

## DIYATOMİT VE DIYATOMİT/POLİAKRİLONİTRİL KOMPOZİTLERİNDEN HAZIRLANAN SÜSPANSİYONLARIN ELEKTROREOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Haşim YILMAZ\*, Halil İbrahim ÜNAL

Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 06500 Teknikokullar, Ankara,  
TÜRKİYE, hasim@gazi.edu.tr

Mustafa YAVUZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 32200 Isparta,  
TÜRKİYE

Halil ARIK

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar,  
Ankara, TÜRKİYE

### ÖZET

Bu çalışmada, 20 m tanecik büyüklüğündeki diyatomit ve diyatomit/poliakrilonitrilden (PAN) elde edilen kompozitin yalıtkan silikon yağı içerisinde oluşturduğu süspansiyonların elektroeolojik (ER) özellikleri araştırıldı. ER aktiviteye süspansiyon derişimi, kayma hızı ve dc elektrik alan kuvveti etkileri incelendi. Süspansiyonların yerçekimi kuvvetine karşı gösterdiği çökeltme kararlılıkları tespit edildi.

*Anahtar Kelimeler: Elektroeolojik akışkanlar, diyatomit, diyatomit/PAN kompoziti*

### ELECTROREOLOGICAL PROPERTIES OF SUSPENSIONS PREPARED FROM DIATOMITE AND DIATOMITE/POLYACRYLONITRILE COMPOSITE

#### ABSTRACT

In this study, electrorheological (ER) properties of suspensions prepared from 20 m diatomite and diatomite/polyacrylonitrile (PAN) composite in insulating silicone oil was investigated. Effects of suspension concentration, shear rate and dc electric field strength on ER activity were studied. Sedimentation stabilities of suspensions against gravitational force were determined.

*Key Word: Electrorheological fluids, diatomite, diatomite/PAN composites*

#### 1. GİRİŞ

Elektroeoloji (ER) olayı; sıvı dispersiyonların davranışı üzerine elektrik alanının etkisi ile ilgilidir. Bu etki ya sıvının akmaya karşı direncinin artışı ya da sıvının katımsı bir hal alması şeklinde kendini gösterir. ER akışkanlara ilgi son on beş yıldır dikkate değer bir artış göstermektedir. ER akışkanlar

genellikle bir elektrik alan uygulandığında polarize olabilen parçacıkların yalıtkan yağlardaki süspansiyonlarından meydana gelir (1). ER aktif süspansiyonlara bir elektrik alan uygulandığında viskozitelerinde Newtonian olmayan (non-Newtonian) tersinir bir davranış gözlenir (2). ER olayını etkileyen başlıca faktörler kayma hızı, elektrik alan kuvveti, frekans, sıcaklık ve sıvının bileşimidir (3). ER olayı hem akademik araştırmalar, hem de mühendislik teknolojisi açısından büyük bir ilgi görmektedir (1,4). ER akışkanların hidrolik kontrol sıvıları olarak titreşim sönmüleyici sistemlerde, robotlarda, debriyaj ve şok absorblayıcılar olarak da otomotiv sanayiinde çok önemli potansiyel uygulama alanları vardır (5, 6). Literatürde ER akışkan hazırlamada dağılan faz olarak zeolitler (7,8), akrilat türü polimerler (9,10), iletken polimerler (11,12), silikatlar ve titanat tuzları (1) gibi maddeler verilmiştir. Bu çalışmalarda dispersiyon ortamı olarak silikon yağı, madeni yağ, parafin yağı, çeşitli halojenli hidrokarbonlar gibi yalıtkan yağlar kullanılmıştır.

Bu çalışmamızda ise zeolit gibi ER aktivite göstermesi beklenen diyatomit ve bunun poliakrilonitril (PAN) ile oluşturduğu kompozitinin yalıtkan silikon yağı içerisinde süspansiyonları hazırlanarak, bu süspansiyonların çökelme kararlılıkları tespit edilmiş, ER özellikleri araştırılmış ve ER aktiviteleri üzerine kayma hızı, süspansiyon derişimi ve dc elektrik alan kuvveti etkileri araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Öğütme İşlemi

Su yosunları sınıfından ve tek hücreli mikroskopik alglerin fosilleşmiş şekli olan diyatomit, Çizelge 1’ de verilen kimyasal bileşime sahip olup (13), Ankara-Kızılcahamam civarından alınmış ve MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında öğütülüp toz haline getirilmiştir.

**Çizelge 1.** Diyatomitin kimyasal bileşimi (% , m/m).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ateş kaybı
88,32	3,47	0,48	0,42	0,26	0,17	0,28	0,18	0,10	5,84

### 2.2. Kompozit Hazırlanması

20 g diyatomit, 250 mL saf suda dağıtıldı. 40°C sabit sıcaklıktaki dispersiyon ortamına önce 1,5 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8(aq)</sub>, ardından vakum distilasyonu ile saflaştırılmış 30 mL akrilonitril damlatma hunisinden yavaş yavaş ilave edildi. Oluşan dispersiyon aynı sıcaklıkta 4 saat süreyle mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılarak faz ayrımının önüne geçildi. İnterkalasyon tekniği ile oluşturulan kompozit oda sıcaklığında 2 saat bekletildi. Suyu dekantasyon ile uzaklaştırıldı. Kompozit önce dimetilformamid ve ardından sıcak saf su ile iki kez yıkanarak sırasıyla, homopoli(akrilonitril), tepkimeye girmeyen monomer ve başlatıcı ortamdaki uzaklaştırıldı. Oda sıcaklığında 1 gece bekletilen kompozit, vakum etüvde 40°C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutuldu, %80 verimle ürün elde edildi.

### 2.3. Tanecik büyüklüğünün tayini

Toz haline getirilen diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinin tanecik büyüklükleri Fraunhofer saçılma prensibine (14) göre Malvern Mastersizer E, ver. 1.2b Analyzer dinamik ışık saçılımı cihazı kullanılarak Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Bu amaçla diyatomit ve diyatomit/PAN kompoziti 20°C deki saf su içerisinde dağıtılmış ve ölçümler boyunca sürekli karıştırılmıştır. Toplanan veriler bir Malvern bilgisayar software ile Fraunhofer kırınım teorisine göre analiz edilmiştir. Diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinin ortalama çapı 20 µ m olarak tayin edilmiştir.

## 2.4. Süspansiyonların hazırlanması

20  $\mu$  m tanecik boyutuna getirilen diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinin, 1 gece vakum etüvde kurutulduktan sonra, silikon yahtkan yağı içerisinde kütlece %10-%20 arasında beş farklı derişimde süspansiyonları hazırlandı.

## 2.5. Çökelme kararlılığı

Silikon yağ içerisinde dağıtılan taneciklerin yerçekimine karşı dirençlerini ölçmek amacıyla süspansiyonlar oda sıcaklığında tüpler içerisinde bekletilerek, ilk çökelmenin görüldüğü an süspansiyonun çökelme kararlılığı süresi olarak tespit edildi.

## 2.6. Akış Ölçümleri

Süspansiyonların akış ölçümleri iki paralel pirinç plaka elektrot arasında 10 kV'a kadar doğru akım uygulanarak yapıldı. Akış ölçümlerinde elektrot genişliği 1 cm, elektrotlar arası mesafe 0,5 cm ve elektrotlar arasındaki madde yüksekliği 4 cm olarak alındı. Cam tüp içerisinde bulunan çeşitli derişimlerdeki diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonları içerisine elektrotlar daldırılarak önce gerilim uygulanmadan ( $E = 0,0$  kV/mm) daha sonra her aşamasında  $E = 0,1$  kV/mm artışla gerilim uygulanarak süspansiyonların elektrotlar arasından akış süreleri elektronik bir kronometre yardımıyla ölçüldü.

## 2.7. Dönmeli Viskozimetre ile Yapılan Ölçümler

Paralel plaka elektrotlar arasında ER aktif olduğu tespit edilen diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonların ER aktivitesi üzerine derişim, kayma hızı ve elektrik alan kuvvetinin etkisi dönmeli viskozimetre (Brookfield Rheometer DV 1+) kullanılarak araştırıldı. Kayma hızı ve elektrik alan kuvveti değiştirilerek çeşitli derişimlerdeki süspansiyonların viskozitesinde meydana gelen değişiklikler kaydedildi. Ayrıca süspansiyonların kayma gerilimi farkının ( $\Delta\tau = \tau_{E \neq 0} - \tau_{E=0}$ ) derişim ve elektrik alan kuvveti ile derişimi de dönmeli viskozimetre ile yapılan ölçümlerle belirlendi. Bu ölçümlerde spindile üzerindeki madde yüksekliği 5,2 cm, elektrotlar arası mesafe 0,5 cm, kayma hızı aralığı 1-20  $s^{-1}$  olarak alındı. Ölçümler sırasında elektrik alan kuvveti 50 Hz doğru akımda, 0-10 kV arasında ve her kademede 1,5 kV artırılarak uygulandı.

## 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

### 3.1. Çökelme Kararlılığı

ER akışkanlar olarak kullanılan süspansiyonların uygulama alanları açısından karşılaşılan en büyük güçlüklerden biri çökelmeye karşı gösterdikleri kararsızlık ve tortu bırakmalarıdır. Bu durum ER akışkan hazırlanmasında önemli bir sorundur (15). Kararlı bir dispersiyondan beklenen, uzun bir zaman aralığında dispers olmuş fazın dağılma ortamında asılı kalabilmesidir. ER aktivitenin bir süspansiyondaki tanecikler arası etkileşimlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Süspansiyona bir elektrik alanı uygulandığında, bu etkileşimler sonucu tanecikler zincir yapısı oluşturur. Süspansiyon yapısının çökelmeye karşı kolloidal olarak kararlı olması için tanecik boyutunun küçük olması tercih edilmektedir. Literatürde ER aktivite gösteren maddelerin tanecik büyüklükleri 0,1  $\mu$  m ile 100  $\mu$  m arasında olduğu belirtilmiştir (16-19). ER akışkanlarda aranan önemli özelliklerden birisi de çökelme kararlılığıdır (20). ER akışkanların uzun süre ve çeşitli çevre şartlarında çökelme göstermemeleri ve tortu bırakmamaları istenir. Bu çalışmada ortalama tanecik boyutu 20  $\mu$  m olan diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinden silikon yağ içerisinde hazırlanan çeşitli derişimlerdeki (10-20 %, m/m) süspansiyonların çökelmeye karşı gösterdikleri kararlılıkları tespit edildi ve sonuçlar Çizelge 2'de verildi.

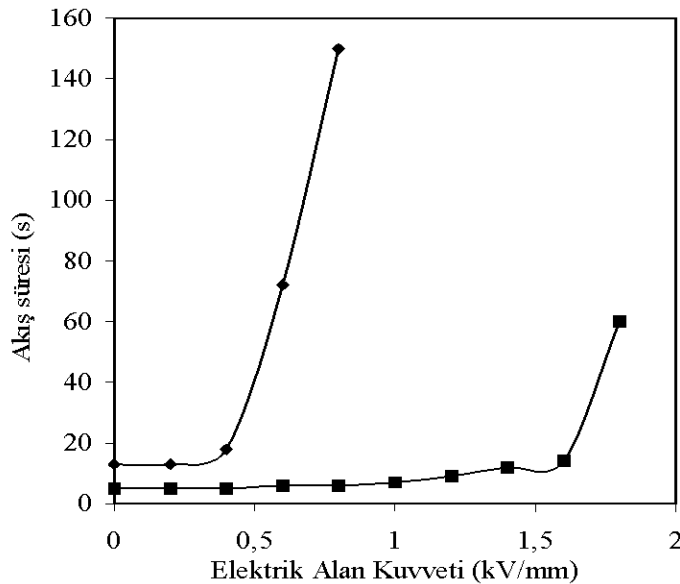
**Çizelge 2.** Diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonların çökeltme kararlılıkları, ( $t = 25^{\circ}\text{C}$ )

Derişim (% m/m)	10	12,5	15	17,5	20
Diyatomit çökeltme süresi (gün)	32	25	21	9	2
Diyatomit/PAN çökeltme süresi (gün)	23	15	12	5	2

Çizelge 2'den görüldüğü gibi yüzde derişim azaldıkça süspansiyonların çökeltme kararlılıkları artmaktadır. En düşük çökeltme kararlılığı her iki örnek için %20 derişimdeki süspansiyonda (2 gün), en fazla çökeltme kararlılığı ise %10 derişimde diyatomit süspansiyonunda (32 gün) olarak gözlemlendi. PAN ile hazırlanan kompozitin diyatomitin çökeltme kararlılığını olumlu yönde etkilemediği tespit edildi. Daha önce sepiyolit kilinden silikon yalıtkan yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan çalışmalarda ise %20 (m/m) sepiyolit derişiminde 5 gün, %10 sepiyolit derişiminde ise 21 gün çökeltme kararlılığı olduğu tespit edilmiştir (11).

### 3.2. Akış ölçümlerinden elde edilen sonuçlar

Silikon yağı içerisinde farklı derişimlerde hazırlanan diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonların paralel plaka elektrotlar arasında akış süreleri ölçümleri oda sıcaklığında yapıldı ve sonuçlar Şekil 1'de verildi. Grafikten görüldüğü gibi akış süresi %15'lik derişimde diyatomit için 150 s, diyatomit/PAN kompoziti için ise 60 s olarak elde edildi. Ayrıca diyatomit için 0,6 kV/mm, diyatomit/PAN kompoziti için ise 1,8 kV/mm elektrik alan kuvvetlerinde köprü oluşumu gözlemlendi. Grafikte dikkate değer başka bir nokta ise bütün derişimlerdeki süspansiyonların akış sürelerinde elektrik alan kuvvetindeki artış ile önce çok küçük bir artış, eşik enerjisinden sonra ise moleküllerin elektrik alan altında gösterdiği polarlanma nedeniyle oldukça yüksek bir artış gözlenmesidir. Grafikte görülen akış süreleri maksimum akış süreleri olup, bunlara karşılık gelen elektrik alan kuvvetinin üzerindeki alan kuvvetlerinde elektrotlar arasında akış tamamen durmakta ve köprü oluşumu meydana gelmektedir. Köprü oluşumundan sonra saatlerce hatta bir gece beklenmesine rağmen hiçbir akış tespit edilememiştir. Bu nedenle ölçümlerde akışın kesildiği elektrik alan kuvvetlerinden sonra daha fazla elektrik alan süspansiyonlara uygulanamamıştır.



**Şekil 1.** Diyatomit(◆) ve Diyatomit/PAN(■) süspansiyonların akış süresinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.  $c = 15$  (% m/m),  $t = 20^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3. ER aktivite üzerine süspansiyon derişiminin etkisi

Diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinden hazırlanan süspansiyonların, sabit kayma hızı ( $\dot{\gamma} = 20 \text{ s}^{-1}$ ) ve elektrik alan kuvveti altında ( $E = 1,2 \text{ kV/mm}$ ) ölçülen viskozitesinin derişim ile değişimi Şekil 2'de görülmektedir.

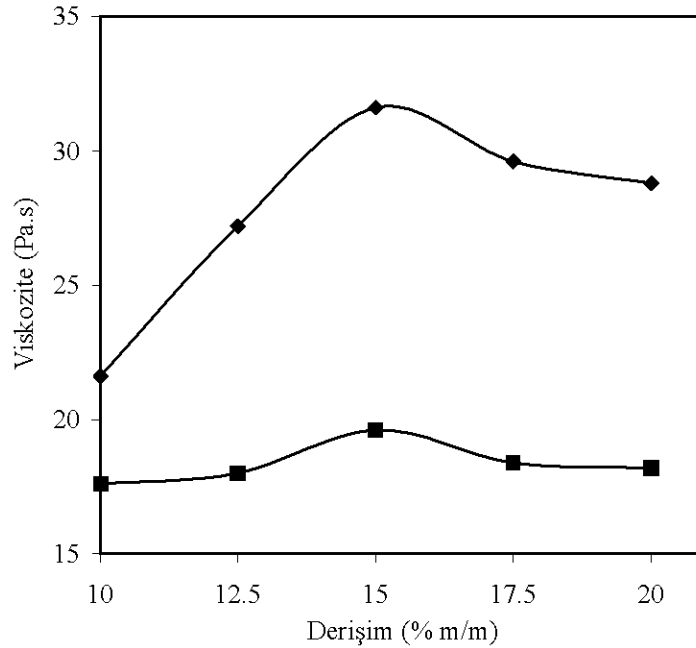
Şekil 2'de görüldüğü gibi sabit kayma hızında derişimin değiştirilmesi ile en yüksek viskozite oranına diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonlarında %15 derişimde erişilmiştir. Viskozitenin derişimle artma eğilimi tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Seyreltik süspansiyonlarda tanecikler arası mesafe ( $\rho$ ) fazla olduğundan uygulanan elektrik alan ( $E$ ) ile polarizasyon kuvvetleri ( $F$ ) arasında

$$F = 6\epsilon_2 r^6 E^2 / \rho^4 \quad [1]$$

bağıntısı vardır (20).

Bu eşitlikte;  $\epsilon$  taneciklerin dielektrik sabitini,  $r$  tanecik yarıçapını göstermektedir.

Bu eşitliğe göre tanecikler arası mesafenin azalması ile tanecikler arası polarizasyon kuvvetlerinin etkisi artar. Böylece tanecik derişimi arttıkça süspansiyonun viskozitesi de artar. Ancak derişim % 15'in üzerine çıktığında viskozitede bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni yüksek derişimde taneciklerin birbirine yakın olması ve tanecikler arası elektriksel çift tabakanın örtüşmesidir (2).



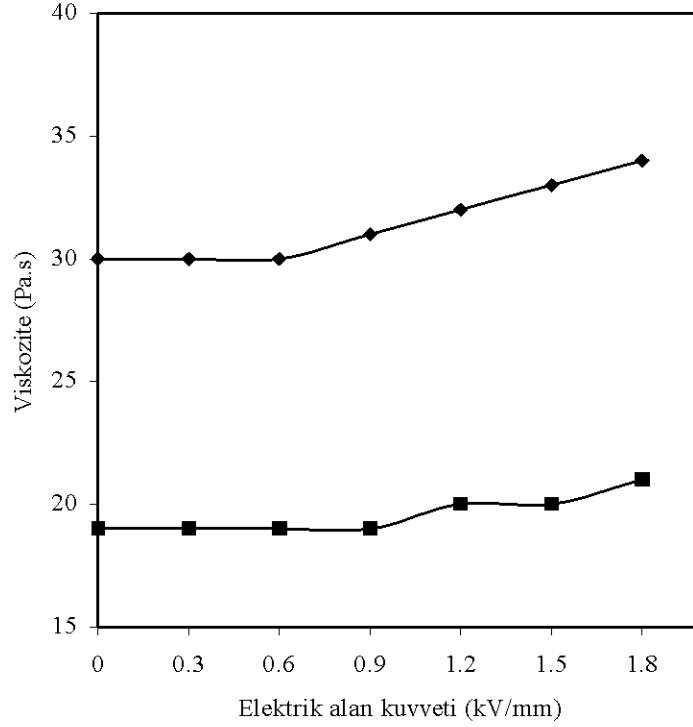
Şekil 2. Diyatomit (♦) ve Diyatomit/PAN (■) süspansiyonlarının viskozitesinin derişim ile değişimi.

$$(\dot{\gamma}, \text{s}^{-1}) = 20, E = 1,2 \text{ kV/mm}, t = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Viskozitenin derişim ile değişimi çalışmalarında benzer sonuçlar rapor edilmektedir. Örneğin; Felici tarafından yapılan çalışmada taneciklerin elektrik alan etkisi ile polarlanarak lif oluşturabilmeleri için belirli bir derişime sahip olmaları gerektiği ortaya konmuştur (21). Li ve Zhou yaptıkları çalışmada silikon yağı içerisinde hazırlanan süspansiyonların viskozitesinin derişimle arttığı, ancak optimum derişimden sonra süspansiyonların viskozitelerinde azalmaların olduğu rapor edilmiştir (22). Sepiyolit/silikon yağı süspansiyon sistemi ile yapılan çalışmada da en yüksek viskozite oranına %15 derişimde erişilmiştir (11).

### 3.4. ER aktivite üzerine elektrik alan kuvvetinin etkisi

Şekil 3'te diyatomit ve diyatomit/PAN kompozitinden hazırlanan süspansiyonlar için sabit kayma hızında ( $\gamma = 20 \text{ s}^{-1}$ ) ve optimum tanecik derişiminde elde edilen elektrik alan kuvveti-viskozite grafiği görölmektedir. Grafikten göröldüğü gibi süspansiyonların ER aktivitesi uygulanan elektrik alan kuvveti sonucunda eşik enerjileri aşıldıktan sonra çok azda olsa bir artış göstermektedir. Diyatomitin viskozitesinin 30 Pas'den 34 Pas'ye, Diyatomit/PAN kompozitin ise 19 Pas'den 21 Pas'ye çıktığı gözlenmiştir.



**Şekil 3.** Diyatomit (♦) ve Diyatomit/PAN (■) süspansiyonlarının viskozitesinin elektrik alan kuvveti ile değişimi.  $\dot{\gamma}$  ( $\text{s}^{-1}$ ): 20, c = %15, t = 20°C.

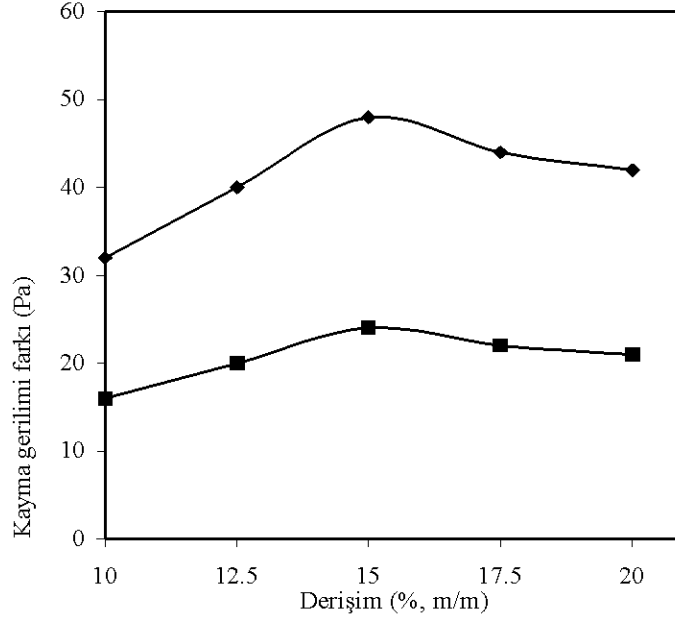
Elektrik alan kuvveti uygulandığında tanecikler arası etkileşimler taneciklerin agregasyonuna veya lif oluşumuna yol açar. Bir kayma alanı varlığında viskoz kuvvetlerle etkinleşen tanecikler süspansiyonda mevcut olan diğer taneciklerle etkileşirler. Bu viskoz kuvvetler (F)

$$F = 6\pi\eta_s r^6 \dot{\gamma} \quad [2]$$

bağıntısı ile verilir (22). Burada; süspansiyonun viskozitesini, r tanecik yarıçapını, kayma hızını göstermektedir. Ünal ve arkadaşları Sepiyolit süspansiyonları (11), Chiang ve Jamieson da çeşitli sıvı kristal polimerler ile yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçları rapor etmişlerdir (23).

### 3.5. Kayma Geriliminin Derişim ile Değişimi

Şekil 4'te sabit sıcaklık (t = 20°C) ve sabit kayma hızında ( $\gamma = 20 \text{ s}^{-1}$ ) diyatomit ve diyatomit/PAN kompoziti süspansiyonları için elde edilen derişim-kayma gerilimi farkı ( $\Delta\tau$ ) grafiği görölmektedir.

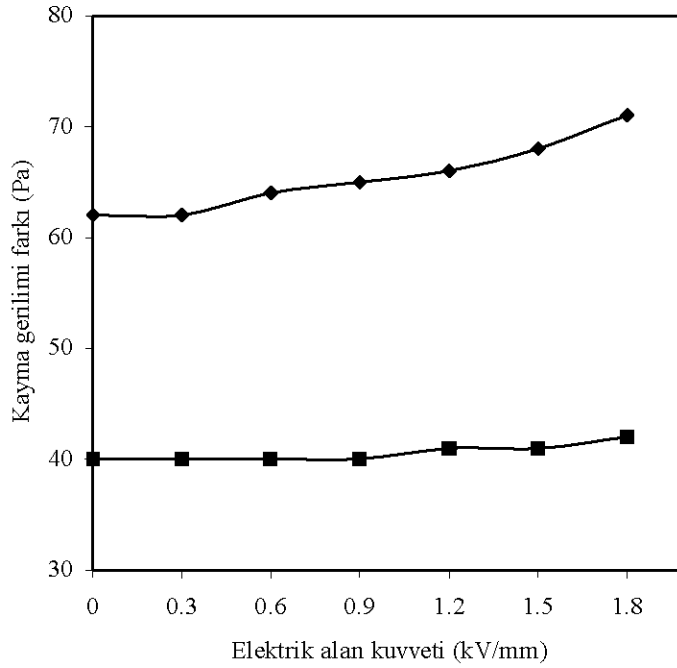


**Şekil 4.** Diyatomit(♦) ve Diyatomit/PAN(■) süspansiyonların kayma gerilimi farkının derişim ile değişimi.  $E = 0,0 \text{ kV/mm}$  ve  $0,9 \text{ kV/mm}$ ,  $\dot{\gamma} = 20 \text{ s}^{-1}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ .

Şekilde görüldüğü gibi derişim artışına paralel olarak kayma gerilimi farkı da artış göstermekte ve % 15 diyatomit derişiminde 32 Pa'dan 48 Pa değerine, diyatomit/PAN kompoziti için ise 16 Pa'dan 24 Pa değerine ulaştığı gözlenmiştir. Choi ve arkadaşları selüloz fosfat ester süspansiyonları ile yapmış oldukları çalışmada kayma gerilimi farkının derişim ile lineer bir artış gösterdiğini (24), ayrıca kitosan fosfat ile yapmış oldukları çalışmada ise kayma gerilimi farkının artan derişim ile önce bir artış ardından yavaş bir azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir (25). Sepiyolit süspansiyonları üzerine yapılan çalışmada ise kayma gerilimi farkının derişimin artmasıyla 32 Pa değerinden 78 Pa değerine çıktığı gözlenmiştir (11).

### 3.6. Kayma gerilimi farkının elektrik alan kuvveti ile değişimi

Şekil 5'te diyatomit ve diyatomit/PAN süspansiyonlar için %15 derişimde ve  $20 \text{ s}^{-1}$  sabit kayma hızında elde edilen elektrik alan kuvveti-kayma gerilimi farkı grafiğı verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi elektrik alan kuvvetinin  $0,0 \text{ kV/mm}$ 'den  $0,9 \text{ kV/mm}$ 'ye çıkması ile kayma gerilimi farkının diyatomit süspansiyonu için 62 Pa'dan 71 Pa değerine, diyatomit/PAN süspansiyonu için ise 40 Pa'dan 42 Pa değerine çıkarak çok küçük artışlar göstermiştir. Bu artış diyatomit süspansiyonların ER aktivitesinin diyatomit/PAN süspansiyonların ER aktivitesinden daha yüksek oluşunun bir kanıtıdır. Hao ve Xu oksitlenmiş poliakrilonitril ve alüminyum silikat'ın silikon yağdaki süspansiyonları ile yaptıkları deneylerde hem oksitlenmiş poliakrilonitril hem de alüminyum silikat süspansiyonların kayma gerilimi farkının elektrik alan kuvvetindeki artış ile lineer artış gösterdiğini belirtmişlerdir (26). Sepiyolit süspansiyonların ER aktivitesi üzerine yapılan bir çalışmada da kayma gerilimi farkının elektrik alan kuvveti ile 67 Pa değerinden 78 Pa değerine çıktığı gözlenmiştir (11). Ayrıca Foule ve Atten su ile aktive edilmiş mikrokristal selülozun madeni yağ içerisinde oluşturduğu süspansiyonlarla yaptıkları çalışmada 'nın elektrik alan kuvveti ile paralel olarak arttığını gözlemişlerdir (27).



**Şekil 5.** Diyatomit(◆) ve Diyatomit/PAN(■) süspansiyonların kayma gerilimi farkının elektrik alan

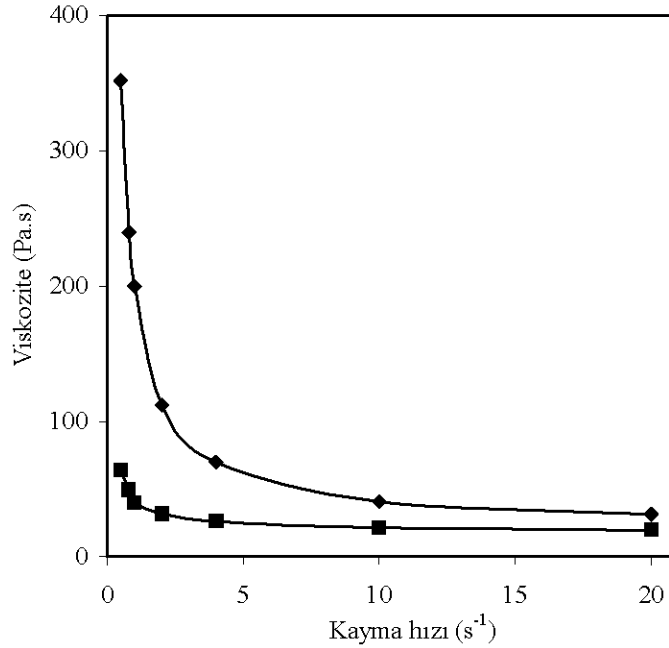
kuvveti ile değişimi.  $\dot{\gamma} = 20 \text{ s}^{-1}$ ,  $c = \%15 \text{ (m/m)}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ .

### 3.7. Viskozitenin kayma hızı ile değişimi

Şekil 6'da diyatomit ve diyatomit/PAN kompoziti süspansiyonların ( $c = \%15$ ) kayma hızı-viskozite grafiği verilmiştir. Grafikte kayma hızının artmasıyla süspansiyonun viskozitesinde üstel olarak bir azalma gözlenmektedir. Ancak bu azalma sabit elektrik alan kuvveti altında diyatomit süspansiyonunda daha belirgin olarak kendini göstermektedir. Block ve Kelly silikon yağı içerisinde silika ve kalsiyum titanat ile hazırladıkları süspansiyonlarla yaptıkları deneylerde, silika süspansiyonların elektrik alan yokluğunda Newtonian davranış, kalsiyum titanat süspansiyonların ise dilatant davranış sergilediğini belirtmişlerdir (2). Ancak elektrik alan uygulandığında kalsiyum titanat süspansiyonların elektrik alan yokluğundaki gibi kayma kalınlaşması gösterdiğini, silikanın ise elektrik alan kuvveti uygulandığında kayma incelmeye gösterdiğini belirtmişlerdir (2). Tanaka ve arkadaşları polianilin ve magnezyum hidroksit silikon yağı ortamında hazırlanan süspansiyonlar ile yaptıkları çalışmalarda, hem  $E = 0$  hem de  $E \neq 0$  şartlarında süspansiyonların kayma incelmeye gösterdiğini belirtmişlerdir (28). Diğer taraftan benzer bir çalışmada Choi, kitosan süspansiyonların Bingham türü akış sergilediğini rapor etmiştir (29).

Kayma hızı arttıkça süspansiyon içerisindeki viskoz kuvvetlerin etkisi de artar ve bu artışa paralel olarak süspansiyonun yapısal iskeletinde meydana gelebilecek bozunma da artabilir. Buna göre yüksek kayma hızında viskoz kuvvetler baskındır ve süspansiyonun yapısı elektrik alan kuvvetinin büyüklüğünden bağımsız hale gelir. Bu yüzden elektrik alan etkisi neticesinde oluşmuş olan süspansiyonun yapısı daha kolay bozulur ve viskozite artışı da daha az olur. Pavlinek ve arkadaşları da çeşitli silisyum tanecikleri ile yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçları rapor etmişlerdir (30). Sepiyolit/silikon yağı sisteminin oluşturduğu süspansiyonlar ile yapmış olduğumuz çalışmalarda da viskozitenin kayma hızı ile azaldığı ve bu azalmanın elektrik alan kuvveti varlığında daha büyük olduğu belirlenmiştir (11). Kim ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada silikon dağıtıcı ortamında hazırlanan fosfat selüloz tanecikleri süspansiyonlarının çeşitli elektrik alan kuvvetlerinde kayma incelmeye türü non-Newtonian davranış gösterdiği rapor edilmiştir (31).





Şekil 6. Diyatomit (◆) ve Diyatomit/PAN (■) süspansiyonlarının viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.  $c = \%15$  (m/m),  $E = 1,2$  kV/mm,  $t = 20^\circ\text{C}$ .

## TEŞEKKÜR

Işık saçılımı ölçümleri için Prof. Dr. Süleyman SARITAŞ ve Dr. İbrahim USLAN'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Sakai, N., Komoda, Y. and Rao, T. N., "Effect of adsorbed water on the photoelectrorheology of TiO<sub>2</sub> particle suspensions", *J. Electroanalytical Chem.*, 445, 1 (1998).
2. Block, H. and Kelly, J.P., "Electrorheology", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 21, 1661 (1988).
3. Russel, V.B., Saville, D.A. and Schowalter, W.R., "Colloidal dispersions", *Cambridge University Press*, Cambridge, 189 (1989).
4. Tao, R. and Roy, G.R., "Electrorheological fluids: mechanism, properties, technology and applications" Eds. R. Tao and G. R. Roy, *World Scientific*, Singapore, 493 (1994).
5. Onada, J., Oh, H. U. and Minesugi, K., "Semi-active vibration suppression of truss structures by electrorheological fluid", *Acta Astronautica*, 40, 771 (1997).
6. Rejon, L., Ramirez, A., Paz, F., Goycoolea, F. M., Valdez, M. A., "Response time and electroheology of semidiluted gellan, xanthan and cellulose suspensions", *Carbohydrate Polymers*, 48, 413 (2002).
7. Tian, Y., Meng, Y. and Wen, S., "ER fluid based on zeolite and silicone oil with high strength", *Materials Lett.*, 50, 120 (2001).
8. Wu C.W., Chen Y. And Conrad H., "Electrorheology of a zeolite/silicone oil suspension with dc and ac fields", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 31, 960 (1998)
9. Xie, H.Q., Guan, J.G., and Guo, J.S., "Direct synthesis of electrorheological suspension containing salt of poly(methacrylic acid) and its electrorheological effect", *J. Appl. Polym. Sci.*, 58, 951 (1998).
10. Ünal, H.İ. and Yılmaz, H., "Electrorheological properties of poly(lithium-2-acrylamido-2-methyl propane sulfonic acid) Suspensions", *J. Appl. Polym. Sci.*, 86, 1107 (2002).
11. Ünal, H.İ., Yavuz, M. and Yılmaz, H., "Sepiyolit süspansiyonların elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi", *J. Fac. Eng. Arc. Gazi Univ.*, 14, 999 (2001).
12. Şahin, D., Sarı, B. and Ünal, H.İ., "An investigation of some parameters on electrorheological properties of polypyrrole suspensions", *Turkish J. Chem.*, 26, 113 (2002).

13. Arık, H., Kadir, S., Aruntaş, H. Y., "Ankara-Kızılcıhamam diyatomitlerinin karakteristik özelliklerinin ve sıcaklığa bağlı faz dönüşümlerinin araştırılması", *J. Fac. Eng. Arc. Gazi Univ.*, 15, 103 (2002).
14. German, R.M., "Powder Metallurgy Science", *Material Powder Industries*, Separation U.S., 28 (1994).
15. Yılmaz, H., "Poli(2-akrilamido-2-metil propan sülfonik asit)'in sentezi, karakterizasyonu ve elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 94 (1999).
16. Yanju, L., Hejun, D. and Dianfu, W., "ER fluid based on inorganic/polymer blend particles and its adaptive viscoelastic properties", *Colloid And Surfaces*, 189, 203 (2001).
17. Rankin, P.J., Klingenberg, D.J., "The electrorheology of barium titanate suspensions", *J. Rheology*, 42(3): 639 (1998).
18. Lee, Y.H., Kim, C. A., Jang, W.H., Choi, H.J. and Jhon, M. S., "Synthesis and electrorheological characteristics of microencapsulated polyaniline particles with melamine-formaldehyde resins", *Polymer*, 42, 8277 (2001).
19. Choi, H.J., Kim, T.W., Cho, M.S., Choi, H.J. and Jhon M.S., "Electrorheological characterization of polyaniline dispersions", *Eur. Polym. J.*, 33 (5), 699 (1997).
20. Yavuz, M., Ünal, H.İ. and Yıldırım Y., "Electrorheological properties of suspensions prepared from polystyrene-block-polyisoprene copolymer", *Turkish J. Chem.*, 25, 19 (2001).
21. Felici, N. J., "Interfacial effects and electrorheological forces : Criticism of the conduction model", *J. Electrostatics*, 40, 567 (1997).
22. Li, J., Zhou, L., Liu, H., " The electrorheological performance of the particle materials adsorbed with strong rare earth electrolyte", *Solid State Com.*, 107, 561 (1998).
23. Chiang Y. C. and Jamieson A. M., "Electrorheological determination of the leslie viscosity coefficient ( $e_2$ ) of a main-chain liquid crystal polymer in a nematic solvent", *Rheol. Acta*, 38, 268 (1999).
24. Choi, U. S., Ahn, B. G., "Electrorheology of cellulose phosphate ester suspension as a new anhydrous ER fluid", *Colloids and Surfaces*, 168, 71 (2000).
25. Choi, U. S., Ko, Y. G., Kim, J. Y., "Electrorheological performance of chitosan phosphate suspension", *Polymer Journal*, 32, 501 (2000).
26. Hao, T. and Xu, Y., "Microstructure-confined mechanical and electrical properties of the electrorheological fluids under the oscillatory mechanical field", *J. Colloid Interface Sci.*, 185, 324 (1997).
27. Foulc J.N. and Atten D., *Electrorheological Fluids: Mechanism, Properties, Technology and Applications* Eds. R. Tao and G. R. Roy, *World Scientific*, Singapore, 358-371 (1994).
28. Tanaka, K., Orwa, Y., Akiyama, R. and Kubono, A., "Shear thinning and electrorheological effect for neat liquid crystalline polysiloxane in the vicinity of isotropic- liquid crystalline phase transition", *Polym. J.* 30(3): 171 (1998).
29. Choi, U. S., "Electrorheological properties of chitosan suspension", *Colloids and Surfaces*, 157, 193 (1999).
30. Pavlinek, V., Quadrat, O., Porsch, B. and Saha, P., "Electrorheological behaviour of suspensions of various surface-modified porous silica particles", *Colloids and Surfaces*, 155, 241 (1999).
31. Kim, S. G. et all, "Electrorheological characteristics of phosphate cellulose-based suspensions", *Polymer*, 42, 5005 (2001).

Geliş Tarihi:16.08.2002

Kabul Tarihi:18.04.2003