

**POLİİNDEN/KAOLİN İLETKEN KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ,
KARAKTERİZASYONU VE ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çiğdem ERİŞTİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2006
ANKARA**

**POLİİNDEN/KAOLİN İLETKEN KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ,
KARAKTERİZASYONU VE ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çiğdem ERİŞTİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2006
ANKARA**

Çiğdem ERİŞTİ tarafından hazırlanan POLİİNDEN/KAOLİN İLETKEN
KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE ELEKTRO-
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi
olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, Jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak
kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Oya ŞANLI

Üye : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

Üye : Prof. Dr. Teoman TİNÇER

Üye : Prof. Dr. Mehmet SAÇAK

Üye : Prof. Dr. Mehlika PULAT

Tarih : 29/05/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına
uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Çigdem ERİŞTİ

**POLİİNDEN/KAOLİN İLETKEN KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ,
KARAKTERİZASYONU VE ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Çiğdem ERİŞTİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2006**

ÖZET

Bu çalışmada, kimyasal polimerleşme yöntemi ile poliinden ve poliinden/kaolin (PIN/kaolin) kompozitlerinin sentezi, karakterizasyonu ve bunlardan hazırlanan süspansiyonların ER özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirildi. Deneylerde dopant tuzu olarak $FeCl_3$ kullanıldı ve tuz/monomer oranı 3:1 olarak alındı. Önce poliinden sentezlendi ve %98 (m/m) verimle elde edildi. Daha sonra değişik oranlarda PIN içeren PIN/kaolin kompozitleri sentezlendi. Sentezlenen homopolimer ve kompozitler dört nokta tekniği, FTIR spektroskopisi, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel kalorimetre (DSC) analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve dinamik ışık saçılımı (DLS) yöntemleri ile karakterize edildi. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin yalıtkan silikon yağı içerisinde çeşitli derişimlerde ($c = \%5-25$ m/m) süspansiyonları hazırlandı ve süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine tanecik derişimi, kayma hızı, elektrik alan kuvveti, frekans ve sıcaklığın etkileri araştırıldı. Homopolimer ve kompozitlerin dielektrik özellikleri incelendi.

Bilim Kodu : 201
Anahtar kelimeler : Poliinden, polinden/kaolin, iletken kompozitler, elektoreolojik akışkanlar, kimyasal polimerleşme.
Sayfa Adedi : 97
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

**INVESTIGATION OF SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND
ELECTRORHEOLOGICAL PROPERTIES POLYINDENE/KAOLIN
CONDUCTING COMPOSITES**

(M. Sc. Thesis)

Çiğdem ERİŞTİ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

Mayıs 2006

ABSTRACT

In this study, synthesis, characterization and ER properties of polyindene (PIN) and polyindene/kaolin (PIN/kaolin) conducting composites were carried out by chemical polymerization. In the experiments, FeCl₃ was used as oxidizing agent and the ratio of salt:monomer was 3:1. First, polyindene was synthesized and obtained with 98% yield. Then, PIN/Kaolin composites containing different amount of PIN were synthesized. The homopolymer ve composites prepared were charecterized by four-probe technique, FTIR spectroscopy thermogravimetric (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analyses, scanning elektron microscopy (SEM) and dynamic light scattering (DLS) methods. Süspansions of PIN and PIN/kaolin composites were prepared in insulating silicone oil, at a series of concentrations (c = 5-25 %, wt/wt). The effects of concentration, shear rate, electric field strenght, frequency and temperature onto ER activities of süspansions were investigated. The dielectric properties of homopolymer and composites were determined.

Science Code : 201

Key Words : Polyindene, polyindene/kaolin conducting composites, electroneological fluids, chemical polymerization.

Page Number : 97

Supervisor : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocam Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Hocam Sayın Doç. Dr. Bekir SARI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca reolojik çalışmalarımda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Haşim YILMAZ'a numunelerin öğütme işlemlerinde Doç. Dr. Halil ARIK'a, tanecik boyutu ölçümlerinde Yrd. Doç. Dr. İbrahim USLAN'A, DPT 2001 K120590 nolu proje kapsamında yapılan DSC ve TGA analizlerinde yardımlarından dolayı Doç. Dr. Metin GÜRÜ ve Arş. Gör. Çetin Çakan YILDIRIM'a, çalışmalarımda gerekli analizler için yardımlarından dolayı kimya bölümü uzmanlarına ve kimya bölümüne teşekkür ederim.

Özellikle hayatım boyunca bana en büyük desteği sağlayan aileme ve bu çalışma boyunca bana destek olan çok kıymetli arkadaşlarım Hatice KANBUR'a ve Aylin ÖZGÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Tarihçe.....	3
2.2. Polimerlerde İletkenlik.....	3
2.3. İletken Polimer Hazırlanmasında Doping İşlemi.....	6
2.3.1. Soliton, polaron ve bipolaron yapıları.....	9
2.3.2. Atlama (hopping) olayı	11
2.4. İletken Polimerlerin Sentez Yöntemleri.....	11
2.5. İletken Polimerlerin Kullanım Alanları	12
2.6. Elektroeolojik Akışkanlar.....	13
2.6.1. ER etkinin tarihsel gelişimi.....	13
2.7. ER Materyaller.....	15
2.7.1. Sıvı sürekli faz.....	17
2.7.2. Dağılan faz.....	17

Sayfa

2.7.3. Promoter.....	19
2.8. ER Aktivlik Üzerine Etki Eden Faktörler.....	20
2.8.1. Elektrik alan kuvveti.....	20
2.8.2. Elektrik alan frekansı.....	21
2.8.3. Tanecik iletkenliği.....	21
2.8.4. Tanecik dielektrik özelliği.....	21
2.8.5. Tanecik hacim kesri.....	22
2.8.6. Sıcaklık.....	23
2.8.7. Promoter.....	24
2.8.8. Koloidal kararlılık.....	25
2.9. ER Akışkanların Potansiyel Uygulama Alanları.....	25
2.9.1. ER akışkanlı titreşim sönümleyiciler.....	26
2.9.2. Debriyaj ve fren sistemlerinde.....	27
2.9.3. ER akışkanlı valfler.....	28
2.9.4. ER akışkanlara dayanan programlanabilir yüzeyler.....	28
2.9.5. Robotlarda ve yapay organlarda.....	29
3. MATERYAL VE METOT.....	31
3.1. Kullanılan Kimyasallar.....	31
3.2. Kullanılan Cihazlar.....	31
3.3. Homopolimer Sentezi.....	32
3.4. PIN/Kaolin kompozitlerinin sentezi.....	33
3.4.1. PIN/kaolin kompozinin sentezi (kütlece %22 PIN).....	33

Sayfa

3.4.2. PIN/kaolin kompozinin sentezi (kütlece %37 PIN).....	33
3.4.3. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (kütlece %53 PIN)... ..	34
3.4.4. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (kütlece %75 PIN).....	34
3.4.5. PIN/ kaolin kompozitinin sentezi (kütlece % 85 PIN)... ..	34
3.5. Dört Nokta İletkenlik Ölçer (Four Probe) ve İletkenlik Ölçümü.....	35
3.6. Fourier Transorform İnfrared Spektroskopisi (FTIR).....	35
3.7. Termal Analiz Ölçümleri.....	35
3.8. Elektron Mikroskobu Çalışmaları.....	36
3.9. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri Tayini.....	36
3.10. Tanecik Boyutu Ölçümleri.....	37
3.11. Süspansiyon Hazırlanması.....	37
3.12. Elektroeometre İle Yapılan Ölçümler.....	37
3.13. Çözünürlük Testi.....	37
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	
4.1. PIN'in Polimerleşme Mekanizması	39
4.2. Poliinden ve PIN/kaolin Kompozitlerinin Verim ve Dielektrik Özelliklerinin Sonuçları.....	41
4.2.1. Poliinden'in verim ve dielektrik özelliklerinin sonuçları... ..	41
4.2.2. PIN/kaolin kompozitlerinin verim ve dielektrik özelliklerinin sonuçları	42
4.3. FTIR Analizi	44
4.3.1. Poliinden'in FTIR analizi sonuçları.....	44
4.3.2. PIN/kaolin kompozitlerinin FTIR analiz sonuçları	46
4.4. Termal Analiz.....	48

Sayfa

4.4.1. PIN'in termal analiz	48
4.4.2. PIN/kaolin kompozitlerinin termal analizi	52
4.5. Poliinden ve PIN/ kaolin Kompozitlerinin Tanecik Büyüklüğü Tayini.....	65
4.6. PIN ve PIN/kaolin Kompozitlerinin Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	66
4.7. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler... ..	70
4.7.1. ER aktivite üzerine süspansiyon derişiminin etkisi.....	70
4.7.2. ER aktivite üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi	71
4.7.3. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	76
4.7.4. Kayma geriliminin derişim ile değişimi.....	81
4.7.5. ER aktivitenin kayma hızı ile değişimi.....	83
4.7.6. Elektoreolojik aktiviteye sıcaklığın etkisi.....	84
4.7.7. Elektoreolojik aktiviteye frekans etkisi.....	85
4.7.8. Viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	85
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİş.....	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Doping yapılmış bazı konjige polimerlerin yapıları ve iletkenlikleri.....	8
Çizelge 2.2. Organik ve polimerik ER akışkanlar.....	18
Çizelge 3.1. İnden, Poliinden ve PIN/kaolin kompozitlerinin çözünürlükleri.....	39
Çizelge 4.1. Poliinden'in iletkenlik ve dielektrik sabiti sonuçları	41
Çizelge 4.2. PIN/kaolin kompozitlerinin iletkenlik ve dielektrik sabiti sonuçları.....	43
Çizelge 4.3. PIN'in termogravimetrik analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.4. PIN/kaolin kompozitlerinin termogravimetrik analiz sonuçları.....	53
Çizelge 4.5 PIN/kaolin kompozitlerinin diferansiyel taramalı kalorimetre analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.6. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin değirmende öğütme süreleri ve tanecik büyüklüğü dağılımı.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İletkenlik cetveli.....	5
Şekil 2.2. (a) Zincir üzerinde yükün taşınması (b) Zincirler arasında yükün taşınması (c) partiküller arasında yük taşınması... ..	11
Şekil 2.3. ER akışkanların ağaç diyagramı ve sınıflandırılması.....	16
Şekil 2.4. Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi	20
Şekil 4.1. PIN'in Polimerleşme Mekanizması.....	40
Şekil 4.2. (a) Inden'in FTIR spektrumu (b) PIN'in FTIR spektrumu.....	45
Şekil 4.3. (a) Inden'in FTIR spektrumu (b) %75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin FTIR spektrumu (c) PIN'in FTIR spektrumu.....	47
Şekil 4.4. PIN'in TGA eğrisi.....	49
Şekil 4.5. PIN'in DSC eğrisi.....	51
Şekil 4.6. %22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi.....	54
Şekil 4.7. %37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi.....	55
Şekil 4.8. %53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi.....	56
Şekil 4.9. %75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi.....	57
Şekil 4.10. %85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi... ..	58
Şekil 4.11. %22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi... ..	60
Şekil 4.12. %37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi... ..	61
Şekil 4.13. %53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi... ..	62
Şekil 4.14. %75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi... ..	63
Şekil 4.15. %85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi... ..	64

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin-silikon yağı sisteminde viskozitesinin derişim ile değişimi $E=2 \text{ Kv/mm}$, $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$..	71
Şekil 4.17. PIN/silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	73
Şekil 4.18. %22 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	73
Şekil 4.19. %37 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	74
Şekil 4.20. %53 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	74
Şekil 4.21. %75 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	75
Şekil 4.22. %85 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	75
Şekil 4.23. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$, $c=\%15(\text{m/m})$	76
Şekil 4.24. PIN/silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	78
Şekil 4.25. %22 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	78
Şekil 4.26. %37 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1 \text{ s}^{-1}$, $T=25^0\text{C}$	79

Şekil	Sayfa
Şekil 4.27. %53 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1s^{-1}$, $T=25^0C$	79
Şekil 4.28. %75 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1s^{-1}$, $T=25^0C$	80
Şekil 4.29. %85 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1s^{-1}$, $T=25^0C$	80
Şekil 4.30. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde viskozitesinin elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1s^{-1}$, $T=25^0C$, $c=\%25(m/m)$	81
Şekil 4.31. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde viskozitesinin elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\gamma=1s^{-1}$, $T=25^0C$, $E=2kV/mm$	82
Şekil 4.32. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin/silikon yağı sisteminde kayma geriliminin kayma hızıyla değişimi $E=3kV/mm$, $T=25^0C$, $c=\%20(m/m)$	83
Şekil 4.33. PIN ve PIN/kaolin – silikon yağı sisteminde kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi $E=2kV/mm$, $c=\%25(m/m)$, $\gamma=1s^{-1}$	85
Şekil 4.34. PIN ve PIN/kaolin – silikon yağı sisteminde dinamik modülün frekansla değişimi $E = 2kV/mm$, $c = \%25(m/m)$, $\dot{\gamma} = 1s^{-1}$	86
Şekil 4.35. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin/silikon yağı sisteminde viskozitenin kayma hızıyla değişimi $E = 3 kV/mm$, $T = 25^0C$, $c = \%25(m/m)$	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Bir ER akışkanın mikroskop altında oluşan fiziksel değişikliklerinin şematik gösterilişi.....	14
Resim 4.1. PIN'in SEM fotoğrafı (1500x).....	67
Resim 4.2. % 22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x).....	67
Resim 4.3. % 37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x).....	68
Resim 4.4. % 53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x).....	68
Resim 4.5. % 75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)...	69
Resim 4.6. % 85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)...	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Aşağıda bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları birlikte verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
σ	İletkenlik
T	Sıcaklık
μ_i	Taşıyıcının Mobilitesi
ε	Taşıyıcı üzerindeki yük
n_i	Taşıyıcı türlerin sayısı
μ_e	Etkin Magnetik moment
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
T_b	Başlangıç bozunma sıcaklığı
T_m	Maksimum bozunma sıcaklığı
T_s	Bozunmanın tamamlandığı sıcaklık
$T_{d(1/2)}$	Yarı ömür sıcaklığı
V	Potansiyel
Pas	Viskozite birimi
r	Tanecik yarıçapı
ε'	Dielektrik sabiti
γ	Kayma hızı
η	Viskozite
F	Frekans
η_s	Süspansiyon viskozitesi
ρ	Tanecikler arası mesafe
τ	Kayma gerilimi
c	Derişim

Kısaltmalar**Açıklama****Ac**

Alternatif akım

Dc

Doğru akım

DSC

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

DLS

Dinamik Işık saçılımı

ER

Elektroreoloji

FTIR

Fourier Transform Infrared Spektrometrisi

PAn

Polianilin

PIN

Poliinden

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TGA

Termogravimetrik Analiz

1. GİRİŞ

Son yıllarda bilim ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte polimerlerin kullanım alanları artmıştır. Bu yüzden bilim adamları, polimerlerin kullanım alanlarının yaygınlaştırılması mekanik, ısısal, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapmayı amaçlamışlardır. Polimerlerin zayıf olan mekanik, fiziksel özelliklerini ve iletkenliklerini daha iyi duruma getirmek için iletken polimer adı altında yeni bir çalışma alanı geliştirmişlerdir. Bu amaçla konjuge π bağlarına sahip olan pirol, tiyofen, anilin, inden, indol, p-fenilen gibi monomerlerden uygun koşullarda polimerler sentezlenmiştir.

İletken polimerlerin pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Şarj olabilen pil yapımında [1] sensörlerin yapımında [2,3] diyot, transistör ve kapasitör yapımında [4] iyon seçici elektrot yapımında [5] foto elektrokimyasal hücrelerde [6] biyokimyasal analizde [7] elektroeolojik (ER) çalışmalarda [8,9] kullanımı çok yaygındır.

İletken polimerlerin μm boyutuna düşürülerek yalıtkan sıvı ortama ilave edilmesiyle ER akışkanlar oluşturulur. 1985 yılından önce ER akışkanların aktivite gösterebilmeleri için çok az miktarda su gibi polar sıvılara ihtiyaç gösterirdi. Bu polar maddeler ER akışkanların aktivitesini artırmakla birlikte potansiyel uygulamalarında birçok güçlükler ortaya çıkarmaktaydı. 1985 yılında Block ve Kelly iletken polimerlerin su ilavesi olmaksızın ER aktivite gösterebileceğini belirtmişler ve bunları kuru ER aktif maddeler olarak isimlendirmişlerdir [10]. Kuru ER aktif maddeler olarak politiyofen, polianilin, poliasetekinon, poli(p-fenilen), poliakrilonitril, polimetakrilik asit gibi maddeler kullanılır.

Bu çalışmada; kimyasal polimerleşme ile PIN ve farklı oranlarda PIN ve kaolin içeren PIN/kaolin kompozitleri sentezlendi, çeşitli yöntemler ile karakterize edildi ve bunların silikon yağında (SO) hazırlanan süspansiyonlarının ER özellikleri incelendi. Homopolimer ve kompozitlerin sentezinde yükseltgen tuz olarak FeCl_3 kullanıldı. Sentezlenen homopolimer ve kompozitler FTIR, TGA, DSC ve SEM ölçümleri ile karakterize edildi. Bu homopolimer ve kompozitlerin tanecik büyüklüğü dinamik ışık

saçılımı (DLS) yöntemi ile tespit edildi ve silikon yağ içerisinde bir seri derişimde ($c = \%5-25$) süspansiyonlar hazırlandı. Süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine elektrik alan kuvveti, kayma gerilimi, derişim, kayma hızı, sıcaklık ve frekans etkileri incelendi. Taneciklerin dielektrik özellikleri belirlendi.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tarihçe

Bu konudaki ilk çalışmalar 1835 yılında polianilinin (PAN) elektrokimyasal sentezi ile başladı ve PAN için anilin siyahı terimi kullanıldı. 1862 yılında Letheby anilinin elektrokimyasal yöntemle sülfürik asit çözeltisinde yükseltgendiğini ve Pt elektrotlarda birikerek oluştuğunu belirtmiştir. Daha sonra araştırmacılar 1968 yılında, polianilinin yükseltgenme vasıtasıyla elektrokimyasal yöntemle sentezlenmesine yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir [11].

1977 yılında Amerikalı bilim adamları tarafından poliasetilenin sentezlenmesi ve metalik yapıdaki iletkenliğinin keşfedilmesiyle iletken polimer terimi ortaya atılmıştır. Poliasetilenin iyot ile hazırlanan tuzunun yüksek iletkenlik göstermesinin keşfedilmesinden sonra bilim adamları iletken polimerler sentezlenmesi, iletken polimerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi konularında yoğunlaşmışlardır [12].

2. 2. Polimerlerde İletkenlik

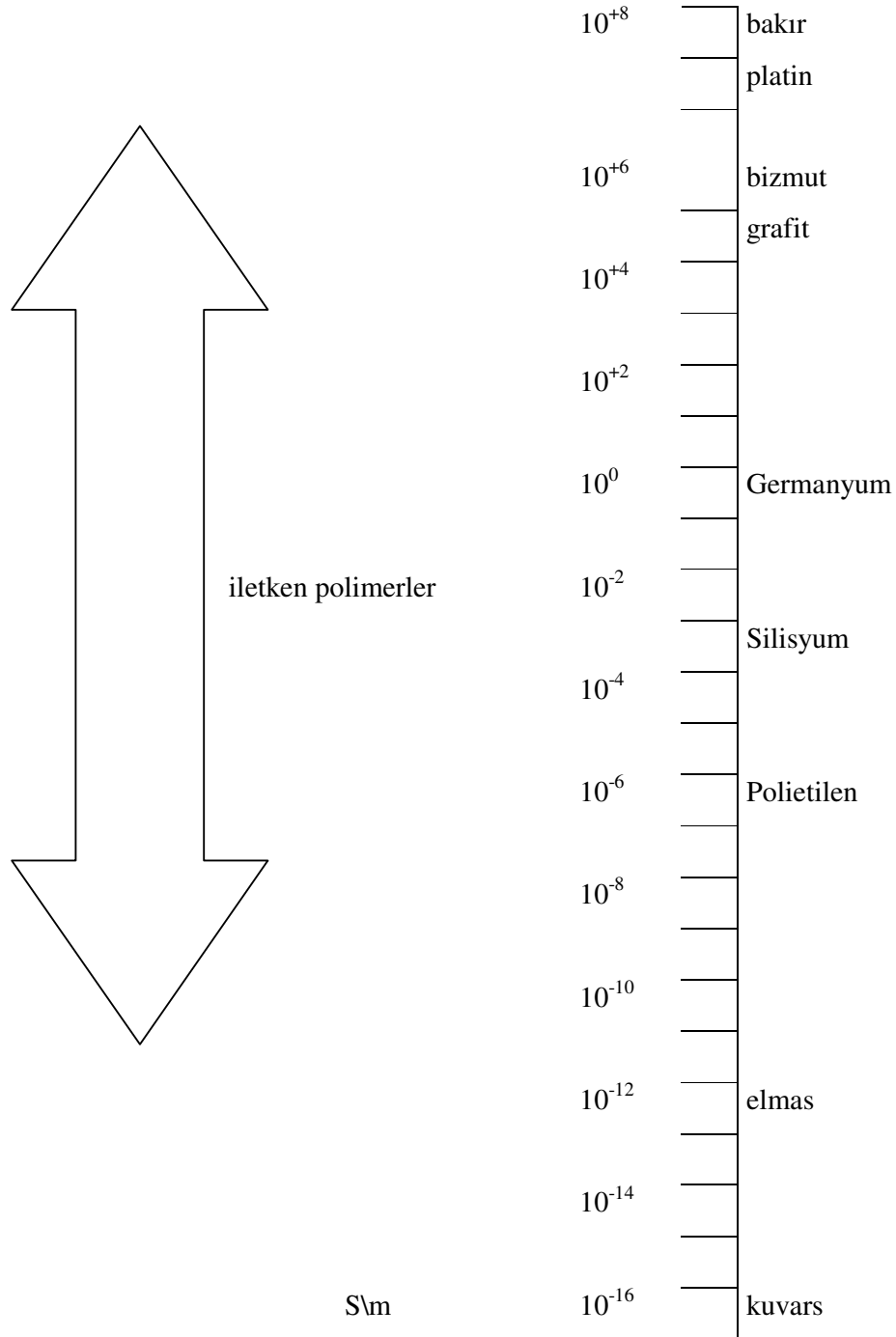
Elektriksel iletkenliğin olabilmesi için elektronların serbestçe hareket etmeleri gerekir. Atomik bağ sistemine sahip olan katılarda elektronlar belirli enerji bandlarında hareket ederler. Her enerji bandının kendine özgü elektron alabilme yeteneği vardır. Elektronların ise bir enerji bandında bulunabilmeleri için belli bir enerjiye sahip olmaları gerekir.

Elektriksel iletkenliğin olabilmesi için dolu ve boş bandların birbirine yakın olması gerekir. Eğer bir maddede enerji bandlarından biri elektronlarla tamamen dolu ve kendisinden sonra gelen boş enerji bandı ile arasındaki enerji farkı büyükse madde yalıtıcıdır.

Metallerde bu iki bandın üst üste gelmesi ve elektronların kolayca hareket etmesiyle iletkenlik sağlanmış olur. Bazı polimerler metallerle yalıtkanlar arasında bir iletkenliğe sahiptir. Bu polimerlere iletken polimer denir. İletken polimer sentezinde π elektronun dağılımı önemli rol oynar. Konjuge π bağlarına sahip olan molekülde π bağı elektronlarının etkileşmesiyle elektron delokalizasyonu sağlanabilir ve uzun konjuge molekül iletken hale geçebilir [13].

Polikanjuge polimerler normal halde polimer zincirindeki atomların kovalent bağlarla bağlı olmasından dolayı yalıtkandırlar. Ancak yükseltgen veya indirgen bir madde ile muamele edilerek tuzları hazırlandığında metallerle yarışabilecek düzeyde iletken polimer elde edilebilir [14].

Polikongujuge polimerlerin çoğunda iletkenlik $1,0 \times 10^{-5} \text{ Sm}^{-1}$ - $1,0 \times 10^4 \text{ Sm}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Şekil 2.1’de iletkenlik cetvelinde çeşitli maddelerle birlikte iletken polimerlerin iletkenlik aralığı gösterilmiştir [15].



Şekil 2.1. İletkenlik cetveli

Yukarıya doğru metal karakteri artar

Yarı iletkenler ve konjuge polimerler için elektriksel iletkenlik akımın; zamana, sıcaklığa, dış atmosfere ve potansiyele bağlı bir fonksiyonu olarak verilir. Elektriksel iletkenlik sıcaklıkla değişmektedir. Bu da Arrhenius tipinde bir eşitlikle verilir.

$$\sigma = \sigma_o e^{-E_a/kT} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte; σ : Elektriksel iletkenlik (Scm^{-1}), σ_o : sabit, E_a : Aktifleşme enerjisi olup bu enerjideki değişiklikler polimerde genellikle camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) civarında gözlenir. k : Boltzmann sabiti, T : Mutlak sıcaklıktır.

Elektriksel iletkenlik (σ), aynı zamanda yük taşıyıcı türlerin sayısı (n_i), her bir taşıyıcı üzerindeki yük (ε_i) ve taşıyıcının mobilitesi (μ_i) ile doğru orantılıdır.

Bu ifade de;

$$\sigma = \sum \mu_i n_i \varepsilon_i \quad (2.2)$$

ile verilir.

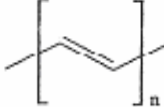
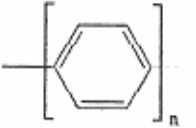
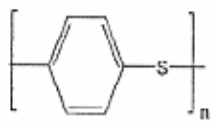
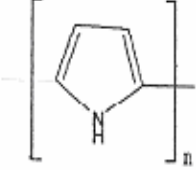
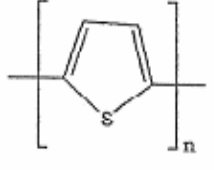
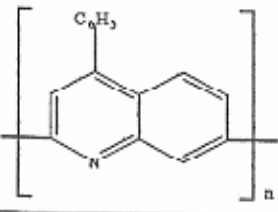
2.3. İletken Polimer Hazırlanmasında Doping İşlemi

Polimerlerin elektronik yapısı, yalıtkan ya da yarı iletken özellik gösterir. Polimerlerde doping yöntemiyle $1,0 \times 10^{-8} \text{ Sm}^{-1}$ - $1,0 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ aralığında iletkenliğe sahip olan yalıtkan yada yarı iletken polimerlerin $1,0 \times 10^2 \text{ Sm}^{-1}$ - $1,0 \times 10^6 \text{ Sm}^{-1}$ aralığında iletkenliğe sahip olması sağlanmaktadır. Doping işlemi, iletken polimer hazırlamak için konjuge π bağlarına sahip olan polimerleri uygun bir reaktif ile indirmek ya da yükseltmek ile gerçekleştirilir.

Doping işlemiyle iletkenliğin sağlanması şu şekilde açıklanabilir. Konjuge polimerlerde değerlik kabuğundaki elektronlar ya yükseltgen bir reaktif ile

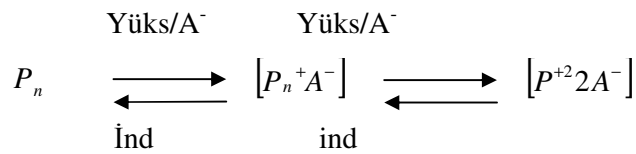
koparılabilir ve değerlik kabuğu pozitif hale gelir veya indirgen bir reaktif ile boş iletkenlik bandına bir elektron verilebilir. Bu işlemler yükseltgenmeye karşılık olmak üzere p-türü doping, indirgemeye karşılık olmak üzere n-türü doping olarak isimlendirilir [16]. Çizelgede 2.1’de çeşitli kimyasal maddelerle doping edilmiş bazı iletken polimerlerin iletkenlik değerleri verilmiştir [17].

Çizelge 2.1. Doping yapılmış bazı konjige polimerlerin yapıları ve iletkenlikleri

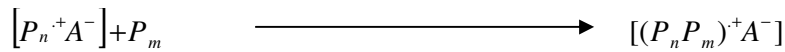
Polimer	Yapısı	Doping Yöntemi	İletkenliği ($S\text{ cm}^{-1}$)
Poliasetilen		Kimyasal Elektrokimyasal (AsF_5 , I_2 , Li , K)	$500-1,5 \times 10^5$
Poli (p-fenilen)		Kimyasal (AsF_5 , Li , K)	500
Poli (p-fenilen sülfür)		Kimyasal (AsF_5)	1
Polipirol		Elektrokimyasal	600
Politiyofen		Elektrokimyasal	100
Poli(fenil-kinolin)		Elektrokimyasal Kimyasal (Sodyum nafalür)	50

2.3.1. Soliton, polaron ve bipolaron yapıları

Bir polimerin doping edilmesi, polimerin uygun bir reaktif kullanarak tuzunun hazırlanması ile veya elektrokimyasal yöntemle potansiyel uygulanarak katyon ve anyonlarını oluşturma yoluyla olur. Yükseltgenme tepkimesi genellikle şu şekilde gösterilebilir [15].



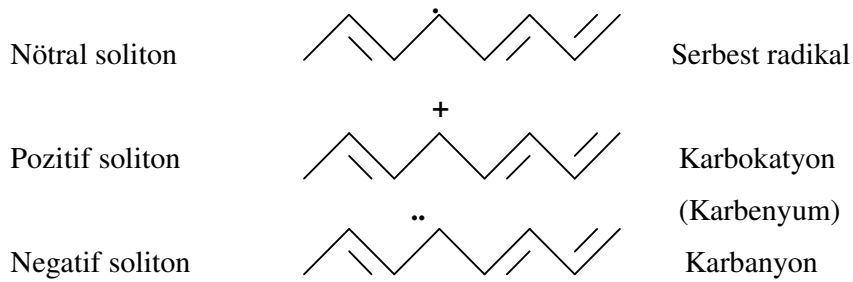
Burada P_n : Polimer zincirinin bir kısmını, P_m : Polimeri gösterir. Buna göre; ilk basamak polaron veya soliton olarak adlandırılan bir anyon ve katyon radikali oluşumunu, ikinci basamak ise, ikinci elektron transferinin gerçekleştiği bir dikatyon ve dianyonun olduğu bipolaron oluşumudur. Ayrıca ilk indirgeme tepkimesinden sonra polimerin yüklü ve nötral kısımları arasında yük transfer kompleksleri oluşabilir.



Soliton, polaron ve bipolaron yapılarını kısaca şöyle özetleyebiliriz. İletkenlik doping yapma yolu ile artırılabilir. AsF_5 , Br_2 , I_2 veya $HClO_4$ gibi p-doping maddelerini kontrollü ilave etmek suretiyle yapıdan bir elektron koparılır ve pozitif soliton veya nötral bir soliton oluşturulur. Benzer şekilde negatif soliton da, polimeri verici bir molekül ile veya n-doping maddesi ile muamele edilerek orta seviyedeki enerji boşluklarına bir elektron ilave edilmesi ile oluşur ve oluşan soliton yapıları

içinde farklı monomer birimler üzerindeki yük dağılımı karbenyum (karbokasyon) kararlı kılar.

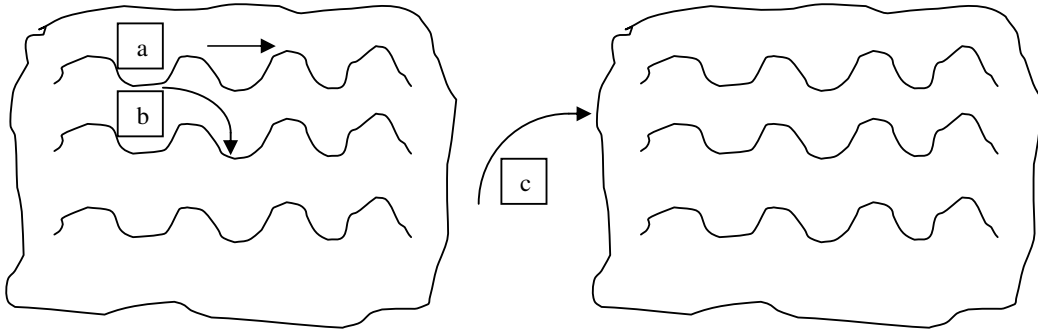
Yüksek doping oranlarında soliton bölgeleri üst üste binme ve yeni orta enerji bandları oluşturma eğilimindedirler. Bu yeni enerji bandları ile birleşerek yük odacıkları oluştururlar ve oldukça fazla bir elektron akışına izin verirler.



Band modeline göre iletkenlik, bir yük taşıyıcının çok sayıda yük odacığı boyunca yol alması ve herhangi bir yük odacığında kalma süresinin az olması ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte bir yük taşıyıcı engellenebilir ve yeni bir denge oluşturmak ve polarize olmak için belirli bir noktaya ilerleyebilir. Solitonların aksine polaronlar ilk enerji engeli aşılmadıkça hareket edemezler. Bu sebeple atlama (hopping) hareketi yapabilirler. Bu durumda izole edilmiş bir yük taşıyıcı polaronlar oluşturur. Bu yüklerin bir çiftine bipolaron denilir. Bipolaronlar iki radikalın birleşerek yeni bir π bağı oluşturmaları ile meydana gelirler. Polaronlara göre bipolaronlar daha kararlı yapı oluştururlar.

2.3.2. Atlama (hopping) olayı

Son yıllarda iletken polimerlerde iletkenliğin yalnızca uzun konjuge zincirler sayesinde oluşmadığı, fakat polimer zincirinde elektronik yükün hareketini açıklayan başka bir faktörün rol oynadığı belirlenmiştir. Bu olaya atlama (hopping) denilmektedir [18].



Şekil 2.2. a) Zincir üzerinde yükün taşınması b) Zincirler arasında yükün taşınması c) Partiküller arasında yük taşınması

2.4. İletken Polimerlerin Sentez Yöntemleri

İletken polimerler, kimyasal polimerleşme, elektrokimyasal polimerleşme, kimyasal ve elektrokimyasal polimerleşme, fotokimyasal polimerleşme, polimer-metal kompleksleri (koordinasyon polimerleri), metatez (çifte bozunma) polimerleşmesi, emülsiyon polimerleşme, piroliz gibi teknikler kullanılarak sentezlenebilir.

İletken polimer sentezinde genellikle kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle iletken kompozit, kopolimer ve blend hazırlanması kullanılmaktadır. İletken bir kopolimerde iki monomer bir arada polimerleştirilir [1]. İletken kompozit elde etmek için yalıtkan bir polimer içinde iletken monomer uygun koşullarda polimerleştirilir

[19]. İletken blend hazırlamak için ise yalıtkan polimer ile iletken polimerin çeşitli yöntemlerle karıştırılması sağlanır [20].

Kimyasal yöntemle iletken polimer sentezinde, monomer uygun bir çözücüde çözülüp, bir yükseltgen, indirgen madde ve katalizör kullanılarak polimerleştirilir. Yükseltgen ve indirgen madde olarak genellikle bir asit, baz ve tuz kullanılır. Bu yöntemin avantajı; istenilen miktarda ve ucuz maliyetle ürün elde edilebilmesidir. Dezavantajı ise yükseltgenme basamağını kontrol edememek ve elde edilen ürünün safsızlık içermesidir.

Elektrokimyasal yöntemle iletken polimer sentezinde ise, polimerleşme çözeltide veya elektrot üzerinde monomerin indirgenmesi veya yükseltgenmesi ile oluşan anyon, katyon ve radikal oluşumuna göre anyonik, katyonik veya radikalik olarak gerçekleşir.

2.5. İletken Polimerlerin Kullanım Alanları

İletken polimerler son 20 yıldır pek çok alanda kullanılmalarından dolayı oldukça çok çalışılmaktadır. İletken polimerlerin bazı endüstriyel uygulama alanları şunlardır:

- Şarj olabilen pil yapımında
- Diyot, transistör ve kapasitör yapımında
- pH sensörlerinde
- Gaz sensörlerinde
- Biyosensörlerde
- Fotoelektrokimyasal hücrelerde
- Elektrokromik aletlerde
- Korozyon inhibitörü olarak
- Elektroeolojik çalışmalarda

2.6. Elektoreolojik Akışkanlar

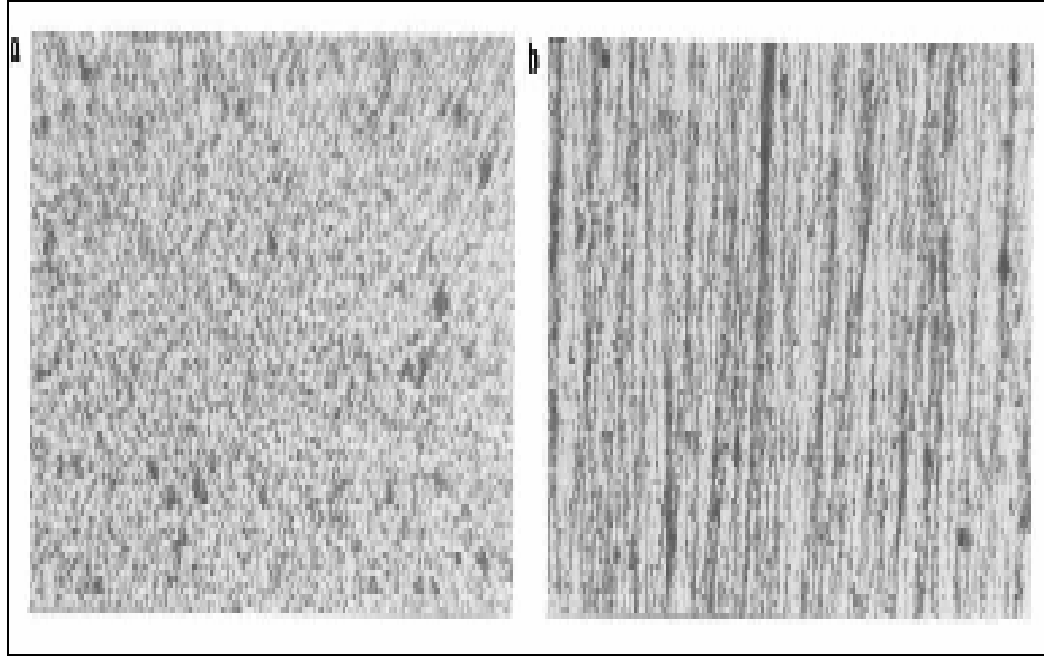
İletken polimerlerin, tanecik boyutları μm boyutuna düşürülerek yalıtkan yağlar içerisinde hazırlanan süspansiyonları ER çalışmalarında kullanılmaktadır.

Elektoreolojik akışkanlar, yarı iletken sıvı materyallerin ya da yarı iletken parçacıkların yalıtkan ortama ilave edilmesiyle oluşturulan süspansiyonlardır [21]. ER akışkan olarak zeolitler, akrilat türü polimerler, silikatlar ve titanat tuzları gibi maddeler kullanılmıştır. Bu karışımların dispersiyon ortamı olarak silikon yağı, madeni yağ, parafin yağı ve çeşitli halojenli hidrokarbonlar gibi yalıtkan yağlar kullanılmıştır.

ER akışkanlar günümüzde smart materyaller gibi kullanılmaktadır. ER akışkanlara dış elektrik alan kuvveti uygulanmasıyla reolojik özellikleri (viskozite, kayma modülü, gerilim v.b.) şiddetli ve tersinir olarak değişme göstermektedir. Bu uyumlu reolojik özelliklerinden dolayı çok geniş potansiyel uygulama alanları bulunmaktadır. ER akışkanların potansiyel uygulama alanları içerisinde en yaygın kullanım alanı ise titreşim sönümleyici sistemlerdir [22].

2.6.1. ER etkinin tarihsel gelişimi

ER olayı sıvı dispersiyonların üzerine elektrik alan etkisiyle ilgilidir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı direncini ya da sıvının katımsı bir hal alması şeklinde kendisini gösterir. ER akışkanlar, elektrik alan uygulanmadan Newtonian ya da yalancı (pseudo) akış özelliği gösterir. Elektrik alan uygulandığı zaman ise düşük viskoziteli Newtonian akış özelliği yüksek viskoziteli non-Newtonian akış özelliğiyle değişir [23]. ER akışkanlar dış elektrik alan uygulanmasıyla yüksek viskozite ve yüksek elektrik alan gerilimi sergilerler ve milisaniye içerisinde sıvı halden katı hale hızlı bir şekilde geçerler. Elektrik alan uygulanmasıyla viskozite ve alan gerilimi tersinir olarak değişir. Bu değişme, elektrik alan uygulandığında taneciklerin elektrik alan etkisiyle polarlanması ve polarize olmuş parçacıkların etkileşip zincirli ya da lifli yapılar oluşturmasındandır [24].



Şekil 2.3. Bir ER akışkanın mikroskop altında oluşan fiziksel değişiklerinin şematik gösterilişi. (a) elektrik alan uygulanmadan önce (b) elektrik alan uygulamadan sonraki ER tanecikler

Elektrokimyasal aletlerin içerisinde ER akışkanların potansiyel kullanımları hem pratik akışkanların hem de ER etki mekanizmasının araştırılmasına bağlı olmaktadır. ER olayını açıklamak için lifli yapı, elektriksel çift katman, Maxwell-Wagner Sillors arayüzey polimerizasyonu ve parçacık polimerizasyonu gibi bazı modeller önerildi [25].

ER akışkanlar ilk defa M. Winslow tarafından 1940 yıllarında çalışıldı. M. Winslow yaklaşık 8 yıllık gözlemlerinin sonunda bir ER akışkan ile ilgili ilk patent aldığıında araştırmacılar ER olguyla ilgilenmeye başladılar [26]. Mısır yağına yedirilmiş mısır nişastası kadar basit bir şeyin bile ER akışkan için iyi bir örnek oluşturduğu kısa sürede öğrenildi. Bu yiyecek tarifi milimetre başına bin voltluk güçlü bir alan etkisindeki ER olguya iyi bir örnek oluşturur. Örneğin akışkan birbirinden bir milimetre uzaklıktaki iki metal plaka arasına yerleştikten sonra elektrotlara bin volt yüklenerek bu etki yaratılabilir. Bu gerilim çok yüksek görünmekle birlikte ihtiyaç duyulan güç aslında azdır. Çünkü akışkan yalıtkan olduğundan, içinde kayda değer

ölçüde elektrik akımı geçmektedir. Bu nedenle binlerce voltluk statik elektriğin insan yüzeyinde toplanabilmesi gibi plakalar üzerindeki yük de hızla yüksek bir gerilim oluşturur. Winslow'un buluşu, bu patentli akışkan büyük heyecan yaratmış ve ER akışkanın geleceği için parlak görülmüştür. ER akışkanların potansiyel uygulamaları olarak da debriyajları ve subablarını göstermiştir.

1980 yıllarının sonlarında Block ve Filisko, susuz organik yarı iletken parçacıklardan oluşan süspansiyonlar geliştirmişlerdir. Bu yıllarda ER akışkanlar potansiyel uygulama alanları açısından çoğu araştırmacıların oldukça ilgisini çekmiştir. ER teknolojisi birçok endüstriyel alanda ve özellikle otomotiv sanayinde yeni bir dönüm noktası oluşturmuştur.

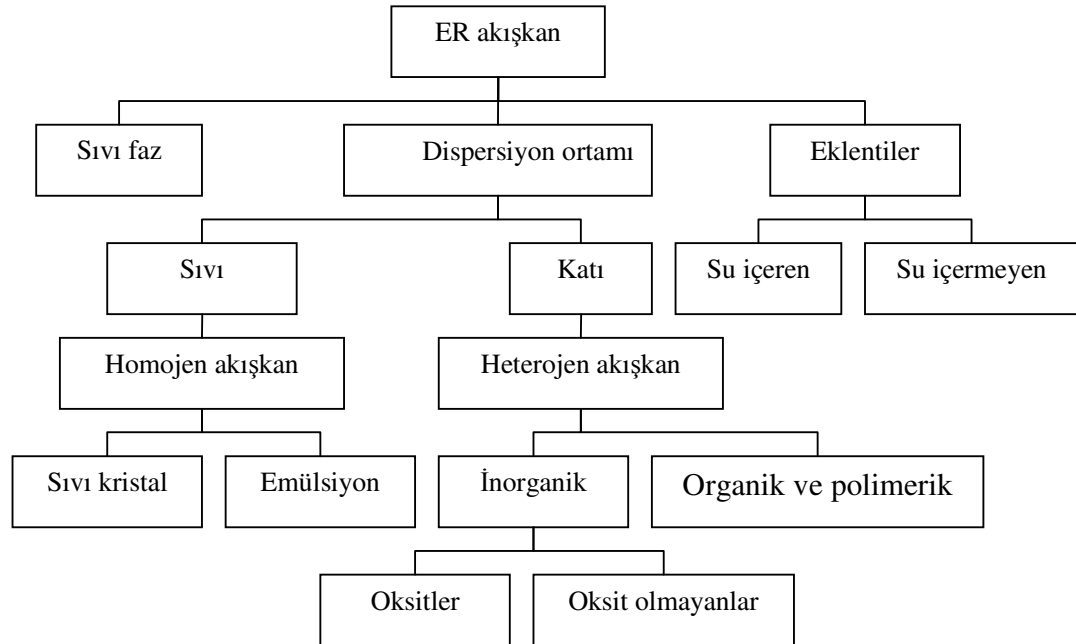
2.7. ER Materyaller

ER akışkanlar, düşük dielektrik sabitindeki yalıtkan yağların içerisindeki yüksek dielektrik sabitindeki parçacıkların dispers edilmesinden meydana gelirler [27]. ER akışkanlar iki şekilde sınıflandırılabilirler. Bunlardan birincisi susuz ER akışkanları ikincisi ise su içeren ER akışkanlarıdır. Su içeren ER akışkanlarda silika jel, nişasta, selüloz gibi katı parçacıklardan oluşturulur. Susuz ER akışkanlar ise $BaTiO_3$, zeolit, aluminasilikat, polianilin, poli(p-fenilen) ve poliakrilonitril gibi yarı iletken polimerlerden oluşturulur [28].

1985'ten önce bütün ER akışkanların ER etki gösterebilmeleri için parçacıkların yüzeyine küçük miktarda su ya da polar sıvılar absorplaması gerektiği düşünülüyordu. Su ve polar sıvıların elektrik alan altında ER etkiyi oluşturmada yük taşıyıcı görevi görerek ara yüzeyi polarizasyonuna neden oldukları ve parçacıkların yüzeyinde hareketli yük taşıyıcıları oluşturdukları düşünülüyordu. Şöyle ki ER akışkanın ER aktivite göstermesinin temel olarak parçacığın yapısında çok su içeriğine bağlı olduğu düşünülüyordu. Bu sistemin dezavantajı ise yüksek sıcaklıklarda su buharlaştığı için yüksek akım yoğunluğu ile suyun iletkenliği artarak cihazların aşınmasına neden oluyordu. 1985 yılında Block ve Kelly susuz ER

akışkanlarını geliştirdiler. Susuz ER akışkanlar endüstriyel uygulama açısından bir dönüm noktası oldu [10].

Genellikle akışkanların çoğu için üç bileşenden söz edilir; dağılan faz, sıvı faz ve ortama küçük miktarda ilave edilenler, inorganik tuzlar ve su gibi promoterler. ER akışkanlar homojen ya da heterojen olabilir. Heterojen olanlar; inorganik, organik ya da polimerik tanecikler gibi maddeler, inorganik grup ise, oksit ve oksit olmayan materyalleri içerirler [29]. Şekil 2.4’de ER akışkanların ağaç diyagramı ve sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.3. ER akışkanların ağaç diyagramı ve sınıflandırılması

2.7.1. Sıvı sürekli faz

Sıvı sürekli faz olarak ER akışkanlarda, silikon yağı, bitkisel yağ, mineral yağı, parafin, gaz yağı, klorlanmış hidrokarbon, transformer yağı v.b. gibi yalıtkan yağlar kullanılmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda araştırmacılar iyi bir ER akışkandan beklenen özellikleri şu şekilde sıralarlar [31]. (a) yüksek kaynama noktası ve düşük donma noktası olmalı, diğer bir ifade ile kolay buharlaşmamalı ve geniş çalışma sıcaklık aralığına sahip olmalıdır (b) sıfır elektrik alan kuvvetinde süspansiyon viskozitesi düşük olmalıdır, (c) yüksek elektrik alan kuvvetine dayanıklı olmalıdır, (d) düşük iletkenlik ve yüksek bozunabilme kuvvetine sahip olmalıdır, (e) kısa karşılık verme zamanına sahip olmalıdır, (f) ER akışkan fiziksel ve kimyasal olarak dayanıklı olmalı, çökmeye karşı kararlı olmalıdır. Ayrıca akışkanlar hidrofobik olmalı, çevreden çok nem çekmemeli, sağlığa zararsız ve ucuz olmalıdır.

2.7.2. Dağılan faz

Katı tanecikler-heterojen ER materyaller

İnorganik oksit materyaller

Bazı metal oksitleri ya da seramik materyallerinin tozları gibi çeşitli oksitlerin iyi bir ER etki ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Araştırmacıların silika süspansiyonları ile yaptığı çalışmada dispersiyon ortamı olarak silikon yağı, promoter olarak da su kullanılmıştır [32]. Bu oksitlerin ortaya koydukları ER etki oldukça iyidir. Fakat bu oksitlerin su içermesi akışkan için büyük bir engel oluşturmaktadır.

Oksit olmayan inorganik materyaller

Oksit olmayan inorganik ER akışkanlara alüminasilikatlar, zeolit grubu materyalleri örnek olarak verilebilir. Özellikle zeolit grubu materyalleri büyük önem taşır [33,34].

Organik ve polimerik materyaller

Organik ve polimerik materyaller iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan birincisi asetokinon radikal polimeri, poliakrilonitril, polianilinler ve poli(p-fenilen) gibi kanjuge π bağlarına sahip olan materyallerdir. İkincisi ise polimetakrilik asit gibi molekül zincirinde (hidroksil, siyona, karboksil, amido v.b.) yüksek oranda polarlanabilen gruplara sahip materyallerdir. Organik ve polimerik materyaller geniş olarak incelendiğinde onların yüksek molekül ve yüksek yük yoğunluğu gibi etkilerinden dolayı inorganik materyallerden daha iyi olduğu görülür. Ama ER aktivitelerinin oksit olmayan inorganik materyallerden daha zayıf olduğu görülmektedir [35]. Bazı organik ve polimerik ER akışkanları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Organik ve polimerik ER akışkanlar

Dağılan faz	Dağılma ortamı	Promoter	Kaynaklar
Polifenilendiamin	Silikon yağı	-	36
Poli(Li-2-hidroxi Etilmetakrilat)	Silikon yağı, mineral yağı, dioktilfitalat	Etanol su, gliserol	37
Nişasta	Silikon yağı	Su	30
Polianilin	Silikon yağı	-	38

Sıvı maddeler-homojen ER maddeler

Heterojen ER akışkanlarda taneciklerin artık bırakması uygulama alanları için sınırlayıcı bir faktördür. 1980'li yılların sonuna doğru bu sorunun farkına varıldı. Homojen ER akışkan içerisinde tortu bırakmayan maddeler üzerine çalışmalar gerçekleştirildi. Homojen ER akışkanlar bir sıvının bir yalıtkan yağ içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulurlar. Bu yüzden tanecik çökmesi problemi oluşturmazlar. Bununla birlikte, bu tür bir ER sistem kuvvetli ER etki vermez ve kolaylıkla iki ayrı faz oluşturmaz. Ayrıca sıfır elektrik alan kuvvetlerinde viskozitelerinin yüksek olması problemi vardır. Homojen ER maddelere sıvı kristal polimerleri örnek olarak verebiliriz.

2.7.3. Promoter

ER akışkanlar ER etkisini artırmak veya bazı durumlarda ER etkiyi gözleyebilmek için eser miktarda su veya başka polar sıvılara ihtiyaç gösterirler bu tür sıvılara promoter adı verilir. Polar promoter olarak literatürde alkol, etilen glikol, dimetilamin, formamid ve su gibi maddeler rapor edilmiştir. Bu maddeler ER akışkanlarda aktiviteyi önemli ölçüde artırır. Bunların içerisinde en çok kullanılan promoter sudur. Ünal ve arkadaşlarının poli(Li-2-hidroksi etil metakrilat) ile yaptıkları çalışmada promoter olarak etanol su ve gliserin kullanılmıştır. Eklenen promoter ilavesi ile elektrik alan viskozitesinin 128 Pas'dan 134 Pas'a arttığı görülmüştür [37].

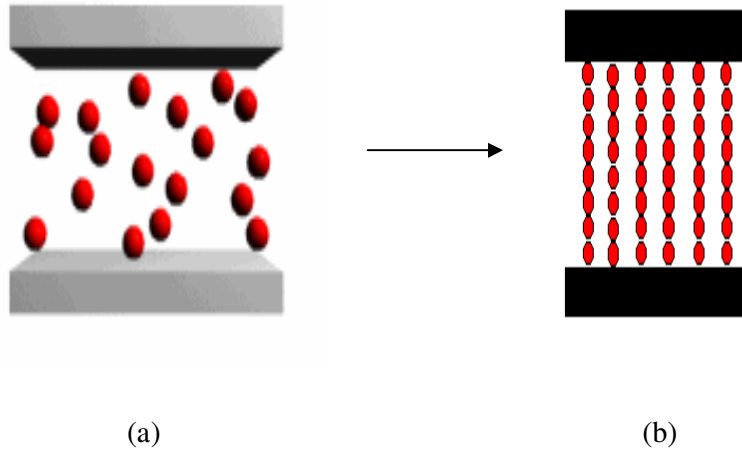
Polar promoterler ER akışkanlarda aktiviteyi önemli ölçüde artırır. Ortama küçük miktarlarda ilave edilen polar sıvılar dispers edilen taneciklerin dielektrik sabitinin artmasına neden olduklarından ER etkinin de artışına sebep olurlar.

2.8. ER Aktivlik Üzerine Etki Eden Faktörler

ER aktivite üzerine etki eden önemli parametreler, uygulanan elektrik alan kuvveti, elektrik alan frekansı, tanecik iletkenliği, tanecik dielektrik özellikleri, tanecik derişimi, sıcaklık, promoter içermesi, dağıtıcı yalıtkan sıvı ortam, v.b. gibidir. Bu kısımda bu parametrelerin ER aktivlik üzerine etkileri kısaca özetlenecektir.

2.8.1. Elektrik alan kuvveti

ER akışkanda, elektrik alan uygulanmadan önce süspansiyondaki tanecikler rastgele dağılmışlardır. Elektrik alan uygulandığında tanecikler bir doğru boyunca sıralanır ve ER akışkanlar elektrik alan etkisiyle polarlanır. Polarize olmuş parçacıklar etkileşir ve zincir oluşumu veya lif yapısı gözlenir. Taneciklerin polarlanması sonucu gerçekleşen bu olay elektoreoloji olayı olarak ifade edilir. Bunun için genellikle doğru akım güç kaynağı kullanılır. Elektrik alan kuvveti genellikle 0-10kV/mm arısında olabilir.



Şekil 2.4. Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi.(a) elektrik alan uygulanmadan önce (b) elektrik alan uygulanmadan sonraki ER tanecikleri

Bir ER akışkana yüksek elektrik alan kuvveti uygulandığında bir gerilim elde edilir. Kritik elektrik alan kuvveti (E_k) altında ER akışkan hiçbir ER etki göstermez, ancak E_k 'dan daha yüksek elektrik alan kuvveti uygulandığında, kayma gerilimi yüksek değerlerde gözlenebilir. Kayma gerilimin elektrik alan kuvveti ile doğru orantılı olarak arttığı bulunmuştur [39].

2.8.2. Elektrik alan frekansı

ER çalışmaların pek çoğu dc elektrik alan altında (sabit frekansta), bazıları da ac elektrik alan altında (değişken frekansta) yapılmıştır. Alan frekansının ER aktivite üzerine etkisi değişkenlik göstermektedir. Gao ve Zhao β -siklodekstrin polimeri ile aktivite değişimini incelemişlerdir. 100 Hz'ten sonra frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığı kaydedilmiştir [40]. Yılmaz ve arkadaşları PMMA-b-PSt/SO sistemi ile yaptıkları çalışmada frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığını rapor etmişlerdir [41].

2.8.3. Tanecik iletkenliği

Bir dış elektrik alan kuvveti altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli bir rol oynadığı bilinir. Burada tanecik dielektrik özellikleri ve iletkenliği ER etkinin oluşumuna neden olur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada taneciklerin 10^{-7} Sm^{-1} iletkenliğe sahip olduklarında iyi bir ER etki göstereceğini belirtmişlerdir [42]. Yüksek iletkenliğe sahip taneciklerin yüksek elektrik alan kuvvetlerinde elektriksel olarak bozulmaya uğradığı belirtilmektedir.

2.8.4. Tanecik dielektrik özelliği

ER mekanizmasının çoğu incelemelerinde ER etkide ara yüzey parçacık polairezasyonunun önemli bir rol oynadığına inanılır. Araştırmacılar parçacık polairezasyonunun kompleks dielektrik sabitiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

$$\epsilon = \epsilon' - \epsilon'' \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte; ϵ' dielektrik sabiti ve ϵ'' ise dielektrik kaybı faktörüdür.

Polarizasyondaki iki parametrenin, yüksek ER davranışı için anahtar olabileceği düşünülmektedir. Bu mekanizma ile yüksek ER aktif materyallerin ara yüzey polarizasyon yöntemi ve tüm ER aktif davranışları açıklanabilmektedir. ER akışkanlarda parçacıkların polarizasyon özelliği ve iletkenlik önemli rol oynamaktadır. Hao [43] ER etkinin ara yüzey polarizasyonu ile ilgili olduğunu ve ara yüzey polarizasyonunun ER akışkanın iletkenliği ve dielektrik sabiti tarafından belirlendiğini belirtti. Araştırmacıların TiO_2 süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada yüksek dielektrik sabitinden dolayı iyi bir ER etki gözlenememiştir. Çünkü yüksek dielektrik sabitine sahip taneciklerde elektrik alan kuvveti altında yüksek dielektrik kaybı meydana gelmektedir. Yang ve arkadaşları bakır ftalosiyanın ile dop ettikleri TiO_2 'in silikon yağı içerisindeki süspansiyonlarında, daha düşük dielektrik sabitine sahip olması nedeniyle yüksek ER etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [28]. Otsubo silika süspansiyonlarının yüksek dielektrik sabitinden dolayı yüzeylerine su absorplamalarının ER performans için önemli bir faktör olduğunu bulmuştur [44]. Gehin ve arkadaşları 10^{-9} Sm^{-1} iletkenliğe sahip olan silika süspansiyonlarının 1000 Hz frekansta dielektrik sabitinin 2.68 olduğunu bulmuşlardır [32].

2.8.5. Tanecik hacim kesri

ER akışkanlar yalıtkan yağ içerisinde dağılmış taneciklerden oluşmuşlardır. Yalıtkan yağ içerisinde dağılmış ER aktif taneciklerin miktarının ölçüsü de tanecik hacim kesridir. Yağ içerisinde dağılmış taneciklerin miktarı arttıkça ER aktivitesi de artar fakat bununda bir sınırı vardır. Süspansiyon çok derişik olduğunda pasta kıvamını alır. Koloidal kararsızlık göstermeye başlar. Elektrik alan kuvveti sıfır iken dahi süspansiyon katı halde bulunabilir. Elektrik alan yokluğunda ER akış süresi kısa, elektrik alan varlığında ise akış süresinin uzun olması istenir.

Elektrik alan uygulandığında süspansiyonda büyük bir ER karşılığı alabilmek için, derişimin çok yüksek olmadığı kararlı bir süspansiyona ihtiyaç vardır. ER akışkanı

hazırlamaktaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelmeye karşı direncinin korunamamasıdır.

Bir ER süspansiyonda okunan gerilim ve viskozitenin büyüklüğünün değişimi tanecik hacim kesrine bağlıdır. Şahin ve arkadaşlarının polipirol süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada derişim arttıkça ER aktivitenin arttığı rapor edilmiştir [45]. Bu artış derişimin artmasıyla polarizasyon kuvvetlerinin artış göstermesi ve buna bağlı olarak ER aktivitenin artışını ifade eder.

2.8.6. Sıcaklık

Sıcaklık etkisi ER etkiyi değerlendirmek için çok önemli parametrelerden biridir. Sıcaklığın ER akışkan üzerine etkisi iki şekilde açıklanmaktadır. Birincisi ER akışkan için sıcaklık, parçacıkların polarizasyonunu değiştirebilir. İkincisi ise Brown hareketleridir. Sıcaklık taneciklerin çarpışma sayısının artmasını sağlar. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta Brown hareketleri artar ve taneciklerin lif yapısı yeterince zayıf hale gelirse, bu durum ER etkinin azalmasına neden olur. Eğer sıcaklık aşırı bir şekilde artarsa ER etki için sıcaklık baskın bir faktör olur. Ancak süspansiyonlarda Brown etkisi gözlenmez.

ER aktivite üzerine sıcaklığın etkisi karmaşıktır. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalarda çelişkiler gözlenmiştir. Yılmaz ve arkadaşlarının polimetilmetakrilat-blok-polisitren/silikon yağı sistemi ile yaptıkları çalışmada, 25-125°C sıcaklık aralığında kayma geriliminin sıcaklık ile değişimini incelemişlerdir [41]. Kayma geriliminin artan sıcaklık ile azaldığını belirtmişlerdir. 25-125°C aralığında kayma gerilimi kaybı hesaplanmıştır. %20 polimetilmetakrilat-blok-polisitren/silikon yağı hazırlanan süspansiyonların minimum kayma gerilimi kaybı 140 Pa bulunmuştur. Liu ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada ise 25-95°C sıcaklık aralığında sıcaklık arttıkça ER aktivitenin arttığını rapor etmişlerdir [35].

Yaş ER süspansiyonların -20 ile +70°C arasında suyun donması ve buharlaşması ihtimalinden dolayı dar bir sıcaklık çalışma aralığına sahip olduğuna inanılır. Susuz

ER süspansiyonlarında ise geniş bir çalışma sıcaklık aralığı mevcut olup, bununla beraber, yüksek sıcaklıkta büyük iletkenlik sağlanamaz ve çoğu susuz ER akışkanlar ise iyonik materyallerden yapılmıştır [46].

2.8.7. Promoter

ER akışkanlar elektriksel bozunmayı engellemek için dispersiyon ortamı olarak iletken olmayan sıvılara ihtiyaç duyarlar. Fakat çoğu zaman da ER etkiyi artırmak veya bazı durumlarda ER etkiyi gözleyebilmek için eser miktarda su veya başka polar sıvılara ihtiyaçları vardır. Bu tür sıvılara promoter (teşvik edici) adı verilir. Bu sıvılar süspansiyon içerisinde polarizasyonu sağlar ve akışkanı ER aktif hale getirir. Çoğu ER akışkanlar yapılarında %0,01 ile %5 arasında promoter içermektedir. Çoğu durumlarda katkı maddeleri önemlidir. Block katkı maddelerinden su, asit (organik ve inorganik) alkali, tuz ve yüzey aktif maddelerin yaygın olarak kullanıldığını rapor etmiştir [42].

Uygulanan elektrik alana tepki gösterebilmek ve büyük miktarlarda ER etki oluşturabilmek için bazı organik taneciklerin oluşturduğu süspansiyon ortamında küçük miktarlarda su gibi polar bir maddenin varlığına ihtiyaç vardır. Bununla birlikte suyun varlığı süspansiyon ortamının iletkenliğini artırır. Fakat ER sıvıların uygulama alanlarında güçlükler doğurur.

1985 yılından önce ER akışkanların karşılık vermesinde suyun anahtar bir rol oynadığı düşünülüyordu. 1985 yılında Block ve Kelly ER aktivite için eser miktarda su veya herhangi polar sıvıya ihtiyaç göstermeyen susuz ER akışkanları geliştirdiler. Fakat susuz ER akışkanların, yaş ER akışkanların yerini alıp alamayacağı henüz tam kesinlik kazanmış değildir.

2.8.8. Kolloidal kararlılık

ER akışkanların uygulamaları açısından karşılaşılan en büyük sorunlar kolloidal kararsızlık ve tortu bırakmadır. Kararlı bir koloidal dispersiyonun uzun bir zaman aralığında dispers olmuş fazı dağılma ortamında asılı kalabilmelidir.

ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alan uygulandığında, bu etkileşimler sonucunda tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının yerçekimine karşı dayanıklı ve kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Literatürde ER aktivite gösteren tanecik büyüklükleri 0,1µm-100 µm arasında olduğu belirtilmiştir [47].

2.9. ER Akışkanların Potansiyel Uygulama Alanları

ER akışkanların ilk gelişimi oldukça yavaştı. Çünkü bu akışkanların içerisinde su bulunuyordu ve yüksek sıcaklıkta fonksiyon vermiyordu. ER akışkanın gelişimi için fizik, kimya, mühendislik ve matematik alanlarında ortak bir gelişmeye ihtiyaç vardı ve o zaman için bu sağlanamadı. ER akışkan Winslow tarafından icat edildiği zaman çok ilginç olmasına rağmen, çok az ticari üretimleri ve aletleri oluştu. Bunun nedenleri;

- Kayma geriliminin yeterince yüksek olmaması
- Yeterli çalışma sıcaklığı aralığının olmayışı
- ER süspansiyonların koloidal kararlılığının düşük olması ve tortu bırakması
- ER etkinin kontrolü için teknoloji eksikliğinin bulunması

Bunların bir çoğunun çözümü ise son zamanlarda bulundu. Şimdiye kadar ER akışkanların birçok patentleri alınmıştır. Şok absorplayıcılar, debriyaj ve fren sistemleri [48], titreşim sönümleyiciler [49,50], hidrolik valfler [51], aktivatör [52], binaların temelinde [53], robotlar ve yapay organlar [54] gibi kullanım alanları

önerilmiştir. Bunlara ilave olarak, fotonik kristal algılayıcı, lamba anahtarı, mekanik cilalayıcı, monitörler, mürekkepli yazıcılar, mekanik algılayıcılar ya da sismograflar gibi ER akışkanların kullanılacağı birçok alan gelecekte geliştirilecektir [46].

ER akışkanlar potansiyel uygulama alanları çok geniş olan akıllı materyallerdir. Heterojen ER akışkanlar üzerine yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yere sahiptir. Fakat heterojen ER akışkanlarda taneciklerin artık bırakması uygulama alanları için sınırlayıcı bir faktördür. Son zamanlarda geliştirilen homojen ER akışkanlar geniş çalışma sıcaklık aralığının heterojen ER akışkanlardan daha üstün olduğu gözlenmiştir.

ER akışkan kolay ve hızlı bir şekilde sıvı halden bir katı hale dönüşmekte ve tersinir olarak bir elektrik alanda bu davranışı sergileyebilmektedirler. Böylece mekanik ve elektronik ara birimlerde taşıyıcı ve kontrol sıvısı olarak kullanılabilirler.

Gelecekteki çalışmalar yüksek performanslı ER akışkanların güçlü bir ER etki vermesi ve çökme problemlerinin giderilmesi üzerine olacaktır. ER etkinin mekanizması için fiziksel modeller önerilecek ve ER aygıtlar için düzenlenecektir. ER akışkan hazırlanmasındaki güçlükler kesin olarak giderilerek, ER aletler hızla ticarileştirilecektir. ER sensörler, ER sönümleyici sistemler, ER mürekkepli yazıcı ve ER cilalayıcılar gibi yarı iletken endüstriyel kısımlar öncülük edeceklerdir. Çünkü bu aletlerle aşırı miktarda ER akışkan gerektirmeden, endüstriyel olarak uzun bir süre kullanım imkanı olabilecektir.

2.9.1. ER akışkanlı titreşim sönümleyiciler

ER titreşim sönümleyen sistemler ER akışkanların potansiyel kullanım alanlarında kullanılan araçlarda özellikle dikkate alınması gerekir. Çünkü bu araçlar için çok yüksek bir kayma gerilimi yada geniş bir sıcaklık aralığı gerekli değildir.

ER titreşim sönümleyici sistemler araçları dıştan gelen etkilere ve araçtan gelen titreşimlere karşı koruyuculuk sağlar. Araçların hızlandırılması veya yavaşlatılması

esnasında araçtaki titreşim mümkün olduğu kadar azaltılabilir. Aracın sahip olması gereken ortalama frekansından daha farklı bir titreşim frekansına sahip olursa çarpma gerçekleşir. ER titreşim sönümleyiciler bu çarpma olayını engellerler. Araç içindeki süspansiyonun ortalama frekansı değişebilir. Bu yüzden artık titreşim hızı da değişmiştir. İşte ER titreşim sönümleyiciler titreşim frekansının değişmesine karşı duyarlıdır ve bu frekans değiştiğinde gerekli sinyallerin verilmesi için uygun nesneleri uyarır ve aracın çarpmasını önler.

ER bir akış hızı, devreye sokulan bir elektrik alan yardımıyla denetlenebildiğinden, uyum sağlayan (adaptif) amortisör gibi yeni kavramlar, otomotiv sanayicileri kadar, manyetik olarak havalanan tren üreticilerin ilgisini çekmektedir (bu tür trenler raylar üzerinde yol almasa da, uyum sağlayabilen amortisörler ani duruş ve kalkış etkisini hafifletebilir).

ER akışkanlar milisaniye düzeyinde kısa tepki süresi olan ve mekanik ayarlamalara gerek duymayan amortisörlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadırlar.

2.9.2. Debriyaj ve fren sistemlerinde

Debriyaj içindeki ER akışkan arabanın motoru ile tekerleklerle güç sağlayan şaft arasındaki bağlantıyı kurar ve katılaştığında şaftın dönmesine neden olur. Sıvılaştığında ise motor şafttan ayrılır ve sanki vites boştaymış gibi şaftın serbestçe dönmesine izin verir.

ER akışkanların taşıtlarda kullanılmasının ana avantajı, araç debriyajlarının yıpranmasının azaltılması ve debriyaja ait parçaların eşit şekilde dayanıklılık göstermesinin sağlanmasıdır. Ayrıca birkaç saniyelik tepki süresiyle de tümüyle mekanik alan debriyaj sistemlerine göre daha hızlı olmasıdır. Ayrıca ER akışkanlar sayesinde katılaştıran akışkan borunun ince bir bölümde akış kesmesi temeline dayanan valfsiz hidrolik sistemlerin de geliştirileceği umulmaktadır [55].

ER debriyaj gibi uygulamalarda, akış basıncını maksimum hale getirmek çok önemlidir. Akış basıncı yüksek olan bir akışkan akışın başlamasından ve debriyajın kaymasından önce yüksek bir burulmaya yada rotasyon kuvvetine karşı direnecektir. Akışkanın basınca direncinin yolu, daha yüksek bir voltaj uygulamaktadır. Parçacık dipollerindeki pozitif ve negatif yükler arasındaki uzaklık voltajla orantılıdır. Ancak voltajın artırılması, aynı zamanda güç tüketimini yükseltir ve ER akışkanı ısıtır. Eğer akışkan çok ısıtılırsa ayrışabilir. Bu nedenle güçlü ER akışkanların tasarlanmasındaki hedeflerden biri de, belirli bir akış basıncı elde etmek için gereken voltajı minimum düzeyde tutmaktır.

2.9.3. ER akışkanlı valfler

Valfler, endüstride hidrolik sistemlerin önemli elementleri olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda hidrolik kontrol sistemlerinde kullanılan elektrohidrolik servovalf sistemlerin cevap hızlarının ve doğruluğunun artırılması amaçlanmaktadır. Ama bu şekildeki servovalfler kompleks ve pahalı olduğundan ya hızlı cevap verebilen yada kesin kontrol sistemine sahip servovalfler yapılmaktadır. Choi ve arkadaşları kontrol edilebilir hidrolik sistemler için ER valflerin kullanılabilmesinin mümkün olduğunu gösteren bir çalışma gerçekleştirdiler ve ER-valf-silindir sistem için silikon yağı temelli ER akışkan kullandılar. Valf ve silindirin dizayn parametresine karar verebilmek için ER akışkanın alan bağımlı Bingham özelliğini buldular [51].

2.9.4. ER akışkanlara dayanan programlanabilir yüzeyler

ER akışkanlar bir veya iki uygun membran arasında sıkıştırılabilirler. Bu bölge inaktif olduğunda kalınlık ve bükülme ayarlanabilir. Akışkan düşük viskoziteye sahiptir. Bir elektrik alan ile aktif olduğunda viskozite artar, ayarlama için eğer çoklu aktivasyon elementleri membranda bitişik bölgeye yayılırsa membran şişer ve şekillenir. Membranda dokunun ara tabaka ile kombinasyonu, membranın davranışında önemli gelişmelere neden olur. Bu teknikler mühendislik tasarımlarında, tedavide, rehabilitasyonda ve bilgisayarlı kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır.

Choi ve arkadaşları programlanabilir yüzeylerde kullanmak üzere iki farklı ER akışkan rapor etmişlerdir. Birincisi %24 $\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{S}_{12}\text{O}_{48}$, %3 su, %10,5 polisiloksandan ve silikon yağından oluşmuş ER akışkandır. İkincisi ise nematik sıvı kristal ve %33 lityum polimetakrilatdan oluşmuş ER akışkandır [56].

2.9.5. Robotlarda ve yapay organlarda

Biyolojik davranışları taklit eden yapma robotlar, daima yüksek bir mühendislik gerektirmektedir. İşlemci robotlar hayvan ve insan performansı ve fonksiyonları taklit eder. Burada mekanizmaların ve çalıştırıcıların kapasitesi kullanılır. Son robotlar ve oyuncaklar giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Otomasyonla yürüme ve konuşma gibi fonksiyonlar eklenmiş sonuçta robotların karakteristik davranışları değişmiştir. Bazı oyuncak ve robotlar aynen insan ve hayvan davranışlarına benzer davranışlar sergilemektedir.

ER akışkanla ilgili iletilenlik çalışmaları ve kaynakların artması ile bu konu hakkındaki gelişmeler son yıllarda ilerlemiştir. 1999'da dünya çapındaki araştırmalar ve mühendislik uygulamaları ile robotik bir kol geliştirilmiştir. Gelişmeler özellikle tıp alanında önemli yararlarla sahiptir.

Son yıllarda ER akışkanlar insan kaslarının zarar görmesi durumunda kullanılmaktadır. Kasların taklidi için çalıştırıcılar gereklidir. Bu çalıştırıcılar potansiyel etkili ER akışkanlar ile yapılabilir hale gelmektedir. Bu materyaller biyolojik kaslara benzer fonksiyonlara sahiptir (elastiklik, bükülme, eğilme v.b). Kas taklitlerinde ER akışkanların kullanılması yeni bir bilim sahası oluşturmuştur. Düşük kütle, düşük enerji ve voltaj kullanılarak elde edilmeleri ER akışkanları daha çekici hale getirmiştir. Araştırmacılar tarafından dört tip ER akışkanlar ile yapılan parmaklar insan elinde olduğu gibi kavrama yeteneğine sahiptirler [54].

İnsan kası mühendisliğin şaşırtıcı bir örneğidir. Vücutta kan hareketi kasların oluşumu için enerji üretir. Bu sistem ne kadar basit olsa da yapay anlamda aynı

değildir. Yeni materyallerin kullanılması ile beraber düşük enerji fonksiyonlaşma için yeterli olmuştur. Yapay kas çalışması insan dokusuna benzer bir hal almıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Kimyasallar

<i>Kimyasal Madde</i>	<i>Temin Edilen Üretici Firma</i>
İnden (%99 saflıkta)	Acros Organics
Demir (III) klorür (Susuz, %97 saflıkta)	Aldrich
Kloroform (d = 1,49 g/mL, %99,9 saflıkta)	Merck
Etanol (d = 0,789 g/mL, %99,8 saflıkta)	Merck
Metanol (d = 0,791 g/mL, %99,8 saflıkta)	DOP
Dimetil sülfoksit (d = 1,1g/ml, % 99 saflıkta)	DOP
Aseton (d = 0,790 g/ml, %99 saflıkta)	Merck
Tetrahidrofuran (d = 0,889 g/ml, %99 saflıkta)	Merck
Dimetilformamit(d == 0,949g/ml, %99 saflıkta)	Lab Scan A. Sci.
Dietil eter (d = 0,714g/ml, %99 saflıkta)	Fluka
Benzen (d = 0,878g/ml, % 99 saflıkta)	Merck
Diklormetan (d = 1,325g/ml, %99,8 saflıkta)	Riedel-de Haen
1,4 dioksan (d = 1,032g/ml, %99 saflıkta)	Merck
Toluen (d = 0,865g/ml, %99,8 saflıkta)	Merck
Asetonitril (%99,9 saflıkta)	DOP
Etil asetat (%99,5 saflıkta)	DOP
Karbon tetraklorür	Kimetsan
Silikon yağ ($\rho = 0,97, \eta = 2000\text{mPas}$, d = 0,965g/ml, $\varepsilon = 2,61$, t = 25°C)	Aldrich
Kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, d = 2,6g/cm ³ , (d ₅₀) = 4,8µm)	Omya madencilik A.Ş.İstanbul
Kaolinin kimyasal bileşimi: Al_2O_3 : > 15%, SiO_2 < 76%, Fe_2O_3 : < 0,5% [76].	

3.2. Kullanılan Cihazlar

1. Vakum distilasyonu düzeneği
2. Vakum etüvü: Heraus D-6540 Hanau model
3. Dört nokta iletkenlik ölçüm cihazı (Four Probe)
4. Fourier transorform infrared spektrometresi (FTIR): Mattson 1000 model
5. Termogravimetrik analiz cihazı (TGA): Seteram 8 ET 8 Y8 Evalution 1760 model.
6. Gazi üniversitesi kimya mühendisliği bölümünde kullanıldı.
7. Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı (DSC): Seteram 8 ET 8 Y8 Evalution 1760 model. Gazi üniversitesi kimya mühendisliği bölümünde kullanıldı.
8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM): JEOL JSM 5600 Model. Gazi üniversitesi kimya mühendisliği bölümünde kullanıldı.
9. Dinamik Işık Saçılımı Spektrometresi (DLS): Malvern Mastesizer E version model. Gazi Üniversitesi Makine mühendisliği bölümünde kullanıldı.
10. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri ölçüm cihazı: HP 4192 A LF Impedance Analyzer
11. Reometre: ThermoHaake RS600 (Almanya) $0.001-1500\text{ s}^{-1}$ aralığında kayma hızı sağlayabilen paralel plate 35 mm çapında tork reometre.
12. Yüksek gerilim güç kaynağı: 0-12,5 kV güç üretebilen güç kaynağı (Fug Electronics, Almanya)

3.3. Homopolimer Sentezi

Monomer

İnden: 15 mmHg basınç ve 25°C sıcaklıkta vakumda distillendi ve kullanılıncaya kadar derin dondurucuda saklandı.

Poliinden homopolimerinin kimyasal yöntemle sentezinde tuz ve monomer oranı $n_{\text{tuz}}/n_{\text{monomer}} = 3$ olacak şekilde hazırlandı. 0,00256 mol (4,16 g) FeCl_3 tuzu kloroform içerisinde çözülerek 3 boyunlu balon içerisine konuldu. Sıcaklık 15-20°C

aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0,00852 mol (0,99 g, 1 mL) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Bu sırada karışımdan N_2 gazı geçirilmeye devam edildi. Damlatma işlemi bittikten sonra 1 saat daha azot gazı geçirilmeye devam edildi. 1 saat sonunda gaz kesilerek 1 saat daha sürekli karıştırılarak polimerleşme tepkimesi sürdürüldü. Tepkime durduruldu. Elde edilen ürün süzülde ve tepkimeye girmeyen maddeleri, monomeri, dimerleri ve oligomerleri uzaklaştırmak için sırasıyla sıcak su ve eter ile birkaç defa çözeltinin rengi berraklaşınca kadar yıkandı. Daha sonra elde edilen polimer 24 saat $70^{\circ}C$ vakum etüvünde kurutuldu. Kütlece verim: %98 olarak hesaplandı.

3.4. Poliinden/Kaolin Kompozitlerinin Sentezi

3.4.1. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (kütlece %22 PIN içeren)

2,25 g kaolin tartıldı ve üç boyunlu balona konuldu. Üzerine 0,02 mol (3,33g) $FeCl_3$ tuzu ve 60 mL kloroform eklendi. Sıcaklık $15-20^{\circ}C$ aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0,00683 mol (0,8 mL, 0,79 g) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Polimerleşme tepkimesi homopolimer sentezinde olduğu gibi sürdürüldü ve aynı şekilde saflaştırıldı. Daha sonra elde edilen kompozit 24 saat $70^{\circ}C$ vakum etüvünde kurutuldu. % 82 verimle 2,9 g kompozit sentezlendi.

3.4.2. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (kütlece % 37 PIN içeren)

1,8 g kaolin tartıldı ve üç boyunlu balona konuldu. Üzerine 0,0327 mol (5,32 g) $FeCl_3$ tuzu ve 60 mL kloroform eklendi. Sıcaklık $15-20^{\circ}C$ aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0,011 mol (1,28 mL, 1,27 g) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Polimerleşme tepkimesi homopolimer sentezinde olduğu gibi sürdürüldü ve aynı şekilde saflaştırıldı. %87 verimle 2,9 g kompozit sentezlendi.

3.4.3. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (küttelece %53 PIN içeren)

1,35 g kaolin tartıldı ve üç boyunlu balona konuldu. Üzerine 0,045 mol (7,27 g) FeCl_3 tuzu ve 60 mL kloroform eklendi. Sıcaklık 15-20°C aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0,015mol (1,75 mL, 1,73 g) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Polimerleşme tepkimesi homopolimer sentezinde olduğu gibi sürdürüldü ve aynı şekilde saflaştırıldı. %93 verimle 2,95 g kompozit sentezlendi.

3.4.4. PIN/kaolin kompozitinin sentezi (küttelece %75 PIN içeren)

0,75 g kaolin tartıldı ve üç boyunlu balona konuldu. Üzerine 0,06 mol (9,972 g) FeCl_3 tuzu ve 60 mL kloroform eklendi. Sıcaklık 15-20°C aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0,02mol (2,4 mL, 2,38 g) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Polimerleşme tepkimesi homopolimer sentezinde olduğu gibi sürdürüldü ve aynı şekilde saflaştırıldı. %95 verimle 3 g kompozit sentezlendi.

3.4.5. PIN/ kaolin kompozitinin sentezi (küttelece % 85 PIN içeren)

0,45 g kaolin tartıldı ve üç boyunlu balona konuldu. Üzerine 0,0696 mol (11,3 g) FeCl_3 tuzu ve 60 mL kloroform eklendi. Sıcaklık 15-20°C aralığında iken geri soğutucu altında karışımın içinden 20 dakika süreyle N_2 gazı geçirildi. Daha sonra 0.00683 mol (2,72 mL, 2,69 g) distillenmiş inden damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Polimerleşme tepkimesi homopolimer sentezinde olduğu gibi sürdürüldü ve aynı şekilde saflaştırıldı. %95 verimle 3 g kompozit sentezlendi.

3.5. Dört Nokta İletkenlik Ölçer (Four Probe) ve İletkenlik Ölçümü

Pellet haline getirilen homopolimer ve kompozitlerin iletkenlik ölçümleri (DC) veya (AC) kullanılarak iki veya dört nokta tekniği ile ölçülebilir. DC ölçümlerinde net yük sadece polimerin içinden geçtiği halde, AC ölçümlerinde elektriksel iletkenlik değişebilen bir elektrik alan frekansının fonksiyonu olarak ölçülür. En sık kullanılan teknik Van Der Pauw tarafından geliştirilen Dört Nokta Tekniğidir. Bu teknikte sıkıştırılarak pellet haline getirilen ve böylece belirli kalınlık ve aralıklarda hazırlanan polimerlere dört adet elektrot yerleştirilir. İkisine belirli potansiyeller uygulanır ve diğer ikisinden de akım ölçülür.

Polimerin iletkenliği şu eşitlikten hesaplanabilir [57].

$$\sigma = \frac{\ln 2}{\pi d} \frac{i}{V} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

σ : İletkenlik (Scm^{-1}),

d: Numunenin kalınlığı;

i: Numuneden geçen akım

V: Polimere uygulanan potansiyeldir.

3.6. Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR)

Örneklerin FTIR'ları saf KBr içinde disk hazırlanarak Mattson 1000 model spektrometre kullanılarak alındı.

3.7. Termal Analiz Ölçümleri

Örneklerin ısısal bozunmaları, kütle kayıpları ve ısısal geçişleri $\text{N}_2(\text{g})$ atmosferinde, 10°C dk^{-1} ısıtma hızında, 30- 800°C sıcaklık aralığında Seteram 8 ET 8 Y8 Evalution 1760 model termal analiz cihazı ile incelendi.

3.8. Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Altın kaplanmış örneklerin yüzey yapılarının fotoğrafları değişik büyütmelerde, 300 000 büyütme kapasitesine sahip olan JEOL JSM 5600 Model taramalı elektron mikroskopunda alındı.

3.9. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri Tayini

Örneklerin iletkenlikleri HP 4192 A LF Impedance Analyzer cihazında Ohm yasasına uygun olarak potansiyel taraması yapılarak ölçüldü. 20°C sıcaklıkta ara yüzey katkısını azaltmak için 1 MHz’de çalışıldı. Yapılan ölçümlerden elde edilen verilerden yararlanılarak hazırlanan homopolimer ve kompozitlerin dielektrik sabitleri şu eşitlikten hesaplandı.

$$C = \epsilon_o \epsilon \frac{d}{A} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

C : kapasitans

ϵ_o : boşluğun dielektrik sabiti

ϵ : örneğin dielektrik sabiti

d : kalınlık

A: yüzey alanını ifade etmektedir.

3.10. Tanecik Boyutu Ölçümleri

Homopolimer ve kompozitleri ER ölçümlerine hazır hale getirebilmek için tanecik büyüklüğü uygun aralığa getirilmeye çalışıldı. Bu amaçla vakum etüvünde

kurutulmuş olan polimerler üç boyutlu bir değirmende öğütüldü. Toz haline getirilmiş polimerlerin tanecik büyüklüğü, dinamik ışık saçılımı cihazı ile (Malvern Mastersizer E version 1.2 b, 18 mm çapında He-Ne lazer kaynağına sahip) tayin edildi. Su içerisinde dağıtılan tanecikler 20°C’da sürekli karıştırılarak ölçümler alındı. Toplanan veriler Malvern bilgisayar programı ile değerlendirildi.

3.11. Süspansiyon Hazırlanması

Öğütülerek belirli tanecik büyüklüğüne getirilen homopolimer ve kompozitlerin, silikon yağı içerisinde çeşitli derişimlerde (%5-%25, m/m) süspansiyonları hazırlandı.

3.12. Elektroeometre İle Yapılan Ölçümler

Homopolimer ve kompozitlerin, çeşitli derişimlerde hazırlanan süspansiyonlarının ER aktiviteleri üzerine kayma hızı, derişim, sıcaklık, elektrik alan kuvveti ve frekansın etkisi Thermo-Haake RS600 ($0.001-1500\text{ s}^{-1}$) aralığında kayma hızı sağlayabilen paralel plate (35 mm çapında) tork elektroeometresi ile incelendi.

3.13. Çözünürlük Testi

Homopolimer ve kompozitlerin çözünürlük testleri, oda sıcaklığında ve çözücünün kaynama sıcaklığında farklı çözücüler kullanılarak yapıldı. Örneklerden 0.005 g alınıp, 2 mL çözücü içerisinde karıştırıldı. Örneklerin bu çözücüler içerisinde oda sıcaklığında ve çözücünün kaynama sıcaklığında çözünmediği görüldü. Bu çalışmada denenen çözücüler ve alınan sonuçlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. İnden, poliinden ve PIN/kaolin kompozitlerinin çözünürlük testleri

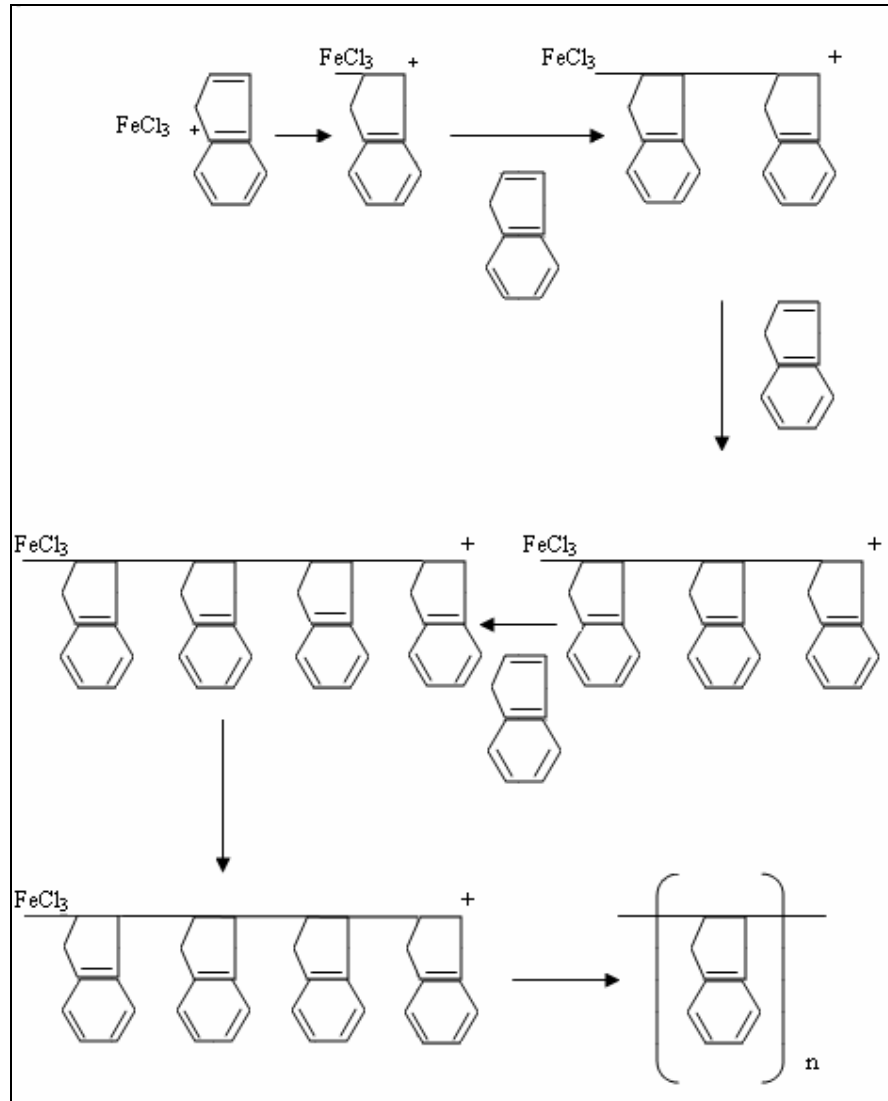
Çözücü		İnden	Poliinden	Komposit
Kloroform	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Etanol	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Etilasetat	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Aseton	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Metanol	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Asetonitril	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Su	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
CCl ₄	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
THF	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
DMF	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
DMSO	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
1,4-dioksan	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
Benzen	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-
HCl	Oda Sıc.	-	-	-
	K.N.	-	-	-

(-): Çözünmedi

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

4.1. PIN'in Polimerleşme Mekanizması

PIN'in NMR spektrumundan elde edilen sonuçlardan yararlanarak merlerin 1-2 bağlanması sonucu polimer zincirlerini oluşturduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir [58,63]. Araştırmacılar PIN'in polimerleşme mekanizması ile ilgili yaptıkları çalışmalarda PIN de katyonik polimerizasyonun gerçekleştiğini, benzen halkasının polimerleşme sırasında oluşan bağlarda yer almadığını belirtmişlerdir. Ayrıca beş üyeli halkanın niteliğinden dolayı büyüme basamağının başlama basamağından daha hızlı olabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan değerlendirmeler ışığında, bu çalışmada elde edilen PIN'in polimerleşmesinin 1,2 mekanizması üzerinden radikal-nötral monomer yoluyla yürüdüğü sonucuna ulaşıldı. Buna göre polimerleşme mekanizması Şekil 4.1 verilmiştir.



Şekil 4.1. PIN'in polimerleşme mekanizması

4.2. Poliinden ve PIN/Kaolin Kompozitlerinin Verim ve Dielektrik Özellikleri Sonuçları

4.2.1. Poliinden'in verim ve dielektrik özellikleri sonuçları

FeCl₃ tuzu ile sentezlenen PIN'nin yüzde verim, iletkenlik ve dielektrik sabiti sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Poliinden'in yüzde verim, iletkenlik ve dielektrik sabiti sonuçları

Homopolimer	Verim (%,m/m)	İletkenlik S/m (Impedance Analyzer) $\times 10^{-3}$	Dielektrik sabiti (Impedance Analyzer)	İletkenlik S/m (Dört nokta) $\times 10^{-3}$
PIN	%98	1,3	11,5	4,58

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi kimyasal yöntemle susuz ortamda sentezlenen PIN $1,3 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ iletkenliğe sahiptir ve kütlece %98 verimle elde edilmiştir. Kimyasal yöntemle PIN sentezinin yapıldığı başka çalışmalarda bu kaynaklarda belirtildiğine göre FeCl₃ dopantından başka çeşitli başlatıcılarla kümül metileter/titanyum tetraklorür (CUOMe /TiCl₄) başlatıcı sistemi ile -65⁰C sıcaklıkta 45 dk sürede metanol çözücüsü kullanılarak %95 verimle (59), trapilyum hegzakloroantimon ($\text{C}_7\text{H}_7^+ \text{SbCl}_5^-$) başlatıcı sistemi ile 22⁰C sıcaklıkta 15 dk sürede metilen diklorür (CH₂Cl₂) çözücüsü kullanılarak %97 verimle(60), triklor asetik asit/kalay tetraklorür (CCl₃COOH/SnCl₄) başlatıcı sistemi ile 0 -78⁰C sıcaklık aralığında metanol çözücüsü kullanarak (61), kümül metileter/titanyum tetraklorür (CUOMe/TiCl₄) başlatıcı sistemi ile -40 ⁰C ve -75 ⁰C sıcaklıklarda 6 dk sürede dimetil sülfoksit (DMSO) çözücüsü kullanılarak % 100 verimle (62), kümül klorür/titanyum tetraklorür (CumCl/TiCl₄) başlatıcı sistemi ile -40 ⁰C sıcaklıkta metilen diklorür (CH₂Cl₂) çözücüsü kullanarak 6 dk sürede % 100 verimle (63), PIN sentezleri gerçekleştirilmiştir.

ER etkide ER akışkanın iletkenliğinin yanı sıra, dielektrik sabiti de önemli bir etkindir. Bu nedenle ER etki de, polarizasyon oranı ve büyüklüğü nedeniyle dielektrik sabiti ve yalıtkanlık karakterine bağlı olmaktadır.

Bir dış elektrik alan kuvveti altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli rol oynadığı bilinir. Burada tanecik ve iletkenliği ER etkinin oluşmasına neden olur. Yapılan çalışmalar süspansiyon ortamı ile taneciklerin iletkenlik ve dielektrik özelliklerinin ER etki üzerine etkisinin incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Literatürde ER taneciklerin 2-10000 arasında dielektrik sabiti değerine sahip olmaları gerektiği belirtilmektedir [46]. Ancak yüksek dielektrik sabiti değerine sahip taneciklerde elektrik alan kuvveti altında yüksek dielektrik kaybı meydana gelmektedir. Bunun yanında yüksek iletkenliğe sahip taneciklerinde yüksek elektrik alan kuvvetinde elektriksel olarak bozunmaya uğradığı belirtilmektedir.

Impedance Analyzer ile yapılan çalışmalardan elde edilen iletkenlik ve dielektrik sabiti değerlerinin ER tanecikleri için literatür de verilen aralığa uygun olduğu görülmektedir.

4.2.2. PIN/kaolin kompozitlerinin verim ve dielektrik özelliklerinin sonuçları

%22-85 (m/m) aralığında PIN içeren PIN/kaolin kompozitlerinin iletkenlik, dielektrik sabiti değerleri ve kompozitlerdeki PIN'in polimerleşme verimleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. PIN/kaolin kompozitlerinin yüzde verim, iletkenlik ve dielektrik sabiti sonuçları

Kompozit	Kompozitteki PIN'in Polimerleşme Verimi(%,m/m)	İletkenlik S/m (Impedance Analyzer) $\times 10^{-3}$	Dielektrik Sabiti (Impedance Analyzer)	İletkenlik S/m (Dört nokta) $\times 10^{-3}$
%85 PIN/ %15Kaolin	%94	1,20	10,6	4,10
%75 PIN/ %25 Kaolin	%94	1,25	11,0	4,35
%53 PIN/ %47 Kaolin	%91	1,36	12,0	4,50
,%37 PIN/ %63 Kaolin	%86	1,40	12,4	4,60
%22 PIN/ %78Kaolin	% 81	1,42	12,6	4,62

PIN polimerleşme verimi kaolin miktarı arttıkça azalmaktadır. PIN polimerleşme verimi şu eşitlikten hesaplanabilir.

$$\text{Yüzde verim} = \frac{m_{\text{PIN}} - m_{\text{kaolin}}}{m_{\text{inden}}} \quad (4.1)$$

Burada; m_{PIN} = oluşan polimerin kütlesi, m_{kaolin} = tepkimeye giren kaolinin kütlesi, m_{inden} = tepkimeye giren indenin kütlesini göstermektedir.

PIN/kaolin iletken kompozitlerinin iletkenlikleri kompozit içindeki PIN miktarı azaldıkça çok az miktarda artma gösterdi. En yüksek iletkenlik $1,42 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ ile %22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinde, en düşük iletkenlik $1,2 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ ile %85 PIN/Kaolin kompozitinde bulunmuştur.

Dört nokta iletkenlik ölçer cihazı ile yapılan ölçümlerin de HP 4192A LF Impedance Analyzer ile ölçülen iletkenlik değerleri ile benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.3. FTIR Analizi

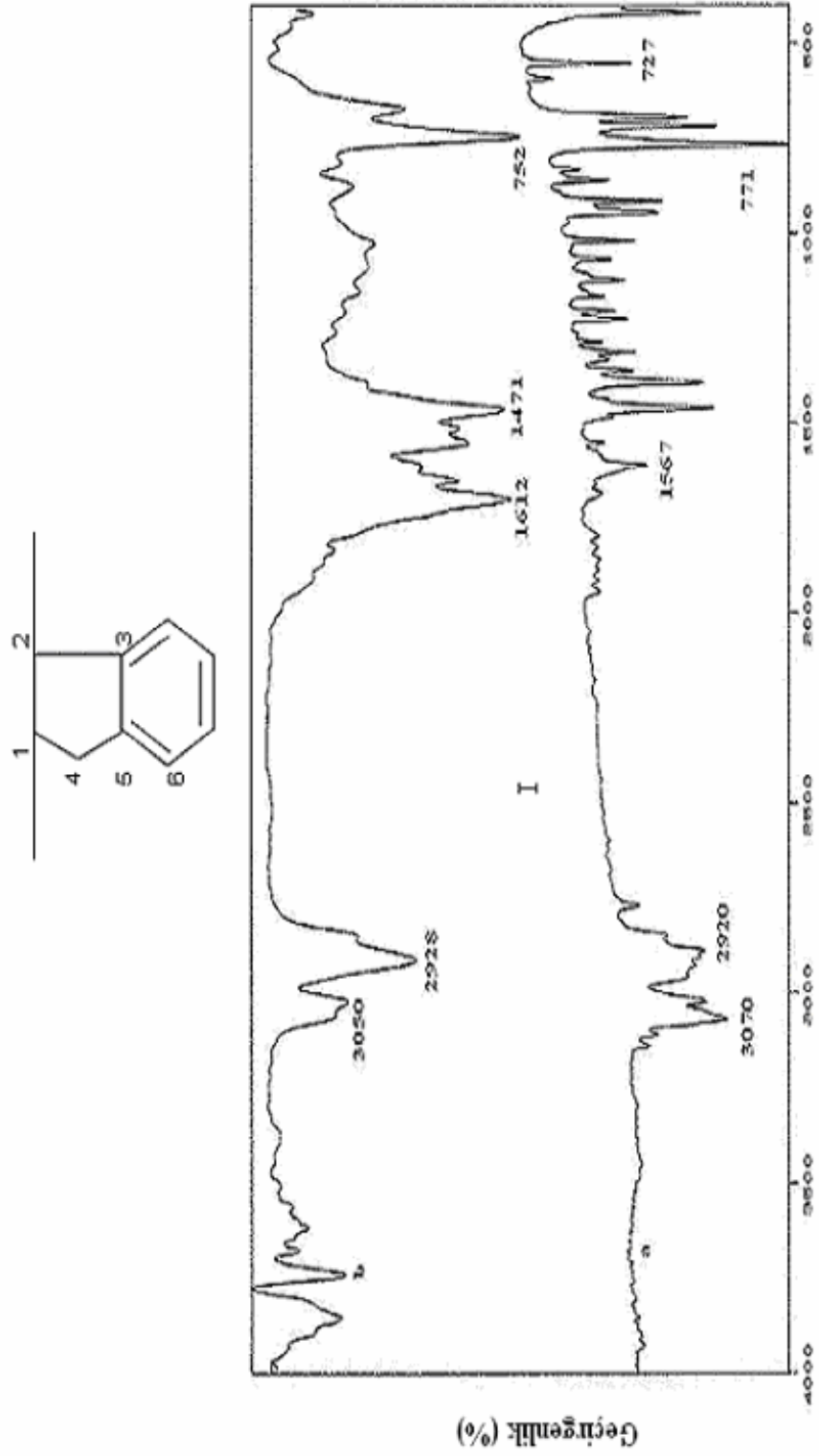
4.3.1. Poliinden'in FTIR sonuçları

FeCl_3 ile sentezlenen poliinden ve monomerin FTIR spektrumu Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b'de görülmektedir. İndenin FTIR spektrumunda gözlenen titreşim bandları şu şekildedir. $2920\text{-}3070\text{ cm}^{-1}$ 'de aromatik -C-H gerilme bandı, $1394\text{-}1478\text{ cm}^{-1}$ 'de C=C gerilme bandı, 1567 cm^{-1} 'de aromatik -C-H düzlem içi eğilme bandı, $727\text{-}771\text{ cm}^{-1}$ 'de aromatik -C-H düzlem dışı eğilme bandı görülmektedir.

PIN için elde edilen değerlerden polimerleşmenin gerçekleştiği görülmekte ve oluşan PIN'in yapısı açıklanabilmektedir. PIN yapısına bakıldığında monomerdeki titreşim bandlarının polimerin yapısında yayvanlaştığı görüldü. İlk olarak $2928\text{-}3050\text{ cm}^{-1}$ görülen band aromatik C-H gerilme bandını göstermektedir. 1471 cm^{-1} 'deki bandın PIN yapısındaki 1 ve 2 nolu C atomları arasındaki $\text{C}_1\text{-C}_2$ gerilmesine karşılık geldiği gözlenmektedir. C_1 ve C_2 atomlarının hidrojen bağı yaptığı indenin FTIR spektrumunda 727 ve 771 cm^{-1} 'de gözlenen dubletten anlaşılmaktadır.

Elektrokimyasal polimerleşme ile PIN sentezlenen bir çalışmada [64], inden için elde edilen FTIR spektrumunda aynı şekilde dublet gözlenmiştir. 1612 cm^{-1} 'deki band benzen halkasına karşılık gelmektedir. 1612 cm^{-1} 'deki band monomerlerin bağlanması sırasında benzen halkasında herhangi bir bağlanma olmadığını göstermektedir. 752 cm^{-1} deki band zincir sonundaki C-H gerilmesi göstermektedir.

Sonuç olarak, benzen halkasının polimerleşme sırasında oluşan bağlarda yer almadığı ve C_1 ve C_2 gerilmesinden dolayı polimerleşmenin 1,2 mekanizması üzerinden yürüdüğü sonucuna ulaşıldı [58,59].

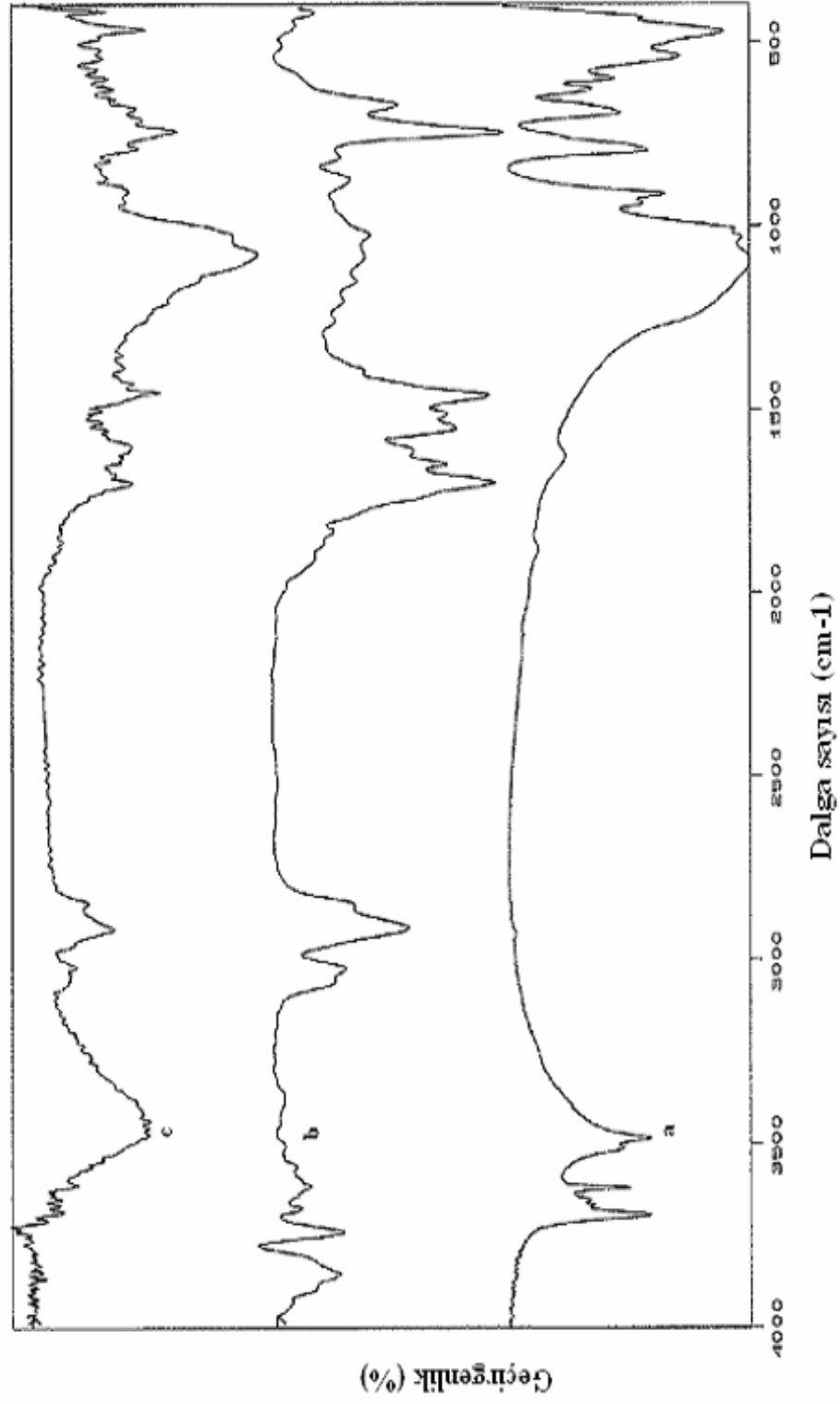


Dalga Sayısı (cm^{-1})

Şekil 4.2. (a) İnderin FTIR spektrumu, (b) PIN'in FTIR spektrumu

4.3.2. PIN/kaolin kompozitlerinin FTIR analiz sonuçları

PIN/kaolin kompozitinin PIN homopolimeri ve kaolin ile FTIR spektrumu Şekil 4.3’de karşılaştırmalı olarak gösterildi. PIN/kaolin kompozitinde hem PIN hem de kaolinin yapısındaki karakteristik piklerin olduğu görüldü ve bu piklerin dalga sayısının kaydığına karar verildi.



Şekil 4.3. (a) Kaolinin FTIR spekturumu, (b) %75 PIN içeren (%m/m) PIN/kaolin kompozitinin FTIR spekturumu, (c) PIN'in FTIR spekturumu

4.4. Termal Analiz

4.4.1. PIN'in termal analiz sonuçları

PIN'in termogravimetrik analizi

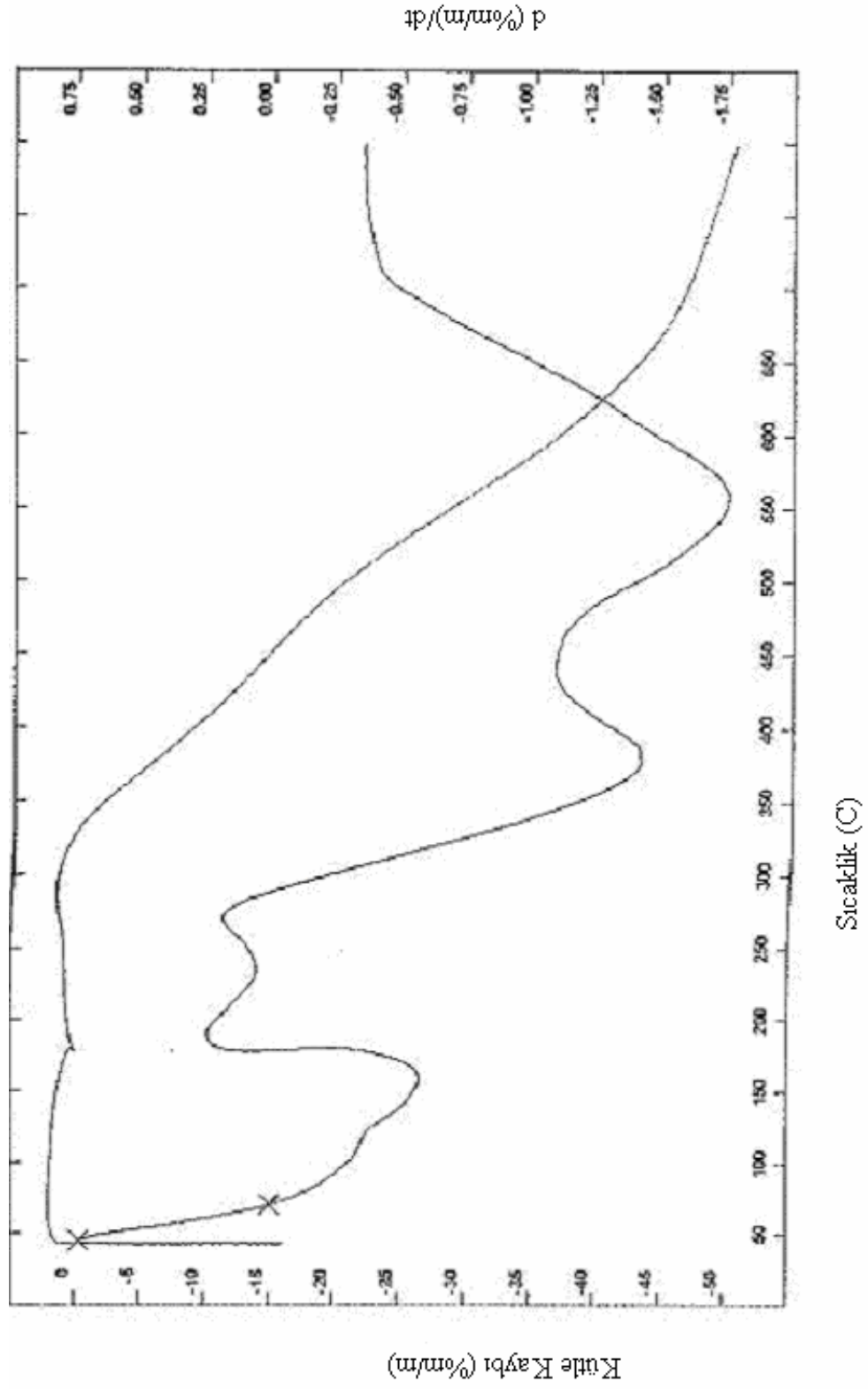
PIN'in TGA eğrisinden elde edilen termal bozunma sıcaklıkları ve bozunmadan kalan madde miktarı Çizelge 4.3'de verilmektedir. Bozunma sıcaklıkları incelendiğinde PIN'in tek basamakta bozunduğu görülmektedir. TGA işlemi sonunda PIN'in yarı ömür sıcaklığı 627°C olarak bulundu. PIN'in 315-660°C sıcaklık aralığında bozunduğu bulundu. Kalan madde miktarı %50 (m/m) olarak bulundu.

Çizelge 4.3. PIN'in termogravimetrik analiz sonuçları

Homopolimer	*T _b (°C)	*T _m (°C)	*T _s (°C)	*T _{d(1/2)} (°C)	800°C'de kalan madde miktarı (% , m/m)
PIN	315	490	660	627	50

*T_b: Başlangıç bozunma sıcaklığı, *T_m: Maksimum bozunma sıcaklığı,

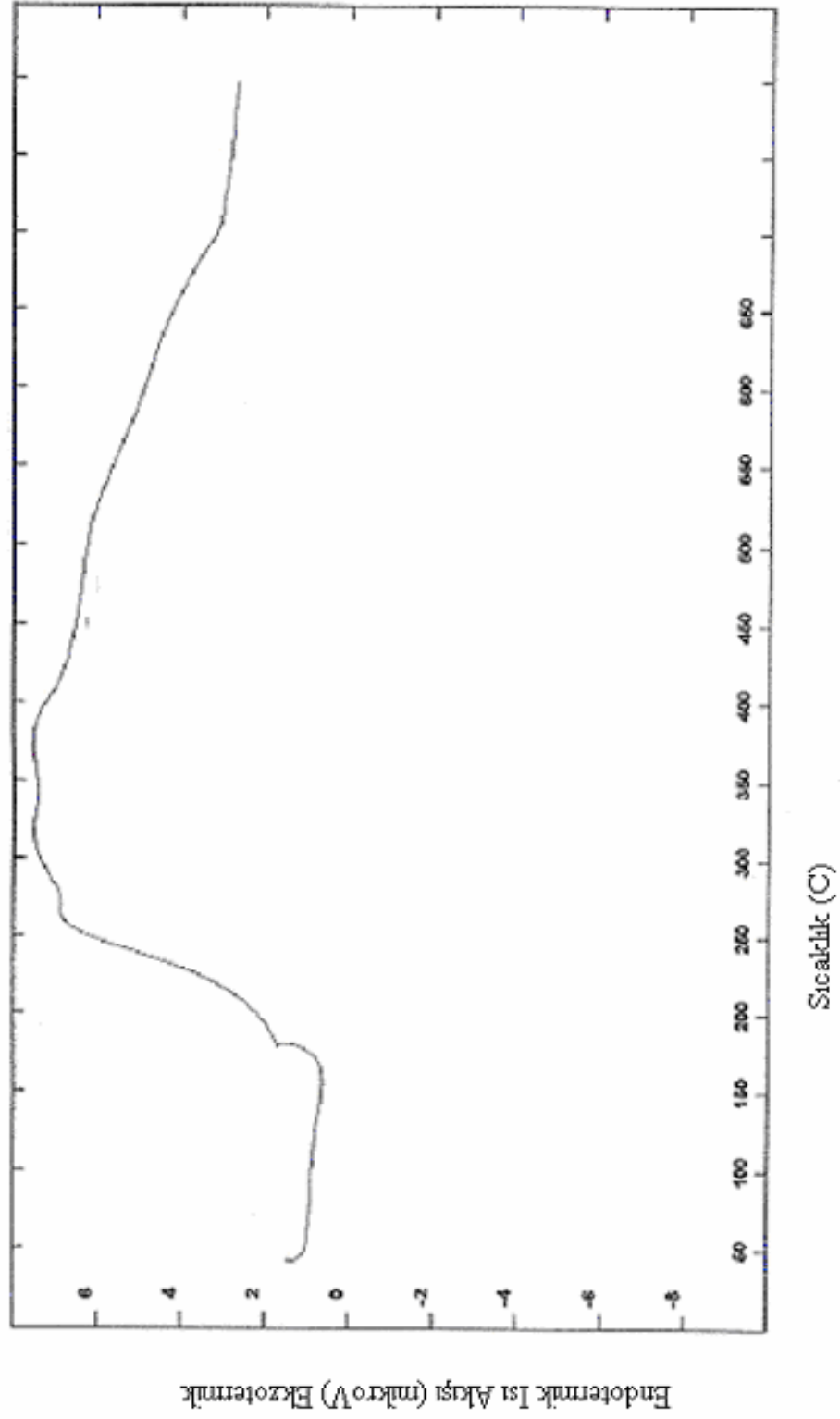
*T_s: Bozunmanın tamamlandığı sıcaklık, *T_{d(1/2)}: Yarı ömür sıcaklığı



Şekil 4.4. PIN'in TGA eğrisi

PIN'in diferansiyel taramalı kalorimetre ile analizi

PIN'in ısı geçişlerini belirlemek amacıyla DSC analizi yapıldı. PIN'in DSC eğrisinde 176°C'de endotermik geçiş gözlenmektedir. 176°C'de gözlenen endotermik geçiş polimer içerisinde bulunabilecek monomer ve çözücü gibi küçük mol kütleli birimlerin uzaklaşmasını göstermektedir. Hann ve Hillmyer yaptıkları çalışmada PIN'in camsı geçiş sıcaklığının (T_g) en düşük 160°C en yüksek 220°C olabileceğini belirtmişlerdir [59]. Ayrıca Kennedy ve Tsunogae'nin yaptığı çalışmalarda PIN'in camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 200°C olarak rapor edilmiştir [58,65]. Bu verilerden yararlanarak PIN'in DSC eğrisindeki yaklaşık 176°C' de gözlenen endotermik geçişin T_g sıcaklığını gösterdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.5. PIN'in DSC eğrisi

4.4.2. PIN/kaolin kompozitlerinin termal analizi

PIN/kaolin kompozitlerinin termogravimetrik analizi

PIN/kaolin kompozitlerinin TGA eğrilerinden (Şekil 4.6- Şekil 4.10) elde edilen termal bozunma sıcaklıkları ve kalan madde miktarları Çizelge 4.4’de verilmektedir. Bozunma sıcaklıkları incelendiğinde PIN/kaolin kompozitlerinin tek basamakta bozunduğu görülmektedir. PIN/kaolin kompozitlerinin başlangıç bozunma sıcaklıkları Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi homopolimerinkinden daha yüksektir. PIN/kaolin kompozitlerinin başlangıç bozunma sıcaklıkları (T_b) 335-385°C aralığındadır.

Kompozit bikeşiminde PIN miktarı artıka bozunmadan kalan miktar azalmaktadır. %85, %75, %53 PIN (m/m) içeren kompozitler, yüksek sıcaklıkta kütlesinin (%75, %72, %63)’nü kaybederek hızlı bir bozunma gösterirler. %37, %22 PIN (m/m) içeren kompozitler ise yüksek sıcaklıkta kütlesinin (%34 ve %28)’ni kaybederek yavaş bozunma gösterirler.

Araştırmacılar kaolin ile yaptıkları çalışmada TGA işlemi sonunda kaolinin 330-690°C sıcaklık aralığında bozunduğunu, kaolinin yarı ömür sıcaklığının 730°C ve kalan madde miktarının % 88 olduğunu rapor etmişlerdir [76].

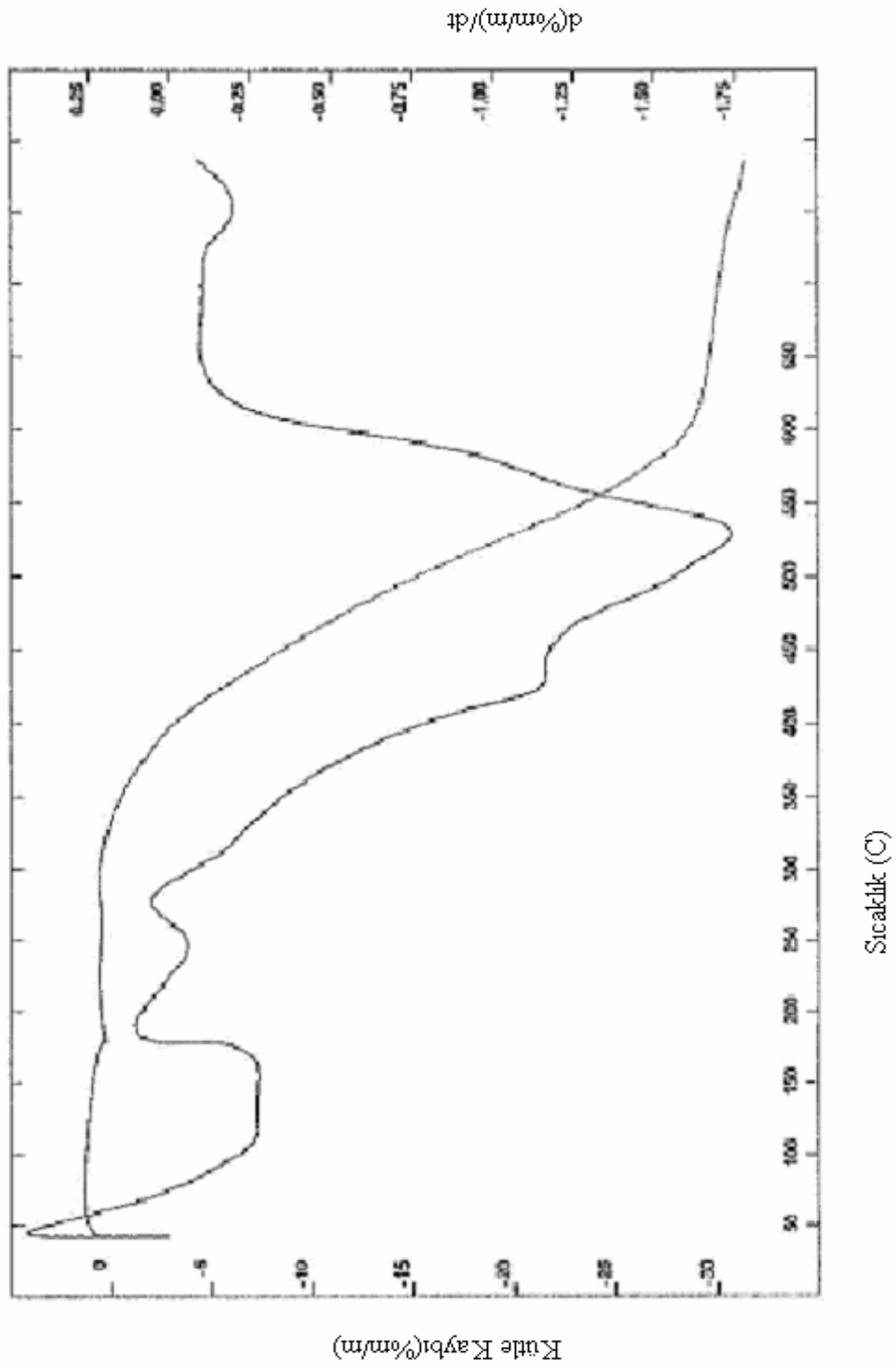
Sonuç olarak hazırlanan homopolimer ve kompozitler yüksek sıcaklıkta bozunmaya uğramışlardır. Bu termal kararlılık sonuçları kompozitlerin potansiyel ER endüstriyel uygulamaları için çok önemlidir. Çünkü ER akışkanların termal kararsızlıkları karşılaşılan ve aşılması gereken en büyük endüstriyel uygulama problemlerinden birisidir.

Çizelge 4.4. PIN/kaolin kompozitlerinin termogravimetrik analiz sonuçları

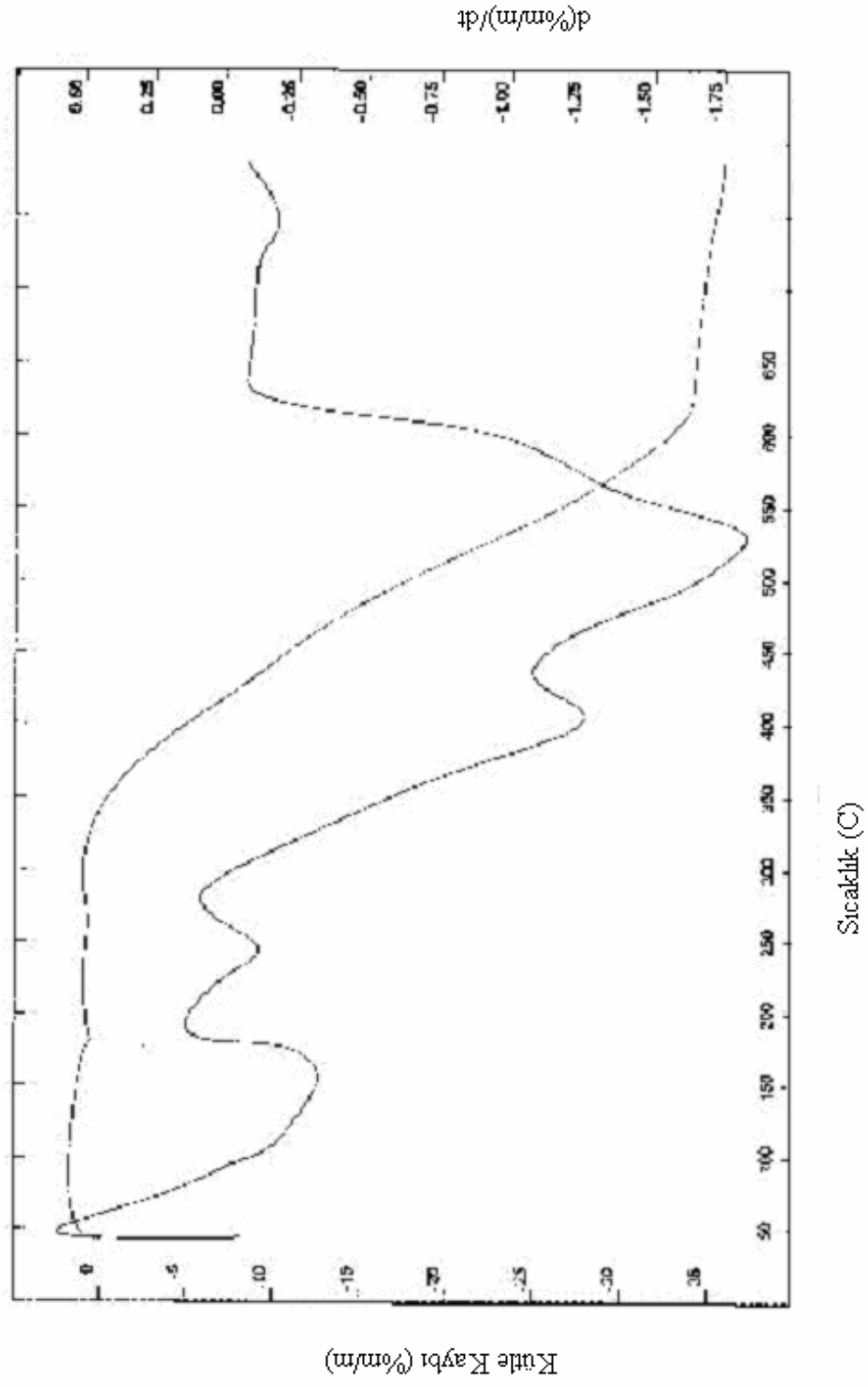
Kompozit	*T _b (°C)	*T _m (°C)	*T _s (°C)	*T _{d(1/2)} (°C)	800°C'de kalan madde miktarı (%, m/m)
%22PIN%78Kaolin	385	490	595	516	72
%37PIN%63Kaolin	356	482	570	608	66
%53PIN%47Kaolin	335	471	570	625	37
%75PIN%25Kaolin	335	500	590	656	28
%85PIN%15Kaolin	340	515	606	685	25

*T_b: Başlangıç bozunma sıcaklığı, *T_m: Maksimum bozunma sıcaklığı,

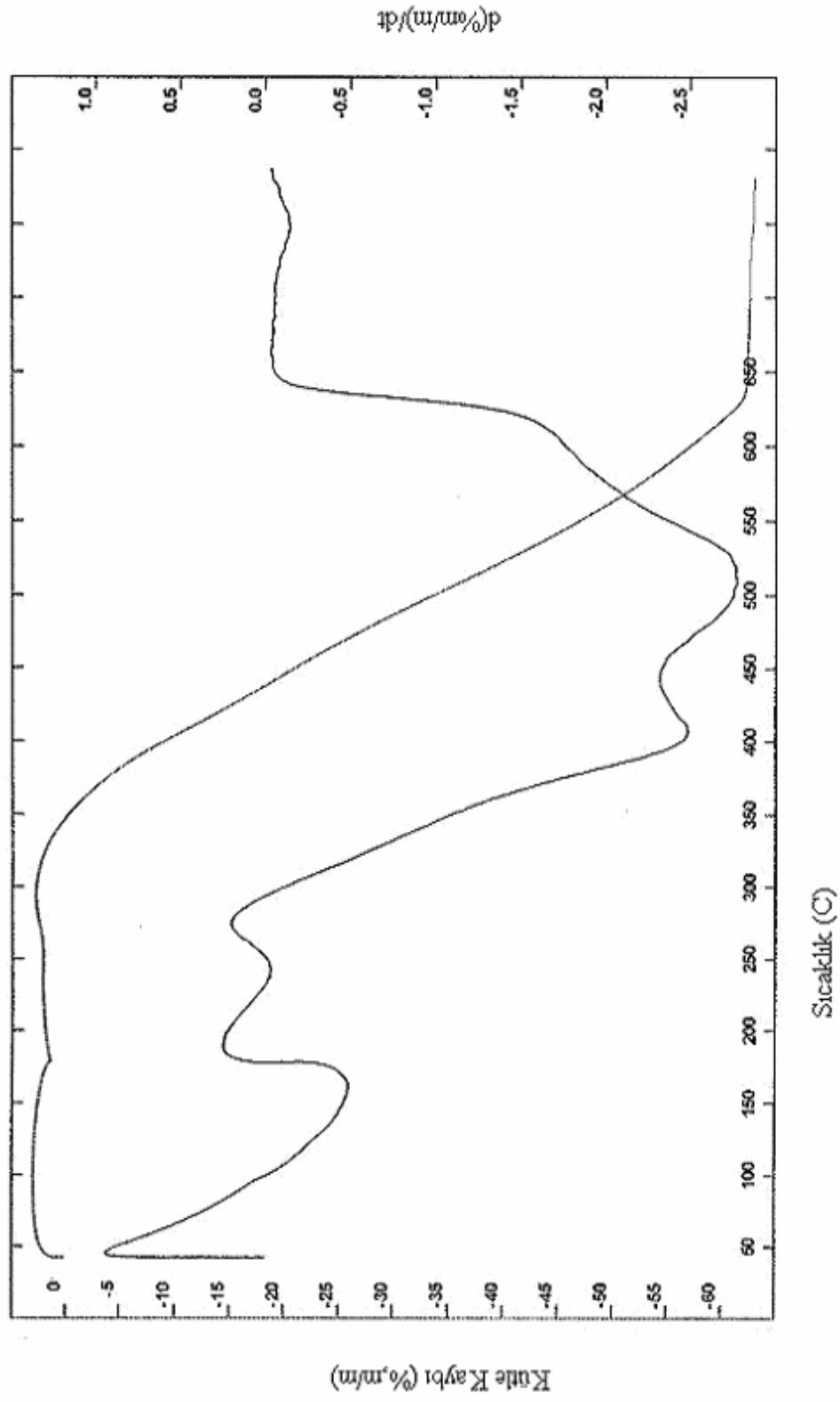
*T_s: Bozunmanın tamamlandığı sıcaklık, *T_{d(1/2)}: Yarı ömür sıcaklığı



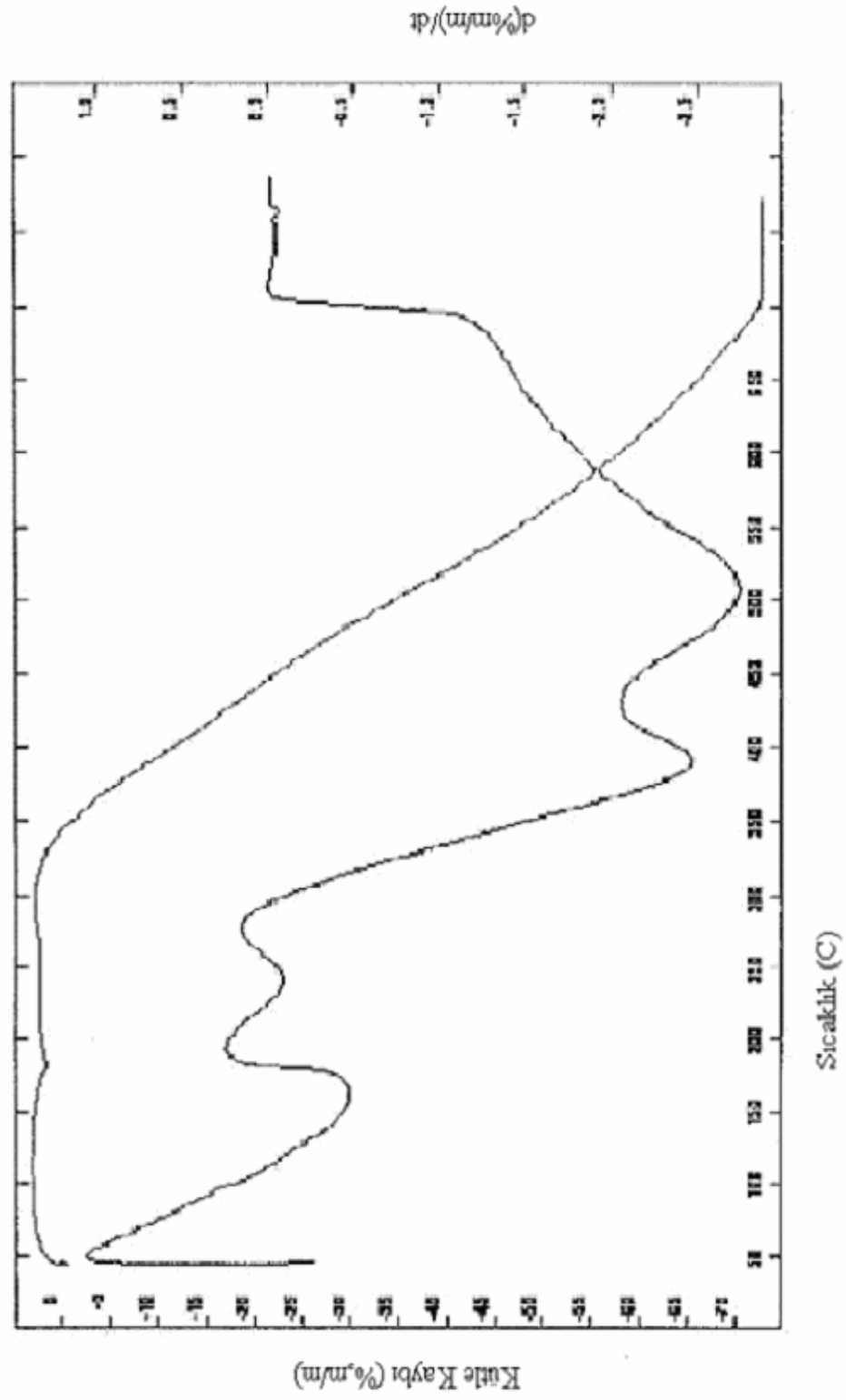
Şekil 4.6. %22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi



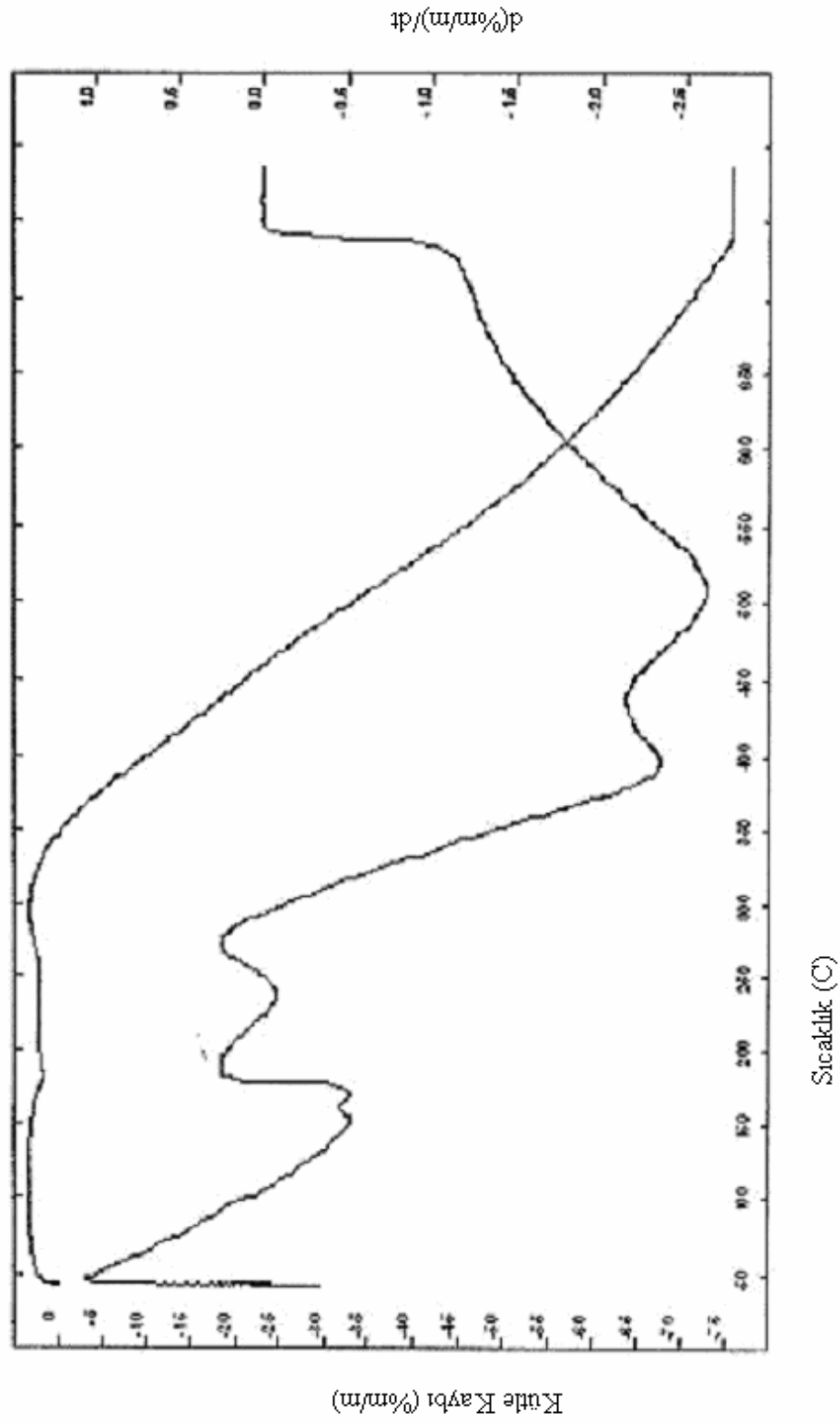
Şekil 4.7. %37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.8. %53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.9. %75 PIN içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi



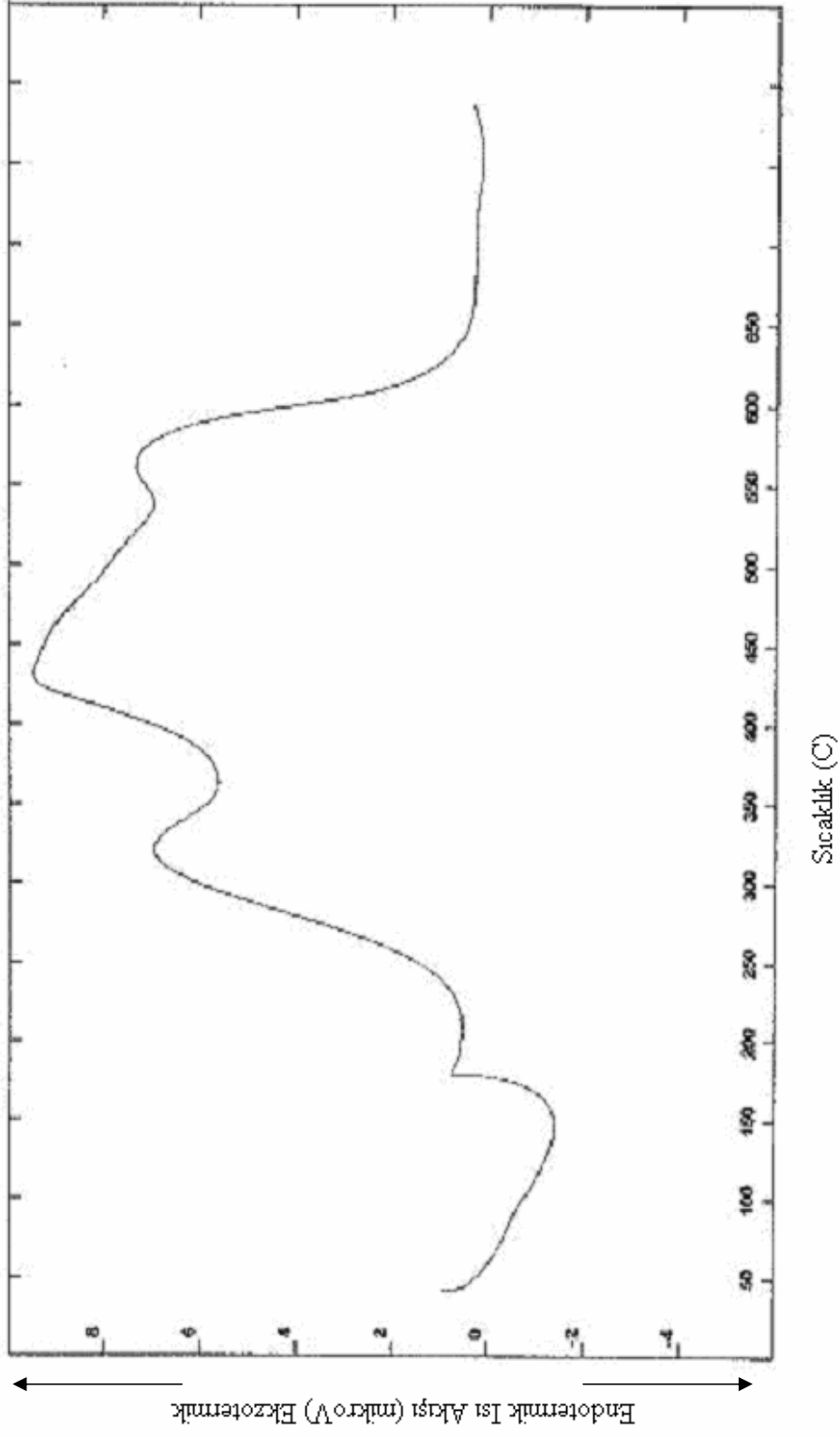
Şekil 4.10. %85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin TGA eğrisi

PIN/kaolin kompozitlerin diferansiyel taramalı kalorimetre ile analizi

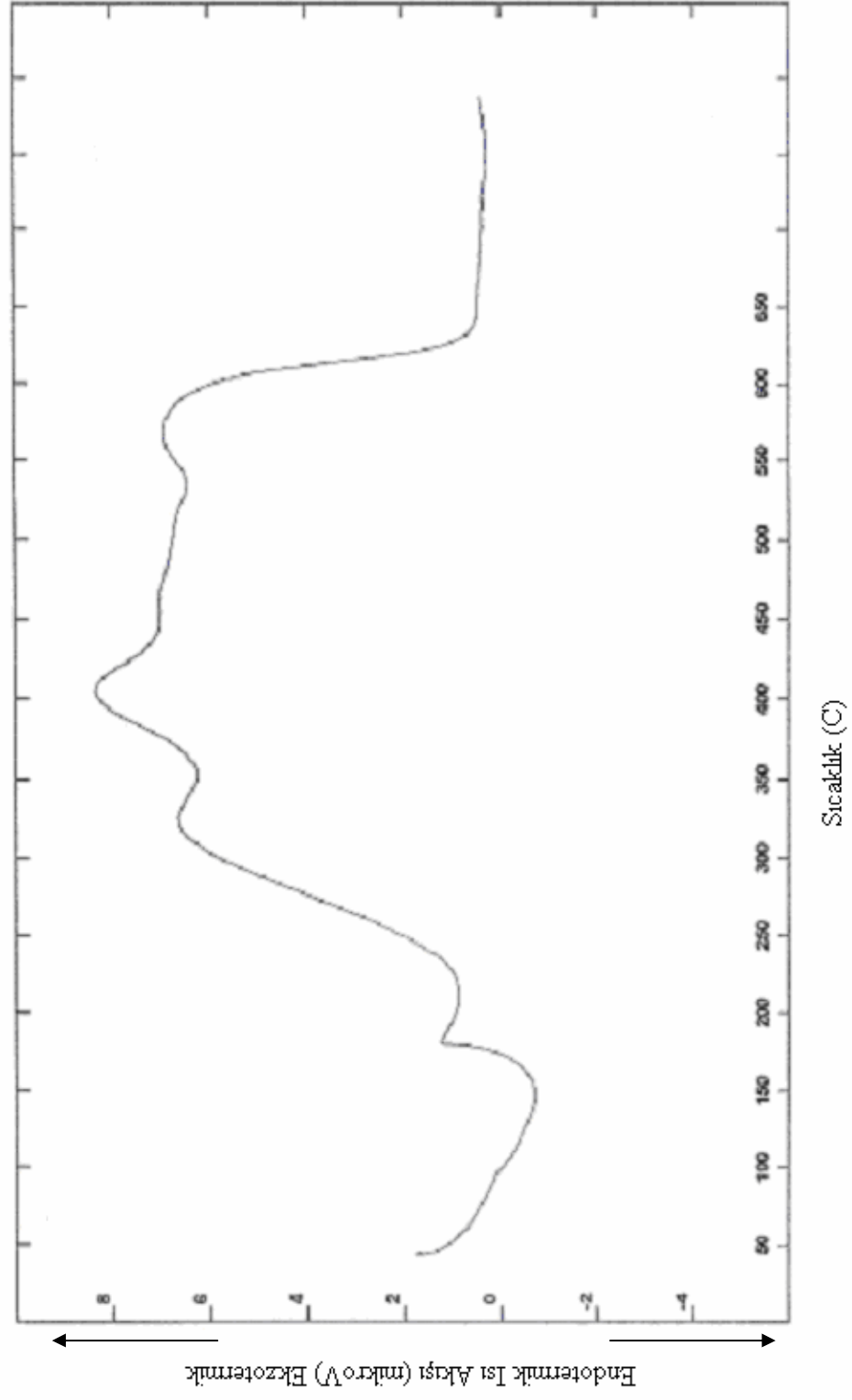
PIN/kaolin kompozitlerinin DSC eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.11-Şekil 4.15) DSC eğrisinde gözlenen endotermik geçiş sıcaklıkları TGA eğrinden elde edilen bozunma sıcaklıkları ile örtüşmektedir. PIN/kaolin kompozitlerinin DSC eğrilerinde hem ekzotermik hem de endotermik geçişler gözlenmektedir. 142-153°C aralığındaki endotermik geçişler polimerin yapısındaki su gibi düşük mol kütleli birimlerin uzaklaşmasını, 206-221°C aralığındaki endotermik geçişler dopant anyonlarının uzaklaştığını, 530-559°C aralığındaki endotermik geçişler polimer yapısının bozunduğunu göstermektedir. 397-436°C aralığındaki ekzotermik geçişler ise polimer yapısında oluşan çapraz bağlanmayı göstermektedir (78).

Çizelge 4.5. PIN/kaolin kompozitlerin diferansiyel taramalı kalorimetre analiz sonuçları

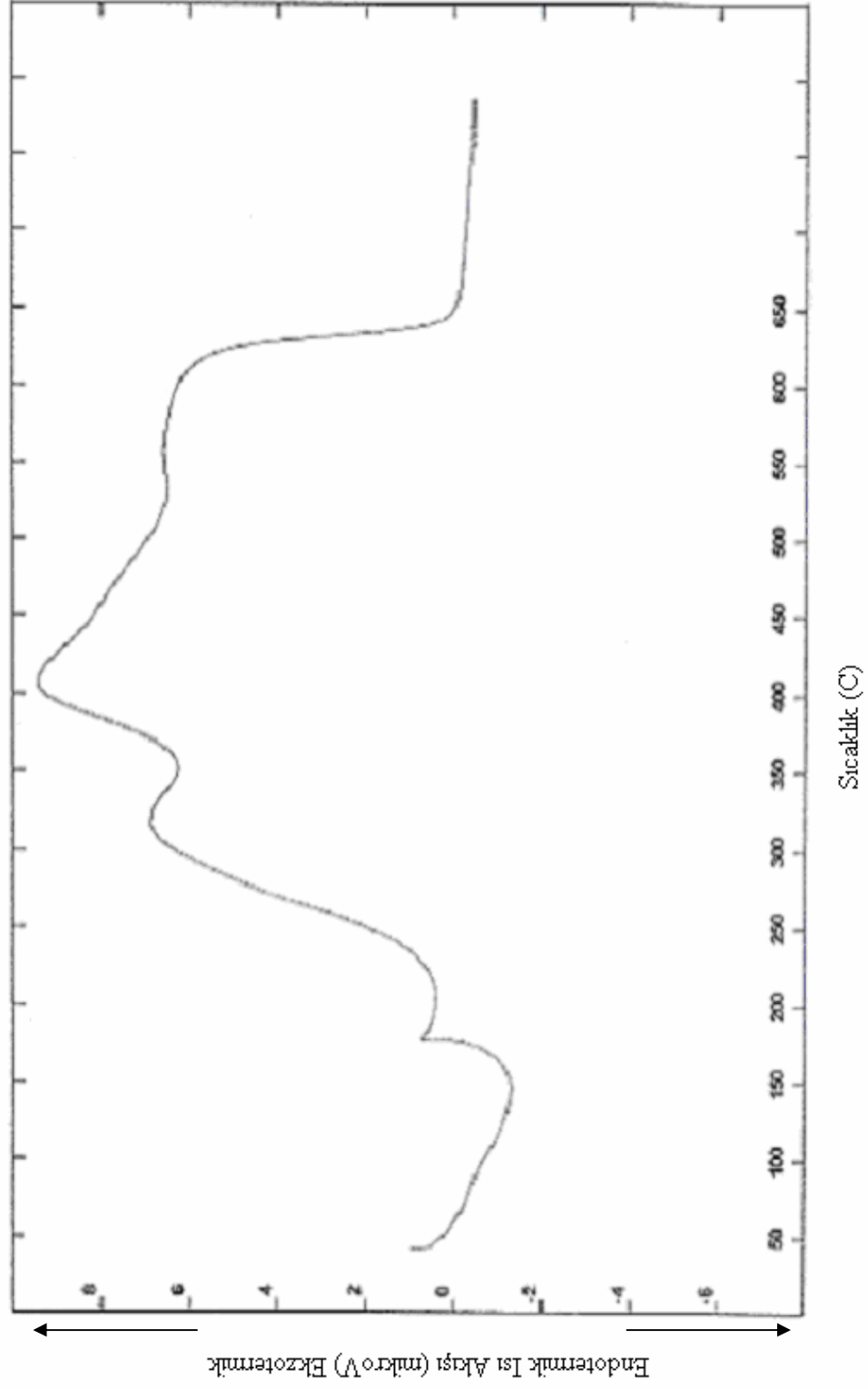
Kompozit	Endotermik t_{su} (°C)	Endotermik t_{dopant} (°C)	Ekzotermik $t_{\text{çapraz bağlanma}}$ (°C)	Endotermik $t_{bozunma}$ (°C)
%22PIN%78Kaolin	142	221,371	436	559
%37PIN%63Kaolin	150	221,357	407	540
%53PIN%47Kaolin	153	215,353	412	530
%75PIN%25Kaolin	153	206,350	397	550
%85PIN%15Kaolin	150	212,353	400	550



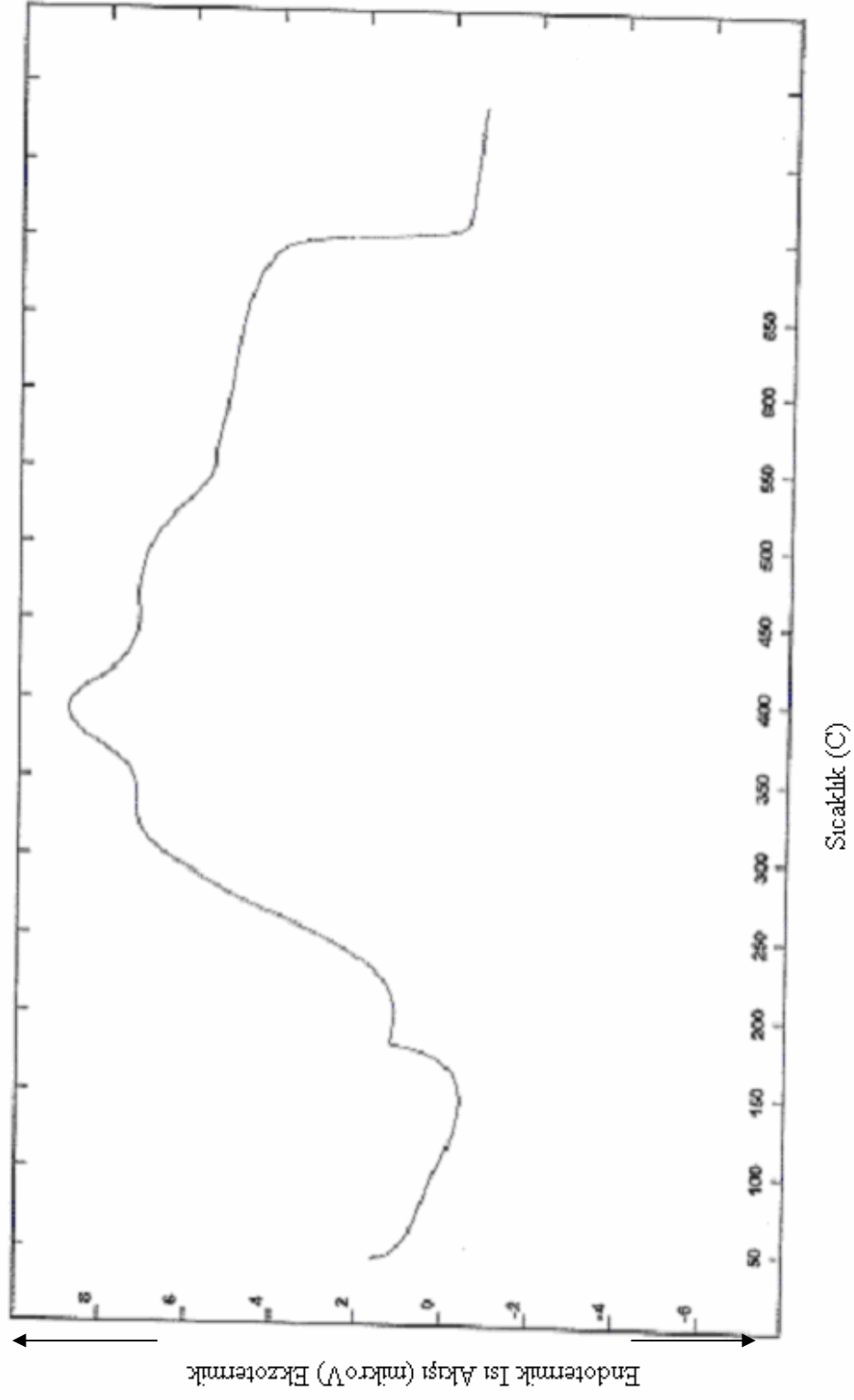
Şekil 4. 11.%22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi



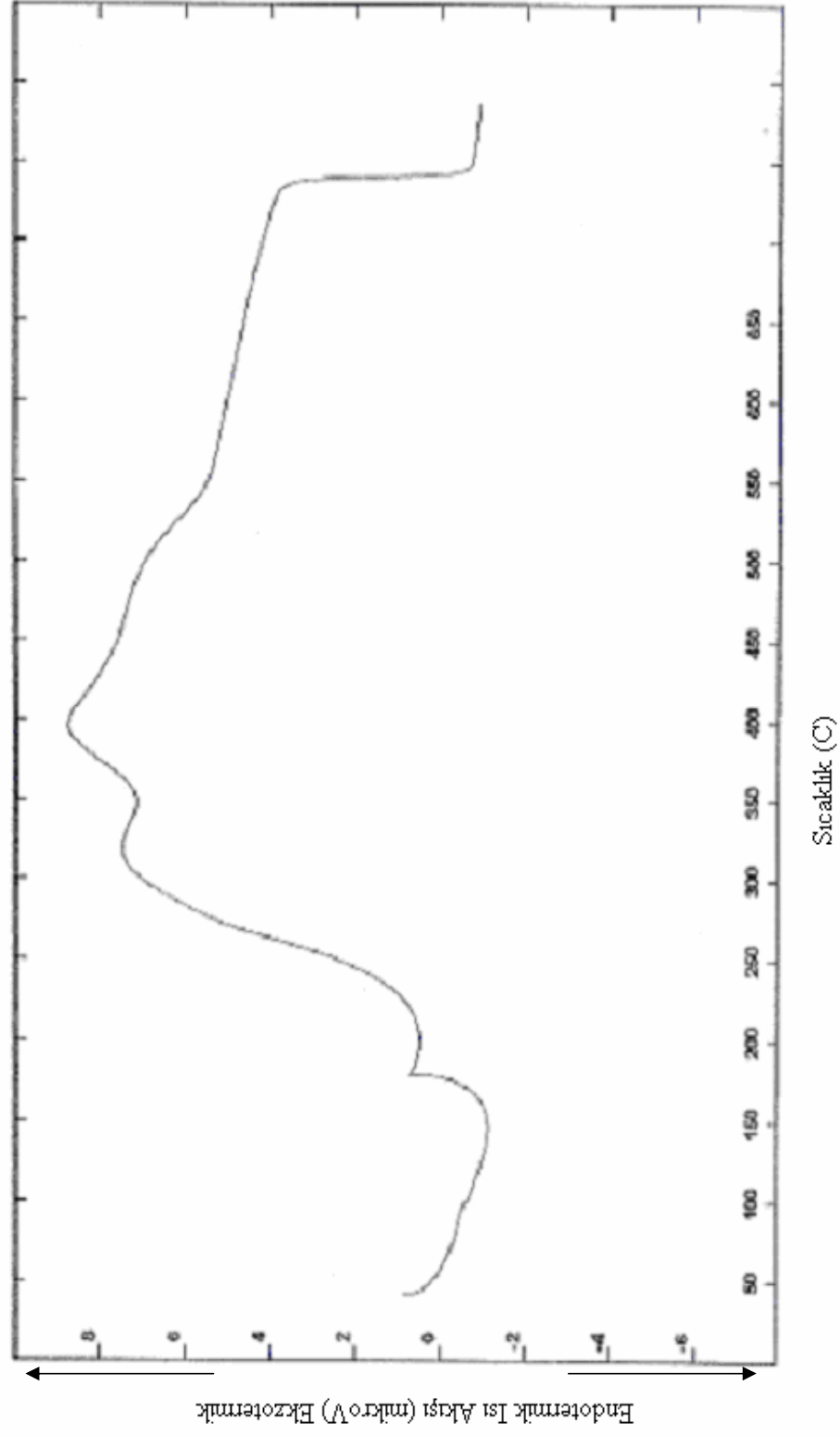
Şekil 4.12.%37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi



Şekil 4.13. %53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi



Şekil 4. 14, %75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi



Şekil 4. 15: %85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin DSC eğrisi

4.5. Poliinden ve PIN/Kaolin Kompozitlerinin Tanecik Büyüklüğü Tayini

Elektroreolojik çalışmalarda tanecik büyüklüğü önemli bir faktördür. ER etki tanecikler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Bu etkileşim sonucu tanecikler zincirli ya da organize yapı oluştururlar. Bu yapının yerçekimine karşı dayanıklı olması ve koloidal kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda ER aktivite gösteren maddelerin tanecik büyüklüklerinin mikron boyutta olması gerektiğini belirtmişlerdir. Tau ve arkadaşları [66] Kojima ve arkadaşları [67] 15µm-50µm büyüklüğündeki taneciklerin ER özelliklerini incelemişler ve yüksek ER aktivite elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Ayrıca literatürde ER aktivite gösteren parçacıkların 0,1 µm ile 100 µm arasında olması gerektiği rapor edilmiştir [47].

PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin dinamik ışık saçılımı ile yapılan tanecik büyüklüğü tayini sonuçları Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin değirmende öğütme süreleri ve tanecik büyüklüğü sonuçları

	Öğütme Süresi (Saat)	Tanecik Büyüklüğü (µm)
PIN	24	8,29
%22PIN/ %78Kaolin	4	9,21
%37PIN/ %63Kaolin	8	13,15
%53PIN/ %47Kaolin	12	12,30
%75PIN/ %25Kaolin	16	9,03
%85PIN/ %15Kaolin	24	8,94

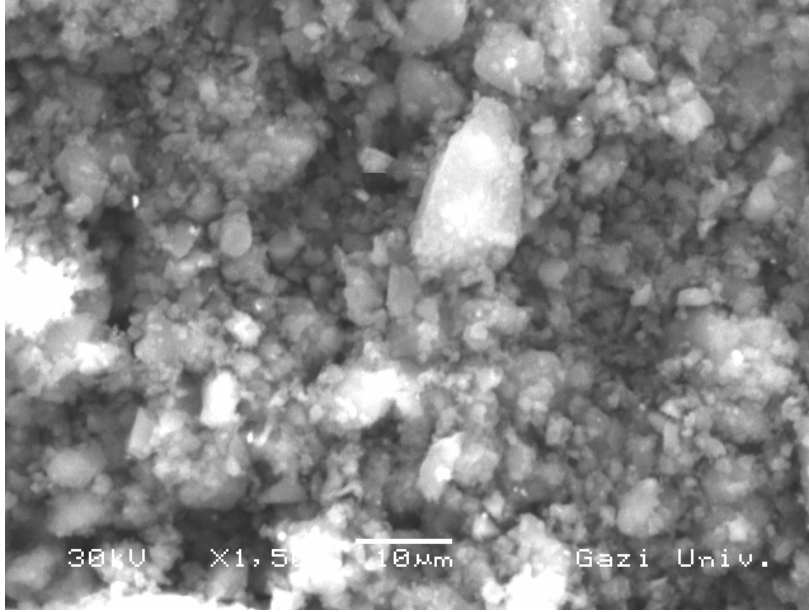
4.6. PIN ve PIN/Kaolin Kompozitlerinin Taramalı Elektron mikroskobu (SEM)

Sonuçları

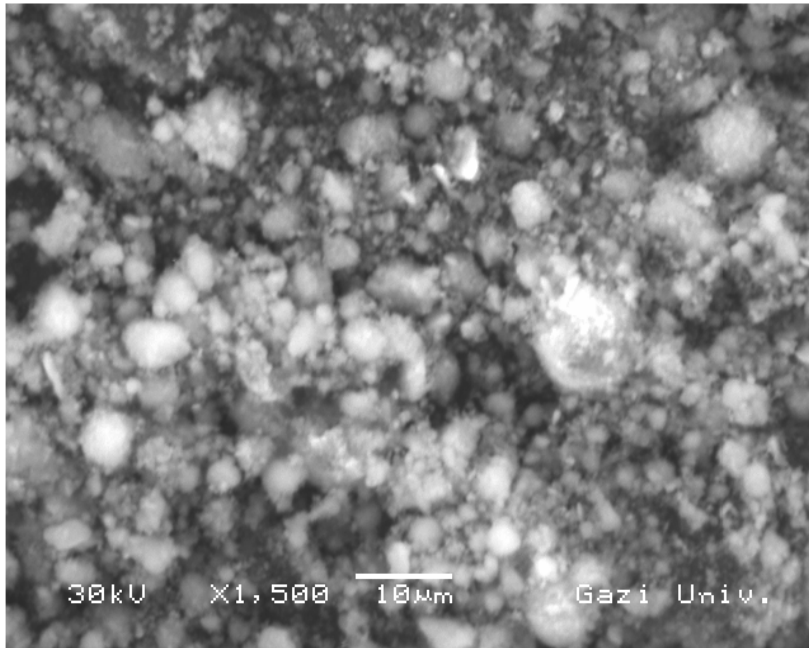
PIN'in SEM mikrografından (Resim 4.1) yüzey yapısı incelendiğinde tanecikli ve gözenekli bir yapıda olduğu görülmektedir.

Değişik miktarlarda PIN içeren PIN/kaolin kompozitlerinin SEM mikrografları incelendiğinde de (Resim 4.2- Şekil 4.6) kompozitlerin yine tanecikli ve gözenekli bir yapıda olduğu görülmektedir. İncelenen SEM mikrografları kompozitin ve homopolimerin yüzey morfolojisinin birbirine benzediğini göstermektedir. Buradan da PIN ve kaolin'in birbiri içinde uyumlu ve homojen bir şekilde dağıldıkları tespit edilmiştir [68].

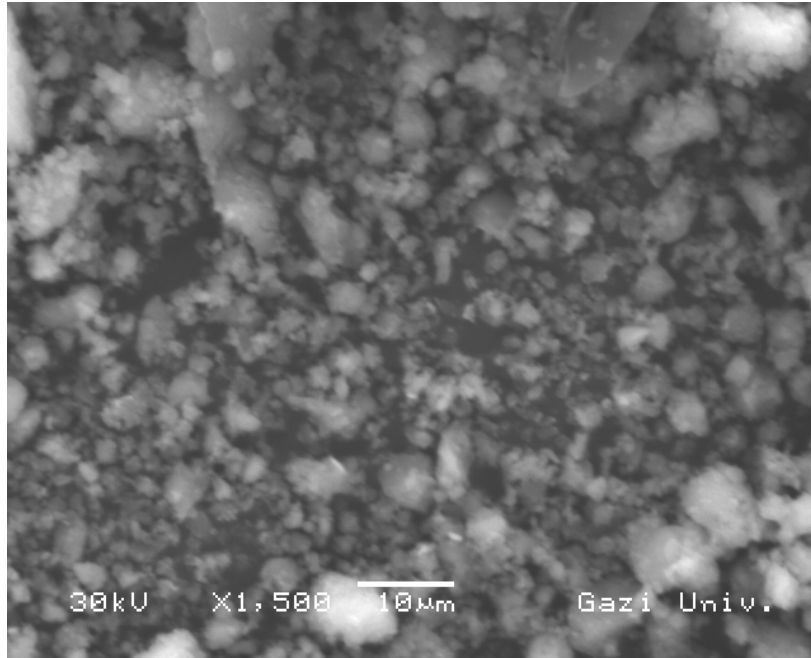
Wu ve arkadaşları PE/kaolin kompozitleri ile yaptıkları çalışmada, PE/kaolin kompozitlerinin süngerimsi ve tanecikli yapıda olduğunu ve kaolin miktarı artıkça daha sık istiflenmiş tanecik yapısına sahip olduğunu belirtmişlerdir [69].



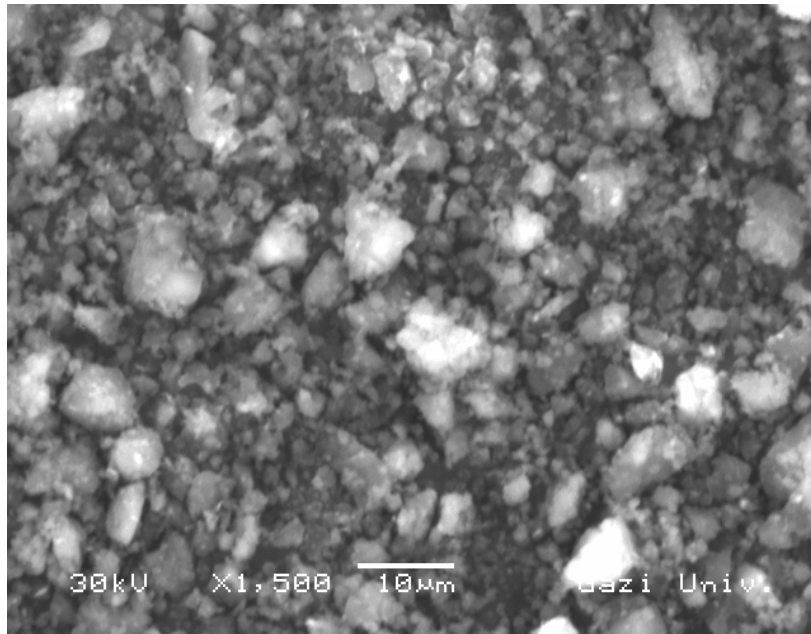
Resim 4.1. PIN'in SEM fotoğrafı (1500x)



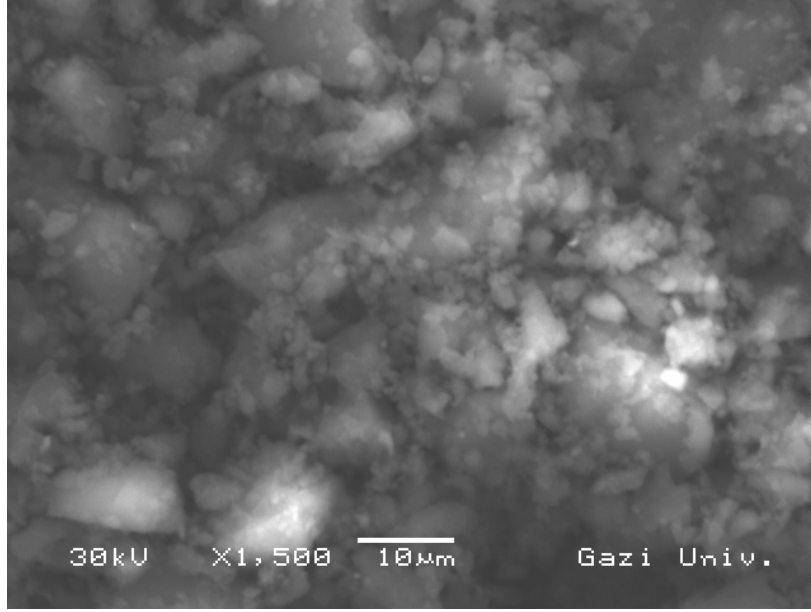
Resim 4.2 % 22 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)



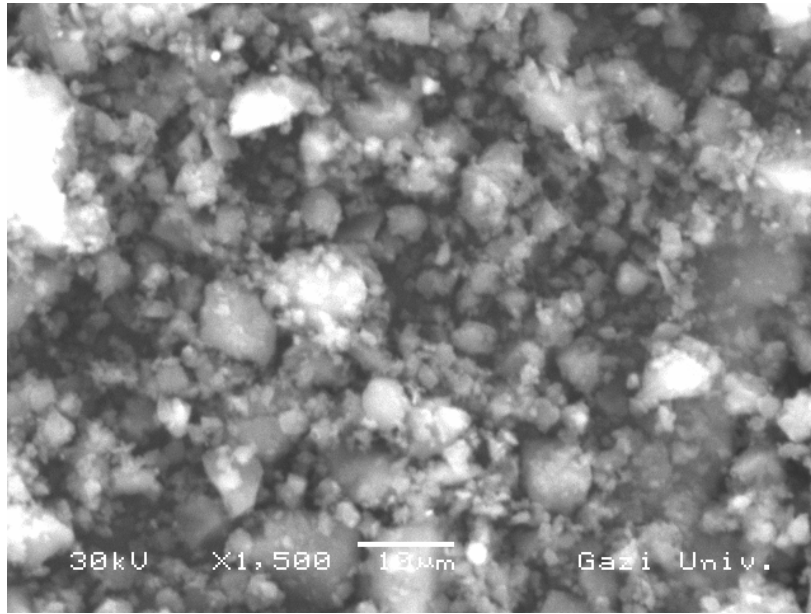
Resim 4.3. % 37 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)



Resim 4.4. % 53 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)



Resim4.5. % 75 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)



Şekil 4.6. % 85 PIN (m/m) içeren PIN/kaolin kompozitinin SEM fotoğrafı (1500x)

4.7. Elektoreometre ile Yapılan Çalışmalar

4.7.1. ER aktivite üzerine süspansiyon derişiminin etkisi

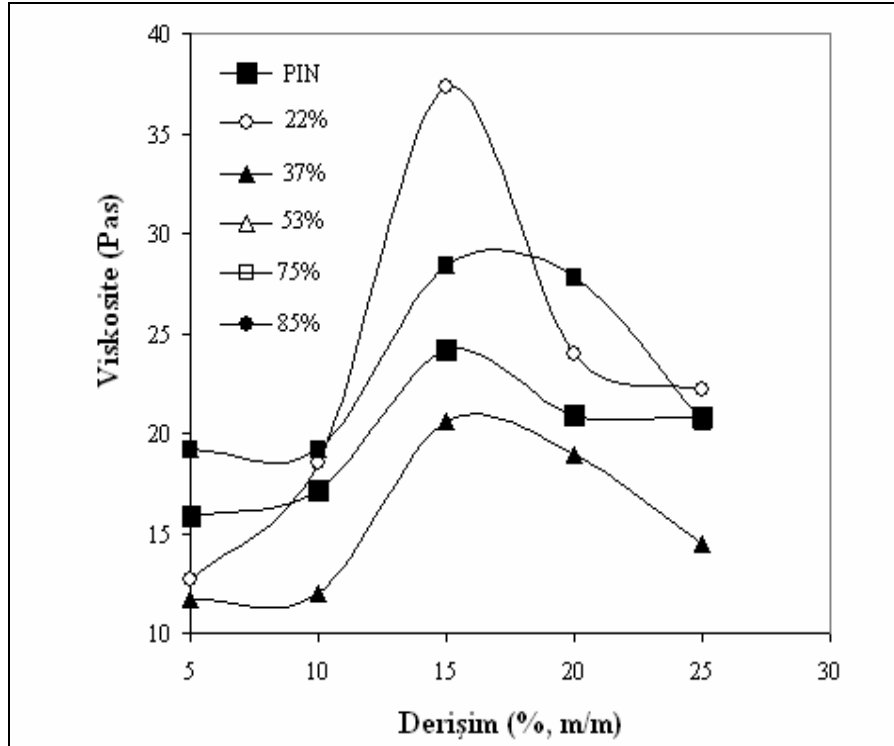
ER akışkanlarda, yağ içerisinde dağıtılmış taneciklerin miktarı arttıkça ER aktivite artar. Fakat bunun bir sınırı vardır. Süspansiyon çok derişik olduğunda pasta kıvamını alır ve koloidal kararsızlık olur. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların, sabit kayma hızında ($\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$) ve elektrik alan kuvveti altında ($E = 2 \text{ kV/mm}$) ölçülen viskozitenin derişim ile değişimi Şekil 4.16’de gösterilmiştir.

Şekil 4.16’de görüldüğü gibi sabit kayma hızında derişimin değiştirilmesi ile en yüksek viskozite oranına PIN ve PIN/kaolin süspansiyonlarında %15 derişimde erişilmiştir. Viskozitenin derişimle artma eğilimi tanecikler arası polarizasyondan ileri gelmektedir. Seyrelik süspansiyonlarda tanecikler arası mesafe fazla olduğundan uygulanan elektrik alan (E) ile polarizasyon kuvvetleri (F) arasında

$$F = 6\epsilon_2 r^6 E^2 / \rho^4 \quad (4.2)$$

bağıntısı vardır. Bu eşitlikte; ϵ_2 taneciklerin dielektrik sabiti. E elektrik alan kuvveti, r tanecik yarıçapı, ρ tanecikler arası mesafeyi göstermektedir.

Bu eşitliğe göre tanecikler arası mesafenin azalması ile tanecikler arası polarizasyon kuvvetinin etkisi artar. Buna göre tanecik derişimi arttıkça süspansiyonun viskozitesi de artar. Ancak derişim %15’in üzerine çıktığında viskozite artışında da bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni yüksek derişimde taneciklerin birbirine yakın olması ve tanecikler arasında oluşan elektriksel çift tabakanın örtüşmesidir. Ünal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada diyatomit ve diyatomit/poliakrilonitril ile silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların viskozitesinin derişimle arttığı ancak %15 derişimden sonra süspansiyonların derişimin de azalmalar olduğu rapor edilmiştir [70].



Şekil 4.16. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin-silikon yağı sisteminde viskozitesinin derişim ile değişimi $E = 2 \text{ kV/mm}$, $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$

4.7.2. ER aktivite üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi

ER akışkana elektrik alan uygulandığında tanecikler arası etkileşimler taneciklerin agregasyonuna ve lif oluşumuna yol açar. Taneciklerin polarizasyonu sonucu gerçekleşen bu olay elektoreoloji olayı olarak ifade edilir. ER akışkanlar için genellikle doğru akım güç kaynağı kullanılır. Tercih edilen elektrik alan kuvveti genellikle 0-10 kV/mm arasındadır.

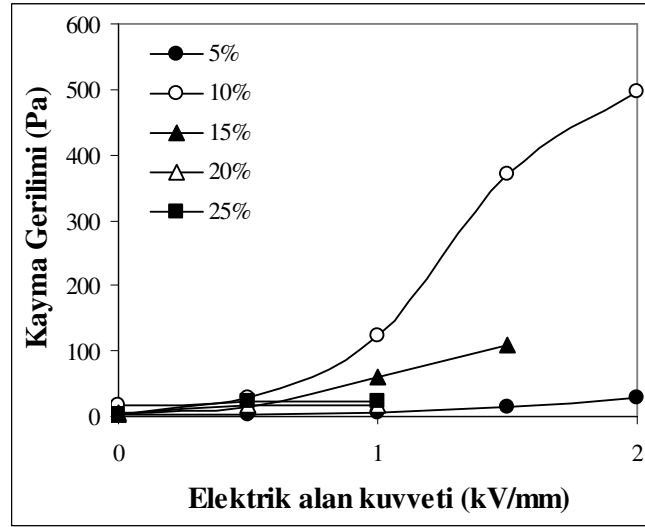
Bir ER akışkana yüksek elektrik alan uygulandığında, polarizasyon etkisiyle bir kayma gerilimi elde edilir. Bu kayma geriliminin meydana geldiği elektrik alan kuvveti değerine, kritik elektrik alan kuvveti denir. (E_k). E_k değerine kadar ER akışkan hiçbir ER etki göstermez, ancak kritik elektrik alan kuvvetinden daha yüksek değerlerde ER etki gözlenebilir. Kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile orantılı

olarak arttığı bulunmuştur. Şekil 4.17-Şekil 4.22’de PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ sabit kayma hızında (%5-%25) arasındaki derişimlerde elde edilen elektrik alan kuvveti-kayma gerilimi grafikleri verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi elektrik alan kuvveti 0 kV/mm’den 2 kV/mm’ye artması ile kayma geriliminde de artış görülmektedir. PIN süspansiyonun ER aktivitesi $E = 2 \text{ kV/mm}$ $c = \%10$ olduğu şartlarda en yüksek $\eta = 495 \text{ Pa}$ kayma gerilimi değerine ulaşılmıştır. PIN/kaolin kompozitlerinde ise elektrik alan kuvvetinin etkisi yüksek derişimde daha yüksektir. ER aktivitesi, $E = 2 \text{ kV/mm}$ $c = \%25$ şartlarında %22, %37 PIN içeren PIN/kaolin kompozitinde sırasıyla $\eta = 103 \text{ Pa}$ ve 168 Pa kayma gerilimi değerlerindedir. %53, %75, %85 PIN içeren PIN/kaolin kompozitinde ise $\eta = 131 \text{ Pa}$ kayma gerilimi değerine ulaşılmıştır.

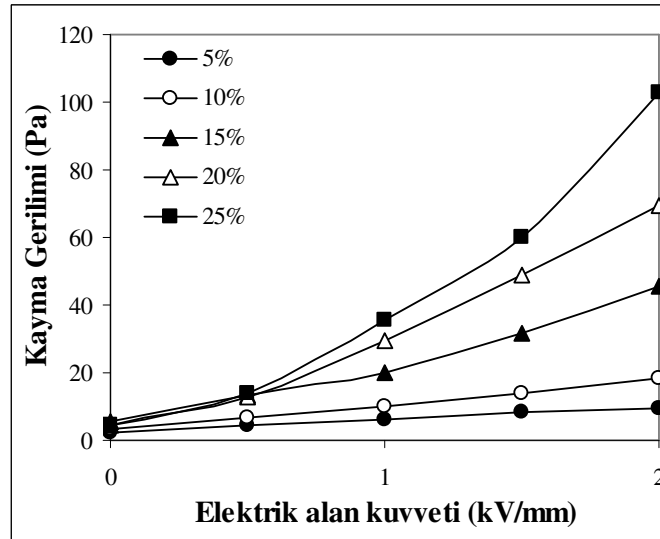
Şekil 4.23’de ise PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların $c = \%15$ ve $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ sabit kayma hızında elektrik alan kuvveti-viskozite grafikleri verilmiştir. PIN ve PIN/kaolin kompozitleri $E = 2 \text{ kV/mm}$ olduğu şartlarda en yüksek kayma gerilimi değerine ulaşmışlardır. PIN $\eta = 107 \text{ Pa}$ %22, %37 PIN içeren PIN/Kaolin kompozitinde sırasıyla $\eta = 46 \text{ Pa}$ ve 90 Pa kayma gerilimi değerlerindedir. %53, %75, %85 PIN içeren PIN/kaolin kompozitinde ise $\eta = 103 \text{ Pa}$ kayma gerilimi değerine ulaşılmıştır.

Kaolin süspansiyonlarının $c = \%15$ ve $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ sabit kayma hızında $E = 2 \text{ kV/mm}$ olduğu şartlarda elektrik alan kuvveti-viskozite değişiminin incelendiği çalışmada ise en yüksek kayma gerilimi değeri $\eta = 44 \text{ Pa}$ olduğu rapor edilmiştir [77].

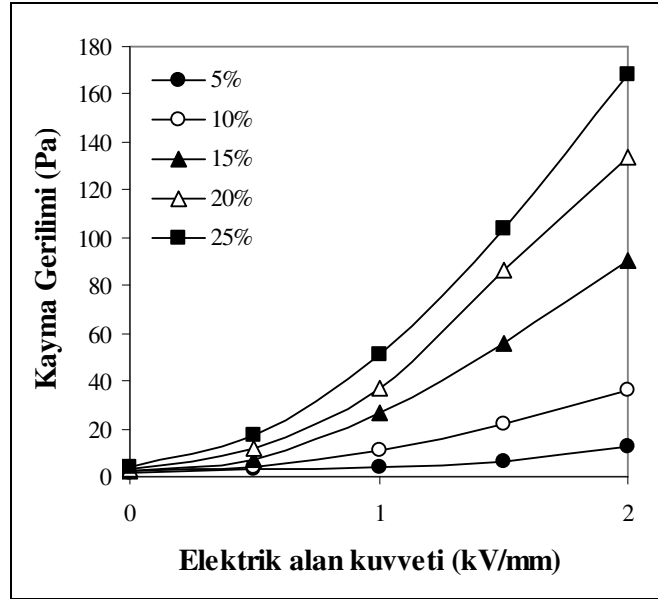
Araştırmacılar, Silika-TiO₂ kompozitlerinin silikon yağı ile yaptıkları çalışmada süspansiyonlarının kayma gerilimi değerinin elektrik alan kuvvetleri ile orantılı olarak artış gösterdiğini rapor etmişlerdir [25].



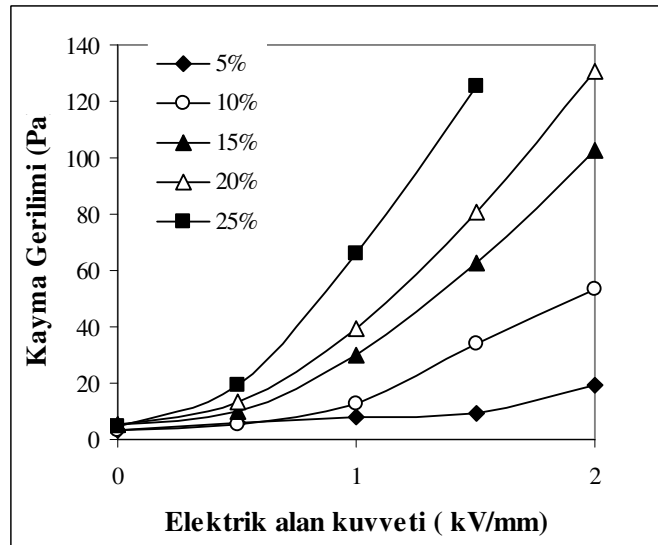
Şekil 4.17. PIN/silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$



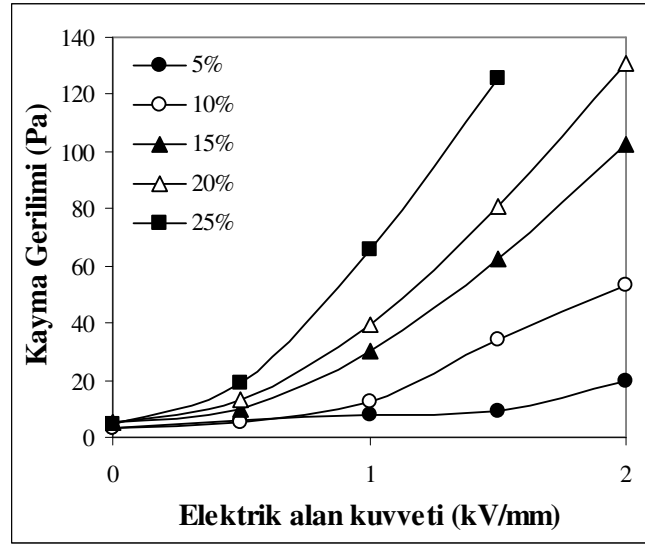
Şekil 4.18. %22 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$



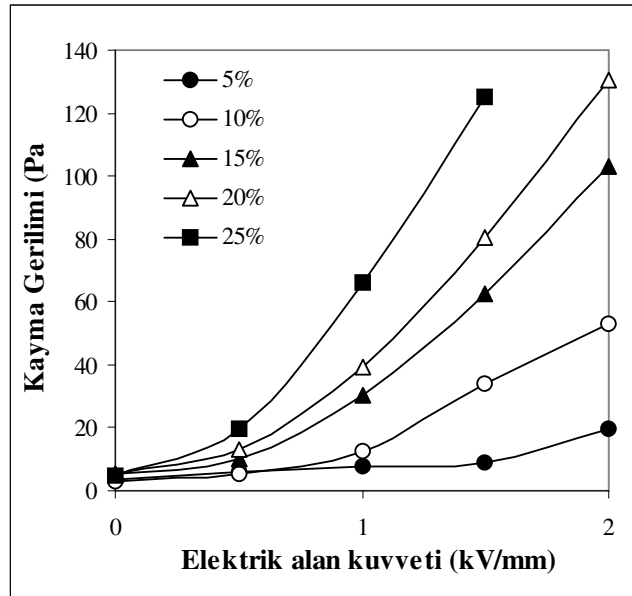
Şekil 4.19. %37 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değışimi $\dot{\gamma}=1,0 \text{ s}^{-1}$
 $T = 25^{\circ}\text{C}$



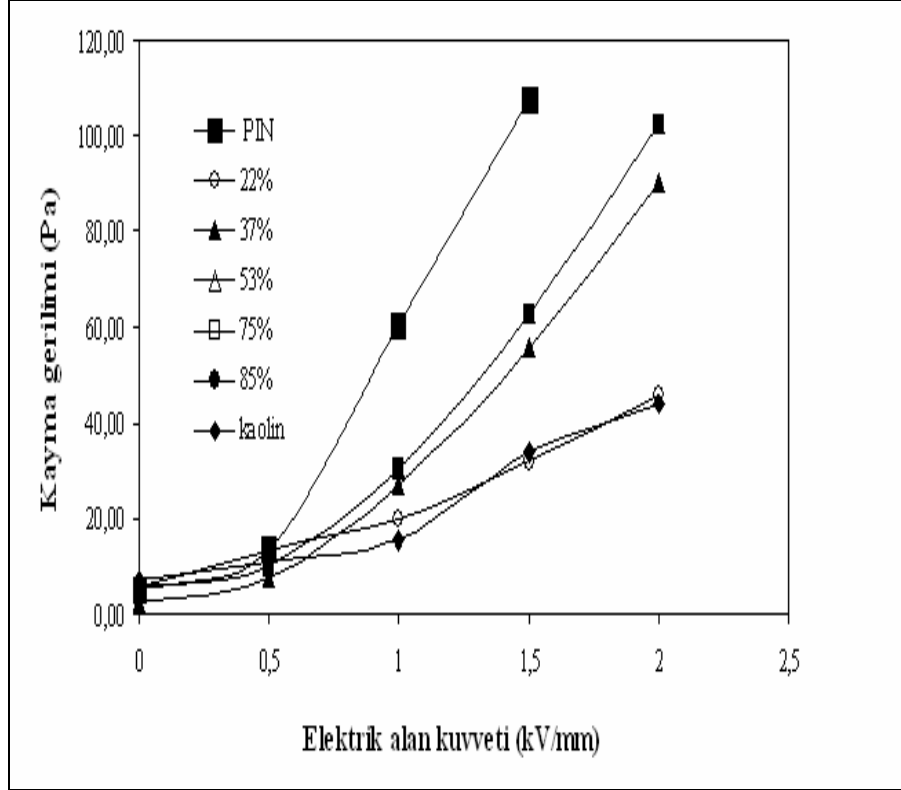
Şekil 4.20. %53 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değışimi
 $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$



Şekil 4.21. %75 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi, $\dot{\gamma}=1,0 \text{ s}^{-1}$ $T = 25^{\circ}\text{C}$



Şekil 4.22. %85 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi, $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ $T = 25^{\circ}\text{C}$



Şekil 4.23. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $c = \%15(\text{m/m})$

4.7.3. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi

Elektrik alan kuvveti uygulandığında tanecikler arası etkileşimler taneciklerin agregasyonuna ve lif oluşumuna yol açar. Bir kayma alanı varlığında viskoz kuvvetlerle etkileşen tanecikler süspansiyonda mevcut olan diğer taneciklerle etkileşir. Bu viskoz kuvvetler (F)

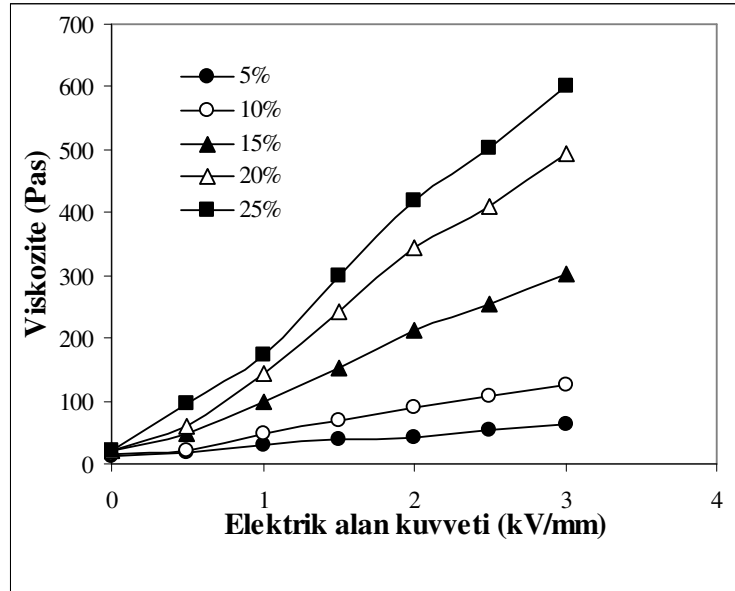
$$F = 6\pi\eta_s r^6 \dot{\gamma} \quad (4.3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada; η_s süspansiyonun viskozitesini, r tanecik yarıçapını, $\dot{\gamma}$ kayma hızını göstermektedir.

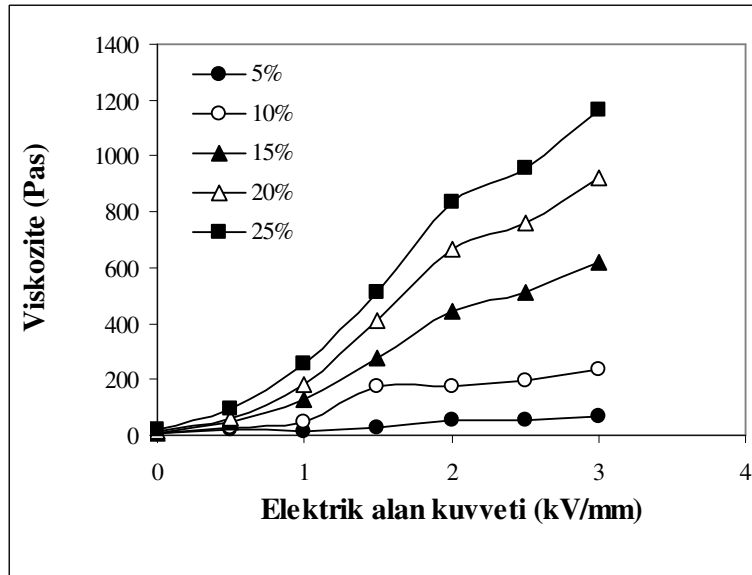
Şekil 4.24-Şekil 4.29'da PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların $1,0 \text{ s}^{-1}$ sabit kayma hızında (%5-%25) arasındaki derişimlerde elde edilen elektrik alan kuvveti-viskozite grafikleri verilmiştir. Her bir grafikten görüleceği gibi elektrik alan kuvvetinin artması ile viskozite de aynı oranda artış meydana gelmektedir. PIN süspansiyonun ER aktivitesi $E = 3 \text{ kV/mm}$ $c = \%25$ olduğu şartlarda en yüksek 735 Pas viskozite değerindedir. PIN/Kaolin kompozitlerinde de elektrik alan kuvvetinin etkisi yüksek derişimde daha yüksektir. En yüksek viskozite değeri, $E = 3 \text{ kV/mm}$ $c = \%25$ şartlarında %22 PIN içeren (m/m) PIN/Kaolin kompozitinde 601 Pas viskozite değerindedir. %53, %85 PIN içeren (m/m) PIN/Kaolin kompozitinde 1254 Pas viskozite değerindedir. %37, %75 PIN içeren PIN/Kaolin kompozitinde 1161 Pas viskozite değerinde bulunmuştur.

Şekil 4.30'da ise PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların $c = \%25$ ve $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ sabit kayma hızında elektrik alan kuvveti-viskozite grafiği verilmiştir. PIN ve PIN/Kaolin kompozitleri $E = 3 \text{ kV/mm}$ olduğu şartlarda en yüksek viskozite değerine ulaşmışlardır. PIN 271 Pas %22 PIN içeren PIN/Kaolin kompozitinde 332 Pas %37 ve %75 PIN içeren PIN/Kaolin kompozitlerinde 778 Pas %53 ve %85 PIN içeren PIN/Kaolin kompozitlerinde ise 908 Pas viskozite değerine ulaşmıştır.

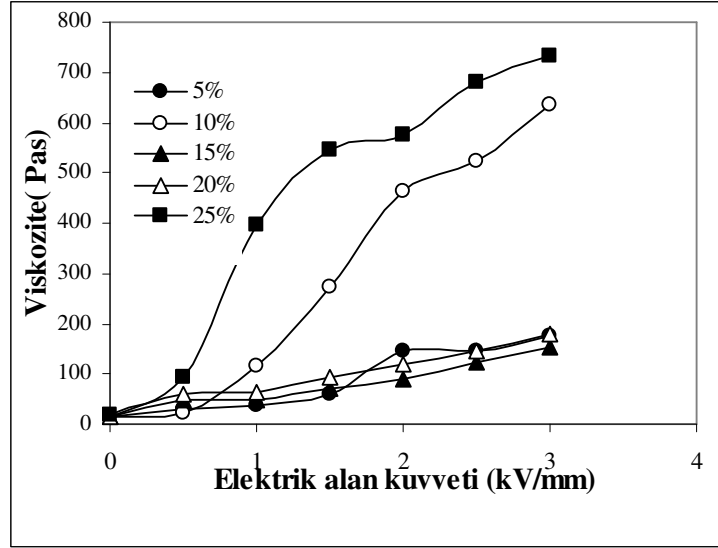
Ünal ve arkadaşları tarafından CaCO_3 /silikon yağı sistemi ile yapılan çalışmada, $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%20$ ve $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ şartlarında en yüksek viskozite değeri 275 Pas gözlenmiştir [71].



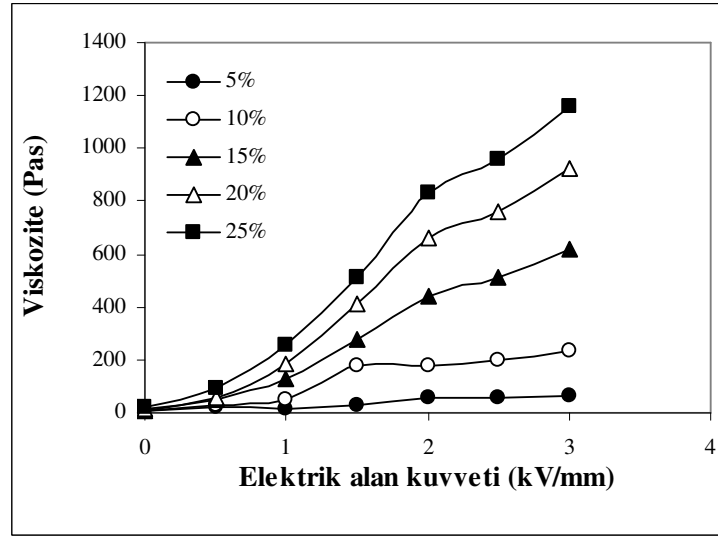
Şekil 4.24. PIN/silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$



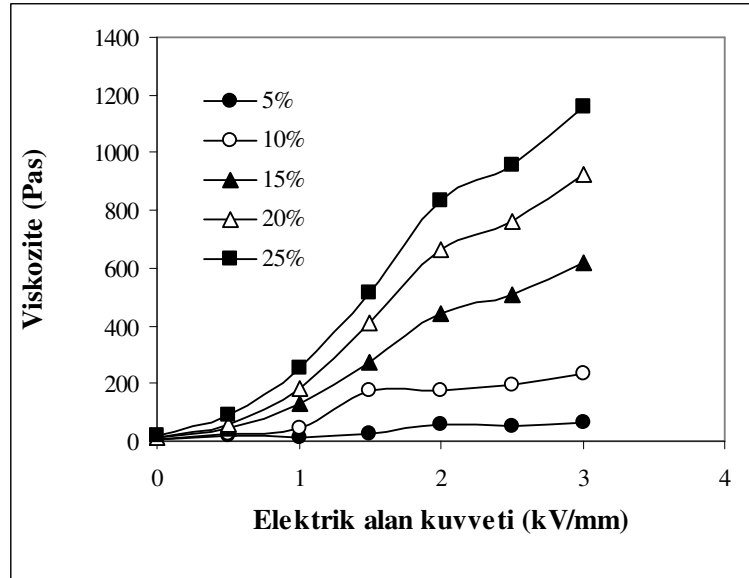
Şekil 4.25. %22 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 4.26. %37 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi, $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$

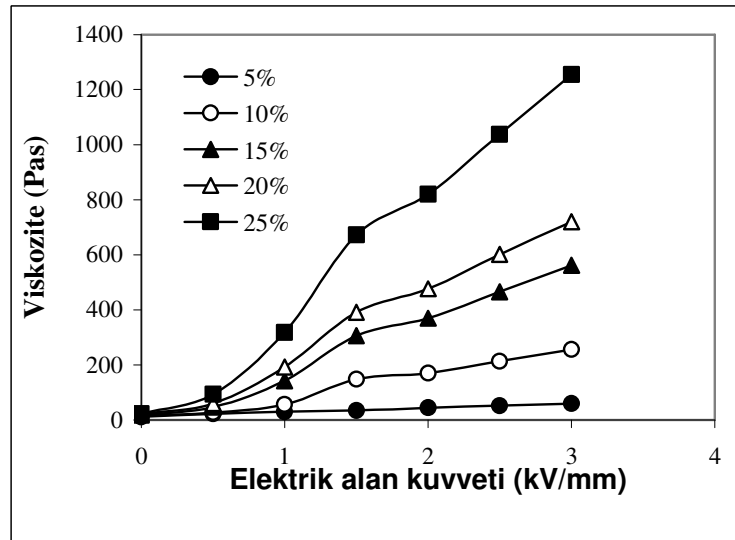


Şekil 4.27. %53 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$



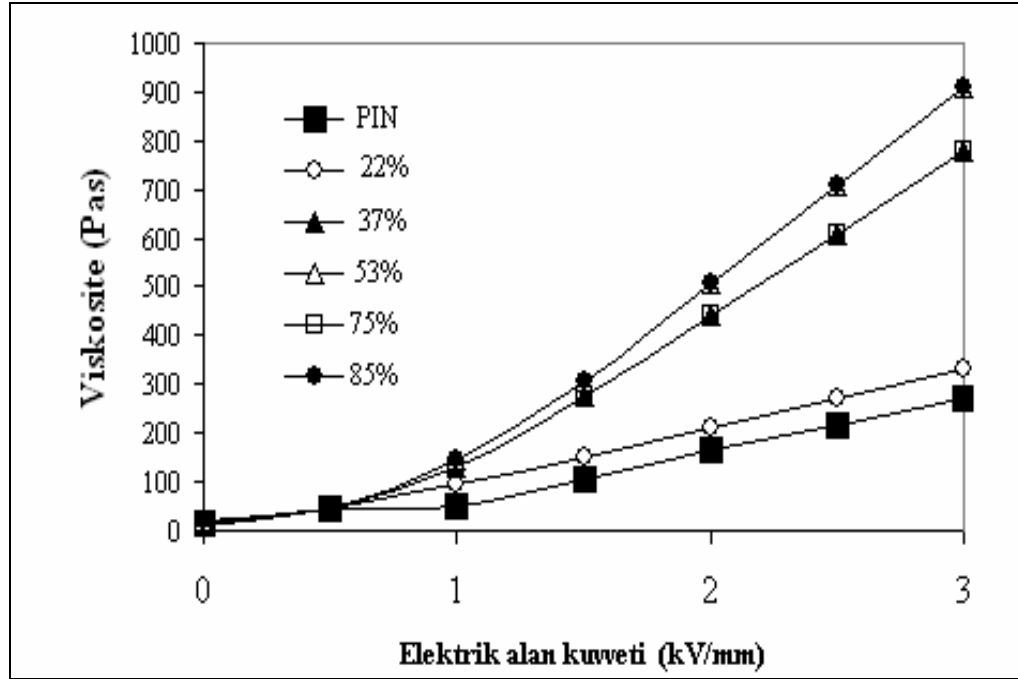
Şekil 4.28. %75 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde

viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$,
 $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 4.29. %85 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinin silikon yağı sisteminde

viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$,
 $T = 25^\circ\text{C}$



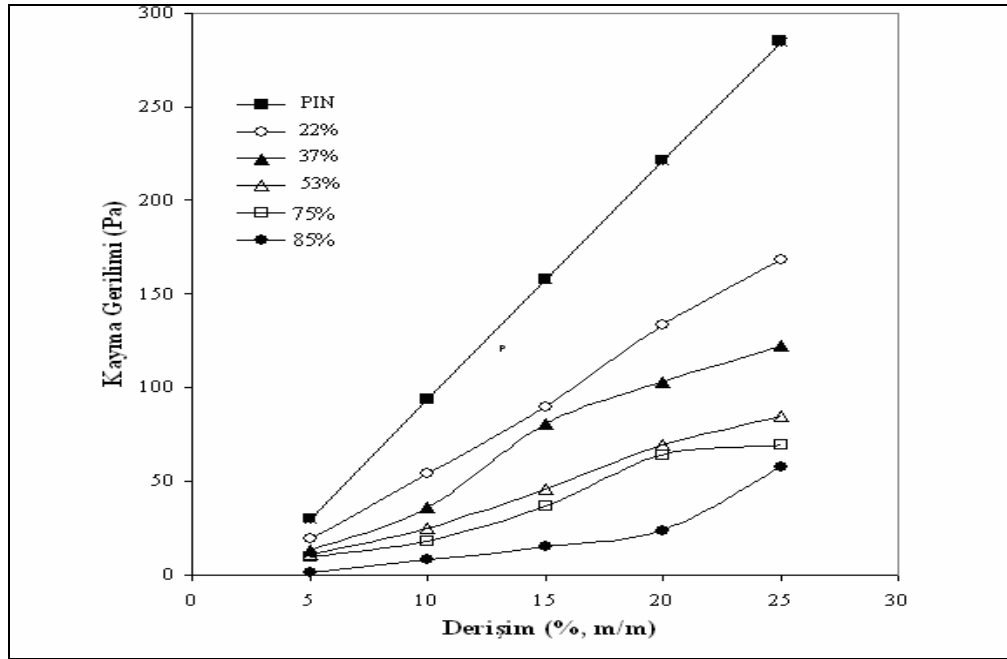
Şekil 4.30. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde viskozitesinin elektrik alan kuvvetiyle değişimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $c = \%25(\text{m/m})$

4.7.4. Kayma geriliminin derişim ile değişimi

Şekil 4.31'de PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların 1s^{-1} sabit kayma hızında elde edilen kayma gerilimi-derişim grafiği görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi derişim artışına paralel olarak kayma geriliminde de artış görülmektedir. Bu artış derişimin artmasıyla tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin artış göstermesi ve buna bağlı olarak ER aktivitesinin artışını ifade eder.

PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların kayma geriliminin tanecik derişimi ile $c = \%25$ e kadar doğrusal bir artış gösterdiği görülmektedir. $E = 2 \text{ kV/mm}$, kayma hızının $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ olduğu $c = \%25$ derişimin de PIN için 285 Pa kayma gerilimi değerindedir. Kayma geriliminin kompozit bileşimi ile değişimi şu sıradadır: $\%85 (57\text{Pa}) < \%75 (69\text{Pa}) < \%53 (84\text{Pa}) < \%37 (122\text{Pa}) < \%22 (168\text{Pa})$. Kaolin miktarı artıkça sentezlenen kompozitlerin ER aktivitesi de buna bağlı olarak

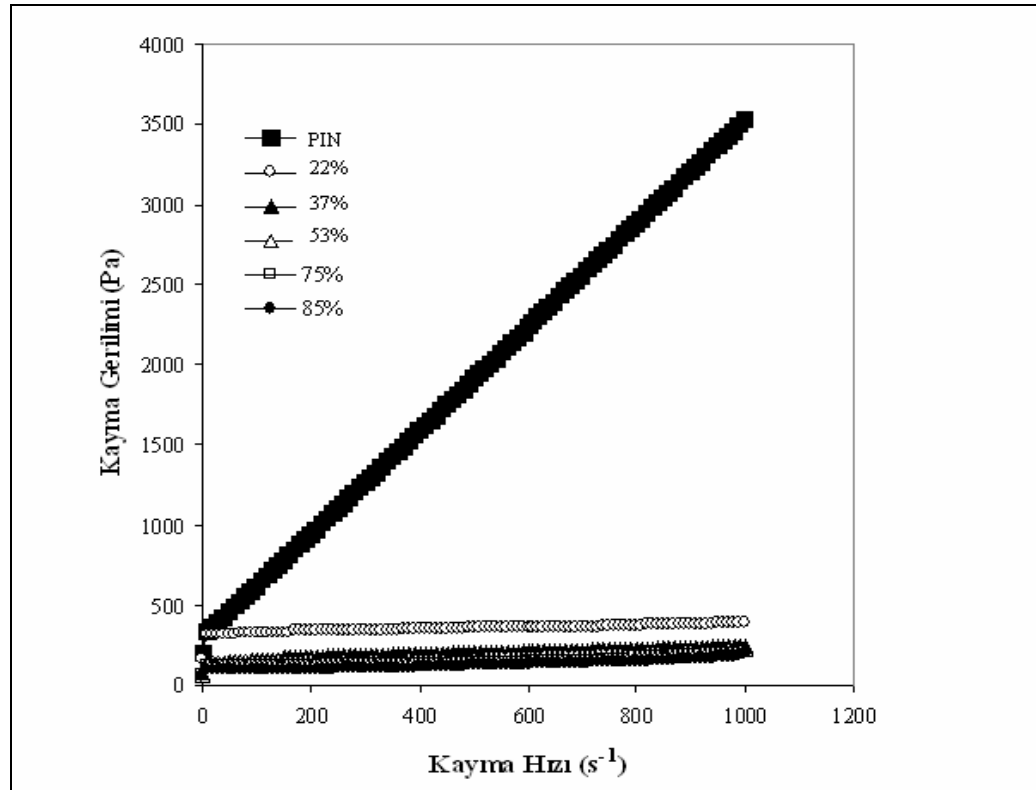
artmaktadır. Otsubo ve Edamura 1,3 etilen glikol dimetakrilat-blok- butil akrilat kopolimerlerinin silikon yağdaki süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada ER aktivitenin tanecik derişimi ile %30'a kadar doğrusal bir artış gösterdiğini ve bu derişimden sonra plato seviyesine ulaştığını belirtmişlerdir [72]. Ayrıca Yavuz ve Ünal tarafından yapılan bir çalışmada Poli(Li-tert-butilmetakrilat) süspansiyonları için kayma geriliminin artan derişimle arttığı gözlenmiştir. Bu çalışmada $E = 0$ ve $E = 1 \text{ kV/mm}$ olan koşullarda kayma gerilimi dikkate alınmış ve en yüksek kayma geriliminin 38 Pa olduğu belirlenmiştir [73].



Şekil 4.31. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin-silikon yağı sisteminde kayma geriliminin derişim ile değışimi $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $E = 2 \text{ kV/mm}$.

4.7.5. ER aktivitenin kayma hızı ile değişimi

Şekil 4.32’de PIN ve PIN/kaolin süspansiyonlarının $E = 3 \text{ kV/mm}$, $c = \%25$ derişim şartlarında kayma hızı-kayma gerilimi grafiğı verilmiştir. Kayma hızında meydana gelen artmayla kayma geriliminde de artışlar meydana gelmektedir. Şekil 4.32’de PIN süspansiyonlarının $E=3 \text{ kV/mm}$, kayma hızının 1 s^{-1} kayma hızında olduğunda $c = \%25$ derişiminde PIN için 3520 Pa kayma gerilimi değerindedir. PIN/kaolin kompozitinde ise $\%85 (388 \text{ Pa}) > \%75 (242 \text{ Pa}) > \%53 (224 \text{ Pa}) > \%37 (207 \text{ Pa}) > \%22 (190 \text{ Pa})$ PIN içeren (m/m) sırasıyla değişmektedir. Ünal ve arkadaşları, poli(Li-2-hidroksietilmetakrilat)/Silikon yağı süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada, $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%20$ derişim olduğu şartlarda kayma hızının artmasıyla kayma geriliminin arttığını rapor etmişlerdir [37].



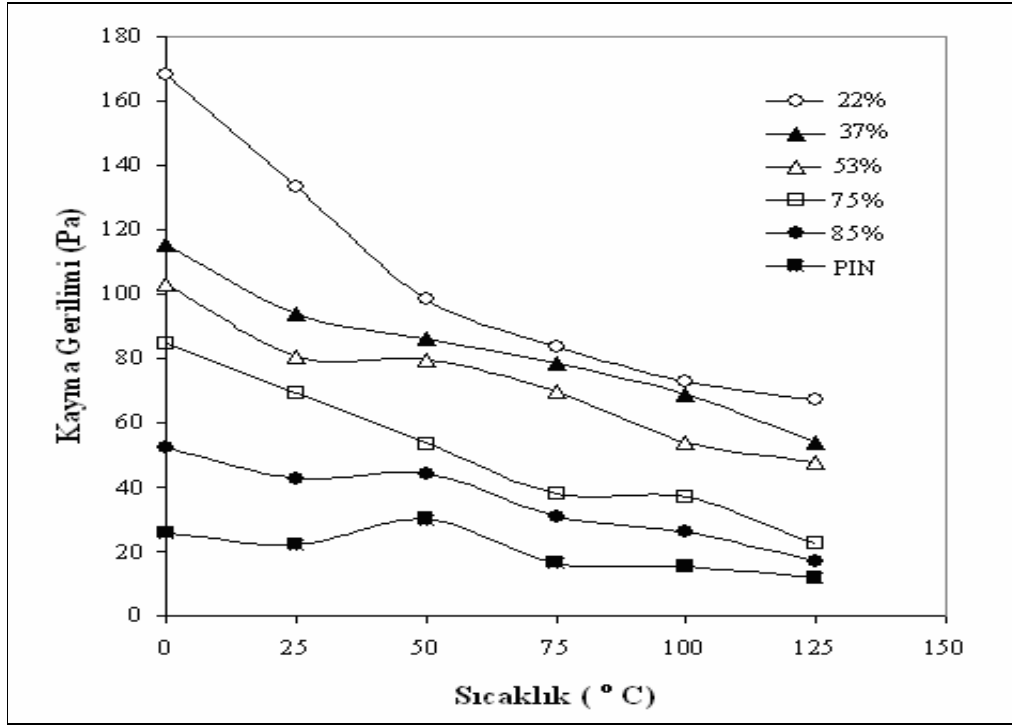
Şekil 4.32. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin/silikon yağı sisteminde kayma geriliminin kayma hızıyla değişimi $E = 3 \text{ kV/mm}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $c = \% 25$ (m/m)

4.7.6. Elektoreolojik aktiviteye sıcaklığın etkisi

Sıcaklık etkisi, ER etkiyi değerlendirmek için önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklığın ER akışkan üzerine etkisi iki şekilde olmaktadır. Birincisi, ER süspansiyon için sıcaklık, polarizasyon etkisini kesin olarak değiştirebilir. Bunun yanında tanecik iletkenliği ve dielektrik sabiti de sıcaklıkla değişebilir. Yüksek sıcaklıkta ER süspansiyon içerisindeki taneciklerin iletkenliğinin azalması ve dielektrik kaybının meydana gelmesi ER aktivitenin azalmasına neden olur.

İkincisi ise sıcaklık taneciklerin çarpışma sayısının artmasını sağlar. Ayrıca yüksek sıcaklıkta Brown hareketleri artar ve taneciklerin lif yapısı zayıf hale gelir. Bu durum ER etkinin azalmasına neden olur.

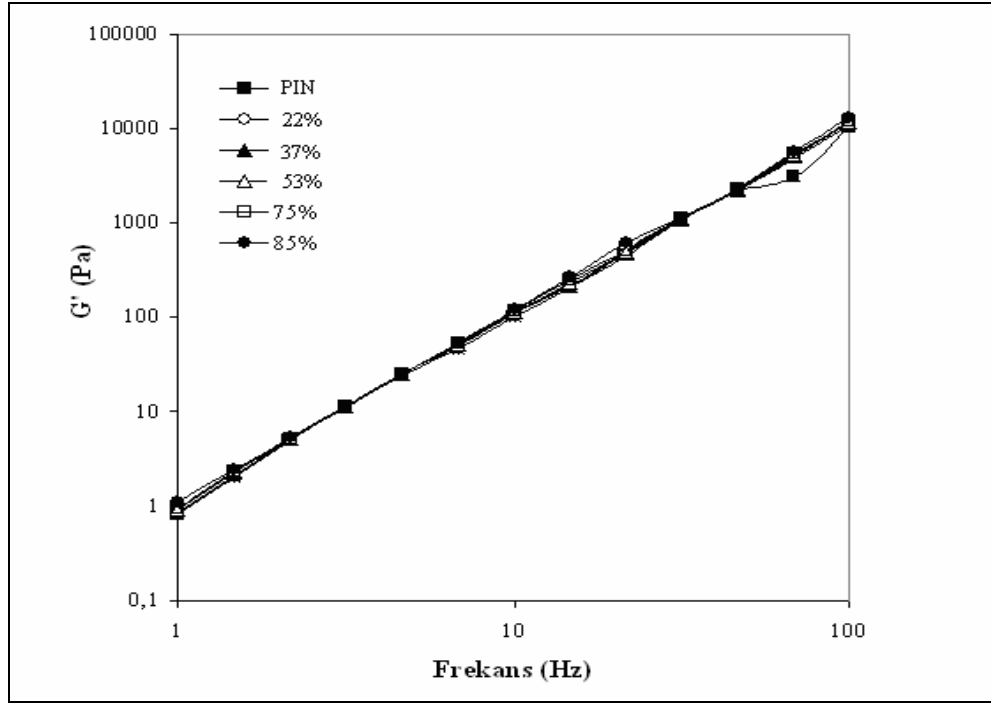
Şekil 4.33’de PIN ve PIN/kaolin süspansiyonlarının $E = 2\text{kV/mm}$ $c = \%25$ derişim şartlarında viskozitelerinin sıcaklık ile değişim grafiği verilmiştir. Süspansiyonların $0\text{-}125^\circ\text{C}$ aralığında, sabit kayma hızında ($\gamma = 1,0\text{ s}^{-1}$) yapılan ölçümlerde sıcaklık artışı ile ER aktivite azalmaktadır. Sıcaklığın 0°C ’den 125°C ’ye artmasıyla PIN’in ER aktivite kaybı, 14 Pa dır. PIN/kaolin kompozitinde ise ER aktivite kayıpları şu sırayla değişmektedir: $\%85$ (101 Pa) $>$ $\%75$ (61 Pa) $>$ $\%53$ (55 Pa) $>$ $\%37$ (62 Pa) $>$ $\%22$ (35 Pa). Yılmaz ve arkadaşlarının Poli(metilmetakrilat)-blok-polistiren/SO ile yaptıkları çalışmada, sıcaklık artışı ile kayma geriliminin azaldığını belirtmişlerdir. $E = 3\text{ kV/mm}$, $c = \%20$ olduğu şartlarda, PMMA-b-PSt/SO sistemin $25\text{-}125^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında minimum kayma gerilimi kaybı 140 Pa olarak rapor edilmiştir [41].



Şekil 4.33. PIN ve PIN/kaolin – silikon yağı sisteminde kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%25 \text{ (m/m)}$, $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$

4.7.7. Elektroeolojik aktiviteye frekans etkisi

ER akışkanlarının dinamik viskoelastik özelliklerini karakterize etmek için frekans önemli bir faktördür. PIN ve PIN/kaolin süspansiyonlarının $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%25$ olduğu şartlarda, elastik modülün frekansla değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.34’de verilmiştir. Süspansiyonların 1-100 Hz frekans aralığında ER aktivitenin frekans artışı ile arttığı gözlenmektedir. Elastik modül 100 Hz frekansta PIN için 10400 Pa değerindedir. PIN/kaolin kompozitinde ise şu sırasıyla değişmektedir: $\%85 \text{ (10800 Pa)} < \%75 \text{ (11800 Pa)} < \%53 \text{ (11870 Pa)} < \%37 \text{ (12000 Pa)} < \%22 \text{ (13300 Pa)}$. Wang ve arkadaşları Polietilen/kaolin kompozitleri ile yaptıkları çalışmada ER aktivitenin frekans artışı ile doğrusal bir artış gösterdiğini rapor etmişlerdir [74].

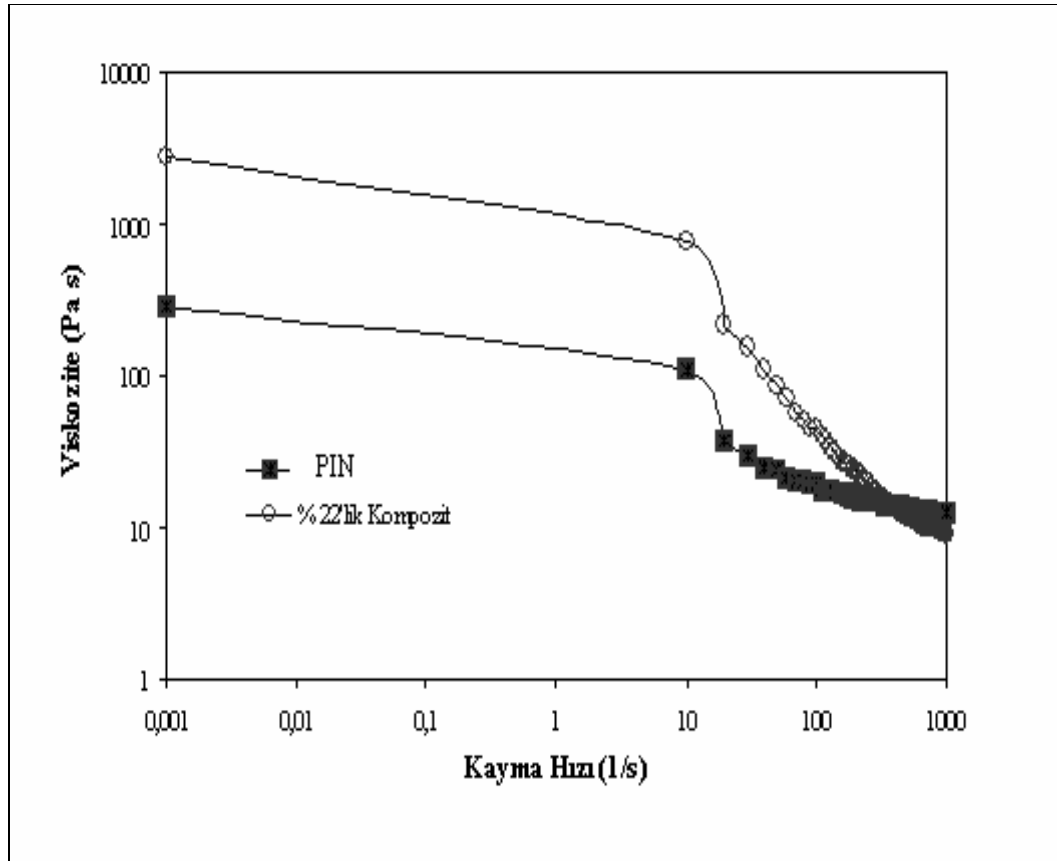


Şekil 4.34. PIN ve PIN/kaolin – silikon yağı sisteminde elastik modülün frekansla değişimi $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%25 \text{ (m/m)}$, $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$

4.7.8. Viskozitenin kayma hızı ile değişimi

Şekil 4.41’de PIN ve PIN/kaolin süspansiyonlarının $E = 3 \text{ kV/mm}$, $c = \%25$ derişim şartlarında kayma hızı-viskozite grafiği verilmiştir. Grafikte artan elektrik alan viskozitesinde ($\eta_E \neq 0$) artan kayma hızına paralel azalma görülmektedir. Özellikle PIN ve PIN/kaolin kompozitinde $\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$ değerine kadar $\eta_E \neq 0 = 2850 \text{ Pas}$ değerinden $\eta_E \neq 0 = 759 \text{ Pas}$ değerine düşmektedir. $\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$ değerinden sonra ise, elektrik alan viskozitesinde hızlı bir azalma gözlenmekte ve $\dot{\gamma} = 1000 \text{ s}^{-1}$ değerinde $\eta_E \neq 0 = 9 \text{ Pas}$ değerine düşmektedir. Bu durum kompozitin oluşturduğu süspansiyonda başlangıçta baskın olan viskoz kuvvetlerin, kayma hızı artışıyla bu özelliğini yitirdiği ve elektrik alan uygulamasıyla güçlü zincir yapısının zayıflayarak bozulduğunu göstermektedir. Benzer davranışlara Ünal ve arkadaşlarının diyotamit

ve diyotamit/poliakrilonitril kompozitlerinin süspansiyonlarında (70) ve sepilyolit süspansiyonları (75) ile yaptıkları çalışmalarında da rastlanmaktadır.



Şekil 4.41. PIN ve PIN/kaolin kompozitinin/silikon yağı sisteminde viskozitenin kayma hızıyla değişimi $E = 3 \text{ kV/mm}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $c = \% 25 \text{ (m/m)}$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bu çalışmada PIN/kaolin iletken kompozitleri kimyasal polimerleşme yöntemiyle sentezlendi. Kompozitlerin yapıları ve fiziksel özellikleri, iletkenlik, spektral, ısısal ve mikroskopik analizlerle karakterize edildi.
2. FTIR analizi sonucunda polimerleşmeyi ve kompozit oluşumunu destekleyen bandlar gözlemlendi.
3. İmpedance-Analyzer ile yapılan iletkenlik ölçümlerinde PIN için iletkenlik değeri $1,3 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ iken, kompozitler için iletkenlik değerleri $1,2 \times 10^{-3}$ – $1,42 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ aralığında bulundu. Kaolin miktarı arttıkça iletkenliğin çok az bir miktarda arttığı tespit edildi. Dört nokta tekniği ile yapılan ölçümlerde de iletkenliklerde benzer sonuca ulaşıldı.
4. DSC ve TGA analizleri sonucunda, homopolimer ve kompozitlerin bozunma sıcaklıkları incelendi ve tek aşamalı bozundukları ve termal kararlılıklarının yüksek olduğu tespit edildi.
5. Homopolimer ve kompozitlerin ER akışkan oluşturabilmek için uygun olduğu elde edilen iletkenlik ve dielektrik sabitlerinden belirlendi.
6. PIN ve PIN/kaolin kompozitlerinin taramalı elektron mikroskopu ile tanecikli ve gözenekli yapılarda oluştuğu gözlemlendi.
7. ER akışkan oluşturmak için tanecik büyüklüğü homopolimer için $8,30 \mu\text{m}$ kompozitler içinde $8,94$ – $13,15 \mu\text{m}$ aralığına getirildi.
8. ER aktivitenin elektrik alan kuvvetindeki artışa paralel olarak artış gösterdiği belirlendi.
9. Kayma hızının artmasıyla kayma geriliminin arttığı tespit edildi.

10. Homopolimer ve kompozitlerin sıcaklık artışı ile ER aktivitelerinin azda olsa azaldığı gözlemlendi.

11. PIN için $E = 2\text{ kV/mm}$, $\dot{\gamma} = 1\text{ s}^{-1}$ kayma hızı, %25 derişimde kayma gerilimi değeri 285 Pa olarak ölçüldü. PIN/kaolin kompozitlerinde ise $E = 2\text{ kV/mm}$, $\dot{\gamma} = 1,0\text{ s}^{-1}$ kayma hızı %25 derişimde en yüksek kayma gerilimi değeri %25 PIN içeren (m/m) PIN/kaolin kompozitinde 122 Pa değerinde bulunmuştur. ER aktivitenin kaolin miktarı arttıkça buna bağılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

12. Homopolimer ve kompozitlerin ER aktivitesinin frekans artışıyla arttığı tespit edilmiştir.

13. Homopolimer ve kompozitlerin viskozitesinin kayma hızının artmasıyla azaldığı ve kayma incelmesi türünden viskoelastik davranış gösterdiği tespit edildi.

14. Kompozit hazırlamak için poliindenle birlikte kaolin minerali kullandık. Çünkü kaolin ile PIN homojen bir karışım oluşturmaktadır. Ayrıca kaolin ucuz ve kolay bulunan bir minaraldir

KAYNAKLAR

1. Sarı, B., Talu, M., "Electrochemical copolymerization of pyrrole and aniline", *Synthetic Metals*, 94:221-227 (1998).
2. Unde, S., Ganu, J. And Radhakrishanan, S., "Conducting Polymer-based Characteristics and Evaluation of Polyaniline Composite Films", *Advanced Metarials For Optics and electronics*, 6:151-157 (1996).
3. Trchova, M., Matejka, P., Brodinova, J., Kalendova, A., Prokes, J. And Stejskal J., "Structural and conductivity changes during the pyrolysis of polyaniline base", *Polymer Degradation and Stability*, 91:114-121 (2006).
4. Gök, A., Sarı, B., "Chemical Synthesis and Characterization of Some Conducting Polyaniline Derivatives: Investigation of the Effect of Protonation Medium", *Journal of Applied Polymer Science* , 84: 1993-2000 (2002).
5. Atta, N.F., Galal, A., B., Harry, Jr., Mark, Yu, T., Bishop, L., Paul, "Conducting polymer ion sensor electrodes III. Potentiometric sulfide ion selective electrode" *Talanta* 47:987-999 (1998).
6. Khanna, P.K., Kulkarni, M. V., Singh, N., Lonkar, S. P. Subbarao, V.V.V.S. and Visvanath, A. K., " Synthesis of HCl doped polyaniline-CdS nanocomposite by use of organometallic cadmium precursor", *Metarial Chemistry and Physics*, 95: 24-28 (2006).
7. Pandey, P., C., Upadyay, S., Singh, G., Prakash., R., Srivastava, R., C. and Seth, P., K., "A New Solid-State pH sensor and Its Application in the Construction of all Solid-State Urea Bio sensor" *Electroanalysis* 12: 517-521 (2000).
8. Choi H.J., Park, S.J., Kim, S.T. and Jhon, M.S., " Electrorheological application of polyaniline/multi-walled carbon nanotube composites", *Diamand & Related Materials*, 14: 766-769 (2005).
9. Cho, M.S., Choi, H.J. and Jhon, M.S., " Shear stress analysis of a semiconducting polymer based electrorheological fluid system", *Polymer*, 46: 11484-11488 (2005).
10. Block, H., Kelley J.P., UK Patent 2170510 (1985).
11. Burville, R., De, Jozefowicz, M., Yu, L.T., Perichan, J. and Buvet, R., "Electrochemical Chalns Using Protolytic organic semiconductors", *Electrochimica Acta* ,13: 1451-1458 (1968).
12. Kaiser, B.A., "Systematic Conductivity Behavior in Conducting polymers: Effects of Heterogeneous Disorder", *Advanced Materials*, 13: 12-13 (2001).

13. Sukumar, M., "Recent trends in conducting polymers: problems and promises", *Indian Journal of Chemistry*, 33A: 524-539 (1994).
14. Oyhenart, L., Vigneras, V., Demontoux, F. and Parneix, J.P., "A three-dimensional planar photonic crystal using conducting polymers", *Microwave and Optical Technology letters*, 44(5): 460-463 (2005).
15. Eraldemir Ö., "Poliindol/Poli(VinilAsetat) İletken Kompozitlerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu".Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-10 (2005)
16. MacDiarmid, Alan.G., "Synthetic Metals, A Novel Role for Organic Polymers (Nobel Lecture) *Angew. Chew. Int. Ed.*, 40: 2581-2590 (2001).
17. Cowie, J.M.G., "Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials, Second Edition", *Chapman and Hall*: New York, USA, 410-420 (1991).
18. Wang, Z.H., Scherr, E.M., Mac Diarmid, A.G. and Epstein, A.J., "Transport and EPR studies of polyaniline ; "A quasi-one-dimensional metallic states", *Physical Review*, 45 (8): 4190-4202 (1992).
19. Sarı, B., Talu., M. and Gök, A., "Synthesis and Characterization of Nylon 6/Polyalkylaniline Conducting Composites", *Journal of Applied Polymer Science* , 87: 1693-1701 (2003).
20. Dharaiya, D.P., Jana, S.C. and Lyuksyutov, S.F., "Production of Electrically Conductive Networks in Immiscible Polymer Blends by Chaotic Mixing", *Polymer Engineering and Science*, 46:19-28 (2006).
21. Xu, Y. and Liang, R., "Electrorheological properties of semiconducting polymer-based suspensions", *J. Rheol.*, 35(7): 1355-1373 (1991).
22. Stanway, R., Sproston, J.L. and El-Wahed, A.K., "Applications of electro-Rheological fluids in vibration control: a survey" *Smart Mater. Struct.* 5: 464-482 (1996).
23. Wu, Q., Zhao, B., Chen, Le S., Fang C. and Hu, K., "Preparation and electrorheological property of rare earth modified amorphous $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ gel electrorheological fluid" , *Journal of Colloid and Interface Science* 282: 493-498 (2005).
24. Sanchis, A., Sancho, M., Martinez, G., Sebastian, J.L. and munoz, S., "Interparticle forces in electrorheological fluids: effects of polydispersity and shape", *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 249: 119-122 (2004).

25. Yang, J., Ferreira, J.M.F., Weng, W. And Tang, Y., "Sol- Gel Preparation and Electrorheological Activity of $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ Composite Powders", *Journal of Colloid and Interface Science*, 195: 59-65 (1997).
26. Winslow, W.M., "Induced Fibration Suspensions", *J. Appl. Phys.*, 20:1137-1140 (1949).
27. Peng, Z.X., Xiu-Min, G., Don-Jun, G. And Chun-Rong, L., "Particle mass effect of electrorheological fluids in Poiseuille flow", *Physica B*, 367:229-236 (2005).
28. Di, K., Yang, X. and Li, C., "Electrorheological behavior of copper phthalocyanine-doped mesoporous TiO_2 suspensions ", *Journal of Colloid and Interface Science*, 294: 499-503 (2006).
29. Krzton-Maziopa, A., Ciszewska, M. and Plochanski, J., "Electrorheological fluids based on polymer electrolytes", *Electrochimica Acta*, 50: 3838-3842 (2005).
30. Negita, K., Itou, H. And Yakou, T., "Electrorheological Effects in Suspension Composed of Starch Powder and Silicone Oil", *Journal of Colloid and Interface Science*, 209: 251-254 (1999).
31. Sung, Bo H., Choi, U.S., Jang, Ho G. And Park, Y.S., "Novel approach to enhance the dispersion stability of ER fluids based on hollow polyaniline sphere particle", *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* , 274: 37-46 (2006).
32. Gehin, C., Persello, J., Charraut, D. And Cabace, B., "Electrorheological properties and microstructure of silica suspensions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 273: 658-667 (2004).
33. Tian, Yu, Meng, Yonggang, Wen Shizhu "ER fluid based on zeolite and silicone oil with high strength", *Materials Letters*, 50: 120-123 (2001).
34. Cho, M.S., Choi, H.J., Chin, I.J., Ahn, W.S., "Electrorheological Characterization of zeolite suspensions" ,*Microporous and Mesoporous Materials*, 32: 233-239 (1999).
35. Liu, Z., Lin, Y., Wen, X., and Su, Q., "Preparation and electrorheological properties of polyquin(2,3-b)acridine-12, 14(5,7)dione-based suspensions ",*Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 264:55-60 (2005).
36. Trlica, J., Saha, P., Quadrat, O. And Stejskal, J., "Electrorheological activity of polyphenylenediamine suspension in silicone oil", *Physica A*, 283: 337-348 (2000).

37. Ünal, H.İ., Ağırbaş, O. And Yılmaz, H., “Electrorheological properties of Poly(Li-2-hydroxyethyl methacrylate) suspensions”, *Coloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 274: 77-84 (2006).
38. Hiamtup, P., Sirivat, A. and Jamieson, A.M., “Electrorheological properties of polyaniline suspensions: Field-induced liquid to solid transition and residual gel structure”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 295: 270-278 (2006).
39. Stangroom, J.E., “Electrorheological fluids *Phys. Techn.*, 14(6): 290-296 (1983).
40. Gao, Z.W., Zhao, X.P., “Guest-controlling effects on ER behaviors of β -cyclodextrin polymer”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 289: 56-62 (2005).
41. Yılmaz, H., Değirmenci, M. and Ünal, H.İ., “Electrorheological properties of PMMA-b-PSt copolymer suspensions”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 293: 489-495 (2006).
42. Block, H. and Kelly, J.F., “Electro-rheology” *J. Phys. D:Appl. Phys*, 21:661-1677 (1988).
43. Hao, Tion, Kawai, Akiko and Ikazaki, Fumikazu, “Mechanism of the Electrorheological Effect: Evidence from the conductive, Dielectric and Surface Choacteristics of Water-free Electrorheological fluids”, *Langmuir*, 14: 1256-1262 (1998).
44. Otsubo, Yasufumi, Sekine, Masahiro and Katayamd Shingo “Effect of Adsorbed Water on the Electrorheology of silied suspensions”, *Journal of colloid and Interface Science*, 50: 324-330 (1992).
45. Şahin, D., Sarı, B. And Ünal, H.İ., “An Investigation of Some Parameters on Electrorheological Properties of Polypyrrole Suspensions”, *Turk J. Chem.*, 26: 113-124 (2002).
46. Hao, Tian, “Electrorheological suspensions” *Advances in Colloid and Interface Science*, 97: 1-35 (2002).
47. Choi, H.J., Kim, T.W., Cho, M.S., Kim, S.G. and Jhon M.S., “Electrorheological Characterization of Polyaniline Dispersions”, *Eur. Polym.J.*, 33: 699-703 (1997).
48. Noresson, V., Ohlson, N.G. and Nilsson M., “Design of electrorheological dampers by means of finite element analysis: theory and applications”, *Materials and Design*, 23 : 361-369 (2002).

49. Yeh, J.Y., Chen, L.W. and Wang, C.C., "Dynamic stability of a sandwich beam with a constrained layer and electrorheological fluid core", *Composite Structures* , 64: 47-54 (2004).
50. Yeh, Z.F., Shih, Y.S., "Critical load, dynamic characteristics and parametric instability of electrorheological material-based adaptive beams", *Computers and Structures* ,83: 2162-2174 (2005).
51. Choi, S.B., Cheong, C.C., Jung, J.M. and Choi, Y.T., "Position control of an Valve-cylinder system via Neural Network controller", *Mechatronics*, 7: 37-52 (1997).
52. Dlodlo, Z.B., Brookfield, D.J., "Compensator-based position control of an Electrorheological actuator", *Mechatronics* , 9: 895-917 (1999).
53. Xu, Y., Qu, W.L. and Ko, J.M., "Seismic response control of frame structures Using magnetorheological/electrorheological dampers", *Earthquake Engng Struct. Dyn.*,29:557-575 (2000).
54. Bar-Cohen, Y., "Biologically Inspired Robots as Artificial Inspectors", *Proceedings of the SPIE Smart Structures and Materials Symposium, NDE Conference*, San Diego, CA, 4702-4705, (2002).
55. Winslow, W.M., Us Patent Spesification 2661596 (1953).
56. Taylor, P.M., Pollet, D.M., Hosseini-Sianaki, A., Varley, C.J., "Advances in an electrorheological fluid based tactile array", *Displays*, 18: 135-141 (1998).
57. Syed, A.A. and Dineson, M.K., Review, "Polyaniline-a novel polymeric material", *Talanta*, 38: 815-837 (1991).
58. Kennedy, J.P., Midha, S. And Keszler, B., "Living Carbocationic polymerization. 55. Living Polymerization of Indene", *Macromolecules*, 26: 424-428 (1993).
59. Hahn , S.F., Hillmyer M.A., "High Glass Transition Temperature Pololefins Obtained by the Catalytic Hydrogenation of Polyindene", *Macromolecules*, 36: 7-76 (2003).
60. Eckard, A.D., Ledwith, A. and Sherrington, D.C., "Cationic polymerization of indene", *Donan Laboratories*, University of Liverpool, 444 - 451 (1971).
61. Kanaoka, S., Ikeda, N., Tanaka, A., Yamaoka, H. And Higashimura, T. "Cationic Copolymerization of Indene with Styrene Derivatives: Synthesis of Random Copolymers of Indene with High Molecular Weight", *Journal of Polymer Science:Part A: polymer Chemistry*, 40: 2449-2457 (2002).

62. Thomas, L., Polton, A., Tradi, M. and Sigwalt P., "Living Cationic Polymerization of Indene. 1. Polymerization Initiated with Cumyl Methyl Ether/Titanium Tetrachloride and Cumyl Methyl Ether /n-Butoxytrichlorotitanium Initiating Systems", *Macromolecules*, 25 : 5886-5892 (1992).
63. Thomas, L., Tradi, M., Polton, A. and Sigwalt P., "Living Cationic Polymerization of Indene 2. Polymerization Initiated with Cumyl Chloride/Titanium Tetrachloride and Cumyl Chloride/n-Butoxytrichlorotitanium Initiating Systems", *Macromolecules*, 26 (16) : 4075-4082 (1993).
64. Mano E.B., Calafate B.A.L., "Electroinitiated Polymerization of Indene and Acenaphthylene", *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 19 : 3325-3331 (1981).
65. Tsunogae Y., Majorous I., and Kennedy J.P., "Living Carbocationic Polymerization . Li. Living Carbocationic Copolymerization Indene Random Copolymerization of Indene p- Methylstyrene. 1. Demonstration of The Living and Random Copolymerization of Indene and p-Methylenestyrene", *Appl. Chem. A*, 30: 253-267 (1993).
66. Tam, W.Y., Wen, W. And Sheng, P. "Electrorheological fluids using bi-dispersed particles", *Physica B*, 279 : 171-173 (2000).
67. Kojima, Y., Matsuoka, T., Takahashi, H. And Kurauchi, T., "Electro-rheological properties of suspension of carbonaceous particles", *Journal of Material Science Letters*, 14 : 623-625 (1995).
68. Gök, A., Sarı, B. And Talu, M., "Synthesis and Characterization of Novel Polyfuran/Poly(2-iodoaniline) Conducting Composite", *Journal of Applied Polymer Science*, 89: 2823-2830 (2003).
69. Wu, Q., Wang, X., Gao, W., Hu, Y. and Qi, Z., "Unusual Rheological Behaviors of PE and PE/Kaolin Composite", *Journal of Applied Polymer Science*, 80 : 2154-2161 (2001).
70. Yılmaz, H., Ünal, H.İ., Yavuz, M. and Arık H., "Diyatomit ve Diyatomit/Poliakrilonitril kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların elektoreolojik özelliklerinin incelenmesi" *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16 : 473-482 (2003).
71. Yılmaz, H., Ünal, H.İ. and Yavuz, M., "An Investigation of Electrorheological Properties of Calcium Carbonate Suspensions in Silicone Oil", *Colloid Journal*, 67 (2) : 236-241 (2005).
72. Otsubo, Y. and Edamure K., "Relation creep behavior of electrorheological fluids; The Society of Rheology", *J. Rheology*, 38(6): 1721-1733 (1994).

73. Yavuz, M., Ünal, H.İ., “Electrorheological Properties of Suspensions Prepared from Poly (Li-tert-butyl methacrylate) Ionomer ” , *Turk J. Chem.*, 28 : 587-601 (2004).
74. Wang, X., Wu, Q., Dong, J., Hu, Y. and Qi, Z., “Characterization of Polyethylene/Kaolin Composites by Polymerization Filling with $\text{Cp}_2\text{ZrCl}_2/\text{MAO}$ Catalyst Systems”, *Journal of Applied Polymer Science*, 85 : 2913-2921 (2002).
75. Yılmaz, H., Ünal, H.İ., Yavuz, M. and Arık H., “Sepilyolit Süspansiyonların elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14: 999-1009 (2003).
76. J.J., Tunney, C., Detellier, “Intercalation and Deintercalation of Organic Compound” *Chem. Mater*, 8: 927-935 (1996).
77. Arslan Yasin, “Poliindol/Kaolin Kompozitlerinin Sentezi Karakterizasyonu Ve Elektroeolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 60-61 (2005).
78. Gök, Ayşegül, Sarı Bekir, Talu, Muzaffer, “Synthesis and charecterization of conducting substituted Polyaniline”, *Synthetic Metals*, 142: 41-48 (2004).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : ERİŞTİ, Çiğdem
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.10.1980
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 2684582
: 05365616006
e-mail : çiğdem_eristi@mynet.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Bölümü	2002
Lise	Sincan Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	Gazi Üniversitesi	Öğrenci asistanlığı

Yabancı Dil

İngilizce