

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİANİLİN- POMZA KOMPOZİTİNİN**  
**ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**MEHMET ÇABUK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**ISPARTA, 2005**

**POLIANİLİN- POMZA KOMPOZİTİNİN ELEKTROREOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mehmet ÇABUK**

Yüksek Lisans Tezi

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**ISPARTA, 2005**

**İÇİNDEKİLER**

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Kuramsal Temeller.....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ .....	4
2.1. Elektoreoloji Teorileri.....	4
2.2. Elektoreolojik Akışkanlarda Yapı Oluşumu.....	5
2.3. Süspansiyon Ortamının Özellikleri.....	6
2.4. ER Tanecik Özellikleri.....	7
2.5. ER Materyaller.....	8
2.5.1. Sıvı sürekli faz.....	9
2.5.2. Dağılan Faz.....	10
2.5.2.1. Katı tanecikler-heterojen ER materyaller.....	10
2.5.2.2. Sıvı Maddeler-Homojen ER Maddeler.....	14
2.5.3. Katkı Maddeleri.....	14
2.6. Pozitif; Negatif ER ve Foto ER Etkileri.....	15
2.7. Elektoreoloji Olayını Etkileyen Faktörler.....	16
2.7.1. Elektrik Alan.....	16
2.7.2. Kayma Hızı.....	17
2.7.3. Sıcaklık.....	17
2.7.4. Derişim.....	18
2.7.5. Promoter.....	19
2.8. Elektoreolojik Akışkanların Kullanım Alanları.....	19
3. MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Materyal.....	21

3.1.1. Kullanılan Kimyasallar.....	21
3.1.2. Kullanılan Cihazlar.....	21
3.1.3. Deneyde kullanılan aletler.....	22
3.2. Metod.....	22
3.2.1. Monomer Saflaştırılması.....	22
3.2.2. Polimer Sentezi.....	22
3.2.1.1. Kompozit Sentezi.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Karakterizasyon.....	26
4.1.1. FT-IR Spektrumu.....	26
4.1.2. UV Analizleri.....	28
4.1.3. SEM Analizleri.....	28
4.1.4. İletkenlik Ölçümleri.....	30
4.1.5. X-ray Analizleri.....	32
4.1.6. ER Analizler.....	33
4.1.6.1. Süspansiyon Hazırlanması.....	33
4.1.6.2. Reolojik ölçümler.....	33
4.1.6.2.1. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	33
4.1.6.2.2. Viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	35
4.1.6.2.3. Viskozitenin Derişimle Değişimi.....	36
4.1.6.2.4. Kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile değişimi.....	36
4.1.6.2.5. Kayma Geriliminin Derişimle Değişimi.....	38
4.1.6.2.6. Storage ve loss Modül - Frekans İlişkisi.....	40
5. SONUÇ.....	42
6. KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	48

## ÖZET

### **Polianilin-Pomza Kompozitinin Elektoreolojik Özelliklerinin İncelenmesi**

Elektoreolojik (ER) akışkanlar genellikle yalıtkan yağ içerisinde yüksek polarlanma özelliğine sahip kolloidal taneciklerden oluşan süspansiyonlardır. ER akışkanlar bir elektrik alan uygulandığında katı hale geçebilme, elektrik alan uzaklaştırıldığında ise çok kısa bir sürede ve tekrarlanabilir olarak sıvı hale geçebilme gibi oldukça önemli reolojik davranışlar sergilerler. Bu ER davranış, şok absorplayan cihazlar, debriyaj sistemleri, hidrolik subablar ve titreşim sönümleyiciler gibi birçok mühendislik uygulamalarında kullanışlı olabilir.

Bu çalışmada, polianilin ve polianilin/pomza kompoziti serbest radikal polimerizasyon yöntemiyle sentezlendi. Polianilin, pomza ve kompozitin karakterizasyonları FT-IR, SEM, UV, X-ray difraksiyon ve iletkenlik analizleri ile yapıldı. Polianilin, pomza ve kompozitin yalıtkan silikon yağı içerisinde çeşitli derişimlerde süspansiyonları hazırlandı. Hazırlanan süspansiyonların ER aktiviteleri incelendi. ER aktivite üzerine derişim, kayma hızı, elektrik alan kuvveti, viskozite, frekans ve kayma geriliminin etkileri araştırıldı. Sonuç olarak, iletken polianilin ile yalıtkan pomzanın kompoziti oluşturularak yarı iletken bir kompozit sentezi yapıldı. Oluşturulan kompozitin elektoreolojik aktivite gösterdiği ve en yüksek elektoreolojik aktivitenin %3 derişimde hazırlanan süspansiyonda olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler :** Elektoreolojik akışkan, kompozit, polianilin, pomza

## ABSTRACT

### **Investigation of Electrorheological Properties of Polyaniline-Pumice composite**

Electrorheological (ER) fluids generally consist of highly polarizable colloidal particles suspended in insulating oil. ER fluids, display remarkable rheological behaviour, being able to convert rapidly and repeatedly from a fluid to a solid when an electric field is applied or removed. This ER behaviour can be useful in numerous engineering applications such as shock absorbers, clutches, hydraulic valves and dampers.

In this study, polyaniline and composite of polyaniline/pumice were synthesised by free radicalic polymerisation. Polyaniline, pumice and composite were characterised by FT-IR, SEM, UV, X-ray diffraction and conductive measurements. Suspensions of polyaniline, pumice and composite were prepared in insulating silicone oil. ER activity was observed for all these suspensions. The effects of concentration, shear rate, electric field force, viscosity, frequency and shear stress onto ER activities of suspensions were investigated. As a result, prepared of semiconducting composite from conducting polyaniline and insulating pumice. Polyaniline, pumice and composite suspensions were shown electrorheological activity. The highest ER activity was observed to 3% composite suspension concentration.

**Key Words** : Electrorheological fluids, composite, polyaniline, pumice

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada; kısaca, polianilin ve polimer/kil kompoziti sentezlendi. Sentezlenen yapılar karakterize edildi ve ER davranışları incelendi. Laboratuvar sentez çalışmaları S.D.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Laboratuvar'ında gerçekleştirildi. ER analizleri Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Reoloji Laboratuvarında yapıldı.

Çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAVUZ'a, bilgisinden yararlandığım ve bu konuda mütevazılığını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ayşegül GÖK'e ve ER analizleri için sayın Prof. Dr. Halil İbrahim ÜNAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca, S.D.Ü. bilimsel araştırma projeleri destekleme dairesine ve çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

21.07.2005

Mehmet ÇABUK

**SİMGELER DİZİNİ**

<b>ER</b>	<b>Elektroreolojik</b>
<b>PANI</b>	<b>Polianilin</b>
<b>Vd.</b>	<b>Ve diğerleri</b>
<b>c</b>	<b>Derişim</b>
<b>T</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>
<b>kV</b>	<b>kilo volt</b>
<b>G'</b>	<b>Storage Modül</b>
<b>G''</b>	<b>Loss Modül</b>
<b>SEM</b>	<b>Taramalı Elektron Mikroskobu</b>
<b>UV</b>	<b>Ultraviole</b>
<b>FT-IR</b>	<b>Fourier Transform- İnfared</b>
<b>dc</b>	<b>Doğru Akım</b>
<b>Pas</b>	<b>Viskozite Birimi</b>
<b>LABSA</b>	<b>Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi. Önce (a), ve sonra (b), iki paralel plaka elektrot arasına ER aktif tanecikler tutunur.....	6
Şekil 2.2. Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişiminin şematik gösterimi : (a) negatif ER etki (b) pozitif ER etki.....	16
Şekil 2.3. ER sıvıların akış davranışları üzerine elektrik alanının etkisi (a) yüksek elektrik alan uygulandığında sıvı akmaya karşı direnç göstermektedir; (b) ve (c) elektrik alan uygulanmadığında sıvının akışını göstermektedir .....	17
Şekil 4.1. Pomza FT-IR spektrumu .....	27
Şekil 4.2. PANI FT-IR spektrumu.....	27
Şekil 4.3. Kompozit FT-IR spektrumu.....	27
Şekil 4.4. (a) Pomza (b) polianilin ve (c) kompozitin UV spektrumu.....	28
Şekil 4.5. Pomza yapısına ait SEM fotoğrafı.....	29
Şekil 4.6. PANI yapısına ait SEM fotoğrafı.....	29
Şekil 4.7. Kompozite ait SEM fotoğrafı.....	30
Şekil 4.8. Kompozite ait iletkenlik eğrisi.....	31
Şekil 4.9. Pomza, PANI ve kompozite ait X-ray spektrumu.....	32
Şekil 4.10. Farklı derişimlerde ki kompozit için viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi, $c = \%1, \%2, \%3, \%4$ (m/m) $T = 25^{\circ}\text{C}$ , $k. \text{ hızı} = 0,2 \text{ s}^{-1}$	34
Şekil 4.11. Pomza, PANI ve kompozit için viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi. $c = \%3$ (m/m), $T = 25^{\circ}\text{C}$ ve kayma hızı $= 0,2 \text{ s}^{-1}$ .....	34
Şekil 4.12. Farklı derişimlerde ki kompozit için viskozitenin kayma hızı ile değişimi $c = \%1, \%2, \%3, \%4$ (m/m) $T = 25^{\circ}\text{C}$ , kayma hızı $= 0,2 \text{ s}^{-1}$ .....	35
Şekil 4.13. Farklı derişimlerde ki kompozite ait kayma geriliminin derişimle değişimi, $c = \%1, \%2, \%3, \%4$ (m/m), $T = 25^{\circ}\text{C}$ .....	36

Şekil 4.14. Farklı derişimlerde ki kompozite ait kayma gerilimlerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi, c =%1, %2, %3, %4 (m/m) T=25 <sup>0</sup> C.....	37
Şekil 4.15. Pomza, PANI ve kompozit için kayma gerilimlerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi,; silikon yağı, c= %3, T= 25 <sup>0</sup> C.....	38
Şekil 4.16. Pomza, PANI ve kompozite ait Kayma geriliminin derişimle değişimi, c = %1, %2, %3, %4 (m/m), T= 25 <sup>0</sup> C .....	39
Şekil 4.17. Fazla Gerilim - Derişim ilişkisi.....	40
Şekil 4.18. PANI için frekans – G'G'' ilişkisi, c= %3 , T= 25 <sup>0</sup> C.....	41
Şekil 4.19. Kompozite ait frekans – G'G'' ilişkisi c= %3 , T= 25 <sup>0</sup> C.....	41

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

Çizelge 2.1.	Oksit ER akışkanlar .....	11
Çizelge 2.2.	Oksit olmayan inorganik materyaller.....	12
Çizelge 2.3.	Organik ve polimerik ER akışkanlar.....	13
Çizelge 2.4.	Homojen ER Maddeler.....	14
Çizelge 3.1.	Pomza partiküllerinin kimyasal bileşimi.....	24



## 1. GİRİŞ

### 1.1. Kuramsal Temeller

Maddenin akışı ve deformasyonu ile ilgili çalışmaları konu edinen bilim dalına reoloji denir. Elektroeoloji olayı ilk defa Winslow tarafından rapor edilmiştir (Winslow 1949). Elektroeoloji elektrik alanının sıvı dispersiyonlar üzerindeki etkisi ile ilgilenir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç veya sıvının katıya dönüşümü şeklinde kendini gösterir. Bu olayı etkileyen en önemli etmenler elektrik alan kuvveti, alan frekansı, kayma hızı ve sıvının derişimidir (Sanchis vd., 2004).

Bir elektroeolojik(ER) akışkan, yarı iletken bir materyalden hazırlanan taneciklerin yada yarı iletken sıvı bir materyalin yalıtkan bir ortama ilave edilmesiyle elde edilir. Reolojik özellikler (viskozite, kayma gerilimi, kayma modülü vb.) bir ER akışkanın elektrik alan kuvveti altında mm başına çeşitli kV elektrik alan kuvveti uygulanmasıyla tersinir olarak elektriksiz özelliklerinin değişim göstermesidir. ER akışkanların mekanik özellikleri, geniş bir aralıkta kolayca kontrol edilebildiği için, ER akışkanlar, çeşitli endüstriyel alanlarda elektrik ve mekanik ara birimler olarak kullanılabilir. Örneğin, otomotiv endüstrisinde debriyaj, fren ve titreşim sönümleyen sistemlerde, robotların kol eklemleri ve ellerinde, biyolojik uygulamalarda ayrıca askeri amaçla da kullanılabilceği rapor edilmektedir (Lengálová vd., 2003). ER etkiyi Winslow 1949 yılında ilk kez rapor ettikten sonra, potansiyel uygulama alanları itibariyle çoğu akademik ve endüstriyel alanlarda büyük ilgi toplamıştır. ER araçların, endüstriyel olarak uygulanabilirliği ve ER etkinin mekanizması üzerine literatürde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Ünal ve Price, 1994).

ER akışkanlar ve ER etkinin mekanizması ile endüstriyel olarak uyarlanabilir ER cihazların tasarımı konusunda geniş kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca ER akışkan ve mekanizmalarında çeşitli kapsamlı incelemelerle, 1949'dan önce elde edilen araştırma sonuçları özetlenerek yayınlanmıştır. Yakın geçmişte yapılan

deneysel sonuçlardan elde edilen yeni bulgular ER mekanizmasının önceki kavramlarını tamamen değiştirmiştir (Winslow, 1949 ; Block vd., 1988).

Winslow, yalıtkan yağların içerisinde asılı duran taneciklerinin üzerlerine uygulanan elektrik alan etkisi ile lif yapısı oluşturduklarını tespit etmiştir. Elektrotlar arasında mekanik olarak oluşan bu lif yapısının tersinir olduğunu belirtmiştir (Winslow, 1949).

Bu konudaki bir diğer çalışma Klass ve Martinek (1967) tarafından gerçekleştirilmiştir. Klass ve Martinek çalışmalarında silika ve kalsiyum titanat'ın yüzey aktif maddeler içeren düşük viskoziteli akışkanlar içerisinde oluşturdukları dispersiyonlar ile yaptıkları çalışmada, ER sıvılarda kayma incelenmesi olduğunu göstermişlerdir. Bunun dışında elektrik alanın etkisi arttırıldıkça ER çözeltinin viskozitesinin elektriksel bozunma, doyma veya tersinmez katılaşma olduğunda arttığını gözlemişlerdir. Bu sistemlerin sıkça katılaşma göstermesi, ER sıvıların elastik özelliklerinin daha fazla araştırılması gereği duyulmuştur. Klass ve Martinek ER sıvıların viskozitelerinin alan kuvvetinin karesiyle doğru orantılı olarak arttığını göstermişlerdir. ER akışkanlar üzerine yapılan çalışmaların sayısı 1980 yılından sonra oldukça artmıştır.

Block ve Kelly tarafından yapılan bir çalışmada metal yük-transfer komplekslerinin (örneğin, bakır ftalosiyanın) ve elektriksel olarak iletken polimerlerin (polianilin gibi) su ilavesi olmadan ER etkisi gösterdiğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışma ile aluminasilikat, poli(acene kinonlar) ve polipiridin tuzlarının kuru ER tanecikler olarak kullanılabileceklerini belirtmişlerdir (Block and Kelly, 1988).

Whittle, dipol-dipol etkileşimleri üzerine kurulmuş olan bir ER akışkanın bilgisayar simülasyonunu incelemiştir. Bu tür çalışmaların amacı, ER etkinin kuvvetine etki eden değişik faktörlerle ilgili nicel bilgi elde etmek ve bu işlemin kinetiğini anlayabilmektir. Bu model ile de tanecikler arasındaki kısa mesafeli etkileşimleri daha gerçekçi bir yaklaşımla karşılaştırabilmiştir. Whittle, ER yapıda lif oluşumunun gözlemlendiğini ve reolojik sonuçların nicel olarak deneysel olanlara benzerlik gösterdiğini

belirtmiştir. Ayrıca iletkenliğin ER etkideki muhtemel rolünü de kısaca değerlendirmiştir.

Bu çalışmada, polimer olarak PANI kullanılmıştır. PANI, çeşitli elektrokimyasal uygulamalarda en kullanışlı yarı iletken maddelerden biridir. Oluşturulduğu süspansiyon içerisinde oldukça yüksek dispersiyon kararlılığı sergilemektedir. Anilin kullanılarak PANI sentezinde çeşitli polimerizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; radikalik, emülsiyon, misel ve mikroemülsiyon polimerizasyonlardır (Hwang vd., 2003).

PANI-kil kompoziti süspansiyon ortamında radikalik yöntemle sentezlenmiştir. Polimer ve kompozitin IR spektroskopisi, SEM, X-ray, UV yöntemleri ile karakterizasyonu yapılmıştır. Polianilin ve kompozitin yalıtkan silikon yağ içerisinde çeşitli derişimlerde süspansiyonları hazırlanmıştır. Süspansiyonların elektroeolojik aktivite gösterdiği paralel elektrotlarla akış süreleri ölçülerek belirlenmiştir. Süspansiyonlarının ER aktivite üzerine kayma hızı, derişim, elektrik alan kuvveti ve viskozite'nin etkisi belirlenmiştir.

Ayrıca, ER akışkanların fiziksel mekanizması araştırılarak, dış elektrik alan kuvveti altında sıvı veya dielektrik süspansiyonun değişimi ile ilgili literatür bilgileri verilmiştir. ER etkide anahtar rol oynayan önemli fiziksel parametreler özetlenerek, ER akışkanda gerçekleşen fiziksel değişimler belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. Elektoreoloji Teorileri

ER ile ilgili yapılan araştırmaların büyük bir kısmında ER etkiyi geliştirebilmek için çeşitli modeller önerilmiştir. Fakat günümüze kadar elektoreolojik etkinin mekanizmasını açıklamaya yeterli bir görüş birliği sağlanamamıştır. Tanecik konsantrasyonu yüksek olan sistemlerde elektrik ve akış alanlarının etkileşimlerinden dolayı durum karmaşıktır. Akış veya elektrik alan etkisindeki derişik dispersiyonların davranışlarının tek başına modellenmesi dahi ciddi teorik, reolojik ve dielektrik problemleri içermektedir. Bu problemler kontrol altına alınabilmiş değildir.

Elektoreolojinin gelişmesinde ilk basamağın elektrik alanın etkisinde gerçekleşen polarizasyondan kaynaklandığı bilim adamlarınca belirtilmektedir. Daha sonra tanecikler ile elektrik ve kayma alanları arasındaki etkileşimler reolojik etkileşimleri oluşurmaktadır (Sanchis vd., 2004).

İlk olarak Winslow, ardından diğer araştırmacılar elektoreolojinin elektrik alan uygulandığında taneciklerin lif yapısı oluşturmasından dolayı gelişim kaydettiğini belirtmişlerdir. Taneciklerin lif yapısı oluşturmasını hareket serbestisine sahip taneciklerin polarlanmalarına ve bundan kaynaklanan zincir oluşumuna bağlamışlardır. Burada tanecikler arası etkileşimlerin rolünü belirtmişlerdir. Bu durumda akışkanın durgun haldeki yapıyı akış halinde koruduğunu söylemek oldukça zordur(Ünal ve Price, 1993).

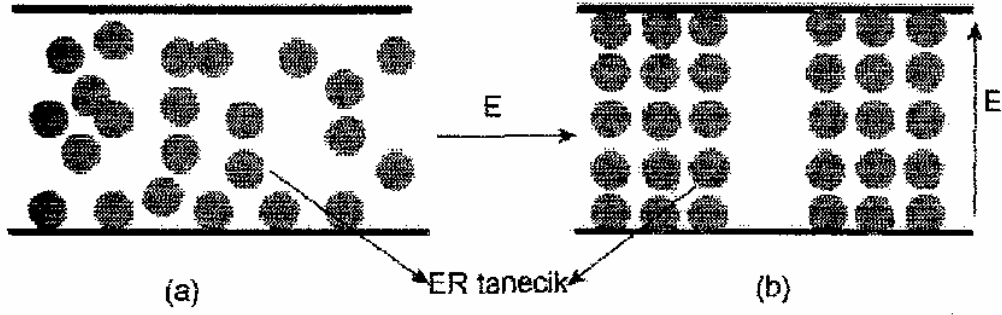


## 2.2. Elektroeolojik Akışkanlarda Yapı Oluşumu

ER akışkanların içerisindeki taneciklerin, elektrik alan uygulandığında lif yapısı oluşturdukları gözlenmiştir. Bu liflerin statik verimlilik gerilimine götüren mekanik bağlantıları sağladığı varsayıldığından ER olayında bunlar çok önemli kabul edilmişlerdir. Bununla birlikte elektrotlar kutuplaşıp ER akışkan akmaz iken elektrotlar arasında sağlanan uzaysal bağlantı, aşırı kayma gerilimini kendi başına açıklamaya yetmez. Bu akış esnasında hiçbir etkileşim veya assosiyasyon olmadığı anlamına gelmez, aksine bu tür yapıların akış esnasında elektrotlar arası boşluğu nasıl doldurabildiklerini anlamak zordur (Sakai, 1998).

Lif oluşumunun mikroskopik gözlemleri, elektrot takılmış olan çok dar mesafeli mikroskop yarıklarında ve seyreltik akışkanlarla yapılmıştır. En gerçekçi durumlarda akışın olduğu hücredeki elektrotlar arası mesafe 1 mm' dir. Bu tür assosiyasyon olaylarının doğrudan gözlenebilmeleri, ER akışkanlar optik ölçümler açısından oldukça bulanık olduklarından zordur. ER akışkanların durgun oldukları durumlarda, diğer elektrik sistemlerinde ve onların manyetik analoglarında olduğu gibi, akışkan içerisindeki taneciklerin elektrik alan etkisiyle polarlanıp zincir oluşturarak assosiyasyona uğramaları beklenilmektedir.

Kullanışlı ER etkiler gösterebilen sistemlerin karakterizasyonunda bir takım güçlükler gözlenir. Öncelikle, ER etki çözücü ve tanecikler arasındaki büyük dielektrik farkı ile yakından ilgilidir. Dış elektrik alanlar etkisi altında, bu fark süspansiyon içerisinde homojen olmayan elektrik alanlar meydana getirir. Bu da şekil 2.1.de görüldüğü gibi ER akışkanı zincir şeklinde assosiyeye olmuş veya lif şeklini almış yapılara götürür. ER aktivite gösteren süspansiyonların viskoziteleri elektrik alanın artışına bağlı olarak artar. Bunun nedeni süspansiyon içerisindeki elektriksel olarak uyarılmış tanecikler arasındaki etkileşimler ve hidrodinamik kuvvetlerdir.



Şekil 2.1. Bir ER akışkanda elektrik alan uygulandığında oluşan değişikliklerin şematik gösterilişi. Önce (a), ve sonra (b), iki paralel plaka elektrot arasında ER aktif tanecikler tutunur.

### 2.3. Süspansiyon Ortamının Özellikleri

ER akışkanlarda süspansiyon ortamının düşük iletkenliğe sahip olması gerekir. Süspansiyon ortamı olarak silisyum yağı, yemek yağı, gaz 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 sıvıların uygulama alanlarında 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 (polianilin ve polipirol) su ilavesi olmadan ER etkiler gösterdiğini iddia etmişlerdir. Ayrıca aluminasilikat, poli(acene-kinonlar), ve polipiridin tuzlarının da kuru ER tanecikler olarak kullanılacakları bilinmektedir (Block ve Kelly, 1988).

## 2.4. ER Tanecik Özellikleri

ER süspansiyonlar içerisinde bulunan tanecikler genellikle küresel bir yapıdadırlar ve büyüklükleri de submikronlardan mikronlara kadar değişebilmektedir. Tanecik büyüklüğü dağılımı çok geniş veya çok dar olabilmektedir. Literatürde, genellikle 100 mikrona kadar olması istenir. Çeşitli tanecik büyüklüğü aralığını kapsayan çok iyi karakterize edilmiş model sistemlerin olmayışı nedeniyle tanecik büyüklüğü dağılımının ER tepkiye etkisi üzerine ayrıntılı çalışmalar henüz yapılamamıştır. Küresel olmayan tanecikler de ER aktivite göstermektedir fakat bunlar çok az sayıdaki çalışmalara konu olmuştur .

Elektroreolojik davranış gösteren süspansiyonlar polar olmayan sıvılar içerisinde %5-50 hacim fraksiyonlarında polar olan katı tanecikleri içerebilir. Kural olarak, tanecik hacim fraksiyonu arttıkça kuvvet transfer kapasiteleri artar, fakat bununla birlikte yüksek hacim fraksiyonlarında çözeltinin doygunluğa eriştiği gözlenmiştir. Düşük elektrik alan kuvvetlerinde, süspansiyonların dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri hacim fraksiyonlarına ve mevcut suyun miktarına bağlıdır. Elektrik alan yokluğunda süspansiyonun viskozitesi genellikle poise-santipoise aralığındadır ve bütün koloidal süspansiyonlarda olduğu gibi bu özellik süspansiyonun hacim fraksiyonuna ve tanecik assosiyasyon derecesine bağlıdır. Elektrik alanın sıfır olduğu durumda süspansiyondan büyük bir elektroreolojik karşılık alabilmek için, derişimin çok yüksek olmadığı kararlı süspansiyona ihtiyaç vardır. Elektroreolojik akışkan hazırlamadaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında koloidal kararlılığın muhafaza edilebilememesidir.

Kullanışlı ER etkiler gösterebilen sistemlerin karakterizasyonun da bir takım güçlükler gözlenir. Öncelikle, ER etki çözücü ve tanecikler arasındaki büyük dielektrik farkı ile yakından ilgilidir. Dış elektrik alanların etkisi altında, bu fark süspansiyon içerisinde homojen olmayan elektrik alanları meydana getirir, bu da ER akışkanı zincir şeklinde assosiyeye olmuş veya Lif şeklini almış yapılara götürür. ER aktivite gösteren süspansiyonların viskoziteleri elektrik alanındaki artışa bağlı olarak

artar. Bunun nedeni süspansiyon İçerisindeki elektriksel olarak uyarılmış tanecikler arasındaki etkileşimler ve hidrodinamik kuvvetlerdir .

Elektroreolojik akışkanların kimya, fizik, elektronik, optik, materyal bilimi ve biyomedikal alanlarında çok önemli uygulama alanları vardır (Xia ve Wang, 2003). Bu konudaki patent literatür bir süre daha araştırma ve hesaplamalar yapıldıktan sonra yukarıdaki alanlarda ER akışkanlara ilginin daha da artacağını göstermektedir. Bu alandaki sınırlayıcı ana faktör hala bir bütün olarak çok iyi performans gösterebilecek ER akışkanların sentezlenememiş olmasıdır. Bazı uygulama alanlarında özellikle düşük sıfır alan viskozitesi (elektrik alan uygulanmadığı andaki akışkanın viskozitesi) olan ve yüksek verim gösteren sıvılara ihtiyaç vardır. Bu akışkanlarda aranan bir başka özellik de çökeltme oluşturmaya karşı koloidal kararlılık gösterebilmeleri, artık bırakmamaları ve yüksek sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir kararlılıkta olabilmeleridir (Lengálová vd., 2003).

## 2.5. ER 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  $\pi$  bağı bulunduran organik ve polimerik yarı iletken maddeler ve elektronik iletken materyaller şeklinde sıralanabilir. Sıvı faz olarak genellikle poli(dimetilsiloksan) 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, iyi bir ER akışkan; (a) 2 kV/mm elektrik alan kuvveti altında istenildiğinde 5 kPa'dan daha yüksek bir gerilime sahip olmalıdır, (b) ER akışkan  $20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  den daha az bir akım yoğunluğuna sahip olmalıdır, (c) geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmalı ( $-30^\circ\text{C}$  ile  $+120^\circ\text{C}$  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, çökeltme ve maddenin bozunması gibi problemleri olmamalıdır, (f) Ayrıca iyi bir ER akışkan için tanecik

boyutu 0,1 ile 100  $\mu\text{m}$  ve uygulanan elektrik alan kuvveti 0,5 ile 3 kV/mm olmalıdır (Klingenberg vd., 1989).

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 eksikliklerdir. 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 geliştirmiştir. 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. Yang ve Huang (1997) ve Inoue vd. (1996) sıvı kristallerde ER etkinin artışı tespit ettiler. Sıvı kristal ER sistemlerin mekanizması üzerine önemli çalışmalar Tajiri ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Tajiri vd.,1997). Homojen yeni ER akışkanların ER akışkan türleri için ümit verici olduğuna inanılır. Bununla birlikte, bu sistemler için sıfır elektrik alan kuvveti altındaki yüksek viskozite ve sıvı-sıvı ayrımı gibi problemler rapor edilmiştir (Ha ve Yang,2000).

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

### **2.5.1. Sıvı Sürekli Faz**

Sıvı sürekli faz olarak ER akışkanlarda genellikle bir yalıtkan yağ kullanılır. Stangroom (1983), ideal bir dispersiyon ortamı olabilecek maddeler için şunları

sıralamıştır. Yüksek kaynama noktası ve düşük donma noktası olmalı, diğer bir ifadeyle kolay buharlaşmamalı ve geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmalı, sıfır elektrik alan kuvvetinde süspansiyon viskozitesi düşük olmalı, yüksek dayanıklılığa ve yüksek bozunma gerilimine sahip olmalı, yüksek elektrik alan kuvvetine dayanıklı olmalı, yüksek yoğunluğu olmalıdır, kati 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 (Winslow, 1953).

Günümüzde yağ materyalleri olarak; silikon yağı, bitkisel yağ, mineral yağı, parafin, gaz yağı, klorlanmış hidrokarbon, transforme yağı vb. gibi yüksek yoğunluklu yağlar, floro yada fenil silikon yağları kullanılmaktadır.

## **2.5.2. Dağılan Faz**

### **2.5.2.1. Katı Tanecikler - Heterojen ER Materyaller**

#### **i) İnorganik Oksit Materyaller**

Bazı metal oksitleri yada seramik materyallerinin 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.

Çizelge 2.1. Oksit ER akışkanlar

<b>Dispers edilen faz</b>	<b>Dispersiyon ortamı</b>	<b>Eklentiler</b>
Piezoelektrik seramik	Mineral yağı yada ksilen	Su yada gliserol oleat
Demir(II/III) oksit	Petrol fraksiyonları yada dibütilebekat	Su yada yüzey aktif maddeler
silika	Gaz yağı, dibütilebekat, mineral yağı, silikon yağı	Su ve sabun
Kalay (II) oksit	Petrol fraksiyonları	Su ve yüzey aktif maddeler
Titanyum dioksit	Mineral yağı yada p- ksilen veya poli fenilmetilsiloksan	Su ve gliserol oleatları
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MgO <sub>2</sub> , ZnO, MnO <sub>2</sub> , CoO, ZrO <sub>2</sub> vb.	Mineral yağı	Polibütilsüksimid

## ii) Oksit Olmayan İnorganik Materyaller

Oksit olmayan İnorganik ER akışkanlar 1980'li yılların başından 1990'lı yılların başına kadar oldukça gelişmiştir. Bu tur akışkanlar su içerdikleri zaman aşırı büyük ER etki verirler (ER etki su varlığında arttığı için). Bunlardan bazıları; aluminasilikatlar, özellikle zeolit grubu materyalleri gibi büyük bir önem taşımaktadır. Çizelge 2.2. de oksit olmayan inorganik ER akışkanların çoğu verilmiştir.

Çizelge 2.2. Oksit olmayan inorganik materyaller

<b>Dispers edilen faz</b>	<b>Dispersiyon ortamı</b>	<b>Eklentiler</b>
Aluminasilikat	Silikon veya hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Kristal zeolit (M <sub>(x/n)</sub> ((AlO <sub>2</sub> ) <sub>x</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>y</sub> ).mH <sub>2</sub> O, O,M : metal katyonu	Silikon yada yüksek dielektrik sabiti olan hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Zeolit	Silikon veya hidrokarbon yağı	Yüzey aktif madde
Mikro-glass yapılar, aluminasilikat %1-25 kristal suyu	Transformer yağı,silikon yağı	Polihidroksil siloksan
Silikat, silika-alumina	Mineral yağı, polialkiline, parafin mineral yağı polifenil fosforik asit esteri	Sülfonlar , fenatlar, fosfonatlar, süksinik asit vb.
LiN <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SO <sub>4</sub>	Silikon yağı	Blok kopolimer
BN, AlN, B <sub>4</sub> 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 tanecikler çok sert ve aşındırıcıdır. Organik ve polimerik materyaller tam olarak incelendiğinde inorganik materyallerden daha iyi olduğu görülür. Bazı organik ve polimerik ER akışkanlar Çizelge 2.3. 'de verilmiştir.



Çizelge 2.3. Organik ve polimerik ER akışkanlar

<b>Dispers edilen faz</b>	<b>Dispersiyon ortamı</b>	<b>Eklentiler</b>
Acene-kinon radikal polimeri	Klorlanmış hidrokarbon	
Çapraz bağlı polivinil silan	Florlanmış silikon yağı	elektrolitler
Selülozik maddeler	Transformer yağı, bitkisel yağlar vb.	elektrolitler
Polifenil	Karbon esaslı yağ karışımları	Aromatik hidroksil bileşikleri
Polivinilidenhalojenürler, polipirol	Transformer yağı, bitkisel yağlar vb.	
Polianilinler, iyonik olmayan maddeler	Klorlanmış parafin yağı, silikon yağı, mineral yağ, vb.	Hidroksil ve karboksil içeren moleküller
Sodyum karboksilmetil, dekstran, divinilbenzen içeren polimetakrilik asit	hidrokarbonlar	Su
Nişasta	Mineral yağı, silikon yağı su, transformer hidrokarbon yağı,	su
Oksitlenmiş poliakrilonitril	Silikon yağı	
Karbonlu aromatik sülfonik asit tade tuzu	Floro silikon yağı, modifiye edilmiş silikon yağı	

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

### 2.5.2.2. Sıvı Maddeler - Homojen ER Maddeler

Homojen bir ER akışkan, bir sıvının bir yalıtkan yağ içerisinde dağıtılması ile oluşturulur. Bu tür ER akışkan heterojen ER akışkan 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 kullanıştı değillerdir. Sıvı kristal polimerlerin oluşturduğu ER akışkanların büyük bir kısmı homojendir. Bazı homojen ER akışkanlar Çizelge 2.4. 'te görülmektedir.

Çizelge 2.4. Homojen ER maddeler

<b>Dispers edilen faz</b>	<b>Dispersiyon ortamı</b>	<b>Eklentiler</b>
Alüminyum sabun	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	

### 2.5.3. 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.

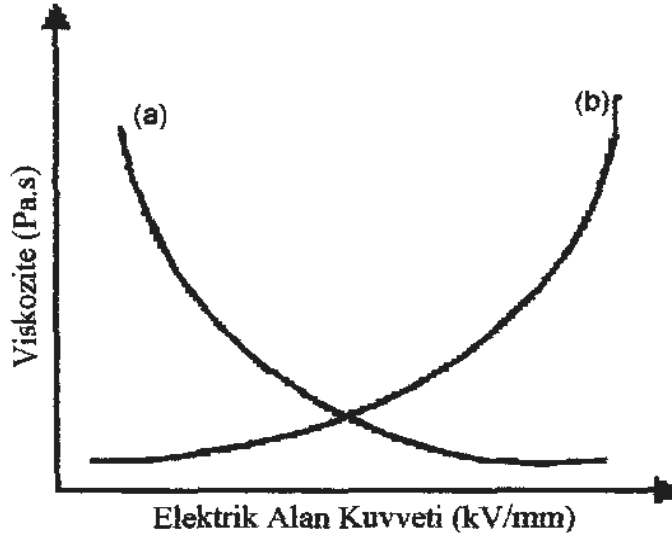
Suyun yanında, alkol, dimetilamin, asetamid, gliserin vb. gibi diğer polar sıvılar yaş ER akışkanlarda aktiviteyi önemli ölçüde artırırlar. Ortama küçük miktarlarda ilave edilen polar sıvılar dispers edilen taneciklerin dielektrik sabitinin önemli ölçüde artmasına neden olur ki bu da gözlenen ER etkinin yürütücü kuvvetidir.

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

## **2.6. 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 (Boissy vd.1995), yaptıkları çalışmalarında polimetilmetakrilat (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 dolayı negatif ER etki olarak adlandırıldı. Wu ve Conrad teflon/silikon yağ sisteminin (Wu ve Conrad,1998), Trlica ise magnezyum hidroksit/silikon yağ sisteminin (Trlica,1996) negatif ER etki gösterdiğini rapor etmişlerdir. Sıvı kristal polisiloksanın, 4-(pentiloksi)-4-bifenil karbonitril içerisinde pozitif ER etki, bunun yanında N-(4-metoksibenziliden)-4-bütülanilin içerisinde ise negatif ER etki göstermesi, dispersiyon ortamının ER karşılık vermede önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Podszun, 1996).

Pozitif ve negatif ER etki UV etkisinde artış gösterebilmektedir (Carreira,1971). Bu davranış foto-ER etki olarak adlandırılır. Komada, TiO<sub>2</sub>'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 olduğunu ortaya koymuştur. Foto taşıyıcılar TiO<sub>2</sub>'in elektriksel özelliklerinin değişmesine ve ER performansın artmasına neden olur (Komada, 1998).



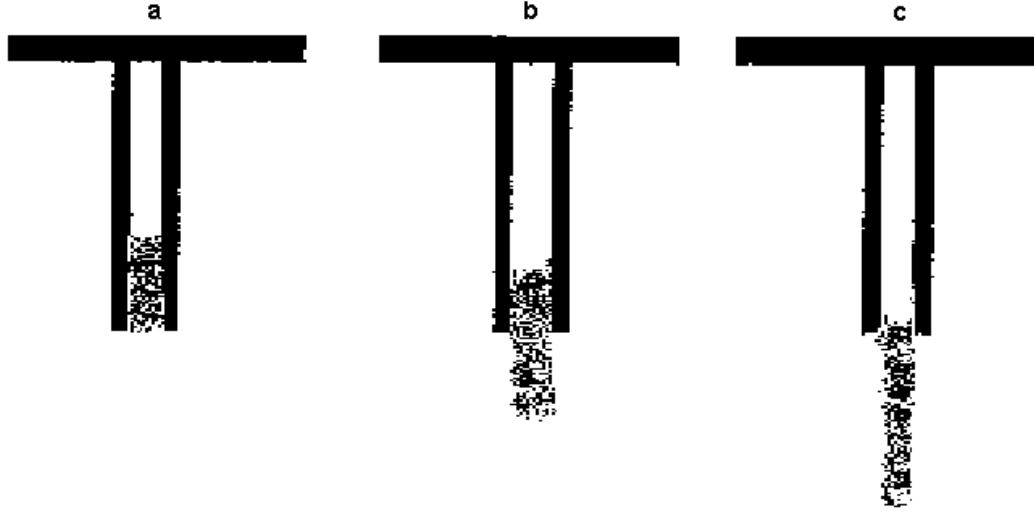
Şekil 2.2.Viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişiminin şematik gösterimi  
(a) negatif ER etki (b) pozitif ER etki

## 2.7. Elektoreoloji Olayını Etkileyen Faktörler

Elektoreoloji olayı ya sıvının akmaya karşı göstermiş olduğu direnç yada sıvının katıya dönüşümü şeklinde kendisini gösterir. Bu olayı etkileyen en önemli faktörler elektrik alan kuvveti, kayma hızı, sıcaklık, promoter ve sıvının bileşimidir.

### 2.7.1. Elektrik Alan

Elektoreolojik akışkana elektrik alan uygulandığında tanecikler iletkenliği sağlar ve zincir oluşumu veya lif yapısı gözlenir. Partiküllerin polarlanması sonucu gerçekleşen bu olay elektoreoloji olayı olarak ifade edilir. Genellikle 0-10 kV arasında doğru akım kullanılır. Elektoreolojik akışkanlar bu davranışlarını elektrotlar arasına elektrik alan uygulandığında sergileyebilirler. Bu olay tersinir olup, elektrik alan uygulanınca akışkan katılaşır. Uygulama sonlanınca akışkan tekrar sıvı hale dönüşür meydana gelen bu olay Şekil 2.2.'de görülmektedir. Bir akışkana elektrik alan uygulanınca katılaşır ve yüksek kayma geriliminde bu katı halini muhafaza edebiliyorsa buna "Bingham" türü plastik davranış denir(Espin vd., 2004).



Şekil 2.3. ER sıvıların akış davranışları üzerine elektrik alanının etkisi (a) yüksek elektrik alan uygulandığında sıvı akmaya karşı direnç göstermektedir; (b) ve (c) elektrik alanı uygulanmadığında sıvının akışını göstermektedir

### 2.7.2. Kayma Hızı

Viskoz akmada deformasyon kayma hızı ile kayma gerilimine bağlıdır. Kayma hızı, kayma gerilimi ile doğru orantılıdır. Bu orantının sabiti ise viskozite değerlerini 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. Pek çok durumda kayma hızındaki artış ile viskozitenin azaldığı görülmüştür. Bu duruma "kayma incilmesi" veya geçici viskozite kaybı denir. Kayma hızındaki artış ile viskozitenin artış gösterdiği materyaller de vardır. Bu tür sıvılara da kayma kalınlaşması gösterenler yada dilatant akışkan denir (Block, 1998).

### 2.7.3. Sıcaklık

Elektroreolojik akışkan kuru halde iken aktivite gösteriyorsa akışkanlığı sadece yağın viskozitesi ile sınırlıdır. Su veya başka bir promoter ile aktive ediliyorsa bazı problemler söz konusudur. Örneğin su ile aktif ediliyorsa, 70 °C 'nin üstünde suyun

buhar basıncı artar ve kuruma olur. 0 °C 'nin altında uzama problemi aktivitelerin kaybolmasına neden olur. Sistem kuru halde aktivite gösteriyorsa bu sorunlar yaşanmaz. Sıcaklık arttıkça hem sulu hem de kuru halde aktivite gösteren akışkanlarda kayma gerilimi azalır. Su ile aktive edilen kapalı sistemlerde buhar basıncı artışından dolayı patlama olması söz konusu olabilir (Hao, 2002).

#### **2.7.4. Derişim**

Elektroreolojik akışkanlar tek başlarına sıvı olmayıp bir yağ içinde dağılmış tozlar halinde bulunurlar. Kullanılan yağların yalıtkan olması gerekir. Diğer parametreler ise ER aktif tozların türü ve yağ içerisinde dağılacak miktardır. Yağ içerisinde dispers olmuş tozun miktarının ölçüsü tanecik hacim fraksiyonudur. Doğal olarak yağ içerisinde dispers olmuş taneciklerin elektroreolojik aktivitesi arttıkça kayma hızı azalır. Fakat bununla bir limiti vardır. Çok derişik olduğunda ise dispersiyon pasta halini alır ve Koloidal kararsızlık göstermeye başlar. Elektrik alan kuvveti sıfır iken dahi katı halde bulunabilir.

ER davranış gösteren süspansiyonlar polar olmayan sıvılar içerisinde %5-50 hacim fraksiyonlarında polar olan katı tanecikleri içerebilirler (Davis, 1992). Kural olarak, tanecik hacim fraksiyonu arttıkça kuvvet transfer kapasiteleri artar. Fakat bununla birlikte yüksek hacim fraksiyonlarında çözeltinin doygunluğa eriştiği gözlenir. Düşük elektrik alan kuvvetlerinde, süspansiyonların dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri hacim fraksiyonlarına ve mevcut suyun miktarına bağlıdır. Elektrik alan yokluğunda süspansiyonun viskozitesi genellikle poise (Pas)-santipoise (mPas) aralığındadır ve bütün koloidal süspansiyonlarda olduğu gibi bu özellik süspansiyonun hacim fraksiyonuna ve assosiyasyon derecesine bağlıdır. Elektrik alanın sıfır olduğu durumda süspansiyondan büyük bir elektroreolojik karşılık alabilmek için, derişimin çok yüksek olmadığı kararlı süspansiyona ihtiyaç vardır. Elektroreolojik akışkan hazırlamadaki güçlüklerden birisi de uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında koloidal kararlılığın muhafaza edilememesidir.

### 2.7.5. Promoter

Elektroreolojik tanecikler bir taraftan elektriksel bozunmayı engellemek için dispersiyon ortamı olarak iletken olmayan sıvılara ihtiyaç gösterirken diğer taraftan çoğu zaman ER etkisini arttırmak veya bazı durumlarda ER etkisini gözleyebilmek için eser miktarda suya veya başka polar sıvılara ihtiyaç gösterirler. Bu polar sıvılara "Promoter" adı verilir. Bu sıvılar polarizasyonu sağlar ve akışkanı aktif hale getirir. ER akışkanlarda süspansiyon ortamının düşük iletkenliğe sahip olması gerekir. Süspansiyon ortamı olarak silisyum yağı, yemek yağı, gazyağı, mineral yağı ve halojenlenmiş hidrokarbonlar olmak üzere pek çok sıvılar kullanılmıştır. 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 elektroreoloji etkisi oluşturabilmek için organik taneciklerin oluşturduğu süspansiyonların pek çoğu süspansiyon ortamında küçük miktarlarda (ppm mertebesinde) suyun varlığına ihtiyaç gösterirler. Bununla birlikte, suyun varlığı süspansiyon ortamının iletkenliğini artırır ve ER sıvıların uygulama alanlarında güçlükler doğurur.

Bu durum ER akışkanların bazı potansiyel uygulama alanları için ciddi sınırlayıcı bir etkidir. Bu aşamada son zamanlarda sentezlenmiş olan bazı kuru, ER aktivite için eser miktarda suya ihtiyaç göstermeyen ER akışkanların istenen bütün özellikleri göstererek yaş ER aktivite için eser miktarda suya ihtiyaç gösteren akışkanların yerini alıp alamayacağı henüz açıklanabilmiş değildir.

### 2.8. Elektroreolojik Akışkanların Kullanım Alanları

Elektroreolojik akışkanların hidrolik kontrol sıvıları olarak titreşen damperli sistemlerde, robotlarda ve otomotiv sanayiinde çok önemli potansiyel uygulama alanları vardır. Bu alandaki sınırlayıcı ana faktör bir bütün olarak çok iyi performans gösterebilecek ER akışkanların sentezlenememiş olmasıdır. Bazı uygulama alanlarında özellikle düşük sıfır alan viskozitesine sahip ve yüksek randıman gösteren sıvılara ihtiyaç vardır. Bu akışkanlarda aranan diğer bir özellik ise çökelek oluşturmaya

karşı koloidal kararlılık gösterebilmeleri, artık bırakmamaları ve yüksek sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir kararlılıkta olabilmeleridir(Shulman, 1981 ; Rejon, 2002).

Winslow, yalıtkan yağlarda asılı duran taneciklerin üzerlerine uygulanan elektrik alan etkisi ile lif yapısı oluşturduklarını gözlemiştir. Elektrotlar arasında mekanik olarak oluşan bu yapının tersinir olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte ER sıvıların potansiyel uygulama alanı olarak da araba debriyajlarını, frenlerini ve subablarını göstermiştir.



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Monomer,

Anilin; 20,44 mmHg ve 66 °C sıcaklıkta vakumda destillendi ve kullanılmaya kadar 0-5 °C de derin dondurucuda saklandı.

Başlatıcı,

Amonyum persülfat; Vakum etüvde kurutularak kullanıldı.

Diğer kimyasallar,

1- Metil-2- Prolidon ( $C_5H_9NO$ ) ( $d=1.03$  g/mL), Hidroklorik asit (HCl) (%37,  $d= 1.18$  g/mL), etanol, silikon yağı ( $\eta = 2000$  mPas,  $d = 0,965$  g/cm<sup>3</sup>) analitik saflıkta olup temin edildikleri şekilde kullanıldı.

##### 3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Reometre; Thermo Haake RS600 (0,001-1500 s<sup>-1</sup> aralığında kayma hızı sağlayabilen, 35 mm çaplı paralel plate ) tork reometre.

UV- spektrometresi; UV – 3000(Shimadzu) spektrofotometre

Scanning Electron Microscopy (SEM); S-4300, Hitachi

X- ray; Rigaku DMAX 2500 difraktometre

FT-IR spektrometresi; Mattson model -1000 FT-IR spektrofotometre (KBr ile hazırlanmış pellet kullanıldı.)

Vakum etüvü; Heraeus VT 5042 Rk Model

Yüksek gerilim güç kaynağı; Fug HCL-14 0-12.5 kV güç üretebilen.

### 3.1.3. Deneyde Kullanılan Aletler

Polimer sentez düzeneği (500 mL üç boyunlu pyreks balon, geri soğutucu), termometre, damlatma hunisi, su banyosu, ısıtıcı manyetik karıştırıcı, azot tüpü, vakum pompası, vakum destilasyonu düzeneği, Mettler analitik terazi ( $\pm 0.0001$  hassasiyetli).

## 3.2. METOD

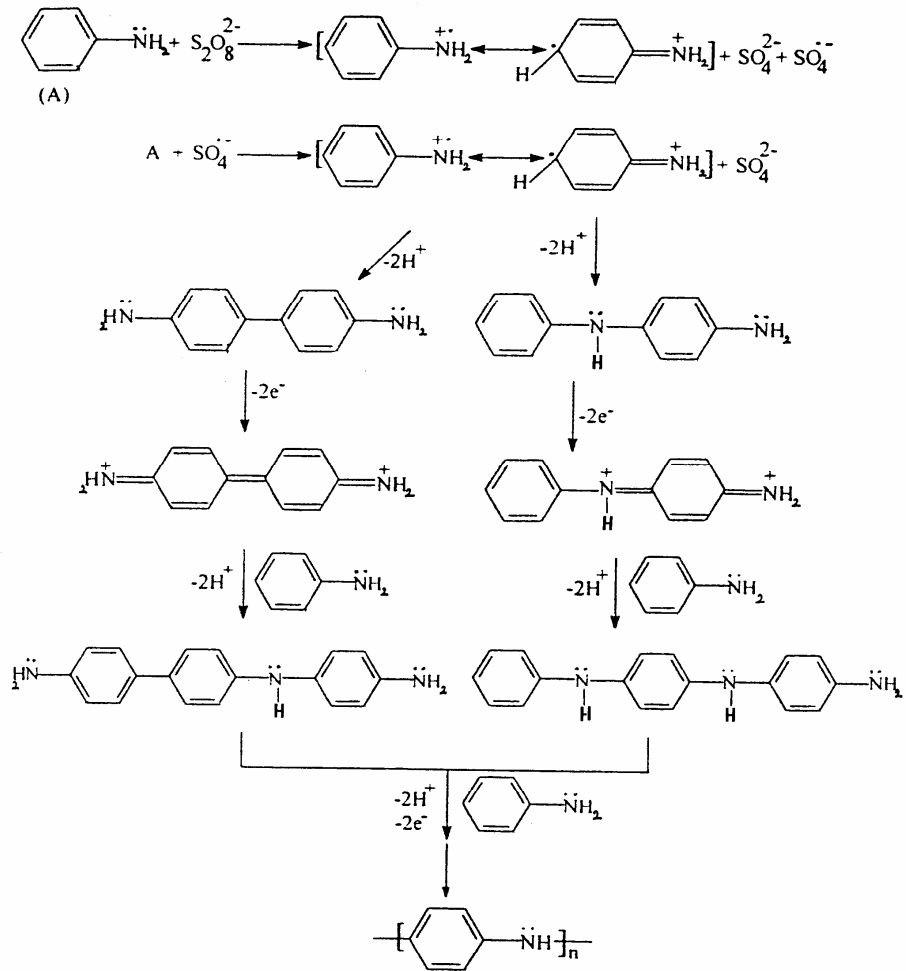
### 3.2.1. Monomer Saflaştırılması

Monomerin saflaştırılması, vakum destilasyonu yöntemiyle yapıldı. Anilinin kaynama noktası  $184^{\circ}\text{C}$ , destilasyon anında barometreden okunan değer 20,44 mmHg idi, ilk destilatın geldiği sıcaklık  $66^{\circ}\text{C}$  olarak okundu.

### 3.2.2. Polimer Sentezi

$n_{\text{monomer}}/n_{\text{tuz}} = 2$  oranında olacak şekilde üç boyunlu balona 3.7 mL anilin ve 250 mL 2 M HCl konuldu. Üzerine 4,56 g  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ , 2 M HCl de çözülerek hazırlanmış çözelti damlatma hunisinden damla damla ilave edildi. Bu esnada sisteme azot gazı ilave edildi. Tepkimeye geri soğutucu altında  $0-5^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta 24 saat boyunca devam edildi. Bu süre sonunda karışım vakum sisteminde süzülerek çözücü uzaklaştırıldı. 2 M HCl ve saf su ile yıkandıktan sonra elde edilen polimer, vakum etüvünde  $60^{\circ}\text{C}$  de 300 mbar basınç altında 2 gün kurutuldu.

Anilinin, amonyum persülfat tuzu kullanılarak polimerleşmesi aşağıdaki mekanizmaya göre gerçekleşmiştir (Gök, 2002);



### 3.2.3. Kompozit Sentezi

Kompozit hazırlanmasında Kayseri-Talas yöresine ait aşağıda kimyasal bileşimi verilen pomza kullanılmıştır. 2 M HCl üzerine 6 g lineer alkil benzen sülfonik asit (LABSA ) ilave edildi. Üzerine 15 g pomza yavaş yavaş 10 dakikada ilave edildi. Sistem düzenli ve iyi bir koloidal süspansiyon oluşması açısından 2 saat karışmaya bırakıldı. Bu süre sonunda sisteme azot gazı vermeye başlandı, gaz geçişi esnasında 20 mL 2M HCl de çözülmüş amonyum persülfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) süspansiyon içerisine damla damla ilave edildi. Sistem 5 dakika karıştırıldıktan sonra polimerizasyon sıcaklığı 50 °C ye getirilerek sisteme vakumda damıtılmış olan anilin monomeri (8 mL) balonun diğer kolundan damla damla eklendi. Polimerizasyona 8 saat devam edildi. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla kompozit sırası ile su ile ön yıkama, LABSA nın ortandan uzaklaştırılması amacıyla etanol ile karıştırarak 20 dakikada yıkama, tekrar etanol ile yıkama, 2 M HCl ile yıkama son olarak ta tekrar su ile yıkama işlemleri yapıldı. Yıkanan kompozit 60 °C de normal etüvde saat camı üzerinde 24 saat kurutuldu. Daha sonra 60 °C 300 mbar da vakum etüvünde 2 gün kurutuldu.

Çizelge 3.1. Pomza taneciklerinin kimyasal bileşimi( İlhan, 1996)

Bileşik	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Diğer
%	74,0	15,6	6,1	2,4	1,9

Pomza adı İtalyancadan gelmektedir. Ülkemizde ise, sünger taşı, nasır taşı, hışır taşı, kürek gibi adlarla bilinmektedir. Pomza volkanik bir kayaç türü olup, asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetlerle oluşmuştur. Volkanik bir cam yapısındadır. Her iki pomza türü de oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmışlardır. Gözenekler hiç birbirleriyle bağlantılı değildir.

Kimyasal olarak tesirsiz ve %75'e varan bir silika muhtevasına sahiptir. Pomza çöktükten sonra tekrar dağılabilir. Fakat sonuçta tabakalaşır ve pekişir. Pomza yarı

değişken bir madde olarak tedrici aşınmaya uğrayabilir, ve sonuçta iri taneli kile dönüşür.

Pomza ülkemizde bol miktarda bulunan ucuz bir maddedir. Geçmişte çok az kullanılan pomza, günümüzde endüstrinin gelişimi ile birlikte tüketimi ve kullanım alanları hızla gelişmektedir. En önemli kullanım alanlarını inşaat sektörü, çeşitli sanayi sektörleri, çevre ve tarım sektörleri oluşturmaktadır. Tarım sektöründe, toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini ıslah etmek amacı ile kullanılmaktadır.

İnorganik taşıyıcıların biyoteknolojide kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Önceleri mikroorganizmaların üzerine tutunduğu destek yada taşıyıcı olarak pomza (sünger taşı), seramik ve aktif kömür bilinçsizce kullanılmıştır (Phillips ve Poon, 1988).

İnorganik kökenli olan pomzanın inert oluşu, gözenekli bir yapıya sahip oluşu ve çevreye zehirli etkisinin olmayışı, taşıyıcı olarak kullanılmasını sağlayan başlıca özellikleridir. Pomza, birçok alanda kimyasal taşıyıcı olarak kullanıldığı gibi su arıtım teknolojisinde fosfat giderici, fenol içeren endüstriyel atık suların biyokimyasal arıtımı, topaklaşmayı önlemek amacıyla antikek maddesi, inşaat sektöründe hafif yapı maddesi, tekstilde taş yıkama maddesi olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

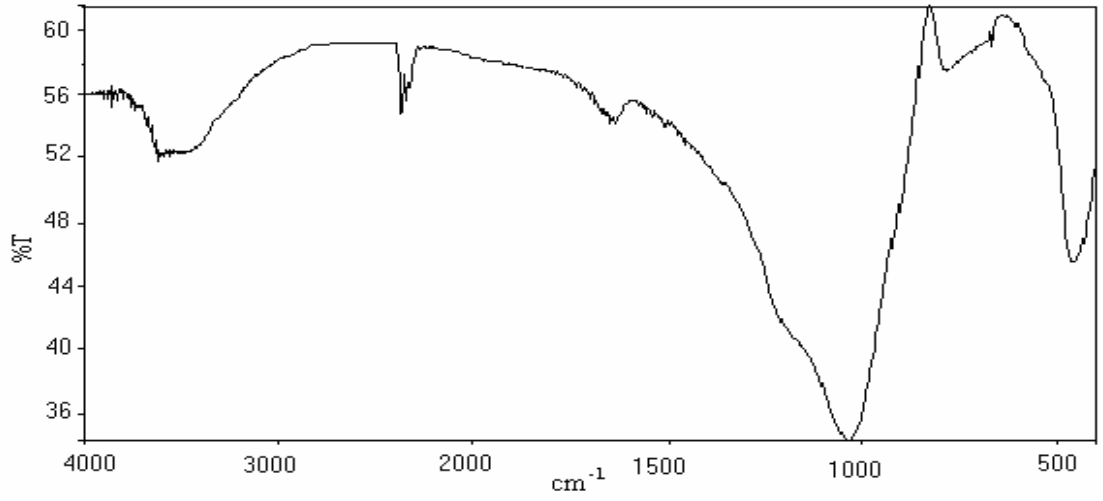
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Karakterizasyon

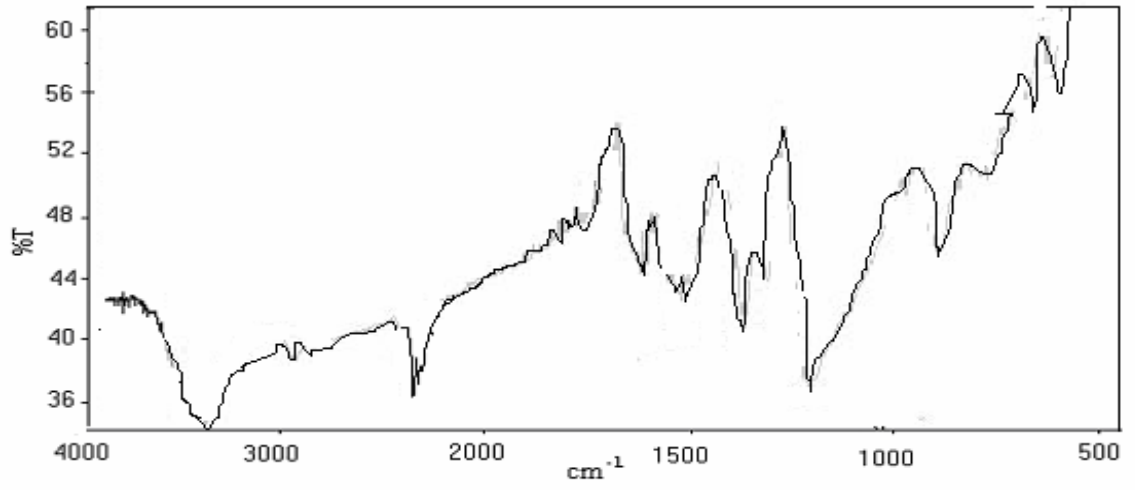
#### 4.1.1. FT-IR

Pomza, PANI ve kompozitin FT-IR spektrumları alındı. KBr ile hazırlanan karışımlara ait spektrumlar, SDÜ merkez araştırma laboratuvarında alındı.

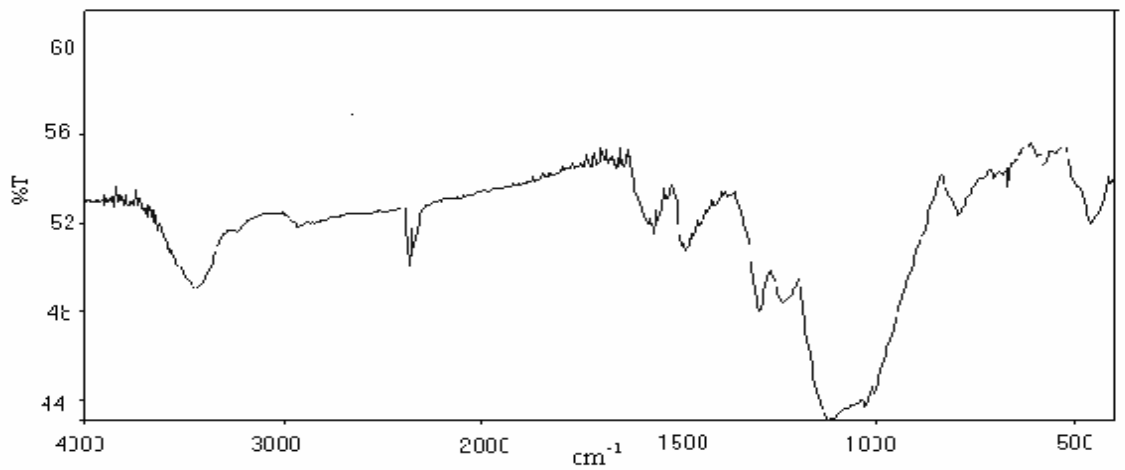
Şekil 4.1. de pomzanın FT-IR spektrumu görülmektedir. Spektrumda  $490\text{ cm}^{-1}$ ,  $1040\text{ cm}^{-1}$  ve  $2300\text{ cm}^{-1}$  deki pikler pomzadaki silikat yapılarına ait karakteristik titreşimleridir. Şekil 4.2. de, polianilin FT-IR spektrumu verilmiştir.  $3400\text{-}3450\text{ cm}^{-1}$  deki bant N-H gerilme titreşimlerine,  $1467\text{ cm}^{-1}$  deki pik N-H bükülme titreşimlerine,  $1296\text{ cm}^{-1}$  deki pik C-H bükülme titreşimlerine,  $1130\text{ cm}^{-1}$  deki pik C-N gerilme ve C-C gerilme titreşimlerine ve  $2900\text{-}3050\text{ cm}^{-1}$  deki pik C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. Şekil 4.3. de ise kompozite ait IR spektrumu görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi hem pomza hem de PANI 'ye ait pikler ( $3050\text{ cm}^{-1}$  ve  $1130\text{ cm}^{-1}$ ); PANI, pomza tabakaları arasında polimerleşmesinden dolayı daha yaygın bir durumda görülmektedir (Wu vd., 2000 ; Deng vd., 2003).



Şekil 4.1. Pomza FT-IR spektrumu



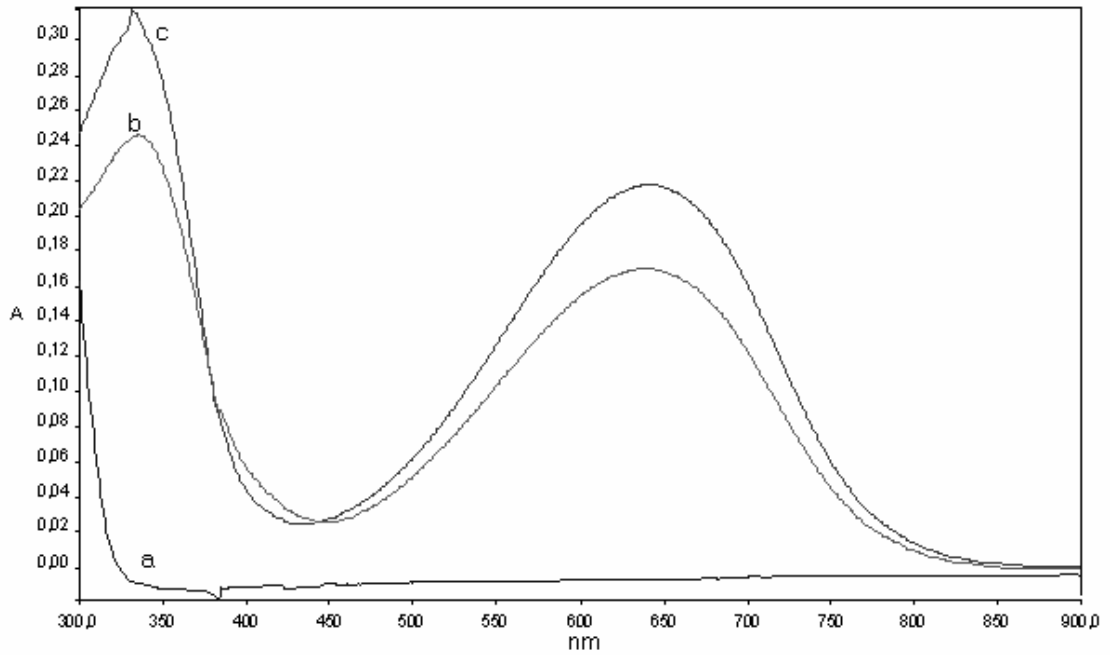
Şekil 4.2. PANI FT-IR spektrumu



Şekil 4.3. Kompozit FT-IR spektrumu

#### 4.1.2. UV Analizleri

1-Metil- 2 – Prolidon çözücüsünde çözülerek hazırlanan pomza, polianilin ve kompozitin UV spektrumları 300-900 nm arasında tarama yapılarak alındı. Spektrumlar, SDÜ merkez araştırma laboratuvarında alındı. Spektruma baktığımızda PANI' nin kararlı emeraldin yapısında olduğu görülmektedir. Gözlenen absorpsiyon değerleri emeraldin yapısındaki absorpsiyon yapan türlere ait dalga boylarıdır. Şekil 4.4. de hem polianilin hemde kompozitin spektrumlarında 336 nm de aromatik  $\pi-\pi^*$  geçişleri 640 nm de ise  $n-\pi^*$  geçişlerine ait pikler söz konusudur. Pomza verilen dalga boylarında diğer killer gibi UV spektrumu vermemektedir (Deng vd., 2003 ; Wu, 2000).



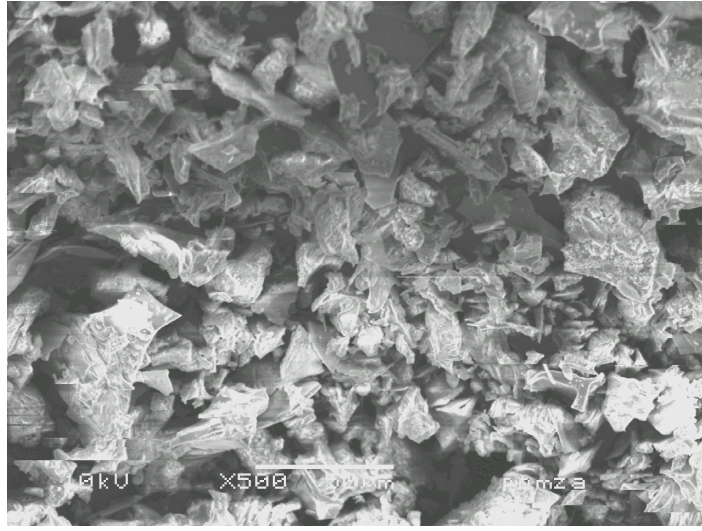
Şekil 4.4. (a) Pomza (b)polianilin ve (c) kompozitin UV spektrumu

#### 4.1.3. SEM Analizleri

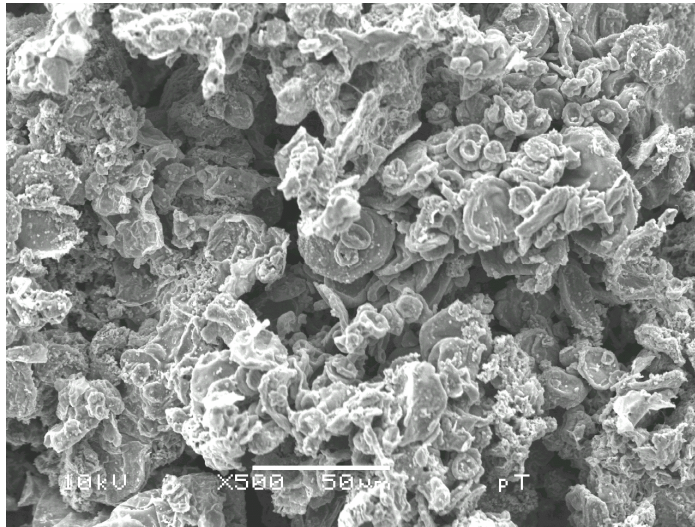
Pomza, PANI ve kompozit için Taramalı Elektron mikroskobu fotoğrafları alınarak yüzey yapıları aydınlatıldı. Şekil 4.6.da Polianilin küresel yapıda ince tanecikli süngerimsi bir morfoloji gösterirken Şekil 4.5. de pomza daha iri yapılara sahip



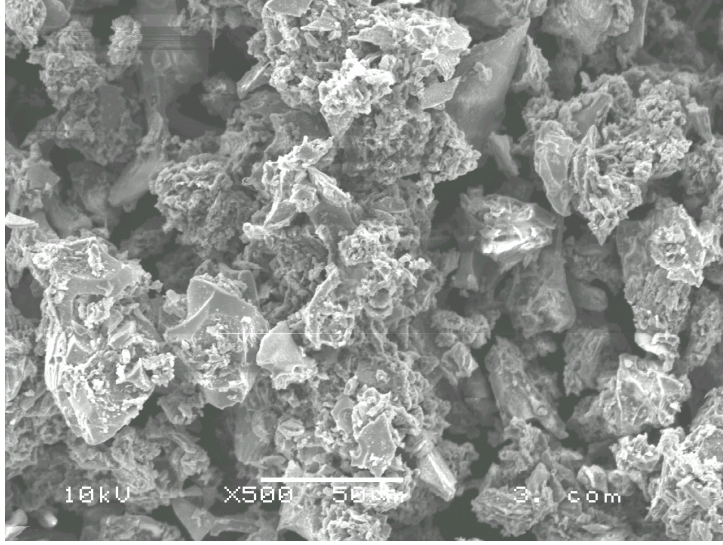
taneciklerden oluşmaktadır(İlhan, 1996). PANI/pomza kompozitinin SEM görüntüleri genel olarak düzensiz partiküllerden oluşan yapılar göstermektedir (Şekil 4.7.). Bu yapılar, PANI ve pomzadan gelen hem küresel hem de küresel olmayan taneciklerden oluşmaktadır. Yapının iletkenliği yüzey morfolojisi ile yakından ilgilidir. Düzgün morfolojiye sahip yapıların iletkenliği daha yüksektir. Kompozit SEM fotoğrafında her iki yapının da kompozit içerisinde bulunduğu görülmektedir (Lengálová vd., 2003).



Şekil 4.5. Pomza SEM fotoğrafı



Şekil 4.6. PANI SEM fotoğrafı

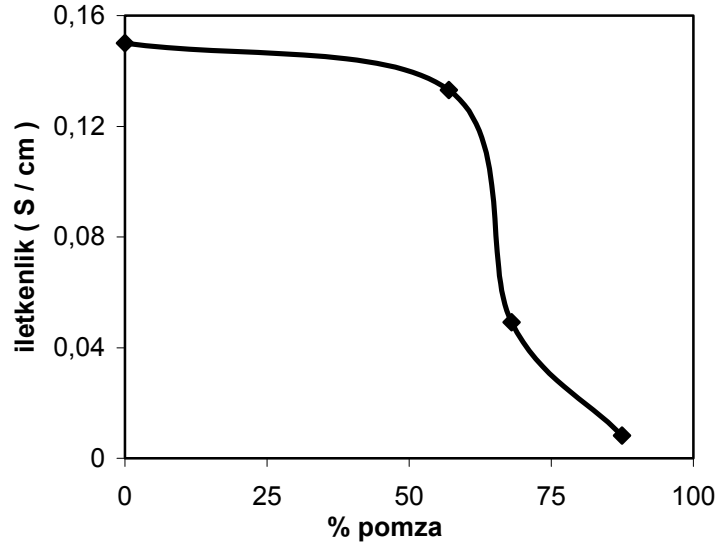


Şekil 4.7. Kompozit SEM fotoğrafı

#### 4.1.4. İletkenlik Ölçümleri

Elektroreolojik çalışmalarda tanecik büyüklüğü oldukça önemli bir faktördür. Elektroreolojik etkinin tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu etkileşimler sonucu tanecikler zincir yapısı oluşturur. Zincir yapısının yerçekimine karşı dayanıklı olması ve kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Literatürde ER aktivite gösteren maddelerin tanecik büyüklükleri 0,1 µm ile 100 µm arasında olduğu rapor edilmiştir (Choi, 1997; Rankin, 1998). Bu çalışmada kompozit taneciklerinin ortalama yarıçapı 63 µm olarak belirlendi. ER etkide ER akışkanın karşılık verme zamanı iletkenlik ile ters orantılı olarak değiştiği hem deneysel hem de teorik olarak belirlenmiştir (Hao, 1998). Asenekinon radikal polimerinin parçacık iletkenliği  $10^{-5}$  S/m (Block, 1990), diğer bir çalışmada okside poliakrilonitrilin iletkenliği  $10^{-7}$  S/m olarak bulunmuştur. Bu çalışmada PANI-kil kompozitinin iletkenliği  $10^{-3}$  S/m mertebesinde istenilen aralıkta bulunmuştur.

PANI ve kompozitlerin dört nokta tekniği ile ölçülen iletkenlik sonuçları Şekil 4.8. de görülmektedir.



Şekil 4.8. Kompozit iletkenlik eğrisi

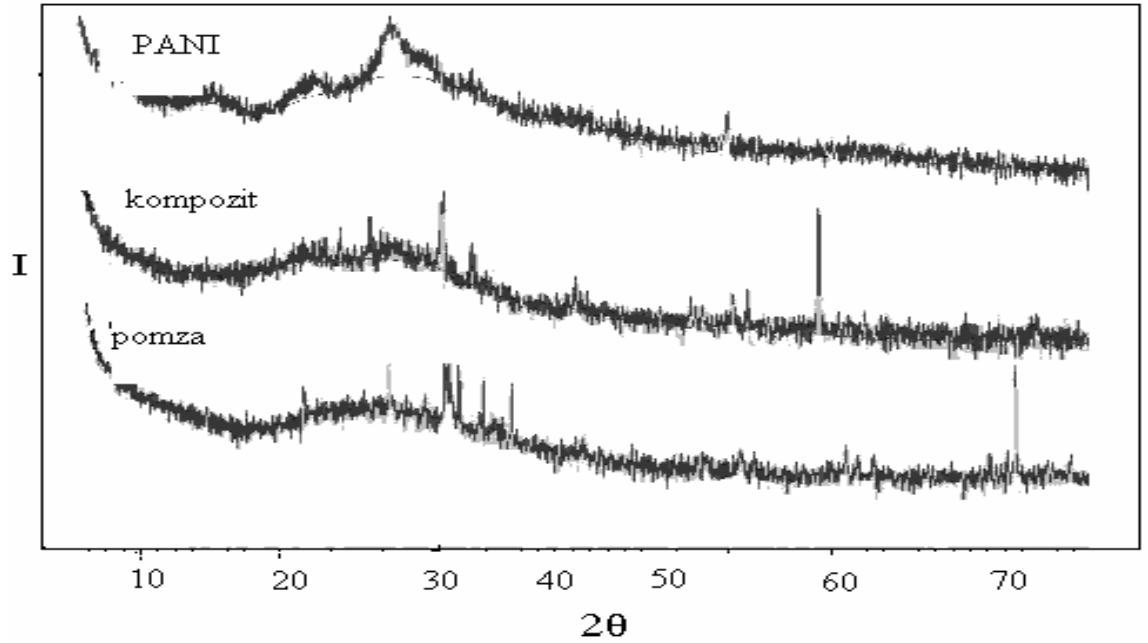
Şekil 4.8. den görüldüğü gibi PANI nin iletkenliği 0,15 S/cm olarak belirlendi. pomza/PANI kompozitlerinde yapıya pomza girdikçe iletkenlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kompozitlerin elektriksel iletkenliği PANI nin iletkenliğinden daha küçüktür. Bu, elektriksel iletkenliği olmayan pomzanın, PANI yapısı içinde elektriksel iletkenliği azaltıcı yönde etki yapmasından kaynaklanmaktadır. İletkenlik bandında olan polianilin sistemden oldukça yüksek akım çekmektedir. Pomza ile kompoziti oluşturularak iletkenlik değeri yarı iletkenlik bandına düşürülmüştür. Böylelikle kompozit süspansiyonlarından yapılan reolojik ölçümler daha başarılı olmuştur.

Kil tabakaları PANI zincirleri arasında zincir içi etkileşimlerin zayıflamasına neden olmaktadır. Sadece pomza ile hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan reolojik ölçümlerde de reolojik yanıt alınmıştır. Burada meydana gelen iletkenlik iyonik iletkenliktir.

#### 4.1.5. X-ray Analizleri

Şekil 4.9. da, PANI, pomza ve kompozit yapılarının X-ışını kırınım örneklerine baktığımızda PANI'nin kristalin yapıda, pomzanın ise amorf yapıda olduğu görülmektedir. PANI örneğine ait kırınımda görüldüğü gibi  $2\theta = 15, 21, 25, 28-29$  da ortaya çıkan pikler PANI için yaygın piklerdir. Pomza örneğine ait  $2\theta = 20, 24, 28, 30, 51$  ve  $61$  deki pikler, pomzada kristal bölgelere karşılık gelen piklerdir. Bu pikler, pomza içerisindeki albit ve anorthite yapısındaki silikatlara aittir.

PANI / pomza kompozitinin X-ışını kırınım örneğinde hem PANI hem de pomzaya ait saçılmalar görülmektedir. Bu da PANI moleküllerinin kil tabakaları arasında oluştuğunu göstermektedir. Pomzadaki  $2\theta = 33,35^0$  ve  $71,22^0$  pikleri kompozitte  $2\theta = 28,67^0$  ve  $59,15^0$  ye kaymıştır. Bu kaymalar PANI moleküllerinin pomza yapısına girmesinden kaynaklanmaktadır(Deng vd., 2003).



Şekil 4.9. Pomza, PANI ve kompozitin X-ray spektrumu

#### 4.1.6. ER Analizleri

##### 4.1.6.1. Süspansiyon Hazırlanması

Pomza, PANI ve kompozit yapılarının ER özelliklerini incelemek için silikon yağı içerisinde dispers edilerek farklı derişimlerde süspansiyonları hazırlandı. Kütlece %1, %2, %3, ve %4 (m/m) olarak hazırlanan süspansiyonların ER özellikleri reometre ile incelendi. Ölçümler, Gazi Üniv. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Reoloji Labaratuvarında yapıldı.

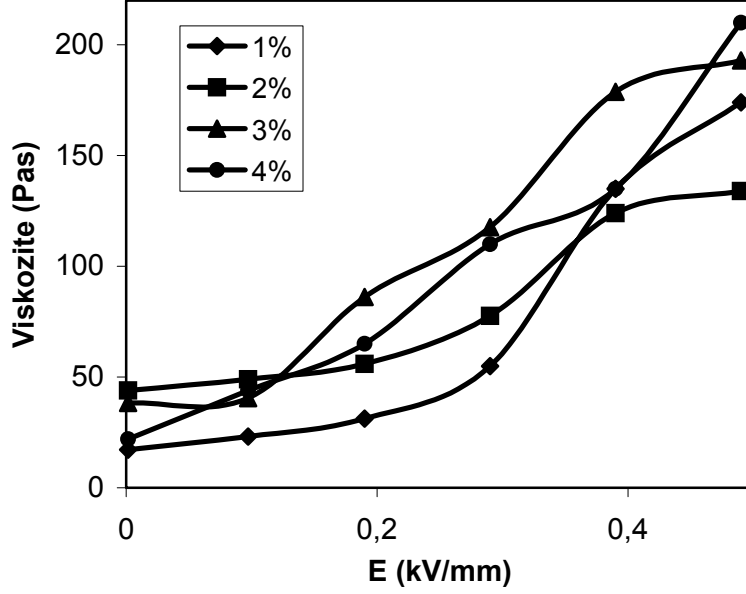
##### 4.1.6.2. Reolojik Ölçümler

Hazırlanan süspansiyonların akış ölçümleri Thermo Haake RS600 elektro-reometre ile yapıldı. Paralel levhalar arasına yerleştirilen süspansiyonlar, elektrik alan uygulanmadan ve elektrik alan varlığında (dc = 0-12500 V) reolojik davranışları incelendi.

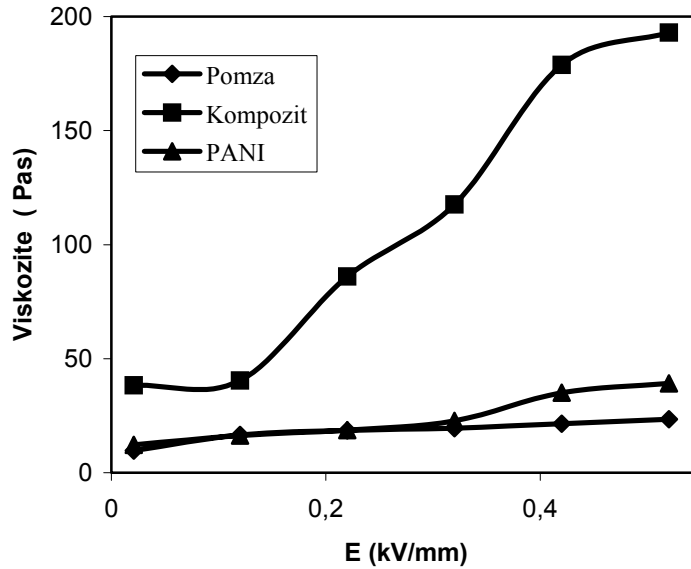
##### 4.1.6.2.1. Viskozitenin Elektrik Alan Kuvveti ile Değişimi

Şekil 4.10. da farklı derişimlerde hazırlanan (%1, %2, %3, %4) kompozit süspansiyonların elektrik alan kuvveti etkisinde viskozitedeki değişimleri görölmektedir.Şekil 4.11. de ise pomza, PANI ve kompozitin silikon yağı içerisinde %3 (m/m) derişimde,  $0,2 \text{ s}^{-1}$  kayma hızında süspansiyonların viskozite-elektrik alan kuvveti grafiği verilmiştir. Kompozit süspansiyonunun viskozite artışı beklenildiği gibi diğer yapılara göre oldukça yüksektir. Grafiklerden göröldüğü gibi süspansiyonun viskozitesi elektrik alan kuvveti artışına paralel olarak artmaktadır. Bu durum kompozitin ER aktivitesinin yüksek olduğunun bir kanıtıdır. Süspansiyon üzerine elektrik alan uygulandığında polarizasyon kuvvetlerinin artması ile tanecikler arası etkileşimler artar. Bu da lif yapısının oluşmasına neden olur. Hao ve Xu yaptıkları çalışmalarda poliakrilonitril ve alüminyum silikatın silikon yağıdaki süspansiyonların da viskozitenin elektrik alan kuvveti ile artış gösterdiğini rapor etmişlerdir (Hao ve Xu, 1997). Chin ve arkadaşları poli(para-fenilen)/silikon yağ

süspansiyonlarıyla yaptıkları çalışmalarda da elektrik alan kuvveti ile viskozitenin artış gösterdiğini belirlemişlerdir (Chin vd, 1998).



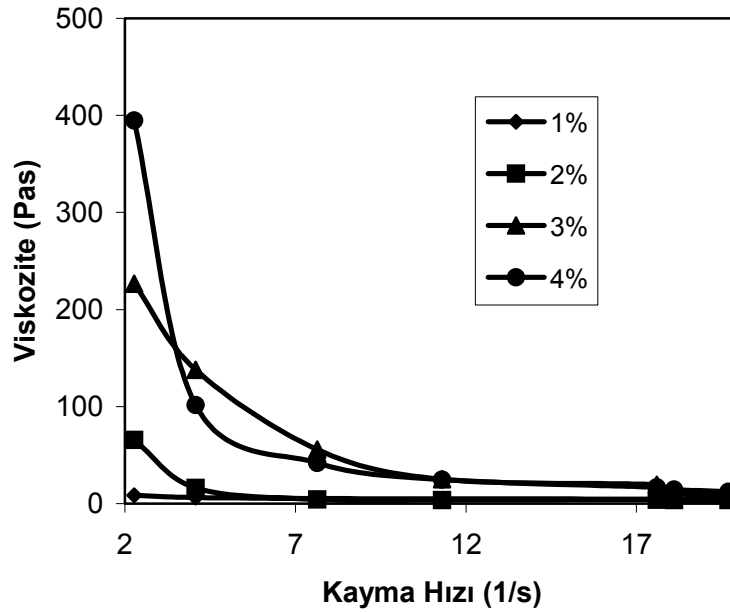
Şekil 4.10. Farklı derişimlerde ki kompozit için viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi,  $c = \%1, \%2, \%3, \%4$  (m/m)  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , kayma hızı =  $0,2 \text{ s}^{-1}$



Şekil 4.11. Pomza, PANI ve kompozit için viskozitenin elektrik alan kuvveti ile değişimi.  $c = \%3$  (m/m),  $T = 25^{\circ}\text{C}$ , kayma hızı =  $0,2 \text{ s}^{-1}$

#### 4.1.6.2.2. Viskozitenin Kayma Hızı ile Değişimi

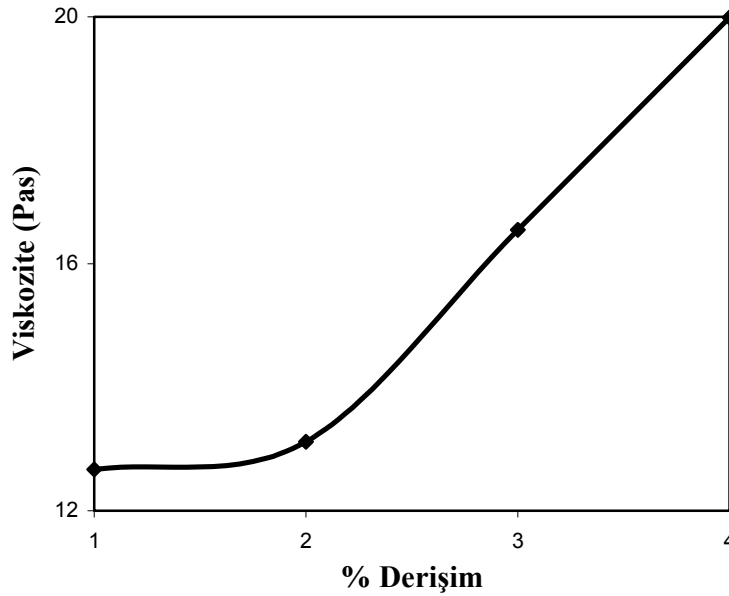
Şekil 4.12. de farklı derişimlerde ( %1, %2, %3, %4) kompozit süspansiyonların kayma hızı-viskozite grafiği görölmektedir. Düşük kayma hızlarında süspansiyonların viskoziteleri küçük değişimler gösterirken, kayma hızı artışıyla birlikte viskozite de belirgin bir azalma görölmektedir. Burada akışkan kayma-incelemesi türünden viskoelastik bir davranış sergilemektedir. Tanaka, polianilin ve mağnezyum hidroksitin silikon yağ ortamında hazırlanan süspansiyonları ile yaptığı çalışmada, hem elektrik alan varlığında hem de elektrik alan yokluğunda süspansiyonların kayma incelmeleri gösterdiğini belirtmiştir (Tanaka, 1998). Ünal ve arkadaşlarının Poli(2-akrilamido-1-metil propane sülfonik asit )-Li/silikon yağ sistemi ile yapılan çalışmalarında viskozitenin elektrik alan kuvvetinin artmasıyla arttığı, kayma hızı artışı ile azaldığı rapor edilmiştir (Ünal vd., 2002).



Şekil 4.12. Farklı derişimlerde ki kompozit için viskozitenin kayma hızı ile değişimi  
 $c = \%1, \%2, \%3, \%4$  (m/m),  $E = 0,2$  kV/mm,  $T = 25$  °C

#### 4.1.6.2.3. Viskozitenin Derişimle Değişimi

şekil 4.13., kompozit için farklı derişimlerde silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların 0-0,5 kV/mm elektrik alan ve  $0,2 \text{ s}^{-1}$  kayma hızındaki viskozitelerinin derişimle değişimi görölmektedir. Burada da süspansiyonların viskozitelerinin derişimle beraber yükselmesi tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum literatürdeki benzer çalışmalarla uygunluk içerisinde. Wu ve Shen'nin kitin ve kitosan ile yaptığı çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşmışlardır(Wu ve Shen, 1996 ). Sonuçlar, Espin ve arkadaşları'nın  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  / silikon yağ süspansiyonu ile yaptıkları çalışmalarda da uygunluk içerisinde (Espin, vd., 2005).



şekil 4.13. Farklı derişimlerdeki kompozite ait kayma geriliminin derişimle değişimi,  $E= 0,2 \text{ kV/mm}$ ,  $c = \%1, \%2, \%3, \%4 \text{ (m/m)}$ ,  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

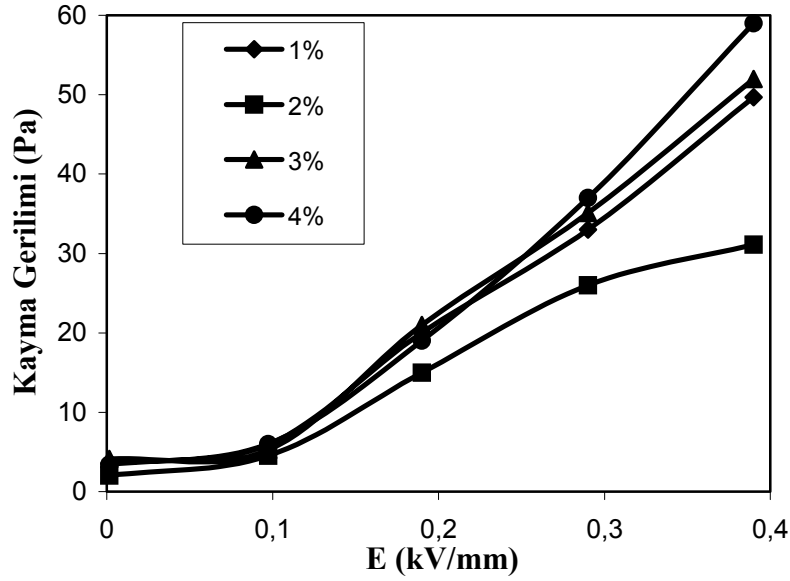
#### 4.1.6.2.4. Kayma Geriliminin Elektrik Alan Kuvveti ile Değişimi

Farklı derişimlerde silikon yağı içerisinde hazırlanmış süspansiyonlar üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi incelenmiştir. şekil 4.14. de farklı derişimlerde

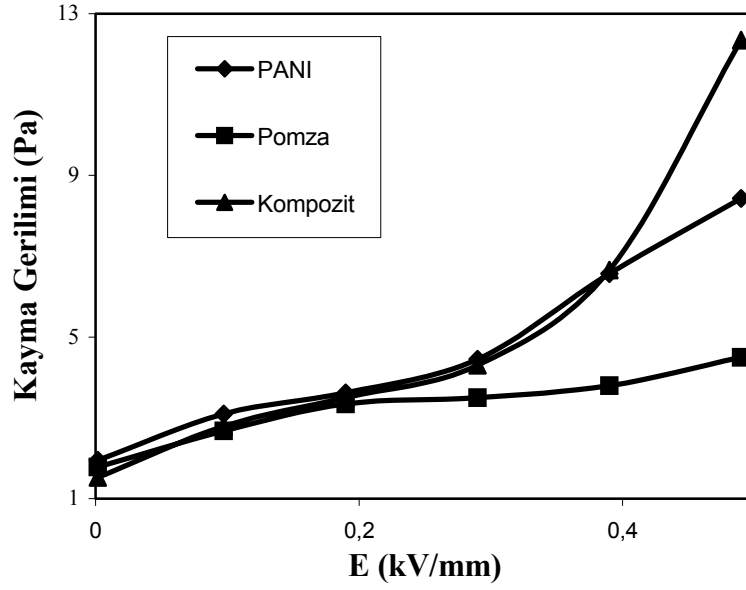


hazırlanan (%1, %2, %3, %4) kompozitlere ait süspansiyonların elektrik alan etkisinde kayma gerilimi değişimleri görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi elektrik alanın artışı ile kayma gerilimi de artış göstermiştir. Kompozit yapısında bu artış beklenildiği gibi daha fazla olmaktadır. Şekil 4.15. de ise silikon yağında dispers edilmiş pomza, PANI ve kompozit'in elektrik alan kuvveti etkisinde kayma gerilimi değişimleri görülmektedir.

Stangroom, yaptığı çalışmalarında kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile orantılı olarak arttığını rapor etmiştir (Stangroom, 1983). Kim ve arkadaşları'nın polipirol/ $\text{Na}^+$ - montmorillonit nanokompoziti (Kim vd., 2001) ve Woo ve arkadaşları'nın poli(dodesil-oksi-anilin) süspansiyonları ile yaptığı reolojik çalışmalarda da kayma geriliminin elektrik alan kuvveti ile arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Woo vd., 2005).



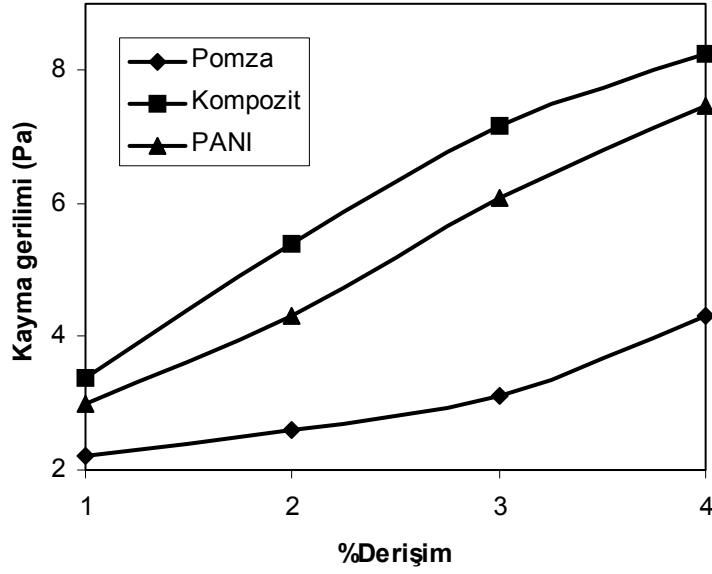
Şekil 4.14. Farklı derişimlerdeki kompozite ait kayma gerilimlerinin elektrik alan Kuvveti ile değişimi,  $c = \%1, \%2, \%3, \%4$  (m/m),  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kayma hızı  $= 0,2\text{ s}^{-1}$



Şekil 4.15. Pomza, PANI ve kompozit için kayma gerilimlerinin elektrik alan kuvveti ile değişimi,  $c = \%3$ ,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kayma hızı =  $0,2\text{ s}^{-1}$

#### 4.1.6.2.5. Kayma Geriliminin Derişimle Değişimi

Kompozit ve pomzaya ait farklı derişimlerde hazırlanan süspansiyonların kayma geriliminin derişimle değişimi şekil 4.16. da görülmektedir. Kütlece;  $\%1$ ,  $\%2$ ,  $\%3$ ,  $\%4$  (m/m) olarak hazırlanan süspansiyonlar da kayma geriliminin derişimle beraber yükselmesi tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun neticesinde viskozite de paralel olarak artış gösterecektir. Yüksek derişimlerde ise taneciklerin birbirine çok yakındır ve elektriksel çift tabaka oluşumu nedeniyle çökelme meydana gelir. Bu durum da ortamda taneciklerin bulunmamasından dolayı elektoreolojik etki de azalır. Xie ve arkadaşları, polianilin esaslı süspansiyonlarda yaptıkları çalışmalarda kayma geriliminin  $\%5$  tanecik derişiminde maksimuma ulaştığı daha sonra azalma gösterdiğini rapor belirtmişlerdir (Xie vd., 1997). Ünal ve arkadaşları tarafından, sepiyolit/silikon yağ süspansiyonları ile yapılan bir çalışmada kayma geriliminin  $\%15$  tanecik derişimine kadar arttığı ve daha yüksek derişimlerde de azaldığı rapor edilmiştir (Ünal vd., 2001).



Şekil 4.16. Pomza, PANI ve kompozite ait Kayma geriliminin derişimle değişimi,  $c = \%1, \%2, \%3, \%4$  (m/m),  $E = 0$  kV/mm,  $T = 25$  °C k. hızı  $= 0,2$  s<sup>-1</sup>

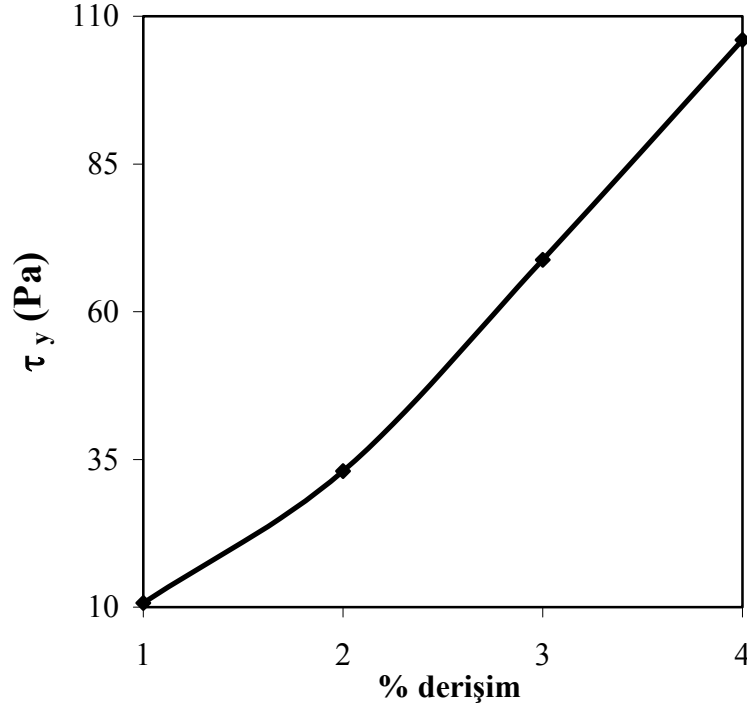
Bir ER süspansiyonda okunan akma verimi (statik yield stress) ve viskozitenin büyüklüğünün değişimi tanecik hacim kesrine bağlıdır. Lengálová ve arkadaşları kuramsal olarak maksimum tanecik hacim kesri ile maksimum değerde gerilimin arttığını tespit etmişlerdir (Lengálová vd., 2003). Gerilimin derişimle yükselme eğilimi, tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelir. Şekil 4.17. de görüldüğü gibi akma verimi, derişimin artmasıyla artmıştır.

ER akışkanlar, elektrik alan uygulandığında bingham türü davranış sergilerler. Bu tür yapılarda akma verimi ( $\tau_y$ ) artış gösterir. Değerler bingham eşitliğinde yerine yazılırsa:

$$\tau = \tau_y + \eta(\infty) \dot{\gamma}$$

Burada;  $\tau$ , kayma gerilimi  $\dot{\gamma}$ , kayma hızı  $\eta(\infty)$ , plastik viskozite' dir.

Yüksek kayma hızlarında süspansiyonun viskozitesi, hidrodinamik kuvvetler diğer etkileşimlerden daha etkin durumda olduğundan dolayı dispersiyon kararlılığı gösterir(Espin vd., 2005).



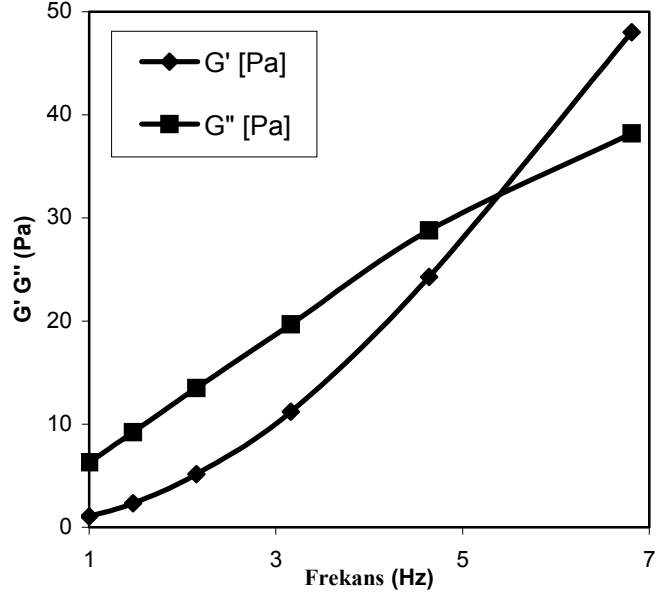
Şekil 4.17. Akma verimi ( $\tau_y$ ) - Derişim ilişkisi

#### 4.1.6.2.6. Storage ve Loss Modül - Frekans İlişkisi

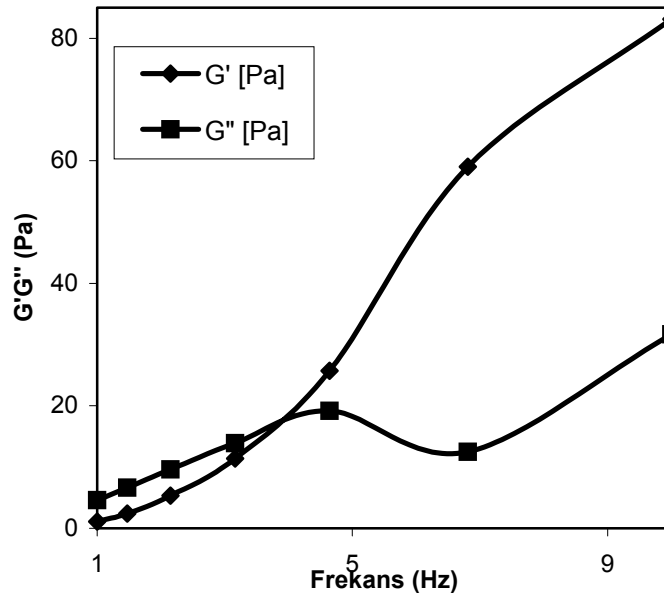
Silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların  $G'$  (storage modül) ve  $G''$  (loss modül) değerlerinin frekansla değişimi şekil 4.18-19'da görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi  $G'$  ve  $G''$  değerleri frekansla artış göstermektedir. Şekil 4.18 'de görüldüğü gibi  $G'$  ve  $G''$  değerleri frekansla artış göstermektedir. Şekil 4.18 'de PANI 'nin iletkenliğinden dolayı  $G'$  ve  $G''$  değerlerinde dielektrik kaybının az olması nedeniyle sürekli bir artış görülmektedir. Şekil 4.19 'da ise PANI/pomza kompozitine ait grafiğe baktığımızda iletken olmayan pomzanın yapıya katılmasıyla  $G'$  ve  $G''$  değerlerinin oluşan dielektrik kaybı nedeniyle azaldığı görülmektedir. Frekans nedeniyle meydana gelen dielektrik kayıp ER etkinin azalmasına neden olmaktadır.

Hao ve Xu (1996), yaptıkları çalışmalarda silikon yağı içerisinde hazırladıkları zeolit süspansiyonlar ile yaptıkları çalışmalarda frekansı  $1-10^4$  Hz aralığında

değiştirerek ER aktivitenin değişimini incelemiştir. Sonuç olarak 100 Hz'ten sonra frekans artışı ile ER aktivitenin azaldığı kaydedilmiştir.



Şekil 4.18. PANI için frekans – G'G'' ilişkisi,  $c = \%3$  ,  $T = 25^{\circ}\text{C}$



Şekil 4.19. Kompozite ait frekans – G'G'' ilişkisi  $c = \%3$  ,  $T = 25^{\circ}\text{C}$

## 5. SONUÇ

PANI ve pomza / PANI kompoziti serbest radikalik polimerizasyon yöntemiyle sentezlendi. Sentezlenen ürünler, SEM, FT-IR, UV ve X-ray analizleri ile karakterize edildi.

Kompozit yapısına giren pomza miktarının artmasıyla iletkenliğinin azaldığı gözlemlendi. Polianilin iletkenlik değeri pomza ile kompoziti oluşturularak iletkenlik bandından yarı iletkenlik bandına düşürüldü.

ER aktivitenin elektrik alan kuvvetindeki artışa paralel olarak arttığı belirlendi.

ER aktivitenin kayma hızının azalması ile arttığı ve süspansiyonun kayma-incelemesi türünden non-Newtonian visko-elastik bir davranış gösterdiği tespit edildi.

En yüksek ER aktivitenin , silikon yağı içerisinde %3 m/m derişimde hazırlanan süspansiyonda olduğu görüldü.

PANI moleküllerinin pomza tabakaları arasında polimerleştiği yapılan karakteristik analizler sonucunda belirlendi.

Kompozitin ER aktifliğinin PANI ve pomzaya oranla daha yüksek olduğu görüldü.

## 6. KAYNAKLAR

Balerna, A., Deganello, G., Liotta, L., Ingo, A., Martorana, A., Meneghini, C., Mobilio, Settimio, Venezia, A.M., 2001. EXAFS and XRD study of Pd- Ag bimetallic catalysts supported on pumice from organometallic precursors. *Journal of Non- Crystalline Solids*, 293- 295, 682- 687.

Block, H. and Kelly, J.P., 1988. Electro-rheology, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 21(12): 1661-1667.

Boissy, C., Atten, P. and Foulc, J-N., 1995. On a negative electrorheological effect , *J. Electrostatic*, 35(1) : 13-20.

Carreira , L., Mihajlov , V. S., 1971. US patent 3553 708.

Chin, B. D., Lee, Y. S. and Park, O. O., 1998. Effects of conductivity and dielectric behaviors on the electrorheological response of a semiconductive poly(p-phenylene) suspension, *J. Colloid Interface Sci.*, 201,172-179.

Choi, H.J., Kim, J.W., Joo, J. and Kim, B.H., 2001. Synthesis and electrorheology of emulsion intercalated PANI-clay nanocomposite *Synthetic Metals*, 121, 1325.

Choi, H.j., Kim, T.W., Cho, M.S., Choi, H.J. and Jhon M.S., 1997. electrorheological characterization of polyaniline dispersion, *Eur. Polm. J.*, 33 (5), 699-703.

Davis, L.C., 1992. polarization forces and conductivity effects in electrorheological

Deng, J., He, C. L., Peng, Y., Wang, J., Long, X., Li, P., Chan, A.S.C., 2003. Magnetic and conductive Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – polyaniline nanoparticles with core-shell structure, *Synthetic Metals*.

Espin, M.J., Delgado, A.V., Rejon, L., 2005. Electrorheological properties of hematite / silicone oil suspensions under DC fields. *Journal of non- Newtonian Fluid mechanics*. 125, 1-10.

Gök, A., 2002. Süstitüe polianilin/polifuran iletken kompozitlerinin sentezi ve karekterizasyonu, Gazi Üniv., Doktora Tezi, Ankara

Hao, T., Xu, Y., 1997. microstructure-confined mechanical and electric properties of the electrorheological fluids under the oscillatory mechanical field, *J. of Colloid and Interface Science*, 185(2): 324-331.

Hao, T. ve Xu, Y., 1996. The conductivity confined temperature dependence of water-free electrorheological fluids, *J. Colloid interface Sci.*, 184(2): 542-549.

Hao, T., 2002. Electrorheological suspensions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 97(1-3): 1-32.

Hao, T., (1998). The interfacial polarization-induced electrorheological effect, *J. Colloid Interface Sci.* 206(1): 240-246 .

Hwang, J.Y., Cho, M.S., Choi, H.J., Jhon, M. S., 2003. Synthesis of polyaniline using stabilizer and its Electrorheological properties. *Synthetic Metals*, 135-136, 21-22.

İlhan, S., 1996. Immobilize hücrelerle penisilin üretiminde taşıyıcı olarak pomza partiküllerinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kartal, G, Sarıgan, O., Baş, H., Ergül, H., İlgün, F., 1988b. Türkiye pomza yataklarının özellikleri ve kullanım alanları. *Türkiye Pomza Taşı Semineri*, İstanbul, 12-20.

Kim, B. H., Jung, J. H., Kim, J. W., Choi H. J., Joo, J., 2001. Effect of dopant and clay on nanocomposites of polyaniline (PAN) intercalated into Na<sup>+</sup> - montmorillonite (Na<sup>+</sup> - MMT), *Synthetic metals*, 121, 1311-1312.

Kim, S.G., J. W. Kim, W. H. Jang, H. J. Choi and M. S. Jhon, 2001. Electrorheological characteristics of phosphate cellulose-based suspensions polymer, 42, 5005.

Klass, D.K. ve Martinek, T.W., 1967. Electroviscous fluids. I. Rheological properties, *Journal of Applied Physics*, 38(1): 67-74.

Klingenberg, D. J. , Swol, F., Zukoski , C.F., 1989. Dynamic simulation of electrorheological suspensions, *J. Chem. Phys.*, 91(12): 7888-7895 .



- Lengálová, A., Pavlínek, V., Saha, P., Stejskal, J., Quadrat, O., Kitano, T., 2003. Influence of particle concentration on the electrorheological efficiency of polyaniline suspensions, *European Polymer Journal*, 39, 641-645.
- Lengálová, A., Pavlínek, V., Saha, P., Stejskal, J., Quadrat, O., 2003. Electrorheology of polyaniline-coated inorganic particles in silicone oil. *Journal of Colloid and Interface Science*, 258, 174-178.
- Otsubo, Y. ve Suda, Y., 2002. Electrorheological toners for electrophotography. *Journal of Colloid and Interface Science*, 253, 224- 230.
- Pavlínek, V., Saha, P., Kitano, T., Stejskal, J., Quadrat, O., 2005. The effect of polyaniline layer deposited on silica particles on electrorheological and dielectric properties of their silicone – oil suspensions, *Physica A* , 83-89 .
- Phillips, C.R., and Poon, Y.C., 1988. *Immobilization of Cells*. Springer-Verlag, Berlin.
- Podszun, W., bloodworthü, R., Oppermann, G., 1996. US Patent 5503763
- Rankin, P.J., Klingenberg, D.J., 1998. The electrorheology of barium titanate suspensions, *J. Rheology*, 42(3): 639-656.
- Rejon, L., Ramirez, A.Z., Paz, F., Goycolea, F.M., and Valdez, M.A., 2002. Response time and electrorheology of semidiluted gellan, xanthan and cellulose suspensions *Carbohydrate Polymers*, 48, 413.
- Sakai, N., Komada, Y. And Rao T.N., 1998. Effect of adsorbed water on the photoelectrorheology of TiO<sub>2</sub> particle suspensions, *J. Electroanalytical Chem.*, 445:1-6.
- Sanchis, A., Sancho, M., Martinez, G., Sebastian, J. L., Munoz, S., 2004. Interparticle forces in Electrorheological fluids : effects of polydispersity and shape. *Colloids and Surfaces A.*, 249, 119-122.
- Shulman, Z.P., Gorodkin, R.g., Korobko, E.V. and Gleb, V.K., J., 1981. Electrorheological fluids and its possible uses, *Non-newtonian Fluid Mec.* 8, 29.
- Stangroom, J.E., 1980. GB Patent 1570234
- Stangroom, J.E., 1983. electrorheological fluids, *Phys. Techn.* , 14(6):290-296.

Sung, J. H., Kim, J. W., Choi H. J., Choi, S.B., 2003. Synthesis and characterization of organoclay nanocomposite with poly(o-ethoxyaniline) , *Synthetic Metals*, 135-136, 19-20.

Tajiri, K., Ohta, K., Nagaya, , T: and Orihara, H., 1997. Electrorheological effect in immiscible polymer blends, *J. Rheol.*, 41(2):335-341.

Tanaka, K., Oiwa, Y., 1998. Shear Thinning and electro-Rheological effect for neat liquid crystalline polysiloxane in the vicinity of isotropic –liquid crystalline phase transition , *Polymer Journal*, 30(3): 171-176.

Trlica , J., Quadrat, Q., Bradna, P., Pavlínek, V. ve Saha, P., 1996. An anomalous electrorheological behavior of magnesium hydroxide suspensions in silicone oil, *J Rheol.*, 40(5) : 943 – 946.

Ünal, H.İ., Yılmaz, H., 2002. Electrorheological properties of poly(lithium –2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid) suspensions, *J. Appl. Polym. Sci.*, 86, 1107-1112.

Ünal, H.İ., Yavuz, M. ve Yılmaz, H., 2001. sepiyolit süspansiyonların elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi, *G. Ü. , Fen Bilimleri Dergisi*, 14(3):999-1006.

Ünal, H.İ., 1994. Elektroeolojik Akışkanlar, *J.Fac., Eng.Arc. Gazi Univ.* 12, 419.

Wang, H.W., Chang, K. C., Yeh, J. M., Liou, S. J., 2004. Synthesis and dielectric properties of polystyrene- clay nanocomposite materials, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 1368-1373.

Winslow, W. M., 1949. Induced fibrillation suspension, *J. Appl. Phys.*, 20:1137-1140.

Winslow, W. M., 1953. U.S. Patent 2661596.

Woo, D.J., Sulh, M.H., Shin E.S., Lee, C. W., Lee S.H., 2005. Electrorheological behavior of suspensions of a substituted polyaniline with long alkyl pendants. 1-4 .

Wu C.W., Chen Y. And Conrad H., J., 1998. Electrical properties of Electrorheological particle clusters, *Phys. D: Appl. Phys.*, 255(1-2):66-69.

- Wu, Q., Xue, Z., Qi, Z., Wang, F., 2000. Synthesis and characterization of Pan/clay nanocomposite with extended chain conformation of polyaniline. *Polymer*, 41, 2029-2032.
- Wu, C.W. ve Conrad, H., 1998. Electrical properties of electrorheological particle clusters, *Materials Science and EngineeringA*, 255(1-2): 66-69.
- Wu, Q., Xue, Z., Qi, Z. and Wang F., 2001. *Polymer*, 41, 2029.
- Wu, S. and Shen, J., 1996. Electrorheological properties of chitin suspensions, *J. Appl. Polymer Sci.*, 60:2159-2164.
- Xia, H., Wang, Q., 2003. Preparation of conductive polyaniline / anosilica particle composites through ultrasonic irradiation. *Journal of Applied Polymer Science*, 87, 1811-1817.
- Xie, H.Q., Guan, J.G., And Guo, J.S, J., 1997. Three ways to improve Electrorheological properties of polyaniline-based suspensions, *Appl. Polymer Sci.*, 64(8) : 1641-1647.
- Yang, I. K., ve Huang, I.T., 1997. The electrorheology of rigid rod poly(n-hexylisocyanate) solutions, *Inc. J. Polym. Sci. B: Polym. Phys.*, 35: 1217-1224.
- Yavuz, M. and Ünal, H.İ., 2003. Synthesis, characterization and partial hydrolysis of polyisoprene- co-poly(tert-butyl methacrylate) and electrorheological properties of its suspensions, *J. of Appl. Polym. Sci.*, 91, 1822.
- Yılmaz, H., 1999. Poli(2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit)'in sentezi, karakterizasyonu ve elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. FenBilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, H., 2003. Bazı kopolimerlerin elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi ve endüstriyel uygulanabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zilberman, M., Titelman, G. I., Siegman, A., Haba, Y., Narkis, M., Alperstein, D., 1997. Conductive blends of thermally dodecylbenzene sulfonic acid-doped polyaniline with thermoplastic polymers, . *Journal of Applied Polymer Science*, 66, 243-253.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet ÇABUK

Doğum Yeri : Anamur

Doğum Yılı : 1981

Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise 1995 - 1998 , Bozyazı Lisesi

Lisans 1998 - 2002 , Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi  
Kimya Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

### İş Deneyimi:

2003 – 2003 Primer Tekstil A.Ş. Isparta

2003 - -- İpliksan A.Ş. Isparta