

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİTİYOFEN/NEVŞEHİR POMZASI
KOMPOZİTLERİNİN ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
FATMA TAŞKOPARAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Haşim YILMAZ**

**Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Kasım 2013
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİTİYOFEN/NEVŞEHİR POMZASI
KOMPOZİTLERİNİN ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
FATMA TAŞKOPARAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Haşim YILMAZ**

**Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Kasım 2013
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Haşim YILMAZ danışmanlığında **Fatma TAŞKOPARAN** tarafından hazırlanan “**Politiyofen/Nevşehir Pomzası Kompozitlerinin Elektroeolojik Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniwersitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

19/11/2013

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Selçuk KERVAN



Üye : Prof. Dr. Haşim YILMAZ



Üye : Doç. Dr. Ümmihan YILMAZ



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun...22.11.2013 tarih ve...31-04 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

26.11/2013

Doç. Dr. Sağlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatma TAŞKOPARAN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok kıymetli Hocam Prof. Dr. Haşim YILMAZ'a sonsuz teőekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalıőmalarımda, iletkenlik ve tanecik boyutu ölçümlerinde yardımcı olan Araő. Gör. Ömer Yunus GÜMÜŞ'e ve gerekli analizler için Laboratuar imkânlarını sağlayan Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim üyesi Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL hocama, yardımlarından dolayı kimya bölümü öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca çalıőmam süresince bana her türlü yardımda bulunan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

**POLİTİYOFEN/NEVŞEHİR POMZASI KOMPOZİTLERİNİN
ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fatma TAŞKOPARAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2013**

ÖZET

Bu çalışmada, 3 farklı bileşime sahip politiyofen/nevşehir pomzası (PT/POMZA) kompozitlerin silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonlarının elektoreolojik (ER) özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirildi, elde edilen sonuçlar politiyofen (PT) ile karşılaştırıldı. PT/POMZA kompozitlerin silikon yağı içerisinde çeşitli hacim kesirlerinde ($\phi = \%5 - \%20$) süspansiyonları hazırlandı, çökelme karalılıkları tespit edildi ve süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine tanecik hacim kesri, kayma hızı, elektrik alan kuvveti, frekans ve sıcaklığın etkileri araştırıldı. Kompozitler için en uygun çalışma koşulları $\phi = \%20$ hacim kesri, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$ kayma hızı, $T = 25^\circ\text{C}$ sıcaklık ve kompozit bileşimi olarak da $\%78$ PT içeren PT/POMZA kompoziti (K3 kodlu) belirlendi.

Anahtar Kelimeler: *Politiyofen, politiyofen/Nevşehir pomzası, iletken kompozitler, elektoreolojik akışkanlar*

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Haşim YILMAZ

Sayfa Adedi : 54

**INVESTIGATION OF ELECTORRHEOLOGICAL PROPERTIES OF
POLYTHIOPHENE/NEVŞEHİR PUMICE COMPOSITES**

(M.Sc. Thesis)

Fatma TAŞKOPARAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
November 2013**

ABSTRACT

In this study, electrorheological (ER) properties of polythiophene/Nevşehir pumice (PT/Pumice) conducting composites having five different compositions were investigated and results obtained are compared with homopolythiophene (PT). Suspensions of PT/POMZA composites were prepared in a silicone oil (SO), at several volume fractions ($\phi = 5\text{--}20\%$) and their sedimentation stabilities were determined. Then the effects of dispersed particle volume fraction, shear rate, external electric field strength, frequency and temperature onto ER activities of suspensions were investigated. The most suitable working conditions for the composites were determined to be $\phi = 20\%$ volume fraction, $\dot{\gamma} = 0.1 \text{ s}^{-1}$ shear rate, $T = 25^\circ\text{C}$ temperature. The best ER results were obtained with the composite coded K3 (containing 78% PT, 22% Pumice).

Keywords : *Polythiophene, polythiophene/pumice, conducting composites, electrorheological fluids.*

Thesis Supervisor : Prof. Dr. Haşim YILMAZ

Page Number : 54

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. BÖLÜM	1
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kompozit Nedir?	3
2.1.1. Kompozit malzemelerin genel özellikleri	4
2.1.2. Kompozit malzemelerin genel avantajları.....	5
2.1.3. Kompozit malzemelerin genel dezavantajları	5
2.2. İletken Polimerlerin Tarihçesi	5
2.3. İletken Polimerlerde İletkenlik Mekanizması	6
2.4. Politiyofen	7
2.4.1. Politiyofen sentezi	8
2.5. Nevşehir Pomzası	10
2.5. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları	13
3. BÖLÜM	14
ELEKTROREOLOJİ	14
3.1. Reoloji	14
3.2. Polimerlerin Reolojik Özellikleri	16
3.3. Elektoreolojik Süspansiyonlar	18
3.5. Kolloidal Kararlılık	18
3.6. Sıvı İçerisinde Asılı Duran Taneciklere Etki Eden Kuvvetler	19

3.7. Elektoreolojik Akışkanların Reolojisi.....	20
3.10. ER Aktivite Üzerine Etki Eden Faktörler	23
3.10.1. Kayma hızı ($\dot{\gamma}$)	23
3.10.2. Elektrik alan kuvveti	24
3.10.3. Frekans	25
3.10.4. Tanecik iletkenliği.....	26
3.10.5. Tanecik dielektrik özelliği.....	26
3.10.6. Hacim kesri	27
3.10.7. Sıcaklık.....	27
3.10.9. Kolloidal kararlılık	28
3.10.10. Tanecik boyutu.....	29
3.12. ER Akışkanların Potansiyel Uygulama Alanları.....	29
4. BÖLÜM	31
DENEYSEL KISIM.....	31
4.1. Kullanılan Alet, Cihaz ve Teknikler ile Polimer ve Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	31
4.4.1. Öğütme işlemi	31
4.4.3. Tanecik boyutu ölçümleri.....	31
4.4.4. Süspansiyon hazırlanması	31
4.4.5. Çökelme kararlılığı.....	31
4.4.7. Elektoreometre ile yapılan ölçümler	32
5. BÖLÜM	33
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	33
5.1. Tanecik Boyutu Ölçümleri	33
5.2. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi.....	34
5.4. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler	36
5.4.2. Hacim kesrinin viskozite üzerine etkisi	36
5.4.3. Hacim kesrinin kayma gerilimi üzerine etkisi.....	38
5.4.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi.....	40
5.4.7. Kayma hızının kayma gerilimi ve viskozite üzerine etkisi	41
5.4.8. Kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi	43
5.4.9. Elastik modülün frekans ile değişimi	45
6. BÖLÜM	46

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	54

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1	Numunelerin tanecik büyüklükleri	34
Tablo 5.2	PT ve PT/POMZA kompozitlerin yoğunlukları, tanecik boyutu ve 20. gündeki çökelme kararlılıkları oranları ($\phi = \%5$)	35
Tablo 5.3	Numunelerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bazı maddelerin oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri (ortalı).....	6
Şekil 2.2.	Poliasetelin n-türü doping işlemiyle polaron ve bipolaron oluşumu	7
Şekil 2.3.	PT'ın 2. ve 3. karbon atomları üzerinden polimerleşme mekanizması	9
Şekil 2.4.	Politiyofenin konjugasyonu (Ortalı)	9
Şekil 2.5.	Politiyofenin kimyasal sentezi	10
Şekil 3.1.	Viskozite olayı. f: Sürtünme kuvveti, A:Yüzey alanı, u: Bağlı hız, h: Plakalar arası kalınlık.....	15
Şekil 3.2.	Polimerler için akışkanların genelleştirilmiş durumu	17
Şekil 3.3.	İki paralel plaka arasındaki ERA'ya kayma hızı uygulandığında ERA'da gözlenen yapı değişimi	24
Şekil 3.4.	Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin görünümü. (a) Elektrik alan uygulanmadan önce (b) Elektrik alan uygulanmadan sonraki ER tanecikleri.	25
Şekil 5.1.	Çökeltme kararlılığı oranları $T = 25^{\circ}\text{C}$	36
Şekil 5.2.	Çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin hacim kesri ile değişimi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$	37
Şekil 5.3.	Hacim kesrinin kayma gerilimi üzerine etkisi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$, $d_{(0,5)} = 2,68 \mu\text{m}$	39
Şekil 5.4.	Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$, $d_{(0,5)} = 2,68 \mu\text{m}$	41
Şekil 5.5.	Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi. Numune K3, $\phi = \%20$ (m/m), $T = 25^{\circ}\text{C}$	43
Şekil 5.6.	Numunelerin kayma gerilimlerinin sıcaklıkla değişimi. $\phi = \%20$,	44
Şekil 5.7.	K3 kompoziti için elastik modülün frekans ile değişimi. $E = 3,5 \text{ kV/mm}$,	45

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1.	Nevşehir pomzası.....	11
Resim 2.2.	Nevşehir pomzası.....	12

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

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

Simgeler	Açıklama
σ	İletkenlik
T	Sıcaklık
V	Potansiyel
Pas	Viskozite birimi
r	Tanecik yarıçapı
$\dot{\gamma}$	Kayma hızı
F	Frekans
η_s	Süspansiyon viskozitesi
τ	Kayma gerilimi
τ_e	Bingham akma gücü
τ_y	Limit akma verimi
F	Polarizasyon kuvveti
c	Derişim
ρ	Yoğunluk
ϕ	Hacim kesri
DLS	Dinamik Işık saçılımı
ERA	Elektroreolojik Akışkanlar
ER	Elektroreoloji
MR	Manyetoreoloji
PT	Politiyofen
DC	Doğru akım
SO	Silikon Yağı
K1	Kütlece %27 PT içeren PT/Pomza kompoziti
K2	Kütlece %52 PT içeren PT/Pomza kompoziti
K3	Kütlece %78 PT içeren PT/Pomza kompoziti

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Son yıllarda, polimerlerin kullanım alanlarının yaygınlaşması, polimerlerle ilgili çalışmaları hızlandırmıştır. Bu sebepten, bilim insanlarının çalışmaları yeni polimerin araştırılıp sentezlenmesinden ziyade, polimerlerin mekanik, ısıl dayanıklılığı ve çözücülere karşı direncinin artırılması, endüstride işlenebilme kolaylığının sağlanması gibi bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerin iyileştirilmesi yönündedir. Bu amaçla kopolimerler ya da kompozitler sentezlenmektedir [1]. Sentezlenen bu polimer içerisinde iletken polimer kompozitler, kullanım alanlarının hızla yaygınlaşması açısından ayrı bir önem taşımaktadır.

Kompozit malzeme, istenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi, istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirerek elde edilen malzemeye denir. Bu karışımın özelliği, kendini oluşturan maddelerin özelliklerinden çok daha üstündür. Bu tür kompozit malzemeler kullanım alanlarını yaygınlaştırmak amacıyla Elektroeolojik (ER) çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [2, 3].

Elektroeoloji (ER), elektrik alan kuvvetine maruz kalan bir akışkanın, akış özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelendiği bilim dalıdır. Tarihte ER olayının ilk adımı 1896 da Alexander Wilmer Duff tarafından atılmıştır. Elektroeolojik ve magnetoeolojik (MR) 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 dağıtarak hazırladığı ortamlarda elektrik alan uygulanmasıyla viskozitenin arttığını gözledi. Winslow' un 1940'larda aldığı üç patentten [4], 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 [5].

Elektroreolojik akışkanlar (ERA) ile ilgili çalışmalar 1980' den sonra askeri amaçlı olarak kullanılmaları söz konusu olduğundan önem kazanmıştır. ERA' lar düşük polariteli sıvılarda zayıf iletkenlik gösterirler. Dispersiyon ortamı olarak silikon yağı, madeni yağlar, yemeklik yağlar ve halojenlenmiş hidrokarbonlar kullanılabilirken; dağılma fazı olarak selüloz, un, iyon değiştirici reçineler gibi organik maddeler yanında İnorganik killer ve bu killerle sentezlenen kompozit malzemeler de kullanılabilir.

Bu çalışmada; kimyasal yöntemle sentezlenmiş olan Politiyofen (PT) homopolimeri ve farklı bileşen oranlarında PT içeren Politiyofen/Nevşehir Pomzası (PT/POMZA) hazır kompozit numuneleri ile çalışıldı. benzer bir çalışmada poliindol/polietilen kompozitlerinin sentez ve karakterizasyonu benzer şekilde çalışılmıştır [6]. Yavaş tarafından yapılan yüksek lisans çalışması sırasında elde edilen karakterizasyon sonuçları bu çalışmada da kaynak gösterilerek kullanılmıştır. Çalışmanın bizim yaptığımız kısmında ise PT ve PT/POMZA kompozitlerin ER özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle numuneler öğütülüp, Dinamik Işık Saçılımı (DLS) ile tanecik büyüklüğü tespit edildi. PT ve PT/POMZA kompozitlerinin yalıtkan silikon yağı içerisinde (SO) çeşitli hacim kesirlerinde süspansiyonları hazırlandı, süspansiyonların çökmeye karşı kararlılıkları tespit edildi, paralel plaka elektrotlarda çeşitli elektrik alan kuvvetleri altında akış süreleri ölçüldü ve Thermo-Haake RS 600 Elektroreometre cihazında ER aktiviteleri incelendi. Süspansiyonların ER aktiviteleri üzerine dış elektrik alan kuvveti, kayma hızı, kompozit bileşimi, sıcaklık, tanecik hacim kesri, tanecik boyutu ve frekans etkileri incelendi; kayma gerilimi ve ER verimleri hesaplandı. Son olarak da süspansiyonlar üzerinde optimum şartlarda sürünme deneyleri gerçekleştirildi.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Nedir?

Kompozit, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin uygun koşullarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve kendisini oluşturan malzemelerin üstün özelliklerini üzerinde taşıması beklenen yeni bir malzeme türüdür. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar.

Kompozit malzemedede genel olarak şu koşulların 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 özellikler taşıması.

Buna göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen, makroskobik açıdan ise homojen bir davranış sergilemelidir.

Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

- Matriks: Termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak poliesterler kullanılır Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanılır.
- Takviye: Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun devamlı elyaf formunda kullanıldığı ve matriksi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.
- Katkılar: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkılar matrikse niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür.

Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan kerpiç duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kâğıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kâğıt, günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları; şehircilik, ev aletleri, elektrik ve elektronik sanayi, havacılık sanayi, otomotiv sanayi, iş makineleri, inşaat sektörü ve tarım sektörü olarak sayılabilir.

2.1.1. Kompozit malzemelerin genel özellikleri

Kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin aşağıda verilmiştir.

- Basınç, çekme, eğme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Sertlik,
- Ağırlık,
- Korozyon direnci,
- Isıl iletkenliği veya direnç,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Görünüm,
- Birim maliyeti, vb. özellikler şeklinde sıralanabilir.

Bu amaca yönelik olarak kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları:

- Elle yatırma (hand lay-up),
- Elyaf sarma (filament winding)
- Reçine transfer kalıplama RTM / reçine enjeksiyonu
- Vakum bağlama
- Püskürtme (spray-up)
- Profil çekme (pultrusion)
- Hazır kalıplama / compression molding (SMC, BMC)

- Otoklav / autoclave bonding

Bu yöntemlerin hepsinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Bir kompozit malzemenin yapısı genelde “matris” olarak kabul edilen sürekli bir faz ile onun içinde dağılmış değişik özelliklere sahip “donatı” fazından meydana gelmektedir.

2.1.2. Kompozit malzemelerin genel avantajları

1. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlar ile kompozit malzeme inşa edilebilir.
2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterir.
3. Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır.
4. Yüksek dayanıklılık/ yoğunluk oranına ulaşılabilir

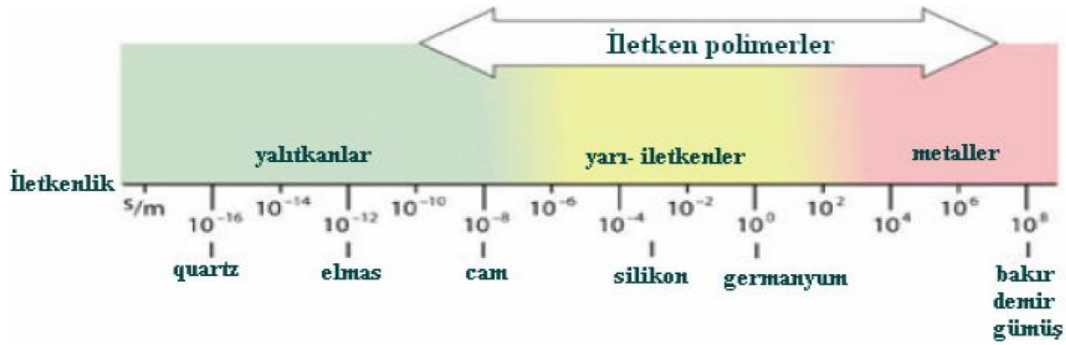
2.1.3. Kompozit malzemelerin genel dezavantajları

1. Hammaddenin pahalı olması,
2. Lamine edilmiş kompozitlerin özelliklerinin her zaman ideal olamaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği göstermesi,
3. Malzemenin kalitesinin üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı olması, standartlaşmış bir kalitenin bulunmaması,
4. Kompozitlerin kırılma (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilmeleri ve onarımlarının yeni problemler yaratabilmesi.

2.2. İletken Polimerlerin Tarihçesi

Polimerler ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlığı iyi olan malzemeler olarak bilinirler ve bu özelliklerinden dolayı elektriksel yalıtkanlığın arandığı alanlarda önemli kullanım yerleri bulmuşlardır. Yalıtkan özellikteki bir polimerle karbon siyahı

veya bir metal tozu karışımından bir kompozit hazırlanırsa malzemenin direncinin azaldığı görülür. Bu durumda, iletkenlik dolgu maddesi üzerinden gerçekleşir ve polimer sadece destek malzemesi gibi davranır. Günümüzde bazı polimerlerin metaller ile yalıtkanlar arasında iletkenlik özelliğine sahip oldukları bilinmektedir. İletken polimerler olarak adlandırılan bu polimerler elektroaktif olup ana zincirinde doymamış konjuge bağlar içeren polimerik malzemelerdir [7]. Polikonjuge polimerler normal hallerinde elektriği iletmezler. Ancak yükseltgen veya indirgen bir madde ile muamele edilerek tuzları hazırlandığında metallerle karşılaştırılabilir düzeyde iletken polimerler elde edilebilir [8]. Polikonjuge polimerlerin çoğunda iletkenlik $1,0 \times 10^{-5}$ – $1,0 \times 10^4 \text{ Sm}^{-1}$ aralığında değişmektedir [9]. Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi iletken polimerlerin iletkenlikleri geniş bir aralığa yayılır.



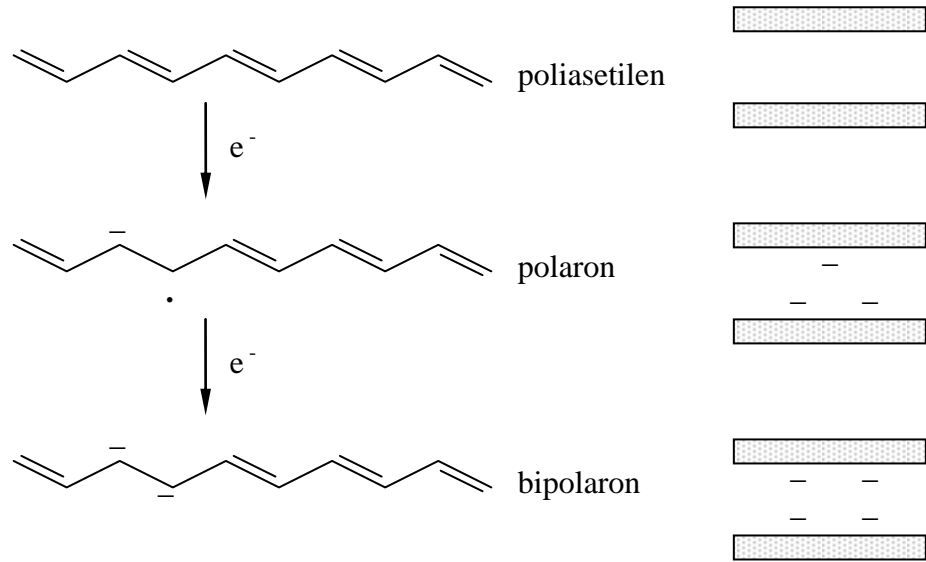
Şekil 2.1. Bazı maddelerin oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri

Genel olarak konjuge elektronik yapı içeren iletken polimerler üç ana grupta sınıflandırılır: aromatik hidrokarbonlar (örneğin, polianilin), heterosiklik yapılar (örneğin, politiyofen ve polipirol) ve alifatik hidrokarbonlar (örneğin, polipirol/kil) [10]. İletken polimerlerle ilgili yapılan çalışmalar iletken polimerlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, işlenebilme kolaylıklarının ve iletkenliklerinin artırılabilmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi konularında yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar ışığında iletken polimerler pek çok yerde kendisine endüstriyel kullanım alanı bulmuştur.

2.3. İletken Polimerlerde İletkenlik Mekanizması

Katılardaki elektriksel iletkenlik band teorisi ile açıklanırken, iletken polimerlerin iletkenliği polaron, bipolaron, soliton oluşumları ve atlama olayları ile açıklanmaktadır. Polimerlerin elektriksel iletkenlik gösterebilmesi için polimer örgüsünde elektronların

zincir boyunca taşınmasını sağlayan konjuge çift bağlar gibi uygun bölgelerin bulunması gerekir. Ancak yüksek düzeyde iletkenlik için konjugasyon yeterli değildir ve polimere uygun bir yöntemle elektron verilmesi ya da elektron uzaklaştırılması anlamına gelen *doplama* işleminin uygulanması gerekir. Doping yapıcı maddeler veya dopantlar, ya güçlü indirgen ya da güçlü yükseltgen maddelerdir. Bunlar kolaylıkla iyonlar oluşturabilen inorganik tuzlar veya bileşikler, nötral moleküller, organik dopantlar ve polimerik dopantlar olabilirler [11]. Doping işleminde polimere verilen elektron, iletkenlik bandına değil, band aralığında bulunan bir ara enerji düzeyine yerleşir. Bu şekilde oluşan yeni enerji seviyesi, yükün taşınmasını kolaylaştırır. Polimere doping yoluyla verilen elektron, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi *polaron* olarak adlandırılan bir radikal anyon oluşmasını sağlar. Polaronun band aralığındaki enerji düzeyinde, p bağının iki elektronu ile birlikte dışarıdan verilen tek elektron bulunur. İkinci bir elektronun polarona verilmesiyle *bipolaron* olarak adlandırılan dianyon oluşur. Her iki yapıda da band aralığına yerleşmiş olan elektronlar kolaylıkla iletkenlik bandına geçerek elektriksel iletkenliği sağlar. Polaron ve bipolaronların polimer zinciri boyunca hareketleri de iletkenliğe yardımcı olur.

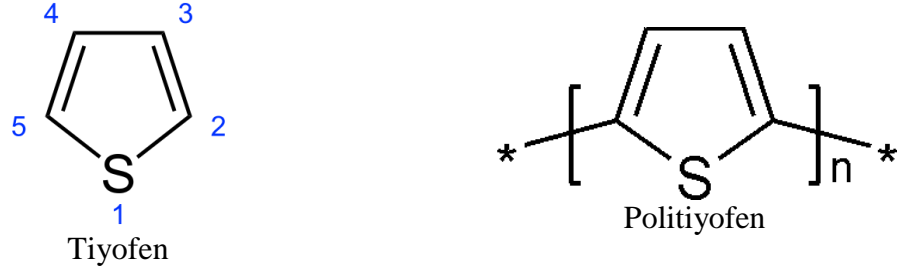


Şekil 2.2. Poliasetelin n-türü doping işlemiyle polaron ve bipolaron oluşumu

2.4. Politiyofen

Politiyofen (PT) çeşitli elektrolitler içerisinde doğrudan yükseltgenme ile elde edilebilen elektroaktif bir polimerdir. Politiyofeni kimyasal ve elektrokimyasal yollarla

sentezlemek mümkündür. Anyon miktarına bağılı olarak elektriksel iletkenliği 10^{-3} – 10^{-1} Scm⁻¹ aralığında değişmektedir [12].



Politiyofen ve türevlerini iletken polimerler içerisinde ilgi çekmesinin en önemli iki nedeni kararlılıkları ve organik çözücülerde çözünür olmalarıdır. Bu özellikler iletken polimerlerin pratik uygulamalarında önemlidir. En önemlisi, politiyofen hem yükseltgenmiş (p-doping) hem de nötral (undoped) formlarında suda ve havada kararlıdır. Poli-3-alkiltiyofen gibi bazı politiyofen türevleri organik çözücüler içerisinde çözünürler. Böylece, bu polimerler klasik teknikler kullanılarak işlenebilir. Politiyofen sülfürik asit katalizörlüğünde yaklaşık 100 yıl önce kimyasal olarak sentezlenmiştir. Polimerizasyon hidrojen florür, demir III klorür, alüminyum klorür, trifloroasetik asit veya Ziegler katalizörleri kullanılarak ta gerçekleştirilebilir. Ancak bu metod ile tetrahidrotiyofen ünitelerini içeren politiyofen zincirleri meydana gelir. Politiyofen sentezi için diğer bir alternatif yol Grignard reaksiyonlarıdır. Elektrokimyasal polimerizasyon ile daha kaliteli ve saf polimerler elde edildiğinden bu yöntem daha çok tercih edilmektedir.

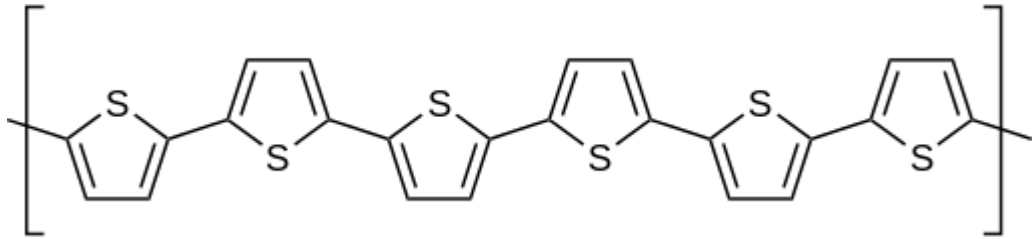
Literatür verilerine göre Politiyofenin yapısı polipirol ve polianiline benzemesine rağmen daha az çalışılmış olup [13], termal kararlılığı polianilin ve polipirole göre daha iyidir [14]. Politiyofenün uygulama alanları her geçen gün artmaktadır. K.R. Baldwin ve arkadaşları yumuşak çeliğin korozyona karşı korunması çalışmalarında PT in etkili olduğunu rapor etmişlerdir [15]. PT in korozyon önleme ile ilgili çalışmalar son zamanlarda artış göstermiştir [16].

2.4.1. Politiyofen sentezi

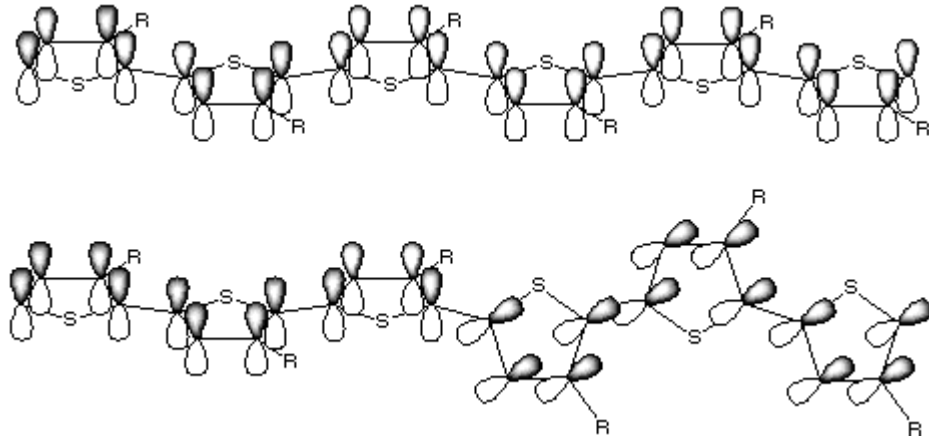
PT ve türevlerinin sentezi ve yapısal karakterizasyonu ile ilgili çalışmalara bakıldığında tiyofen ve türevlerinin kimyasal [17] ve çoğunlukla elektrokimyasal yöntemle

sentezlendiği, [18] gör÷lmektedir. Bunların yanında son zamanlarda literatürde em÷lsiyon ve yüzeyler arası polimerleşme ile de PT sentezlendiği mekanizmasıyla birlikte rapor edilmiştir [19].

PT'nin FTIR spektrumundan elde edilen sonuçlardan faydalanarak, merlerin 2,3 bağlanması sonucu polimer zincirlerinin oluştuğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [20]. Burada unutulmaması gereken bir nokta polimerler oluşurken sadece 2,3 bağlanması değil 1,3; 2,4; 2,5; 2,6 ve 2,7 gibi bağlanmaların da olabileceği göz önüne alınırken [21], polimerleşmenin genellikle 2,3 bağlanması üzerinden oluştuğu kabul edilmektedir. [22]

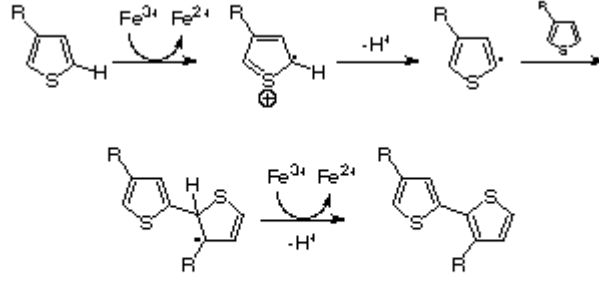


Şekil 2.3. PT'nin 2. ve 3. karbon atomları üzerinden polimerleşme mekanizması

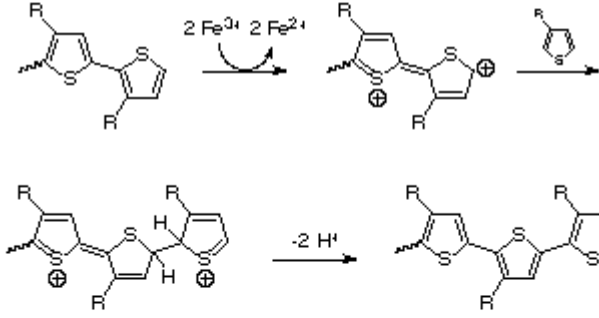


Şekil 2.4. Politiyofenin konjugasyonu

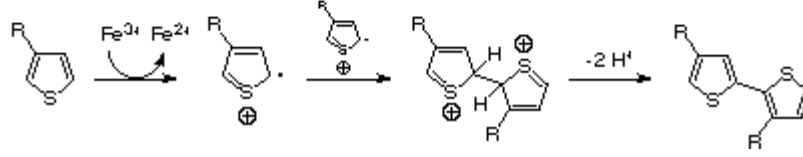
Radical:



Carbocation:



Radical cation:



Şekil 2.5. Politiyofenin kimyasal sentezi

2.5. Nevşehir Pomzası

Türkçe’de pomza taşı, sünger taşı, köpüktaşı, topuk taşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek gibi adlarla bilinir. İngilizcede iri taneli olanlara “pumiz”, ince taneli olanlara da “pumicite” denir.



Resim 2.3. Nevşehir pomzası

Volkanik bir cam yapısındadır. Genelde açık renkli olup beyazdan, kreme, mavi, griye kadar değişen renklerde olur, ancak yeşil, kahverengi ve siyah da olabilir. Asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetler sonucu oluşan; gözenekli bünyesinde kristal suyu olmayan, genellikle riyolit kompozisyonu içeren kayaç. Asidik pomza; beyaz, kirli beyaz renkte olup, daha yaygın olarak bulunur ve yoğunluğu $0.5-1 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Bazik pomza ise yabancıların “Scoria” dedikleri, Türkçede ise bazaltik pomza olarak bilinen kahverengi, siyahımsı renkte pomza türü olup, özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ dır.

Ponzanın fazla gözenekliliği, ısı ve ses geçirgenliğini düşürür ve bu özelliği inşaat sektöründe kullanımını sağlar. Türkiye’de üretilen pomzanın %90 kadarı inşaat sektöründe tüketilir. Pomzanın ikinci büyük kullanım alanı abrazif (aşındırıcı) sanayidir. Oldukça hafif aşındırıcı olarak sınıflandırılan pomza gerek doğal, gerek yapay madeni eşyaları ve yumuşak metalleri (gümüş gibi) cilalamakta kullanılır. Tekstil sanayinde kullanılan pomzanın kimyevi ve fiziki özellikleri büyük önem taşır ve bu özellikler ancak derinlik pomzalarında bulunur.



Resim 2.4. Nevşehir pomzası

1. Renklilik: İyi kalite pomza beyaz olmalıdır.
2. Kırılmalık. İyi bir pomza, sert bir yüzeye vurulduğunda ezilip toz olmalı fakat kırılmamalıdır.
3. Kimyasal birleşim. Tekstil sanayinde pomzanın kullanılabilmesi için, kimyevi birleşimindeki demir oksit, sodyum oksit ve potasyum oksit miktarlarının, kumaş boyası ve yıkamada kullanılan diğer kimyevi maddelerle reaksiyona girebileceği ve kumaşta renk değişikliği oluşturabileceği hususu dikkate alınmalıdır.
4. Sertlik. Kırılmadan ezilme özelliği göstermelidir.
5. Özgül ağırlığı. Sıfır nemde özgül ağırlığının $0.5-0.55 \text{ g/cm}^3$ olması istenir.
6. Su emme özelliği. Tekstil kalitesi için %50'den fazla olan su emme özelliği ideal kullanımı sağlar.
7. İşlenme durumu. Tekstil kalitesi pomzanın keskin yüzeylerinin yuvarlatılmış olması istenir ki, temas ettiği kumaş yırtılmasın. Cam eşyaların işlenmesi, özel boyalarda dolgu maddesi olarak, tarım ilaçlarında kimyasal taşıyıcı olarak, sabun ve deterjan üretiminde puzzolan madde olarak kullanılması diğer kullanım alanlarından bazılarıdır. Son yıllardaki bir kullanım alanı da "barbikü" tabir edilen mangallarda, kömürün yerini almasıdır. Burada mangalın alttan fazla ısıtılması sonucunda akkor hale gelen pomza, kömür ateşi işlevini görür.

2.5. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları

İletken polimerlerle ilgili son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, sentez ve karakterizasyondan ziyade uygulama alanlarına yönelik çalışmaların fazla olması dikkat çekicidir. İletken polimerlerin uygulama alanlarını;

- şarj olabilen pil
- diyot
- transistör ve kapasitör yapımı
- pH, gaz ve biyosensör üretimi
- fotoelektrokimyasal hücreler
- elektrokromik aletler
- korozyon inhibitörleri
- elektroeolojik çalışmalar olarak sıralayabiliriz.

3. BÖLÜM

ELEKTROREOLOJİ

3.1. Reoloji

Reoloji, Yunanca akış anlamına gelen “rheo” kelimesinden türemiş bir sözcüktür. Tanım olarak; her türlü malzemenin akış davranışının incelendiği bilim dalı olmasına rağmen reoloji araştırmacıları tarafından yalnızca katı ve sıvı malzemelerin akış davranışlarının incelenmesi ile sınırlandırılmıştır. Su, yağ gibi sıvılar bilinen akış özellikleri sergiledikleri halde, mayonez, bal, oyun hamuru, diş macunu gibi malzemeler daha karmaşık ve alışılmadık akış davranışı gösterirler. Reoloji bu karmaşık malzemelerin akış davranışları üzerine eğilen bilim dalıdır.

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

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

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

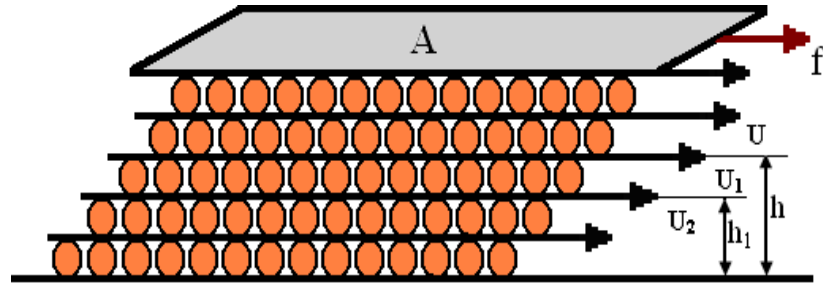
Bir viskoz akışkanın deformasyonu $\dot{\gamma}$ ile τ değerlerine bağlıdır. $\dot{\gamma}$ ile τ bilindiği zaman η ve ν hesaplanabilir:

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

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

ρ : yoğunluk (kg/m^3)

Viskozite, bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Şekil 3.1' de viskozite olayı fiziksel olarak gösterilmektedir.



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

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

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

Burada , τ_E uygulanan dış elektrik alanın etkisi altındaki kayma gerilimi ve τ_V elektrik alan yokken akıştaki dirençtir. τ_V hidrodinamik veya viskoz bileşen olarak da adlandırılabilir.

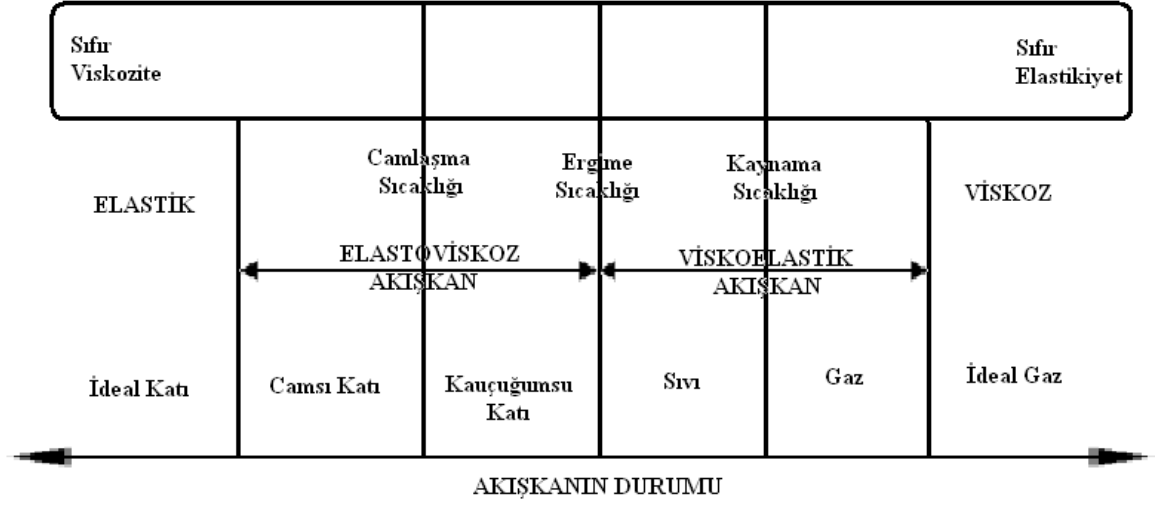
3.2. Polimerlerin Reolojik Özellikleri

Polimerlerin mekanik davranışları kullanım alanlarının belirlenmesi ve işleme esnasında ortaya çıkabilecek güçlükleri yenmek açısından önemlidir. Mekanik özellikler yapısal ve işleme farklılıklarından etkilenir. Amaç polimerin tüm işlemlerinden sonra çevreye ve kullanıldığı ortama karşı göstereceği dayanıklılık ve direncin uygun değerde olması, polimerik malzemenin en iyi şekilde ve kendi özelliklerine göre en üst seviyede kullanılabilmesidir [23].

Bir polimer malzemenin dıştan gelen bir etkiye karşı göstereceği mekanik davranış tersinir veya tersinmez deformasyonlar içerir. Bu davranışların tümünü kapsayan bilim dalına “*Reoloji*” denir. Reoloji fiziğin deforme olabilen malzemeleri inceleyen bilim dalıdır. Deformasyon ise malzemenin bilinen bir gerilim altında akması, akışkan davranış sergilemesi veya boyut değiştirmesidir. Bir katının deformasyonu boyutlarındaki değişimle olurken, sıvıların deformasyonu akma şeklinde kendini gösterir.

Deformasyon tersinir ve tersinmez deformasyon olarak ikiye ayrılır. Tersinmez deformasyonda akmanın sürekliliği, enerjinin sürekliliğine bağlıdır. İş mekanik olarak geri kazanılmaz ve ısı olarak yok olur. Tersinir deformasyonda kullanılan enerji geri kazanılır.

Maddenin akmaya karşı gösterdiği ve sürtünme etkisi ile oluşan dirence viskozite denir. Polimerlerin viskozite değişimlerinin çok geniş bir alanı kapsaması viskoz davranıştan elastik özelliğe veya elastik davranıştan viskoz özelliğe geçiş veya aralıkları oluşmasına neden olur.



Şekil 3.2. Polimerler için akışkanların genelleştirilmiş durumu.

Ergime sıcaklığının çok ötesi olan kaynama noktası polimerlerde olmadığı için ideal viskoz davranış görülmez. Bunun nedeni ergimiş polimerlerde moleküller arası etkileşimin karmaşık olmasıdır. Madde başlangıçta katı haldedir, biraz ısıtılınca yumuşamaya başlar. Yumuşamanın olduğu bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denir. Bu noktada olay tersinirdir. Biraz daha ısıtılınca kauçuğumsu hale gelir. Isıtmaya devam edilirse elasto-viskoz davranış gözlenmeye başlar. Bir maddenin içerisinde hem elastik hareketin hem de viskoz hareketin gözlenmesi elasto-viskozluk olarak tanımlanır. Visko-elastik davranış sona erip elasto-viskoz davranışın gözlendiği noktaya erime sıcaklığı (T_e) denir. Bu noktadan sonra olay tersinmezdir. Bütün gerçek materyaller visko-elastik davranış gösterebilir. Visko-elastik özelliğin gözlenebilmesi deney yapılan materyalin türüne ve deneyin uygulanma süresine bağlı olarak değişir [24].

Elasto-viskoz bölgede, polimerin camlaşma sıcaklığına bağlı olarak iki ayrı davranış ortaya çıkar bunlar camsı katı ve kauçuğumsu katıdır. Camsı geçiş sıcaklığının altında elastik deformasyon bütün polimerlerde gözlenir.

Viskoz akmada deformasyon; kayma hızı ($\dot{\gamma}$) ile kayma gerilimine (τ) bağlıdır. Kayma hızı ile kayma gerilimi birbiriyle doğru orantılıdır. Bu orantı sabitine viskozite (η) denir.

Eğer viskozite kayma hızından bağımsız ise sıvı Newtonian akışkan özelliği gösteriyor demektir. Newtonian akışkan özelliği polimerlerde düşük molekül ağırlığı olanlar dışında gözlenmez. Bu tür akışkanlarda farklı deformasyonlar sonucunda ölçülen viskozite değeri birbirinin katları şeklindedir. Bu davranıştan sapma gösteren akışkanlar Non-Newtonian akışkandır. Polimerlerde de olduğu gibi kayma gerilimi kayma hızının üstel değeriyle değişir.

3.3. Elektroeolojik Süspansiyonlar

Dispers sistemlerde bir maddenin diğer bir madde içinde küçük boyutlarda dağılması söz konusudur. Dağılan maddenin tanecik büyüklüğüne göre bu sistemler; çözeltiler, koloidal dispersiyonlar ve süspansiyonlar olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir.

Kolloidal çözeltilerin hazırlanması:

Kolloidal çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan yöntemler fiziksel ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılırlar;

- 1- Yoğunlaştırma (Kondensasyon) yöntemleri: Küçük boyutlardaki taneciklerin bir araya getirilerek koloidal boyuta sahip taneciklerin oluşturulmasını sağlayan yöntemdir.
- 2- Dağılma (Dispersiyon) yöntemleri: Büyük taneciklerin koloidal boyuttaki taneciklere bölünmesi yöntemidir.

3.5. Kolloidal Kararlılık

Sonsuz uzaklıktaki tanecikler küçük miktardaki itme kuvvetlerini yendiklerinde (ikincil maksimum) çekme kuvvetleri baskın hale gelir ve ilk tersinir pıhtılaşma (ikincil minimum) gözlenir. Taneciklerin birbirine daha fazla yanaşabilmeleri için V_m ile gösterilen birincil maksimuma karşılık gelen enerji bariyerini aşmaları gerekir. Bu bariyeri aşan tanecikler çekme kuvvetleri etkisi altına girer ve V_b ile gösterilen birincil minimum enerji çukurunu oluşturur. Bu çukurdaki tanecikler arası mesafeyi daha da azaltmak için sisteme dışarıdan daha fazla enerji vermek gerekir. Kolloidal

sistemlerdeki çekici kuvvetler kolayca değiştirilemez; ama çözelti içerisindeki elektrolit hacim kesri değiştirildiğinde itici kuvvetler değiştirilebilir. Serbest enerji ile tanecikler arasındaki mesafe grafiği incelendiğinde grafiğin üst kısmında itici kuvvetlerin alt kısmında ise çekme kuvvetlerinin etkin olduğu görülür. Serbest enerjinin pozitif olması olayın kendiliğinden meydana gelmediğini gösterir.

3.6. Sıvı İçerisinde Asılı Duran Taneciklere Etki Eden Kuvvetler

Süspansiyon içerisinde üç kuvvet etkindir.

1- Tanecikler arası etkileşim kuvvetleri: Bunlar çekme ve itme kuvvetleridir. İtici güçler elektrostatik veya entropik kuvvetler olabilir. Çekici kuvvetlerse Van Der Waals kuvvetleri ile elektrostatik çekim kuvvetleridir. Bu itme ve çekme kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlı olarak ya çökme oluşur ya da taneciklerin dağıtıcı ortam içinde kolloidal halde bulunduğu durum devam eder.

2- Brown termal saçılma hareketleri: Kolloidal taneciklerin kinetik enerjilerinden dolayı gösterdikleri rasgele saçılmalardır. Bu kuvvetler tanecik büyüklüğüne oldukça bağlıdır ve boyutu 1 µm den küçük taneciklerin oluşturduğu süspansiyonlarda bu kuvvetler oldukça etkindir. Brown termal saçılma hareketleri dispersiyon içindeki taneciklerin sürekli hareket halinde çökmeden kalmasını garanti eder.

3- Tanecikler üzerinde etkili olan viskoz kuvvetler: Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı makroskobik olarak ölçülen reolojik davranış mikro yapısal viskoz kuvvetlere bağlıdır. Örneğin; yüksek hacim kesrinde akış sırasında taneciklerden her biri diğerinin akış yolunu kapattığından viskozite artar. Diğer taraftan tanecikler pıhtılaştığında ise hareketli fazın akışı azalacağından ve tanecik hacim kesri (ϕ) de artacağından akışa karşı direnç daha da artar. Kolloidal dispersiyona polielektrolit katıldığında yüzey yükü artırılır ve aynı yüklü taneciklerin birbirini itmesi nedeniyle çökme geciktirilir.

3.7. Elektroeolojik Akışkanların Reolojisi

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

Tarihte elektroeoloji olayının ilk adımı 1896 da Alexander Wilmer Duff tarafından atılmıştır. Duff, gliserin, kunduz yağı ve ağır parafin üzerinden elektrik alan geçirerek viskozitelerindeki küçük değişimleri gözlemlemiştir. Yine 19. yüzyılda Priestley ve Winceler, nötral parçacıkların dielektrik duyarlılıktaki süspansiyon ortamından elektrik geçirilmesiyle birbirine bitişik inci tanecikleri gibi sıralandığını keşfetmişlerdir. Ancak ER ve MR parçacıklarla aktif olarak çalışılmaya başlanması, 1940 larda Winslow tarafından gerçekleştirildi. Winslow' un 1940 larda aldığı üç patent 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.

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

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

Bir ER akışkanın reolojik özellikleri, elektrik alan uygulandığında, Newtonian' dan Bingham türü akışa geçiş sergiler. Bir ER akışkanın herhangi bir elektrik alan değerinde kayma hızı ile kayma gerilimi arasındaki bağıntı, Eş. 3.5 ile verilmektedir [25].

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

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

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

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

ER akışkanların reolojisiyle ilgili verilmesi gereken bir başka kavram da Mason sayısıdır (Mn). Bu karakteristik sayı, viskoz kuvvetlerin elektriksel kuvvetlere oranı olarak tanımlanır [26].

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

Elektroreolojik akışkanlar yalıtkan bir sıvı içinde dağıtılmış mikrometre boyutunda parçacıklardan meydana gelirler. Taşıyıcı sıvı ve tanecik haricinde yüzey aktif maddeler veya aktive edici polielektrolitik maddeler de kullanılabilir. Bir ER akışkanda hem taşıyıcı sıvı hem de tanecikler kutuplanabilir özellikte olabilir. ER akışkan oluşturulurken kullanım amacına uygun doğrultuda bileşenler seçilmelidir.

ER akışkanda kullanılan taşıyıcı sıvı ile tanecikler arasındaki dielektriksel uyum, ER etkide artış sağlar. Polimerler elektriksel özelliklerinin modifiye edilebilirliklerine bağlı olarak ER malzemelerin önemli bir sınıfını oluştururlar. ER malzemelerin elektrik alan

kuvvetinin etkisiyle viskozitelerinde birkaç milisaniyede gösterdikleri artış, titreşimin kontrol edilebilmesi ve enerjinin aktarılabilmesi için eşsiz bir mekanizma sergiler.

Yarı iletkenlerden daha düşük iletkenlik değerlerine sahip tanecik içeren süspansiyonların ER aktivitesi, genellikle hidrofilik katkılara bağlıdır. Bu hidrofilik etki, tanecik yüzeyini aktive ederek taneciklerin kutuplanmasına sebep olur. Hem organik hem de inorganik tanecikler için aktive edici olarak en çok su kullanılır. Katkı maddesi olarak yüzey aktif maddeler ve diğer polar sıvılar da önerilir [27].

Elektroreolojik akışkanların elektrik alan kuvvetinin etkisiyle katılaşması şöyle açıklanır; süspansiyonlara uygulanan elektrik alan kuvvetinin etkisiyle hemen hemen tüm tanecikler, zıt yüklü kutuplarının yan yana dizildiği bir yapı oluşturur. Bu zıt kutuplar arasındaki çekim kuvveti parçacıkları birbirine yapıştırır. Birbirini izleyen parçacıklar tıpkı ipe dizilen boncuklar gibi uç uca eklenerek sıralanır. ER bir akışkan içerisinde parçacıklar tarafından oluşturulan zincirler akışkan kabının bir ucundan diğer ucuna doğru hızla büyür. ER etki bu zincirlerden meydana gelen kayma geriliminden kaynaklanır.

Süspansiyonun kayma gerilimi büyük ölçüde tanecik hacim kesirlerine bağlıdır. Akışkan içindeki tanecik hacim kesri ne kadar fazla ise, akışkanın kayma gerilimi o kadar fazladır.

İdeal bir ER akışkanın şu özelliklere sahip olduğu varsayılır:

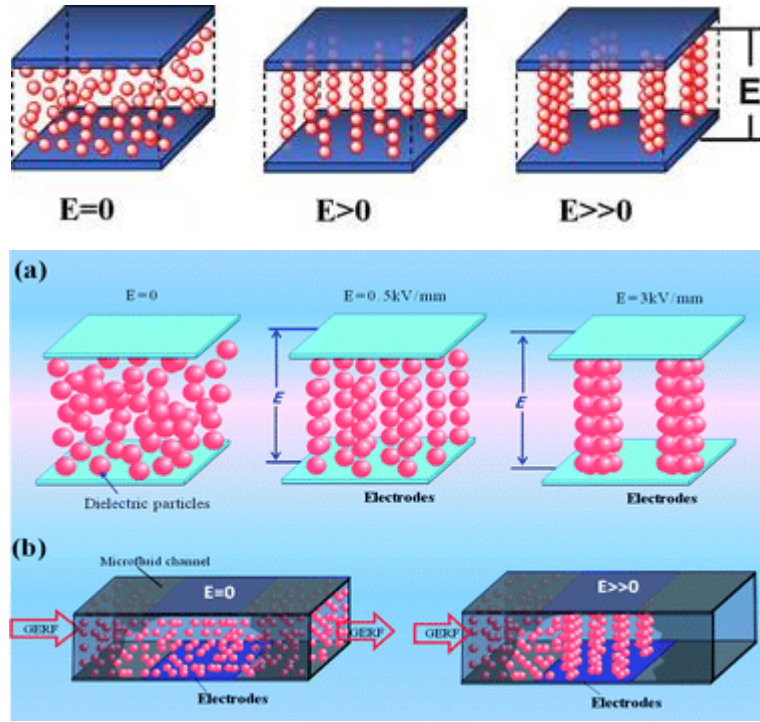
- ER akışkanlar için elektrostatik etkileşim baskın etkileşimdir. Diğer etkileşimler ihmal edilebilir.
- Tanecikler küresel ve eşit tanecik boyutlarındadır.
- Her bir tanecik dizisindeki kutuplaşma özdeşdir.
- Mükemmel ve doğru şeklindeki tanecik zincirleri, elektrot boşluğu boyunca düzgün olarak yayılır.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

3.10. 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 hacim kesri, sıcaklık, promoter içermesi, dağıtıcı yalıtkan sıvı ortam, v.b. gibidir. Bu kısımda bu parametrelerin ER aktiflik üzerine etkileri kısaca özetlenecektir.

3.10.1. Kayma hızı ($\dot{\gamma}$)

Viskoz akımda deformasyon $\dot{\gamma}$ ile τ değerine bağlıdır. τ ile $\dot{\gamma}$ doğru orantılıdır. Bu orantının sabiti ise η değerini verir. Eğer η kayma hızından bağımsız ise sıvı Newtonian veya ideal akışkan özelliğini gösterir. Bazı durumlarda ise η kayma hızındaki değişime bağlıdır. Pek çok durumda $\dot{\gamma}$ 'daki artış ile η 'nın azaldığı görülmüştür. Bu duruma “kayma incelmesi” veya “geçici viskozite kaybı” denir. $\dot{\gamma}$ 'daki artış ile η 'nın artış gösterdiği duruma ise “kayma kalınlaşması”, bu tür özellik gösteren akışkanlara da “dilatant akışkanlar” denir. ERA'lara E uygulandıktan sonra polarize olan tanecik yapılarında, belirli bir $\dot{\gamma}$ 'da τ uygulandığında devrilme gözlenir. Sekil 3.4'de görüldüğü gibi kaydırma kuvvetinin etkisi ile tanecikler yer değiştirir fakat yüklü tanecikler birbirini çekmeye devam ederler.



Şekil 3.3. İki paralel plaka arasındaki ERA'ya kayma hızı uygulandığında ERA'da gözlenen yapı değişimi

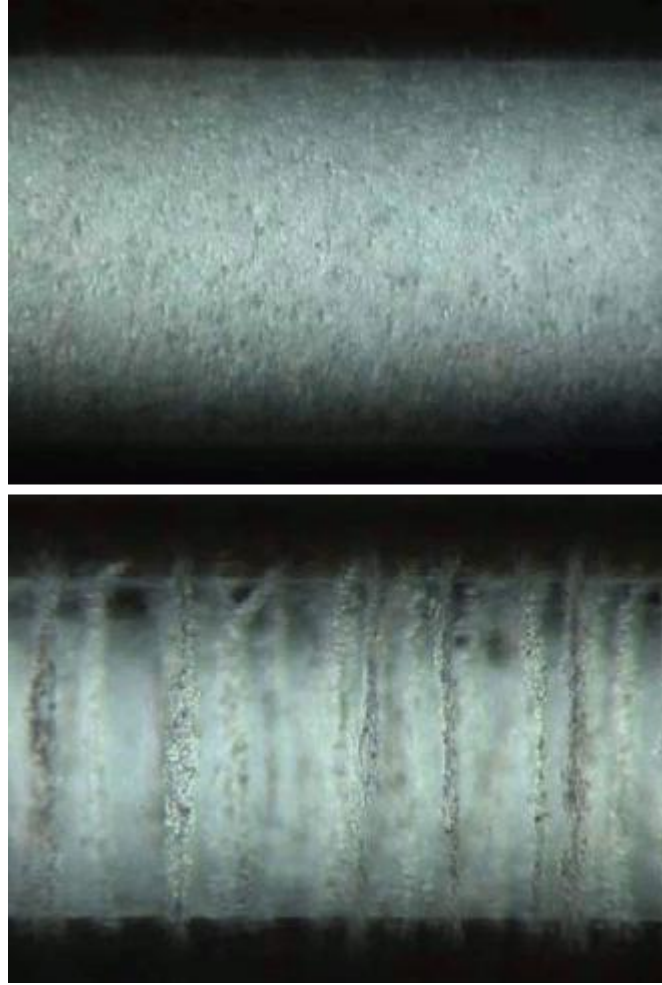
3.10.2. Elektrik alan kuvveti

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

Bir ER akışkana yüksek E uygulandığında bir gerilim elde edilir. Kritik elektrik alan kuvveti (E_k) altında ER akışkan hiçbir ER etki göstermez, ancak E_k 'dan daha yüksek E uygulandığında, kayma gerilimi yüksek değerlerde gözlenebilir. Kayma geriliminin E ile doğru orantılı olarak arttığı rapor edilmiştir [28].

3.10.3. Frekans

ER çalışmalarının pek çoğu DC elektrik alan altında (sabit frekansta), bazıları da AC elektrik alan altında (değişken frekansta) yapılmıştır. Alan frekansının ER aktivite üzerine etkisi değişkenlik göstermektedir. Gao ve Zhao, β -siklodekstrin polimeri ile aktivite değişimini incelemiştir. 100 Hz'ten sonra frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığı kaydedilmiştir [29] Yılmaz ve arkadaşları PMMA-b-PSt/SO sistemi ile yaptıkları çalışmada frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığını rapor etmişlerdir [30].



Şekil 3.4. Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin görünümü. (a) Elektrik alan uygulanmadan önce (b) Elektrik alan uygulanmadan sonraki ER tanecikleri.

3.10.4. Tanecik iletkenliği

Bir dış E altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli bir rol oynadığı bilinir. Burada tanecik dielektrik özellikleri ve iletkenliği ER etkinin oluşumuna neden olur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada taneciklerin 10^{-7} Sm^{-1} civarında bir iletkenliğe sahip olduklarında iyi bir ER etki göstereceğini belirtmişlerdir [31]. Yüksek iletkenliğe sahip taneciklerin yüksek E değerlerinde elektriksel olarak bozulmaya uğradığı belirtilmektedir.

3.10.5. Tanecik dielektrik özelliği

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

$$\epsilon = \epsilon' - \epsilon'' \quad (3.8)$$

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

Polarizasyondaki iki parametrenin, yüksek ER davranışı için anahtar olabileceği düşünölmektedir. 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 [32] ER etkinin ara yüzey polarizasyonu ile ilgili olduğunu ve ara yüzey polarizasyonunun ER akışkanın iletkenliği ve dielektrik sabiti tarafından belirlendiğini belirtmiştir. Hao'nun TiO_2 süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada yüksek dielektrik sabitinden dolayı iyi bir ER etki gözlenememiştir. Çünkü yüksek dielektrik sabitine sahip taneciklerde E 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 [33]. Osubo, silika süspansiyonlarının yüksek dielektrik sabitinden dolayı yüzeylerine su absorplamalarının ER performans için önemli bir faktör olduğunu bulmuştur [34]. Gehin ve arkadaşları 10^{-9} Sm^{-1} iletkenliğe

sahip olan silika süspansiyonlarının 1000 Hz frekansta dielektrik sabitinin 2,68 olduğunu bulmuşlardır ve iyi bir ER performans gözlemlediklerini rapor etmişlerdir [35].

3.10.6. Hacim kesri

ER akışkanlar yalıtkan yağ içerisinde dağılmış taneciklerden oluşmuşlardır. Yalıtkan yağ içerisinde dağılmış ER aktif taneciklerin miktarının ölçüsü de tanecik hacim kesridir. Yağ içerisinde dağılmış taneciklerin miktarı arttıkça ER aktivitesi de artar fakat bununda bir sınırı vardır. Süspansiyon çok derişik olduğunda pasta kıvamını alır. Koloidal kararsızlık göstermeye başlar. $E = 0$ kV/mm iken dahi süspansiyon katı halde bulunabilir. $E = 0$ kV/mm iken ER akış süresi kısa, $E \neq 0$ kV/mm iken ise akış süresinin uzun olması istenir.

E uygulandığında süspansiyonda büyük bir ER karşılığı alabilmek için, hacim kesrinin çok yüksek olmadığı çökelmeye karşı kararlı bir süspansiyona ihtiyaç vardır. ER akışkanı hazırlamaktaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelmeye karşı direncinin korunamamasıdır.

Bir ER süspansiyonda okunan gerilim ve viskozitenin büyüklüğünün değişimi tanecik hacim kesrine bağlıdır. Şahin ve arkadaşlarının polipirol süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada hacim kesri arttıkça ER aktivitenin arttığı rapor edilmiştir [36]. Bu artış hacim kesrinin artmasıyla polarizasyon kuvvetlerinin artış göstermesi ve buna bağlı olarak ER aktivitenin artışı ifade eder.

3.10.7. Sıcaklık

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

artarsa ER etki için sıcaklık baskın bir faktör olur. Ancak süspansiyonlarda Brown etkisi gözlenmez.

ER aktivite üzerine sıcaklığın etkisi karmaşıktır. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalarda çelişkiler gözlenmiştir. Yılmaz ve arkadaşlarının polimetilmetakrilat-blok-polistiren/silikon yağı sistemi ile yaptıkları çalışmada, 25–125°C sıcaklık aralığında kayma geriliminin sıcaklık ile değişimini incelemişlerdir. Kayma geriliminin artan sıcaklık ile azaldığını belirtmişlerdir. 25–125°C aralığında kayma gerilimi kaybı hesaplanmıştır. %20 polimetilmetakrilat-blok-polistiren/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 [37].

Yaş ER süspansiyonların (polar bir sıvı ilavesinden sonra ER aktivite gösterebilen sistemler) -20 ile +70°C arasında suyun donması ve buharlaşması ihtimalinden dolayı dar bir sıcaklık çalışma aralığına sahip olduğuna inanılır. Susuz ER süspansiyonlarında (polar bir sıvı ilavesine gerek kalmaksızın ER aktivite gösterebilen sistemler) ise geniş bir çalışma sıcaklık aralığı mevcut olup, bununla beraber, yüksek sıcaklıkta büyük iletkenlik sağlanamaz ve çoğu susuz ER akışkanlar ise iyonik materyallerden yapılmıştır.

3.10.9. Kolloidal kararlılık

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

ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir E 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 [38].

3.10.10. Tanecik boyutu

Süspansiyon yapısının yerçekimine karşı dayanıklı ve koloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük ve geniş yüzey alanları sayesinde tanecikler arası etkileşimlerin büyük olması tercih edilmektedir. Literatürde ER aktivite gösteren tanecik büyüklükleri 0,1–100 µm arasında olduğu rapor edilmiştir.

3.12. ER Akışkanların Potansiyel Uygulama Alanları

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

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

Bunların birçoğunun çözümü ise son zamanlarda bulundu. Şimdiye kadar ER akışkanların birçok patentleri alınmıştır. Şok absorplayiciler, debriyaj ve fren sistemleri [39], titreşim sönümleyiciler [40], hidrolik valfler [41], aktivatörler [42], binaların temelinde [43], robotlar ve yapay organlar [44] gibi kullanım alanları önerilmiştir. Bunlara ilave olarak, fotonik kristal algılayıcı, lamba anahtarı, mekanik cilalayıcı, monitörler, mürekkepli yazıcılar, mekanik algılayıcılar ya da sismograflar gibi ER akışkanların kullanılacağı birçok alan gelecekte geliştirilecektir.

ER akışkanlar potansiyel uygulama alanları çok geniş olan akıllı materyallerdir. Heterojen ER akışkanlar üzerine yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yere sahiptir. Fakat heterojen ER akışkanlarda taneciklerin artık bırakması uygulama alanları için

sınırlayıcı bir faktördür. Son zamanlarda geliştirilen homojen ER akışkanlar geniş çalışma sıcaklık aralığının heterojen ER akışkanlardan daha üstün olduğu gözlenmiştir.

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

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

4. BÖLÜM

DENEYSEL KISIM

4.1. Kullanılan Alet, Cihaz ve Teknikler ile Polimer ve Kompozitlerin Karakterizasyonu

4.4.1. Öğütme işlemi

Vakum etüvünde kurutulmuş olan PT homopolimeri ve %27 (K1), %52(K2) ve %78 (K3) olmak üzere üç farklı yüzdede PT içeren PT/POMZA kompozitleri Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Reoloji laboratuvarında bilyalı bir değirmen kullanılarak öğütüldü.

4.4.3. Tanecik boyutu ölçümleri

Toz haline getirilmiş PT ve K1-K3 kompozitlerin tanecik büyüklüğü, Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Reoloji laboratuvarında Malvern Nano ZS ile belirlendi.. Elektrokinetik potansiyel ölçümleri “laser doppler velocimeter” metodunu kullanan zetapotansiyel ölçüm cihazında (MALVERN Nano-Z) gerçekleştirilmiş, farklı pH’larda yapılan ölçümlerde katı oranı % 0,1 olan süspansiyonlar kullanılmıştır. Cihazın zeta-potansiyeli ölçüm hassasiyetini arttırmak için hücre ayarına gerek duyulmadan M3 (mixed mode measurement) metodu kullanılarak ölçüm yapılmıştır.

4.4.4. Süspansiyon hazırlanması

Öğütülerek belirli tanecik büyüklüğüne getirilen PT ve kompozitlerin, silikon yağı (SO) içerisinde ($\phi = \%5, \%10, \%15, \%20$) süspansiyonları hazırlandı ve çökeltme kararlılıklarına bakıldı. Ardından ER çalışmalara geçildi.

4.4.5. Çökeltme kararlılığı

Kolloidal kararlılığa hacim kesrinin etkisini araştırmak amacıyla en kararlı bileşimdeki kompozitten çeşitli hacim kesirlerinde hazırlanan süspansiyonlar ($\phi = \%5, \%10, \%15,$

%20) 25°C' de 20 gün süreyle bekletildi. 20 gün sonunda en kararlı hacim kesri belirlenerek ardından ER çalışmalara geçildi.

4.4.7. Elektroeometre ile yapılan lmler

Paralel plaka elektrotlar ile ER açıdan aktif oldukları belirlenen ve eşik enerjileri tespit edilen süspansiyonların, ER aktiviteleri üzerinde kayma hızı, hacim kesri, sıcaklık, elektrik alan kuvveti ve frekansın etkileri araştırıldı. Bu amaçla Thermo-Haake RS600 model, 0,001–1500 s⁻¹ aralığında kayma hızı uygulayabilen, 35 mm (PP35 ER) apında paralel plakaları olan elektroeometre kullanıldı. Hacimce dört farklı yüzde de hazırlanan süspansiyonların ER davranışları; çeşitli elektrik alan kuvvetleri, kayma hızları, sıcaklık, zaman ve frekans aralıklarında ölçülerek değerlendirildi.

5. BÖLÜM

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

5.1. Tanecik Boyutu Ölçümleri

Elektroreolojik çalışmalarda tanecik büyüklüğü oldukça önemli bir faktördür. ER etkinin tanecikler arası etkileşimden kaynaklandığı, oluşan bu etkileşimler sonucunda taneciklerin zincir yapısı oluşturdukları bilinmektedir. ER süspansiyonun oluşturduğu yapının yerçekimine karşı dirençli olabilmesi ve geniş bir yüzey alanına ulaşarak E altında yüksek polarizasyon gösterebilmesi için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda ER aktivite gösteren maddelerin tanecik büyüklüklerinin mikron boyutta olması gerektiğini belirtmişlerdir. Tau ve arkadaşları [45] ile Kojima ve arkadaşları [46] 15 µm–50 µm büyüklüğündeki taneciklerin ER özelliklerini incelemişler ve yüksek ER aktivite elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Ayrıca literatürde ER aktivite gösteren parçacıkların 0,1-100 µm arasında olması gerektiği de rapor edilmiştir.

Kompozitlerin tanecik boyutunun küçültülmesi ve bir seri tanecik boyutu elde edebilmek amacıyla, üç boyutlu bir değirmende PT homopolimeri ve %27 (K1), %52 (K2), %78 (K3), olmak üzere üç farklı yüzdede PT içeren PT/POMZA kompozitleri bilyalı titreşimli öğütücüde öğütüldü. Öğütülen polimerlerin tanecik büyüklükleri, ölçüldü. Elde edilen tanecik boyutu dağılımı sonuçlar Çizelge 1 de verilmiştir. Bu verilere göre kompozitlerin ortalama tanecik büyüklüklerinin ($d_{(0,5)}$) 0,82–4,35 µm arasında değiştiği, PT'in $d_{(0,5)}$ 'inin ise 0,82 µm olduğu tespit edildi. Polimerlerin bütün karakterizasyon işlemleri ile ER ölçümleri bu tanecik boyutlarında gerçekleştirildi. Ayrıca öğütme işlemleri esnasında kompozitler arasında PT içeriği artıkça kompozitlerin ortalama tanecik boyutunun küçüldüğü tespit edildi.

Tablo 5.1 Numunelerin tanecik büyüklükleri.

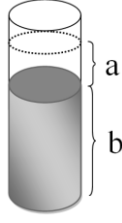
Numune	(d _{0,5}) (µm)	(d _{0,1}) (µm)	(d _{0,9}) (µm)
K1 (%27 PT/%73 Pomza)	4,35	1,44	15,92
K2 (%52 PT/%48 Pomza)	3,23	0,71	9,93
K3 (%78 PT/%22 Pomza)	2,68	0,69	4,17
PT	0,82	0,21	4,11

5.2. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi

Elektroreolojik akışkanlarda aranan en önemli özelliklerden birisi çökme kararlılığıdır. ER akışkanların uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökme göstermemeleri ve tortu bırakmaması istenir. ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alan kuvveti (E) uygulandığında, bu etkileşimler sonucu tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının çökmeye karşı kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilir.

Polimerlerin kolloidal kararlılıklarının tayini amacıyla SO içerisinde hazırlanan süspansiyonlar, 25°C'daki sabit sıcaklıktaki su banyosunda bekletildi. Kolloidal kararlılıkta; PT ve %27 (K1), %52 (K2), %78 (K3) PT içeren PT/POMZA kompozitleriyle hazırlanan $\phi = \%5$ ' lik süspansiyonlarda kompozit içerisindeki PT miktarının etkisi incelenerek en kararlı olan süspansiyon tespit edildi. En kararlı PT içeriği olan kompozitten $\phi = \%5$, %10, %15 ve %20'lik hacim kesirlerinde hazırlanan süspansiyonlarda ise hacim kesirinin etkisi, incelendi. İlk çökmenin görüldüğü an süspansiyonun kolloidal kararsızlık göstermeye başladığı an olarak kayıt edildi. İlk çökme başladıktan sonra kolloidal kararlılık ölçümlerine devam edildiğinde, sabit hacim kesirlerinde hazırlanan kompozitlerde Pomza miktarı arttıkça kolloidal kararlılığın azaldığı tespit edildi.

Kolloidal kararlılığa kompozit bileşiminin etkisi Şekil 5.1'de verildi. Şekillerde görülen çökme kararlılığı oranları (ÇKO) hesaplanırken Eş. 5.1 kullanıldı.



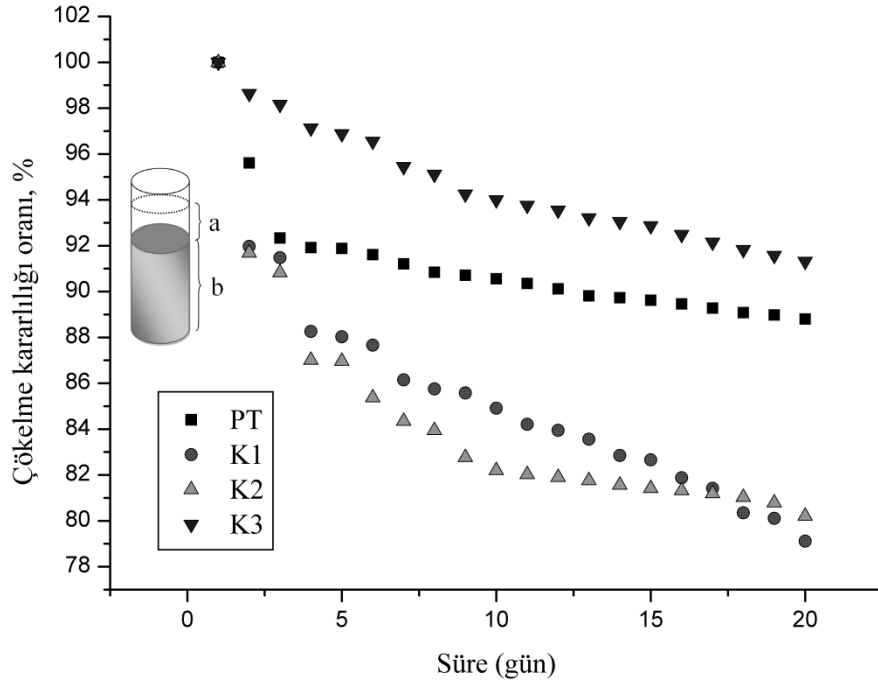
$$\text{Çökelme Kararlılığı Oranı} = \frac{b}{(a+b)} \times 100 \quad (5.1)$$

a: Silikon yağı yüksekliği b: ER akışkan yüksekliği

Sonuçlara kompozit malzemelerin tanecik boyutlarındaki değişimler açısından bakıldığında, tanecik boyutları birbirlerine yakın olduğundan belirleyici bir etki gözlenemedi. Kolloidal kararlılık üzerinde etkin olan faktörlerden bir tanesi de dağılan faz ile dağıtıcı faz arasındaki yoğunluk farkıdır. Yoğunluklar açısından kolloidal kararlılığa bakıldığında PT in yoğunluğu ($0,72 \text{ g/cm}^3$) silikon yağının yoğunluğundan ($0,96 \text{ g/cm}^3$) düşük olduğundan Stoke yasasına uygun olarak PT' in kolloidal kararlılığının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Kompozit malzemelerin yoğunlukları arttıkça yer çekimine karşı kararsızlıkları da artmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir. Sadece K3/SO süspansiyon sistemi için kolloidal kararlılığa hacim kesrinin etkisine bakıldığında da $\phi = \%5$ lik numunenin çökelme kararlılığı oranının 20 gün süre boyunca $\%91$ 'in üzerinde kaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.1). Bu da endüstriyel uygulamalar açısından istenilen bir durumdur. Benzer sonuçlar literatürde de çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli süspansiyon sistemleri için rapor edilmiştir [47, 48].

Tablo 5.2 PT ve PT/POMZA kompozitlerin yoğunlukları, tanecik boyutu ve 20. gündeki çökelme kararlılıkları oranları ($\phi = \%5$)

Numune	Yoğunluk (g/cm^3)	$d_{(0,5)}$ (μm)	ÇKO (%)
K1	0,93	4,35	79,11
K2	0,87	3,23	80,21
K3	0,83	2,68	91,32
PT	0,72	0,82	88,8



Şekil 5.1. Çökelme kararlılığı oranları T= 25°C.

5.4. Elektroreometre ile Yapılan Elektroreolojik Ölçümler

5.4.2. Hacim kesrinin viskozite üzerine etkisi

Viskozitenin hacim kesri ile yükselme eğilimi parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Elektrik alan ile polarizasyon kuvvetleri arasındaki bağıntı şu şekilde verilmektedir [49].

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

Bu eşitlikte:

F = Polarizasyon kuvveti

ϵ_2 = Taneciklerin dielektrik sabiti

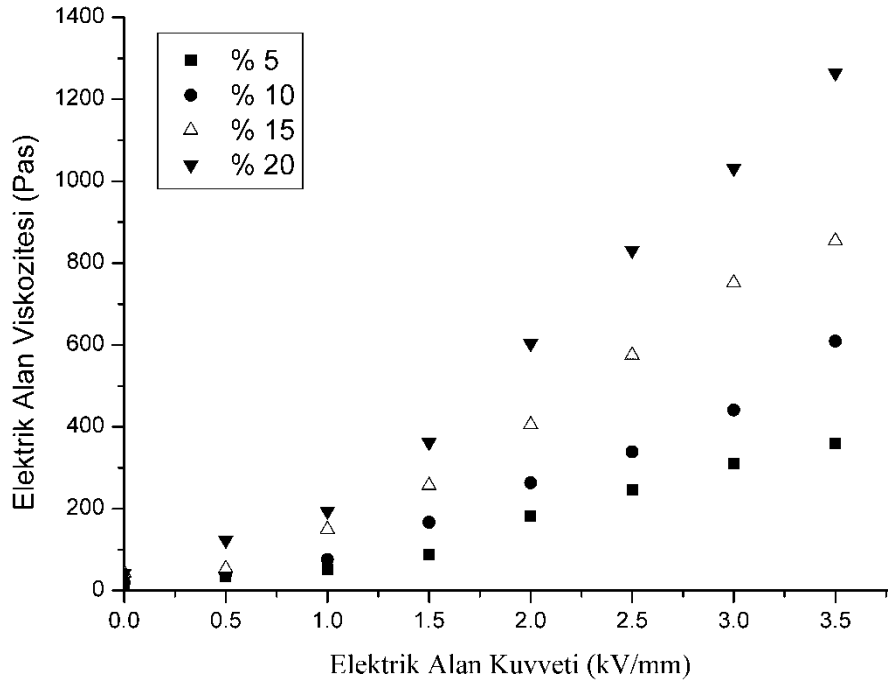
r = Tanecik yarıçapı

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 [50] veya parabolik [51] olarak sürekli artan bir viskozite eğrisi elde edildiği rapor edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Şekil 5.2’de görüldüğü gibi K3/SO süspansiyon sistemi için hem hacim kesri artışı hem de uygulanan dış elektrik alan kuvveti artışı ile elektrik alan viskozitede lineer artışlar gözlenmiştir. $E = 3,5$ kV/mm dış elektrik alan kuvveti altında $\eta_E = 1288$ Pas elektrik alan viskozite değerine ulaşılmıştır. Bu durum tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin artan hacim kesri ile artmasına atfedilebilir. Benzer çalışmalar literatürde de rapor edilmiştir.



Şekil 5.2. Çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin hacim kesri ile değişimi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1$ s⁻¹, T = 25°C.

Bir ER akışkanda yüksek bir E altında tanecikler arasında meydana gelen etkileşimler taneciklerin lif oluşumuna yol açar. Bir kayma hızı varlığında viskoz kuvvetlere maruz kalan tanecikler süspansiyonda mevcut olan diğer taneciklerle etkileşir. Bu viskoz kuvvetler (F_η);

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

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

Şekil 5.2' de K3 kompozitinden %10, %15, %20, %25 hacim kesrinde hazırlanan süspansiyonların $0,1 \text{ s}^{-1}$ E kuvvetinin etkisiyle viskozite değişimi incelendi. Grafikten görüldüğü gibi E kuvveti artması ile viskozite de artış gözlenmektedir. En yüksek viskozite değerine $E = 3,5 \text{ kV/mm}$ ' de $\eta_E = 1288 \text{ Pas}$ ile %20 hacim kesrindeki süspansiyon sahipken, en düşük viskozite değeri %5 hacim kesrindeki süspansiyonda $\eta_E = 377 \text{ Pas}$ olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak süspansiyon içerisindeki K3 kompozit miktarı arttıkça η_E değerlerinde bir artış tespit edilmiştir. Erol'un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada $E = 0,9 \text{ kV/mm}$ ' de PT için $\eta = 251,4 \text{ Pas}$ nanokompozit için ise $\eta = 133 \text{ Pas}$ olarak rapor edilmiştir.

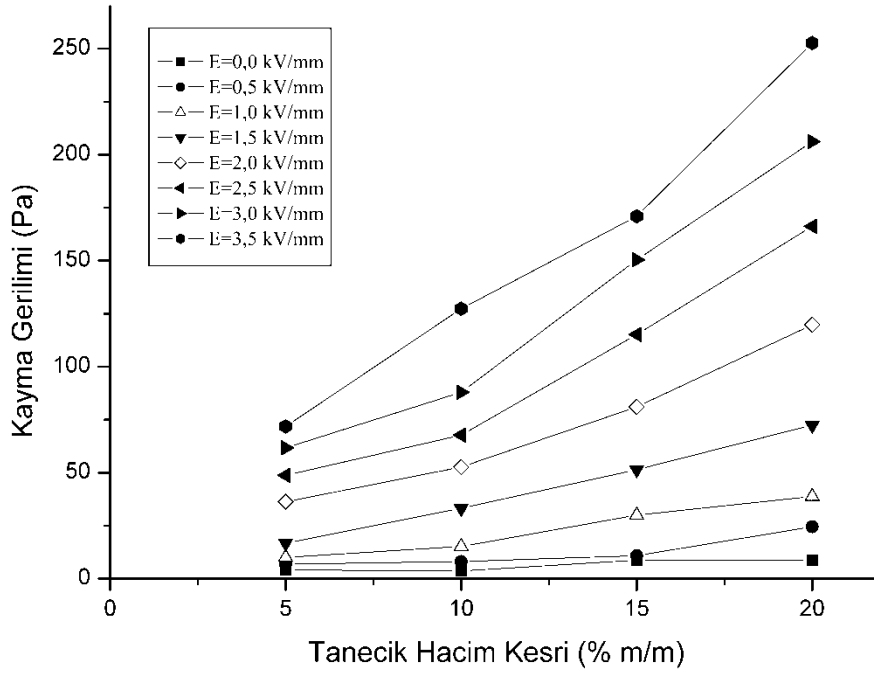
5.4.3. Hacim kesrinin kayma gerilimi üzerine etkisi

Elektroreolojik akışkanlarda kayma gerilimi (τ) , malzemenin akmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Süspansiyonun hacim kesri, kayma gerilimi üzerine etki eden en önemli etkenlerden biridir. Akışkan içerisindeki tanecik hacim kesri ne kadar fazla ise, kayma gerilimi o kadar büyüktür. Bir ER akışkanda istenen en ideal kayma gerilimi değeri, onun uygulama amacına bağlı olarak değişir. Örneğin dinamik titreşim sönümleyicilerde, akışkanın yanıt verme süresi ve aşındırıcılığının az olması, akışkanın yüksek kayma gerilimine sahip olmasından çok daha fazla önemlidir [52].

Şekil 5.3'de K3'in 4 farklı hacim kesrindeki süspansiyonlarının $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$ kayma hızında elde edilen kayma gerilimi–hacim kesri grafiği verilmektedir. Grafikte hacim kesri ve E kuvveti artışına paralel olarak kayma geriliminde artış gözlenmektedir. $E = 3,5 \text{ kV/mm}$ iken $\phi = \%5$ 'lik K3 süspansiyonu $\tau = 11,6 \text{ Pa}$ kayma gerilimi gösterirken, bu değer $\phi = \%20$ 'lik hacim kesrinde $\tau = 248,2 \text{ Pa}$ değerine çıkmaktadır. Erol [53] un

Politiyofen/ Poly(oxymethylene)/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada PT için $\tau = 50,19$ Pa ve PT/POM/SO için $\tau = 26,6$ Pa olarak rapor edilmiştir.

Ünal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu grubun yaptığı polistiren-*blok*-poliizopren kopolimerin ve CaCO_3 'ün silikon yağı içerisinde oluşturulduğu süspansiyonlarda yaptıkları çalışmalarda [54, 55] derişim ile kayma gerilimi doğru orantılı olarak artarken, poliizopren-*ko*-poli(tert-bütül metakrilat)/SO, sepiyolit/SO ve poli(Li-terbütül metakrilat) iyonomer/SO süspansiyolar ile ilgili çalışmalarda ise [56, 57] önce lineer bir artış ve daha sonra derişim artışı ile bir azalma rapor edilmiştir. Choi ve arkadaşları da, selüloz fosfat esterleri ile yapmış oldukları çalışmada [58] kayma gerilimi farkının ($\Delta\tau$) derişim ile lineer bir artış gösterdiğini, ayrıca kitosan fosfat ile yapmış oldukları çalışmada ise $\Delta\tau$ değerinin artan ϕ değerleri ile önce bir artış ardından yavaş bir azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir.

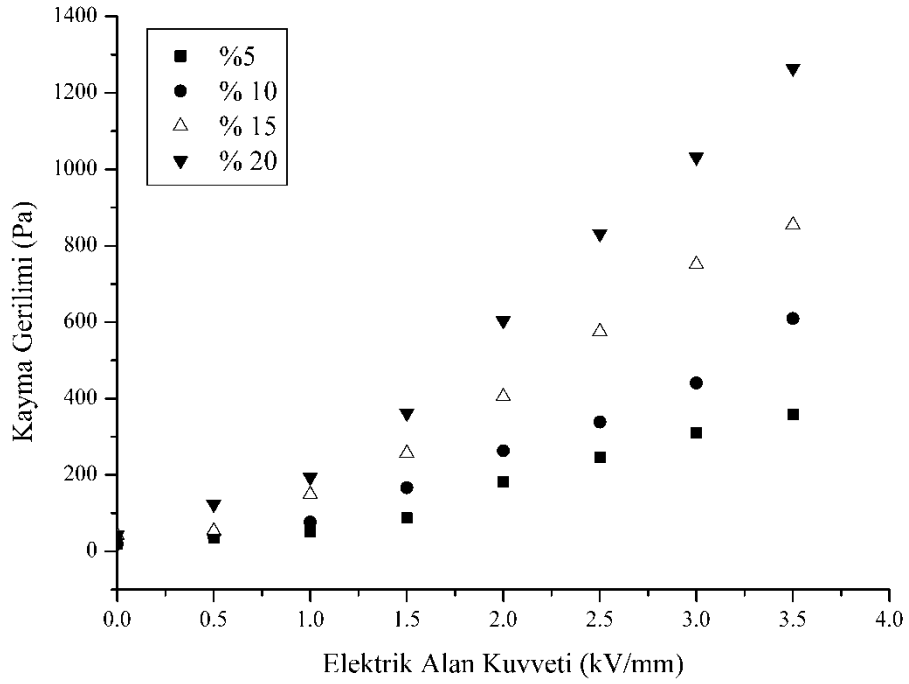


Şekil 5.3. Hacim kesrinin kayma gerilimi üzerine etkisi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $d_{(0,5)} = 2,68 \text{ }\mu\text{m}$

5.4.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi

Elektroreoloji olayı, akışkanların viskozitelerindeki artışa dayanır. Yalıtkan bir sıvı ortamında ER malzemenin dağılmasıyla oluşturulan süspansiyonların, bir E uygulandığı müddetçe viskozitesi artar. E kaldırıldığında ER akışkanlar çoğunlukla Newtonian, nadiren de pseudo plastik davranış sergilerler. Süspansiyonların viskozitesindeki değişimin genel olarak; taneciklerin kutuplaşması sonucunda süspansiyonun mikro yapısında meydana gelen zincir yapısından kaynaklandığı varsayılır. E varlığında ve yokluğunda meydana gelen bu viskozite değişimi geri dönüşümlüdür. E 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. Bir kayma kuvveti uygulandığında zincirler kayma kuvvetleri tarafından dağıtılır ve viskozite düşer. Çok yüksek kayma hızı değerlerinde ise süspansiyonun davranışı kayma geriliminden bağımsız hale gelir ve E kuvvetinin yokluğundaki viskozite değerleri gözlenir.

K3 kompozitinden hazırlanan $\phi = \%5, \%10, \%15, \%20$ hacim kesrindeki süspansiyonları için alınan ölçümler Şekil 5.4' da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde uygulanan E kuvveti arttıkça kayma gerilimi değerlerinin de arttığı görülmektedir. En yüksek kayma gerilimi değeri $\phi = \%20$ 'lik süspansiyonda $\tau = 1252$ Pa ölçülmüştür. Bu da çalışılan PT/POMZA/SO sisteminin uygulanan dış E kuvvetini algıladığını ve akıllı malzeme olarak sınıflandırılabilceğini kanıtlamaktadır. Erol'un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada $E = 0,9$ kV/mm' de PT için. $\tau = 50,19$ Pa nanokompozit için ise $\tau = 26,6$ Pa olarak rapor edilmiştir.



Şekil 5.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi. Numune: K3, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $d_{(0,5)} = 2,68 \text{ }\mu\text{m}$

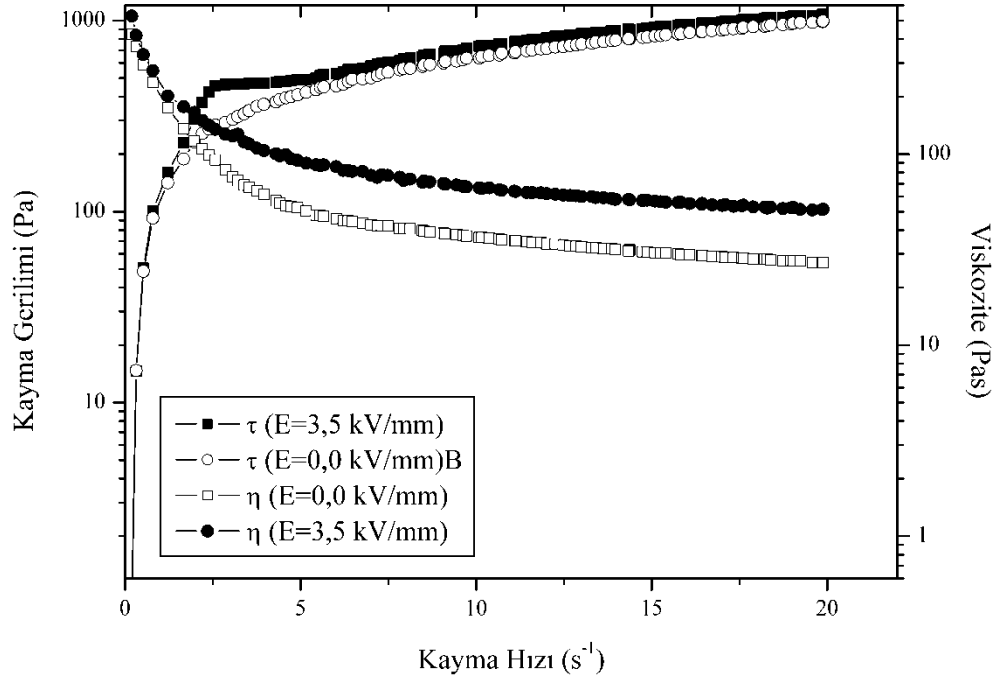
Araştırmacılar, Silika-TiO₂ kompozitlerinde silikon yağı ile yaptıkları çalışmada süspansiyonlarının kayma gerilimi değerinin E kuvvetinin karesi ile orantılı olarak artış gösterdiğini rapor etmişlerdir [59]. Foul ve Atten su ile aktive edilmiş mikro kristal yapıdaki selülozun madeni yağ içerisinde oluşturduğu süspansiyonlarda yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir [60]. Aynı şekilde Ünal ve arkadaşları da poliinden/kaolin kompozitin silikon yağındaki süspansiyonlarında benzer sonuçlar rapor etmişlerdir [61].

5.4.7. Kayma hızının kayma gerilimi ve viskozite üzerine etkisi

Şekil 5.5’ de K1, K2, K3 kompozitleri ile SO içerisinde optimum hacim kesrinde ($\phi = \%20$) hazırlanan süspansiyonların, $E = 0 \text{ kV/mm}$ ve $E \neq 0 \text{ kV/mm}$ koşullarında kayma hızı–viskozite–kayma gerilimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi çalışılan numunede artan $\dot{\gamma}$ ile τ değerlerinde non-Newtonian akışa uygun artışlar tespit edilmiştir.

Her bir kompozit için elde edilen grafiklerde kayma hızının artmasıyla süspansiyonların viskozitelerinde üstel olarak bir azalma gözlenmektedir. Bu azalma $E \neq 0$ koşulunda daha belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Ayrıca kayma hızında meydana gelen azalma ile kayma geriliminde de önemli ölçüde artışlar meydana gelmektedir. Buradan süspansiyonların kayma incelmesi türünden non-Newtonian visko-elastik bir davranış gösterdiği sonucuna varılabilir. Kayma hızı ile kayma gerilimlerinin değişimine bakıldığında ise, tüm kompozit malzemelerin E altında uygulanan kayma hızı neticesinde Bingham türü bir davranış sergilediği ve minimum kayma hızında belirli bir kayma gerilimi değerinden itibaren artışa geçtiği gözlenmiştir.

Block ve Kelly SO içerisinde hazırladıkları süspansiyonlarda silika ve kalsiyum titanat ile yaptıkları deneylerde, silika süspansiyonların E yokluğunda Newtonian davranış sergilediğini belirtmişlerdir. Tanaka ise polianilin ve magnezyum hidroksitin SO ortamında hazırlanan süspansiyonları ile yaptıkları çalışmalarda, $E = 0$ kV ve $E \neq 0$ kV koşullarında süspansiyonların kayma incelmesi gösterdiğini belirtmiştir. Aynı şekilde sıvı kristal polisiloksan/SO sisteminin $E = 0$ kV/mm ve $E \neq 0$ kV/mm şartlarında da kayma incelmesi türünden reolojik bir davranış gösterdiği Otsubo tarafından rapor edilmiştir [62]. Ayrıca Ünal ve arkadaşları tarafından poli(2-akrilamido-2-metilpropanesülfonik asit)/SO sistemi ile yapılan çalışmada viskozitenin E kuvvetinin artmasıyla arttığı, kayma hızı artışı ile de azaldığı rapor edilmiştir [63].



Şekil 5.5. Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi. Numune K3, $\phi = 20$ (m/m), $T = 25^\circ\text{C}$.

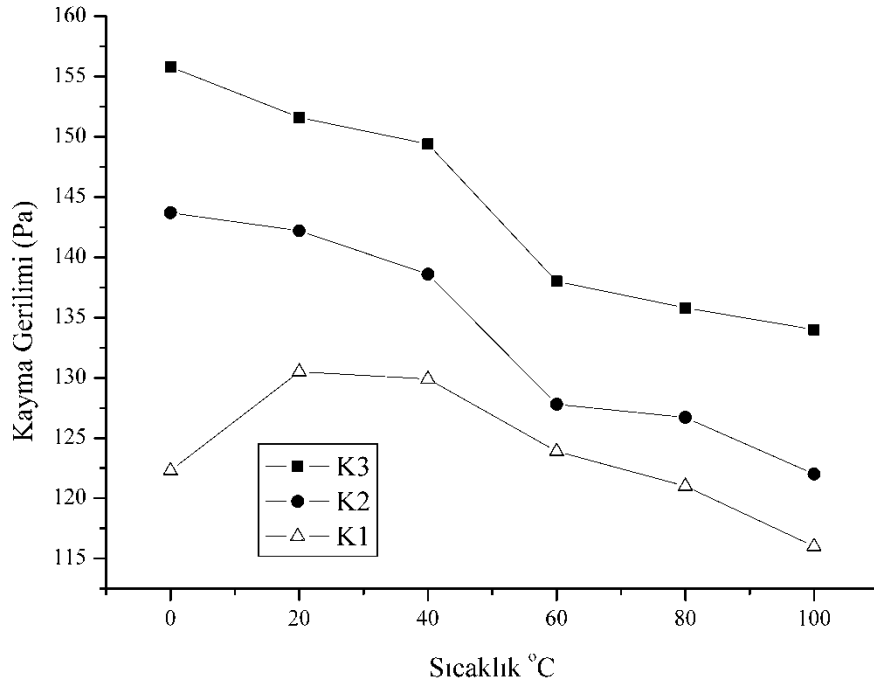
5.4.8. Kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi

Sıcaklık etkisi, ER etkiyi değerlendirmek için önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklığın ER akışkan üzerine etkisi iki şekilde olmaktadır. Birincisi, ER süspansiyon için sıcaklık, polarizasyon etkisini kesin olarak değiştirebilir. Bunun yanında tanecik iletkenliği ve dielektrik sabiti de sıcaklıkla değişebilir. Tablo 5.3 de PT ve PT/POMZA kompozitlerin iletkenlik ve dielektrik (ϵ) değerleri verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi kompozit malzemelerde PT miktarındaki artış ile iletkenlik değerlerinde de artış meydana gelmiş ve $\sigma_{PT} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ iken %78 PT içeren K3 kompozitinde $\sigma_{K3} = 4,26 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$ değerine ulaşılmıştır. Hem bu iletkenlik değerleri hem de dielektrik sabitleri ER malzemeler için önerilen iletkenlik değerleri arasındadır. 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 plakalar arasında lifsi yapı oluşumu ile kendini gösteren ER etkinin azalmasına neden olur.

Tablo 5.3 Numunelerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri

Numuneler	İletkenlik (S cm ⁻¹)	Dielektrik Sabiti
PT	4,2 x 10 ⁻³	1,42
PT(%78)/Pomza, K3	4,26x 10 ⁻⁵	1,55
PT(%52)/PE K2	5,17 x 10 ⁻⁶	1,48
PT(%27)/PE K1	2,76 x 10 ⁻⁶	1,24

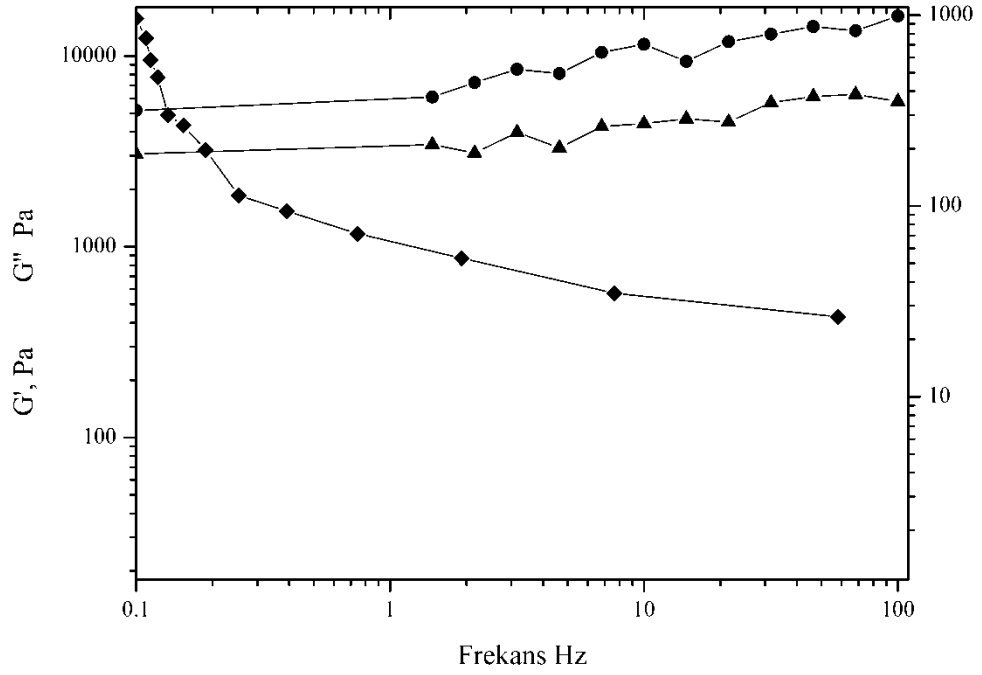
Numunelerin yüksek sıcaklıklarda güç kaybına uğrayıp uğramadıklarını tespit etmek amacıyla 0–100 °C aralığında 6 farklı sıcaklıkta sıcaklık taraması yapıldı. Şekil 5.6’da görüldüğü gibi tüm kompozitlerde sıcaklık artışıyla kayma gerilimi değerlerinde kayda değer büyük bir değişme gözlenmedi, 40 °C den sonra kayma gerilimlerinde az bir miktarda azalma tespit edildi. Erol’un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada E = 0,5 kV/mm’ de PT için $\Delta \tau = 9,72$ Pa ve nanokompozit için $\Delta \tau = 10,65$ Pa olarak rapor edilmiştir. Verilerin incelenmesinden anlaşılacağı gibi deneysel hata sınırları içerisinde, artan sıcaklık ile en yüksek kayma gerilimi kaybı beklenildiği şekilde Pomza içeriği en yüksek olan K1 kompozitinde gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıklarda aşırı güç kaybına uğramaması endüstriyel uygulamalar açısından oldukça önemlidir.



Şekil 5.6. Numunelerin kayma gerilimlerinin sıcaklıkla değişimi. $\phi = \%20$, $\dot{\gamma} = 0,1$ s⁻¹, E = 2,5 kV/mm

5.4.9. Elastik modülün frekans ile değişimi

Titreşim sönümlemenin ana parametrelerinden olan visko-elastik özellikleri belirlemek üzere, sabit kayma gerilimi, sıcaklık ve hacim kesrinde numuneler üzerine 0,1-100 Hz arasında frekans uygulandı, elde edilen sonuçlar Şekil 5.7’de gösterildi. Şekilde görüldüğü gibi yaklaşık 100 Hz değerine kadar deneysel hata sınırları içerisinde, artan frekans ile numunelerin visko-elastiklikleri azda olsa artmış ve titreşim sönümleme görevlerini yapmışlardır. Ünal ve arkadaşları bazı polianilin türevleriyle yaptıkları çalışmada benzer davranışlar rapor etmişlerdir [64].



Şekil 5.7. K3 kompoziti için elastik modülün frekans ile değişimi. $E = 3,5 \text{ kV/mm}$, $\phi = \%20$, $\tau = 1 \text{ Pa}$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Zetasizer cihazı yardımıyla, PT homopolimeri ve PT/POMZA kompozitlerin tanecik boyutları belirlendi ve ER çalışmaları için uygun boyutlarda oldukları tespit edildi.
2. Kolloidal kararlılığa, PT/POMZA kompozitlerinde bileşimin ve hacim kesrinin etkisi incelendi. Kompozitlerde Pomza miktarı arttıkça kolloidal kararlılığın azaldığı, artan süspansiyon hacim kesri ile kolloidal kararlılığın arttığı tespit edildi. Bunun nedeni artan tanecik sayısı ile tanecikler arası statik elektriklenmenin artması olarak değerlendirildi. Tanecik boyutu artışı ile kolloidal kararlılığın azaldığı gözlemlendi. Süspansiyonların gösterdiği kolloidal kararlılık değerlerinin endüstriyel uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varıldı.
3. Süspansiyonun ER aktivitesi E deki artışa paralel olarak artmaktadır.
4. ER ile ilgili yapılan çalışmalarda, süspansiyonun hacim kesri arttıkça ER verimi arttığı görüldü. ER aktivite için optimum süspansiyon hacim kesri $\phi = \%20$ (m/m) olarak bulundu.
5. ER aktivitenin E kuvvetindeki artışa paralel olarak artış gösterdiği ve kompozitteki PT miktarının artmasıyla ER aktivitenin yükseldiği tespit edildi.
6. Kompozit malzemelerden hazırlanan süspansiyonlarda ER aktivitelerinin artan E ile arttığı, artan kayma hızı ile azaldığı gözlemlendi. Süspansiyonların viskozitesinin kayma hızının artmasıyla azaldığı ve kayma incilmesi türünden visko-elastik bir non-Newtonian davranış gösterdiği, kompozitlerde PT değeri miktarı arttıkça η_E değerinin arttığı tespit edildi.
7. Hacim kesri arttıkça süspansiyonların viskoziteleri arttığı ve bu artışın parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri geldiği belirlendi.

8. K3/SO bileşimdeki süspansiyonun; $E = 0-3,5$ kV/mm aralığında ve $\dot{\gamma} = 0,1$ s⁻¹ değerinde elde edilen kayma gerilimi–hacim kesri değerlerinde ϕ ve E artışına paralel olarak τ da artış gözlemlendi.
9. Kompozit malzemelerden hazırlanan süspansiyonların yüksek sıcaklıkta çok fazla güç kaybına uğramadığı ve endüstriyel uygulamalar için uygun olabileceği sonucuna varıldı.
10. Frekans artışı ile kompozit malzemelerin elastiklik modülünde önce bir artışın daha sonra yüksek frekans değerlerine çıkıldıkça azalma tespit edildi. Buna göre numunelerin endüstriyel uygulamalarda titreşim sönümleyici çalışmalarda kullanılabileceği tespit edildi.
11. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak incelenen PT/POMZA kompozitlerinin, akıllı polimer-kompozit malzeme olarak sınıflandırılabilmesi ve özellikle titreşim sönümleme amaçlı endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 Sari, B., Talu, M., Gök, A., “Synthesis and characterization of nylon 6/polyalkylaniline conducting composites”, *J. Appl. Polym. Sci* 87, 1693-1701, 2003.
- 2 Yılmaz, H., Unal, H.I. , Sarı, B., “Synthesis, characterization and electrorheological properties of polyo-toluidine/Zn conducting composites” *J. Appl. Polym. Sci*, 87, 1693,-3484-3492, 2007.
- 3 Yeh, J.Y. Chen, L.W. and Wang, C.C., “Dynamic stability of a sandwich beam with a constrained layer and electrorheological fluid core”, *Composites. Struct.* 64, 47-54, 2004.
- 4 Winslow, W., M., “Methods and means for transmitting electrical impulses into mechanical force” *U.S. Pat.* No, 2417850 1947.
- 5 Winslow, W. M., “Induced vibration suspension”, *J. Appl. Phys.*, 20, 1137-1140, 1947.
- 6 Sari, B., Yavas, N., Makulogullari, M., Erol, O., Ünal, H.I., “Synthesis, Electrorheology and Creep Behavior of Polyindole/Polyethylene Composites”, *Reactive and Functional Polymers*, 6911, 808-815, 2009.
- 7 Hao, T., “Electrorheological suspensions”, *Adv in Coll. and Interface Sci.*, 97, 1-35, 2002.
- 8 Oyhenart, L., Vigneras, V., Demontoux, F., Parneix, J. P., “A three-dimensional planar photonic crystal using conducting polymers”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 44 5, 460-463, 2005.
- 9 Seanor, D. A., “Electrical properties of polymers”, *Academic Press Inc.*, New York, 3, 1982.
- 10 Yeh, J-M., Chin, C-P., Chang, S., “Enhanced corrosion protection coatings prepared from soluble electronically conductive polypyrrole-clay nanocomposite materials”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 88, 3264-3272, 2003.
- 11 Mazeikene, R., Malinauskas, A., “Doping of polyaniline by some redox active organic anions”, *Eur.. Polym. J.*, 36, 1347-1353, 2000.
- 12 Talbi, H., Humbert, B., Billaud, D., “Polyindole and poly5-cyanoindole, electrochemical and FT-IR spectroscopic comparative studies”, *Synt. Met.* 84, 875-876, 1997.

- 13 Ryu, K.S., Park, N.G., Kim, K.M., Lee, Y.G., Park, Y.J., Lee, S.J., Jeong, C.K., Joo, J. and Chang S.H., "The physicochemical properties of polyindole/thiol composites", *Synt. Met.*, 135-136, 397-398, 2003.
- 14 Abthagir, P.S., Dhanalakshmi, K., Saraswathi, R., "Thermal studies on polyindole and polycarbazole", *Synth. Met.*, 93, 1-7, 1998
- 15 Sazou, D., Poullos, I., "Photoelectrochemical behaviour of electrogenerated poly2,3-diaminophenazide on platinum in aqueous media", *Synth. Met.*, 26, 339-347, 2002.
- 16 Ashassi-Sorkhabi, H., Rafizadeh, S.H., "Effect of coating time and heat treatment on structures and corrosion characteristics of electroless Ni-P alloy deposits", *Surface and Coating Techn.*, 176, 318-326, 2004.
- 17 Billaud, D., Maarouf, E. B., Hannecart, E., "An investigation of electrochemically and chemically polymerized indole", *Mater. Res. Bulletin*, 29 12, 1239-1246, 1994.
- 18 Xu, J., Nie, G., Zhang, S., Han, X., Hou, J., Pu, S., "Electrosyntheses of freestanding polyindole films in boron trifluoride diethyl etherate", *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, 43, 1444-1453, 2005.
- 19 Koiry, S. P., Saxena, V., Sutar, D., Bhattacharya, S., Aswal, D. K., Gupta, S. K., Yakhmi, J. V., "Interfacial synthesis of long polyindole fibers", *J. Appl. Polym. Sci.*, 103, 595-599, 2007.
- 20 Talbi, H., Ghanbaja, J., Billaud, D., "Vibrational properties and structural studies of doped and dedoped polyindole by FTIR, Raman and EEL spectroscopies", *Polym.*, 38 9, 2099-2106, 1997.
- 21 Yurtsever, M., Yurtsever, E., "A DFT study of polymerization mechanisms of indole", *Polym.*, 43, 6019-6025, 2002.
- 22 Y. Arslan, H.I. Unal, H. Yilmaz, B. Sari, Electrorheological Properties of Kaolin, Polyindole and Polyindole/Kaolin Composite Suspensions, *J. Appl. Polym. Sci.* 104, 3484, 2007.
- 23 Akovalı, G., "Temel ve uygulamalı polimer", *TUMKA*, Ankara, 1984.
- 24 Billmeyer, F.W., "Textbook of polimer science", *John-Wiley-Topon Company Ltd.* 1971.

- 25 Plockharski, j., Drabik, H., Wycislik, H., Ciach, T., “Electrorheological properties of polyphenilene suspensions”, *Synth. Met.*, 88, 139-145, 1997.
- 26 Rejon, L., Castaneda-Aranda, I., Manero, O., “Rheological behaviour of electrorheological fluids, effect of the dielectric properties of liquid phase”, *Coll. And Surfaces*, 182, 93-107, 2001.
- 27 Lee, H. J., Chin, B. D., Yang, S. M., Park, o. O., “Surfactant Effect on the Stability and Electrorheological Properties of Polyaniline Particle Suspensions”, *J. Coll. and Inteface Sci.*, 206, 424-438, 1998.
- 28 Stangroom, J.E., “Electrorheological fluids” *Phys. Techn.*, 146, 290-296 1983.
- 29 Gao, Z.W., Zhao, X.P., “Guest-controlling effects on ER behaviors of β -cyclodextrin polymer”, *J. Coll. and Interface Sci.*, 289, 56-62, 2005.
- 30 Yılmaz, H., Değirmenci, M. and Unal, H.I., “Electrorheological properties of PMMA-b-PSt copolymer suspensions”, *J. Coll. and Interface Sci.*, 293, 489-495, 2006.
- 31 Block, H. and Kelly, J.P., “Electro-rheology” *J. Phys. D, Appl. Phys*, 2112, 1661–1677, 1988.
- 32 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.
- 33 Di, K., Yang, X. and Li, C., “Electrorheological behavior of copper phthalocyanine-doped mesoporous TiO₂ suspensions”, *J. Coll. and Interface Sci.*, 294, 499-503, 2006.
- 34 Otsubo, Yasufumi, Sekine, Masahiro and Katayamd Shingo “Effect of adsorbed water on the electrorheology of siliated suspensions”, *J. Coll. and Interface Sci.*, 50, 324–330, 1992.
- 35 Gehin, C., Persello, J., Charraut, D. And Cabace, B., “Electrorheological properties and microstructure of silica suspensions”, *J. Coll. and Interface Sci.*, 273, 658-667, 2004.
- 36 Sahin, D., Sarı, B. and Unal, H.I., “An investigation of some parameters on electrorheological properties of polypyrrole suspensions”, *Turk J. Chem.*, 26, 113-124, 2002.

- 37 Liu, Z., Lin, Y., Wen, X., and Su, Q., "Preparation and electrorheological properties of polyquin2,3-bacridine-12, 145,7dione-based suspensions", *Coll. and surfaces A, Physicochem. Eng. Aspects*, 264, 55–60, 2005.
- 38 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.
- 39 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.
- 40 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 and Structures*, 64, 47-54, 2004.
- 41 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.
- 42 Dlodlo, Z.B., Brookfield, D.J., "Compensator-based positioncontrol of an Electrorheological actuator", *Mechatronics*, 9, 895-917, 1999.
- 43 Xu, Y., Qu, W.L. and Ko, J.M., "Seismic response control of frame structuresUsing magnetorheological/electrorheological dampers", *Earthquake Engng Structt. Dyn.*, 29,557-575, 2000.
- 44 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.
- 45 Tau, W.Y., Wen, W. And Sheng, P. "Electrorheological fluids using bi-dispersed particles", *Physica B*, 279 , 171-173, 2000.
- 46 Kojima, Y., Matsuoka, T., Takahashi, H. And Kurauchi, T., "Electro-rheological properties of suspension of carbonaceous particles", *J. Mater. Sci. Letters*, 14 , 623-625, 1995.
- 47 Ş. Sarikaya, M. Yavuz, H. Yilmaz, H.I. Unal, B. Sari, "Synthesis, Characterization and Electrorheological Properties Polyindene/Calcium Carbonate Composites" *Polymer Composites*. 305, 583-590, 2009.

- 48 Liqin, X., Xiaopeng, Z., "Preparation of montmorillonite/titania nanocomposite and enhanced electrorheological activity", *J. Coll. and Interface Sci.* 296, 131-140, 2006.
- 49 Yin, J. B., Zhao, X. P., "Electrorheological fluids based on glycerol-activated titania gel particles and silicone oil with high yield strength", *J. Coll. and Interface Sci.*, 257, 228-236, 2003.
- 50 Klingenberg, D. J., Zukoski, C. F., "Studies on the steady-shear behaviour of electrorheological suspensions", *Langmuir*, 6, 15-24, 1990.
- 51 Xu, Y., Liang, R., "Electrorheological Characterization of Zeolite Suspensions", *J. Rheol.* 35, 135, 1991.
- 52 Yavuz, M., Unal, H. I., "Electrorheological properties of suspensions prepared from polyli-tert-butyl methacrylate ionomer", *Turk J. Chem.*, 28, 587-601, 2004.
- 53 Erol, Ö., Ünal, H.İ., Sarı, B., "Electrorheology and Creep-Recovery Behavior of Conducting Polythiophene/Polyoxymethylene-Blend Suspensions", *Chinese Journal of Polymer Science*, 301, 16--25, 2012.
- 54 Yavuz, M., Unal, H. I., Yıldırım, Y., "Electrorheological properties of suspensions prepared from polystyrene-block-polyisoprene copolymer", *Turk J. Chem.*, 25, 1-14, 2001.
- 55 Yılmaz, H., Unal, H. I., Yavuz, M., "An investigation of electrorheological properties of calcium carbonate suspensions in silicone oil", *Coll. J.*, 67, 2, 268-273, 2005.
- 56 Yanju, L., Hejun, D., Dianfu, W., "ER fluid based on inorganic polymer blend particles and its adaptive viscoelastic properties", *Coll. and Surfaces*, 189, 203-210, 2001.
- 57 Ünal, H. İ., Yavuz, M., Yılmaz, H., "sepiyolit süspansiyonların elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 3, 999-1007, 2001.
- 58 Choi, U. S., Ahn, B. G., "Electrorheology of cellulose phosphate ester suspension as a new anhydrous er fluid", *Coll. and Surfaces*, 168, 71-77, 2000.
- 59 Yang, J., Ferreira, J.M.F., Weng, W. And Tang, Y., "Sol- Gel preparation and electrorheological activity of SiO₂-TiO₂ composite powders", *J. Coll. and Interface Sci.*, 195, 59-65, 1997.

- 60 Foul J.N. and Atten D., "Electrorheological fluids mechanism, properties, technology and applications" *Ed.R Roy World Scientific*, Singapore, 358-371, 1994.
- 61 C. Eristi, M. Yavuz, H. Yilmaz, B. Sari, HI. Unal, "Synthesis, Characterization And Electrorheological Properties Polyindene/Kaolinite Conducting Composites" *J. Macromolecular Sci.-Pure and Appl. Chem.* 447, 759, 2007.
- 62 Otsubo, Y. and Edamure K., "Electric effects on the rheology of insulating oils in electrodes with flocked fabric", *Rheol. Acta*, 38, 137-144, 1999.
- 63 Unal, H. I., Yilmaz, H., "Electrorheological properties of poly(lithium-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid suspensions)", *J. Appl. Polym. Sci.*, 86, 1106-1112, 2002.
- 64 Gerçek, B., Yavuz, M., Yilmaz., H., Sari, B., Unal, H.I., "Comparison of electrorheological properties of some polyaniline derivatives", *Coll. and Surface*, 299, 124-132, 2007

ÖZGEÇMİŞ

Fatma TAŞKOPARAN 1982 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. Lisans eğitimini Niğde Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde tamamladı. 2009 yılında Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. Türk Hava Yollarında görev yapmakta olan Fatma TAŞKOPARAN iyi seviyede İngilizce bilmektedir.

Adres: Türk Hava Yolları Atatürk Hava Limanı İstanbul

e-posta : FTASKOPARAN@THY.COM