

## Simektit Süspansiyonlarının Bazı Elektrolit ve Polimer Solüsyonları İçerisinde Sedimentasyon ve Elektrokinetik Özellikleri

Vildan Önen, Muhammed Göçer

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya  
e-posta: vonen@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.04.2016; Kabul Tarihi: 31.08.2016

### Özet

#### Anahtar kelimeler

Bentonit;  
Susuzlandırma;  
Koagülasyon;  
Flokülasyon;  
Elektrokinetik özellik

Kil içeren atıkların susuzlaştırılması tüm maden işleme tesislerinde önemli bir problemdir. Bentonit simektit gurubu bir kil mineralidir ve maden atıklarında yaygın olarak bulunmaktadır. Na bentonit, ara tip bentonit (Na, Ca bentonit) ve Ca bentonit olarak sınıflandırılır. Onların varlığı susuzlandırma işlemlerinde, düşük verime, yüksek flokülant sarfiyatına neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ara tip bentonit mineral süspansiyonlarının sedimentasyon ve elektrokinetik özellikleri üzerine koagülasyon ve flokülasyon yöntemlerinde kullanılan inorganik elektrolitler ve polimerlerin etkisinin belirlenmesidir. Çalışmada koagülant olarak  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $NaCl$ ,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$ ; flokülant olarak anyonik, katyonik ve noniyonik polimerler kullanılmıştır. Performans, süspansiyonun zamana bağlı ara yüzey yüksekliği değişimi ile deneysel çalışmalar sonucu oluşan temiz suyun bulanıklık verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Koagülasyonda, 250 mg/l konsantrasyonda  $Al_2(SO_4)_3$  (% 99 verim-5,3 mm/dakika sedimentasyon hızı); Flokülasyonda 6,25 mg/l konsantrasyonda anyonik flokülant (% 97 verim- 47 mm/dakika sedimentasyon hızı) en iyi sonucu vermiştir. Koagülasyon+Flokülasyon deneylerinde  $NaCl$ +Anyonik flokülant daha düşük kimyasal konsantrasyonlarında (12,5 mg/l  $NaCl$ +3,75 mg/l anyonik flokülant) yaklaşık aynı oranda sedimentasyon(%97 verim- 39 mm/dakika sedimentasyon hızı) sağlamıştır.

## Electrokinetic and Sedimentation Properties of Simectic Suspensions in Some Electrolyte and Polymer Solutions

### Abstract

#### Keywords

Bentonite;  
Dewatering;  
Coagulation;  
Flocculation;  
Electrokinetic properties

Dewatering of tailings containing clay is an important problem in all mineral processing plants. Bentonite is a smectite group clay and commonly present in the tailings of minerals industry. Bentonites are classified as Na bentonite, mixed type bentonite (Na-Ca bentonite) and Ca bentonite. Their presence can cause very difficult dewatering, high flocculant demand, low settling rates and poor supernatant clarity. In this study, the efficiency of inorganic electrolytes and polymers used in coagulation and flocculation methods onto sedimentation and electrokinetic properties of mixed type bentonite mineral suspensions is investigated.  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $NaCl$ ,  $MgCl_2$  and  $CaCl_2$  were used as the coagulant and anionic, cationic, nonionic polymers were used as the flocculant. The performances of the coagulant in the experimental studies were assessed with the change in the interface height during sedimentation resultant and turbidity values of treated water. Best results were obtained with  $Al_2(SO_4)_3$  (99% efficiency with 5,3 mm/min settling rate) at 250 mg/l concentration and anionic flocculant (97% efficiency with 47 mm/min settling rate) at 6,25 mg/l concentration in coagulation and flocculation, respectively. In combined coagulation and flocculation experiments  $NaCl$ +Anionic flocculant showed a similar efficiency (97%) and settling velocity (39 mm/min) at a lower chemical concentration (12,5 mg/l  $NaCl$ +3,75 mg/l anionic flocculant).

## 1. Giriş

Simektit türü kil mineralleri cevher hazırlama atıkları içerisinde yaygın olarak bulunurlar (Addai-Mensah, 2007). Simektitler çok küçük tane boyutu, yüksek yüzey alanı ve yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı sıvı ortamlarda disperse olduklarında kompleks elektro kinetik ve reolojik özellikler gösterirler (Duman and Tunç, 2009). Madencilik ve cevher hazırlama proseslerinde koloidal kararlı kil dispersiyonlarının efektif olarak susuzlandırılması karşılaşılan başlıca zorluklar arasındadır. Cevher yapısı içerisinde az miktarda bile kil minerali bulunması düşük sedimentasyon hızı, yüksek flokülant gereksinimi, yüksek supernatant bulanıklığı ve düşük sedimentasyon verimi ile sonuçlanan susuzlandırma problemlerine neden olmaktadır. Bu problemlerin başlıca sebebi olarak kil minerallerinin tane boyutu, şişme ve jelleşme vb. yapısal özellikleri gösterilebilir (Addai-Mensah, 2007).

Genel olarak bu amaçla yani kil minerallerinin sedimentasyonu amacıyla flokülasyon, koagülasyon veya bu iki yöntemin kombinasyonu olan koagülasyon+flokülasyon ile filtrasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tanelerin bir araya getirilmesi işlemi flokülasyonda yüksek molekül ağırlıklı polimerler kullanılarak, polimerler ve partiküller arasında fiziksel bir köprü meydana getirilerek gerçekleştirilirken, koagülasyonda inorganik elektrolitler yardımıyla tanelerin yüzey elektrik şarjları nötralize edilerek sağlanmaktadır (Ersoy et al, 2009; Bentli, 2010; Wang et al, 2014). Polimerler yani flokülantlar daha yüksek molekül ağırlıklarına sahip olmalarından dolayı genellikle koagülantlara göre daha etkilidirler. Ancak bazı durumlarda tek başlarına kullanımları efektif değildir. Bu yüzden etkinliği artırmak için gerekli durumlarda inorganik elektrolitler yani koagülantlar ile birlikte kullanılırlar (Bella et al, 2014; Amor et al, 2015; Nourani et al, 2016). Susuzlandırma proseslerinde verimi etkileyen faktörler; tane boyut dağılımı, tane şekli, tanenin yüzey özellikleri, beslemedeki katı oranı, koloidal katı içeriği, sıvının vizkositesi ve sıcaklığı, çözünmeyen tuz içeriği, kullanılan koagülant/flokülant türü ve miktarı, karıştırma koşulları, süspansiyon pH'sı olarak sıralanabilmektedir (Zheng et al, 2011).

Kil süspansiyonlarının susuzlandırılmasında etkin rol oynayan yapısal özellikler killerin oluşum özelliklerine ve minerolojik yapılarına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmekte ve bunun sonucu olarak da killerin sedimentasyon karakteristikleri farklılıklar arz edebilmektedir (Göçer, 2016). Endüstride mümkün olduğu kadar az miktarda koagülant/flokülant ile çok miktarda kil mineralinin mümkün olan en yüksek verimle çöktürülmesi istenir ve bu nedenle optimum koşullarının saptanması büyük önem taşır. Bu çalışmada simektit türü bir kil minerali olan Çankırı bölgesine ait (Na-Ca) bentonit süspansiyonlarının sedimentasyon ve elektrokinetik özellikleri üzerine bazı elektrolitlerin (koagülantların) ve polimerlerin (flokülantların) etkileri araştırılmış ve sonuç olarak koagülant ve flokülantların ardışık kullanılması ile daha az miktarda kimyasal kullanarak sedimentasyon veriminin artırılması hedeflenmiştir. Son yıllarda çevre bilinci ve çevresel yaptırımlar giderek artmaktadır. Bu durum hem çevresel etki hemde maliyet açısından önem taşımaktadır. Fazla koagülant/flokülant kullanımı hem maliyeti artırmakta hemde biyolojik bozulabilirliği düşük, çamur hacmi fazla yada içerisinde fazla miktarda ağır metal içeren atıkların oluşumuna neden olmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda Çankırı Bentonit San Tic. A.Ş. (ÇANBENSAN) dan temin edilen karma tip bentonit (N999) numuneleri kullanılmıştır. Numunenin % 75'i 40 mikronun altındadır. Numuneye ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de, deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemeler ise Tablo 2' de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Numunenin Kimyasal Analizi

Bileşen	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	61,28
Na <sub>2</sub> O	2,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,79
MgO	2,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,01
K <sub>2</sub> O	1,24
CaO	4,54
Diğer	7,34

**Tablo 2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar

Koagülantlar	Mol Ağırlığı (g/mol)
NaCl	58,44
CaCl <sub>2</sub>	110,99
MgCl <sub>2</sub>	203,30
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	666,43
FeCl <sub>3</sub>	270,33
Flokülantlar	
Anyonik (Cynamid A150)	5-15 x 10 <sup>6</sup>
Kasyonik(Cynamid C521)	2-6 x 10 <sup>6</sup>
Noniyonik (Cynamid N100)	5-15 x 10 <sup>6</sup>

## 2.2. Metod

Deneysel hız ayarlı mekanik karıştırma cihazında (Heidolph RZR 2021) 500 ml'lik beherler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel öncesi çalışılacak her flokülant ve koagülant için uygun stok çözeltiler hazırlanarak, deneysel çalışmalar distile su ile hazırlanan bu stok çözeltilerden değişik konsantrasyonlarda seyreltilerek gerçekleştirilmiştir. %2.5 katı oranında hazırlanan kil süspansiyonları ilk olarak homojen bir karışım sağlanabilmesi için 850 rpm hızda 15 dakika karıştırılmaya tabi tutulmuş daha sonra koagülant/flokülant ilavesi yapılarak süspansiyon 3 dakika 200 rpm hızda karıştırılmıştır. Karıştırma süresi sonunda sistem durdurulmuş ve beher kenara alınarak 30 dakika boyunca çökelmeye bırakılmıştır. Çökme süresi boyunca katı-sıvı ara yüzey yüksekliği takip edilmiş ve çökme sonunda hava-su ara yüzeyinin belirli bir mesafe altından alikot alınarak bulanıklık, zeta potansiyeli ve pH değerleri ölçülmüştür. pH kontrolünde İnoLab wtw serisi dijital pH metre kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda alınan numune süspansiyonun bulanıklık değeri, ölçüldükten sonra aşağıdaki formül ile deneyin başarısı tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Flokülasyon Verimi} = [(T_o - T_f) / T_o] * 100$$

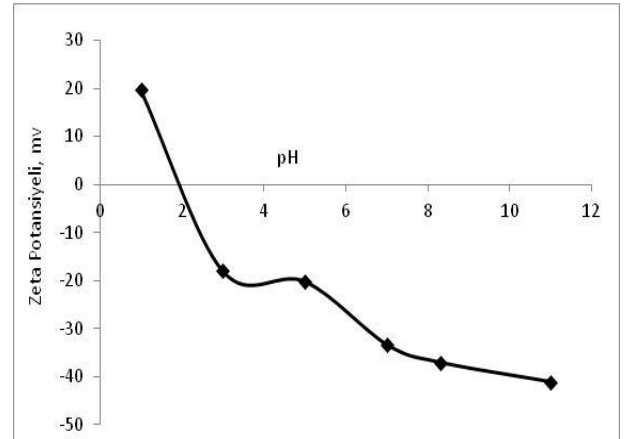
T<sub>o</sub>: Süspansiyonun sedimentasyon öncesi bulanıklık değeri (NTU)

T<sub>f</sub>: Sedimentasyon sonrası süpernatantın bulanıklık değeri (NTU; Nephelometric turbidity unit).

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Zeta Potansiyeli

Zeta potansiyeli ölçümleri Zeta plus (Brookhaven) cihazı ile yapılmıştır. %2.5 katı oranında hazırlanan kil süspansiyonları ilk olarak homojen bir karışım sağlanabilmesi için 850 rpm hızda 15 dakika karıştırılmaya tabi tutulmuş daha sonra süspansiyon 3 dakika 200 rpm hızda karıştırılarak karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Son olarak beher kenara alınarak 30 dakika boyunca çökelmeye bırakılmıştır. Süspansiyondan hava-su ara yüzeyinin belirli bir mesafe altından yaklaşık 10 ml alikot alınarak hücreye yerleştirilmiştir. Her bir zeta potansiyeli ölçümü 2 defa tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



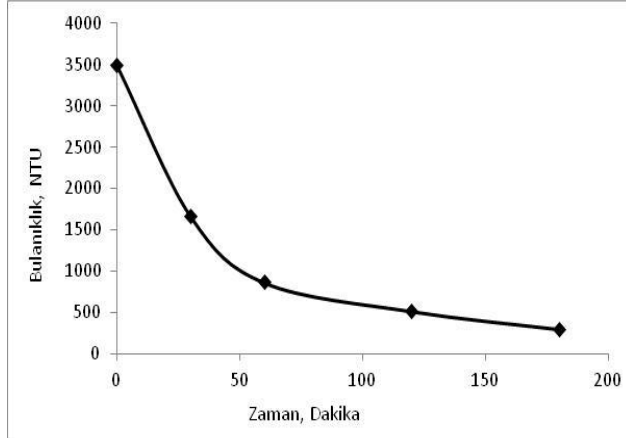
**Şekil 1.** Na-Ca bentonit mineralinin pH'a bağlı zeta potansiyeli değerlerinin değişimi.

Hazırlanan süspansiyonun doğal pH değeri 8,31 dir. Bu pH değerinde mineral negatif yüzey şarjına sahiptir ve iep değeri 2,0 dir. Bu değerlerin altındaki pH'larda mineral yüzeyleri pozitif, üzerindeki pH'larda ise negatif yüzey şarjına sahiptir. Artan ortam pH'sı ile birlikte tanelerin zeta potansiyeli daha da negatif olmaktadır(Şekil 1).

### 3.2. Süspansiyonun Doğal Sedimentasyonu

Süspansiyonun doğal halde (kimyasalsız) sedimentasyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Na-Ca bentonit numuneleri ile hazırlanan süspansiyonun

başlangıç bulanıklık değerleri 3496 NTU'dur. Süspansiyonun bulanıklık değerleri artan çökeltme süresiyle birlikte yavaş bir şekilde azalmakta ve 180 dakika sonunda 298 NTU olmaktadır (Şekil 2). Sedimentasyon performansı bulanıklık dışında sedimentasyon hızı ile de karakterize edilmektedir. Süspansiyonun doğal sedimentasyonda ortalama sedimentasyon hızı 0,73 mm/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Na-Ca bentonit süspansiyonunun doğal sedimentasyonu

### 3.3. Süspansiyonun Sedimentasyonu ve Elektrokinetik Özelliklerine İnorganik Elektrolitlerin Etkisi

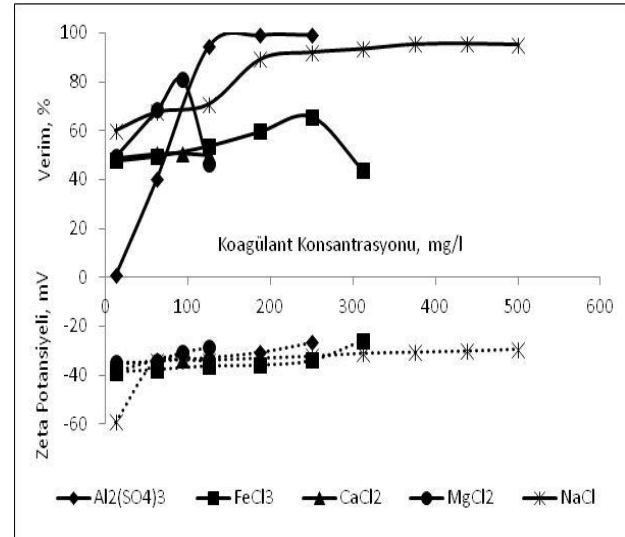
Ara tip bentonit süspansiyonunun 30 dakika serbest sedimentasyon sonunda ulaştığı bulanıklık değeri 1664 NTU olup bu değer verim hesaplamalarında başlangıç bulanıklığı olarak kabul edilmiştir. Çalışılan koagülantlar için en düşük bulanıklık değerlerine ulaşılan konsantrasyonlar ve bu konsantrasyonlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$  250 mg/l - 13,72 NTU
- NaCl 437,5 mg/l - 72,8 NTU
- $MgCl_2$  93,75 mg/l - 317 NTU
- $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  250 mg/l - 569 NTU
- $CaCl_2$  93,75 mg/l - 823 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu  $Al_2(SO_4)_3$  vermiştir. Optimum konsantrasyon değerleri belirlenirken mühendislik çalışmalarında esas olan etkinlik-maliyet analizleri dikkate alınmıştır. Örneğin

$Al_2(SO_4)_3$  için optimum konsantrasyon 125 mg/l olarak belirlenmiştir. Burada koagülant konsantrasyonu 250 mg/l ye çıkarıldığında verim %99 olmuştur. Konsantrasyon 2 katına çıkarıldığında verim değeri yalnızca % 4,88 kadar artmıştır. Bu yüzden optimum konsantrasyon 125 mg/l olarak belirlenmiştir. Her bir koagülant için optimum konsantrasyonlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performans % 94 koagülasyon verimiyle  $Al_2(SO_4)_3$  ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 95 verimle NaCl, % 80,95 verimle  $MgCl_2$ , % 66 verimle  $FeCl_3$ , ve % 50 verimle  $CaCl_2$  ile sağlanmıştır(Şekil 3).

Çalışılan tüm koagülantlar için optimum doz olarak belirlenen koagülant konsantrasyonuna kadar süspansiyon bulanıklığında bir düşüş gözlenirken, daha sonra artan koagülant konsantrasyonu ile süspansiyon bulanıklığında sabitleme veya artış meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 3). Ortama optimum konsantrasyondan daha fazla koagülant ilavesi şarjın ters dönmesi ve sonrasında artan pozitif şarj nedeniyle koagülasyonu olumsuz etkilemektedir .



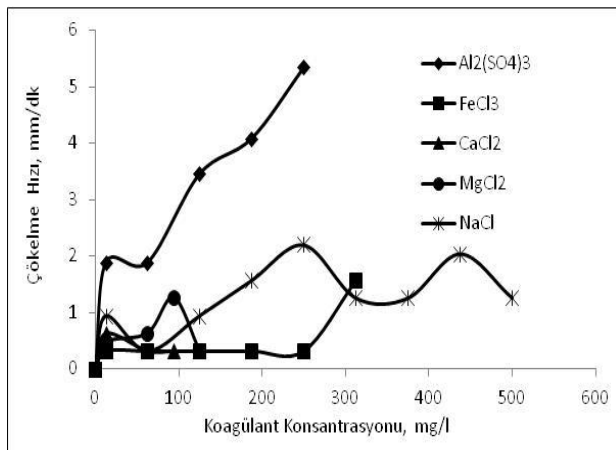
Şekil 3. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyonu ve zeta potansiyeli üzerine elektrolitlerin etkisi

Koagülasyon, elektrostatik kökenli olup, elektriksel çekim kuvvetleri ile kontrol edilen bir agregasyon olayıdır. Elektriksel şarjların azaltılması, zeta potansiyelinin düşürülmesi, itme kuvvetlerinin azalmasına ve dolayısıyla koagülasyona neden olur. Kil taneleri su içerisinde negatif yüzey yüküne ve

zeta potansiyele sahiptir. Bu nedenle sistemde + değerlikli metal tuzları kullanıldığından ortama bir koagülant ilave edildiğinde, ortaya çıkan serbest haldeki metal iyonları tane yüzeyindeki negatif yük merkezlerine adsorplanarak (yük nötralizasyonu ile) ve tanenin elektriksel çift tabakasını bastırarak tanenin zeta potansiyelini düşürür. Böylece zeta potansiyeli değeri azalan taneler arasındaki itme kuvvetleri azalmakta ve Van der Waals çekim kuvvetleri baskın hale gelerek tanelerin bir araya gelmesi sağlanmaktadır.

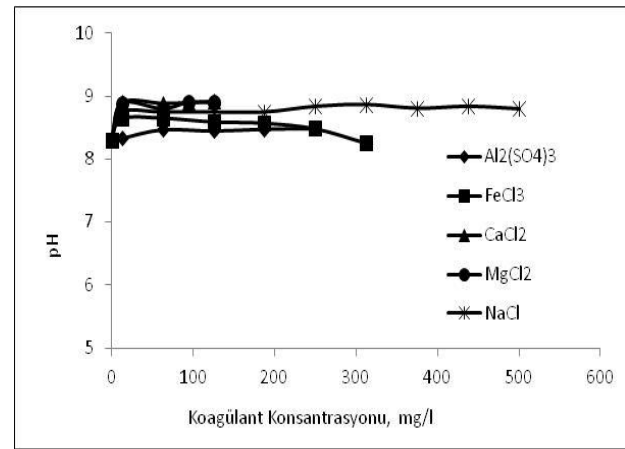
Süspansiyona ilave edilen koagülant miktarı arttıkça zeta potansiyeli değerlerinin de mutlak değerce azaldığı ve sifıra doğru yaklaştığı görülmektedir. Örneğin Ara tip bentonit süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli – 37,12 mvolt iken bu değer 250 mg/l  $Al_2(SO_4)_3$  ilave edildiğinde -26,68 mvolt olmuştur (Şekil 3). Daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki, iki ve üç değerlikli katyonlar tek değerlikli katyonlara göre killerin zeta potansiyelini daha yüksek derecede azaltmaktadır (Duman and Tunç, 2009; Zadaka et al. 2010). Bu çalışmada da önceki çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiş ve mineral süspansiyonlarında en düşük zeta potansiyeli değerlerini genellikle  $Al^{3+}$  ve  $Fe^{3+}$  tuzları vermiştir.

En iyi sedimentasyon hızı değerini bulanıklık değerleri ile paralel olarak  $Al_2(SO_4)_3$  vermiştir. Bu koagülant için 250 mg/l konsantrasyonda hız 5,34 mm/dk dır. Ardından sırasıyla 250 mg/l NaCl, 312,50 mg/l  $FeCl_3$ , 93,75 mg/l  $MgCl_2$  ve 12,50 mg/l  $CaCl_2$  ile optimum hız değerleri elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyon hızı üzerine elektrolitlerin etkisi

Süspansiyon pH'sı ve süspansiyon içerisindeki elektrolitlerin tipi elektrokinetik ve reolojik özelliklerde değişikliğe sebep olarak süspansiyonların koloidal davranışlarını etkiler. Ara tip bentonit süspansiyonunun doğal halde pH'sı 8,31 dir. Tüm koagülantlar süspansiyon pH'sında az miktarda artışa sebep olmuştur. Örneğin 125 mg/l  $MgCl_2$  ilavesinde pH 8,90 olmuştur.  $Al_2(SO_4)_3$  ve  $FeCl_3$  asidik karakterde olduklarından pH değerini diğer koagülantlara göre daha az artırmışlardır (Şekil 5).



Şekil 5. Na-Ca bentonit süspansiyonunun pH'sı üzerine elektrolit konsantrasyonunun etkileri

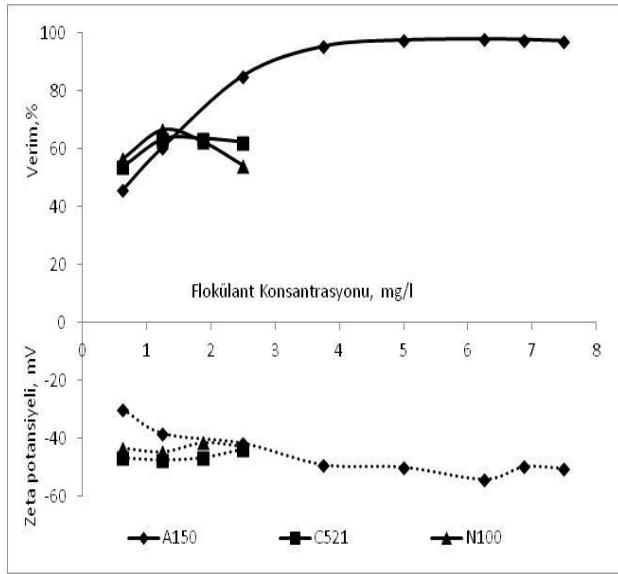
### 3.4. Süspansiyonun Sedimentasyonu ve Elektrokinetik Özelliklerine Polimerlerin Etkisi

Flokülasyonda en düşük bulanıklık değerlerine ulaşılan konsantrasyonlar ve bu konsantrasyonlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

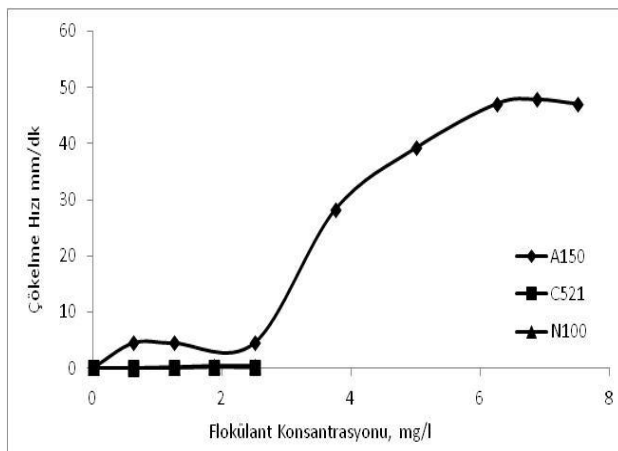
- Anyonik (A150) 6,25 mg/l - 35,8 NTU
- Noniyonik (N100) 1,25 mg/l - 554 NTU
- Katyonik(C521)1,875mg/l - 606 NTU'dur.

Ara tip bentonit süspansiyonunun flokülasyonunda anyonik flokülant daha etkin sonuçlar vermiştir. Her bir flokülant için en düşük bulanıklık değerlerine ulaşılan konsantrasyonlarda en iyi performans % 97,85 flokülasyon verimiyle Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 66,71

verimle Noniyonik (N100) ve % 63,58 verimle Katyonik flokülant (C521) ile sağlanmıştır (Şekil 6). Flokülantlar suda çözünebildiklerinden süspansiyonların iyon derişimlerini etkileyebilmektedirler. Süspansiyonların tamamında en fazla değişimi anyonik flokülantlar göstermiştir. Örneğin Ara tip bentonit süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli -40,5 mvolt iken bu değer 6,875 mg/l Anyonik (A150) dozlandığında -49,71 mvolt olmuştur(Şekil 6). N100 ve C521 için sedimentasyon hızları çok düşüktür. A150 için en iyi sedimentasyon hızı 47 mm/dk olarak hesaplanmıştır (Şekil 7). Bu değerler bulanıklık verileri ile paralellik göstermiştir.



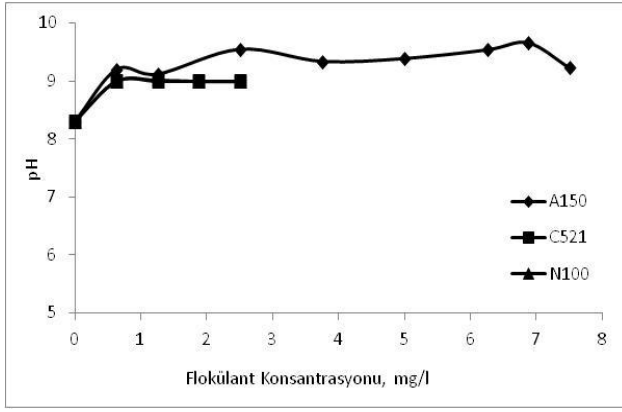
Şekil 6. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyonu ve zeta potansiyeli üzerine flokülantların etkisi



Şekil 7. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyon hızı üzerine flokülantların etkisi

Tanelerin negatif yüzey yükü dikkate alındığında katyonik flokülantın flokülasyonda daha etkili olması gerektiği düşünülebilir ancak flokülant adsorpsiyonu yalnızca yüzeyle fonksiyonel etkileşimlere bağlı değildir aynı zamanda flokülant molekül ağırlığına ve polimer zincirlerinin çözünme hızına da bağlıdır. Yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar süspansiyon içerisindeki köpük gelişiminde oldukça etkilidir (Owen et al. 2002; Hogg et al. 1993). Onlar birkaç tane üzerine eş zamanlı olarak adsorbe olabilir ve üç boyutlu matrisler oluşturabilirler. C-521 flokülantı A150 ile kıyaslandığında daha düşük molekül ağırlığına sahiptir ve bu nedenle flokülasyon etkinliğinin daha düşük olduğu söylenebilir. Ayrıca katyonik polimer ile flokülasyon daha çok elektrostatik yük yamama yöntemiyle gerçekleşmektedir. Bu mekanizmanın polimer köprü teşekkülü mekanizmasına göre flokülasyon üzerindeki etkisi nisbeten daha azdır. Bu durumda bentonit flokülasyonunda birincil mekanizmanın polimer köprüleme mekanizması olduğu söylenebilir. Zeta potansiyeli ölçümleri de bu yargıyı desteklemektedir (Şekil 6). Yapılan bazı çalışmalarda yüksek molekül ağırlıklı anyonik polimerlerin negatif yüzey şarjlı killerin çöktürülmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (Patience et al. 2003; Hogg, 2000; Nasser et al. 2006). Noniyonik flokülantta ise bulanıklığın daha fazla olmasının nedeni noniyonik formdaki polimer zincirin yapısından kaynaklanmaktadır. Noniyonik flokülantın yumaklaşmış kıvrımlı yapısı taneler arasında köprü oluşumunu zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla flokülasyon olumsuz etkilenmektedir. Bu sonucu literatürde yapılmış çalışmalar desteklemektedir (Cengiz et al. 2004).

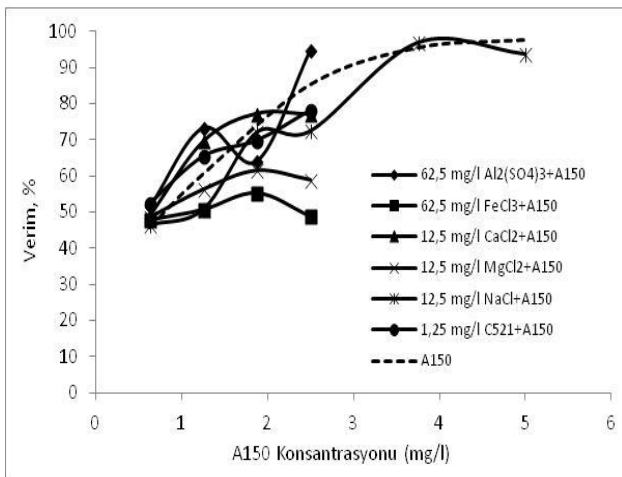
Flokülasyon deneylerinde, süspansiyon pH'sı artan konsantrasyonla birlikte artış göstermiştir, pH değişim aralıkları 8,89-9,93 arasındadır (Şekil 8).



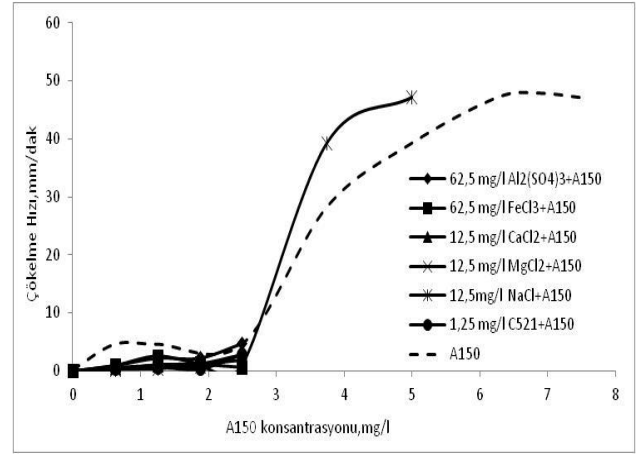
Şekil 8. Na-Ca bentonit süspansiyonunun pH'sı üzerine flokülant konsantrasyonunun etkileri

### 3.4. Süspansiyonun Sedimentasyonuna İnorganik Elektrolit ve Polimerlerin Ardışık Kullanımının Etkisi

Ara tip bentonit süspansiyonunun sedimentasyonunda inorganik elektrolit ve polimerlerin birlikte etkisini belirlemek amacıyla bir dizi koagülasyon + flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 12,5 mg/l NaCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub>; 62,5 mg/l Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ve FeCl<sub>3</sub>; 1,25 mg/l katyonik flokülant (C521) üzerine anyonik flokülant konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla süspansiyonun doğal pH'ında (8,31) bir dizi sedimentasyon testleri yapılmıştır. Bu konsantrasyonlar daha önce gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak seçilmiştir.



Şekil 9. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyon verimi üzerine elektrolit ve flokülantların ardışık kullanımının etkisi



Şekil 10. Na-Ca bentonit süspansiyonunun sedimentasyon hızı üzerine elektrolit ve flokülantların ardışık kullanımının etkisi

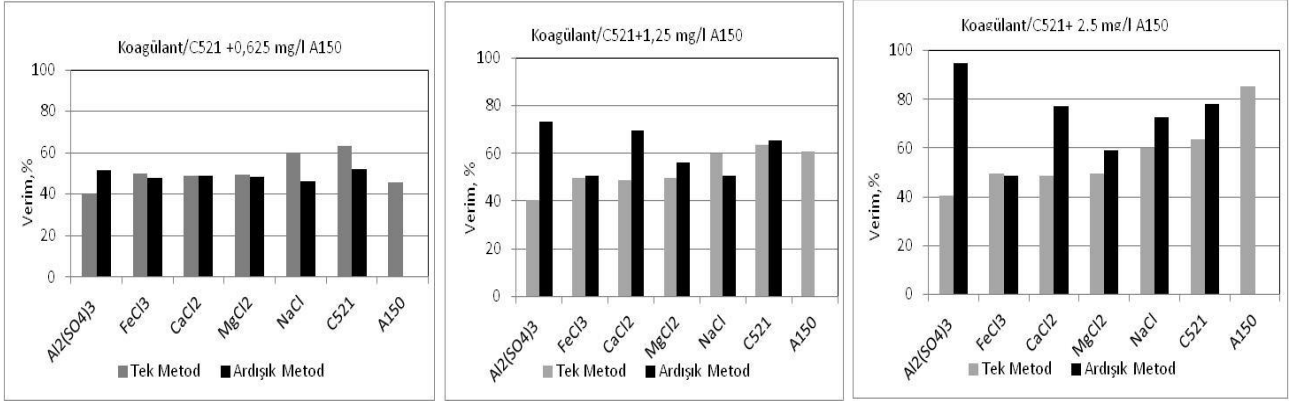
En düşük bulanıklık değerlerine ulaşılan konsantrasyonlar ve bu konsantrasyonlarda ulaşılan bulanıklık değeri;

- 12,5 mg/l NaCl+ 3,75 mg/l A150 - 51,8 NTU
- 62,5 mg/l Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+2,5 mg/l A150 -85,8 NTU
- 1,25 mg/l C521+ 2,5 mg/l A150 - 364 NTU
- 12,5 mg/l CaCl<sub>2</sub>+ 1,875 mg/l A150 - 379 NTU
- 12,5 mg/l MgCl<sub>2</sub>+ 1,875 mg/l A150 - 641 NTU
- 62,5 mg/l FeCl<sub>3</sub>+ 1,875 mg/l A150 -744 NTU

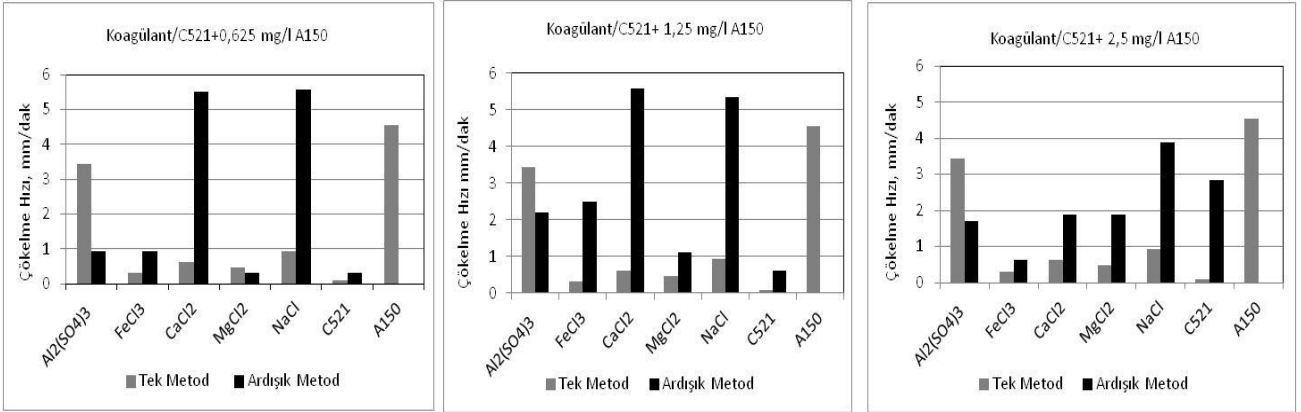
olarak belirlenmiştir. Yalnızca 6,25 mg/l A150 kullanıldığında %97 verimle sedimentasyon sağlanırken koagülasyon+flokülasyon deneylerinde 12,5 mg/l NaCl üzerine 3,75 mg/l A150 ilave edildiğinde verim % 97 olmuştur. Yani 2,5 mg/l anyonik flokülant daha az kullanılarak yaklaşık aynı flokülasyon verimine ulaşılmıştır. En hızlı sedimentasyonda (39 mm/dakika) bu şartlarda gerçekleşmiştir. 3,75 mg/l A150 için süspansiyonun sedimentasyon hızı 28 mm/dak'dır. Yani bu şartlarda 10 mm/dak'lık bir hız artışı sağlanmıştır.

Sonuçları daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla koagülant ve flokülantların tek başına ve ardışık kullanımı halinde ulaşılan verim ve sedimentasyon hızı değerleri Şekil 9 ve Şekil 10'da 0,625-1,25 ve 2,5 mg/l A150 ilaveleri için topluca sunulmuştur. İki şekil birlikte değerlendirildiğinde, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile ön destabilizasyonun sedimentasyon veriminde olumlu etkisinin yanı sıra sedimentasyon hızı

açısından yavaşlatıcı etkisi görülmektedir. NaCl ve CaCl<sub>2</sub> ile ön destabilizasyon özellikle sedimentasyon hızını önemli ölçüde artırmıştır.



**Şekil 11.** İnorganik elektrolitler ve Anyonik polimerin tek başına ve ardışık kullanımlarında ulaşılan verim değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 12.** İnorganik elektrolitler ve Anyonik polimerin tek başına ve ardışık kullanımlarında ulaşılan sedimentasyon hızlarının karşılaştırılması

#### 4. Sonuçlar

Ara tip bentonit numunesi ile %2,5 katı oranında hazırlanan süspansiyonun doğal pH'sı 8,3 olarak ölçülmüştür ve bu pH değerinde mineral negatif yüzey şarjına sahiptir. Numunenin iep noktası ise pH 2 olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan süspansiyonun başlangıç bulanıklık değeri 3496 NTU olup doğal sedimentasyonla 180 dakika sonunda 298 NTU bulanıklık değeri ölçülmüştür. Süspansiyonun doğal sedimentasyonda ortalama sedimentasyon hızı 0,73 mm/dakika olarak belirlenmiştir.

İnorganik elektrolitlerin etkisinin belirlendiği koagülasyon deneylerinde en iyi sonuç 13,72 NTU

bulanıklık değeri ve %99 verimle Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile 250 mg/l konsantrasyonda elde edilmiştir. Bu konsantrasyonda koagülant'ın sedimentasyon hızı 5,34 mm/dakikadır. Bu deneysel çalışmalarda iki ve üç değerlikli katyonlar bentonitin zeta potansiyelini daha önce yapılan çalışmalara paralel olarak daha yüksek derecede azaltmışlardır. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ve FeCl<sub>3</sub> asidik karakterde olduklarından ortam pH'sını diğer elektrolitlere göre daha az arttırmışlardır.

Polimerlerin etkisinin incelendiği flokülasyon deneylerinde en iyi sonuç 35,8 NTU bulanıklık değeri ve %97 verimle anyonik flokülant ile 6,25 mg/l konsantrasyonda elde edilmiştir. Bu konsantrasyonda flokülantın sedimentasyon hızı 44,8 mm/dakikadır. Negatif yüzey yüküne sahip



mineralin flokülasyonunda anyonik flokülantın başarılı olması ve zeta potansiyali ölçümleri flokülasyonda etkin mekanizmanın polimer köprülleme mekanizması olduğunu göstermiştir.

İnorganik elektrolitler ve polimerlerin birlikte etkisinin incelendiği koagülasyon+ flokülasyon deneylerinde 12,5 mg/l NaCl +3,75 mg/l A150 ile %97 verim (51,8 NTU) ve 39 mm/dakika sedimentasyon hızında süspansiyon susuzlandırılmıştır. Fazla miktarda kimyasal kullanımı olası olumsuz çevresel etkilerin artması anlamına gelmektedir. Kimyasalların ardışık kullanımı daha düşük konsantrasyonda aynı verime ulaşılmasını sağlamıştır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 15201055 nolu proje ile desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

Addai-Mensah, J. 2007. Enhanced flocculation and dewatering of clay mineral dispersions. *Powder Technology*, **179**, 73-78.

Amor, C., Torres-Socias, E.D., Peres, J.A., Maldonado, M.I., Oller, I., Malato, S., Lucas and Mature, M.S., 2015. Landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Material*, **286**, 261–268

Bella, G.D., Giustra, M.G. and Aldrich, G.F. 2014. Optimisation of coagulation/flocculation for pre-treatment of high strength and saline wastewater: performance analysis with different coagulant doses. *Chem. Eng. J.*, **254**, 283–292.

Bentli, İ., 2010. Kömür Lavvar Tesisi Atıkların Flokülasyonunda İnorganik Elektrolitlerin Etkisi, *Ekoloji*, **76**,71-77.

Cengiz, İ., Sabah E. and Erkan ,Z.E., 2004. Geleneksel ve UMA Teknolojisinin Polimerlerin Flokülasyon Performansları Üzerine Bir Araştırma. *Madencilik Dergisi*, **43(1)**, 15-20.

Duman, O and Tunç, S., 2009. Electrokinetic and rheological properties of Na-bentonite in some

electrolyte solutions, *Microporous and Mesoporous Materials* **117**, 331–338.

Ersoy, B., Tosun, İ., Günay, A. and Dikmen, S., 2009. Turbidity removal from wastewaters of natural stone processing by coagulation/flocculation methods, *Clean*, **37(3)**, 225-232.

Göçer, M., 2016. Kil minerallerinin flokülasyon ve koagülasyon yöntemleri ile çöktürme karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 92.

Hogg, R., 2000. Flocculation and Dewatering, *International Journal of Mineral Processing* **58**, 223-236.

Hogg, R., Bunnaul, P. and Suharyono, H., 1993. Chemical and physical variables in polymer-induced flocculation. *Miner. Metal Process.* **10**, 81–85.

Nasser, M. S. and James., A.E., 2006. The effect of polyacrylamide charge density and molecular weight on the flocculation and sedimentation behaviour of kaolinite suspensions, *Separation and purification Technolog*, **52**, 241-252.

Nourani, M., Baghdadi, M., Javan,M. and Bidhendi, G.N. 2016. Production of a biodegradable flocculant from cotton and evaluation of its performance in coagulation-flocculation of kaolin clay suspension: Optimization through response surface methodology (RSM). *Journal of Environmental Chemical Engineering*,**4**, 1996–2003.

Owen, A. T., Fowel, P.D. and Swift, J.D., 2002. The impact of polyacrylamidem flocculant solution age on flocculation performance. *International Journal of Mineral Processing*, **67**, 123 – 144.

Patience, M., Addai-Mensah, j. and Ralston, J., 2003. Investigation of the effect of polymer type on flocculation, rheology and dewatering behaviour of kaolinite dispersions, *International Journal of Mineral Processing*, **71**, 247–268.

Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q. and Xu, Z., 2014. Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice, *Minerals Engineering*, **58**, 113-131.

Zadaka, D., Radian, A. and Mishael, Y.G., 2010.

Applying zeta potential measurements to characterize the adsorption on montmorillonite of organic cations as monomers, micelles, or polymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, **352**, 171–177.

Zheng, H., Zhu, G., Jiang, S., Tshukudu, T., Xiang, X., Zhang, P. and He, Q., 2011. Investigations of coagulation-flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of flocs, *Desalination*, **269**, 148-156.