

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

**POLİ(METİL METAKRİLAT)/NEVŞEHİR POMZASI
KOMPOZİTLERİNİN ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Abdullah ÇALIŞKAN**

**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**

**POLİ(METİL METAKRİLAT)/NEVŞEHİR POMZASI
KOMPOZİTLERİNİN ELEKTROREOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Abdullah ÇALIŞKAN**

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

**Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Kasım 2013
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Haşim YILMAZ ve Doç. Dr. H. Bekir YILDIZ danışmanlığında **Abdullah ÇALIŞKAN** tarafından hazırlanan “**Poli(metil metakrilat)/Nevşehir Pomzası Kompozitlerinin Elektoreolojik Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

2611/2013

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Haşim YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Selçuk KERVAN

Üye : Doç. Dr. Fatma KARİPCİN

Üye : Doç. Dr. H. Bekir YILDIZ

Üye : Doç. Dr. Ümmihan YILMAZ



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun...11.12.2013...tarih ve 2013/34-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

12/12/2013

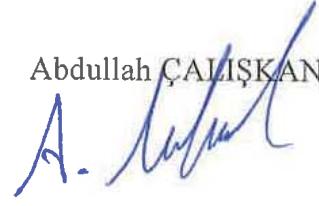
Doç. Dr. Saifan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



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.

Abdullah ÇALIŞKAN



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok kıymetli Hocalarım Prof. Dr. Haşim YILMAZ ve Doç. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

“Üç Boyutlu Olarak Düzenlenmiş Makrogözenekli ve Altın Nano tanecik ile Katkılanmış Titanyum Dioksit (3-BMAN-TiO₂) Fotonik Kristallerle Modifiye Edilmiş Elektrotlar Üzerine Oliogoanilinle Çapraz Bağlanmış [Ru(bpy)₂(bpyCONHArNH₂)]⁺² Boya /İridyum Dioksit Nano tanecik Yapılarına Sahip Suyu Tamamıyla Ayrıştırıran Güneş Hücrelerinin Yapımı” başlıklı ve 112T622 numaralı TÜBİTAK-COST projesi tarafından yüksek lisans bursiyeri olarak desteklediğim için TÜBİTAK'a ve bu projenin yürütücüsü Doç.Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımda, iletkenlik ve tanecik boyutu ölçümlerinde yardımcı olan Araş. Gör. Ömer Yunus GÜMÜŞ'e ve gerekli analizler için Laboratuvar 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 çalışmam süresince bana her türlü yardımda bulunan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**POLİ(METİL METAKRİLAT)/NEVŞEHİR POMZASI KOMPOZİTLERİNİN
ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah ÇALIŞKAN

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

ÖZET

Bu çalışmada, 3 farklı bileşime sahip poli(metil metakrilat)/nevşehir pomzası (PMMA/POMZA) kompozitlerin silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonlarının elektoreolojik (ER) özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirildi, elde edilen sonuçlar poli(metil metakrilat), (PMMA) ile karşılaştırıldı. PMMA/POMZA kompozitlerin silikon yağı içerisinde çeşitli hacim kesirlerinde ($\phi = \%5 - \%30$) süspansiyonları hazırlandı, çökeltme 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 %65 PMMA içeren PMMA/POMZA kompoziti (K3 kodlu) belirlendi.

Anahtar Kelimeler : *Poli(Metil metakrilat)/Nevşehir pomzası, iletken kompozitler, elektoreolojik akışkanlar*

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Haşim YILMAZ

Sayfa Adedi : 54

**INVESTIGATION OF ELECTORRHEOLOGICAL PROPERTIES OF
POLY(METHYL METHACRYLATE)/NEVŞEHİR PUMICE COMPOSITES
(M.Sc. Thesis)**

Abdullah ÇALIŞKAN

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

ABSTRACT

In this study, electrorheological (ER) properties of Poly(methyl methacrylate)/Nevşehir pumice (PMMA/Pumice) conducting composites having three different compositions were investigated and results obtained are compared with homo poly(methyl methacrylate) (PMMA). Conductivities of these composites were measured. Suspensions of PMMA/POMZA composites were prepared in a silicone oil (SO), at several volume fractions ($\phi = 5-30\%$) 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. Further, reversible visco-elastic deformations observed. 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 65% PMMA, 35% Pumice).

Keywords : *Poly(methyl methacrylate)/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	viii
ŞEKİLLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. BÖLÜM.....	1
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM.....	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Tarihçe.....	3
2.2. Kompozit Malzemeler	3
2.3. Kompozit Malzemenin Sağladığı Avantajlar	4
2.4. Pomza	5
2.5. Poli Metil Metakrilat	6
2.6. Poli Metil Metakrilat Elde Edilmesi.....	7
3. BÖLÜM.....	10
ELEKTROREOLOJİK AKIŞKANLAR	10
3.1. Elektoreoloji Olayı.....	10
3.2. Elektoreolojik Akışkanlar	10
3.3. Elektoreolojik Akışkanların Reolojisi.....	12
3.4. Elektoreolojik Akışkanlarda Yapı oluşumu	12
3.5. ER Üzerine Etki Eden Faktörler.....	14
3.5.1. Elektrik alan kuvveti	14
3.5.2. Elektrik alan frekansı	15
3.5.3. Tanecik iletkenliği.....	15
3.5.4. Tanecik dielektrik özelliği.....	15

3.5.5. Derişim	16
3.5.6. Sıvı sürekli faz.....	19
3.5.7. Sıcaklık.....	23
3.5.8. Promoter	24
3.5.9. Kayma hızı	25
3.5.10. Tanecik boyutu koloidal kararlılık	25
3.5.11. Elektoreolojik akışkanların kullanım alanları	25
4. BÖLÜM.....	28
DENEYSEL KISIM.....	28
4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	28
4.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar	28
4.3. Öğütme İşlemi	28
4.4. Tanecik Boyutu Ölçümleri	29
4.5. Süspansiyon Hazırlanması	29
4.6. Çökeltme Kararlılığı.....	29
4.7. Elektoreometre İle Yapılan Ölçümler	29
5. BÖLÜM.....	31
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	31
5.1. Tanecik Boyutu Ölçümleri	31
5.2. Süspansiyonların Koloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi.....	32
5.3. Elektoreometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler	34
5.3.1. Elektrik Alan Kuvvetinin viskozite üzerine etkisi	34
5.3.2. Derişimin elektrik alan viskozite üzerine etkisi	37
5.3.3. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi.....	38
5.3.4. Kayma hızının kayma gerilimi ve viskozite üzerine etkisi	40
5.3.5. Kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi	42
5.3.6. Elastik modülün frekans ile değişimi	45
6. BÖLÜM.....	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Nevşehir Pomzasının Kimyasal bileşimi.....	6
Tablo 2.2.	PMMA'nın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [10].....	9
Tablo 3.1.	Oksit ER akışkanlar.....	20
Tablo 3.2.	Oksit olmayan inorganik materyaller.....	20
Tablo 3.3.	Organik ve Polimerik ER akışkanlar.....	21
Tablo 3.4.	Homojen ER maddeler.....	22
Tablo 5.1.	Numunelerin tanecik büyüklükleri.....	32
Tablo 5.2.	PMMA ve PMMA/POMZA kompozitlerin yoğunlukları, tanecik boyutu ve 20. gündeki çökelme kararlılıkları oranları ($\phi = \%5$).....	34
Tablo 5.3.	Numunelerin iletkenlik ve dielektrik sabiti değerleri.....	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Nevşehir Pomzası	6
Şekil 2.2	Metil metakrilatın polimerizasyonu.....	7
Şekil 3.1	Silikon yağı içerisinde dağılmış PT ve POM/PT taneciklerine elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi. (a) Elektrik alan uygulanmadan önce (b) Elektrik alan uygulandığında ER taneciklerin durumu	13
Şekil 5.1.	Çökeltme kararlılığı oranları $T= 25^{\circ}\text{C}$	34
Şekil 5.2.	Çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin hacim kesri ile değişimi. $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$	36
Şekil 5.3.	Hacim kesrinin viskozite üzerine etkisi. $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$, $E=3,5 \text{ kV/mm}$	38
Şekil 5.4.	Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi. $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$,.....	40
Şekil 5.5.	Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	42
Şekil 5.6.	Numunelerin kayma gerilimlerinin sıcaklıkla değişimi. $\phi = \%20$, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $E = 3,5 \text{ kV/mm}$	44
Şekil 5.7.	K3 kompoziti için elastik modülün frekans ile değişimi. $E = 3,5 \text{ kV/mm}$, $\phi = \%20$, $\tau = 1 \text{ Pa}$, $T = 25^{\circ}\text{C}$	45

SİMGELER 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
ERA	Elektroreolojik Akışkanlar
ER	Elektroreoloji
PMMA	Poli(Metil Metakrilat)
DC	Doğru akım
SO	Silikon Yağı
K1	Kütlece %48 PT içeren PT/Pomza kompoziti
K2	Kütlece %58 PT içeren PT/Pomza kompoziti
K3	Kütlece %65 PT içeren PT/Pomza kompoziti

1. BÖLÜM

GİRİŞ

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

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

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir.

Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Bu duruma bir örnek olarak, doğal kauçuğun içerisine pamuk liflerinin katılarak 3 tabakadan oluşturulan kompozit malzeme olan yağmurluğu verebiliriz. Bu kompozit malzemedeki kauçuk su geçirmezliği sağlarken, pamuk tabakaları da yağmurluğu rahatlıkla giyilebilecek bir hale getirilmiştir.

Kompozit malzemeler kullanım alanlarını yaygınlaştırmak amacıyla Elektroeoloji (ER) çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [2, 3].

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

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Tarihçe

Kompozit malzemeler ile ilgili ilk çalışmalar 1900'lerin başında termoset fenol polimerlerinin içerisine parçacık veya lif formunda güçlendirici malzemelerin konmasıyla başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında özellikle İngilizler tarafından kompozitlerle ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra kompozitlerdeki ilk gelişmeler, cam ile güçlendirilmiş plastikler üzerine olmuştur.

Günümüzde kompozitler, çok sayıdaki yeni gelişme ve değişik uygulamaların vazgeçilmez malzemesi konumuna gelmiştir. Örneğin, beton bir kompozit malzemedir. Çimento ve kumdan yapılır ve çoğunlukla dayanımını arttırmak için içerisine çelik çubuklar katılır. Polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar.

Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafiftirler. İletken polimerlerin ve polimer kompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonuna yönelik pek çok çalışma yapılmaktadır [47].

2.2. Kompozit Malzemeler

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

- İnsan yapısı olmaması, dolayısıyla doğal bir malzeme olması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,

- Bileşenlerin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri bünyesinde bulundurması.

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

2.3. Kompozit Malzemenin Sağladığı Avantajlar

Kompozitler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan birisidir. Kompozitler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha hafiftir. Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar.

Kompozitlerin antikorozyf özelliği, diğer üretim malzemelerinden üstün olan niteliklerinden biridir. Kompozit ürünlerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilmek suretiyle, amaca uygun kendinden renkli olarak da üretilebilir. Kompozitler, cam kadar ışık geçirgen olabilir. Tam şeffaf olması nedeni ile ışığı yayması sayesinde, difüze ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kolektörü yapımında önemli avantaj sağlar.

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

Kompozitlerin alev dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlıdır. Alev dayanım özelliğinin arandığı yerlerde “alev dayanımlı polyester” kullanılmalıdır.

Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyester reçineler ile yapıldığı için yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isı dayanıklılığı kullanılan polyester reçinenin cinsine

bağlıdır. Kompozitler içine demir, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri farklılaştırılabilir.

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

Bunlar;

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

2.4. Pomza

Pomza (bims) İtalyan dilinden gelir ve değişik dillerde farklı adlandırılır. Türkçe'de ise süngertaşı, nasır taşı, hasır taşı, topuktaşı gibi adlarla bilinmektedir. Pomza (bims) volkanik bir kayac türüdür. Volkanik bir cam yapısındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü asidik pomzadır. Bu tür beyaz, kirli renkte olanıdır. Oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terketmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı değildir. Yoğunluğu 0,5-1 gr/cm³ arasında değişmektedir. Pomzanın fazla gözenekliliğinden dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. Kristal suyu ihtiva etmez.

Dünya kabuğunun derinliklerinde, bazaltın kısmi erimesiyle oluşan magma cepleri bulunmaktadır. Çok yüksek basınçta bu magma normal koşullarda sıvı yada gaz olabilecek tüm maddeleri emer. (H₂O, CO₂, F) Zaman içerisinde, bu magma cepleri üzerindeki basınç, yer hareketlerinin etkisiyle azalır. Yer hareketleri meydana geldiğinde, volkanik bir patlama başlar ve bu gazlar magmanın içinden püskürür [58].

Gazların serbest kalmasıyla magmanın yapışkanlığı çok hızlı şekilde artar ve katılaştırma ısı yükselir. Böylece magma köpürür, parçalara ayrılır ve pomza taşı diye bildiğimiz maddeyi oluşturur. Bu madde kraterden havaya çok büyük bir gaz patlamasına atılır ve çevreye dağılır. Ana Britannica Ansiklopedisinin Pomza (bims) için açıklaması şöyledir. Aşındırıcı olarak temizlikte ve cilalama da kullanılan, çok gözenekli, donmuş volkanik cam. Aynı zamanda yapı malzemesi olarakta kullanılmaktadır. Pomza (bims) , çok ani soğumasından dolayı kristalize olmaya zaman bulamamış kaya türüdür. Katılaştığında içinde çözülen buhar aniden salınır ve püskürerek gözenekli yapıyı oluşturur. Bu şartlar oluştuğunda her tür lav, pomza haline gelebilir.

Tablo 2.1 Nevşehir Pomzasının Kimyasal bileşimi

SiO ₂ ,	% 60-75
Al ₂ O ₃ ,	% 13-17
Fe ₂ O ₃ ,	% 1-3
CaO,	% 1-2
Na ₂ O-K ₂ O	% 7-8

ve ayrıca eser miktarda TiO₂ ve SO₃ bulunmaktadır [9].



Şekil 2.1 Nevşehir Pomzası

2.5. Poli Metil Metakrilat

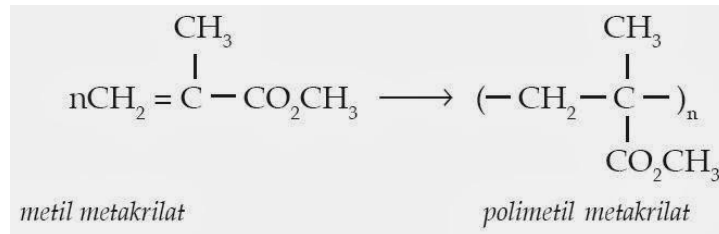
PMMA, metil metakrilatın polimerizasyonu ile üretilen bir polimerdir. Ticari üretimi genelde radikal katılma polimerizasyonu üzerinden süspansiyon veya yığın

polimerizasyonu teknikleri ile yapılır. Metil metakrilat, anyonik mekanizma üzerinden de polimerleşebilen bir monomerdir. Anyonik polimerizasyonla sindiyotaktik veya izotaktik PMMA elde edilir. Polimerin optik özellikleri çok iyidir ve cam şeffaflığına yakındır, ışığın %92 sini geçirir. Ayrıca; atmosfer koşullarına dayanıklı, su absorpsiyonu düşük, boyutsal kararlılığı iyi, mekanik dayanımı yüksek ve serttir. Bu özellikleri nedeni ile camın yerine kullanılır. PMMA sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmeyen bir polimer olmakla birlikte saf halinde 65°C gibi düşük sıcaklıklara dayanır. Kullanım sıcaklığı içerisine ısı stabilizatörü katılarak 100°C ye kadar yükseltilebilmektedir.

2.6. Poli Metil Metakrilat Elde Edilmesi

Piyasada daha çok akrilik cam ya da pleksiglas olarak bilinen poli(metil metakrilat) (PMMA) renksiz ve şeffaf bir termoplastik polimerdir. Genelde cama alternatif malzeme olarak tercih edilir ve polikarbonatla benzer özelliklere sahip olduğu için polikarbonatın kullanıldığı ürünlere de alternatif olabilir. Ucuz olması ve kolay proses edilmesi sayesinde tercih edilse de kırılğan bir yapıya sahip olduğu için kullanım alanı biraz kısıtlıdır.

Metil metakrilat monomerinden radikal zincir büyüme polimerizasyonu metodu kullanılarak sentezlenir ancak anyonik polimerizasyon reaksiyonuyla sentezlemek de mümkündür.



Şekil 2.2 Metil metakrilatın polimerizasyonu

Ticari PMMA, %70-75'i sindiyotaktik zincirden oluşan doğrusal bir polimerdir. Zincirin büyük bir kısmı sindiyotaktik olmasına rağmen, bütünüyle stereo-regular bir polimer

olmadığı için ve metakrilat gruplarının büyüklüğü yüzünden kristalleşemez, yani amorfudur. Camsılaşma sıcaklığı 105°C civarındadır. Amorf olmasının yanı sıra mükemmel bir optik saydamlığa sahiptir ve bu özelliğini dış hava koşullarına karşı dayanımı ile birleştiren, ışık geçirgenliğinin önemli olduğu uygulamalarda PMMA'yı kullanmak mümkündür. PMMA kolay çizilebilen bir plastik olduğu için optik özelliklerinin uygulama alanlarını kısıtladığıdır. Bu kusurunu ortadan kaldırmak için çeşitli katkı maddeleri denemiştir ancak bu sefer de mekanik özelliklerde bozulmalar görülmüştür. Ancak yeniden belirtmek gerekir ki, PMMA camdan daha saydamdır. Özellikle, camlar daha kalın yapıldığında saydamlığını kaybederken, PMMA 35cm kalınlığa kadar saydamlığını kaybetmeden üretilebilir.

PMMA'nın çekme direnci 70MPa değerlerine kadar çıkar. Darbeye dayanımı neredeyse HIPS kadar yüksektir. Makinada işlenebilen bir plastik olması ayrıca bir avantajdır. Isıya dayanıklı PMMA'nın yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) 90°C'nin üzerine kadar çıkabilir ve kalıplaması genel olarak kolay olan bir plastiktir. Birçok kimyasala karşı dayanıklı olmasına rağmen organik çözücülere karşı dirençsizdir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen PMMA parçalarıyla otomotiv farı, cihaz kapakları, optik ekipmanlar, ve ev dekorasyon ürünleri hazırlanır. Akrilik bazlı levha üretmek de mümkündür. Saf PMMA'ya ek olarak, etil akrilat ve metal metakrilat monomerleriyle üretilen kopolimerler termoset reçine üretiminde kullanılır. Hatta, endüstride kullanılan akrilik plastiklerinin çoğu farklı kombinasyonlardan üretilmiş akrilat/metakrilat kopolimerleridir [10].

PMMA'nın ticari isimlerini *Plexiglas*, *Vitroflex*, *Limacryl*, *R-Cast*, *Per-Clax*, *Perspex*, *Plazcryl*, *Acrylex*, *Acrylite*, *Acrylplast*, *Altuglas*, *Polycast*, *Oroglass*, *Optix* and *Lucite* olarak sayabiliriz.

Tablo 2.2. PMMA'nın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [10]

Polimetil metakrilat (PMMA)

Yapı	Amorf	
Yoğunluk	1.16	g/cm ³
Erime Sıcaklığı	137	°C
Kristalleşme Sıcaklığı	-	°C
Camsılaşma Sıcaklığı	114	°C
Doğrusal Genleşme Katsayısı (CTE)	81.1	µm/m-°C
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	96.6	°C @ 0.46 MPa
Azami Servis Sıcaklığı (Hava)	89	°C
Dielektrik Dayanımı	17	kV/mm
Saydamlık	Saydam	
Mekanik Özellikleri		
Gerilme Mukavemeti	48	MPa
Basma Mukavemeti	79	MPa
Çekme Modülü	2.1	GPa
Kopma Esnemesi	50	%
Darbe Dayanımı (Çentikli Izod)	0.36	J/cm
Sertlik	R120	Shore Ölçeği

3. BÖLÜM

ELEKTROREOLOJİK AKIŞKANLAR

3.1. Elektoreoloji Olayı

Elektoreoloji, elektrik alana maruz kalan bir akışkanın, akış özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelendiği bilim dalıdır. Yani elektoreolojide elektrik alanın sıvı dispersiyonlar üzerine olan etkisiyle ilgilenilir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç ya da sıvının katıya dönüşümü şeklinde kendini gösterir. Bu olayı etkileyen en önemli faktörler elektrik alan kuvvetinin büyüklüğü, alan frekansı, kayma hızı, kayma gerilimi, sıcaklık, tanecik boyutu, süspansiyon derişimi (veya tanecik hacim kesri), süspansiyon ortamı, dağılan taneciklerin dielektrik özellikleri ve promoter olarak rapor edilmiştir [6]. Tarihte ER olayının ilk adımı 1896 da Alexander Wilmer Duff tarafından atılmıştır. Duff, gliserin, kunduz yağı ve ağır parafin üzerinden elektrik alan geçirerek viskozitelerindeki küçük değişimleri gözlemlemiştir [7]. Elektoreolojik ve magnetoreolojik parçacıklarla aktif olarak çalışılmaya başlanması, 1940’larda Willis M. Winslow tarafından gerçekleştirildi. Winslow deneysel çalışmalara başladığında, düşük ve yüksek viskoziteli yalıtkan yağlarda yarı iletken tanecikleri dispers ederek hazırladığı ortamlarda elektrik alan uygulanmasıyla viskozitenin arttığını gözledi. Winslow’ un 1940’larda aldığı üç patentten, 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.

3.2. Elektoreolojik Akışkanlar

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

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

Elektroreolojik akışkanda kullanılan taşıyıcı sıvı ile tanecikler arasındaki dielektriksel uyum, elektroreolojik etkiye artış sağlar. İletken polimerler; elektriksel özelliklerinin modifiye edilebilirliklerine bağlı olarak, elektroreolojik malzemelerin önemli bir sınıfını oluştururlar. Elektroreolojik malzemelerin elektrik alan kuvvetinin etkisiyle viskozitelerinde birkaç milisaniyede gösterdikleri artış, titreşimin kontrol edilebilmesi ve enerjinin aktarılabilmesi için eşsiz bir mekanizma sergiler. Yarı iletkenlerden daha düşük iletkenlik değerlerine sahip tanecik içeren süspansiyonların ER aktivitesi, genellikle hidrofilik katkılara bağlıdır. Bu hidrofilik etki, tanecik yüzeyini aktive ederek taneciklerin kutuplanmasına sebep olur. Hem organik hem de inorganik tanecikler için aktive edici olarak en çok su kullanılır. Katkı maddesi olarak surfaktantlar ve gliserin, etil alkol ve su gibi diğer polar sıvılar da önerilir. ERA'nın elektrik alan kuvvetinin etkisiyle katılaşması şöyle açıklanır: Süspansiyonlara uygulanan elektrik alan kuvvetinin etkisiyle hemen hemen tüm tanecikler, zıt yüklü kutuplarının yan yana dizildiği bir yapı oluşturur. Bu zıt kutuplar arasındaki çekim kuvveti parçacıkları birbirine yapıştırır. Birbirini izleyen parçacıklar tıpkı ipe dizilen zincirler gibi uç uca eklenerek sıralanır. Elektroreolojik bir akışkan içerisinde parçacıklar tarafından oluşturulan zincirler akışkan kabının bir ucundan diğer ucuna doğru hızla büyür. Elektroreolojik etki bu zincirlerden meydana gelen kayma geriliminden kaynaklanır.

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

İdeal bir elektroreolojik akışkanın şu özelliklerde olması beklenir

- Tanecikler küresel ve eşit tanecik boyutlarındadır.
- ERA için elektrostatik etkileşim baskın etkileşimdir. Diğer etkileşimler ihmal edilir.
- Her bir tanecik dizisindeki kutuplaşma özdeştir.
- Mükemmel ve doğru şeklindeki tanecik zincirleri, elektrot boşluğu boyunca düzgün olarak yayılır.

- Dizi kaydırıldığında statik (durgun) ya da yarı statik durumların oluşum oranı düşüktür.
- Kayma boyunca bütün taneciklerin ayrılması özdeştir.

3.3. Elektoreolojik Akışkanların Reolojisi

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

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

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma} E s \quad (3.1)$$

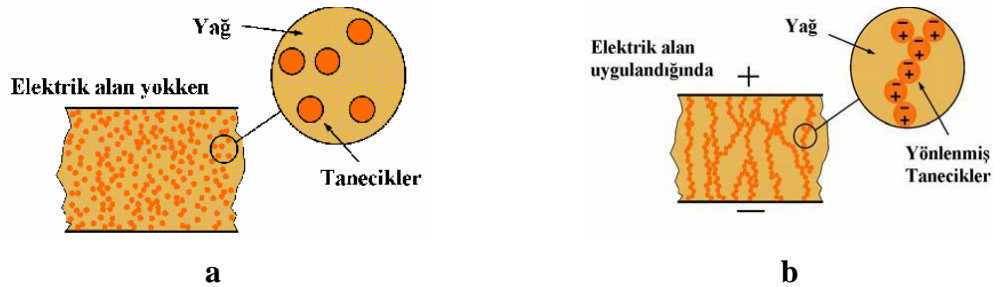
Burada, $\tau_0 E$ Bingham akma gücü olarak adlandırılan polarizasyon katkısı, ηs sıfır elektrik alanda süspansiyonun dinamik viskozitesi ve $\dot{\gamma}$ kayma hızıdır. Bingham malzemeleri belli bir akış indeksine sahip plastik kütlelerdir.

3.4. Elektoreolojik Akışkanlarda Yapı oluşumu

Winslow ve ardından diğer araştırmacılar, yaptıkları deneylerde elektoreolojik akışkanların içerisindeki taneciklerin elektrik alan (E), uygulandığında lif yapısı oluşturduklarını gözlemişlerdir. Bu liflerin statik akma verimini (τ_0), elektrik alana ilişkilendiren mekanik bağlantılar sağladığı varsayıldığından ER olayında bunlar çok önemli kabul

edilmiştir. Bununla birlikte elektrotlar kutuplaşıp ER akışkan akamaz iken elektrotlar arasında sağlanan uzaysal bağlantı, aşırı kayma gerilimini, $\Delta\tau(\tau E \neq 0 - \tau E = 0)$, kendi başına açıklamaya yetmez. Bu akış esnasında hiçbir etkileşim veya assosiasyon olmadığı anlamına gelmez, aksine bu tür yapıların akış esnasında elektrotlar arası boşluğu nasıl doldurabildiklerini anlamak zordur. Lif oluşumunun mikroskobik gözlemleri, elektrot takılmış olan çok dar mesafeli mikroskop yarıklarında ve seyreltik akışkanlarda yapılmıştır. En gerçekçi durumlarda akışın olduğu hücredeki elektrotlar arası mesafe 1 mm dir ve bu tür assosiasyon olaylarının doğrudan gözlenebilmeleri, ER akışkanlar optik ölçümler için oldukça bulanık olduklarından zordur. ER akışkanların durgun olduğu durumlarda, diğer elektrik sistemlerinde ve onların magnetik analoglarında olduğu gibi, akışkan içerisindeki taneciklerin elektrik alan etkisiyle Şekil 3.1’de görüldüğü gibi polarlanıp zincir oluşturarak assosiasyona uğramaları beklenilmektedir. Bu durumun ER olayında ne derece önemli olduğu ise hala çözüm bekleyen bir konudur.

Kullanışlı ER etkiler gösterebilen sistemlerin karakterizasyonunda birtakım güçlükler gözlenir. Öncelikle ER etki çözücü ve tanecikler arasındaki büyük dielektrik farkı ile yakından ilgilidir. Dış elektrik alan etkisi altında bu fark süspansiyon içerisinde homojen olmayan elektrik alanlar meydana getirir. Bu da ER akışkanı zincir şeklinde assosiyeye olmuş veya lif şeklini almış yapılara götürür. ER aktivitesi gösteren süspansiyonların viskoziteleri elektrik alanın artışına bağlı olarak artar. Bunun nedeni süspansiyon içerisindeki elektriksel olarak uyarılmış tanecikler arasındaki etkileşimler ve hidrodinamik kuvvetlerdir.



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

3.5. ER Üzerine Etki Eden Faktörler

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

3.5.1. Elektrik alan kuvveti

İyonik taneciklerden oluşan ve dağılma ortamı yalıtkan olan ER akışkanlarda dışarıdan bir elektrik alan kuvveti uygulandığında tanecikler polarlanır ve reometrenin plakaları arasında bir zincir oluşumu veya lif yapısı gözlenir. Taneciklerin polarlanması sonucu gerçekleşen bu olay ER olayı olarak ifade edilir. Bu olay için doğru akım güç kaynağı kullanılır. Elektrik alan kuvveti genellikle 0 – 10 kV/mm arasında olabilir. Zincir yapısının kuvveti artan elektrik alan kuvvetinin karesiyle doğru orantılıdır. ER akışkanlar bu davranışlarını elektrotlar arasına elektrik alan uygulandığında sergileyebilirler. Bu olay tersinir olup, elektrik alan uygulanınca katılaştan akışkan, elektrik alana kaldırılınca da tekrar sıvı hala dönüşür. Bu dönüşüm iyi bir ERA da milisaniye mertebesinde gerçekleşir.

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

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

τ_v : Bir ER akışkan için gerilim,

K: Bir sabit,

(3.2)

E: Uygulanan elektrik alan kuvveti,

E_k : Kritik elektrik alan kuvveti.

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

3.5.2. Elektrik alan frekansı

ER çalışmaların pek çoğu dc elektrik alan kuvveti altında (sabit frekansta), bazıları da ac elektrik alan kuvveti altında (değişken frekansta) yapılmıştır. Alan frekansının ER aktivite üzerine etkisi değişkenlik göstermektedir. Gao ve Zhao β -siklodekstrin polimeri ile aktivite değişimini incelemişlerdir. 100 Hz'ten sonra frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığı kaydedilmiştir [24]. Yılmaz ve arkadaşları PMMA-b-PSt/SO sistemi ile yaptıkları çalışmada frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığını rapor etmişlerdir [25].

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

3.5.3. Tanecik iletkenliği

Bir dış elektrik alan kuvveti altında ER etkinin artmasında polarizasyonun önemli bir rol oynadığı bilinir. Burada tanecik dielektrik özellikleri ve iletkenliği ER etkinin oluşumuna neden olur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada taneciklerin 10^{-5} - 10^{-8} Sm⁻¹ iletkenliğe sahip olduklarında iyi bir ER etki göstereceğini belirtmişlerdir [26]. Yüksek iletkenliğe sahip taneciklerin yüksek elektrik alan kuvvetlerinde elektriksel olarak bozulmaya uğradığı belirtilmektedir.

3.5.4. Tanecik dielektrik özelliği

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

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte; ε' dielektrik sabiti ve ε'' ise dielektrik kaybı faktörüdür. Polarizasyondaki iki parametrenin, yüksek ER davranışı için anahtar olabileceği düşünülmektedir. Bu mekanizma ile yüksek ER aktif materyallerin ara yüzey polarizasyon yöntemi ve tüm ER aktif davranışları açıklanabilmektedir. ER akışkanlarda parçacıkların polarizasyon özelliği ve iletkenlik önemli rol oynamaktadır. Hao [8], ER etkinin ara yüzey polarizasyonu ile ilgili olduğunu ve ara yüzey polarizasyonunun ER akışkanın iletkenliği ve dielektrik sabiti tarafından belirlendiğini belirtti. Araştırmacıların TiO₂ süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada yüksek dielektrik sabitinden dolayı iyi bir ER etki gözlenememiştir. Çünkü yüksek dielektrik sabitine sahip taneciklerde elektrik alan kuvveti altında yüksek dielektrik kaybı meydana gelmektedir. Yang ve arkadaşları bakır ftalosiyanın ile dop ettikleri TiO₂'in silikon yağı içerisindeki süspansiyonlarında, daha düşük dielektrik sabitine sahip olması nedeniyle yüksek ER etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [9]. Otsubo silika süspansiyonlarının yüksek dielektrik sabitinden dolayı yüzeylerine su absorplamalarının ER performans için önemli bir faktör olduğunu bulmuştur [10]. Gehin ve arkadaşları 10^{-9} Sm^{-1} iletkenliğe sahip olan silika süspansiyonlarının 1000 Hz frekansta dielektrik sabitinin 2,68 olduğunu bulmuşlardır [11].

3.5.5. Derişim

ER akışkanların tanecik hacim kesri, yalıtkan yağ içerisinde dağılmış iletken taneciklerinin miktarının ölçüsüdür. Yağ içerisinde dağılmış taneciklerin miktarı arttıkça ER aktivitesi de artar fakat bununda belirli bir sınırı vardır. Süspansiyon çok derişik olduğunda pasta kıvamını alır ve kolloidal kararsızlık göstermeye başlar. Elektrik alan kuvveti sıfır iken dahi süspansiyon katı halde bulunabilir. Elektrik alan yokluğunda ER akış süresi kısa, elektrik alan varlığında ise akış süresinin uzun olması istenir. Elektrik alan uygulandığında süspansiyonda büyük bir ER karşılığı alabilmek için, derişimin çok yüksek olmadığı kararlı bir süspansiyona ihtiyaç vardır. ER akışkanı hazırlamaktaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelmeye

karşı direncinin korunamamasıdır. Bir ER süspansiyonda okunan gerilim ve viskozitenin büyüklüğünün değişimi tanecik hacim kesrine bağlıdır. Şahin ve arkadaşlarının polipirol süspansiyonları ile yaptıkları çalışmada derişim arttıkça ER aktivitenin arttığı rapor edilmiştir [12]. Bu artış derişimin artmasıyla polarizasyon kuvvetlerinin artış göstermesi ve buna bağlı olarak ER aktivitenin artışı ifade eder.

Süspansiyon Ortamının Özellikleri

ER akışkanlarda süspansiyon ortamının düşük iletkenliğe sahip olması gerekir. Süspansiyon ortamı olarak silisyum yağı, yemek yağı, mineral yağı ve halojenlenmiş hidrokarbonlar olmak üzere pek çok sıvılar kullanılmıştır. Bu düşük polariteli sıvıların bağıl dielektrik sabitleri 2-15 ve iletkenlikleri de 10^{-7} 10^{-12} $\text{ohm}^{-1} \text{m}^{-1}$ 'dir. ER davranış sergileyen organik tanecikler ise un, mikro kristal yapıdaki selüloz iyon değiştirici reçineler ve sabunlardır. Uygulanan elektrik alanına büyük tepki gösterebilmek ve büyük miktarda ER etkisi oluşturabilmek için organik taneciklerin oluşturduğu süspansiyonların pek çoğu süspansiyon ortamında küçük miktarlarda (ppm mertebesinde) suyun varlığına ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte, suyun varlığı süspansiyon ortamının iletkenliğini artırır ve ER ve sıvıların uygulama alanında güçlükler doğurur. Silisyum, titan ve diğer metal oksitler literatürde ER tanecikler olarak belirtilmişlerdir. Suyun yine bu taneciklerin elektrik alan uygulandığında gösterdikleri ER tepkilerinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Son zamanlarda Block ve Kelly, metal yük-transferi komplekslerinin (örneğin bakır ftalosiyanın) ve elektriksel olarak iletken polimerlerin su ilavesi olmadan ER etkiler gösterdiğini iddia etmişlerdir. Ayrıca aluminasilikat, poli(acene-kinonlar), ve polipiridin tuzlarının da kuru ER tanecikler olarak kullanabilecekleri bilinmektedir [13].

Elektroreolojik Materyaller

Çoğu ER akışkanlar katı parçacıkların polar olmayan yalıtkan sıvılarda dispers edilmesinden meydana gelir. Katı parçacıklar, inorganik ametaller, organik ve polimerik yarı iletkenlerden oluşur, inorganik maddeler basitçe iyonik kristal maddeler, genellikle yapılarında konjuge π bağı bulunduran organik ve polimerik yarı iletken maddeler ve

elektronik iletken materyaller şeklinde sıralanabilir. Sıvı faz olarak genellikle poli (dimetilsikloheksan) yağı (silikon yağı), bitkisel yağlar, mineral yağı, parafin yağı ve klorlanmış hidrokarbon yağları gibi yağlar kullanılır.

Bu yağlar, düşük iletkenlik ve yüksek bozunabilme kuvvetine sahip olmalıdır.

İyi bir ER akışkan;

- a) 2 kV/mm elektrik alan kuvveti altında istenildiğinde 5 kPa'dan daha yüksek bir gerilime sahip olmalıdır,
- b) ER akışkan 20 $\mu\text{A}/\text{cm}$ den daha az akım yoğunluğuna sahip olmalıdır,
- c) geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmalı (-30 °C ile +120 °C arasında yüksek ER etkiye sahip olmalıdır),
- d) kısa karşılık verme zamanına sahip olmalıdır, (ER akışkanlar 10^{-3} saniyede karşılık verebilirler),
- e) ER akışkan fiziksel ve kimyasal olarak dayanıklı olmalı, çökelme ve maddenin bozunması gibi problemleri olmamalıdır,
- f) Ayrıca iyi bir ER akışkan için tanecik boyutu 0,1 ile 100 μm ve uygulanan elektrik alan kuvveti 0,5 ile 3 Kv/mm olmalıdır [14].

Bazı ER akışkanlar aktivite göstermek için küçük miktarlarda su veya polar bir maddeye gereksinim duyarlar. ER akışkanların çoğu için dar çalışma aralığına neden olduğundan bu büyük bir eksiklik. Yüksek sıcaklıklarda su buharlaştığı için yüksek akım yoğunluğu ve suyun iletkenliği artarak cihazların aşınmasına neden olur. Block ve Kelly (1988), yaptığı bir çalışmada ER akışkan olarak susuz bir acenekinon radikal polimeri geliştirilmiştir. Bu çalışmanın susuz ER akışkanların endüstriyel uygulamaları açısından bir dönüm noktası olduğuna inanılır. Bu çalışma susuz ER akışkan türlerinin gelişimine öncülük etmiştir. 1980'li yılların sonlarında susuz ER akışkanların büyük bir sorununun farkına varıldı. Taneciklerin artık bırakması ER akışkanların birçok uygulama alanları için sınırlayıcı bir etken olmuştur. Homojen ER akışkan içerisinde tortu bırakmayan maddeler üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Düşük moleküllü sıvı kristaller içeren maddeler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, bu sistemler için sıfır elektrik alan kuvveti altındaki yüksek viskozite ve sıvı-sıvı ayrımı gibi problemler rapor edilmiştir [15].

Genellikle ER akışkanların çoğu için üç bileşenden söz edilir, dağılan faz, dağıtıcı faz ve protomer denilen ortama küçük miktarda ilave edilen, inorganik tuzlar, yüzey aktif maddeler su ve alkol gibi maddeler. ER akışkanlar homojen ya da heterojen olabilir. Heterojen olanlar, inorganik, organik ya da polimerik tanecikler gibi maddeler, inorganik grup ise, oksit ve oksit olmayan materyalleri içerip bunlar tamamen farklı ER etkiye sahiptirler.

3.5.6. Sıvı sürekli faz

Sıvı sürekli faz olarak ER akışkanlarda genellikle bir yalıtkan yağ kullanılır. Stangroom ideal bir dispersiyon ortamı olabilecek maddeler için şunları sıralamıştır. Yüksek kaynama noktası ve düşük donma noktası olmalıdır. Diğer bir ifadeyle kolay buharlaşmamalı ve geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmalıdır. Sıfır elektrik alan kuvvetinde süspansiyon viskozitesi düşük olmalı, yüksek dayanıklılığa ve yüksek bozunma gerilimine sahip olmalıdır. Yüksek elektrik alan kuvvetine dayanıklı olmalı, yüksek yoğunluğu olmalıdır, katı tanecikler ile sıvının yoğunluğu aynı olduğunda çökme sorunu olmamalı, yüksek kimyasal dayanıklılığa sahip olmalı, ER akışkan hazırlanırken sıvı ortam bozunmamalı ve diğer bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmemeli, ER akışkan hidrofobik olmalı, çevreden çok nem çekmemeli, zararsız ve ucuz olmalıdır.

Dağılan Faz

Katı Tanecikler – Heterojen ER Materyaller

i) İnorganik Oksit Materyaller

Bazı metal oksitleri yada seramik materyallerininin tozları gibi çeşitli oksitlerin iyi bir ER etki ortaya koyduğu tespit edilmiştir. ER akışkanların bileşenleri Çizelge 2.1.'de özetlenmiştir. Çoğu oksit ER akışkanların su içermesi akışkan için büyük bir engel oluşturmaktadır.

Tablo 3.1. Oksit ER akışkanlar

Dispers edilen faz	Dispersiyon ortamı	Eklentiler
Piezoelektrik seramik	Mineral yağı yada ksilen	Su yada gliserol oleat
Demir(2/3) oksit	Petrol fraksiyonları yada dibütılsebekat	Su yada yüzey aktif maddeler
Silika	Gaz yağı, mineral yağı, silikon yağı	Su ve sabun
Kalay (2) oksit	Petrol fraksiyonları	Su ve yüzey aktif maddeler
Titanyum dioksit	Mineral yağı ya da p-ksilen	Su ve gliserol oleatları
Al ₂ O ₃ , Cu ₂ SO ₄ , MgO ₂ , ZnO, MnO ₂ , CoO, ZrO ₂	Mineral yağı	Polibütılsüksimid

ii) Oksit Olmayan İnorganik Materyaller

Oksit olmayan inorganik ER akışkanlar 1980’li yılların başından 1990’lı yılların başına kadar oldukça gelişmiştir. Bu tür akışkanlar su içerdikleri zaman aşırı büyük ER etki verirler (ER etki su varlığında arttığı için). Bunlardan bazıları; alumina silikatlar, özellikle zeolit grubu materyalleri gibi büyük bir önem taşımaktadır. Çizelge 3.2. de oksit olmayan inorganik ER akışkanların çoğu verilmiştir.

Tablo 3.2. Oksit olmayan inorganik materyaller

Dispers edilen faz	Dispersiyon ortamı	Eklentiler
Alumina silikat	Silikon veya hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Kristal zeolit	Silikon yada yüksek dielektrik sabiti olan hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Zeolit	Silikon veya hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Mikro-glass yapılar, alumina silikat %1-25 kristal suyu	Transformeryağı, silikon yağı	Polihidroksi siloksan
Silikat, silika-alumina	Mineral yağı, polialkiline, parafin, mineral yağı, polifenil fosforik asit esterleri	Sülfonlar, fenatlar, fosfonatlar, süksinik asit vb.
LiN ₂ H ₅ SO ₄	Silikon yağı	Blok kopolimer
BN, AlN, B ₄ C	Silikon yağı	Süksimid

iii) Organik ve Polimerik Materyaller

Çoğu oksit olmayan inorganik ER akışkanların iletkenlikleri çok yüksek olup büyük bir ER etkiye sahiptirler ve yapılarında su içermezler. Dispers olan fazın yoğunluğu dispersiyon ortamından daha yüksek ve süspansiyon genellikle değişkendir. ER araçlar için tanecik çok sert ve aşındırıcıdır. Organik ve polimerik materyaller tam olarak incelendiğinde organik materyallerden daha iyi olduğu görülür. Bazı organik ve polimerik ER akışkanlar Çizelge 3.3.' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Organik ve Polimerik ER akışkanlar

Dispers edilen faz	Dispersiyon ortamı	Eklentiler
Acene-kinon radikal polimeri	Klorlanmış hidrokarbon	
Çapraz bağlı polivinil silan	Florlanmış silikon yağı	elektrolitler
Selülozik maddeler	Transformer yağı, bitkisel yağlar	elektrolitler
Polifenil	Karbon esaslı yağ karışımları	Aromatik hidroksil bileşikleri
Polivinilidenhalojenürler, polipirol	Transformer yağı, bitkisel yağlar	
Polianilinler, iyonik olmayan maddeler	Klorlanmış parafin yağı, silikon yağı, mineral yağı	Hidroksil ve karboksil içeren moleküller
Nişasta	Mineral yağı, silikon yağı, hidrokarbon yağı,	Su
Oksitlenmiş poliakrilonitril	Silikon yağı	

Organik ve polimerik ER akışkanlar 2 şekilde sınıflandırılabilir. Birincisi konjuge π bağı içerenler, ikincisi iletkenliği kontrol edebilen konjuge materyallerdir. Konjuge π bağı içerenlere örnek olarak metal iyonu ya da metal oksit bağı olan ve bozunma sıcaklığı kontrol edebilen acene-kinon radikal polimerleri ve polianilin verilebilir. Bu kısım materyaller elektrik alan etkisi altında yüksek polarizasyona ve büyük dielektrik sabitine sahiptirler, ikinci kısım materyallerde ise moleküllerin yüksek polarlanabilme yeteneği vardır. Hidroksil, siyano, karboksil yada amino gibi polar gruplar içeren maddeler. Polimetakrilik asit, nişasta ve dekstran bu gruptandır.

Sıvı Maddeler – Homojen ER Maddeler

Homojen bir ER akışkan, bir sıvının yalıtkan yağ içerisinde dağıtılması ile oluşturulur. Bu tür ER akışkan heterojen ER akışkana gibi genellikle tanecik çökmesi problemi oluşturmaz. Bununla birlikte, bu tür bir ER sistem kuvvetli ER etki vermez ve kolaylıkla iki ayrı faz oluşturmaz. Sıfır elektrik alan kuvvetinde viskozitelerinin yüksek olması nedeniyle kullanışlı değildirler. Sıvı kristal polimerlerin oluşturduğu ER akışkanların büyük bir kısmı homojendir. Bazı homojen ER akışkanlar Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Homojen ER maddeler

Dispers edilen faz	Dispersiyon ortamı	Eklentiler
Alüminyum sülfat	Mineral yağı, silikon yağı	2,6- ditertbütil fenol
Poli(gama-glutamat)	Polialfa-olefinler vb...	fenol
Poli(n-heksil izosiyanat)	Siklik keton, p-ksilen	
4-n-fenil-4-siyanobifenil üretan, modifiye edilmiş polipropilen/silikon yağı emülsiyonu, vernik/silikon yağı emülsiyonu	Klorlanmış parafin/silikon yağı emülsiyonu	
LC polisiloksanlar	Silikon yağı, 4-(pentoksil)-4-bifenil karbonitril	

Katkı Maddeleri

Çoğu ER akışkanların yapılarında %0,01 ile %5 arasında katkı maddesi içerdiği söylenebilir. Çoğu durumlarda katkı maddeleri önemlidirler. Su, asit (inorganik ve organik), alkali, tuz ve yüzey aktif maddeler en yaygınlarıdır. ER katkı maddeleri genellikle hidroliz olabilir ve susuz ER sistemleri aktive etmezler. Suyun yanında, alkol, dimetilamin, asetamid, gliserin vb. gibi diğer polar sıvılar yağ ER akışkanlarda aktiviteyi önemli ölçüde arttırırlar. Ortama küçük miktarlarda ilave edilen polar sıvılar dispers edilen taneciklerin dielektrik sabitinin önemli ölçüde artmasına neden olur ki bu da gözlenen ER etkinin yürütücü kuvvetidir.

Yaygın olarak kullanılan bir diğerk katkı maddesi de yüzey aktif maddelerdir. Yüzey aktif maddeler süspansiyonun hem kolloidal dayanıklılığını hem de ER etkiyi artırır.

Pozitif; Negatif ER ve Foto ER Etkileri

1949 yılında Winslow ER etkiyi bulduğunda, bir elektrik alan kuvveti altında reolojik özelliklerin önemli derecede değiştiğini rapor etmiştir. Elektrik alan reolojik özellikleri arttırdığından pozitif ER etki olarak adlandırmıştır. Boissy ve arkadaşları [16], yaptıkları çalışmalarında poli(metil metakrilat), (PMMA) tozlarının silikon yağında hazırlanmış süspansiyonunda başarılı sonuçlara ulaşmıştır. Süspansiyona uygulanan elektrik alan kuvvetiyle viskozitenin azaldığını gözlemiştir. Bu durum o güne kadar ortaya konan fikirlerin tamamen tersi olduğundan negatif ER etki olarak adlandırıldı. Wu ve Conrad teflon/silikon yağ sisteminin, Trlica ise magnezyum hidroksit/silikon yağ sisteminin negatif ER etki gösterdiğini rapor etmiştir. Sıvı kristal polisiloksanın, 4-(pentiloksi)-4-bifenil karbonitril içerisinde pozitif ER etki, bunun yanında N-(4-metoksibenziliden)-4-bütülanilin içerisinde ise negatif etki göstermesi, dispersiyon ortamının ER karşılık vermede önemli rol oynadığını göstermektedir [17].

Pozitif ve negatif ER etki UV etkisinde artış gösterebilmektedir [18]. Bu davranış foto-ER etki olarak adlandırılır. Komada, TiO₂'in foto-ER özelliklerini incelemiş ve suyun önemli rol oynadığını ortaya koymuştur. Düşük miktarda suyun pozitif bir foto-ER etkiye, yüksek miktarda suyun ise negatif bir foto-ER etkiye neden olduğunun ortaya koymuştur. Foto taşıyıcılar TiO₂'in elektriksel özelliklerinin değişmesine ve ER performansın artmasına neden olur [19].

3.5.7. Sıcaklık

Sıcaklığın ER akışkanların aktivitesini değiştirmesinin başlıca 2 nedeni vardır. İlk neden sıcaklığın ERA'nın polaritesini değiştirmesidir. Sıcaklığın değiştirilmesiyle partiküllerin iletkenliği de değişir. İkincisi ise Brown hareketleridir. Sıcaklık taneciklerin çarpışma sayısının artmasını sağlar. Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta Brown hareketleri artar ve taneciklerin lif yapısı yeterince zayıf hale gelirse, bu durum ER etkinin azalmasına

neden olur. Eğer sıcaklık aşırı bir şekilde artarsa ER etki için sıcaklık baskın bir faktör olur. Ancak süspansiyonlarda Brown etkisi gözlenmez. Elektroeolojik akışkan kuru halde iken aktivite gösteriyorsa akışkanlığı sadece yağın viskozitesiyle sınırlıdır. Su veya başka bir aktivite sağlayıcı madde teşvik ediyorsa bazı problemler söz konusudur. Örneğin teşvik edici madde olarak su kullanılıyorsa, 70 °C'nin üzerinde suyun buhar basıncı artar ve kuruma olur. 0 °C'nin altında ise buzlanma problemi nedeniyle aktivite kaybolur.

Yaş ER süspansiyonların -20 ile +70°C arasında suyun donması ve buharlaşması ihtimalinden dolayı dar bir sıcaklık çalışma aralığına sahip olduğuna inanılır. Susuz ER süspansiyonlarında ise geniş bir çalışma sıcaklık aralığı mevcut olup, bununla beraber, yüksek sıcaklıkta büyük iletkenlik sağlanamaz ve çoğu susuz ER akışkanlar ise iyonik materyallerden yapılmıştır [20]. ER aktivite üzerine sıcaklığın etkisi karmaşıktır. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalarda çelişkiler gözlenmiştir. Yılmaz ve arkadaşlarının polimetilmetakrilat-blokpolisitren/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-blokpolisitren/ 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 [21].

3.5.8. Promoter

ER akışkanlar bir taraftan elektriksel bozunmayı engellemek için dispersiyon ortamı olarak iletken olmayan sıvılara ihtiyaç duyarken diğer taraftan ER etkiyi artırmak veya bazı durumlarda ER etkiyi gözleyebilmek için eser miktarda su veya başka polar sıvılara ihtiyaç duyarlar. Bu tür sıvılara promoter (teşvik edici) adı verilir. Bu sıvılar süspansiyon içerisinde polarizasyonu sağlar ve akışkanı ER aktif hale getirir. Çoğu ER akışkanlar yapılarında %0,01 ile %5 arasında promoter içermektedir. Çoğu durumlarda katkı maddeleri önemlidir. Block, katkı maddelerinden su, asit (organik ve inorganik) alkali, tuz ve yüzey aktif maddelerin yaygın olarak kullanıldığını rapor etmiştir [22].

3.5.9. Kayma hızı

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

3.5.10. Tanecik boyutu kolloidal kararlılık

ER akışkanların uygulamaları açısından karşılaşılan en büyük sorunlar kolloidal kararsızlık ve tortu bırakmasıdır. Kararlı bir kolloidal dispersiyonun uzun bir zaman aralığında dispers olmuş fazı dağılma ortamında asılı kalabilmesidir. ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alan uygulandığında, bu etkileşimler sonucunda tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının yerçekimine karşı dayanıklı ve kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. ER aktivite gösteren tanecik büyüklükleri 0,1– 100 µm arasında olduğu belirtilmiştir.

3.5.11. Elektroeolojik akışkanların kullanım alanları

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

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

Bunların birçoğunun çözümü ise son zamanlarda bulundu. Şimdiye kadar ERA'nın birçok patentleri alınmıştır. Şok absorplayiciler, debriyaj ve fren sistemleri, titreşim sönümleyiciler, hidrolik valfler, aktivatör, binaların temelinde, robotlar ve yapay organlar gibi kullanım alanları önerilmiştir [23].

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

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

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

Gelecekteki çalışmalar yüksek performanslı ERA güçlü bir elektreolojik etki vermesi ve çökelme problemlerinin giderilmesi üzerine olacaktır. Elektreolojik etkinin mekanizması için fiziksel modeller önerilecek ve elektreolojik aygıtlar için düzenlenecektir. ERA'nın hazırlanmasındaki güçlükler kesin olarak giderilerek, elektreolojik aletler hızla ticarileştirilecektir. Elektreolojik sensörler, elektreolojik

sönümleyici sistemler, elektreolojik mürekkepli yazıcı ve elektreolojik cilalayıcılar gibi yarı iletken endüstriyel kısımlar öncülük edeceklerdir. Çünkü bu aletlerle aşırı miktarda ERA gerektirmeden, endüstriyel olarak uzun bir süre kullanım imkanı olabilecektir.

4. BÖLÜM

DENEYSEL KISIM

4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Monomer: Poli metil metakrilat (PMMA) (Merck). Başlatıcı: Benzoil peroksit etüvde kurutularak kullanıldı (Aldrich). Nevşehir Pomzası etüvde kurutularak kullanıldı. (Soylu Madencilik'den temin edilmiştir). Etilalkol (Aldrich) ve Saf su kullanıldı.

4.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

- A- Polimer sentez düzeneği (250 mL üç boyunlu pyreks balon, geri soğutucu, termometre, damlatma hunisi, su banyosu).
- B- Analitik terazi.
- C- FTIR Spektrometresi
- D- Güç kaynağı (0-10,5 kV arasında gerilim uygulanabilen)
- E- Pirinç parmak elektrotlar.
- F Reometre, Thermo-Haake RS600. 0,001-1500 s⁻¹ aralığında kayma hızı sağlayabilen paralel plate geometride diskli, sıcaklık ve elektrik alan kontrollü
- G- Malvern Nano-Z zetasizer

4.3. Öğütme İşlemi

Vakum etüvünde kurutulmuş olan metil metakrilat homopolimeri ve %48 (K1), %58 (K2) ve %65 (K3) olmak üzere üç farklı yüzdede içeren PMMA/POMZA kompozitleri Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Reoloji laboratuvarında bilyalı bir değirmen kullanılarak öğütüldü.

4.4.Tanecik Boyutu Ölçümleri

Toz haline getirilmiş PMMA ve K1-K3 kompozitlerinin 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.

4.5.Süspansiyon Hazırlanması

Öğütülerek belirli tanecik büyüklüğüne getirilen PMMA ve kompozitlerin, silikon yağı (SO) içerisinde ($\phi = \%5-30$) süspansiyonları hazırlandı ve çökeltme kararlılıklarına bakıldı. Ardından ER çalışmalara geçildi.

4.6. Çökeltme Kararlılığı

Kolloidal kararlılığa hacim kesrinin etkisini araştırmak amacıyla en kararlı bileşimdeki kompozitten çeşitli hacim kesirlerinde hazırlanan süspansiyonlar ($\phi = \%5-30$) 25°C’ de 40 gün süreyle bekletildi. 40 gün sonunda en kararlı hacim kesri belirlenerek ardından ER çalışmalara geçildi.

4.7. Elektroeometre İle Yapılan Ölçümler

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) çapında 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

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 [24] ile Kojima ve arkadaşları [25] 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 PMMA homopolimeri ve %48 (K1), %58 (K2), %65 (K3), olmak üzere üç farklı yüzdede PMMA içeren PMMA/POMZA kompozitleri bilyalı titreşimli öğütücüde öğütüldü. Öğütülen polimerlerin tanecik büyüklükleri, ölçüldü. Elde edilen tanecik boyutu dağılımı sonuçlar aşağıda Çizelgede verilmiştir. Bu verilere göre kompozitlerin ortalama tanecik büyüklüklerinin ($d_{(0,5)}$) 894–1489 nm arasında değiştiği, PMMA'in $d_{(0,5)}$ 'inin ise 756 nm olduğu tespit edildi. Polimerlerin bütün karakterizasyon işlemleri ile ER ölçümleri bu tanecik boyutlarında gerçekleştirildi. Ayrıca öğütme işlemleri esnasında kompozitler arasında PMMA içeriği artıkça kompozitlerin ortalama tanecik boyutunun küçüldüğü tespit edildi.

Tablo 5.1. Numunelerin tanecik büyüklükleri.

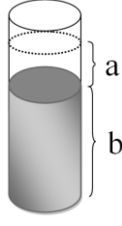
Numune	($d_{0,5}$) (nm)
K1 (%48 PMMA/%52 Pomza)	1489
K2 (%58 PMMA/%42 Pomza)	1105
K3 (%65 PMMA/%35 Pomza)	894
PMMA	756

5.2. Süspansiyonların Kolloidal Kararlılıklarının Belirlenmesi

Elektroreolojik akışkanlarda aranan en önemli özelliklerden birisi çökelme kararlılığıdır. ER akışkanların uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelme göstermemeleri ve tortu bırakmamaları 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 çökelmeye 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; PMMA ve %48 (K1), %58 (K2), %65 (K3) PMMA içeren PMMA/POMZA kompozitleriyle hazırlanan $\phi = \%5$ ' lik süspansiyonlarda kompozit içerisindeki PMMA miktarının etkisi incelenerek en kararlı olan süspansiyon tespit edildi. En kararlı PMMA içeriği olan kompozitten $\phi = \%5-30$ 'luk hacim kesirlerinde hazırlanan süspansiyonlarda ise hacim kesrinin etkisi incelendi. İlk çökelmenin 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.

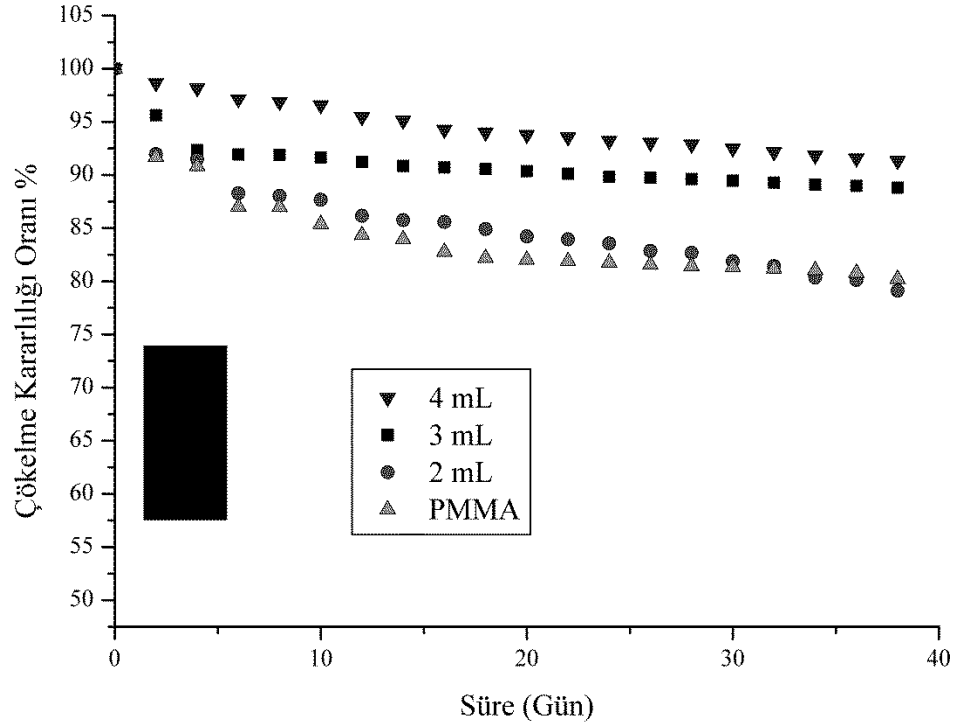
Kolloidal kararlılığa kompozit bileşiminin etkisi Şekil 5.1'de verildi. Şekillerde görülen çökelme kararlılığı oranları (ÇKO) hesaplanırken Eş. 5.1 kullanıldı.



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

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 PMMA in yoğunluğu ($0,72 \text{ g/cm}^3$) silikon yağının yoğunluğundan ($0,96 \text{ g/cm}^3$) düşük olduğundan Stoke yasasına uygun olarak PMMA' 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 [26, 27].



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

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

Numune	($d_{0,5}$) (nm)	ÇKO (%)
K1	1489	79,11
K2	1105	80,21
K3	894	91,32
PMMA	756	88,8

5.3. Elektrometre ile Yapılan Elektoreolojik Ölçümler

5.3.1. Elektrik Alan Kuvvetinin viskozite üzerine etkisi

Elektrik alan kuvvetinin Viskozite üzerine etkisi parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Elektrik alan ile polarizasyon kuvvetleri arasındaki bağıntı şu şekilde verilmektedir [28].

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

Bu eşitlikte:

F = Polarizasyon kuvveti

ϵ_2 = Taneciklerin dielektrik sabiti

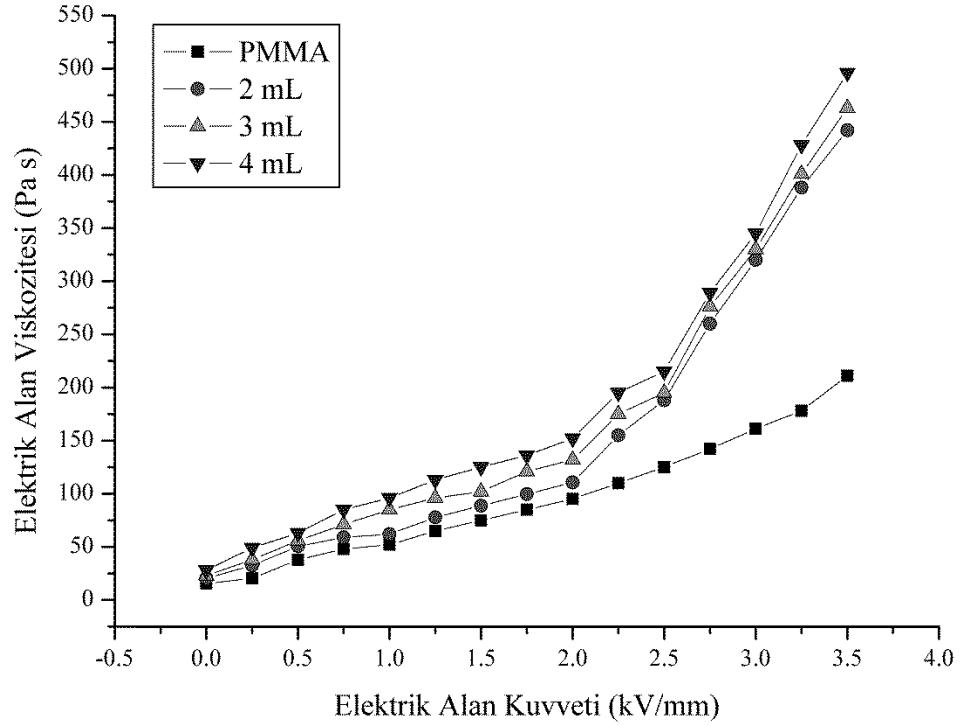
r = Tanecik yarıçapı

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 [29] veya parabolik [30] olarak sürekli artan bir viskozite eğrisi elde edildiği rapor edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Şekil 5.2’de görüldüğü gibi K3/SO süspansiyon sistemi için elektrik alanın artışı ile elektrik alan viskozitede lineer artışlar gözlenmiştir. $E = 3,5$ kV/mm dış elektrik alan kuvveti altında $\eta_E = 510$ Pas elektrik alan viskozite değerine ulaşılmıştır. Bu durum tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin artması ile açıklanabilir.



Şekil 5.2. Çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde viskozitenin hacim kesri ile değişimi.
 $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$.

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 PMMA ve 3 farklı kompozitin %20 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 $\eta_E = 510 \text{ Pas}$ ile %20 hacim kesrindeki K3

kompoziti süspansiyonuna sahipken, en düşük viskozite değeri ise PMMA süspansiyonunda $\eta_E = 200$ Pas olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak süspansiyon bileşimi %65 PMMA içerdiğinde η_E değerlerinde bir artış tespit edilmiştir. Erol'un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada $E = 0,9$ kV/mm' de PT için. $\eta = 251,4$ Pas nanokompozit için ise $\eta = 133$ Pas olarak rapor edilmiştir [31].

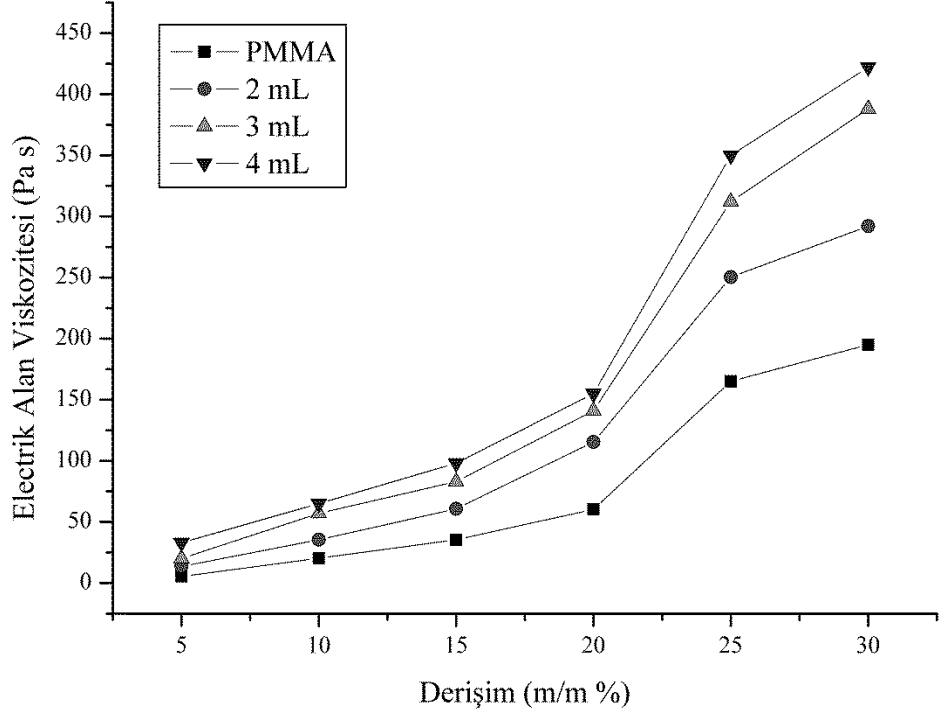
5.3.2. Derişimin elektrik alan viskozite üzerine etkisi

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 [32].

Şekil 5.3'de PMMA ve 3 farklı kompozitinin 6 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 altında viskozitede artış gözlenmektedir. $E = 3,5$ kV/mm iken $\phi = \%5$ 'lik K3 süspansiyonu $\tau = 22,6$ Pa kayma gerilimi gösterirken, bu değer $\phi = \%30$ 'lik hacim kesrinde $\tau = 425$ Pa değerine çıkmaktadır. Erol [33] un Politiyofen/ Poly(oxymethylene)/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada PMMA için. $\tau = 50,19$ Pa ve PMMA/POMZA/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 [34, 35], 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 [36, 37] 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 [38] 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.



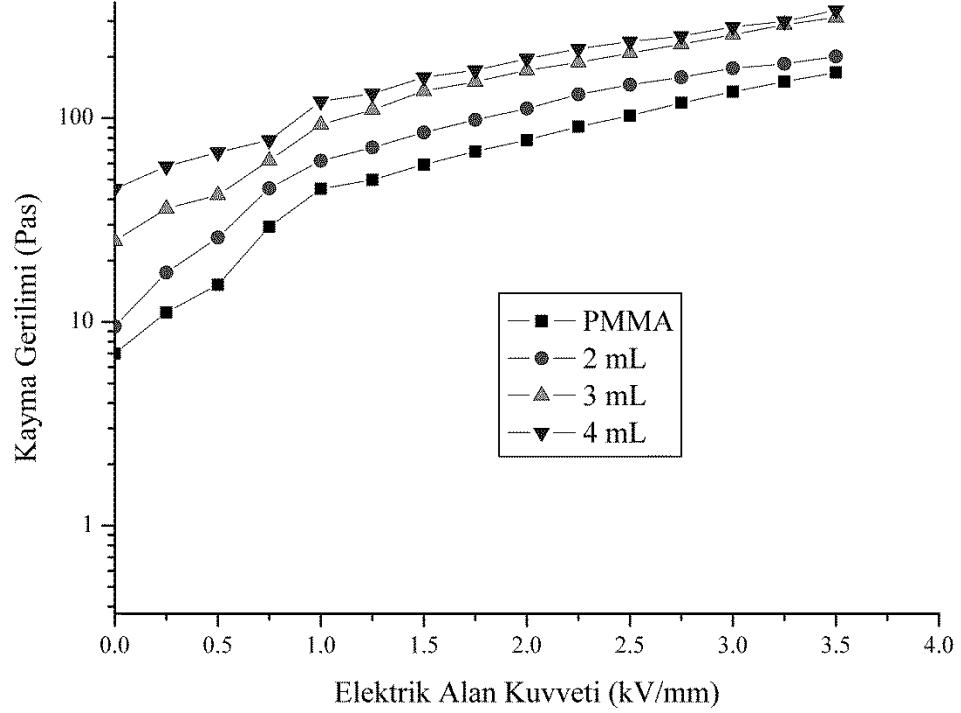
Şekil 5.3. Hacim kesrinin viskozite üzerine etkisi.
 $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $E=3,5 \text{ kV/mm}$.

5.3.3. 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.

PMMA ve 3 farklı bileşimdeki kompozitlerinden hazırlanan $\phi = \%5-30$ 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 %65 PMMA içeren K3 kompozitinde ölçülmüştür. Bu da çalışılan PMMA/POMZA/SO sisteminin uygulanan dış E kuvvetini algıladığını ve akıllı malzeme olarak sınıflandırılabilirliğini kanıtlamaktadır. Erol'un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada $E = 0,9 \text{ kV/mm}$ ' de PMMA için. $\tau = 50,19 \text{ Pa}$ nano kompozit için ise $\tau = 26,6 \text{ Pa}$ olarak rapor edilmiştir.



Şekil 5.4. Elektrik alan kuvvetinin kayma gerilimi üzerine etkisi.
 $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $T = 25^\circ\text{C}$,

Araştırmacılar, Silika-TiO₂ kompozitlerinde silikon yağı ile yaptıkları çalışmada süspansiyonlarının kayma gerilimi değerinin E kuvvetinin karesi ile orantılı olarak artış gösterdiğini rapor etmişlerdir [39]. Foul ve Atten su ile aktive edilmiş mikro kristal yapıdaki selülozun madeni yağ içerisinde oluşturduğu süspansiyonlarda yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir [40]. Aynı şekilde Ünal ve arkadaşları da poliinden/kaolin kompozitin silikon yağındaki süspansiyonlarında benzer sonuçlar rapor etmişlerdir [41].

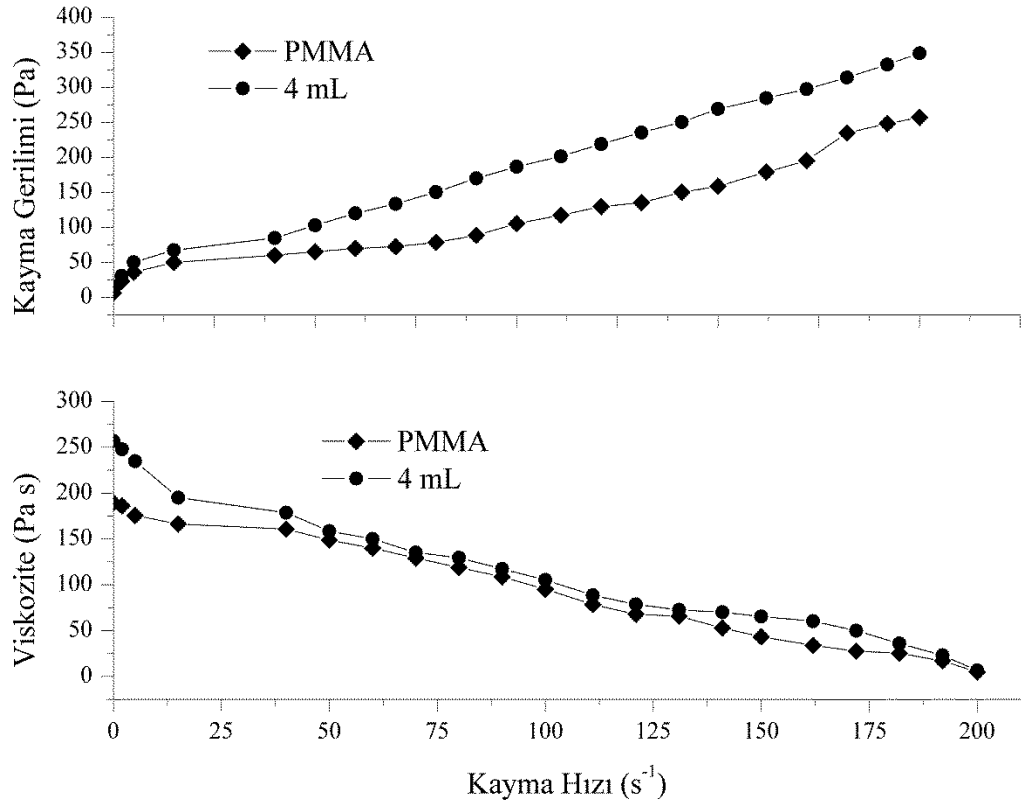
5.3.4. Kayma hızının kayma gerilimi ve viskozite üzerine etkisi

Şekil 5.5' de PMMA ve K3 kompozitinin SO içerisinde optimum hacim kesrinde ($\phi = \%20$) hazırlanan süspansiyonların $E \neq 0 \text{ kV/mm}$ 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 [42]. 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 [43].



Şekil 5.5. Kayma gerilimi ve viskozitenin kayma hızı ile değişimi.
 $\phi = \%20$ (m/m), $T = 25^\circ\text{C}$, $E = 3,5$ kV/mm

5.3.5. Kayma geriliminin sıcaklık ile değişimi

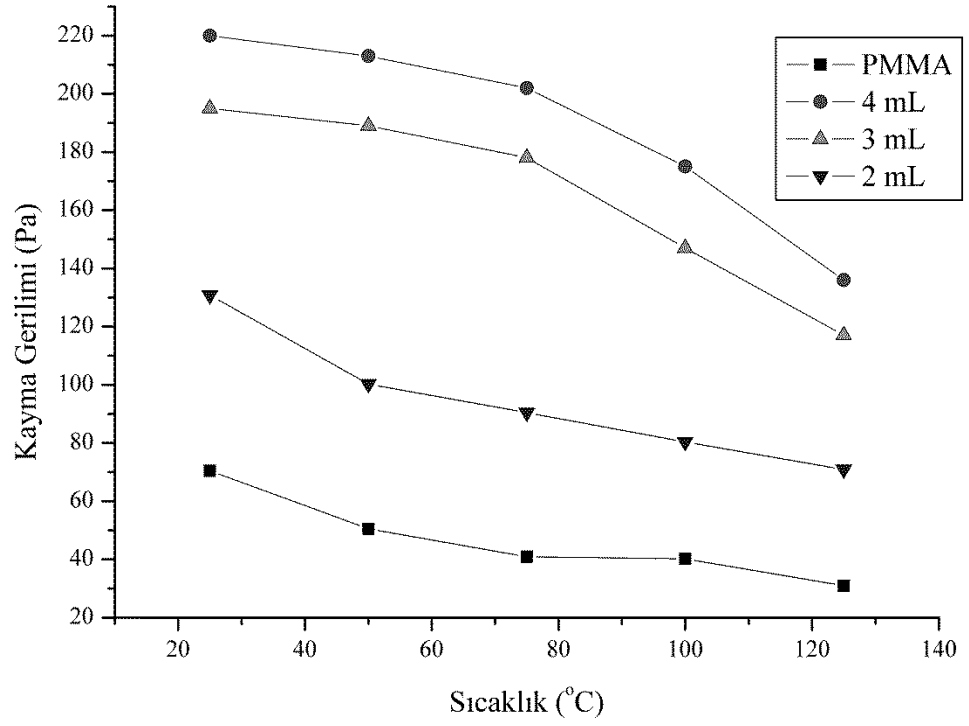
Sıcaklık etkisi, ER etkiyi değerlendirmek için önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklığın ER akışkan üzerine etkisi iki şekilde olmaktadır. Birincisi, ER süspansiyon için sıcaklık, polarizasyon etkisini kesin olarak değiştirebilir. Bunun yanında tanecik iletkenliği ve dielektrik sabiti de sıcaklıkla değişebilir. Tablo 5.3 de PMMA ve PMMA/POMZA kompozitlerin iletkenlik ve dielektrik (ϵ) değerleri verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi kompozit malzemelerde PMMA miktarındaki artış ile iletkenlik değerlerinde de artış meydana gelmiş ve $\sigma_{\text{PMMA}} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ iken %65 PMMA içeren K3 kompozitinde $\sigma_{\text{K3}} = 4,26 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$ 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
PMMA	4,2 x 10 ⁻³	1,42
PMMA(%65)/Pomza, K3	4,26x 10 ⁻⁵	1,55
PMMA(%58)/PE K2	5,17 x 10 ⁻⁶	1,48
PMMA(%48)/PE K1	2,76 x 10 ⁻⁶	1,24

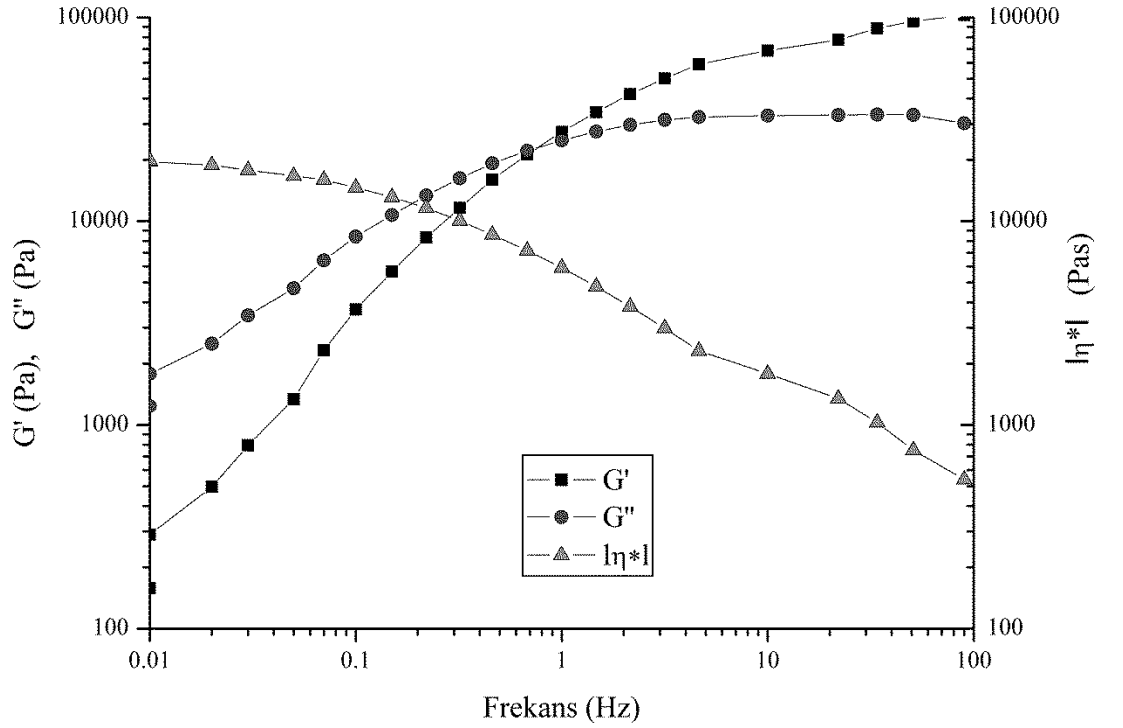
Numunelerin yüksek sıcaklıklarda güç kaybına uğrayıp uğramadıklarını tespit etmek amacıyla 0–100 °C aralığında 6 farklı sıcaklıkta sıcaklık taraması yapıldı. Şekil 5.6’da görüldüğü gibi tüm kompozitlerde sıcaklık artışıyla kayma gerilimi değerlerinde kayda değer büyük bir değişme gözlenmedi, 40 °C den sonra kayma gerilimlerinde az bir miktarda azalma tespit edildi. Erol’un Politiyofen/montmorillonit nanokompozit/SO sistemi üzerine yaptığı çalışmada E = 3,5 kV/mm’ de PMMA için $\Delta \tau = 40$ Pa ve nanokompozit için $\Delta \tau = 50$ 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.
 $\phi = \%20$, $\dot{\gamma} = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $E = 3,5 \text{ kV/mm}$

5.3.6. 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 [44].



Şekil 5.7. K3 kompoziti için elastik modülün frekans ile değişimi.
E = 3,5 kV/mm, ϕ = %20, τ = 1 Pa, T = 25 °C

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Zetasizer cihazı yardımıyla, PMMA homopolimeri ve PMMA/POMZA kompozitelerin tanecik boyutları belirlendi ve ER çalışmaları için uygun boyutlarda oldukları tespit edildi.
2. Kolloidal kararlılığa, PMMA/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 PMMA miktarının artmasıyla ER aktivitenin yükseldiği tespit edildi.
6. Hacim kesri arttıkça süspansiyonların viskoziteleri arttığı ve bu artışın parçacıklar arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri geldiği belirlendi.
7. 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.

8. Kompozit malzemelerden hazırlanan süspansiyonların yüksek sıcaklıkta çok fazla güç kaybına uğramadığı ve endüstriyel uygulamalar için uygun olabileceği sonucuna varıldı.

9. 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.

KAYNAKLAR

- 1 Balci, N., Bayramli, E., Toppare, L., “Conducting Polymer Composites: Polypyrrole and Poly(vinyl chloride-vinyl acetate) Copolymer”, *Journal of Applied Polymer Science*, 64, 667-671, 1997.
- 2 Zhang, H. and Li, C., “Chemical synthesis of transparent and conducting polyaniline –poly(ethylene terephthalate) composite films”, *Synth. Met.*, 44, 143-146, 1991.
- 3 Yilmaz, H., Ünal, H.İ. , Sarı, B., “Sythesis, Characterization Electrorheological Properties of poly(o-toluidine)/Zn Conducting Composites” *Journal of Applied Polymer Science*, 87, 1693-3484-3492, 2007.
- 4 Cha, S. K., 1 Elektropolimerization rates of polythiophene/polypyrrole composite polymer with some dopant ions, *J. Polym. Sci: Part B, Polym Phys.*,35, 165-172, 1987.
- 5 <http://www.yoltas.net>
- 6 Winslow, W. M., “Induced Vibration Suspension”, *Journal of Applied Physics*, 20, 1137-1140, 1947.
- 7 Makela, K. K., “Characterisation And Performance of Electrorheological Fluids Based On Pine Oils”, *VTT Publications, Finland*, 15, 1999.
- 8 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.

- 9 Di, K., Yang, X. and Li, C., “Electrorheological behavior of copperphthalocyanine-doped mesoporous TiO₂ suspensions”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 294, 499-503, 2006.
- 10 Otsubo, Yasufumi, Sekine, Masahiro and Katayama Shingo “Effect of Adsorbed Water on the Electrorheology of silylated suspensions”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 50, 324–330, 1992.
- 11 Gehin, C., Persello, J., Charrat, D. And Cabace, B., “Electrorheological properties and microstructure of silica suspensions”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 273, 658-667, 2004.
- 12 Şahin, D., Sarı, B. And Ünal, H.İ., “An Investigation of Some Parameters on Electrorheological Properties of Polypyrrole Suspensions”, *Turk J. Chem.*, 26, 113-124, 2002.
- 13 Block, H. and Kelly, J.P., 1988. Electro-rheology, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 21(12), 1661-1667.
- 14 Klingenberg, D. J. , Swol, F., Zukoski , C.F., 1989. Dynamic simulation of electrorheological suspensions, *J. Chem. Phys.*, 91(12), 7888-7895.
- 15 Lee, H. J., Chin, B. D., Yang, S. M., Park, O., “Surfactant Effect on the Stability and Electrorheological Properties of Polyaniline Particle Suspensions”, *Journal of Colloid And Interface Science*, 206, 424-438, 1998.
- 16 Boissy, C., Atten, P. and Foulc, J-N., 1995. On a negative electrorheological effect, *J. Electrostatic*, 35(1), 13-20.
- 17 Podszun, W., bloodworthü, R., Oppermann, G., 1996. US Patent 5503763.

- 18 Carreira , L., Mihajlov , V. S., 1971. US patent 3553 708.
- 19 Sakai, N., Komada, Y. And Rao T.N., 1998. Effect of adsorbed water on the photoelectrorheology of TiO₂ particle suspensions, *J. Electroanalytical Chem.*,445:1-6.
- 20 Hao, Tian, “Electrorheological suspensions” *Advances in Colloid and Interface Science*, 97, 1–35, 2002.
- 21 Liu, Z., Lin, Y., Wen, X., and Su, Q., “Preparation and electrorheological properties of polyquin(2,3-b)acridine-12, 14(5,7)dione-based suspensions”, *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 264, 55–60, 2005.
- 22 Block, H. and Kelly, J.P., “Electro-rheology” *J. Phys. D:Appl. Phys*, 21(12), 1661–1677, 1988.
- 23 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.
- 24 Tau, W.Y., Wen, W. And Sheng, P. “Electrorheological fluids using bi-dispersed particles”, *Physica B*, 279, 171-173, 2000.
- 25 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.
- 26 Ş. Sarikaya, M. Yavuz, H. Yilmaz, H.I. Unal, B. Sari, “Synthesis, Characterization and Electrorheological Properties Polyindene/Calcium Carbonate Composites” *Polymer Composites*. 30(5), 583-590, 2009.

- 27 Liqin, X., Xiaopeng, Z., “Preparation of montmorillonite/titania nanocomposite and enhanced electrorheological activity”, *J. Coll. and Interface Sci.* 296, 131-140, 2006.
- 28 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.
- 29 Klingenberg, D. J., Zukoski, C. F., “Studies on the steady-shear behaviour of electrorheological suspensions”, *Langmuir*, 6, 15-24, 1990.
- 30 Xu, Y., Liang, R., “Electrorheological Characterization of Zeolite Suspensions”, *J. Rheol.* 35, 135, 1991.
- 31 Erol, Ö., Ünal, H.İ., Sarı, B., “Electrorheology and Creep-Recovery Behavior of Conducting Polythiophene/Poly(oxymethylene)-Blend Suspensions”, *Chinese Journal of Polymer Science*, 30(1), (16–25), 2012.
- 32 Yavuz, M., Unal, H. I., “Electrorheological properties of suspensions prepared from poly(li-tert-butyl methacrylate) ionomer”, *Turk J. Chem.*, 28, 587-601, 2004.
- 33 Erol, Ö., Ünal, H.İ., Sarı, B., “Electrorheology and Creep-Recovery Behavior of Conducting Polythiophene/Poly(oxymethylene)-Blend Suspensions”, *Chinese Journal of Polymer Science*, 30(1), (16–25), 2012.
- 34 Yavuz, M., Unal, H. I., Yıldırım, Y., “Electrorheological properties of suspensions prepared from polystyrene-block-polyisoprene copolymer”, *Turk J. Chem.*, 25, 1-14, 2001.

- 35 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.
- 36 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.
- 37 Ünal, H. İ., Yavuz, M., Yılmaz, H., “sepiyolit süspansiyonların elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (3), 999-1007, 2001.
- 38 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.
- 39 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.
- 40 Foul J.N. and Atten D., “Electrorheological fluids mechanism, properties, technology and applications” *Ed.R Roy World Scientific*, Singapore, 358-371, 1994.
- 41 C. Eristi, M. Yavuz, H. Yılmaz, B. Sari, HI. Unal, “Synthesis, Characterization And Electrorheological Properties Polyindene/Kaolinite Conducting Composites” *J. Macromolecular Sci.-Pure and Appl. Chem.* 44(7), 759, 2007.
- 42 Otsubo, Y. and Edamure K., “Electric effects on the rheology of insulating oils in electrodes with flocked fabric”, *Rheol. Acta*, 38, 137-144, 1999.

- 43 Unal, H. I., Yılmaz, H., “Electrorheological properties of poly(lithium-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid) suspensions”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 86, 1106-1112, 2002.
- 44 Gerçek, B., Yavuz, M., Yılmaz, H., Sari, B., Unal, H.I., “Comparison of electrorheological properties of some polyaniline derivatives”, *Coll. and Surface*, 299, 124-132, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ÇALIŞKAN 1985 yılında Nevşehir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Nevşehir’de tamamladı. 2007-2011 yılları arasında Erciyes Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde okudu. 2011 yılında Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda yüksek lisansına devam etti.

e-posta: caliskanabd@gmail.com