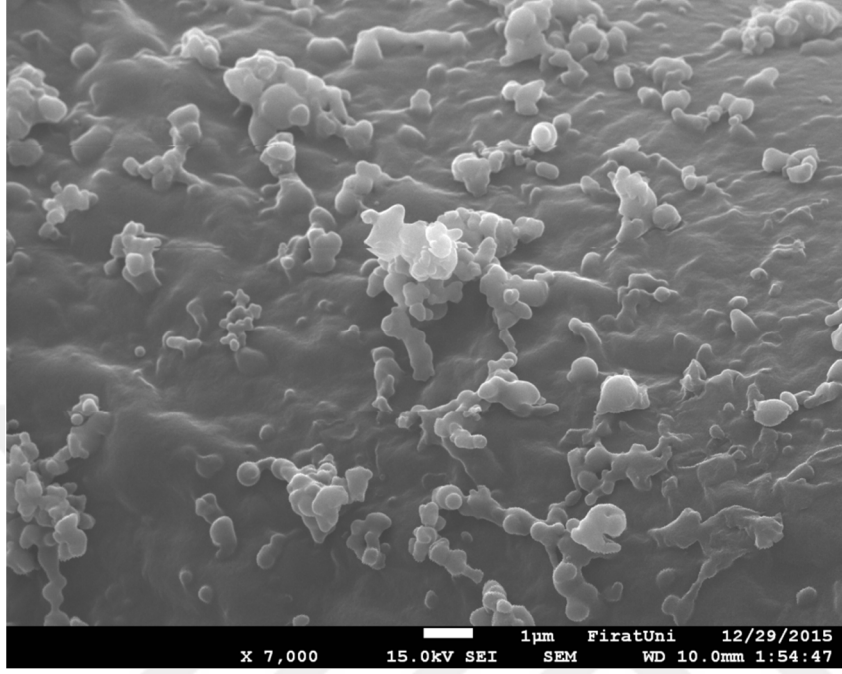
Şekil 3.53. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) /% 12 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitinin x 30 000, b) x 90 000 deki SEM görüntüleri

3.26.18. Poli (%28 GMA-*ko*-St) /% 5 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



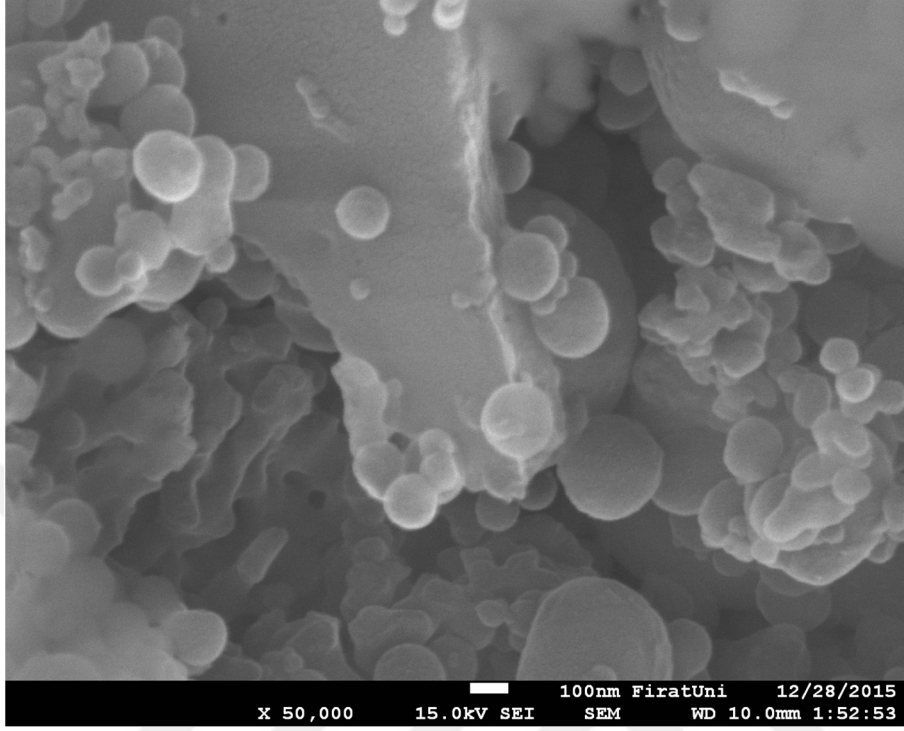
Şekil 3.54. Poli(%28 GMA-*ko*-St) /% 5 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitinin a) x 30 000, b)Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri

3.26,19. Poli(%28 GMA-*ko*-St) /% 12 MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



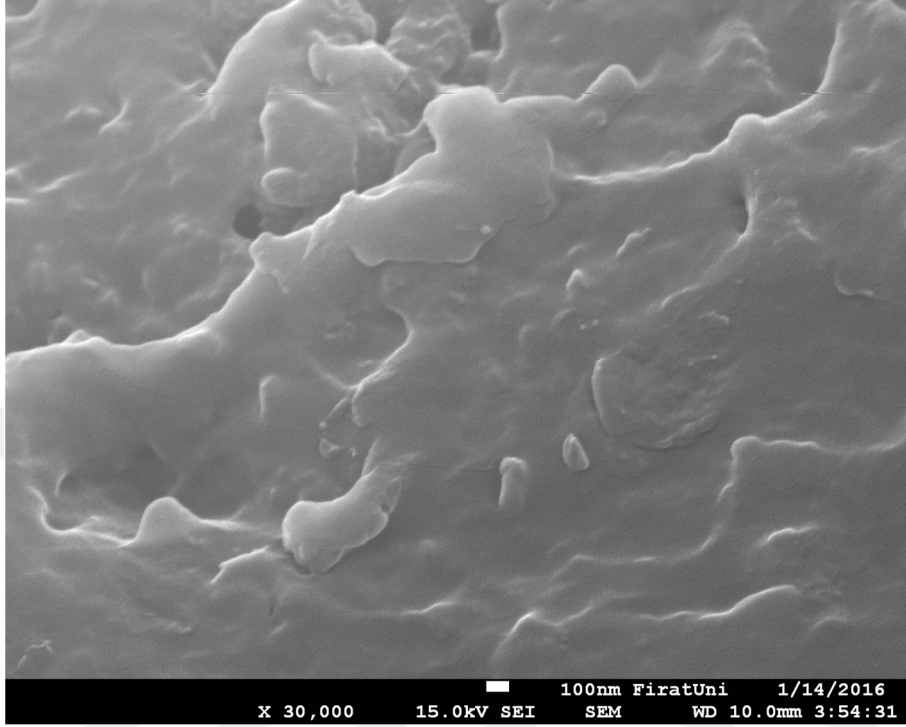
Şekil 3.55. Poli(%28 GMA-*ko*-St) /% 12 MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin x 7000, b) x 30 000 deki SEM görüntüleri

3.26.20. Poli(THB-A) Schiff Bazı Polimeri Morfolojisinin İncelenmesi

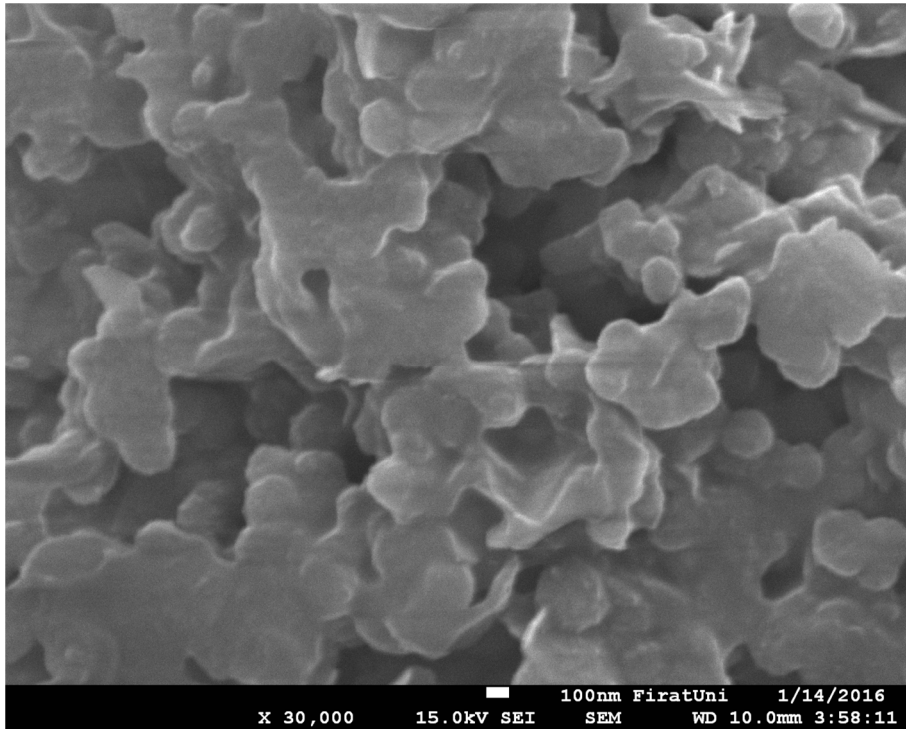


Şekil 3.56. Poli(THB-A) polimerinin x 50 000 deki SEM görüntüsü

3.26.21. Poli(THB-A)Polimeri / poli(THB-A)-Ni Kompleksi / % 2'lik MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



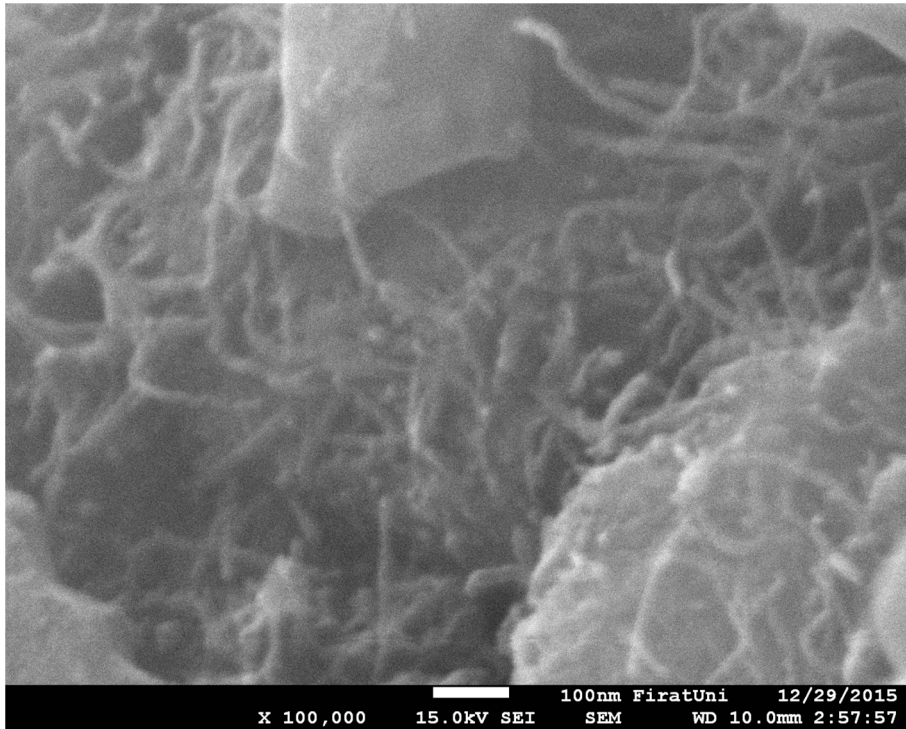
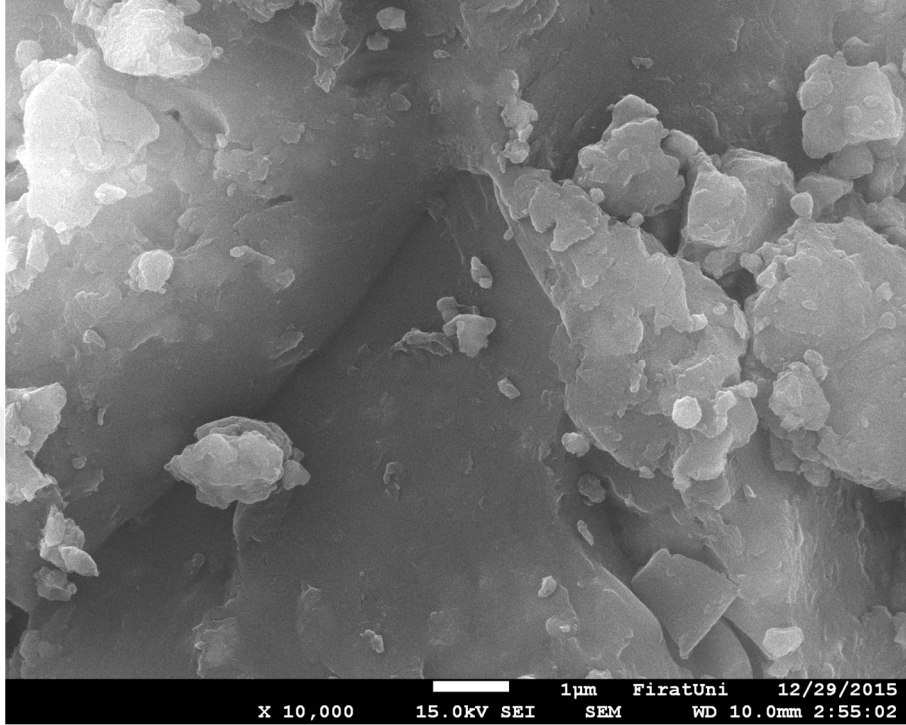
a



b

Şekil 3.57. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 2 MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin a) x 30 000, b) Farklı bölgede x 30 000 deki SEM görüntüleri

3.26.22. Poli(THB-A) polimeri / Poli(THB-A)-Ni Kompleksi /% 8 ‘lik MWNT-Si-NH₂ Nanokompozit Morfolojisinin İncelenmesi



Şekil 3.58. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 8 ‘lik MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin a) x 10 000, b) x 100 000 deki SEM görüntüleri

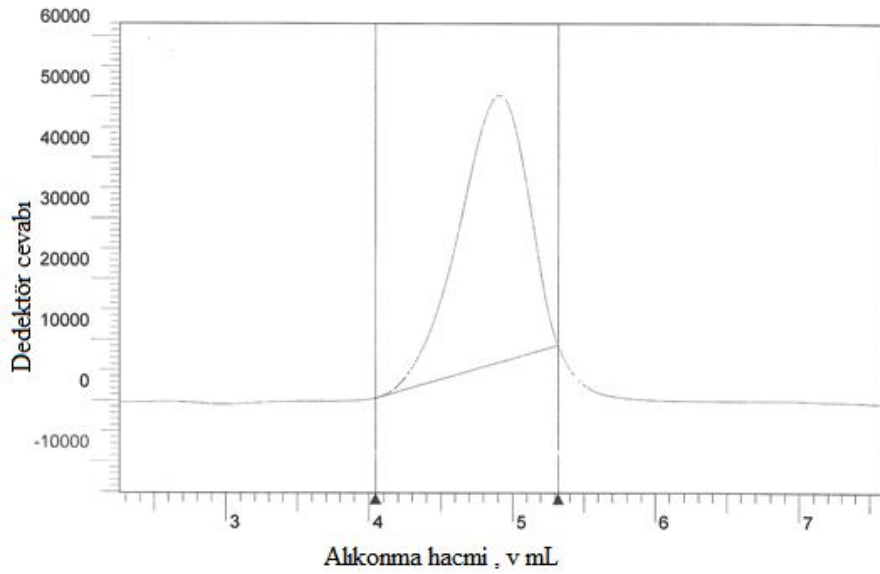
3.27. Polimerlerin GPC Ölçümleri

3.27.1. Poli(GMA-*ko*-St) 'nin GPC Ölçümleri

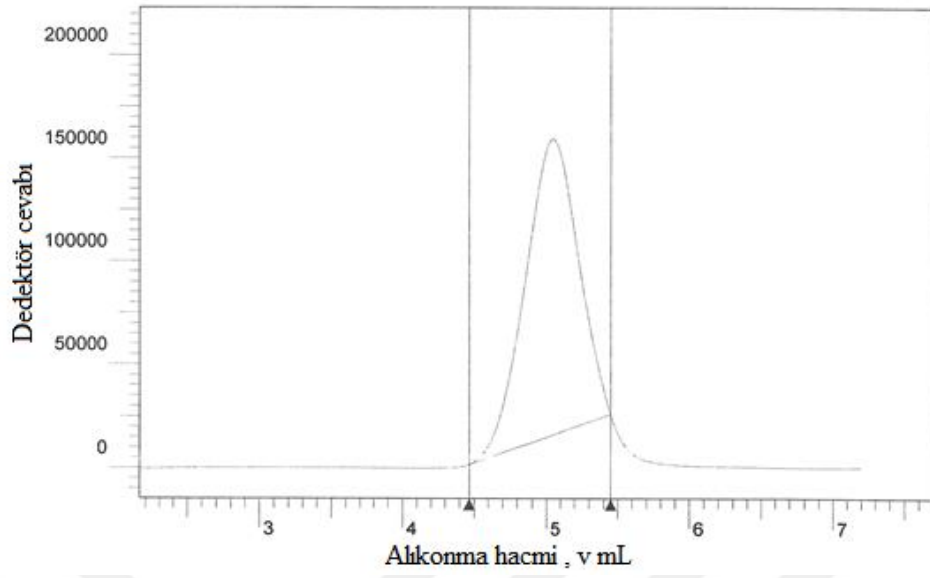
Polimerlerin ortalama molekül ağırlıkları ile molekül ağırlık dağılımlarının tayini jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) cihazı ile 25°C'de, refraktif-indeks (RI) dedektör kullanılarak, 1mL/dk çözücü akış hızında ölçüldü. Standart madde olarak polistiren, çözücü olarak da THF kullanıldı. Poli(GMA-*ko*-St) farklı oranlarda hazırlanmış kopolimerlerinin GPC ölçümleri Şekil 3.59, Şekil 3.60, Şekil 3.61, Şekil 3.62'de, verileri ise Tablo 3.35'de verildi.

Tablo 3.35. Poli(GMA-*ko*-St)'nin GPC ölçüm sonuçları

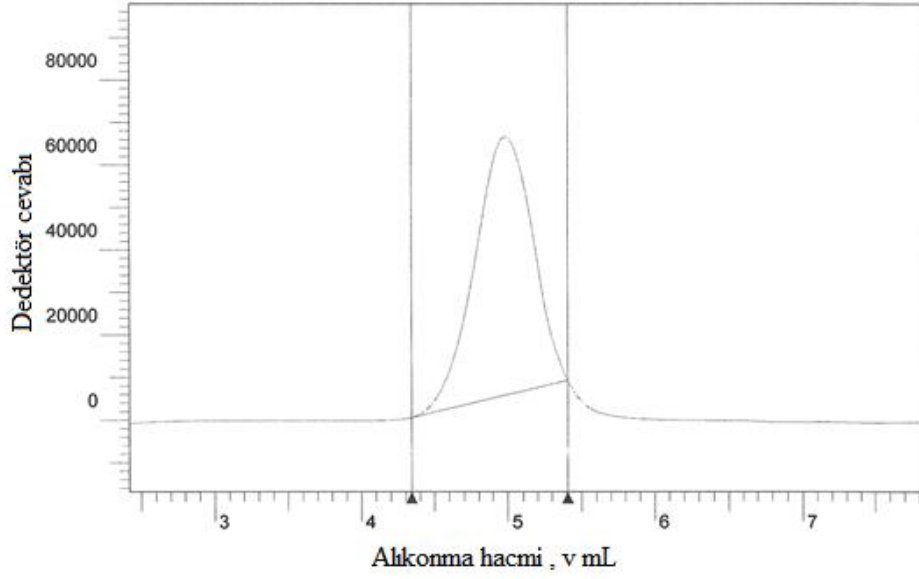
Polimerler	Mn	Mw	Mz	Mv	HI
Poli(% 6,5 GMA- <i>ko</i> -St)	21322	37925	60931	37925	1,78
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St)	10243	17399	26260	17399	1,70
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St)	13880	23291	34999	23291	1,68
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St)	8476	13462	24504	13462	1,59



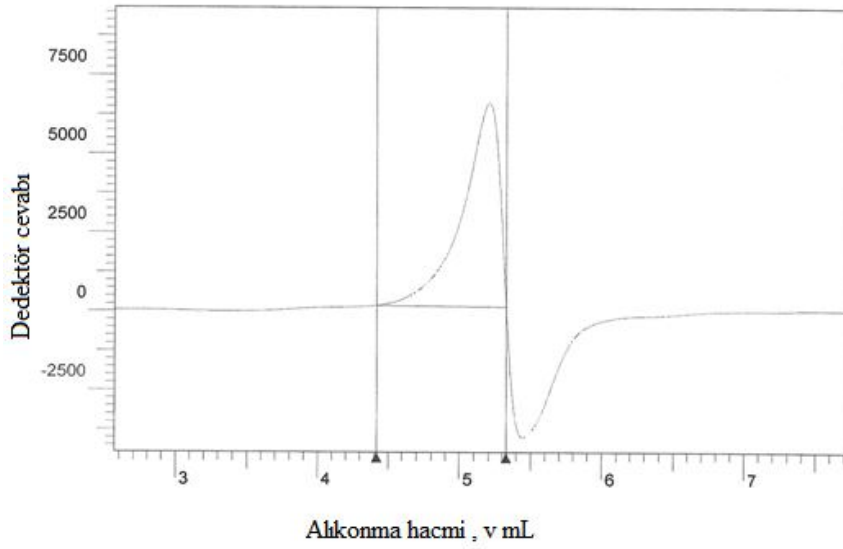
Şekil 3.59. Poli(% 6,5 GMA-*ko*-St) kopolimerinin GPC eğrisi



Şekil 3.60. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) kopolimerinin GPC eğrisi



Şekil 3.61. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) kopolimerinin GPC eğrisi



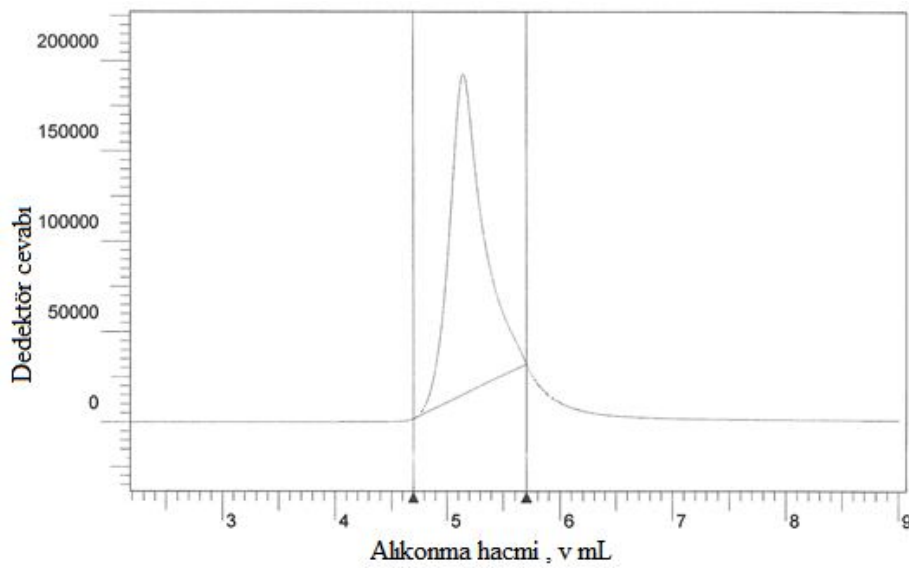
Şekil 3.62. Poli(% 28 GMA-ko-St) kopolimerinin GPC eğrisi

3.27.2. Poli(THB-A) Schiff Bazı Polimerinin GPC Ölçümü

Sentezi yapılmış olan schiff bazı polimerinin GPC ölçümü Şekil 3.63’de, verileri ise Tablo 3.36’da verildi.

Tablo 3.36. Poli(THB-A) polimerinin GPC ölçüm sonucu

Polimer	Mn	Mw	Mz	Mv	HI
poli(THB-A)	4096	8280	12564	8280	2,02

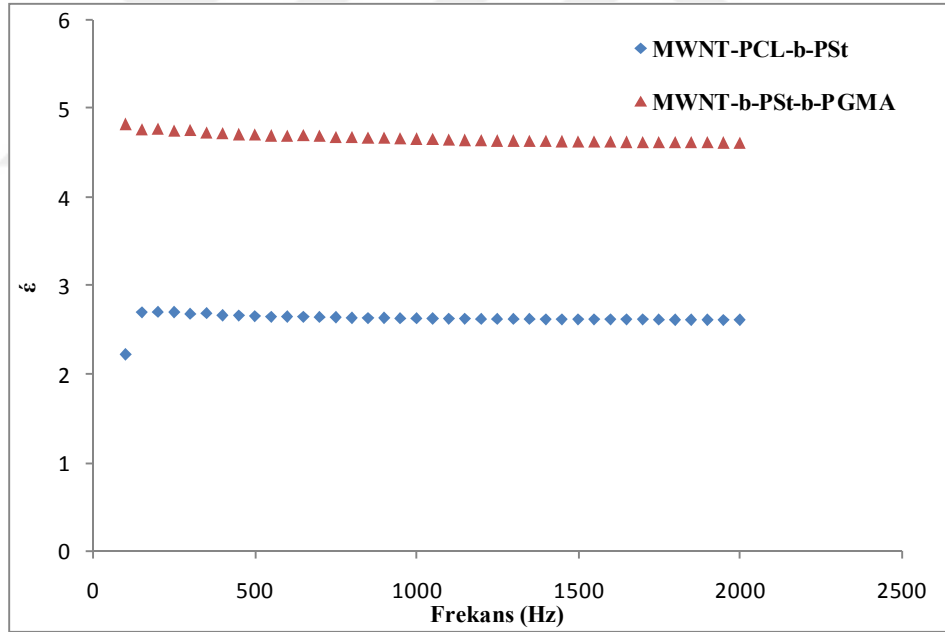


Şekil 3.63. Poli(THB-A) polimerinin GPC eğrisi

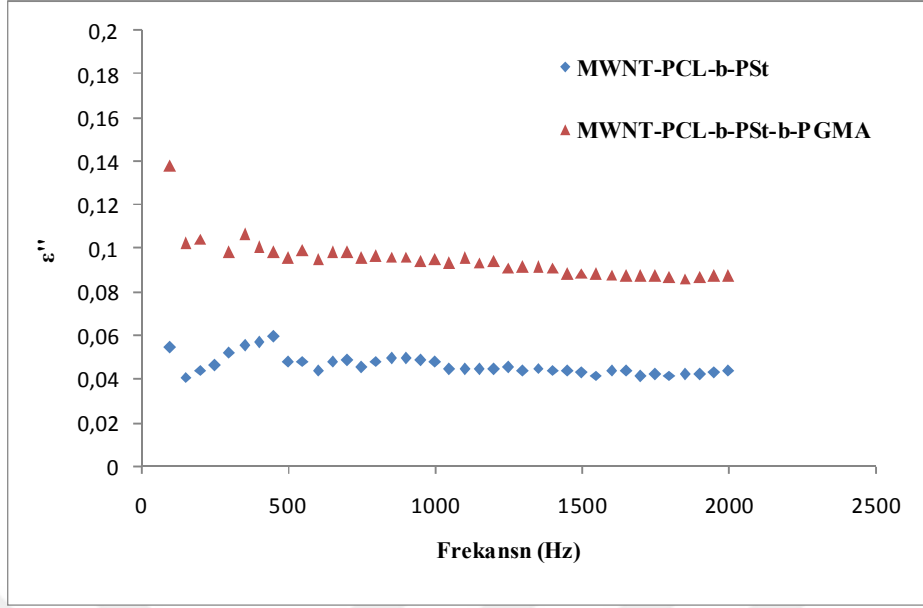
3.28. Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri

Sentezlenen polimerlerin ve nanokompozitlerinin dielektrik özellikleri impedans analizör ile incelendi. Bunun için belli miktarlarda tartılmış olan polimer ve nanokompozitler 5 ton basınç altında pellet haline getirilerek kalınlığı kumpas ile ölçüldü. Ardından ilk grup sentez için pelletin her iki yüzeyi gümüş boya ile boyanarak, geri kalan tüm yapılarda ise pelletin her iki yüzeyi alüminyum folyo ile kaplanarak altın plakalar arasına yerleştirildi. Farklı frekanslarda ve sıcaklıklarda polimerlerin ve nanokompozitlerinin kapasitans, dielektrik kayıp faktörü, kondüktans ve süseptans gibi dielektrik parametreleri ölçüldü ve birbirleriyle karşılaştırıldı. Frekans ölçümleri oda şartlarında, sıcaklık ölçümleri ise 1 kHz sabit frekansda yapıldı.

3.28.1. MWNT-PCL-*b*-PSt ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA Diblok ve Triblok Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri

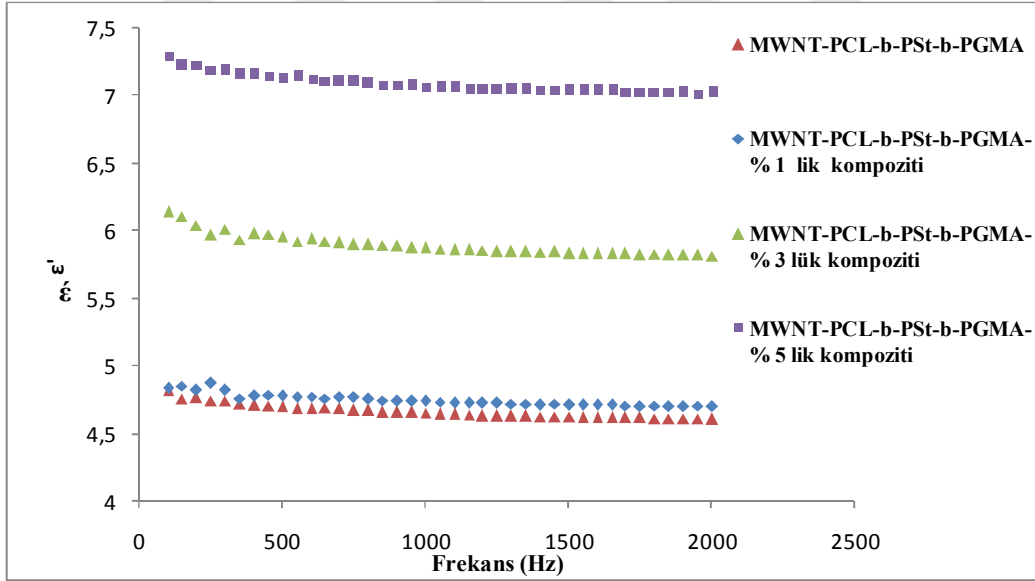


Şekil 3.64. Polimerlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği

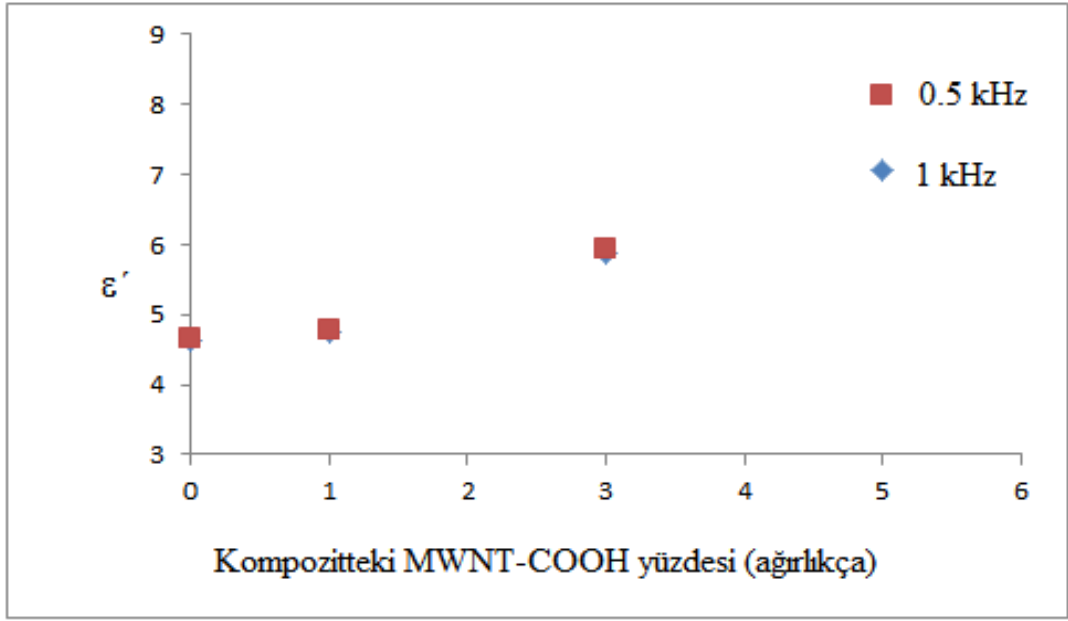


Şekil 3.65. Polimerlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

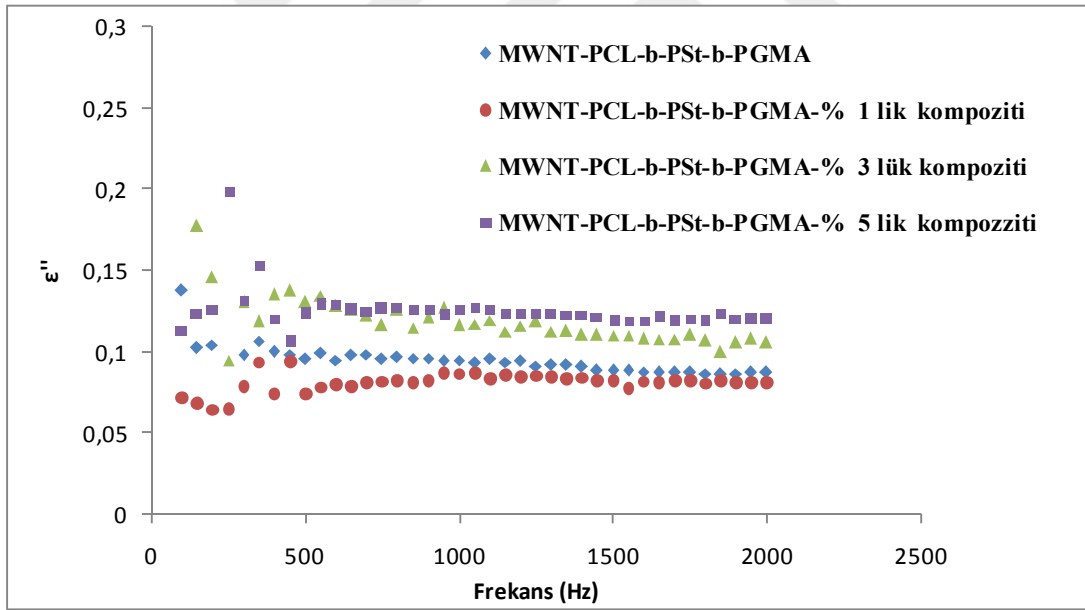
3.28.2. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT-COOH Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



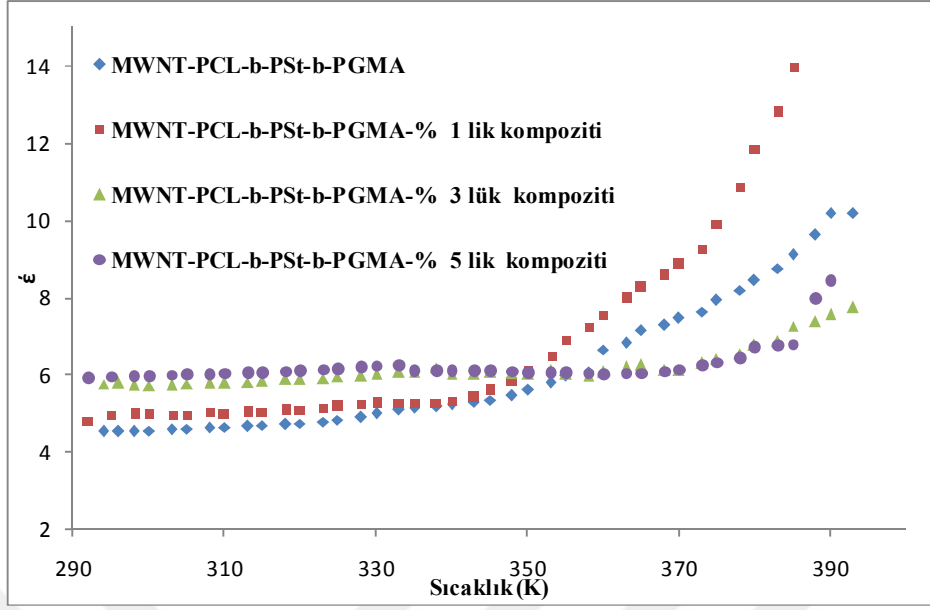
Şekil 3.66. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



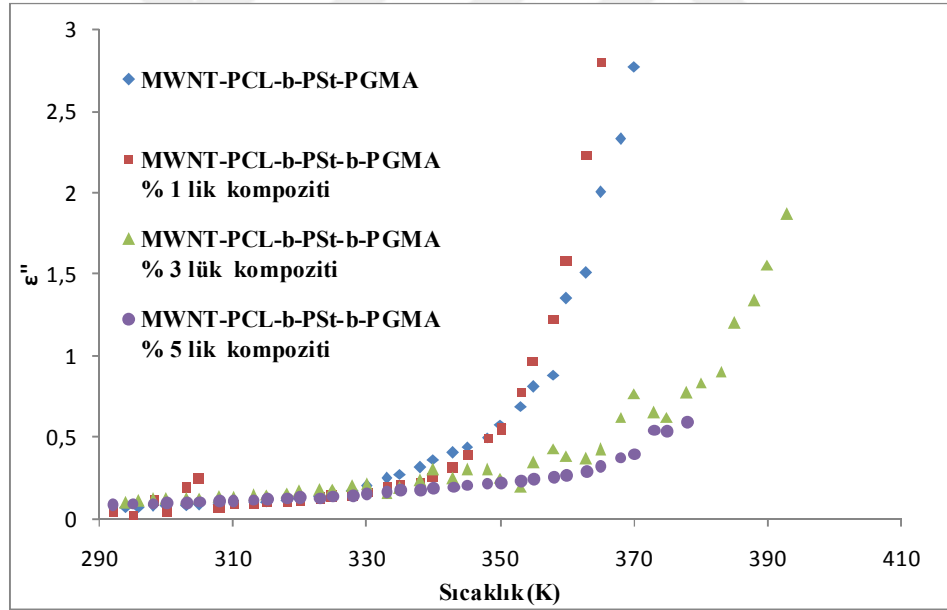
Şekil 3.67. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimer/MWNT-COOH kompozitinde dielektrik sabitinin modifiye nanotüp yüzdesiyle değişimi



Şekil 3.68. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

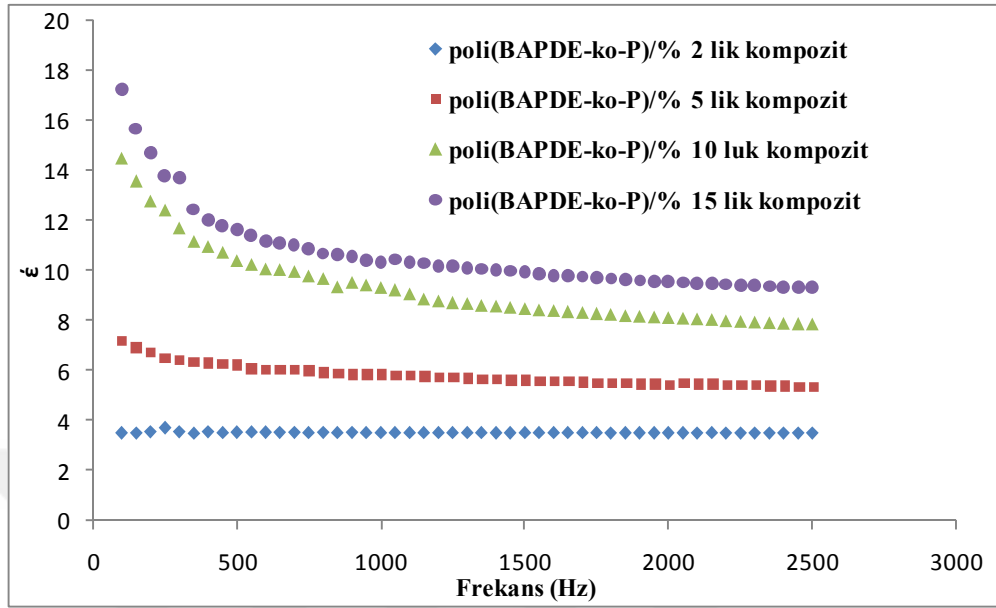


Şekil 3.69. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

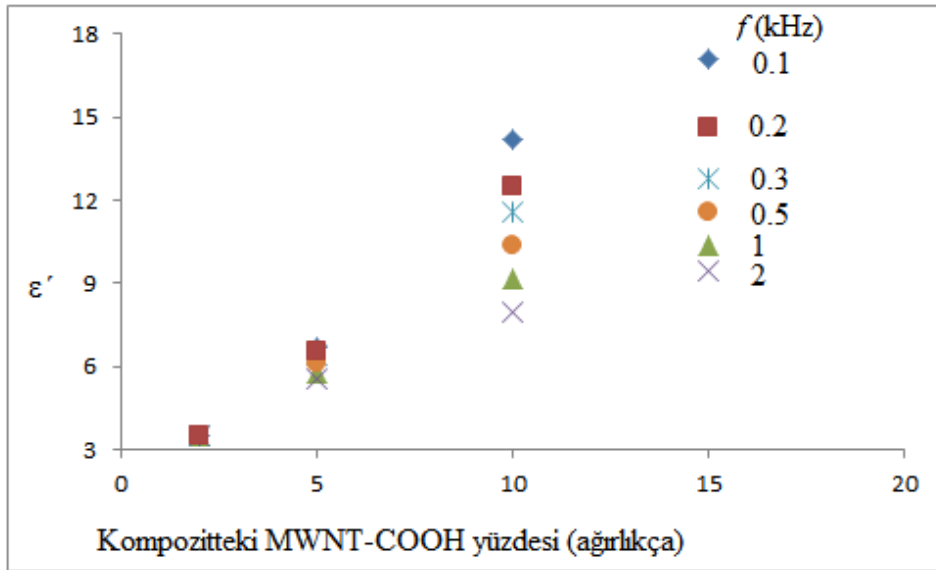


Şekil 3.70. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA/MWNT-COOH nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

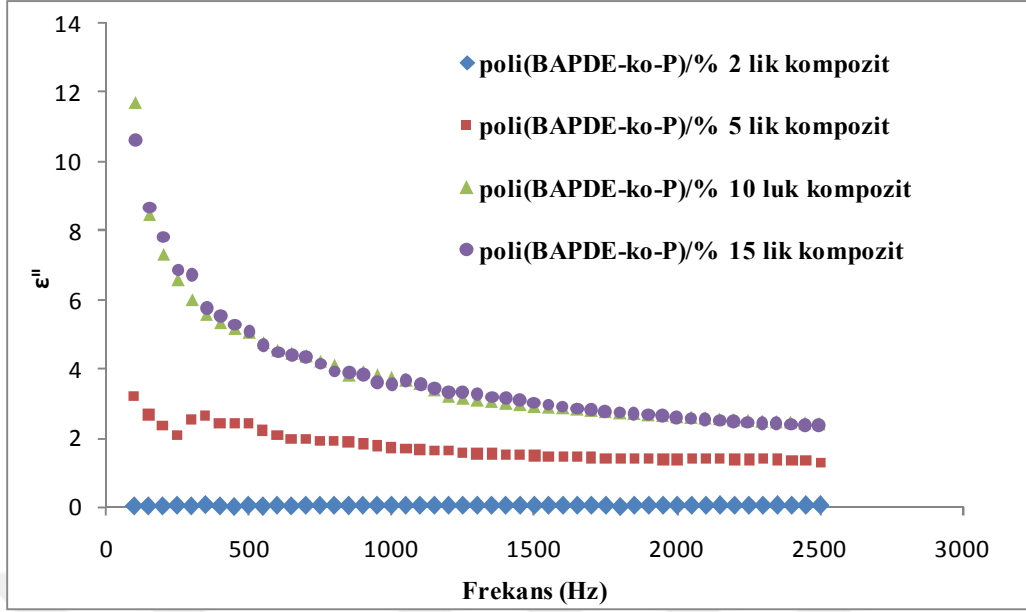
3.28.3. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



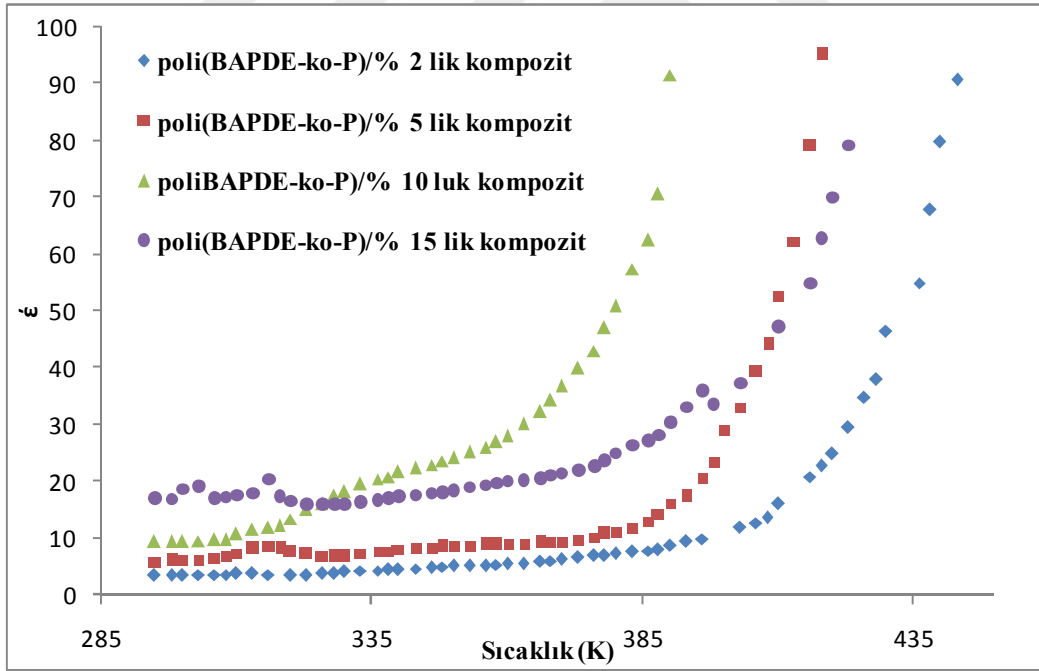
Şekil 3.71. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



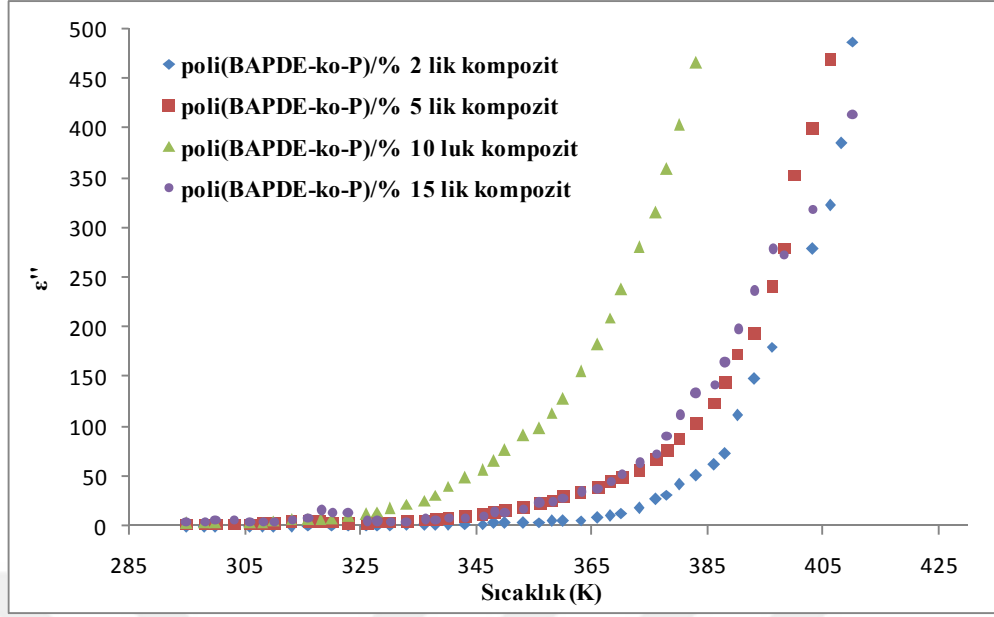
Şekil 3.72. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin modifiye nanotüp yüzdesiyle değişimi



Şekil 3.73. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

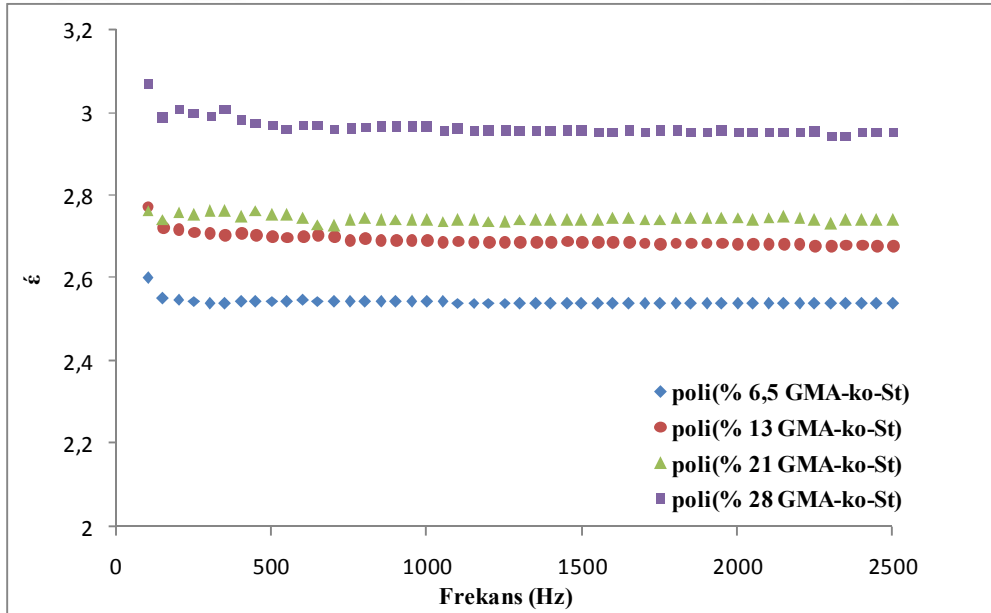


Şekil 3.74. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

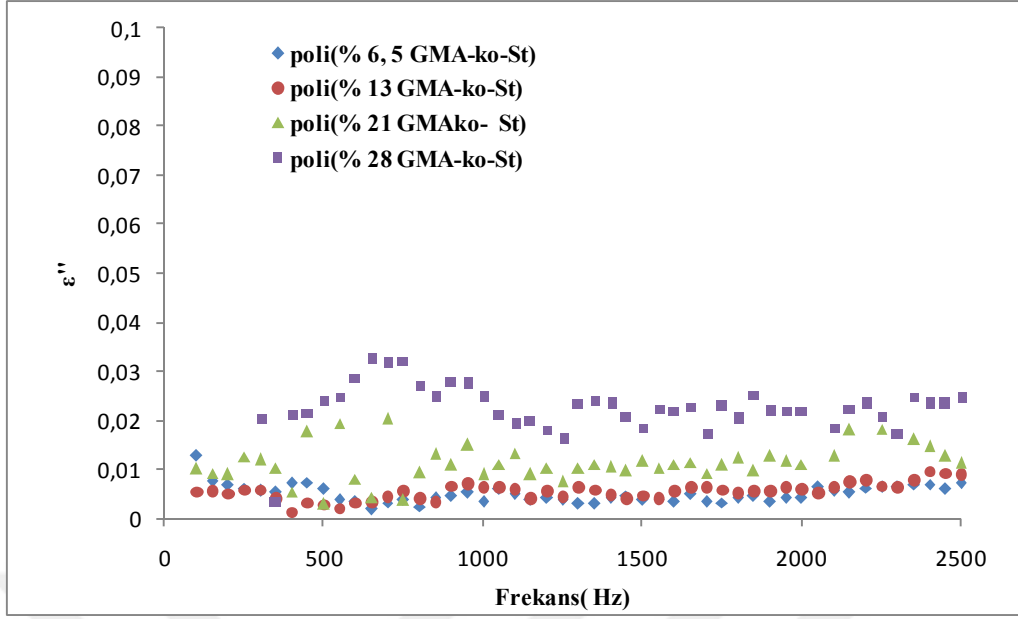


Şekil 3.75. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

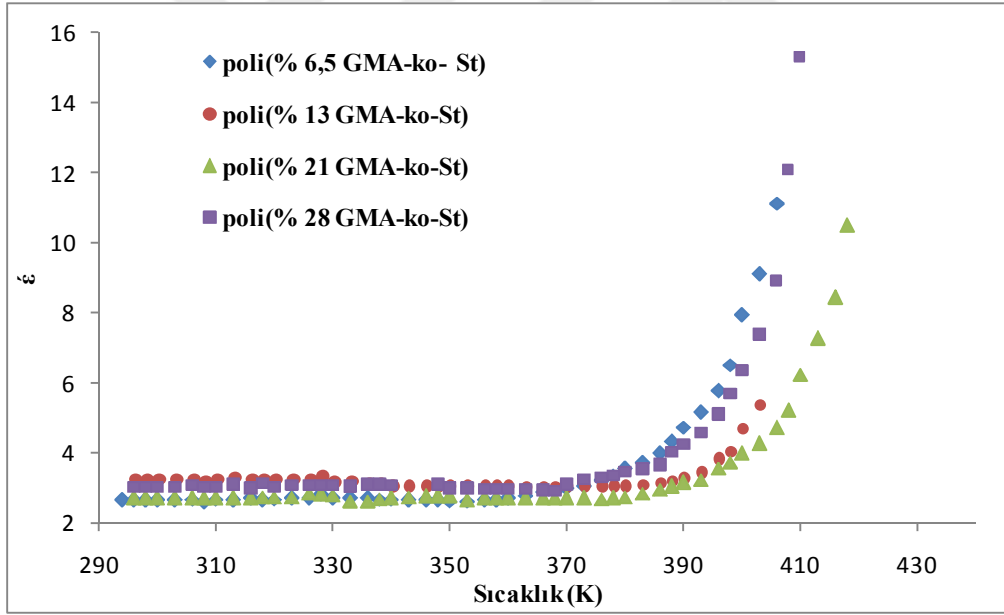
3.28.4. Farklı Yüzdelerde Hazırlanmış Olan Poli(GMA-*ko*-St) Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri



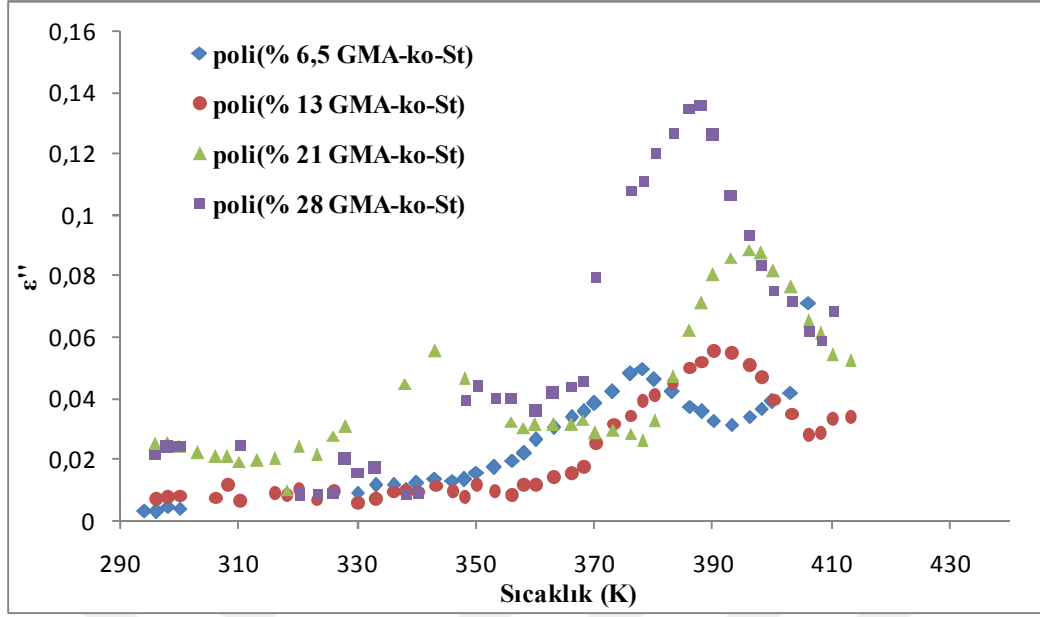
Şekil 3.76. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.77. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

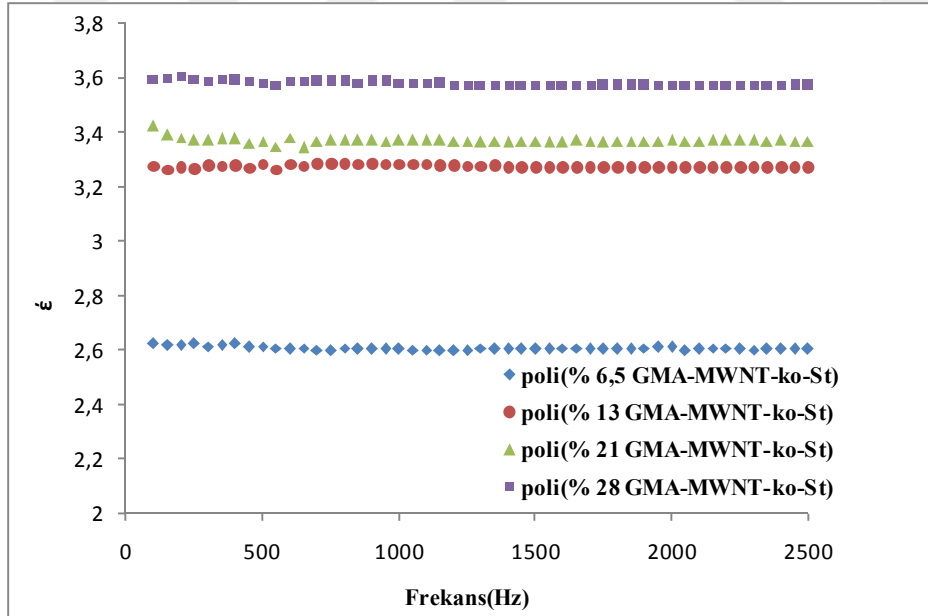


Şekil 3.78. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

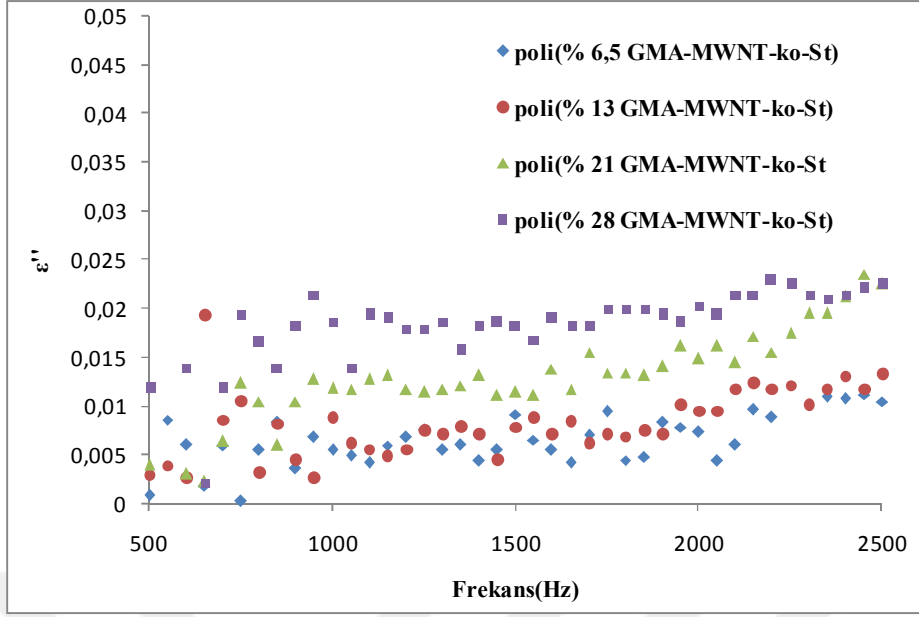


Şekil 3.79. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

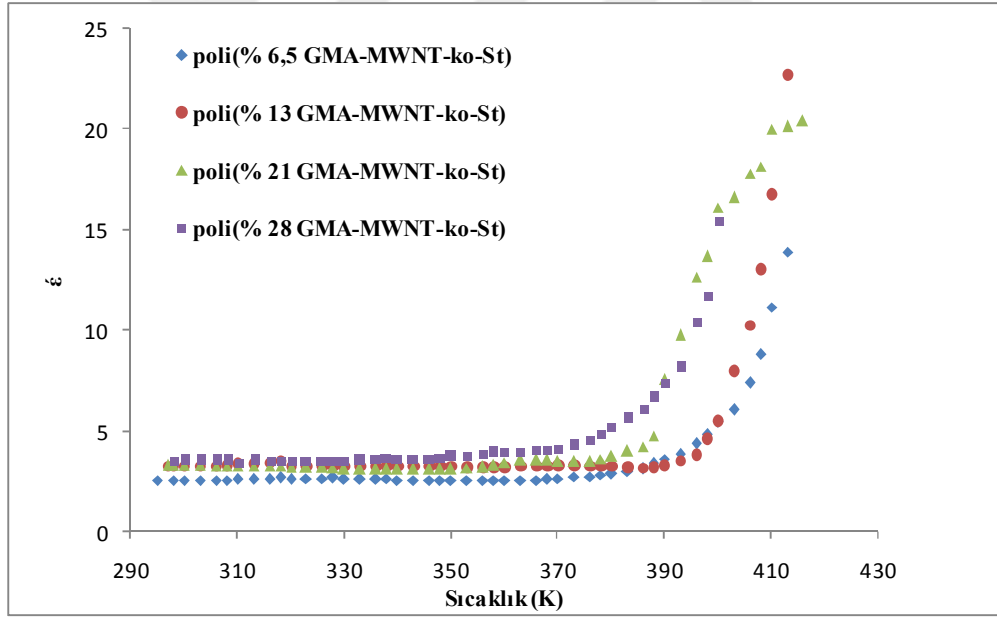
3.28.5. Halkası APTS ile Açılmış [Poli(GMA-MWNT-*ko*-St)] Kopolimerlerin Dielektrik Ölçümleri



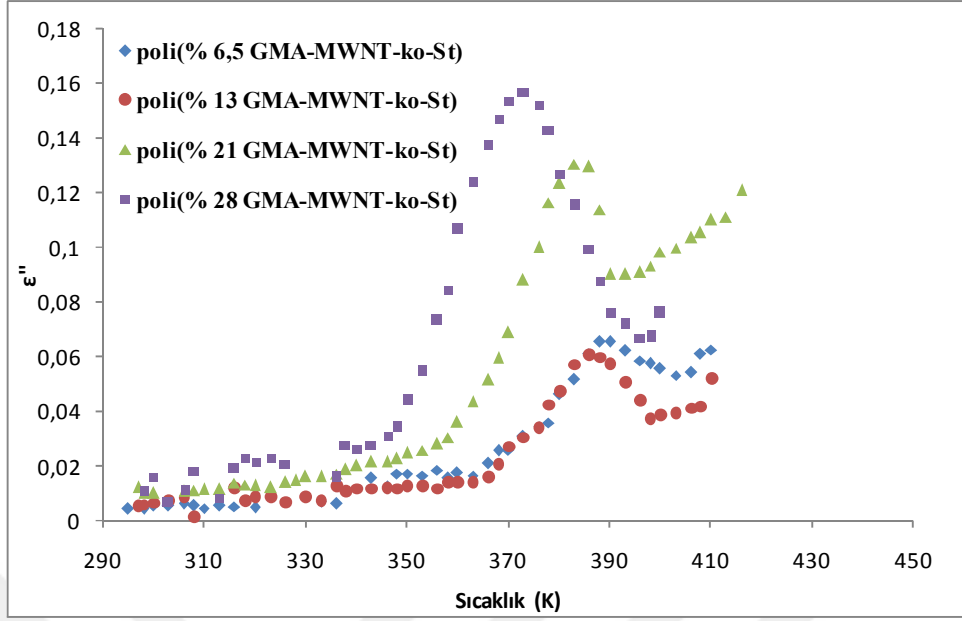
Şekil 3.80. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.81. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

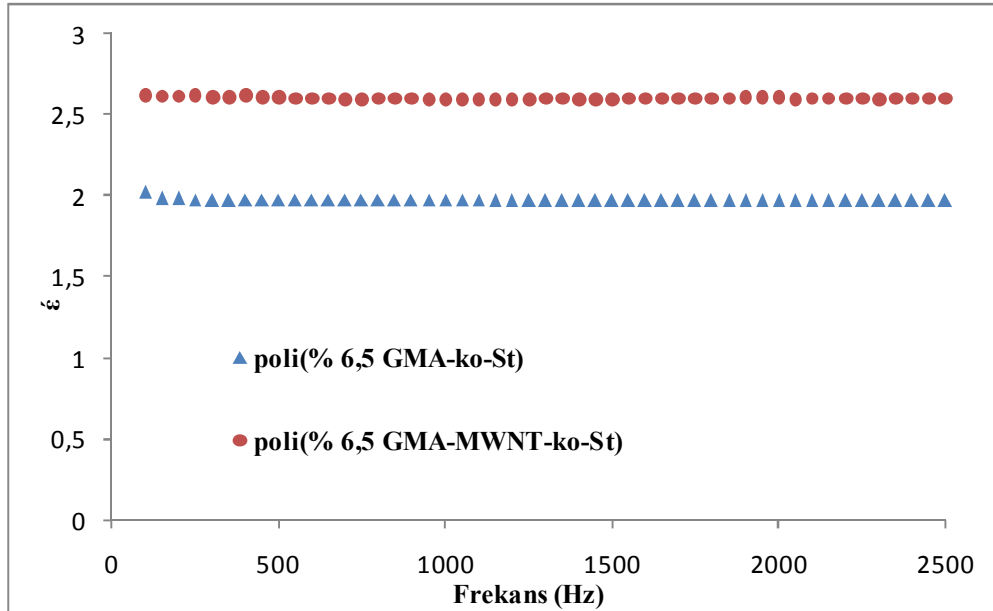


Şekil 3.82. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

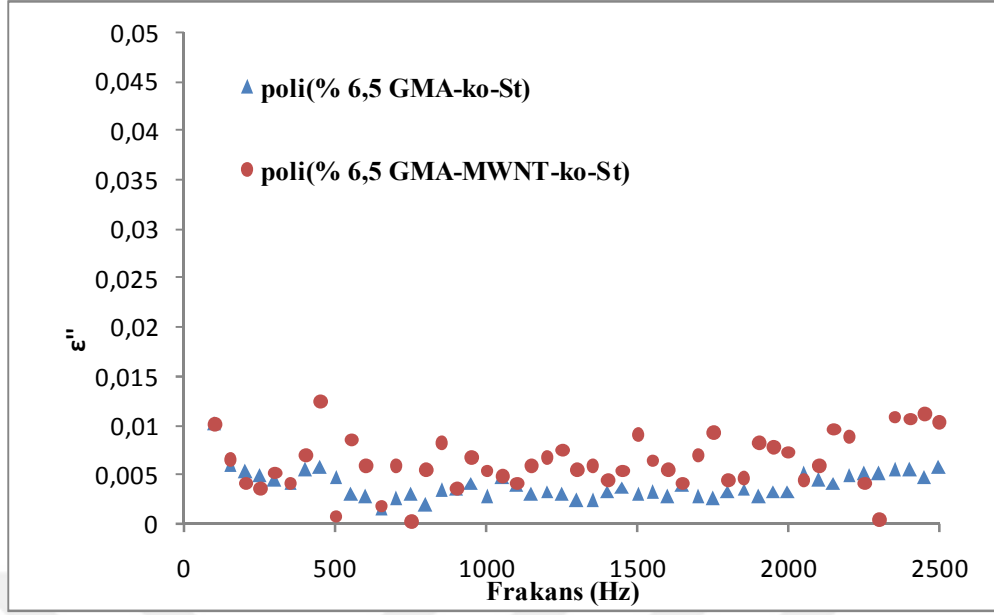


Şekil 3.83. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

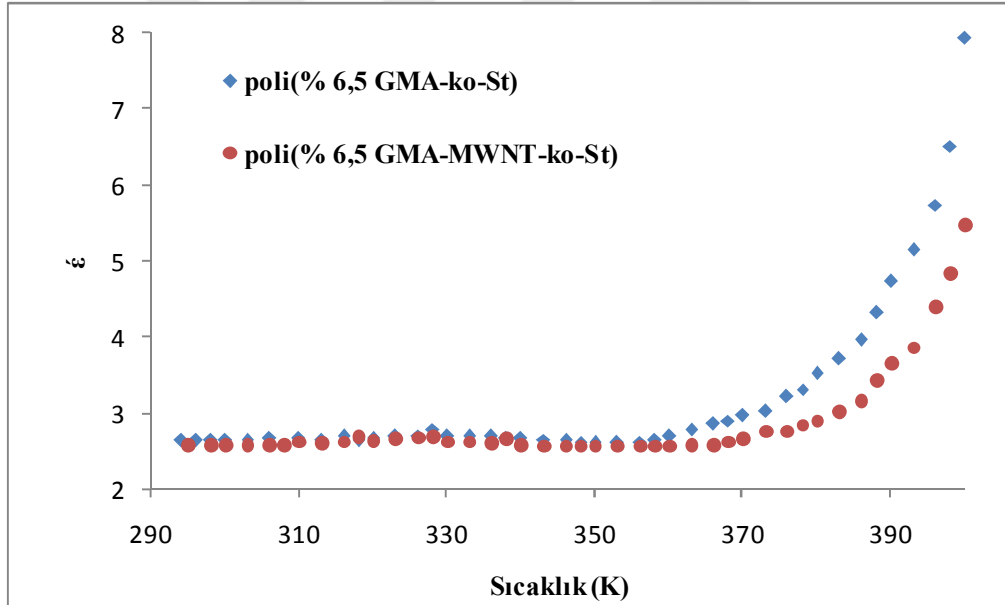
3.28.6. Poli(% 6, 5 GMA-*ko*-St) Polimeri ve Poli(% 6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması



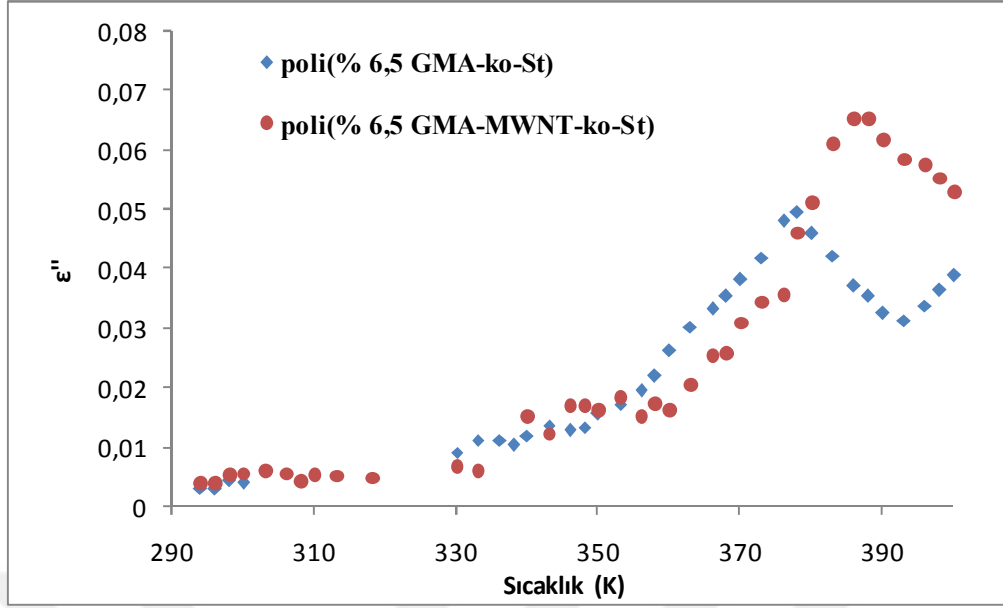
Şekil 3.84. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.85. Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

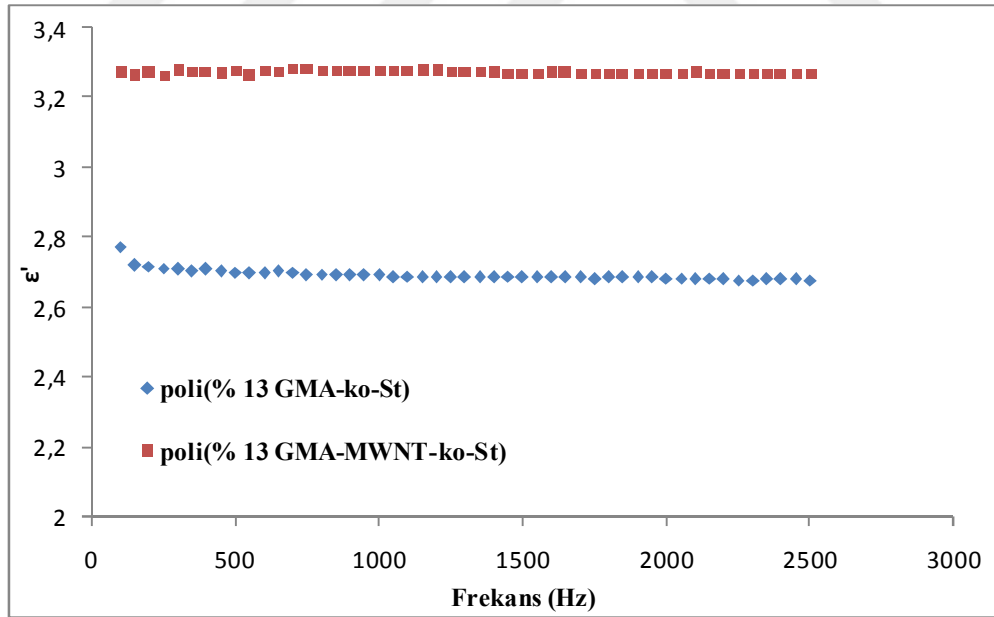


Şekil 3.86. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

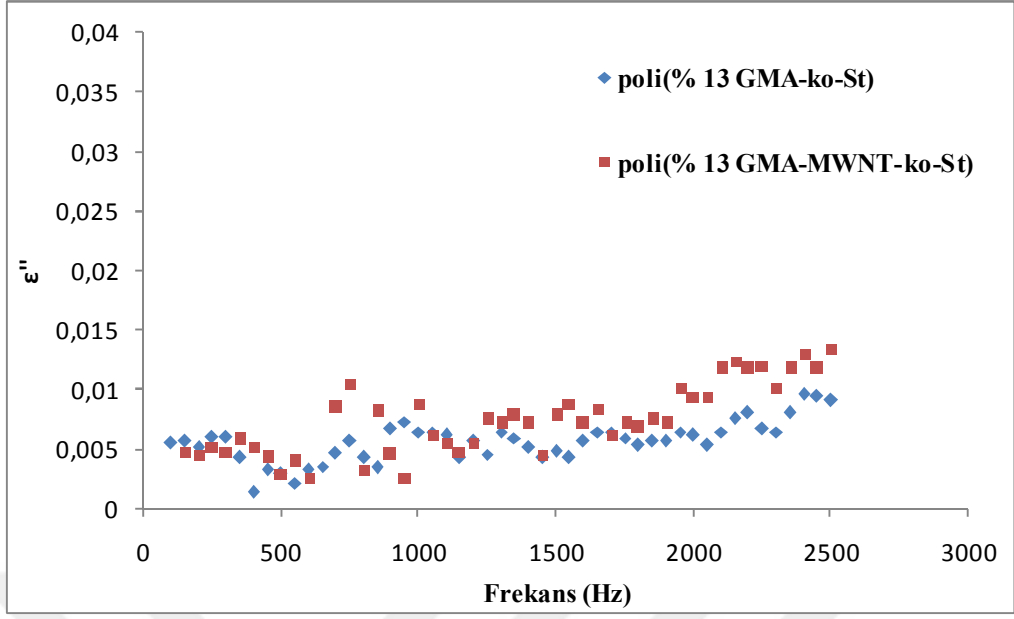


Şekil 3.87. Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

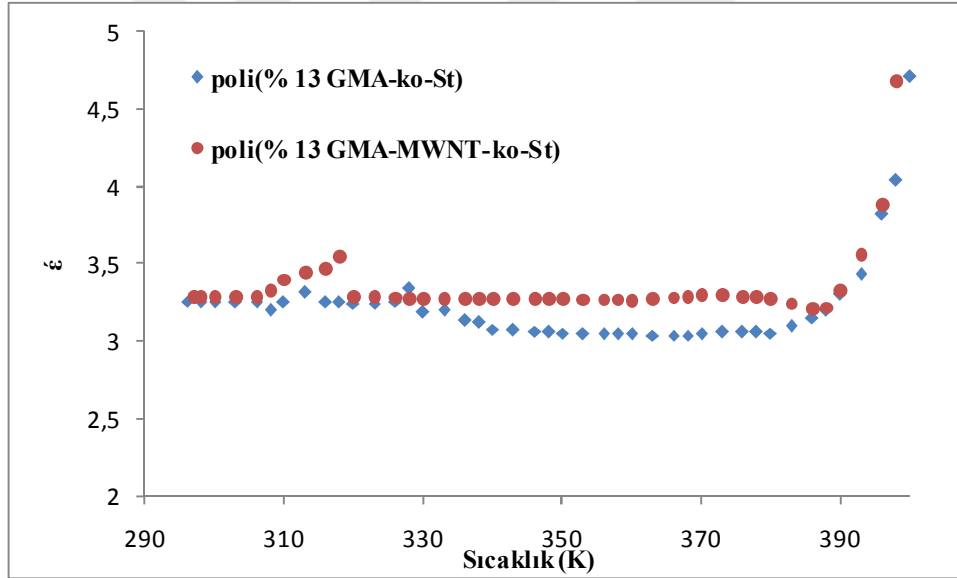
3.28.7. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması



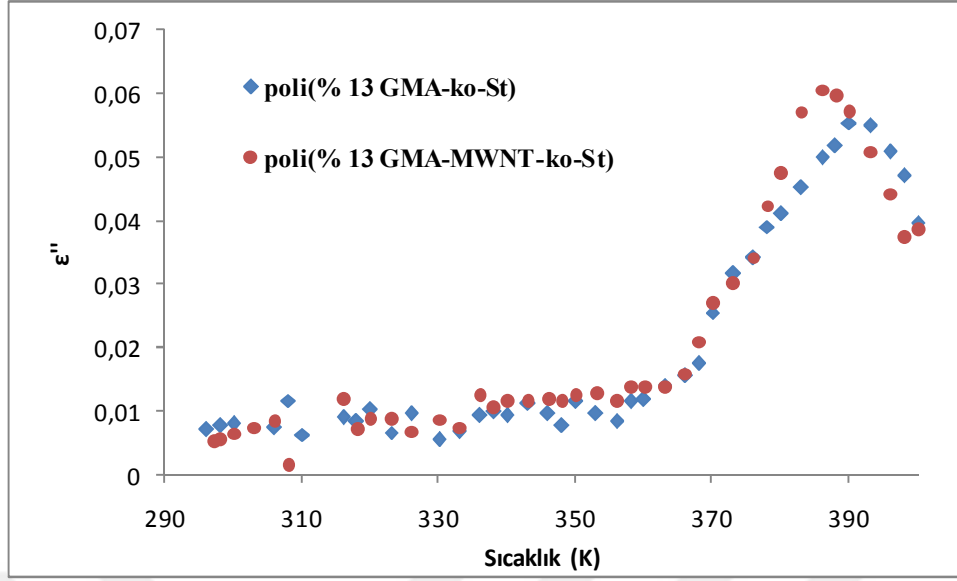
Şekil 3.88. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.89. Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

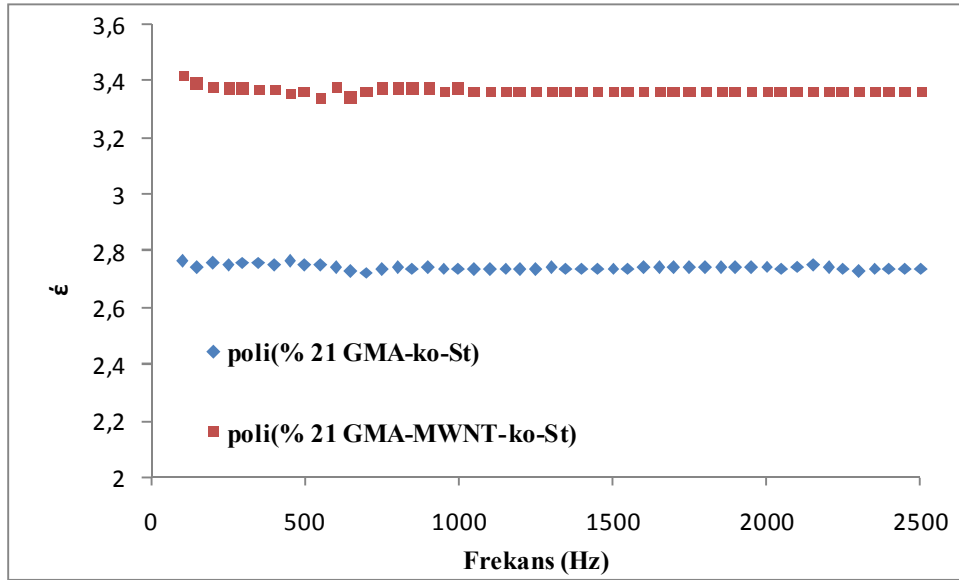


Şekil 3.90. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

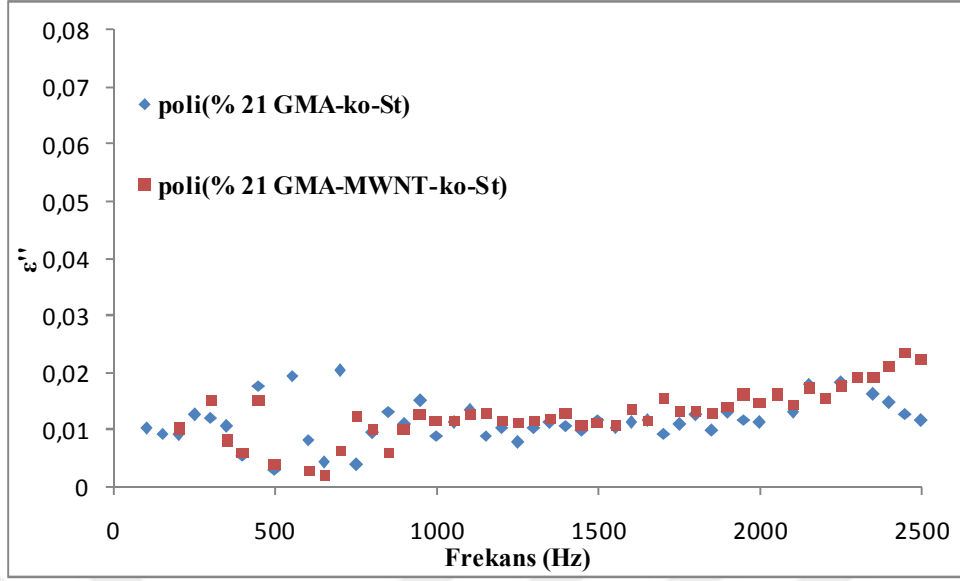


Şekil 3.91. Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

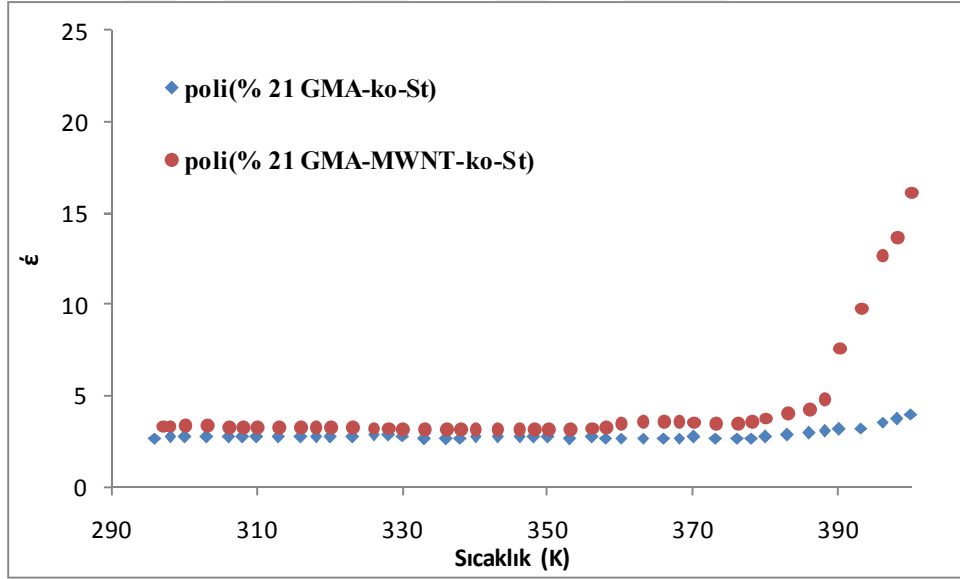
3.28.8. Poli (% 21 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli (%21 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması



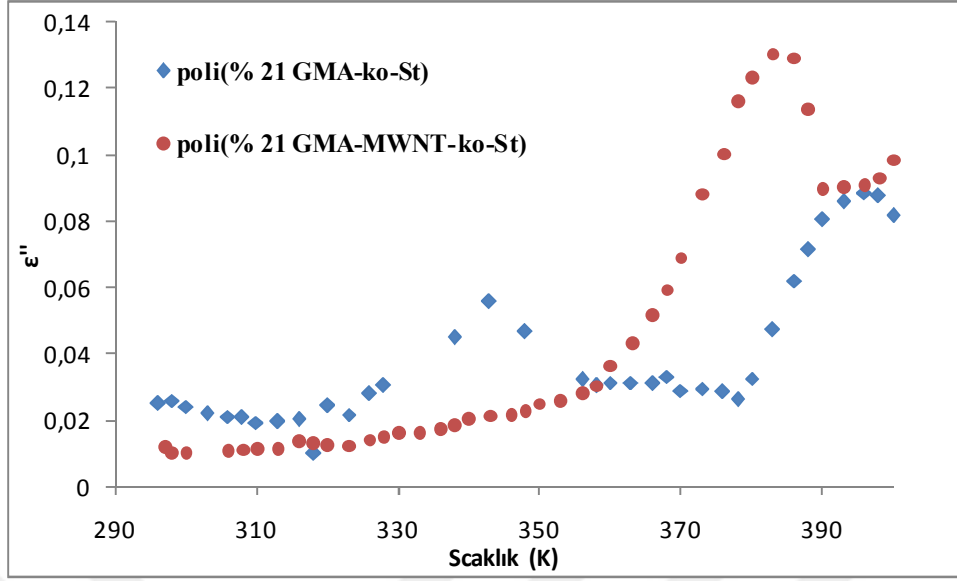
Şekil 3.92. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.93. Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

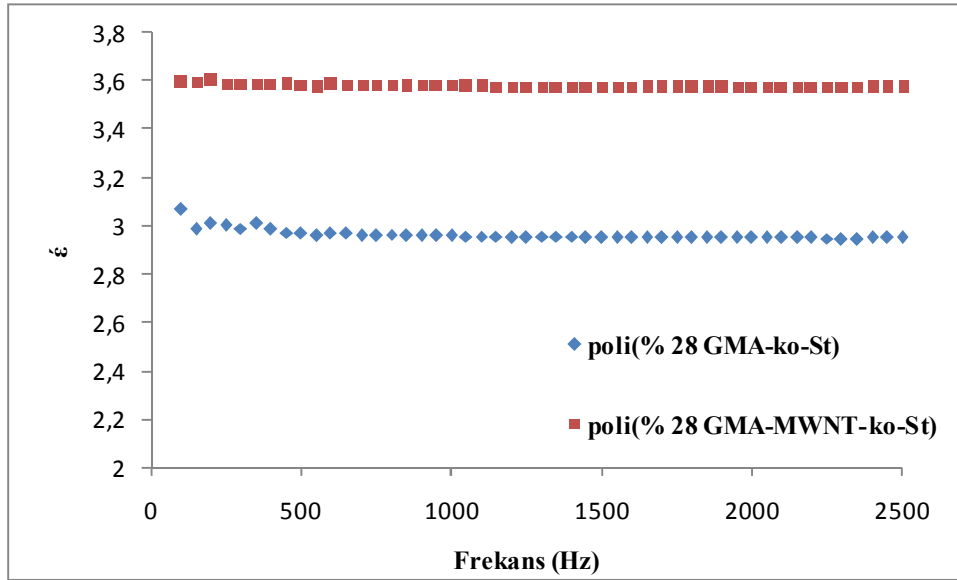


Şekil 3.94. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

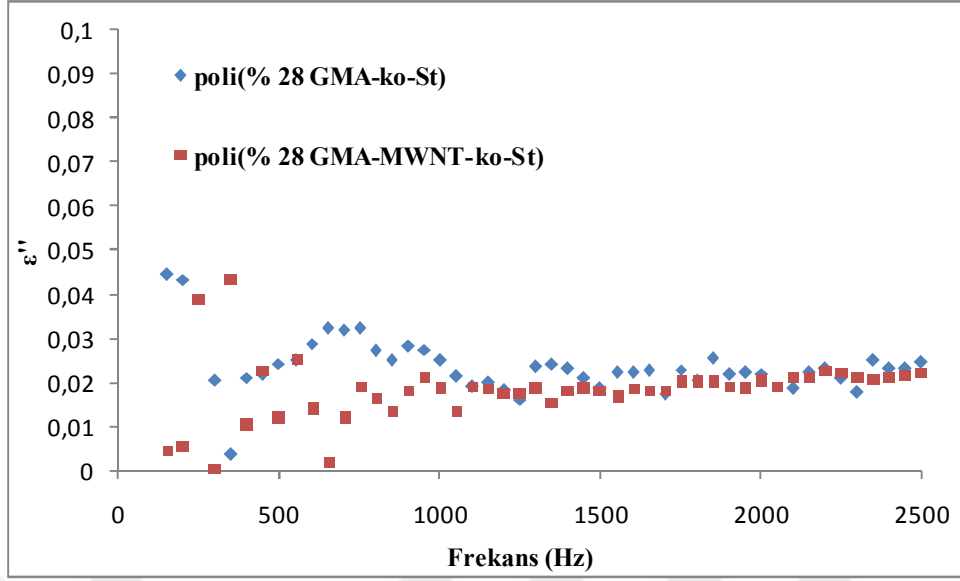


Şekil 3.95. Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

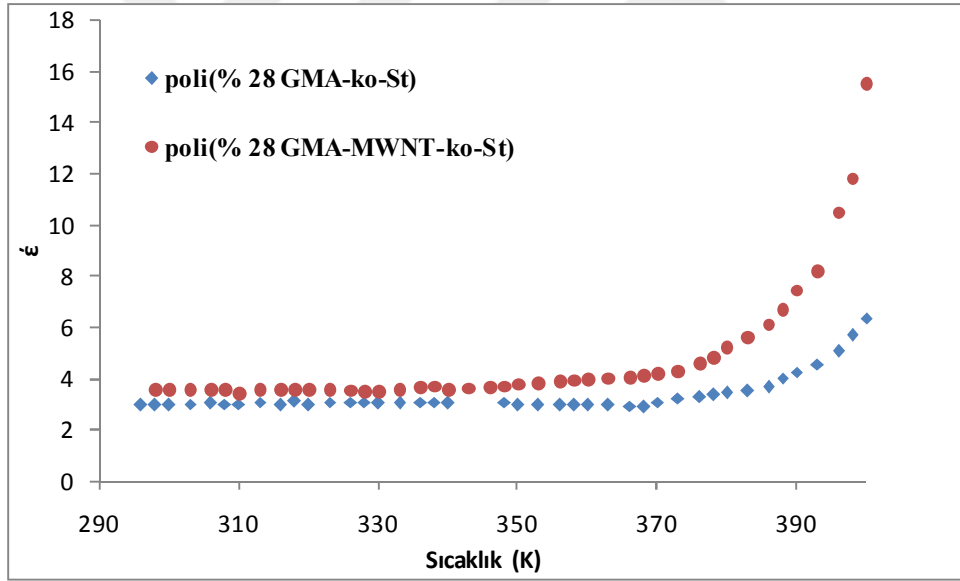
3.28.9. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin Dielektrik Ölçümleri Karşılaştırması



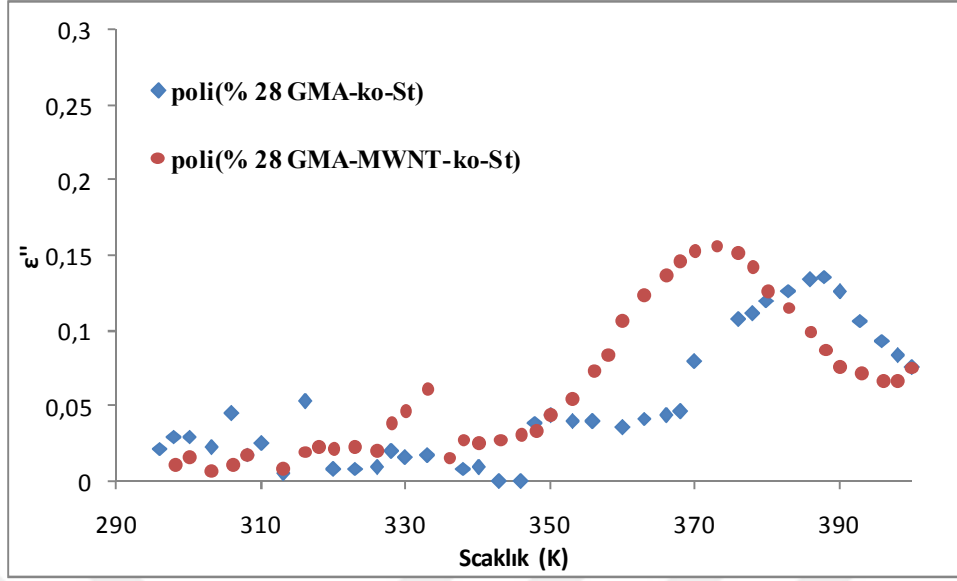
Şekil 3.96. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.97. Polimerlerin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

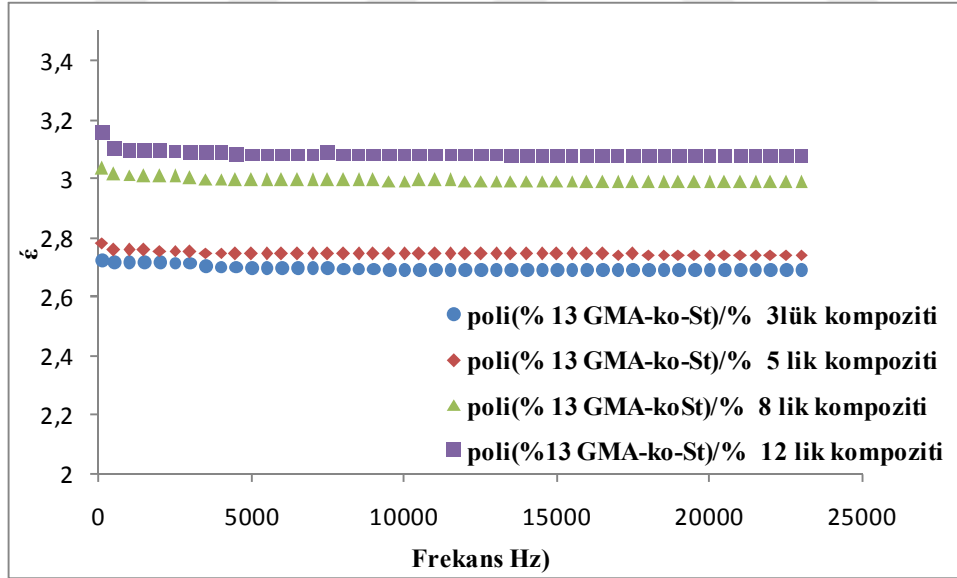


Şekil 3.98. Polimerlerin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

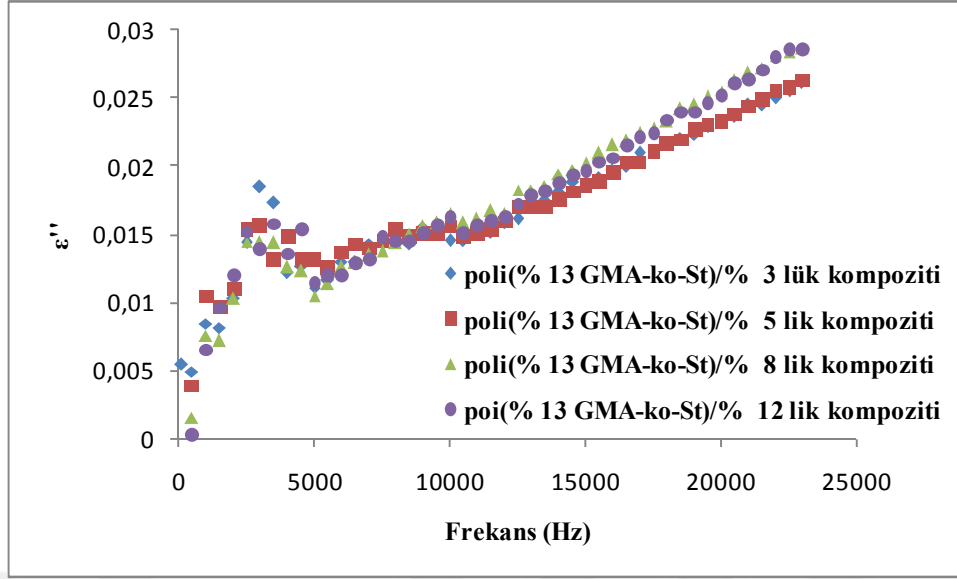


Şekil 3.99. Polimerlerin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

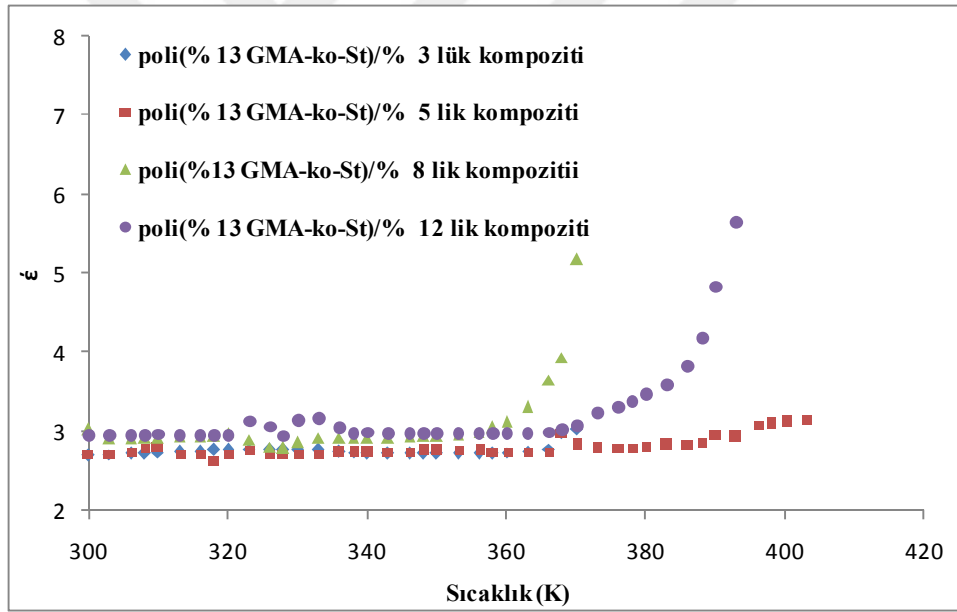
3.28.10. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



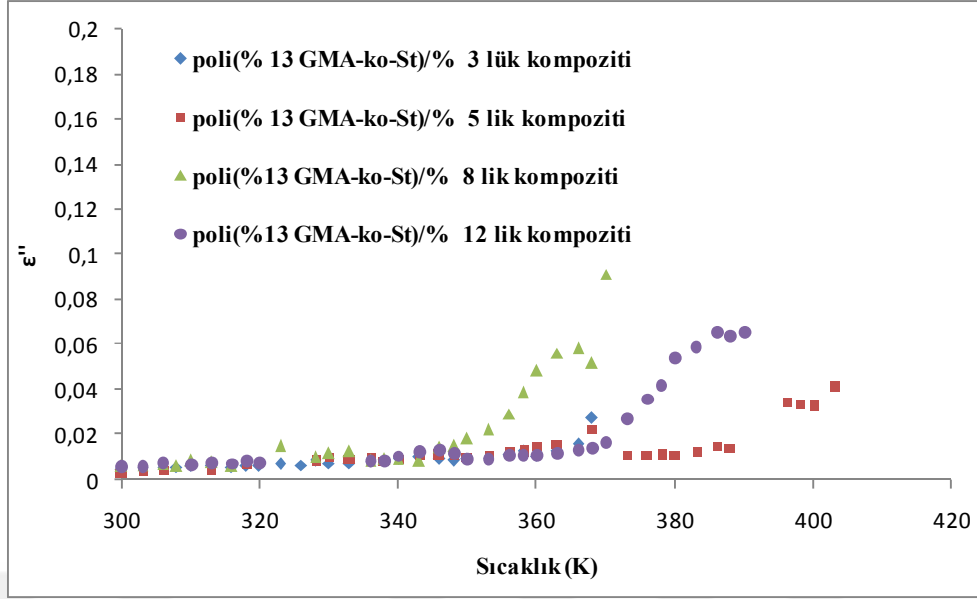
Şekil 3.100. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.101. Poli(%13 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

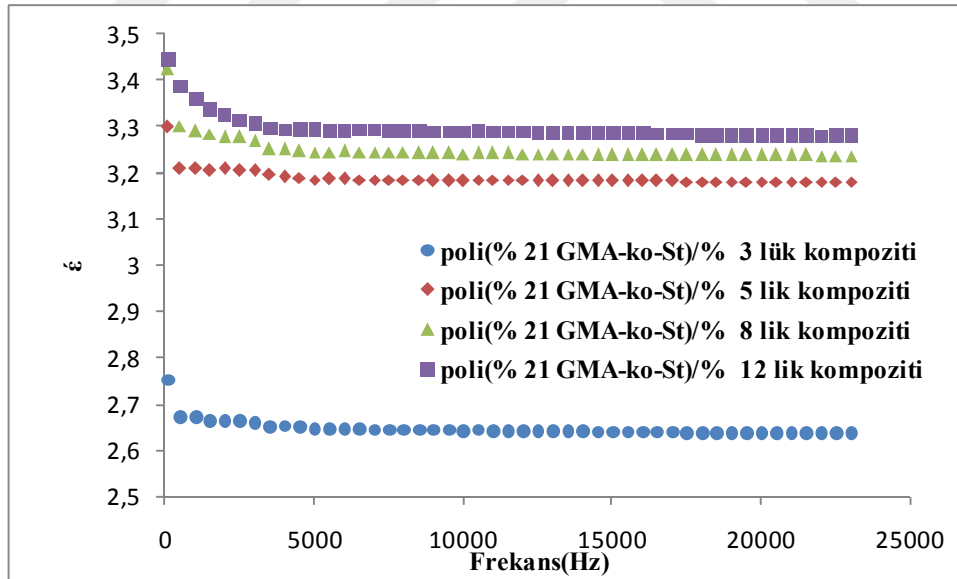


Şekil 3.102. Poli(%13 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

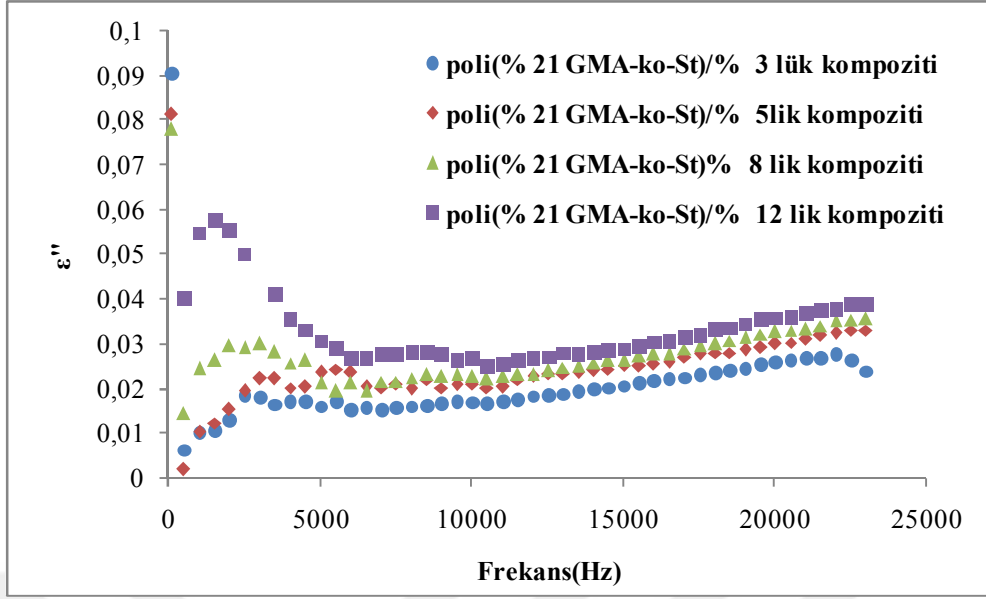


Şekil 3.103. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

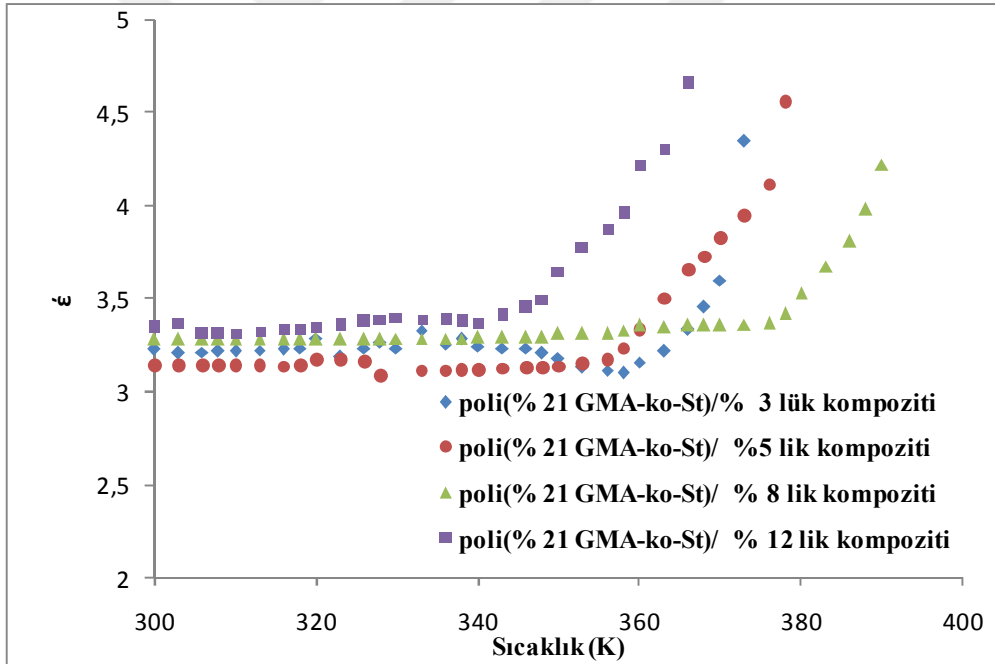
3.28.11. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



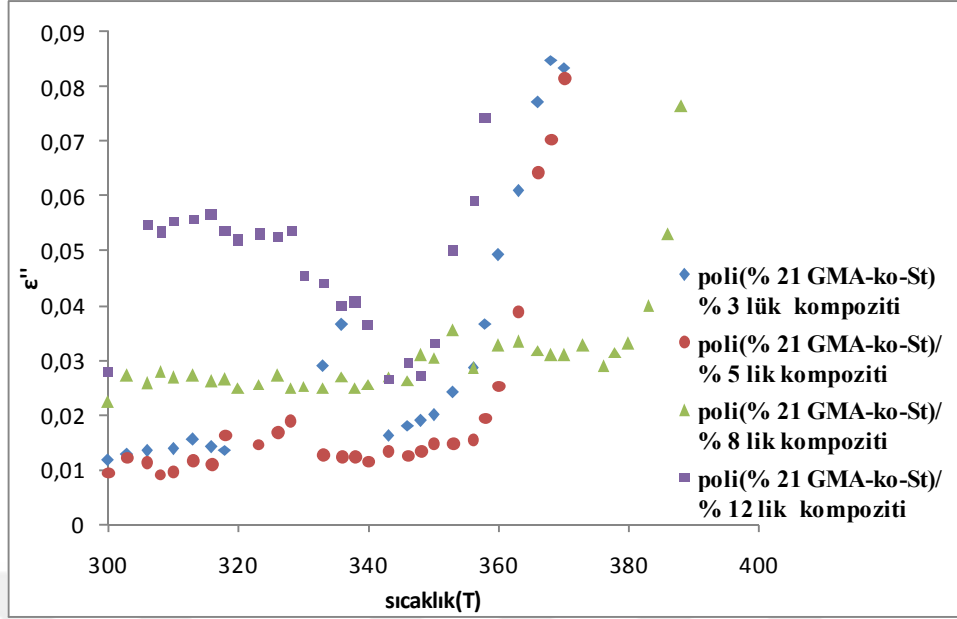
Şekil 3.104. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.105. Poli(%21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

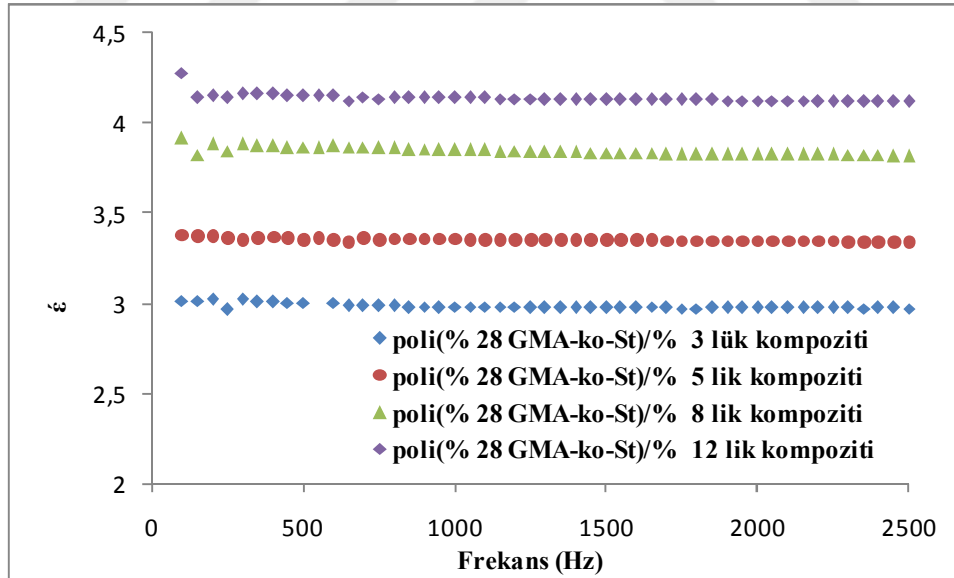


Şekil 3.106. Poli(%21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

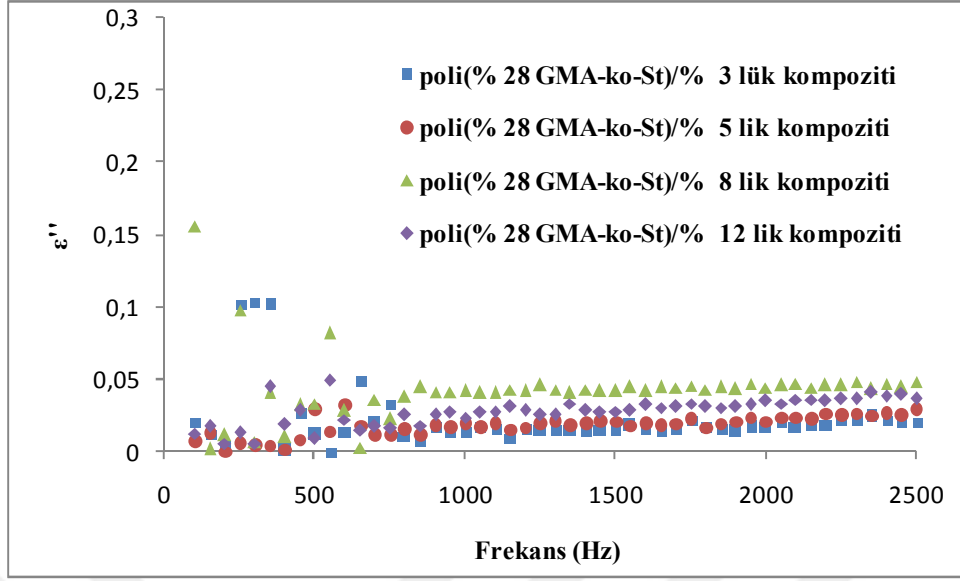


Şekil 3.107. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

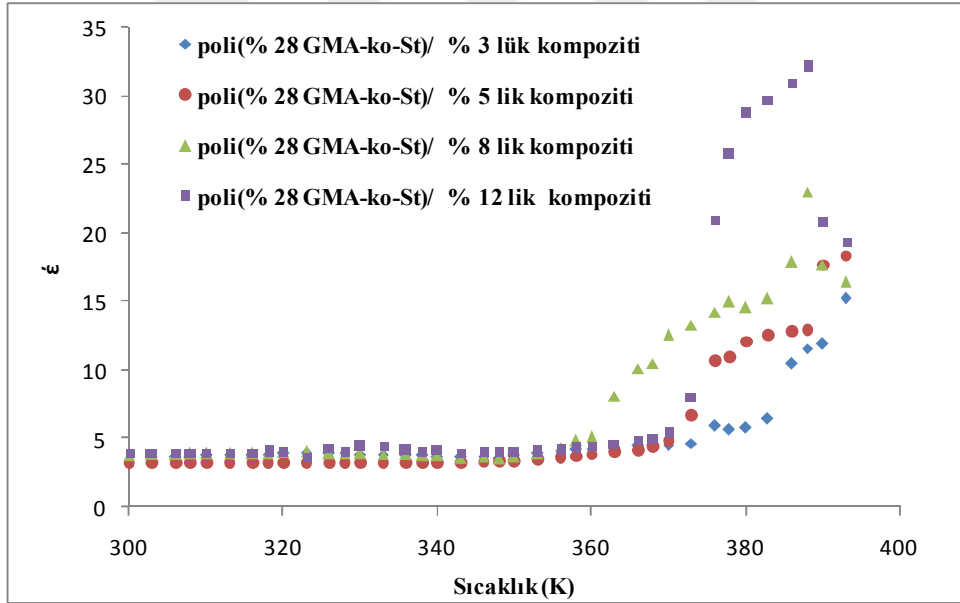
3.28.12. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



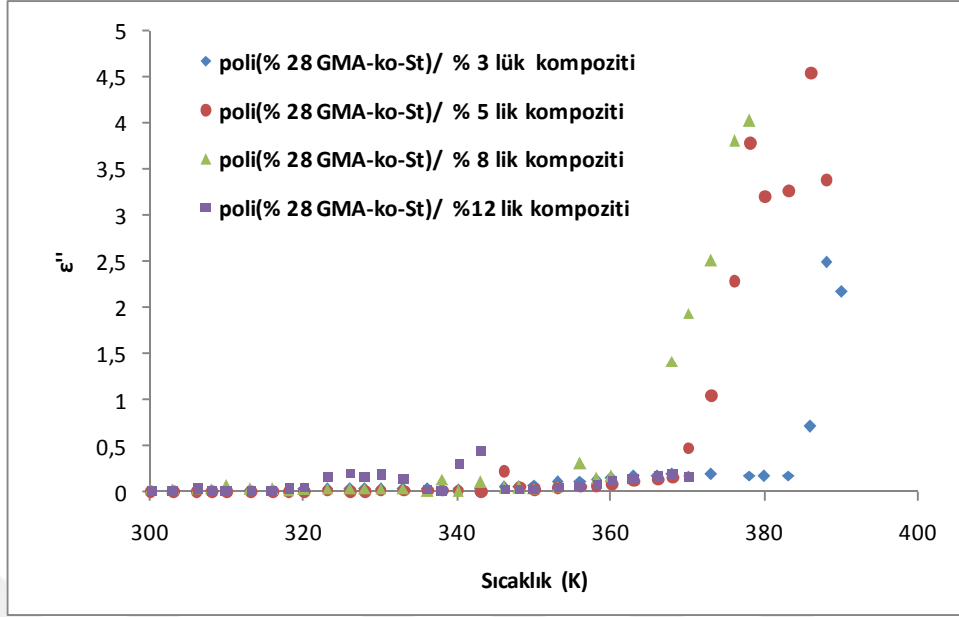
Şekil 3.108. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.109. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği

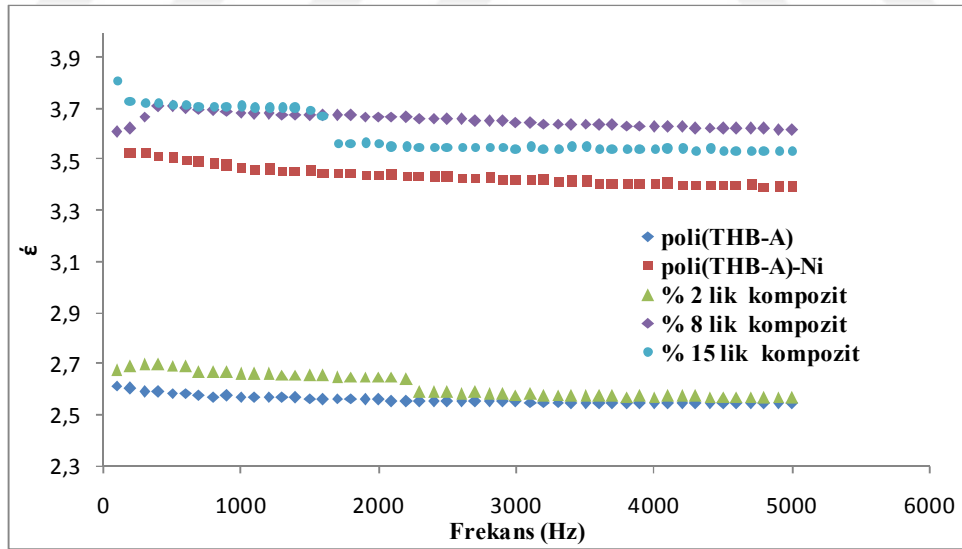


Şekil 3.110. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

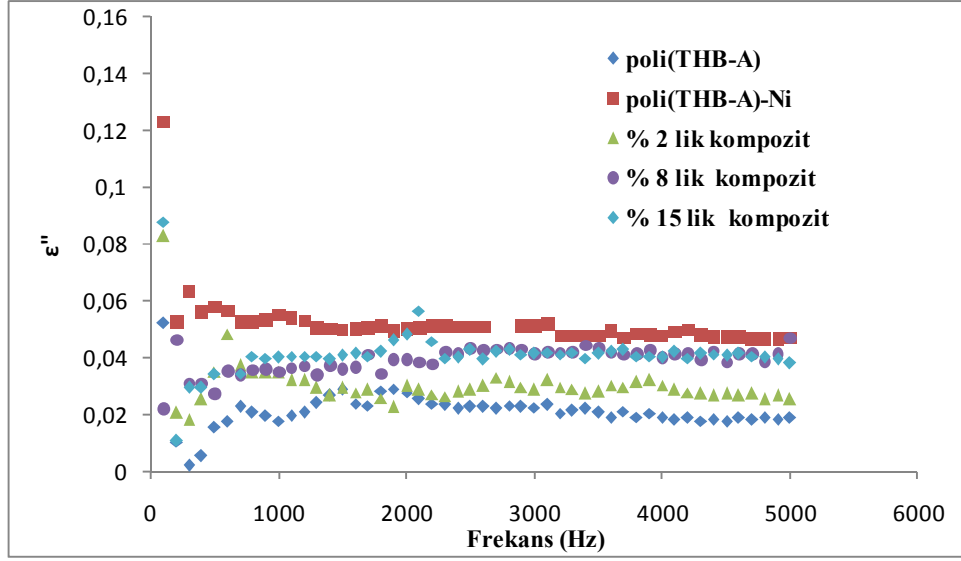


Şekil 3.111. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

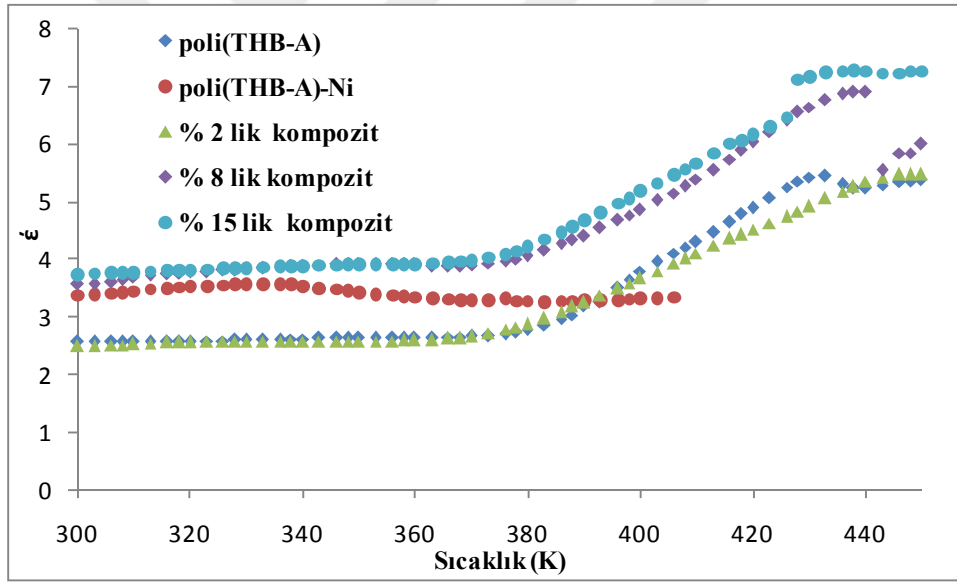
3.28.13. Schiff Bazı Polimeri [poli(THB-A)], Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] ve poli(THB-A)/poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin Dielektrik Ölçümleri



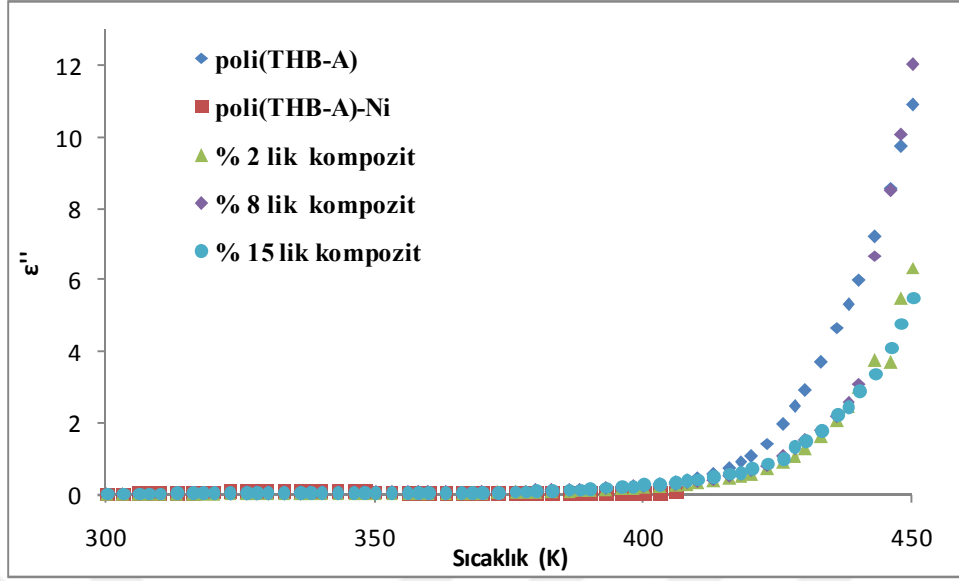
Şekil 3.112. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim grafiği



Şekil 3.113. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının frekansla değişim grafiği



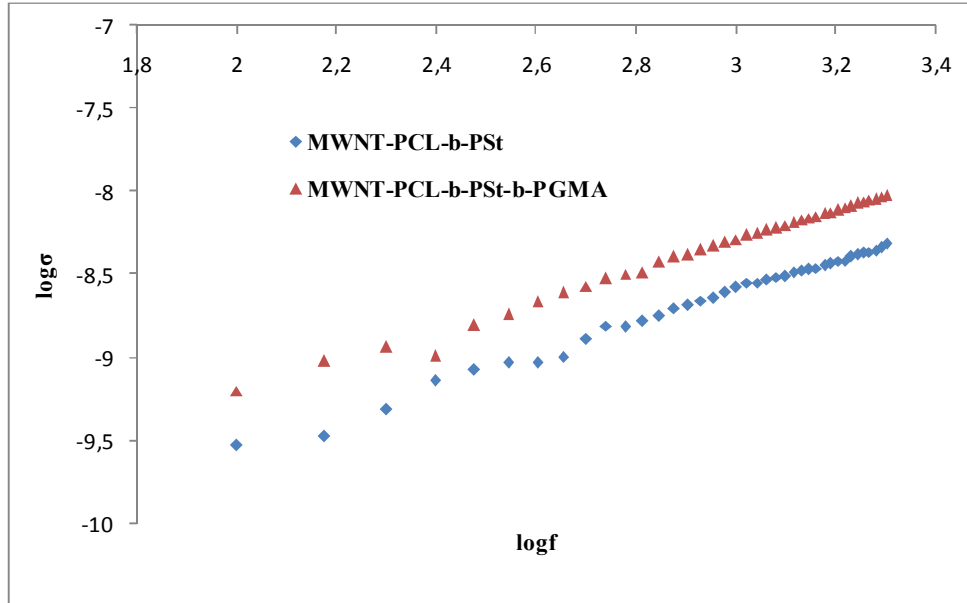
Şekil 3.114. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik sabitlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



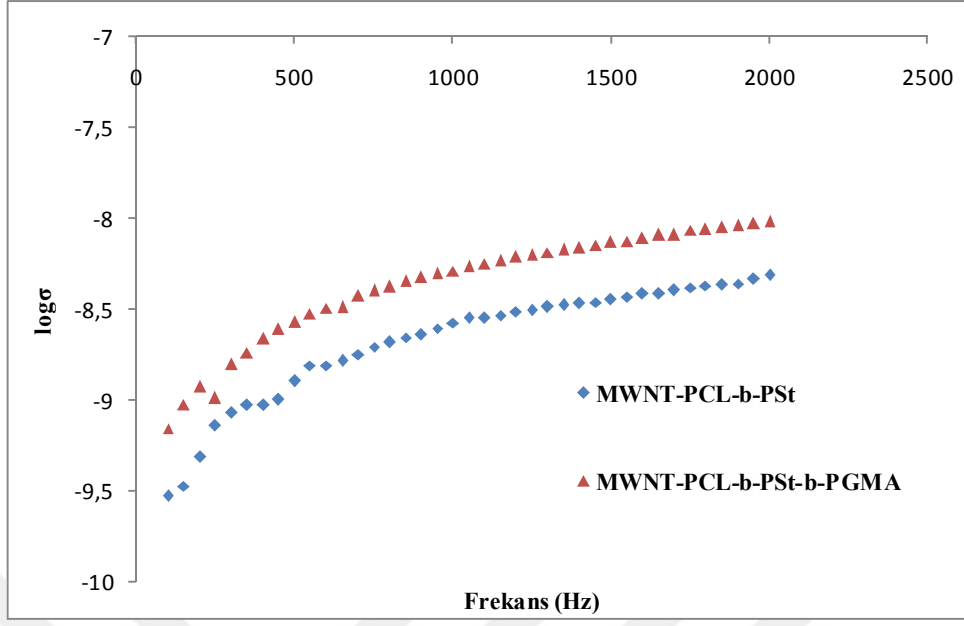
Şekil 3.115. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin dielektrik kayıplarının sıcaklıkla değişim grafiği

3.29. Polimerlerin İletkenlik Ölçümleri

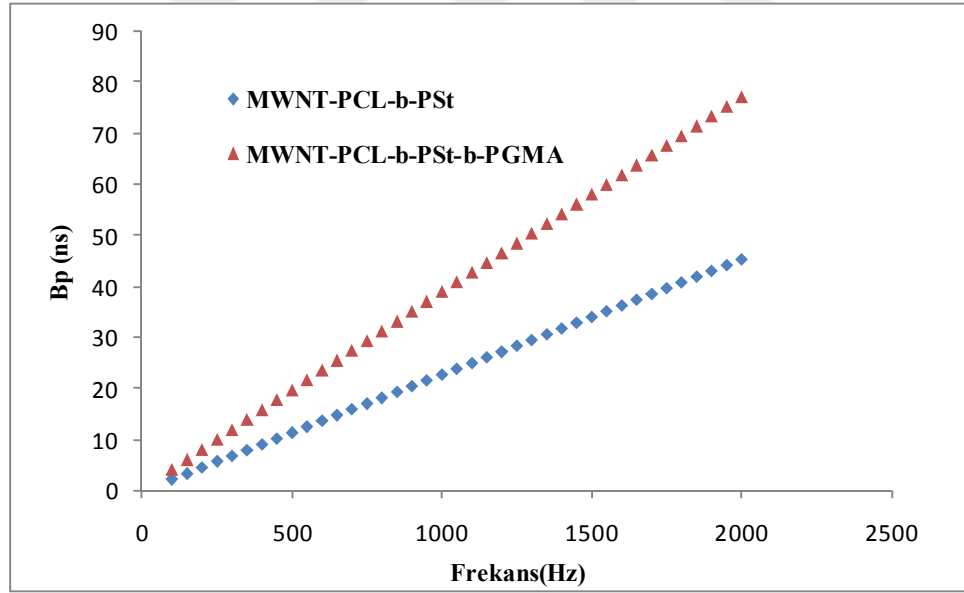
3.29.1. MWNT-PCL-b-PSt ve MWNT-PCI-b-PSt-b-PGMA Diblok ve Triblok Kopolimerlerin İletkenlik Ölçümleri



Şekil 3.116. Polimerlerinin log σ - log F grafiği

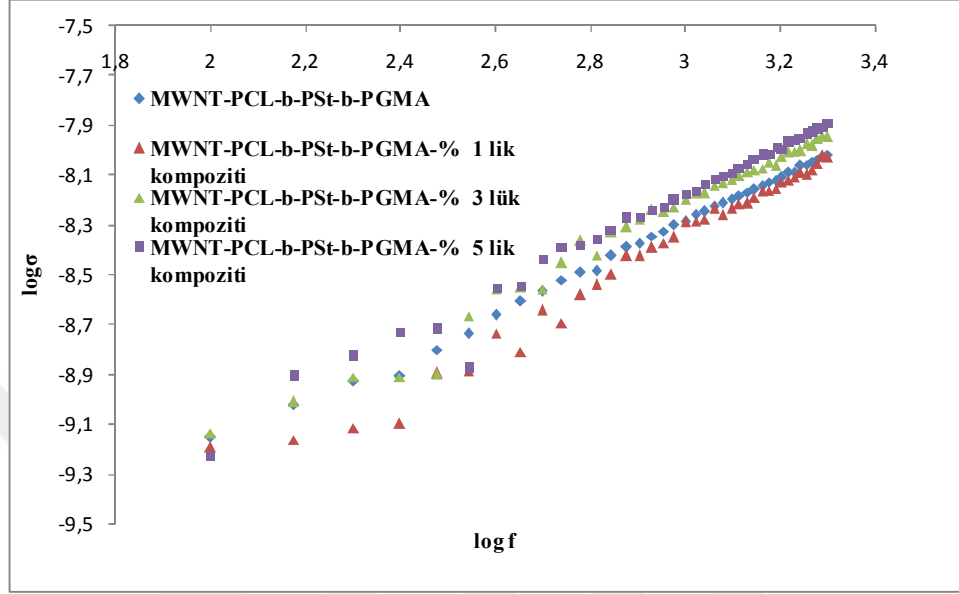


Şekil 3.117. Polimerlerinin log σ - Frekans grafiği

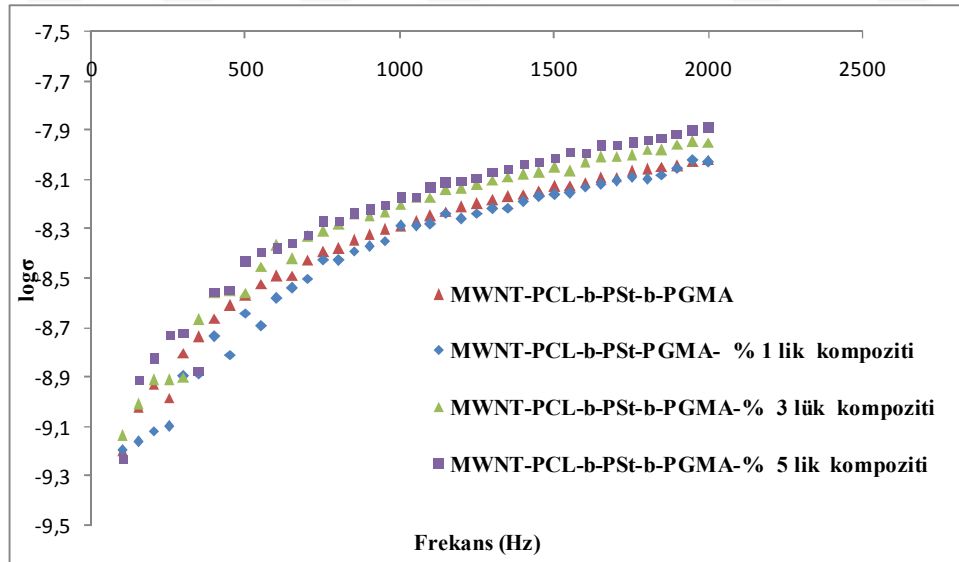


Şekil 3.118. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi

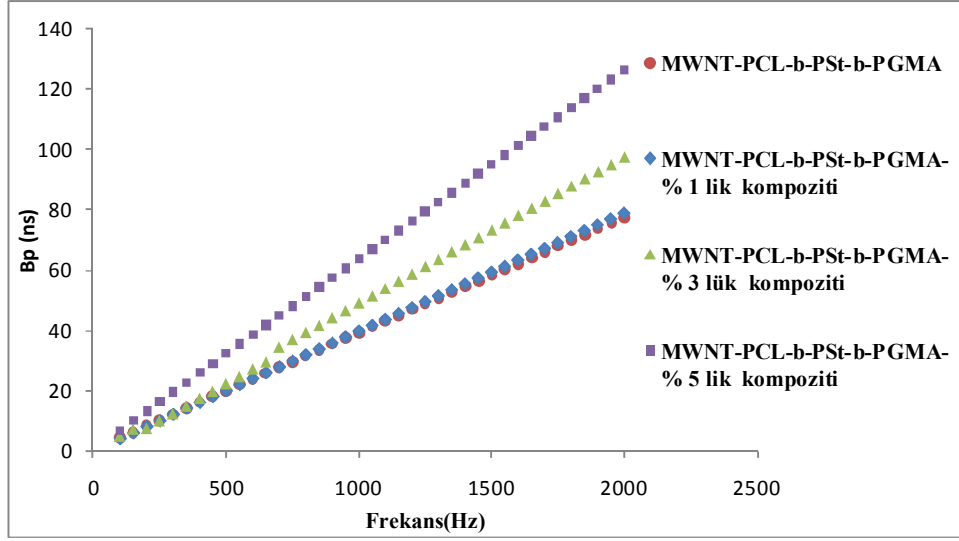
3.29.2. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA Kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-PGMA / MWNT-COOH Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



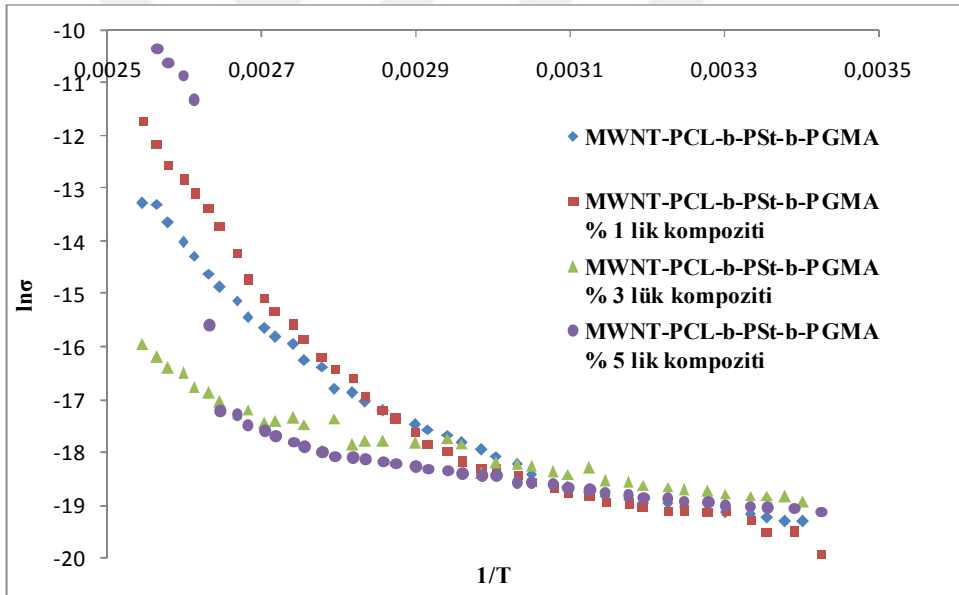
Şekil 3.119. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği



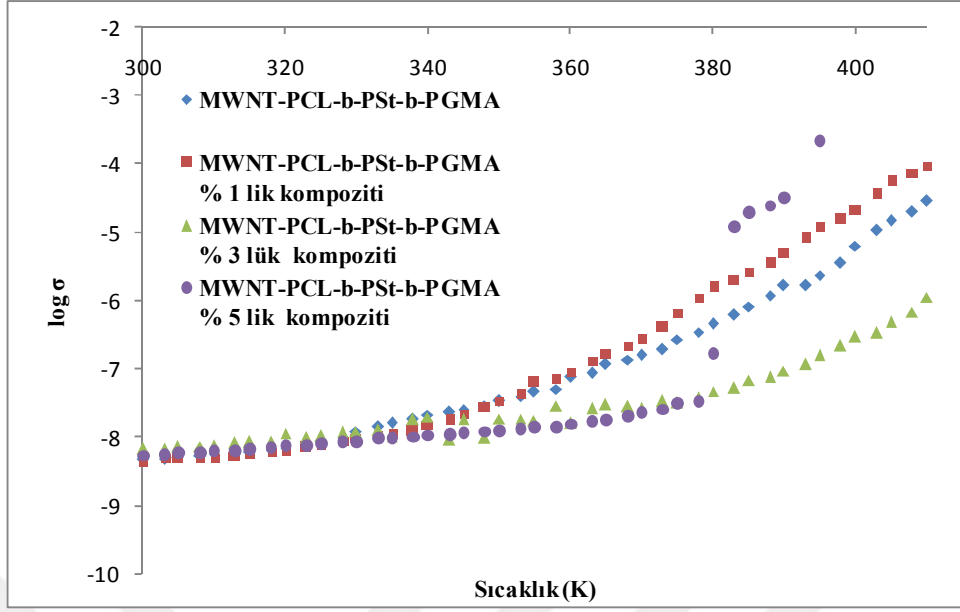
Şekil 3.120. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği



Şekil 3.121. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi

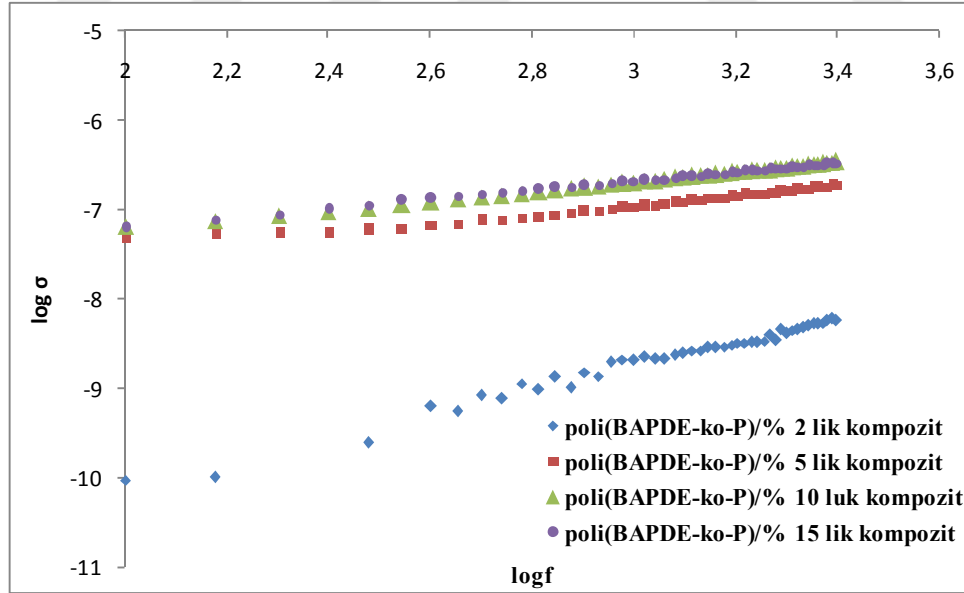


Şekil 3.122. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

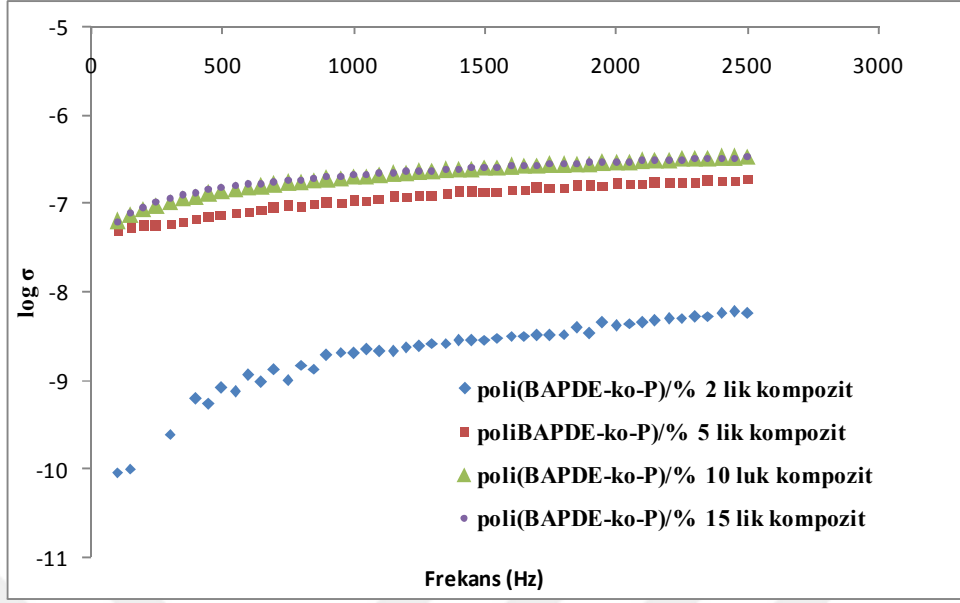


Şekil 3.123. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA kopolimer ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA /MWNT-COOH nanokompozitlerinin log σ - T grafiği

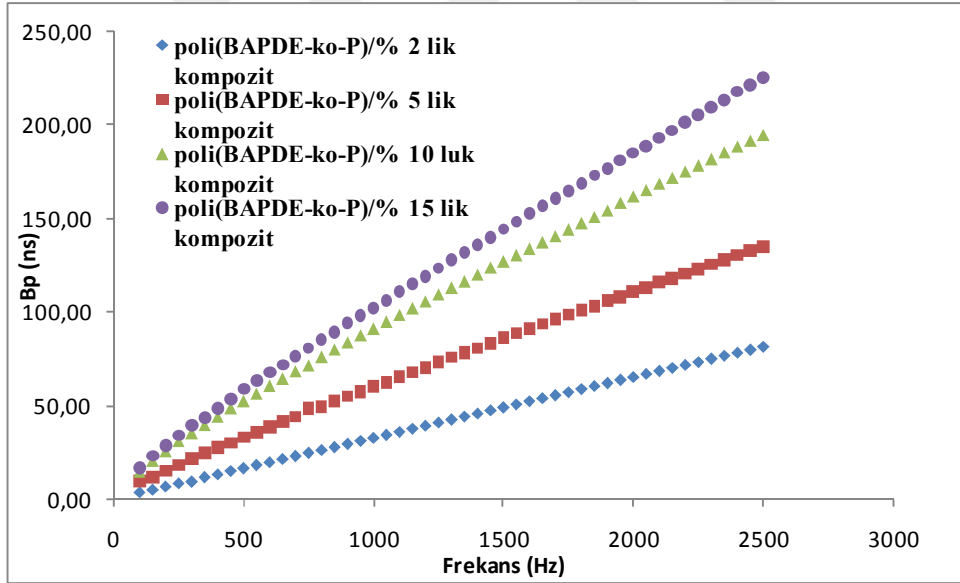
3.29.3. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



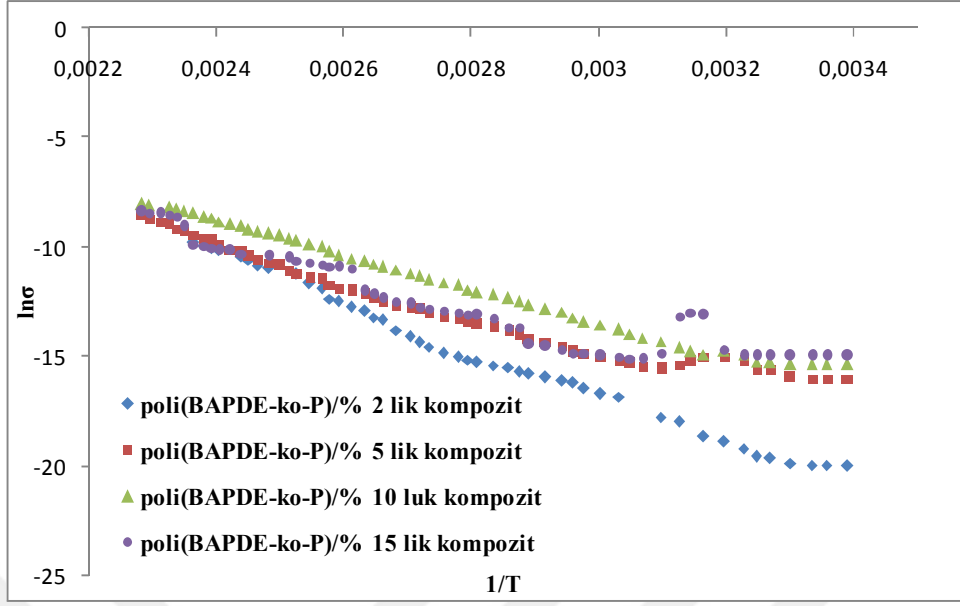
Şekil 3.124. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği



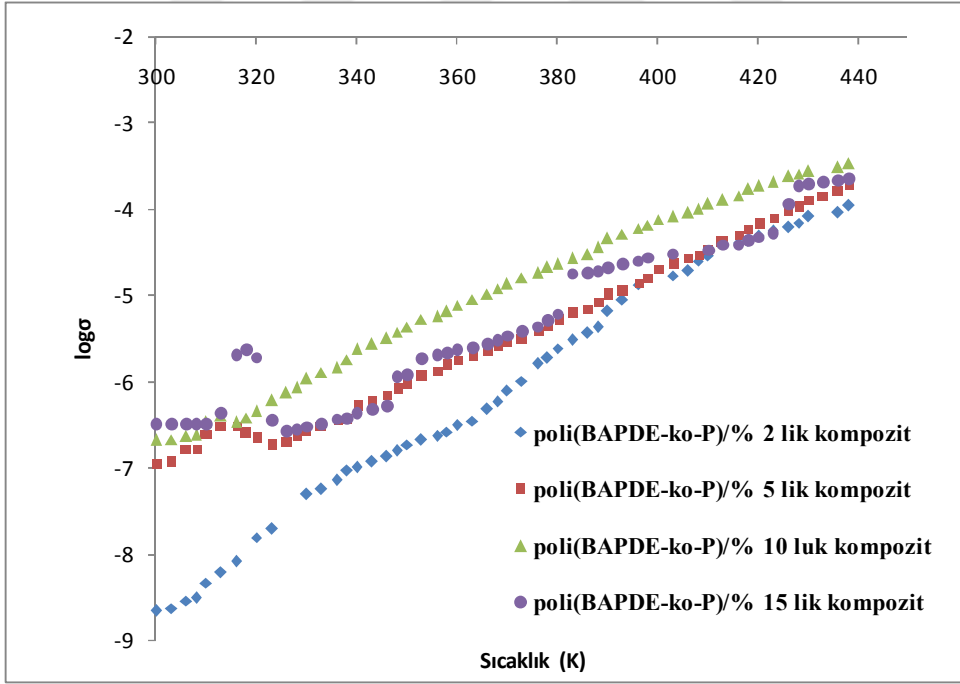
Şekil 3.125. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ -Frekans grafiği



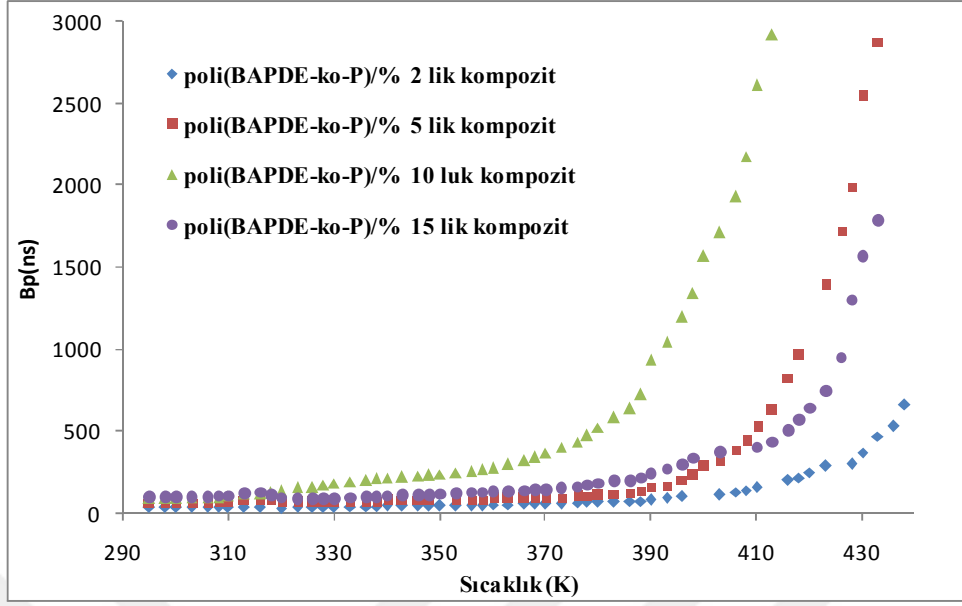
Şekil 3.126. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.127. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin $\ln\sigma$ - $1/T$ grafiği

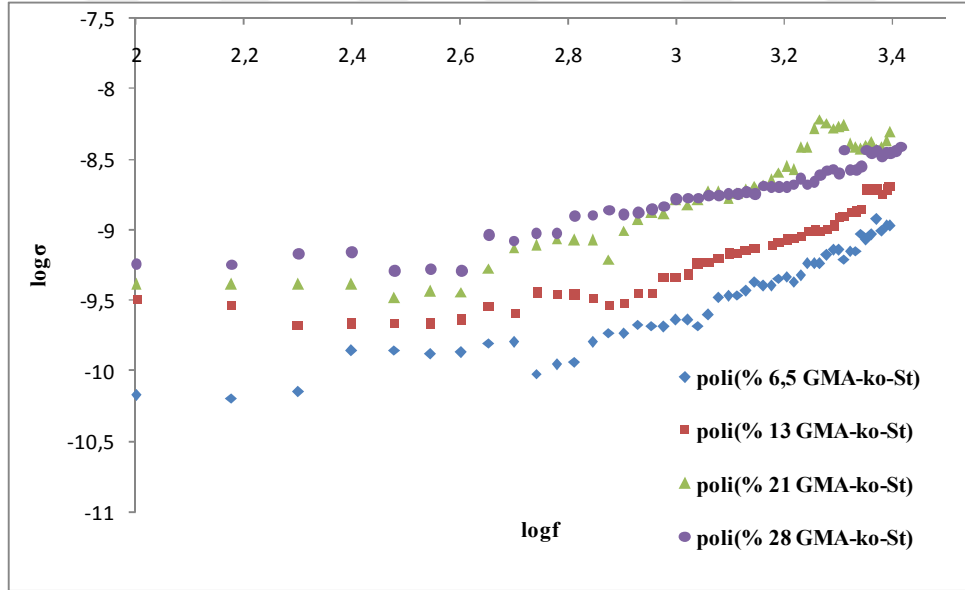


Şekil 3.128. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin $\log \sigma$ - T grafiği

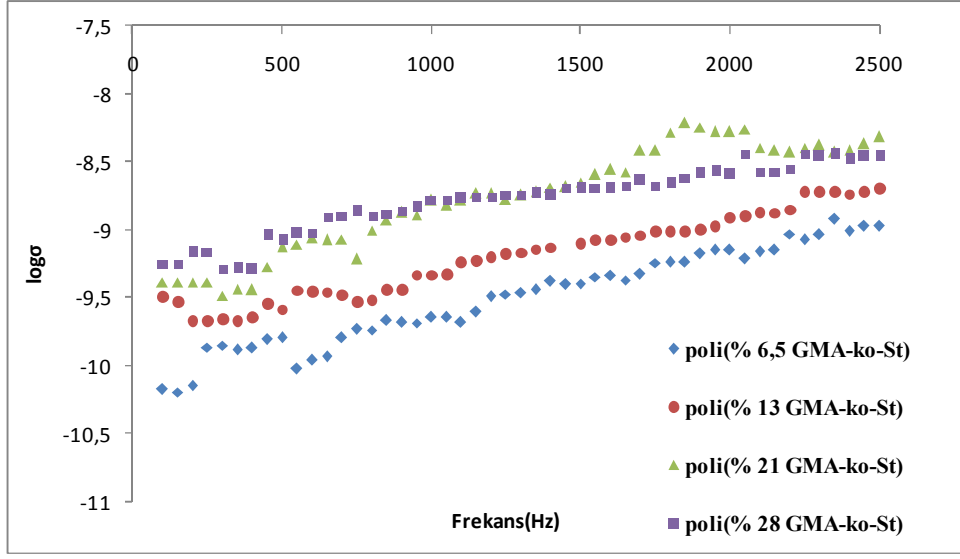


Şekil 3.129. Poli(BAPDE-*ko*-P) / MWNT-COOH+MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

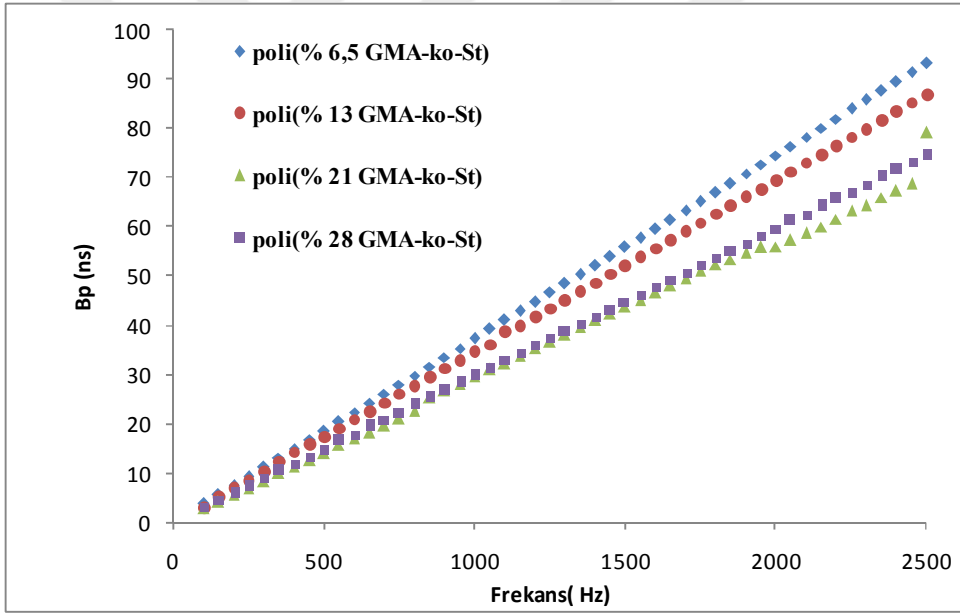
3.29.4. Farklı Yüzdelerdeki Poli(GMA-*ko*-St) Kopolimerlerin İletkenlik Ölçümleri



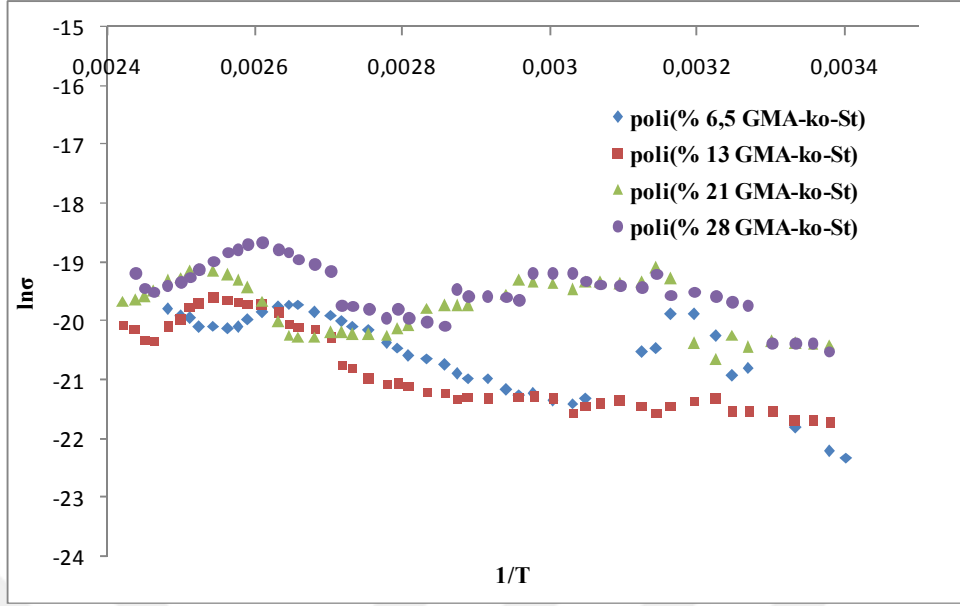
Şekil 3.130. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin log σ - log F grafiği



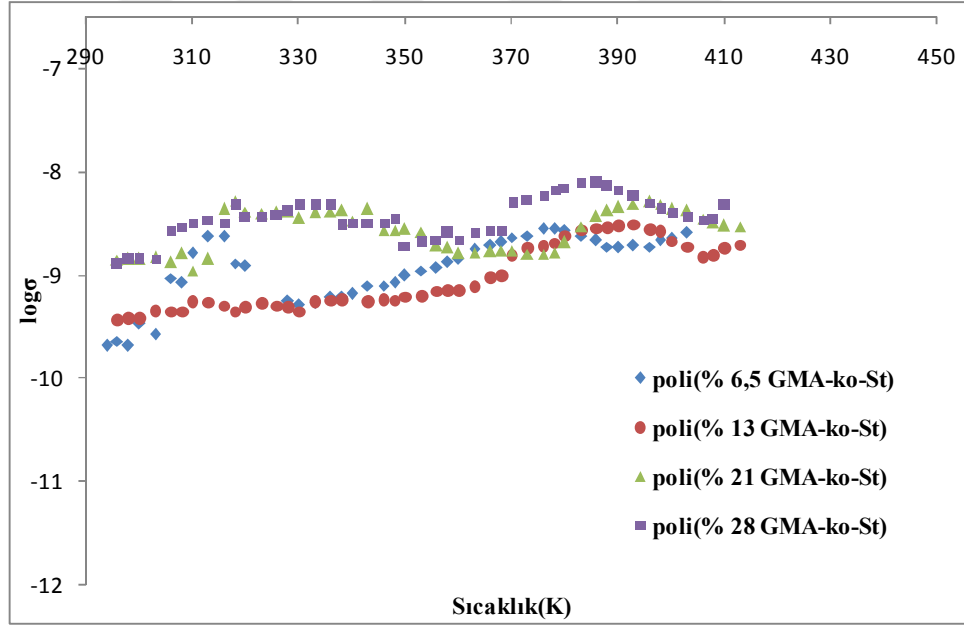
Şekil 3.131. Poli(GMA-ko-St) kopolimerlerin log σ - Frekans grafiği



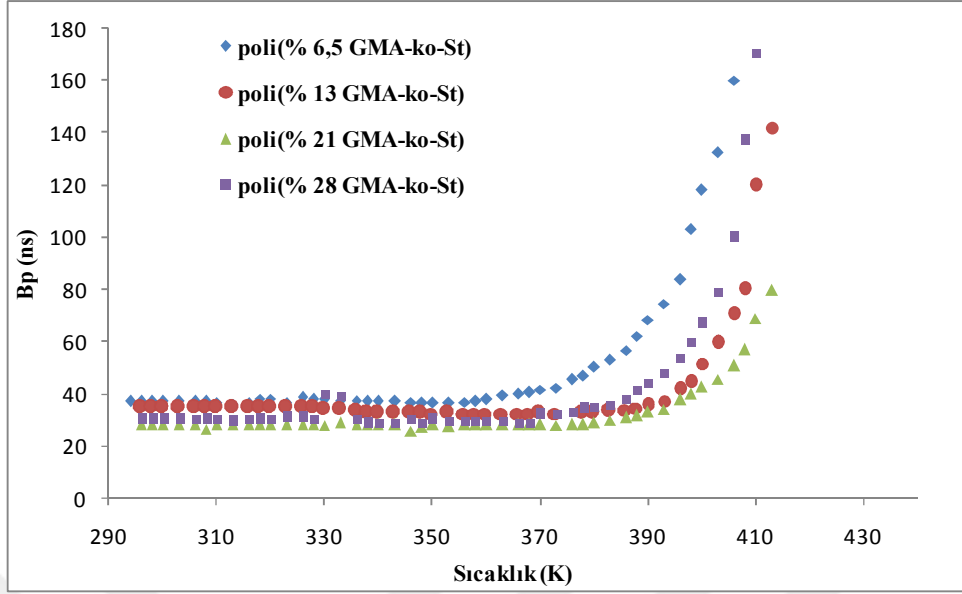
Şekil 3.132. Poli(GMA-ko-St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.133. Poli(GMA-ko-St) kopolimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

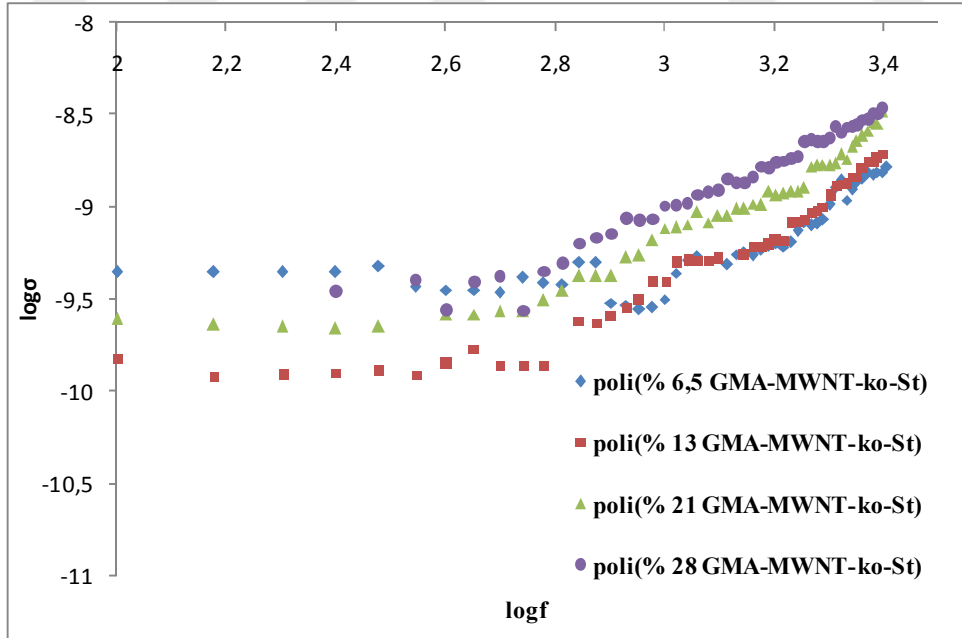


Şekil 3.134. Poli(GMA-ko-St) kopolimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

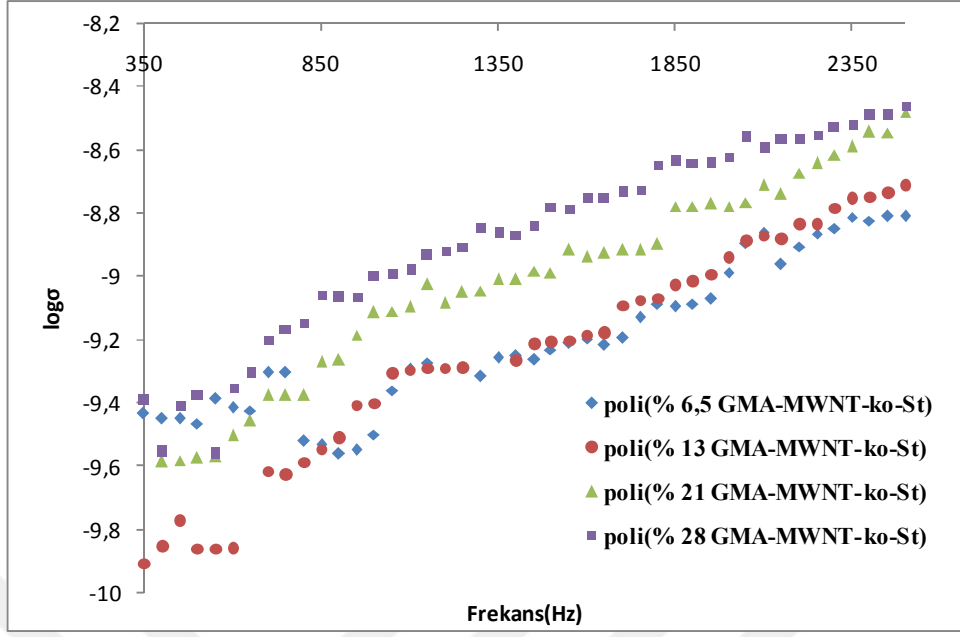


Şekil 3.135. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

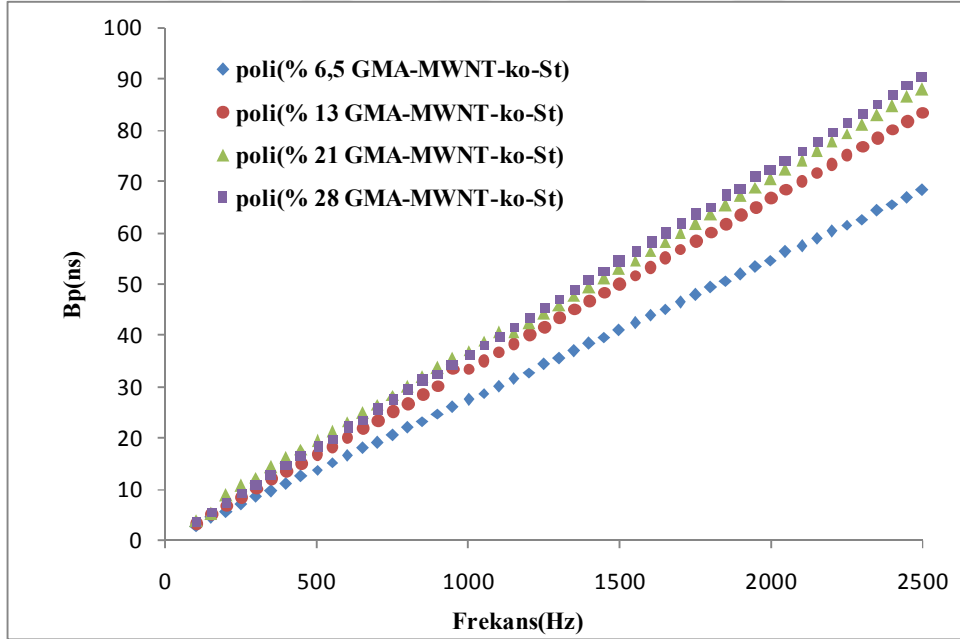
3.29.5. Halkası Açılmış Kopolimerlerin [Poli (GMA-MWNT-*ko*-St)] İletkenlik Ölçümleri



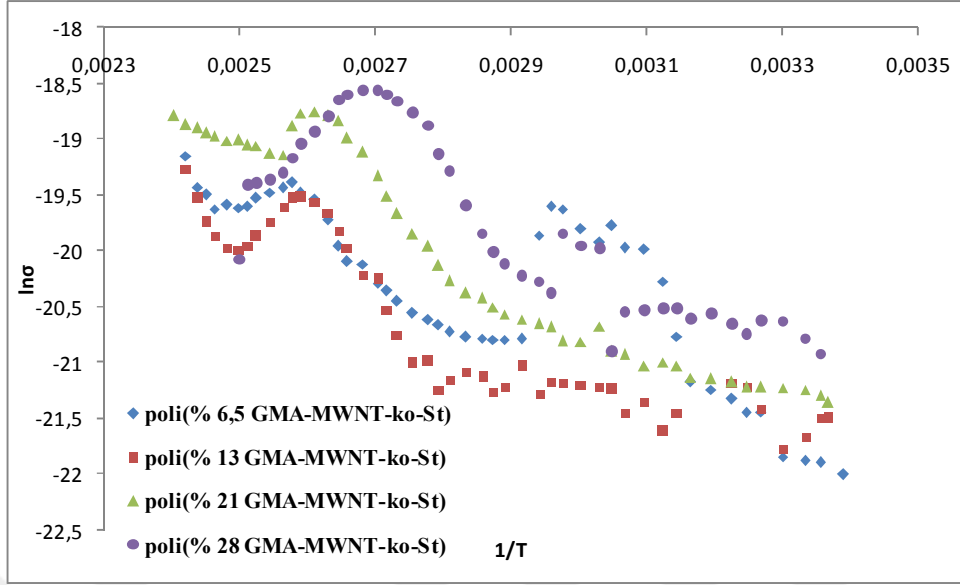
Şekil 3.136. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin log σ - log F grafiği



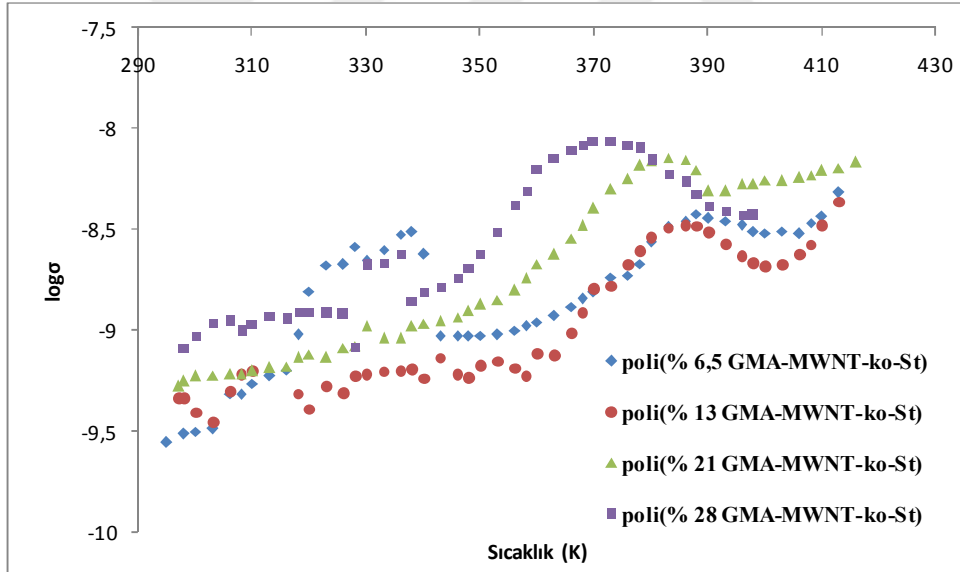
Şekil 3.137. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin log σ - Frekans grafiği



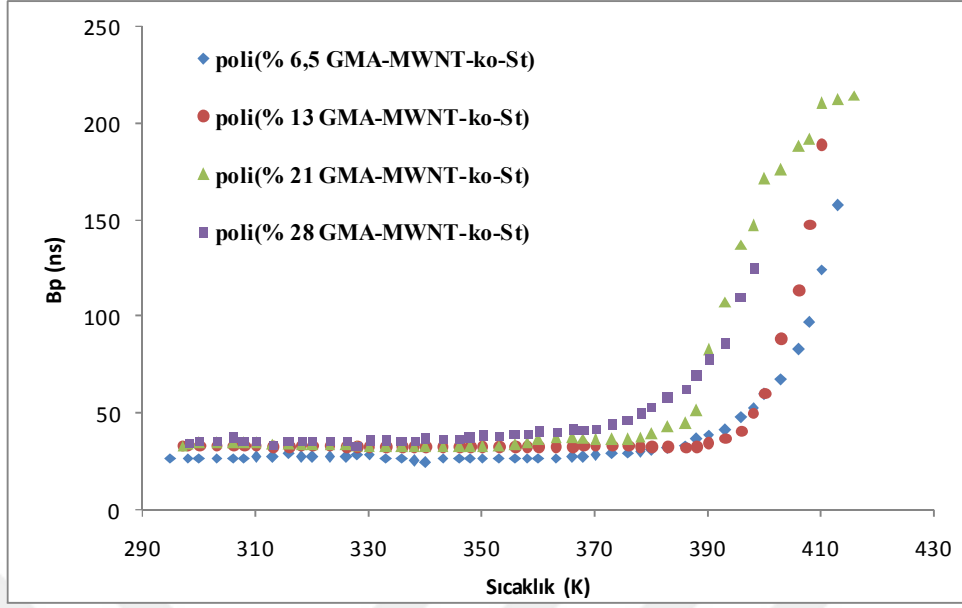
Şekil 3.138. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.139. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

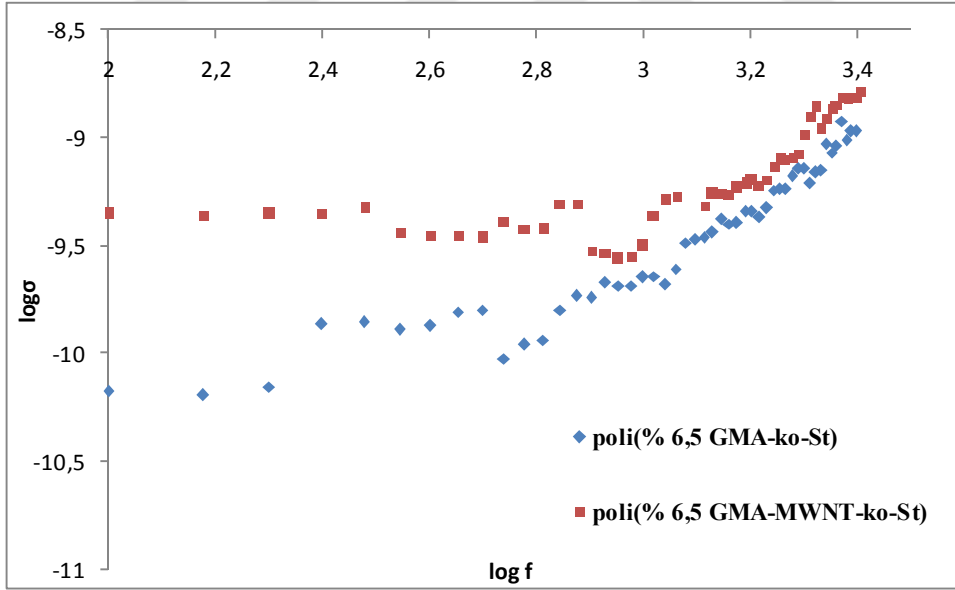


Şekil 3.140. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

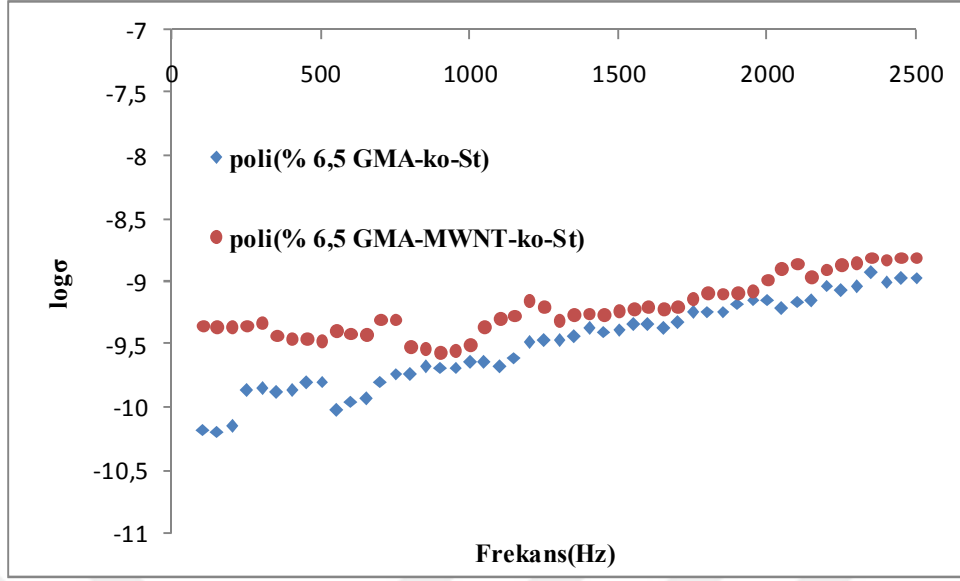


Şekil 3.141. Poli(GMA-MWNT-ko-St) kopolimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

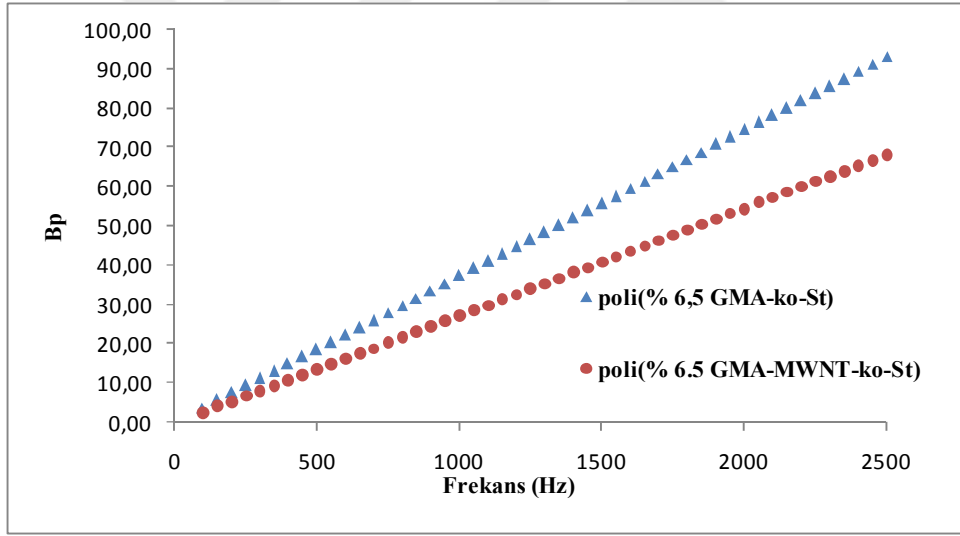
3.29.6. Poli(% 6, 5 GMA-ko-St) Kopolimeri ve Poli (% 6,5 GMA-MWNT-ko-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması



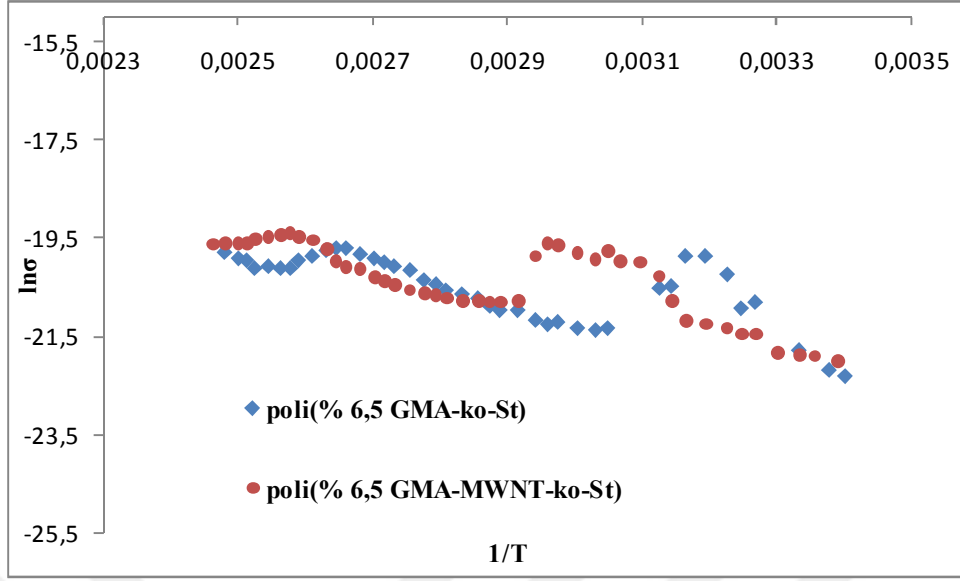
Şekil 3.142. Polimerlerin log σ- log F grafiği



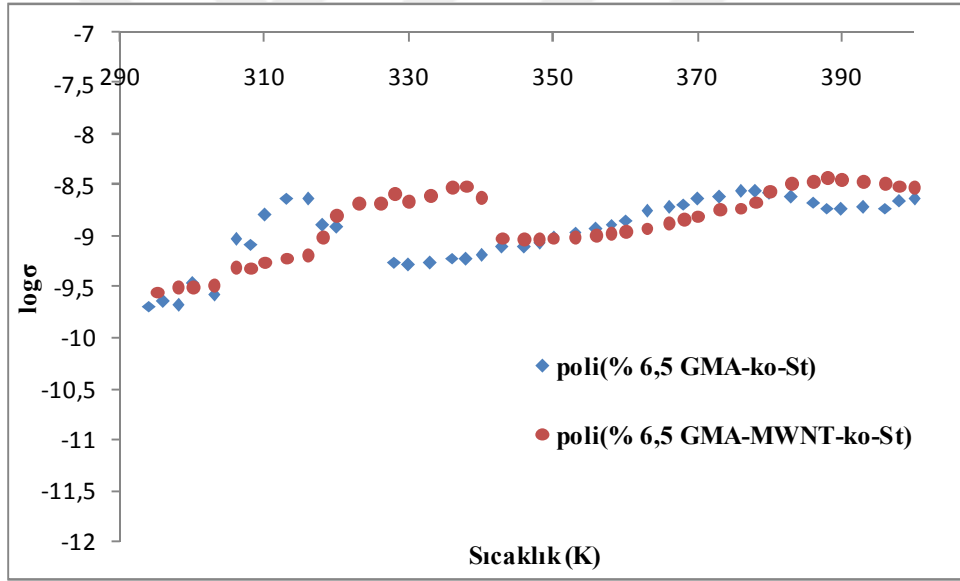
Şekil 3.143. Polimerlerin log σ- Frekans grafiği



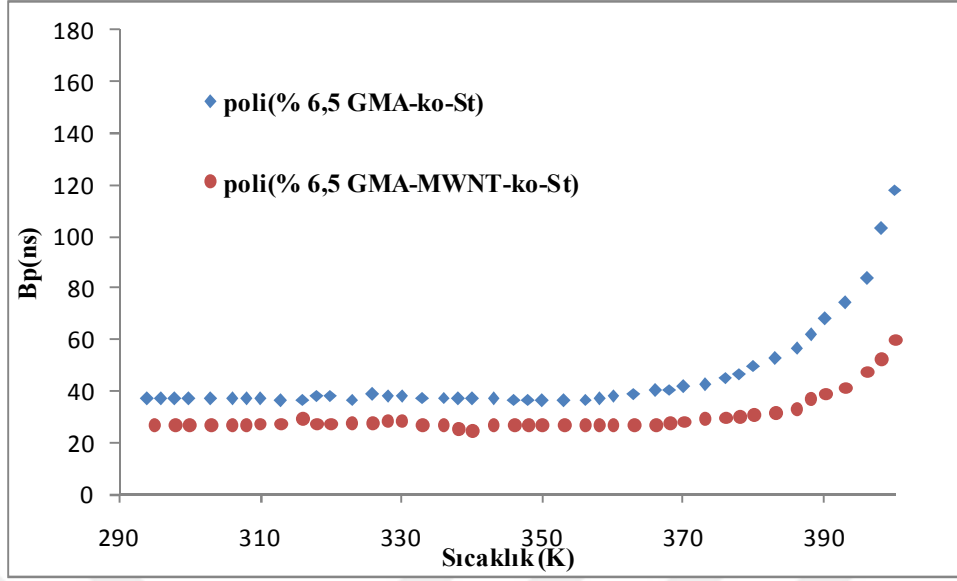
Şekil 3.144. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.145. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

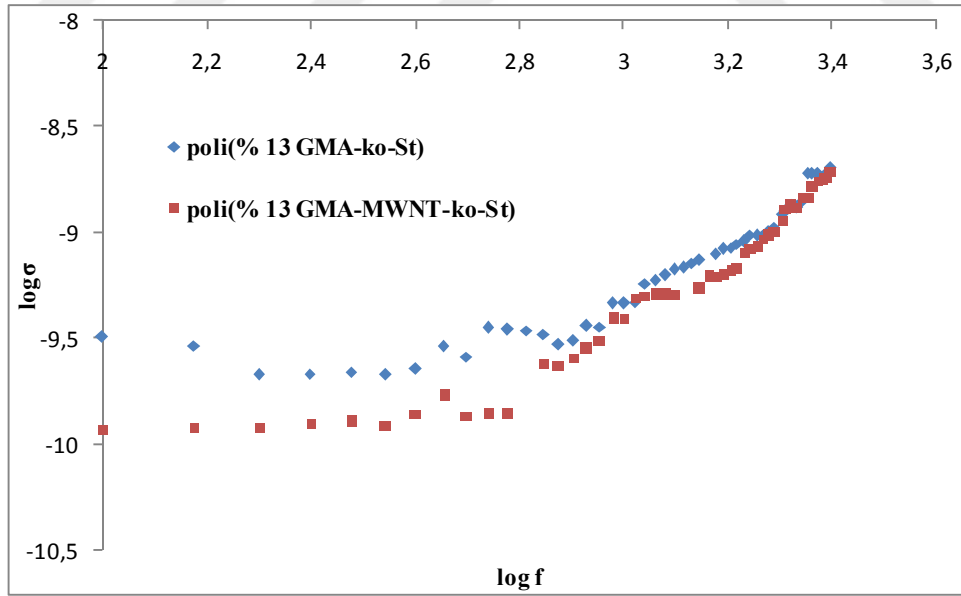


Şekil 3.146. Polimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

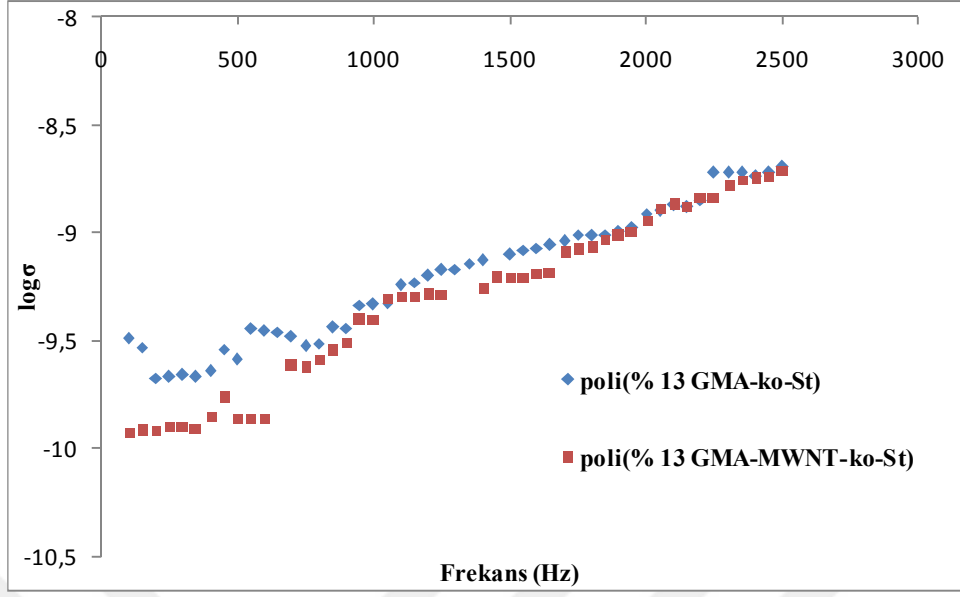


Şekil 3.147. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

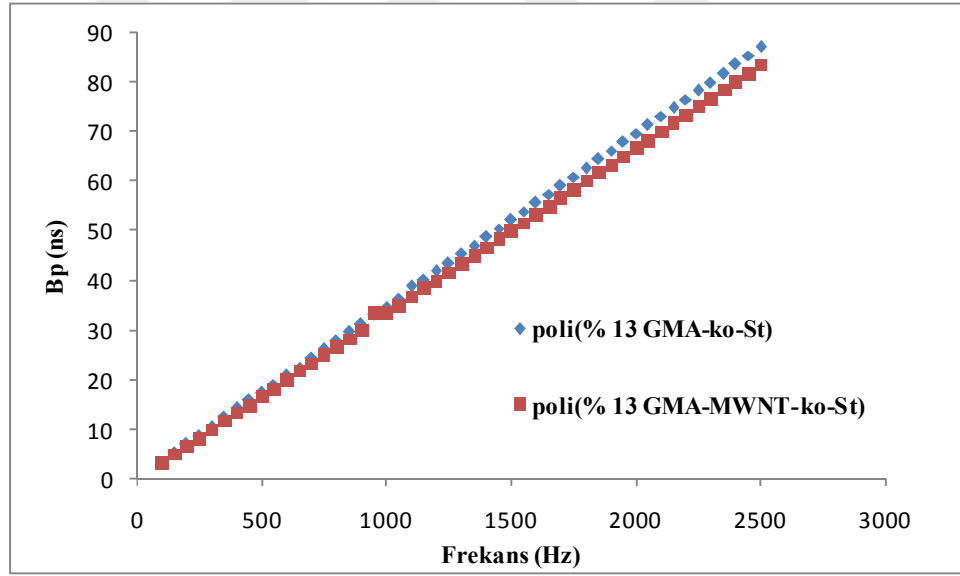
3.29.7. Poli(% 13 PGMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması



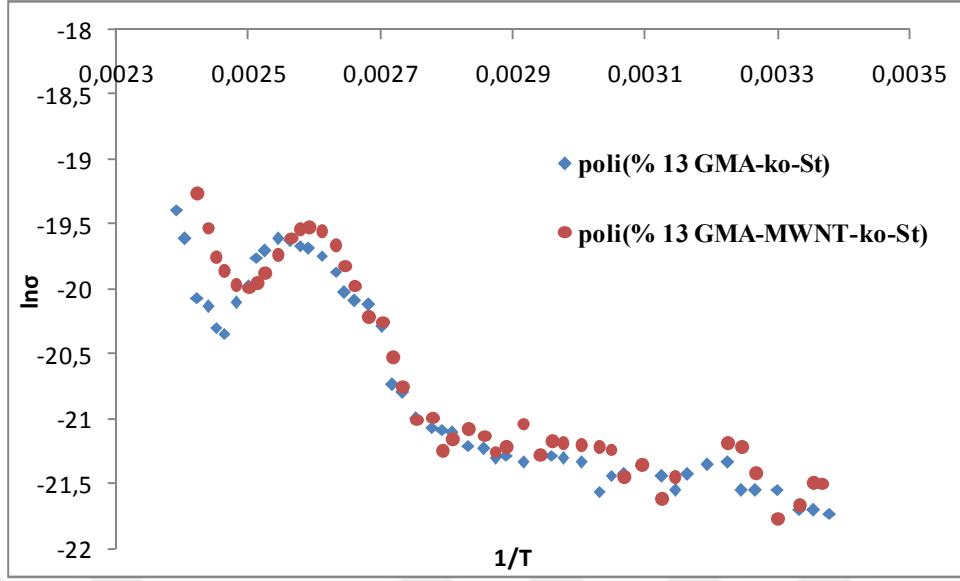
Şekil 3.148. Polimerlerin log σ - log F grafiği



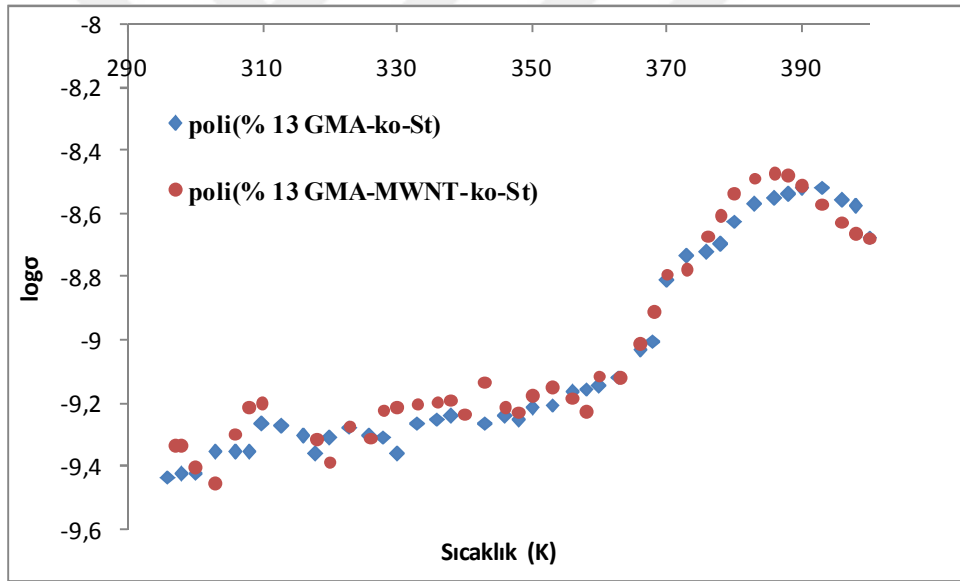
Şekil 3.149. Polimerlerin log σ - Frekans grafiği



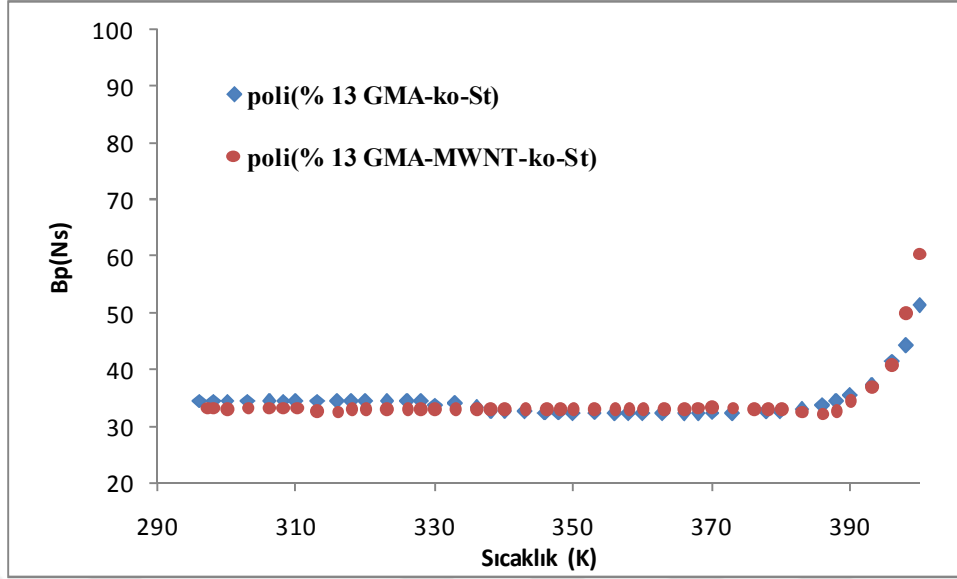
Şekil 3.150. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.151. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

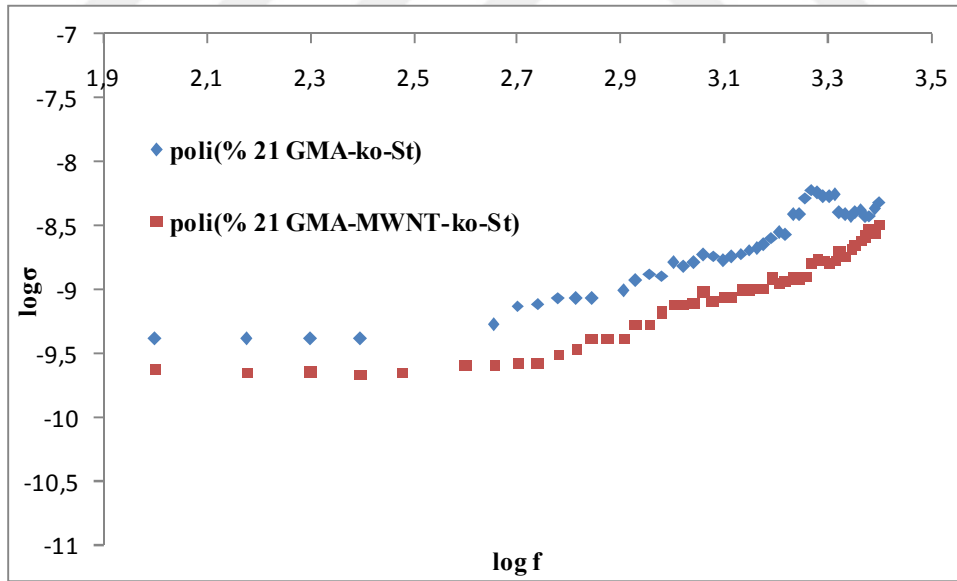


Şekil 3.152. Polimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

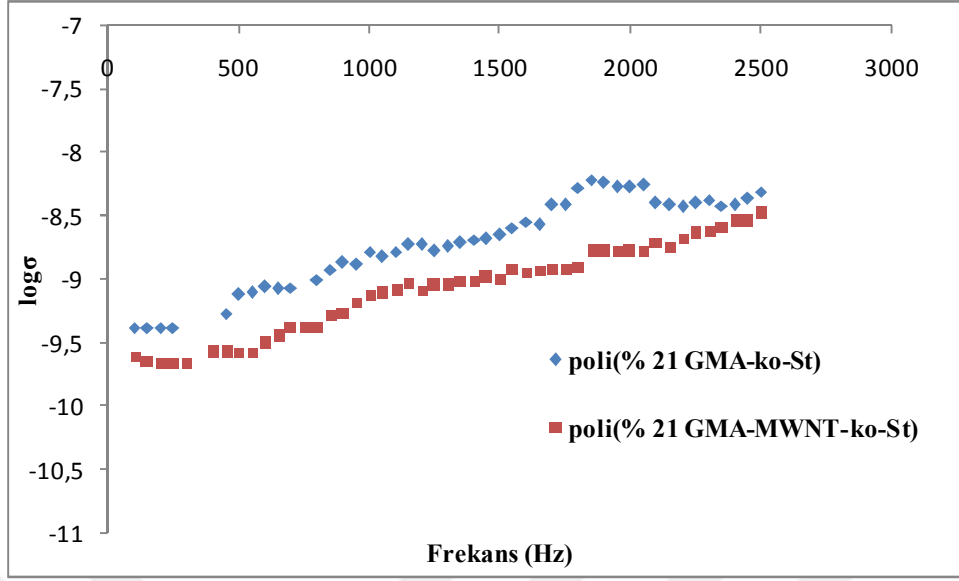


Şekil 3.153. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

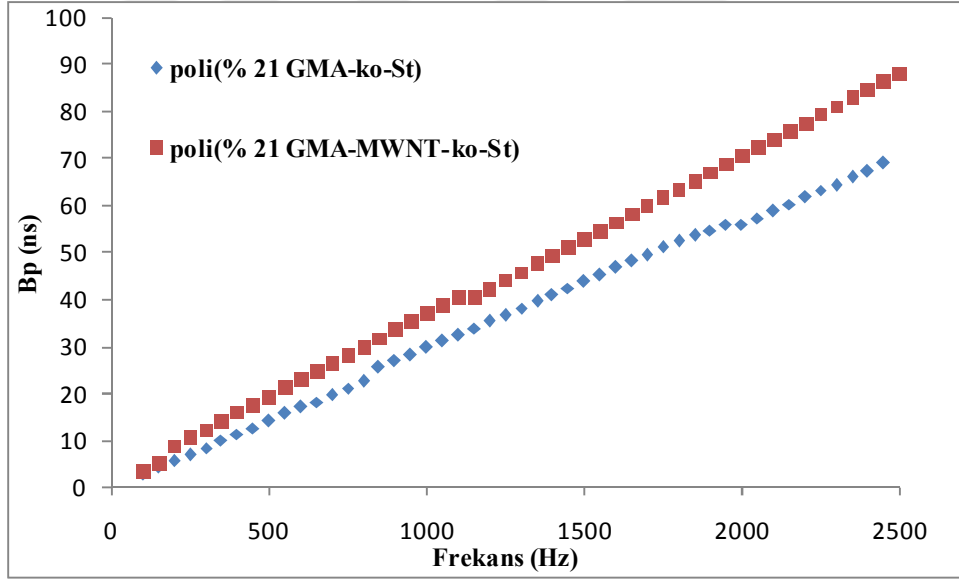
3.29.8. Poli(% 21 GMA-ko-St) Kopolimeri ve Poli(%21 GMA-MWNT-ko-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması



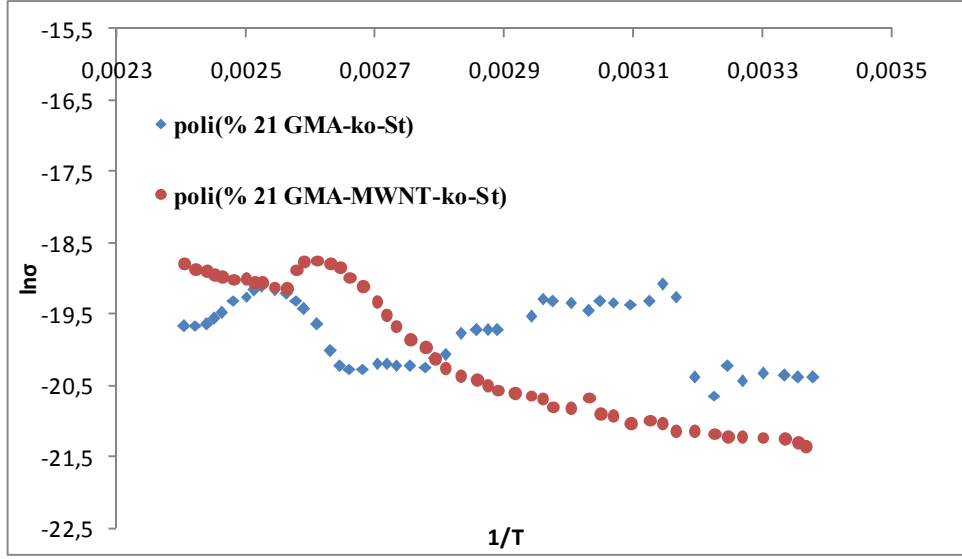
Şekil 3.154. Polimerlerin log σ- log F grafiği



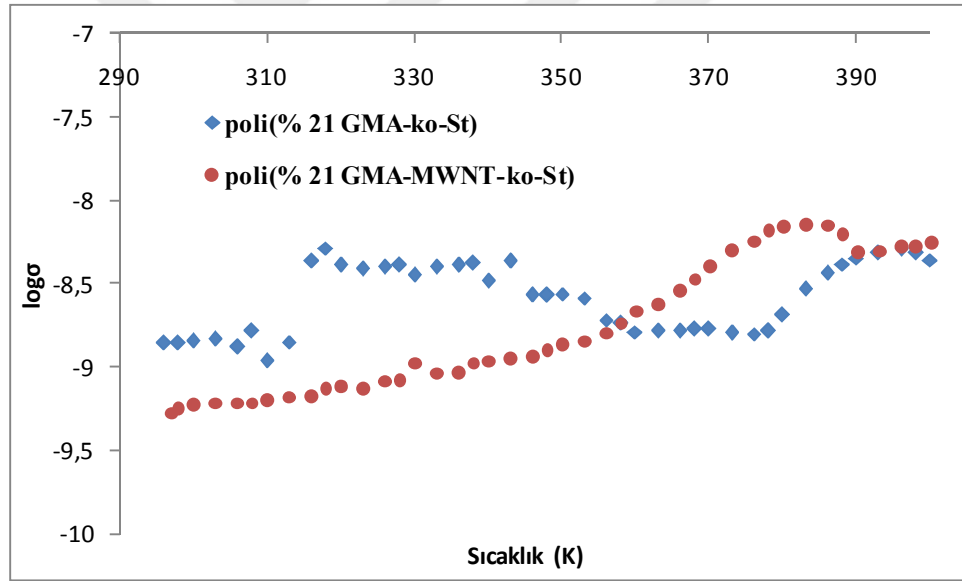
Şekil 3.155. Polimerlerin $\log \sigma$ - Frekans grafiği



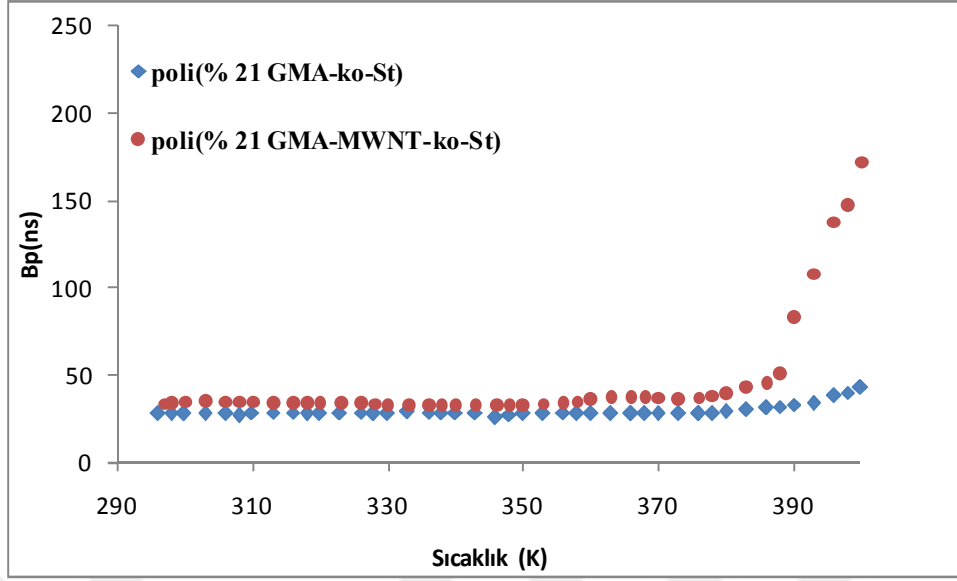
Şekil 3.156. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.157. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

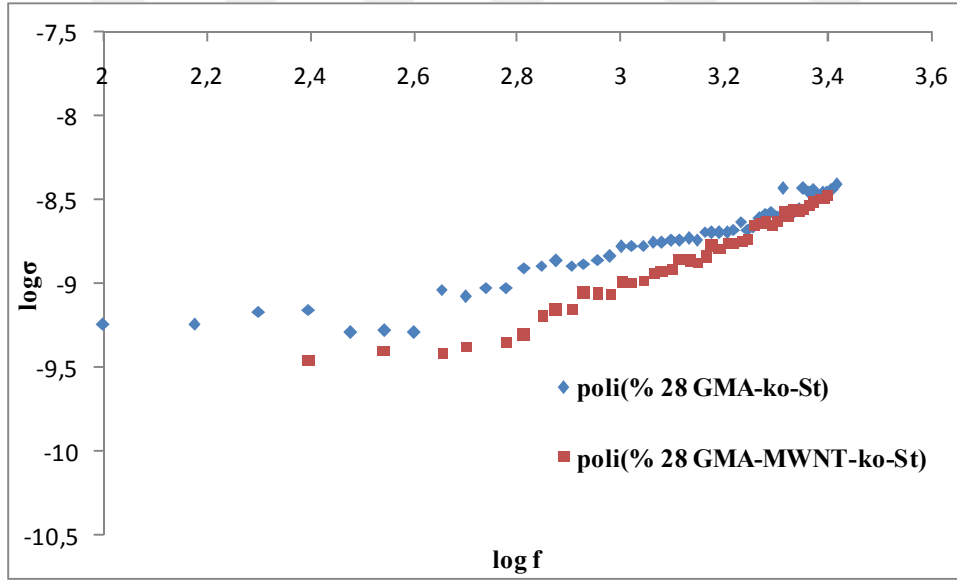


Şekil 3.158. Polimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

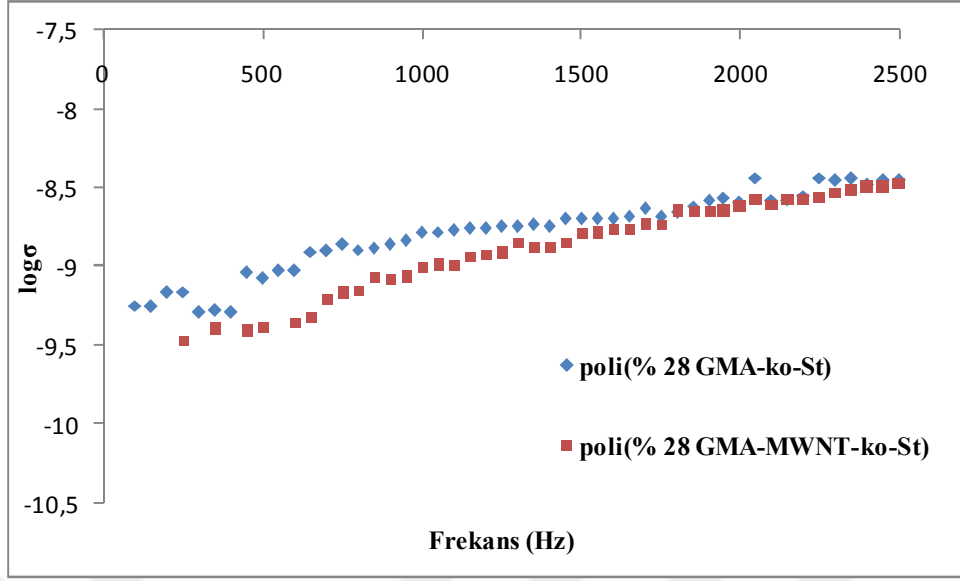


Şekil 3.159. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

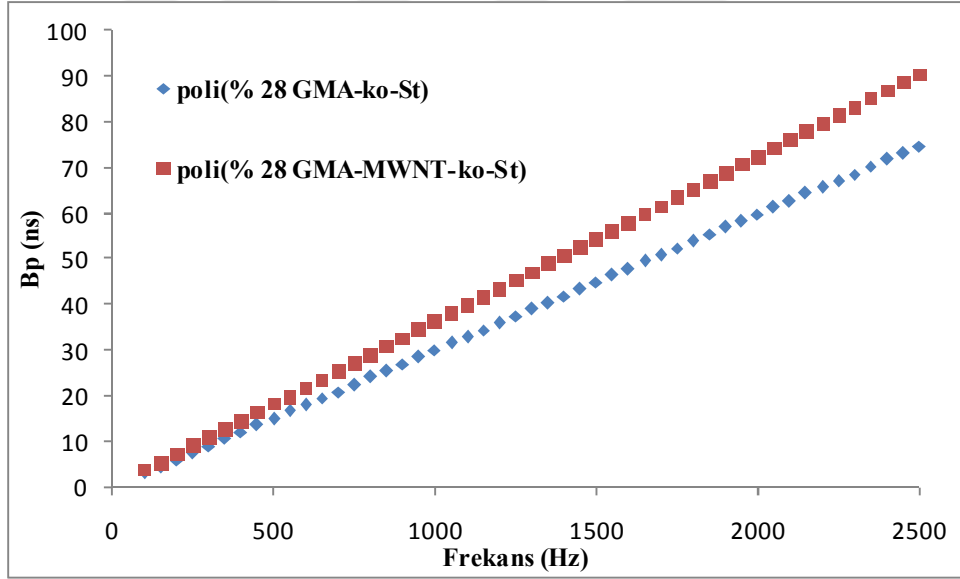
3.29.9. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin İletkenlik Ölçümleri Karşılaştırması



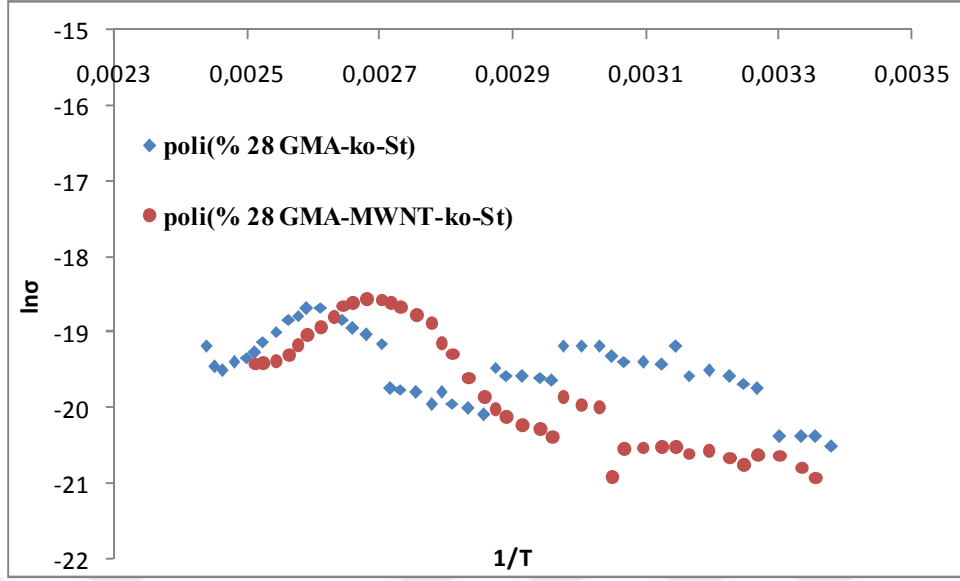
Şekil 3.160. Polimerlerin log σ - log F grafiği



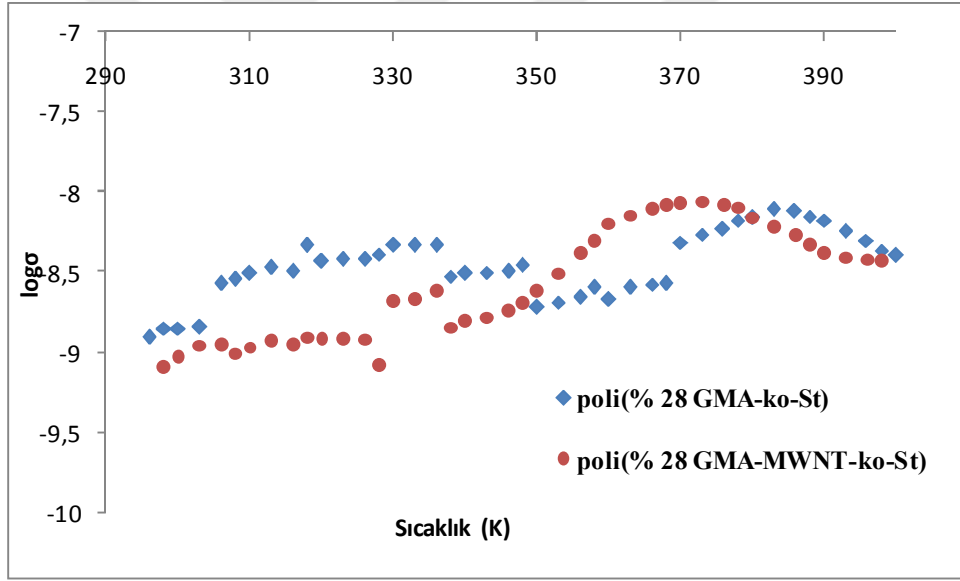
Şekil 3.161. Polimerlerin log σ - Frekans grafiği



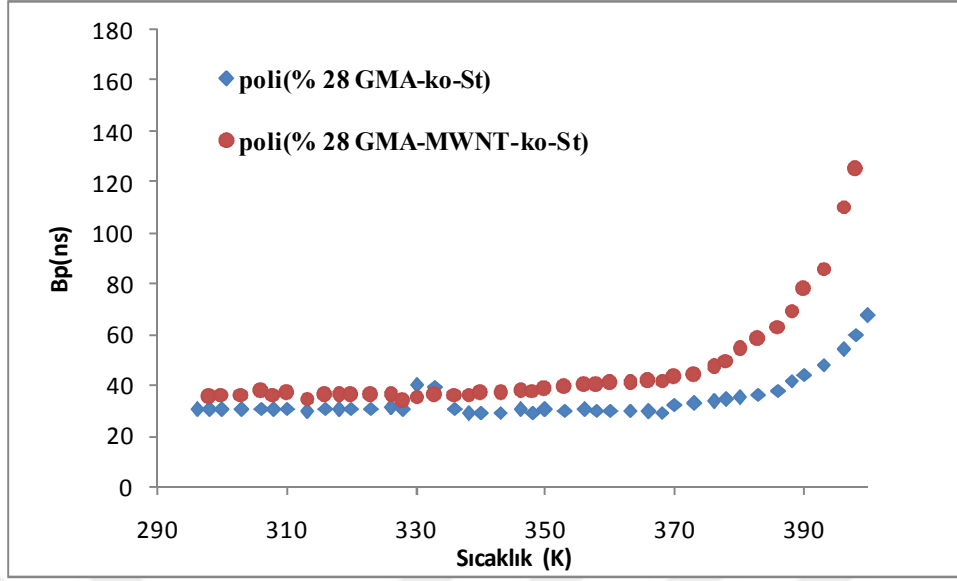
Şekil 3.162. Polimerlerin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.163. Polimerlerin $\ln \sigma$ - $1/T$ grafiği

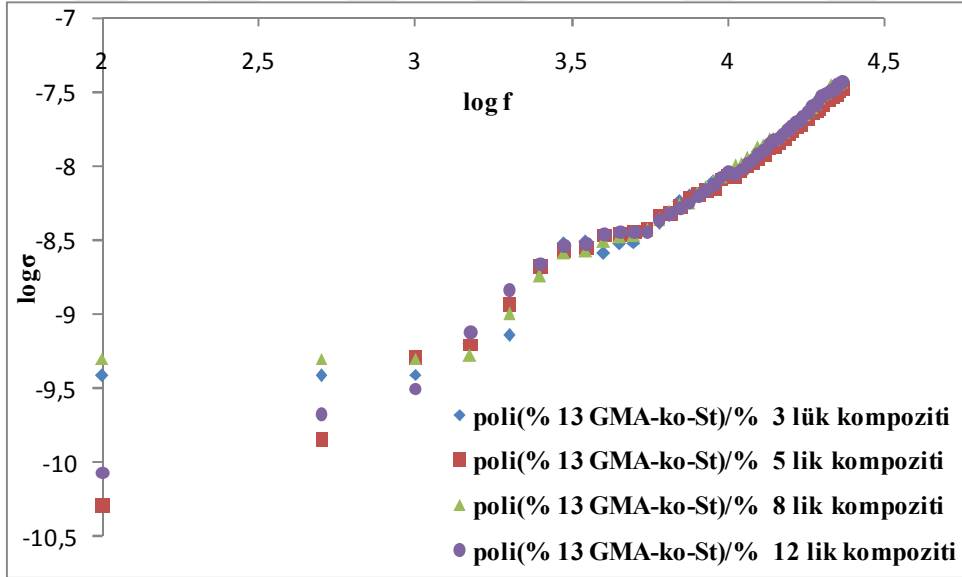


Şekil 3.164. Polimerlerin $\log \sigma$ -T grafiği

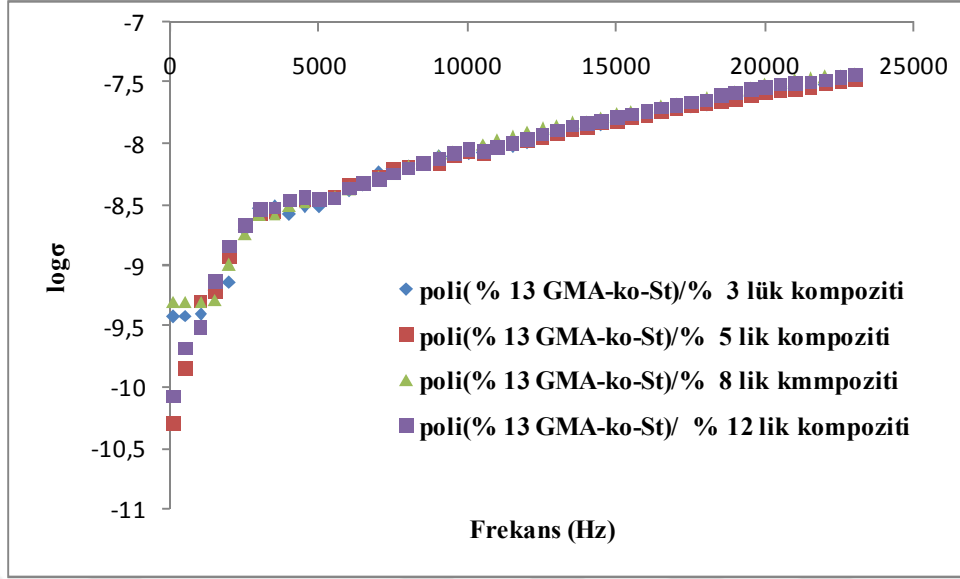


Şekil 3.165. Polimerlerin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

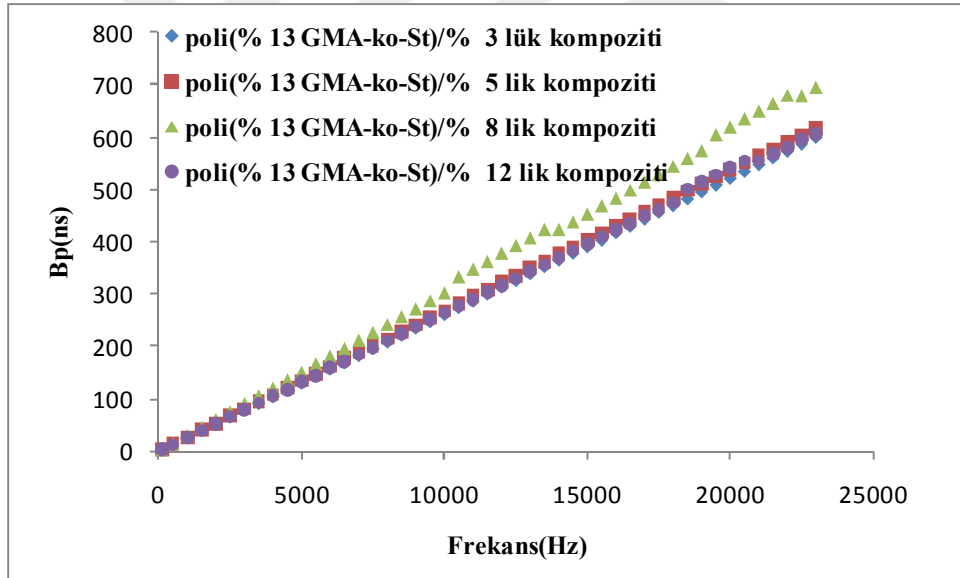
3.29.10. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



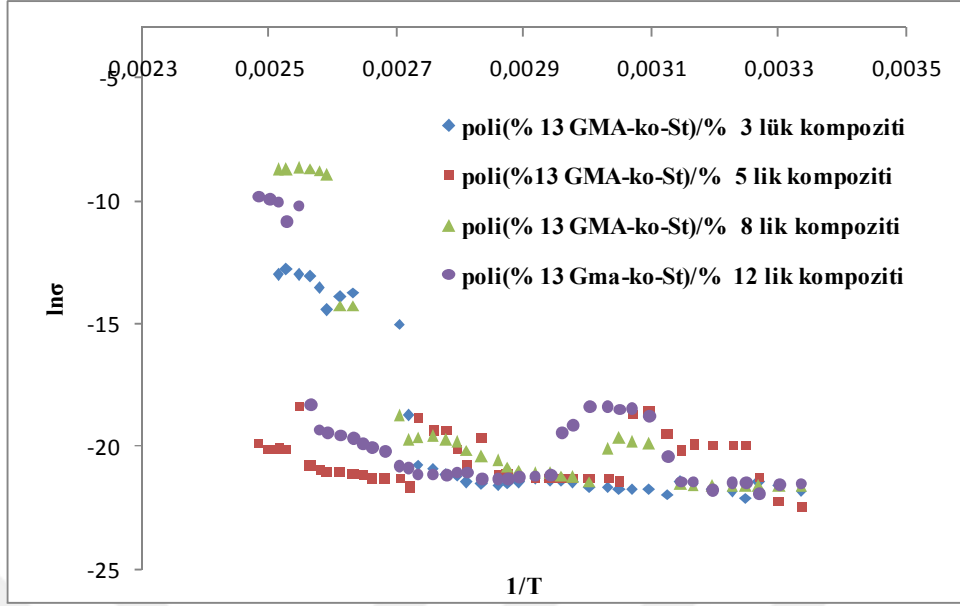
Şekil 3.166. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ- log F grafiği



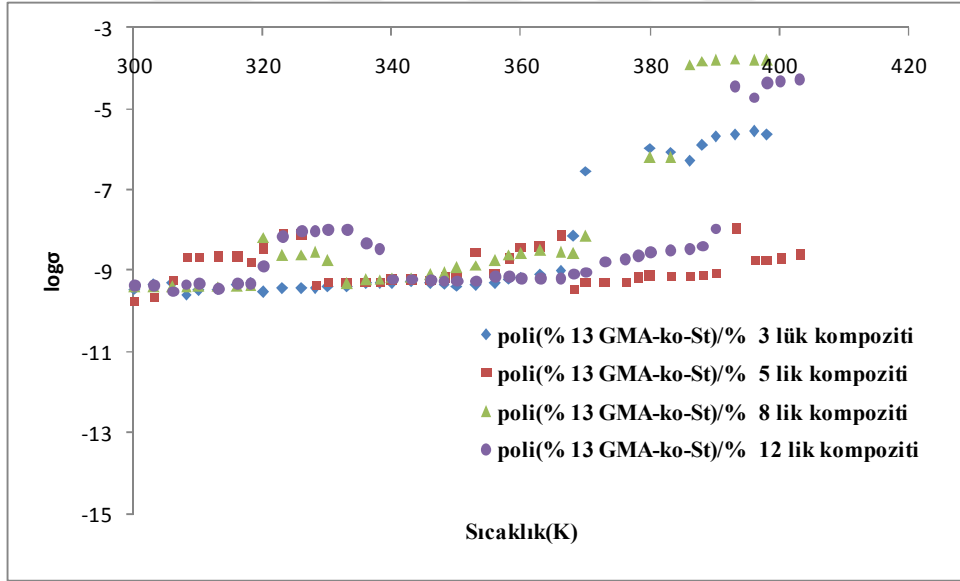
Şekil 3.167. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği



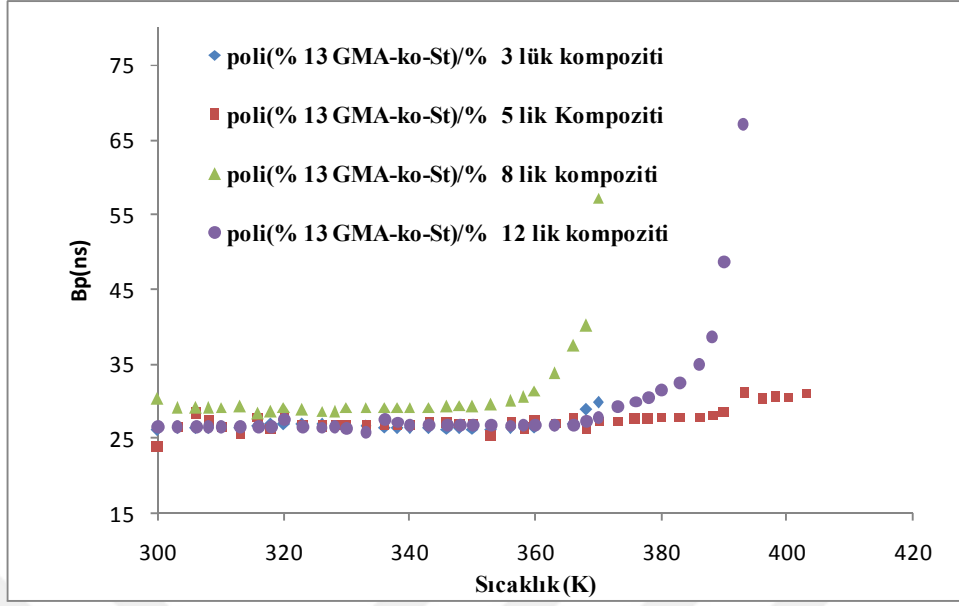
Şekil 3.168. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.169. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin ln σ - 1/T grafiği

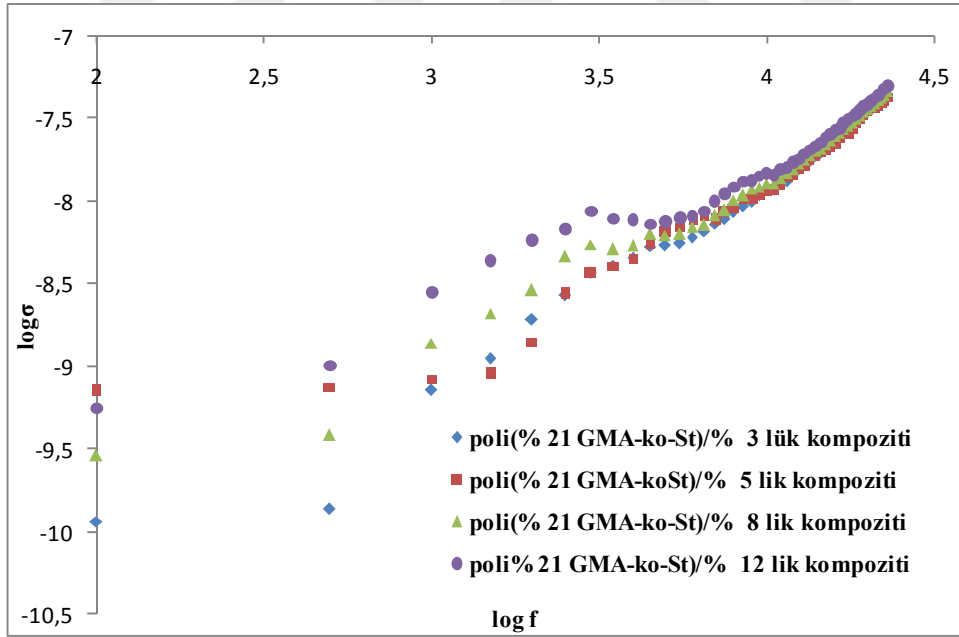


Şekil 3.170. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ -T grafiği

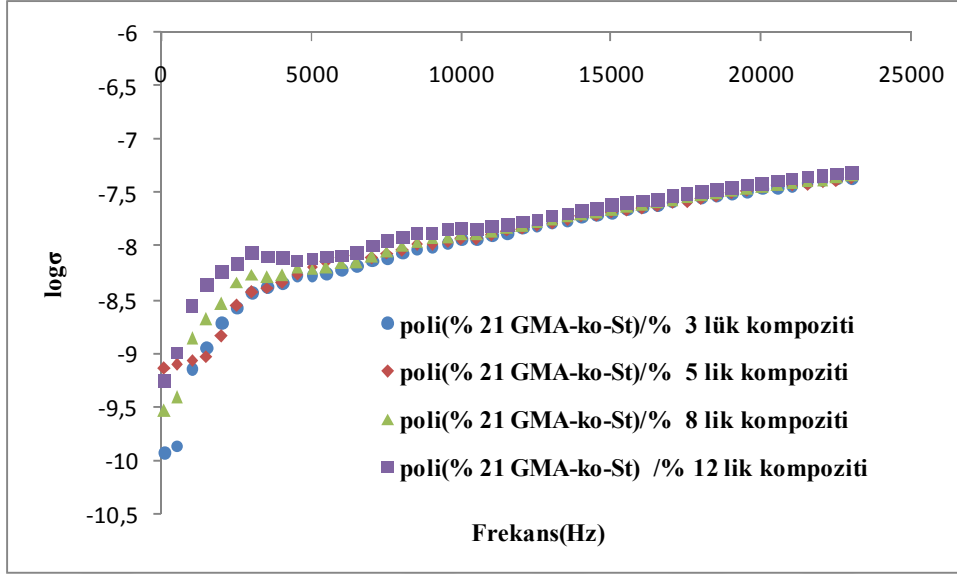


Şekil 3.171. Poli(%13 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

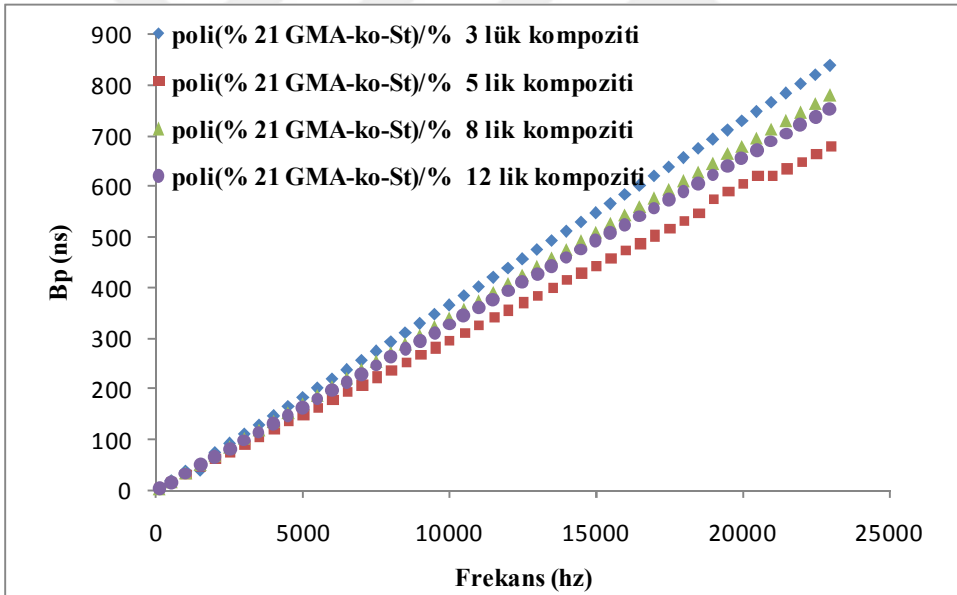
3.29.11. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



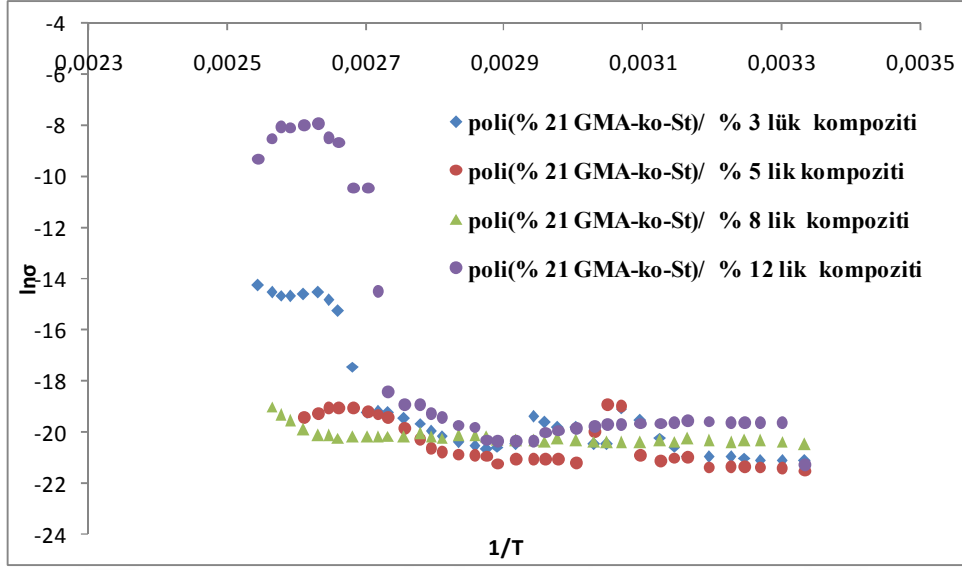
Şekil 3.172. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği



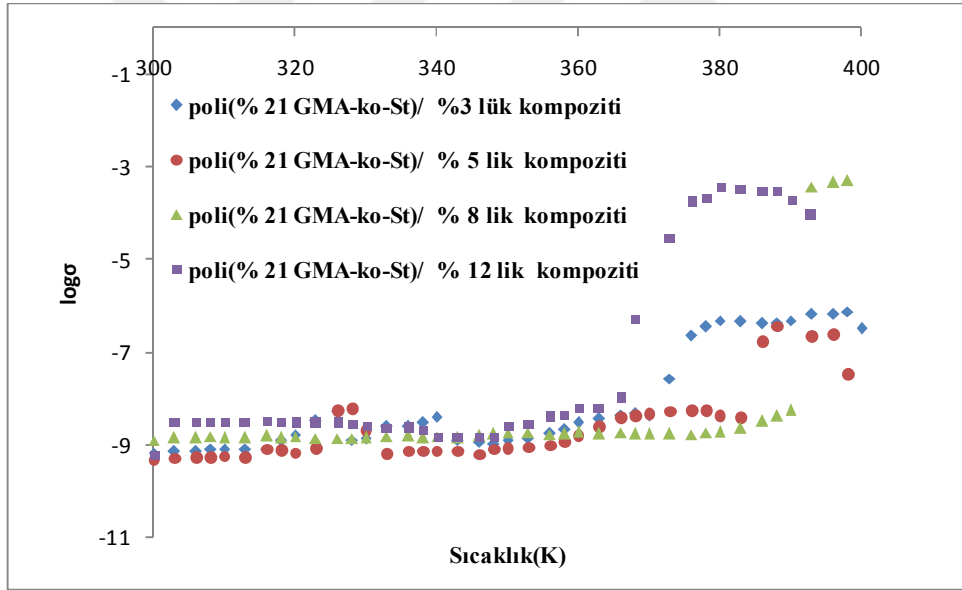
Şekil 3.173. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği



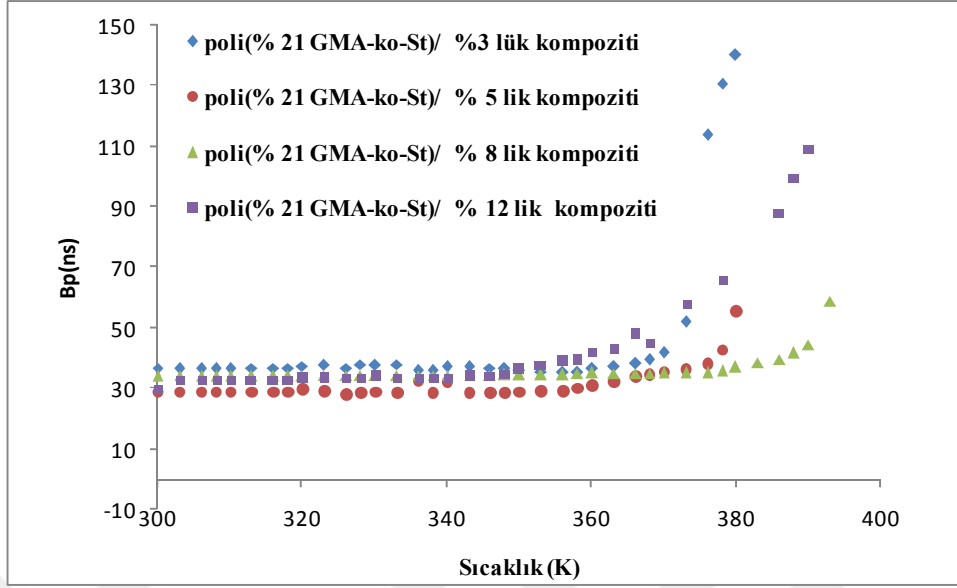
Şekil 3.174. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.175. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin ln σ- 1/T grafiği

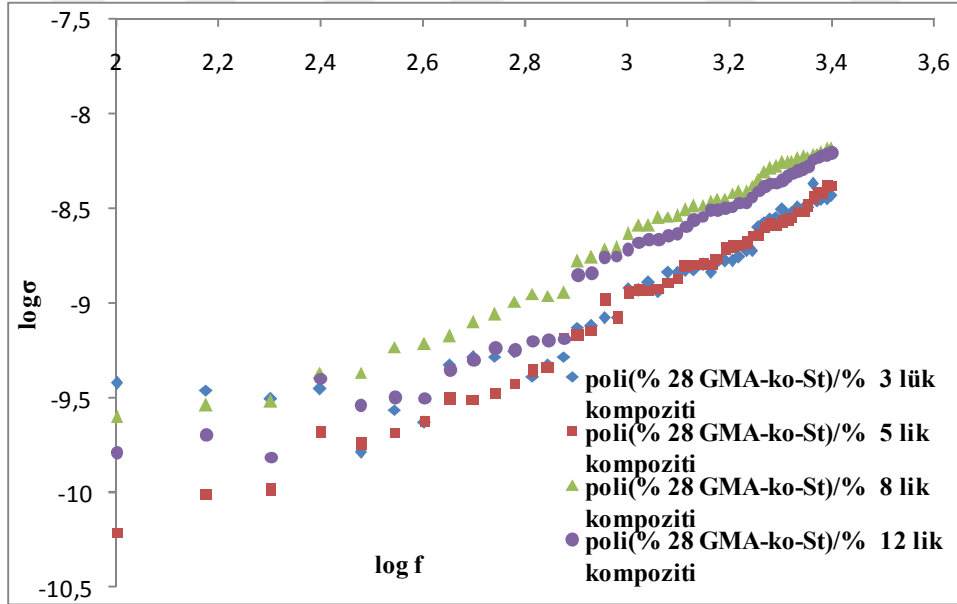


Şekil 3.176. Poli(%21 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ-T grafiği

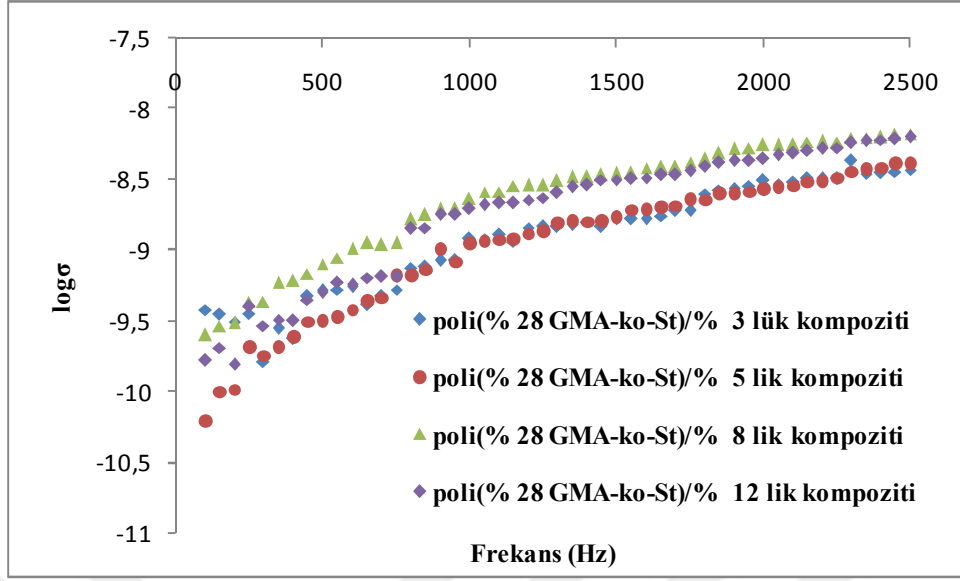


Şekil 3.177. Poli(%21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

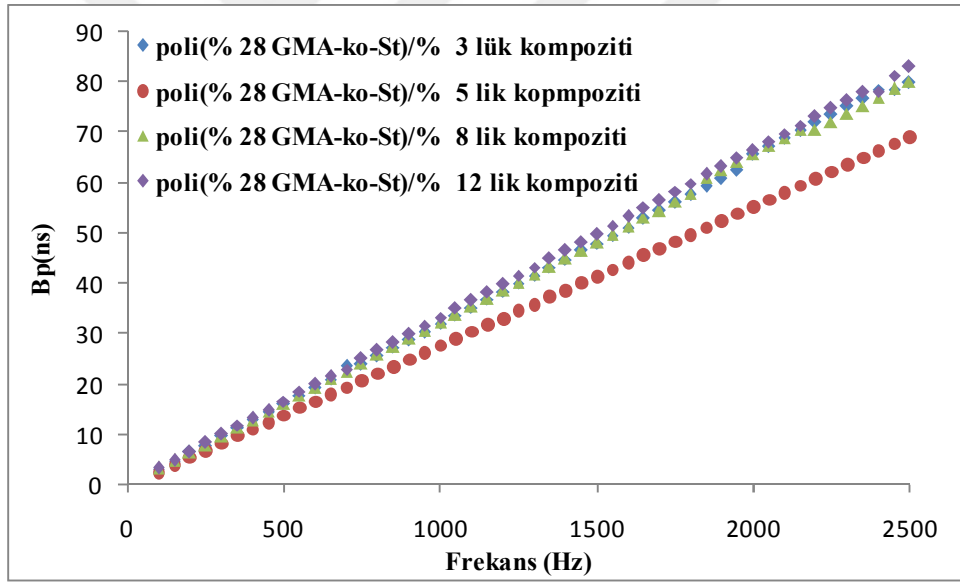
3.29.12. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



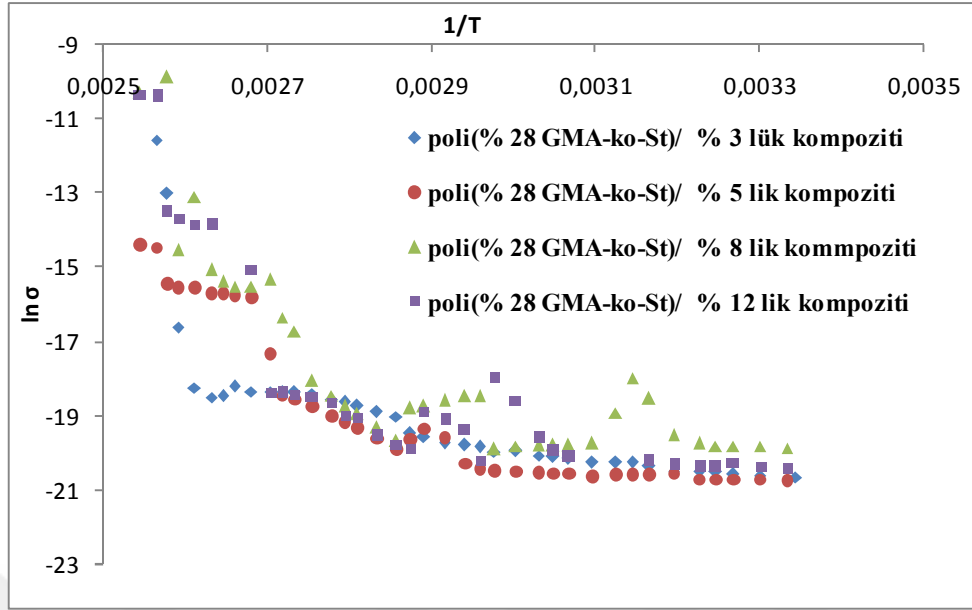
Şekil 3.178. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ- log F grafiği



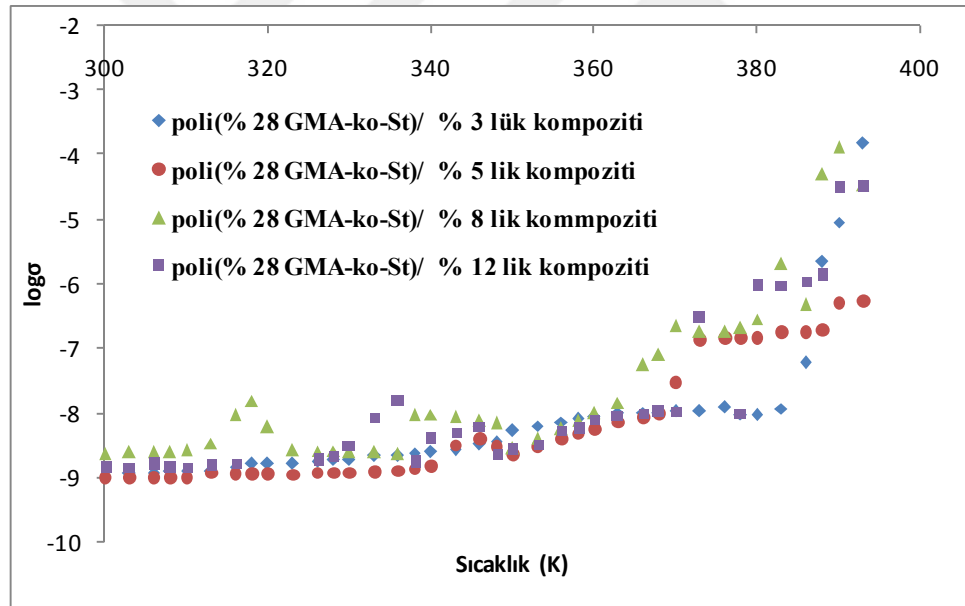
Şekil 3.179. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği



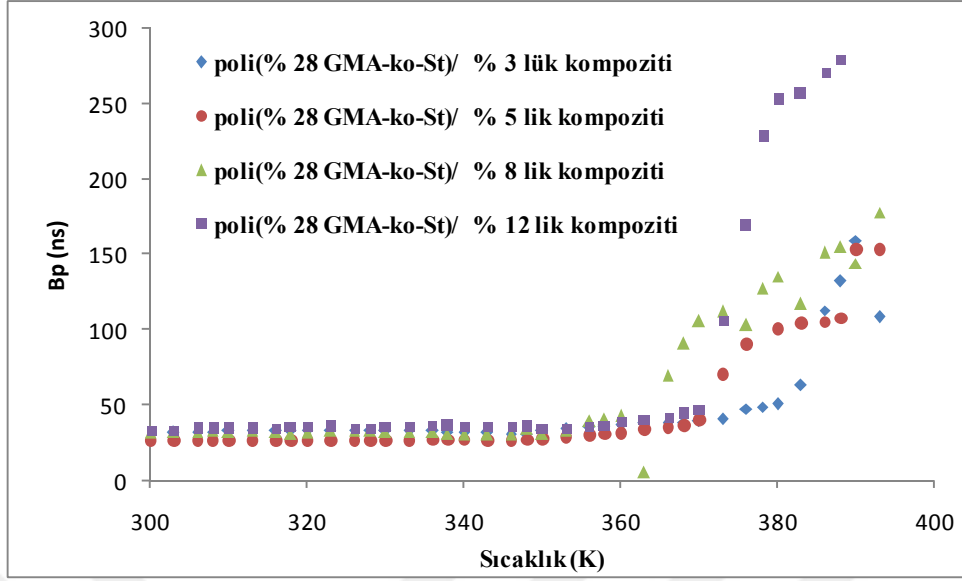
Şekil 3.180. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.181. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin ln σ- 1/T grafiği

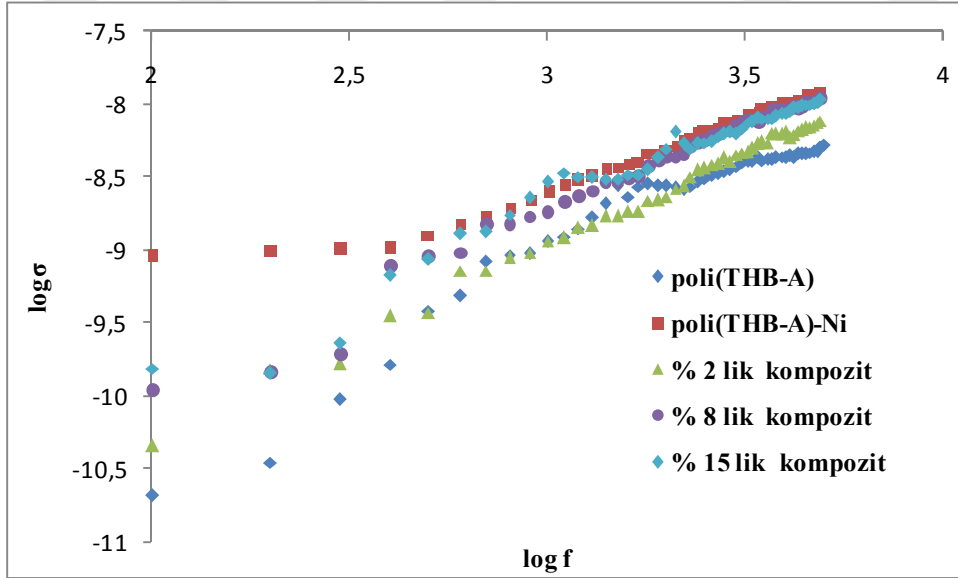


Şekil 3.182. Poli (%28 GMA-ko-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ-T grafiği

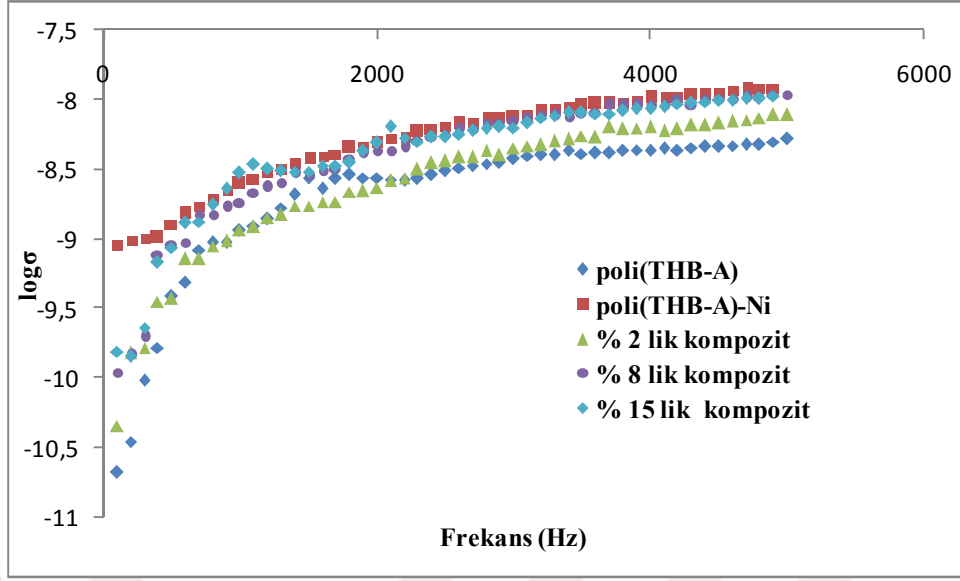


Şekil 3.183. Poli (%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

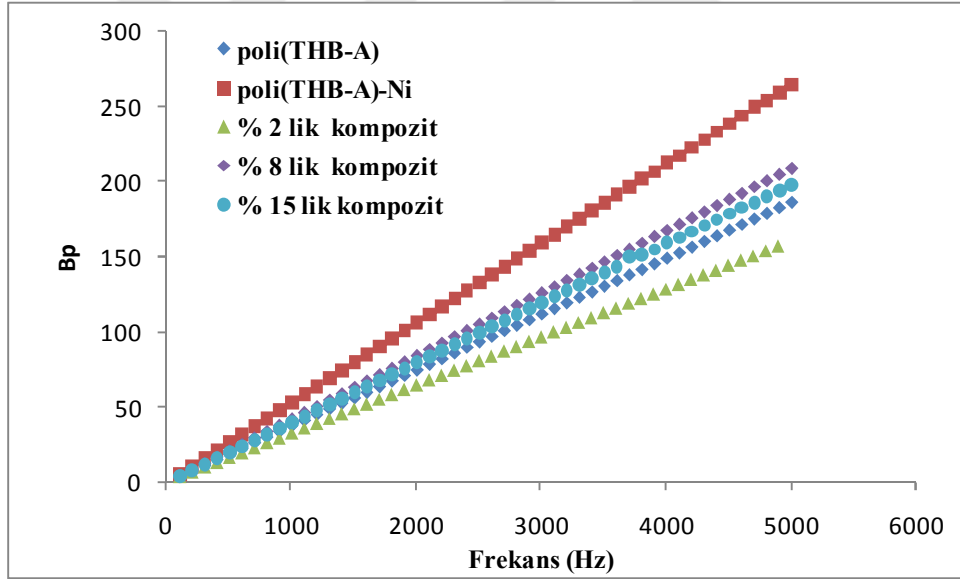
3.29.13. Schiff Bazı Polimeri [poli(THB-A)], Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi [poli(THB-A)-Ni] ve poli(THB-A)/poli(THB-A)-Ni/MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin İletkenlik Ölçümleri



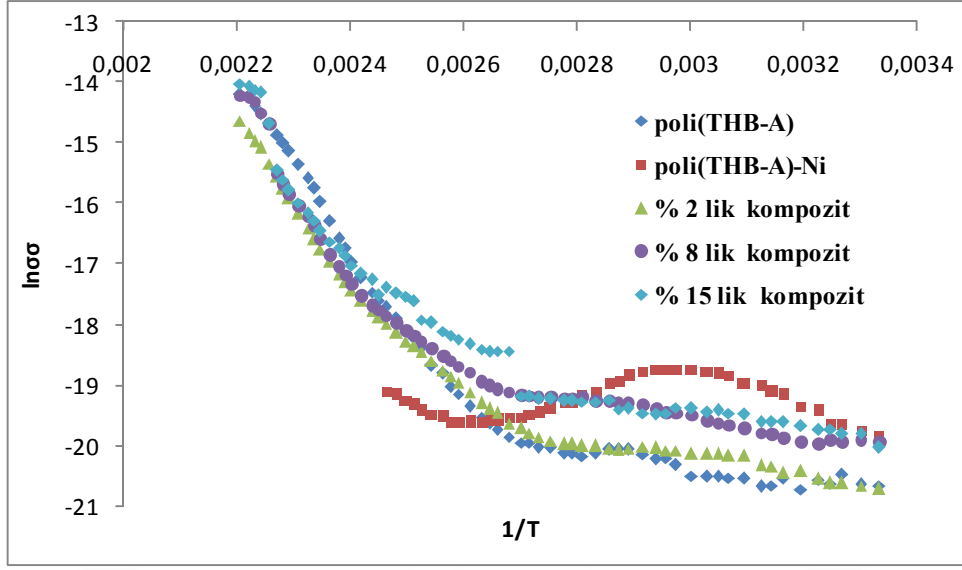
Şekil 3.184. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - log F grafiği



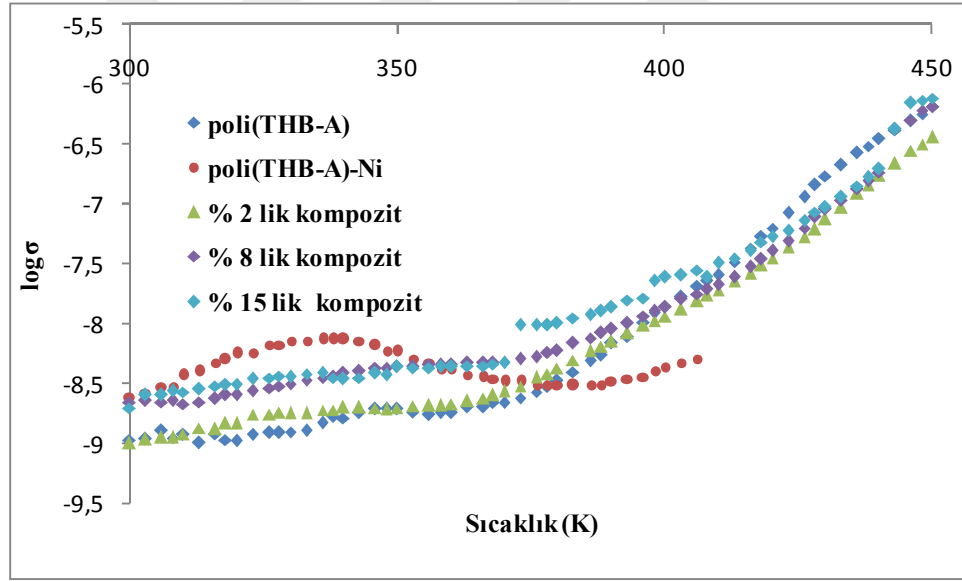
Şekil 3.185. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ - Frekans grafiği



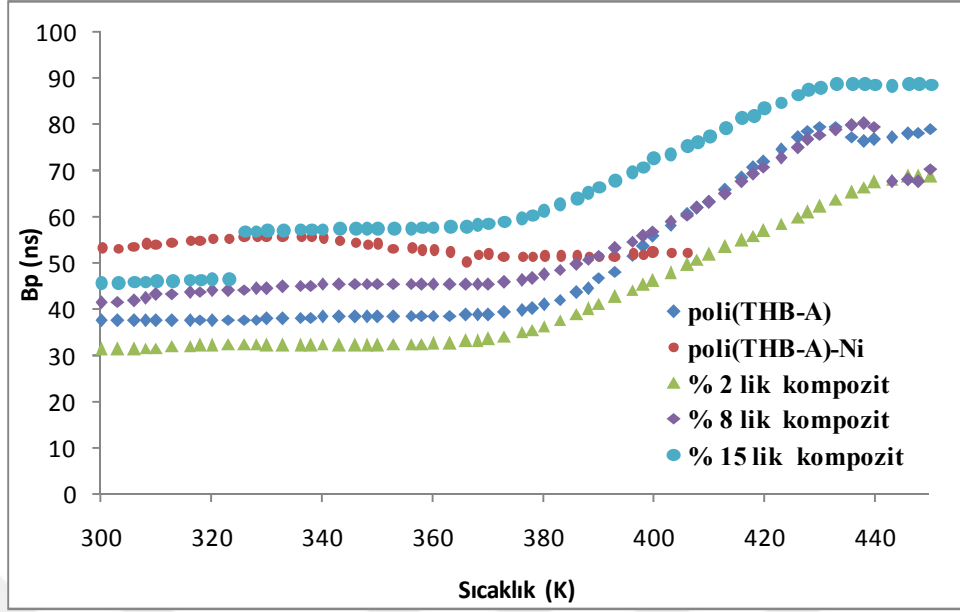
Şekil 3.186. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin frekansla değişimi



Şekil 3.187. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin ln σ - 1/T grafiği



Şekil 3.188. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin log σ -T grafiği



Şekil 3.189. Poli(THB-A), poli(THB-A)-Ni ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin susseptans değerlerinin sıcaklıkla değişimi

3.30. Termal Analiz Ölçümleri

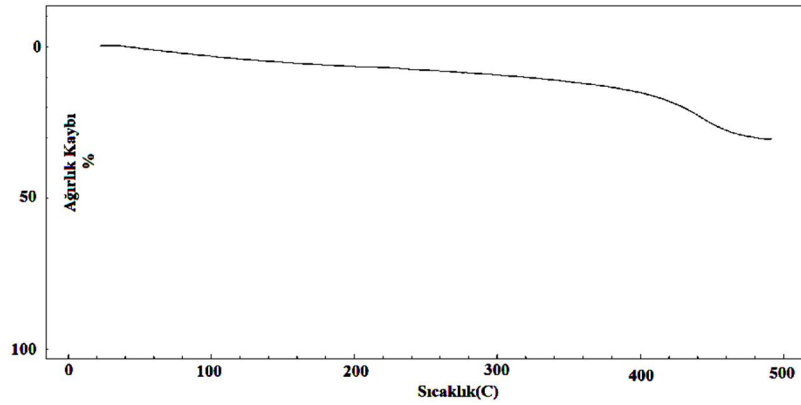
Termal özellikleri incelemek için sentezlenmiş olan tüm yapıların TGA ve DSC termogramları alındı.

3.30.1. MWNT-COOH'ın TGA Ölçümü

Bunun için MWNT-COOH 10°C/dk ısıtma hızıyla 500 °C'ye kadar ısıtılarak TGA eğrisi kaydedildi. Böylece termal bozunması TGA termogramından belirlendi. Eğrisi Şekil 3.190'da, verileri ise Tablo 3.37'de, gösterildi.

Tablo 3.37. MWNT-COOH'ın TGA verileri

Yapı	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500 °C'deki %Artık
MWNT-COOH	410	500	—	11	72



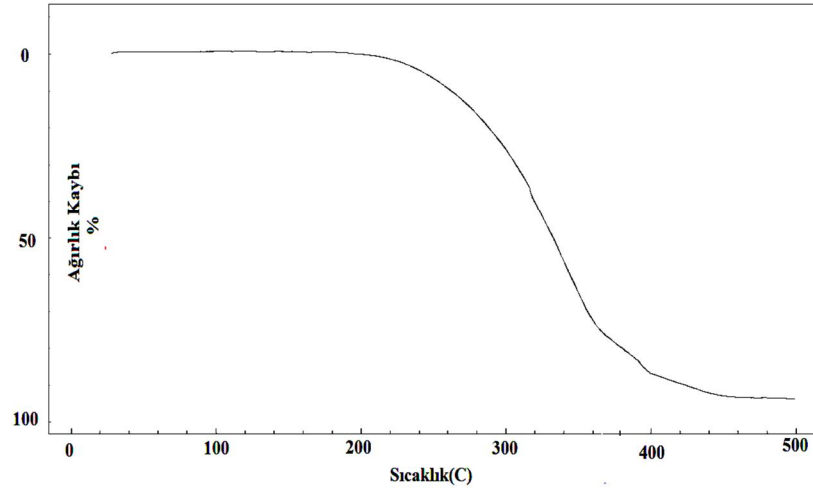
Şekil 3.190. MWNT-COOH'ın TGA eğrisi

3.30.2. MWNT-poli(ϵ -CL)'nin TGA ve DSC Ölçümleri

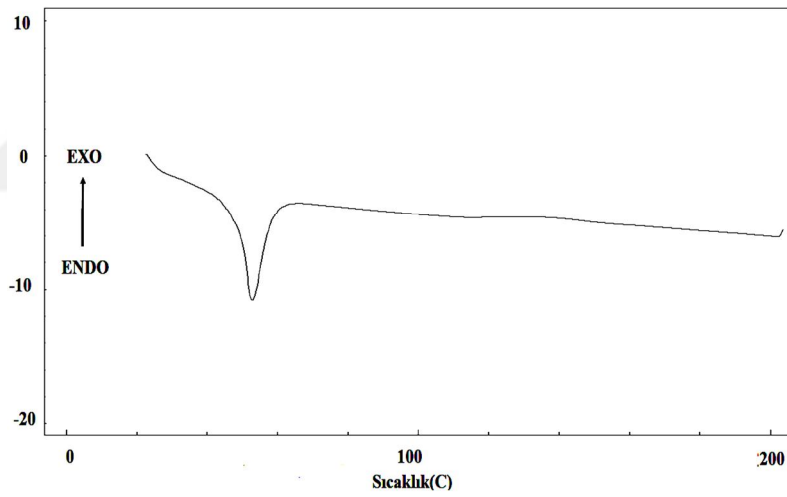
Multi duvarlı karbon nanotüp ucunun fonksiyonelleşmesiyle oluşturulan MWNT-poli(ϵ -CL) polimerinin termal bozunması TGA termogramından, camı geçiş sıcaklığı da DSC ölçümleriyle belirlendi. Bu amaçla alınan belirli miktarlardaki polimer örneği azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 500°C'ye kadar ısıtılıp TGA eğrisi, 20°C/dk ısıtma hızıyla 200°C'ye kadar ısıtılarak DSC eğrisi kaydedildi ve verileri Tablo 3.38'de, eğrileri ise Şekil 3.191 ve 3.192'de gösterildi.

Tablo 3.38. MWNT-poli(ϵ -CL)'nin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
MWNT-poli(ϵ -CL)	52	210	453	335	67	7,7



Şekil 3.191. MWNT-poli(ε-CL) polimerinin TGA eğrisi



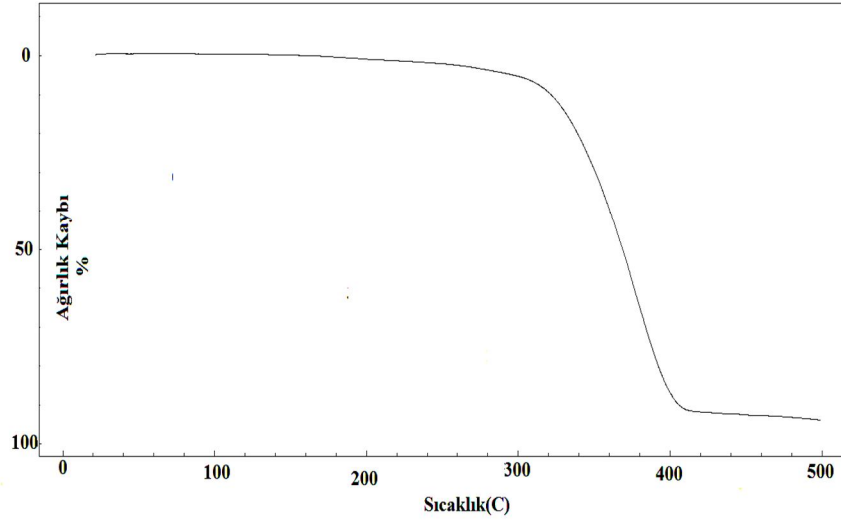
Şekil 3.192. MWNT-poli(ε-CL) polimerinin DSC eğrisi

3.30.3. MWNT-PCL-*b*-PSt Diblok Kopolimerinin TGA ve DSC Ölçümleri

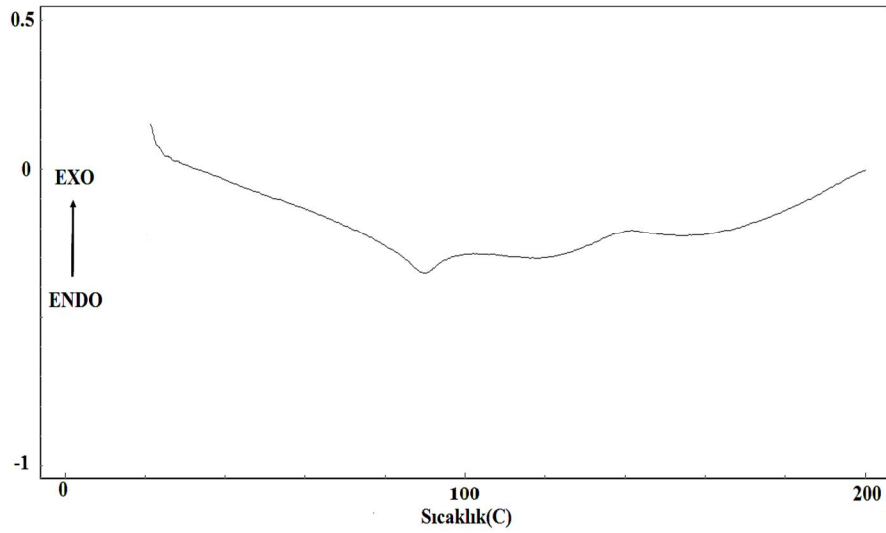
MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerlerinin TGA ve DSC verileri Tablo 3.39’da verildi. TGA ve DSC eğrileri ise Şekil 3.193 ve Şekil 3.194’de gösterildi.

Tablo 3.39. MWNT-PCL-*b*-PSt kopolimerinin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt	89	270	413	370	25	10



Şekil 3.193. MWNT-PCL-*b*-PSt’nin TGA eğrisi



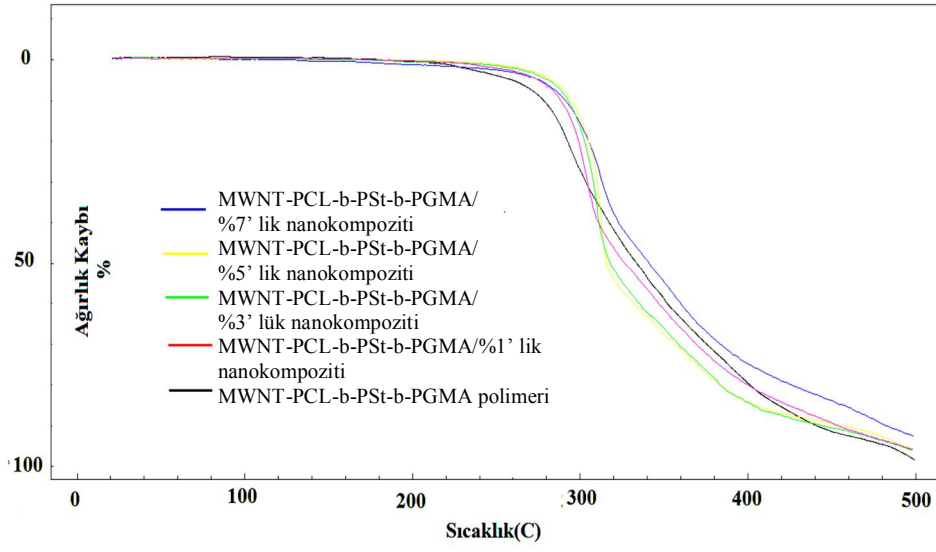
Şekil 3.194. MWNT-PCL-*b*-PSt’nin DSC eğrisi

3.30.4. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA Triblok Kopolimer ve MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA /MWNT-COOH Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

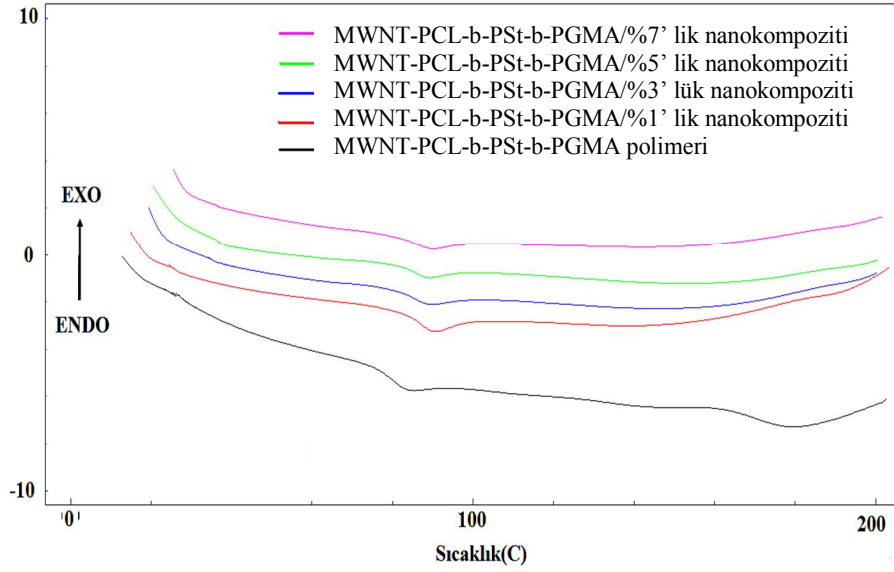
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve MWNT-COOH oranı farklı yüzdelerde hazırlanan nanokompozitlerinin termal bozunması TGA termogramından, camısı geçiş sıcaklığı da DSC ölçümleriyle belirlendi. Bu amaçla alınan belirli miktarlardaki polimer ve nanokompozit örnekleri azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 500°C'ye kadar ısıtılıp TGA eğrisi, 20°C/dk ısıtma hızıyla 200°C'ye kadar ısıtılarak DSC eğrisi kaydedildi. TGA ve DSC verileri Tablo 3.40'da, eğrileri ise Şekil 3.195 ve 3.196'da gösterildi.

Tablo 3.40. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA	83	220	500	330	60	2
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 1' lik nanakompozit	90	248	500	328	64	5,5
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 3' lük nanakompozit	89,9	263	500	322	67	6
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 5' lik nanakompozit	89,7	265	500	313	69	8,5
MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 7' lik nanakompozit	89,5	269	500	340	59	11



Şekil 3.195. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin TGA eğrileri



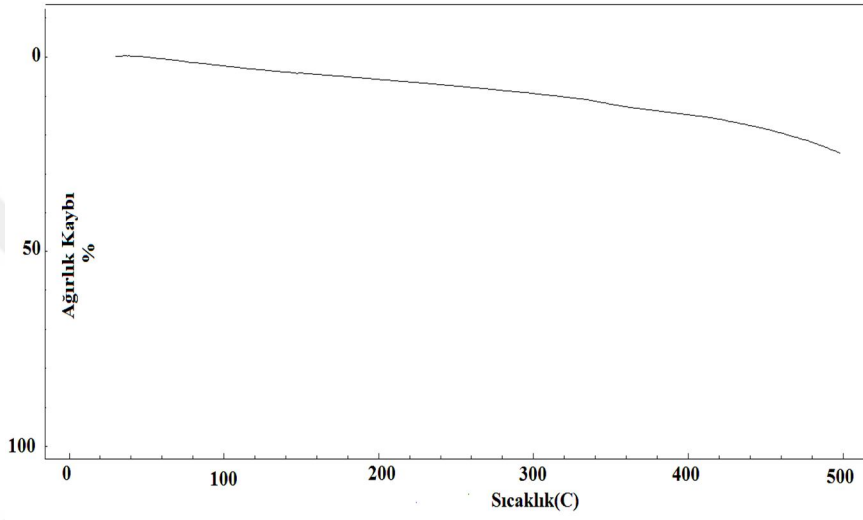
Şekil 3.196. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozitlerinin DSC eğrileri

3.30.5. MWNT-Si-NH₂'nin TGA ve DSC Ölçümleri

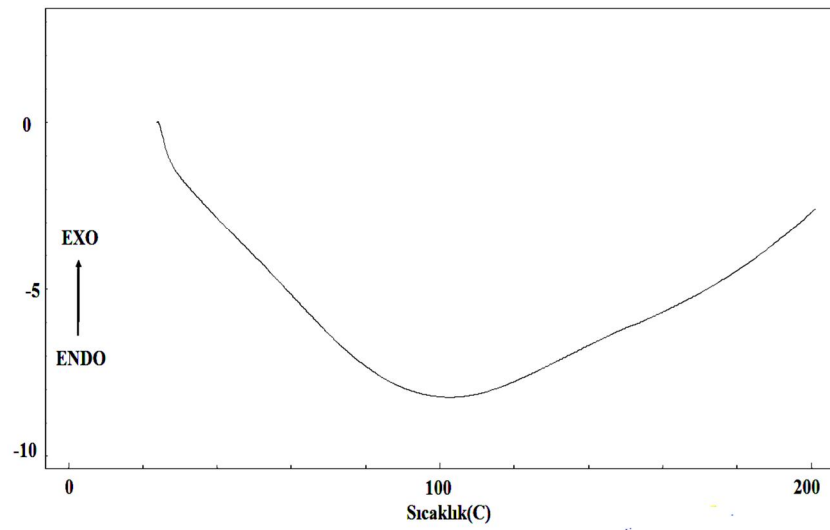
MWNT-COOH'ın 3-aminopropil trimetoksi silan ile oluşturulmuş yapısının (MWNT-Si-NH₂) TGA ve DSC verileri Tablo 3.41'de, eğrileri ise Şekil 3.197 ve 3.198'de gösterildi.

Tablo 3.41. MWNT-Si-NH₂'nin DSC ve TGA verileri

Yapı	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
MWNT-Si-NH ₂	100	325	500	—	10	76



Şekil 3.197. MWNT-Si-NH₂'nin TGA eğrisi



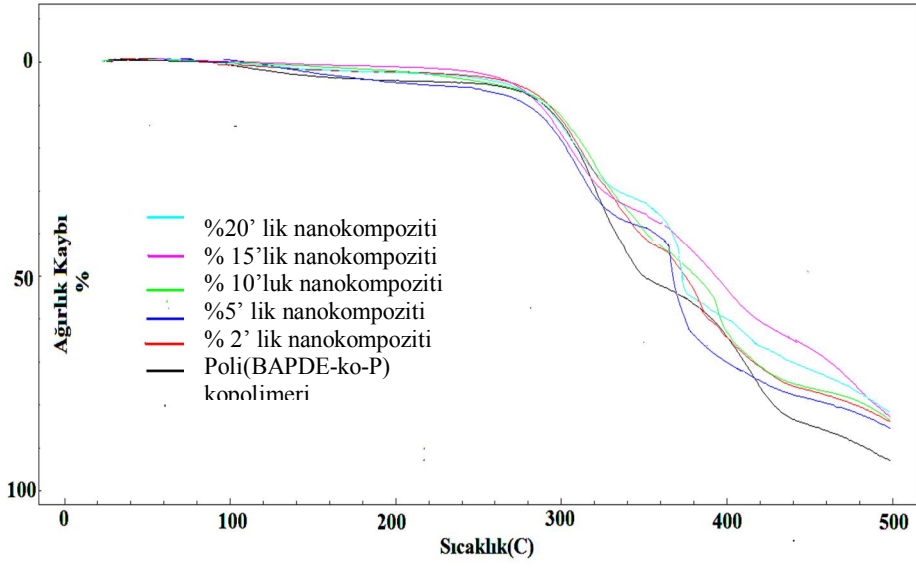
Şekil 3.198. MWNT-Si-NH₂'nin DSC eğrisi

3.30.6. Poli(BAPDE-*ko*-P) Kopolimer ve Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

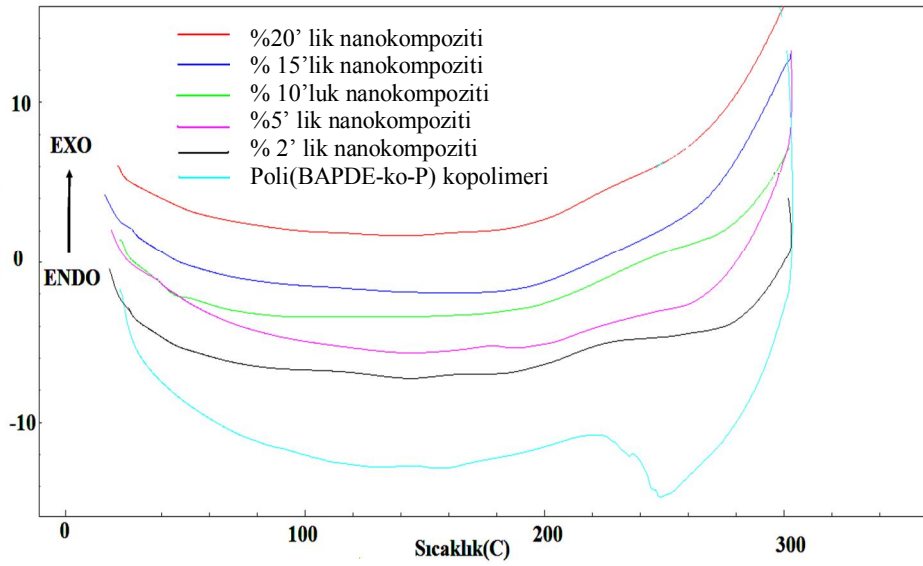
Hazırlanan kopolimer ve nanokompozitlerin termal bozunmaları TGA termogramıyla, camısı geçiş sıcaklıkları da DSC ölçümleriyle belirlendi. DSC ve TGA sonuçları Tablo 3.42’de, eğrileri ise Şekil 3.199 ve 3.200’de gösterildi.

Tablo 3.42. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimer ve poli(BAPDE-*ko*-P) / [MWNT-COOH- MWNT-Si-NH₂] nanokompozitleri DSC ve TGA verileri

Yapı	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) kopolimeri	156;242	265	500	352	46	8
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /% 2’lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	180;248	266	500	375	40	16
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /% 5’ lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	187;257	265	500	370	38	15
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /% 10’ luk [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	190;269	265	500	380	39	16
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P)/% 15’lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	180;260	265	500	388	35	19
poli(BAPDE- <i>ko</i> -P)/% 20’lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	178;252	268	500	376	33	21



Şekil 3.199. Polimer ve polimer / nanokompozitlerin TGA eğrileri



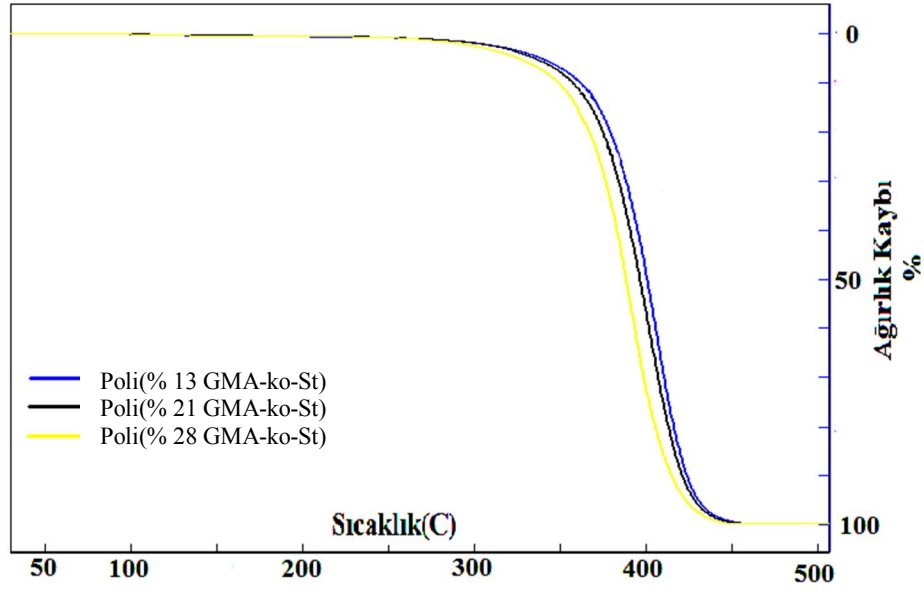
Şekil 3.200. Polimer ve polimer / nanokompozitlerin DSC eğrileri

3.30.7. Poli(GMA-ko-St) Polimerlerin TGA ve DSC Ölçümleri

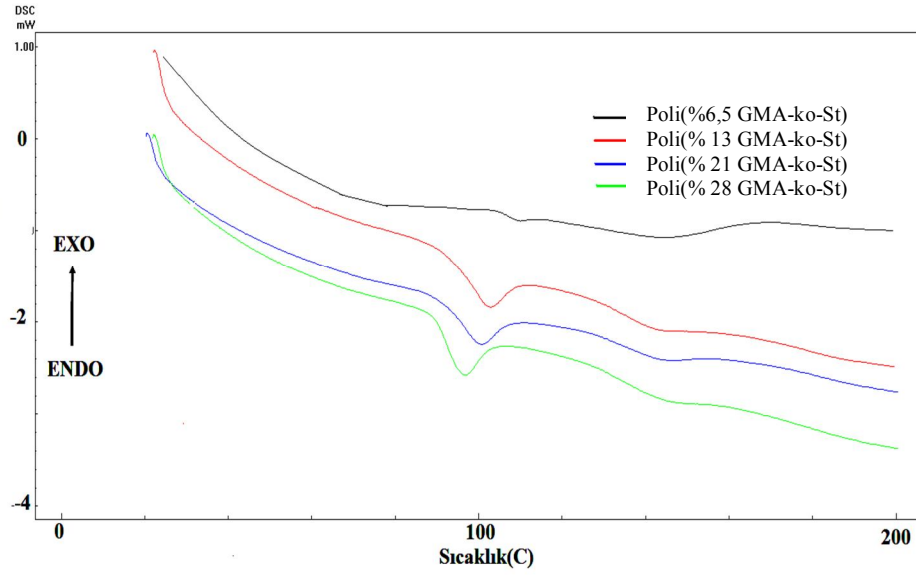
Farklı oranlarda hazırlanmış olan kopolimerlerin TGA ve DSC verileri Tablo 3.43'de, eğrileri ise Şekil 3.201 ve 3.202'de gösterildi.

Tablo 3.43. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
Poli(% 6,5 GMA- <i>ko</i> - St)	109;144,5					
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> - St)	103;144	302	455	400	5,2	0,3
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> - St)	100;143,5	293	450	400	5,6	0,4
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> - St)	96,5;143	286	448	392	8	0,3



Şekil 3.201. Polimerlerin TGA eğrileri



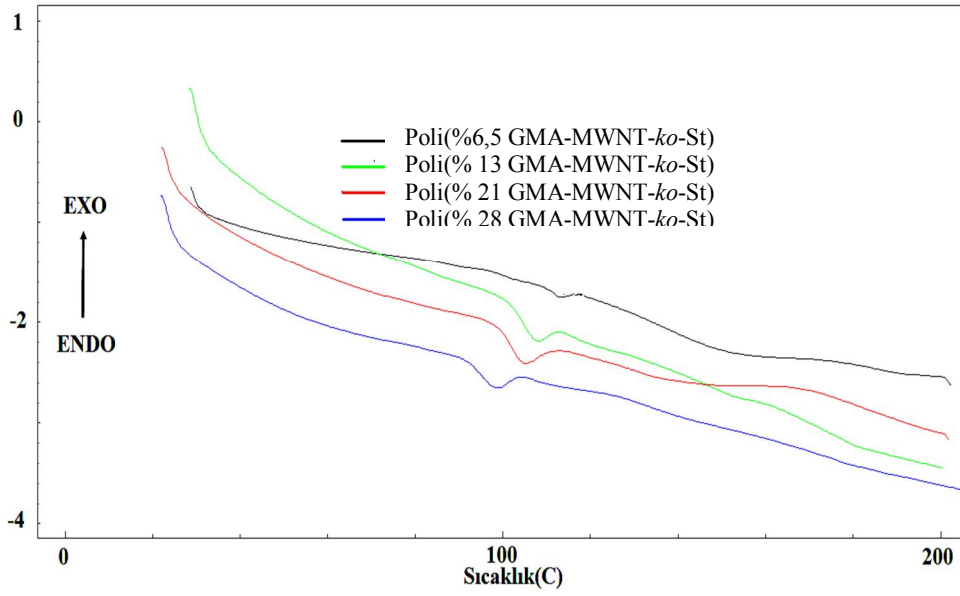
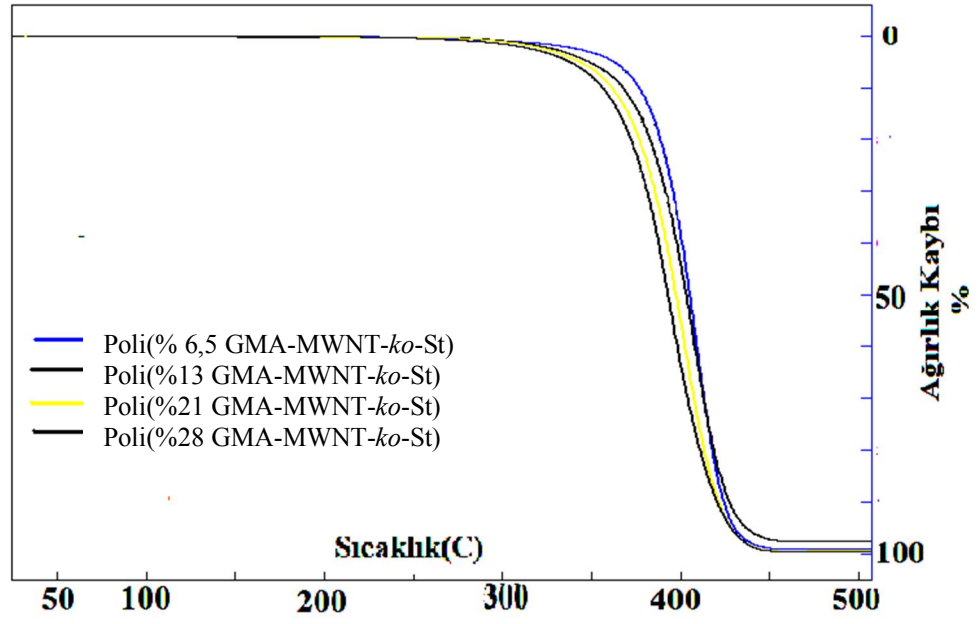
Şekil 3.202. Polimerlerin DSC eğrileri

3.30.8. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerlerin TGA ve DSC Ölçümleri

Farklı oranlarda ki poli(GMA-*ko*-St) kopolimerleri ve MWNT-Si-NH₂ kullanılarak hazırlanan poli(GMA-MWNT-*ko*-St) yapılarının TGA ve DSC verileri Tablo 3.44’de, eğrileri ise Şekil 3.203 ve 3.204’de gösterildi.

Tablo 3.44. Poli(GMA-MWNT-*ko*-St) kopolimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
poli(% 6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	111	311	456	405	3,2	0,9
poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	108	309	456	403	4,8	2,4
poli(% 21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	105	302	454	400	4,8	0,6
poli(% 28 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	99	300	450	394	6	0,5

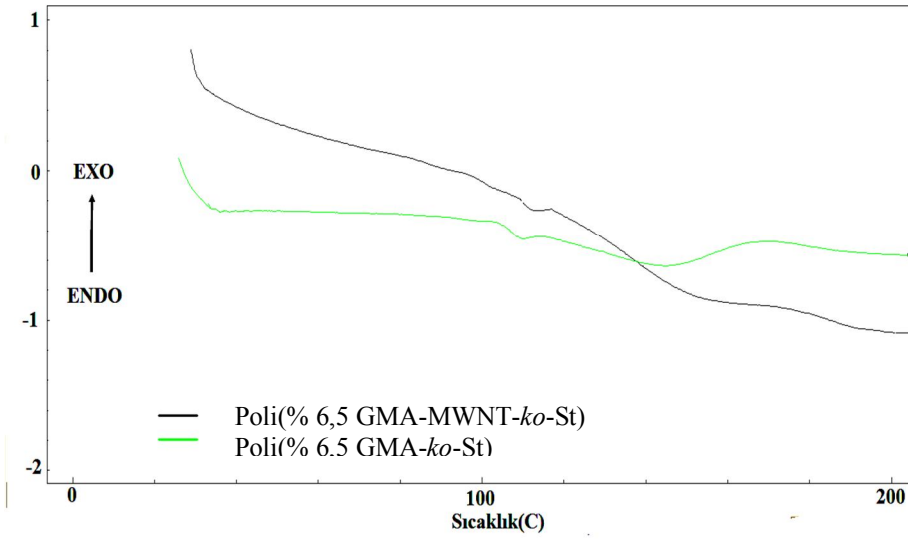


3.30.9. Poli(% 6,5 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(%6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerlerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması

Poli(GMA-*ko*-St) kopolimeri ve aynı kopolimerin halkası açılmış yapılarının poli(% 6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) karşılaştırılmış DSC verileri Tablo 3.45'de, eğrileri ise Şekil 3.205'de gösterildi.

Tablo 3.45. Polimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
Poli(% 6,5 GMA- <i>ko</i> - St)	109;144,5					
Poli(% 6,5 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	111	311	456	405	3,2	0,9



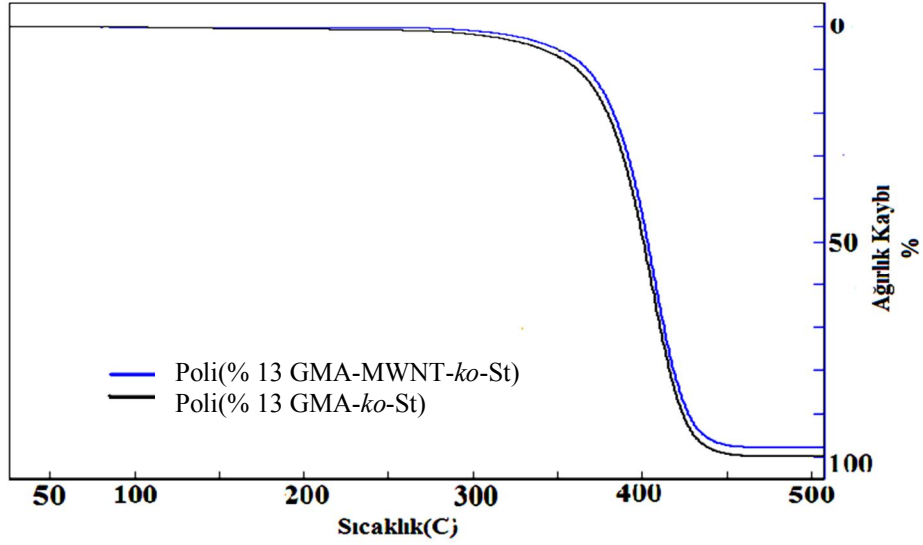
Şekil 3.205. Polimerlerin DSC eğrileri

3.30.10. Poli(% 13 GMA-*ko*-St) Kopolimeri ve Poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması

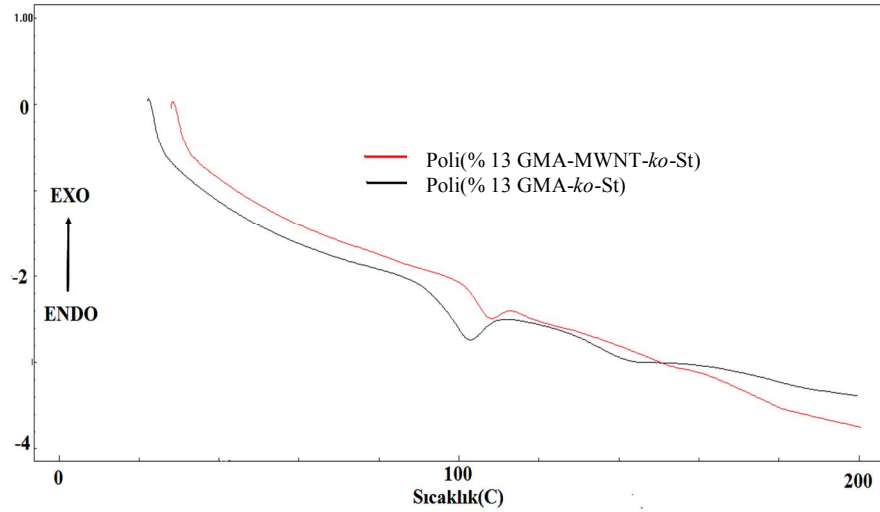
Çakıştırılmış TGA ve DSC verileri Tablo 3.46'da, eğrileri ise Şekil 3.206 ve 3.207'de gösterildi.

Tablo 3.46. Polimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St)	103;144	302	455	400	5,2	0,3
Poli(% 13 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	108	309	456	403	4,8	2,4



Şekil 3.206. Polimerlerin TGA eğrileri



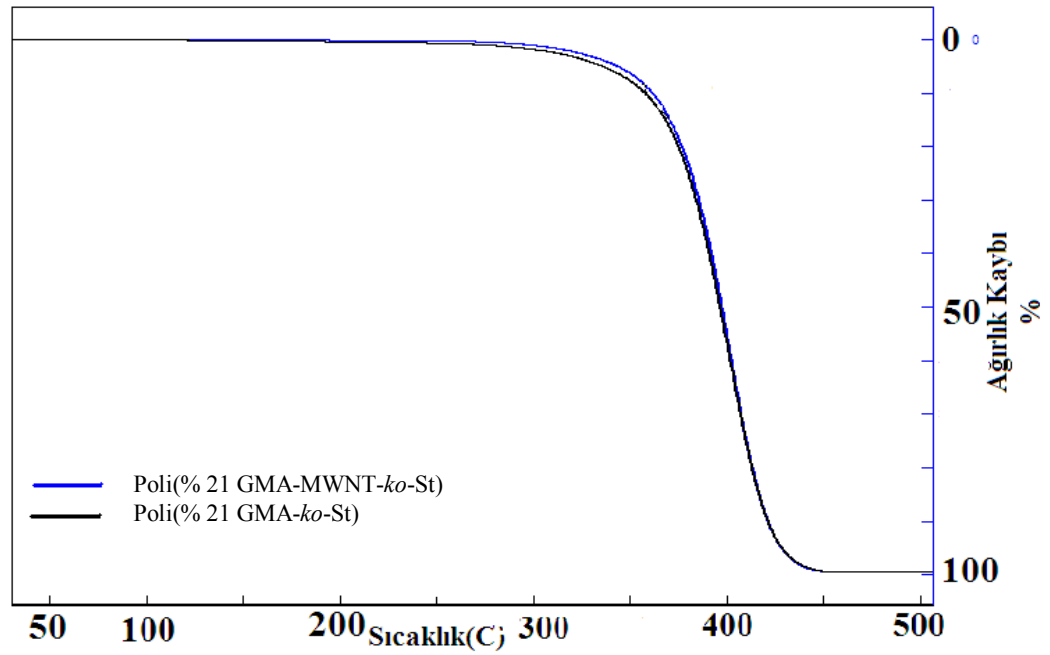
Şekil 3.207. Polimerlerin DSC eğrileri

3.30.11. Poli(% 21 GMA-*ko*-St)) Kopolimeri ve Poli(% 21 GMA-MWNT-*ko*-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması

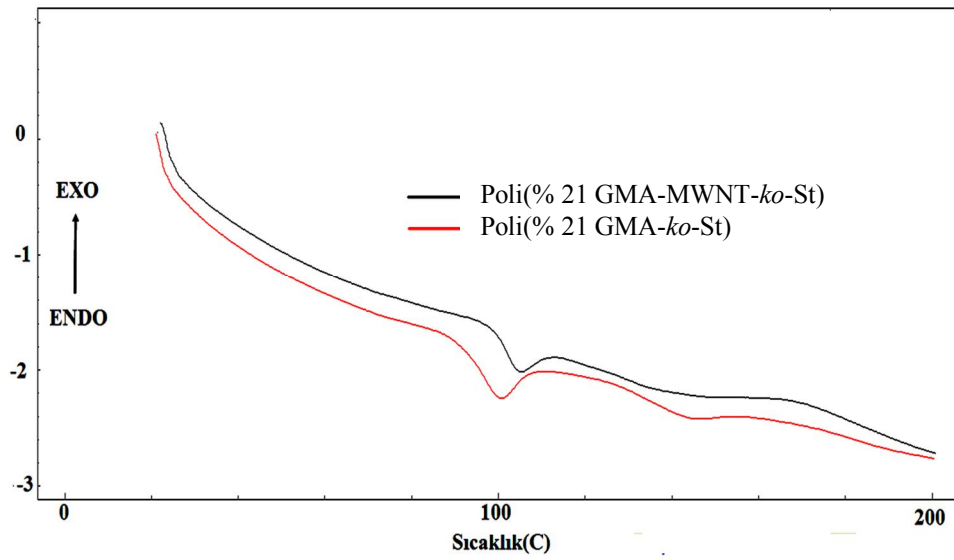
Çakıştırılmış TGA ve DSC verileri Tablo 3.47'de, eğrileri ise Şekil 3.208 ve 3.209'da gösterildi.

Tablo 3.47. Polimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St)	100;143,5	293	450	400	5,6	0,4
Poli(% 21 GMA-MWNT- <i>ko</i> -St)	105	302	454	400	4,8	0,6



Şekil 3.208. Polimerlerin TGA eğrileri



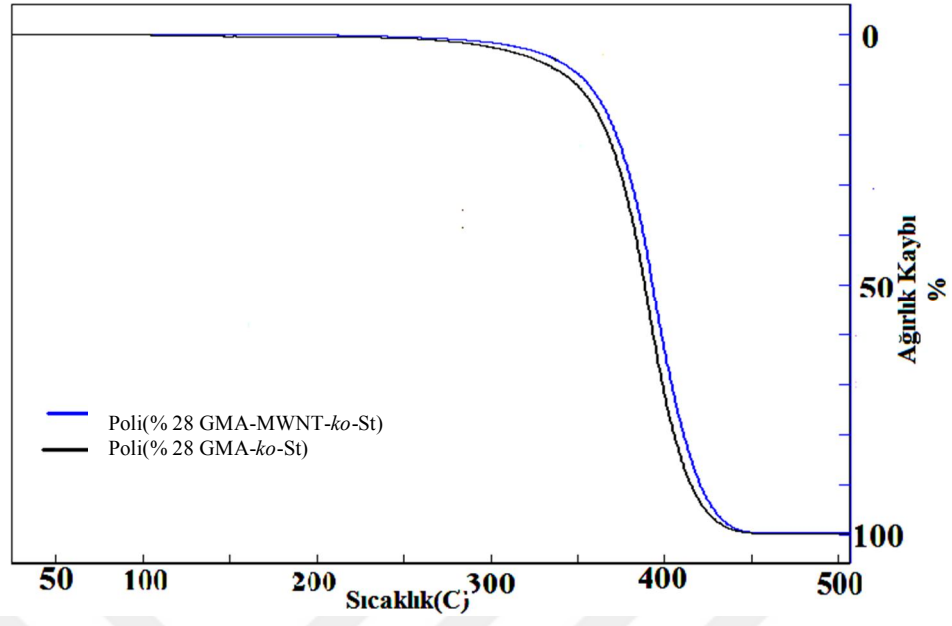
Şekil 3.209. Polimerlerin DSC eğrileri

3.30.12. Poli(% 28 GMA-ko-St)) Kopolimeri ve Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St) Halkası Açılmış Kopolimerinin TGA ve DSC'lerinin Karşılaştırılması

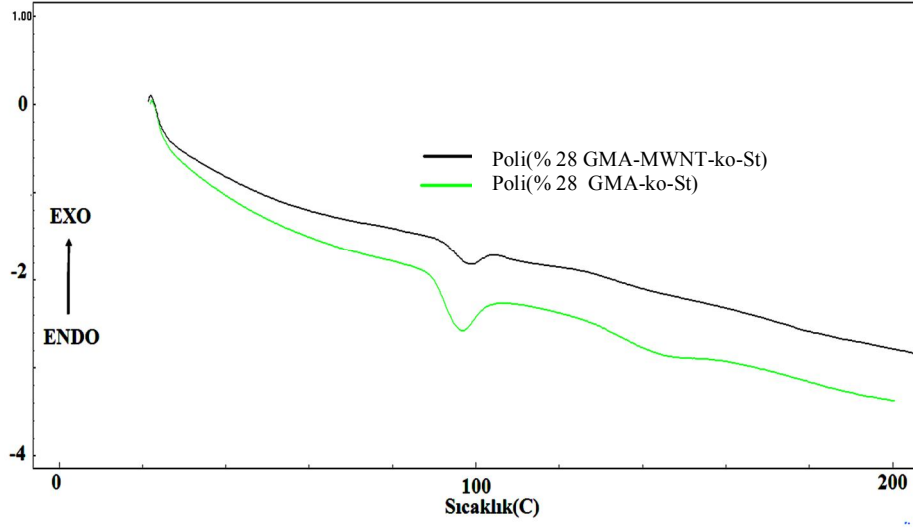
Poli(GMA-ko-St) kopolimeri ve poli(GMA-MWNT-ko-St) halkası açılmış yapılarının karşılaştırılmış TGA ve DSC verileri Tablo 3.48'de, eğrileri ise Şekil 3.210 ve 3.211'de gösterildi.

Tablo 3.48. Polimerlerin DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık
Poli(% 28 GMA-ko-St)	96,5;143	286	448	392	8	0,3
Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St)	99	300	450	394	6	0,5



Şekil 3.210. Polimerlerin TGA eğrileri



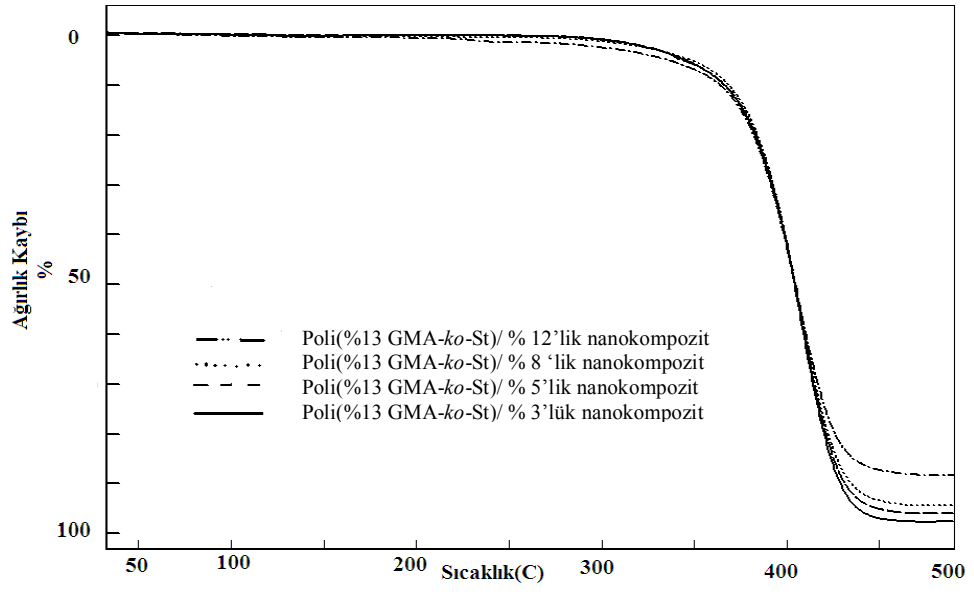
Şekil 3.211. Polimerlerin DSC eğrileri

3.30.13. Poli(%13 GMA-*ko*-St) /MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

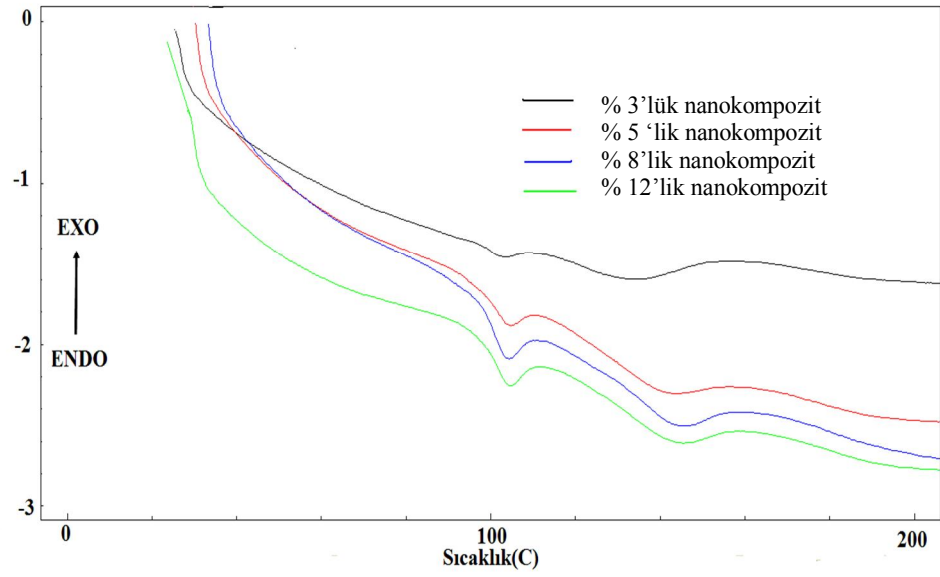
Poli(% 13 GMA-*ko*-St) kopolimer ve karışımdaki MWNT-Si-NH₂ oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 şeklinde hazırlanan kopolimer/nanokompozit TGA ve DSC verileri Tablo 3.49’da, eğrileri ise Şekil 3.212 ve 3.213’de gösterildi.

Tablo 3.49. Poli(%13 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) / % 3’lük MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	103;135	295	450	405	5,2	3,2
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) / % 5’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	104;143	300	456	405	6	3,4
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St)/ % 8’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	104,5;145	306	456	406	5,5	6
Poli(% 13 GMA- <i>ko</i> -St) / % 12’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	105;146	308	460	409	5,5	13



Şekil 3.212. Poli(%13 GMA-ko-St)/ MWNT-Si-NH₂ nanokompozit TGA eğrileri



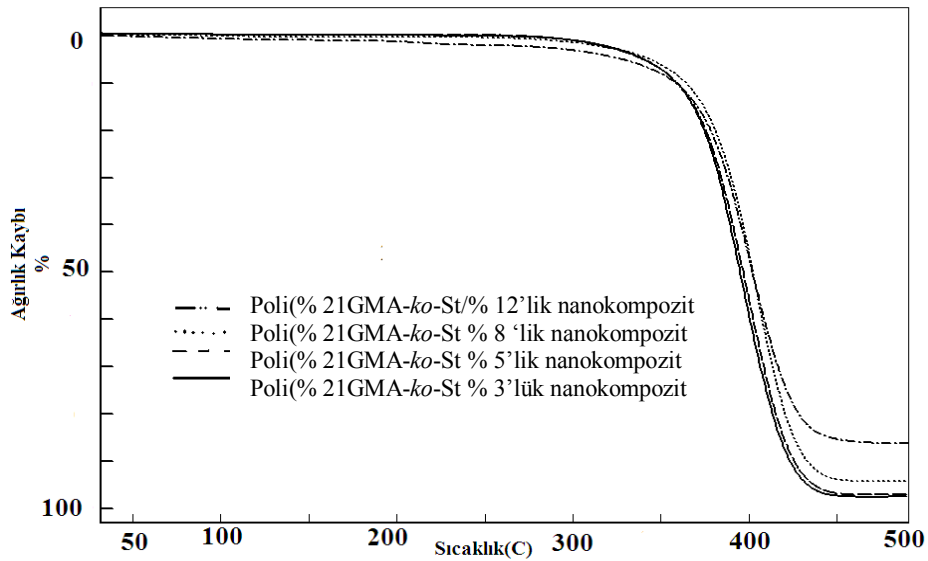
Şekil 3.213. Poli(%13 GMA-ko-St)/ MWNT-Si-NH₂ nanokompozit DSC eğrileri

3.30.14. Poli(%21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

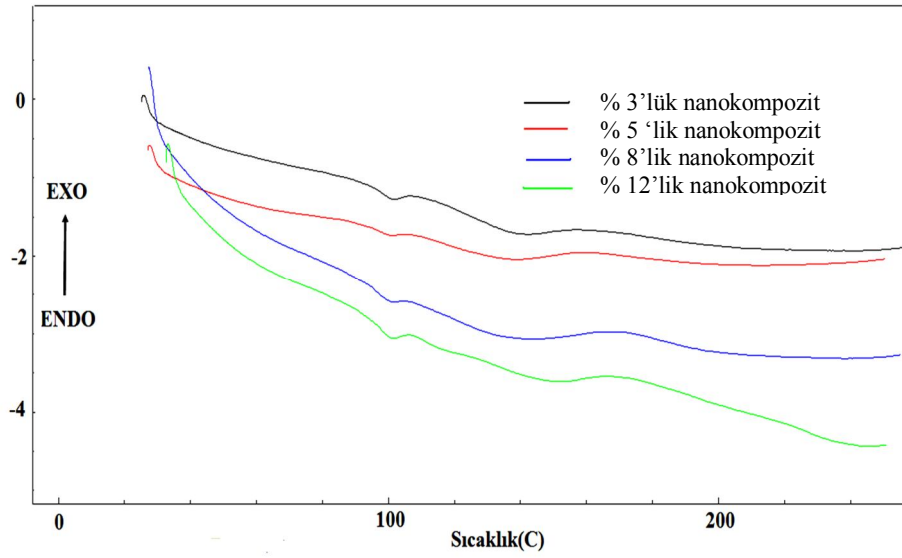
Poli(% 21 GMA-*ko*-St) kopolimer ve karışımdaki MWNT-Si-NH₂ oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 şeklinde hazırlanan kopolimer/nanokompozit TGA ve DSC verileri Tablo 3.50’de, eğrileri ise Şekil 3.214 ve 3.215’de gösterildi.

Tablo 3.50. Poli(%21 GMA-*ko*-St)) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) / % 3’lük MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	101;140	292	445	400	8	2
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) / % 5’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	101;141	294	447	400	7	3
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) / % 8’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	101;142	295	455	400	6,5	6
Poli(% 21 GMA- <i>ko</i> -St) / % 12’lik MWNT-Si-NH ₂ nanokompozit	102;148	300	458	403	7,5	14



Şekil 3.214. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit TGA eğrileri



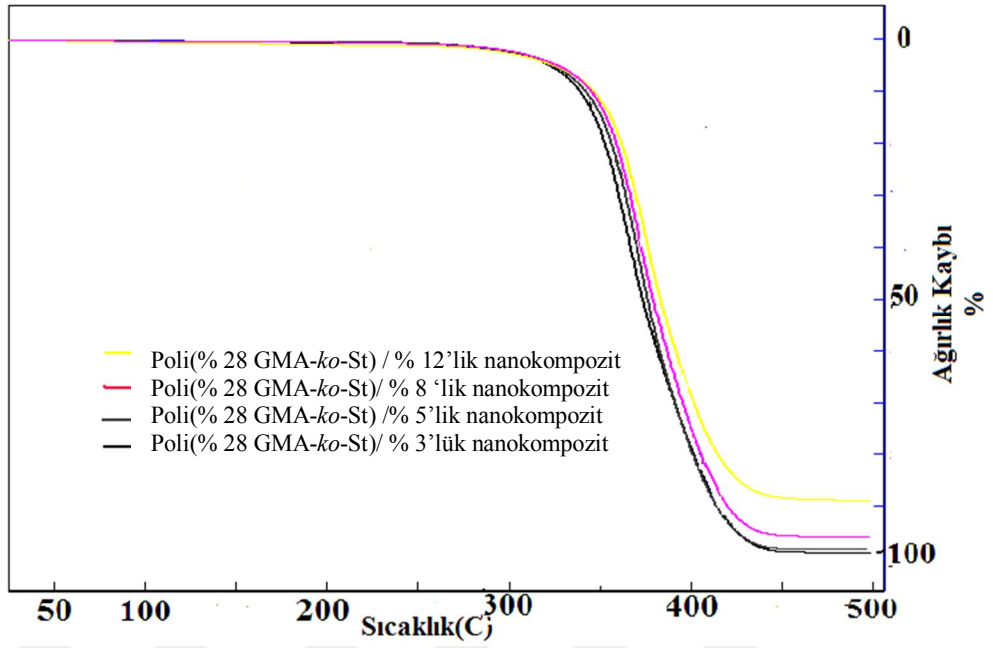
Şekil 3.215. Poli(% 21 GMA-*ko*-St) / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit DSC eğrileri

3.30.15. Poli(%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Sİ-NH₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

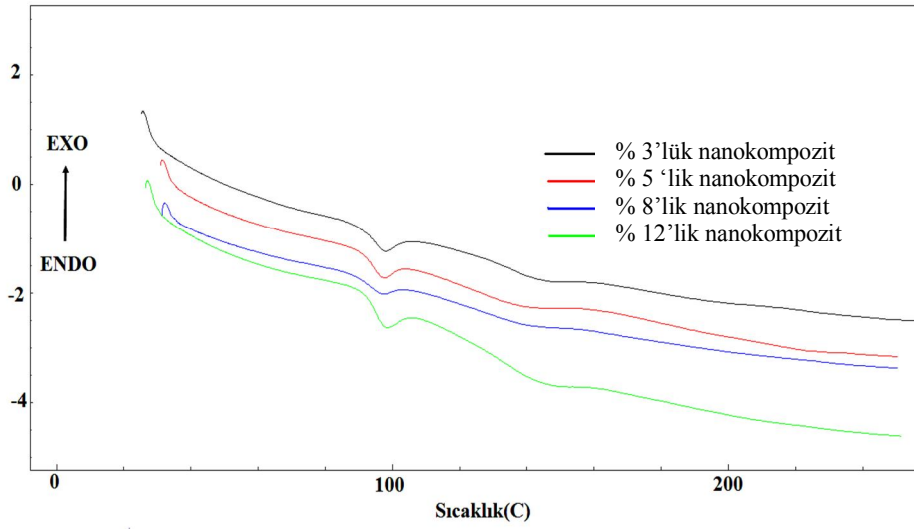
Poli(% 28 GMA-*ko*-St) kopolimer ve karışımdaki MWNT-Sİ-NH₂ oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 şeklinde hazırlanan kopolimer/nanokompozit TGA ve DSC verileri Tablo 3.51’de, eğrileri ise Şekil 3.216 ve 3.217’de gösterildi.

Tablo 3.51. Poli(%28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350°C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) / % 3’lük MWNT-Sİ-NH ₂ nanokompozit	98;142	286	441	377	10	1
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) / % 5’lik MWNT-Sİ-NH ₂ nanokompozit	98;141	288	446	378	11	2
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) / % 8’lik MWNT-Sİ-NH ₂ nanokompozit	98;141	293	445	379	12	4
Poli(% 28 GMA- <i>ko</i> -St) / % 12’lik MWNT-Sİ-NH ₂ nanokompozit	99;147	295	448	386	11	11



Şekil 3.216. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit TGA eğrileri



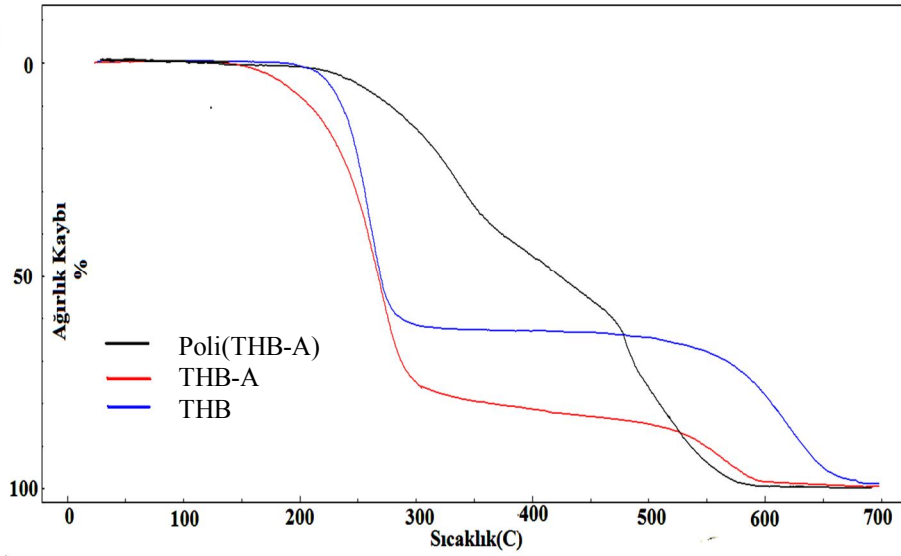
Şekil 3.217. Poli(% 28 GMA-*ko*-St) / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit DSC eğrileri

3.30.16. Schiff Bazı (THB), Schiff Bazı Monomeri (THB-A) ve Schiff Bazı Polimerinin Poli(THB-A) TGA ve DSC Ölçümleri

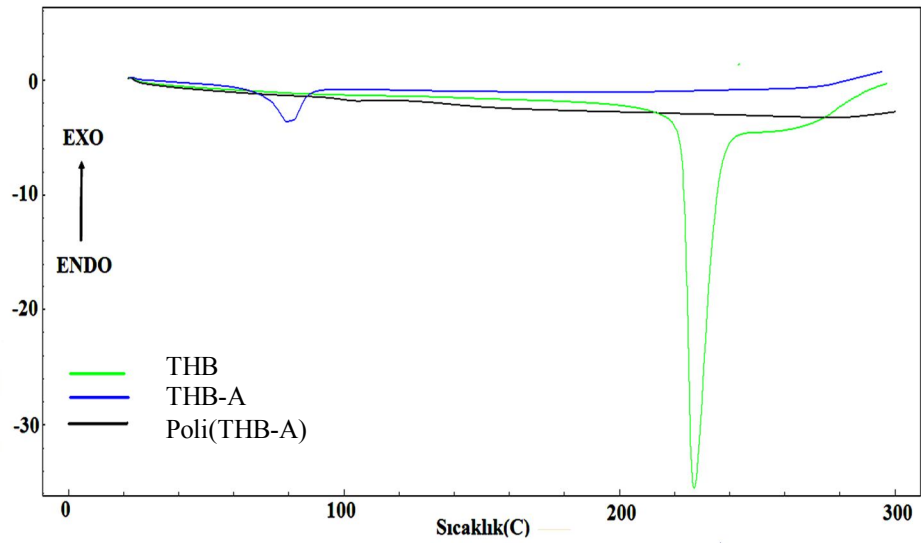
Sentezleri gerçekleştirilmiş olan belirli miktarlardaki yapılardan alınan örnekler azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 700 °C'ye kadar ısıtılıp TGA eğrisi, 20°C/dk ısıtma hızıyla 200°C'ye kadar ısıtılarak DSC eğrisi kaydedildi. TGA ve DSC verileri Tablo 3.52'de, eğrileri ise Şekil 3.218 ve 3.219'da gösterildi.

Tablo 3.52. THB, THB-A ve poli(THB-A)'nın DSC ve TGA verileri

Yapılar	T _e /T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350 °C'de %Ağırlık kaybı	500°C'deki %Artık	700°C'deki %Artık
THB	227	203	682	267	65	32	1,6
THB-A	80	160	630	266	78	14,5	0
Poli(THB-A)	104 (T _g)	225	572	420	33	23	0



Şekil 3.218. Schiff Bazı/ Schiff Bazı monomeri ve Schiff Bazı polimerinin TGA eğrileri



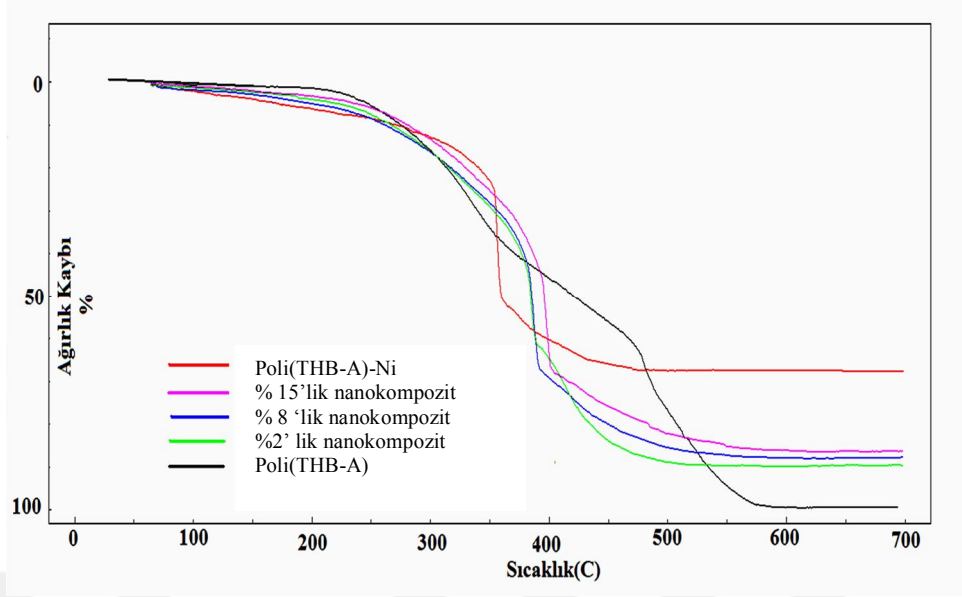
Şekil 3.219. Schiff Bazı, Schiff Bazı Monomeri ve Schiff Bazı Polimerinin DSC eğrileri

3.30.17. Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi ve Schiff Bazı Polimeri / Schiff Bazı Polimeri Nikel Kompleksi / MWNT-Si-NH₂ Nanokompozitlerinin TGA ve DSC Ölçümleri

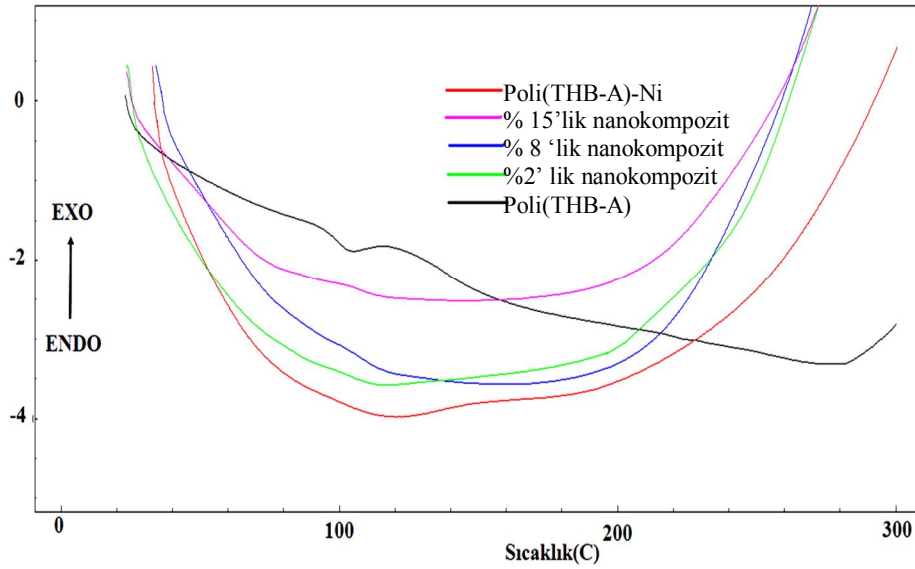
Polimer ve nikel kompleksi toplam miktarı sabit tutularak karışımdaki MWNT-Si-NH₂ oranı % 2, % 8 ve % 15 şeklinde hazırlanan poli(THB-A)/ poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit karışımlarının TGA ve DSC verileri Tablo 3.53’de, eğrileri ise Şekil 3.220 ve 3.221’de gösterildi.

Tablo 3.53. Poli(THB-A)-Ni kompleksi ve Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit DSC ve TGA verileri

Polimerler	T _g (°C)	T _{baş} (°C)	T _{son} (°C)	T%50 (°C)	350°C’de %Ağırlık kaybı	500°C’deki %Artık	700°C’deki %Artık
poli(THB-A)-Ni	120	275	603	366	23	32	30
% 2’lik nanokompozit	115	250	512	385	30	12	10,5
% 8’lik nanokompozit	115	258	556	384	28	16	13
% 15’lik nanokompozit	115	260	567	397	24	20	15



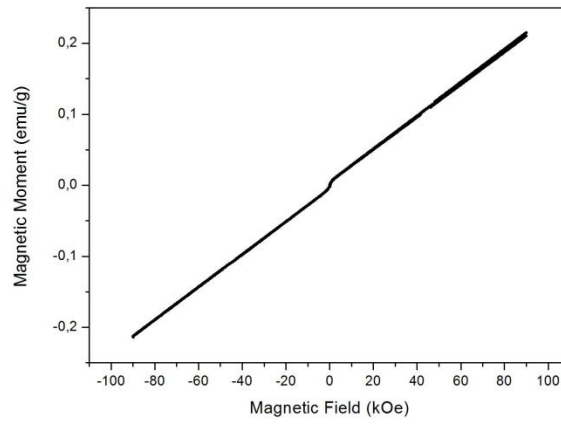
Şekil 3.220. Poli(THB-A) polimeri, poli(THB-A)-Ni kompleksi ve poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin TGA eğrileri



Şekil 3.221. Poli(THB-A) polimeri, poli(THB-A)-Ni kompleksi ve Poli(THB-A)/ Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin DSC eğrileri

3.31. Poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A) / Poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si NH₂ Nanokompozitlerinin Manyetizasyon ve Manyetik Süstbilitite Ölçümleri

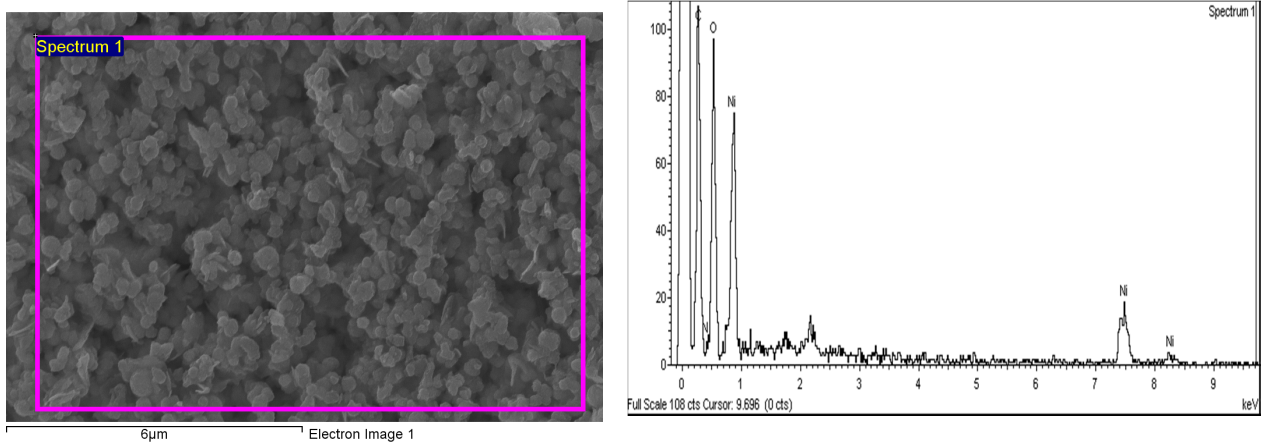
Manyetik süstbilitite ölçümleri poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozitlerinin % 2 ve % 15 MWNT-Si-NH₂ oranları için yaptırılırken, manyetizasyon ölçümü sadece % 2 lik nanokompozitine Malatya İnönü Üniversitesi'nde yaptırılmış olup manyetik süstbilitite değerleri tüm örnekler için diamanyetik sonuç göstermiştir. Manyetizasyon ölçümü grafiksel olarak Şekil.3.222'de verilmiştir.



Şekil 3.222. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 2 'lik MWNT-Si-NH₂ nanokompozit manyetizasyon grafiği

3.32. Poli(THB-A)-Ni Kompleksi SEM-EDX ve Elementel Analiz Ölçümleri

Ölçüm Sonuçları Şekil 3.223 de verilmiştir.



Şekil 3.223. Poli(THB-A)-Ni'nin SEM-EDX görüntüsü ve elementel analiz sonucu

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada amaçlandığı gibi öncelikle çok duvarlı karbon nanotüpe (MWNT) “grafting from” yöntemiyle polimer aşılması yapıldı. Bunun için satın alınmış olan çok duvarlı karbon nanotüp MWNT, $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ yükseltgen asitlerle literatüre uygun olarak reaksiyona sokuldu ve MWNT üzerinde $-\text{COOH}$ grubu oluşturuldu [192]. 3.25. kısmında anlatıldığı gibi titrasyon yöntemiyle nanotüp ucunda oluşturulan asit miktarı gerekli hesaplamalar yapılarak 1,004 gram MWNT-COOH için 0,709 mmol olarak bulundu. Oluşan bileşiğin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.2), karakteristik olan 3445 cm^{-1} OH gerilme ve 1718 cm^{-1} deki $\text{C}=\text{O}$ gerilme ve 1128 cm^{-1} C-O gerilme bantlarının varlığı MWNT’e COOH gurubunun bağlandığını gösterir. Sonrasında MWNT-COOH, SOCl_2 ile açilklorür türevine (MWNT-COCl) dönüştürüldü. FT-IR spektrumunda (Şekil 3.3), 603 cm^{-1} C-Cl gerilme bandı MWNT-COOH daki diğer bantlara ek olarak karakteristik olan bandıdır. Devamında yine literatüre uygun olarak etilen glikol ile reaksiyonundan nanotüp yapısı MWNT-OH şekline dönüştürüldü [186]. Oluşan MWNT-OH’ın, FT-IR spektrumunda (Şekil 3.4), 2922 ; 2853 cm^{-1} alifatik C-H gerilmesi, 1722 cm^{-1} ’deki $\text{C}=\text{O}$ gerilmesi, 1169 cm^{-1} C-O-C asimetric gerilmesi, 1050 cm^{-1} , C-O-C simetric gerilmesi karakteristik bantlarıdır. $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ Katalizörlüğünde MWNT-OH başlatıcı olarak kullanılıp ϵ -kaprolaktonun halka açılması polimerizasyonu gerçekleştirildi. Bu basamağa kadar çözünürlüğü olmayan nanotüplü yapı bu basamakta artık çözünür hale gelmiş olup ^1H -NMR spektrumu da alınabilmektedir. Oluşan bileşiğin MWNT-poli(ϵ -CL) FT-IR spektrumunda (Şekil 3.5), daha önceki bantlara ek olarak 732 cm^{-1} metilendeki $-\text{CH}$ eğilme (rock titreşim) halkanın açıldığının göstergesidir. ^1H -NMR spektrumu (Şekil 3.6); 4,1 ppm $\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{C}(=\text{O})$ protonu, 3,7 ppm $\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{H}$ protonu (molekül ucu), 2,3 ppm $\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{C}(=\text{O})$ protonu, 1,7 ppm $\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{C}(=\text{O})$ protonları ve 1,4 ppm $\text{O}=\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{H}$ protonu yapıyı karakterize etmektedir. Devamında MWNT-PCL’daki uç OH grubu, sodyum karbonat katalizörlüğünde α -brompropionil bromür ile açillenerek atom transfer radikal polimerizasyon başlatıcı merkez oluşturuldu. Bileşiğin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.7), 2944 ; 2865 cm^{-1} alifatik C-H gerilmesi, 1738 cm^{-1} $\text{C}=\text{O}$ gerilmesi, 1456 cm^{-1} alifatik C-H eğilmesi, 1235 ; 1163 cm^{-1} C-O-C asimetric gerilme ve 1099 ; 1066 cm^{-1} C-O-C simetric gerilme yapının karakteristik olan bandlarıdır. ^1H -NMR spektrumunda (Şekil 3.8), MWNT-PCL yapısından farklı olarak 3,7 ppm deki OH sinyalinin kaybolması diyebiliriz.

4,4 ppm Br'un bağılı olduğu CH protonu, 1,9 ppm Br'a yakın olan CH₃ protonu diğer yapıdan farklı olan sinyallerdir.

Elde edilen yapı ATRP polimerizasyonunda makrobaşılatıcı olarak kullanılıp CuBr/2,2'-bipridin katalizörlüğünde önce stiren ile MWNT-PCL-*b*-PSt diblok, daha sonra glisidil metakrilat ile polimerleştirilerek MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimer sentezlendi. MWNT-PCL-*b*-PSt diblok kopolimerin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.9), 1945-1700 cm⁻¹ monosüstitüe benzen overton ve kombinasyon bandları, 756; 698 cm⁻¹ aromatik =C-H düzlem dışı eğilme bantları yapıya stirenin sokulduğunun göstergesidir. CL birimiyle alakalı bandlarda yine spektrumda görülmektedir. ¹H-NMR spektrumunda (Şekil 3.10), 6,5-7,3 ppm stiren birimindeki aromatik halka protonları, 4,3 ppm stiren birimindeki -CH(Br) protonu, 2,3 ppm CL birimindeki karbonil komşulu protonları gösterir. 2.1-1.4 ppm arasındaki sinyaller diblok kopolimerin ana zincirindeki diğer protonları ve CH₃ protonlarını gösterir.

MWCNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerinin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.11), 1735; 1724 cm⁻¹ C=O gerilmesi, 1250 cm⁻¹ epoksit simetrik halka gerilmesi (I.Band), 849 cm⁻¹ epoksit (II. Band) ve 738 cm⁻¹ epoksit (III. Band) yapıdaki glisidil metakrilatın pikleridir. ¹H-NMR spektrumunda (Şekil 3.12), 4,3; 3,9 ppm GMA birimindeki ester oksijenine bağılı kimyasal eşdeğer olmayan -CH₂ protonlarını, 3,3 ppm GMA birimindeki epoksit halkasındaki -CH protonunu, 2,7; 2,4 ppm GMA birimindeki epoksit halkasındaki kimyasal eşdeğer olmayan -CH₂ protonlarını ve 1,93 ppm GMA biriminin ana zincirdeki -CH₂ protonlarını gösterir. Son olarak 1,12-0,97 ppm GMA birimindeki CH₃ protonlarını göstermektedir [196, 197]. Yine ¹H-NMR spektrumundaki stiren birimlerine ait aromatik proton sinyallerinin, CL birimindeki karbonil komşulu proton veya ester oksijenine bağılı proton sinyalleri ile glisidil grubundaki proton sinyallerinin integral yüksekliklerinin karşılaştırılmasıyla triblok kopolimerin bloklarındaki mer sayılarının yaklaşık MWCNT-(PCL)₆-*b*-(PSt)₃₆-*b*-(PGMA)₁₀₈₀ şeklinde olduğu bulundu.

MWCNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimerden MWNT-COOH oranı % 1, % 3, % 5 ve % 7 olacak şekilde nanokompozitler hazırlandı. Nanokompozit FT-IR spektrumunda (Şekil 3.13), 1724 cm⁻¹ C=O gerilmesi 1255 cm⁻¹, C-O-C asimetrik gerilme ve 1145 cm⁻¹deki C-O-C simetrik gerilme bantları MWCNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA triblok kopolimere göre daha şiddetlenmiştir. Bunun da yapıya eklenen MWNT-COOH'dan kaynaklandığını söylenebilir.

Çalışmanın diğer kısmında Bisfenol A propoksilat diglisidil eter ve piperazinden oluşan kopolimer poli(BAPDE-*ko*-P) sentezlendi [193]. Sentezlenen poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimerin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.14) 3054 cm⁻¹ epoksit –C-H gerilmesi, 1885 ve 1764 cm⁻¹ 1,4-disubstitue benzen halkasının overton ve kombinasyon bandı, 1360 ve 1384 cm⁻¹ aynı karbona bağlı en az iki metil grubunun gösterdiği düzlem içi eğilme titreşim bandıdır. 1247cm⁻¹ epoksit asimetrik halka gerilmesi, 1020 cm⁻¹ C-N ve C-O gerilme, 908 cm⁻¹ epoksit simetrik halka gerilmesi, 735 cm⁻¹ epoksit CH eğilmesi ve 574;557cm⁻¹ CCN deformasyon [195] bantları karakteristik olan piklerdir. ¹H-NMR spektrumunda (Şekil 3.15), 7,2-6,8 ppm aromatik halka protonları, 4,5 ppm aromatik halkanın bağlandığı oksijenin bağlı olduğu eterik CH₂ protonları 4,2-3,44 ppm OH 'ın bağlı olduğu CH protonu, OH protonu, OH- CH- CH₂-O-CH₂ – CH₂ -CH₂-O-Ar protonlarını ve epoksit halkasının yanındaki CH₂ protonlarını 2,8-2,4 ppm epoksit ve piperazin halkasındaki protonları göstermektedir. Yine ¹³C-NMR spektrumundan (Şekil 3.15) 156 ve 143 ppm de BAPDE kısmındaki aromatik halkada oksijenin bağlı olduğu ipso karbonu ve BAPDE kısmındaki aromatik halkada alifatik grubun bağlandığı ipso karbonu, 128 ve 114 ppm aromatik halka CH karbonları ve Tablo 3.15 detayları gösterilen diğer sinyaller yapıyla çok iyi uyum göstermektedir. Sentezlenen kopolimerin MWNT-Si-NH₂ ile nanokompozitlerini hazırlamak için önce MWNT-COOH ile 3-amino propil trimetoksi silan reaksiyona sokuldu ve asit ucu, amin ucuna dönüştürüldü [194]. FT-IR spektrumunda (Şekil 3.16) 3400-3290 cm⁻¹ NH₂ gerilme, 2930-2880 cm⁻¹ CH gerilme, 1120 cm⁻¹ O-Si-O asimetrik gerilme, 1035 cm⁻¹ O-Si-O simetrik gerilme ve 930 cm⁻¹ NH₂ eğilme titreşimi yapıyı aydınlatmaktadır. Sentezlenen kopolimerle (MWNT-COOH)–(MWN-Si-NH₂) karışımı ağırlıkça toplamda % 2, % 5, % 10, %, 15, % 20 olan nanokompozitler hazırlandı. Kopolimer/nanokompozit karışımının FT-IR spektrumunda (Şekil 3,17), 3419 cm⁻¹ OH, NH gerilmesi, 1642 cm⁻¹ NH eğilmesi 1119 cm⁻¹ C-N; C-O; O-Si-O gerilmesini göstermekle birlikte kompozit karışımında kopolimere göre piklerin şiddetlerinde farklılıklar olmuştur. 1119cm⁻¹ deki pikte şiddetlenme olurken, kompozitte 1642 cm⁻¹ de omuz olurken, 3054 cm⁻¹ deki pikin şiddeti azalmıştır. Yine epoksit halkasına ait olan 735 ve 700 cm⁻¹ in şiddeti azalmıştır. Bu azalmanın sebebi ise, nanokompozit oluşurken epoksit halkasının açılmasıyla kimyasal bağlanmanın gerçekleşmesi olabilir.

Çalışmanın diğer bölümünde glisidil metakrilat ve strenin farklı oranlardaki kopolimerleri, azobisizobütironitril (AIBN) katalizörlüğünde serbest radikalik yolla hazırlandı. Oluşan poli(GMA-*ko*-St) kopolimerleri FT-IR spektrumunda (Şekil 3,18),

3059-3025 cm^{-1} stiren birimine ait aromatik CH gerilmesi, 1950-1800 cm^{-1} mono süstitüe aromatik halka overton ve kombinasyon bantları 1728 cm^{-1} C=O gerilme, 1265 cm^{-1} ve 843 cm^{-1} GMA birimine ait epoksit simetrik ve asimetrik halka gerilmesi yapıyı karakterize eder. $^1\text{H-NMR}$ spektrumunda (Şekil 3.19), 7-6,6 ppm stiren biriminden gelen aromatik halka protonları, 3,7-1,8 ppm GMA birimi ve St birimindeki alifatik protonlar ve 1,3 ppm GMA birimindeki CH_3 proton sinyalleri yapıyı aydınlatmaya yardımcı olur. Poli(GMA-*ko*-St) kopolimerindeki mer yüzdelерinin $^1\text{H-NMR}$ spektrumundan yapılan hesaplamalar sonucu poli(% 6,5 GMA-*ko*-St), poli(%13GMA-*ko*-St), poli(%21 GMA-*ko*-St), poli(%28GMA-*ko*-St) şeklinde olduğu bulundu. GMA'nın reaktiflik oranının St'den daha fazla olması kopolimerde GMA oranının monomer karışımından daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur [198].

Poli(GMA-*ko*-St) kopolimeri; MWNT-Si-NH₂ ile reaksiyona sokularak halkası açılıp amaçlanmış olan nanotüp yapısına “grafting to” tekniğıyle polimer aşılması gerçekleştirildi. Oluşan yapının FT-IR spektrumunda (Şekil 3,20), 3440 cm^{-1} OH gerilme, 1117 cm^{-1} O-Si-O asimetrik gerilme ve 543 cm^{-1} C-C-N deformasyon bantları halkanın açılıp nanotüpün yapıya girdiğini doğrulamaktadır. Ayrıca epoksit halkasına ait 1265,842 ve 738 cm^{-1} pikleri kaybolmuştur. $^1\text{H-NMR}$ spektrumunda (Şekil 3.21), 7,1-6,7 St birimine ait aromatik halka protonları, 4.3-3.1-0 ppm halkası açılmış glisidil metakrilat birimine ait protonlar, OH protonu, NH protonu bu aralığın içinde bulunmaktadır. Yayvan sinyaller olduğu için orijinal polimerle net farklılıklar görülemiyor. Oluşturulan farklı oranlardaki poli(GMA-*ko*-St) kopolimerleri ile oranı % 3, % 5, % 8, % 12 olacak şekilde MWNT-Si-NH₂ ile nanokompozitler hazırlandı. Kopolimer /nanokompozit FT-IR spektrumunda (Şekil 3.22; 3.23; 3.24), 1113 cm^{-1} C-N; C-O; O-Si-O gerilme şiddeti artmış, yine epoksit halkasına ait olan sinyaller kaybolmuştur. C=O sinyali daha keskin hale gelmiştir.

Çalışmanın diğеr kısmında p-tolidin ve benzaldehitden, shiff bazı (THB) sentezlendi. Oluşan yapının FT-IR spektrumunda (Şekil 3,25), 3447 cm^{-1} OH gerilmesi 3060-2990 cm^{-1} $^1\text{aromatik CH}$ gerilmesi 2915-2866 cm^{-1} alifatik CH gerilmesi 1606 cm^{-1} C=N, 1573 cm^{-1} $^1\text{aromatik C=C}$ gerilme ve 1241 cm^{-1} C-O gerilmesi karakteristik bantlardır. Schiff bazının $^1\text{H-NMR}$ spektrumu (Şekil 3,26), 10 ppm OH protonu, 8,5 ppm Ar-CH=N-Ar protonu, 7,7-6,8 aromatik halka protonları yapının oluştuğunun kanıtıdır. Sonrasında Schiff bazının akriloil klorür ile trietilamin katalizörlüğünde monomeri (THB-A) sentezlendi. Monomerin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.27), schiff bazındaki 3447 cm^{-1} OH bandı kaybolup, 1740 cm^{-1} C=O gerilme bandı, 1635 cm^{-1} alifatik C=C gerilme bandı, 1404 cm^{-1} CH₂ asimetrik

eğilme bandının oluşmuş olması monomerin senezlendiğini kanıtlar. $^1\text{H-NMR}$ spektrumunda (Şekil 3.28), 6,7-6,1 ppm $\text{CH}=\text{CH}_2$ protonları oluşup, 10 ppm OH protonu kaybolması yapının oluştuğunu gösterir. Monomer AIBN katalizörlüğünde serbest radikalik yolla polimerleştirildi. Poli(THB-A)'nın FT-IR spektrumunda (Şekil 3.29), 1635cm^{-1} C=C gerilme ve 1404cm^{-1} CH_2 asimetrik eğilme bandının kaybolması polimerleşmenin olduğunu göstergesidir. Yine $^1\text{H-NMR}$ spektrumunda (Şekil 3.30), 6,7-6,1 ppm $\text{CH}=\text{CH}_2$ protonlarına ait sinyallerin kaybolması yapının oluştuğunu destekler. Oluşturulan polimer, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak metal kompleksine [poli(THB-A)-Ni] dönüştürüldü. Çözünür halde olan polimer, nikel kompleksine dönüştürüldüğünde çözünürlüğünü kaybetti. Nikel kompleksinin FT-IR spektrumunda (Şekil 3.31), 1750cm^{-1} C=O gerilmesi, 1627cm^{-1} C=N gerilme 1598cm^{-1} aromatik C=C gerilme, 1155cm^{-1} C-O-C gerilme titreşimlerinin polimerden farklı olarak piklerin kaydığı görülmektedir.

Elde edilen kompleks ve polimer karışımından, MWNT-Si-NH₂ oranı ağırlıkça % 2, % 8, % 15 olacak şekilde nanokompozitler hazırlandı. Polimer /Nikel kompleksi /MWNT-Si-NH₂ nanokompozit karışımının FT-IR spektrumunda (Şekil 3.32), 1752cm^{-1} C=O gerilmesi 1627cm^{-1} C=N gerilme 1597cm^{-1} aromatik C=C gerilme 1157cm^{-1} O-C-O gerilmesi 1128cm^{-1} C-N; O-Si-O gerilmesi nanokompozite ait sinyallerdir. Nanokompozitteki MWNT-Si-NH₂ yüzdesi arttıkça, karbonil ve O-Si-O pik şiddetleri de artmıştır.

Schiff bazı, schiff bazı monomer, schiff bazı polimer ve schiff bazı nikel kompleksi $395\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar TGA cihazında ısıtıldı. Geriye kalan atıkları alınarak, herbir atığın FT-IR spektrumu çekildi. Schiff bazı atığının (% 37) FT-IR spektrumunda (Şekil 3.33), $3000\text{-}2933\text{cm}^{-1}$ alifatik CH gerilme, 1724cm^{-1} C=O gerilme, $1484\text{-}1447\text{cm}^{-1}$ alifatik CH düzlem içi asimetrik eğilme, $1384\text{-}1363\text{cm}^{-1}$ alifatik CH e düzlem içi simetrik eğilme, $1253\text{-}1227\text{cm}^{-1}$ aromatik düzlem içi eğilme, 1164cm^{-1} O-C-O asimetrik gerilme, $1147\text{-}1129\text{cm}^{-1}$ O-C-O simetrik gerilme titreşimleri görülürken; schiff bazında olan $1617\text{-}1503\text{cm}^{-1}$ arasındaki sinyaller, 1312 , 1189 , 939 , 926 , 817 , 796cm^{-1} titreşim bantları kaybolmuştur.

Schiff bazı monomeri atığının (% 20) FT-IR spektrumunda (Şekil 3.34), 3320cm^{-1} OH; NH gerilme, $1670\text{-}1657\text{cm}^{-1}$ alifatik C=C gerilme, $1590\text{-}1509\text{cm}^{-1}$ aromatik C=C gerilme, 1247cm^{-1} O-C-O asimetrik gerilme, 1165cm^{-1} O-C-O simetrik gerilme bantları görülürken; 1739 , 1635 , 1625 , 1402 , 1012 , 990 , 976 , 903 , 881cm^{-1} titreşim bantları kaybolan batlardır.

Schiff bazı polimeri atığının (% 43) FT-IR spektrumunda (Şekil 3.35), 3323 cm^{-1} OH; NH gerilme, 1713-1680 cm^{-1} C=O gerilme, 1596-1505 cm^{-1} aromatik C=C gerilme, 1160-1014 cm^{-1} O-C-O gerilme titreşim bantları bulunurken; polimerde olan fakat atığında kaybolan titreşim bantları 1751, 1626, 1194, 1131, 884 cm^{-1} dir.

Schiff bazı nikel kompleksi atığının FT-IR spektrumunda (Şekil 3.36), 3353 cm^{-1} OH gerilme, 1739-1722 cm^{-1} C=O gerilme, 1370 cm^{-1} alifatik C-H düzlem içi eğilme, 1230-1214 cm^{-1} O-C-O gerilme görülürken; 1749, 1624, 1598, 1509, 1195, 1156, 1129, 1015, 814 cm^{-1} titreşim bantları kaybolmuştur.

Sentezlenmiş olan polimer ve nanokompozit karışımlarının morfolojilerini incelemek için taramalı elektron mikroskopu kullanıldı ve SEM görüntüleri alındı. Farklı boyutlarda ve farklı bölgelerden alınmış olan SEM görüntüleriyle hem “grafting from” hem de “grafting to” yöntemiyle yapıya sokulmuş olan nanotüpü görmek mümkün olmuştur. Öncelikle satın alınmış olan çok duvarlı karbon nanotüpün Şekil 3.37.’de 30.000 ve 100.000 yaklaştırmayla SEM görüntüsü alınarak diğer nanotüp sokulmuş yapıların kıyaslanması sağlandı. Yapısında nanotüp bulunmayan kopolimer örnekleri gözenekli ve içi boş iken, hem reaksiyonla yapısına nanotüp sokulmuş kopolimerlerin hem de nanokompozit karışımların homojen şekilde dağılmış nanotüpleri görülebilmektedir. Homojenliğin tam olarak sağlanamadığı durumlarda karbon nanotüpler topak, yığınlar halinde iyi bir görüntü vermemektedir. Bu durumu önlemek için tüm yapıların çok iyi şekilde homojenize etmek gerekmektedir.

Polimerlerin ortalama molekül ağırlıkları ile molekül ağırlık dağılımlarının tayini jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) cihazı ile 25 °C’de ölçüldü. Standart madde olarak polistiren, çözücü olarak da THF kullanıldı. Poli(GMA-ko-St) farklı oranlarda hazırlanmış kopolimerlerinin GPC ölçümleri Şekil 3.59, Şekil 3.60, Şekil 3.61, Şekil 3.62’de, verileri ise Tablo 3.35’de verildi. Poli(% 6,5 GMA-ko-St) için M_w 37925, M_n değeri, 21322 ve heterojenlik indisi $M_w/M_n=1,78$; poli(% 13 GMA-ko-St) için M_w 17399 M_n değeri 10243 ve heterojenlik indisi $M_w/M_n=1,70$; poli(% 21 GMA-ko-St) için M_w 23291 M_n değeri 13880, heterojenlik indisi $M_w/M_n=1,68$ ve poli(% 28 GMA-ko-St)kopolimeri için M_w 13462 M_n değeri 8476, heterojenlik indisi $M_w/M_n=1,59$ olarak bulunmuştur. Kopolimerdeki GMA oranı arttıkça heterojenlik indisi düşüş göstermiştir.

Schiff bazı polimeri için M_w 8280, M_n 4096 ve heterojenlik indisi $M_w/M_n=2,02$ olarak bulunmuştur. Yine tekrar eden birim yaklaşık 31 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın kapsamında sentezlenen polimerlerin ve nanokompozit karışımlarının dielektrik ve iletkenlik özellikleri frekansa ve sıcaklığa bağlı olarak incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Frekans ile ilgili olanlar oda sıcaklığında, sıcaklık ile olanlar ise 1 kHz sabit frekansda ölçülmüştür. MWNT-PCL-*b*-PSt ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA için kalınlıklar (d) sırasıyla 0,72 mm 0,75 mm olarak ölçülmüştür. % 1'lik nanokompozit için 0,75 mm, % 3'lük nanokompazit için 0,75mm ve %5'lik nanokompozit için 0,70 mm olarak ölçülmüş olup hesaplamalarda bu değerler kullanılmıştır. MWNT-PCL-*b*-PSt ve MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA diblok ve triblok kopolimerlerin sabit sıcaklıkta (298K) dielektrik sabitlerinin (ϵ') ve dielektrik kayıp faktörlerinin (ϵ'') frekansla değişimi Şekil 3.64 ve Şekil 3.65'de görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, artan frekansla birlikte dielektrik sabitinde (ϵ') ve (ϵ'') oldukça yavaş bir düşüş göstermiştir. MWNT-PCL-*b*-PSt polimer numunesi yeterli olmadığı için sıcaklıkla ϵ' , ϵ'' , σ ve Bp değerleri incelenememiştir. Şekil 3.69 ve Şekil 3.70 de görüldüğü gibi MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA'nın 1kHz de sıcaklık değişimiyle ϵ' ve ϵ'' değerleri incelendiği zaman artan sıcaklıkla beraber bu değerlerin de arttığı gözlenmiştir. Sıcaklık arttıkça polimerdeki segmental hareketlilik artar aynı zamanda dipollerden kaynaklanan toplam polarizasyonu yükselir. Buda (ϵ') ve (ϵ'') değerlerinde artışa sebep olur. Polimerlerin AC iletkenlik ve süsseptans değerleri frekansla değişimi incelendi. Şekil 3.116 ve Şekil 3.117 ve Şekil 3.118. görüldüğü gibi artan frekansla σ ve Bp değerlerinin de arttığı gözlemlendi. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA'nın 1kHz de sıcaklık değişimiyle σ değerleri ölçülüp ve grafiğe geçirildi. Şekil 3.122 ve Şekil 3.123 den anlaşılabacağı gibi σ değerinin belli bir sıcaklığa kadar artış hızı daha azken belli bir sıcaklıktan sonra artışı daha fazla olmuştur. Hızlı bir artışın olduğu yer, molekül yapısında hacim artması ya da boşluk oluşmasıyla açıklanır ki buda polimerlerde yumuşama sıcaklığına denk gelir [199]. Dielektrik sabiti ve iletkenlik ölçümlerinden tahmin edilen yumuşama sıcaklığı 80-83 °C arası olarak belirlendi. DSC ölçümlerinden triblok kopolimer için T_g değeri 84 °C olarak ölçüldüğü dikkate alınırsa elektriksel ölçümlerden bulunan değerlerin bununla iyi bir uyum içinde olduğu görülür. Elektriksel iletkenlik sıcaklık ve frekansın artmasıyla nerdeyse lineer olarak artmıştır. 1 kHz de polimerlerin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü, iletkenlik ve süssebtans değerleri Tablo 4.1 de verildi. MWNT-PCL-*b*-PSt yapısına GMA katılımıyla değerlerde artış gözlenmiştir.

Tablo 4.1. Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Polimerler	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt	2,62	0,047	$2,66 \times 10^{-9}$	22,84
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt- <i>b</i> -PGMA	4,66	0,095	$5,15 \times 10^{-9}$	38,92

MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA'in ve farklı oranlarda hazırlanan nanokompozitlerin dielektrik sabitlerinin (ϵ') ve dielektrik kayıp faktörlerinin (ϵ'') frekansla değişimi Şekil 3.66 ve Şekil 3.68'de görülmektedir. Artan frekansla birlikte (ϵ') ve (ϵ'') değerlerinde çok az miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Buna karşılık yapıya katılan nanotüpün oranı arttıkça dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü de artmıştır [183]. Tablo 4.2 de bununla ilgili veriler bulunmaktadır. Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'de yine nanokompozitlerin (ϵ') ve (ϵ'') değerleri artan sıcaklıkla belli bir noktaya kadar artış hızı yavaş değişiklik gösterirken belli bir sıcaklıktan sonra artış hızı daha fazla olmuştur. Bunun sebebini yine artan sıcaklıkla hareketliliğin artması ve bunun da polarizasyonu arttırmasına bağlayabiliriz.

Nanokompozitlerin iletkenlik ve süsseptans değerleri frekansla değişimi incelendi. Şekil 3.119 ve Şekil 3.120 ve Şekil 3.21. $\log\sigma$ - $\log f$, $\log\sigma$ - f ve B_p - f grafikleri çizildi. Artan frekansla σ ve B_p değerlerinin de arttığı gözlemlendi. MWNT-PCL-*b*-PSt-*b*-PGMA / nanokompozitteki MWNT miktarının artışıyla yine bu değerlerde artış gözlemlenmiştir. Nanokompozit karışımlarının 1kHz de sıcaklık değişimiyle σ değerleri ölçülmüş, $\ln\sigma$ - $1/T$ ve $\log\sigma$ - T grafikleri çizilmiştir. Sıcaklık artışıyla iletkenlik değerinin de arttığı görülmüştür. Elektriksel iletkenlik sıcaklık ve frekansın artmasıyla nerdeyse lineer olarak artmıştır. 100 Hz ve 1 kHz için polimer ve nanokompozit karışımının dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü, iletkenlik ve süsseptans değerleri Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 de verildi.

Tablo 4.2. Polimerlerin 100 Hz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Polimerler	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	B_p (nS)
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt-PGMA	4,82	0,137	$6,32 \times 10^{-10}$	3,99
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt-PGMA/ % 1 MWNT-COOH kompozit	4,83	0,168	$6,36 \times 10^{-10}$	4,06
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt-PGMA/%3 MWNT-COOH kompozit	6,14	0,170	$7,30 \times 10^{-10}$	4,99
MWNT-PCL- <i>b</i> -PSt-PGMA/%5 MWNT-COOH kompozit	7,30	0,113	$7,77 \times 10^{-10}$	6,51

Tablo 4.3. Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Polimerler	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
MWNT-PCL-b-PSt-PGMA	4,66	0,095	$5,15 \times 10^{-9}$	38,92
MWNT-PCL-b-PSt-PGMA/ % 1 MWNT-COOH kompozit	4,74	0,096	$5,16 \times 10^{-9}$	39,71
MWNT-PCL-b-PSt-PGMA/ % 3 MWNT-COOH kompozit	5,87	0,12	$6,28 \times 10^{-9}$	48,87
MWNT-PCL-b-PSt-PGMA/ % 5 MWNT-COOH kompozit	7,07	0,13	$6,65 \times 10^{-9}$	63,41

Poli(BAPDE-ko-P)/[MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] farklı oranlarda hazırlanan nanokompozitlerin dielektrik sabitlerinin ve dielektrik kayıp faktörlerinin frekansla değişimi Şekil 3.71 ve Şekil 3.73'de görölmektedir. Artan frekansla birlikte poli(BAPDE-ko-P)/[MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] % 2'lik nanokompozit karışımının (ϵ') ve (ϵ'') değerlerinde değişim gözlenmemesine rağmen, % 5, % 10 ve % 15'lik olan nanokompozitlerinde artan frekansla beraber (ϵ') ve (ϵ'') değerleri azalmıştır. Buna karşılık yapıya katılan nanotüpün oranı arttıkça dielektrik sabiti dielektrik kayıp faktörü de artmıştır. Şekil 3.74 ve Şekil 3.75'de yine nanokompozitlerin (ϵ') ve (ϵ'') değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmiştir. Sıcaklık arttıkça molekülde düzensizlikler oluşur ve yük taşıyıcıların derişimi ve hareketliliği artar. Şekil 3.74 ve Şekil 3.75'de de göröldüğü gibi sıcaklık arttıkça ϵ' ve ϵ'' değerleri de artar. Poli(BAPDE-ko-P)/% 20'lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] olan nanokompozitinin dielektrik ve iletkenlik ölçümleri birkaç kez ölçölmeye çalışılmasına rağmen sonuç alınamamıştır. Karbon nanotüpler vander walls etkileşimleri yüzünden polimer matriks içinde topaklaşma olur ve onları hizalayıp dağıtmak zor olur [109-120].

Nanokompozitlerin iletkenlik ve süsseptans değerleri frekansla değişimi incelendi. Şekil 3.124 ve Şekil 3.125 ve Şekil 3.126 artan frekansla σ ve Bp değerlerinin de arttığı gözlemlendi. 100 Hz ve 1 kHz için nanokompozit karışımlarının dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü, iletkenlik ve süsseptans değerleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 de verildi. Poli(BAPDE-ko-P)/[MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozitteki [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] yüzdesinin artışıyla σ ve Bp değerlerinin arttığı göröldü. Nanokompozit karışımlarının 1kHz de sıcaklık değişimiyle σ değerleri ölçölmüş, Şekil 3.127, Şekil 3.128 ve Şekil 3.129' da $\ln \sigma - 1/T$, $\log \sigma - T$ ve Bp-T grafiğe geçirilmiştir. Sıcaklık artışıyla iletkenlik değeri ve süssebtans değerinin arttığı görölmüştür. Ancak poli(BAPDE-ko-P) / % 10 [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımında σ ve Bp en yüksek değerlere sahip olduğı göröldü. Bu durumun geçirgenlik eşiğine bağlı olduğı

düşünülmektedir [130]. 1 kHz için nanokompozit karışımlarının 295 K ve 373 K’de iletkenlik ve süsebtans değerleri Tablo 4.6 da verildi.

Tablo 4.4. Polimerlerin 100 Hz’deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Yapı	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%2 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	3,52	0,01	$9,37 \times 10^{-11}$	3,45
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%5 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	7,16	3,19	$4,78 \times 10^{-8}$	9,78
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%10 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	14,51	11,70	$6,37 \times 10^{-8}$	14,84
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%15 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	17,25	11,73	$6,87 \times 10^{-8}$	16,70

Tablo 4.5. Polimerlerin 1 kHz’deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Yapı	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%2 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	3,52	0,036	$2,03 \times 10^{-9}$	32,66
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%5 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	5,84	1,69	$1,08 \times 10^{-7}$	60,31
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%10 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	9,36	3,75	$1,99 \times 10^{-7}$	91,20
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%15 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	10,34	3,84	$2,08 \times 10^{-7}$	102,5

Tablo 4.6. Polimerlerin 1kHz 295 K ve 373 K’deki iletkenlik değerleri

Yapı	σ (S/cm) 295 K	Bp (nS) 295 K	σ (S/cm) 373 K	Bp (nS) 373 K
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%2 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	$2,08 \times 10^{-8}$	32,79	$1,01 \times 10^{-6}$	60,81
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%5 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	$1,36 \times 10^{-7}$	58,46	$3,24 \times 10^{-6}$	94,25
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%10 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	$2,08 \times 10^{-7}$	102,21	$1,61 \times 10^{-5}$	403
Poli(BAPDE- <i>ko</i> -P) /%15 [MWNTCOOH/MWNT-Si-NH ₂] nanokompozit	$2,03 \times 10^{-7}$	101,35	$3,80 \times 10^{-6}$	153,52

Glisidilmetakrilat (GMA) ve stirenden (St) farklı oranlarda hazırlanan kopolimerlerinin dielektrik ve elektriksel özellikleri frekansın fonksiyonu olarak incelenerek Şekil 3.76 ve Şekil 3.77, Şekil 3.130, Şekil 3.131, Şekil 3.132 grafiğe geçirilmiştir. ϵ' frekansa bağlı olmadan artarken ϵ'' değerinde dalgalanmalar olmuştur. σ ve Bp değerleri artan frekansla birlikte artmıştır. Artan GMA oranıyla ϵ' , ϵ'' , ve σ değerleri artarken Bp değerinin azaldığı görüldü. Değişen sıcaklık ile ϵ' , ϵ'' , σ ve Bp özellikleri incelenerek grafiğe geçirildi. Şekil 3.78, Şekil 3.79, Şekil 3.133 ve Şekil 3.134, Şekil 3.135 artan sıcaklık ile ϵ' değeri poli(% 6,5 GMA-ko-St) için 376 K, poli(% 13 GMA-ko-St) için 378 K, poli(% 21 GMA-ko-St) için 373 K, poli(% 28 GMA-ko-St) için 368 K' e kadar yavaş artış gösterirken bu sıcaklıklardan sonra hızlı artmıştır. ϵ'' Değeri poli(% 6,5 GMA-ko-St) için 378 K' e kadar artmış bu sıcaklıktan sonra azalmış sonra 396 K de tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 13 GMA-ko-St) için 388 K' e kadar artıp, 408 K' e kadar azalmış ve bu noktadan sonra tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 21 GMA-ko-St) 398 K' e kadar artıp 413 K' e kadar azalmış ve sonra tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 28 GMA-ko-St) için 388 K kadar artıp 410 K kadar azalmış ve bu sıcaklıktan sonra tekrar artmıştır. σ değerleri de aşağı yukarı yine bu sıcaklıklarda artış ve azalış göstermiştir. Bp değeri artan sıcaklıkla artmıştır. Fakat kopolimer yapıya giren GMA oranı arttıkça Bp değeri azalmıştır. Tablo 4.7. kopolimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri verildi.

Tablo 4.7. Polimerlerin 1 kHz'deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Polimer	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
poli(% 6,5 GMA-ko-St)	2,54	0,0035	$2,27 \times 10^{-10}$	37
poli(% 13 GMA-ko-St)	2,69	0,0064	$4,64 \times 10^{-10}$	34,93
poli(% 21 GMA-ko-St)	2,74	0,0090	$1,63 \times 10^{-9}$	29,71
poli(% 28 GMA-ko-St)	2,96	0,0248	$1,65 \times 10^{-9}$	29,99

Farklı oranlarda hazırlanan kopolimerlerin MWNT-Si-NH₂ ile reaksiyonunda oluşan halkası açılmış yapılarının poli(GMA-MWNT-ko-St) dielektrik ve elektriksel özellikleri frekansın fonksiyonu olarak incelenerek Şekil 3.80 ve Şekil 3.81, Şekil 3.136, Şekil 3.137, Şekil 3.138 grafiğe geçirilmiştir. Yapıdaki artan GMA oranıyla ϵ' , ϵ'' , σ ve Bp değerlerinin de arttığı görüldü. ϵ' frekansa bağlı olmadan artarken ϵ'' değerinde dalgalanmalar olmuştur. σ ve Bp değerleri artan frekansla birlikte artmıştır. Değişen sıcaklık ile ϵ' , ϵ'' , σ ve Bp özellikleri incelenerek grafiğe geçirildi. Şekil 3.82, Şekil 3.83, Şekil 3.139 ve Şekil 3.140,

Şekil 3.141’ de artan sıcaklık ile ϵ' değeri kopolimerde olduğu gibi başlangıçta artış hızı yavaşken belli sıcaklıklardan sonra daha hızlı bir artış olmuştur. ϵ'' değeri yine belirli sıcaklığa kadar artmış, bu sıcaklıktan sonra azalmış sonra tekrar artış göstermiştir. σ değeri, poli(% 6,5 GMA-MWNT-ko-St) yapısında 388 K kadar artmış 406 K ‘ e kadar azalmış bu noktadan sonra tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 13GMA-MWNT-ko-St) yapısında 386 K’ e kadar artıp, 403 K kadar azalmış ve bu noktadan sonra tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 21 GMA-MWNT-ko-St) yapısı 386 K kadar artıp 400 K kadar azalmış ve sonra tekrar artışa geçmiştir. Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St) yapısı ise 378 K kadar artmıştır. Bp artan sıcaklıkla artmıştır. Kopolimerde yapıya giren GMA oranı arttıkça Bp azalma gösterirken halkası açılmış yapıda artan GMA ile Bp değeride artmıştır. Tablo 4.8’ de yapıların 1 kHz’deki dielektrik ve iletkenlik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8. Polimerlerin 1 kHz’deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

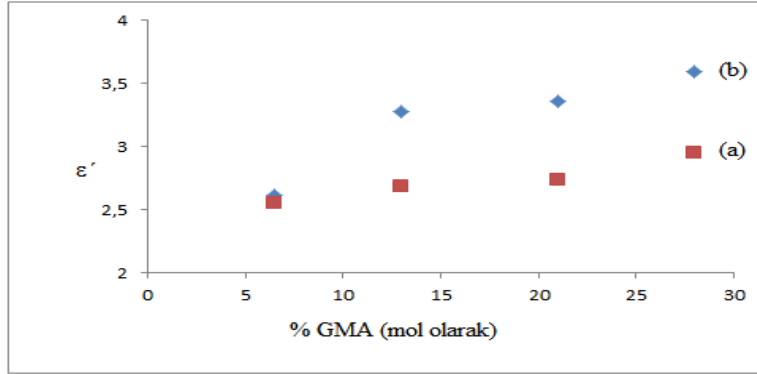
Polimer	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
Poli(% 6,5 GMA-MWNT-ko- St)	2,60	0,0054	$3,16 \times 10^{-10}$	27,29
Poli(% 13GMA-MWNT-ko-St)	3,28	0,0088	$3,98 \times 10^{-10}$	33,38
Poli(% 21 GMA-MWNT-ko-St)	3,36	0,0117	$7,69 \times 10^{-10}$	37,02
Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St)	3,58	0,0186	$1,01 \times 10^{-9}$	37,29

Tezin diğer bölümünde kopolimer ve kopolimer-halkası açılmış yapılarının karşılaştırmalı olarak Şekil 3.84- Şekil 3.99 arası dielektrik özellikleri (ϵ' , ϵ'') Şekil 3.142- Şekil 3.165 arası iletkenlik özellikleri(σ ve Bp) frekans ve sıcaklığın fonksiyonu olarak grafiğe geçirildi. Sonuçların özeti Tablo 4.9’ da verilmiştir.

Tablo 4.9. Polimerlerin 1 kHz’deki dielektrik ve iletkenlik değerleri

Polimerler	ϵ'	ϵ''	σ (S/cm)	Bp (nS)
Poli(% 6,5 GMA-ko-St)	2,54	0,0035	$2,27 \times 10^{-10}$	37
Poli(% 6,5 GMA-MWNT-ko-St)	2,60	0,0054	$3,16 \times 10^{-10}$	27,29
Poli(% 13 GMA- ko-St)	2,69	0,0064	$4,64 \times 10^{-10}$	34,93
Poli(% 13GMA-MWNT-ko-St)	3,28	0,0088	$3,98 \times 10^{-10}$	33,38
Poli(% 21 GMA-ko-St)	2,74	0,0090	$1,63 \times 10^{-9}$	29,71
Poli(%21 GMA-MWNT-ko-St)	3,36	0,0117	$7,69 \times 10^{-10}$	37,02
Poli(% 28 GMA-ko-St)	2,96	0,0248	$1,65 \times 10^{-9}$	29,99
Poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St)	3,58	0,0186	$1,01 \times 10^{-9}$	37,29

Aşağıdaki grafikte ise 1 kHz de dielektrik sabitinin kopolimerdeki GMA yüzdesine veya aynı yüzdede yapıya MWNT'e bağlı aminopropil trimetoksisilan bağlanmış yapıya bağlılığı gösterilmiştir. Yapıya nanotüp girdiğinde bütün kopolimerlerin dielektrik sabitinde artış gözlenmiştir. Ancak artış oranı % 6.5 GMA içeren kopolimer hariç (artış oranı % 2.4 kadar olmuştur) diğerlerinde kopolimer bileşimine bağlı olmadan % 23 civarında olmuştur.



Şekil 3.224. a) poli(GMA-ko-St) ve b) poli(GMA-MWNT-ko-St) olmak üzere dielektrik sabitinin kopolimerdeki GMA yüzdesine bağlılığı

Dielektrik ve iletkenlik davranışları aynı şekilde nanokompozit karışımları içinde incelenmiş ve grafikleri çizilmiştir. Poli(%13GMA-ko-St) kopolimer/nanokompozitinin dielektrik davranışları incelenmiş Şekil 3.100 Şekil 3.101 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.102 Şekil 3.103 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Bu değerler incelendiğinde yapıya karıştırılan nanokompozit oranı arttıkça dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörünün de arttığı görülmüştür. İletkenlik ve susseptans değerlerinin değişimi incelenmiş ve Şekil 3.166, Şekil 3.167 ve Şekil 3.168 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.169 Şekil 3.170 ve Şekil 3.171 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Artan nanokompozit oranıyla bu değerlerin de arttığı görülmüştür. poli(%21 GMA-ko-St) kopolimer/nanokompozitinin dielektrik davranışları incelenmiş Şekil 3.104 Şekil 3.105 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.106 Şekil 3.107 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Bu değerler incelendiğinde yapıya karıştırılan nanokompozit oranı arttıkça dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörünün de arttığı görülmüştür. İletkenlik ve susseptans değerlerinin değişimi incelenmiş ve Şekil 3.172, Şekil 3.173 ve Şekil 3.174 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.175 Şekil 3.176 ve Şekil 3.177 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Artan nanokompozit oranıyla bu değerlerin de arttığı görülmüştür. Poli(% 28 GMA-ko-St) /MWNT-Si-NH₂ nanokompozitinin dielektrik davranışları

incelenmiş Şekil 3.108 Şekil 3.109 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.110 Şekil 3.111 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. İletkenlik ve susseptans değerlerinin değişimi incelenmiş ve Şekil 3.178, Şekil 3.179 ve Şekil 3.180 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.181 Şekil 3.182 ve Şekil 3.183 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Artan nanokompozit oranıyla bu değerlerinin de diğer kopolimer /nanokompozit karışımlarda olduğu gibi beklenen şekilde arttığı görülmüştür.

Schiff bazı ile hazırlanan polimerin, nikel kompleksin ve üç farklı oranda hazırlanmış schiff bazı polimeri / schiff bazı polimeri nikel kompleksi /MWNT-Si-NH₂ nanokompozit karışımının aynı şekilde dielektrik ve iletkenlik özellikleri incelenerek grafikleri çizilmiştir. ϵ' , ϵ'' frekansla değişim grafikleri Şekil 3.112 Şekil 3.113 sıcaklıkla değişim grafikleri Şekil 3.114 Şekil 3.115'de verilmiştir. σ ve Bp değerlerine karşı Şekil 3.184, Şekil 3.185 ve Şekil 3.186 frekansla değişim grafikleri Şekil 3.187 Şekil 3.188 ve Şekil 3.189 sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. ϵ' , artan frekansla az da olsa azalma eğilimi göstermiştir. Grafikten de görüleceği gibi ϵ' değeri en az polimere aitken en fazla değer poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / % 15 MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit karışımına aittir. ϵ'' değeri ise artan frekansla aynı ϵ' olduğu gibi artan frekansla azalma göstermiş olup, poli(THB-A) polimer < % 2 MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit karışımı < % 8 MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit karışımı < % 15 MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit karışımı < poli(THB-A)-Ni kompleksi sıralamasına göre artmıştır. ϵ' , ϵ'' sıcaklığa bağlı olarak artış göstermiş olup yine en az değerler polimere aitken, en fazla değer poli(THB-A) polimeri / poli(THB-A)-Ni kompleksi / % 15 MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit karışımına aittir. İletkenliğin frekansla değişimi incelendiğinde σ değeri en az polimere aitken en fazla değer % 15'lik MWNT-Si- NH₂'lik nanokompozit ve nikel kompleksine aittir. Artan frekans değeriyle birlikte iletkenlik ve Bp değerinde artış olmuştur. İletkenliğin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde ise yapıların sıcaklığa duyarlı olduğu benzer şekilde arttığı görülmüştür. Yapıya giren nanotüp dielektrik ve iletkenlik özelliklerinde iyileştirme sağlayarak ona sağlamlık kazandırmaktadır.

Bu çalışmada nanokompozit karışımlar hazırlanmış olup su ve herhangi bir organik çözücünde çözünmedikleri yüksek sıcaklıklara kadar bozunmadıkları görüldü. Bu kararlılıklarının yanında karbon nanotüpler iyi homojenize edilmedikleri takdirde gerek iletkenlik ve dielektrik ölçümlerinde gerekse reaksiyona sokulmalarında dezavantaj oluşturduğu gözlemlendi. Aynı şekilde reaksiyonlar gerçekleştirilirken fazla miktarlarda çalışıldığı zaman iyi sonuç alınamadı.

Tez kapsamında elde edilen polimer ve nanokompozit karışımların termal özellikleri incelendi. Asitlenmiş olan çok duvarlı karbon nanotüpün (MWNT- COOH) TGA eğrisi Şekil 3.190' da verilmiştir. % 72 atıkla, 410 °C'de bozunmaya başlamış 500'de sonlanmıştır. Şekil 3.191 ve 3.192'de verildiği gibi MWNT-poli(ϵ -CL) kopolimerlerin camısı geçiş sıcaklığı (T_g) DSC termogramlarından 52 °C olarak belirlendi. Termal bozunmasını incelemek amacıyla TGA-50 analizör kullanıldı. Bu amaçla alınan belirli miktarlardaki polimer örnekleri azot atmosferi varlığında 10°C/dk ısıtma hızlarında oda sıcaklığından 500 °C'ye kadar ısıtıldı ve bozunma aralığı 210-453 °C olarak ölçüldü. MWNT-PCL-b-PSt diblok kopolimerlerinin TGA ve DSC eğrileri ise Şekil 3.193 ve Şekil 3.194'de gösterildi. Tablo 3.39'de özetlendiği gibi T_g 89 °C, başlangıç bozunma sıcaklığı 270 °C olarak ölçüldü. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri ve nanokompozit karışımının DSC ve TGA verileri Tablo 3.40, eğrileri ise Şekil 3.195 ve 3.196'da gösterildi. 20 °C/dk ısıtma hızıyla 200 °C'ye kadar ısıtılarak DSC eğrisi kaydedildi. TGA için alınan belirli miktarlardaki polimer ve nanokompozit örnekleri azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 500°C'ye kadar ısıtılıp eğrisi kaydedildi. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA triblok kopolimeri T_g 'si 83°C olup bozunmaya başladığı sıcaklık 220°C olarak belirlendi. Yapıya giren GMA yumuşama sıcaklığını ve triblok yapının bozunmaya başladığı sıcaklığı düşürmüştür. MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 1' lik nanakompozit T_g 'si 90 °C, bozunma sıcaklığı 248 °C; MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/% 3' lük nanakompozit T_g si 89,9 °C ve bozunma sıcaklığı 263 °C; MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 5' lik nanakompozit T_g si 89,7 °C ve bozunma sıcaklığı 265 °C ve son olarak MWNT-PCL-b-PSt-b-PGMA/ % 7' lik nanakompozit T_g si 89,5 °C ve bozunma sıcaklığı 269 °C olarak ölçüldü. Yapıya giren nanotüpün miktarı arttıkça bozunması daha yüksek sıcaklığa kaydı ve 500 °C'deki atık miktarları fazlalaştı. Buradan nanotüpün yapıya termal kararlılık kazandırdığını söylemek mümkündür [157].

MWNT-COOH'ın 3-aminopropil trimetoksi silan ile oluşturulmuş yapısının TGA ve DSC verileri Tablo 3.41'de, eğrileri ise Şekil 3.197 ve 3.198'de gösterildi. T_g değeri 100°C', bozunma sıcaklığı 325°C olup % 72 atık bırakmıştır.

Bisfenol A propaksilat diglisidil eter- piperazin kopolimer ve kopolimer / nanokompozit karışımının nanokompozitlerin termal bozunmaları TGA termogramıyla, camısı geçiş sıcaklıkları da DSC ölçümleriyle belirlendi. DSC ve TGA sonuçları Tablo 3.42'de, eğrileri ise Şekil 3.199 ve Şekil 3.200'de gösterildi. Poli(BAPDE-*ko*-P) kopolimerinin termal bozunması üç kademedede gerçekleşmiş olup bozunmaya başladığı

sıcaklık 265°C dir. İlk basamakta 346°C de bozunma hızı yavaşlamış ve % 45 lik kısmı bu basamakta gerçekleşmiştir. İkinci bozunma 346-437 °C sıcaklığı arasında gerçekleşmiş olup % 33 lük kısmı bozunmuştur. Son kademe % 10 luk bozunmayla 437-500 °C arasında % 8 atık bırakarak gerçekleşmiştir. Poli(BAPDE-*ko*-P) / % 2' lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit yine üç kademedede bozunmaya uğrayarak % 41 lik kısmını ilk basamakta 266-365 °C aralığında, % 31 lik kısmını 365-440 °C ve % 8 lik kısmını da 440-500 °C aralığında gerçekleştirmiştir. % 16 lik atık bırakmıştır. Poli(BAPDE-*ko*-P) / % 5' lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımı üç kademedede bozunmaya uğrayarak %33 lük kısmını ilk basamakta 264-350 °C aralığında, % 26 lik kısmını 354-380 °C de % 24' lük kısmını da 380-500 °C aralığında % 15 atıkla tamamlamıştır. Poli(BAPDE-*ko*-P) /% 10' luk [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımı üç kademedede bozunmaya uğrayarak %37 lik kısmını ilk basamakta 265-349 °C aralığında, yavaşlayarak % 13 lük kısmını 355-388 °C ve % 30' lük kısmını da 388-500 °C aralığında % 16 atıkla tamamlamıştır. Poli(BAPDE-*ko*-P) /% 15' lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımı üç kademedede bozunmaya uğrayarak ilk basamakta %33 lük kısmını 265-350 °C aralığında, % 25 lik kısmını 352-420 °C ve % 21' lük kısmını da 425-500 °C aralığında % 19 atıkla tamamlamıştır. Poli(BAPDE-*ko*-P) /% 20' lik [MWNT-COOH-MWNT-Si-NH₂] nanokompozit karışımı aynı şekilde atık miktarını % 21' e çıkararak 268- 350 °C aralığında % 28 ağırlık kaybına uğramış, ikinci kısımda 355-380 °C aralığında % 22 lik kısmını daha kaybetmiştir. Son basamakta ise % 27 lik kayıpla 500 °C de bozunmasını tamamlamıştır.

Tablo 3.43'de, glisidil metekrilat ve stirenden oluşan kopolimerlerin, bozunma sıcaklıkları ($T_{baş}$), bozunmanın tamamlandığı sıcaklık (T_{son}), %50'nin bozunduğu sıcaklık ($T_{%50}$), 350 °C'deki % ağırlık kaybı ve 500 °C'deki artık değerleri görülmektedir. Polimerlerin bozunma eğrileri tek kademedede gerçekleşmiş olup, sıcaklıkları poli(% 13 GMA-*ko*-St) için 302 °C, poli(% 21 GMA-*ko*-St) için 293 °C, poli(% 28 GMA-*ko*-St) için 286 °C olarak belirlendi. Yapıya giren GMA oranı arttıkça bozunma sıcaklıkları ve T_g 'lerinde düşüş gözlemlendi. Farklı oranlarda ki, poli(GMA-*ko*-St) kopolimerlerinin, MWNT-Si-NH₂ kullanılarak hazırlanan poli(GMA-MWNT-*ko*-St) yapılarının TGA ve DSC verileri Tablo 3.44'de, eğrileri ise Şekil 3.203 ve 3.204'de gösterildi. Halkası açılan polimerlerin bozunma eğrileri kopolimerinde olduğu gibi tek kademedede gerçekleşmiş olup, sıcaklıkları poli(%6,5 GMA-MWNT-*ko*-St) için 311°C, poli(% 13 GMA-MWNT-*ko*-St)

309 °C, poli(% 21 GMA-MWNT-ko-St) 302°C ve poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St) için 300 °C olarak belirlendi.

Kopolimer ve halkası açılmış yapıların karşılaştırılmış DSC ve TGA verileri ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak verildi. Poli(% 6,5 GMA-ko-St) kopolimer ve halkası açılmış poli(% 6,5 GMA-MWNT-ko-St) yapısının verileri Tablo 3.45’de, eğrileri Şekil 3.205 ‘de gösterildi. Poli(% 13 GMA-ko-St) kopolimer ve poli(% 13 GMA-MWNT-ko-St) yapısının TGA ve DSC verileri Tablo 3.46, eğrileri Şekil 3.206 ve 3.207’de, poli(% 21 GMA-ko-St) kopolimer ve poli(% 21 GMA-MWNT-ko-St) yapısına ait TGA ve DSC verileri Tablo 3.47’de, eğrileri Şekil 3.208 ve 3.209’da, son olarak poli(% 28 GMA-ko-St) kopolimer ve poli(% 28 GMA-MWNT-ko-St) yapısına ait TGA ve DSC verileri Tablo 3.48’de, eğrileri ise Şekil 3.210 ve 3.211’de verildi. Kopolimerde iki farklı Tg değeri görülürken, halkası açılmış yapılarında Tg tek değere düşmüştür. Kopolimerde GMA ve St kendi morfolojik yapısına uygun T_g sıcaklığını gösterdi. Fakat halkası açılmış yapıda faz farkı ortadan kalkarak homojen dağılım verdiği, tek camsı geçiş sıcaklığı göstermesinden anlaşıldı. Yapıya MWNT-Sİ-NH₂’ nin katılması bozunma sıcaklığını ve Tg değerini yükseğe kaydırmış olup yine nanotüpün termal kararlılığından kaynaklanır.

Poli(% 13 GMA-ko-St) ve oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 lik MWNT-Sİ-NH₂ oranlarıyla hazırlanan poli(% 13 GMA-ko-St) / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozitin termal özellikleri incelendi. TGA ve DSC verileri Tablo 3.49’de, eğrileri ise Şekil 3.212 ve 3.213’de gösterildi. Tablodaki verilerden de anlaşılabileceği gibi yapıdaki nanokompozitin oranı arttıkça Tg değeri, bozunma sıcaklığı ve bozunmanın tamamlandığı sıcaklığı daha yükseğe kaydırmıştır. Aynı zamanda bozunma tamamlandıktan sonra kalan atık miktarları da fazlalaşmıştır. Poli(% 21 GMA-ko-St) ve oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 lik MWNT-Sİ-NH₂ oranlarıyla da aynı şekilde nanokompozitler oluşturulmuş ve hazırlanan poli(% 21 GMA-ko-St)/MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit termal özellikleri incelenmiştir. TGA ve DSC verileri Tablo 3.50’de, eğrileri ise Şekil 3.214 ve 3.215’de gösterilmiştir. Poli(% 28 GMA-ko-St) kopolimer ve karışımındaki MWNT-Sİ-NH₂ oranı % 3, % 5, % 8 ve % 12 şeklinde hazırlanan kopolimer/nanokompozit TGA ve DSC verileri Tablo 3.51’de, eğrileri ise Şekil 3.216 ve 3.217’de gösterildi. Burada da yapıya giren nanotüple termal kararlılık aynı şekilde değişiklik göstermiştir.

Tezin devamında schiff bazı, schiff bazı monomeri ve schiff bazı polimerinin TGA ve DSC ölçümleri alınarak TGA ve DSC verileri Tablo 3.52’de, eğrileri ise Şekil 3.218 ve 3.219’da gösterildi. Sentezleri gerçekleştirilmiş olan belirli miktarlardaki yapılardan alınan

örnekler azot gazı atmosferinde 10°C/dk ısıtma hızıyla 700°C'ye kadar ısıtılıp TGA eğrisi, 20°C/dk ısıtma hızıyla 200°C'ye kadar ısıtılarak DSC eğrisi kaydedildi. Schiff bazı iki kademeli bozunma göstermiş olup 203-300 °C arasında ilk basamağı tamamlandı. 486°C ye kadar bozunmadan sabit kalarak bu sıcaklıktan sonra tekrar bozunmaya başlayıp 682 °C'de bozunma sonlandı. Schiff bazı monomerinin bozunması daha düşük sıcaklıkta 160 °C'de başlayarak 305°C de yavaşladı. 305-509 °C arası daha yavaş bozunarak 509-630 arası tekrar hızını artırıp tamamlandı. Schiff bazı polimeri 225-360 °C, 360-473 °C ve 473-588 °C sıcaklıkları arasında üç kademeli bozunma gerçekleştirdi. Poli(THB-A) polimer ve poli(THB-A)-Ni kompleksi toplam miktarı sabit tutularak karışımdaki MWNT-Sİ-NH₂ oranı % 2, , % 8 ve % 15 şeklinde hazırlanan Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Sİ-NH₂ nanokompozit karışımlarının TGA ve DSC verileri Tablo 3.53'de, eğrileri ise Şekil 3.220 ve 3.221'de gösterildi. Nikel kompleksi 275°C'de bozunmaya başlayarak 350-365 °C arası şekilde de görüldüğü gibi dik inen kısımda bozunma devam etmiş 473-603 °C' de çok az bir bozunmaya daha uğrayarak tamamlanmıştır. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / /% 2 MWNT-Sİ-NH₂ lik nanokompozit karışımında bozunma 250 °C' de başlayıp 378-388 °C arası dik inen kısımda devam edip, 512 °C de bozunma tamamlanmıştır. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /% 8 MWNT-Sİ-NH₂' lik nanokompozit karışımında 258 °C' de bozunma başlayarak 378-397 °C arası tekrar dike yakın bozunma gerçekleştirip bu sıcaklıktan sonra tekrar devam edip 556 °C de sonlanmıştır. Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni /% 15 MWNT-Sİ-NH₂' lik nanokompozit karışımı ise; 260 °C da bozunmaya başlayarak 384°C de tekrar dik kısma ulaşmış 384-409°C arası dike yakın kısım devam ederek 567 °C de bozunma tamamlanmıştır.

Manyetik süssebtibilite ölçümleri poli(THB-A)-Ni ve Poli(THB-A) / poli(THB-A)-Ni / MWNT-Si-NH₂ nanokompozit % 2 ve % 15 oranları için yaptırılırken manyetizasyon ölçümü sadece % 2 lik nanokompozite yapıldı. Manyetik süssebtibilite değerleri tüm örnekler için diamanyetik sonuç vermiştir. Manyetizasyonla ilgili grafik Şekil 3.222'den de anlaşılacağı gibi artan manyetik alanla birlikte manyetik momentinin de arttığı görülmüştür

Yine Şekil 3.223'de Poli(THB-A)-Ni kompleksine ait SEM-EDX görüntü ve elementel analiz sonucu verilmiş olup elementel analiz sonuçları Tablo 4.10 da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Schiff bazı nikel kompleksi elementel analiz sonuçları

Element	% Ağırlık	% Atomik
C	41,40	54,73
O	31,73	31,49
N	7,53	8,54
Ni	19,34	5,23



5. KAYNAKLAR

- [1] Iijima S.,1991. Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, **354**, 56–8.
- [2] Bachtold. A., Hadley, P., Nakanishi, T., Dekker, C., 2001 Logic circuits with carbon nanotube transistors, *Science* **294**, 1317–20.
- [3] Ago. H., Petritsch, K., Shaffer, MSP., Windle, AH., Friend, RH., 1999, Composites of carbon nanotubes and conjugated polymers for photovoltaic devices, *Adv Mater*, **11**, 1281–5.
- [4] Kasumov, AY., Deblock, R., Kociak, M., Reulet, B., Bouchiat, H., Khodos, I., et al. 1999, Supercurrents through single-walled carbon nanotubes, *Science* **284**, 1508–11.
- [5] Baughman, RH., Cui, C., Zakhidov, AA., Iqbal, Z., Barisci. JN., Spinks, GM., et al. 1999, Carbon nanotube actuators, *Science*, **284**, 1340–4.
- [6] Niu, C., Sichel, EK., Hoch, R., MoyD, Tennet, H. 1997, High power electrochemical capacitors based on carbon nanotube electrodes. *Appl Phys Lett*, **70**, 1480–2.
- [7] Ajayan, PM., Iijima, S.,1993, Capillarity-induced filling of carbon nanotubes, *Nature* **361**, 333–4.
- [8] Xie, XL., Mai, YW., Ping, X., 2005, Dispersion and alignment of carbon nanotubes in polymer matrix: a review. *Mater Sci Eng Rep*, **49**, 89–112.
- [9] Andrews, R.,Weisenberger, MC., 2004, Carbon nanotube polymer composites, *Curr Opin Solid State Mater Sci*, **8**, 31–7.
- [10] Wang, BH., Jiao, YC., Gu, AJ., Liang, GZ., Yuan, L., 2014, Dielectric properties and mechanism of composites by superposing expanded graphite/cyanate ester layer with carbon nanotube/cyanate ester layer, *Compos Sci Technol*, **91**, 8–15.
- [11] Dang, ZM., Yao, SH., Xu, HP., 2007, Effect of tensile strain on morphology and dielectric property in nanotube/polymer nanocomposites. *Appl Phys Lett*, **90**, 012907.
- [12] Wang, L., Dang, ZM., 2005, Carbon nanotube composites with high dielectric constant at low percolation threshold, *Appl Phys Lett*, **87**, 042903.
- [13] Liu, X., Zhang, YH., Zhu, M., Yang, X., 2011, Study on novel carbon nanotube/sulfonated poly(aryl ether ketone) composites with high dielectric constant at low percolation threshold, *Soft Mater*, **9(1)**, 94–103.
- [14] Li, Q., Xue, QG., Hao, LZ., Gao, XL., Zheng. QB., 2008, Large dielectric constant of thechemically functionalized carbon nanotube/polymer composites, *Compos Sci Technol*, **68(11)**, 2290–6.
- [15] Iijima, S., Ichihashi, T.,1993, Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter, *Nature* **363**, 603–5.

- [16] **Bethune, DS., Kiang, CH., Devries, MS., Gorman, G., Savoy, R., Vazquez, J., et al.** 1993, Cobalt-catalyzed growth of carbon nanotubes with single atomic-layer walls, *Nature*, **363**, 605–7.
- [17] **Sugai, T., Yoshida, H., Shimada, T., Okazaki, T., Shinohara, H.,** 2003, New synthesis of high-quality double-walled carbon nanotubes by high temperature pulsed arc discharge, *Nano Lett*, **3**, 769–73.
- [18] **Bandow, S., Takizawa, M., Hirahara, K., Yudasaka, M., Iijima, S.,** 2011, Raman scattering study of double-wall carbon nanotubes derived from the chains of fullerenes in single-wall carbon nanotubes, *Chem Phys Lett*, **337**, 48–54.
- [19] **Paradise, M., Gusuami, T.,** 2007, Carbon nanotubes-Production and Industrial application, *Materials and Design*, **28**, 1477–1489.
- [20] **Treacy, MM., Ebessen, TW., Gibson, JM.,** 1996, Exceptionally high Young's modulus observed for individual carbon nanotubes, *Nature*, **381**, 678–80.
- [21] **Saito, R., Dresselhaus, G., Dresselhaus, MS.,** 1998, Physical properties of carbon nanotubes. London, Imperial College Press.
- [22] **Chae, HG., Liu, J., Kumar, S.,** 2006. Carbon nanotubes properties and applications, In: O'Connell MJ, editor, Carbon nanotube-enabled materials. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC
- [23] **Ma, C., Zhang, W., Zhu, Y., Ji, L., Zhang, R., Koratkar, N., et al.** 2008, Alignment and dispersion of functionalized carbon nanotubes in polymer composites induced by an electric field, *Carbon*, **46**, 706–10.
- [24] **Ajayan, PM., Schadler, LS., Braun, PV.,** 2003, Nanocomposite science and technology, Weinheim, Germany: Wiley-VCH, GmbH & Co. KGaA.
- [25] **Lu, JP.,** 1997, Elastic properties of carbon nanotubes and nanoropes, *Phys Rev Lett*, **79**, 1297–300.
- [26] **Li, Y., Wang, K., Wei, J., Gu, Z., Wang, Z., Luo, J., et al.** 2005, Tensile properties of long aligned double-walled carbon nanotube strands, *Carbon*, **43**, 31–5.
- [27] **Yu, MF., Lourie, O., Dyer, MJ., Moloni, K., Kelly, TF., Ruoff, RS.,** 2000, Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load, *Science*, **287**, 637–40.
- [28] **Guo, T., Nikolaev, P., Thess, A., Colbert, DT., Smalley, RE.,** 1995, Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser vaporization. *Chem Phys Lett*, **243**, 49–54.
- [29] **Nikolaev, P., Bronikowski, MJ., Bradley, RK., Rohmund, F., Colbert, DT., Smith KA, et al.** 1999, Gas-phase catalytic growth of single-walled carbon nanotubes from carbon monoxide, *Chem Phys Lett*, **313**, 91–7.

- [30] Joseyacaman, M., Mikiyoshida, M., Rendon, L., Santiesteban, JG., 1993, Catalytic growth of carbon micro tubules with fullerene structure, *Appl Phys Lett*, **62**, 657–9.
- [31] Huang, SM., Woodson, M., Smalley, RE., Liu, J., 2004, Growth mechanism of oriented long single walled carbon nanotubes using fast-heating chemical vapor deposition process, *Nano Lett*, **4**, 1025–8.
- [32] Hirsch, A., 2002, Functionalization of single-walled carbon nanotubes, *Angew Chem Int Ed*, **41**, 1853–9.
- [33] Nalwa, HS., editor. 2000. Handbook of nanostructured materials and nanotechnology, vol. 5. New York, Academic Press.
- [34] Ebbesen, TW., Ajayan, PM., Hiura, H., Tanigaki, K., 1994, Purification of nanotubes, *Nature*, **367**, 519–1519.
- [35] Bandow, S., Rao, AM., Williams, KA., Thess, A., Smalley, RE., Eklund, PC., 1997, Purification of single-wall carbon nanotubes by microfiltration. *J Phys Chem B*, **101**, 8839–42.
- [36] Duesberg, GS., Burghard, M., Muster, J., Philipp, G., 1998, Separation of carbon nanotubes by size exclusion chromatography, *Chem Commun*, 435–6.
- [37] Paredes, JL., Burghard, M., 2004, Dispersions of individual single-walled carbon nanotubes of high length, *Langmuir*, **20**, 5149–52.
- [38] Duesberg, GS., Muster, J., Krstic, V., Burghard, M., Roth, S., 1998, Chromatographic size separation of single-wall carbon nanotubes, *Appl Phys A*, **67**, 117–9.
- [39] Moore, VC., Strano, MS., Haroz, EH., Hauge, RH., Smalley, RE., Schmidt, J., et al. 2003, Individually suspended single-walled carbon nanotubes in various surfactants, *Nano Lett*, **3**, 1379–82.
- [40] Islam, MF., Rojas, E., Bergey, DM., Johnson, AT., Yodh, AG., 2003, High weight fraction surfactant solubilization of single-wall carbon nanotubes in water, *Nano Lett* **3**, 269–73.
- [41] Niyogi, S., Hamon, MA., Hu, H., Zhao, B., Bhowmik, P., Sen, R., et al. 2002, Chemistry of single-walled carbon nanotubes, *Acc Chem Res*, **35**, 1105–13.
- [42] Park, H , Zhao, J., Lu, JP., 2006, Effects of side wall functionalization on conducting properties of single wall carbon nanotubes, *Nano Lett*, **6**, 916–9.
- [43] Liu, J., Rinzler, AG., Dai, H., Hafner, JH., Bradley, RK., Boul, PJ., et al. 1998, Fullerene pipes, *Science*, **280**, 1253–6.
- [44] Zhang, X., Sreekumar, TV., Liu, T., Kumar, S., 2004, Properties and structure of nitric acid oxidized single wall carbon nanotube films, *J Phys Chem B*, **108**, 16435–40.

- [45] **Cho, JW., Kim, JW., Jung, YC., Goo, NS.,** 2005, Electroactive shape-memory polyurethane composites incorporating carbon nanotubes, *Macromol Rapid Commun*, **26**, 412–6.
- [46] **Georgakilas, V., Kordatos, K., Prato, M., Guldi, DM.,** 2002, Holzinger M, Hirsch A. Organic functionalization of carbon nanotubes, *J Am Chem Soc*, **124**, 760–1.
- [47] **Zhang, Y., Shi, Z., Gu, Z., Iijima, S.,** 2000, Structure modification of single-wall carbon nanotubes, *Carbon*, **38**, 2055–9.
- [48] **Liming, D.,** 2006, Carbon Nanotechnology, *Elsevier*, 191-227.
- [49] **Baek, JB., Lyons, CB., Tan, LS.,** 2004, Grafting of vapor-grown carbon nanofibers via in situ polycondensation of 3-phenoxybenzoic acid in poly(phosphoric acid), *Macromolecules*, **37**, 8278–85.
- [50] **Jin, Z., Sun, X., Xu, G., Goh, SH., Ji, W.,** 2000, Nonlinear optical properties of some polymer/multi-walled carbon nanotube composites, *Chem Phys Lett*, **318**, 505–10.
- [51] **Fu, K., Huang, W., Lin, Y., Riddle, LA., Carroll, DL., Sun, YP.,** 2001, Defunctionalization of functionalized carbon nanotubes, *Nano Lett*, **1**, 439–41.
- [52] **Qin, S., Qin, D., Ford, WT., Resasco, DE., Herrera, JE.,** 2004, Functionalization of single-walled nanotubes with polystyrene via grafting to and grafting from methods, *Macromolecules*, **37**, 752–7.
- [53] **Riggs, JE., Guo, Z., Carroll, DL., Sun, YP.,** 2000, Strong luminescence of solubilized carbon nanotubes, *J Am Chem Soc*, **122**, 5879–80.
- [54] **Lin, Y., Zhou, B., Fernando, KAS., Liu, P., Allard, LF., Sun, YP.,** 2003, Polymeric carbon nanocomposites from carbon nanotubes functionalized with matrix polymer, *Macromolecules*, **36**, 7199–204.
- [55] **Qin, S., Qin, D., Ford, WT., Herrera, JE., Resasco, DE., Bachilo, SM., et al.** 2004, Solubilization and purification of single-wall carbon nanotubes in water by in situ radical polymerization of sodium 4-styrenesulfonate, *Macromolecules*, **37**, 3965–7.
- [56] **Lou, XD., Detrembleur, C., Pagnouille, C., Jerome, R., Bocharova, V., Kiriya, A., et al.** 2004, Surface modification of multiwalled carbon nanotubes by poly(2-vinylpyridine): dispersion, selective deposition, and decoration of the nanotubes, *Adv Mater*, **16**, 2123–7.
- [57] **Zhao, B., Hu, H., Haddon, RC.,** 2004, Synthesis and properties of a water soluble single-walled carbon nanotube-poly(m-amino benzene sulfonic acid) graft copolymer, *Adv Funct Mater*, **14**, 71–6.

- [58] **Koshio, A., Yudasaka, M., Zhang, M., Iijima, S.,** 2001, A simple way to chemically react single-wall carbon nanotubes with organic materials using ultrasonication, *Nano Lett*, **1**, 361–3.
- [59] **Qu, LW., Lin, Y., Hill, DE., Zhou, B., Wang, W., Sun, X., et al.** 2004, Polyimide functionalized carbon nanotubes: synthesis and dispersion in nanocomposite films, *Macromolecules*, **37**, 6055–60.
- [60] **Park, C., Ounaies, Z., Watson, KA., Crooks, RE., Smith, J., Lowther, SE., et al.** 2002, Dispersion of single wall carbon nanotubes by in situ polymerization under sonication, *Chem Phys Lett*, **364**, 303–8.
- [61] **Qu, L., Veca, LM., Lin, Y., Kitaygorodskiy, A., Chen, B., McCall, AM., et al.** 2005, Soluble nylon-functionalized carbon nanotubes from anionic ring opening polymerization from nanotube surface, *Macromolecules*, **38**, 10328–31.
- [62] **Yang, M., Gao, Y., Li, H., Adronov, A.,** 2007, Functionalization of multiwalled carbon nanotubes with polyamide 6 by anionic ring-opening polymerization, *Carbon*, **45**, 2327–33.
- [63] **Park, SJ., Cho, MS., Lim, ST., Cho, HJ., Jhon, MS.,** 2003, Synthesis and dispersion characteristics of multi-walled carbon nanotube composites with poly(methyl methacrylate) prepared by in-situ bulk polymerization, *Macromol Rapid Commun*, **24**, 1070–3.
- [64] **Yao, Z., Braidy, N., Botton, GA., Adronov, A.,** 2003, Polymerization from the surface of single-walled carbon nanotubes—preparation and characterization of nanocomposites, *J Am Chem Soc*, **125**, 16015–24.
- [65] **Baskaran, D., Mays, JW., Bratcher, MS.,** 2004, Polymer-grafted multiwalled carbon nanotubes through surface-initiated polymerization, *Angew Chem Int Ed*, **43**, 2138–42.
- [66] **Kong, H., Gao, C., Yan, D.,** 2004, Functionalization of multiwalled carbon nanotubes by atom transfer radical polymerization and defunctionalization of the products, *Macromolecules*, **37**, 4022–30.
- [67] **Kong, H., Luo, P., Gao, C., Yan, D.,** 2005, Polyelectrolyte-functionalized multi walled carbon nanotubes: preparation, characterization and layer-by-layer self-assembly, *Polymer*, **46**, 2472–85.
- [68] **Kong, H., Gao, C., Yan, D.,** 2004, Constructing amphiphilic polymer brushes on the convex surfaces of multi-walled carbon nanotubes by in situ atom transfer radical polymerization, *J Mater Chem*, **14**, 1401–5.
- [69] **Kong, H., Li, W., Gao, C., Yan, D., Jin, Y., Walton, DRM., et al.** 2004, Poly(Nisopropylacrylamide)-coated carbon nanotubes: temperature sensitive molecular nanohybrids in water, *Macromolecules*, **37**, 6683–6.

- [70] **Qin, S., Qin, D., Ford, WT., Herrera, JE., Resasco, DE.,** 2004, Grafting of poly(4-vinylpyridine) to single-walled carbon nanotubes and assembly of multi layer films, *Macromolecules*, **37**, 9963–7.
- [71] **Wu, W., Zhang, S., Li,Y., Li, J., Liu, L., Qin, Y., et al.** 2003, PVK-modified single walled carbon nanotubes with effective photo induced electron transfer, *Macromolecules*, **36**, 6286–8.
- [72] **Gao, C., Vo, CD., Jin, YZ., Li, W., Armes, SP.,** 2005, Multi hydroxy polymer functionalized carbon nanotubes: synthesis, derivation, and metal loading, *Macromolecules*, **38**, 8634–48.
- [73] **Huisgen, R.,** 1984. 1,3-Dipolar cyclo additions-introduction, survey, mechanism in 1,3-dipolar cycloaddition chemistry, In: Padwa A, editor. 1,3-Dipolar cyclo addition chemistry, vol. 1, NewYork: Wiley; p. 1–176.
- [74] **Kolb, HC., Finn, MG., Sharpless, KB.,** 2001, Click chemistry: diverse chemical function from a few good reactions, *Angew Chem Int Ed*, **40**, 2004–21.
- [75] **Kolb, HC., Sharpless, KB.,** 2003, The growing impact of click chemistry on drug discovery, *Drug Disc Today*, **8**, 1128–37.
- [76] **Tornøe, CW., Christensen, C., Meldal, M.,** 2002, Peptidotriazoles on solid phase: [1,2,3]-triazoles by regiospecific copper(I)-catalyzed 1,3-dipolar cyclo additions of terminal alkynes to azides, *J Org Chem*, **67**, 3057–64.
- [77] **Joralemon, MJ., O'Reilly, RK., Matson, JB., Nugent, AK., Hawker, CJ.,** 2005, Wooley KL. Dendrimers clicked together divergently, *Macromolecules*, **38**, 5436–43.
- [78] **Wu, P., Feldman, AK., Nugent, AK., Hawker, CJ., Scheel, A., Voit, B., et al.** 2004, Efficiency and fidelity in a click-chemistry route to triazole dendrimers by the copper(I)-catalyzed ligation of azides and alkynes, *Angew Chem Int Ed*, **43**, 3928–32.
- [79] **Helms, B., Mynar, JL., Hawker, CJ., Frechet, JMJ.,** 2004, Dendronized linear polymers via click chemistry, *J Am Chem Soc*, **126**, 15020–1.
- [80] **Malkoch, M., Schleicher, K., Drockenmuller, E., Hawker, CJ., Russell, TP., Wu, P., et al.** 2005, Structurally diverse dendritic libraries: a highly efficient functionalization approach using click chemistry, *Macromolecules*, **38**, 3663–78.
- [81] **Lee, JW., Kim, JH., Kim, BK., Shin, WS., Jin, SH.,** 2006, Synthesis of Frechet type dendritic benzyl propargyl ether and Frechet type triazole dendrimer, *Tetrahedron*, **62**, 894–900.
- [82] **Link, AJ., Vink, MKS., Tirrell, DA.,** 2004, Presentation and detection of azide functionality in bacterial cell surface proteins, *J Am Chem Soc*, **126**, 10598–602.

- [83] **Kumar, I., Rode, CV.,** 2007, Efficient synthesis of fused 1,2,3-triazolo-delta lactams using huisgen [3+2] dipolar cycloaddition click-chemistry in water, *Chem Lett*, **36**, 592–3.
- [84] **Li, H., Cheng, F., Duft, AM., Adronov, A.,** 2005, Functionalization of single walled carbon nanotubes with well-defined polystyrene by click coupling, *J Am Chem Soc*, **127**, 14518–24.
- [85] **Zhang, Y., He, H., Gao, C., Wu, J.,** 2009, Covalent layer-by-layer functionalization of multiwalled carbon nanotubes by click chemistry, *Langmuir*, **25**, 5814–24.
- [86] **Ajayan, PM., Stephan, O., Colliex, C., Trauth, D.,** 1994, Aligned carbon nanotube arrays formed by cutting a polymer resin-nanotube composite, *Science*, **265**, 1212–4.
- [87] **Moniruzzaman, M., Winey, KI.,** 2006, Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes, *Macromolecules*, **39**, 5194–205.
- [88] **Jamal, A., Ali, R., Somayeh, M.,** 2007, Preparation and characterization of linear low density polyethylene/carbon nanotube nanocomposites, *J Macromol Sci Part B: Phys*, **46**, 877–89.
- [89] **Li, L., Li, CY., Ni, C., Rong, LX., Hsiao, B.,** 2007, Structure and crystallization behavior of Nylon 66/multi-walled carbon nanotube nanocomposites at low carbon nanotube contents, *Polymer*, **48**, 3452–60.
- [90] **Morales-Teyssier, O., Sanchez-Valdes, S., Ramos-de Valle, LF.,** 2006, Effect of carbon nanofiber functionalization on the dispersion and physical and mechanical properties of polystyrene nanocomposites, *Macromol Mater Eng*, **291**, 1547–55.
- [91] **Gryshchuk, O., Karger-Kocsis, J., Thomann, R., Konya, Z., Kiricsi, I.,** 2006, Multiwall carbon nanotube modified vinyl ester and vinyl ester-based hybrid resins, *Compos Part A*, **37**, 1252–9.
- [92] **Ghose, S., Watson, KA., Delozier, DM., Working, DC., Siochi, EJ., Connell, JW.,** 2006, Incorporation of multi-walled carbon nanotubes into high temperature resin using dry mixing techniques, *Compos Part A*, **37**, 465–75.
- [93] **Mrozek, RA., Kim, BS., Holmberg, VC., Taton, TA.,** 2003, Homogeneous, coaxial liquid crystal domain growth from carbon nanotube seeds, *NanoLett*, **3**, 1665–9.
- [94] **Bliznyuk, VN., Singamaneni, S., Sanford, RL., Chiappetta, D., Crooker, B., Shibaev, PV.,** 2006, Matrix mediated alignment of single wall carbon nanotubes in polymer composite films, *Polymer*, **47**, 3915–21.
- [95] **Kanagaraj, S., Varanda, FR., Zhil'tsova, TV., Oliveira, MSA., Simoes, JAO.,** 2007, Mechanical properties of high density polyethylene polyethylene/carbon nanotube composites, *Compos Sci Technol*, **67**, 3071–7.

- [96] **Kim, JY., Han, SI., Kim, SH.,** 2007, Crystallization behaviors and mechanical properties of poly(ethylene 2,6-naphthalate)/multiwall carbon nanotube nanocomposites, *Polym Eng Sci*, **47**, 1715–23.
- [97] **Jin, SH., Park, YB., Yoon, KH.,** 2007, Rheological and mechanical properties of surface modified multi-walled carbon nanotube-filled PET composite, *Compos Sci Technol*, **67**, 3434–41.
- [98] **Wang, Z., Ciselli, P., Peijs, T.,** 2007, The extra ordinary reinforcing efficiency of single-walled carbon nanotubes in oriented poly(vinyl alcohol) tapes, *Nanotechnology*, **18**, 455709/1–9.
- [99] **Yang, BX., Shi, JH., Pramoda, KP., Goh, SH.,** 2007, Enhancement of stiffness, strength, ductility and toughness of poly(ethylene oxide) using phenoxy-grafted multiwalled carbon nanotubes, *Nanotechnology*, **18**, 125606/1–7.
- [100] **Pham, JQ., Mitchell, CA., Bahr, JL., Tour, JM., Krishnamoorti, R., Green, PF.,** 2003, Glass transition of polymer/single-walled carbon nanotube composite films, *J Polym Sci Part B Polym Phys*, **41**, 3339–45.
- [101] **Gong, XY., Liu, J., Baskaran, S., Voise, RD.,**2000, Young JS. Surfactant-assisted processing of carbon nanotube/polymer composites, *Chem Mater*, **12**, 1049–52.
- [102] **Singh, IV., Tanaka, M., Zhang, J., Endo, M.,** 2007, Evaluation of effective thermal conductivity of CNT-based nano-composites by element free Galerkin method, *Int J Numer Meth Heat Fluid Flow*, **17**, 757–69.
- [103] **Sergei, S., Xue, L., Rahmi, O., Pawel, K., David, GC.,** 2004, Role of thermal boundary resistance on the heat flow in carbon-nanotube composites, *J Appl Phys*, **95**, 8136–44.
- [104] **Sankapal, BR., Setyowati, K., Chen, J., Liu, H.,** 2007, Electrical properties of airstable, iodine-doped carbon-nanotube-polymer composites, *Appl Phys Lett*, **91**, 173103/1–3.
- [105] **Grossiord, N., Miltner, HE., Loos, J., Meuldijk, J., Van Mele, B., Koning, CE.,** 2007, On the crucial role of wetting in the preparation of conductive polystyrene-carbon nanotube composites, *Chem Mater*, **19**, 3787–92.
- [106] **Guo, H., Sreekumar, TV., Liu, T., Minus, M., Kumar, S.,** 2005, Structure and properties of polyacrylonitrile/single wall carbon nanotube composite films, *Polymer*, **46**, 3001–5.
- [107] **Ichida, M., Mizuno, S., Kataura, H., Achiba, Y., Nakamura, A.,** 2004, Anisotropic optical properties of mechanically aligned single-walled carbon nanotubes in polymer, *Appl Phys A*, **78**, 1117–20.
- [108] **Weglikowska, UD., Kaempgen, M., Hornbostel, B., Skakalova1, V., Wang, J., Liang, J., et al.** 2006, Conducting and transparent SWNT/polymer composites, *Phys Stat Sol B*, **243**, 3440–4.

- [109] **Zhang, YH., Liu, X., Zhu, M., Rong, CR., Wang, GB.,** 2012, Dielectric properties of carbon nanotube/amino-functionalized poly(arylene ether ketone) composites, *High Perform Polym*, **24(3)**, 173–9.
- [110] **Rahmat, M., Hubert, P.,** 2011, Carbon nanotube–polymer interactions in nanocomposites: a review original research article, *Compos Sci Technol*, **72(1)**, 72–84.
- [111] **Coleman, JN., Khan, U., Blau, WJ., Gun’ko, YK.,** 2006, Small but strong: a review of the mechanical properties of carbon nanotube–polymer composites, *Carbon*, **44(9)**, 1624–52.
- [112] **Kobashi, K., Chen, Z., Lomeda, J., Rauwald, U.,** 2007, Copolymer of single-walled carbon nanotubes and poly(p-phenylene benzobisoxazole), *Chem Mater*, **19(2)**, 291–300.
- [113] **Wongtimnoi, K., Guiffard, B., Bogner-Van de Moortèle, A., Seveyrat, L., Cavailé, JY.,** 2013, Electrostrictive thermoplastic polyurethane-based nanocomposites filled with carboxyl-functionalized multi-walled carbon nanotubes (MWCNT–COOH): properties and improvement of electromechanical activity, *Compos Sci Technol*, **85**, 23–8.
- [114] **Sandler, J., Prasse, T., Bauhofer, W., Schulte, K.,** 1999, Development of a dispersion process for carbon nanotubes in an epoxy matrix and the resulting electrical properties, *Polymer*, **40(21)**, 5967–71.
- [115] **Bauhofer, W., Kovacs, JZ.,** 2009, A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites, *Compos Sci Technol*, **69(10)**, 1486–98.
- [116] **Biercuk, MJ.,** 2002, Carbon nanotube composites for thermal management, *Appl Phys Lett*, **80(15)**, 2767–9.
- [117] **Kim, JY., Han, SI., Hong, S.,** 2008, Effect of modified carbon nanotube on the properties of aromatic polyester nanocomposites, *Polymer*, **49(15)**, 3335–45.
- [118] **Yang, SY., Ma, CCM., Teng, CC., Huang, YW.,** 2010, Effect of functionalized carbon nanotubes on the conductivity of epoxy composites, *Carbon*, **48(3)**, 592–603.
- [119] **Mitchell, CA., Bahr, JL., Arepalli, S.,** 2002, Dispersion of functionalized carbon nanotubes in polystyrene, *Macromolecules*, **35(23)**, 8825–30.
- [120] **Al-Saleh, MH., Sundararaj, U.,** 2009, Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites, *Carbon*, **47(7)**, 2–22.
- [121] **Sun, ML.,** 2002, Application principle and theory of epoxy resins, Beijing: China Machine Press, pp, 115–40.
- [122] **Sandler, J., Shaffer, MSP., Prasse, T., Bauhofer, W., Schulte, K., Windle, AH.,** 1999, Development of a dispersion process for carbon nanotubes in an epoxy matrix and the resulting electrical properties, *Polymer*, **40**, 5967–91.

- [123] **Biercuk, MJ., Liaguno, MC., Radosavljevic, M., Hyun, JK., Johnson, AT., Fischer, JE.,** 2002, Carbon nanotube composites for thermal management, *Appl Phys Lett*, **80**, 2767–9.
- [124] **Zhu, J., Peng, H., Rodriguez-Macias, F., Margrave, JL., Khabashesku, VN., Imam, AM., et al.** 2004, Reinforcing epoxy polymer composites through covalent integration of functionalized nanotubes, *Adv Funct Mater*, **14**, 643–8.
- [125] **Gojny, FH., Wichmann, MHG., Kopke, U., Fiedler, B., Schulte, K.,** 2004, Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content., *Comp Sci Tech*, **64**, 2363–71.
- [126] **Baysal, B.,** 1981. *Polimer Kimyası Cilt 1*, İTÜ Yayınları.
- [127] **Noshay, A., McGrath, J.E.,** 1977. *Block Copolymers, Overview and Critical Survey*, Academiz Press, Newyork
- [128] **Goodman, I.,** 1982, *Developments in Block Copolymers Applied Science*, London
- [129] **Okada, M.,** 1994. *Macromolecular Design: Concept and Practice*, edited by M.K. Mishra, *Polymer Frontiers Int., Inc., Newyork*, Chap.9
- [130] **Sahoo, N.G., Rana, S., Cho, J.W., Li, L., Chan, S.H.,** 2010, Polymer Nanocompsites based on functionalized carbon nanotubes, *Progress in Polymer Science*, **35**, 837-867
- [131] **Safadi, B., Andrews, R., Grulke, EA.,** 2002, Multiwalled carbon nanotubes polymer composites: synthesis and characterization of thin films, *J Appl Polym Sci*, **84**, 2660–9.
- [132] **Andrews, R., Jacques, D., Minot, M., Rantell, T.,** 2002, Fabrication of carbon multiwall nanotube/polymer composites by shear mixing, *Micromol Mater Eng*, **287**, 395–403.
- [133] **Zhang, WD., Shen, L., Phang, IY., Liu, T.,** 2004, Carbon nanotubes reinforced nylon-6 composite prepared by simple melt-compounding, *Macromolecules*, **37**, 256–9.
- [134] **Lopez Manchado, MA., Valentini, L., Biagiotti, J., Kenny, JM.,** 2005, Thermal and mechanical properties of single-walled carbon nanotubes polypropylene composites prepared by melt processing, *Carbon*, **43**, 1499–505.
- [135] **Valentini, L., Biagiotti, J., Kenny, JM., Santucci, S.,** 2003, Morphological characterization of single-wall carbon nanotube/polypropylenecomposites, *Compos Sci Technol*, **63**, 1149–53.
- [136] **Zhang, H., Zhang, Z.,** 2007, Impact behaviour of polypropylene filled with multi-walled carbon nanotubes, *Eur Polym J*, **43**, 3197–207.
- [137] **Tang, W., Santare, MH., Advani, SG.,** 2003, Melt processing and mechanical property characterization of multi-walled carbon nanotube/high density polyethylene (MWNT/HDPE) composite films, *Carbon*, **41**, 2779–85.

- [138] **Potschke, P., Fornes, TD., Paul, DR.,** 2002, Rheological behavior of multiwalled carbon nanotube/polycarbonate composites, *Polymer*, **43**, 3247–55.
- [139] **Potschke, P., Bhattacharyya, AR., Janke, A.,** 2003, Morphology and electrical resistivity of melt mixed blends of polyethylene and carbon nanotube filled polycarbonate, *Polymer*, **44**, 8061–9.
- [140] **Potschke, P., Bhattacharyya, AR., Janke, A.,** 2004, Melt mixing of polycarbonate with multiwalled carbon nanotubes: microscopic studies on the state of dispersion, *Eur Polym J*, **40**, 137–48.
- [141] **Jin, Z., Pramoda, KP., Xu, G., Goh, SH.,** 2001, Dynamic mechanical behavior of melt-processed multi-walled carbon nanotube/poly(methylmethacrylate) composites, *Chem Phys Lett*, **337**, 43–7.
- [142] **Zeng, J., Saltysiak, B., Johnson, WS., Schiraldi, DA., Kumar, S.,** 2004, Processing and properties of poly(methyl methacrylate)/carbon nano fiber composites, *Compos Part B*, **35**, 173–8.
- [143] **Haggenmueller, R., Gommans, HH., Rinzler, AG., Fischer, JE., Winey, KI.,** 2000, Aligned single-wall carbon nanotubes in composites by melt processing methods, *Chem Phys Lett*, **330**, 219–25.
- [144] **Gorga, RE., Cohen, RE.,** 2004, Toughness enhancements in poly(methylmethacrylate) by addition of oriented multiwall carbon nanotubes, *J Polym Sci Part B Polym Phys*, **42**, 2690–702.
- [145] **Hu, N., Zhou, H., Dang, G., Rao, X., Chen, C., Zhang, W.,** 2007, Efficient dispersion of multi-walled carbon nanotubes by in situ polymerization, *Polym Int*, **56**, 655–9.
- [146] **Tomalia, DA., Baker, H., Dewald, J., Hall, M., Kallos, G., Martin, S., et al.** 1986, Dendritic macromolecules: synthesis of starburst dendrimers, *Macromolecules*, **19**, 2466–8.
- [147] **Cloninger, MJ.,** 2002, Biological applications of dendrimers, *Curr Opin Chem Biol*, **6**, 742–8.
- [148] **Ishizu, K., Tsubaki, K., Mori, A., Uchida, S.,** 2003, Architecture of nano structured polymers, *Prog Polym Sci*, **28**, 27–54.
- [149] **Zeng, F., Zimmerman, SC.,** 1997, Dendrimers in supermolecular chemistry: from recognition to self-assembly, *Chem Rev*, **97**, 1681–712.
- [150] **Matthews, OA., Shipway, AN., Stoddart, JF.,** 1998, Dendrimers-branching out from curiosities into new Technologies, *Prog Polym Sci*, **23**, 1–56.
- [151] **Gao, C., Yan, D.,** 2004, Hyperbranched polymers: from synthesis to applications, *Prog Polym Sci*, **29**, 183–275.

- [152] **Hawker, C.J., Frechet, J.M.J.**, 1990, Preparation of polymers with controlled molecular architecture. A new convergent approach to dendritic macromolecules, *J Am Chem Soc*, **112**, 7638–47.
- [153] **Huang, F., Gibson, H.W.**, 2004, Formation of supramolecular hyperbranched polymer from self-organization of an AB₂ monomer containing a crown ether and two paraquat moieties, *J Am Chem Soc*, **126**, 14738–9.
- [154] **Yates, C.R., Hayes, W.**, 2004, Synthesis and applications of hyperbranched polymers, *Eur Polym J*, **40**, 1257–81.
- [155] **Gogotsi, Y.**, 2006, Carbon nanomaterials, *CRC, Taylor & Francis Group*, 41.
- [156] **Treacy, M.M.J., Ebbesen, T.W., and Gilson J.M.**, 1996, Exceptionally high Young's modulus observed for individual carbon nanotubes, *Nature*, (London) **381**, 678.
- [157] **Thakur, V.K., Thakur, M.K., Editors**, 2016, Chemical functionalization of carbon nanomaterials, Taylor and Francis Group CRC Press, London
- [158] **Mamalis, A.G., Vogtländer, L.O.G., Markopoulos, A.**, 2004, Nanotechnology and nanostructured materials: trends in carbon nanotubes, *Precision Engineering*, **28**, 16–30,
- [159] **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**, 5893–9.
- [160] **Li, H.C., Lu, S.Y., Syue, S.H., Hsu, W.K., Chang, S.C.**, 2008, Conductivity enhancement of carbon nanotube composites by electrolyte addition, *Appl Phys Lett*, **93**, 033104/1–3.
- [161] **Choi, E.S., Brooks, J.S., Eaton, D.L., Al Haik, M.S., Hussaini, M.Y., Garmestani, H.**, et al. 2003, Enhancement of thermal and electrical properties of carbon nanotube polymer composites by magnetic field processing, *J Appl Phys*, **94**, 6034–9.
- [162] **Fangming, D., Fisher, J.E., Winey, K.I.**, 2003, Coagulation method for preparing single-walled carbon nanotube/poly(methyl methacrylate) composites and their modulus, electrical conductivity, and thermal stability, *J Polym Sci Part B Polym Phys*, **41**, 3333–8.
- [163] **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**, 5893–9.
- [164] **Li, J., Ma, P.C., Chow, W.S., To, C.K., Tang, B.Z., Kim, J.K.**, 2007, Correlations between percolation threshold, dispersion state, and aspect ratio of carbon nanotubes, *Adv Funct Mater*, **17**, 3207–15.

- [165] **Song, YS., Youn, JR.,** 2005, Influence of dispersion states of carbon nanotubes on physical properties of epoxy nanocomposites, *Carbon*, **43**, 1378–85.
- [166] **Ramasubramaniam, R., Chen, J., Liu, H.,** 2003, Homogeneous carbon nanotube/polymer composites for electrical applications, *Appl Phys Lett*, **83**, 2928–30.
- [167] **Alkan Ü.,** 2011, Polimer kompozitlerin mekanik ve elektriksel özelliklerinin kararlı hale getirici ve yıpratıcı faktörlerin etkisi altında incelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [168] **Yakuphanoglu, F., Okutan, M., Zhuang, Q., Hanc, Z,** 2005, The dielectric spectroscopy and surface morphology studies in a new conjugated polymer poly(benzobisaxazole-2,6-diphenylene), *Physica b*, **365**, 13-19
- [169] **Tager, A.,** 1978, *Physical Chemistry of Polymer*, English Translation, Mir Publishers.
- [170] **Kurt A.,** 2009, ATRP metodu ile hazırlanan üç kollu polimerlerin dielektrik özellikleri, *Tünav Bilim Dergisi*, **2(1)**, 47-55
- [171] **Chelkowski, A.,** 1980, *Dielectric Physics*, PWN Eisevier, Silasian Üniversty Katowice, Poland
- [172] <http://whatistechtarget.com/definition>
- [173] **Kitamura, H., Sekido, M., Takeuchi, H., Onho, M.,** 2011, The method for surface functionalization of single-walled carbon nanotubes with fuming nitric acid, *Carbon*, **49**, 2851-3856.
- [174] **Datsyuk, V., Kalyva, M., Papagelis, K., Parthenios, J., Tasis, D., Siokou, A., Kallitsis, I., Galiotis C.,** 2008, Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes, *Carbon*, **46**, 833-840.
- [175] **Okutan , E., Aydın , G.O., Hacivelioglu, F., Kılıç, A., Beyaz, S.a., Yeşilot, S.,** 2011, Synthesis and characterization of soluble multi-walled carbon nanotube/poly-(organophosphazene) composites, **52**, 1241-1248.
- [176] **Jeon, J-H., Lim, J-H., Kim, K-M.,** 2009, Fabrication of hybrid nanocomposites with polystyrene and multiwalled carbon nanotubes with well-defined polystyrene via multiple atom transfer radical polymerization, *Polymer*, **50**, 4488-4495.
- [177] **Chanmal, C., Deo, M., Jog, J.,** 2011, Enhanced dielectric permittivity in poly (vinylidene) fluoride/multiwalled carbon nanotubes nanocomposite thin films fabricated by pulsed laser deposition, *Appl. Surf. Sci*, **258**, 1256–1260.
- [178] **Gojny, F.H., Nastalczyk, J., Roslanic, Z., Schulte, K.,** 2003, *Chem. Phys. Lett*, **370**, 820–824.
- [179] **Wu, C-C., Su, C-C., Yang, C-F.,** 2015, Preparation, structure and properties of carbon nanotube reinforced polymer nanocomposites, *Synthetic Metals*, **205**, 98-105.

- [180] **Yang, C., Lin, Y., Nan, C.W.,** 2009, Modified carbon nanotube composites with high dielectric constant, low dielectric loss and large energy density, *Carbon*, **47**, 1096-1101.
- [181] **Li, Q., Xue, Q., Hao, L., Gao, X., Zheng, Q.,** 2008, Large dielectric constant of the chemically functionalized carbon nanotube/polymer composites, *Composites Science and Technology*, **68**, 2290-2296.
- [182] **Zhao, X., Sui, K., Wu, W., Liang, H., Li, Y., Wu, Z., Xia, Y.,** 2012, Synthesis and properties of amphiphilic block polymer functionalized multi-walled carbon nanotubes and nanocomposites, *Composites, Part A* **43**, 758-764,
- [183] **Zhang, Y., Xu, D., Xu, W., Wei, W., Guan, S., Jian, Z.,** 2014, Influence of the existence of a phthalocyanine phase on the dielectric properties of ternary composites: Carbon nanotubes/phthalocyanine/poly(vinylidene fluoride), *Composites Science and Technology*, **104**, 89-96.
- [184] **Yuen, S-M., Ma, C-CM., Chiang, C-L., Chang, J-A., Huang, S-W., Chen S-C., Chuang, C-Y., Yang, C-C., Wei, M-H.,** 2007, Silane-modified MWCNT/PMMA composites – Preparation, electrical resistivity, thermal conductivity and thermal stability, *Science Direct, Composites: Part A*,
- [185] **Ma, P.C, Kim, J-K., Tang, B. Z.,** 2007, Effects of silane functionalization on the properties of carbon nanotube/epoxy nanocomposites, *Science Direct Composites Science and Technology*, **67**, 2965–2972
- [186] **Lee, R-S., Chen, W-H., Lin, J-H.,** 2011, Polymer-grafted multi-walled carbon nanotubes through surface-initiated ring-opening polymerization and click reaction, *Polymer*, **52**, 2180-2188.
- [187] **Ma, P.C., Mo, S.Y., Tang, B.Z., Kim, J.K.,** 2010, *Carbon* **48**, 1824–1834.
- [188] **Jin, F.L., Rhee, K.Y., Park, S.J.,** 2011, Functionalization of multi-walled carbon nanotubes by epoxide ring-opening polymerization, *Journal of Solid State Chemistry*, **184**, 3253-3256.
- [189] **Du, B., Handge, U.A., Wambach, M., Abetz, C., Rangou, S.,** 2013, Functionalization of MWCNT with P(MMA-co-S) copolymers via ATRP: Influence on localization of MWCNT in SAN/PPE 40/60 blends and on rheological and dielectric properties of the composites, *Polymer*, **54**, 6165-6176
- [190] **Chang T.E., Kisliuk, A., Rhodes, S.M., Brittain, W.J., Sokolov, A.P.,** 2006, Conductivity and mechanical properties of well-dispersed single-wall carbon nanotube/polystyrene composite, *Polymer*, **47**, 7740-7746
- [191] **Wu, T.M., Lin, Y.W., Liao, C.S.,** 2005, Preparation and characterization of polyaniline/multi-walled carbon nanotube composites, *Carbon* **43**, 734–740
- [192] **Xu, GY., XIA, R., Wang, H., Meng, XC., Zhu, Q.,** 2008, Grafting of thermoresponsive polymer from the surface of functionalized multiwalled carbon

nanotubes via atom transfer radical polymerization, Chinese Science Bulletin, **53**, 2297-2306.

- [193] **Silvis et al.**, 1994. United States Patent 19, [11] Patent Number: 5,275,853 [45] Date of Patent Jan. 4. 1994.
- [194] **Kim, M., Hong J. Hong C.K, SHim S.E.**, 2008, Synthetic Metals, 62-68.
- [195] **Gunasekeran, S., Arita, B.**, 2008, Spectral investigation and normal coordinate analysis of piperazine, Indian Journal of pure and Applied physics, **46**, 833-838.
- [196] **Benaglia, M., Alberti, A., Giorgini, L., Magnoni, F., and Tozzi, S.**, 2013, Poly(glycidyl methacrylate): a highly versatile polymeric building block for post-polymerization modifications, Polym. Chem, **4**, 124-132.
- [197] **Hayek, A., Xu, Y., Okada, T., Barlow, S., Zhu, X., Hyuk, M., Marder, S.R., and Yang, S.**, 2008, Poly(glycidyl methacrylate)s with controlled molecular weights as low-shrinkage resins for 3D multibeam interference lithography, J. Mater. Chem, **18**, 3316-3318.
- [198] **Liang, S-j., Deng, J-p. and Yang, W-t.** 2010, Chinese Journal of Polymer Science **28(3)**, 323-330.
- [199] **Ayaz, N., Bezgin, F., Demirelli, K.**, 2012, Polymers Based on Methacrylate Bearing Coumarin Side Group: Synthesis via Free Radical Polymerization, Monomer Reactivity Ratios, Dielectric Behavior, and Thermal Stabilities, ISRN Polymer Science, **ID 352759**, 13 pages.

ÖZGEÇMİŞ

10.04.1977 yılında Elazığ'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansımı 2001 tarihinde tamamladım. 2004-2007 tarihleri arasında Elazığ Eti Krom AŞ.'de laboratuvar sorumluluğu yaptım. 2012 yılında doktora çalışmasına aynı enstitüde başladım.

Serpil YILMAZ

