

**BAZI POLİANİLİN TÜREVLERİNİN ELEKTROREOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Betül GERÇEK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006  
ANKARA**

Betül GERÇEK tarafından hazırlanan BAZI POLİANİLİN TÜREVLERİNİN ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI 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: : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Tarih : ...../...../.....

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.

Betül GERÇEK

**BAZI POLİANİLİN TÜREVLERİNİN ELEKTROREOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Betül GERÇEK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2006**

**ÖZET**

Elektroreolojik (ER) akışkanlar, elektrik alan varlığında, reolojik ve elektriksel özelliklerinde ilginç değişiklikler sergileyen eşsiz elektroaktif malzemelerdir. Bu çalışmada, poli(o-toluidin) (POT), poli(2-etilanilin) (P2EAn), poli(N-metilanilin) (PNMAn) ve poli(N-etilanilin) (PNEAn) gibi çeşitli polianilin (PAn) türevleri kimyasal olarak sentezlendi, karakterize edildi ve çeşitli derişimlerdeki ( $c = \%5-25$ , m/m) ER özellikleri incelendi. Sentezlenen polimerler FTIR spektroskopisi, manyetik duyarlılık ölçümleri ve dielektriklik ölçümleriyle karakterize edildi. Polimerler arasında, POT' in  $6,87 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$  ile en yüksek, P2EAn' in ise  $1,01 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$  ile en düşük iletkenlik değerlerine sahip olduğu görüldü. FTIR analizleri sonucunda polimerleşmeyi destekleyen bandlar elde edildi. Silikon yağı içerisinde süspansiyonların çökelme kararlılıkları belirlendi. Bu süspansiyonların çeşitli dc. elektrik alanda kayma hızı ve kayma gerilimi özellikleri incelendi. Ayrıca, süspansiyonların ER verimi ve ER aktivitesine sıcaklık ve frekansın etkisi de araştırıldı.

**Bilim Kodu** : 201.1.117  
**Anahtar Kelimeler** : poli(alkilanilin), polianilin türevleri,  
elektroreolojik süspansiyonlar, elektroreolojik  
akışkanlar  
**Sayfa Adedi** : 79  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

**INVESTIGATION OF ELECTORRHEOLOGICAL PROPERTIES OF  
SOME POLYANILINE DERIVATIVES**

**(M. Sc. Thesis)**

**Betül GERÇEK**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2006**

**ABSTRACT**

Electrorheological (ER) fluids are unique electroactive materials that exhibit fascinating change in rheological and electrical properties in the presence of an electric field. In the present study, various polyaniline (PAn) derivatives such as poli(o-toluidine) (POT), poli(2-ethylaniline) (P2EAn), poli(N-methylaniline) (PNMAn) and poli(N-ethylaniline) (PNEAn) were chemically synthesized, characterized and examined for their ER properties at a series of concentrations ( $c = 5-25\%$ , m/m). The synthesized polymers were characterized by FTIR spectroscopy, magnetic susceptibility and dielectric measurements. It was found that POT has the highest conductivity with a value of  $6.87 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$ , and P2EAn has the lowest with  $1.01 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$ , among the polymer synthesized. Formation of polymers was supported by FTIR analyses. Sedimentation stabilities of the suspensions that prepared in silicone oil were determined. ER properties of these suspensions were investigated under various dc. electric fields, shear rates and shear stresses. Furthermore, ER efficiency of the suspensions and effect of temperature and frequency on to ER activity were also studied.

**Science Code : 201.1.117**

**Key Words : poly(alkylaniline), polyaniline derivatives,  
electrorheological suspensions, electrorheological fluids**

**Page Number : 79**

**Adviser : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca maddi manevi yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, tecrübe ve bilgilerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Halil İbrahim Ünal'a ve değerli hocam Doç. Dr. Bekir Sarı'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tanecik öğütme işlemlerinde Doç. Dr. Halil Arık'a, tanecik boyutu ölçümlerinde Yrd. Doç. Dr. İbrahim Uslan'a, elektroeoloji ölçümlerinde Dr. Haşim Yılmaz'a ve Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi boyunca birlikte çalıştığımız tüm laboratuvar arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca attığım her adımda destekleriyle yanımda olan, en zor şartlarda bile her türlü fedakarlığı gösteren sevgili aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKSEL İLETKENLİK.....	3
2.1. İletkenler.....	3
2.2. Yalıtkanlar.....	3
2.3. Yarı İletkenler.....	4
2.3.1. n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler.....	5
2.4. İletken Polimerler.....	7
2.4.1. İletken polimerlerde elektrik iletimi.....	8
2.4.2. Polianilin ve türevlerinde elektrik iletimi.....	12
3. ELEKTROREOLOJİ.....	17
3.1. Elektroreoloji .....	17
3.2. Reoloji.....	17
3.3. Elektroreolojik Akışkanların Reolojisi.....	20
3.4. Elektroreolojik Akışkanlar.....	21
3.5. ER Akışkanların Verimi.....	22

**Sayfa**

3.6. Polianilin ve Türevlerinin ER Özellikleri.....	24
4. MATERYAL VE METOT.....	26
4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	26
4.2. Alet, Cihaz ve Teknikler.....	27
4.2.1. Vakum etüvü.....	27
4.2.2. Fourier transform infrared spektrometresi.....	27
4.2.3. Öğütme işlemi.....	27
4.2.4. Tanecik boyutu tayini.....	27
4.2.5. Binoküler mikroskop.....	27
4.2.6. Dört nokta iletkenlik ölçüm aleti (Four probe).....	28
4.2.7. Dijital multimetre.....	28
4.2.8. Dielektrik sabiti tayini.....	28
4.2.9. Gouy terazisi.....	29
4.2.10. Süspansiyonların hazırlanması.....	30
4.2.11. Akış ölçümleri.....	30
4.2.12. Çökelme kararlılığı.....	30
4.2.13. Elektroeometre ölçümleri.....	30
4.3. Homopolimer Sentezleri.....	31
4.3.1. Poli(o-toluidin) sentezi.....	31
4.3.2. Poli(2-etilanilin) sentezi.....	31
4.3.3. Poli(N-metilanilin) sentezi.....	32
4.3.4. Poli(N-etilanilin) sentezi.....	33
5. SONUÇLAR VE YORUM.....	34

**Sayfa**

5.1. Fourier Transform İnfrared Spektrometresi (FTIR).....	38
5.2. Tanecik Boyutu Ölçümleri.....	38
5.3. Çözünürlük Testi Sonuçları.....	41
5.4. Gouy Terazisi .....	42
5.5. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri.....	43
5.6. Süspansiyonların Koloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi.....	44
5.7. Paralel Plaka Elektrotlar İle Yapılan Elektoreoloji Çalışmaları.....	46
5.8. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler .....	50
5.8.1. Derişimin ER aktivite üzerine etkisi.....	50
5.8.2. Kayma gerilimi üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi.....	52
5.8.3. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	56
5.8.4. Kayma geriliminin derişim ile değişimi.....	60
5.8.5. ER aktivitenin kayma hızı ile değişimi.....	62
5.8.6. ER aktiviteye sıcaklığın etkisi.....	65
5.8.7. ER aktiviteye frekans etkisi.....	66
5.8.8. ER verimi.....	67
6. SONUÇ .....	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	79

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 5.1.	Çözünürlük testi sonuçları.....	42
Çizelge 5.2.	Polimerlerin etkin manyetik moment ve gram başına manyetik suseptibilite değerleri.....	43
Çizelge 5.3.	Polimerlerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri.....	44

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Şematik band diyagramı.....	4
Şekil 2.2.	(a) Eg' den büyük enerjili bir fotonun bir elektronu değerlik bandından iletkenlik bandına uyarılması (b) Kare düzlem yapıdaki temsili bir molekülde foton uyarılması ile oyuk oluşması.....	5
Şekil 2.3.	(a) Bor katılmış p-tipi katkılı yarı iletken yapısı (b) Fosfor katılmış n-tipi katkılı yarı iletken yapısı.....	6
Şekil 2.4.	İletkenlik cetveli.....	7
Şekil 2.5.	Poliasetilenin n-türü doping işlemiyle polaron ve bipolaron oluşumları.....	10
Şekil 2.6.	İletken polimerlerde karbon atomlarının düzenlenişi.....	10
Şekil 2.7.	Cis-poliasetilenin trans yapıya izomerizasyonu sırasında soliton oluşumu ve zincir boyunca hareketi.....	10
Şekil 2.8.	a) Zincirler arasında yük taşınması b) Partiküller arasında yük taşınması.....	11
Şekil 2.9.	Emeraldin tuzunun dedoping işlemi.....	12
Şekil 2.10.	Benzenoid ve kinonoid yapıları.....	12
Şekil 2.11.	Polianilin'in tetramerik yükseltgenme ürünleri.....	13
Şekil 2.12.	Polianilin'in emeraldin tuzunun rezonans yapı formülleri.....	14
Şekil 3.1.	Viskozite olayı.....	19
Şekil 5.1.	a) N-metilanilin' in FTIR spektrumu b) PNMA'n' in FTIR spektrumu.....	35
Şekil 5.2.	a) N-etilanilin'in FTIR spektrumu b) PNEA'n' in FTIR spektrumu.....	36
Şekil 5.3.	a) 2-etilanilin'in FTIR spektrumu b) P2EA'n' in FTIR spektrumu.....	37
Şekil 5.4.	a) o-toluidin'in FTIR spektrumu b) POT' in FTIR spektrumu.....	38

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.5. POT'in tanecik büyüklüğü dağılımı diyagramı.....	39
Şekil 5.6. P2EAn' in tanecik büyüklüğü dağılımı.....	39
Şekil 5.7. PNMAN' in tanecik büyüklüğü dağılımı.....	40
Şekil 5.8. PNEAn' in tanecik büyüklüğü dağılımı.....	40
Şekil 5.9. P2EAn'e ait beş farklı derişimdeki yüzde çökeltme süreleri.....	46
Şekil 5.10. Paralel plaka elektrotlar arasında ER akışkanın durumu.....	47
Şekil 5.11. POT/silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	48
Şekil 5.12. P2EAn/silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	48
Şekil 5.13. PNMAN/silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	49
Şekil 5.14. PNEAn/silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	49
Şekil. 5.15. Elektrik alan viskozitesinin derişim ile değişimi.....	51
Sekil 5.16. Kayma viskozitesinin derişim ile değişimi.....	51
Şekil 5.17. POT/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	54
Şekil 5.18. P2EAn/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	54
Şekil 5.19. PNMAN/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi .....	55
Şekil 5.20. PNEAn/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	55
Şekil 5.21. Elektrik alanın karesi ile kayma gerilimi değişimi grafiği.....	56
Şekil 5.22. POT/Silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.....	58

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.23. P2EAn/silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.....	58
Şekil 5.24. PNMAAn/silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.....	59
Şekil 5.25. PNEAn/silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.....	59
Şekil. 5.26. Polimerlerin viskozite değerlerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	60
Şekil.5.27. Kayma geriliminin derişim ile değişimi.....	61
Şekil 5.28. Kayma geriliminin derişim ile değişimi.....	62
Şekil.5.29. POT süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.....	63
Şekil.5.30. P2EAn süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.....	63
Şekil.5.31. PNMAAn süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.....	64
Şekil.5.32. PNEAn süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.....	64
Şekil. 5.33. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi.....	65
Şekil 5.34. Kayma geriliminin frekans ile değişimi.....	66
Şekil.5.35. Elastiklik modülünün frekans ile değişimi.....	67
Şekil 5.36. Elektrik alan yokken viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	68
Şekil 5.37. Elektrik alan varlığında viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	69
Şekil 5.38. Polimerlerin ER verimi.....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>C</b>	Kapasitans
<b>C<sub>std</sub></b>	Kalibrasyon sabiti
<b>e</b>	ER verimi
<b>K<sub>f</sub></b>	Akışkanın dielektrik geçirgenliği
<b>E</b>	Elektrik alan
<b>R</b>	Numune ve tüpün hassaslık değeri
<b>R<sub>o</sub></b>	Boş tüpün hassaslık değeri
<b>u</b>	Bağlı hız
<b>X<sub>g</sub></b>	Gram başına manyetik suseptibilite
<b>τ</b>	Kayma gerilimi
<b>τ<sub>E</sub></b>	Kayma gerilimi
<b>γ</b>	Kayma hızı
<b>ε</b>	Kayma gerinimi
<b>ε<sup>o</sup></b>	Boşluğun dielektrik sabiti
<b>ε</b>	Örneğin dielektrik sabiti
<b>η</b>	Viskozite
<b>ν</b>	Kinematik viskozite
<b>ρ</b>	Yoğunluk
<b>σ</b>	İletkenlik
<b>μ<sub>e</sub></b>	Etkin manyetik moment
<b>φ</b>	Tanecik hacim kesri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>BM</b>	Bohr magneton
<b>DMF</b>	Dimetilformamit
<b>DMSO</b>	Dimetil sülfoksit
<b>DOP</b>	Dioktilftalat
<b>ER</b>	Elektroreoloji
<b>FTIR</b>	Fourier transform infrared spektrometre
<b>Mn</b>	Mason sayısı
<b>MO</b>	Mineral yağı
<b>NMP</b>	N-metilpirolidon
<b>PAMPS</b>	Poli(Li-2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit)
<b>PAn</b>	Polianilin
<b>POT</b>	Poli(o-toluidin)
<b>POClAn</b>	Poli(o-kloranilin)
<b>PNEAn</b>	Poli(N-etilanilin)
<b>PNMAAn</b>	Poli(N-metilanilin)
<b>PPBrAn</b>	Poli(p-bromanilin)
<b>PTBMA-Li</b>	Poli(Li-tert- butil metakrilat)
<b>P2BrAN</b>	Poli(2-bromanilin)
<b>P2ClAn</b>	Poli(2-kloranilin)
<b>P2EAn</b>	Poli(2-etilanilin)
<b>P2FAn</b>	Poli(2-floranilin)
<b>P2IAn</b>	Poli(2-iyotanilin)
<b>SO</b>	Silikon yağı
<b>THF</b>	Tetrahidrofuran
<b>TOTM</b>	Trioktiltrimellilat

## 1. GİRİŞ

Yıllardır kullanmakta olduğumuz malzemelerin pek çoğu tabiattaki canlılardan üretilen doğal malzemelerdir. Kauçuk, selüloz lifleri, yün, ipek gibi maddeleri hizmetimize sunan tabiatın zenginliği çok çeşitli ancak bütün bunlar sınırsız değildir. Günümüzde bitki ve hayvanlardan tabii yolla elde edilen malzemeler, insan sağlığı için çok uygun olsa bile; giderek azaldığı ve dolayısıyla da pahalı hale geldiği için, bunların herkes tarafından kullanılması zorlaşıyor. Bu gereksinime karşılık olarak geliştirilen polimer malzemeler, naylon poşetlerden, araba lastiklerine; çocuk oyuncaklarından, kışın giydiğimiz botların tabanlarının yapımına kadar, pek çok sahada kullanılarak hayatımızın vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir.

Polimer malzemelerin ilk akla gelen özelliklerinden biri esnek olmaları, bir diğeri ise yalıtkan olmalarıydı. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalara baktığımızda, iletken özellikler gösteren polimerlerin de olduğunu ve kullanım alanlarının çok daha farklı boyutlara kaydığını görmekteyiz.

Polimerlerin iletken olabilme özelliklerinin keşfedilmesiyle birlikte, konuyla ilgili araştırmalar hızla artmıştır. Konjuge  $\pi$  bağlarına sahip olan anilin, pirol, furan, tiyofen, inden, indol ve azulen gibi organik maddelerden değişik koşullarda iletken polimerler sentezlenmiş, özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kopolimer, kompozit ve blendleri hazırlanmış ve çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Elektroreoloji (ER), malzemelerin elektrik alan altında deformasyon özelliklerinin incelendiği bir bilim dalıdır. Elektroreolojik özellik sergileyen bir malzemenin kullanım amacına uygun olarak istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması oldukça önemlidir. Bu sebeple elektrik iletim özellikleri, doping seviyesine göre ayarlanabilen, çeşitli iyileştirmelerle, aranan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler gösterebilen iletken polimerler, bu üstün özellikleri ile elektroreoloji araştırmacılarının dikkatini çekmiştir.

İletken polimerler arasında polianilin, kolay işlenebilirliği, yüksek dayanıklılığı, düşük

maliyetli bir malzeme oluşu ve yüksek iletkenlik kontrolüne sahip oluşu gibi özellikleriyle, elektrokimyasal uygulamaların pek çoğunda kullanılmakta olan en gözde yarı iletken polimerlerden biridir.

Elektroreolojik akışkanlar, birkaç milisaniye içerisinde tersinir olarak sıvıdan katıya dönüşebilir ya da bu iki hal arasında viskoz bir akışkan halini alabilir. Elektroreolojik akışkanların oluşturulması kolaydır, yalıtkan bir sıvı içinde süspansiyon halindeki mikron seviyesinde parçacıklardan meydana gelirler. Olağanüstü özelliklere sahip bu malzemelerin potansiyel uygulama alanları olarak ilk defa otomobil debriyajları, frenler ve sübapları önerilmiştir [1]. Daha sonra yapılan araştırmalarla titreşim sönümleyici sistemler başta olmak üzere, yakıt enjeksiyon valfleri [2], hidrolik valfler, robot kontrollü sistemler [3], şok absorblayıcılar [3] ve sismik kontrollü inşa edilen sistemler [4] gibi çok geniş alanlarda uygulanması planlanmıştır. Ancak katı olarak yapısal zayıflık, sıvı olarak aşındırıcılık ve özellikle yüksek sıcaklıklarda kimyasal bozulma gibi sorunlarla karşı karşıya olan elektroreolojik akışkanların özelliklerinin iyileştirilmesi ve kullanım alanlarının geliştirilmesi için incelemeler sürmektedir.

Bu çalışmada bazı poli(alkilanilin)'lerin sentezi ve karakterizasyonu gerçekleştirildi ve elektroreolojik özellikleri incelendi. Sentezlenen polimerlerin yapısal özellikleri karakterize edilerek iletkenlik ve dielektrik sabitleri hesaplandı. Poli(o-toluidin) (POT), poli(2-etilanilin) (P2EAn), poli(N-metilanilin) (PNMAn) ve poli(N-etilanilin) (PNEAn) polimerleri ile yalıtkan silikon yağı içerisinde hazırlanan beş farklı derişimdeki (%5-25, m/m) süspansiyonlarının elektroreolojik özelliklerini araştırmak amacıyla ilk olarak süspansiyonların çökelmeye karşı kararlılıkları incelenip, paralel plaka elektrot yardımıyla ER aktiviteleri ölçüldü. Daha sonra Elektro-reometre yardımıyla süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine kayma hızı, kayma gerilimi, derişim, frekans, sıcaklık ve elektrik alan kuvvetinin etkileri incelendi. Bu çalışmada, literatürde mevcut ER akışkanların gösterdiğinden daha yüksek ER aktivite ve daha uzun süre çökme kararlılığı, daha iyi ısıl performans amaçlandı.

## 2. ELEKTRİKSEL İLETKENLİK

### 2.1. İletkenler

Katılar elektrik iletim kabiliyetlerine göre iletken, yalıtkan ve yarı iletken olarak kabaca üç grup altında toplanabilirler. Bir katıda elektrik iletkenliği genellikle band teorisi ile açıklanır. İki atomdan oluşan bir katı molekülünün molekül orbital teoremine göre elektron dağılımı yapıldığında bağ yapan  $\sigma$  ve karşı bağ  $\sigma^*$  molekül orbitallerinin bulunduğu bilinmektedir. Moleküle katılan atomların sayısı arttıkça, molekül orbitallerinin sayısı da artacaktır. Sonsuz sayıdaki atomun değerlik orbitallerinin etkileşiminden sonsuz sayıda molekül orbitali elde edilir. Orbitallerin sayısı arttıkça, aralarındaki enerji farkı azalmaktadır. Çok sayıda molekül orbitali arasındaki enerji farkı ayırt edilemeyecek kadar küçük olacağından bir şerit oluşturdukları düşünülür ve bu şerit değerlik bandı olarak adlandırılır. Benzer şekilde bir araya gelen karşı bağ molekül orbitalleri de iletkenlik bandı adı verilen karşı şeridi oluştururlar (Şekil 2.1). İletkenlik olayı bu değerlik ve iletkenlik bandları arasındaki elektron geçişinin bir sonucudur. Bir maddenin oda sıcaklığındaki ısı enerjisi değerlik bandındaki elektronlarını iletkenlik bandına uyardırmaya yetiyorsa o madde, oda sıcaklığında elektriği iletiyor demektir [5]. Metallerde değerlik ve iletkenlik bandları çakışır ve kısmen dolu bir band oluşur. Bu durumda band boşluğu söz konusu değildir ve bir metalin değerlik elektronları dışardan uygulanan çok küçük bir potansiyel ile iletkenlik bandına geçebilir, bunun sonucunda da akım üretilmiş olur.

### 2.2. Yalıtkanlar

Bir katının oda sıcaklığında yalıtkan olabilmesi için gerek şart, değerlik bandının dolu, iletim bandının boş ve bu iki band arası enerji farkının 3 elektron volttan daha fazla olmasıdır [6]. Örneğin NaCl kristalinde  $\text{Cl}^-$  iyonları birbirine dokunduklarından  $\text{Cl}^-$  atomlarının 3s ve 3p orbitalleri birbirleri ile etkileşerek bir band oluşturur.  $\text{Na}^+$  iyonlarının değerlik orbitalleri de birbirleri ile uzak etkileşime girerek bir band oluşturur.  $\text{Cl}^-$  iyonunun değerlik orbitalleri dolu olduğundan  $\text{Cl}^-$  bandı tamamen dolu,

$\text{Na}^+$  bandı ise boştur. Cl'un elektronegatifliği Na'a oranla çok büyük olduğundan Cl bandı ile Na bandı arasındaki enerji farkı büyüktür. ( $7 \text{ eV} = 675 \text{ kJmol}^{-1}$ ) Oda sıcaklığındaki termal enerji, ( $0,03 \text{ eV} = 2,89 \text{ kJmol}^{-1}$ ) dolu banddaki elektronları boş banda uyardırmaya yeterli değildir [5]. Bu nedenle NaCl oda sıcaklığında elektriği iletmez.



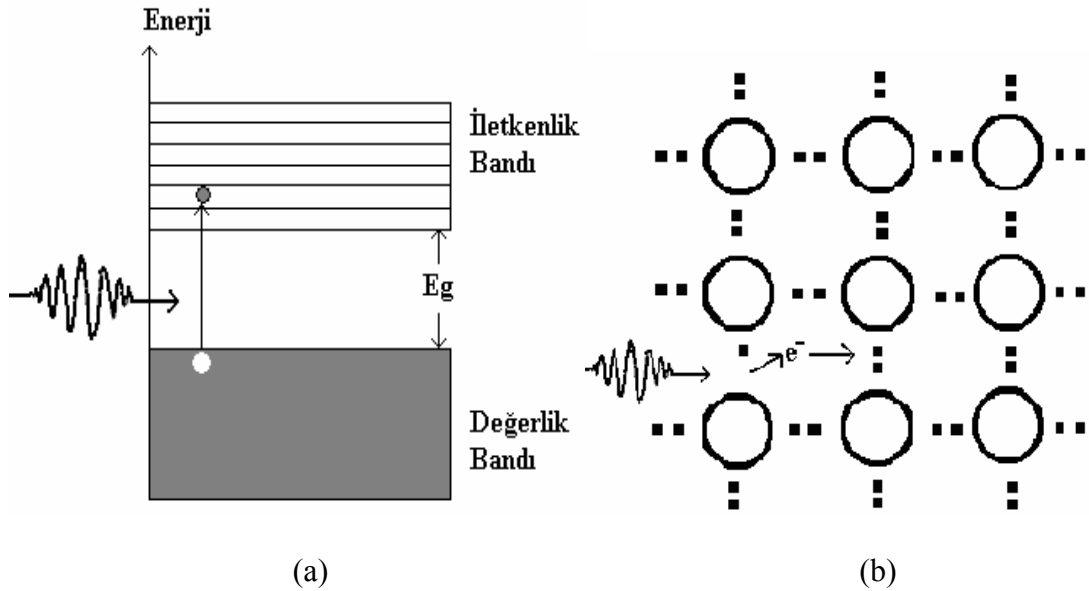
Şekil 2.1. Şematik band diyagramı

### 2.3. Yarı İletkenler

Yarı iletkenler, elektriksel özellikleri açısından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar. Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji farkı, yalıtkanlarda olduğu gibi büyük değildir, ancak iletkenlerdeki gibi bir çakışma da söz konusu değildir. İki band arasındaki elektron geçişi için bir miktar enerji gerekmektedir.

Bir yarı iletkende bir elektronun çok küçük bir enerjiyle değerlik ve iletkenlik bandları arasında uyarılması gerçekleşebilir. Saf bir yarı iletkende, elektronların uyarılması ve buna bağlı olarak iletkenliğin artması sıcaklığın artırılmasıyla rahatlıkla sağlanabilir [7]. Saf Si kristallerinden oluşan bir yarı iletkende bu uyarılma Si atomlarının titreşimiyle bile gerçekleşebilmektedir [8]. Değerlik bandındaki herhangi bir elektronun  $h\nu$  gibi bir enerji ile iletkenlik bandına geçmesi durumunda değerlik bandında bir oyuk, ve iletkenlik bandında ise bir elektron oluşacaktır (Şekil 2.2). Bir yarı iletkende iletkenliği sağlayan iki tip yük taşıyıcı bulunmaktadır. Bunlar

iletkenlik bandına geçmiş olan serbest elektronlar ve değerlik bandında oluşan oyuklardır. Bilindiği gibi elektron negatif yüklü bir taneciktir. Elektronun ayrılmasıyla oluşan delik ise pozitif özellik gösterir. Elektronlar bir elektrik alan uygulandığında kristal boyunca gezerek elektriksel iletkenliği sağladığı gibi, oyuklar da elektrik alan yönünde sapar ve pozitif yüklü parçacık gibi davranarak iletkenliğe katkıda bulunur. Elektron ve oyuk derişiminin eşit olduğu saf yarı iletkenlere gerçek (intrinsic) yarı iletkenler denir [8]. Gerçek yarı iletkenlerde toplam yük sıfır olduğu halde elektron ve oyukların kristal içinde yer değiştirmelerinden dolayı bir elektrik iletkenliği söz konusudur.

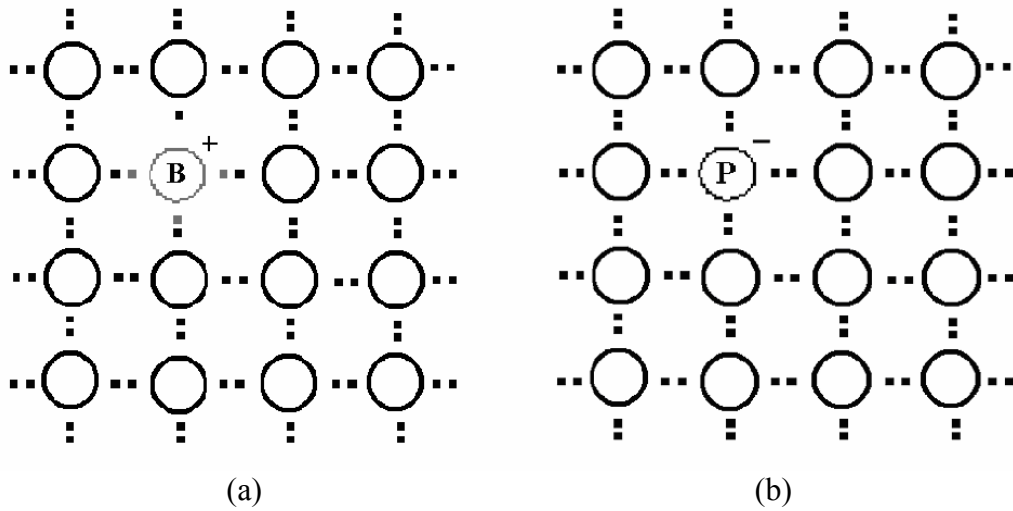


Şekil 2.2. (a)  $E_g$ 'den büyük enerjili bir fotonun bir elektronu değerlik bandından iletkenlik bandına uyarması (b) Kare düzlem yapıdaki temsili bir molekülde foton uyarılması ile oyuk oluşması [8]

### 2.3.1. n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler

Gerçek bir yarı iletkende iletkenliğin sağlanması yarı iletkenin termal enerjisi ile doğrudan ilgilidir [11]. Buna göre düşük sıcaklıklarda yarı iletken maddenin iletkenliği düşüktür. Sıcaklık yükseldikçe iletkenliği yükselir. Sıcaklığı değiştirmeden bir yarı iletkenin iletkenliğini başka yollarla artırmak uygulama açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yollardan biri, yarı iletken maddeye uygun

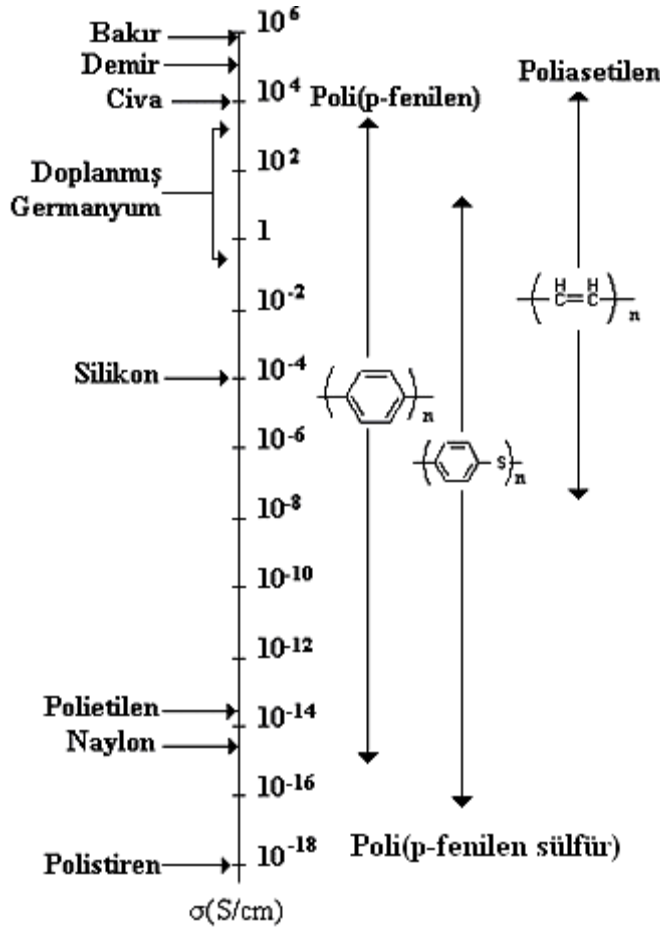
safsızlık katarak onun iletkenlik özelliğinin değiştirilmesidir. Bu durum, Si yarı iletken kristali üzerinde açıklanabilir. Dördüncü grup elementlerinden silisyum üzerine çok az miktarda üçüncü grup elementi olan fosfor katıldığında kristal yapının muhtelif yerlerinde, üzerinde bir elektron boşluğu bulunduran pozitif bölgeler oluşacaktır. Bu bölgeler hakiki yarı iletkenlerdeki oyuklara benzer şekilde pozitif yükün taşınmasını sağlar. Yapısında elektron boşluğu bulunduran bu tip yarı iletkenlere p-tipi yarı iletkenler denir. Benzer şekilde silisyum kristali üzerine çok az miktarda, beşinci grup elementi olan bor katıldığında ise, kristal yapının çeşitli yerlerinde, üzerinde bir elektron fazlalığı bulunduran negatif bölgeler oluşacaktır (Şekil 2.3). Bu fazla elektron, kristal içerisinde rahatlıkla hareket ederek elektriksel iletkenliği sağlar ve yapısında elektron fazlalığı bulunduran bu tip maddelere de n-tipi yarı iletkenler denir. n-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerdeki elektron fazlalığı ve elektron eksikliğinden kaynaklanan yükler, “taşıyıcı” olarak adlandırılırken, bu tip yarı iletkenler de katkılı (extrinsic) yarı iletken ismini alır. Bir katkılı yarı iletkende elektrik iletimi mutlak sıfırda bile rahatlıkla sağlanabilir [11].



Şekil 2.3. (a) Bor katılmış p-tipi katkılı yarı iletken yapısı (b) Fosfor katılmış n-tipi katkılı yarı iletken yapısı

## 2.4. İletken Polimerler

Metallerle yalıtkanlar arası iletkenlik özelliğine sahip polimerler iletken polimerler olarak bilinmektedir. Şekil 2.4’de tipik metal, yarı iletken ve yalıtkanlarla, bazı polimerlerin oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri verilmiştir [9]. İletken polimerleri, diğer polimerlerden ayıran temel özellik, polimer ana zincirinde yer alan konjuge çift bağlardır. Katılardaki elektriksel iletkenlik band teorisi ile açıklanırken, polimerlerin iletkenliği farklı olarak polaron, bipolaron, soliton, oluşumları ve atlama (hopping) olayları ile açıklanmaktadır.



Şekil 2.4. İletkenlik cetveli

### 2.4.1. İletken polimerlerde elektrik iletimi

İletken polimerlerde elektrik iletim mekanizması, diğer iletken malzemelerde olduğundan daha farklıdır ve bilim adamları tarafından halen incelenmektedir. Polimerlerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için polimer örgüsünde elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun bölgelerin bulunması gerekir. Bu koşulu ana zincirinde konjuge çift bağlar bulunan polimerler sağlar. Ancak konjugasyon yüksek düzeyde iletkenlik için tek başına yeterli değildir. Bu polimerlerin iletkenliğini artırmak için “doping” işlemi uygulanır. Bu işleme göre, n-türü doping olarak adlandırılan; yapıya elektron vererek negatif yüklü bölgeler oluşturma veya p-türü doping olarak adlandırılan; polimer zincirinden elektron koparılmasıyla polimer örgüsünde artı yüklü boşluklar oluşturma işlemleri gerçekleştirilir. İletkenliğin sağlanması genel olarak katkılı yarı iletkenlerdeki benzer bir yaklaşımla bu elektron ve boşlukların hareketleri ile gerçekleşir.

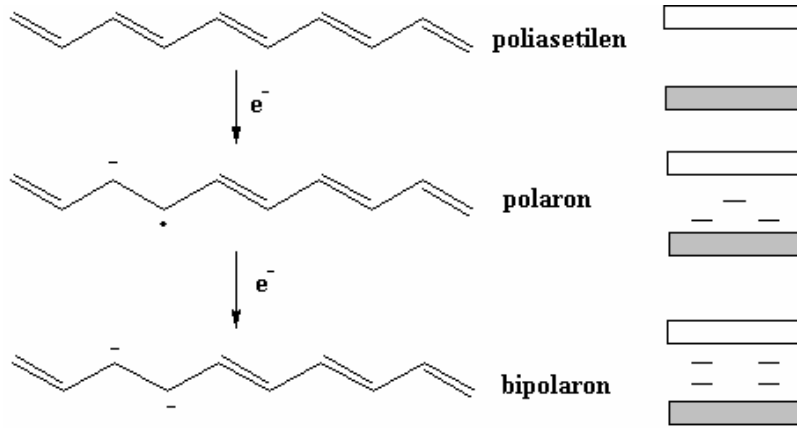
Doping yapılmamış poliasetilen zincirinin iletkenliği, yarı iletkenlerde olduğu gibi band teorisi ile açıklanır. Trans poliasetilen molekülü için enerji seviyeleri arasında 1,8 eV enerji farkı olacak şekilde değerlik ve iletkenlik bandları bulunur [10]. Elektriksel iletkenlik ancak yarı iletkenlerdeki gibi ısı veya ışıkla uyarılma sonucu, elektronların band aralığını geçerek iletkenlik bandına yerleşmesiyle sağlanabilir. Bu nedenle doping yapılmamış poliasetilenin iletkenliği,  $1,0 \times 10^{-8} \text{ Scm}^{-1}$  değeriyle [11] metallerin değil yarı iletkenlerin düzeyindedir.

Doping edilmiş bir polimerdeki elektron hareketi ise polaron, bipolaron, soliton, oluşumları ve atlama (hopping) olayları ile açıklanır. Doping işleminde polimere verilen elektron, iletkenlik bandına değil, band aralığında bulunan bir ara enerji düzeyine yerleşir. Böylece oluşturulan yeni enerji seviyesi, yükün taşınmasını kolaylaştırır. Polimere doping yoluyla verilen elektron Şekil 2.5’de görüldüğü gibi “polaron” olarak adlandırılan bir radikal anyon oluşmasını sağlar. Polaronun band aralığındaki enerji düzeyinde  $\pi$  bağının iki elektronuyla birlikte dışarıdan verilen tek elektron bulunur. İkinci bir elektronun polarona verilmesiyle “bipolaron” olarak adlandırılan dianyon oluşur. Her iki yapıda da band aralığına yerleşmiş olan

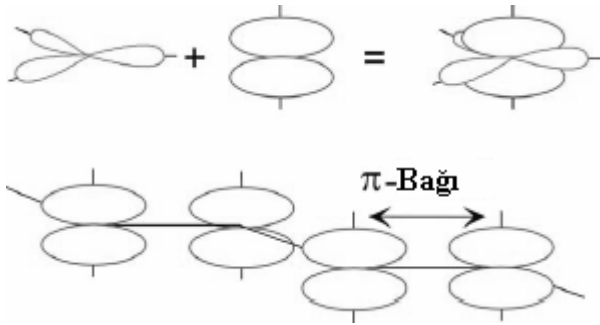
elektronlar kolaylıkla iletkenlik bandına geçerek elektriksel iletkenliği sağlar. Ayrıca polaron ve bipolaronların polimer zinciri boyunca hareketleri de iletkenliğe yardımcı olur.

İletken polimerlerle iletken olmayan organik polimerler arasındaki farkı daha da açıklığa kavuşturmak için her iki yapının atomlarını yakından inceleyelim. İletken polimerler de dahil olmak üzere polimerlerin büyük çoğunluğu öncelikle karbon atomlarından oluşurlar. İletken olmayan organik polimerler; polimer ana zinciri boyunca, doymuş karbon atomlarının tetrahedral geometride komşu atomlarla birleşmesinden meydana gelir. İletken polimerlerde ise, karbon atomuna ait üç değerlik elektronu  $120^\circ$ 'lik açığa sahip düzlem şeklinde 3  $\sigma$  bağı yaparken, dördüncü değerlik elektronu da bu düzleme dik olarak yerleşir. Ana zincirdeki karbon atomlarının düzleme dik yerleşen orbitallerinden bitişik iki tanesi kendi aralarında örtüşerek  $\pi$  bağlarını oluşturur (Şekil 2.6). Bağ oluşturma sırasında kararlı hale geçildiğinden enerji azalır [12]. Ayrıca oluşan  $\pi$  bağı polimer segmentleri üzerinde delokalizasyona sebep olarak değerlik ve iletkenlik bandları arasındaki enerji boşluğunun düşmesini sağlar. İletken polimerlerdeki değerlik ve iletkenlik bandı genel olarak bu  $\pi$  bağlarından türemiştir. Bu polimerlerin band boşlukları 1,5 eV-3,0 eV arasındadır ve bu değer yarı iletkenlerinkine aynıdır [13]. Komşu iki polimer zincirinin  $\pi$  bağları arasındaki örtüşme, tek zincirdeki örtüşmeye oranla çok azdır. Dolayısıyla yük taşıyıcılar kendi polimer zinciri üzerinde delokalize olma eğiliminde olmakla birlikte, bazı bölgelerde zincirler arası atlamalar da gerçekleştirebilirler ki bu durum, ileride hopping (atlama) olayı olarak açıklanacaktır.

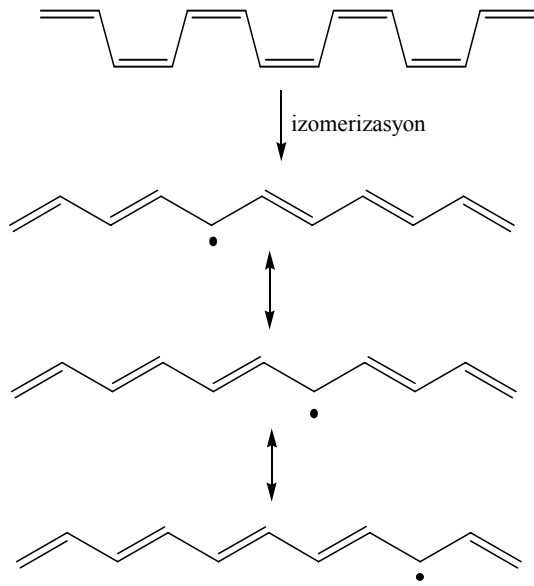
Polimerde iletkenliği etkileyen bir başka kavram soliton oluşumudur. Soliton, cis ve trans yapının izomerizasyonu sırasında oluşan bir yapı kusuru olarak tanımlanabilir. Şekil 2.7'de poliasetilen zinciri üzerinde soliton oluşumu ve radikal zincir boyunca hareketi gözlenmektedir.



Şekil 2.5. Poliasetilenin n-türü doping işlemiyle polaron ve bipolaron oluşumları

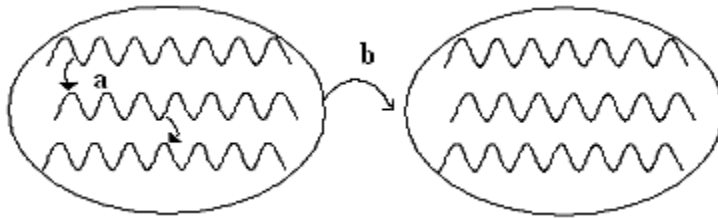


Şekil 2.6. İletken polimerlerde karbon atomlarının düzenlenişi



Şekil 2.7. Cis poliasetilenin trans yapıya izomerizasyonu sırasında soliton oluşumu ve zincir boyunca hareketi

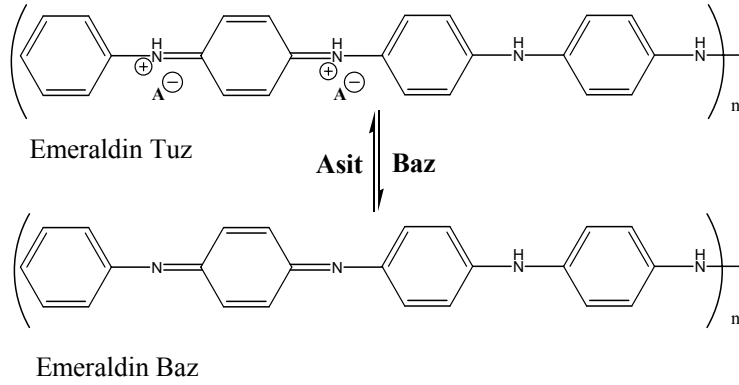
Polimer zinciri üzerinde elektrik iletimi yukarıda bahsedildiği gibi polaron, bipolaron ve soliton oluşumlarıyla gerçekleşmektedir. Ancak bir polimerin yığın halinde elektriksel iletim gösterebilmesi için zincirler arasında da iletimin olması gerekmektedir. Bir polimer zincirinde elektronik yükün hareketi; kristal bir yapıda zincir üzerinde, kristal bir yapıda zincirden zincire ve amorf bir bölgede zincirden zincire olabilir [11]. Bu şekilde elektron aktarımı “hopping” olarak adlandırılır. Zincirin herhangi bir yerindeki bir soliton, kendisine yakın zincirdeki bir solitonla etkileşerek elektron atlamaları gerçekleştirir (Şeki l 2.8).



Şekil 2.8. a) Zincirler arasında yük taşınması b) Partiküller arasında yük taşınması

İletken polimerlerde gözlenen hopping olayının başlıca sebeplerinden biri de, polimer zincirinin amorf yapıda olmasıdır. Kristalin iletkenlerde, kristal örgüsünün mükemmel yakın yapısından dolayı yük taşıyıcılar homojen bir potansiyelle hareket ederler. Polimer filmlerinde ise amorf yapı nedeniyle yük taşıyıcılar lokalize olur ve böyle durumlarda lokalize olmuş kısımlar arasında atlamalar gerçekleşir [13].

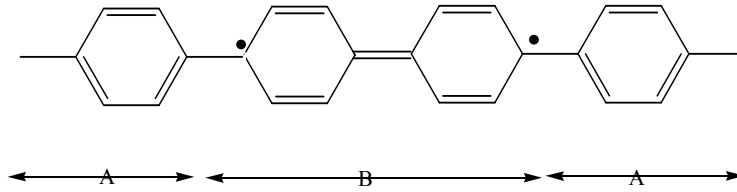
Polimerlerde iletkenlik özellikleriyle ilgili bir başka kavram da “dedoping” dir. Dedoping işlemi, bir iletken polimer tuzunun iletkenliğinin azaltılması amacıyla bir bazla muamele edilmesi sonucunda gerçekleşir. Şekil 2.9’da iletken polianilin birimi olan emeraldin tuzunun dedoping edilmesi ile emeraldin baz yapısına dönüşmesi görülmektedir. Somani tarafından yapılan bir çalışmada [14], protonlanmış emeraldin yapısının iletkenlikleri  $10^{-1}$  ile  $1 \text{ Scm}^{-1}$  arasında iken, emeraldinin amonyum persülfat  $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$  ile muamelesi sonucunda iletkenlik değerleri  $10^{-8}$ ,  $10^{-10} \text{ Scm}^{-1}$  aralığında gözlenmektedir. Dedoping işlemi ile iletken polimerlerin iletkenlik dereceleri kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2.9. Emeraldin tuzunun dedoping işlemi [19]

#### 2.4.2. Polianilin ve türevlerinde elektrik iletimi

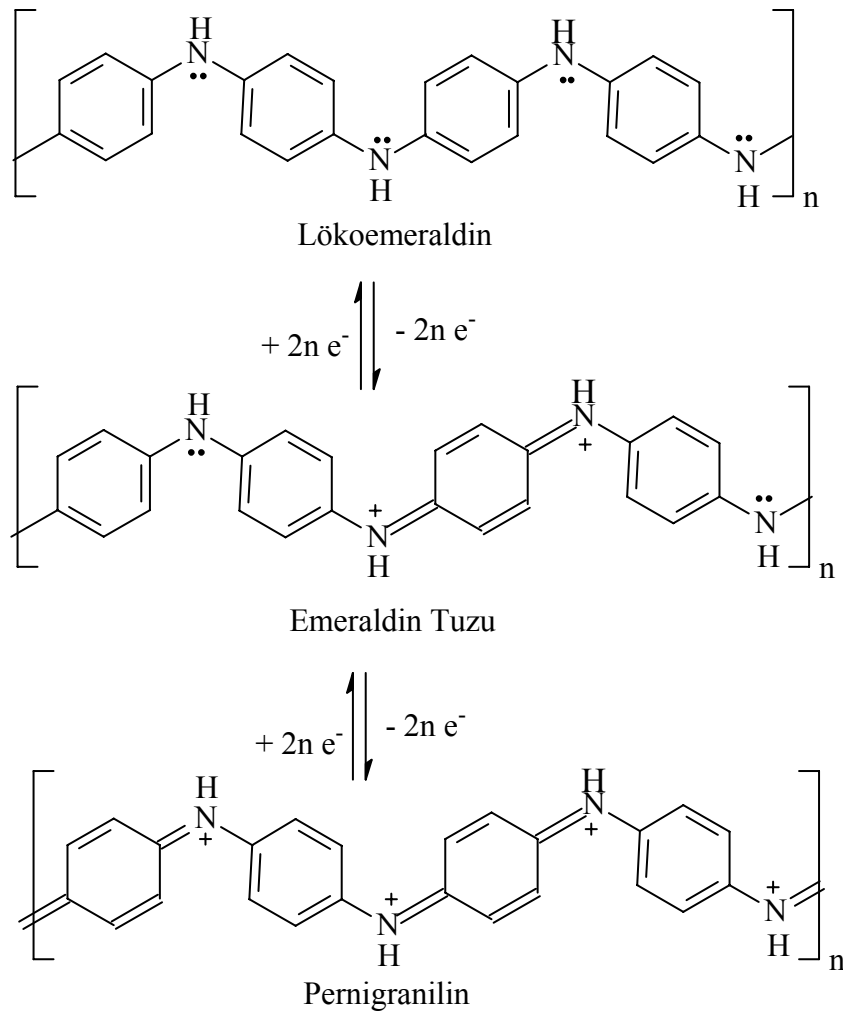
Poli(p-fenilen) gibi halkalı konjuge yapılarda dejenere olmuş temel yapı bulunmadığından, iletkenliği açıklamak için soliton yapılarından yararlanılmaz. Bunun yerine poli(p-fenilen) için benzenoid ve kinonoid olarak adlandırılan farklı enerjilere sahip iki yapı formülünden bahsetmek gerekir. Şekil 2.10'da A ile gösterilen birimler benzenoid ve B ile gösterilen birim kinonoiddir [11].



Şekil 2.10. Benzenoid ve kinonoid yapıları

Polianilin ve türevleri, konjugasyon yolu üzerindeki azot heteroatomlarının varlığı nedeniyle poliasetilen, politiyofen gibi diğer konjuge iletken polimerlerden farklı özellikler gösterirler [16]. Polianilin ve türevleri 3 temel kararlı yükseltgenme basamağında bulunabilirler. Bunlardan tamamen indirgenmiş “lökoemeraldin” formunda polimer elektronik olarak yalıtıcıdır. Bu yapı ikincil aminlerle birbirine bağlı bir seri benzenoid halkasından oluşur. Lökoemeraldin yapısının asidik ortamda, bir tetramer birimi başına iki elektron vererek yükseltgenmesiyle oluşan ürün, iletken özellikteki “emeraldin tuzu” dur. Bu katyonik yapı, benzenoid ve kinonoid birimlerinin birbirine amin ve imin gruplarıyla bağlanmasından oluşur. Emeraldin

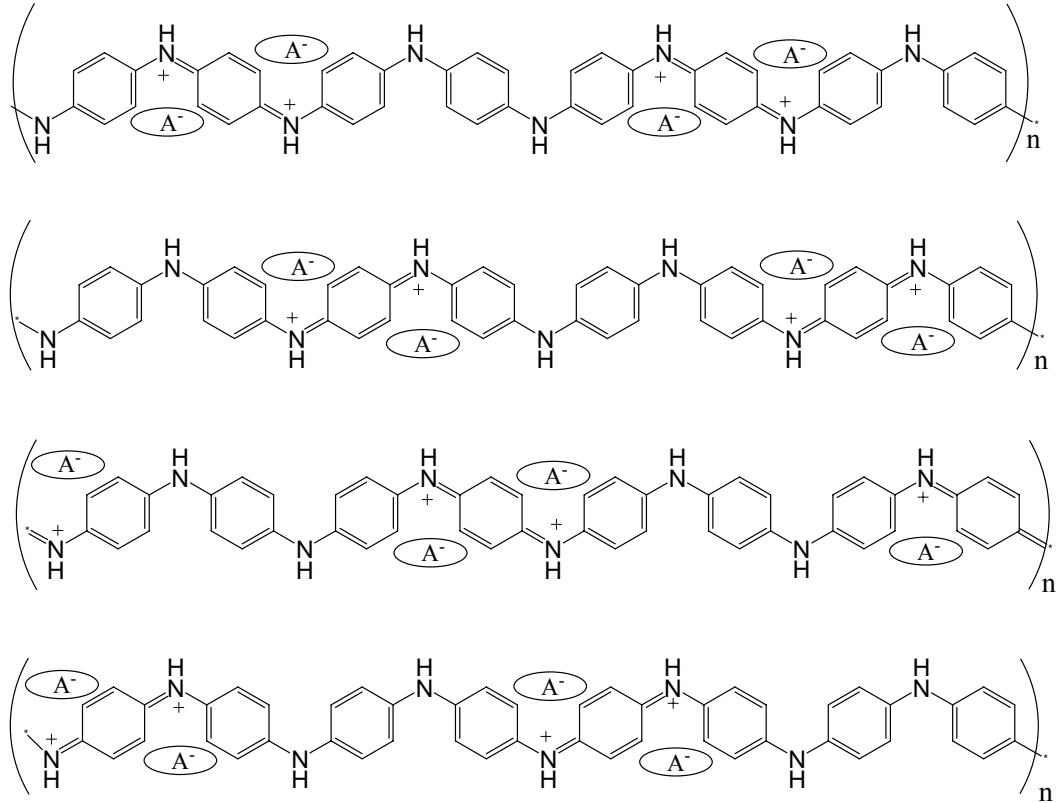
yapısının bir basamak daha yükseltgenmesiyle tamamen yükseltgenmiş birim olan “pernigranilin” elde edilir. Pernigranilin yapısı, polimer zinciri boyunca birbirine dönüşebilen benzenoid ve kinonoid halkaları içerir. Benzenoid ve kinonoid halkaları, birbirine imin grupları ile bağlıdır ve iminler, hidrolize ve sulu asidik ortama karşı çok hassastır. İminlerin su çekmesi polimer zincirini kırılğan yapabilir [17]. Polianilinın tetramerik yükseltgenme ürünleri Şekil 2.11’de verilmektedir.



Şekil 2.11. Polianilinın tetramerik yükseltgenme ürünleri

Polianilin’in emeraldin tuz yapısının yüksek iletkenlik göstermesi ve oldukça kararlı olması, polimer zincirindeki  $\pi$  bağı elektronlarının delokalizasyonundan kaynaklanan dört ayrı rezonans formülü ile gösterilebilmesinden kaynaklanır [18]. Bu rezonans yapı formülleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Rezonans yapı formüllerine bakıldığında

bütün azot atomlarının tek ve çift bağ yapabildiği, bütün fenil halkalarının da benzenoid ve kinonoid yapısında oldukları görülmektedir. Sonuçta  $\pi$  elektron dağılımı ile yüksek iletkenlik elde edilmekte, bu durum da polianiline kararlılık kazandırmaktadır.



Şekil 2.12. Polianilin'in emeraldin tuzunun rezonans yapı formülleri [18]

Yapılan çalışmalarda, polianilin türevlerinin iletkenliklerinin, polianilinin iletkenliğinden daha düşük değerde olduğu görülmüştür [19]. Bu durum şöyle açıklanır: Polianilinde yük taşıyıcılar delokalize olduğundan iletkenlik yüksektir. Poli(alkilanilin)'de ise halkaya bağlı grup sterik etki oluşturacağından halka bükülmesine sebep olur. Yapıda düzensizlik ve zincirler arası boşluklar oluşacağından polimer zincirinde lokalizasyon görülür ve iletkenlik düşer [16,20, 21]. Bir çalışmada [20] polianilinin N-alkillenmiş türevleri, bir başka çalışmada da [21] orto alkillenmiş türevleri incelenmiş ve alkil zincirinin uzunluğu arttıkça iletkenliğin azaldığı görülmüştür. Bu düşüşün sebebi ise alkil zincirinin uzunluğuyla

artan sterik engel şeklinde yorumlanmıştır.

Poli(N-alkilanilin) ve poli(o-alkilanilin)'lerin iletkenlik özellikleri ile ilgili yapılan bir başka çalışmada [22], protonlanarak bipolaron hale gelen pernigranilin yapısı iletkenlik özelliği göstermezken, kısmen yükseltgenmiş polaronik yapıdaki emeraldinin iletken olduğu görülmüştür. Bu durumun, yük taşıyıcıların lokalizasyonu sebebiyle olduğu açıklanmıştır. Aynı çalışmada, alkil süstitüe polianilinlerin elektron sağlayıcı süstitüe grupları sayesinde yapıdaki imin birimlerinin bazlığına arttığı ve buna bağlı olarak da kararlı bipolaron yapı oluşumunun kolaylaştığı sonucuna varılmıştır.

Polianilin ve türevlerinin iletkenliklerinin süstitüe grubun cinsine ve ortama göre değişiklikler göstermesi de incelenmiş, Sarı tarafından yürütülen bir çalışmada [23], çeşitli asitlerle sentezlen, poli(o-toluidin) ve poli(2-kloranilin)'in (P2ClAn) iletkenlikleri yorumlanmıştır. Farklı asitlerle hazırlanan POT'ların iletkenliklerinin P2ClAn'lerinkinden daha yüksek olduğu, sebebinin ise, POT'de halkaya bağlı CH<sub>3</sub> grubunun protonlama etkisi olduğu söylenmiştir. Sentez ve dopant ortamı olarak kullanılan asitlerin, POT'da P2ClAn'den daha iyi protonlama etkisine sahip olduğu belirtilmiştir. Protonlama etkisinden dolayı imin birimlerinin yapılanması artmış ve iletkenlik değerleri artmıştır.

Bir başka çalışmada ise [24], halkaya bağlı halojen atomların etkisi incelenmiş, yapıya eklenen süstitüente ve bağlandığı yere göre hem konjugasyon uzunluğunun hem de redoks potansiyelinin değiştiği belirtilmiştir. Poli(2-floranilin) (P2FAn), Poli(2-kloranilin) (P2ClAn), Poli(2-bromanilin) (P2BrAn), Poli(2-iyotanilin) (P2IAn)'in FeCl<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ve (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> tuzlarıyla yapılan sentezinde, farklı süstitüe grup ve farklı tuzların, polimerdeki yükün hareketini etkilediği sonucuna varılmıştır. Sentezlenen polimerlerin iletkenlikleri UV spektroskopisi ile yorumlanmış ve şu sonuçlar çıkarılmıştır: Klorun elektronegatifliği floradan daha düşük olduğu için bu geçişe ait rezonans enerjisi azalmakta ve dalga boyu artmaktadır. Bu sebeple P2ClAn'in iletkenliğinin P2FAn'den fazla olduğu anlaşılmıştır. Bromun elektronegatifliği flor ve klordan daha az olduğu halde

elektronegatifliğin yanı sıra sterik etkinin de hesaba katılması gerektiği vurgulanmış, sterik etki konjugasyon derecesini düşürdüğü için iletkenlikte kayda değer bir düşüş gösterdiği UV spektroskopisi sonuçlarıyla bağlantılı olarak yorumlanmıştır.

Polarizasyon potansiyelinin iletkenlik üzerine etkisinin vurgulandığı bir çalışmada [25]; poli(N-metilanilin) (PNMA<sub>n</sub>), poli(orto-kloranilin) (POClAn), ve poli(para-bromanilin) (PPBrAn) arasında en düşük iletkenlik değerinin  $1,8 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$  ile PNMA<sub>n</sub>'e ait olduğu, PPBrAn ve POClAn'ın ise sırasıyla  $2,7 \times 10^{-1}$  ve  $8,4 \times 10^{-1} \text{ Scm}^{-1}$  değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. PNMA<sub>n</sub>'in, en yüksek polimerizasyon potansiyeline sahip olduğu ve bunun da kinon-imin türünde yan ürünler vermesine sebep olduğu için iletkenliği düşürdüğü belirtilmiştir.

### 3. ELEKTROREOLOJİ

#### 3.1. Elektroeoloji

Elektroeoloji, elektrik alana maruz kalan bir akışkanın, akış özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelendiği bilim dalıdır.

Tarihte elektroeoloji olayının ilk adımı 1896 da Alexander Wilmer Duff tarafından atılmıştır. Duff, gliserin, kunduz yağı ve ağır parafin üzerinden elektrik alan geçirerek viskozitelerindeki küçük değişimi gözlemlemiştir [26]. Yine 19. yüzyılda Priestley ve Wincler, nötral parçacıkların dielektrik duyarlılıktaki süspansiyon ortamından elektrik geçirilmesiyle birbirine bitişik inci tanecikleri gibi sıralandığını keşfetmişlerdir [26]. Ancak elektroeolojik ve magnetoeolojik parçacıklarla aktif olarak çalışılmaya başlanması, 1940' larda Willis M. Winslow tarafından gerçekleştirildi. Winslow' un 1940' larda aldığı üç patentten [27-29] ilki 1947' de ER akışkanın tork şanzımanında uygulanmasıyla ilgili olarak verildi. Daha sonra araştırma sonuçlarını yayınlamasıyla elektroeoloji bilimi doğmuş oldu ve onu keşfeden bilim adamının ismini alarak 'Winslow Etkisi' olarak anıldı [1].

ER, elektrik alanın sıvı dispersiyonlar üzerine olan etkisiyle ilgilendir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç ya da sıvının katıya dönüşümü şeklinde kendini gösterir. Bu olayı etkileyen en önemli faktörler elektrik alan kuvvetinin büyüklüğü, alan frekansı, kayma hızı, kayma gerilimi, sıcaklık, tanecik boyutu, süspansiyon derişimi (veya tanecik hacim kesri) ve promoter olarak rapor edilmiştir [1].

#### 3.2. Reoloji

Reoloji, Yunanca akış anlamına gelen "rheo" kelimesinden türemiş bir sözcüktür. Tanım olarak; her türlü malzemenin akış davranışının incelendiği bilim dalı olmasına rağmen reoloji araştırmacıları tarafından yalnızca katı ve sıvı malzemelerin akış davranışlarının incelenmesi ile sınırlandırılmıştır.

Su, yağ gibi sıvılar bilinen akış özellikleri sergiledikleri halde, mayonez, bal, oyun

hamuru, diş macunu gibi malzemeler daha karmaşık ve alışılmadık akış davranışı gösterirler. Reoloji bu karmaşık malzemelerin akış davranışları üzerine eğilen bilim dalıdır.

Bir katının akış davranışı, deformasyon sonucunda boyutlarındaki değişim ile olurken sıvılarda ise malzemenin akışı deformasyon olarak tanımlanır. Bir başka deyişle sıvılar için reoloji, akışkanlığın bilimidir. Reolojinin temel parametreleri, kayma gerilimi ( $\tau$ ), kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) veya kayma gerinimi ( $\varepsilon$ ) dinamik viskozite ( $\eta$ ) ve kinematik viskozitedir ( $\nu$ ). Kayma gerilimi kuvvetin (F) etkin alana (A) bölünmesi ile hesaplanabilir:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Bir malzemenin dıştan gelen bir etkiye karşı göstereceği mekanik davranış tersinir veya tersinmez deformasyonları içerir. Deformasyon ise malzemenin bilinen bir gerilim altında akması, akışkan davranış sergilemesi veya boyut değiştirmesidir. Deformasyon tersinir ve tersinmez deformasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Tersinmez deformasyonda akmanın sürekliliği, enerjinin sürekliliğine bağlıdır. İř mekanik olarak geri kazanılmaz ve ısı olarak yok olur. Tersinir deformasyonda kullanılan enerji geri kazanılır.

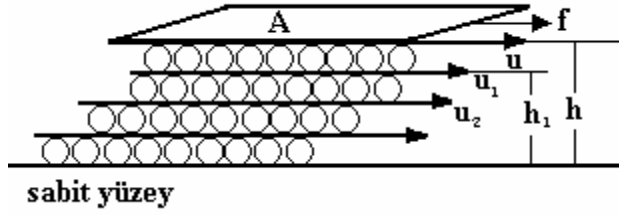
Bir viskoz akışkanın deformasyonu, kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) ile kayma gerilimine ( $\tau$ ) bağlıdır. Kayma gerilimi ve kayma hızı bilindiği zaman viskozite ( $\eta$ ) ve kinematik viskozite ( $\nu$ ) hesaplanabilir:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{\tau}{du/dy} \quad (3.2)$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.3)$$

$\rho$ : yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )

Viskozite, bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Şekil 3.1’ de viskozite olayı fiziksel olarak gösterilmektedir [26].



Şekil 3.1. Viskozite olayı. f: Sürtünme kuvveti, A:Yüzey alanı, u: Bağıl hız, h: Plaklar arası kalınlık

Newton’ a göre viskozite Eş. 3.3’ te verildiği gibi tanımlanmaktadır. Burada olduğu gibi viskozitenin kayma hızından bağımsız olması durumunda akışkan Newtonian’ dır. Elektoreolojik özellik gösteren akışkanlar, Newtonian davranıştan sapma gösterirler ve Non-Newtonian akışkan olarak adlandırılırlar. Bu durumda kayma gerilimi kayma hızının üstel değerleriyle değişir.

Reolojik akışkanlar için, kayma gerilimi aşağıdaki eşitlikten de hesaplanabilir [26]:

$$\tau = \tau_E + \tau_V \quad (3.4)$$

Burada ,  $\tau_E$  uygulanan dış elektrik alanın etkisi, bu ayrıca Bingham kayma gerilimi olarak ta adlandırılır ve  $\tau_V$  elektrik alan yokken akıştaki dirençtir.  $\tau_V$  hidrodinamik veya viskoz bileşen olarak da adlandırılabilir.

### 3.3. Elektroeolojik Akışkanların Reolojisi

Bir akışkanın elektroeolojik yanıt vermesinin sebebi, sürekli faza uygulanan sabit elektrik alanla birlikte dağılmış parçacıkların polarize olmasıdır. Elektrik alan uygulanmasıyla komşu parçacıklar birbirini çekmekte, elektrotlara dik, lif yapıları oluşmaktadır. Oluşan bu yapılar, süspansiyonun reolojisinde ilginç değişiklikler meydana getirir. Süspansiyonun viskozitesinde büyük artışlar ortaya koyar. Yani süspansiyonların reolojik özellikleri; parçacıklardan lif yapıları oluşturan elektrik kuvvetleri ile bu yapıları deforme edip bozma eğilimindeki akış kuvvetleri arasındaki dengeye bağlıdır.

Bir ER akışkanın reolojik özellikleri, elektrik alan uygulandığında, Newtonian' dan Bingham türü akışa geçiş sergiler. Bir ER akışkanın herhangi bir elektrik alan değerinde kayma hızı ile kayma gerilimi arasındaki bağıntı, Eş. 3.5 ile verilmektedir [30]:

$$\tau = \tau_E + \eta_s \dot{\gamma} \quad (3.5)$$

Burada,  $\tau_E$  Bingham akma gücü olarak adlandırılan polarizasyon katkısı,  $\eta_s$  sıfır elektrik alanda süspansiyonun dinamik viskozitesi ve  $\dot{\gamma}$  kayma hızıdır. Bingham materyalleri belli bir akış indeksine sahip plastik kütlelerdir. Bingham plastik akışkanları için, Newtonian modeli:

$$\tau = \tau_y + \eta \frac{du}{dy} \quad \tau > \tau_y \text{ ise} \quad (3.6)$$

Burada,  $\tau_y$  limit akma gerilimi, ve  $du/dy$  akma oranının hız gradientidir. Bu oran üzerindeki reolojik davranışlar Newtonian, altındaki davranışlar ise Non-Newtonian'dır.

ER akışkanların reolojisiyle ilgili verilmesi gereken bir başka kavram da Mason

sayısıdır ( $M_n$ ). Bu karakteristik sayı, viskoz kuvvetlerin elektriksel kuvvetlere oranı olarak tanımlanır [31].

$$M_n = \frac{\text{Viskoz kuvvetler}}{\text{Polarizasyon kuvveti}} \quad (3.7)$$

### 3.4. Elektroeolojik Akışkanlar

Elektroeolojik akışkanların oluşturulması basit bir işlemdir. Yalıtkan bir sıvı içinde dağıtılmış mikrometre boyutunda parçacıklardan meydana gelirler. Taşıyıcı sıvı ve tanecik haricinde yüzey aktif maddeler veya aktive edici maddeler de kullanılabilir. Bir ER akışkanda hem taşıyıcı sıvı hem de tanecikler kutuplanabilir özellikte olabilir. ER akışkan oluşturulurken kullanım amacına uygun doğrultuda bileşenler seçilmelidir.

ER akışkanda kullanılan taşıyıcı sıvı ile tanecikler arasındaki dielektriksel uyum, ER etkiye artış sağlar. Polimerler elektriksel özelliklerinin modifiye edilebilirliklerine bağlı olarak ER malzemelerin önemli bir sınıfını oluştururlar. ER malzemelerin elektrik alan kuvvetinin etkisiyle viskozitelerinde birkaç milisaniyede gösterdikleri artış, titreşimin kontrol edilebilmesi ve enerjinin aktarılabilmesi için eşsiz bir mekanizma sergiler.

Yarı iletkenlerden daha düşük iletkenlik değerlerine sahip tanecik içeren süspansiyonların ER aktivitesi, genellikle hidrofilik katkılara bağlıdır. Bu hidrofilik etki, tanecik yüzeyini aktive ederek taneciklerin kutuplanmasına sebep olur. Hem organik hem de inorganik tanecikler için aktive edici olarak en çok su kullanılır. Katkı maddesi olarak yüzey aktif maddeler ve diğer polar sıvılar da önerilir [32].

Elektroeolojik akışkanların elektrik alan kuvvetinin etkisiyle katılaşması şöyle açıklanır; süspansiyonlara uygulanan elektrik alan kuvvetinin etkisiyle hemen hemen tüm tanecikler, zıt yüklü kutuplarının yan yana dizildiği bir yapı oluşturur. Bu zıt kutuplar arasındaki çekim kuvveti parçacıkları birbirine yapıştırır. Birbirini izleyen

parçacıklar tıpkı ipe dizilen zincirler gibi uç uca eklenerek sıralanır. ER bir akışkan içerisinde parçacıklar tarafından oluşturulan zincirler akışkan kabının bir ucundan diğer ucuna doğru hızla büyür. ER etki bu zincirlerden meydana gelen kayma geriliminden kaynaklanır.

Süspansiyonun kayma gerilimi büyük ölçüde tanecik derişimlerine bağılıdır. Akışkan içindeki tanecik derişimi ne kadar fazla ise, akışkanın kayma gerilimi o kadar fazladır.

İdeal bir ER akışkanın şu özelliklere sahip olduğu varsayılır [26]:

- Tanecikler küresel ve eşit tanecik boyutlarındadır
- ER akışkanlar için elektrostatik etkileşim baskın etkileşimdir. Diğer etkileşimler ihmal edilir.
- Her bir tanecik dizisindeki kutuplaşma özdeştir.
- Mükemmel ve doğru şeklindeki tanecik zincirleri, elektrot boşluğu boyunca düzgün olarak yayılır.
- Dizi kaydırıldığında statik (durgun) ya da yarı statik durumların oluşum oranı düşüktür.
- Kayma boyunca bütün taneciklerin ayrılması özdeştir.

### 3.5. ER Akışkanların Verimi

ER verimi, elektrik alan uygulanması ile viskozitede meydana gelen bağıl artış olarak ifade edilir. ER etkinin pratik uygulamaları için aranan özellik, akışkanın en düşük elektrik alanda mümkün olabilen en yüksek elektroviskoziteye sahip olabilmesidir [33]. ER viskozite, Eş. 3.8 ile tanımlanır;

$$\Delta\eta = \eta_E - \eta_0 \quad (3.8)$$

ER etkinin verimi; Eş. 3.9 ile ifade edilir.

$$e = \frac{\Delta\eta_E}{\eta_0} \quad (3.9)$$

Eş. 3.9'da kullanılan;

$\eta_E$  = Süspansiyonun elektrik alan varlığında viskozitesi

$\eta_0$  = Süspansiyonun elektrik alan sıfırken viskozitesi

e = ER verimi

$\eta_E$  değeri, belli bir tanecik derişiminde uygulanan elektrik alanla birlikte, taneciklerden oluşan zincir benzeri yapıların kayma değerindeki dirence bağlıdır. Tanecikler yokken taşıyıcı sıvının  $\eta_0$  ve  $\eta_E$  viskoziteleri ihmal edilebilir ve elektrik alan kuvveti sıfır olduğunda ortamın ER verimi;  $e = (\eta_E - \eta_0) / \eta_0 = 0$  dır. Ortama tanecikler gönderildiğinde, ER etki pozitifse  $\eta_E$  değeri  $\eta_0$  değerinden daha büyük olacaktır. ( $\eta_E > \eta_0$ ). Çünkü, elektrik alan varlığında tanecikler arasında zincir yapısı oluştuğundan viskozite artacak dolayısıyla  $e > 0$  olacaktır. Viskozite değerindeki ve dolayısıyla ER verimindeki artış, süspansiyonun derişimiyle de doğru orantılıdır. Ancak bu artış belli bir derişim değerinden sonra ER veriminde azalmaya sebep olur [34].

Lengalova ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [33],  $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $TiO_2$ , talk ve PAn ile hazırlanan süspansiyonların ER verimi incelenmiştir.  $E = 2.5$  kV/mm elektrik alan kuvveti uygulandığında yüksek viskozite değeri gösteren  $Mg(OH)_2$ ' in ER veriminin çok düşük olduğu gözlenmiş bunun sebebi olarak ise, elektrik alan sıfırken  $Mg(OH)_2$ ' in viskozitesinin çok yüksek olması gösterilmiştir. PAn' in ise en yüksek ER verim sergilediği vurgulanmıştır. Ayrıca süspansiyonların ER verimi üzerine tanecik şekli ve büyüklüğünün de etkili olduğu, granüllü yapıdaki  $Al(OH)_3$  ve küresel yapıdaki  $TiO_2$  parçacıklarının Newtonian akış sergilediği, asimetric tanecikli  $Mg(OH)_2$ ' in ise pseudoplastik davranış sergilediği vurgulanmıştır.

### 3.6. Polianilin ve Türevlerinin ER Özellikleri

İletken polimerler arasında polianilin ve türevleri diğer elektroeolojik akışkanlarla kıyaslandığında; düşük yoğunlukta oluşu, kontrol edilebilir iletkenlik özellikleri ve termal dayanıklılığı sebebiyle elektrokimyasal uygulamaların pek çoğunda kullanılmakta olan en gözde yarı iletken polimerlerden biridir.

Konjuge  $\pi$  bağlarına sahip olan iletken polimerlerin iletkenlikleri doping ve dedoping işlemleriyle istenilen değerlere getirilebilmektedir. PAn, sentezlendiği ortama göre değişen yüksek iletkenlik değerlerine sahip bir polimerdir. PAn taneciklerinin elektroeolojik ölçümlerde kullanılabilmesi için iletkenliğinin yarı iletken aralığında olması gerekmektedir [35].

PAn, üstün özellikleriyle elektroeoloji araştırmacılarının da oldukça fazla ilgisini çekmiştir. Pek çok çalışmada [36-39], farklı dopantlar kullanılarak hazırlanan polianilinin, değişen iletkenlik değerlerinde ER özellikleri incelenmiş, yüksek iletkenlik değerleri göstermesinin dezavantajlarından dolayı dedoplanmış yapının kullanılması tercih edilmiştir.

Bazı çalışmalarda [40] ER olayı üzerine yüzey aktif madde etkisi, bazı çalışmalarda da [41,42] polimerizasyon sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Polimerizasyon sıcaklığının etkisinin araştırılması amacıyla, -10, -5, 0, ve 5°C'da hazırlanan polimerlerden en yüksek iletkenlik değerine sahip olan polimerin, en büyük dinamik kayma gerilimi değerine sahip olduğu rapor edilmiştir [41].

Bazı çalışmalarda polianilinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla difenilamin sülfonat [43], o-etoksianilin [43] ve kil [44] ile kompozit oluşturulmuş, bazılarında ise PAn ile kaplanmış talk [45], silika [46] ve Poli(metilmetakrilat) [47]' in elektroeolojik özellikleri incelenmiştir.

Bir çalışmada [34], ER verimi üzerine, kütlece %5-25 oranlarında hazırlanan polianilin süspansiyonlarının derişiminin etkisi araştırılmış, 20, 40 ve 60°C

sıcaklıkların her birinde artan derişimle ER veriminin %15 derişime kadar arttığı daha sonra sabit kaldığı rapor edilmiştir.

Bir başka çalışmada [35], PAn ve bazı kopolimerlerinin ER aktifliği,  $10^{-2}$ - $10^3$ s<sup>-1</sup> kayma hızı aralığında incelenmiştir. Bu çalışmada kayma hızına karşı kayma gerilimi eğrisi öncelikle azalarak bir minimum değere ulaşmış, bu kritik değerden sonra ise kayma hızı arttıkça artmıştır. Bu durum şöyle açıklanmaktadır; 1s<sup>-1</sup>'in altındaki düşük kayma hızı bölgesinde, her üç ER akışkan da, uygulanan elektrik alan kuvveti ile harekete geçen tanecik lif yapılarından dolayı tipik nonlineer davranış sergilemektedir. Bu şartlarda, tanecikler arası elektrostatik etkileşimler baskın olduğundan bu kayma alanı altında defalarca kırılan tanecik zincirleri, defalarca yeniden yapılırlar. Kayma hızının artırılmasıyla, zincir yıkım oranı, zincir yenilenme oranından daha hızlı hale gelir. Ve boşluklar arasındaki taneciklerden oluşmuş zincirlerin sayısı azalır. Kayma hızı değeri yeterince yüksek hale geldiğinde, kayma boyunca kırılmış olan pek çok tanecik zinciri, elektrik alanda tekrar sıraya konacak vakit bulamaz. Bu durumdaki kayma gerilimi, tanecikler arası elektrostatik etkileşimden çok, tanecikler arası hidrodinamik kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, ER akışkanın akış eğrisi bu kritik noktadan sonra kayma hızının kayma gerilimiyle lineer olarak arttığı Newtonian akışkanlarınkine benzer [35].

## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Monomerler: Bütün monomerler kullanılmadan önce vakumda ( $P = 15$  mmHg) distillenerek buzdolabında saklandı.

o-toluidin (Merck),  $d = 0,972$  g/mL

2-etilanilin (Merck),  $d = 0,984$  g/mL

N-metilanilin (Merck),  $d = 0,972$  g/mL

N-etilanilin (Merck),  $d = 0,899$  g/mL

Diğer kimyasal maddeler: Analitik saflıkta olup temin edildikleri şekilde kullanılmıştır.

Potasyum iyodat (Merck)

Potasyum bromür (Merck), spektroskopik ölçümler için uygun

Hidroklorik asit (Merck),  $d = 1,19$  g/mL, kütlece %37'lik

Sülfürik asit (Merck),  $d = 1,84$ g/mL, kütlece %98'lik

Dietileter (Emir Kimya),  $d = 0,714$  g/mL, %99,9 saflıkta

Aseton (Merck),  $d = 0,790$  g/mL, %99,9 saflıkta

Etanol (Merck),  $d = 0,789$  g/mL, %99,9 saflıkta

Metanol (Merck),  $d = 0,791$  g/mL, %99,9 saflıkta

Kloroform (Merck),  $d = 1,49$  g/mL, %99,9 saflıkta

Asetonitril (Merck), %99,9 saflıkta

N,N-Dimetil formamit (Lab Scan A. Sci.),  $d = 0,949$  g/mL, %99 saflıkta

Dimetil sülfoksit (Merck)  $d = 1,10$  g/mL, %99,9 saflıkta

Silikon yağı (Aldrich),  $\rho = 0,97$ ,  $\eta = 1000$ mPas,  $d = 0,965$  g/cm<sup>3</sup>,  $\epsilon = 2,61$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$

## **4.2. Alet, Cihaz ve Teknikler**

### **4.2.1. Vakum etüvü**

Sentezlenen polimerler 100 mbar'a kadar düşük basınçlara inebilen Heraeus D-6450 Hanau Model vakum etüvünde kurutuldu ve bir seri tanecik boyutunda örnekler hazırlandı.

### **4.2.2. Fourier transform infrared spektrometresi**

Polimer örneklerinin infrared ölçümleri, saf ve kuru KBr ile hazırlanan diskler kullanılarak Mattson-1000 Model spektrometre kullanılarak alındı.

### **4.2.3. Öğütme işlemi**

Vakum etüvde kurutulmuş olan POT, PNMA<sub>n</sub>, PNEA<sub>n</sub>, P2EA<sub>n</sub> örnekleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında üç boyutlu bir değirmende sırasıyla 4, 8, 12, 24 saat sürelerde öğütülerek tanecik boyutları küçültüldü.

### **4.2.4. Tanecik boyutu tayini**

Toz halindeki polimer örneklerinin tanecik büyüklükleri, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Malvern Mastersizer E version 1.2 b, 18 mm çapında He-Ne lazer kaynağına sahip Dinamik Işık Saçılımı Spektrometresi ile ölçüldü. Su içerisinde dağılan taneciklerin 20°C sıcaklıkta sürekli karıştırılması suretiyle ölçümler alındı. Toplanan veriler Malvern bilgisayar programı ile Fraunhofer saçılma teorisine göre değerlendirildi.

### **4.2.5. Binoküler mikroskop**

İletkenlik ölçümlerinde kullanılan pellet kalınlıkları 1 oküler aralığı 0,0274 mm olan

Euromex Arnhem Model Binoküler Mikroskop ile 40 defa büyütülerek ölçüldü.

#### 4.2.6. Dört nokta iletkenlik ölçüm aleti (Four probe)

Deneyleerde iletkenlik ölçümü için dört nokta iletkenlik ölçüm aleti kullanıldı. 0,1 g standart kütlelerde tartılan polimer örnekleri, 5 atm basınç altında sıkıştırılarak pellet haline getirildi. Kalınlıkları binoküler mikroskop ile ölçülen pelletler üzerine, dört nokta iletkenlik ölçüm aletinin elektrotları yerleştirildi. Elektrot aralığı 0,2 cm olan alet ile örneklerin dc iletkenlikleri oda sıcaklığında ölçüldü.

Dört nokta tekniğinde 4 adet elektrottan ikisine belirli potansiyeller uygulanırken diğer ikisinden de akım ölçülür. Polimerin iletkenliği Eş. 4.1 ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{\ln 2}{\pi d} \frac{i}{V} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

$\sigma$  : İletkenlik ( $\text{Scm}^{-1}$ )

d : Pellet kalınlığı

i : Örnek üzerinden geçen akım

V : Uygulanan potansiyeldir.

#### 4.2.7. Dijital multimetre

Polimerlerin iletkenlik ölçümlerinde potansiyel ölçüm aralığı 2,0 V – 20,0 V, akım ölçüm aralığı  $2,0 \times 10^{-3}$  A – 10,0 A olan Nippon-NP 900 model iki dijital multimetre kullanıldı.

#### 4.2.8. Dielektrik sabiti tayini

İletkenlik değerlerinin dört nokta tekniğinden sonuçlar ile karşılaştırılması ve

dielektrik sabitlerinin hesaplanması amacıyla HP 4192 A LF Impedance Analyzer (İngiltere) cihazında Ohm yasasına uygun olarak potansiyel taraması yapılarak iletkenlikler ölçüldü. Ölçümlerde 1 cm çapında ve kalınlıkları binoküler mikroskop ile belirlenen boyutlarda pelletler kullanıldı. 20°C sıcaklıkta ve ara yüzey durumlarının katkısını azaltmak için 1 MHz'de çalışıldı. Polimerlerin Dielektrik sabitleri Eş. 4.2 ile hesaplandı.

$$C = \epsilon^{\circ} \epsilon \frac{d}{A} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte;

C = Kapasitans

$\epsilon^{\circ}$  = Boşluğun dielektrik sabiti

$\epsilon$  = Örneğin dielektrik sabiti

d = Kalınlık

A = Yüzey alanını ifade etmektedir.

#### 4.2.9. Gouy terazisi

Örneklerin gram başına manyetik suseptibilite ( $X_g$ ) ölçümleri Sherwood Scientific, MKI Model Gouy terazisi ile 21°C sıcaklıkta yapıldı. Gram başına manyetik suseptibilite değerleri Eş. 4.3 ile hesaplandı.

$$X_g = \frac{C_{std} l (R - R_0)}{1 \times 10^9 m} \quad (4.3)$$

$X_g$  = Gram başına manyetik suseptibilite       $C_{std}$  = Kalibrasyon sabiti

$R_0$  = Boş tüpün hassaslık değeri

R = Numune ve tüpün hassaslık değeri

m = Numunenin kütlesi

#### **4.2.10. Süspansiyonların hazırlanması**

Öğütülerek belirli tanecik büyüklüğüne getirilen polimer örnekleri ile, silikon yağı kullanılarak kütlece % 5-25 arasında değişen beş farklı derişimde süspansiyonlar hazırlandı.

#### **4.2.11. Akış ölçümleri**

Süspansiyonların akış ölçümleri iki paralel pirinç plaka elektrot arasında 0,0-6,0 kV/mm aralığında 0,5 kV/mm artışla değişen değerlerdeki elektrik alanda, akış süresi bir dijital kronometreyle ölçülerek belirlendi. Akış ölçümlerinde elektrot genişliği 1 cm, elektrotlar arası mesafe 0,5 cm, elektrotlar arasındaki madde yüksekliği 2,5 cm ve ölçümün yapıldığı sıcaklık 20°C olarak kaydedildi. Elektrik alan uygulamasında 0-10 kV aralığında güç üretebilen yüksek gerilim güç kaynağı kullanıldı (Fug Electronics, Almanya).

#### **4.2.12. Çökelme kararlılığı**

Hazırlanan polimerlerin kolloidal kararlılıklarının tayini amacıyla silikon yağı içerisinde kütlece % 5-25 arasında değişen derişimlerde hazırlanan süspansiyonlar 25°C'daki sabit sıcaklık banyosunda tüpler içerisinde bekletildi. İlk çökelmenin görüldüğü an süspansiyonun kolloidal kararsızlık süresi olarak tespit edildi.

#### **4.2.13. Elektroeometre ölçümleri**

Paralel plaka elektrotlar ile elektroeolojik açıdan aktif oldukları tespit edilen süspansiyonların, ER aktiviteleri üzerine kayma hızı, derişim, sıcaklık, elektrik alan kuvveti ve frekansın etkisi incelendi. Bu amaçla Thermo-Haake RS600 model, 0,001-1500 s<sup>-1</sup> aralığında kayma hızı sağlayabilen, 35 mm çapında paralel plakalı tork elektroeometre kullanıldı. Kütlece beş farklı yüzde hazırlanan süspansiyonların elektroeolojik davranışları; çeşitli elektrik alan kuvvetleri, kayma hızları ve frekans aralıklarında ölçülerek değerlendirildi.

### 4.3. Homopolimer Sentezleri

Anilin ve türevlerinden kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle iletken polimerler sentezlenmektedir. Bu çalışmada alkilanilinlerin homopolimerleri kimyasal yöntemle sentezlendi [48]. Sentezlerde tuz ve monomer oranı  $n_{\text{tuz}} / n_{\text{monomer}} = 2$  olacak şekilde hazırlandı. Polimerleştirme, 1,5 M HCl çözeltisi içinde ve KIO<sub>3</sub> tuzu kullanılarak N<sub>2</sub> atmosferinde gerçekleştirildi. Reaksiyonun başlangıcından süzme basamağına kadar, sabit sıcaklık banyosunda 5°C sıcaklıkta çalışıldı.

#### 4.3.1. Poli(o-toluidin) sentezi

0,01 mol (1,07 g, 1,1 mL) o-toluidin monomeri üç boyunlu cam balona konuldu. Üzerine 100 mL 1,5 M HCl (d=1,19 g/mL, kütlece %37'lik) ilave edildi. Su buz banyosunda sıcaklık 5°C'a getirildi ve çözeltinin içinden 20 dakika N<sub>2</sub> gazı geçirildi. 0,02 mol (4,28 g) KIO<sub>3</sub> tuzu 100 mL 1,5 M HCl çözeltisi içinde çözüldü ve sıcaklık 5°C olduğunda hazırlanan tuz çözeltisi damlatma hunisi yardımıyla 1 saat içerisinde karışımada damla damla ilave edildi. Bu sırada çözeltinin içinden N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Damlatma işlemi devam ederken oluşan siyah renkli oligomerler ile polimerleşmenin başladığı gözlemlendi. Damlatma işlemi bittikten sonra bir saat daha N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Çözelti 24 saat boyunca 5°C sabit sıcaklık banyosunda sürekli karıştırılarak bekletildi. 24 saat sonunda elde edilen polimerlerin süzme işlemine geçildi. Polimerler, üzerindeki monomer, dimer ve tuzları uzaklaştırmak amacıyla sırayla 1,5 M HCl, saf su ve dietileter ile her defasında süzüntü berraklaşınca kadar yıkandı. Daha sonra elde edilen polimer, 70°C vakum etüvde (P = 15 mmHg) 48 saat kurumaya bırakıldı. Kurutma işlemi sonunda elde edilen polimer tartıldı (0,49 g). Aynı işlem tekrarlanarak kütlece ortalama % 43 verimle toplam 11,58 g POT sentezlendi.

#### 4.3.2. Poli(2-etilanilin) sentezi

0,01 mol (1,24 g, 1,26 mL) 2-etilanilin monomeri üç boyunlu cam balona konuldu. Üzerine 100 mL 1,5 M HCl (d=1,19 g/mL, kütlece %37'lik) ilave edildi. Su buz

banyosunda sıcaklık 5°C'a getirildi ve çözeltinin içinden 20 dakika N<sub>2</sub> gazı geçirildi. 0,02 mol (4,28 g) KIO<sub>3</sub> tuzu 100 mL 1,5 M HCl çözeltisi içinde çözüldü ve sıcaklık 5°C olduğunda hazırlanan tuz çözeltisi damlatma hunisi yardımıyla 1 saat içerisinde karışıma damla damla ilave edildi. Bu sırada çözeltinin içinden N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Damlatma işlemi devam ederken oluşan siyah renkli oligomerler ile polimerleşmenin başladığı gözlemlendi. Damlatma işlemi bittikten sonra bir saat daha N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Çözelti 24 saat boyunca 5°C sabit sıcaklık banyosunda sürekli karıştırılarak bekletildi. 24 saat sonunda elde edilen polimerlerin süzme işlemine geçildi. Polimerler, üzerindeki monomer, dimer ve tuzları uzaklaştırmak amacıyla sırayla 1,5 M HCl, saf su ve dietileter ile her defasında süzüntü berraklaşınca kadar yıkandı. Daha sonra elde edilen polimer, 70°C vakum etüvde (P = 15 mmHg) 48 saat kurumaya bırakıldı. Kurutma işlemi sonunda elde edilen polimer tartıldı (0,61 g). Aynı işlem tekrarlanarak kütlece ortalama % 48 verimle toplam 11,69 g P2EAn sentezlendi.

#### 4.3.3. Poli(N-metilanilin) sentezi

0,01 mol (1,07 g, 1,1 mL) N-metilanilin monomeri üç boyunlu cam balona konuldu. Üzerine 100 mL 1,5 M HCl (d=1,19 g/mL, kütlece %37'lik) ilave edildi. Su buz banyosunda sıcaklık 5°C'a getirildi ve çözeltinin içinden 20 dakika N<sub>2</sub> gazı geçirildi. 0,02 mol (4,28 g) KIO<sub>3</sub> tuzu 100 mL 1,5 M HCl çözeltisi içinde çözüldü ve sıcaklık 5°C olduğunda hazırlanan tuz çözeltisi damlatma hunisi yardımıyla 1 saat içerisinde karışıma damla damla ilave edildi. Bu sırada çözeltinin içinden N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Damlatma işlemi devam ederken oluşan siyah renkli oligomerler ile polimerleşmenin başladığı gözlemlendi. Damlatma işlemi bittikten sonra bir saat daha N<sub>2</sub> gazı geçirilmeye devam edildi. Çözelti 24 saat boyunca 5°C sabit sıcaklık banyosunda sürekli karıştırılarak bekletildi. 24 saat sonunda elde edilen polimerlerin süzme işlemine geçildi. Polimerler, üzerindeki monomer, dimer ve tuzları uzaklaştırmak amacıyla sırayla 1,5 M HCl, saf su ve dietileter ile her defasında süzüntü berraklaşınca kadar yıkandı. Daha sonra elde edilen polimer, 70°C vakum etüvde (P = 15 mm Hg) 48 saat kurumaya bırakıldı. Kurutma işlemi sonunda elde edilen polimer tartıldı (0,75 g). Aynı işlem tekrarlanarak kütlece ortalama % 70

verimle toplam 11,22 g PNMA n sentezlendi.

#### 4.3.4. Poli(N-etilanilin) sentezi

0,01 mol (1,24 g, 1,38 mL) N-etilanilin monomeri üç boyunlu cam balona konuldu. Üzerine 100 mL 1,5 M HCl ( $d=1,19$  g/mL, kütlece %37'lik) ilave edildi. Su banyosunda sıcaklık  $5^{\circ}\text{C}$ 'a getirildi ve çözeltinin içinden 20 dakika  $\text{N}_2$  gazı geçirildi. 0,02 mol (4,28 g)  $\text{KIO}_3$  tuzu 100 mL 1,5 M HCl çözeltisi içinde çözüldü ve sıcaklık  $5^{\circ}\text{C}$  olduğunda hazırlanan tuz çözeltisi damlatma hunisi yardımıyla 1 saat içerisinde karışıma damla damla ilave edildi. Bu sırada çözeltinin içinden  $\text{N}_2$  gazı geçirilmeye devam edildi. Damlatma işlemi devam ederken oluşan siyah renkli oligomerler ile polimerleşmenin başladığı gözlemlendi. Damlatma işlemi bittikten sonra bir saat daha  $\text{N}_2$  gazı geçirilmeye devam edildi. Çözelti 24 saat boyunca  $5^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklık banyosunda sürekli karıştırılarak bekletildi. 24 saat sonunda elde edilen polimerlerin süzme işlemine geçildi. Polimerler, üzerindeki monomer, dimer ve tuzları uzaklaştırmak amacıyla sırayla 1,5 M HCl, saf su ve dietileter ile her defasında süzüntü berraklaşmaya kadar yıkandı. Daha sonra elde edilen polimer,  $70^{\circ}\text{C}$  vakum etüvde ( $P = 15$  mmHg) 48 saat kurumaya bırakıldı. Kurutma işlemi sonunda elde edilen polimer tartıldı (0,62 g). Aynı işlem tekrarlanarak kütlece ortalama % 52 verimle toplam 13,65 g PNEAn sentezlendi.

## 5. SONUÇLAR VE YORUM

### 5.1. Fourier Transform İnfared Spektrometresi (FTIR)

Monomer ve polimerlere ait FTIR spektrumları Şekil 5.1(a,b) – Şekil 5.4(a,b)'de görülmektedir. Bütün monomer ve polimerlerde 1450-1600  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlenen pikler, aromatik halkaya ait C=C bağına ait gerilmeleri göstermektedir [49].

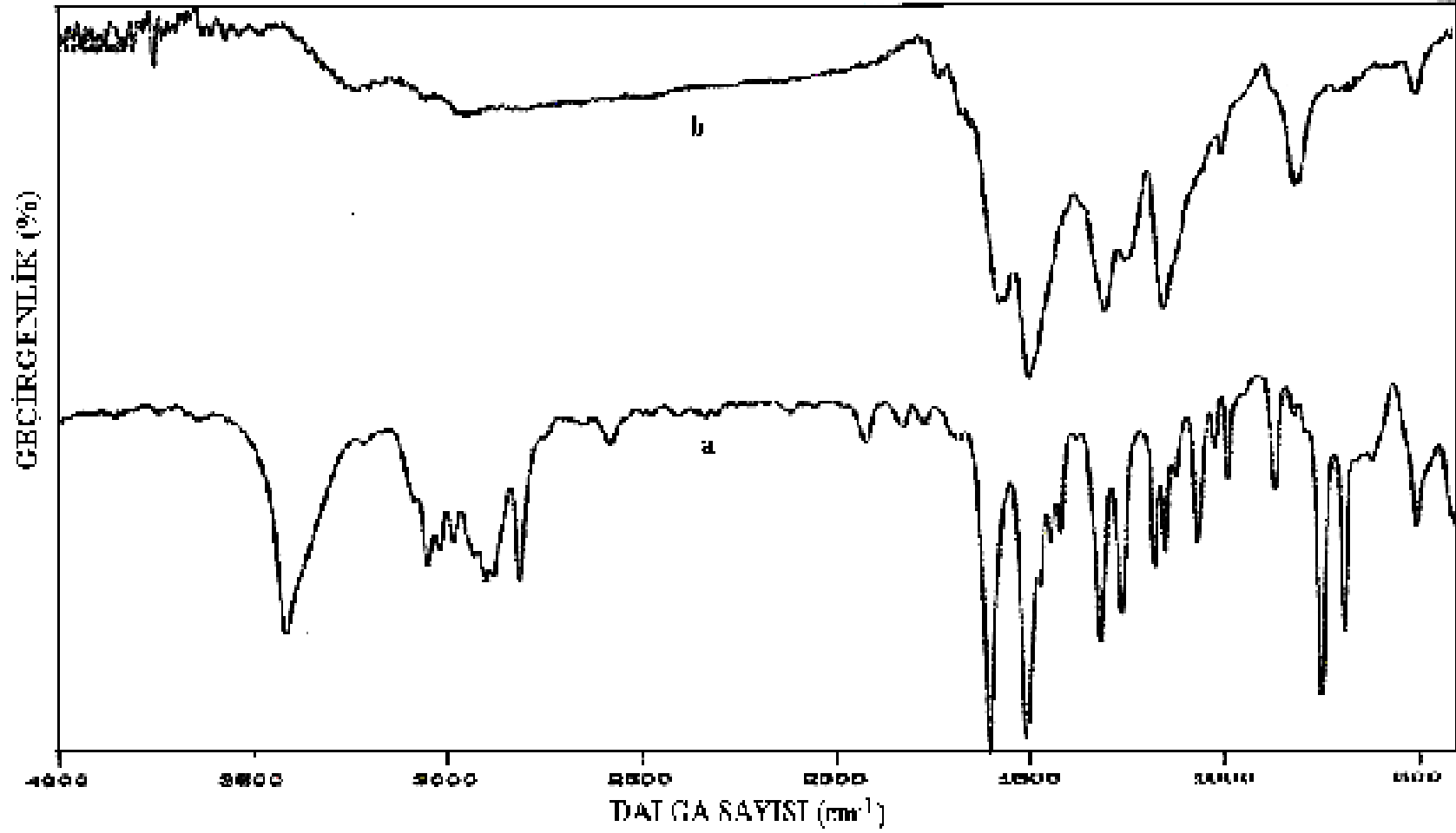
2-Etilanilin (Şekil 5.3.a) ve o-toluidinin (Şekil 5.4.a) FTIR spektrumlarında sırayla 3410  $\text{cm}^{-1}$  ve 3415  $\text{cm}^{-1}$  'de gözlenen ikili  $-\text{NH}_2$  bandı; P2EAn (Şekil 5.3.b) ve POT'de (Şekil 5.2.b) sırasıyla 3172  $\text{cm}^{-1}$  ve 3204  $\text{cm}^{-1}$  'de gözlenen singlet  $-\text{NH}$  bandına dönüşmektedir.

N-tilanilin (Şekil 5.2.a) ve N-metilanilin (Şekil 5.1.a) spektrumlarında sırayla 3403  $\text{cm}^{-1}$  ve 3416  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenen singlet  $-\text{NH}$  bandı PNMAAn (Şekil 5.1.b) ve PNEAn'de (Şekil 5.2.b) kaybolmaktadır.

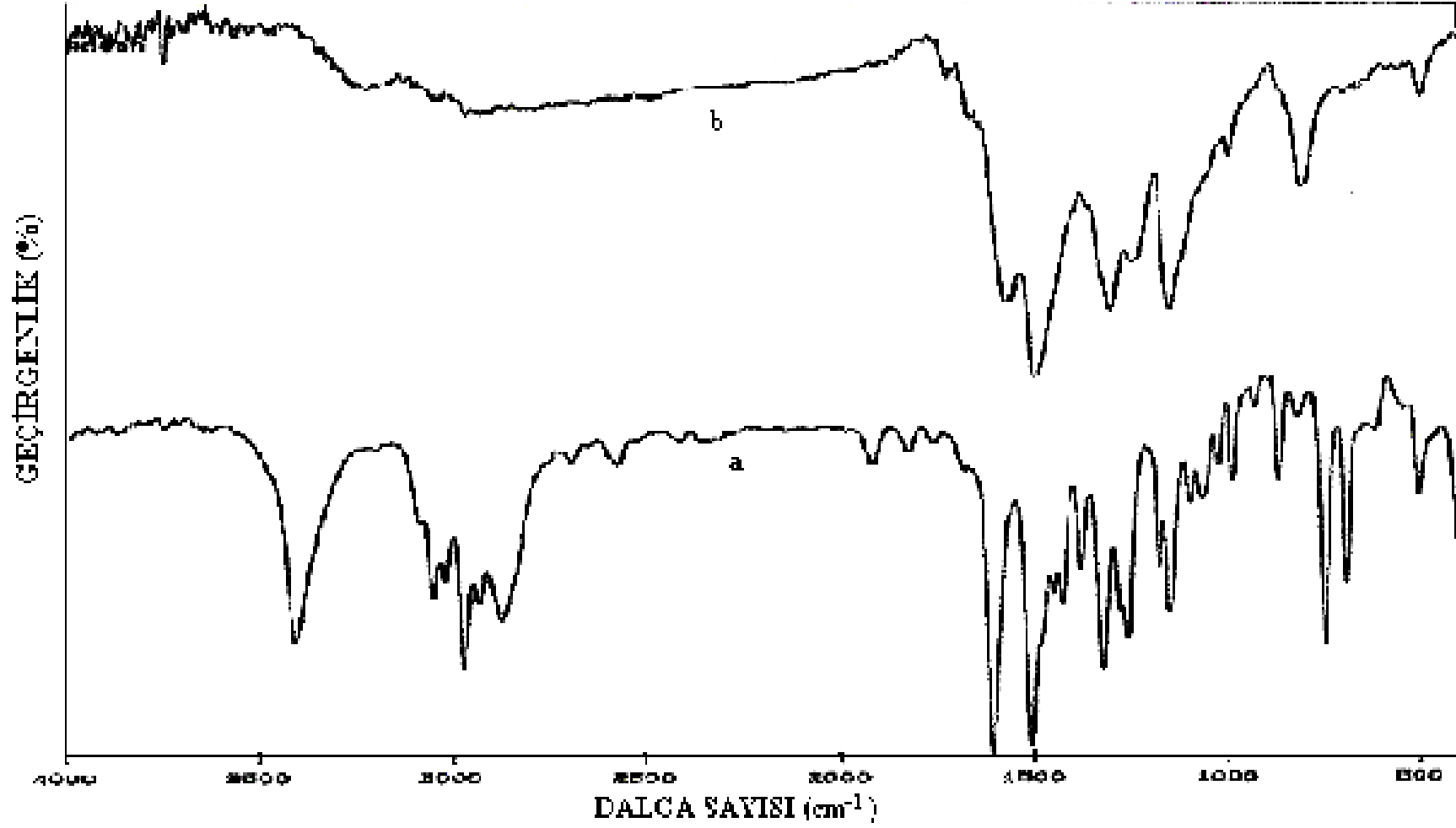
800-900  $\text{cm}^{-1}$  aralığında gözlenen pikler p-süstitüe aromatik halkaya ait olup polimerleşmenin baş kuyruk şeklinde büyüyen zincirlerden oluştuğunu göstermektedir [50]. Bu spektrumlarda gözlenen N-H bantları da göz önüne alınarak polimerleşmenin azot atomuna göre para konumda monomerik birimlerin birleşmeleriyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

### 5.2. Tanecik Boyutu Ölçümleri

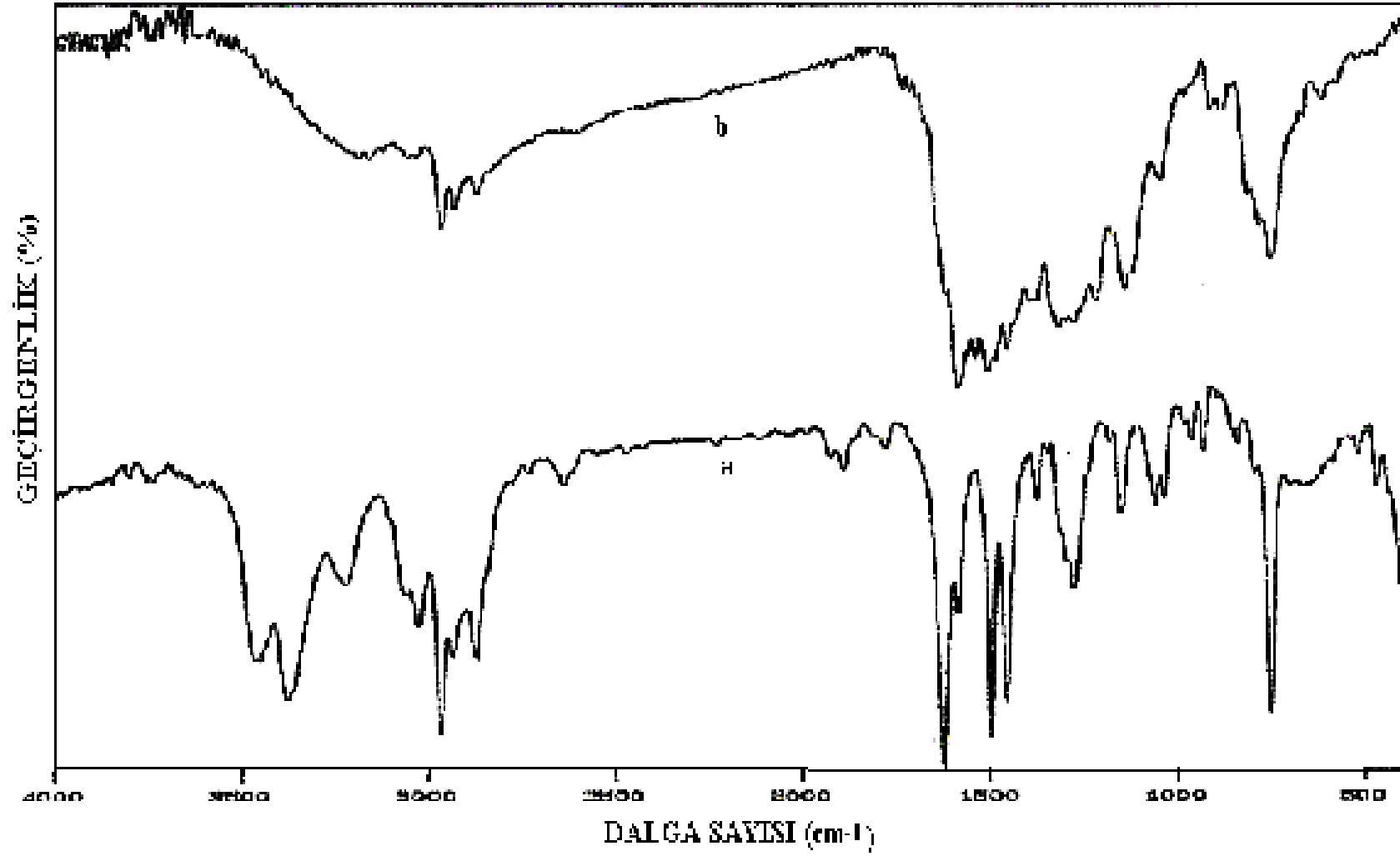
Elektroreolojik çalışmalarda tanecik büyüklüğü oldukça önemli bir faktördür. Elektroreolojik etkinin tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı, bu etkileşimler sonucunda taneciklerin zincir yapısı oluşturduğu bilinmektedir. Bu yapının yerçekimine karşı dayanıklı olabilmesi için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir.



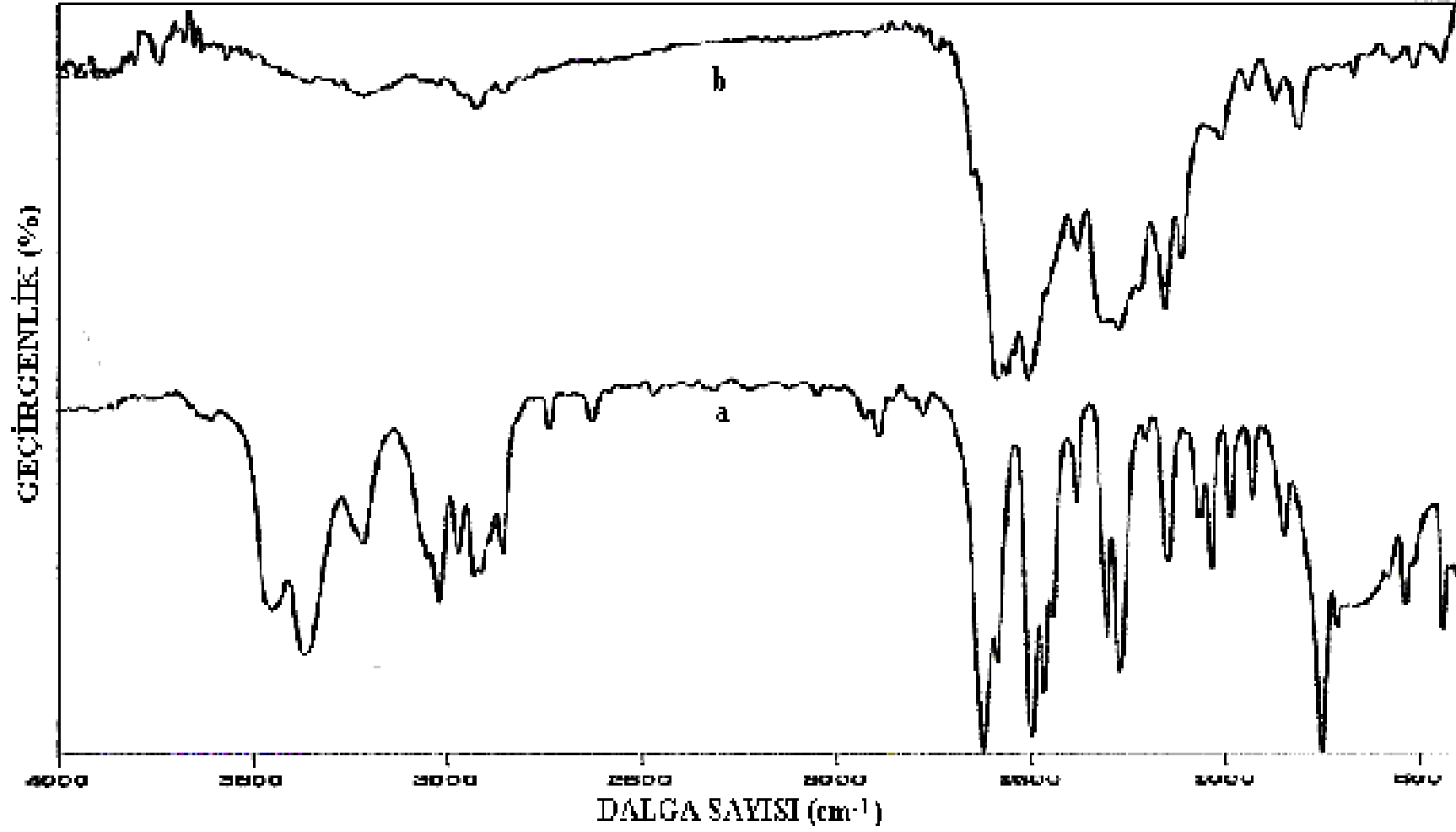
Şekil 5.1. a) N-metilanilin' in FTIR spektrumu b) PNMA'n' in FTIR spektrumu



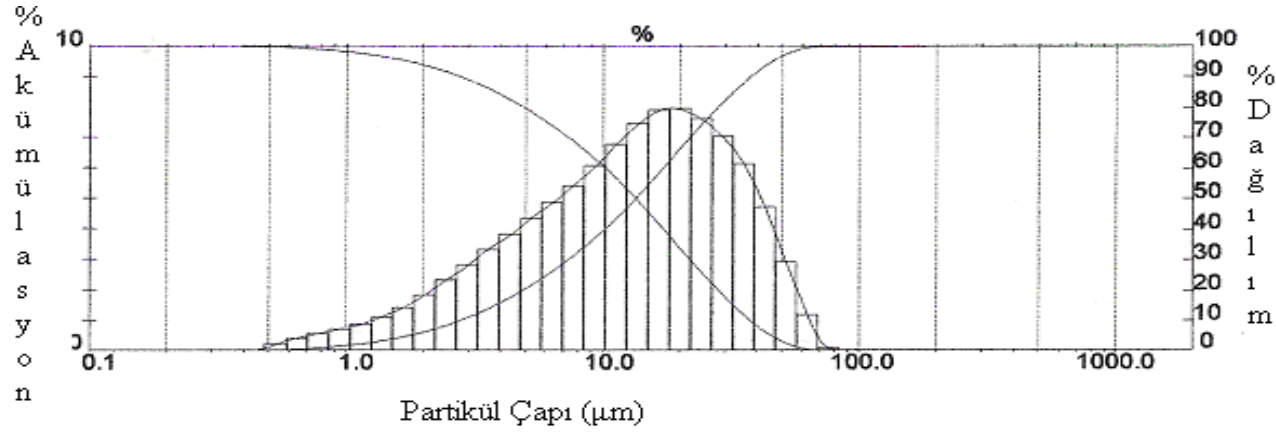
Şekil 5.2. a) N-etilanilin'in FTIR spektrumu b) PNEAn' in FTIR spektrumu



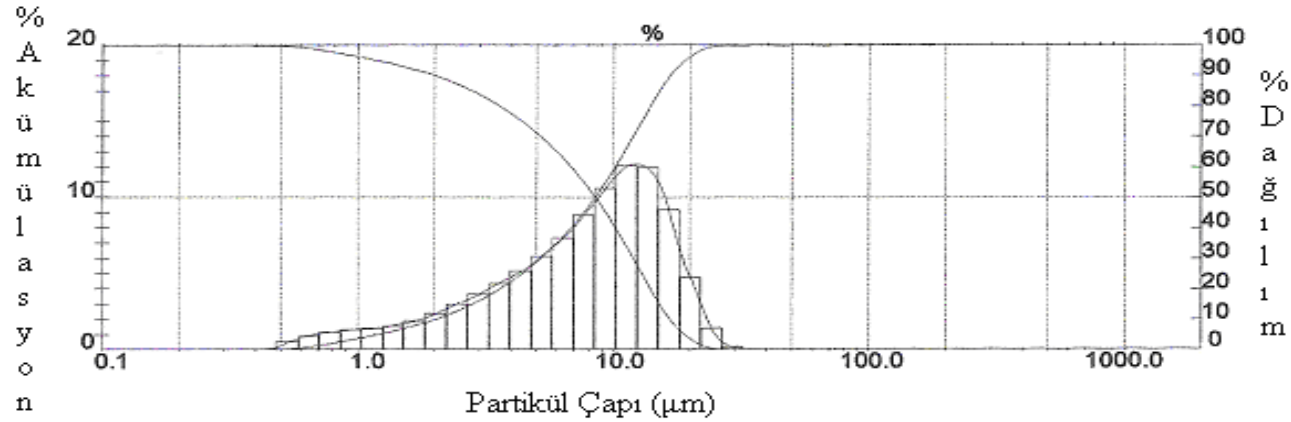
Şekil 5.3. a) 2-etilanilin'in FTIR spektrumu b) P2EAn' in FTIR spektrumu



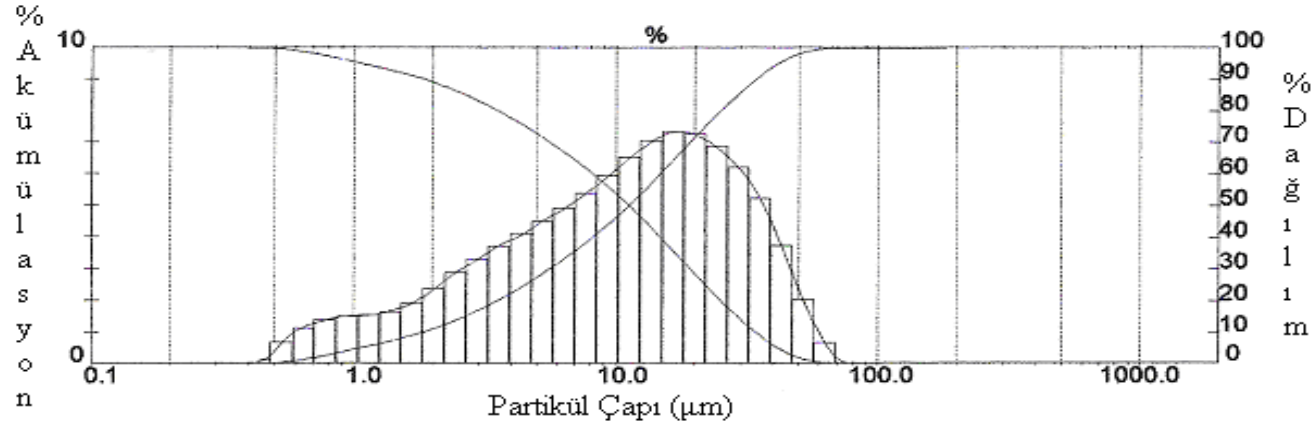
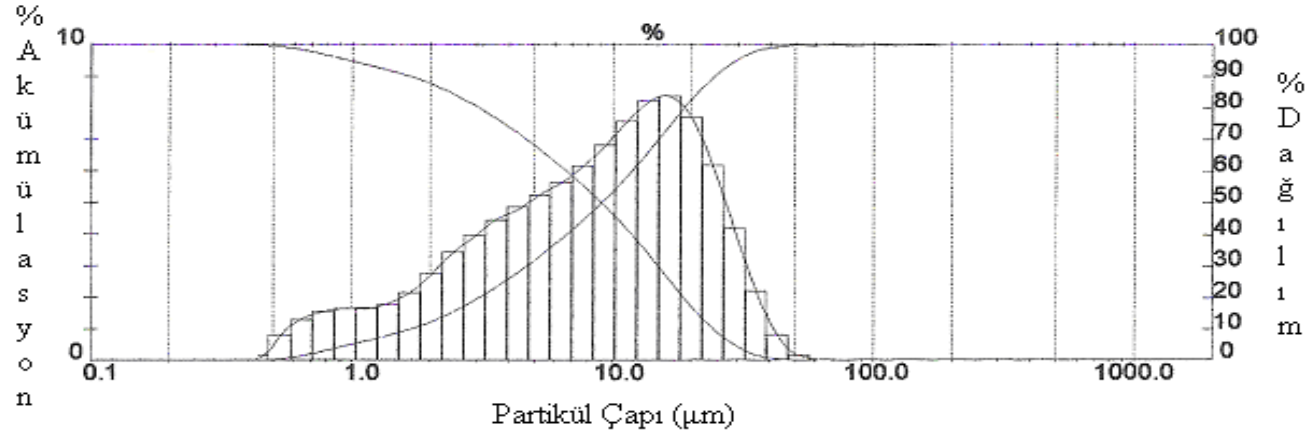
Şekil 5.4. a) o-toluidin'in FTIR spektrumu b) POT' in FTIR spektrumu



Şekil 5.5. POT'in tanecik büyüklüğü dağılımı diagramı (  $d_{(0,1)} = 2,80\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,5)} = 13,46\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,9)} = 37,68\mu\text{m}$  )



Şekil 5.6. P2EAn' in tanecik büyüklüğü dağılımı diagramı (  $d_{(0,1)} = 2,02\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,5)} = 8,51\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,9)} = 16,66\mu\text{m}$  )



Şekil 5.8. PNEA'nın tanecik büyüklüğü dağılımı diagramı (  $d_{(0,1)} = 1,85\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,5)} = 11,22\mu\text{m}$ ,  $d_{(0,9)} = 34,18\mu\text{m}$  )

Tanecik boyutunun küçültülmesi amacıyla üç boyutlu bir değirmende öğütülen polimerlerin tanecik büyüklükleri, dinamik ışık saçılımı spektrometresi ile ölçülerek, elde edilen veriler bilgisayara aktarıldı ve Fraunhofer saçılma teorisine göre değerlendirildi [51] Elde edilen istatistiksel grafikler, Şekil 5.5. – Şekil 5.8.’de verilmektedir. Bu verilere göre polimerlerin ortalama ( $d_{(0,5)}$ ) tanecik büyüklüklerinin 8,5  $\mu\text{m}$  ile 13,5  $\mu\text{m}$  arasında olduğu görülmüştür. Polimerlerin bütün karakterizasyon işlemleri ile elektroteolojik ölçümleri bu tanecik boyutlarında gerçekleştirilmiştir.

### 5.3. Çözünürlük Testi Sonuçları

Sentezlenen polimerlerin çözünürlük testleri farklı çözücüler kullanılarak oda sıcaklığında ve çözücülerin kaynama sıcaklığında yapıldı. Çözünürlük testlerinin sonuçları, Çizelge 5.1.’de verilmiştir. Çözünürlük testinde, 1 mL çözücü içerisinde 30 mg örnek çözülebiliyorsa, “çözünür” ifadesi kullanıldı [52].

Yapılan çalışmalarda, Polianilin’in çözünürlük özelliklerinin o-süstitüe [19,53,54] ve N-süstitüe [19,20,54,55] gruplarının eklenmesiyle arttığı görülmüştür. Bir çalışmada [19], üç ve daha fazla karbonlu süstitüe grup bulunduran polianilinlerin çözünürlüklerinin tetrahidrofur (THF), dimetilformamit (DMF), kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) gibi düşük kaynama noktasına sahip çözücülerde süstitüe gruba ait karbon sayısının artışıyla arttığı ancak; Dimetilsülfoksit (DMSO), N-metilpirolidon (NMP) gibi yüksek polariteli çözücülerde ise süstitüe gruba ait karbon sayısının artışıyla azaldığı görülmüştür. Süstitüe grup iki karbonlu ise, hem düşük kaynama noktasına sahip çözücülerde hem de yüksek polariteli çözücülerde düşük çözünürlük özellikleri göstermiştir [53]. N-alkillenmiş emeraldin bazında alkil grubunun varlığı polarlığı azaltmaktadır [54]. Bu durum; DMSO ve NMP gibi polar çözücülerde alkil grubuna bağlı olarak azalan çözünürlüğü açıklamaktadır. Ayrıca N-alkillenmiş yapıda amin hidrojeninin bulunmaması nedeniyle H-bağı oluşmamakta ve dolayısıyla polar çözücülerdeki çözünürlükleri az olmaktadır [20].

Çizelge 5.1. Çözünürlük testi sonuçları (+): Çözünür, (-): Çözünmez, ( $\delta$ ): Kısmen çözünür

ÖRNEK ÇÖZÜCÜ	POT		P2EAn		PNMAAn		PNEAn	
	25°C	KN	25°C	KN	25°C	KN	25°C	KN
SICAKLIK								
HCl	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+	+	+	+	+	+	+	+
Aseton	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
Dietileter	-	-	-	-	-	-	-	-
Metanol	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
Etanol	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
CHCl <sub>3</sub>	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
CDCl <sub>3</sub>	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
Asetonitril	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$
Dimetilformamit	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
Dimetilsülfoksit	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$	-	$\delta$

#### 5.4. Gouy Terazisi

Polimerlerin manyetik özelliklerini belirleyerek iletme mekanizmaları hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılan gram başına manyetik suseptibilite ölçüm sonuçları Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de, öğütülerek tanecik boyutları küçültülen polimerlerin, ölçülen etkin manyetik momentleri ( $\mu_e$ ) ve hesaplanan gram başına manyetik suseptibilite değerleri verilmiştir.

Tabloda bütün polimerlerin manyetik suseptibilite balanslarının pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum yapıda paramagnetizmanın olduğuna işaretler. Buradan da polimerlerin iletme mekanizmalarının polaronik yapıda olduğu anlaşılmaktadır [56].

Çizelge 5.2. Polimerlerin etkin manyetik moment ve gram başına manyetik suseptibilite değerleri  $\mu_e$ : Etkin manyetik moment, BM: Bohr magneton,  $X_g$ : Gram başına manyetik suseptibilite

Polimer	Etkin Manyetik Moment $\mu_e$ (BM)	Gram Başına Manyetik Suseptibilite $X_g$ (cm <sup>3</sup> /g)
POT	1627	0,0279
PNMA <sub>n</sub>	2430	0,0387
PNEA <sub>n</sub>	3510	0,0677
P2EA <sub>n</sub>	5000	0,0125

### 5.5. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri

Taneciklerin dielektrik özellikleri ER etki üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bir dış elektrik alan kuvveti altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli bir yeri vardır. Burada taneciklerin iletkenliği ve dielektrik özellikleri ER etkinin oluşumuna neden olur. Taneciklerin dielektrik sabiti ne kadar büyükse, sergiledikleri ER etki de o kadar kuvvetlidir [3].

Taneciklerin iletkenliklerinin ölçülmesi ve dielektrik sabitlerinin hesaplanması amacıyla kalınlıkları ve yüzey alanları belirlenmiş olan pelletler kullanıldı. HP 4192 A 6F Impedance Analyzer cihazında okunan iletkenlik değerleri kaydedildi. Aynı anda okunan kapasitans değerleri ile Eşitlik 4.1 yardımıyla dielektrik sabitleri hesaplandı. Karşılaştırma amacı ile iletkenlik değerleri dört nokta tekniği kullanılarak tekrar ölçüldü. Örneklere ait iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri Çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelgede görüldüğü gibi, her iki yöntemle de en yüksek iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri POT' e, en düşük iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri ise P2EA<sub>n</sub>' e aittir. Dielektrik sabiti değerleri ile iletkenlik değerleri arasında doğru orantı olduğu göze çarpmaktadır. Elektoreolojik süspansiyonların hazırlanmasında kullanılan katı

tanecikler için dielektrik sabitinin  $2-1 \times 10^4$  arasında olması gerektiği belirtilmiştir [57]. Polimerlere ait dielektrik sabiti değerleri literatürde verilen aralıkta bulunmaktadır.

Çizelge 5.3. Polimerlerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri

	Yöntem	POT	PNEAn	PNMAn	P2EAn
İletkenlik (S/cm)	Dört Nokta Tekniği	$5,2 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$
İletkenlik (S/cm)	Impedance Analyzer	$6,8 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-5}$
Dielektrik Sabiti	Impedance Analyzer	318	107	86	74

### 5.6. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi

Elektroreolojik akışkanlarda aranan en önemli özelliklerden birisi, çökme kararlılığıdır. ER akışkanların uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökme göstermemeleri ve tortu bırakmamaları istenir. ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alanı uygulandığında, bu etkileşimler sonucu tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının çökelmeye karşı kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilir. Literatürde ER aktivite gösteren maddelerin tanecik büyüklüklerinin  $0.1 \mu\text{m}$  ile  $100 \mu\text{m}$  arasında olması gerektiği belirtilmiştir [58].

Polianilin türevlerinden çeşitli derişimlerde (%5, %10, %15, %20, %25) silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların kolloidal kararlılıkları  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'da tespit edilmiş, her bir polimer ve derişim için ilk tanecik çökmesinin başladığı süre 3 gün olarak gözlenmiştir. Farklı PAn türevlerine ait çökme kararlılıkları arasında fark olmadığı ancak, ilk çökme başladıktan sonra kolloidal kararlılık ölçümlerine devam edildiğinde kütlece derişimi fazla olan süspansiyonların daha hızlı, düşük olanların ise daha yavaş çöktükleri gözlenmiştir.

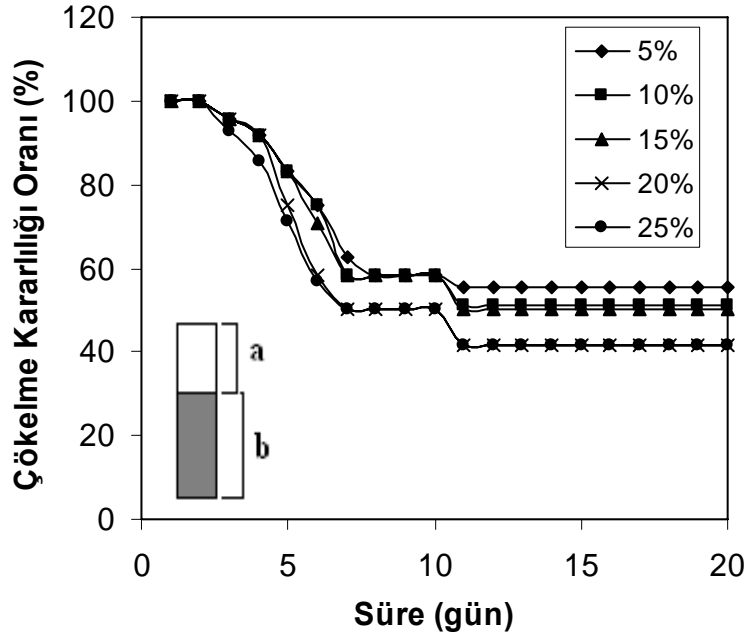
Şekil 5.9 incelendiğinde ilk çökelmenin deneyin üçüncü gününde başladığı ve altıncı gününe kadar hızlı gerçekleştiği, onuncu günden sonra denge durumuna ulaştığı görülmektedir. Çökelme kararlılığının %40'lık oranın altına düşmemesi, endüstriyel uygulamalar açısından olumlu bir sonuçtur.

Ünal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çeşitli çalışmalarda da, farklı yalıtkan yağlarla hazırlanan Poli(Li-tert- butil metakrilat) (PTBMA-Li) [59] ve Poli(Li-2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit) (PAMPS) [60] süspansiyonlarının koloidal kararlılıkları incelenmiştir. Çeşitli derişimlerdeki süspansiyonların silikon yağı (SO), mineral yağı (MO), trioktiltrimellilat (TOTM) ve dioktilftalat (DOP) içerisindeki çökelme sürelerine bakılmıştır. Bu çalışmalarda da kütlece yüzde derişimin artışı ile çökelme sürelerindeki azalma göze çarpmaktadır. Ayrıca çökelme kararlılığı yalıtkan yağın çeşidine göre de farklılık göstermektedir. PTBMA-Li ile yapılan çalışmada kütlece %25 lik derişimde, silikon yağı içinde 15 gün sonra çökme gözlenirken, DOP içerisinde bu süre 7 dakika gibi kısa bir zamanda gerçekleşmektedir. Kütlece %25 derişimdeki PAMPS süspansiyonunun silikon yağı içindeki çökelme süresi 29 günken, DOP içerisinde bu süre 2 güne düşmektedir.

Şekil 5.9'da çökelme oranı hesaplanırken Eşitlik 5.1 kullanılmıştır.

$$\text{Çökelme Oranı} = \frac{b}{(a + b)} \times 100 \quad (5.1)$$

a: Silikon yağı yüksekliği      b: ER akışkan yüksekliği

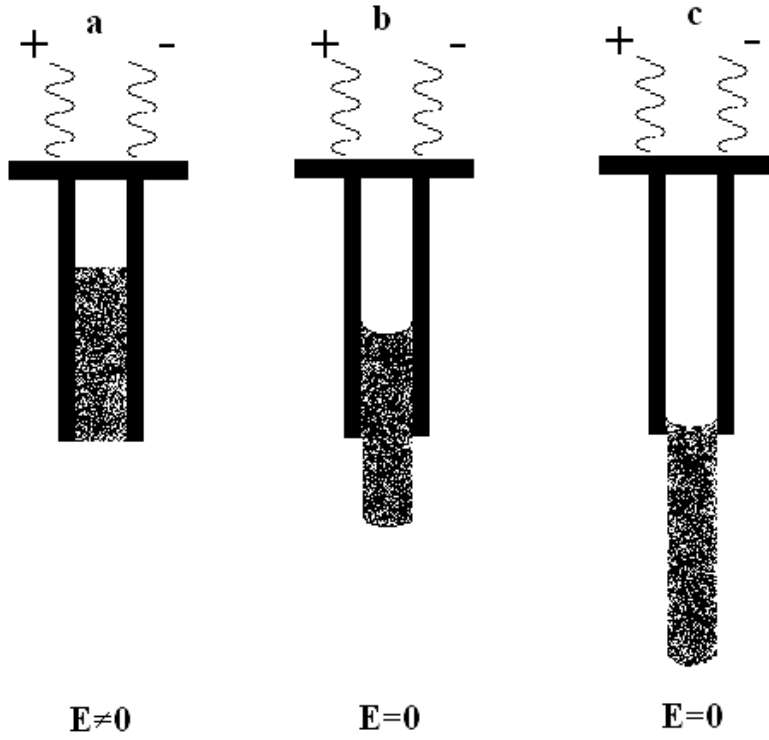


Şekil 5.9. P2EAn'e ait 5 farklı derişimdeki yüzde çökme süreleri T=20°C a: Silikon yağı b: ER akışkan

### 5.7. Paralel Plaka Elektrotlar İle Yapılan Elektroeoloji Çalışmaları

Elektroeolojik akışkanlar elektrik alan uygulandığında katımsı, kaldırıldığında ise sıvı fiziksel hal gösterebilen ve bu dönüşümü milisaniye gibi çok kısa bir sürede tekrarlanabilir olarak gerçekleştirebilen malzemelerdir.

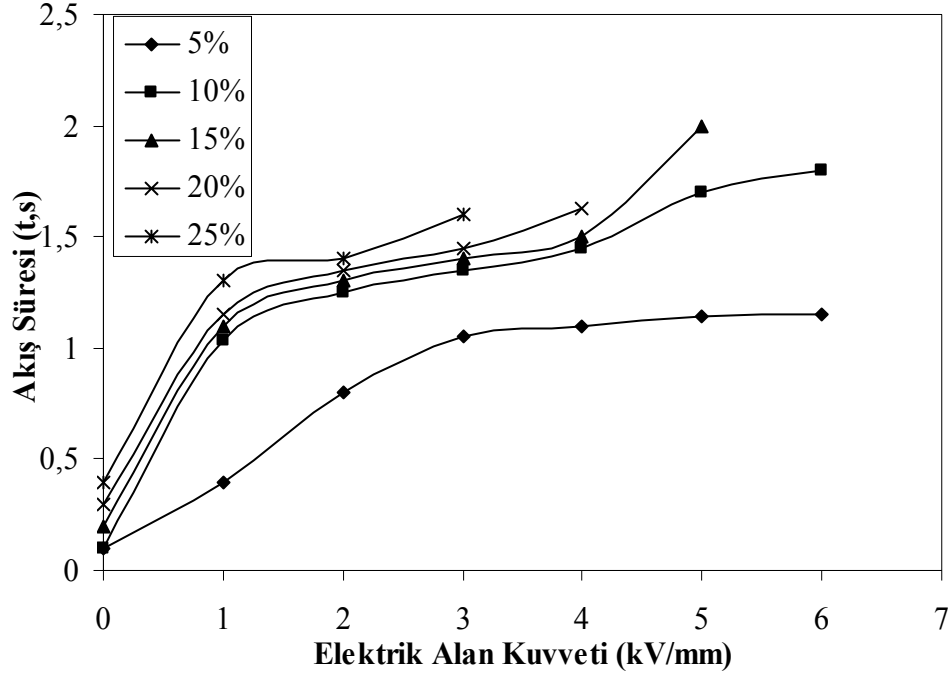
Paralel plaka elektrotlar (Şekil 5.10) kullanarak elektrik alanın süspansiyonlar üzerine etkisini incelemek amacıyla, her bir polimerden 5 farklı derişimde (%5, %10, %15, %20, %25) süspansiyonlar hazırlandı. Elektrot kalınlığı 1 cm, elektrotlar arası mesafe 0,5 cm olan pirinç plakalar arasına, 0-6 kV/mm elektrik alan uygulanarak, süspansiyonların elektrik alana duyarlılığı ölçüldü. Yapılan çalışmalarda, düşük elektrik alan uygulandığında süspansiyonların plakalar arasından çok küçük zaman aralığında aktığı, elektrik alan kuvveti artırıldığında bu sürenin 1,5 – 2 saniye gibi bir değere ulaştığı, ancak daha da fazla elektrik alan uygulandığında elektrotlar arasındaki akışın tamamen durduğu gözlenmiştir. Paralel plakalar arasında bir kez köprü oluşumu gerçekleştikten sonra saatlerce beklenmesine rağmen hiçbir akış



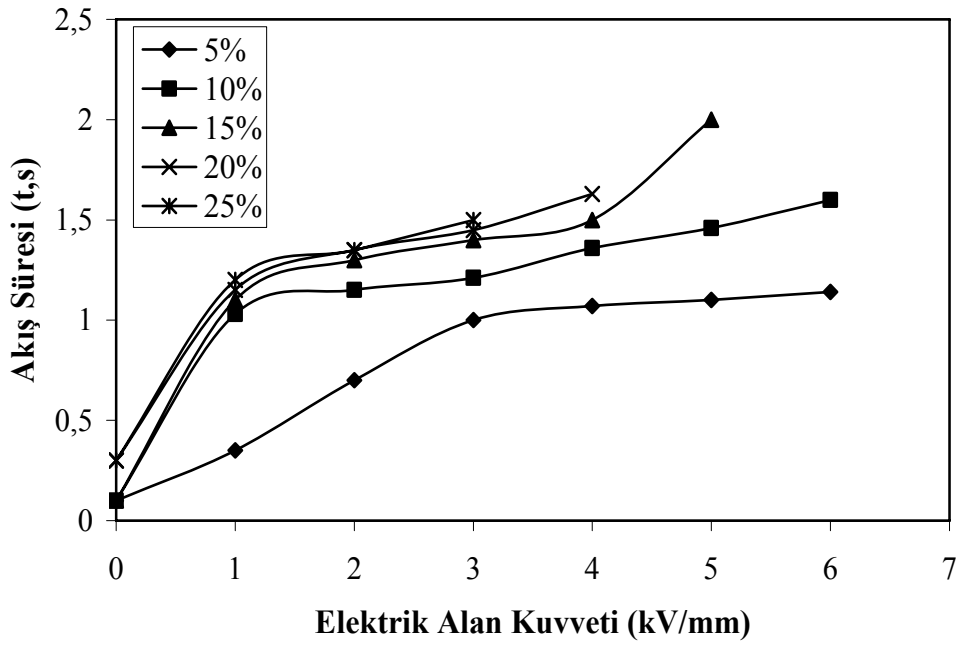
Şekil 5.10. Paralel plaka elektrotlar arasında ER akışkanının durumu a: Elektrik alan uygulandığında b ve c: Elektrik alan kaldırıldığında

gerçekleşmemiştir. Akış ölçümlerinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.11 – Şekil 5.14’de görülmektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi farklı polianilin türevlerinin akış süreleri arasında belirgin bir fark gözlenmemekte ancak kütlece yüzde derişim arttıkça süspansiyonların akış süreleri artmaktadır. Bu durum, polimerlerin koloidal kararlılık süreleri ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca beklenildiği gibi, süspansiyonların derişimi arttıkça asılı taneciklerin elektrik alan etkisi ile polarize olmaları daha düşük elektrik alan kuvvetlerine kaymaktadır. Grafiklerde, %25’lik süspansiyonda akış 3 kV/mm’de kesilirken, aynı durumun %20’lik süspansiyonda 4 kV/mm’de, %15’likte ise 5 kV/mm’de gerçekleştiği görülmektedir. Derişimin artmasıyla tanecikler arası elektrik alan indüklenmiş polarizasyon kuvvetlerinin baskın hale geldiğini söyleyebiliriz. Bir çalışmada [61], metil metakrilat ve stiren blok kopolimeri ile hazırlanan süspansiyonların paralel plakalar arasında akış süreleri ölçülmüş, akış sürelerinin 1,5 kV/mm elektrik alana kadar çok küçük artışlar gösterdiği, ancak bu değerden sonra bütün derişimler için keskin bir artış sergilediği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, en düşük akış süresinin kütlece %5’lik en yüksek

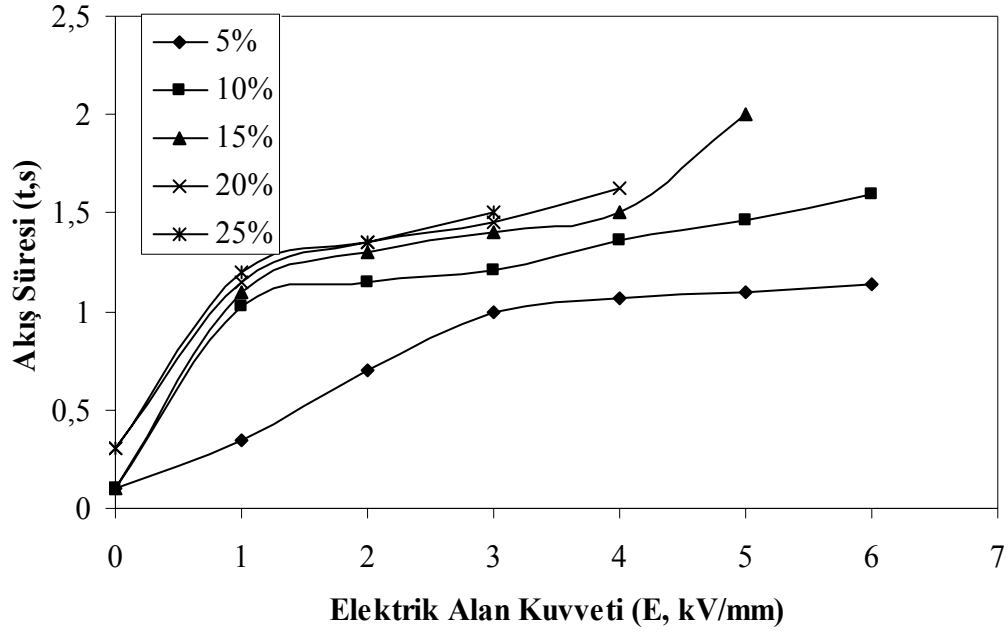
akış süresinin ise kütlece %25'lik süspansiyonlarda gözleendiği söylenmiştir.



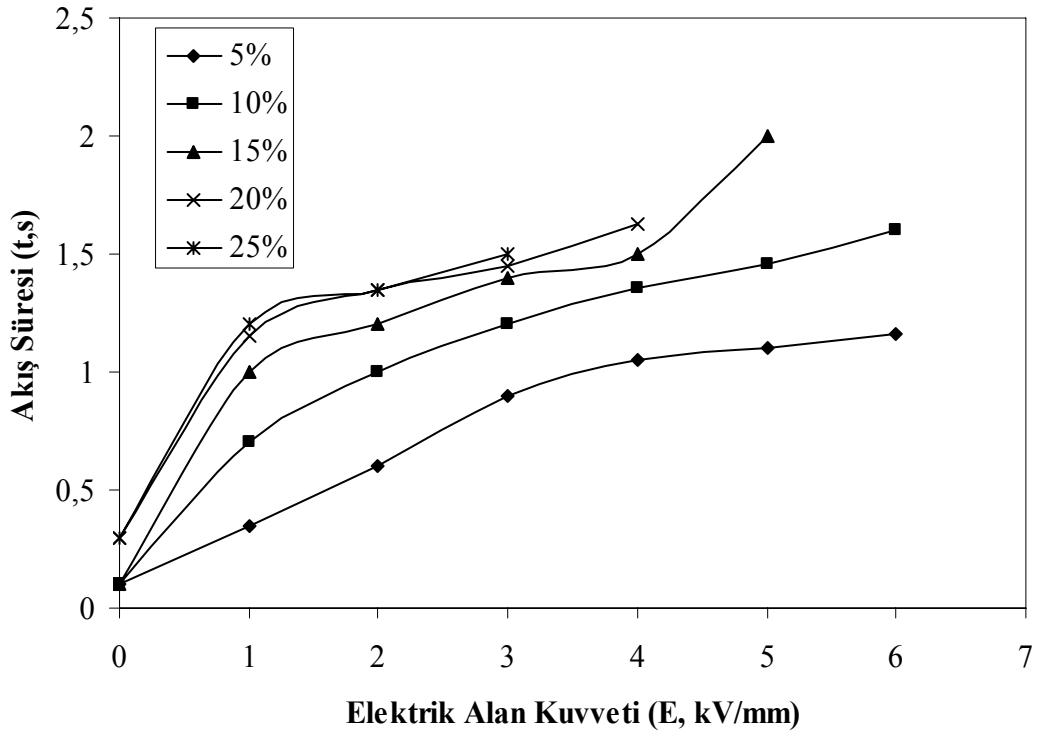
Şekil 5.11. POT/Silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi



Şekil 5.12. P2EAn/Silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi



Şekil 5.13. PNMA/Silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi



Şekil 5.14. PNEA/Silikon yağı süspansiyonu akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi

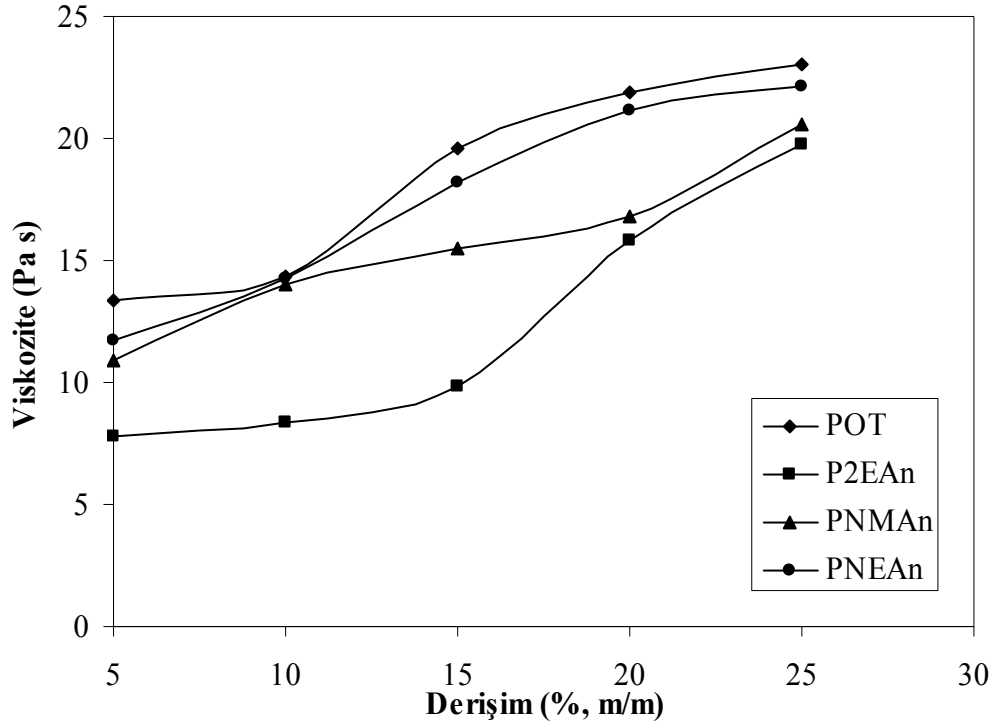
## 5.8. Elektroeometre ile Yapılan Elektroeolojik Ölçümler

### 5.8.1. Derişimin ER aktivite üzerine etkisi

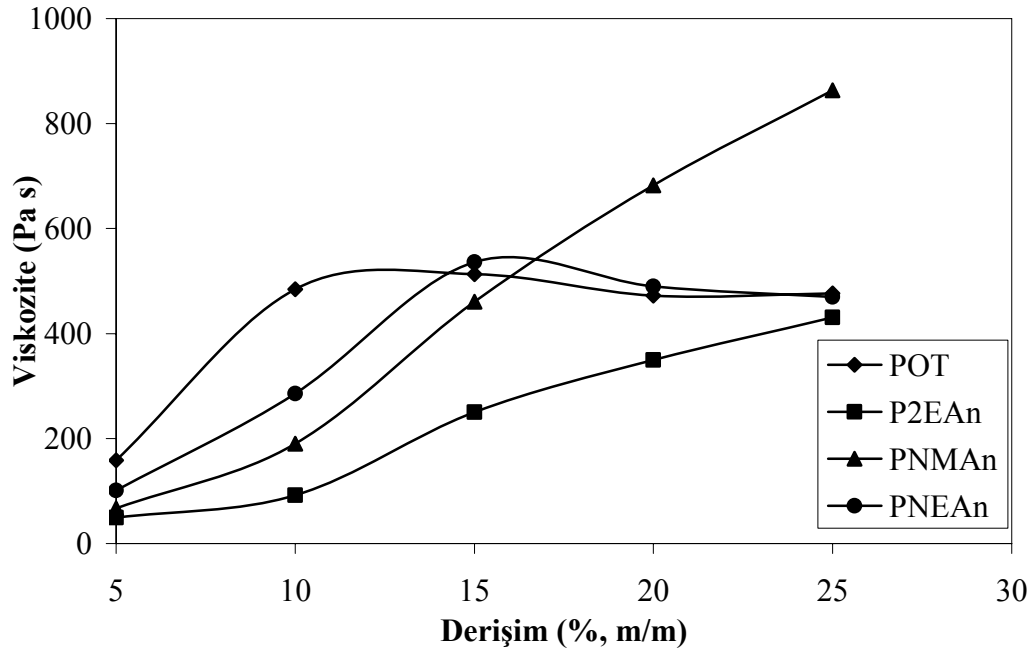
Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da POT, P2EAn, PNMAAn ve PNEAn polimerlerinin silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonlarıyla elektrik alan uygulanmadan ve elektrik alan uygulandığında ( $E = 2 \text{ kV/mm}$ ); sabit kayma hızı ( $\dot{\gamma} = 1.0 \text{ s}^{-1}$ ) ve sabit sıcaklıkta ( $T = 25^\circ\text{C}$ ) ölçülen viskozite derişim grafiği görölmektedir. Şekil 5.15'de elektrik alan kuvveti sıfırken, derişimdeki artışa paralel olarak süspansiyonların viskozite değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Polimerlere ait, viskozite değerlerine bakıldığında iletkenlik değeri en yüksek olan POT'in en yüksek; iletkenlik değeri en düşük olan P2EAn'in ise en düşük viskozite değerine sahip olduğu gözlenmektedir. Diğer polimerlerin de viskoziteleri, iletkenlik değerleriyle orantılıdır. Viskozitenin, derişime ve iletkenlik değerlerine bağlı olarak gösterdiği benzer artış Şekil 5.16'da da dikkat çekmektedir. Ancak burada göze çarpan bir nokta, POT'de %10'luk ve PNEAn de ise %20'lik derişimden sonra viskozite değerinin kaydedilememiş olmasıdır. Bu durumun yüksek iletkenliğe sahip olan iki polimerde gözlenmiş olması dikkat çekmektedir. Yüksek iletkenliğe sahip polimerlerle oluşturulan süspansiyonlarda belli bir derişim ve elektrik alan kuvveti değerine ulaşıldığında plakalar arasında kısa devre oluşmakta ve sağlıklı ölçüm alınamamaktadır [46]. Bir çalışmada [62], çeşitli seviyelerde doping edilmiş poli(p-fenilen)'in elektroeolojik özellikleri incelenmiş, düşük doping seviyelerinde, elektrik alan kuvveti ile artan ER etki gözlenirken, yüksek doping seviyelerinde iletkenliğin artışına paralel olarak ER etki gözlenememiştir. Bu durum, yüksek iletkenlik değerlerine sahip olan malzemelerde uygulanan elektrik alan kuvveti ile akım yoğunluğunun artmasına bağlanmıştır. Bu açıklamadan yola çıkarak Şekil 5.16'da PNEAn' e ait eğrinin kütlece %15 derişimden sonra azalma göstermesi, akım yoğunluğundaki artışa bağlanmaktadır.

ER davranış gösteren tanecikler polar olmayan sıvılar içerisinde koloidal olarak dağılmış halde, %5-50 hacim fraksiyonlarında bulunabilirler. Süspansiyonların

derişimi arttıkça iyon transfer kapasiteleri de artış göstermektedir [63].



Şekil. 5.15. Elektrik alan viskozitesinin derişim ile değişimi.  $E = 0$  kV/mm,  $\dot{\gamma} = 1$  s<sup>-1</sup>,  $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 5.16. Kayma viskozitesinin derişim ile değişimi.  $E=2,0$  kV/mm,  $\dot{\gamma} = 1$  s<sup>-1</sup>,  $T=25^\circ\text{C}$

Viskozitenin derişimle yükselme eğilimi parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Elektrik alan ile polarizasyon kuvvetleri arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir [64]:

$$F = \frac{\epsilon_2 r^6 E^2}{\rho^4} \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte:

$F$  = Polarizasyon kuvveti

$\epsilon_2$  = Taneciklerin dielektrik sabiti

$r$  = Tanecik yarıçapı

$E$  = Elektrik alan

$\rho$  = Tanecikler arası mesafe

Bu eşitliğe göre parçacıklar arası mesafenin azalması ile parçacıklar arası polarizasyon kuvvetleri artmakta buna bağlı olarak da viskozitede artış görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda elektrik alanda tanecikler arası etkileşimin artması sonucu, tanecik hacim kesri ile lineer [65] veya parabolik [66] olarak sürekli artan bir kayma gerilimi yada viskozite eğrisi rapor edilmiştir.

### 5.8.2. Kayma gerilimi üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi

Elektroreoloji olayı, akışkanların viskozitelerindeki artışa dayanır. Yalıtkan bir sıvı ortamında elektroreolojik malzemenin dağılmasıyla oluşturulan süspansiyonların, bir elektrik alan uygulandığı müddetçe viskozitesi artar. Elektrik alan kaldırıldığında ER akışkanlar çoğunlukla Newtonian nadiren de Pseudoplastik davranış sergilerler. Süspansiyonların viskozitesindeki değişimin genel olarak; taneciklerin kutuplaşması sonucunda süspansiyonun mikro yapısında meydana gelen tanecik zincirlerinden

kaynaklandığı varsayılır. Elektrik alan varlığında ve yokluğunda meydana gelen bu viskozite değişimi geri dönüşümlüdür. Elektrik alan uygulamasından sonra tanecik zincirleri ya da kolonları elektrotlar arasındaki boşlukta milisaniyeden daha hızlı bir sürede oluşur, ve böylece viskozite ve kayma gerilimi (ER aktivite) yükselir. Bir kayma kuvveti uygulandığında zincirler kayma kuvvetleri tarafından yok edilir ve viskozite düşer. Çok yüksek kayma hızı değerlerinde ise elektrik alan kuvvetinin yokluğundaki viskozite değerleri gözlenir [34].

Şekil 5.17 – Şekil 5.20’deki grafiklere bakıldığında süspansiyonların kayma gerilimi değerlerinin uygulanan elektrik alan kuvveti artışı ve kütlece % derişimin artışıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca 2 kV/mm elektrik alanda kütlece %25 derişimde kayma gerilimleri gözlemlenebilen PNMA<sub>n</sub> ve P2EA<sub>n</sub>’in sırasıyla  $\tau = 168,4$  Pa ve  $\tau = 102,7$  Pa değerlerine ulaştığı, bu durumun iletkenliklerindeki artışa paralel olduğu göze çarpmaktadır.

ER etki, 1947 yılında Winslow tarafından keşfedildiğinden beri çeşitli ER akışkanların davranışları pek çok bilim adamı tarafından incelenmektedir. Bütün bu araştırmalarda varılan ortak nokta, uygulanan elektrik alan kuvveti ile tanecikler arasında oluşan kuvvetli etkileşim sonucu meydana gelen tanecik zincirleridir. Elektrik alan uygulanmasıyla ortaya çıkan dipol etkileşimler, elektrik alanın artırılmasıyla daha da kuvvet kazanmaktadır. Yapılan çalışmalarda [67,68], kayma gerilimi değerinin, elektrik alan kuvvetinin karesi ile lineer olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Bu durum Eşitlik 5.3 ile gösterilebilir.

$$\tau_E = \varphi K_f E^2 \beta^2 \quad (5.3)$$

Eşitlikte kullanılan;

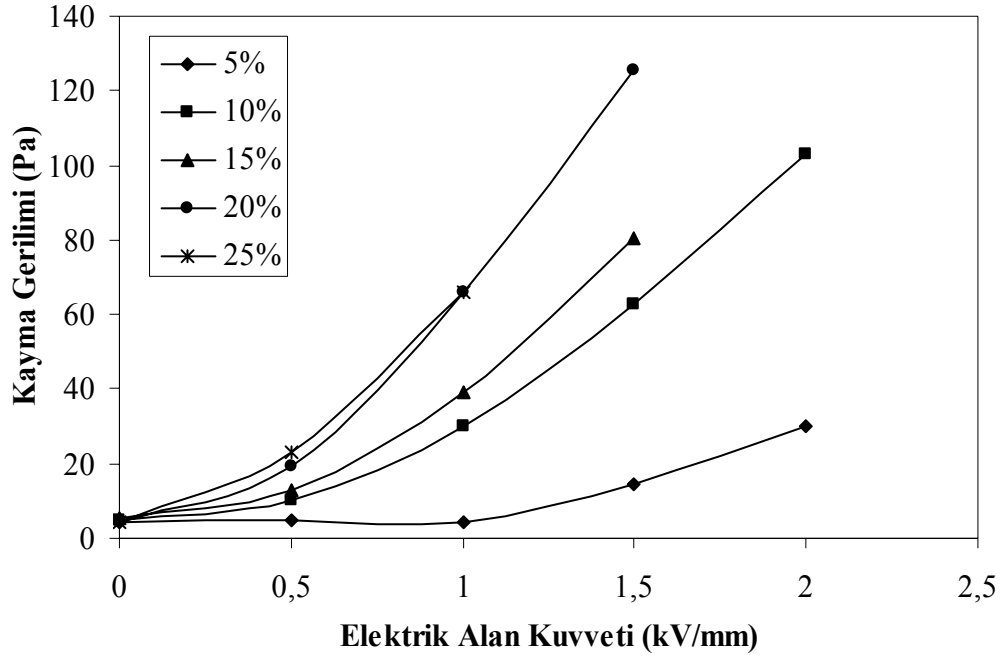
$\tau_E$  = Kayma gerilimi

$E$  = Elektrik alan

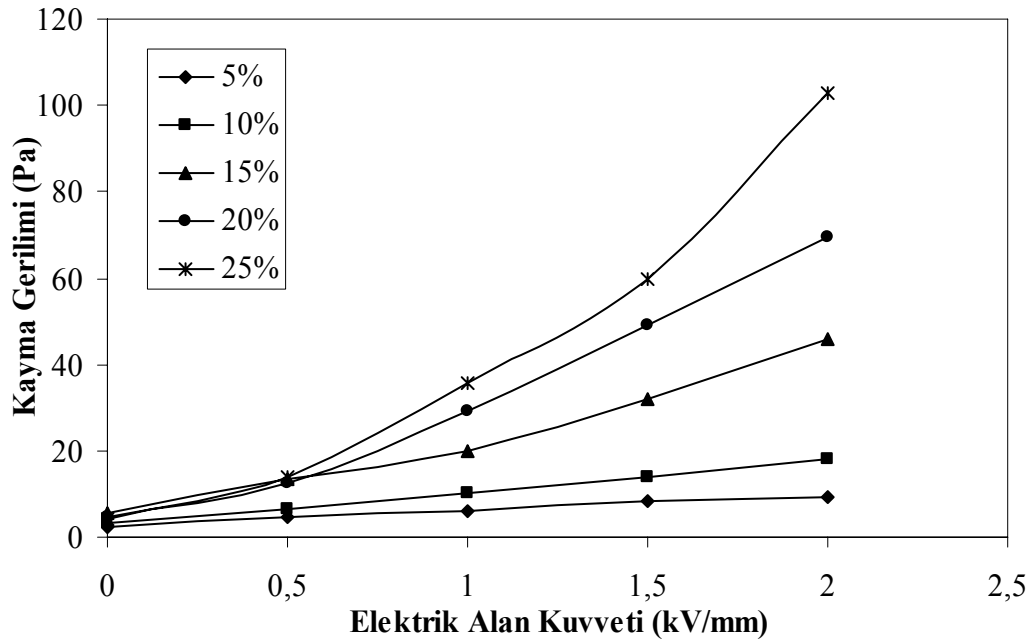
$\varphi$  = Tanecik hacim kesri

$\beta$  = Bağlı polarlanabilirlik

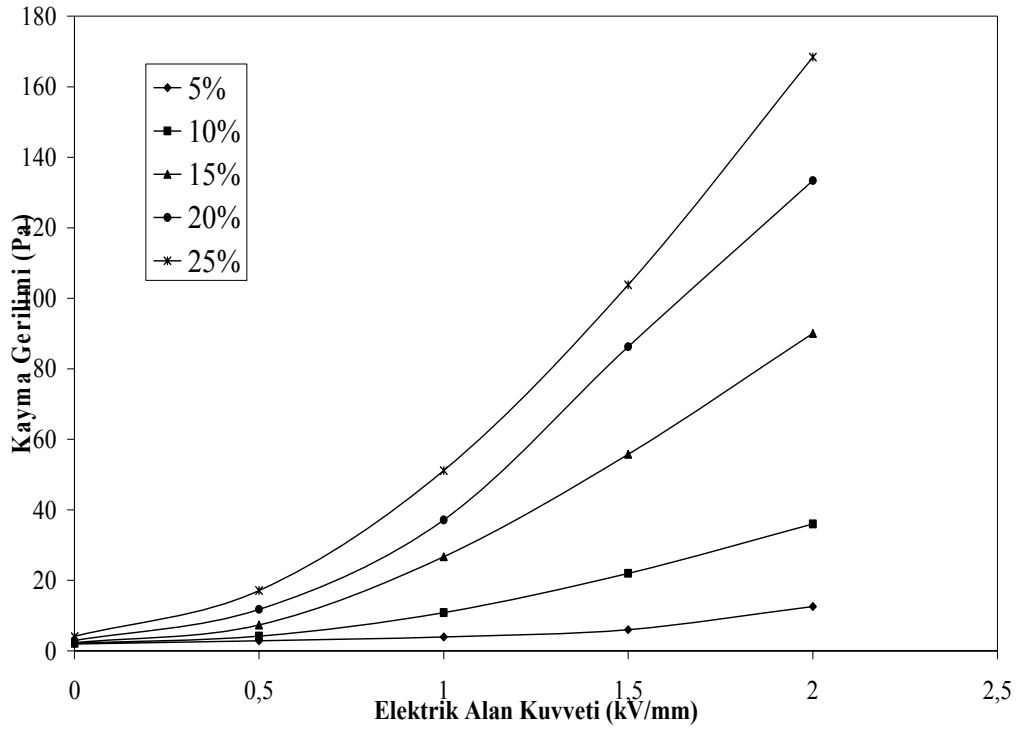
$K_f$  = Akışkanın dielektrik geçirgenliği



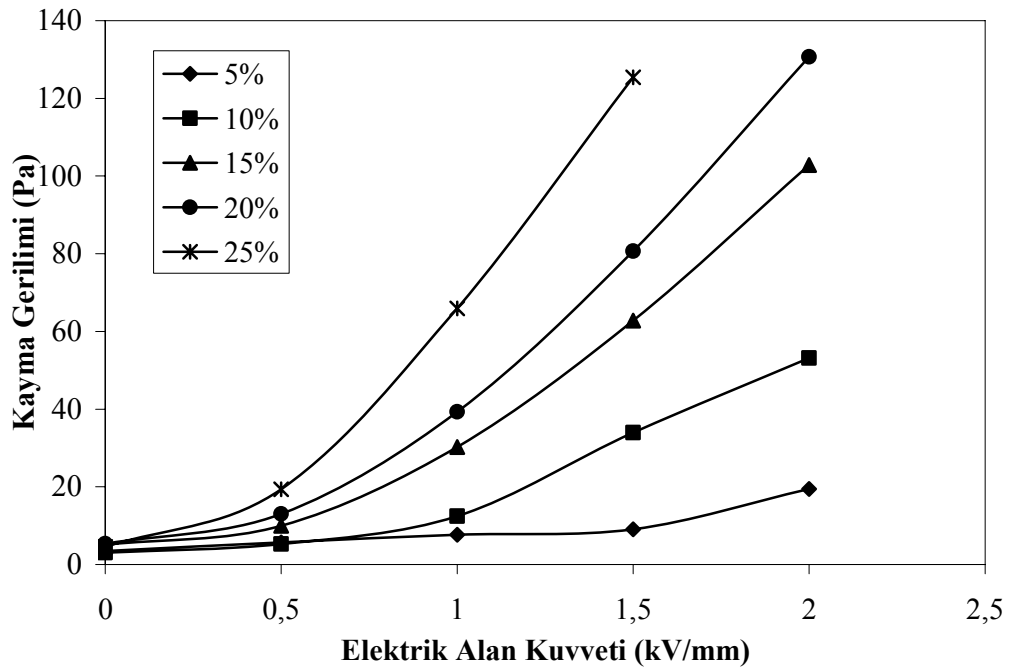
Şekil 5.17. POT/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T = 25^\circ$



Şekil 5.18. P2EAn/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$



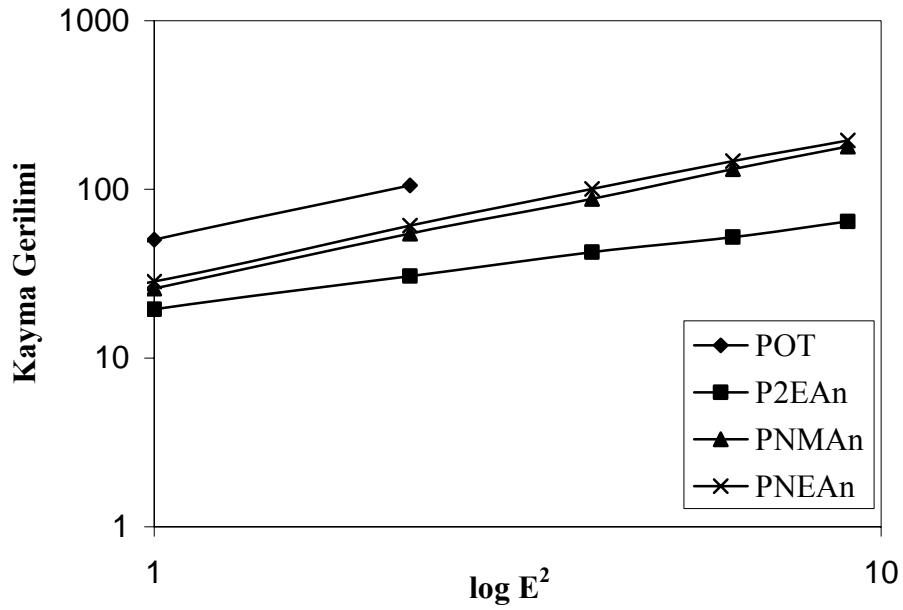
Şekil 5.19. PNMA/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 5.20. PNEA/Silikon yağı sisteminde kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$

Daha önce verilen, elektrik alan viskozitesinin derişimle değişim grafiğinde de gözlendiği gibi iletkenlik değeri en büyük olan POT'de ve onu takip eden PNEAn'de elektrik alan kuvvetinin belli bir değere ulaşmasıyla plakalar arasında kısa devre oluştuğundan kayma gerilim değerleri okunamamaktadır. Ancak grafiklere genel olarak bakıldığında, iletkenlik değeri büyük olan polimerin kayma gerilimi değerinin de büyük olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 5.21'de, POT, P2EAn, PNEAn ve PNMAAn'in %15 derişimdeki örneklerinin 25°C sıcaklık ve 0,2 s<sup>-1</sup> kayma hızı değerinde, elektrik alana karşı kayma gerilimi grafiği görülmektedir. Grafikte elektrik alan kuvvetinin karesi ile kayma gerilimi değerlerinin lineer bir değişim gösterdiği göze çarpmaktadır.



Şekil 5.21. Elektrik alanın karesi ile kayma gerilimi değişimi grafiği c: %15  
 $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$ , T=25°C

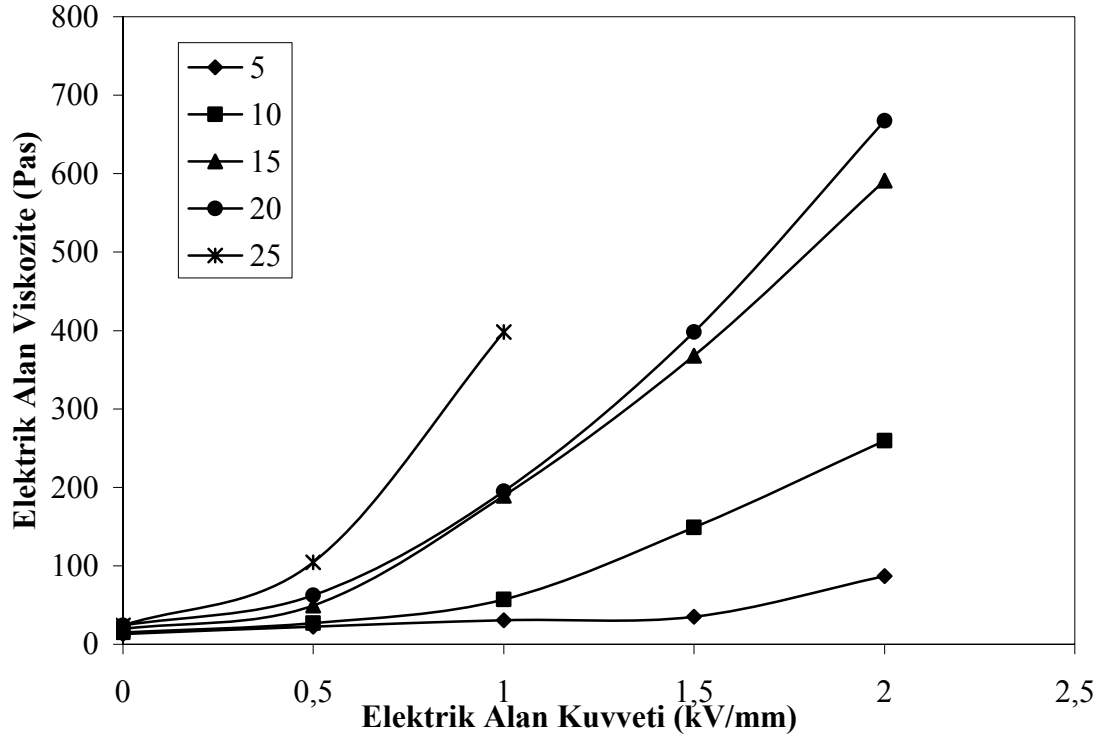
### 5.8.3. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi

ER akışkan bir yüksek elektrik alan kuvveti altında oluşur ve tanecikler kendi arasında polarlanarak elektrostatik kuvvetler etkin hale gelir. Bununla beraber ER akışkanda diğer kuvvetler de oluşmaya başlar. Örneğin viskoz hareketli fazdaki

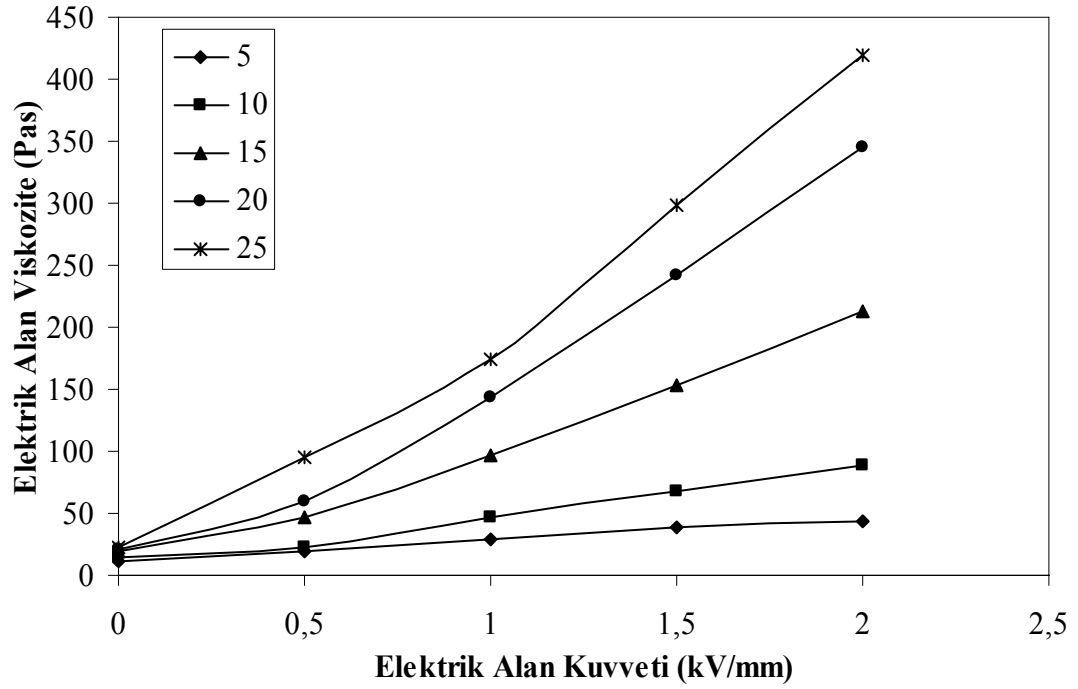
taneciklerin hidrodinamik kuvvetleri, süspansiyonda termal hareketliliği sağlayan Brown hareketleri, kısa süreli oluşan Born itme kuvvetleri ya da sterik etkileşim, suyun ya da yüzey aktif maddenin adezyon kuvvetleri, Van der Waals çekme ve elektrostatik itme kuvvetleri gibi. ER süspansiyonların yapısı ve ER aktivitelerinin derecesi, bütün bu kuvvetlerin birbiriyle yarışmasına bağlıdır [28].

Şekil 5.22 – Şekil 5.26’da viskozite-elektrik alan kuvveti grafikleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar,  $\gamma = 1 \text{ s}^{-1}$  sabit kayma hızında ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, süspansiyonların ER aktivitesinin elektrik alandaki ve derişimdeki artışa paralel olarak arttığı sonucuna varılmaktadır.  $E = 2 \text{ kV/mm}$ ’de % 15 derişimdeki POT, 591,32 Pas ile en yüksek viskozite değerine ulaşırken, PNEAn ve PNMAAn süspansiyonları sırası ile 507,34 Pas ve 442,38 Pas değerlerini göstermektedir. En düşük viskozite değeri ise 212,57 Pas ile P2EAn’e aittir.

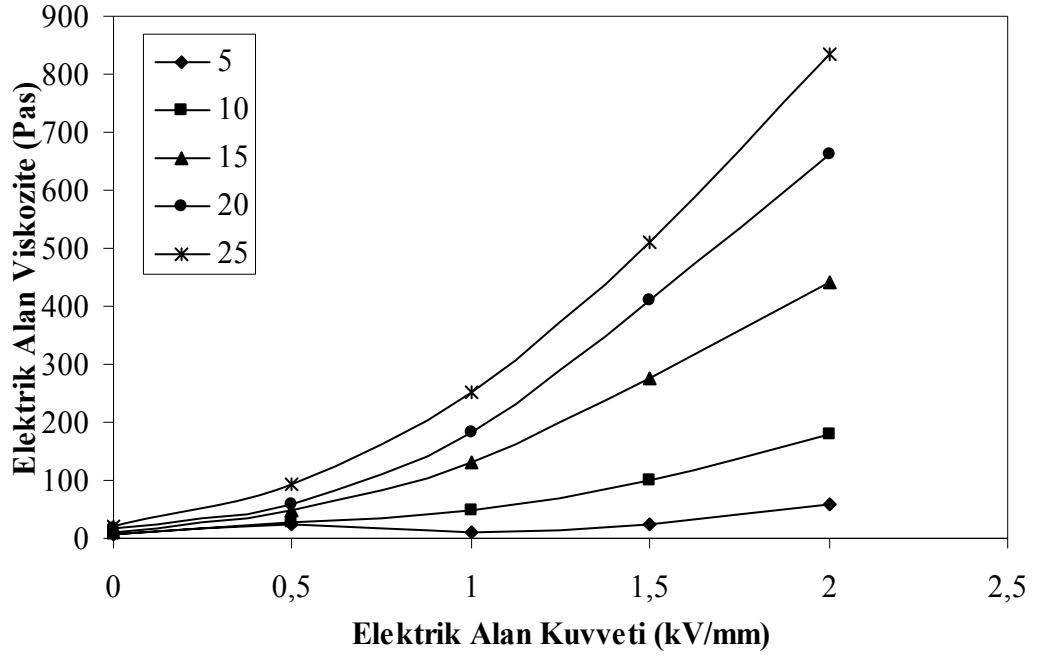
Choi ve arkadaşları [69] polianilin silikon yağı içerisindeki süspansiyonun, Hao ve Xu oksitlenmiş poliakrilonitril ve alüminyum silikatının silikon yağı içindeki süspansiyonunun viskozitelerinin artan elektrik alanla lineer olarak arttığını rapor etmişlerdir. Yine Chin ve arkadaşları da [70] poli(p-fenilen)/silikon yağı süspansiyonunda benzer davranışlar gösterdiğini rapor etmişlerdir.



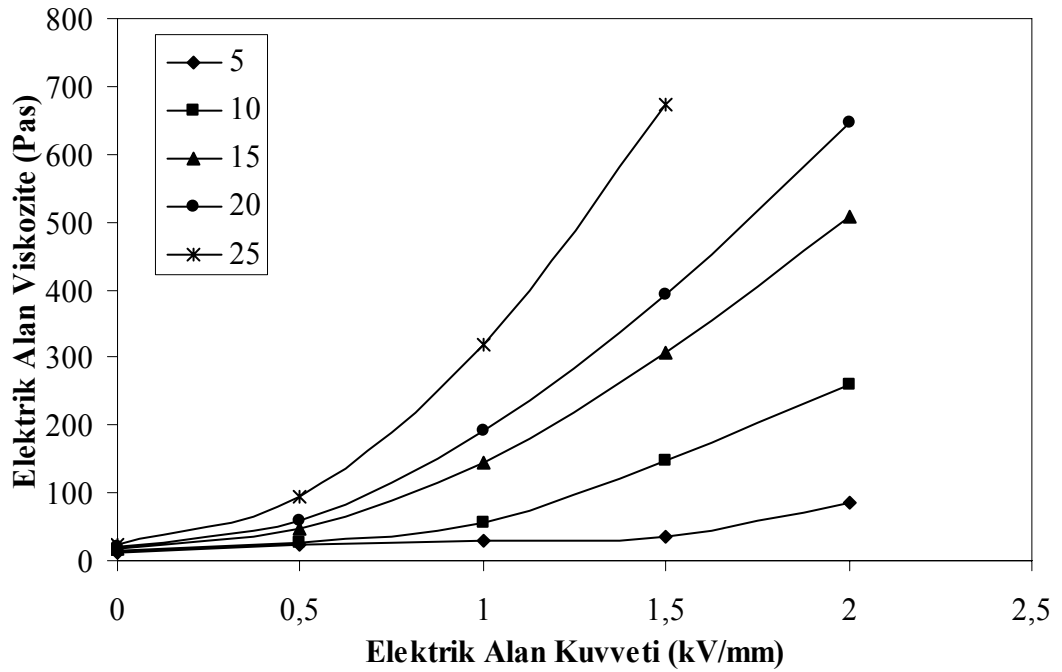
Şekil 5.22. POT/Silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.  
 $\gamma = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$



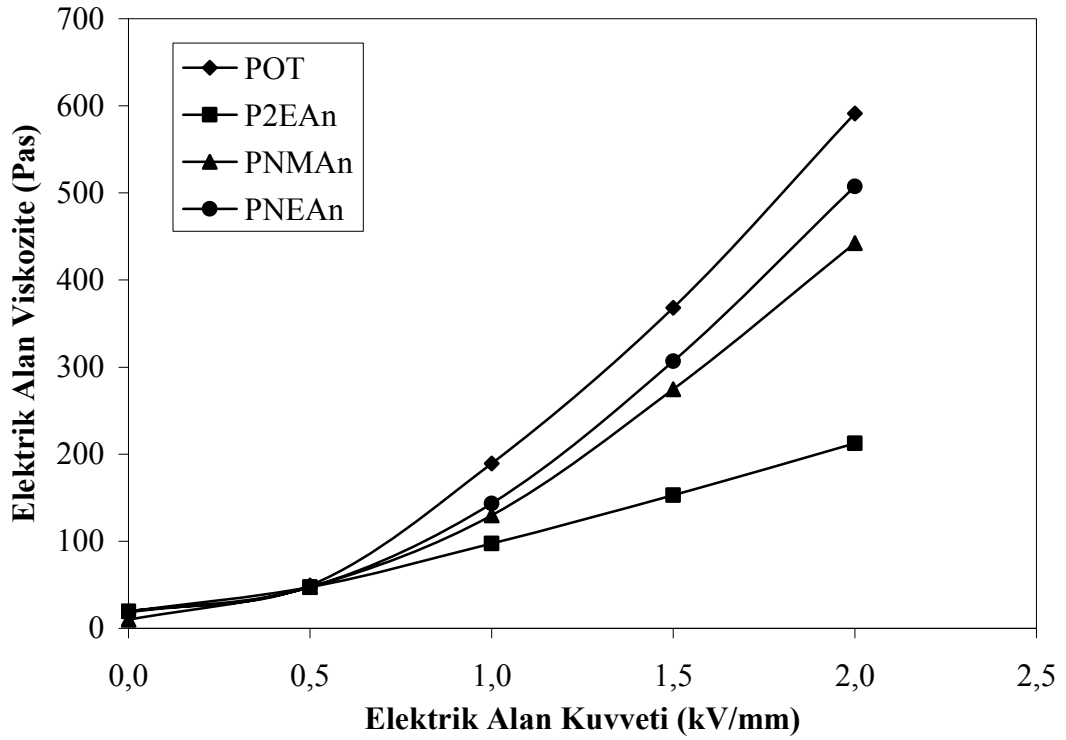
Şekil 5.23. P2EAn/Silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.  
 $\gamma = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$



Şekil 5.24. PNMA/Silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi.  
 $\gamma = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$



Şekil 5.25. PNEA/Silikon yağı sisteminin viskozitesinin elektrik alanla değişimi  
 $\gamma = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$



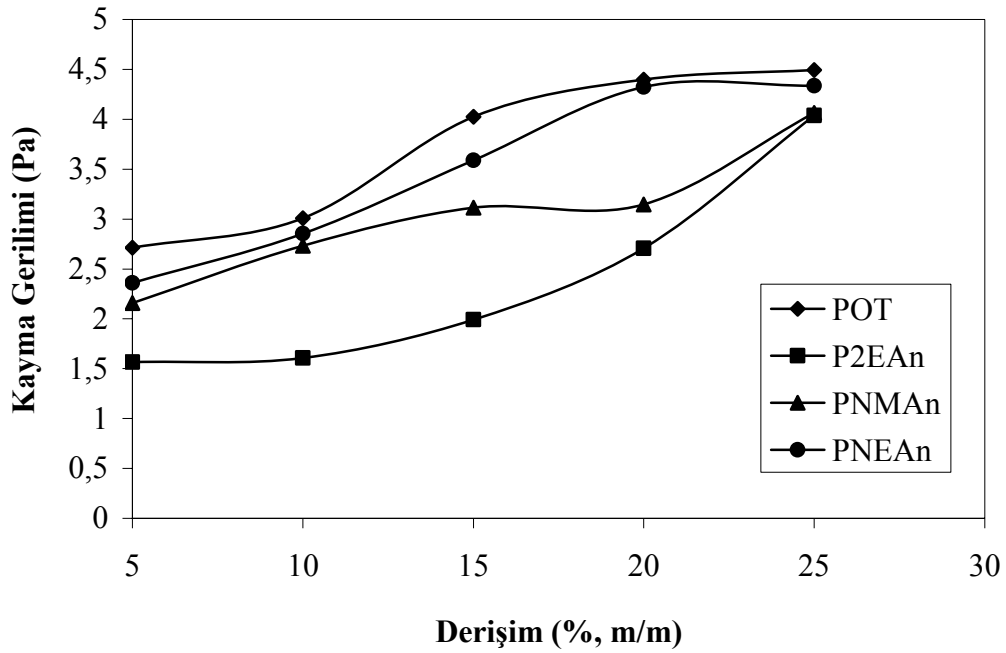
Şekil 5.26. Polimerlerin viskozite değerlerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi  
 $c=0,15$ .  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$

#### 5.8.4. Kayma geriliminin derişim ile değişimi

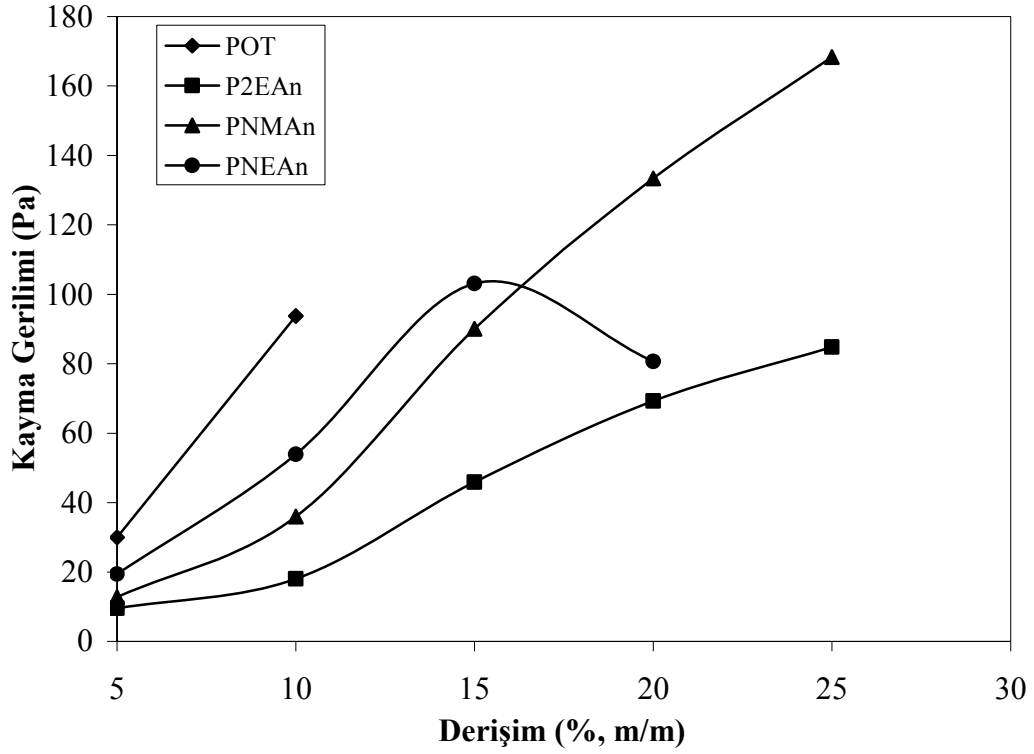
Elektroreoloji, elektrik alanın sıvı dispersiyonlar üzerine olan etkisi ile ilgilenir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç yada, sıvının katımsı bir hal alması şeklinde kendini gösterir. Kayma gerilimi, malzemenin akmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Süpansiyonun derişimi, kayma gerilimi üzerine etki eden en önemli etkenlerden biridir. Akışkandaki tanecik ne kadar fazla ise, kayma gerilimi o kadar büyüktür. Bir elektroreolojik akışkanda istenen en ideal kayma gerilimi değeri, onun uygulama amacına bağlı olarak değişir. Mesela dinamik titreşim sönümleyicilerde, akışkanın yanıt verme süresi ve aşındırıcılığının az olması, akışkanın yüksek kayma gerilimine sahip olmasından çok daha fazla önemlidir [71].

Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de polimerlerin 5 farklı derişimdeki süpansiyonlarının  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında elde edilen kayma gerilimi derişim grafikleri verilmektedir. Her

iki grafikte de derişim artışına paralel olarak kayma geriliminde artış gözlenmektedir. Şekil 5.27’de kütlece %5’lik POT 2,7 Pa kayma gerilimi gösterirken, bu değer %25 lik derişimde 4,49 Pa’a çıkmaktadır. Derişime bağı benzer artış diğr polimerlerde de göze çarpmaktadır. Şekil 5.28’de ise P2EAn ve PNMAAn’ in sergilediğı kayma gerilimi derişim eğrilerinin %5’ten %25’e çıkmasıyla kayma gerilimi değerlerinde sırasıyla, 75 Pa ve 155 Pa kadar bir artış olduğu görölmektedir. Bu artış; iletkenlikleri diğrlerine oranla daha yüksek olan POT ve PNEAn’de de fark edilmekte ancak daha önce de açıklandığı gibi, plakalar arası kısa devre oluşumu sebebiyle, yüksek derişimlerdeki kayma gerilimi değerleri tespit edilememektedir. Ünal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu grubun yaptığı bazı çalışmalarda [72-74] derişim ile kayma gerilimi doğru orantılı artarken, bazılarında [51,58,75,76] önce lineer bir artış ve daha sonra derişim artışı ile bir azalma gözlenmiştir. Choi ve arkadaşları da, selüloz fosfat esterleri ile yapmış oldukları çalışmada [77] kayma gerilimi farkının derişim ile lineer bir artış gösterdiğini, ayrıca kitosan fosfat ile yapmış oldukları çalışmada ise [78], kayma gerilimi farkının artan derişim ile, önce bir artış ardından yavaş bir azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir.



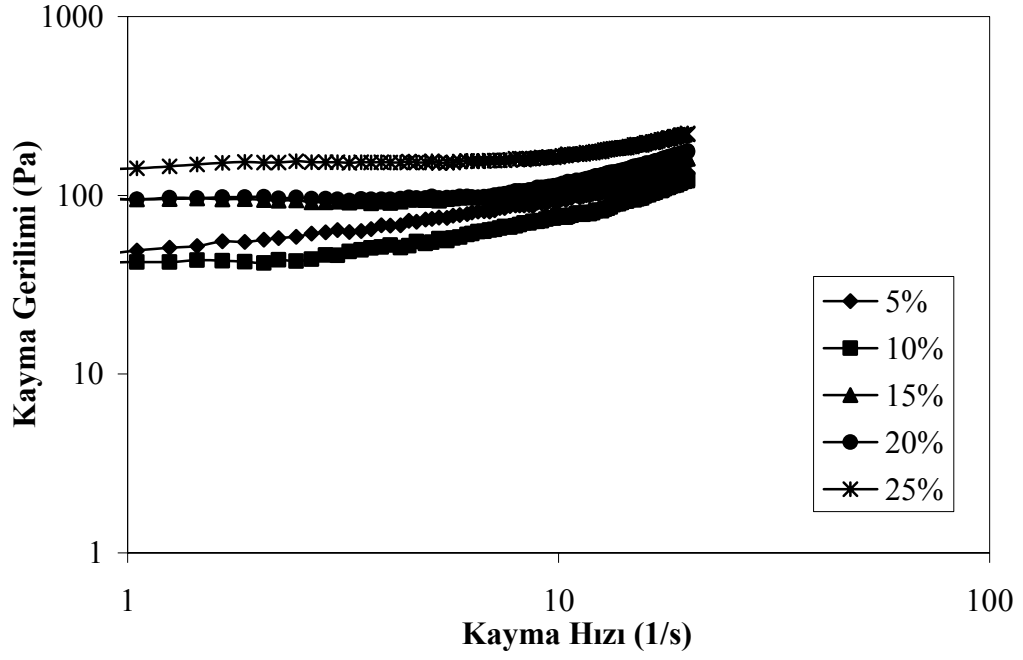
Şekil 5.27. Kayma geriliminin derişim ile değişimi  $E=0$  kV/mm,  $\gamma=1$  s<sup>-1</sup>,  $T=25^\circ\text{C}$



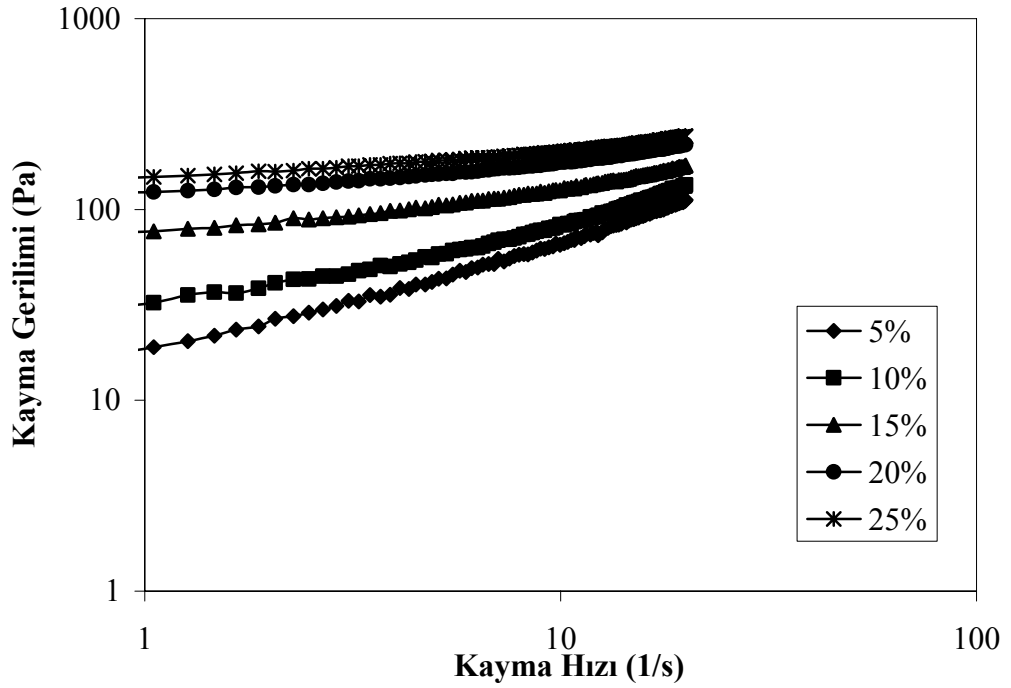
Şekil 5.28. Kayma geriliminin derişim ile değişimi  $E = 2 \text{ kV/mm}$ ,  $\dot{\gamma} = 1 \text{ s}^{-1}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$

### 5.8.5. ER aktivitenin kayma hızı ile değişimi

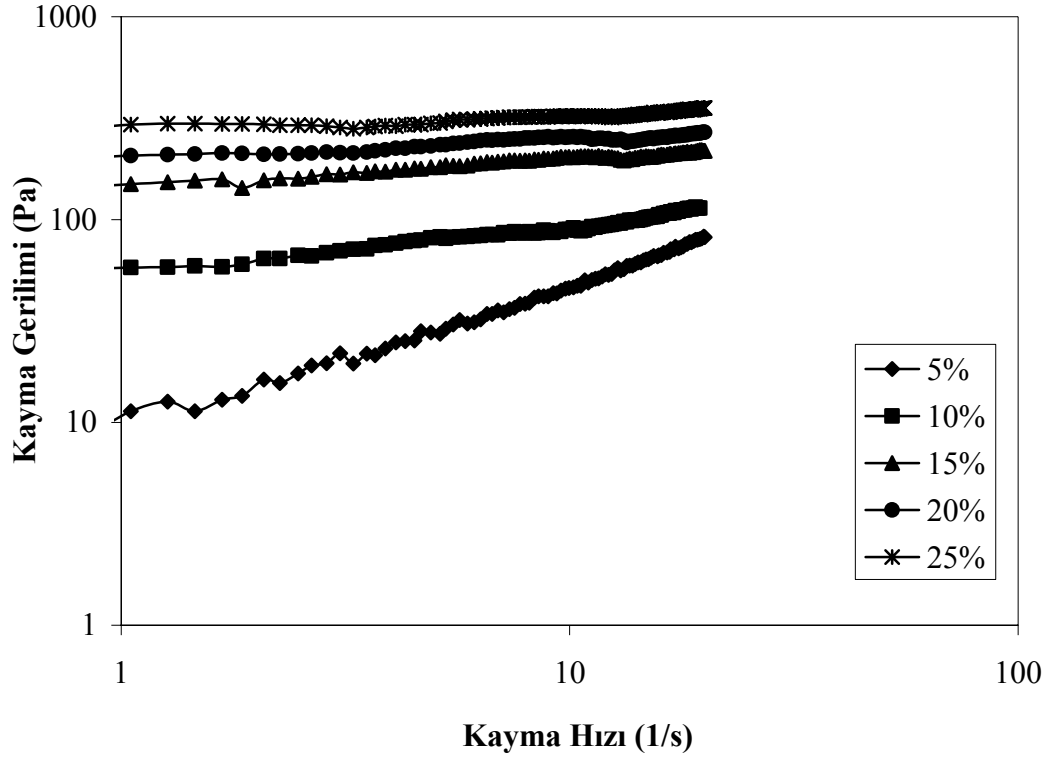
Şekil 5.29 – Şekil 5.32’de silikon yağı içinde beş farklı derişimde hazırlanan süspansiyonların sabit elektrik alanda ( $E = 2 \text{ kV/mm}$ ) ve sabit sıcaklıkta ( $T = 25^\circ\text{C}$ ) ölçülen kayma gerilimi-kayma hızı grafipleri görülmektedir. Kayma hızının artmasıyla süspansiyonların kayma gerilimlerinde de üstel bir artış olmaktadır. Kayma hızı, kayma gerilimi grafiğinin logaritmik değerleri alındığında, her bir örnek ve her bir derişim için kayma gerilimlerinde lineer bir artış görülmektedir. Örneğin, PNEAn’ın %15’lik derişimi için  $1 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında 171 Pa olan kayma gerilimi değeri, kayma hızının  $20 \text{ s}^{-1}$ ’e çıkmasıyla 240 Pa değerine artmaktadır. Diğer örneklerin her bir derişiminde kayma geriliminin sıfırdan farklı bir  $\tau_0$  değerinden başlayarak benzer artış sergilemesi, süspansiyonların bingham türü akışkan davranışı sergilediğini göstermektedir. PAn ile kaplanmış silika parçacıkları ile yapılan bir çalışmada da [79] benzer sonuçlar kaydedilmiştir.



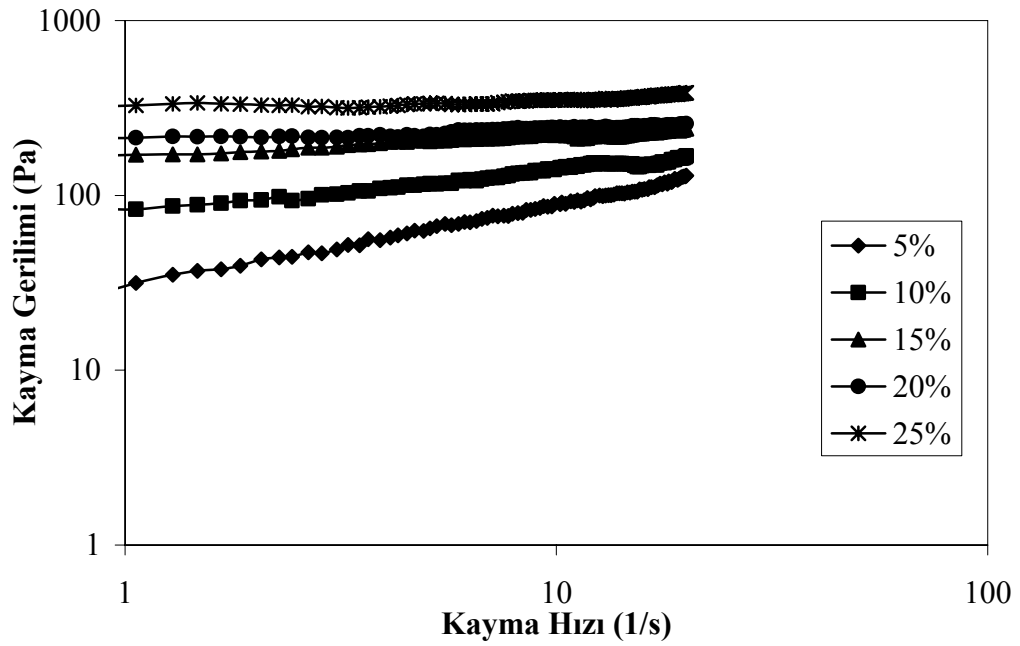
Şekil 5.29. POT süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi  
E= 2 kV/mm T = 25°C,



Şekil 5.30. P2EAn süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi E= 2 kV/mm T = 25°C,



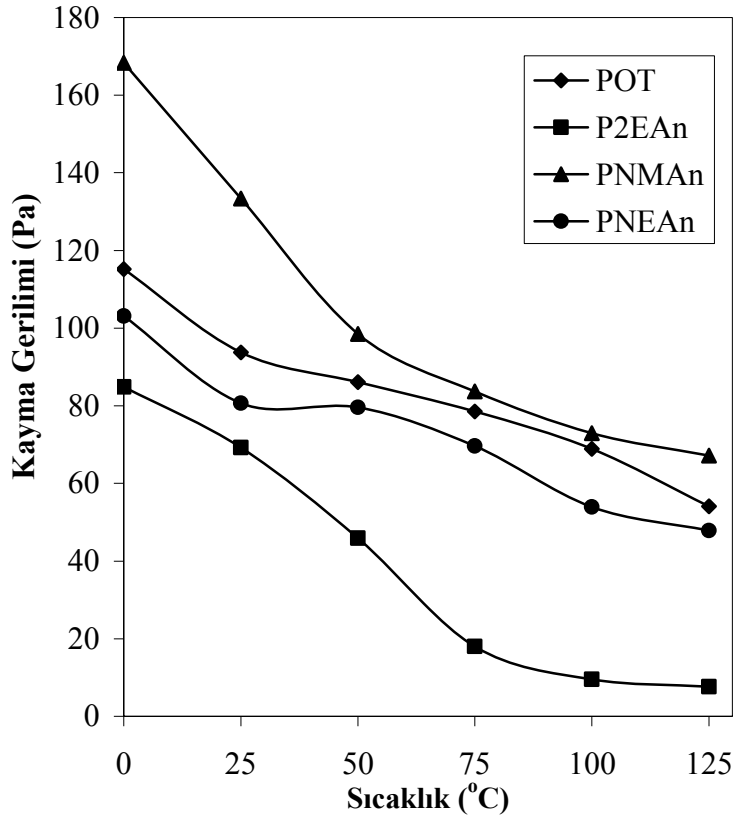
Şekil 5.31. PNMA n süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi  
 $E = 2 \text{ kV/mm}$   $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 5.32. PNEA n süspansiyonunda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi  
 $E = 2 \text{ kV/mm}$   $T = 25^\circ\text{C}$

### 5.8.6. ER aktiviteye sıcaklığın etkisi

5.33' de kayma gerilimi üzerine sıcaklığın etkisi görülmektedir. Ölçümler, 0 ile 125°C aralığında her bir süspansiyon için 2 kV/mm elektrik alan kuvvetinde incelenmiştir. Sıcaklık artışı ile kayma gerilimindeki azalma göze çarpmaktadır. Sıcaklık arttıkça ER aktivite gösteren akışkanlarda kayma gerilimi azalır, buna bağlı olarak viskozitede de bir azalma görülür. 0°C sıcaklıkta sırasıyla; 115,21 Pa, 84,84 Pa, 168,3 Pa, 103,1 Pa kayma gerilimi değerleri gösteren POT, P2EAn, PNMAAn ve PNEAn süspansiyonlarının kayma gerilimi değerlerinin, sıcaklık 125°C'ye çıkarıldığında sırasıyla 54,1 Pa, 7,63 Pa, 67,22 Pa, 47,82 Pa'a düştüğü görülmektedir. ER akışkanların uygulamalarında sıcaklık değişiminden etkilenmemesi istenmektedir.

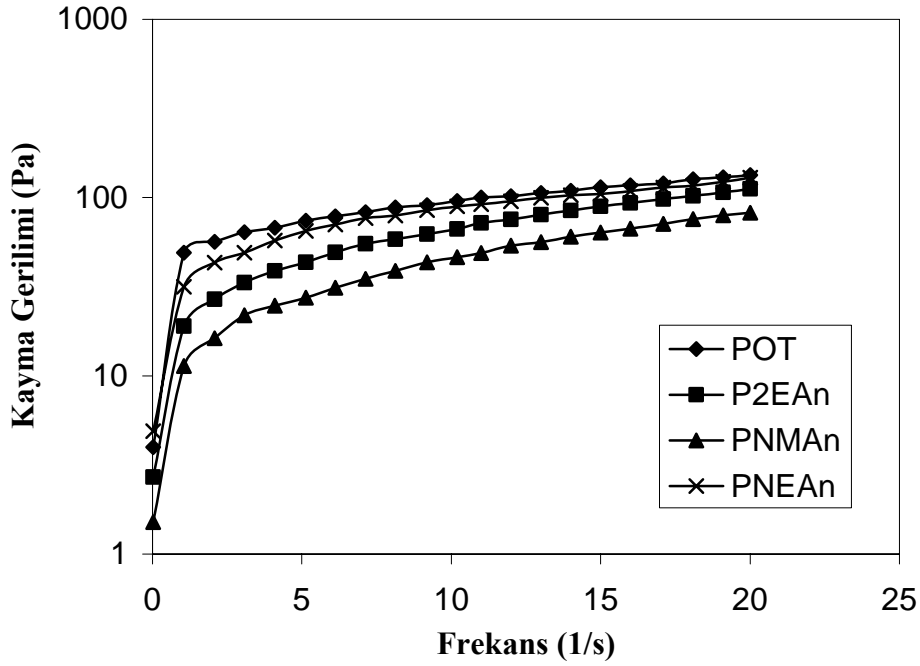


Şekil 5.33. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi  $E = 2\text{kV/mm}$ ,  $\dot{\gamma} = 1.0\text{ s}^{-1}$ .  
 $c = \%15\text{ (m/m)}$

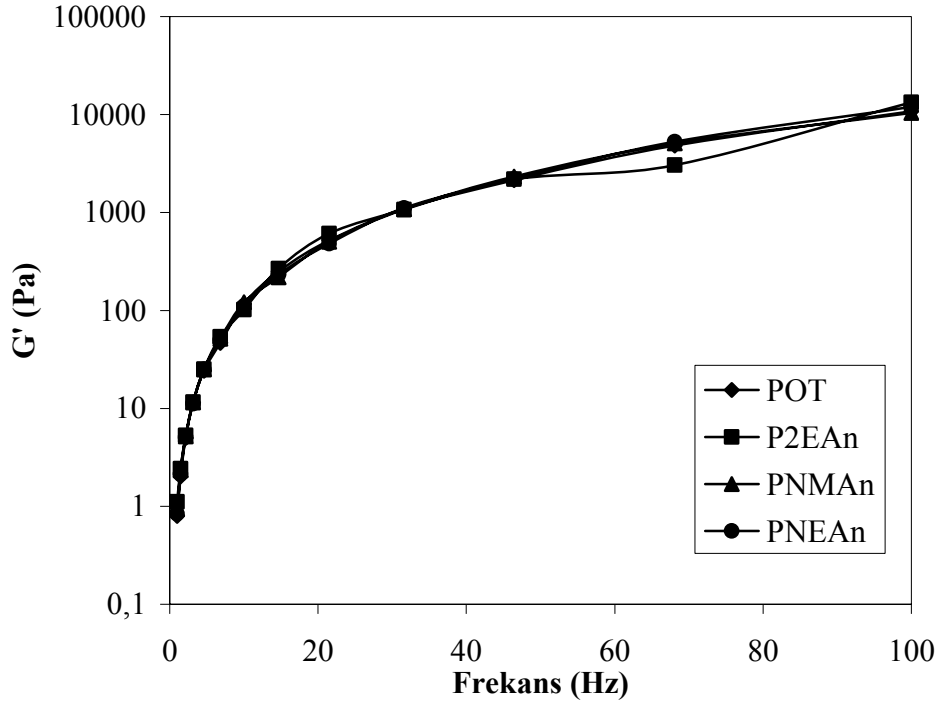
### 5.8.7. ER aktiviteye frekans etkisi

Polimerlerin silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonlarının kütlece %15 derişimde kayma gerilimlerinin frekansla değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, Şekil 5.34'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi frekansın artmasıyla kayma gerilimi artmaktadır.

Şekil 5.35'de ise elastiklik modülünün frekansa bağlı değişimi grafiğe geçirilmiştir. Her bir örnek için kütlece %15'lik derişimde ve 2 kV/mm elektrik alanda alınan ölçümler sonucunda frekansla elastiklik modülünün parabolik olarak arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.34. Kayma geriliminin frekans ile değişimi  $E = 2 \text{ kV/mm}$   $c = \%15 \text{ (m/m)}$



Şekil 5.35. Elastiklik modülünün frekans ile değişimi  $c = \%15$  (m/m)  $E = 2$  kV/mm

### 5.8.8. ER verimi

ER verimi büyük ölçüde süspansiyon içindeki taneciklerin akış özelliklerinden ve kutuplanabilirliklerinden etkilenir.

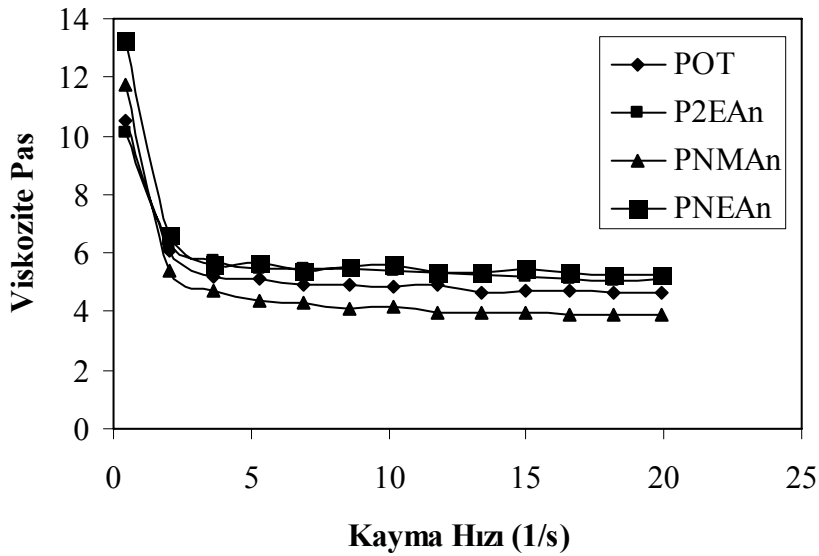
Elektrik alan yokluğunda ( $\eta_0$ ) süspansiyonun viskozitesi üzerine etki eden en önemli faktör; parçacıkların şekli, büyüklüğü, taşıyıcı ortamın viskozitesine bağlı hidrodinamik özelliklerdir. Bu özellikler, elektrik alan uygulandığında da zincir yapısı, kayma kuvvetleri tarafından yıkılıyorsa, parçacıkların akış özelliklerini etkilerler [34].

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’de sırasıyla, sıfır elektrik alanda ve elektrik alan varlığında, polimerlere ait kayma hızına karşı viskozite grafikleri; Şekil 5.38’de ise polimerlere ait ER verimi grafikleri verilmiştir. Kayma hızına karşı viskozite grafikleri için elde edilen sonuçlar, kütlece %5 derişimdeki süspansiyonların 25°C sıcaklıkta, sırasıyla  $E=0$  kV/mm ve  $E=3$  kV/mm elektrik alan kuvvetinde alınan viskozite değerleriyle

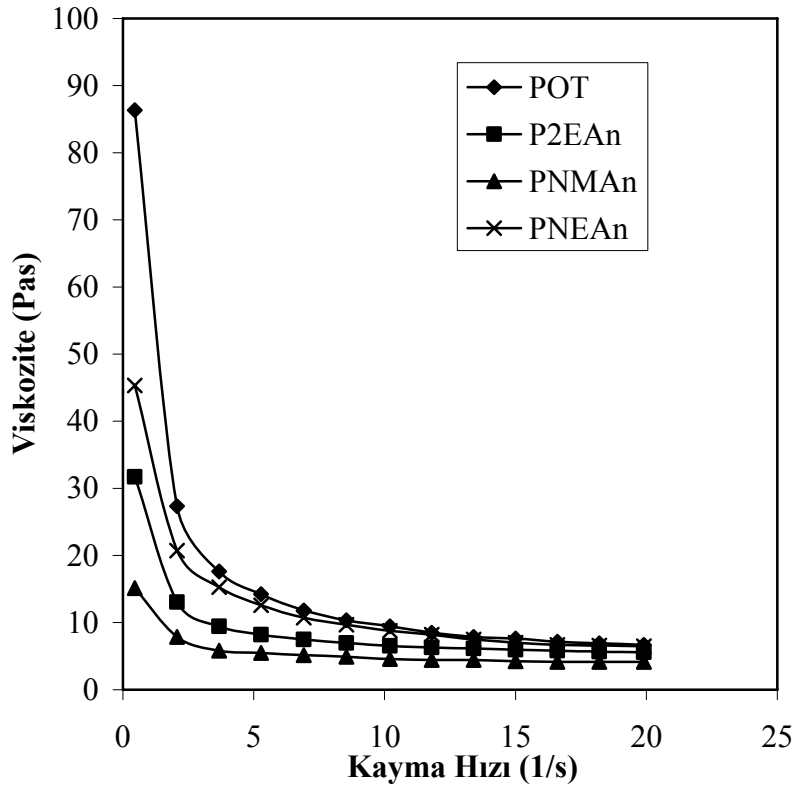
oluşturulmuştur. %5 derişim kullanılmasının sebebi daha önce de bahsedildiği gibi iletkenlik değeri yüksek olan polimerlerin yüksek derişimlerinde plakalar arasında kısa devre olduğu için ER etkinin ölçülememesidir. ER verimi grafikleri için 25°C sıcaklıkta, alınan ölçümler, Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

Grafikte görüldüğü gibi en yüksek verim POT'e aitken en düşük verim ise PNMA'n'a aittir. Buradan ER verimi ile iletkenlik değerleri arasında doğru orantı olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca grafiklerde göze çarpan bir başka noktada kayma hızının artışıyla viskozite değerlerinde ve buna bağlı olarak da ER veriminde gözlenen azalmadır. Bu durum kayma hızının artmasıyla, kayma kuvvetlerinin elektriksel kuvvetlere baskın gelmesinden dolayı ortaya çıkan zincir kopmaları ve buna bağlı olarak da ER aktivitenin azalması şeklinde açıklanabilir.

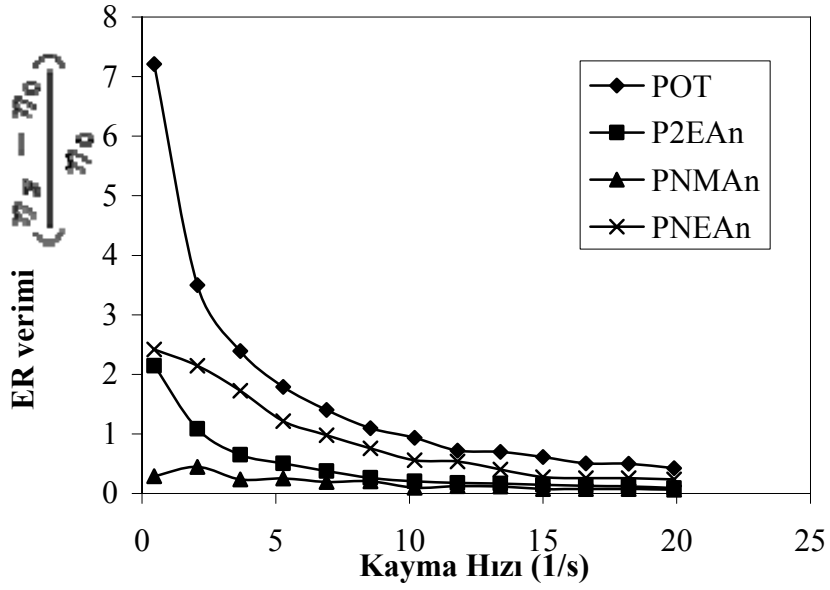
Lengalova ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada [34], Polianilin süspansiyonunda, tanecik derişiminin elektroeolojik verime etkisi incelenmiştir. Optimum ER verimin tanecik hacim kesrinin yüksek olduğu değerlerde gözlendiğini tespit etmişlerdir.



Şekil 5.36. Elektrik alan yokken viskozitenin kayma hızı ile değişimi.  $E = 0$  kV/mm  
 $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $c = \%5$ , m/m



Şekil 5.37. Elektrik alan varlığında viskozitenin kayma hızı ile değişimi.  $E = 3$  kV/mm  $T = 25^\circ\text{C}$   $c = : \%5$ , m/m



Şekil 5.38. Polimerlerin ER verimi  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $c = \%5$ , m/m

## 6. SONUÇ

1. Poli(o-toluidin) (POT), Poli(2-etilanilin) (P2EAn), Poli(N-metilanilin) (PNMAn) ve Poli(N-etilanilin) (PNEAn) polimerleri kimyasal yöntemle sentezlendi.
2. FTIR analizleri sonucunda polimerleşmeyi destekleyen bantlar gözlemlendi.
3. Dört nokta ve Impedance Analyser cihazları ile yapılan iletkenlik analizleri sonucunda en yüksek iletkenlik değerinin  $6,8 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$  ile POT'e, en düşük iletkenlik değerinin ise  $1,2 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$  ile P2EAn'e ait olduğu belirlendi.
4. Impedans Analyser cihazı ile yapılan ölçümlerde polimerlerin ER uygulamalar için aranan dielektrik sabiti aralığında olduğu sonucuna varıldı.
5. Gouy terazisi ile yapılan ölçümlerde bütün polimerlerin iletme mekanizmalarının polaronik yapıda olduğu bulundu.
6. Dinamik ışık saçılımı cihazı yardımıyla, polimerlerin ortalama tanecik çaplarının  $8,5 \mu\text{m}$  ile  $13,5 \mu\text{m}$  arasında olduğu tespit edildi.
7. Farklı polimerlerle hazırlanan süspansiyonların koloidal kararlılık süreleri arasında fark olmadığı ve ilk tanecik çökme süresinin her bir derişim için üç gün olduğu tespit edildi. Koloidal kararlılık ölçümlerine devam edildiğinde kütlece derişimi fazla olan süspansiyonların daha hızlı, derişimi az olanların daha yavaş çöktükleri gözlemlendi.
8. Paralel plaka elektrotlarla yapılan elektroeoloji çalışmaları, farklı polianilin türevlerinin akış süreleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiş, en düşük akış süresinin kütlece %5'lik, en yüksek akış süresinin ise kütlece %25'lik süspansiyonlara ait olduğu sonucuna varılmıştır.

9. Elektroeometre ile yapılan çalışmalarda, derişimin artmasıyla ER aktivitenin arttığı görüldü.
10. ER aktivitenin elektrik alan kuvvetindeki artışa paralel olarak artış gösterdiği tespit edildi.
11. Viskozite ve kayma gerilimi değerlerinin süspansiyonlarda iletkenlik değerleriyle paralel olarak arttığı sonucuna varıldı. İletkenlik değeri yüksek olan POT örneklerinde ER aktivitenin de yüksek olduğu, en düşük iletkenlik gösteren P2EAn'in ise en düşük ER aktivite gösterdiği gözlendi.
12. ER aktivitenin kayma hızının artışı ile arttığı ve süspansiyonların Bingham türü akışkan özellik sergilediği görüldü.
13. Polimer örneklerinde sıcaklık artışı ile kayma gerilimi değerlerinin azaldığı gözlendi. Sıcaklığın 0°C'den 125°C'ye artırılmasıyla kayma geriliminde en büyük düşüşün, 101,08 Pa değeri ile PNMAN'de; en küçük düşüşün ise 55,28 Pa değeri ile PNEAn'de olduğu tespit edildi.
14. Frekans artışı ile kayma gerilimi değerlerinde lineer, elastiklik modülü değerlerinde ise parabolik bir artış olduğu gözlendi.
15. Yapılan verim hesaplamalarıyla elde edilen grafiklere bakıldığında, ER verimi ile iletkenlik değerleri arasında doğru orantı olduğu; kayma hızındaki artışla viskozite değerlerinin azaldığı ve buna bağlı olarak da ER veriminde azalma olduğu gözlendi.
16. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak incelenen polianilin türevlerinin, endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Winslow, W. M., "Induced Vibration Suspension", *Journal of Applied Physics*, 20: 1137-1140 (1949).
2. Yang, F., Kao, I., "Analysis of Fluid Flow And Deflection For Pressure Balanced MEMS Diaphragm Valves", *Sensors And Actuators*, 79: 13-21 (2000).
3. Hao, T., "Electrorheological Suspensions", *Advances In Colloid And Interface Science*, 97: 1-35 (2002).
4. Xu, Y. L., Qu, W. L., Ko, J. M., "Siesmic Response Control Of Frame Structures Using MR/ER Dampers", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 29 (5): 557-575 (2000).
5. Tunalı, N. K., Özkar S., "Anorganik Kimya" *Gazi Büro Kitabevi*, Ankara 178-179 (1997).
6. Croisette, L. D., "Tranzistorlar" Leblebici, D., Leblebici, Y., *İTÜ Elektrik Fak Ofset Baskı Atölyesi* İstanbul 23 (1980).
7. Grovenor, C. R. M., "Materials for Semiconductor Devices" *Department of Metalurgy and Science of Materials University of Oxford*, London, 11-12 (1987).
8. Kasap S. O., "Principles of Electronic Materials And Devices" *Mc Graw Hill*, Canada, 324 (2002).
9. Schimmel, T., Glaser, D., Schwoerer, M., Narman, H., "Properties of Highly Conducting Polyacetylene", *Conjugated Polymers*, Bredas, J. L., Silbey, R., *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, 49-111 (1991).
10. Bredas, J.L., Silbey, R., "Conjugated Polymers" *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, 31 (1991).
11. Sarı, B., "Anilin ve Türevlerinin Elektrokimyasal Polimerleşmesi, Bazı Kompozitlerin Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12 (1998).
12. Schrieffer, J. R., "Novel Quantum Numbers in Condensed Matter Physics" *Current Applied Physics*, 4: 465-472 (2004).

13. Fahlman, M., Salaneck, W. R., "Surfaces And Interfaces in Polymer-Based Electronics" *Surface Science*, 500: 904-922 (2002).
14. Somani, P. R. "Synthesis and Characterization of Polyaniline Dispersions" *Materials Chemistry and Physics*, 77: 81-85 (2002).
15. Blinova, N. V., Sapurina, I., Klimovic, J., Stejskal, J., "The Chemical and Colloidal Stability of Polyaniline Dispersions" *Polymer Degradation And Stability*, 88: 428-434 (2005).
16. Epstein, A. J., "The Polyanilines: Model Systems For Diverse Electronic Phenomena", Conjugated Polymers, Bredas, J. L., Silbey, R., *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, 211-228 (1991).
17. Schomburg, K. C., McCarley, R. L., "Surface Confined Monomers on Electrode Surfaces. 10. Electrochemical and Infrared Spectroscopic Characteristics of Aniline-Terminated Alkanethiol Monolayers on Au Electrochemically Treated in Aqueous Solution" *Langmuir*, 17: 1983-1992 (2001).
18. Huang, W. S., Humphray, B. D., MacDiarmid, A. G., "Polyaniline A Novel Conducting Polymer", *Journal of Chemical Society, Faraday Trans.*, 1: 82, 2385-2400 (1986).
19. Falcou, A., Duchéne, A., Hourquebie, P., Marsacq, D., Balland-Longeau, A., "A New Chemical Polymerization Process For Substituted Anilines Application To The Synthesis Of Poly(N-alkylanilines) And Poly(o-alkylanilines) And Comparison Of Their Respective Properties" *Synthetic Metals*, 149: 115-122 (2005).
20. Hwang, G. W., Wu, K. Y., Hua, M. Y., Lee, H. T., Chen S. A., "Structures And Properties of The Soluble Polyanilines, N-Alkylated Emeraldine Bases" *Synthetic Metals* 92: 39-46 (1998).
21. Raghunathan, A., Kahol, P. K., McCormick, B. J., "Electron Localization Studies Of Alkoxy Polyanilines" *Synthetic Metals*, 100: 205-216 (1999).
22. Giuseppe, D., Leclerc, M., Zotti, G., "Stabilization And Characterization Of Pernigraniline Salt; The "Acid-Doped" Form Of Fully Oxidized Polyanilines", *Macromolecules*, 25: 2145-2150 (1992).
23. 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).
24. Gök, A., Sarı, B., Talu, M., “Synthesis And Characterization Of Conducting Substituted Polyanilines” *Synthetic Metals*, 142 (1-3): 41-48 (2004).
  25. Sarı, B., Talu, M., Electrochemical Polymerization And Analysis Of Some Aniline Derivatives” *Turkish Journal Of Chemistry*, 22: 301-307 (1998).
  26. Makela, K. K., “Characterisation And Performance of Electrorheological Fluids Based On Pine Oils”, *VTT Publications*, Finland, 15 (1999).
  27. Winslow, W. M., “Methods And Means For Transmitting Electrical Impulses Into Mechanical Force” U.S. Pat. No: 2417850 (1947).
  28. Winslow, W. M., “Field Controlled Hydraulic Device” U.S. Pat. No: 2661596, (1953).
  29. Winslow, W. M., “Field response Force Transmitting Compositions”, U.S., Pat. No: 3047507, (1962).
  30. Plockharski, J., Drabik, H., Wycislik, H., Ciach, T., “Electrorheological Properties of Polyphenylene Suspensions”, *Synthetic Metals*, 88: 139-145 (1997).
  31. Rejon, L., Castaneda-Aranda, I., Manero, O., “Rheological Behaviour of Electrorheological Fluids: Effect of The Dielectric Properties of Liquid Phase”, *Colloids And Surfaces*, 182: 93-107 (2001).
  32. Lee, H. J., Chin, B. D., Yang, S. M., Park, o. O., “Surfactant Effect on the Stability and Electrorheological Properties of Polyaniline Particle Suspensions”, *Journal of Colloid And Inteface Science*, 206: 424-438 (1998).
  33. Lengalova, A., Pavlinek, V., Saha, P., Quadrat, O., Stejskal, J., “The Effect Of Dispersed Particle Size And Shape On T he Electrorheological Behaviour of Suspensions”, *Colloids And Surfaces*, 227: 1-8 (2003).
  34. Lengalova, A., Pavlinek, V., Saha, P., Quadrat, O., Kitano, T., Stejskal, J., “Influence Of Particle Concentration On The Electrorheological Efficiency Of Polyaniline Suspensions”, *European Polymer Journal*, 39: 641-645 (2003).
  35. Chwang C. P., Liu, C. D., Huang, S. W., Chao, D. Y., Lee, S. N., “Synthesis and Characterisation of High Dielectric Constant polyaniline/Polyurethane Blends”, *Synthetic Metals* 142: 275-281 (2005).

36. Han, G. M., Im, S. S., "Dielectric Spectroscopy of Conductive Polyaniline Salt Films", *Journal of Applied Polymer Science*, 82: 2760-2769 (2001).
37. Kim, S. G., Kim, J. W., Cho, M. S., Choi, H. J., Jhon, M. S., "Viscoelastic characterisation of Semiconducting Dodecylbenzenesulfonic Acid Doped Polyaniline Elelctrorheological Suspensions", *Journal of Applied Polymer Science*, 79: 108-114 (2001).
38. Choi, Hyoung, J. C., Cho, M. S., To, K., "Electrorheological And Dielectric Characteristics of Semiconductive Polyaniline-Silicone Oil Suspensions", *Physica A*, 254: 272-279 (1998).
39. Woo, D. J., Suh, M. H., Shin, S. E., Lee, C. W., Lee, S. H., "Elelctrorheological Behaviour of Suspensions of a Substituted polyaniline With Long Alkyl Pendants", *Journal of Colloid And Interface Science*, 288: 71-74 (2005).
40. Lee, H. J., Chin B. D., Yang, S. M., Park, O. O., "Surfactant Effect On The Stability And Electrorheological Properties of Polianiline Particle Suspensions", *Journal Of Colloid And Interface Science*, 206: 424-438 (1998)
41. Choi, H. J., Lee, J. H., Cho, M. S., "Electrorheology of Semiconducting Polyaniline: Polymerisation Temperature Effect" *Synthetic Metals*, 102: 1216-1221 (1999).
42. Lee, J. H., Cho, M. S., Choi, H. J., Jhon, M. S., "Effect of Polymerisation temperature on polyaniline Based Elelctrorheological Suspensions", *Colloid Polymer Science*, 277: 73-76 (1999).
43. Choi, H. J., Cho, M. S., Kim, J. W., "Effect of Ionic And nonionic Substituents On The Electrorheological Characteristics Of Polyaniline Derivatives", *International Journal Of Modern Physics B*, 15 (6): 988-995 (2001).
44. Lim, Y. T., Park, J. H., Park, O. O., "Improved Electrorheological Effect in Polyaniline Nanocomposite Suspensions", *Journal Of Colloid And Interface Science*, 245: 198-203 (2002).
45. Lengalova, A., Pavlinek, V., Saha, P., Quadrat, O., Stejskal, J., "Elelctrorheology of Polianiline Coated Inorganic particles In Silicone Oil", *Journal Of Colloid And Interface Science*, 258: 174-178 (2003).
46. Trlica, J., Saha, P., Quadrat, O., Stejskal, J., "Electrorheology of Polyaniline-Coated Silica Particles in Silicone Oil", *Journal of Physics, D: Applied Physics*, 33: 1773-1780 (2000).

47. Lee, I. S., Cho, M. S., Choi, H. J., "Preparation of Polyaniline Coated poly(methylmetacrylate) Microsphere By Graft polymerisation And Its Electrorheology", *Polymer* 46: 1317-1321 (2005).
48. Şahin, D., "Kimyasal Yöntemle Poli(Alkilanilin)'lerin Sentezi, İletken Polimerlerle Bazı Kompzitlelerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 45-47 (2003).
49. Erdik, E. "Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler" *Gazi Kitabevi*, Ankara, 130 (1998).
50. Genies, E. M., Lapkovski, M., "Polianiline Films. Electrochemical Redox Mechanisms" *Synthetic Metals*, 24: 64-68 (1988).
51. Yavuz, M., Ünal, H. İ., "Synthesis, Characterization, and Partial Hdrolysis of Polyisoprene-co-Poly(tert-butyl methacrylate) and Elevtorheological Properties of Its Suspensions", *Journal of Applied Polymer Science*, 91: 1822-1833 (2004).
52. Erdik, E., Obalı, M., Yüksekışık, N., Öktemer, A., Pekel, T., İhsanoğlu, E., "Denel Organik Kimya" *Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları*, Ankara, 665 (2000).
53. Kuo, C. T., Weng, S. Z., Huang, R. L., "Field Effect Transistor With Polyaniline And Poly(2-alkylaniline) Thin Film as Semiconductor", *Synthetic Metals*, 88: 101-107 (1997).
54. Falcou, A., Longeau, A., Marsacq, D., Hourquebie, P., Duchene, A., "Preparation of Soluble N And o-alkylated Polyanilines Using A Chemical Biphasic Process" *Synthetic Metals*, 101: 647-648 (1999).
55. Yano, J., Ota, Y., Kitani, A., "Electrochemical Preparation of conductive Poly(N-alkilaniline)s With Long N-alkyl Chains Using Appropriate Dopant Anions and Organic Solvents" *Materials Letters*, 58: 1934-1937 (2004).
56. Road. A., "Magnetic Susceptibility Balance; Instruction Manuel", Christian Scientific Equepment Ltd, *East Gateshead Industrial Estate*, U.K., 6232: 8 (1993).
57. Yılmaz, H., "Bazı Kopolimerlerin Elektoreolojik özelliklerinin İncelenmesi Ve Endüstriyel Uygulanabilirliğinin Araştırılması" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 56, 65 (2003).

58. Yanju, L., Hejun, D., Dianfu, W., “ER Fluid Based on İnorganic Polymer Blend Particles And İts Adaptive Viscoelastic Properties”, *Colloid And Surfaces*, 189: 203-210 (2001).
59. Yılmaz, H., Ünal, H. İ., Yavuz, M., Arık, H., “Diyatomit ve Diyatomit/Poliakrilonitril Kompozitlerinden Hazırlanan Süspansiyonların Elektroeolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (3): 473-482 (2003).
60. Ünal, H. İ., Yılmaz, H., “Electrorheological Properties of Poly(lithium-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid)Suspensions”, *Journal of Applied Polymer Science*, 86: 1106-1112 (2002).
61. Yılmaz, H., Değirmenci, M., Ünal, H. İ., “Electrorheological Properties of PMMA-b-PSt Copolymer Suspensions”, *Journal of Colloid And Interface Science*, 293: 489-495 (2006).
62. Plocharski, J., Rozanski, M., Wycislik, H., “Electrorheological Effect in Suspensions of Conductive Polymers”, *Synthetic Metals*, 102: 1354- 1357 (1999).
63. Davis, L. C., “Polarisation Forces and Conductivity Effects İn Electrorheological Fluids”, *Journal of Applied Physics*, 72 (4): 1334-1340 (1992).
64. Yin, J. B., Zhao, X. P., “Electrorheological Fluids Based on Glycerol-Activated Titania Gel Particles And Silicone Oil With High Yield Strength”, *Journal of Colloid And Interface Science*, 257: 228-236 (2003).
65. Klingenberg, D. J., Zukoski C. F., “Studies on the steady-shear behavior of electrorheological suspensions”, *Langmuir*, 6: 15–24(1990).
66. Xu Y, Liang R., “Electrorheological Characterization of Zeolite Suspensions” *Journal of Rheology* , 35: 135 (1991).
67. Choi, H. J., Kim, T. W., Cho, M. S., Kim, S. G., Jhon, M. S., “Electrorheological Characterization of Polyaniline Dispersions” *European Polymer Journal*, 33 (5): 699-703 (1997).
68. Choi, U., “Electrorheological Properties of Chitosan Suspensions”, *Colloids And Surfaces*, 157: 193-202 (1999).
69. Choi, H.J., Kim, T.W., Cho, M.S., Choi, H.J. and Jhon M.S., ‘Electrorheological characterization of polyaniline dispersions’, *European Polymer Journal*, 33 (5): 699 (1997).

70. Tanaka, K., Oiwa, Y., Akiyama, R., Kubono A., “Shear Thinning and Electro-Rheological Effect for Neat Liquid Crystalline Polysiloxane in the Vicinity of Isotropic-Liquid Crystalline Phase Transition”, *Polymer Journal*, 30 (3): 171-176 (1998).
71. Ying, Z. G., Zhu, Z. Q., “A Stochastic Optimal semiactive Control Strategy for ER/MR Dampers” *Journal of Sound Vib.* 259 (1): 45-62 (2003).
72. Yavuz, M., Unal, H. İ., Yıldırım, Y., “Electrorheological Properties of Suspensions Prepared From Polystyrene-block-Polyisoprene Copolymer”, *Turkish Journal of Chemistry*, 25: 1-14 (2001).
73. Şahin, D., Sarı, B., Ünal, H. İ., “An Investigation of Some Parameters on Electrorheological Properties of Polypyrrole Suspensions” *Turkish Journal of Chemistry*, 26: 113-124 (2002).
74. Yılmaz, H., Ünal, H. İ., Yavuz, M., “An Investigation of Electrorheological Properties of Calcium Carbonate Suspensions in Silicone Oil”, *Colloid Journal*, 67 (2): 268-273 (2005).
75. Ünal, H. İ., Yavuz, M., Yılmaz, H., “Sepiyolit Süspansiyonların Elektroeolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (3): 999-1007 (2001).
76. Yavuz, M., Ünal, H. İ., “Electrorheological Properties of Suspensions Prepared from Poly(Li-tert-butyl methacrylate) Ionomer”, *Turkish Journal of Chemistry*, 28: 587-601 (2004).
77. Choi, U. S., Ahn, B. G., “Electrorheology of Cellulose Phosphate Ester Suspension As A New Anhydrous ER Fluid”, *Colloids And Surfaces*, 168: 71-77 (2000).
78. Choi, U. S., Ko, Y. G., Kim J. Y., “Electrorheological Performance of Chitosan Phosphate Suspension”, *Polymer Journal*, 32: 501-507 (2000).
79. Pavlinek, V., Saha, P., Kitano, T., Stejskal, J., Quadrat, O., “The Effect of Polyaniline Layer Deposited on Silica Particles on Electrorheological and Dielectric Properties of Their Silicone-oil Suspensions”, *Physica A*, 353: 21-28 (2005).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı GERÇEK, Betül  
Uyruğu T.C.  
Doğum tarihi ve yeri 12. 11. 1980 Ankara  
Medeni hali :Bekar  
e-posta :gercekbetul@hotmail.com

### Eğitim Derece

Tezsiz Yüksek Lisans

### Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi

Eğitim Bilimleri Enstitüsü

### Mezuniyet Tarihi

2005

Lisans

Selçuk Üniversitesi

Kimya Bölümü

2003

Ortaöğrenim

Çankırı Anadolu Lisesi

1998

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Hobiler

Klasik Türk Müziği, Fotoğrafçılık sanatı