

**POLİ(OKSİMETİLEN)/POLİTİYOFEN KOMPOZİTLERİN
ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mehtap EYRİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2007
ANKARA**

Mehtap EYRİK tarafından hazırlanan POLİ(OKSİMETİLEN)/POLİTİYOFEN KOMPOZİTLERİN ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

.....

Tez Danışmanı, Kimya Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir

Prof. Dr. Oya ŞANLI

.....

Fizikokimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

.....

Fizikokimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet SAÇAK

.....

Fizikokimya Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Murat ŞEN

.....

Polimer Kimyası Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Doç Dr. Bekir SARI

.....

Fizikokimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih : 24/ 12 / 2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Mehtap EYRİK

**POLİ(OKSİMETİLEN)/POLİTİYOFEN KOMPOZİTLERİN
ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehtap EYRİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2007

ÖZET

Bu çalışmada, Politiyofen (PT) ve farklı bileşimlere sahip poli(oksümetilen)/politiyofen (POM/PT) kompozitlerin elektoreolojik (ER) özellikleri incelendi. Dinamik ışık saçılımı (DLS) yöntemi ile tanecik büyüklükleri tespit edildi. Bu kompozitlerin iletkenlik değerleri ölçüldü ve dielektrik özellikleri belirlendi. PT ve POM/PT kompozitlerin silikon yağı (SO) içerisinde çeşitli derişimlerde ($c = \%5-25$ m/m) süspansiyonları hazırlandı ve çökelme kararlılıkları tespit edildi. Bu süspansiyonların dc elektrik alan kuvveti altında akış süreleri ölçüldü. Süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine tanecik derişimi, tanecik boyutu, kompozit bileşimi, kayma hızı, elektrik alan kuvveti, frekans ve sıcaklığın etkileri araştırıldı. Ayrıca kompozit malzemelerin oluşturduğu süspansiyonlara sürünme testleri uygulandı ve tersinir viskoelastik deformasyon gösterdiği tespit edildi. Kompozitler için en uygun çalışma koşulları $c = \%15$ lik derişim, $\dot{\gamma} = 0,2$ s⁻¹ kayma hızı, $T = 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve kompozit bileşimi olarak da $\%88$ PT içeren K6 nolu POM/PT kompoziti belirlendi.

Bilim Kodu : 201.1.117
Anahtar Kelimeler : Poli(oksimetilen) politiyofen, polimer kompozitler, elektoreolojik akışkanlar.
Sayfa Adedi : 76
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

**INVESTIGATION OF ELECTORRHEOLOGICAL PROPERTIES OF
POLY(OXYMETHYLENE)/POLYTHIOPHENE COMPOSITES**

(M.Sc. Thesis)

Mehtap EYRİK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2007

ABSTRACT

In this study, electrorheological (ER) properties of polythiophene (PT) and poly(oxymethylene)/polythiophene (POM/PT), conducting composites having different compositions were investigated. The particle sizes of the composites were determined by dynamic light scattering method. Conductivities of these composites were measured and dielectric properties were determined. Suspensions of PT and POM/PT composites were prepared in a silicone oil (SO), at various concentrations ($c = 5\text{--}25\%$, m/m) and their sedimentation stabilities were determined. Then the effects of dispersed particle concentration, particle size, shear rate, electric field strength, frequency and temperature onto ER activities of suspensions were investigated. The flow times of these suspensions at various dc electric field strengths were measured. Further, creep tests were applied to the composite suspensions and reversible viscoelastic deformations observed. The most suitable working conditions for the composites were determined to be $c = 15\%$ concentration, $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$ shear rate, $T = 25^{\circ}\text{C}$ temperature and as composite composition K6 (containing 88% PT) POM/PT.

Science Code : 201.1.117
Key Words : Poly(oxymethylene)/polythiophene, polymer composites, electrorheological fluids.
Page Number : 76
Adviser : Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL

TEŞEKKÜR

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

Çalışmalarımda, yardımcı olan, başta numunelerin öğütme işlemlerinde ve tanecik boyutu ölçümlerinde Doç. Dr. İbrahim USLAN, ve Araş. Gör. Levent URTEKİN' e, dielektrik ölçümleri için Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a, gerekli analizler için yardımlarından dolayı kimya bölümü uzmanlarına ve kimya bölümüne teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam süresince bana her türlü fedakarlığı gösteren Referans Kimya Ltd Şti. personeline, özellikle İlkey KOYUNCU KILINÇARSLAN ve Mustafa KILINÇARSLAN'a, ve hayatta en değerli varlığım olan sevgili aileme, ablam Çiğdem EYRİK'e ve emeği geçen tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISATMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Tarihçe	3
2.2. Kompozit Malzemeler.....	3
2.2.1. Kompozit malzemelerin sağladığı avantajlar.....	4
2.3. Polimerlerde İletkenlik.....	5
2.4. İletken Polimerlerin Sınıflandırılması.....	7
2.4.1. Homopolimerler	7
2.4.2. Kopolimerler	7
2.4.3. Kompozit ve blendler.....	7
2.5. Politiyofen.....	8
2.6. Poli(oksümetilen) (POM) ve Özellikleri.....	10
3. ELEKTROREOLOJİ	13
3.1. Elektoreoloji Olayı.....	13
3.2. Elektoreolojik Akışkanlar	13

Sayfa

3.3. Elektoreolojik Akışkanların Reolojisi	15
3.4. Elektoreolojik Akışkanlarda Yapı Oluşumu.....	16
3.5. ER Aktiflik Üzerine Etki Eden Faktörler.....	17
3.5.1. Elektrik alan kuvveti	17
3.5.2. Elektrik alan frekansı	18
3.5.3. Tanecik iletkenliği.....	19
3.5.4. Tanecik dielektrik özelliği.....	19
3.5.5. Derişim.....	20
3.5.6. Sıcaklık.....	21
3.5.7. Promoter.....	22
3.5.8. Kayma hızı	22
3.5.9. Tanecik boyutu ve kolloidal kararlılık	22
3.5.10. Sürünme testleri	23
3.6. ER Akışkanların Verimi.....	26
3.7. Elektoreolojik Akışkanların Kullanım Alanları.....	28
4. DENEYSEL KISIM.....	30
4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	30
4.2. Homopolimer ve Kompozitlerin Sentezi	30
4.3. Kullanılan Cihazlar ve Çalışma Yöntemleri	32
4.3.1. Öğütme işlemi	32
4.3.2. Tanecik boyutu ölçümleri	32
4.3.3. Yoğunluk tayini.....	32
4.3.4. Dielektrik özellikleri tayini	33

Sayfa

4.3.5. Süspansiyonların hazırlanması.....	33
4.3.6. Çökelme kararlılığı	34
4.3.7. Akış ölçümleri.....	34
4.3.8. Elektoreometre ölçümleri	35
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	36
5.1. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri.....	36
5.2. Tanecik Boyutu Ölçümleri.....	37
5.3. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi.....	41
5.4. Paralel Plaka Elektrotlar ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler.....	44
5.5. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler.....	47
5.5.1. ER verimi üzerine derişimin etkisi.....	47
5.5.2. Viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	49
5.5.3. Derişimin kayma gerilimi üzerine etkisi	50
5.5.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi	52
5.5.5. Elektrik alan kuvvetinin viskozite üzerine etkisi	53
5.5.6. Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	55
5.5.7. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi	60
5.5.8. Elastik modülün frekans ile değişimi	61
5.5.9. Polarizasyon kuvvetinin derişim ile değişimi	62
5.5.10. Sürünme deneyleri	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. POM/PT kompozitleri sentezlemek için kullanılan kimyasal oranlar.....	31
Çizelge 5.1. Polimerlerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri	36
Çizelge 5.2. Numunelerin tanecik büyüklükleri.....	38
Çizelge 5.3. PT ve POM/PT kompozitlerin yoğunlukları, tanecik boyutu ve çökelme kararlılık oranları.....	42
Çizelge 5.4. Numunelerin $E = 0$ ve $E \neq 0$ iken ölçülen maksimum ve minimum kayma hızındaki kayma gerilimi değerleri	56
Çizelge 5.5. Numunelerdeki deformasyonların başlangıç ve sonlanma değerleri.....	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Şematik band diyagramı.....	6
Şekil 2.2. Tiyofen ile FeCl_3 'ün reaksiyonu.....	10
Şekil 3.1. Silikon yağı içerisinde dağılmış PT ve POM/PT taneciklerine elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi.....	17
Şekil3.2.Viskoelastik model tanımı a)Voigt Kelvin modeli b) Maxwellve Voigt–Klevin modelin seri bağlı şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.3. Bir polimerin sürünme–yenilenme profil eğrileri.....	25
Şekil 5.1. Numunelerin tanecik büyüklüğü dağılımı diyagramı a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6	38
Şekil 5.2. Kolloidal kararlılığa kompozit bileşiminin etkisi.....	43
Şekil 5.3. K2 nolu numunenin kolloidal kararlılığına derişimin etkisi	43
Şekil 5.4. Paralel plaka elektrotlarda ERA' nın akış durumu	45
Şekil 5.5. K2 nolu kompozitin akış sürelerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	46
Şekil 5.6. Numunelerin akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi	47
Şekil 5.7. K2 için ER verimi üzerine derişimin etkisi, $E = 0$ ve $E = 2,57 \text{ kV/mm}$	49
Şekil 5.8. K2 için çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin derişim ile değişimi.....	50
Şekil 5.9. K2 kompoziti için derişimin kayma gerilimi üzerine etkisi.....	51
Şekil 5.10. Kayma geriliminin elektrik alan kuvvetinin karesiyle değişimi	53
Şekil.5.11.Viskozite üzerine elektrik alan kuvvetinin karesinin ve kompozit bileşiminin etkisi	54
Şekil 5.12. Numunelerin kayma gerilimi ve viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi $c = \%25$, $T = 25^\circ\text{C}$, a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g)K6.....	57

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi	61
Şekil 5.14. Numunelerin frekans ile elastik modülün değişimi.....	62
Şekil 5 15. K2 nolu .kompozit için polarizasyon kuvvetinin derişim ile değişimi ...	63
Şekil 5.16. a) PT b) K4 c) K6 için zaman ile elastik modülün değişimi.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Numune yüzey alanı
C	Kapasitans
$^{\circ}C$	Derece Celcius
c	Derişim
d	Numune kalınlığı
E	Elektrik alan kuvveti
E	Elastik modül
E_k	Kritik elektrik alan kuvveti.
e	ER verimi
f	Frekans
F	Polarizasyon kuvveti
i	Örnek yüzeyinden geçen akım
ρ	Tanecikler arası mesafe
r	Tanecik yarıçapı
r	Tanecik yarı çapı
T	Sıcaklık
t	Zaman
V	Uygulanan potansiyel
τ	Kayma gerilimi
γ	Kayma hızı
ε	Kayma gerinimi
ε^0	Boşluğun dielektrik sabiti
ε	Örneğin dielektrik sabiti
η	Viskozite
τ_E	Polarizasyon katkısı

η_s	Süspansiyon viskozitesi
ρ	Yoğunluk
σ	İletkenlik
ϵ_2	Taneciklerin dielektrik sabiti

Kısaltmalar

ER

ERA

K1

K2

K3

K4

K5

K6

POM/PT

PT

SO

Açıklama

Elektroreoloji

Elektroreolojik akışkanlar

%86 Poli(oksümetilen)

%14 Politiyofen kompoziti

%71 Poli(oksümetilen)

%29 Politiyofen kompoziti

%58 Poli(oksümetilen)

%42 Politiyofen kompoziti

%32 Poli(oksümetilen)

%68 Politiyofen kompoziti

%28 Poli(oksümetilen)

%72 Politiyofen kompoziti

%12 Poli(oksümetilen)

%88 Politiyofen kompoziti

Poli(oksümetilen)/ politiyofen kompoziti

Politiyofen

Silikon yağı

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 fakat 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, polietilen poşetlerden araba lastiklerine, çocuk oyuncaklarından kışın giydiğimiz botların tabanlarının yapımına kadar, pek çok sahada kullanılarak hayatımızın vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir.

Son yıllarda, polimerlerin kullanım alanlarının yaygınlaşması, polimerlerle ilgili çalışmaları hızlandırmıştır. Bu sebepten, bilim adamları yeni polimerlerin araştırılıp sentezlenmesinden ziyade mevcut polimerlerin özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu amaçla kopolimerler ya da kompozitler sentezlenmektedir [1-3].

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir.

Bu duruma bir örnek olarak, doğal kauçuğun içerisine pamuk liflerinin katılarak 3 tabakadan oluşturulan kompozit malzeme olan yağmurluğu verebiliriz. Bu kompozit malzemede kauçuk su geçirmezliği sağlarken, pamuk tabakaları da yağmurluğu rahatlıkla giyilebilecek bir hale getirilmiştir.

Kompozit malzemeler kullanım alanlarını yaygınlaştırmak amacıyla Elektroteoloji (ER) çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [4-6].

Elektroreoloji (ER), malzemelerin elektrik alan altında deformasyon özelliklerinin incelendiği bir bilim dalıdır. ER 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 ER araştırmacılarının dikkatini çekmiştir.

Bu çalışmada; kimyasal yöntemle sentezlenmiş olan politiyofen (PT) homopolimeri ve farklı yüzdelerde PT içeren poli(oksümetilen)/politiyofen (POM/PT) hazır kompozit numuneleri ile çalışıldı [7]. Numunelerin dinamik ışık saçılımı (DLS) ile tanecik büyüklüğü tespit edildi. Empedans analizörü ile dielektrik sabiti ve iletkenliği hesaplandı. Empedans analizörü ile yapılan ölçümlerden elde edilen iletkenlik değerleri dört nokta iletkenlik ölçüm cihazı ile elde edilen iletkenlik değerleri ile karşılaştırıldı. PT homopolimeri ve POM/PT kompozitlerinin yalıtkan silikon yağı içerisinde (SO) çeşitli derişimlerde süspansiyonları hazırlandı, bu süspansiyonların çökelmeye karşı kararlılıkları tespit edildi ve elektroreolojik aktiviteleri incelendi. Son olarak da numunelere sürünme testleri uygulanarak visko-elastik özellikleri belirlendi.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tarihçe

Kompozit malzemeler ile ilgili ilk çalışmalar 1900'lerin başında termoset fenol polimerlerinin içerisine parçacık veya lif formunda güçlendirici malzemelerin konmasıyla başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında özellikle İngilizler tarafından kompozitlerle ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra kompozitlerdeki ilk gelişmeler, cam ile güçlendirilmiş plastikler üzerine olmuştur. Günümüzde kompozitler, çok sayıdaki yeni gelişme ve değişik uygulamaların vazgeçilmez malzemesi konumuna gelmiştir. Örneğin, beton bir kompozit malzemedir. Çimento ve kumdan yapılır ve çoğunlukla dayanımını arttırmak için içerisine çelik çubuklar katılır. Polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafiftirler. İletken polimerlerin ve polimer kompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonuna yönelik pek çok çalışma yapılmaktadır [8,9].

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerde temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Kompozit malzemede genelde aşağıdaki 4 koşulun bulunması tercih edilmektedir:

- İnsan yapısı olmaması, dolayısıyla doğal bir malzeme olması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri bünyesinde bulundurması. Buna göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen, makroskobik açıdan ise homojen bir davranış sergilemektedir.

2.2.1. Kompozit malzemelerin sağladığı avantajlar

Kompozitler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan birisidir. Kompozitler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha hafiftir. Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar. Kompozitlerin antikorozyon özelliği, diğer üretim malzemelerinden üstün olan niteliklerinden biridir. Kompozit ürünlerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilmek suretiyle, amaca uygun kendinden renkli olarak da üretilebilir. Kompozitler, cam kadar ışık geçirgen olabilir. Tam şeffaf olması nedeni ile ışığı yayması sayesinde, diffüze ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kollektörü yapımında önemli avantaj sağlar.

Poliester içeren kompozit malzemeler beton ve ahşap gibi gözenekli yüzeylere yapışma özelliğine sahiptir. Ancak ahşabın kuru olması ve stiren ihtiva eden polyester reçine ile iyi bir şekilde emdirilmesi gerekir. Demir yüzeyler ise üzerindeki pas ve yağ kalıntıları temizlendikten sonra kompozitlerle kaplanabilir. Bu sayede demir ve çelik yüzeyler, kompozitlerle kaplanarak korozyon etkilerinden korunmaktadır.

Kompozitlerin alev dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlıdır. Alev dayanım özelliğinin arandığı yerlerde “alev dayanımlı polyester” kullanılmalıdır. Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyester reçineler ile yapıldığı için yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isı dayanıklılığı kullanılan polyester reçinenin cinsine bağlıdır. Kompozitler içine demir, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri farklılaştırılabilir.

Kompozitlerin sağladığı bu avantajların yanı sıra aşağıda belirtilmiş olan dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- (i) Hammaddenin pahalı olması,

- (ii) Malzemelerin kalitesinin üretim yönteminin kalitesine bağlı olması ve buna bağlı olarak standartlaşmış bir kalite olmaması,
- (iii) Kompozitlerin kırılğan malzemeler olması ve bu sebeple kolaylıkla zarar görebilmesi,
- (iv) Bazı kompozitlerin raf ömürlerinin sınırlı olması,
- (v) Kompozitler onarılmadan önce çok iyi temizlenme ve kurutulmaya ihtiyaç göstermesi.

2.3. Polimerlerde İletkenlik

İletken polimerler keşfedilmeden önce polimerlerin yalıtkan olduğu düşünülmektedir. Bunun sebebi, polimer zincirindeki atomların kovalent bağlarla bağlı olmasıdır. Metaller, elektron bulutu ile çevrili, değerlik elektronları delokalize olabilen ve metalik bağlar yapabilen iletkenlerdir. Karbon atomları ile doyurulmuş kovalent bağlı moleküllerde değerlik elektronlarının delokalizasyonu bile söz konusu değildir. Dolayısıyla yük taşıyıcı türlerin hareketi de olanaksızdır. Karbon atomlu bir konjuge molekülde π bağı elektronlarının etkileşimiyle elektron delokalizasyonu sağlanabilir ve uzun konjuge molekül iletken hale geçebilir [10].

İletkenlik özelliği elektronların serbestçe hareket etme özelliğidir. Atomik bağ sistemine sahip olan katılarda elektronlar belirli enerji bandlarında hareket ederler. Her enerji bandının kendisine özgü elektron alabilme yeteneği bellidir. Bu bandlar dolu ya da boş olabilir. Elektronların ise bir enerji bandında bulunabilmeleri için belli bir enerjiye sahip olmaları gerekir. Bandlar tam boş ve tam dolu olmadığı için iletkenlik gözlenir. Yalıtkanlarda ise bu bandlar tam dolu veya boş olduğundan iletkenlik söz konusu değildir.

Elektron içeren en yüksek enerji bandına değerlik (valans) bandı ve bunun üstündeki boş enerji bandına ise iletkenlik bandı denir. Yalıtkanlarda bu iki band geniş bir

yasak enerji aralığı ile birbirinden ayrılmış durumdadır. Yarı iletkenlerde ise bu yasak bölge dar olup bir ışık ve ısı kaynağından alınan 1 eV gibi bir enerji ile elektronlar bu yasak bölgeden geçebilir ve iletkenlik gösterebilirler. Metallerde ise bu iki bandın üst üste gelip elektronların kolayca hareket etmesiyle iletkenlik sağlanmış olur.



Şekil 2.1. Şematik band diyagramı

Günümüzde bazı polimerlerin metallerle yalıtkanlar arası bir iletkenliğe sahip oldukları bilinmektedir. Bu polimerler iletken polimerlerdir. Fotoiletken polimerlerde iletkenlik fotokimyasal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Normal hallerinde yalıtkan olan bazı polimerlerin yükseltgen veya indirgen bir madde ile muamele edilerek tuzları hazırlanır. Bu şekilde metallerle karşılaştırılabilecek düzeyde iletken polimerler elde edilir [11].

İletken polimerin metal malzemelere kıyasla avantajları ve dezavantajları

Avantajları: Düşük yoğunlukta olması, daha fazla korozyon, oksidasyon dayanımı ve kimyasal direnç göstermesi ve işlenebilirliğinin kolay olmasıdır. **Dezavantajları:** polimerlerin düşük sürünme dayanımı, aşınma, termal olarak kararlı bir malzeme olmamaları ve sınırlı sayıda işleme tekniği bulunması.

2.4. İletken Polimerlerin Sınıflandırılması

İletken polimerler genellikle üç ayrı kısımda incelenir:

- Homopolimerler
- Kopolimerler
- Kompozitler ve blendler

2.4.1. Homopolimerler

Tek tür merden oluşan polimerler olup polianilin, politiyofen, polipirol ve polifuran iletken polimerlere örnek olarak gösterilebilir. Elektrokimyasal bir çalışmada; o-kloranilin, p-bromanilin ve N-metilanilin monomerlerinin perklorik asit içerisinde polimerleştirilmesiyle hazırlanan homopolimerlerin özellikleri incelenmiştir [12].

2.4.2. Kopolimerler

İki ayrı merden oluşan polimere kopolimer denir. Sarı ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada [13], pirol ve anilin monomerlerinin çeşitli çözücü ve elektrolit içeren çözelti ortamında elektropolimerleşmesi sağlanarak polianilin üzerine polipirolün kaplanmasıyla kopolimerleri elde edilmiştir.

2.4.3. Kompozit ve blendler

İletken polimerler, oldukça yüksek bir iletkenliğe sahip oldukları halde, mekanik ve işlenebilme özellikleri bakımından pek uygun değildir. Bu kusurlarını iyileştirmek veya tümünden yok etmek için, iletken polimerlerle kompozitler hazırlanır. Kompozit hazırlanırken iletken bir polimer filmi diğer bir iletken veya yalıtkan polimer üzerine kaplanır. Ancak bu iki polimer tabakası üst üste değişik şekillerde yerleşebilir. Bunlardan birincisinde yüzeyler arasında herhangi bir kimyasal bağ yoktur. Bu tür yerleşmeye “bilayer” veya “ikili tabaka” denir. İkincisinde polimer tabakaları

arasında kimyasal bağlanma olur. Bu türe de “blok kopolimer” denir. Üçüncü halde ise iç tabaka içine dış tabaka difüzlenerak kompozit oluşur.

Bu konuda yapılan bir çalışmada polifuran (PFu) ve poli(2-kloranilin) (P2ClAn) homopolimerlerinden oluşan kompozitler sulu ve susuz ortamda kimyasal yöntem ile sentezlenmiştir. PFu/P2ClAn kompozitinin P2ClAn/PFu kompozitinden ve homopolimerlerden ısısal olarak daha kararlı olduğu ve kompozitlerin homopolimerlerden daha yüksek iletkenliğe sahip oldukları tespit edilmiştir [14].

Bir başka çalışmada ise furan ve tiyofen monomerlerinin elektrokimyasal yöntemle PFu/PT ve PT/PFu ikili tabaka polimerleri (bilayer) sentezlenerek bazı özellikleri incelenmiştir [15].

Özellikle 2 ya da daha fazla polimer mekanik olarak süspanse edilerek veya bir çözücü içinde karıştırılmasıyla da blendler elde edilir. İki homopolimerden oluşan blendlerle ilgili bir çalışmada da [16], düşük yoğunluklu polietilen (PE) ile nötral ve doplu poli(3-dodesiltiyofen) (P3DDT) karıştırılarak çeşitli blendleri hazırlanmış ve bu blendlerin yapısı incelenmiştir. Blendin özelliklerini, blendeki iletken polimer miktarının etkilediği tespit edilmiştir.

2.5. Politiyofen

Politiyofen (PT) çeşitli dopantlarla yükseltgenerek veya indirgenerek genellikle kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle sentezlenmiştir. Kovacic ve arkadaşları [17], çeşitli katalizör ve çözücüler kullanarak tiyofeni kimyasal olarak polimerleştirip değişik yapıda PT yapıları sentezlemişlerdir. En yüksek verimi, $AlCl_3$ başlatıcısı ve karbondisülfür (CS_2) çözücü sistemi ile elde etmişlerdir. Tiyofenin hem indirgenebildiğini hem de yükseltgenebildiğini göstererek disproporsiyona uğradığını ve tek basamakta yüksek bir verimle polimerin elde edilebileceğini belirlemişlerdir. Tiyofenin bu özelliğinden yararlanılarak bir tiyofen türevi olan 3-metil-4-feniltiyofen monomeri önce $SbCl_5$ dopantı ve asetonitril çözücüsü içinde kimyasal olarak

polimerleştirilmiştir. Daha sonra elektrokimyasal yöntem ile LiClO_4 elektrolitinde p-doping ve n-doping işlemleriyle sentezlenmiş ve p-doping işleminin ClO_4^- iyonunun difüzyonuna, n-doping işleminin Li^+ iyonunun difüzyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir [18].

Kimyasal polimerleşmede monomerin yükseltgenme potansiyeli büyük bir öneme sahiptir. Tiyofenin yükseltgenme potansiyeli düşük olduğu için kimyasal yöntem ile iyi sonuçlar alınmaktadır. Bu durum bazen tiyofen türevleri için geçerli olmamaktadır.

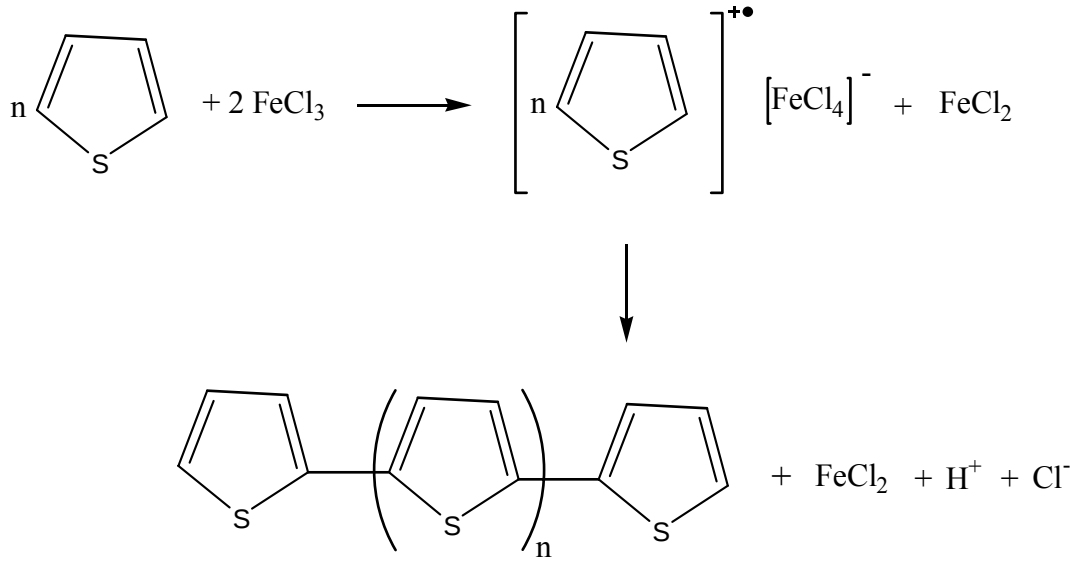
Son birkaç yılda tiyofen ile ilgili çalışmaların artmasıyla iletken polimerlerin teknolojiye uygulama alanları da artış göstermektedir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Tiyofen ve pirol monomerleri, alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) filmler üzerinde plazma polimerleşmesi ile polimerleştirilmiş ve çeşitli analizler sonucu bu hazırlanan filmlerin kimyasal yöntemle hazırlanan filmlerden daha düzgün ve yumuşak olduğu tespit edilmiştir [19].

Bir başka çalışmada; tiyofen kimyasal yöntem ile sentezlendikten sonra Li//PT hücresinde pil elektrotu olarak kullanılmış ve elektrokimyasal özellikleri incelenmiştir. Li//PT pil sisteminin kapasitesinin küçük olmasına karşın 3,6 V'luk yüksek potansiyeldeki bir güç kaynağı olarak kullanımının mümkün olduğu önerilmiştir [20].

Poli[3(Nsüksinimidpfenilkarboksilat(tetraetoksi)oksi)4metiltiyofen]'inelektrokimyasal yöntem ile hazırlandığı bir çalışmada Bera-Aberem (2004) ise çok sayıda fonksiyonel ve kromofor gruplar içeren bu polimerin kimyasal ve biyokimyasal bilgi verdiği tespit edilmiştir. Hazırlanan bu polimerin kimyasal sensör veya biyosensör olarak kullanılabileceği önerilmiştir [21]. Bir diğer çalışmada elektrokimyasal yöntem ile farklı oranlarda anilin ve tiyofen içeren kopolimerler hazırlanmış ve yapıdaki politiyofen miktarı arttıkça kopolimerlerin iletkenliğinin de arttığı belirlenmiştir[22]. 2,5-dihekziltiyofen'den bir tiyofen oligomerinin sentezlendiği

çalışmada; Si ve SiO₂ kapı elektrotları da kullanılarak tiyofen oligomerinden esnek yapıda organik alan etkili transistör yapılmıştır [23].

Tiyofenin kloroform çözücüsünde FeCl₃ başlatıcısı ile vermiş olduğu reaksiyon yapılan bazı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [7].



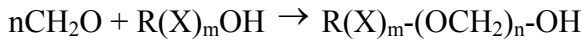
Şekil 2.2. Tiyofen ile FeCl₃'ün reaksiyonu

2.6. Poli(oksümetilen) (POM) ve Özellikleri

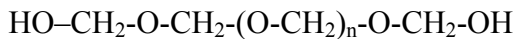
Tekrarlayan oksümetilen gruplarına sahip poli(oksümetilen) (POM); poliasetal reçinesi olarak adlandırılmakta ve metalik yapılara katılmak için kullanılan, mekanik, ısısal ve elektriksel özellikleri iyi olan bir mühendislik plastiğidir.

POM'in camsı geçiş sıcaklığı (T_g) -13°C iken, kristal erime sıcaklığı (T_m) 165°C'dir. Çeşitli yöntemler ile poliasetal reçinesi elde etmek mümkündür. Bunlardan ilki; formaldehitin polimerleşmesi ile elde edilirken, ikincisi; trioksan ve etilenoksitin kopolimerleşmesi ile elde edilen asetal kopolimeridir. Üçünü bir yöntem ise; uygun zincir transferini sağlayabilecek bir yapının bulunduğu formaldehitin

polimerleştirilmesidir. Zincir transferini sağlayacak yapı olarak aktif hidrojenli fonksiyonel bir polimer kullanılmıştır:



Elde edilen asetal kopolimeri, ısısal olarak kararlı $\text{R}(\text{X})_m$ ve kararsız olan $-\text{OH}$ grupları ile sonlanmıştır. $-\text{OH}$ grubunun asetik anhidrit ile asetillenmesiyle her iki ucu da kararlı hale getirilebilir. Bu bakış açısından yararlanılarak yapılan bir çalışmada stearyl ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}$) gibi uzun zincirli bir alkil grubu ile sonlanan POM, trioksanın polimerleşmesi ile elde edilerek çeşitli özellikleri incelenmiştir. Polar POM ile apolar polietilen (PE) bloklarından oluşan blok kopolimerler hazırlanarak termal özellikleri incelenmiştir. 95°C 'de stearyl grubunun kristallenme sıcaklığı gözlenirken, POM $170\text{-}174^\circ\text{C}$ 'de bozunmuştur [24]. Genel olarak POM'in açık zincir yapısı aşağıdaki gibidir:



POM'in ısısal özelliklerinin incelendiği bir başka çalışmada ise [25], üç aşamada gerçekleşen bozunma reaksiyonlarında öncelikle yapıdan formaldehit yapılarının ayrıldığı, daha sonra ise formaldehit, asetaldehit, etilen oksit, propan, etan ve karbondioksit gibi küçük molekül kütleli birimlerin ayrıldığı tespit edilmiştir. Formaldehit gruplarının polimerin kristallliğini etkilediği ve termal analiz sonunda polimerin yaklaşık %90'ının bozunduğu belirlenmiştir.

POM yapısına bazı modifiye ediciler katılarak mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Zn atomları (Surlyn) ve vinil asetat (Elvax) ile iyonlaştırılan merlerin iki etilen kopolimeri modifiye edici olarak kullanılmıştır. %70 oranında lifimsi kristal yapıya sahip POM'in yapısına modifiye ediciler katıldığında polimerin homojenliğinin azaldığı ve bunun sebebinin de modifiye edicilerin esas polimere zayıf adezyon kuvvetiyle bağlandığı tespit edilmiştir. Mekanik özellikleri incelendiğinde ise modifiye edicilerin polimerin elastik modülünü pek fazla

değiştirmedeği belirlenmiş ve dolayısıyla POM'in kullanıldığı alanlarda kullanılabileceği önerilmiştir [26], POM ve poliamit (PA6), Surlyn ile modifiye edilip mikro yapılarına plastikleştiriciler katıldığında kristal yapılarının farklılaştığı tespit edilmiştir. Plastikleştirici oranı arttıkça yüzey yapısı küreselleşmiştir.

Plastikleştiriciler sayesinde bükülebilir ve kaydırılabilir POM elde edilirken, plastikleştiriciler POM'in kopma noktasındaki uzama değerini pek fazla değiştirmemiştir [27]. Bir diğer çalışmada ise POM'in modifiye edicilerle birlikte blendleri hazırlanmıştır. Etilen-metakrilik asit kopolimerlerinin Na ve Zn katyonları ile iyonlaştırılmasıyla elde edilen modifiye edici monomerler ile metil metakrilat-stiren-bütadien kopolimeri de kullanılarak sentezlenen POM'li blendlerin yapıları incelenmiştir. Modifiye ediciler sayesinde POM'in elastikliği artmış, kristallliği azalmış, katyonik monomerler ve POM arasındaki iyonik etkileşimler sonucunda ergime akış indeksi ölçülürken viskozitesinde bir artış gözlenmiş ve yüzey yapıları incelendiğinde ise modifiye edicilerin fazlar arasında bir geçiş bölgesi oluşturdukları tespit edilmiştir [28].

3. ELEKTROREOLOJİ

3.1. Elektroeoloji Olayı

Elektroeoloji, elektrik alana maruz kalan bir akışkanın, akış özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelendiği bilim dalıdır. Yani elektroeolojide elektrik alanın sıvı dispersiyonlar üzerine olan etkisiyle ilgilenilir. 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), süspansiyon ortamı, dağılan taneciklerin dielektrik özellikleri ve promoter olarak rapor edilmiştir [29]. Tarihte ER olayının ilk adımı 1896 da Alexander Wilmer Duff tarafından atılmıştır. Duff, gliserin, kunduz yağı ve ağır parafin üzerinden elektrik alan geçirerek viskozitelerindeki küçük değişimleri gözlemlemiştir [30]. Elektroeolojik ve magnetoeolojik parçacıklarla aktif olarak çalışılmaya başlanması, 1940’larda Willis M. Winslow tarafından gerçekleştirildi. Winslow deneysel çalışmalara başladığında, düşük ve yüksek viskoziteli yalıtkan yağlarda yarı iletken tanecikleri dispers ederek hazırladığı ortamlarda elektrik alan uygulanmasıyla viskozitenin arttığını gözledi. Winslow’ un 1940’larda aldığı üç patentten [31-33], ilki 1947’de ER akışkanın tork şanzımanında uygulanmasıyla ilgili olarak verildi. Daha sonra araştırma sonuçlarını yayınlamasıyla ER bilimi doğmuş oldu ve onu keşfeden bilim adamının ismine atfen “Winslow Etkisi” olarak anıldı [29].

3.2. Elektroeolojik Akışkanlar

Elektroeolojik akışkanlar (ERA), bir elektrik alanın mevcudiyetinde fiziksel halini değiştiren maddelerdir. Elektroeolojik bir akışkan, etkisinde kaldığı alanın şiddetine bağlı olarak su gibi serbestçe akabilir, bal gibi süzülebilir ya da jelatin gibi katılaşabilir. Gerçektende birkaç milisaniye içinde ERA bir halden diğerine geçebilmektedir. ERA; yalıtkan bir sıvı içinde süspansiyon halindeki mikroskobik

parçacıklardan meydana gelir. Süspansiyon, belirli madde parçacıklarının bir akışkan içinde çözünmeden ve dibe çökmeden karışmış olması halidir.

Elektroreolojik akışkanda kullanılan taşıyıcı sıvı ile tanecikler arasındaki dielektriksel uyum, elektroreolojik etkiye artış sağlar. İletken polimerler; elektriksel özelliklerinin modifiye edilebilirliklerine bağlı olarak, elektroreolojik malzemelerin önemli bir sınıfını oluştururlar. Elektroreolojik 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 surfaktantlar ve gliserin, etil alkol ve su gibi diğer polar sıvılar da önerilir [34]. ERA'nın 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. Elektroreolojik bir akışkan içerisinde parçacıklar tarafından oluşturulan zincirler akışkan kabının bir ucundan diğer ucuna doğru hızla büyür. Elektroreolojik etki bu zincirlerden meydana gelen kayma geriliminden kaynaklanır.

Süspansiyonun kayma gerilimi büyük ölçüde tanecik derişimlerine bağlıdır. Akışkan içerisindeki dağılmış tanecik derişimi ne kadar fazla ise, akışkanın kayma gerilimi o kadar fazladır.

İdeal bir elektroreolojik akışkanın şu özelliklerde olması beklenir

- Tanecikler küresel ve eşit tanecik boyutlarındadır.
- ERA 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

3.3. Elektoreolojik Akışkanların Reolojisi

Bir akışkanın elektoreolojik 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 elektoreolojik akışkanın reolojik özellikleri, elektrik alan uygulandığında, Newtonian' dan Bingham türü akışa kadar bir geçiş sergiler. Bir elektoreolojik akışkanın herhangi bir elektrik alan değerinde kayma hızı ile kayma gerilimi arasındaki bağıntı, Eş. 3.1 ile verilmektedir [36].

$$\tau = \tau_E + \eta_s \dot{\gamma} \quad (3.1)$$

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

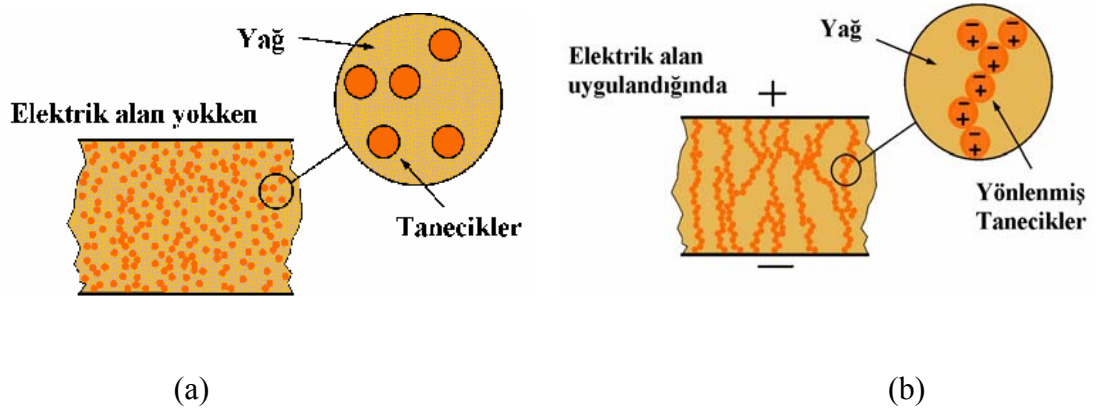
$$\tau = \tau_y + \eta \frac{du}{dy} \quad \tau > \tau_y \quad \text{ise} \quad (3.2)$$

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

3.4. Elektoreolojik Akışkanlarda Yapı Oluşumu

Winslow ve ardından diğer araştırmacılar [37], yaptıkları deneylerde elektoreolojik akışların içerisindeki taneciklerin elektrik alan (E), uygulandığında lif yapısı oluşturduklarını gözlemişlerdir. Bu liflerin statik akma verimini (τ_0), elektrik alana ilişkilendiren mekanik bağlantılar sağladığı varsayıldığından ER olayında bunlar çok önemli kabul edilmiştir [38]. Bununla birlikte elektrotlar kutuplaşıp ER akışkan akmaz iken elektrotlar arasında sağlanan uzaysal bağlantı, aşırı kayma gerilimini, $\Delta\tau$ ($\tau_{E \neq 0} - \tau_{E=0}$), kendi başına açıklamaya yetmez. Bu akış esnasında hiçbir etkileşim veya assosiasyon olmadığı anlamına gelmez, aksine bu tür yapıların akış esnasında elektrotlar arası boşluğu nasıl doldurabildiklerini anlamak zordur. Lif oluşumunun mikroskobik gözlemleri, elektrot takılmış olan çok dar mesafeli mikroskop yarıklarında ve seyreltik akışkanlarda yapılmıştır. En gerçekçi durumlarda akışın olduğu hücredeki elektrotlar arası mesafe 1 mm dir ve bu tür assosiasyon olaylarının doğrudan gözlenebilmeleri, ER akışkanlar optik ölçümler için oldukça bulanık olduklarından zordur. ER akışkanların durgun olduğu durumlarda, diğer elektrik sistemlerinde ve onların magnetik analoglarında olduğu gibi, akışkan içerisindeki taneciklerin elektrik alan etkisiyle Şekil 3.1'de görüldüğü gibi polarlanıp zincir oluşturarak assosiasyona uğramaları beklenilmektedir [39]. Bu durumun ER olayında ne derece önemli olduğu ise hala çözüm bekleyen bir konudur. Kullanışlı ER etkiler gösterebilen sistemlerin karakterizasyonunda birtakım güçlükler gözlenir. Öncelikle ER etki çözücü ve tanecikler arasındaki büyük dielektrik farkı ile yakından ilgilidir. Dış elektrik alan etkisi altında bu fark süspansiyon içerisinde homojen olmayan elektrik alanlar meydana getirir. Bu da ER akışkanı zincir şeklinde assosiyeye olmuş veya lif şeklini almış yapılara götürür. ER aktivitesi gösteren süspansiyonların

viskoziteleri elektrik alanının artışına bağlı olarak artar. Bunun nedeni süspansiyon içerisindeki elektriksel olarak uyarılmış tanecikler arasındaki etkileşimler ve hidrodinamik kuvvetlerdir.



Şekil 3.1. Silikon yağı içerisinde dağılmış PT ve POM/PT taneciklerine elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi. (a) Elektrik alan uygulanmadan önce (b) Elektrik alan uygulandığında ER taneciklerin durumu

3.5. ER Aktivite Üzerine Etki Eden Faktörler

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

3.5.1. Elektrik alan kuvveti

İyonik taneciklerden oluşan ve dağılma ortamı yalıtkan olan ER akışkanlarda dışarıdan bir elektrik alan kuvveti uygulandığında tanecikler polarlanır ve reometrenin plakaları arasında bir zincir oluşumu veya lif yapısı gözlenir.

Taneciklerin polarlanması sonucu gerçekleşen bu olay ER olayı olarak ifade edilir. Bu olay için doğru akım güç kaynağı kullanılır. Elektrik alan kuvveti genellikle 0 –

10 kV/mm arasında olabilir. Zincir yapısının kuvveti artan elektrik alan kuvvetinin karesiyle doğru orantılıdır. ER akışkanlar bu davranışlarını elektrotlar arasına elektrik alan uygulandığında sergileyebilirler. Bu olay tersinir olup, elektrik alan uygulanınca katılaştıran akışkan, elektrik alana kaldırılınca da tekrar sıvı hala dönüşür. Bu dönüşüm iyi bir ERA da milisaniye mertebesinde gerçekleşir.

Bir ER akışkana yüksek elektrik alan kuvveti uygulandığında bir gerilim elde edilir. Kritik elektrik alan kuvveti (E_k) varlığında ER akışkan hiçbir ER etki göstermez, ancak yüksek elektrik alan uygulandığında, kritik elektrik alan kuvvetinden daha yüksek değerlerde gözlenebilir. Gerilimin elektrik alan ile orantılı olarak arttığı bulunmuştur [40].

$$\tau_v = k(E - E_k) \quad (3.3)$$

τ_v : Bir ER akışkan için gerilim,

K: Bir sabit,

E: Uygulanan elektrik alan kuvveti,

E_k : Kritik elektrik alan kuvveti.

Ayrıca elektrik alan kuvveti, yeterli miktarda arttırıldığında viskozitede aynı oranda bir artış meydana geldiği görülür [41,42].

3.5.2. Elektrik alan frekansı

ER çalışmaların pek çoğu dc elektrik alan kuvveti altında (sabit frekansta), bazıları da ac elektrik alan kuvveti altında (değişken frekansta) yapılmıştır. Alan frekansının ER aktivite üzerine etkisi değişkenlik göstermektedir. Gao ve Zhao β -siklodekstrin polimeri ile aktivite değişimini incelemişlerdir. 100 Hz'ten sonra frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığı kaydedilmiştir [43]. Yılmaz ve arkadaşları PMMA-b-PSt/SO sistemi ile yaptıkları çalışmada frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığını rapor etmişlerdir [44].

Belirgin bir ER etki elde etmek için çoğu zaman dc elektirik alan kullanılır. ER etkinin mekanizması ve karşılık verme zamanını belirleme ile ilgili, çalışmalarda dc elektrik alan daha çok tercih edilir. Bir ER akışkanın karşılık verme zamanı yaklaşık 1 ms olduğundan, viskozite ve kayma geriliminin frekansın artması ile azalması beklenir, bununla beraber yüksek frekansta elektrik alan değişiminin frekansa bir etkisi yoktur.

3.5.3. Tanecik iletkenliği

Bir dış elektrik alan kuvveti altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli bir rol oynadığı bilinir. Burada tanecik dielektrik özellikleri ve iletkenliği ER etkinin oluşumuna neden olur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada taneciklerin 10^{-5} – 10^{-8} Sm^{-1} iletkenliğe sahip olduklarında iyi bir ER etki göstereceğini belirtmişlerdir [45]. geYüksek iletkenliğe sahip taneciklerin yüksek elektrik alan kuvvetlerinde elektriksel olarak bozulmaya uğradığı belirtilmektedir.

3.5.4. Tanecik dielektrik özelliği

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

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (3.4)$$

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

Polarizasyondaki iki parametrenin, yüksek ER davranışı için anahtar olabileceği düşünülmektedir. Bu mekanizma ile yüksek ER aktif materyallerin ara yüzey polarizasyon yöntemi ve tüm ER aktif davranışları açıklanabilmektedir. ER akışkanlarda parçacıkların polarizasyon özelliği ve iletkenlik önemli rol oynamaktadır. Hao [46], ER etkinin ara yüzey polarizasyonu ile ilgili olduğunu ve ara yüzey polarizasyonunun ER akışkanın iletkenliği ve dielektrik sabiti tarafından

belirlendiğini belirtti. Araştırmacıların TiO_2 süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada yüksek dielektrik sabitinden dolayı iyi bir ER etki gözlenememiştir. Çünkü yüksek dielektrik sabitine sahip taneciklerde elektrik alan kuvveti altında yüksek dielektrik kaybı meydana gelmektedir. Yang ve arkadaşları bakır ftalosiyanın ile dop ettikleri TiO_2 'in silikon yağı içerisindeki süspansiyonlarında, daha düşük dielektrik sabitine sahip olması nedeniyle yüksek ER etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [47]. Otsubo silika süspansiyonlarının yüksek dielektrik sabitinden dolayı yüzeylerine su absorplamalarının ER performans için önemli bir faktör olduğunu bulmuştur [48]. Gehin ve arkadaşları 10^{-9} Sm^{-1} iletkenliğe sahip olan silika süspansiyonlarının 1000 Hz frekansta dielektrik sabitinin 2,68 olduğunu bulmuşlardır [49].

3.5.5. Derişim

ER akışkanların tanecik hacim kesri, yalıtkan yağ içerisinde dağılmış iletken taneciklerinin miktarının ölçüsüdür. Yağ içerisinde dağılmış taneciklerin miktarı arttıkça ER aktivitesi de artar fakat bununda belirli bir sınırı vardır. Süspansiyon çok derişik olduğunda pasta kıvamını alır ve kolloidal kararsızlık göstermeye başlar. Elektrik alan kuvveti sıfır iken dahi süspansiyon katı halde bulunabilir. Elektrik alan yokluğunda ER akış süresi kısa, elektrik alan varlığında ise akış süresinin uzun olması istenir. Elektrik alan uygulandığında süspansiyonda büyük bir ER karşılığı alabilmek için, derişimin çok yüksek olmadığı kararlı bir süspansiyona ihtiyaç vardır. ER akışkanı hazırlamaktaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökmeye karşı direncinin korunamamasıdır. Bir ER süspansiyonda okunan gerilim ve viskozitenin büyüklüğünün değişimi tanecik hacim kesrine bağlıdır. Şahin ve arkadaşlarının polipirol süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada derişim arttıkça ER aktivitenin arttığı rapor edilmiştir [50]. Bu artış derişimin artmasıyla polarizasyon kuvvetlerinin artış göstermesi ve buna bağlı olarak ER aktivitenin artışını ifade eder.

3.5.6. Sıcaklık

Sıcaklığın ER akışkanların aktivitesinin değiştirmesinin başlıca 2 nedeni vardır. İlk neden sıcaklığın ERA'nın polaritesini değiştirmesidir. Sıcaklığın değiştirilmesiyle partiküllerin iletkenliği de değişir. İkincisi ise Brown hareketleridir. Sıcaklık taneciklerin çarpışma sayısının artmasını sağlar. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta Brown hareketleri artar ve taneciklerin lif yapısı yeterince zayıf hale gelirse, bu durum ER etkinin azalmasına neden olur. Eğer sıcaklık aşırı bir şekilde artarsa ER etki için sıcaklık baskın bir faktör olur. Ancak süspansiyonlarda Brown etkisi gözlenmez. Elektroeolojik akışkan kuru halde iken aktivite gösteriyorsa akışkanlığı sadece yağın viskozitesiyle sınırlıdır. Su veya başka bir aktivite sağlayıcı madde teşvik ediyorsa bazı problemler söz konusudur. Örneğin teşvik edici madde olarak su kullanılıyorsa, 70 °C'nin üzerinde suyun buhar basıncı artar ve kuruma olur. 0 °C'nin altında ise buzlanma problemi nedeniyle aktivite kaybolur.

Yaş ER süspansiyonların -20 ile +70°C arasında suyun donması ve buharlaşması ihtimalinden dolayı dar bir sıcaklık çalışma aralığına sahip olduğuna inanılır. Susuz ER süspansiyonlarında ise geniş bir çalışma sıcaklık aralığı mevcut olup, bununla beraber, yüksek sıcaklıkta büyük iletkenlik sağlanamaz ve çoğu susuz ER akışkanlar ise iyonik materyallerden yapılmıştır [51]. ER aktivite üzerine sıcaklığın etkisi karmaşıktır. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalarda çelişkiler gözlenmiştir. Yılmaz ve arkadaşlarının polimetilmetakrilat-blok-polisitren/silikon yağı sistemi ile yaptıkları çalışmada, 25-125°C sıcaklık aralığında kayma geriliminin sıcaklık ile değişimini incelemişlerdir [45] Kayma geriliminin artan sıcaklık ile azaldığını belirtmişlerdir. 25-125°C aralığında kayma gerilimi kaybı hesaplanmıştır. %20 polimetilmetakrilat-blok-polisitren/silikon yağı hazırlanan süspansiyonların minimum kayma gerilimi kaybı 140 Pa bulunmuştur. Liu ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada ise 25-95°C sıcaklık aralığında sıcaklık arttıkça ER aktivitenin arttığını rapor etmişlerdir [52].

3.5.7. Promoter

ER akışkanlar bir taraftan elektriksel bozunmayı engellemek için dispersiyon ortamı olarak iletken olmayan sıvılara ihtiyaç duyarken diğer taraftan ER etkiyi artırmak veya bazı durumlarda ER etkiyi gözleyebilmek için eser miktarda su veya başka polar sıvılara ihtiyaç duyarlar. Bu tür sıvılara promoter (teşvik edici) adı verilir. Bu sıvılar süspansiyon içerisinde polarizasyonu sağlar ve akışkanı ER aktif hale getirir. Çoğu ER akışkanlar yapılarında %0,01 ile %5 arasında promoter içermektedir. Çoğu durumlarda katkı maddeleri önemlidir. Block, katkı maddelerinden su, asit (organik ve inorganik) alkali, tuz ve yüzey aktif maddelerin yaygın olarak kullanıldığını rapor etmiştir [45]

3.5.8. Kayma hızı

Viskoz akmada deformasyon kayma hızı ile kayma gerilimine bağlıdır. Kayma hızı kayma gerilimi ile doğru orantılıdır. Bu orantının sabiti ise viskozite değerini verir. Eğer viskozite kayma hızından bağımsız ise sıvı “Newton yasasına uyan” (newtonian) veya “ideal” akışkan özelliği gösterir. Bazı durumlarda ise viskozite kayma hızındaki değişime bağlıdır. Süspansiyonların kayma incelmesi veya kayma kalınlaşması göstermesine göre kayma hızının etkisi değişir. Kayma incelmesi gösteren süspansiyonlarda artan kayma hızı ile viskozite azalma gösterir, Kayma kalınlaşması gösteren süspansiyonlarda ise artan kayma hızı ile viskozite artma gösterir.

3.5.9. Tanecik boyutu ve kolloidal kararlılık

ER akışkanların uygulamaları açısından karşılaşılan en büyük sorunlar kolloidal kararsızlık ve tortu bırakmadır. Kararlı bir koloidal dispersiyonun uzun bir zaman aralığında dispers olmuş fazı dağılma ortamında asılı kalabilmelidir. ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alan uygulandığında, bu etkileşimler sonucunda tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının yerçekimine karşı

dayanıklı ve kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Literatürde ER aktivite gösteren tanecik büyüklükleri 0,1–100 µm arasında olduğu belirtilmiştir [52].

3.5.10. Sürünme testleri

Sürünme uzun süre gerilim altında kalmaktan dolayı malzemenin içinde tersinmez deformasyonların birikmesi sonucu malzemedeki yapı taşlarının birbiri üzerine akmasına denir. Katılarda sürünme türü deformasyon gözlenir. Deformasyon türleri ikiye ayrılabilir. Bunlar tersinmez (viskoz) deformasyonlar ve tersinir (elastik) deformasyonlardır. Polimerlerde ilginç olan durum, bir polimerin aynı anda hem viskoz hem de elastik deformasyon gösterebilmesidir. Zamana bağımlı olan viskoz deformasyonlara örnek olarak cam macununun akması, zamandan bağımsız olan elastik deformasyonlara örnek olarak ise lastiğin gerilip bırakılmasını örnek olarak verebiliriz. Her iki deformasyonda madde üzerine uygulanan gerilim sonucu oluşur. Bu nedenle polimerdeki sürünme (creep) olayı visko—elastik karakterdir [55]. Polimerlerin, özellikle amorf polimerlerin, zaman bağımlı mekanik davranışları, moleküllerin birbiriyle olan karmaşık ilişkisinden kaynaklanmaktadır.

Viskoelastik davranışı açıklamak için elastik ve viskoz deformasyonları birleştiren basit bir model kullanılır. Bu elastik deformasyon bir yay örneği ile (zamana bağımsız) ve viskoz deformasyon yağ kutusu örneği ile (zamana bağımlı) gösterilir. Bu iki deformasyonun mekanik benzetmelerinin seri ve paralel bağlanması sonucu Maxwell ve Voigt—Kelvin modelleri elde edilir. Viskoelastik deformasyon için bu iki mekanik benzetme kullanılmaktadır. Bu modelleri tanımlayan eşitlikler aşağıda verilmiştir [56].

a) Elastik deformasyon;

$$\tau = E\varepsilon \quad (3.7)$$

b) Viskoz deformasyon;

$$\tau = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.8)$$

c) Maxwell modeli

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \left(\frac{1}{E} \right) \left(\frac{d\tau}{dt} \right) + \frac{\tau}{\eta} \quad (3.9)$$

d) Voigt Kelvin modeli

$$\tau = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.10)$$

Bu eşitliklerde;

ε : Gerinim

t: Zaman

η : Viskozite

τ : Gerilim

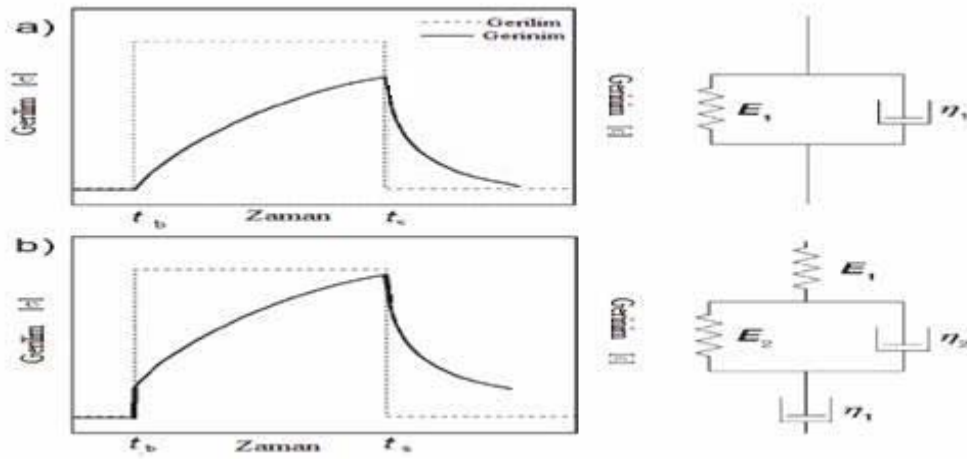
E: Elastik modül olarak tanımlanır.

Eş. 3.9’da belirtilen Maxwell modelinde gerilim altında elastik ve viskoz deformasyonlar beraber oluşacaktır. Elastik deformasyon hızlı olurken viskoz deformasyon yavaş olur. Gerilim kaldırıldığında, yay (elastik) eski konumuna gelecek fakat yağ kutusundaki gerilim aynen kalacaktır.

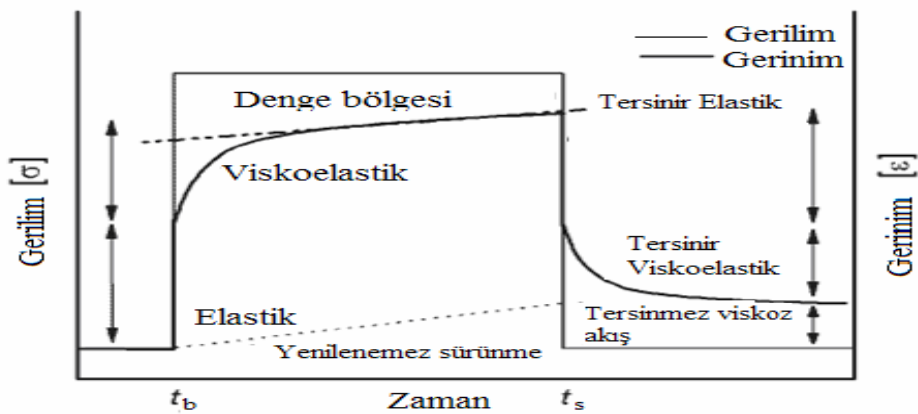
Eş. 3.10’da belirtilen Voigt—Kelvin modelinde ise durum biraz değişiktir. Maxwell modelinde yayın gerilimine karşı tepkisi anında olurken Voigt—Kelvin’ de yay yağ kutusuna bağlı olarak geçmiş bir tepki gösterir. Bu model, polimerin karmaşık yapısını gerilim altında daha iyi tanımlamaktadır. Gerilim uygulandığında yay

dengeye gelirken, yağ kutusunun buna karşı göstereceği sönümlenme direnci elastik deformasyonu geciktirecektir. Bu davranışa kısaca viskoelastik deformasyon denir. Bu model belirli bir zaman aralığında deformasyon başlangıcı (t_b) ve deformasyon sonlanması (t_s) zamanı olarak Şekil 3.2a’da şematik gösterilmiştir.

Sürünme olayını daha iyi tanımlayabilecek mekanik model Maxwell ve Voigt–Kelvin modellerinin karışımıdır. Bu iki modeli birbiriyle arka arkaya seri ve paralel bağlayarak ideal viskoelastik model açıklanabilir. 3.2b’ de seri bağlı modeli gösterilmiştir [57]



Şekil 3.2. Viskoelastik model tanımları a) Voigt Kelvin modeli b) Maxwell ve Voigt–Kelvin modelin seri bağlı şematik gösterimi



Şekil 3.3. Bir polimerin sürünme–yenilenme profil eğrileri

Şekil 3.3’de gösterilen bir polimer için tipik bir sürünme-yenilenme profili eğrisidir. Eğrinin ana bölgeleri polimerik malzemenin uygulanan gerilime karşı gösterdiği tepkinin başlangıç (t_b) ve bitiş (t_s) noktaları ile tanımlanır. Polimer üzerine t_b noktasına gerilimin uygulanmaya başlamasıyla malzeme anında uzama veya deformasyon gösterir, bu deformasyon elastiktir. Ardından, sürünmenin gözlemlendiği viskoelastik ve viskoz akışların gerçekleştiği bölgeye ulaşılır. Bu olaylı gerilim gerçekleşir ancak hemen ardından lineer denge bölgesine malzeme ulaşır. Bu eğri üzerine ekstrapole edilmiş noktalarla gösterilmiştir. Uygulanan gerilimin t_s noktasında sona erdirilmesinin ardından hemen tersinir elastik yenilenme gerçekleşir ve gerinimde çok hızlı bir düşüşe yol açar. Testin ilerleyen zamanlarında zaman-bağımlı tersinir viskoelastik yenilenme meydana gelir. Ancak bu yenilenme daha yavaş bir hızda cereyan eder. Malzeme üzerindeki nihai gerinim başlangıçta uygulanan gerinimden daha büyük görünüyorsa, malzeme üzerinde tersinmez, kalıcı ve yenilenemez bir viskoz akışın gerçekleştiği sonucuna varılır [58].

3.6. 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 [53].

ER viskozite, Eş. 3.5 ile tanımlanırsa;

$$\Delta\eta = \eta_E - \eta_0 \quad (3.5)$$

ER etkinin verimi;

$$e = \frac{\Delta\eta_E}{\eta_0} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Eş. 3.6'da kullanılan;

η_E = Süspansiyonun elektrik alan varlığında viskozitesi

η_0 = Süspansiyonun elektrik alan sıfırken viskozitesi

e = ER verimi

η_E değeri, belli bir tanecik derişiminde uygulanan elektrik alanla birlikte, taneciklerden oluşan zincir benzeri yapıların kayma değerindeki dirence bağlıdır. Tanecikler yokken taşıyıcı sıvının η_0 ve η_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 η_E değeri η_0 değerinden daha büyük olacaktır. ($\eta_E > \eta_0$). Çünkü elektrik alan varlığında tanecikler arasında zincir yapısı olduğundan 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 [54]. Lengalova ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [53] $Mg(OH)_2$, $Al(OH)_3$, 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.

3.7. Elektoreolojik Akışkanların Kullanım Alanları

Elektoreolojik akışkanların ilk gelişimi oldukça yavaştı. Çünkü bu akışkanların içerisinde su bulunuyordu ve yüksek sıcaklıkta iyi bir elektoreolojik performans göstermiyordu. ERA'nın gelişimi için fizik, kimya, mühendislik ve matematik alanlarında ortak bir gelişmeye ihtiyaç vardı ve o zaman için bu sağlanamadı. ERA Winslow tarafından icat edildiği zaman çok ilginç olmasına rağmen, çok az ticari üretimleri ve aletleri oluştu. Bunun nedenleri;

- Hazırlanan elektoreolojik aktif malzemelerdeki kayma geriliminin yeterince yüksek olmaması
- Yeterli çalışma sıcaklığı aralığında elektoreolojik performans gösterecek ERA hazırlanamaması,
- Elektoreolojik süspansiyonların koloidal kararlılığının düşük olması ve tortu bırakması
- Elektoreolojik etkinin kontrolü için ileri teknoloji eksikliğinin bulunması

Bunların birçoğunun çözümü ise son zamanlarda bulundu. Şimdiye kadar ERA'nın birçok patentleri alınmıştır. Şok absorplayıcılar, debriyaj ve fren sistemleri, titreşim sönümleyiciler, hidrolik valfler, aktivatör, binaların temelinde, robotlar ve yapay organlar gibi kullanım alanları önerilmiştir [5, 59-64].

Bunlara ilave olarak, fotonik kristal algılayıcı, lamba anahtarı, mekanik cıvalayıcı, monitörler, mürekkepli yazıcılar, mekanik algılayıcılar ya da sismograflar gibi ERA'nın kullanılacağı birçok alan gelecekte geliştirilecektir [51].

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

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

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

4. DENEYSEL KISIM

4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Silikon yağı: Aldrich; $\eta = 1000$ mPas ; $d = 0,97$ g/cm³ (T = 25 °C de); $\epsilon = 2,61$.

Poli (oksümetilen) Aldrich (T_g: -13°C, T_m:175°C, asetat ile sonlanmış)

Deneylerde kullanılan diğer tüm kimyasallar Merck firmasına ait olup, analitik saflıkta olduklarından ileri bir saflaştırmaya tabi tutulmadan kullanıldı.

4.2. Homopolimer ve Kompozitlerin Sentezi

Yapılan bu çalışmada politiyofen ve polioksümetilen/politiyofen kompozitleri hazır numuneler olarak kullanılmıştır. Ancak numunelerin yetişmediği deneylerde ilave sentezler de yapılmıştır. Bu nedenle politiyofen ve POM/PT kompozitlerin sentezleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir:

Homopolitiyofen sentezi

Kimyasal yöntemle politiyofen sentezinde, $n_{\text{monomer}} : n_{\text{tuz}} = 1:2$ olarak alındı. 18,7 mmol (1,575 g; 1,5mL) tiyofen, 60 mL kloroform içinde çözülerek üç boyunlu balona alındı. Çözelti geri soğutucu altında N₂ gazı atmosferinde 55°C'deki su banyosunda 5-10 dakika karıştırıldı. Sisteme daha sonra 37 mmol (6.0 g) FeCl₃ tuzu ilave edildi. Sistemin sıcaklığı 55-60°C'de sabit tutularak N₂(g) atmosferinde üç saat boyunca polimerleşmenin gerçekleşmesi için karıştırmaya devam edildi. Bu süre içinde çözeltinin rengi yeşilden siyah renge dönüştü ve süre sonunda ısıtmaya son verilerek sistem sıcaklığı oda sıcaklığına düşünce N₂(g) kapatıldı. Sistem 17 saat daha karıştırıldıktan sonra elde edilen katı süzülerek ayrıldı. Politiyofen sıcak su ve etanol karışımıyla süzüntü berraklaşana kadar iyice yıkandı. Elde edilen koyu kahve renkli PT vakum etüvünde 75°C'de 24 saat kurutuldu. Kütlece verim: %88 [7].

POM/PT kompozitlerinin sentezi

Aşağıda ayrıntılı olarak sadece kütlece %14 PT içeren POM/PT kompozitlerin sentezi verilmiş olup, diğer kompozitler de aynı yöntemle sentezlenmiş ve sentezlen sırasında kullanılan oranlar Çizelge 4.1. de belirtilmiştir.

1,4 g POM 30 mL dimetilformamit (DMF) içinde 130-140°C sıcaklık aralığında geri soğutucu altında çözüldü. Sistem su banyosuna alınıp sıcaklığı 55-60°C sıcaklık aralığına inince sistemden N₂ gazı geçirilmeye başlandı. 1,9 g FeCl₃ ilave edildi. 5 mL DMF’de çözülmüş 0,5 mL (0,525 g) tiyofen ortama damla damla ilave edildi. Bu koşullar altında sistem üç saat karıştırıldıktan sonra ısıtmaya son verildi. Sıcaklık oda sıcaklığına inince azot gazı kapatılıp, yaklaşık 17 saat daha karıştırmaya devam edildi. Elde edilen katı sıcak su ve etanolle yıkanıp bulunabilecek safsızlıklardan arındırılarak vakum etüvünde 50°C’de 24 saat kurutuldu. Sütü kahve renkli kompozitteki PT yüzdesi %14 olarak hesaplandı [7].

Çizelge 4.1. POM/PT kompozitleri sentezlemek için kullanılan kimyasal oranlar

Numuneler	POM (g)	(DMF) (mL)	PT (mol)	FeCl ₃ (mol)
K1 (%14 PT)	1,4 g	30,00	0,006	0,012
K2 (%29 PT)	3,0 g	40,00	0,023	0,045
K3 (%42 PT)	1,0 g	40,00	0,015	0,029
K4 (%68 PT)	2,0 g	40,00	0,035	0,070
K5(%72 PT)	1,14 g	40,00	0,037	0,074
K6 (%88 PT)	0,52 g	20,00	0,047	0,094

4.3. Kullanılan Cihazlar ve Çalışma Yöntemleri

4.3.1. Öğütme işlemi

PT homopolimeri ve %14 , %29 , %42 , %68, %72, %88 PT içeren POM/PT kompozit örnekleri, G.Ü. MMF Makine Müh. Bölümü laboratuvarlarında üç boyutlu (X, Y, Z eksenlerinde dönebilen) bir değirmende çeşitli sürelerde öğütülerek bir seri tanecik boyutunda kompozit numuneler hazırlandı.

4.3.2. Tanecik boyutu ölçümleri

Toz halindeki PT ve POM/PT kompozit örneklerinin tanecik büyüklüğü, G.Ü. MMF Makine Müh. Bölümü'nde Malvern Mastersizer E version 1.2b, 18 mm çapında He—Ne lazer kaynağına sahip Dinamik Işık Saçılımı Spektrometresi ile Fraunhofer saçılma teorisine göre ölçüldü. Bu teknikte monokromatik (Lazer) ışık kaynağı numunenin bulunduğu hücre içerisine gönderilir ve saçılan ışığın şiddetinden tanecik boyutu hesaplanır. Ölçümler sırasında bir miktar numune cihazın haznesine konuldu, etanol içerisinde dağıtıldı, çökelmenin önüne geçmek için ultrasonik olarak sürekli karıştırılırken ölçümler alındı. Numunelerin %10, %50 ve %90 ının sahip olduğu tanecik büyüklükleri ile bunların dağılımları belirlendi. Tezde verilen sonuçlar en az iki ölçümün ortalama değerleridir.

4.3.3. Yoğunluk tayini

7 atm basınç altında sıkıştırılarak, 12,9 cm çapında disk haline getirilen kompozitlerin hassas terazide tartımları alınarak kalınlıkları dijital kumpas ile ölçüldü. Kütle/silindirin hacminden kompozitlerin yoğunlukları hesaplandı. Elde edilen veriler, sonuçlar ve tartışma kısmında sunuldu. Buradan elde edilen değerler kompozitlerden silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların çökelme kararlılıklarının yorumlanmasında kullanıldı.

4.3.4. Dielektrik özellikleri tayini

Empedans analizörü ile yapılan ölçümler

Örneklerin iletkenlikleri G.Ü. FEF Fizik Bölümü'nde, HP 4192A LF Empedans Analizöründe Ohm yasasına uygun olarak potansiyel taraması yapılarak ölçüldü. Ölçümlerde 12,9 cm çapında ve kalınlıkları digital kumpas ile belirlenen boyutlarda pelletler kullanıldı. 20°C sıcaklıkta ara yüzey katkısını azaltmak için 1 MHz sabit frekans değerinde çalışıldı. Yapılan ölçümlerden elde edilen verilerden yararlanılarak hazırlanan homopolimer ve kompozitlerin dielektrik sabitleri Eş. 4.1 kullanılarak hesaplandı.

$$C = \epsilon_o \epsilon \frac{A}{d} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

C: Kapasitans

ϵ_o : Boşluğun dielektrik sabiti

ϵ : Örneğin dielektrik sabiti

d: Numune kalınlığı

A: Numune yüzey alanını göstermektedir.

Bu deneylerden elde edilen veriler, hazırlanan süspansiyonların ER aktivite değerlerinin yorumlanmasında kullanıldı.

4.3.5. Süspansiyonların hazırlanması

Hazır numuneler olan PT ve POM/PT kompozitlerden ER çalışmalarda kullanılmak amacıyla aşağıda açıklandığı şekilde süspansiyonlar hazırlandı. Öğütülerek belirli tanecik büyüklüğüne getirilen; %14 (K1), %29 (K2) , %42 (K3), %68 (K4), %72

(K5), %88 (K6) PT içeren POM/PT kompozitlerinden ve PT homopolimerden silikon yağı içerisinde kütlece %5, derişimde ve %29 PT içeren POM/PT kompozitinden ise kütlece %5, %10, %15, %20, %25 arasında değişen beş farklı derişimde süspansiyonlar hazırlandı ve kolloidal kararlılık çalışmaları için hazır hale getirildi.

4.3.6. Çökelme kararlılığı

Tüm numunelerin $c = \%5$ lik derişimde hazırlanan süspansiyonlarında koloidal kararlılığa önce PT yüzdesinin etkisi, ardından da sadece K2 nolu kompozitin % 5—25 lik derişimde hazırlanan süspansiyonlarında koloidal kararlılığa derişimin etkisi deneyleri gerçekleştirildi.

Hazırlanan süspansiyonlar $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki sabit sıcaklık banyosunda tüpler içerisinde 25 gün süre ile bekletildi. Tüplerin dibinde ilk çökelmenin görüldüğü an süspansiyonların kolloidal kararsızlık süresi olarak tespit edildi. Süspansiyonların çökelme oranları hesaplandı (Bkz Eş.5.1). Böylece numuneler ER çalışmaları için hazır hale getirildi.

4.3.7. Akış ölçümleri

Süspansiyonların akış ölçümleri iki paralel pirinç plaka elektrot arasında $E = 0,0\text{--}6,0$ kV/5mm aralığında $E = 0,5$ kV/mm artışlarla değişen değerlerdeki elektrik alanda, akış süreleri bir dijital kronometre ile ölçülerek belirlendi. Akış ölçümlerinde elektrot genişliği 1,0 cm, elektrotlar arası mesafe 0,5 cm, elektrotlar arasındaki madde yüksekliği 3,0 cm ve ölçümün yapıldığı sıcaklık $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak kayıt edildi. Elektrik alan uygulandığında $E = 0\text{--}10$ kV aralığında güç üretebilen yüksek gerilim güç kaynağı kullanıldı (Fug Electronics, Almanya).

4.3.8. Elektoreometre ölçümleri

Paralel plaka elektrotlar ile elektoreolojik açıdan aktif oldukları belirlenen ve eşik enerjileri tespit edilen süspansiyonların, ER aktiviteleri üzerinde kayma hızı, derişim, sıcaklık, zaman, elektrik alan kuvveti, promoter, tanecik büyüklüğü ve frekansın etkileri araştırıldı. Bu amaçla Thermo-Haake RS600 model, $\dot{\gamma} = 0,001\text{--}1500\text{ s}^{-1}$ aralığında kayma hızı sağlayabilen, 35 mm çapında paralel plaka plakalı tork elektoreometre kullanıldı. Kütlece farklı yüzdelerde hazırlanan POM-PT/SO süspansiyonların elektoreolojik davranışları; çeşitli elektrik alan kuvvetleri, kayma hızları, sıcaklık, zaman ve frekans aralıklarında ölçülerek değerlendirildi. Ölçümler sırasında öncelikle K2, (%71 POM, %29 PT) nolu kompozitten hazırlanan bir seri süspansiyonda derişim taraması yapıldı ve optimum derişim belirlendikten sonra diğer kompozitlerde bu sabit derişimde çalışıldı. Ardından diğer reolojik ölçümler de bu şekilde her bir parametreyi optimize ederek yapıldı.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. İletkenlik ve Dielektrik Sabitleri

PT ve POM/PT kompozitlerin iletkenlikleri dört-nokta iletkenlik cihazı ile daha önce yapılan sentez ve karakterizasyon çalışmaları sırasında yapılmış [7]; bu çalışmada ise empedans analizörü kullanılarak numunelerin iletkenlikleri ölçülmüş, dielektrik sabitleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.1 de verilen değerler en az 2 ölçümün ortalamasıdır.

Çizelge 5.1. Polimerlerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri

Yöntem	İletkenlik S/cm (Dört nokta iletkenlik cihazı) ^[7]	İletkenlik S/cm (Empedans Analizörü)	DielektrikSabit (Empedans Analizörü)
Numuneler			
PT	$1,90 \times 10^{-3}$	$2,198 \times 10^{-7}$	5,03
K1 (%14 PT)	$1,99 \times 10^{-4}$	$6,946 \times 10^{-8}$	6,79
K2 (%29 PT)	$2,32 \times 10^{-4}$	$3,053 \times 10^{-8}$	5,98
K3 (%42 PT)	$2,34 \times 10^{-4}$	$2,590 \times 10^{-8}$	1,93
K4 (%68 PT)	$2,87 \times 10^{-4}$	$3,260 \times 10^{-7}$	2,01
K5(%72 PT)	$2,66 \times 10^{-4}$	$4,133 \times 10^{-8}$	0,64
K6 (%88 PT)	$2,59 \times 10^{-4}$	$1,102 \times 10^{-7}$	1,23

Empedans analizörü ile yapılan ölçümler 25 °C sabit sıcaklık ve 1 MHz sabit frekansta gerçekleştirildi. Ayrıca aynı kompozitler için dört nokta iletkenlik cihazı ile de iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Dört nokta tekniği ile yapılan ölçümler ise oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Dört nokta tekniği ile yapılan ölçümlerden elde edilen değerlerde beklenildiği gibi PT $1,90 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ ile en yüksek iletkenlik değerini göstermiş, kompozitler arasında ise en düşük iletkenlik $1,99 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$ ile %14 PT içeren K1 nolu kompozitte, en yüksek iletkenlik ise $2,87 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$ ile %68 PT içeren K4 nolu kompozitte elde edilmiştir. Kütlece PT miktarı %68'den

daha fazla olan kompozitlerin iletkenliklerinde ise fazla bir değişiklik gözlenmemiştir [7]. Empedans analizöründen elde edilen iletkenlik değerleri ile dört nokta iletkenlik ölçümü cihazından elde edilen değerler arasındaki fark empedans analizörü ile ölçüm yapılırken numunelerden sağlıklı kontak alınamaması olabilir. Ancak numunelerin dielektrik sabiti değerleri teorik beklentilere uygun olarak 0,64-6,79 değerleri arasında çıkmıştır. Literatürde sentezlenen diğer polimer kompozit malzemelerde de iletkenlik değerleri kompozit malzemelerin içerisindeki iletkenlik gösteren birimin yüzdesinin artmasıyla belirli bir değere kadar artmış, dielektrik sabiti değerlerinin ise ER akışkanlardan beklenen değerlere uygun olarak $2,0 - 1 \times 10^4$ aralığında değiştii rapor edilmiştir [65].

5.2. Tanecik Boyutu Ölçümleri

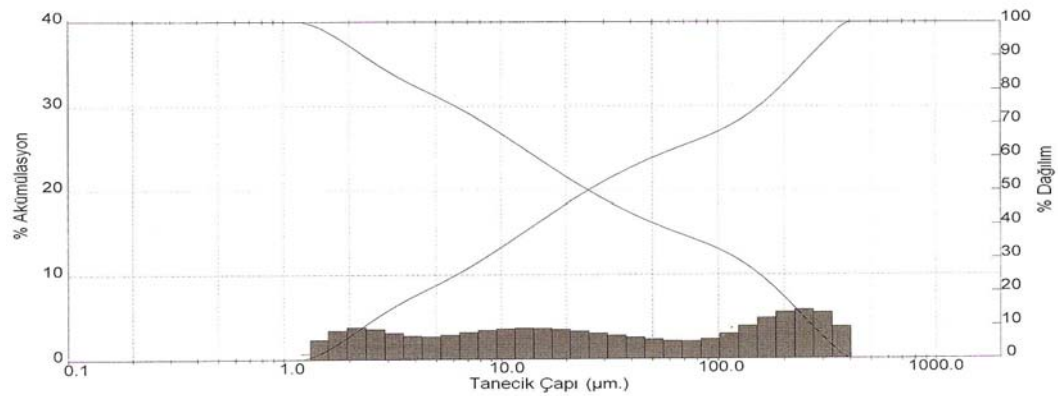
Elektroreolojik çalışmalarda tanecik büyüklüğü oldukça önemli bir faktördür. ER etkinin tanecikler arası etkileşimlerinden kaynaklandığı, bu etkileşimler sonucunda taneciklerin zincir yapısı oluşturduğu bilinmektedir. ER süspansiyonun oluşturduğu yapının yerçekimine karşı dayanıklı olabilmesi için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Hatta son yıllarda yapılan çalışmalarda nano boyutta çalışmak hedef haline gelişmiştir. [66]. Ancak tanecik boyutu nano boyuta düşürüldüğünde ER aktivitenin azaldığını gösteren çalışmalarda mevcuttur [67].

Tanecik boyutunun küçültülmesi için üç boyutlu bir değirmende öğütülen polimerlerin tanecik büyüklükleri, dinamik ışık saçılımı cihazı ile ölçülerek, elde edilen veriler bilgisayara aktarıldı ve Fraunhofer saçılma teorisine göre değerlendirildi [68]. Ölçümler sırasında topaklanmaların önüne geçmek için numuneler bir taraftan mekanik olarak karıştırılırken bir taraftan da çok düşük dozlarda ultrasonik dalgaya maruz bırakıldı. Elde edilen tanecik boyutu ve dağılım grafikleri, Şekil 5.1a – Şekil 5.1g’de verilmiştir. Bu verilere göre kompozitlerin ortalama ($d_{0,5}$) tanecik büyüklüklerinin $2,82 \mu\text{m} - 29,54 \mu\text{m}$ arasında değiştii, PT’in ortalama tanecik büyüklüğünün ($d_{0,5}$) ise $25,36 \mu\text{m}$ olduğu tespit edildi. Diğer

tarafından kompozit malzeme içerisindeki PT miktarı arttıkça kompozitlerin ortalama tanecik boyutunun deneysel hata sınırları içerisinde azaldığı tespit edildi. Çizelge 5.2’ de verilen değerler en az 2 ölçümün ortalamasıdır. Polimerlerin bütün karakterizasyon işlemleri ile ER ölçümleri bu tanecik boyutlarında gerçekleştirildi.

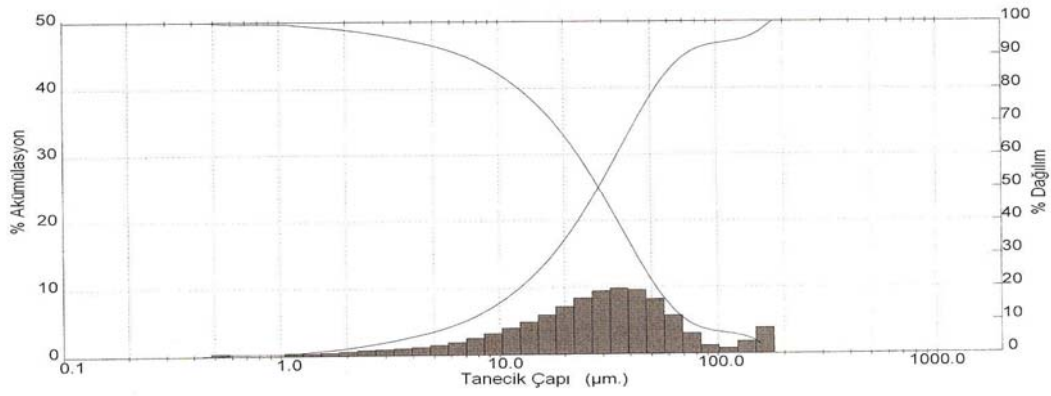
Çizelge 5.2. Numunelerin tanecik büyüklükleri

Numuneler	$d_{(0.5)} \mu\text{m}$	$d_{(0.1)} \mu\text{m}$	$d_{(0.9)} \mu\text{m}$
PT	25,36	2,34	266,17
K1 (%14 PT)	28,81	6,86	72,36
K2 (%29 PT)	29,54	6,96	74,44
K3 (%42 PT)	8,38	1,10	28,56
K4 (%68 PT)	9,43	1,94	45,12
K5(%72 PT)	2,82	0,66	9,66
K6 (%88 PT)	4,48	0,70	31,59

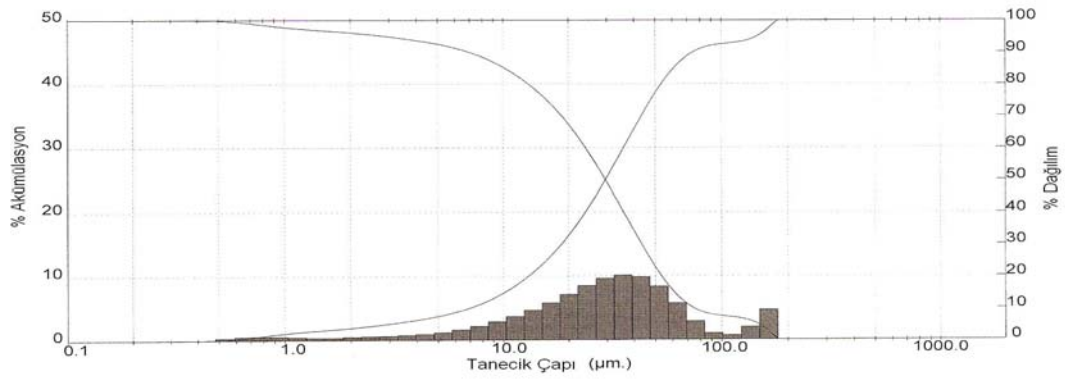


(a) PT

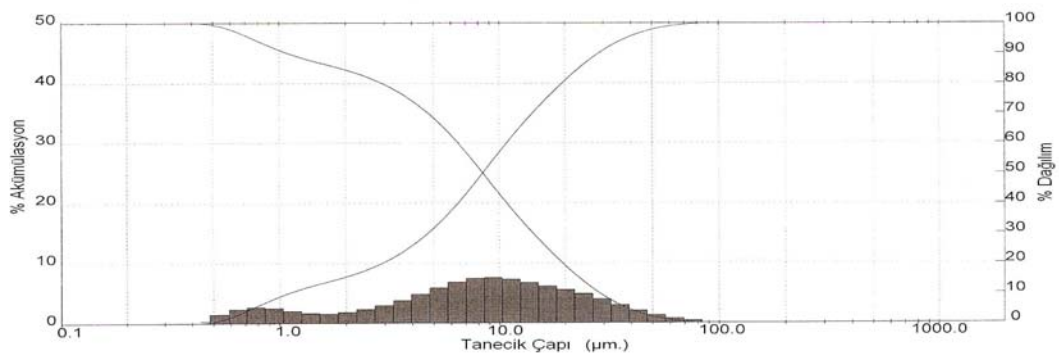
Şekil 5.1. Numunelerin tanecik büyüklüğü dağılımı diyagramı a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6



(b) K1

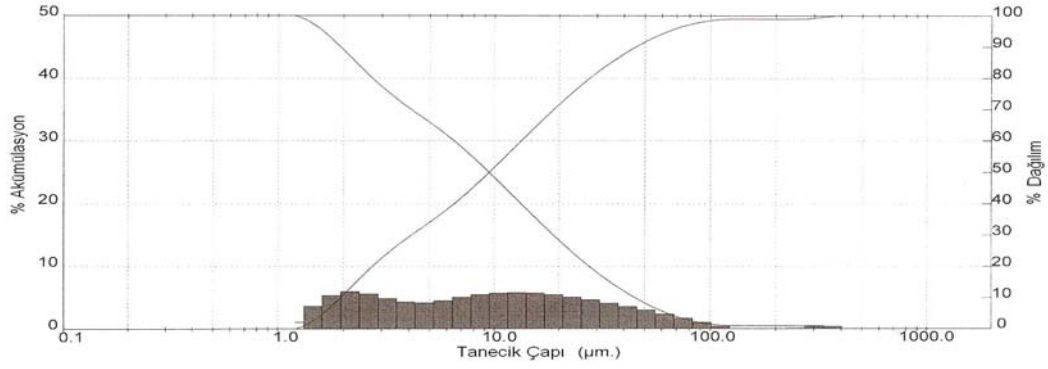


(c)K2

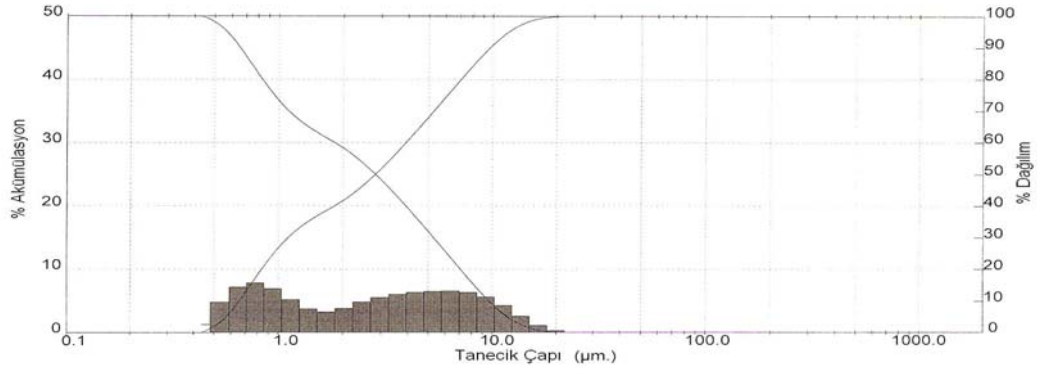


(c) K3

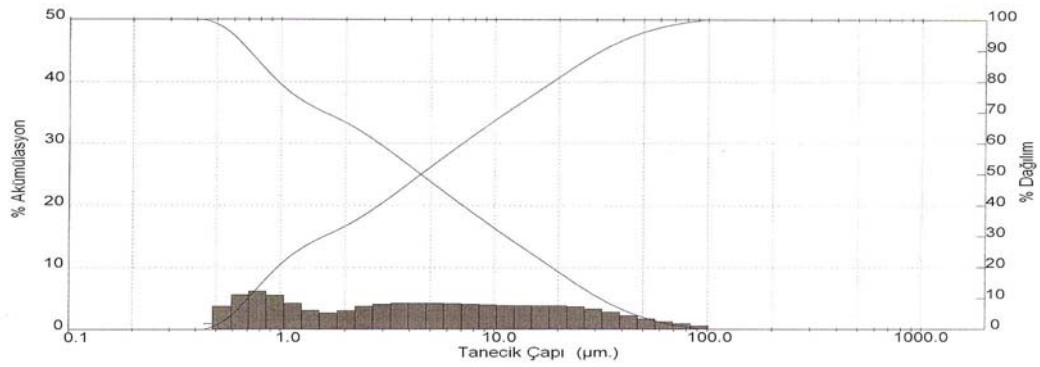
Şekil 5.1. (Devam) Numunelerin tanecik büyüklüğü dağılımı diyagramı a) PT b) K1
c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6



(e) K4



(f) K5



(g) K6

Şekil 5.1. (Devam) Numunelerin tanecik büyüklüğü dağılımı diyagramı a) PT b) K1
c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6

5.3. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi

Elektroreolojik akışkanlarda (ERA) aranan en önemli özelliklerden birisi, çökelme kararlılığıdır. ERA ların uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelme 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 μm –100 μm arasında olması gerektiği belirtilmiştir [69].

Tüm numunelerin [%14 PT (K1), %29 PT(K2) , %42 PT (K3), %68 PT (K4), %72 PT (K5), %88 PT (K6) kompozitleri ve PT homopolimeri] $c = \%5(\text{m/m})$ derişimde hazırlanan süspansiyonlarında önce koloidal kararlılığa PT yüzdesinin etkisi, ardından da sadece K2 kompozitin %5, %10, %15, %20 ve %25 derişimde hazırlanan süspansiyonlarında koloidal kararlılığa derişimin etkisi deneyleri gerçekleştirildi ($T = 25^\circ\text{C}$).

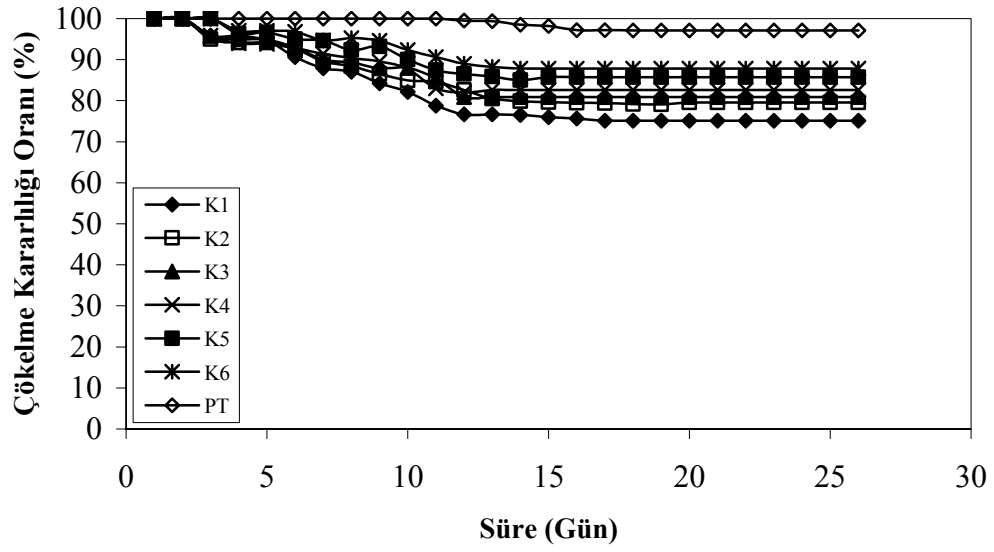
İlk çökelmenin görüldüğü an süspansiyonun kolloidal kararsızlık göstermeye başladığı an olarak tespit edildi. Tüm numuneler için kolloidal kararlılığa kompozit bileşiminin etkisi Şekil 5.2’ de, K2 nolu numune için kolloidal kararlılığa derişimin etkisi ise Şekil 5.3’de verilmiştir. Her bir polimer ve derişim için ilk çökelmenin deneyin üçüncü gününde başladığı ve sekizinci gününe kadar hızlı gerçekleştiği, onuncu günden sonra denge durumuna ulaştığı görülmektedir [70].

Çizelge 5.3’den görüldüğü gibi sabit derişimde ($c = \%5$) yapılan koloidal kararlılık deneylerinde bütün numuneler arasında çökelme kararlılığı oranı en yüksek olan (28 günlük deney sonunda çökelmeden kalan madde miktarı en fazla olan) yoğunluğu en düşük olan PT dir. Bütün numunelerde yoğunluk ile çökelme

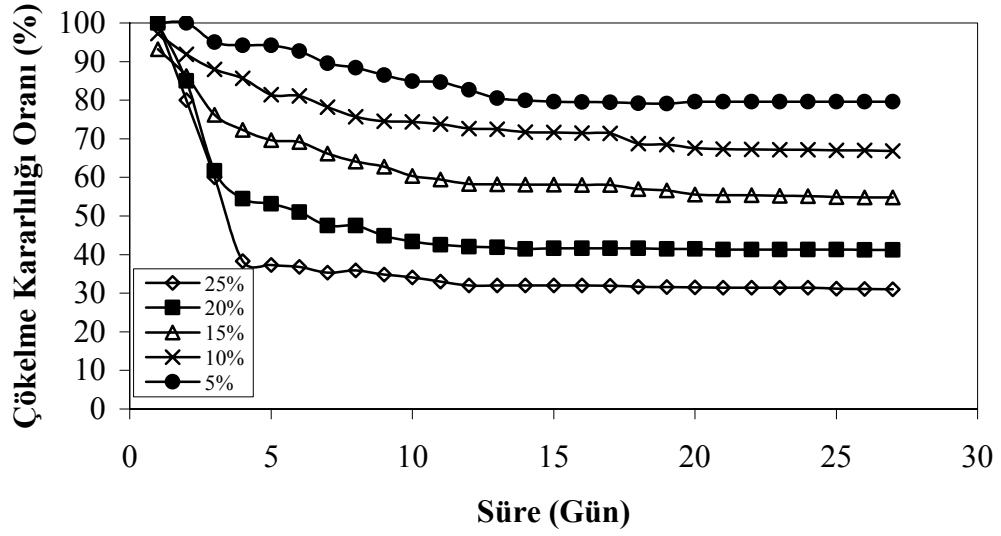
kararlılığı oranı arasındaki ilişkiye bakıldığında numunelerin yoğunlukları arttıkça çökelme kararlılığı oranları da deneysel hata sınırları içerisinde azalmaktadır. Aynı durum numunelerin ortalama tanecik büyüklükleri için de söylenebilir. Çizelgeden görüldüğü gibi numunelerin tanecik büyüklükleri azaldıkça kolloidal kararlılıkları da artmıştır. K2 kompozitinde yapılan derişim taramasında ise artan derişim ile kolloidal kararlılığın azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3. PT ve POM/PT kompozitlerin yoğunlukları, tanecik boyutu ve çökelme kararlılık oranları

Numuneler	ρ (g/cm ³)	d (0.5) μ m	Çökelme Kararlılığı Oranı (25 gün sonunda)
PT	0,662	25,36	97,11
K1 (%14 PT)	1,237	28,81	75,08
K2 (%29 PT)	1,003	29,54	79,59
K3 (%42 PT)	0,980	8,38	80,90
K4 (%68 PT)	0,902	9,43	82,57
K5(%72 PT)	0,897	2,82	85,76
K6 (%88 PT)	0,765	4,48	87,83



Şekil 5.2. Kolloidal kararlılığa kompozit bileşiminin etkisi. $T = 25^{\circ}\text{C}$, $c = \%5$



Şekil 5.3. K2 nolu numunenin kolloidal kararlılığına derişimin etkisi $T = 25^{\circ}\text{C}$

Şekil 5.2 ve 5.3 de çökelme oranı hesaplanırken Eş. 5.1 kullanılmıştır.

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

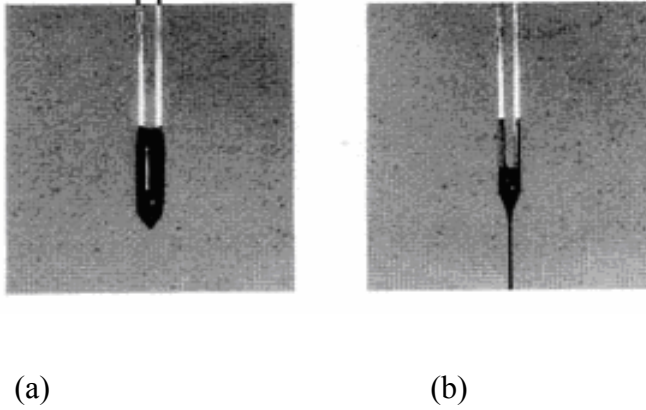
a: Silikon yağı yüksekliği

b: ER akışkan yüksekliği

Ünal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çeşitli çalışmalarda, farklı yalıtkan yağlarla hazırlanan Poli(Li-tert- butil metakrilat) (PTBMA-Li) [71] ve Poli(Li-2 akrilamido-2-metil propan sülfonik asit) (PAMPS) [72] 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, SO 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.

5.4. Paralel Plaka Elektrotlar ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler

Silikon yağ içerisinde çeşitli derişimlerde hazırlanan polimer kompozitlerin pirinçten yapılmış paralel plaka elektrotlar arasında akış ölçümleri oda sıcaklığında yapıldı. Paralel plaka elektrotlar arasındaki bir ER akif akışkanın elektrik alan varlığındaki ($E \neq 0$) ve yokluğundaki ($E = 0$) akış durumu Şekil 5.4' de görülmektedir.

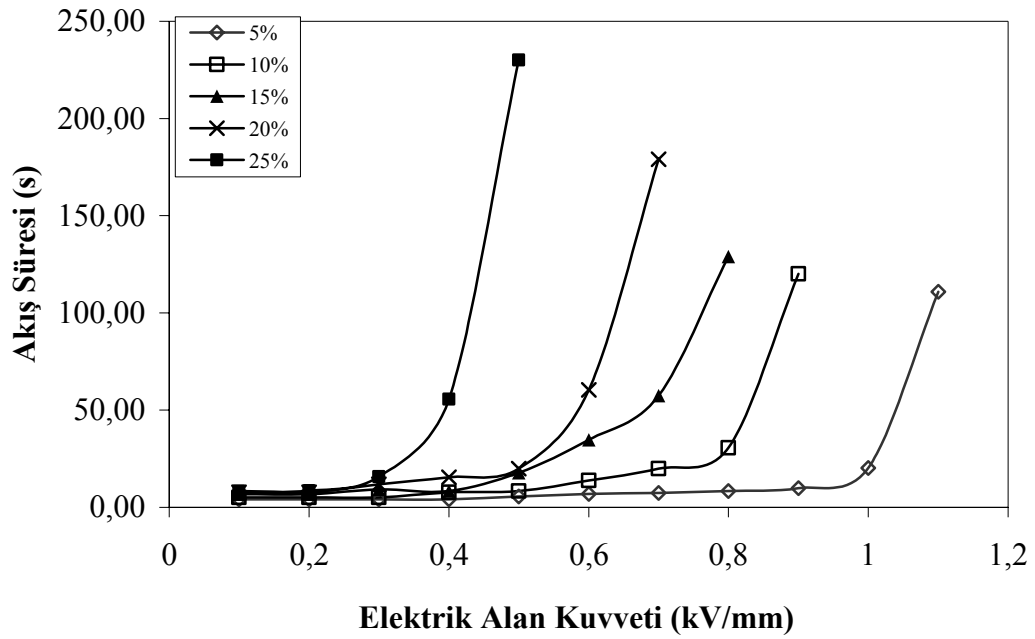


Şekil 5.4. Paralel plaka elektrotlarda ERA' nın akış durumu (a) $E \neq 0$ kV/mm
(b) $E = 0$ kV/mm

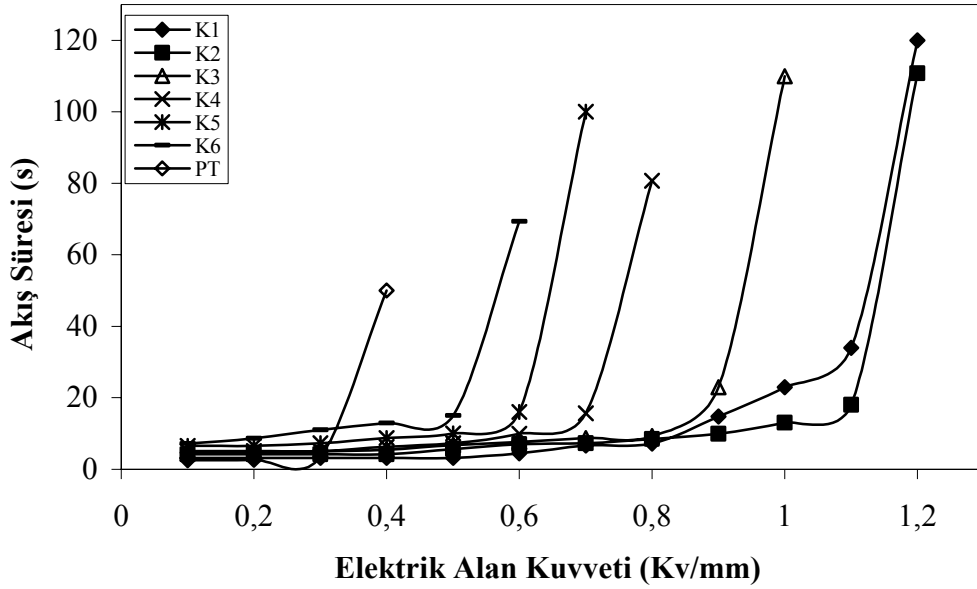
Şekil 5.4'de görüldüğü gibi elektrotlar arasına elektrik alan uygulandığında (a durumu), akışkan katımsı bir hal almakta ve non-newtonian bir reolojik davranış sergilemektedir. Elektrik alan uzaklaştırıldığında ise (b durumu) akışkan Newton yasasına uygun olarak elektrotlar arasında akmaktadır.

Bu çalışmada K2 nolu kompozitin paralel pirinç plaka elektrotlar arasında $E = 0,0-6,0$ kV/5 mm aralığında 0,5 kV/mm artışıyla değişen değerlerdeki elektrik alan uygulanarak oda sıcaklığında ölçüm alındı. Sonuçlar Şekil 5.5'de verildi. Elektrik alan kuvveti artırıldıkça, süspansiyonların akış süreleri de artmakta ve $c = \%25$ 'lik süspansiyonda $E = 0,5$ kV/mm'de akış süresi $t = 230$ saniye olarak gözlenmiştir. Grafikte görülen akış süreleri maksimum akış süreleri olup, bunlara karşılık gelen elektrik alan kuvvetinin üzerindeki alan kuvvetlerinde elektrotlar arasında akış tamamen durmakta ve köprü oluşumu meydana gelmektedir. Köprü oluşumundan sonra saatlerce beklenmesine rağmen hiçbir akış gözlenememiştir. Grafikte dikkate değer başka bir nokta ise bütün derişimlerdeki süspansiyonların akış sürelerinde elektrik alan kuvvetindeki artış ile önce çok küçük bir artış, eşik enerjisinden sonra ise moleküllerin elektrik alan altında gösterdiği polarlanma nedeniyle oldukça yüksek bir artış gözlenmesidir. En yüksek akış süresi K2 için $\%25$ ' lik derişimdeki süspansiyonda gözleendiğinden PT ve diğer kompozitler için de sabit derişimde elektrik alan kuvveti taraması $c = \%25$ 'lik derişimde çalışıldı (Şekil 5.6).

c = %25 derişimdeki süspansiyonlara düşük elektrik alan uygulandığında plakalar arasından çok küçük zaman aralığında aktığı, elektrik alan kuvveti artırıldığında bu sürenin 120 saniye gibi bir değere ulaştığı, ancak daha da fazla elektrik alan uygulandığında elektrotlar arasındaki akışın tamamen durduğu gözlenmiştir. Şekil 5.6 incelendiğinde; polimerlerin eşik enerjileri, PT (0,3 kV/mm)<K6 (0,5 kV/mm)<K5 (0,6 kV/mm)<K4 (0,7 kV/mm)< K3 (0,9 kV/mm)< K2 (1.1 kV/mm) = K1 (1,1 kV/mm) olduğu görülmüştür. Sonuçlardan görüldüğu gibi kompozit malzemeler içerisinde PT miktarı artıkça eşik enerjisi değeri de azalmıştır. Benzer çalışmalar literatürde de rapor edilmiştir [73].



Şekil 5.5. K2 nolu kompozitin akış sürelerinin elektrik alan kuvveti ile değışimi,
T = 25°C



Şekil 5 6. Numunelerin akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi $T = 25^{\circ}\text{C}$, $c = \%25$ (m/m)

5.5. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler

5.5.1. ER verimi üzerine derişimin etkisi

ER verimi büyük ölçüde süspansiyon içindeki taneciklerin akış özelliklerinden ve kutuplanabilirliklerinden etkilenir. 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 [54].

ER verimi üzerine, beş farklı derişimde (%5, %10, %15, %20, %25) hazırlanan K2 kompozitinin silikon yağındaki süspansiyonunun etkisi Eş. 3.10' a göre incelendi ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.7'de verildi. Süspansiyonun derişimi arttıkça ER verimin arttığı gözlemlendi. Maksimum ER verimi %15'lik derişimde 1,56 olarak gözlemlendiğinden, elektoreometre ile yapılan diğer çalışmalarda da diğer kompozitler için %15'lik derişimle hazırlanan süspansiyonlar kullanıldı.

Viskozitenin derişimle yükselme eğilimi parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Elektrik alan ile polarizasyon kuvvetleri arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir [83].

$$F = \frac{\varepsilon_2 r^6 E^2}{\rho^4} \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte:

F = Polarizasyon kuvveti

ε_2 = Taneciklerin dielektrik sabiti

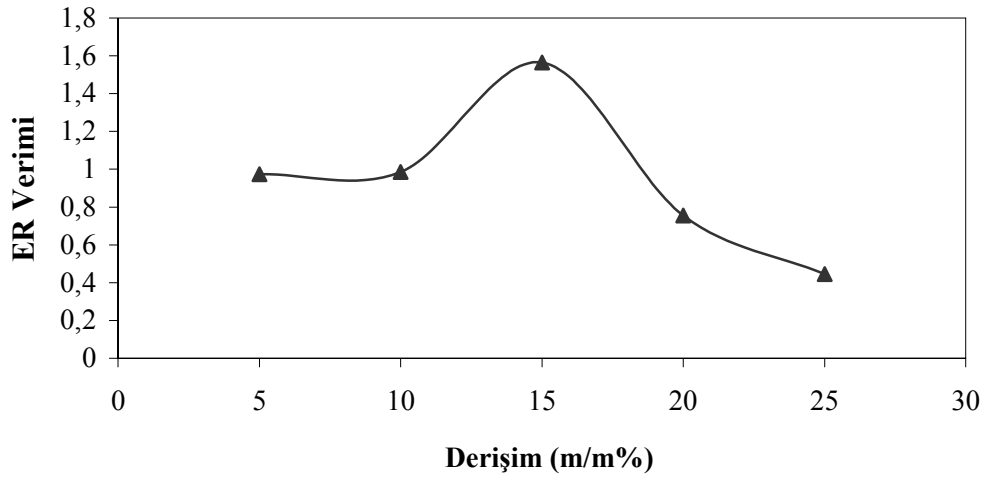
r = Tanecik yarıçapı

E = Elektrik alan kuvveti

ρ = Tanecikler arası mesafe olarak tanımlanır.

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

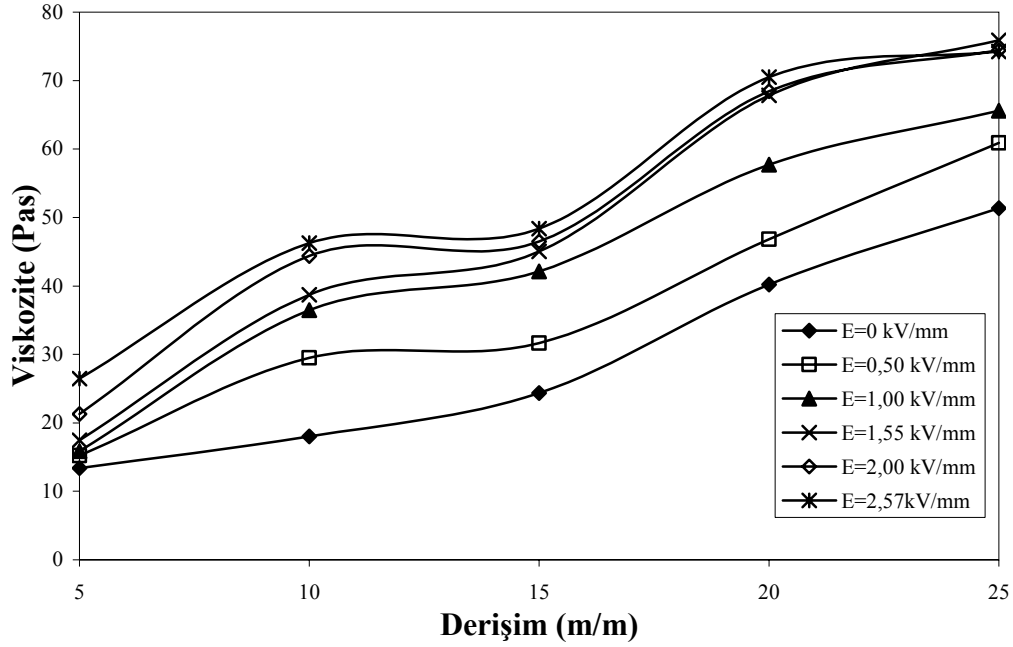
Yapılan çalışmalarda elektrik alan kuvveti altında tanecikler arası etkileşimin artması sonucu, tanecik hacim kesri ile lineer [74] parabolik [75] olarak sürekli artan bir kayma gerilimi ya da viskozite eğrisi elde edildiği rapor edilmiştir. Bizim yaptığımız deneyler sonucunda da Şekil 5.7’de görüldüğü gibi K2/SO süspansiyon sistemi için hem derişim artışı hem de uygulanan dış elektrik alan kuvveti artışı ile ER veriminde %15 derişime kadar lineer bir artış, bu derişimden sonra ise bir azalma gözlenmiştir. %15 derişime kadar olan artış, tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin artan derişim ile artmasına atfedilebilir. %15 derişimden sonraki azalma ise artan derişim ile oluşan elektriksel çift tabakadan kaynaklanabilir. Benzer sonuçlar poliinden/CaCO₃ için de rapor edilmiştir [76].



Şekil 5.7. K2 için ER verimi üzerine derişimin etkisi, $E = 0$ ve $E = 2,57$ kV/mm, $\dot{\gamma} = 0,2$ s⁻¹, $T = 25^{\circ}\text{C}$.

5.5.2. Viskozitenin derişim ve elektrik alan kuvveti ile değişimi

Derişimin ve elektrik alan kuvvetinin numunelerin viskoziteleri üzerine etkileri incelendi ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.8’de verildi. Şekil incelendiğinde K2 kompoziti için sabit kayma hızı ve sıcaklıkta artan derişim ve elektrik alan kuvveti ile süspansiyonların viskozitelerinin arttığı görülmüştür. Bu durum tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin artan derişim ve elektrik alan kuvveti ile artmasına atfedilebilir. Benzer sonuçlar Poliinden/CaCO₃ için de rapor edilmiştir [76].



Şekil 5.8. K2 için çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin derişim ile değışimi
 $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$

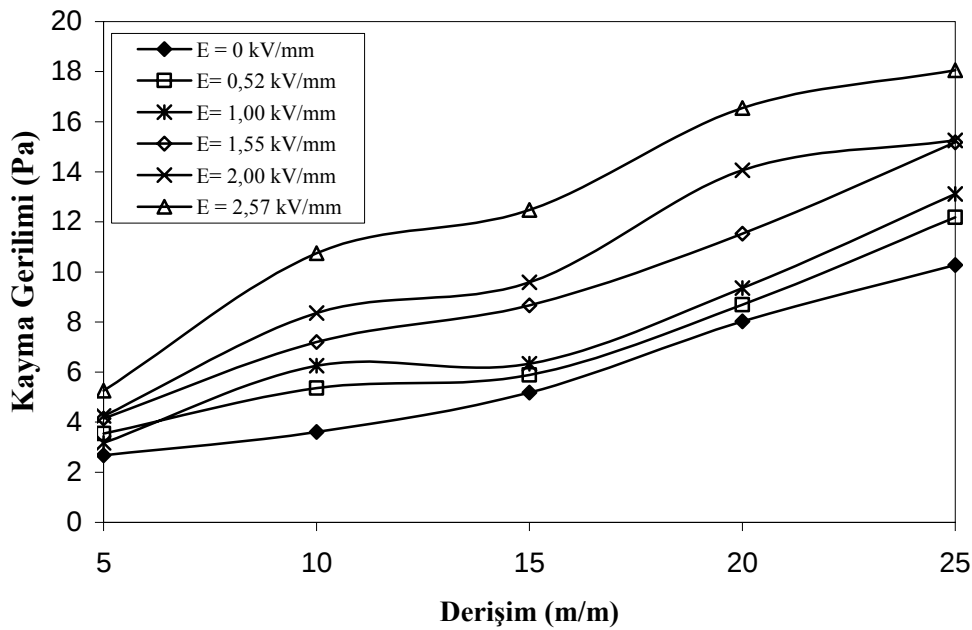
5.5.3. Derişimin kayma gerilimi üzerine etkisi

Elektroreoloji, elektrik alanın sıvı dispersiyonlar üzerine olan etkisiyle ilgilenir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç ya da sıvının katıya dönüşümü şeklinde kendini gösterir. Süspansiyonun derişimi, kayma gerilimi üzerine etki eden en önemli etkenlerden biridir. Akışkan içerisindeki tanecik derişimi ne kadar fazla ise, kayma gerilimi o kadar büyüktür. Bir ER akışkanda istenen en ideal kayma gerilimi değeri, onun uygulama amacına bağlı olarak değışir. Örneğin dinamik titreşim sönümleyicilerde, akışkanın yanıt verme süresi ve aşındırıcılığının az olması, akışkanın yüksek kayma gerilimine sahip olmasından çok daha fazla önemlidir [77].

Şekil 5.9’da K2’nin 5 farklı derişimdeki süspansiyonlarının $\dot{\gamma} = 0.2 \text{ s}^{-1}$ kayma hızında elde edilen kayma gerilimi–derişim grafiğı verilmiştir. Grafikte derişim ve elektrik alan kuvveti artışına paralel olarak kayma geriliminde artış trendi gözlenmektedir. $E = 2,57 \text{ kV/mm}$ iken kütlece %5’lik POM/PT süspansiyonu $\tau =$

5,26 Pa kayma gerilimi gösterirken, bu değer %25 lik derişimde $\tau = 18,06$ Pa değerine çıkmaktadır.

Ünal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu grubun yaptığı bazı çalışmalarda [78,79] derişim ile kayma gerilimi doğru orantılı artarken, bazılarında ise [69, 80-82] önce lineer bir artış ve daha sonra derişim artışı ile bir azalma gözlenmiştir. Choi ve arkadaşları da, selüloz fosfat esterleri ile yapmış oldukları çalışmada [83] kayma gerilimi farkının derişim ile lineer bir artış gösterdiğini, ayrıca kitosan fosfat ile yapmış oldukları çalışmada ise, kayma gerilimi farkının artan derişim ile önce bir artış ardından yavaş bir azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir [84].

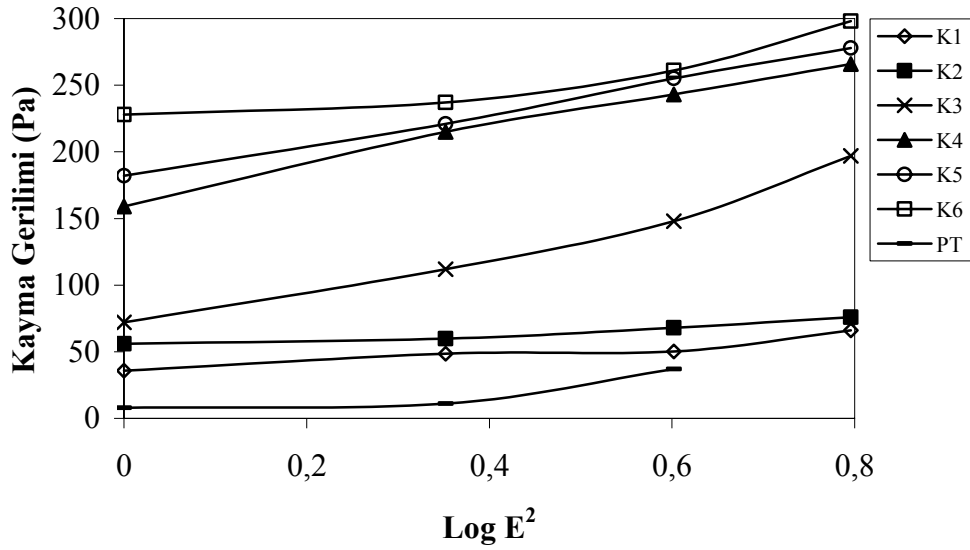


Şekil 5.9. K2 kompoziti için derişimin kayma gerilimi üzerine etkisi $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$

5.5.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi

Elektroreoloji olayı, akışkanların viskozitelerindeki artışa dayanır. Yalıtkan bir sıvı ortamında ER 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 tersinirdir. Elektrik alan uygulamasından sonra taneciklerin oluşturduğu zincir yapıları ya da kolonları, elektrotlar arasındaki boşlukta milisaniyeden daha hızlı bir sürede oluşur ve böylece viskozite ve kayma gerilimi (ER aktivite) yükselir. PT ve altı farklı yüzdede PT içeren POM/PT kompozitleri için alınan ölçümler Şekil 5.10'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde uygulanan elektrik alan kuvvetinin karesi arttıkça kayma gerilimi değerlerinin de teorik beklentilere uygun olarak arttığı görülmektedir. [76,85]. En yüksek kayma gerilimi değeri PT yüzdesi en fazla olan K6 kompozitinde görülmektedir ve kompozitlerde PT yüzdesi azaldıkça kayma gerilimi de azalmaktadır. PT homopolimeri için ise bu değer, en düşük olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni PT nin iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle ölçümler sırasında aşırı miktarda akım çekmesidir.

Araştırmacılar, Silika-TiO₂/SO kompozit süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada kayma gerilimi değerinin elektrik alan kuvvetinin karesi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiğini rapor etmişlerdir [86].



Şekil 5.10. Kayma geriliminin elektrik alan kuvvetinin karesiyle değişimi
 $c = \%15(m/m)$, $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$

5.5.5. Elektrik alan kuvvetinin viskozite üzerine etkisi

Bir ER akışkanda yüksek bir elektrik alan kuvveti altında tanecikler arasında meydana gelen etkileşimler taneciklerin agresgasyonuna ve lif oluşumuna yol açar. Bir kayma alanı varlığında viskoz kuvvetlere maruz kalan tanecikler süspansiyonda mevcut olan diğer taneciklerle etkileşir. Bu viskoz kuvvetler (F);

$$F = 6\pi\eta_s r^6 \dot{\gamma} \quad (5.3)$$

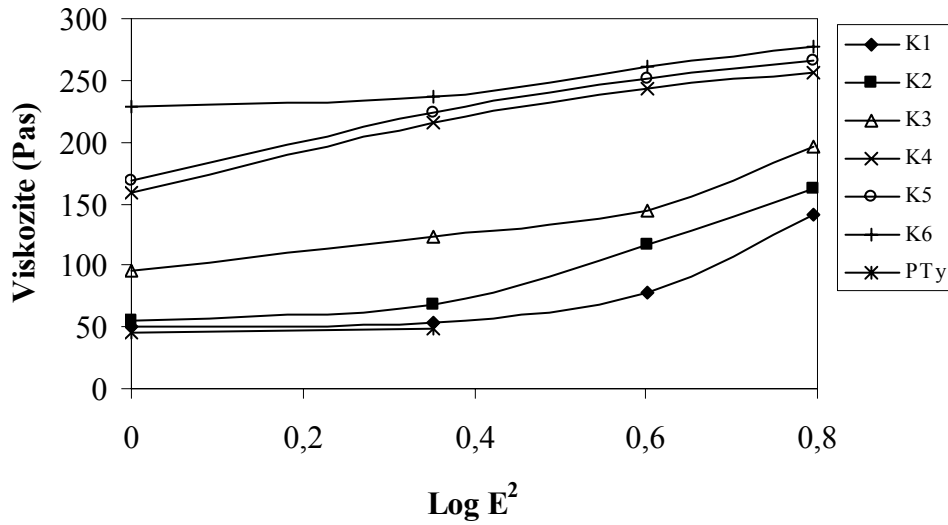
bağıntısı ile verilir [87].

Burada; η_s süspansiyonun viskozitesini, r tanecik yarı çapını, $\dot{\gamma}$ kayma hızını göstermektedir.

Şekil 5.11’de PT ve POM/PT kompozitlerinden hazırlanan süspansiyonların $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$, $c = \%15$ ve $T = 25^\circ\text{C}$ sabit koşullarda elde edilen elektrik alan kuvveti karesi—viskozite grafiği verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi elektrik alan kuvveti

karesinin artması ile viskozite de aynı oranda artmaktadır. En yüksek viskozite değerine $E = 2,5 \text{ kV/mm}$ ' da 278 Pas ile %88 PT içeren K6 kompoziti sahipken, en düşük elektrik alan viskozite PT homopolimerinde gözlenmiştir. Sonuç olarak, kompozit yapısındaki POM miktarı azaldıkça kompozitlerde elektrik alan viskozite değerleri de artmıştır. Kompozitlerde elektrik alan kuvvetinin karesi ile elektrik alan viskozitedeki değişimler aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir: K6 (278 Pas)>K5 (266 Pas)>K4 (256 Pas)>K3 (197 Pas)> K2 (162 Pas)>K1 (141 Pas)>PT (48 Pas).

Choi ve arkadaşları [88] polianilinin silikon yağı içerisindeki süspansiyonunun viskozitesinin, artan elektrik alan kuvvetinin karesiyle lineer olarak arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca Ünal ve arkadaşları tarafından CaCO_3 /silikon yağı sistemi ile yapılan çalışmada, $E = 2 \text{ kV/mm}$, $c = \%20$ ve $\dot{\gamma} = 1,0 \text{ s}^{-1}$ şartlarında yine artan elektrik alan kuvvetinin karesiyle viskozitede lineer bir artış gözlemlendiği belirtilmiş ve en yüksek viskozite değeri 275 Pas olarak rapor edilmiştir [79].



Şekil 5.11. Viskozite üzerine elektrik alan kuvvetinin karesinin ve kompozit bileşiminin etkisi $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $c = \%15$

5.5.6. Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi

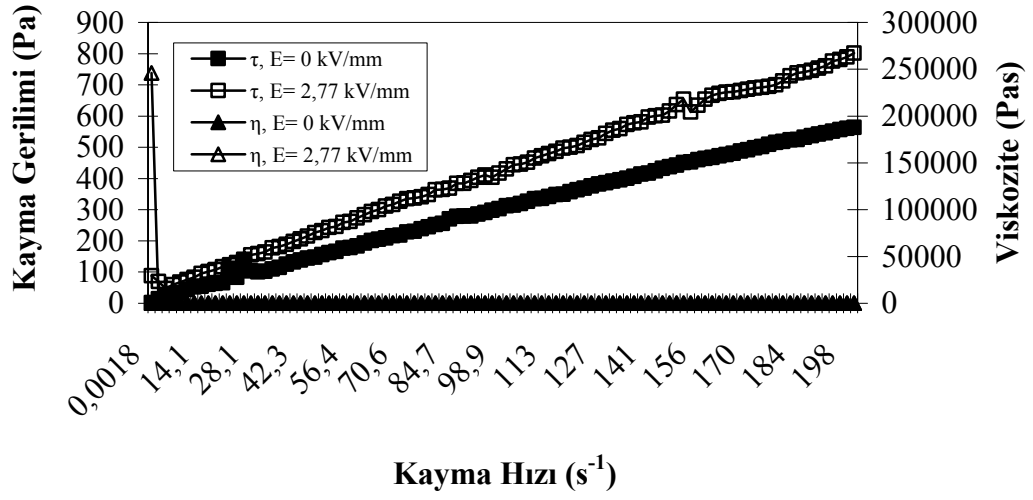
Şekil 5.12a—Şekil 5.12g’de PT ve beş farklı yüzdede PT içeren POM/PT kompozitleri ile silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların, elektrik alan varlığında ve yokluğundaki optimum derişimde ($c = \%15$, m/m) kayma hızı—viskozite—kayma gerilimi grafikleri verilmiştir. Her bir numune grafiğinde kayma hızının arttırılmasıyla süspansiyonların viskozitelerinde üstel olarak bir azalma gözlenmektedir. Bu azalma elektrik alan kuvveti uygulandığında daha belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Ayrıca viskozitede meydana gelen azalma ile kayma geriliminde de önemli ölçüde artışlar meydana gelmektedir. Buradan süspansiyonların kayma incelmesi türünden Newtonian olmayan visko-elastik bir davranış gösterdiği sonucuna varılabilir. Kayma hızı ile kayma gerilimlerinin değişimine bakıldığında ise, tüm kompozit malzemelerin elektrik alan altında uygulanan kayma hızı neticesinde Bingham türü bir davranış sergilediği ve minimum kayma hızında belirli bir kayma gerilimi değerinden itibaren artışa geçtiği gözlenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.4’ de her bir numunenin ölçüm alınabilen elektrik alan kuvveti değerleri ve bunlara karşılık gelen kayma gerilimi değerlerinin yanında numunelerin akma verimi değerleri de verilmiştir. Çizelgedeki elektrik alan kuvveti değerlerinin farklılık göstermesi ölçümler sırasında cihaz akım çekmesinden dolayı set edilen elektrik alan kuvveti değerleri sabit kalmamış ve daha düşük değerlere kaymıştır. Diğer taraftan Çizelge 5.4’ de görüldüğü gibi tüm numunelerde elektrik alan kuvvetinin etkisi ile kayma gerilimi artmakta, bu artış düşük kayma hızlarında büyük, yüksek kayma hızlarında küçük olarak gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.4. Numunelerin $E = 0$ ve $E \neq 0$ iken ölçülen maksimum ve minimum kayma hızındaki kayma gerilimi değerleri

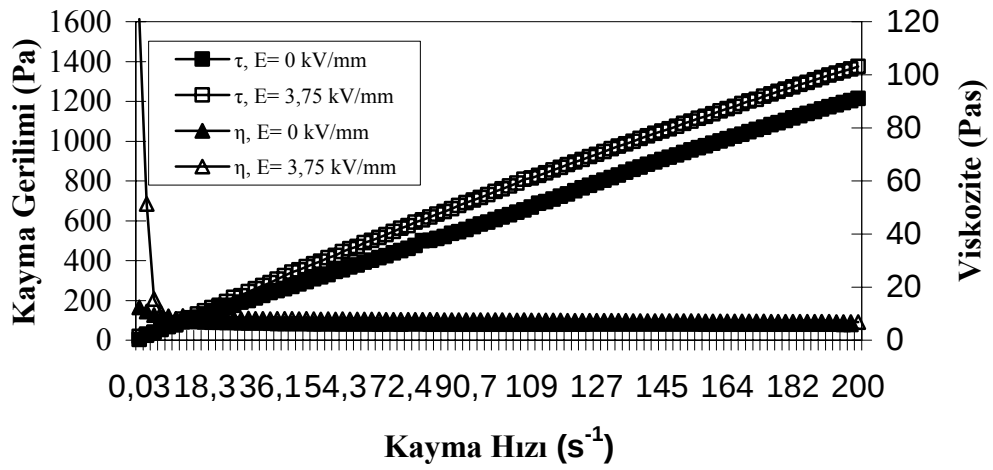
Numune	Kayma gerilimi ¹ (Pa)	Kayma gerilimi ² (Pa)	Akma verimi (Pa)	E (kV/mm)
K1	30	1375	19,07	3,75
K1	24	1215	3,49	0,00
K2	33	1396	21,30	3,09
K2	25	1246	1,61	0,00
K3	40	1081	40,70	2,06
K3	22	1055	2,33	0,00
K4	119	1495	119,10	2,06
K4	53	1485	52,94	0,00
K5	48	1298	42,09	1,03
K5	36	989	20,00	0,00
K6	43	1293	41,02	1,00
K6	31	984	18,30	0,00
PT	70	801	1,71	2,77
PT	14	563	88,39	0,00

¹Kayma hızı = $0,5 \text{ s}^{-1}$, ²Kayma hızı = 200 s^{-1}

Block ve Kelly SO içerisinde hazırladıkları süspansiyonlarda silika ve kalsiyum titanat ile yaptıkları deneylerde, silika süspansiyonların elektrik alan yokluğunda Newtonian davranış sergilediğini, kalsiyum titanat süspansiyonların ise dilatant davranış sergilediğini belirtmişlerdir [45]. Tanaka ise polianilin ve magnezyum hidroksitin SO ortamında hazırlanan süspansiyonları ile yaptıkları çalışmalarda, hem elektrik alan yokluğunda hem de elektrik alan varlığında süspansiyonların kayma incelmesi gösterdiğini belirtmiştir [89]. Aynı şekilde sıvı kristal polisiloksan/SO sisteminin $E = 0 \text{ kV/mm}$ ve $E \neq 0 \text{ kV/mm}$ şartlarında da kayma incelmesi türünden reolojik bir davranış gösterdiği Otsubo tarafından rapor edilmiştir [90]. Ayrıca Ünal ve arkadaşları tarafından poli(2-akrilamido-2-metilpropansülfonik asit)/SO sistemi ile yapılan çalışmada viskozitenin elektrik alan kuvvetinin artmasıyla arttığı, kayma hızı artışı ile de azaldığı rapor edilmiştir [72].

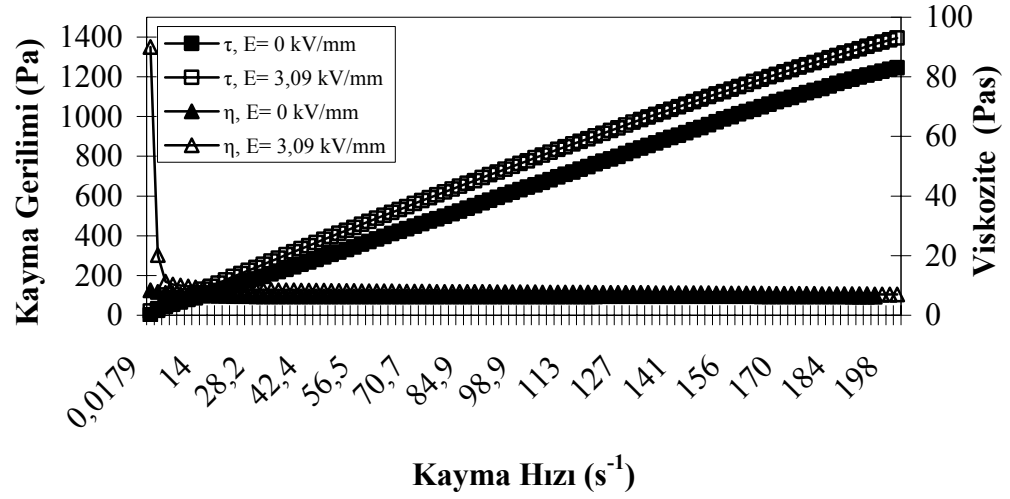


(a)

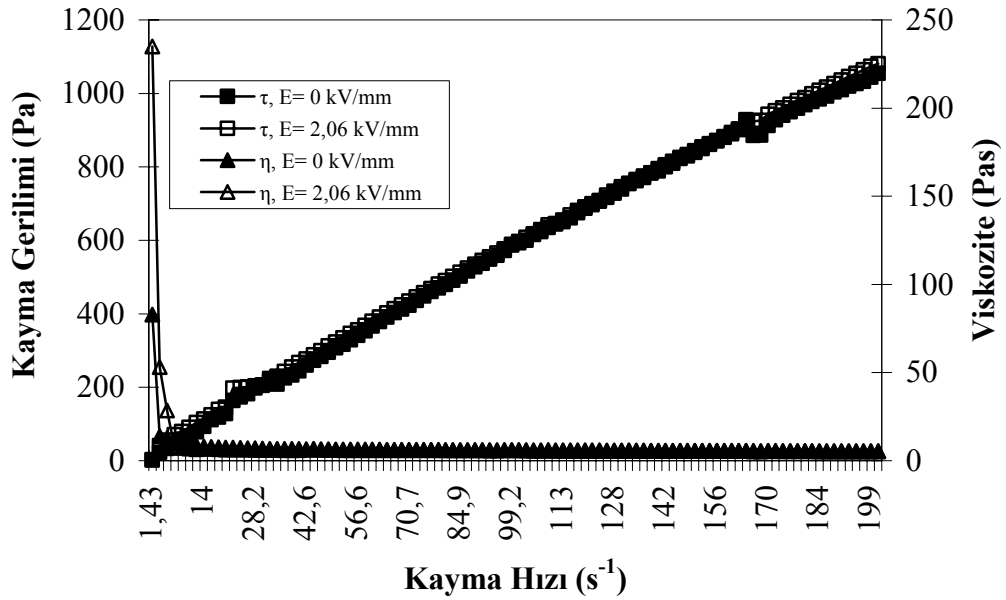


(b)

Şekil 5.12. Numunelerin kayma gerilimi ve viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi
c= %25, T = 25°C, a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6

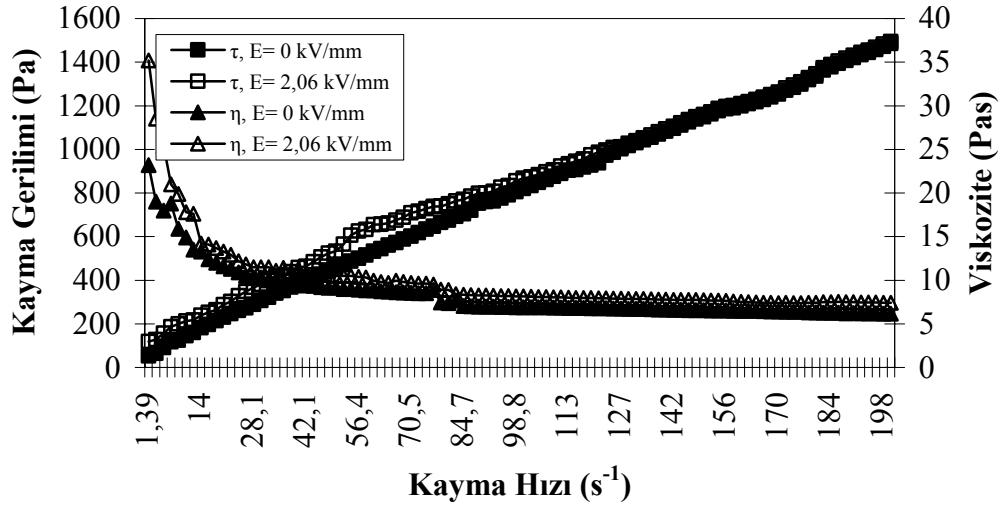


(c)

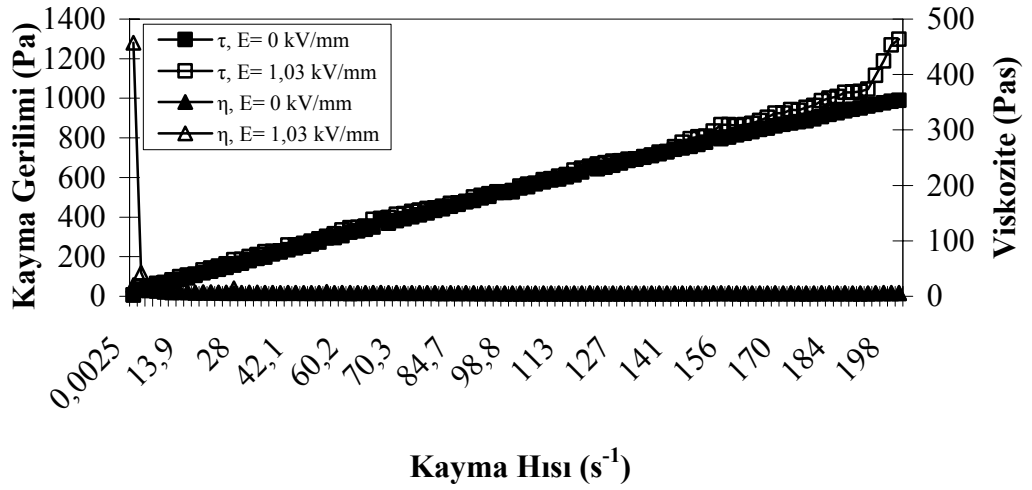


(d)

Şekil 5.12. (Devam) Numunelerin kayma gerilimi ve viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi $c = \%25$, $T = 25^\circ\text{C}$, a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6

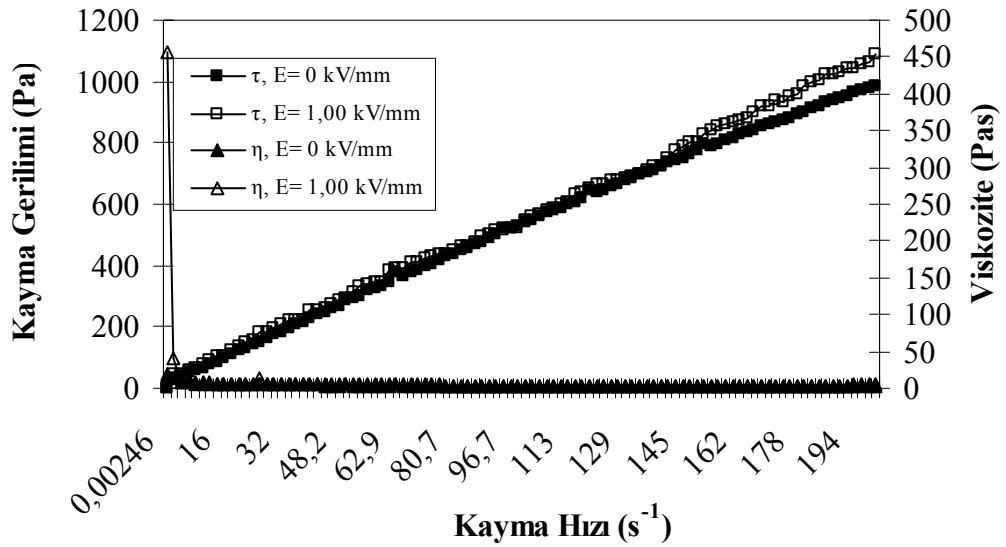


(e)



(f)

Şekil 5.12. (Devam) Numunelerin kayma gerilimi ve viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi $c = \%25$, $T = 25^\circ\text{C}$, a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6



(g)

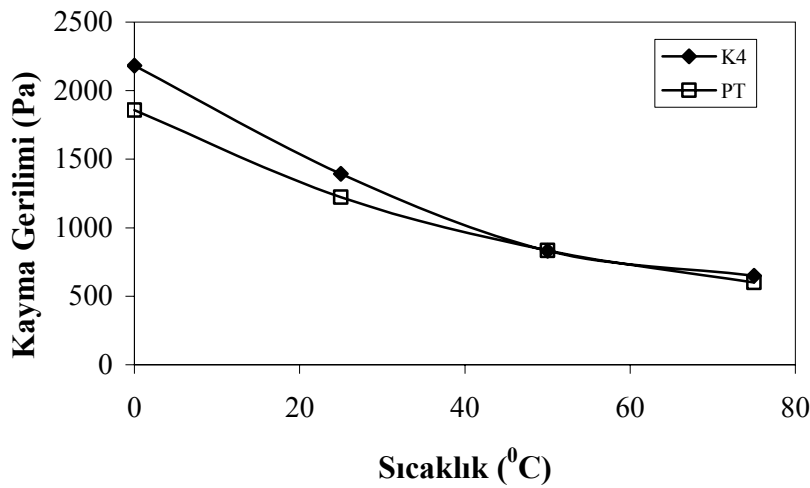
Şekil 5.12. (Devam) Numunelerin kayma gerilimi ve viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi c= %25, T = 25°C, a) PT b) K1 c) K2 d) K3 e) K4 f) K5 g) K6

5.5.7. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık etkisi, ER aktiviteyi değerlendirmek için önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklığın ER akışkan üzerine etkisi iki şekilde olmaktadır. Birincisi, ER süspansiyon için sıcaklık, polarizasyon etkisini kesin olarak değiştirebilir. Bunun yanında tanecik iletkenliği ve dielektrik sabiti de sıcaklıkla değişebilir. Yüksek sıcaklıkta ER süspansiyon içerisindeki taneciklerin iletkenliğinin azalması ve dielektrik kaybının meydana gelmesi ER aktivitenin azalmasına neden olur. İkincisi ise sıcaklık taneciklerin çarpışma sayısının artmasını sağlar. Ayrıca yüksek sıcaklıkta Brown hareketleri artar ve taneciklerin lif yapısı zayıf hale gelir. Bu durum ER etkinin azalmasına neden olur.

Şekil 5.13'de PT homopolimerinin ve %68 PT içeren K4 kodlu POM/PT kompozitinin $E = 1,0 \text{ kV/mm}$ ve $c = \%25$ şartlarında kayma gerilimlerinin sıcaklık ile değişim grafiği verilmiştir. Süspansiyonların $0-75^\circ\text{C}$ aralığında, sabit kayma hızında ($\dot{\gamma} = 200 \text{ s}^{-1}$) yapılan ölçümlerde sıcaklık artışı ile ER aktivitenin azaldığı

gözlenmiştir. Sıcaklığın 0°C'den 75°C'ye artmasıyla PT'nin ER aktivite kaybı, 1259 Pa'dır. POM/PT kompozitinde ise ER aktivite kaybı 1582 Pa dır. Yılmaz ve arkadaşlarının Poli(metilmetakrilat)-blok-polistiren/SO süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada, sıcaklık artışı ile kayma geriliminin azaldığını ve 140 Pa lık bir kayıp olduğu rapor edilmiştir [44,67,91].

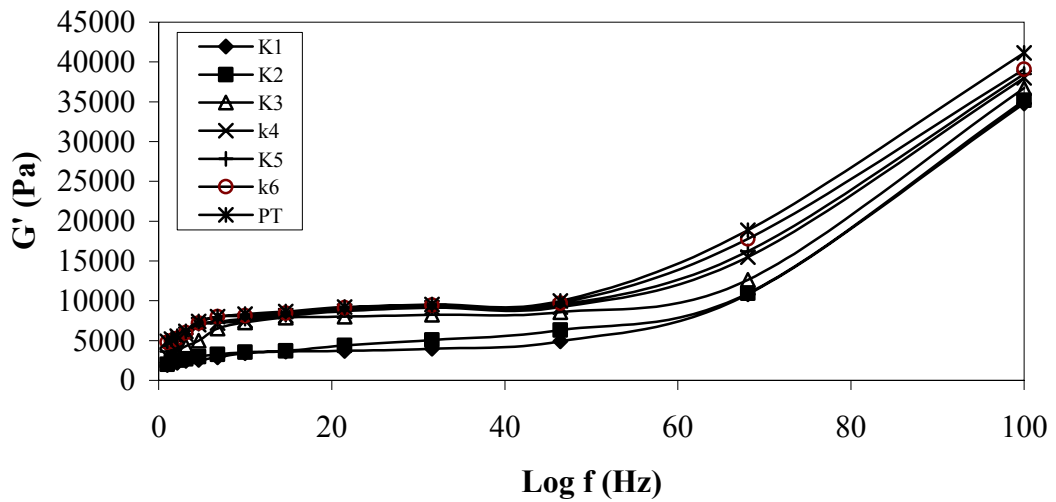


Şekil 5.13. Kayma geriliminin sıcaklıkla değişimi $\dot{\gamma} = 200 \text{ s}^{-1}$, $E = 1,0 \text{ kV/mm}$

5.5.8. Elastik modülün frekans ile değişimi

ER akışkanların dinamik viskoelastik özelliklerini karakterize etmek için frekans önemli bir faktördür. PT ve POM/PT süspansiyonların $E = 1,0 \text{ kV/mm}$, $c = \%15$ olduğu şartlarda, elastik modülün frekansla değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.14'de verilmiştir. Süspansiyonların 1–100 Hz frekans aralığında elastiklik modülünün yaklaşık $f = 50 \text{ Hz}$ değerine kadar çok az bir artış gösterdiği, $f = 50 \text{ Hz}$ değerinden sonra ise güçlü bir viskoelastik karakter sergilediği gözlenmektedir. Benzer şekilde Unal ve arkadaşları poliinden/ CaCO_3 kompozitlerin frekans artışı ile elastik modül değerinin de arttığını rapor etmişlerdir [76]. 70 Hz frekanstan sonra artış hızlanmıştır. Elastik modül 100 Hz frekansta PT için 41 122 Pa değerindedir. POM/PT kompozitinde ise şu sırasıyla değişmektedir: $\%14 \text{ PT (34 790 Pa)} < \%29 \text{ PT (35 200 Pa)} < \%42 \text{ PT (36. 700 Pa)} < \%68 \text{ PT (38 000 Pa)} < \%72 \text{ PT (38 500 Pa)} < \%88 \text{ PT (39 100 Pa)}$. Bu durum kompozit bileşimi içerisinde iletken

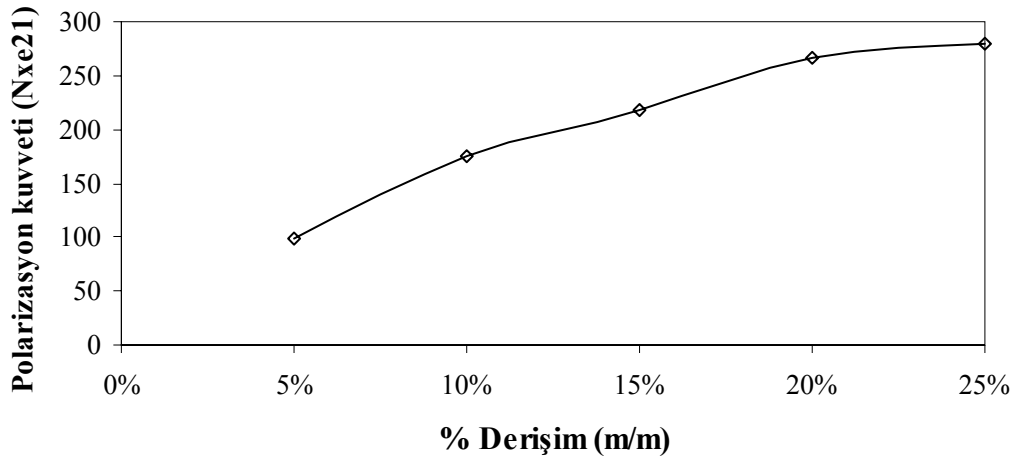
özellikte olan PT nin miktarının artmasından kaynaklanıyor olabilir, çünkü PT miktarı arttıkça, kompozit malzemenin dış etkenleri algılama özelliği artar, ve daha güçlü bir titreşim sönümler karakteri gösterir. Kompozit sentezleme nedenlerimizden bir tanesi de ne sadece PT de olan, ne de sadece POM da olan bu üstün özelliğin ortaya çıkartılması idi ve bu başarılmış oldu.



Şekil 5.14. Numunelerin frekans ile elastik modülün değişimi. $\tau = 10\text{Pa}$, $c = \%15$,
 $T = 25^\circ\text{C}$, $E = 1\text{ kV/mm}$

5.5.9. Polarizasyon kuvvetinin derişim ile değışimi

Bir süspansiyon içerisinde derişim arttıkça tanecikler arası etkileşim arttığından polarizasyon kuvvetleri de artar. Numunelerde derişim taraması sadece K2 kompoziti için yapıldığından polarizasyon kuvvetlerinin büyüklüğü de sadece K2 kompoziti için hesaplandı. Şekil 5.15’de görüldüğü gibi K2/SO süspansiyon sisteminde artan derişim ile elektrik alan altında indüklenmiş polarizasyon kuvvetleri de $99,6 \times 10^{-21}\text{ N}$ dan $28,0 \times 10^{-20}\text{ N}$ değerine yükselmiştir. İndüklenmiş polarizasyon kuvvetleri hesaplanmıştır. (Bkz. Eş. 5.3). Benzer sonuçlar CaCO_3/SO süspansiyon sistemi için de rapor edilmiştir [92].



Şekil 5.15. K2 nolu kompozit için polarizasyon kuvvetinin derişim ile değişimi

$$\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}, T = 25^{\circ}\text{C}, E = 2,57 \text{ kV/mm}$$

5.5.10. Sürünme deneyleri

Özellikle yarıkristalin polimerler uygulanan bir gerilim altında direnç gösteremezler ve sürünme akışına uğrarlar. Polimerik malzemenin sürünme testlerine göstereceği tepki (zincirlerin yeniden düzenlenme hareketleri) malzemenin moleküler yapısına, deneyin yapıldığı sıcaklığa, testin uygulama süresine ve hepsinden önemlisi de yapının amorf veya kristalin olmasına bağlıdır. Bazı polimerik malzemelerde sürünmenin kalıcı ve tersinmez olmasının nedeni amorf bölgelerdeki moleküler kaymalar (molekül yapı taşlarının yerlerinden oynaması) ve kristalin bölgelerde gerçekleşen yeniden düzenlenmelerdir [93].

PT homopolimeri ve %69 PT içeren K4 kodlu kompozit ile %88 PT içeren K6 kodlu kompozit malzemelerinde sürünme deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.16a-5.16c de gösterilmiştir. Sürünme deneylerinden elde edilen grafikler incelendiğinde, PT de sadece viskoelastik sürünmelerin gözleendiği, kompozit malzemelerde ise önce viskoelastik davranış, ardından viskoelastik-geri kazanma (recovery) ve ardından da geri kazanılamaz sürünme davranışlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Kompozitlerde %PT miktarı arttıkça elastik yenilenme ve viskoelastik yenilenmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerde

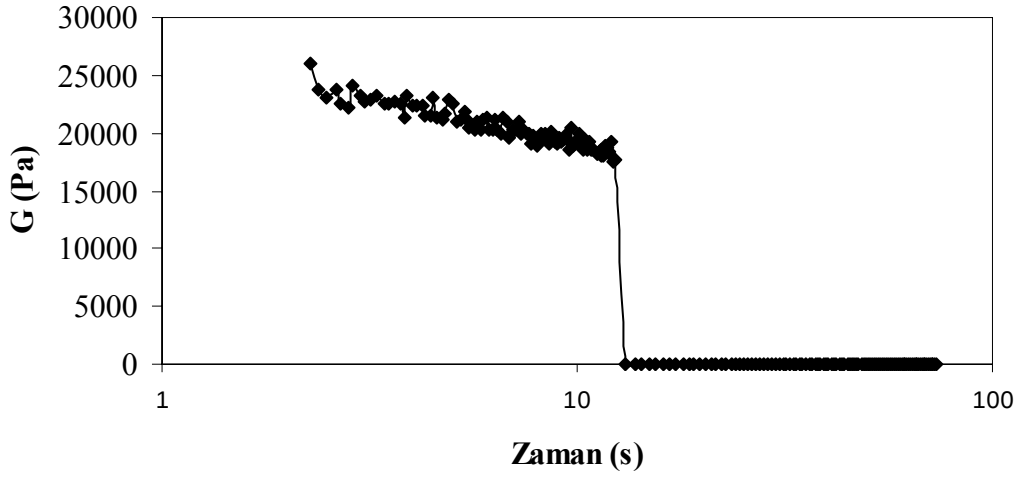
%PT miktarı arttıkça grafiklerin altında kalan yenilenemeyen tersinmez viskoz akışa karşılık gelen alanların azaldığı ve kompozit malzemenin sürünmeye karşı daha dirençli hale geldiği görüldü. Kompozit malzemelerdeki deformasyonların başlangıç, sonlanma ve tersinmez alanlarına karşılık gelen değerleri 5.5’de verilmiştir.

Benzer şekilde Genovese ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarda polipirol ve poli[etilen-ko-(metil akrilat)] blendlerinin viskoelastik bir deformasyon gösterdiğini belirtmiştir [94].

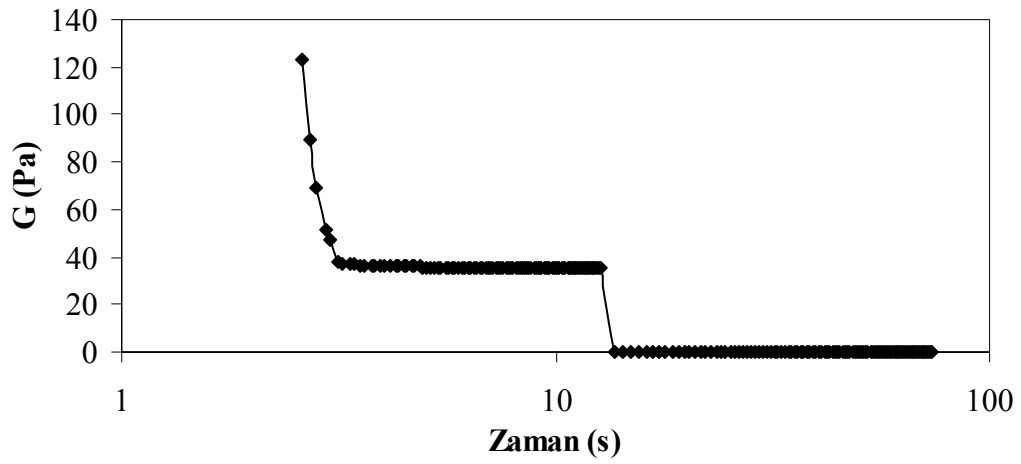
Ayrıca Acha ve arkadaşlarının polipirol/hint keneviri kompozitleri ile yapmış oldukları çalışmalarda ise kompozitlerdeki hint keneviri miktarı arttıkça viskoelastik deformasyonun azaldığı rapor edilmiştir [95].

Çizelge 5.5. Numunelerdeki deformasyonların başlangıç ve sonlanma değerleri

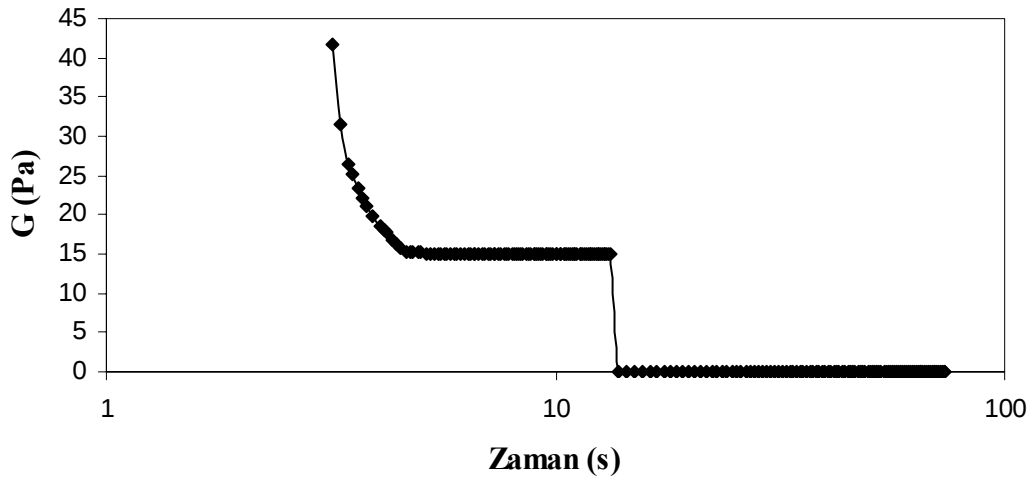
Numune	PT	K2 (%29 PT)	K6 (%88 PT)
Viskoelastik deformasyon başlangıç zamanı (s)	0,12	2,61	3,19
Viskoelastik deformasyon başlangıç modülü (Pa)	25 990	123,30	41,76
Tersinir elastiklik zamanı (s)	6,82	3,94	5,02
Tersinir elastiklik modülü (Pa)	19 880	36,14	15,13
Viskoelastik deformasyon sonlanma zamanı (s)	12,31	12,65	13,2
Viskoelastik deformasyon sonlanma modülü (Pa)	17,750	35,59	15,9



a) PT



b) K4



c)

Şekil 5.16. a) PT b) K4 c) K6 için log(zaman) ile elastik modülün değişimi
 $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $E = 0\text{ kV/mm}$, $\tau = 10\text{ Pa}$, $c = \%15$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Dört nokta tekniği ile yapılan iletkenlik ölçümleri sonucunda PT için iletkenlik değeri, $1.90 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ iken, kompozitler için iletkenlik değerleri 1.99×10^{-4} - $2.87 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$ aralığında bulundu [7]. Kompozit malzemelerde POM miktarı arttıkça iletkenliğin azaldığı tespit edildi.
2. Empedans Analizörü ile yapılan ölçümlerde numunelerin dielektrik sabiti 0.64-6.79 değerleri arasında bulundu. Bu değerlerinin ER uygulamalar için aranan aralıkta olduğu tespit edildi.
3. Kolloidal kararlılığa, bileşimin etkisi PT ve POM/PT kompozitlerinde; derişimin etkisi ise K2 (%29 PT) nolu kompozitte incelendi. Artan süspansiyon derişimi ve tanecik boyutu ile kolloidal kararlılığın azaldığı tespit edildi. Süspansiyonların gösterdiği kolloidal kararlılık değerlerinin endüstriyel uygulamalar için uygun olabileceği sonucuna varıldı.
4. Elektoreometre ile yapılan çalışmalarda, süspansiyonun derişimi arttıkça ER verimin arttığı görüldü Maksimum ER verimi K2 kompoziti için $c = \%15$ 'lik derişimde 1,56 olarak gözleendiğinden, elektoreometre ile yapılan diğer çalışmalarda da diğer kompozitler için $\%15$ 'lik derişimle hazırlanan süspansiyonlar kullanıldı
5. Elektrik alan varlığında süspansiyonların viskozite değerinin, elektrik alanın olmadığı duruma göre daha yüksek çıktığı gözleendi.
6. PT ve POM/PT kompozitlerin viskozitesinin kayma hızının artmasıyla azaldığı ve kayma incelmesi türünden Newtonian olmayan viskoelastik bir davranış gösterdiği, kompozitlerde PT miktarı arttıkça elektrik alan viskozitenin arttığı tespit edildi.
7. Süspansiyonlarda derişim ve elektrik alan kuvveti artışına paralel olarak kayma geriliminde artış gözleendiği tespit edildi.

8. Kompozit malzemelerden hazırlanan süspansiyonların yüksek sıcaklıkta çok fazla güç kaybına uğramadığı ve endüstriyel uygulamalar için uygun olabileceği gözlemlendi.
9. Süspansiyonların 1–100 Hz frekans aralığında elastiklik modülünün yaklaşık $f = 50$ Hz değerine kadar çok az bir artış gösterdiği, $f = 50$ Hz değerinden sonra ise güçlü bir viskoelastik karakter sergilediği gözlemlendi.
10. Kompozit malzemelerden hazırlanan süspansiyonların içerisinde elektrik alan indüklenmiş polarizasyon kuvvetlerinin aktif olduğu, bunların ER aktiviteye sebep olduğu ve bu polarizasyon kuvvetlerinin de artan derişim ile beklenildiği şekilde arttığı gözlemlendi.
11. Yapılan yorulma deneylerinden elde edilen verilere bakıldığında ise kompozit malzemelerin tersinir bir viskoelastik deformasyon gösterdiği gözlemlendi.
12. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak incelenen PT ve POM/PT kompozitlerin, endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği önerilmektedir.
13. Kompozitler için en uygun çalışma koşulları $c = \%15$ lik derişim, $\dot{\gamma} = 0,2 \text{ s}^{-1}$ kayma hızı, $T = 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve kompozit bileşimi olarak da $\%88$ PT içeren K6 nolu POM/PT kompoziti belirlendi.

KAYNAKLAR

1. Balcı, N., Bayramlı, E., Toppare, L., “Conducting Polymer Composites: Polypyrrole and Poly(vinyl chloride-vinyl acetate) Copolymer”, *Journal of Applied Polymer Science*, 64: 667-671 (1997)
2. Wang, F., Li, L., Wan, X., Xue, G., “Modification of Polyindole by the Incorporation of Pyrrole Unit”, *Journal of Applied Polymer Science*, 85: 814-820 (2002).
3. Sarı, B., Talu, M., Gök, A., “Sythesis and Characterization of Nylon 6/polyalkylaniline Conducting Composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, 87: 1693-1701 (2003).
4. Yılmaz, H., Ünal, H.İ. , Sarı, B., “Sythesis, Characterization Electrorheological Properties of poly(o-toluidine)/Zn Conducting Composites” *Journal of Applied Polymer Science*, 87: 1693-3484-3492 (2007).
5. Yeh, J.Y. Chen, L.W. and Wang, C.C., “Dynamic stability of a sandwich beam with a constrained layer and electrorheological fluid core”, *Composite Structures*, 64: 47-54 (2004).
6. Zhang, H. and Li, C., “Chemical synthesis of transparent and conducting polyaniline –poly(ethylene terephthalate) composite films”, *Synth. Met.*, 44: 143-146 (1991).
7. Özgün, A., “Tiyofenin Kimyasal Polimerleşmesi, Poli(oksümetilen) ile Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).
8. Cha, S. K., “1 Elektropolimerization rates of polythiophene/polypyrrole composite polymer with some dopant ions, *J, Polym. Sci: Part B, Polym Phys.*, 35: 165-172 (1987).
9. Oyhenart, L., Vigneras, V., Demontoux, F. and Parneix, J.P., “A three-dimensional planar photonic crystal using conducting polymers”, *Microwave and Optical Technology letters*, 44(5): 460-463 (2005).
10. Sukumar, M., “Recent trends in conducting polymers: problems and promises”, *Indian Journal of Chemistry*, 33A: 524-539 (1994).
11. Cowie, J. M G., “Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials”, *Second Edition, Chapman and Hall*, New York, USA, 410-420 (1991).
12. Sarı, B., Talu, M., “Electrochemical Polymerization and Analysis of Some Aniline Derivatives”, *Turk J. Chem.*, 22:301-307 (1998).

13. Sarı, B., Talu, M., "Electrochemical Copolymerization of Pyrrole and Aniline", *Synthetic Metals*, 94:221-227 (1998).
14. Gök, A., Sarı, B., Talu, M., "Chemical Preparation of Conducting Polyfuran/Poly(2-chloroaniline) Composites and Their Properties: A Comparison of Their Components, Polyfuran and Poly(2-chloroaniline)", *Journal of Applied Polymer Science*, 88:2924-2931 (2003).
15. Talu, M., Kabasakaloğlu, M., Yıldırım, F., Sarı, B., "Electrochemical Synthesis and Characterization of Homopolymers of Polyfuran and Polythiophene and Bipolymer Films Polyfuran/Polythiophene and Polythiophene/Polyfuran", *Applied Surface Science*, 181:51-60 (2001).
16. Xiuying, Q., Xianhong, W., Xianhong, Z., Yanju, W., Quingyong, C., Zhishen, M., "Characterization and properties of the neutral and doped blends of poly(3-dodecylthiophene) with low-density polyethylene", *Journal of Applied Polymer Science*, 84: 741-749 (2002).
17. Kovacic, P., McFarland, K. N., "Polymerization of Aromatic Nuclei. XIX. Polymerization of Thiophene by Aluminum Chloride", *J. Polym. Sci: Polym. Chem. Ed.*, 17: 1963-1976 (1979).
18. Pokhodenko, V. D., Guba, N. F., Gajduk, O. A., Shakhnin D. B., "Synthesis and Properties of A New Conducting Polymer Based on 3-methyl-4-phenylthiophene", *Synthetic Metals*, 60: 77-79 (1993).
19. Wang, J., Neoh, K.G., Kang, E.T., "Comparative Study of Chemically Synthesized and Plasma Polymerized Pyrrole and Thiophene Thin Films", *Thin Solid Films*, 446: 205-217 (2004).
20. Ryu, K.S., Lee, Y., Han, K.-S., Kim, M.G., "The Electrochemical Performance of Polythiophene Synthesized By Chemical Method As The Polymer Battery Electrode", *Materials Chemistry and Physics*, 84: 380-384 (2004).
21. Béra-Abèrem, M., Ho, H.-A., Leclerc, M., "Functional Polythiophenes As Optical Chemo- and Biosensors", *Tetrahedron*, 60:11169-11173 (2004).
22. Arslan Udum, Y., Pekmez, K., Yıldız, A., "Electrochemical Preparation of A Soluble Conducting Aniline-Thiophene Copolymer", *European Polymer Journal*, 41:1136-1142 (2005).
23. Nguyen, P.T., Rammelt, U., Plieth, W., Richter, S., Plötner, M., Fischer, W.-J., Kiri, N., Kamloth, K.P., Adler, H.-J., "Experiments With Organic Field Effect Transistors Based On Polythiophene Oligomers", *Electrochimica Acta*, 50:1757-1763 (2005).

24. Masamoto, J., Yajima, K., Sakurai, S., Aida, S., Ueda, M., Nomura, S., "Microphase Separation in Polyoxymethylene End-Capped With A Long-Chain Alkyl", *Polymer*, 41:7283-7287 (2000).
25. Pan, G., Li, H., Cao, Y., "H-NMR Investigation of The Thermooxidation Degradation of Poly(oxymethylene) Copolymers", *Journal of Applied Polymer Science*, 93:577-583 (2004).
26. Dziadur, W., "The Effect of Some Elastomers On The Structure and Mechanical Properties of Polyoxymethylene", *Materials Characterization*, 46:131-135 (2001).
27. Dziadur, W., "Fractographic Features of Modified Polyamide and Polyoxymethylene", *Materials Chemistry and Physics*, 81:356-359 (2003).
28. Wang, X., Cui, X., "Effects of Ionomers on Mechanical Properties, Morphology and Rheology of Polyoxymethylene and Its Blends With Methyl Methacrylate-Styrene-Butadiene Copolymer", *European Polymer Journal*, 41:871-880 (2005).
29. Winslow, W. M., "Induced Vibration Suspension", *Journal of Applied Physics*, 20: 1137-1140 (1947).
30. Makela, K. K., "Characterisation And Performance of Electrorheological Fluids Based On Pine Oils", *VTT Publications, Finland*, 15 (1999).
31. Winslow, W., M., "Methods And Means For Transmitting Electrical Impulses Into Mechanical Force" U.S. Pat. No: 2417850 (1947).
32. Winslow, W., M., "Field Controlled Hydraulic Device" U.S. Pat. No: 2661596 (1953).
33. Winslow, W., M., "Field response Force Transmitting Compositions", U.S., Pat. No: 3047507 (1962).
34. Lee, H. J., Chin, B. D., Yang, S. M., Park, O., "Surfactant Effect on the Stability and Electrorheological Properties of Polyaniline Particle Suspensions", *Journal of Colloid And Interface Science*, 206: 424-438 (1998).
35. 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).
36. Plockharski, J., Drabik, H., Wycislik, H., Ciach, T., "Electrorheological Properties of Polyphenylene Suspensions", *Synthetic Metals*, 88: 139-145 (1997).

37. Uejima, H., "Field Controlled Hydraulic Device", *Japanase Journal of Applied Physics*, 11: 319 (1972).
38. Whittle, M., Physic World, "Methods And Means For Transmitting Electrical Impulses Into Mechanical Force", *Journal Of Applied Polymer Science*, 2: 39 (1989).
39. Hollmann, H.E., "Characterisation And Performance of Electrorheological Fluids Based On Pine Oils", *J.Appl. Phys.*, 21: 402 (1950).
40. J.E. Strangroom, "Electrorheological fluids", *Phys. Techn.*, 14(6): 290-296 (1983)
41. Chiang Y. C. and Jamieson A. M., "Electrorheological determination of the Leslie viscosity coefficient (η_2) of a main-chain liquid crystal polymer in a nematic solvent" *Rheol. Acta*, 38, 268–273 (1999).
42. Filisko, F.E. In: Tao, R., Editor, Proc. Intern. Conf. On Electrorheological Fluids, *Word Sci*, 116 (1992)
43. Gao, Z.W., Zhao, X.P., "Guest-controlling effects on ER behaviors of β -cyclodextrin polymer", *Journal of Colloid and Interface Science*, 289: 56-62 (2005).
44. Yılmaz, H., Değirmenci, M. and Ünal, H.İ., "Electrorheological properties of PMMA-b-PSt copolymer suspensions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 293: 489-495 (2006).
45. Block, H. and Kelly, J.P., "Electro-rheology" *J. Phys. D:Appl. Phys*, 21(12): 1661–1677 (1988).
46. Hao, Tion, Kawai, Akiko and Ikazaki, Fumikazu, "Mechanism of the Electrorheological Effect: Evidence from the conductive, Dielectric and Surface Choacteristics of Water-free Electrorheological fluids", *Langmuir*, 14: 1256-1262 (1998).
47. Di, K., Yang, X. and Li, C., "Electrorheological behavior of copper phthalocyanine-doped mesoporous TiO₂ suspensions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 294: 499-503 (2006).
48. Otsubo, Yasufumi, Sekine, Masahiro and Katayamd Shingo "Effect of Adsorbed Water on the Electrorheology of siliad suspensions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 50: 324–330 (1992).
49. Gehin, C., Persello, J., Charraut, D. And Cabace, B., "Electrorheological properties and microstructure of silica suspensions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 273: 658-667 (2004).

50. Şahin, D., Sarı, B. And Ünal, H.İ., “An Investigation of Some Parameters on Electrorheological Properties of Polypyrrole Suspensions”, *Turk J. Chem.*, 26: 113-124 (2002).
51. Hao, Tian, “Electrorheological suspensions” *Advances in Colloid and Interface Science*, 97: 1–35 (2002).
52. Liu, Z., Lin, Y., Wen, X., and Su, Q., “Preparation and electrorheological properties of polyquin(2,3-b)acridine-12, 14(5,7)dione-based suspensions”, *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 264:55–60 (2005).
53. Lengalova, A., Pavlinek, V., Saha, P., Quadrat, O., Stejskal, J., “The Effect Of Dispersed Particle Size And Shape On The Electrorheological Behaviour of Suspensions”, *Colloids And Surfaces*, 227: 1-8 (2003).
54. 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).
55. Abu-Jdayil, B., Bruun, P. O., “Effects of electrode morphology on the slit flow of an electrorheological fluid”, *J.Non-Newtonian Fluid Mech.*, 63:45-61 (1996)
56. Ward, I. M., Hadley, D. W., “An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers”, *John Wiley & Sons*, Chichester, 51-57 (1993).
57. Osanaiye, G. J., Adewale, K. P., “Creep and recovery of EPDM elastomer using a modified sandwich rheometer”, *Polym. Test.*, 20: 363 (2001).
58. Menard, K. P., “Dynamic Mechanical Analysis; A Practical Introduction”, *Boca Raton*, 3: 39 (1999).
59. Noresson, V., Ohlson, N.G. and Nilsson M., “Design of electrorheological dampers by means of finite element analysis: theory and applications”, *Materials and Design*, 23: 361-369 (2002).
60. Yeh, Z.F., Shih, Y.S., “Critical load, dynamic characteristics and parametric instability of electrorheological material-based adaptive beams”, *Computers and Structures*, 83: 2162-2174 (2005).
61. Choi, S.B., Cheong, C.C., Jung, J.M. and Choi, Y.T., “Position control of an Valve-cylinder system via Neural Network controller”, *Mechatronics*, 7: 37-52 (1997).
62. Dlodlo, Z.B., Brookfield, D.J., “Compensator-based position control of an Electrorheological actuator”, *Mechatronics*, 9: 895-917 (1999).

63. Xu, Y., Qu, W.L. and Ko, J.M., "Seismic response control of frame structures Using magnetorheological/electrorheological dampers", *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 29:557-575 (2000)
64. -Bar-Cohen, Y., "Biologically Inspired Robots as Artificial Inspectors", *Proceedings of the SPIE Smart Structures and Materials Symposium, NDE Conference*, San Diego, CA, 4702-4705 (2002).
65. Hao, T., "Electrorheological Suspensions", *Advances In Colloid And Interface Science*, 97 (1-3): 29, 1-35 (2002).
66. Rajasudha, G., Rajeswari, D., Lavanya, B., Saraswathi, R., Annapoorni, S., Mehra, N.C., "Colloidal dispersions of polyindole", *Colloid And Polymer Science*, 283 (5): 575-582 (2005).
67. Yılmaz, H., Ünal, H. İ., ve Sarı, B., "Synthesis, Characterization and Electrorheological Properties of Poly(o-toluidine)/Zn Conducting Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 103(2): 1058-1065 (2007)
68. Tsunogae Y., Majorous I., and Kennedy J.P., "Living Carbocationic Polymerization I. Living Carbocationic Copolymerization Indene Random Copolymerization of Indene p- Methylstyrene 1. Demonstration of The Living and Random Copolymerization of Indene and p-Methylenestyrene", *Appl. Chem.*, 30: 253-267 (1993).
69. Yanju, L., Hejun, D., Dianfu, W., "ER Fluid Based on İnorganic Polymer Blend Particles And Its Adaptive Viscoelastic Properties", *Colloid And Surfaces*, 189: 203-210 (2001)
70. Uemure, T., Minagawa, K., Koyama, K., "Negative Er Effect in Polymeric Liquids" *Polym Prepr Jpn*, 208: 1286 (1994).
71. Yılmaz, H., Ünal, H. İ., Yavuz, M., Arık, H., "Diyatomit ve Diyatomit/Poliakrilonitril Kompozitlerinden Hazırlanan Süspansiyonların Elektoreolojik Özelliklerinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (3): 473-482 (2003).
72. Ünal, H. İ., Yılmaz, H., "Electrorheological properties of poly(lithium-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid) suspensions", *Journal of Applied Poymer Science*, 86, 1106-1112 (2002).
73. Arslan, Y., Unal, H.İ., Yılmaz, H., Sari B., "Electrorheological Properties Of Kaolinite, Polyindole, and Polyindole/Kaolinite Composite Suspensions", *Journal of Applied Polymer Science*, 104: 3484–3493 (2007).

74. Klingenberg, D. J., Zukoski C. F., “Studies on the steady-shear behavior of electrorheological suspensions”, *Langmuir*, 6:15–24(1990).
75. Xu Y, Liang R., “Electrorheological Characterization of Zeolite Suspensions” *Journal of Rheolog* , 35:135 (1991)
76. Sarıkaya, Ş., Yavuz, M., Yılmaz, H., Ünal, H.İ., **Sarı. B.**, “Synthesis, Characterization and Electroheological Properties Polyindene/Calcium Carbonate Composites”, *Polymer Composites*, baskıda 167-185 (2007).
77. 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).
78. Yavuz, M., Unal, H. İ., Yıldırım, Y., “Electrorheological Properties of Suspensions Prepared From Polystyrene-block-Polyisoprene Copolymer”, *Turk Journal of Chemistry*, 25: 1-14 (2001).
79. 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).
80. Yavuz, M., Ünal, H. İ., “Synthesis, Characterization, and Partial Hdrolysis of Polyisoprene-co-Poly(tert-butyl methacrylate) and Elevtrorheological Properties of Its Suspensions”, *Journal of Applied Polymer Science*, 91: 1822-1833 (2004).
81. Ünal, H. İ., Yavuz, M., Yılmaz, H., “Sepiyolit Süspansiyonların Elektroeolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (3): 999-1007 (2001)
82. Yavuz, M., Ünal, H. İ., “Electrorheological Properties of Suspensions Prepared from Poly(Li-tert-butyl methacrylate) Ionomer”, *Turk Journal of Chemistry*, 28: 587-601 (2004).
83. 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).
84. Choi, U. S., Ko, Y. G., Kim J. Y., “Electrorheological Performance of Chitosan Phospate Suspension”, *Polymer Journal*, 32, 501-507 (2000).
85. Oz, K., Yavuz, M., Yilmaz, H., Unal, H. I., Sari B., “Electrorheological Properties and creep behavior of Polyindole/Poly(Vinyl Acetate) composite suspensions”. *Journal of Meterials Sicience*, 106-110 (2007).
86. Yang, J., Ferreira, J.M.F., Weng, W. And Tang, Y., “Sol- Gel Preparation and Electrorheological Activity of SiO₂-TiO₂ Composite Powders”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 195: 59-65 (1997).

87. Bezruk, V.I., Lazarev, A.N., Malow, M.A. and Usyarov, O.G., *Coll.J.*, 34: 142 (1972).
88. Choi, H.J., Kim, T.W., Cho, M.S., Kim, S.G. and Jhon M.S., "Electrorheological Characterization of Polyaniline Dispersions", *Eur. Polym.J.*, 33: 699-703 (1997).
89. 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).
90. Otsubo, Y. and Edamure K., "Electric effects on the rheology of insulating oils in electrodes with flocked fabric", *Rheol. Acta*, 38: 137-144 (1999).
91. Arslan, Y., Ünal, H.İ., Yılmaz, H. ve **Sarı, B.**, "Electrorheological Properties of Kaolinite, Polyindole and Polyindole/Kaolinite Composite Suspensions" *Journal of Applied Polymer Science*, 104(5): 3484-3493 (2007).
92. Gerçek, B., Yavuz, M., Yılmaz, H., **Sarı, B.** ve Ünal H. İ., "Comparison of Electrorheological Properties of Some Polyaniline Derivatives" *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 299(1-3): 124-132 (2007).
93. Akovalı, G., "Temel ve Uygulamalı Polimer", *Tumka*, Ankara 300-315 (1984).
94. Genovese, A., Shanks R. A., "Time-Temperature Creep Behaviour of Poly(propylene) and Polar Ethylene Copolymer Blends", *Macromol. Mater. Eng.*, 292: 184–196 (2007).
95. Acha, B. A., Reboredo, M. M., Marcovich N. E., "Creep and dynamic mechanical behavior of PP-Jute composites:Effect the interfacial adhesion", *Composites*, 38: 1507-1516 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mehtap EYRIK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.03.1982 Ankara
Medeni hali : Bekar
e-mail : mehtapeyrik@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Bölümü	2005
Lise	Ayrancı Süper Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005–.....	Referans Kimya Ltd Şti	Kimyager/Ürün Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce