



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİL MİNERALLERİNİN FLOKÜLASYON VE KOAGÜLASYON İŞLEMLERİ İLE ÇÖKTÜRME KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed GÖÇER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2016

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed GÖÇER tarafından hazırlanan "Kil minerallerinin flokülasyon ve koagülasyon işlemleri ile çöktürme karakteristiklerinin incelenmesi" adlı tez çalışması 18/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Yrd. Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY	.....
Danışman Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Ali ARAS	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 15201055 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed GÖÇER
Tarih: 04.01.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİL MİNERALLERİNİN FLOKÜLASYON VE KOAGÜLASYON İŞLEMLERİ İLE ÇÖKTÜRME KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed GÖÇER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN

2016, 92 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN
Yrd. Doç. Dr. Ali ARAS

Kil zenginleştirme tesislerinde ve kil ara kesmelerine sahip kömürlerin zenginleştirilmesinde kil minerallerinin çökelme karakteristikleri oldukça önemlidir. Son yıllarda kil minerallerinin çökelme verimlerinin arttırılması için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden mekanizması bilinen ve en çok tercih edilen yöntemlerin başında koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri gelmektedir. Bu yöntemlerde değişik kimyasallar kullanılarak ince tane boyutuna sahip kil mineralleri bir araya getirilerek çökelme hızları arttırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, farklı gruplara ait kil minerallerinin çökeltilmesinde koagülasyon, flokülasyon ve koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon yöntemlerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu tez çalışmasında çalışılan kil mineralleri için uygun koagülant, flokülant türlerinin belirlenmesi ve optimum koşulların tespit edilerek, bu optimum koşullarda elde edilen çökelme özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Deneylerde Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) ve Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) kil mineralleri kullanılmıştır. Koagülant olarak $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$, NaCl, $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ kullanılmıştır. Flokülant olarak anyonik (A150), katyonik (C521) ve noniyonik (N100) flokülantlar kullanılmıştır. Koagülant/ flokülant türü ve dozajı, karıştırma süresi/hızı, çökelme süresi çalışılan deneysel parametrelerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan koagülant ve flokülantların performansları, süspansiyonun zamana bağlı ara yüzey yüksekliği değişimi ile deneysel çalışmalar sonucu oluşan temiz suyun bulanıklık verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Koagülasyon deneylerinde belirlenen optimum koşullar için en iyi sonuçları; kaolin, Na ve Ca bentonitler için sırasıyla % 91,06 verim ve 26,90 NTU, % 21,85 verim ve 4220 NTU ve % 97,83 verim ve 13,79 NTU bulanıklık değeri ile $FeCl_3.6H_2O$, Na-Ca-bentonit (N999 ve N1000) için sırasıyla % 94,29 verim ve 95 NTU, % 92,43 verim ve 5,6 NTU bulanıklık değeri ile $Al_2(SO_4)_3.18(16)H_2O$ vermiştir.

Bütün mineraller için en etkili flokülant anyonik A150 olmuştur. Kaolin, Na, Ca, Na-Ca (N999), Na-Ca (N1000) bentonitler için optimum değerler sırasıyla % 94,32 verim ve 17,10 NTU, % 81,70 verim ve 988 NTU, % 98,75 verim ve 7,92 NTU, % 95,38 verim ve 76,80 NTU, % 89,65 verim ve 7,66 NTU' dur.

Koagülasyon+flokülasyon deneylerinde ise en iyi performansı Na ve Na-Ca (N999) bentonit için sırasıyla % 93,09 verim ve 373 NTU, % 96,89 verim ve 51,8 NTU bulanıklık değeri ile NaCl+anyonik (A150) flokülant vermiştir.

Sonuç olarak; gerek elde edilen bulanıklık değerleri gerekse yüksek çökelme verimlerine sahip olmaları nedeniyle kil mineral süspansiyonlarından bulanıklık giderimin de flokülantlar koagülantlara göre biraz daha iyi sonuçlar vermekle birlikte koagülantlar ile de etkili bir giderimin sağlandığı söylenebilir.

Yalnız koagülantlar ile yapılan giderimde kullanılan kimyasal sarfiyatı oldukça fazladır. Metodların tek başına uygulanmasında etkili bir sedimantasyonun sağlanmadığı durumlarda koagülantlar ile birlikte flokülantların kullanımının sedimantasyonu önemi ölçüde artırdığı belirlenmiştir.
Böylece hem maliyet açısından hem de çevre açısından daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Kil minerallerinin verimli bir şekilde çökeltilmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemlidir. Bu önem kil zenginleştirme tesislerindeki çökeltme işlemlerinin verimli gerçekleştirilmesi ile ekonomik, kil ara kesmelerine sahip kömürlerin zenginleştirilmesi tesislerinde ise kullanılan suyun geri kazanılması ile çevresel olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Flokülasyon, kil, koagülasyon, sedimantasyon, susuzlandırma.

ABSTRACT

MS THESIS

FLOCCULATION AND COAGULATION OF THE CLAY MINERALS INVESTIGATİON OF CHARACTERİSTİCS BY THE PROCESSES OF PRECIPITATION

Muhammed GÖÇER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MINING ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. Vildan ÖNEN

2016, 92 Pages

Jury
Asst. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
Asst. Prof. Dr. Vildan ÖNEN
Asst. Prof. Dr. Ali ARAS

Sedimentation characteristics of clay minerals are very important in mineral processing plants and benefication of coal which has clay gap cutting. In recent years, various methods are applied for increasing to sedimentation efficiency of clay minerals. Coagulation and flocculation are the methods which known mechanisms and the most preferred. This methods is increased sedimentation rate of fine size clay minerals with different chemicals.

In this study, the sedimentation behaviour of clay minerals belong to different groups was investigated with coagulation, flocculation, coagulation+flocculation and dual flocculation methods. The suitable coagulant/flocculant species/dosages were determined for each of clays and sedimentation properties were compared for optimum conditions.

Kaolin, Ca bentonite, Na bentonite and mixed bentonite samples (N999-N1000) were used in the experiments. In coagulation, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, NaCl were used and in flocculation, anionic (A150), cationic (C521) and nonionic (N100) polymers were used. Coagulant/ flocculant type/dosage, mixing speed/time and sedimentation time were the investigated variables. The performances of the coagulant/flocculant in the experimental studies were assessed with the change in the interface height during sedimentation resultant and turbidity values of treated water.

The coagulants and flocculants performances are used in experimental studies, the suspension of the time-dependent interfacial height variation and clean water turbidity data from the experimental studies used for the determination. In coagulation experiments, the best performances (91.06% efficiency-26.9 NTU; 21.85% efficiency - 4220 NTU; 97.83% efficiency - 13.79 NTU) were obtained with $FeCl_3$ for kaolin, Na bentonite and Ca bentonite, respectively. For mixed bentonites (N999-N1000), the best performances (94.29% efficiency-95 NTU; 92.43 efficieny-5.6 NTU) were obtained with $Al_2(SO_4)_3$ respectively.

In flocculation experiments, anionic flocculant provided best efficiency for all clay minerals. The best performance was obtained as 94.32% efficiency-17.10 NTU; 81.70% efficiency - 988 NTU; 98.75% efficiency - 7.92 NTU; 95.38% efficiency - 76.80 NTU; 89.65% efficiency - 7.66 NTU for kaolin, Na bentonite, Ca bentonite, mixed bentonites (N999-N1000), respectively.

In combined methods the best performances were determined as 93.09 efficiecy-373 NTU; 96.89%-51.80NTU with NaCl+A150 for Na bentonite and Na-ca bentonite (N999), respectively.

As a result, flocculants are more effective than coagulants with the resulting turbidity values and high sedimentation efficiencies but coagulants have good efficiency. However consumption of chemical is

very much in coagulation. The higher flocculation performances could be achieved with combined methods at the lower coagulant/flocculant amounts when compared to single coagulation/ flocculation methods.

Thus, positive results were obtained for cost and environment. Sedimentation of clay minerals are very important for economically and environmentally. Both of economically and environmentally are important for the deposition of clay minerals in an efficient manner. With this impotance, the sedimentation processes are economic with achieved efficient in the clay benefication plants. The recovery of used water is being environment at the enrichment of clay with intermediate cutting coals.

Keywords: Clay, coagulation, dewatering, flocculation, sedimentation.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının her bir aşamasında bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN' e, Selçuk Üniversitesi Maden ve Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve elemanlarına ve tüm yaşamımda desteği ve yardımlarıyla her zaman yanımda bulunan Ailem' e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Muhammed GÖÇER
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **İİİ**

ABSTRACT ..... **V**

ÖN SÖZ ..... **Vİİ**

İÇİNDEKİLER ..... **Vİİİ**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **Xİ**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **Xİ**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

2.1. Kil ve Kil Mineralleri 4
2.2. Killerin Doğadaki Oluşumu ve Mineralojisi 4
2.3. Kil Minerallerinin Yapısı ve Sınıflandırılması 6
2.3.1. Killerin sınıflandırılması 7
2.4. Killerin Kimyasal Özellikleri 10
2.5. Killerin Yüzey Özellikleri 11
2.6. Örnek Kil Mineralleri 13
2.6.1. Kaolin 13
2.6.2. Bentonitler 14
2.6.2.1. Şişme özelliği olan bentonitler 15
2.6.2.2. Şişme özelliği olmayan bentonitler 15
2.6.2.3. Ara tip bentonitler 16
2.7. Flokülasyon ve Koagülasyon 16
2.7.1. Flokülasyon 16
2.7.1.1. Flokülantlar 18
2.7.1.1.1 Doğal flokülantlar 18
2.7.1.1.2 Sentetik flokülantlar 18
2.7.1.2. Flokülasyonu etkileyen önemli parametreler 19
2.7.1.2.1 Polimer molekül ağırlığının etkisi 19

2.7.1.2.2 Polimer anyonik değerinin etkisi 19
2.7.1.2.3 Ortam pH değerinin etkisi..... 20
2.7.1.2.4 Flokülant dozajının etkisi..... 21
2.7.1.2.5 Süspansiyon karıştırma hızı ve karıştırma süresinin etkisi..... 22
2.7.1.2.6 Süspansiyondaki katı/sıvı oranı, katının tane boyutu ve şeklinin etkisi..... 22
2.7.2. Koagülasyon 22
2.7.2.1. Koagülantlar..... 23
2.8. Kil Minerallerinde Yapılan Koagülasyon ve Flokülasyon Çalışmaları..... 23

3. MATERYAL VE YÖNTEM..... 27

3.1. Materyal..... 27
3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan flokülantlar, koagülantlar ve diğer kimyasallar..... 28
3.2. Yöntem..... 29
3.2.1. Kil numunelerinin elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi..... 29
3.2.2. Karıştırma hızı ve süresinin optimizasyonu..... 30
3.2.3. Doğal sedimantasyon deneyleri..... 30
3.2.4. Koagülasyon flokülasyon deneyleri..... 30

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... 33

3. Karıştırma hızı ve süresinin optimizasyonu..... 33
6. Flokülasyon deneyleri..... 33
7. Koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon deneyleri..... 33
4.1. Kil Minerallerinin Elektrokinetik Özelliklerinin Belirlenmesi..... 33
4.2. Kil Minerallerinin pH Profilleri..... 34
4.3. Karıştırma Hızı ve Bekleme Süresinin Optimizasyonu..... 36
4.4. Kil Süspansiyonlarının Doğal Sedimantasyonu 37
4.5. Koagülasyon Deneyleri..... 39
4.5.1. Kaolin süspansiyonunun koagülasyonu..... 39
4.5.2. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonu..... 41
4.5.3. Ca-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonu 44
4.5.4. Ara tip (Na,Ca)-Bentonit süspansiyonlarının koagülasyonu 46

4.5.4.1. N999 46
4.5.4.2. N1000 48
4.5.5. Koagülantların kil minerallerinin zeta potansiyeline etkisi 50
4.5.6. Koagülantların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi 52
4.5.7. Koagülantların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi 54
4.6. Flokülasyon Deneyleri 56
4.6.1. Kaolin süspansiyonunun flokülasyonu 56
4.6.2. Na-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonu 58
4.6.3. Ca-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonu 60
4.6.4. Ara tip (Na, Ca)-Bentonit süspansiyonlarının flokülasyonu 62
4.6.4.1. N999 62
4.6.4.2. N1000 63
4.6.5. Flokülantların kil minerallerinin zeta potansiyeline etkisi 66
4.6.6. Flokülantların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi 69
4.6.7. Flokülantların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi 70
4.7. Koagülasyon+Flokülasyon ve Dual Flokülasyon Deneyleri 72
4.7.1. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonu ve dual flokülasyonu 72
4.7.2. N999 süspansiyonunun koagülasyon + flokülasyonu ve dual flokülasyonu 76
4.7.3. Kimyasalların kil minerallerinin zeta potansiyeline etkisi 80
4.7.4. Kimyasalların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi 80
4.7.5. Kimyasalların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi 81
4.8. Bulguların Tartışılması 81

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 86

5.1. Sonuçlar 86
5.2. Öneriler 87

KAYNAKLAR 88

ÖZGEÇMİŞ 92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Degens'e ve R.L. Bates'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması. 9
Çizelge 2.2. Bazı killerin kimyasal bileşimleri. 11
Çizelge 2.3. Türkiye kaolin rezervleri. 14
Çizelge 2.4. Koagülant çeşitlerinin bazıları. 23
Çizelge 2.5. Kil mineralleri ile yapılan flokülasyon ve koagülasyon çalışmaları. 25
Çizelge 2.6. Kil mineralleri ile yapılan flokülasyon ve koagülasyon çalışmaları (Çizelge 2.5 in devamı). 26
Çizelge 3.1. Numunelerin genel özellikleri. 28
Çizelge 3.2. Numunelerin tane boyut özellikleri. 28
Çizelge 3.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar ve özellikleri. 29
Çizelge 4.1. Kil mineralerinin doğal süspansiyonuna ait ölçülen deneysel parametrelerin değerleri. 38
Çizelge 4.2. Kaolin süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular. 41
Çizelge 4.3. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular. 43
Çizelge 4.4. Ca-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular. 46
Çizelge 4.5. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular. 48
Çizelge 4.6. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular. 50
Çizelge 4.7. Kaolin süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 58
Çizelge 4.8. Na-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 60
Çizelge 4.9. Ca-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 61
Çizelge 4.10. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 63
Çizelge 4.11. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 65
Çizelge 4.12. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 74
Çizelge 4.13. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonu ve dual flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 75
Çizelge 4.14. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 78

Çizelge 4.15. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonve dual flokülasyonuna ilişkin özet bulgular. 79
Çizelge 4.16. Koagülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti. 82
Çizelge 4.17. Flokülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti. 83
Çizelge 4.18. Koagülasyon, Flokülasyon ve Koagülasyon+Flokülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti. 84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tetrahedron tabakası a) Tetrahedron yapıtaşı b) Silika tabakası 6
Şekil 2.2. Oktahedron tabakası a) Oktahedron yapıtaşı b) Alümina tabakası c) Alümina tabakasının temsili gösterimi. 7
Şekil 2.3. Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı. 9
Şekil 2.4. İki, üç ve dört tabakalı kil minerallerinin kristal yapısı. 10
Şekil 2.5. Taneciklerin polimer köprüleri flok oluşturması. 17
Şekil 2.6. Flokülasyon mekanizmasında polimer köprülerin oluşumu. 18
Şekil 2.7. Polimer molekül ağırlığının salkımlaşmada çökme hızı üzerindeki etkisi. 19
Şekil 2.8. Polimer anyonik değerinin salkımlaşma üzerine etkisi. 20
Şekil 2.9. Polimer anyonik değerinin adsorpsiyon üzerindeki etkisi. 20
Şekil 2.10. Ortam pH' sının polimer adsorpsiyonu üzerindeki etkisi. 21
Şekil 2.11. Aşırı flokülant dozajında tanelerin yeniden disperse hale gelmesi (flokülantların sterik engel olusturması). 21
Şekil 3.1. Deneye ait akım şeması. 31
Şekil 3.2. Deney esnasında alınan fotoğraf karesi. 32
Şekil 3.3. Deneyler esnasında kullanılan zeta potansiyeli cihazı. 32
Şekil 4.1. Minerallerin pH'a bağlı zeta potansiyeli değerlerinin değişimi. 33
Şekil 4.2. Kaolin süspansiyonunun zamana bağlı pH profili. 34
Şekil 4.3. Na-Bentonit süspansiyonunun zamana bağlı pH profili. 35
Şekil 4.4. Ca-Bentonit süspansiyonunun zamana bağlı pH profili. 35
Şekil 4.5. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun zamana bağlı pH profili. 35
Şekil 4.6. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun zamana bağlı pH profili. 36
Şekil 4.7. N1000 süspansiyonunun farklı yavaş karıştırma hızlarında zamana karşılık bulanıklık değerleri. 36
Şekil 4.8. Kil minerallerinin doğal sedimantasyonu. 38
Şekil 4.9. Kil minerallerinin zamana bağlı bulanıklık değerlerinin değişimi. 38
Şekil 4.10. Kaolin süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi. . 39
Şekil 4.11. Kaolin süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi. 40

Şekil 4.12. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi. 42
Şekil 4.13. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi. 43
Şekil 4.14. Ca-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi. 44
Şekil 4.15. Ca-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi. 45
Şekil 4.16. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi. 46
Şekil 4.17. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi. 47
Şekil 4.18. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi. 48
Şekil 4.19. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi. 49
Şekil 4.20. Kil minerallerinin zeta potansiyeline koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 51
Şekil 4.21. Kil minerallerinin süspansiyonlarının iletkenliğine koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 53
Şekil 4.22. Kil minerallerinin süspansiyonlarının final pH değerine koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 55
Şekil 4.23. Kaolin süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi. .. 56
Şekil 4.24. Kaolin süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi. 57
Şekil 4.25. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi. 58
Şekil 4.26. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi. 59
Şekil 4.27. Ca-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi. 60
Şekil 4.28. Ca-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi. 61

Şekil 4.29. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi. 62
Şekil 4.30. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi. 63
Şekil 4.31. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi. 64
Şekil 4.32. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi. 65
Şekil 4.33. Süspansiyonların flokülasyonu esnasında alınan fotoğraf. 66
Şekil 4.34. Kil mineralleri süspansiyonlarının zeta potansiyeline flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 68
Şekil 4.35. Kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 70
Şekil 4.36. Kil mineralleri süspansiyonlarının final pH değerine flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000. 71
Şekil 4.37. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına kimyasal türü ve dozajının etkisi. 72
Şekil 4.38. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) kimyasal türü ve dozajının etkisi. 73
Şekil 4.39. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun bulanıklığına kimyasal türü ve dozajının etkisi. 76
Şekil 4.40. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) kimyasal türü ve dozajının etkisi. 77
Şekil 4.41. Kil mineralleri süspansiyonlarının zeta potansiyeline koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999. 80
Şekil 4.42. Kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999. 81
Şekil 4.43. Kil mineralleri süspansiyonlarının pH değerine koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999. 81
Şekil 4.44. Süspansiyonların koagülasyon ve flokülasyonu esnasında alınan fotoğraf (soldaki koagülasyon sağdaki flokülasyon işlemidir). 84

1. GİRİŞ

Killer tane boyutu 0,02 mm den küçük ince taneli sedimanlar olup; toprağımsı, belirli miktarda su katıldığında plastikliği artan, alümina ve silis içeriği yüksek bir mineraldir.

Kil minerallerinin kristal yapıları, fiziksel-kimyasal özellikleri, değişik disiplinlerde uygulamaya yönelik çalışmalara konu olmaları ve araştırma teknikleri yönünden diğer makroskopik minerallerden farklı olması jeoloji, kimya, fizik, matematik, seramik, arkeoloji, inşaat, çevre, malzeme bilimi ve toprak gibi çeşitli disiplinlerdeki araştırmacıları bir araya getirmektedir. Bu birlikteliğin doğal bir sonucu olarak bilgi alışverişinin disiplinler arasındaki olası sınırları aşarak yayılması, kil ve kil minerallerinin ortak bir araştırma platformuna dönüşmesini sağlamıştır (Ethem 1999).

Killerin çökelme özelliklerinin belirlenmesi çeşitli mühendislik uygulamalarında önemlidir. Özellikle maden mühendisliği disiplininde cevher hazırlama tesislerinin işletilmesinde bu önem bir kat daha artmaktadır. Lavvarlarda veya genel anlamda cevher hazırlama tesislerinde, su ihtiyacı gittikçe bir problem olmaktadır. Bu problemi yaratan nedenleri;

a) nüfus artışına bağlı olarak suyun belediyelerce kısıtlı verilmesi,

b) bölgenin coğrafî ve iklim durumu,

c) su kaynaklarının tipi, sayısı ve verimliliği,

d) mevsimler olmak üzere dört ana grupta sıralayabiliriz.

Cevher hazırlama tesisleri genellikle ihtiyaç duydukları suyu, civar kaynaklardan (daha çok dere ve yeraltı su kaynaklarından) kendileri temin ederler. Ancak bu su kaynakları her zaman istenen suyu temin edecek durumda olamazlar. Meselâ yaz mevsiminde dereler kuruyabilir veya kış mevsiminde don sebebiyle herhangi bir kaynaktan su almak mümkün olmayabilir. İşte hem her mevsim yeterince su temin etmek hem de mevcut pompa tesislerini daha az çalıştırıp maliyeti düşürmek amacıyla, cevher hazırlama tesislerinde kullanılan (artık) suyun elden geldiğince geri kazanılması, projeciden işletmeciye kadar herkesin üzerinde hassasiyetle durması gereken bir husus olmaktadır. Bunun içindir ki, cevher hazırlama tesislerinde susuzlandırma tekniklerine her geçen gün biraz daha önem verilmekte ve bu tekniklerin geliştirilmesi amacıyla araştırmalar yapılmaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda susuzlandırma proseslerinde özellikle kil tanelerinin boyutlarının çok küçük olması nedeniyle çökelme özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Süspansiyon içerisinde kendi kendilerine çökelemeyen bu taneler için farklı çökeltme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin verimli olabilmesi için kil minerallerinin yüzey özellikleri iyi bilinmelidirler.

Seramik üretiminde hammadde olarak kullanılan killerin, seramik sanayinin teknolojik şartlarını sağlayabilmeleri için zenginleştirilmeleri, elde edilecek ürünlerin kalitesi yönünden son derece önemlidir. Zenginleştirme yöntemi, kilin özelliklerine göre belirlenmekle birlikte, çok yaygın olarak zenginleştirme işlemlerinde su kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak, elde edilen konsantreler pülp halinde elde edilmektedir. Konsantrelerin seramik sanayinde kullanıma hazır olması için su-katı karışımının (pülpün) susuzlandırılması en önemli işlemlerden birini oluşturmaktadır.

Kil zenginleştirme tesislerinde, konsantrelerin susuzlandırılması genellikle tikiner adı verilen tanklarda yapılmaktadır. Belli oranda koyulaştırılan ürünler, daha sonra filtrasyon işlemine tabii tutularak ürünün su içeriği istenilen düzeylere indirilmektedir.

Özellikle tikinerlerde çöktürme ile yapılan koyulaştırma işlemi killerin doğal özelliklerinden ve boyutlarından dolayı çok uzun süreler almakta, tesis üretim kapasitesi buna bağlı olarak düşük olmaktadır. Kil-su karışımının karakteristik yapılarının ve özelliklerinin değiştirilmesi susuzlandırma işlemlerinde verimi doğrudan etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, kil taneleri ile su arasında bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, suyun daha kolay uzaklaşmasına yardımcı olur. Bu etkiyi sağlayarak, susuzlandırma verimini arttırmak amacıyla değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan mekanizması bilinen ve en yaygın olarak kullanılanı, kimyasal reaktifler (flokülantlar) ile flokülasyon (agregasyon) sağlama işlemidir (Önal ve ark. 2003). Ayrıca kömür zenginleştirme tesislerinde (lavvarlarda) kullanılan suyun geri kazanılmasında özellikle kil ara kesmelerine sahip kömür yataklarında kil sorun teşkil etmektedir. Bu kilin sudan ayrılması işlemi için de killerin çökelme karakteristikleri önem arz etmektedirler.

Susuzlandırma yöntemleri çok genel olarak üç grupta toplanabilir;

1. Çöktürme veya koyulaştırma
   - Gravite çöktürmesi ve koyulaştırıcılar (tikinerler)
   - Merkezkaç kuvveti ile koyulaştırma
2. Filtrasyon

3. Kurutma

Susuzlandırma proseslerinde verimi etkileyen faktörler; tane boyut dağılımı, tane şekli, tanenin yüzey özellikleri, beslemedeki katı oranı, kolloidal katı içeriği, sıvının vizkositesi ve sıcaklığı, çözünmeyen tuz içeriği olarak sıralanabilmektedir.

Kil minerallerinin çöktürülmesinde yardımcı prosesler ilave edilerek susuzlandırma işleminin hızlanması sağlanabilir. Yardımcı prosesler olarak flokülasyon - koagülasyon ve elektro - kinetik ve elektro - akustik etki (ultrasonik titreşim) ile susuzlandırma kullanılabilmektedir (Özer 2002).

Madencilik ve cevher hazırlama proseslerinde kolloidal kararlı kil dispersiyonlarının efektif olarak susuzlandırılması karşılaşılan başlıca zorluklar arasındadır. Cevher yapısı içerisinde az miktarda bile kil minerali bulunması düşük çökelme hızı, yüksek flokülant gereksinimi, yüksek supernatant bulanıklığı ve düşük çökelme verimi ile sonuçlanan susuzlandırma problemlerine neden olmaktadır. Bu problemlerin başlıca sebebi olarak kil minerallerinin tane boyutu, şişme ve jelleşme vb. yapısal özellikleri gösterilebilir. Bu yapısal özellikler killerin oluşum özelliklerine ve minerolojik yapılarına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmekte ve bunun sonucu olarak da killerin çökelme karakteristikleri farklılıklar arz edebilmektedir.

Genel olarak bu amaçla yani kil minerallerinin çöktürülmesi amacıyla flokülasyon, koagülasyon veya bu iki yöntemin kombinasyonu olan koagülasyon+flokülasyon ile filtrasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride en az polimer ile çok miktarda kil mineralinin mümkün olan en yüksek flokülasyon verimi ile çöktürülmesi istenir. Bu nedenle optimum flokülasyon koşullarının saptanması büyük önem taşır.

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip değişik kil gruplarından mineraller kullanılarak koagülasyon, flokülasyon, koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon işlemleri ile kil minerallerinin çökelme karakteristiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kil ve Kil Mineralleri

Kil, taşların ve maden kütlelerinin fiziksel nedenlerle en ileri safhada parçalanmalarıyla meydana gelen 20 mikron veya daha küçük boyutlu taneciklerinin yığışmasıyla oluşan bir tortul kayaçtır.

Ufak boyutlara ayrılan taş ve madenlerin büyük kısmı su veya diğer çözücü doğal sıvılar tarafından kimyasal yolla eritildikleri veya çözüldükleri için taneli yapılarını koruyamamakta ve giderek ayrı bileşiklere dönüşmektedirler. Bütün bu eritici ve çözeltici kimyasal etkilere rağmen, sadece küçülen ama taneli varlıklarını koruyan maddeler kili meydana getirir. Bunlar, başta silisyum ve alüminyum olmak üzere, magnezyum, demir ve titanyum gibi dayanıklı elemanlardır. Ancak bu elemanlar killeri değil, birbirleriyle veya çözünmüş haldeki sodyum, potasyum ve kalsiyum gibi alkali ve toprak alkalilerin iyonlarıyla birleşerek kil minerallerini meydana getirir.

Parçalanmaya maruz kalmış ana maddelere ve birikme esnasındaki kimyasal şartlara bağlı olarak farklı kil mineralleri meydana gelir.

Kil mineralleri değişik otoriteler veya ekoller tarafından gruplara ayrılırlar ve öyle incelenirler. Ama ne kadar sınıflandırılsalar da, içerdikleri elemanlar ve dokuları itibariyle birbirlerine çok benzerler. Ayrılmaları için elektro mikroskopta X ışınlarıyla veya farklılaştırıcı sıcaklık yöntemleriyle incelenmeleri gerekir.

Killer ısıtılınca çok yumuşar ve parçalanmadan şekil değiştirebilir, yani plastik bir özellik kazanırlar. Bu yüzden elle ve aletle istenen şekle sokulabilirler. Kurutulduklarında veya pişirildiklerinde çok sertleşirler; suyu ve elektriği geçirmedikleri gibi yüksek sıcaklıklara dayanıklı hale gelirler. İşte bu özellikleri itibariyle çok çeşitli sanayi alanlarında kullanılmaktadırlar. Killer sanayi madenleri içinde en yaygın bulunan, endüstrilere en çok etki eden ve en geniş ekonomik cephe taşıyan bir mineral grubudur (Malayoğlu ve Akar 1995).

2.2. Killerin Doğadaki Oluşumu ve Mineralojisi

Killer, doğal taşların bünyesindeki kuvars, feldspat ve mikanın içinde bulunan doğal alüminyum silikatların çeşitli kimyasal, hidrotermal ve atmosfer etkileri ile ayrışmalarından ve tortulaşarak kil tabakaları hallinde oluşmasından meydana gelmektedir. Killer, jeolojik oluşumları açısından sedimanter (sekonder) ve kalıntı killeri (primer) olarak belli başlı iki ana grupta ele alınmaktadır.

Sedimanter (sekonder) killerin oluşumu: Karbondioksit, rüzgârlar, buzullar gibi dış etkiler, volkanik kayaları yavaş yavaş ayrıştırmakta, küçük parçalara ayırarak nehir ağızlarına, göl ve deniz yataklarına taşımaktadır. Buralarda biriken bu çökeltiler daha sonradan sedimanter (taşınmış) kayaları oluşturmaktadır. Bu yataklar sadece kil ile dolu değildir. Çünkü volkanik kayaların bazı bileşenleri diğerlerinden çok daha yavaş ayrışarak farklı tipte yatakları oluşturmaktadır. Sedimanter killer nadiren saf halde bulunmaktadır, çünkü taşınma sırasında birçok gayrı saflıklar tutulabilmektedir. Genelde daha küçük tanecik boyutuna sahip olup, daha plastiktirler ve daha az miktarda iri tanecikli mineral gayrı saflıklar içerirler.

Kalıntı (primer) killerin oluşumu: Dünyanın merkezinden çıkan sıcak gazlar ve buhar gibi hipojenik etkiler volkanik kayalarla temas ederek bunları ayrıştırmakta ve yeni ürünler oluşturmaktadır. Bu sırada altere olan ürünler taşınmamakta, ancak ana kayanın yanında çökelerek zamanla kalıntı kil yataklarını oluşturmaktadır. Kalıntı killer sedimanter killere nazaran daha saftırlar. Önemli miktarda mika, silis ve hatta ayrışmamış feldspat içermekte olup daha iri tanecik boyutunda ve daha az plastiklerdir.

Kilin yapısını daha çok ana kayanın kimyasal bileşimi, alterasyonun oluştuğu fiziksel-kimyasal çevre ve tektonik geçmiş belirlemektedir. Örneğin, en saf kil minerali olan kaolinitin oluşumu tektonik ve epirojenik hareketlerin yavaşladığı, iklimin yağışlı ve sıcak olduğu devirlerde yaygındır. Kil minerallerinin oluşumuna etki eden faktörler şu şekilde sıralanmaktadır.

a. Toprağın yerkabuğu içindeki yeri,
b. İklimsel değişkenler,
c. Topografik durum,
d. Ana maddelere ilişkin etmenler,
e. Bitki örtüsü,
f. Zaman.

Ortamın pH derecesi de kil minerallerinin oluşmasında özellikle önem taşımaktadır. Buna göre, Al_2O_3/SiO_2 oranı değişen alüminyum-hidro-silikatlar oluşmaktadır. Kil minerallerinin oluşmasında etkili olan (toprak ve kil) oluşumuna neden olan kimyasal ayrışma şu yollarla meydana gelmektedir;

a. Oksidasyon,
b. Karbonasyon,
c. Hidratasyon,

d. Hidroliz,

e. Solüsyon.

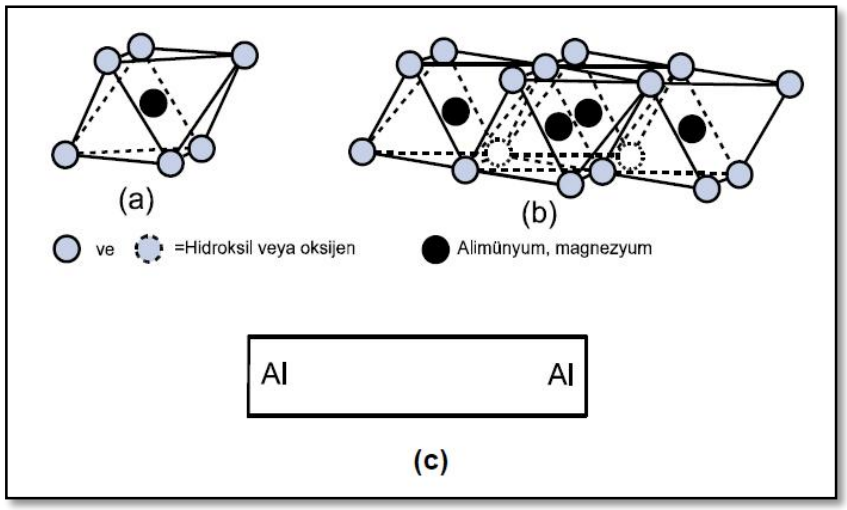
2.3. Kil Minerallerinin Yapısı ve Sınıflandırılması

Kayaların ayrışması sonucunda oluşan kil mineralleri, çok küçük ve kristalsi maddelerdir. Tüm kil mineralleri, çok küçük boyda olup sadece elektron mikroskobu ile görülebilir. Esas itibariyle kil mineralleri, silika tetrahedron ve alümina oktahedron olmak üzere iki temel kristal yapıdan oluşmuştur. Silika tetrahedron yapı; merkezinde silisyum iyonu, köşelerinde ise oksijen veya hidroksil iyonları bulunan düzgün dörtyüzlü şeklindedir. Düzgün dörtyüzlülerin tabanları aynı düzlem üzerinde kalmak üzere köşelerinden altılı halkalar vererek birleşmesiyle "tetrahedron tabakası" ya da diğer adıyla "silika tabakası" oluşmuştur (Şekil 2.1). Alümina veya magnezyum oktahedron yapı ise, merkezinde alüminyum iyonu, köşelerde oksijen ya da hidroksil iyonları bulunan düzgün sekizyüzlü şeklindedir. Düzgün sekizyüzlülerin birer yüzeyleri aynı düzlem üzerinde kalacak şekilde köşelerinden birleşmesiyle "oktahedron tabakası" ya da diğer adıyla "alümina tabakası" oluşmuştur (Şekil 2.2). Oktahedron levhadaki katyonların yer değiştirmesi ile farklı mineraller ortaya çıkmaktadır. Bu durum, kristal yapının değişmeden, ortamdaki katyonların yer değiştirmesi olup "izomorf yer değiştirme" olarak tanımlanır. Bu yer değiştirme özelliğinden dolayı, mineraller farklı yapıya sahip olup ve farklı isimlerle tanımlanır (Savaş 2000).



a b

Şekil 2.1. Tetrahedron tabakası a) Tetrahedron yapıtaşı b) Silika tabakası



Şekil 2.2. Oktahedron tabakası a) Oktahedron yapıtaşı b) Alümina tabakası c) Alümina tabakasının temsili gösterimi (Savaş 2000).

Düzlem, tabaka, katman ve yapı birimi, katmanlı yapılarda gittikçe artan kalınlıklı kısımları belirleyen anlamda kullanılmaktadır. Yapısı tam olarak açıklığa kavuşmamış olan katmanlar arası bağlar, kovalent ve iyonik yapıdaki katman içi bağlara göre oldukça zayıftır. Katmanlar arası bağlama, net katman yükleri nedeniyle katmanlar arasına giren katyon ve polar moleküllerden ileri gelen Van der Waals türü zayıf kuvvetlere dayanmaktadır. Bu yüzden kil mineralleri kolayca parçalanabilirler (Küçükçelebi 1990).

Bir oktahedron tabaka içindeki tüm anyonların hidroksilden oluşması ve katyon pozisyonlarının üçte ikisinin alüminyum ile doldurulmasıyla oluşan mineral "gibsit" olarak adlandırılır. Levhadaki alüminyum yerine magnezyum geçerek katyon pozisyonlarını doldurması nedeniyle oluşan mineral "brusit" olarak adlandırılır. Temel levha yapısındaki değişimler, bilinen kil minerallerinden onlarcasını oluşturmaktadır. Tüm kil mineralleri, belirli bir katyonu içeren tetrahedron ve oktahedron tabakaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır (Savaş 2000).

2.3.1. Killerin sınıflandırılması

Kil minerallerinin sınıflandırılmasında genel bir birliktelik mevcut olmamakla beraber birçok araştırmacı tarafından kabul edilen sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar arasında Degens ve R.L. Blates tarafından yapılan sınıflandırmalar birleştirilmiştir ve Çizelge 2.1 de sunulmuştur (Köroğlu 2007).

Kil minerallerinin çok büyük karmaşık bir mineral dizisine sahip olmaları, içerdikleri yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin değişik oluşu gibi

etmenlerden dolayı killer birçok şekilde sınıflandırılırlar. Genel olarak bu sınıflandırma aşağıdaki gibidir (Özyiğit 2010).

A) Mineralojik özelliklerine göre

1)Kaolin grubu

2)Smektit (Montmorillonit) grubu

3)Mika grubu

4)Klorit grubu

B) Yapılarına göre

1)Amorf grubu

2)Kristal grubu

C) Kimyasal içeriklerine göre

1) Yüksek alüminyum içerikli
2) Boksit alüminyum içerikli
3) Silikat içerikli
4) Demir içerikli
5) Kalsit içerikli
6) Karbonat içerikli

C) Fiziksel sınıflandırma

D) Plastik özelliğine göre

E) Tane boyutuna göre

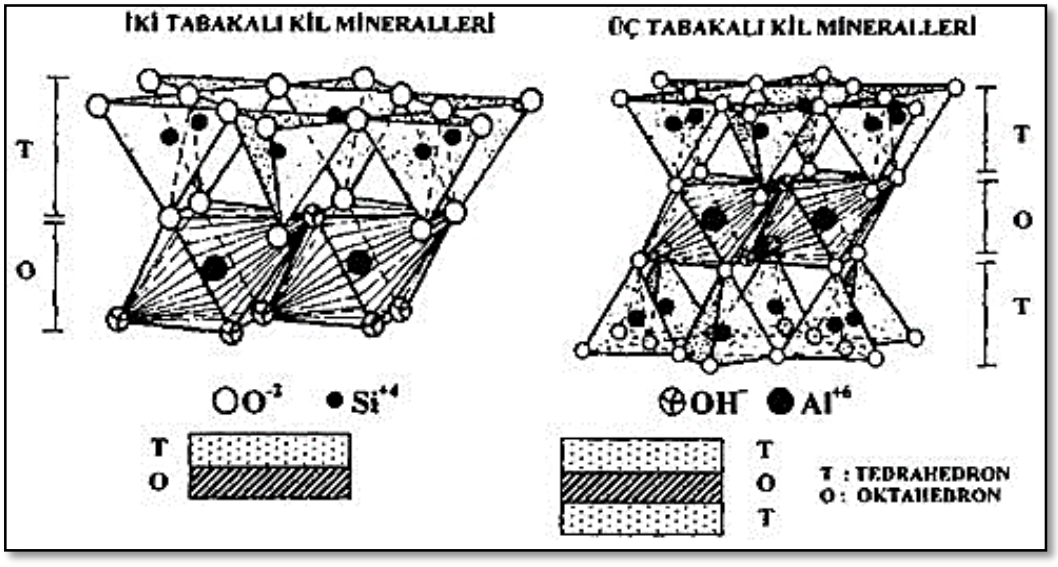
F) Refrakter özelliğine göre

G) Üretildikleri yatak veya bölgeye göre

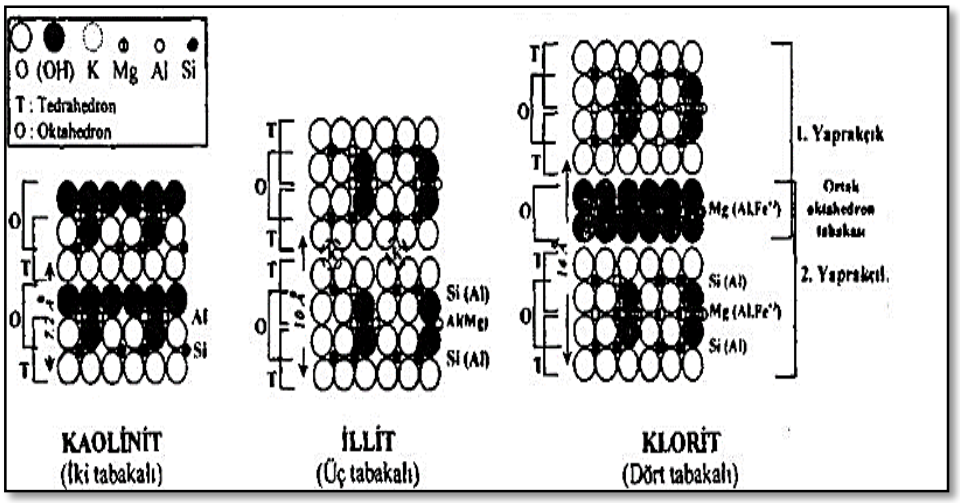
H) Kullanım alanlarına göre

Çizelge 2.1. Degens'e ve R.L. Bates'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması.

YAPI	GRUP	CİNS	BİLEŞİM	KÖKEN
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu	Kaolinit	$Al_2Si_2O_5\ (OH)_4$	Ayrışma, Hidrotermal ayrışma
	a- Eş boyutlu olanlar	Dikit	$Al_2Si_2O_5\ (OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
	b- Bir yönde uzamış olanlar	Halloysit	$Al_2Si_2O_5\ (OH)_4$	Ayrışma
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu	Montmorillonit	$Mg_2Al_{10}Si_{24}(OH)_{12}$(Na, Ca)	Hidrotermal ayrışma
	İllit Grubu	İllit	$(Al_4Fe_4Mg_6)O_{20}(OH)_4$ Ky(Si_8"yAl_y)	Ayrışma(Hidromika Grubu)
	Vermikülit Grubu	Vermikülit		
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit		
Zincir Yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2\ 4H_2O$	Ayrışma, kim. çökelme
		Atapulgit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2\ 4H_2O$	Ayrışma, kim. çökelme
		Paligorskit		



Şekil 2.3. Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı (Savaş 2000).



Şekil 2.4. İki, üç ve dört tabakalı kil minerallerinin kristal yapısı (Savaş 2000).

2.4. Killerin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal analizlerde killerin genellikle $A1_2O_3$, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, K_2O ve Na_2O yüzdeleri tespit edilir. Saf killerin bileşenlerinin analizlerle tespit edilen yüzdeleri ile incelenen numuneden elde edilen sonuçlar karsılaştırılarak kil mineral cinsi tayin edilebilir. Saf kaolinitte SiO_2/Al_2O_3 = 1,3 civarındadır. Bu orandan daha küçük değerler, numunenin gibsit ve benzer alüminyum oksitler, daha büyük değerler ise diğer killeri ve serbest kuvars varlığını ifade eder. Ateş zayiatında fazlalıklar numunenin organik madde, CO_3, SO_4 gibi uçucular içerdiğini gösterir. Toprak alkali ve oksitlerin %1 den fazlası ise killerde mika, feldspat ve alkali bulunduğunu gösterir. Kimyasal analizlerden veya uygulanan diğer kimyasal testlerden, hesap yolu ile incelenen numunenin kil ve kil olmayan mineralleri tespit edilebilir. Kimyasal analizler ile numunelerin endüstriyel özellikleri de tespit edilir $A1_2O_3$ değeri % 20 – 40 arasında değişir. Bu tenör ince seramik killerinde düşük, refrakter killerde yüksektir. % 20 den daha düşük değerler fazla kumlu killerde, % 40 tan daha yüksek değerler ise boksitlesmeye başlayan kil ve kaolinlerde görülür. Fe_2O_3 oranı ince seramik killerinde % 1 ’ in, diğer killerde ise % 3 ’ ün altında olmalıdır, aksi halde killerin pişme rengi ve ateşe dayanıklılığı bundan zarar görebilir. Bu konuda en mühim husus Fe_2O_3 tenöründen ziyade, bunun homojen bir halde bütün kilin bünyesine dağılmış olmasıdır. Fe_2O_3 tenörü son derece düşük olan beyaz kaolinitik killer, içlerine dağılmış olan az miktarda pirit kristalleri yüzünden kullanılmaz hale gelebilirler. SiO_2 tenorunun çok yüksek olması, kilde serbest kuvars bulunduğunu gösterir. Bu takdirde kuvarsın ince veya iri taneli olusu önemlidir. SiO_2 tenoru refrakter killerde ve boksitleşme gösteren kaolin ve kaolinitik killerde çok düşüktür. Toprak alkali-oksitlerin

oranı % 1'in altında olmalıdır. Fazlası kalker, dolomit, anortit ve montmorillonit grubu kil minerali bulunduğuna işaret eder. Alkali-oksitlerin oranı da % 1' in altında olmalıdır. Fazlası killerde mika, feldspat, alkali tuz bulunduğunu gösterir. Bu da ateşe dayanıklılığı azaltır ve killerin filtreli presler de süzme işlemini güçleştirebilir. Fakat kil mikalarının plastisiteyi artırmak gibi faydalı tarafları da vardır (Köroğlu 2007, Savaş 2000).

Çizelge 2.2. Bazı killerin kimyasal bileşimleri (Tanışan ve Mete 1988).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	TiO_2	H_2O	TOPLAM
Kaolinit	46,90	37,40	0,66	0,27	0,29	0,84	0,44	0,18	12,95	99,92
Nakrit	44,75	39,48	0,53	0,19	0,13	0,34	0,22	-	14,40	100,94
Dikit	46,86	37,12	1,43	0,09	0,22	0,60	0,07	0,51	12,99	99,89
Halloysit	44,75	36,94	0,31	-	0,11	0,60	-	-	17,42	100,01
Anauxit	54,32	29,96	2,00	0,14	0,32	-	0,37	-	12,64	99,75
Nontronit	40,54	5,19	31,63	0,06	1,92	0,24	0,14	-	20,75	100,47
Klorit	31,44	17,62	-	37,64	-	-	-	-	13,19	99,89
Proklorit	23,69	21,26	26,52	17,60	3,22	-	-	-	7,63	99,92
Sepiyolit	52,50	0,60	2,99	21,31	0,47	-	-	-	21,27	99,14
Alapulgit	57,85	7,89	2,82	13,44	0,30	0,08	0,53	-	16,95	99,86

2.5. Killerin Yüzey Özellikleri

Sulu ortamlarda organik ve inorganik elektrolitler kil mineralleri ile birlikte elektrokimyasal bir sistemi meydana getirirler. Bir kilin farklı elektrolit ortamlarındaki davranışlarını açıklayabilmek için katı-sıvı ara yüzeyinin elektrokimyasal özelliklerinin anlaşılması önemlidir. Kil mineralleri su ile süspansiyon haline getirildiğinde, kilin yapısında bulunan K^+, Al^{+3}, Fe^{+2} veya Mg^{+2} gibi bazı iyonların suya geçmesi ve aynı zamanda suyu oluşturan H^+ ve OH^- iyonlarının yüzey ile etkileşmesinden dolayı kil yüzeyi negatif veya pozitif bir elektrik yükü kazanır (Özmetin 2009).

Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeli ya da shear (kesme) düzlemindeki potansiyel zeta potansiyeli ya da elektrokinetik potansiyel olarak adlandırılır. Zeta potansiyelinin sıfır oldugu noktadaki pH, izoelektrik nokta (pH_{iep}) olarak tanımlanır. Zeta potansiyeli değerinin belirlenmesinin en önemli nedeni tanecik etrafındaki difüz çift tabakanın büyüklügünü belirlemektir. Zeta potansiyeli, kolloidal sistemlerin birçok önemli özelliklerinin anlaşılmasını, kontrol edilmesini ve tanecikler üzerindeki elektriksel yükün ya da potansiyelin belirlenmesini sağlar. Potansiyel dağılımı tanecikler arasındaki etkileşim enerjisini tayin eder ve birçok durumda taneciklerin kararlılığından ve kolloidal

sistemlerin akış özelliklerinden sorumludur. Aynı zamanda kolloidal sistemlerin sedimantasyon ve mineral fiziklerinin flotasyon davranışlarını zeta potansiyeli ile ilişkilendirmek olasıdır. Zeta potansiyelinin ölçümü dispersiyon ve agregat proseslerinin anlaşılması için çok önemlidir. Zeta potansiyelinin büyüklüğü agregat oluşumunu önleyerek kolloidal süspansiyonları kararlı kılar (Süspansiyonun dispersiyon hali) (Özmetin 2009).

Kil minerallerinin değişik elektrolit çözeltilerinde ve konsantrasyonlarda elektrokinetik özelliklerinin araştırılması ve dolayısıyla kolloidal davranışlarının belirlenmesi, bu minerallerin kullanım alanlarının daha da genişlemesi ve mevcut kullanımlarında karşılaşılan problemlerin azalmasına katkıda bulunacaktır. Zeta potansiyeli ve elektrokinetikle ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir.

(Kosmulski ve Dahlsten 2006) kil minerallerinin yüksek iyonik şiddete sahip ortamlarda elektrokinetiğini incelemişler ve 2M konsantrasyona kadar 1:1 tipi elektrolit ortamında pH nın fonksiyonu olarak kaolinit ve montmorillonitin elektrokinetik potansiyelini üç farklı metodla ölçmüşlerdir. Yüksek pH değerlerinde kaolin için potasyum ve sezyum, montmorillonit için sezyum tuzlarının varlığında izoelektrik noktanın (iep) değiştiği ve ayrıca 1:1 tipi elektrolitlerin yüksek iyonik şiddetleri için nötral ve bazik pH larda zeta potansiyelinin düştüğünü tespit etmişlerdir (Özmetin 2009).

(Hu ve ark. 2003) illit, kaolin phyrophyllitin kristal yapısının flotasyonla ayırmadaki rolüne ait araştırmalarında katyonik kollektörler kullanarak ters flotasyonla bu killerin ıslanabilirliğini ve elektrokinetiğini incelemişlerdir. Ölçülen sıfır yük noktası (zpc) ve hesaplanan izoelektrik nokta (iep) değerlerinde azalma olduğunu, bu azalmanın ise azalan kırık Al-O bağları ve azalan kırık Al-O/Si-O oranından kaynaklandığını tespit etmişlerdir (Özmetin 2009).

Yapılan diğer çalışmalarda ise kısaca; (Alkan ve ark. 2005) tek ve çok değerlikli katyonların elektrolit çözeltisinde kaolinitin elektrokinetik özelliklerini; Kim ve ark. (2003) kaolinit mineralinin zeta potansiyeli ve Cd^{+2} adsorpsiyon özelliklerini; Ersoy ve ark. (2002) doğal zeolitin farklı elektrolit derişimlerinde zeta potansiyelini; (Pierre ve Ma 1997) kaolinit ve montmorillonitin Fe^{+3} tuzlarında zeta potansiyelini; Özmetin (2009) ise illit kil mineralinin yüzey elektrokinetik özelliklerini belirlemiş ve adsorbent olarak kullanımında etkin olabilecek elektrokinetik parametrelerin ortaya konulmasını çalışmışlardır (Özmetin 2009).

2.6. Örnek Kil Mineralleri

Kil minerallerinin az veya fazla oranda karışarak meydana getirdiği killer çok sayıdadır. Nedeni, kalabalık kil mineral ailesinin doğada beklenmedik şekillerde ve oranlarda bir araya gelmesidir. İnsanlar killerden öylesine hızlı bir tempo ile yararlanmaktadırlar ki, bugün ad konmamış ince taneli bir birikim, şu veya bu şekilde kullanılabilirliği anlaşılınca yeni bir kaynak olarak ortaya çıkmakta ve isimlendirilmektedir. Kil dünyası öylesine geniştir ki burada artık sularda genelde bulunan ve sorun teşkil eden ve bu tez çalışmasına konu olan kaolin ve bentonit minerallerine hakkında kısa bir bilgi verilmiştir.

2.6.1. Kaolin

Kaolin, başta granit ve diğer magmatik/volkanik kayaçların yerlerinde bozuşmalarından oluşan, kaolinit ağırlıklı bir kildir. Fiziki olarak toprağımsı yapıda; beyazımsı-yeşilimsi veya sarımsı renktedir. Erime derecesi 1760 °C' tır.

Kimyasal yönden, bileşimi $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$'dur. Sürüklenerek başka ortamlarda çökelmiş kaolinitlere de kaolin dense bile, bunlara başka mineraller karışmış olduğundan, birinci derecede önemli yataklar değillerdir. Gerçek kaolin yatakları, bozuşan magmatik/ volkanik kayaların bulunduğu yerlerde oluşmuş ve burada varlıklarını korumuş olanlardır.

Kaolinin bileşimindeki silikanın (SiO_2), % 46,54; alüminyum oksidin (Al_2O_3), %39,50; suyun (H_2O) ise % 13,96 nispetinde olması idealdir. Esas yapıcı elaman alüminyum silikattır. Bunun azalması halinde, bileşime az nispette demir, kükürt veya potasyum karışır. Potasyumun varlığı, ortamda bir miktar alunitin (K_2O) varlığı demektir ki, ısınma işleminde ateş kaybının artmasına yol açtığı için hiç istenmez. Yine de asıl arzu edilmeyenler demir ve kükürttür. Kükürt yine ateş kaybını artırmaktan öte, demirle birlikte hem seramiğin rengini bozmakta, hem de ısıl işlemlerde başka istenmeyen kimyasal değişmelere yol açmaktadır. Kaolinler kullanım alanlarına göre sınıflandırılabildikleri gibi alüminyumlu, silisli, demirli, kaolin seklinde mineralojik bileşimine, yağlı, sert, döküm, yumuşak, plastik kaolin, refrakter kaolini seklinde fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılabilirler. Kaolinin kullanım alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- ✓Seramik alanında kullanılan kaolinler
- ✓Dolgu alanında kullanılan kaolinler (kağıt, plastik, tekstil, boya, cam)
- ✓Diğer sanayi dallarında kullanılan kaolinler (çimento, ilaç, kozmetik, deri, yağ)

Dünyada en büyük kaolin yatakları ABD, İngiltere ve Rusya'da yer alır. Türkiye'deki kaolin yataklarının hemen hepsi hidrotermal kökenlidir. Nitekim Balıkesir/Sındırgı yatakları başlangıçta volkanik asıllı sedimanterler oldukları halde sonra onlar da hidrotermal alterasyona uğramışlardır. MTA'nın belirlemelerine göre Türkiye kaolin rezervleri verilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Türkiye kaolin rezervleri (Tunçay 2006).

Bulunduğu Yerler	**Al_2O_3 (%)**	**Kullanım Alanı**	**Rezerv (Gör + Muh) (Ton)**	**İşletilebilr Rezerv (Gör) (Ton)**
Balıkesir - Sındırgı	13 - 33	İmce seramik, karo, refrakter, kâğıt	70.000.000	25.000.000
Balıkesir - Ayvalık	15 - 32	Seramik ve karo fayans	1.000.000	500.000
Balıkesir - İvrindi	20 - 31	İnce seramik ve karo fayans	970.000	500.000
Balıkesir - Gönen	23 - 28	Seramik	150.000	50.000
Çanakkale - Çan	17 - 35	Seramik ve refrakter	5.000.000	2.000.000
Bursa - Kemalpaşa	20 - 24	Kâğıt	1.000.000	1.000.000
İstanbul - Arnavutköy	15 - 35	Refrakter	800.000	-
Eskişehir - Mihalıcık	20 - 33	Seramik ve karo fayans	3.330.380	1.000.000
Bilecik - Söğüt	15 - 23	Seramik	1.000.000	500.000
Kütahya - Gvrekseydi	20 - 24	Kâğıt	724.924	200.000
Kütahya - Altıntaş	20 - 31	Seramik ve karo fayans ve kâğıt	1.206.000	500.000
Kütahya - Emet	20 - 30	Seramik ve karo fayans	1.070.286	100.000
Kütahya - Simav	20 - 24	Seramik ve karo fayans	370.000	50.000
Uşak - Karaçayır	11 - 21	Seramik ve karo fayans	800.000	500.000
TOPLAM			87.421.590	31.900.000

ABD ve gelişmiş Avrupa ülkelerinde kaolinin % 80'i kâğıt ve ince seramikte kullanıldığı halde, Türkiye'de bu sektöre sadece % 6'sı girmektedir. Kaba seramik ve cam sektöründe % 79 gibi büyük bir kısmı harcanmakta, geri kalan %15' i ise çimento sektöründe kullanılmaktadır. İhraç ettiğimiz kaolinin % 95'i çimento imalinde ara madde, % 5'i ise seramik ve diğer alanlarda kullanılmaktadır. İthal ettiğimiz kaolinin hemen tamamı, iyi cins kâğıt üretiminde ve bazı önemli seramik ve porselen eşyanın imalinde kullanılmaktadır (Tunçay 2006).

2.6.2. Bentonitler

Bütün bentonitler Montmorillonit grubu kil minerallerindendir. Montmorillonit mineralleri üç tabakalı bir yapı gösterirler ve bu onların karakteristik özelliğidir. Tabakalarda ayrışma su molekülleri ve değişebilen iyonlar yeralır. Mevcut bu tabakalar arasında su ve organik moleküller girerek yapının genleşmesine neden olurlar. Bu özellik killerin şişmesi olarak tanımlanırlar. Tabakalar arasındaki değişebilen iyonlar değişik empürütelerin varlığı kilin değişik karakteristik özelliklerini belirler. Endüstriyel

kullanımlar için bentonitin değerlendirilmesinde, kimyasal bileşimden ziyade fiziksel özellikleri önemlidir. Ticari bentonitler, sülfırık aside karşı gösterdikleri reaksiyona göre dört guba ayrılırlar.

Alkali Bentonit: Asit ile muamelede özelliklerini kaybetmeyen ve kolayca değiştirilen alkali bazları içeren bentonitler.

Yarı Alkali Bentonit: Yer değiştirelebilen alkali bazlar içerir, asitle muamele edildiğinde orijinal özelliklerini yitirir.

Toprak Alkali Bentonit: Yer değiştirebilen toprak alkali baz içerir, alkali tuz muamelesi ile alkali bentonit özelliği kazanabilir.

Yarı Toprak Alkali Bentonit: Asitle muamele edildikten sonra alkali bentonit özelliği kazanmayan bentonittir.

Bentonitler esas itibarıyla suda şişen Na Bentonit, bu özelliği daha az olan Ca-Bentonit ve orta şişen ara tip (Na-Ca) Bentonit olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar.

2.6.2.1. Şişme özelliği olan bentonitler

Bu grubu bünyelerine yaklaşık olarak 1 ile 15 kat su alabilen bentonitler teşkil ederler. Su ile karıştırıldığında kolloidal özellik göstermesi su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi, yüksek poroziteye haiz olması, bu killere çok geniş kullanım sağlamaktadır.

2.6.2.2. Şişme özelliği olmayan bentonitler

Bu tür bentonitler Ca-bentonit olarak tanımlanırlar. Bu tür bentonitlerde tabakalar aıasında değişebilen iyonlarda kalsiyum mevcuttur. Fiziksel özellikleri genellikle her iki tip bentonitte de aynıdır. Asit ile muamele edildiklerinde bazı kullanım alanları değişebilmektedır Örneğin Ca - bentonit asit ile muamelesinden sonra petrol yağlarında tasfiye edici olarak kullanıldığı halde Na-bentonıtleıde böyle bir özellik yoktur.

Genel olarak bentonitlerin kullanıldığı alanlar:

- ✓Yağ Rafine Alanı
- ✓Dokum Kumu Alanı
- ✓Sondaj Alanı
- ✓Diğer Alanlar (Dolgu, kimya, deterjan, kozmetik, kâğıt, seramik, boya) şeklinde sıralamak mümkündür (Malayoğlu ve Akar 1995).

2.6.2.3. Ara tip bentonitler

Sodyum kalsiyum bentonit (orta şişen) bentonit türüdür. Bu bentonitlere karma tip bentonit de denir. Bazı kimyasal zenginleştirme yöntemleri kullanılarak sodyum bentonite dönüştürülebilmektedir. Böylelikle şişme özelliği kazandığından kullanım alanları artırılabilmektedir.

2.7. Flokülasyon ve Koagülasyon

Flokülasyon terimi genel olarak Koagülasyon ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Bunlar arasındaki fark koagülasyonun elektriksel çekim kuvvetleri ile kontrol edilen bir salkımlaşma olması, flokülasyonun ise yüksek molekül ağırlıklı organik maddelerin (Polimerler) etkisiyle partiküller arasında fiziksel bir köprü meydana getirilerek elde edilmesidir. Polimerlerin mineral yüzeyine adsorbsiyonuna; ortam pH 'sı, iyonik kuvvet, pülp ısısı, mineral yüzeyinin zeta potansiyeli, minerallerin suda çözünürlülüğü, polimer molekül ağırlığı, polimer yapısı, pülpte etkin olan grubun yükü ve polimerin hazırlanışı ve sisteme ilave şekli önemli etkenlerdir (Alptekin 2006).

2.7.1. Flokülasyon

Flokülasyon; suda çözünebilen, çok yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak taneciklerin bir araya getirilmesi işlemidir. Taneciklerin bir araya getirilmesi üç ayrı mekanizmayla yapılabilmektedir.

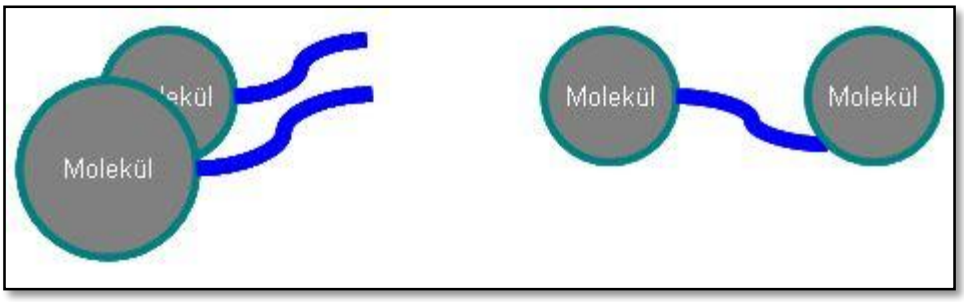
1) Taneciklerin polielektrolitler kullanılarak zeta potansiyellerinin düşürülmesi ve Van der Waals çekim kuvvetleriyle taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması.
2) Tanecik yüzeyinde, yüzeye zıt kısımların oluşturulması ve bu kısımların diğer bir taneciği çekmesi ile taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması.
3) Taneciklerin polimer köprüleriyle bir araya getirilmesinin sağlanması.

Bazı organik polimerlerin molekül zincirlerinin suda iyonlaşmasıyla elde edilen polielektrolitlerde, zincir üzerinde aşırı derecede pozitif veya negatif yük bulunur. Süspansiyondaki taneciklerle zıt yüklü polielektrolitler süspansiyona ilave edildiklerinde taneciklerin zeta potansiyelleri düşer ve tıpkı koagülasyonda olduğu gibi Van der Waals çekim kuvvetleriyle tanecikler bir araya gelir ve süspansiyonun kararlılığı bozulur. Bu tip flokülasyonun koagülasyondan farkı inorganik elektrolitlerin yerine organik polielektrolitlerin kullanılmasıdır.

Polielektrolitler tanecik yüzeyine elektrostatik çekim kuvvetiyle adsorbe olabildiği gibi yüzeye kimyasal olarak da adsorblanabilirler ve aynı şekilde taneciklerin zeta potansiyellerinin düşmesine neden olarak flokülasyonu sağlarlar.

Tanecik yüzeyinde yüzeyle zıt yüklü kısımların oluşturulması ve bu kısımların diğer bir taneciği çekmesi ancak tanecik yüzeyinin negatif, polimer molekül zincirinin ise pozitif yüklü olduğu ve zincirin her 4 veya 5 karbon atomuna 1 pozitif yük düştüğü zaman yani zincirde yük yoğunluğu fazla olduğunda gerçekleşir.

Bu zincirler önce elektrostatik olarak tanecik yüzeyine adsorblanırlar. Eğer zincirin yük yoğunluğu çok yüksekse, zincir adsorbe olduğu kısmın negatif yükünü nötralize edecek ve zincir hala nötralize edilmemiş katyonik yüklerin fazlalığını taşıyacaktır. Bu tip polimer adsorbsiyonu tanecik yüzeyinde pozitif yüklü kısımların oluşumuna neden olur. Tanecik yüzeyinde oluşan bu pozitif kısımlar diğer taneciklerin negatif yüklü kısımlarını elektrostatik olarak çeker ve floklar oluşur (Şekil 2.5).

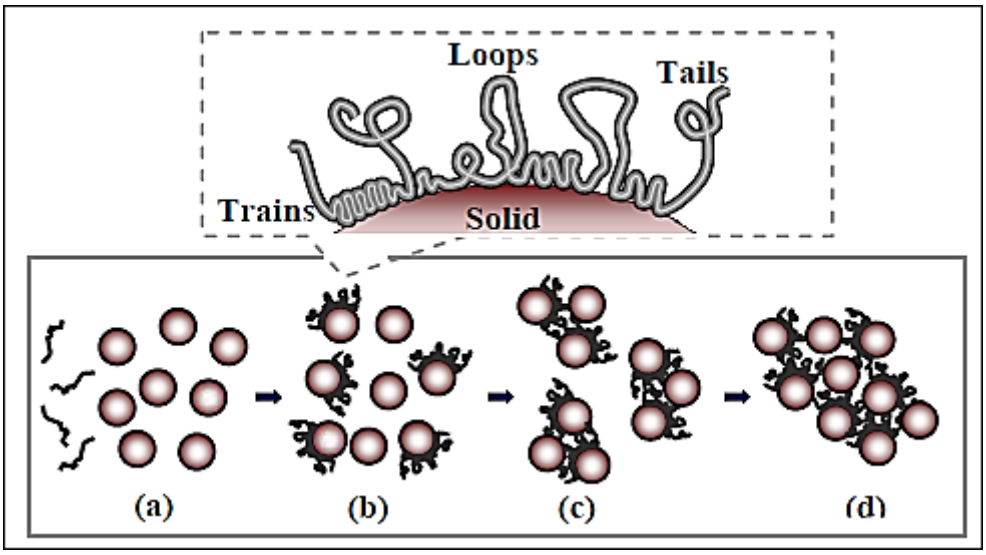


Şekil 2.5. Taneciklerin polimer köprüleri flok oluşturması.

Bu mekanizmayla çalışan en yaygın polimer tipi poliaminlerdir. Bunlar nispeten düşük moleküler ağırlıktadırlar. Bu yolla oluşan floklar küçüktürler ve yavaş çökerler. Taneciklerin polimer köprüleriyle bağlanması Şekil 2.6 'da gösterilmiştir. Bu yöntemde flokülasyon işleminin iki safhada oluştuğu sanılmaktadır. Birinci safhada polimer zincirinin bir ucu süspansiyondaki bir taneciğe adsorblanırken diğer uç süspansiyonda kalır. Kullanılan polimer zincirinin uzunluğu zincirin önemli kısmının taneciğe yapışmadan kalmasını sağlayacak ölçüde olmalıdır. İkinci safhada zincirin diğer ucu başka taneciğe adsorblanır ve floklar oluşur.

Taneciklerin polimer köprüleriyle bağlanması için polimerin taneciklerle zıt yük taşıması gerekmez ancak polimerin çok yüksek molekül ağırlığına sahip olmaları gerekir. Bu tip sentetik polimerlerin çoğu akrilamit ve onun monomer türevlerine dayanır. Bu polimerlerin tanecik yüzeyine adsorbsiyonu tanecik ile polimer zıt yüklü ise elektrostatik olurken, iyonik olmayan polimerlerde adsorbsiyon hidrojen bağlarıyla oluşmaktadır. Yine anyonik flokülantlar negatif yüklü tanecik yüzeylerine hidrojen bağlarıyla veya

kimyasal olarak adsorblanabilmektedir. Kireç ilave edilen pülplerde anyonik polimer adsorbsiyonu katyonik bağlanmayla da oluşabilmektedir. Bu durumda iki değerlikli kalsiyum katyonları negatif yüklü tanecik yüzeyiyle akrilamide-akrilic asit co-polimerler 'in negatif yüklü karboksil grupları arasında elektrostatik bir köprü oluşturur. (Alptekin 2006, Atesok ve ark. 1988, Hunter ve Pearse 1982).



Şekil 2.6. Flokülasyon mekanizmasında polimer köprülerin oluşumu (Cristiane O. ve ark. 2010).

İyonik olmayan akrilamidler ve anyonik akrilamidler çok yüksek molekül ağırlıklarında ($5 - 15 \times 10^6$) üretilebildiklerinden ve dolayısıyla büyük, hızlı çöken, oldukça kompakt flokların oluşumuna neden olduklarından madencilikte geniş ölçüde kullanılırlar. Katyonik akrilamidler ise molekül ağırlıkları daha düşük ($2 - 6 \times 10^6$) ve pahalı olduklarından madencilik endüstrisinde nadiren kullanılırlar (Atesok ve ark. 1988).

2.7.1.1. Flokülantlar

2.7.1.1.1 Doğal flokülantlar

Nişasta, reçine, tutkal, jelatin ve aljinat bunlardan bazılarıdır. Bu tip maddelerin molekül ağırlıkları sentetik polimer flokülantlara göre çok düşüktür ve floküle etme kabiliyetleri de bu bakımdan daha sınırlıdır.

2.7.1.1.2 Sentetik flokülantlar

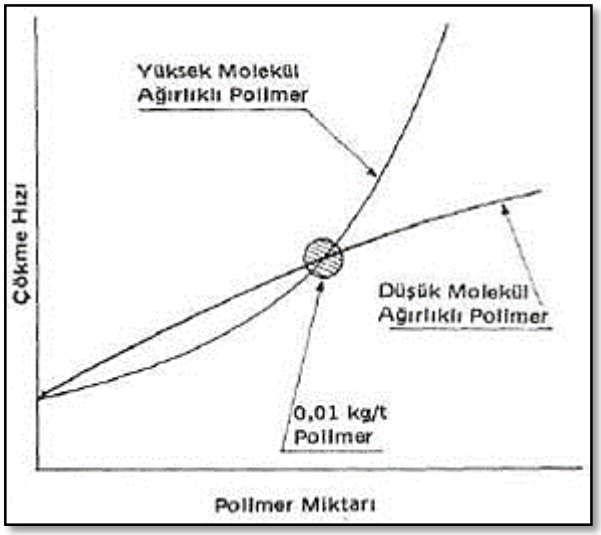
Suda çözünebilen yüksek molekül ağırlıklı sentetik organik polimerlerdir. Bu tip flokülantlar poliakrilamid denen maddenin türevleridirler. Poliakrilamidin iyonik karakterleri yoktur. Kısmi hidroliz ve polimerizasyon ile iyonik karakter kazandırılırlar. Bu elektriksel şarj iki amaca hizmet eder:

1) Flokülantın elektrostatik çekim ile mineral yüzeyine adsorbe olmasını sağlar.
2) Sıvı içerisinde polimer flokülantın zincir uzunluğu boyunca itme kuvvetleri meydana getirerek molekül zincirlerinin yumak haline gelmemesini sağlar.

2.7.1.2. Flokülasyonu etkileyen önemli parametreler

2.7.1.2.1 Polimer molekül ağırlığının etkisi

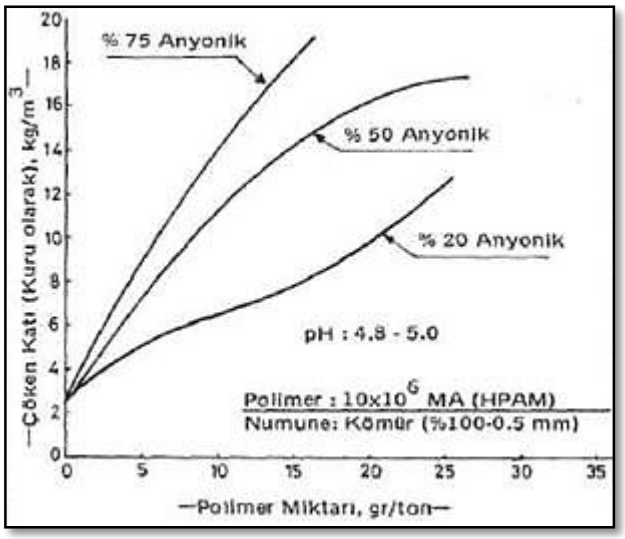
Flokülasyon yönteminde kullanılan polimerlerin molekül ağırlığının salkımlaşmaya etkisi oldukça önemlidir. Şekil 2.7 'de bu etki açıkça görülmektedir, özellikle ortalama 0,01 kg/ton polimer ilavesinden sonra yüksek molekül ağırlıklı poliakrilamidlerin pülp içindeki katılar üzerindeki etkisi büyük olup, çökme hızları oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Çeşitli araştırıcılar tarafından, yüksek molekül ağırlıklı polimer içeren pülplerde, meydana gelen salkımların çaplarının daha büyük olduğu saptanmıştır (Hunter ve Pearse 1982).



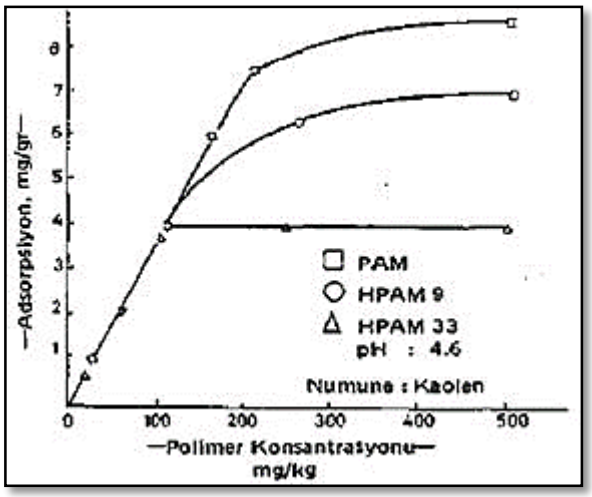
Şekil 2.7. Polimer molekül ağırlığının salkımlaşmada çökme hızı üzerindeki etkisi (Hunter ve Pearse 1982).

2.7.1.2.2 Polimer anyonik değerinin etkisi

Polimer anyonik değerinin salkımlaşma yönteminde oldukça önemli etkileri mevcuttur. Şekil 2.7 ve 2.8 'de bu parametre ile ilgili elde edilmiş olan bazı deneylerin sonuçları verilmiştir. Şekil 2.7 'de, tamamı 0,5 mm'nin altında olan bir kömür numunesi ile yapılan çöktürme deneylerinin sonuçları gösterilmiştir (Hunter ve Pearse 1982). Poliakrilamidin anyonik değeri arttıkça çöken katı miktarı da hızlı bir şekilde artmaktadır.



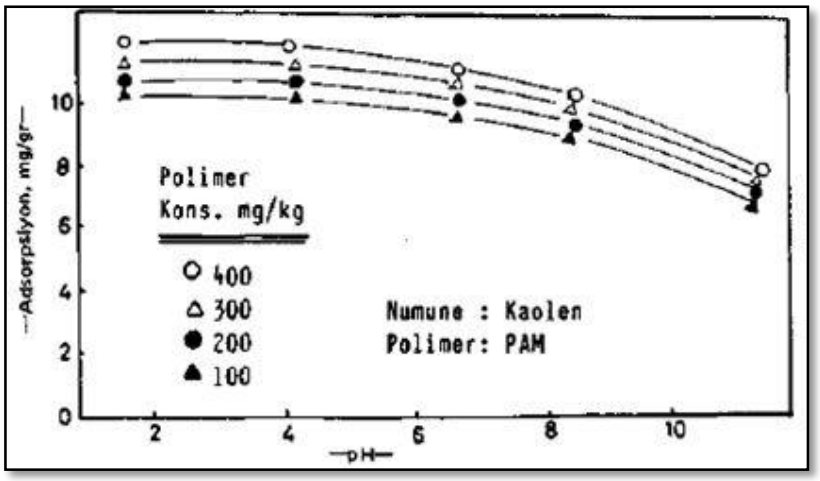
Şekil 2.8. Polimer anyonik değerinin salkımlaşma üzerine etkisi (Atesok ve ark. 1988).



Şekil 2.9. Polimer anyonik değerinin adsorpsiyon üzerindeki etkisi (Atesok ve ark. 1988).

2.7.1.2.3 Ortam pH değerinin etkisi

Solüsyon pH değerinin flokülasyon işleminde çok önemli bir yeri vardır. Ortam pH'sına bağlı olarak, pülp içerisinde meydana gelen flokların özellikleri de değişmektedir (Hunter ve Pearse 1982, Atesok ve ark. 1988). Düşük pH değerinde (asidik ortam) oluşan salkımlar genellikle küçük boyutlu ve sağlam bir yapıda olmalarına karşın, yüksek pH değerlerinde (bazik ortam) büyük boyutlu ve gevşek-kırılgan bir yapı özelliği gösterirler. Salkımların ortam pH 'sına bağlı olarak göstermiş olduğu bu yapısal özellikleri, flotasyon ve filtrasyon işlemlerinde büyük önem taşır. Salkımlaşma yönteminde çok önemli bir parametre olan ve salkımların oluşmasında direkt etkili olan adsorpsiyon faktörü, ortam pH'sına bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir (Atesok ve ark. 1988).

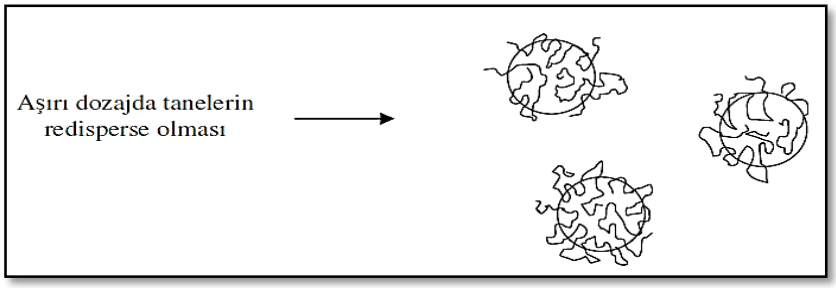


Şekil 2.10. Ortam pH' sının polimer adsorpsiyonu üzerindeki etkisi (Hollander ve Somasundaran 1981).

Ortam pH değeri, gerek pülp içinde bulunan katılara ve gerekse pülpe ilave edilen polimere etki etmekte ve doğal özelliklerini değiştirmektedir (Şekil 2.10). Kaolin'in ortam pH değerine bağlı olarak, poliakrilamid ile adsorpsiyon özellikleri gösterilmiştir (Hollander ve Somasundaran 1981).

2.7.1.2.4 Flokülant dozajının etkisi

Literatürde bir süspansiyondaki disperse olmuş katı partiküllerin en iyi şekilde flokülasyonunu sağlamak için gerekli flokülant dozajının (optimum dozaj), katının yüzey alanının yarısını kaplayacak miktardaki dozaj olduğu ifade edilmektedir. Şayet ortama bu dozajdan daha fazla miktarda flokülant verilirse yani taneler üzerine fazla miktarda flokülant adsorplanırsa o zaman taneler arasında köprü oluşumu engellenir. Çünkü Sekil 2.11' de görüldüğü üzere tanelerin yüzeyinde, bir başka tane yüzeyine adsorplanmış flokülant zincirinin bir kısmının bu tane üzerine de tutunabilmesi (adsorplanabilmesi) için yeterince boşluk kalmamakta ve bu da flokülasyonu engellemektedir. Bu durum flokülantların aşırı dozajda sterik engeli olarak da bilinmektedir. Diğer yandan süspansiyona optimum dozajdan daha düşük miktarda flokülant verilmesi de yine flokülasyon işlemini olumsuz yönde etkileyecektir (Alptekin 2006).



Şekil 2.11. Aşırı flokülant dozajında tanelerin yeniden disperse hale gelmesi (flokülantların sterik engel olusturması) (Alptekin 2006).

2.7.1.2.5 Süspansiyon karıştırma hızı ve karıştırma süresinin etkisi

Süspansiyona uygulanan yüksek karıştırma hızı ve bunun sonucunda ortaya çıkan güçlü kesme kuvvetleri, oluşmuş floklar üzerinde olumsuz etki yapmakta ve flokların parçalanarak küçülmesine neden olmaktadır. Parçalanan bu flokların ise yeniden bir araya gelmesi daha zor olmaktadır. Bu sebeple floklar üzerinde olumsuz etki yapmayacak optimum bir karıştırma hızının uygulanması gerekir. En uygun karıştırma süresi optimum flokülant dozajının elde edilebilmesi için, diğer bir ifade ile tane yüzey alanının yarısının flokülant ile kaplanabilmesi için gerekli olan süredir. Bu sürenin fazla tutulması flokülantların tane yüzeyinde artmasını ve dolayısıyla sterik engel nedeniyle flokülasyonu engellemektedir. Bu sürenin gereğinden az olması da flokülant moleküllerinin süspansiyondaki tüm katı tanelerine ulaşabilme sansını azaltacağından flokülasyonu olumsuz yönde etkileyecektir (Alptekin 2006).

2.7.1.2.6 Süspansiyondaki katı/sıvı oranı, katının tane boyutu ve şeklinin etkisi

Süspansiyondaki katıların tane boyutu ne kadar küçük ve porozite oranı ne kadar yüksek olursa yüzey alanları da o oranda artacagından bu durum dogrudan flokülant tüketimini de etkileyecektir. Dolayısıyla optimum flokülant dozajı belirlenirken katının tane boyut veya spesifik yüzey alanı analizinin de bilinmesi gereklidir (Atesok ve ark. 1988).

2.7.2. Koagülasyon

Süspansiyondaki ince tanelerin yüzey elektrik şarjlarının (zeta potansiyeli) nötralize edilmesi ile sağlanan agregasyon işlemine koagülasyon denir. Yani 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. Bu yöntemde, süspansiyondaki minerallerin taşıdıkları elektriksel şarjlara zıt işaretli iyonlar sisteme ilave edilerek yüzey şarjları nötralize edilmeye çalışılır. Genel kanı zeta potansiyeli değerinin $\pm$ 15 milivolt' un altında olduğunda koagülasyonun mümkün olacağıdır.

Çoğu mineral süspansiyonundaki taneler negatif yüzey şarjı taşırlar. Bu nedenle genellikle sistemin koagülasyonu için katyon ilavesi gerekir. Koagülasyona neden olan kimyasallara koagülant adı verilmektedir (Alptekin 2006).

2.7.2.1. Koagülantlar

İnorganik tuzlar süspansiyona ilave edildiklerinde, süspansiyon içinde Na^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}, Al^{+++}, Fe^{+++} gibi katyonların miktarı artar. Bunlar negatif (-) yüzey şarjına sahip partiküller üzerine adsorbe olarak partiküllerin zeta potansiyelini düşürürler. Bu tip pozitif iyonların koagüle etme kabiliyetleri değerlikleri ile doğru orantılı olarak artar. Bunun nedeni düşük konsantrasyonlarda yüksek değerlikli katyonların mineral yüzeylerinde daha yüksek adsorpsiyon yoğunluğu vermeleridir.

Süspansiyona ilave edilecek koagülant miktarının optimum bir düzeyde olması gerekir. Aşırı dozaj mineral yüzey şarjının pozitife dönmesine yol açar ve sistemin dengesini tersine çevirebilir. Sisteme ilave edilecek optimum doz jar testi ile belirlenebilir.

Koagülasyon sonucu elde edilen floklar flokülasyon sonucu elde edilen floklara göre daha küçüktür. Dolayısıyla çökelme hızları da düşüktür. Aynı zamanda bu agregatların parçalanması da daha kolay olmaktadır (Alptekin 2006).

Çizelge 2.4. Koagülant çeşitlerinin bazıları (Alptekin 2006).

Elektrolitler (İnorganik Tuzlar)	**Polielektrolitler**
NaCl	Nişasta
$CaCl_2$	Guar
$MgCl_2$	Polimer koagülantlar (molekül ağırlığı < 100.000
$Al_2(SO_4)_3$ (alum)	
$FeCl_3$	
$FeSO_4$	
$CaOH_2$ (kireç)	

2.8. Kil Minerallerinde Yapılan Koagülasyon ve Flokülasyon Çalışmaları

Kil minerallerinin susuzlandırılması çevresel ve ekonomik nedenlerden dolayı birçok disiplin için önem arz etmektedir. Bunun için farklı disiplinlerde araştırma yapan birçok araştırmacı bu konu üzerine çalışmalar yapmıştır.

Mpofu ve ark. (2003) Smektit (% 95 Montmorillonit % 5 Kalsit) minerali üzerine 2,5 x 10^6 PAM ile flokülasyon deneyleri yapmış flokülant konsantrasyonu ve tipi polimer adsorpsiyonu ve adsorpsiyon tabakasının kalınlığı ve zeta potansiyeli parametrelerini incelemişlerdir. Owen ve ark. (2002) Kaolin minerali üzerine Yüksek molekül ağırlıklı noniyonik PAM ile flokülasyon deneyleri yapmış vizkosite, karıştırma hızı, flokülant konsantrasyonu ve tipi, bekleme süresi (zaman) parametrelerini incelemişlerdir. Burada yapılan çalışmalardan bir kısmı toplu halde verilmiştir (Çizelge 2.5 – 2.6).

Yapılan tüm bu çalışmalardan yola çıkılarak farklı yapıdaki kil minerallerinin flokülasyon, koagülasyon ve bu temel işlemlerin kombinasyonunda oluşan çökelme karakteristiklerindeki farklılıklar ortaya konularak, çökelme karakteristikleri ile söz konusu killerin yapıları arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 2.5. Kil mineralleri ile yapılan flokülasyon ve koagülasyon çalışmaları.

Araştırmacı	Materyal	Yöntem	Koagülant - Flokülant	İncelenen Parametreler
(Mpofu ve ark. 2003)	Smektit (%95 Montmorillonit % 5 Kalsit)	Flokülasyon	2,5 x 10^6 PAM	Flokülant konsantrasyonu ve tipi Polimer adsorpsiyonu ve adsorpsiyon tabakasının kalınlığı Zeta potansiyeli
(Lagaly ve Ziesmer 2003)	Bentonit	Koagülasyon	Na, Ca, Al Tuzları	pH Alkollerin etkisi Yüzey aktif maddelerin etkisi Koagülant konsantrasyonu ve tipi
(Owen ve ark. 2002)	Kaolin	Flokülasyon	Yüksek molekül ağırlıklı noniyonik PAM	Vizkosite Karıştırma hızı Flokülant konsantrasyonu ve tipi Bekleme süresi (zaman)
(Chen ve ark. 2007)	Kaolin	Koagülasyon	NaCl	Karıştırma hızı Koagülasyon konsantrasyon Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi
(Kım ve ark. 2003)	Bentonit	Flokülasyon	Yüksek molekül ağırlıklı polielektrolit	Flokülant konsantrasyonu ve tipi Adsorpsiyon mekanizmaları
(Besra ve ark. 2004)	Kaolin	Flokülasyon	5 - 7 x 10^6 PAM	pH Flokülant konsantrasyonu ve tipi

Çizelge 2.6. Kil mineralleri ile yapılan flokülasyon ve koagülasyon çalışmaları (Çizelge 2.5 in devamı).

Araştırmacı	Materyal	Yöntem	Koagülant - Flokülant	İncelenen Parametreler
(Çırak 2010)	Green Clay White Clay	Flokülasyon Koagülasyon	Yüksek molekül ağırlıklı PAM	Flokülant konsantrasyonu ve tipi Distile su ve musluk su % katı oranı Ekstra $CaCl_2$ ilavesi farklı kons. $MgCl_2$ ilavesi farklı kons. $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ birlikte ilavesi farklı kons. pH Zaman
(Mensah 2007)	Kaolinit	Flokülasyon	$(\sim 2.7 \pm 0.3) \times 10^6$ PAM	İki farklı yüzey alanına sahip numune pH Flokülant konsantrasyonu ve tipi % katı oranı Mn ve Ca iyonu ilavesi Sıcaklık
(Güler ve Böke)	Kaolin	Flokülasyon	7×10^6 iyonik olmayan 5×10^6 anyon aktif poliakrilamid	Karıştırma hızı Flokülant konsantrasyonu ve tipi pH
(Bentli 2010)	GLİ Tkiner atık numunesi Monmorillonit + Kaolinit	Flokülasyon Koagülasyon		Farklı ticari tip anyonik flokülantlar İnorganik elektrolitlerin ilavesi ve kons değişimleri

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda cevher hazırlama tesislerinden çıkan atıklarda sıkça gözlenen ve susuzlandırma işlemlerinde sorun oluşturan kil gruplarına ait mineraller kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar için iki farklı minerolojik oluşuma sahip kil minerali seçilmiştir.

- Kaolinit (İki tabakalı)
- Bentonit (Üç tabakalı)

Killerin şişme potansiyelinin koagülasyon ve flokülasyondaki çökelme davranışlarına etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla farklı şişme potansiyeline sahip üç bentonit numunesiyle çalışılmıştır.

- ✓Sodyum bentonit
- ✓Ara tip (Na-Ca) Bentonit
- ✓Kalsiyum Bentonit

Deneysel çalışmalarda kullanılan kaolin minerali, Bilecik' deki Matel Hammadde Sanayi Ticaret A.Ş. den Na bentonit numuneleri Karakaya Bentonit Sanayi Ticaret A.Ş'den, Ca ve Ara-tip (Na, Ca) bentonit numuneleri Çankırı Bentonit Sanayi Ticaret A.Ş. (Çanbensan)' den temin edilmiştir.

Deneylerde kullanılan kil numunelerinin genel özellikleri Çizelge 3.1'de, Sympatec Helos H1735 marka tane boyut analiz cihazı ile belirlenen tane boyut analiz sonuçları ise Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Numunelerin genel özellikleri.

Mineral	**Ca-Na Bentonit (N999)**	**Ca Bentonit**	**Na Bentonit**	**Ca-Na Bentonit (N1000)**	**Kaolin**
Nem (%)	-	11,56	8	-	-
Şişme indeksi (mL)	-	5	-	-	-
Vizkozite 600 rpm	-	4	46	-	-
Filtrasyon hacmi (mL)	-	48	11,2	-	-
Plastik vizkozite	-	-	15,6	-	-
Kimyasal Analiz Değerleri					
SiO_2	60,41	71,50	61,28	62,01	53
Al_2O_3	16,29	15,20	17,79	15,21	30,5
Fe_2O_3	4,96	1,28	3,01	4,58	1,85
CaO	1,31	1,87	4,54	1,19	0,45
Na_2O	2,06	0,41	2,70	1,59	0,10
MgO	2,42	2,48	2,10	2,28	0,55
K_2O	1,24	1,15	1,24	1,13	2,3
TiO_2		0,15	-	-	1,15
P_2O_5		0,01	-	-	-
Kızdırma kaybı					9,5

Numune temin edilen şirketlerden alınmıştır.

Çizelge 3.2. Numunelerin tane boyut özellikleri.

Tane Boyu (µm)	**Na-Bentonit**	**N999**	**Ca-Bentonit**	**Kaolin**	**N1000**
d10	3,8	3,21	9,65	1,28	2,308
d25	9,37	8,36	18,93	2,57	
d50	22,94	20,36	33,79	5,91	5,558
d75	48,01	40,23	53,07	16,96	
d90					16,885
d95	97,7	71,86	90,5	50,72	
d97	110,29	79,74	102,29	59,5	

Hisar Madencilik' e yaptırılmıştır.

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan flokülantlar, koagülantlar ve diğer kimyasallar

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasalların listesi aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar ve özellikleri.

Koagülantlar	**Kimyasal Formülü**	**Mol Ağırlığı (g/mol)**
Sodyumklorür	NaCl	58,44
Kalsiyum klorür	$CaCl_2$	110,99
Magnezyum klorür	$MgCl_2$	203,30
Aluminyum sülfat	$Al_2(SO_4)_3 18(16)H_2O$	666,43
Demir III Klorür	$FeCl_3.6H_2O$	270,33
Flokülantlar		
Cinsi	Firma Kodu	
Anyonik	Cynamid A150	5-15 x 10^6
Katyonik	Cynamid C521	2-6 x 10^6
Noniyonik	Cynamid N100	5-15 x 10^6
pH ayarlayıcılar		
Hirojen klorür	HCl	36,46
Sodyum hidroksit	NaOH	40,00

3.2. Yöntem

3.2.1. Kil numunelerinin elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi

Zeta potansiyeli kil minerallerinin önemli bir elektrokinetik özelliğidir. Zeta potansiyelinin işaretini ve büyüklüğünü bilmek katı yüzeyine belirli maddelerin adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılmasında ve süspansiyonun stabilitesinin belirlenmesinde gereklidir (Ersoy ve Çelik 2002, Duman ve Tunç 2009).

Zeta potansiyeli ölçümleri Zeta plus (Brookhaven) cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.3). % 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 (her seferinde katı-sıvı arayüzeyinin belli miktar üzerinden) yaklaşık 10 mL alikot alınıp ölçümde kullanılacak hücreye yerleştirilmiştir. Her bir zeta potansiyeli ölçümü 2 defa tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.2. Karıştırma hızı ve süresinin optimizasyonu

Karıştırma hızı ve süresi optimizasyon deneylerinde ara tipi (Na, Ca) bentonit (N1000) numunesi kullanılmıştır. İlk olarak tam homojenize bir süspansiyon elde etmek için 850 rpm hızda 15 dakika süspansiyon karıştırılmıştır. Ardından dozlanan kimyasallar ile mineral tanelerinin etkileşimini artırmak için farklı karıştırma hızlarında (200, 300, 400 ve 500 rpm) denemeler yapılmıştır. Karıştırma hızı optimizasyonu deneylerinde karıştırma süresi sabit tutulmuştur (3 dakika). Deneyler esnasında 2,5 mg/L katyonik flokülant (C521) kullanılmış ve deneyler doğal pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yavaş karıştırmanın ardından beherler kenara alınıp değişik zamanlarda (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dk) alikotlar alınmış ve bulanıklık değerleri ölçülmüştür.

3.2.3. Doğal sedimantasyon deneyleri

Mineral süspansiyonlarının doğal sedimantasyon karakteristiğini belirlemek amacıyla kil mineralleri çapı 9 cm, yüksekliği 12,5 cm olan 500 mL' lik beher içerisinde (hiçbir kimyasal madde ilave edilmeksizin) % 2,5 katı oranında, homojen bir karışım sağlanabilmesi için 850 rpm hızda 15 dakika karıştırılmaya tabi tutulmuştur. Ardından süspansiyon 3 dakika 200 rpm hızda karıştırılarak karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Beher kenara alınarak 180 dakika boyunca süspansiyonların katı - sıvı ara yüzey yüksekliği gözlemlenmiş ve 30, 60, 90, 120, 150, 180. dakikalarda alikotlar alınarak bulanıklık değerleri ölçülmüştür.

3.2.4. Koagülasyon flokülasyon deneyleri

Deneyler beherle çalışma imkanı sağlayan, hız ayarlı mekanik karıştırma cihazında (Heidolph RZR 2021) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Deneyler öncesi çalışılacak her flokülant ve koagülant için uygun stok çözeltiler hazırlanarak, deneysel çalışmalar distile su ile hazırlanan bu stok çözeltiden seyreltilerek değişik konsantrasyonlarda dozlanarak gerçekleştirilmiştir. % 2,5 katı oranında hazırlanan numuneler 500 mL lik beherlere konularak belirlenen konsantrasyonda flokülant/ koagülant ilavesi yapılmış ve çalışılacak karıştırma süreleri ve hızlarına bağlı olarak karıştırmaya tabi tutulmuştur. Karıştırma süresi sonunda sistem durdurulmuş ve beher kenara alınarak çökelmeye bırakılmıştır. Çökelme süresi boyunca katı-sıvı ara yüzey yüksekliği takip edilmiş ve çökelme sonunda hava-su ara yüzeyinin belirli bir mesafe altından (her seferinde katı-sıvı arayüzeyinin belli miktar üzerinden) alikot alınarak bulanıklık, zeta potansiyeli (Şekil 3.3), pH, iletkenlik

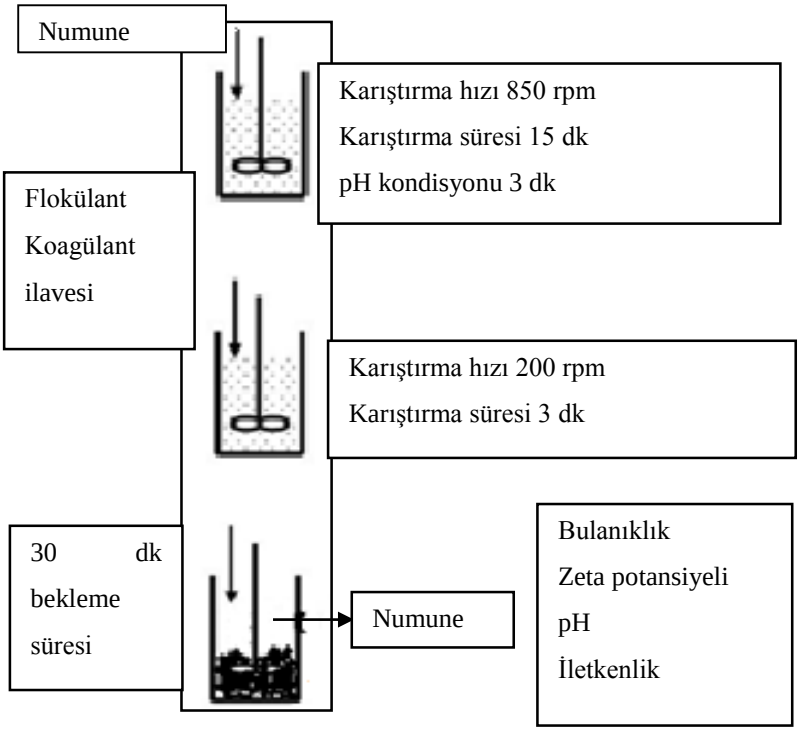
ölçülmüştür. Deneysel çalışma sonucunda alınan numune süspansiyonun bulanıklık değeri, ölçüldükten sonra aşağıdaki formül ile deneyin başarısı tespit edilmiştir.

% Flokülasyon Verimi = [(To-Tf)]/ To]∗100

To: Süspansiyonun sedimantasyon öncesi bulanıklık değeri (NTU)

Tf: Sedimantasyon sonrası süpernatantın bulanıklık değeri (NTU; Nephelometric turbidity unit).

Çalışılan deneysel parametreler, flokülant/koagülant türü ve dozajı, karıştırma süresi ve hızı, çökelme süresinin belirlenmesidir. pH kontrolünde İnolab wtw serisi dijital pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deneye ait akım şeması.



Şekil 3.2. Deney esnasında alınan fotoğraf karesi.



Şekil 3.3. Deneyler esnasında kullanılan zeta potansiyeli cihazı.

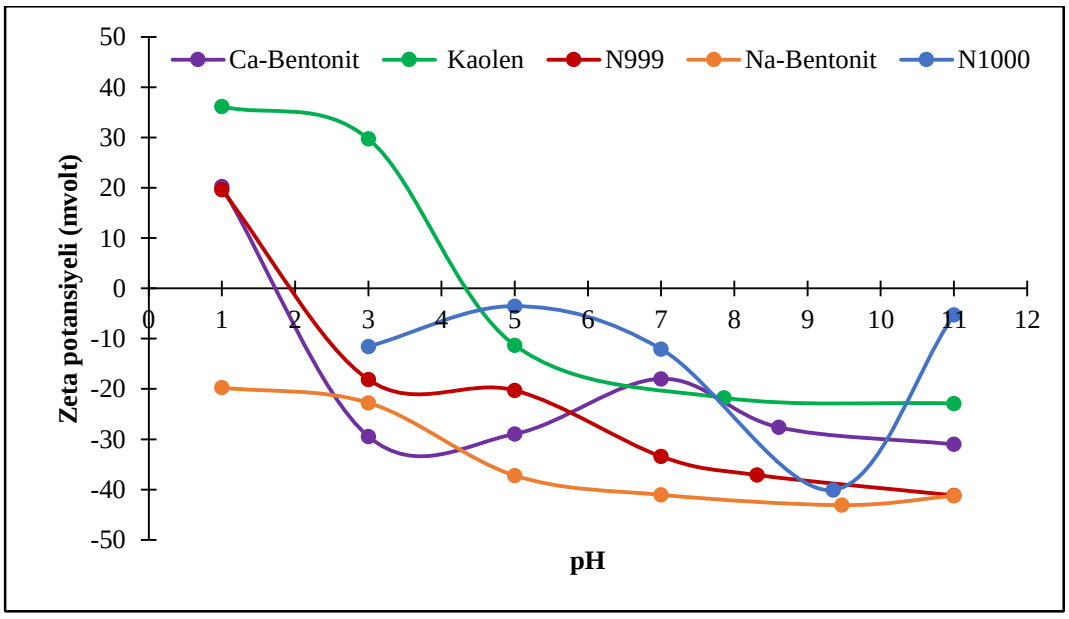
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar yedi aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar:

1. Kil minerallerinin elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi
2. Kil minerallerinin pH profillerinin belirlenmesi
3. Karıştırma hızı ve süresinin optimizasyonu
4. Kil süspansiyonlarının doğal sedimantasyonu
5. Koagülasyon deneyleri
6. Flokülasyon deneyleri
7. Koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon deneyleri

4.1. Kil Minerallerinin Elektrokinetik Özelliklerinin Belirlenmesi

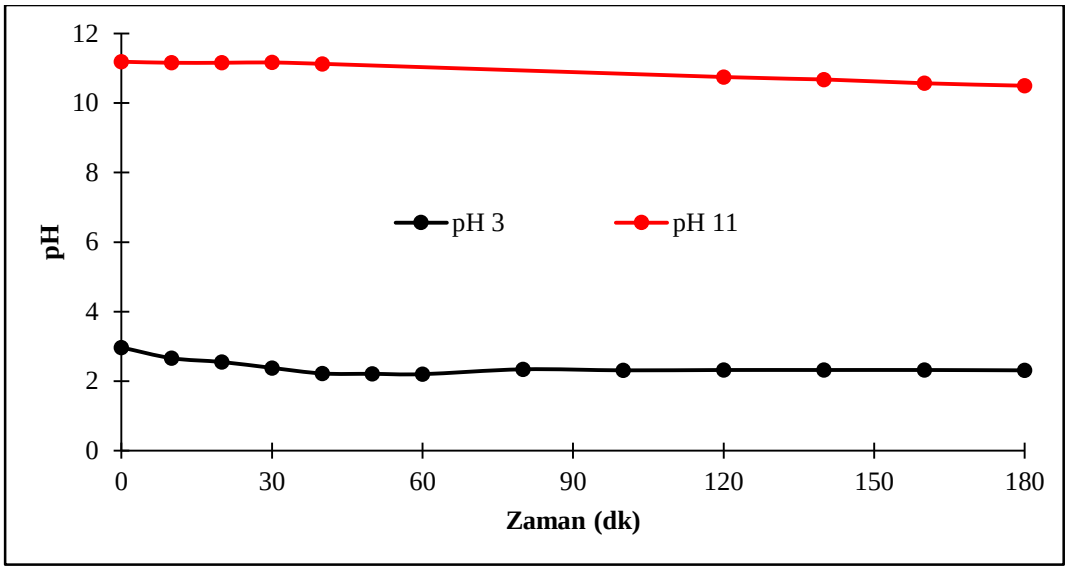
Kil minerallerinin zeta potansiyelinin pH'a bağlı olarak değişimi Şekil 4.1 de verilmiştir. Kil minerallerinin doğal pH değeri Kaolin, Ca, Na ve Ca-Na (N999, N1000) bentonit numuneleri için sırasıyla 7,86 - 8,61 – 9,47 – 8,31 – 9,35 dir. Bu pH değerlerinde tüm kil mineralleri negatif yüzey şarjına sahiptir. Na bentonit ve N1000 numuneleri için zpc noktası tesbit edilememiştir. Kaolin, Ca bentonit ve N999 için tespit edilen zpc noktaları sırasıyla 4,3 – 1,9 – 2,0 dır. Bu değerlerin altındaki pH larda mineral yüzeyleri pozitif, üzerindeki pH larda ise negatif yüzey şarjına sahiptir. Tüm kil numuneleri için artan ortam pH'ı ile birlikte tanelerin zeta potansiyeli daha da negatif olmaktadır. Yalnız N1000 için bazik pH da yani pH 11 de zeta potansiyeli değeri azalmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Minerallerin pH'a bağlı zeta potansiyeli değerlerinin değişimi.

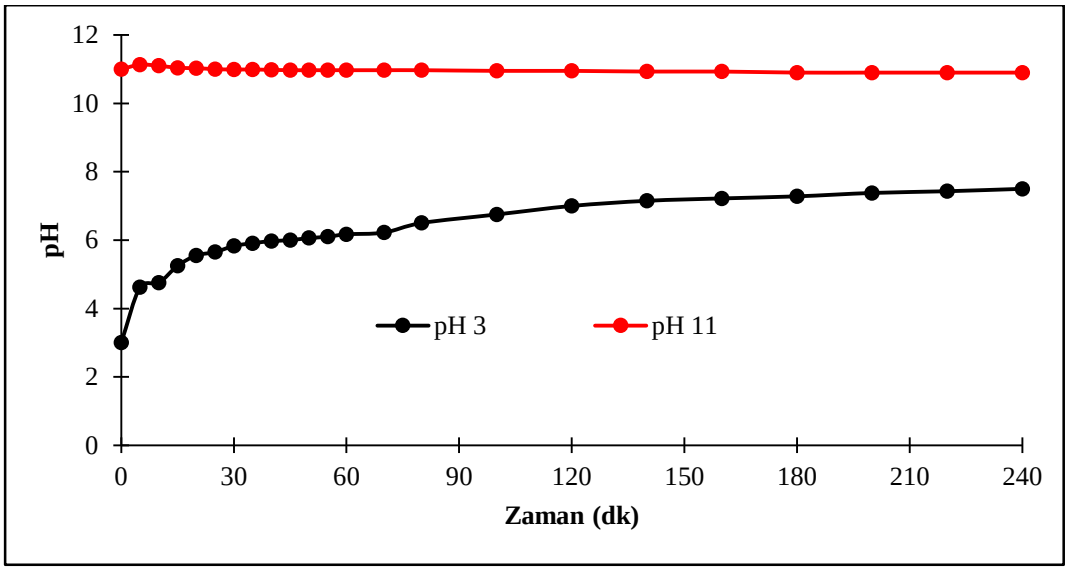
4.2. Kil Minerallerinin pH Profilleri

Asidik (pH=3) ve bazik (pH=11) başlangıç pH değerlerinde % 2,5 katı oranında hazırlanan kil süspansiyonlarının zamana bağlı pH değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.2-4.6). Kaolin minerali için asidik ve bazik başlangıç pH ortamlarında zamanla birlikte belirgin bir değişiklik görülmemekle birlikte bir miktar azalma olmuştur. Ortam pH'ı 180 dakika sonunda asidik başlangıç pH'ı için 2,31 ve bazik başlangıç pH'ı için ise 10,50 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Bu durum mineralin tetrahedral ve oktahedral tabakası içerisindeki katyonların (Si^{+4}, Fe^{+3} ve Al^{+3}), H_2O ile kimyasal reaksiyonu sonucunda ortamda H^+ iyonlarının serbest kalmasının sonucudur (Yükselen ve Kaya 2003).

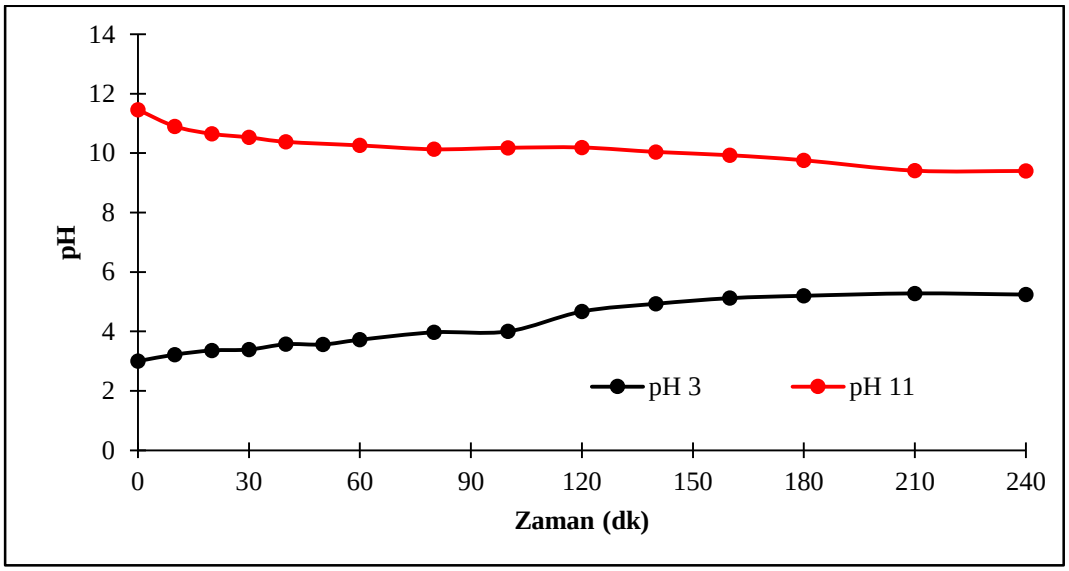


Şekil 4.2. Kaolin süspansiyonunun zamana bağlı pH profili.

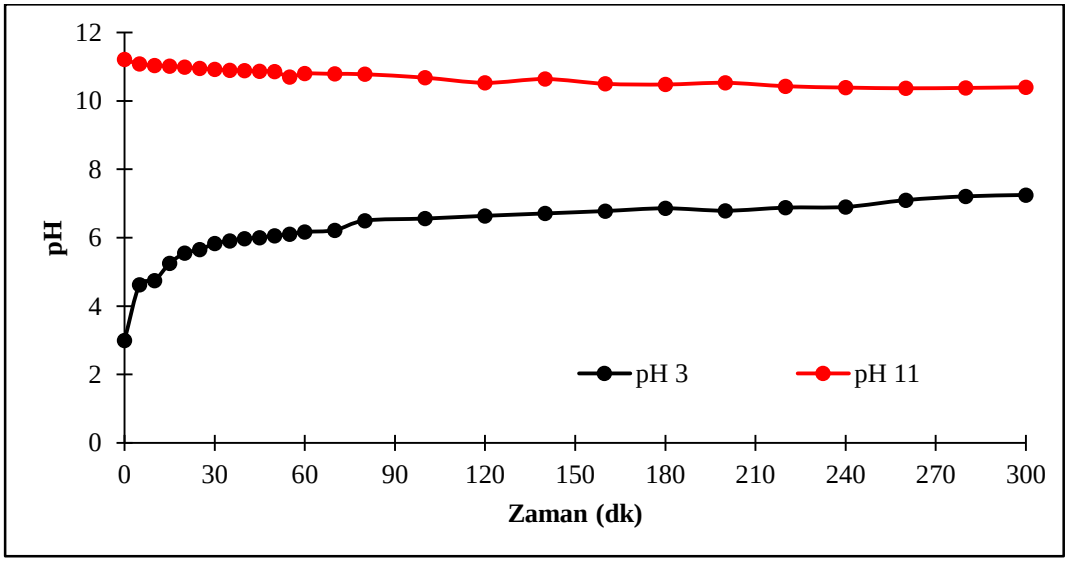
N1000 dışındaki bentonit numuneleri için asidik başlangıç pH ortamında zamanla birlikte pH değerinde belirgin bir artış gözlenmiş 240 dakika sonunda ortamın pH değeri Na bentonit süspansiyonu için 7,5; Ca bentonit süspansiyonu için ise 5,24; Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonu için ise 300 dakika sonunda 7,25 olmuştur. Bazik başlangıç pH ortamında belirgin bir değişiklik görülmemekle birlikte bir miktar azalma olmuş ve 240 dakika sonunda ortam pH'ı Na bentonit süspansiyonu için 10,90; Ca bentonit için 9,40 ve (Na, Ca) bentonit (N999) mineral süspansiyonu için 300 dakika sonunda 10,40 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3-4.5). (Akın ve Çelik 1995), bentonit süspansiyonlarının pH 9,5 civarında tampon bir pH oluşturduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Na-Bentonit süspansiyonunun zamana bağlı pH profili.

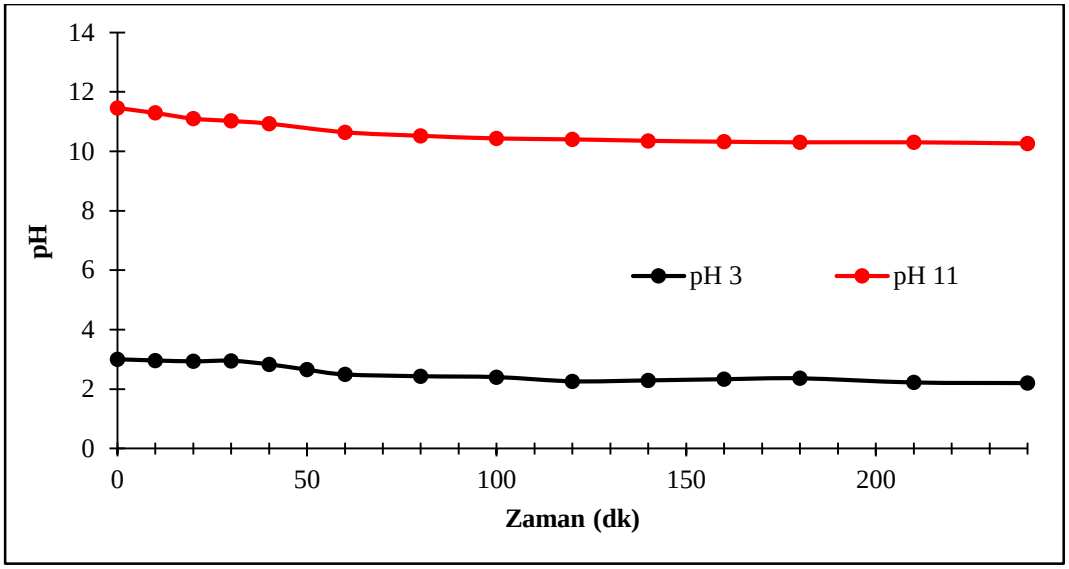


Şekil 4.4. Ca-Bentonit süspansiyonunun zamana bağlı pH profili.



Şekil 4.5. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun zamana bağlı pH profili.

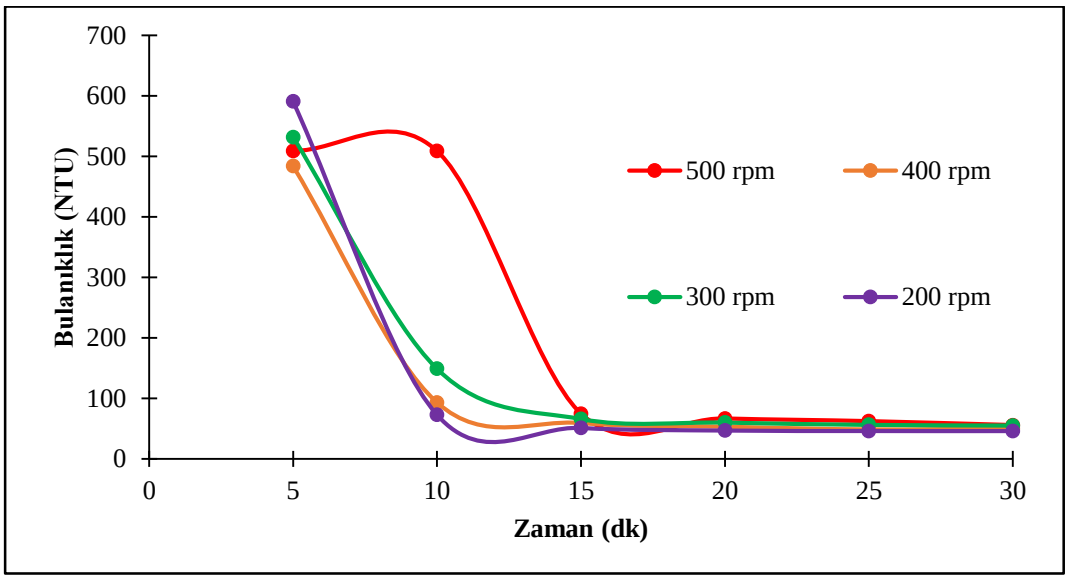
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) minerali için asidik başlangıç pH ortamında zamanla birlikte pH değerinde kaolin mineralinde olduğu gibi bir miktar azalma gözlenmiş 240 dakika sonunda ortamın pH değeri 2,20 olmuştur. Bazik başlangıç pH ortamında ise 300 dakika sonunda ortam pH'ı 10,30 civarında sabitlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun zamana bağlı pH profili.

4.3. Karıştırma Hızı ve Bekleme Süresinin Optimizasyonu

Karıştırma hızları belirlenirken ilk olarak homejen bir karışım elde etmek için 850 rpm de 15 dakika karıştırılmıştır. Ardından farklı karıştırma hızlarında çalışmalar yapılmış ve 5, 10, 15, 20, 25, 30. dakikalarda bulanıklık değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.7. N1000 süspansiyonunun farklı yavaş karıştırma hızlarında zamana karşılık bulanıklık değerleri.

Bütün karıştırma hızlarında 20. dakikadan itibaren bulanıklık değerleri sabitlenmiştir. Ancak daha etkin sonuçlar elde etmek için alikot almak süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir.

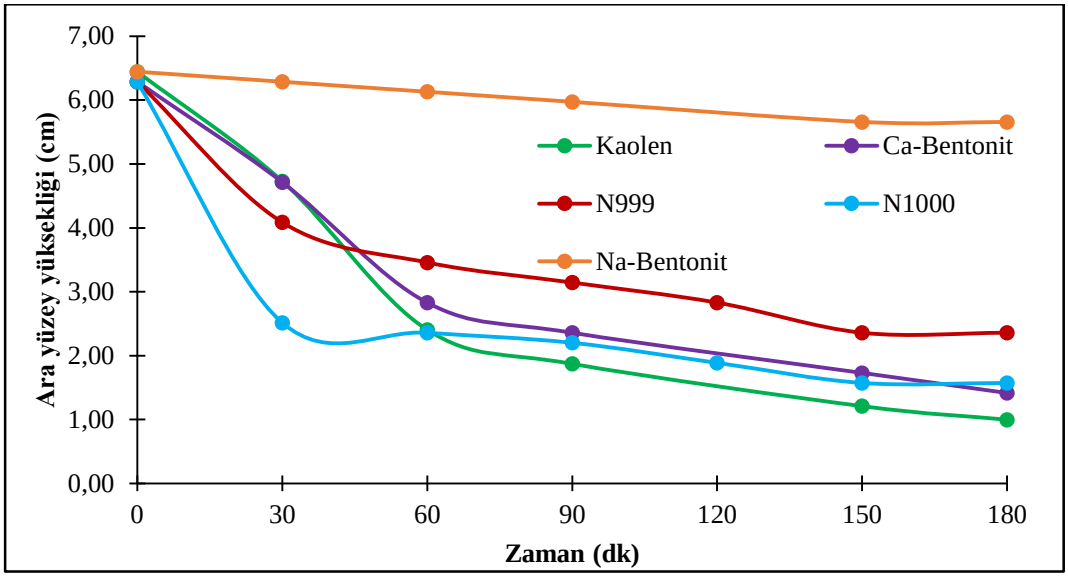
Süspansiyona uygulanan yüksek karıştırma hızı ve bunun sonucunda ortaya çıkan güçlü kesme kuvvetleri, oluşmuş floklar üzerinde olumsuz etki yapmakta ve flokların parçalanarak küçülmesine neden olmaktadır. Parçalanan bu flokların ise yeniden bir araya gelmesi daha zor olmaktadır. Bu sebeple floklar üzerinde olumsuz etki yapmayacak optimum bir karıştırma hızının uygulanması gerekir (Alptekin 2006). Bu çalışmada ise 200 rpm karıştırma hızında en düşük bulanıklık değerleri elde edilmiştir. 30 dakika bekleme sonunda 200 rpm karıştırma hızında alınan alikotun bulanıklığı 46 NTU dur (Şekil 4.7).

4.4. Kil Süspansiyonlarının Doğal Sedimantasyonu

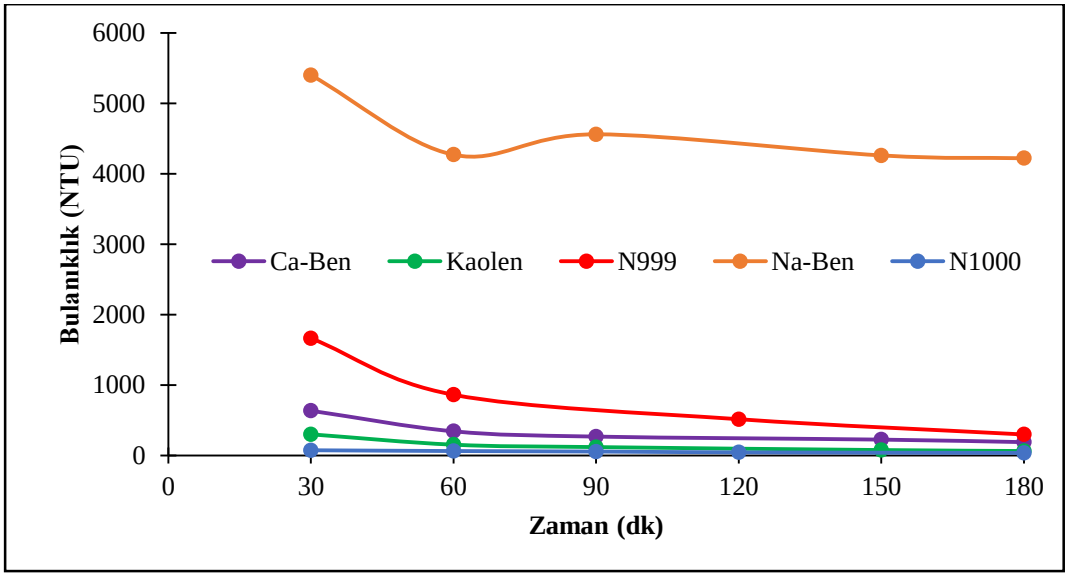
Kil minerallerinin doğal halde (kimyasalsız) çökelme karakteristiklerini belirlemek amacıyla sedimantasyon deneyleri yapılmıştır. Sedimantasyon deneyleri ile gözlenen zamana bağlı çökelme grafiği Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Çökelme ara yüzey yüksekliği 150. dakikadan itibaren oldukça yavaş bir şekilde azalma göstermektedir. Zamana bağlı olarak ara yüzey yüksekliğinin yavaş bir şekilde azalma göstermesi çökelme hızının oldukça düşük olduğu anlamına gelmektedir.

Kaolin, Ca, Na ve Ca-Na (N999, N1000) bentonit numuneleri için başlangıç bulanıklık değerleri sırasıyla 301 - 635 – 5400 – 1664 – 74 NTU'dur. Süspansiyonların son bulanıklık değerleri artan çökelme süresiyle birlikte yavaş bir şekilde azalmakta ve 180 dakika sonunda sırasıyla 63,4 - 189 – 4220 – 298 – 36 NTU olmaktadır (Şekil 4.9). Bu süre sonunda Kaolin, Ca, Na ve Ca-Na (N999, N1000) bentonit süspansiyonları için bulanıklık giderim verimi (%) sırasıyla 78,94 – 70,24 – 21,85 – 82,09 – 51,35 dir. 30 dakika doğal sedimantasyon sonucunda elde edilen tüm bulgular özet olarak Çizelge 4.1 de sunulmuştur. Sedimentasyon performansı bulanıklık dışında çökelme hızı ile de karakterize edilmektedir. Kaolin, Na, Ca, ve Na-Ca (N999, N1000) bentonit numuneleri için ortalama çökelme hızı değerleri sırasıyla 0,30 – 0,04 – 0,27 – 0,73 – 1,26 mm/dk dır. Çökelme hızları açısından en iyi hız değerini N1000 vermiş en kötü hız değerini ise Na bentonit vermiştir. Bu verileri bulanıklık değerleri ile kıyaslarsak en düşük bulanıklık değeri 74 NTU ile N1000'e aitken en yüksek 5400 NTU ile Na-bentonite aittir.

Doğal sedimentasyonun tüm kil mineralleri için yeterli olmadığı ve işlem gerektiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Kil minerallerinin doğal sedimantasyonu.



Şekil 4.9. Kil minerallerinin zamana bağlı bulanıklık değerlerinin değişimi.

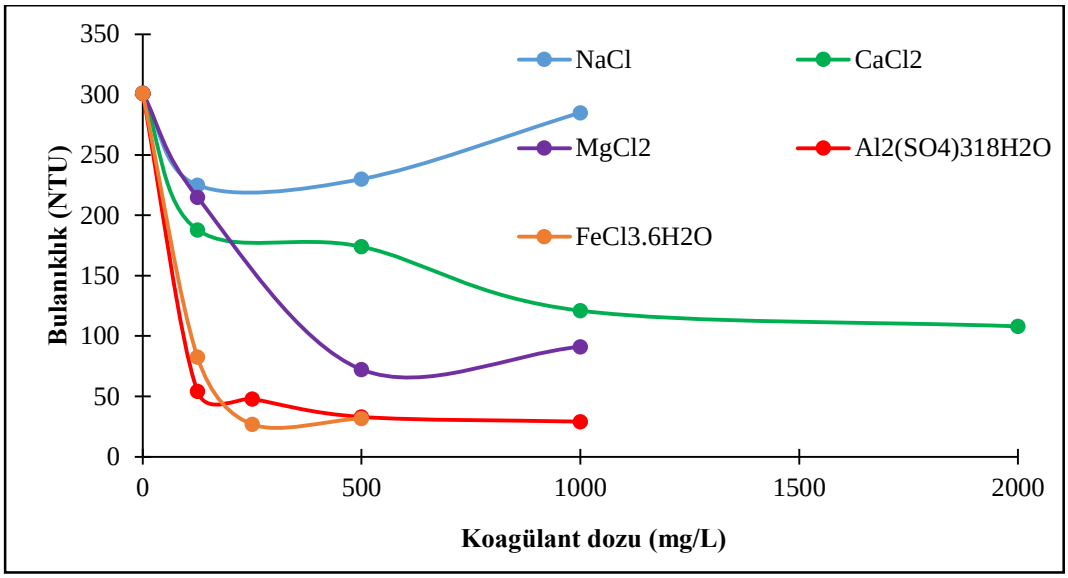
Çizelge 4.1. Kil mineralerinin doğal süspansiyonuna ait ölçülen deneysel parametrelerin değerleri.

Parametreler (Kimyasalsız)	Kaolin	Na-Bentonit	Ca-Bentonit	N999	N1000
Zeta Potansiyeli (mvolt)	-25,74	-43,11	-27,63	-40,50	-40,09
Bulanıklık (NTU)	301	5400	635	1664	74
Çökelek hacmi (mL)	300	400	300	390	160
Çökme yüksekliği (cm)	4,73	6,29	4,72	4,09	2,52
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,30	0,04	0,27	0,73	1,26
İletkenlik (µS/cm)	806	279	834	1266	2103
Final pH	7,86	9,47	8,61	8,31	9,35

4.5. Koagülasyon Deneyleri

4.5.1. Kaolin süspansiyonunun koagülasyonu

Kaolin minerali süspansiyonu koagülasyonunda koagülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli koagülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (7,86) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



Şekil 4.10. Kaolin süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi.

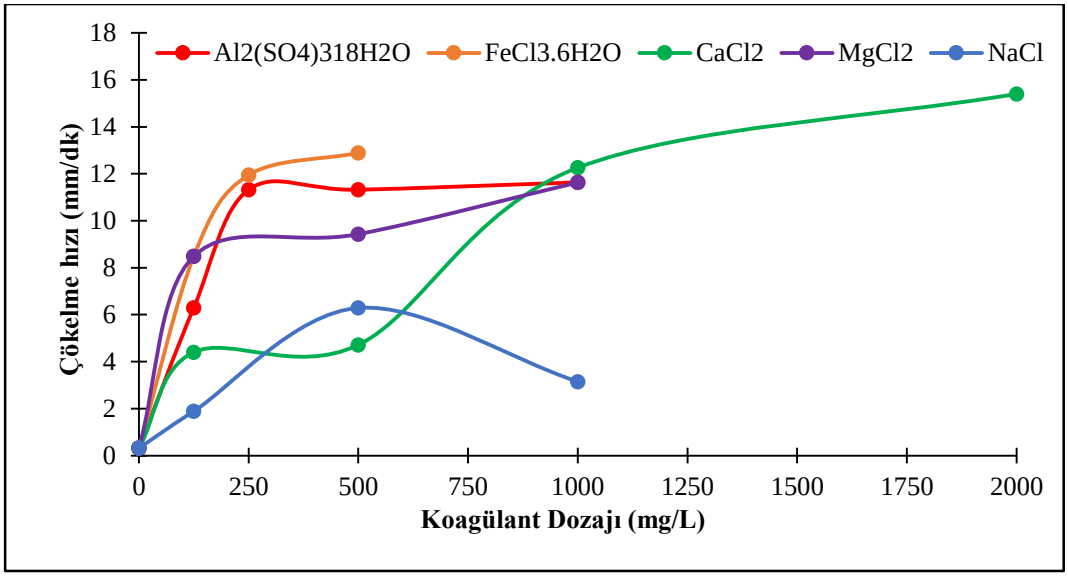
En düşük bulanıklık değeri $FeCl_3.6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $MgCl_2$, $CaCl_2$ ve NaCl gelmektedir. Kaolin süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 301 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $FeCl_3.6H_2O$ 250 mg/L dozajda 26,90 NTU
- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ 1000 mg/L dozajda 29,10 NTU
- $MgCl_2$ 500 mg/L dozajda 72,30 NTU
- $CaCl_2$ 2000 mg/L dozajda 108 NTU
- NaCl 125 mg/L dozajda 225 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu $FeCl_3.6H_2O$ vermiştir. Bulanıklık değerleri incelendiğinde koagülant olarak kullanılan metal tuzlarının iyonlaşma değeri arttıkça bulanıklık değeri azalmaktadır (Şekil 4.10). Her bir koagülant için en düşük bulanıklık değerlerinin elde edildiği dozajlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 91 koagülasyon verimiyle $FeCl_3.6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 90 verimle $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, % 76 verimle $MgCl_2$, % 64 verimle $CaCl_2$, % 25 verimle NaCl ile sağlanmıştır. Verim açısından +3 değerlikli koagülantlar yaklaşık aynı performansı

gösterirken +1 değerlikli koagülant en kötü performansla süspansiyonu koagüle etmiştir (Şekil 4.10).

Çalışılan tüm koagülantlar için optimum doz olarak belirlenen koagülant dozajına kadar süspansiyon bulanıklığında bir düşüş gözlenirken, daha sonra artan koagülant dozajı ile süspansiyon bulanıklığında sabitlenme veya artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ortama optimum dozajdan daha fazla koagülant ilavesi yapılırsa, şarjın ters dönmesi ve sonrasında artan pozitif şarj nedeniyle koagülasyon olumsuz etkilenmektedir. Bunun tam tersi olan ortama optimum dozajdan daha az miktarda koagülant ilavesi yapılırsa aynı şekilde ortamda koagülasyon olayı meydana gelmemektedir (Alptekin 2006).



Şekil 4.11. Kaolin süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi.

Kaolin süspansiyonunun 0-5 dakika aralığında ortalama çökelme hızı değerleri hesaplanarak grafik oluşturulmuştur. Ortalama çökelme hızları büyükten küçüğe aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- $CaCl_2$ 2000 mg/L dozajda 15,40 mm/dk
- $FeCl_3.6H_2O$ 500 mg/L dozajda 12,89 mm/dk
- $MgCl_2$ 1000 mg/L dozajda 11,63 mm/dk
- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ 250 mg/L dozajda 11,32 mm/dk
- NaCl 500 mg/L dozajda 6,29 mm/dk' dır.

Ortalama çökelme hızları $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$, $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ için dozaja bağlı olarak sürekli artmaktadır. Özellikle 2000 mg/L $CaCl_2$ için 15,40 mm/dk olmuştur. Çökelme hızları ile bulanıklık değerleri matematiksel olarak karşılaştırılırsa % 64 verimle süspansiyonu koagüle eden $CaCl_2$ için en iyi çökelme hızı (15,40 mm/dk) elde edilmiştir. Süspansiyonu % 91 verimle koagüle eden $FeCl_3.6H_2O$ için en iyi ortalama çökelme hızı

12,89 mm/dk olarak hesaplanmıştır. Koagülasyon/ flokülasyon işlemleri bilindiği gibi süspansiyonda çökmeden askıda duran tanelerin çökelmesini sağlamak ve suyun bulanıklığını gidermek amaçlarıyla yapılır. Tanelerin çökelmesiyle birlikte suyun bulanıklığının da azalması beklenen bir sonuçtur. Fakat bu iki sonuç genelde birbirleri ile uyum içerisinde değildir. Genel olarak hızlı bir çökelme daha yüksek bir supenatant bulanıklığına neden olur. Bununla birlikte, daha yavaş bir çökelme hızı daha kararlı bir çökelmeye neden olduğundan supernatant bulanıklığı da daha düşük elde edilir. Yani bir süspansiyonda çökelme hızının en iyi olduğu şartlar, bulanıklık içinde aynı sonucu vermemektedir ki bu durum koagülasyon/ flokülasyon mekanizmasının karmaşıklığının bir göstergesidir. Literatürde gerçekleştirilen pek çok çalışma bu durumu desteklemektedir (Ersoy ve ark. 2005, Gregory 1985). NaCl için ortalama çökelme hızı 500 mg/L dozaja kadar artarken daha sonra azalma göstermiştir.

Kaolin süspansiyonun koagülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

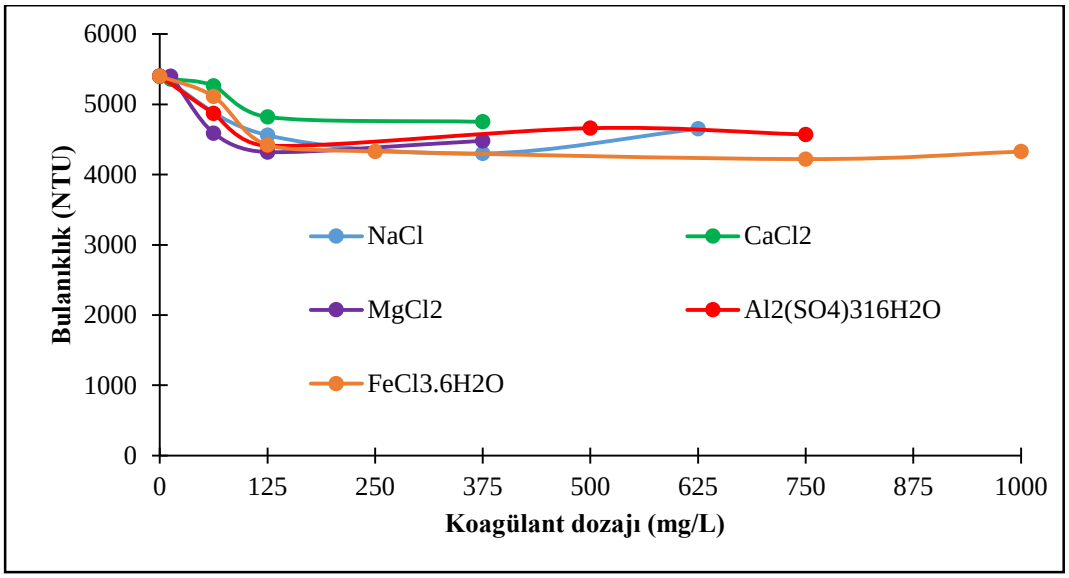
Çizelge 4.2. Kaolin süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Koagülan türü	**$FeCl_3.6H_2O$**	**$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$**	**$MgCl_2$**	**$CaCl_2$**	**NaCl**
Optimum dozaj (mg/L)	250	125	500	1000	125
Bulanıklık (NTU)	26,90	54,20	72,30	121	225
Zeta potansiyeli (mvolt)	-17,36	-23,35	-16,86	-19,59	-23,07
Verim (%)	91,06	81,99	75,98	59,8	25,25
İletkenlik	962	936	1287	1147	1201
Final pH	6,40	7,22	7,50	8,50	7,50
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	2,10	2,04	2,20	2,52	1,94

Optimum dozaj değerleri belirlenirken mühendislik çalışmalarında esas olan etkinlik-maliyet analizleri dikkate alınmıştır. Örneğin $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ kogülantı için optimum dozaj 125 mg/L olarak belirlenmiştir. Burada koagülant dozajı 1000 mg/L ye çıkarıldığında verim % 90,33 olmuştur. Görüldüğü gibi dozaj 8 katına çıkarıldığında verim değeri yalnızca % 8,34 kadar artmıştır. Bu yüzden optimum dozaj 125 mg/L olarak sunulmuştur. Diğer kimyasallar için de aynı yöntemle bulunan optimum dozaj verileri ve bunlara bağlı olarak elde edilen diğer bulgular tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.2).

4.5.2. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonu

Na-Bentonit minerali süspansiyonu koagülasyonunda, süspansiyonun doğal pH'ında (9,47) koagülant türü ve dozajının etkisini belirleyebilmek amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmuştur.

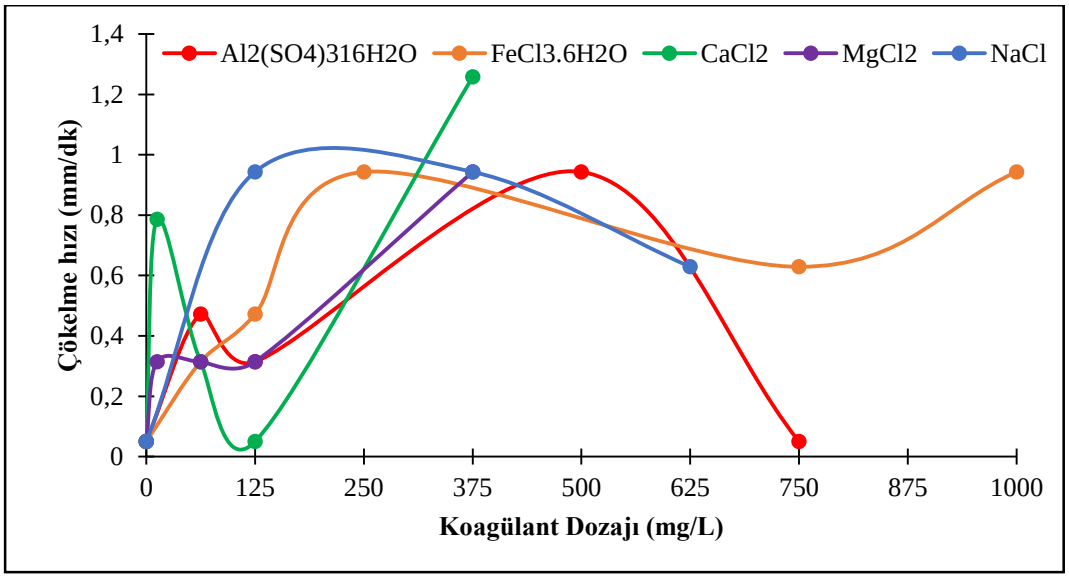


Şekil 4.12. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri $FeCl_3.6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla NaCl, $MgCl_2$, $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ ve $CaCl_2$ gelmektedir. Na-Bentonit süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 5400 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $FeCl_3.6H_2O$ 750 mg/L dozajda 4220 NTU
- NaCl 375 mg/L dozajda 4300 NTU
- $MgCl_2$ 125 mg/L dozajda 4320 NTU
- $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ 125 mg/L dozajda 4410 NTU
- $CaCl_2$ 375 mg/L dozajda 4750 NTU' dur.

Görüldüğü gibi çalışılan koagülantlar Na bentonit süspansiyonunu etkili bir şekilde koagüle edememişlerdir. Her bir koagülant için en küçük bulanıklık değerlerinin ulaşıldığı dozajlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 22 koagülasyon verimiyle $FeCl_3.6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 20,37 verimle NaCl, % 20 verimle $MgCl_2$, % 18,33 verimle $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ ve % 12 verimle $CaCl_2$ ile sağlanmıştır. Verim değerleri incelendiğinde $CaCl_2$ koagülantı hariç diğer Cl^- esaslı koagülantların yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu koagüle etmişlerdir



Şekil 4.13. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi.

Na bentonit süspansiyonunun ortalama çökelme hızı hesaplamalarında bulanıklık değerlerine paralel olarak oldukça düşük değerler bulunmuştur. Çökelme hızları:

- $CaCl_2$ 375 mg/L dozajda 1,26 mm/dk
- $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ 500 mg/L dozajda 0,94 mm/dk
- $FeCl_3.6H_2O$ 250 mg/L dozajda 0,94 mm/dk
- $MgCl_2$ 375 mg/L dozajda 0,94 mm/dk
- NaCl 125 mg/L dozajda 0,94 mm/dk' dır.

$CaCl_2$ hariç diğer koagülantlar aynı çökelme hızına (0,94 mm/dk) sahiptirler. $CaCl_2$ ise 1,26 mm/dk çökelme hızı ile en iyi matematiksel sonucu vermiştir.

Na-Bentonit süspansiyonun koagülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular.

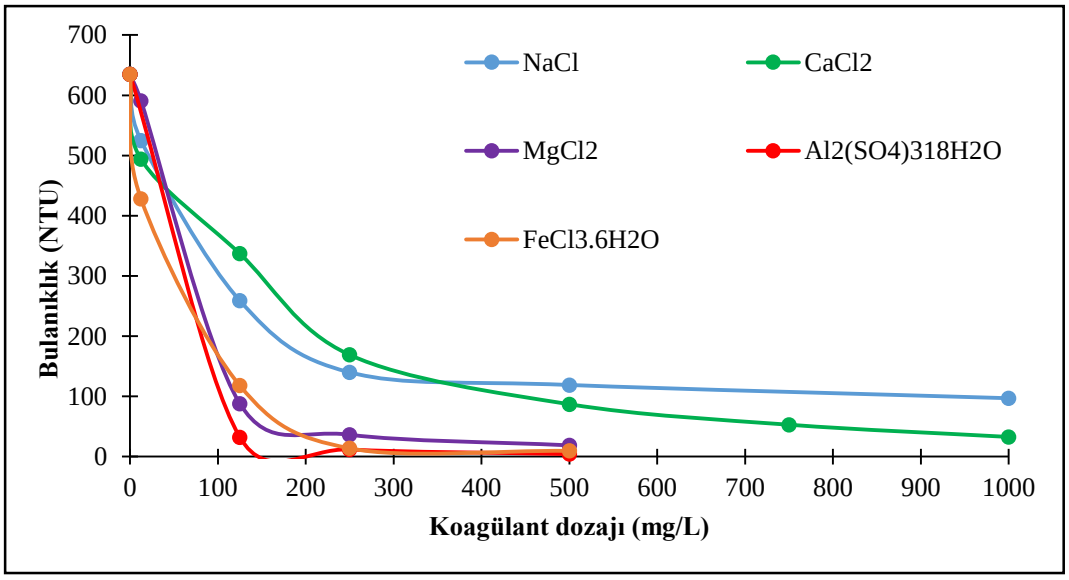
Koagülan türü	**$FeCl_3.6H_2O$**	**NaCl**	**$MgCl_2$**	**$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$**	**$CaCl_2$**
Optimum dozaj (mg/L)	750	375	125	125	125
Bulanıklık (NTU)	4220	4300	4320	4410	4820
Zeta potansiyeli (mvolt)	-35,28	-38,91	-39,02	-35,47	-35,78
Verim (%)	21,85	20,37	20	18,33	10,74
İletkenlik	181	264	186	193	244
pH	9,47	9,35	9,4	8,9	9,5
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,16	0,16	0,10	0,16	0,10

Optimum dozaj değerleri belirlenirken kaolin süspansiyonunun koagülasyon deneylerinde olduğu gibi etkinlik-maliyet analizleri dikkate alınmıştır. Örneğin $CaCl_2$ kogülantı için

optimum dozaj 125 mg/L olarak belirlenmiştir. Burada koagülant dozajı 375 mg/L ye çıkarıldığında verim %12,04 olmuştur. Görüldüğü gibi dozaj 3 katına çıkarıldığında verim değeri yalnızca % 1,30 kadar artmıştır. Bu yüzden optimum dozaj 125 mg/L olarak sunulmuştur. Diğer kimyasallar için de aynı yöntemle bulunan optimum dozaj verileri ve bunlara bağlı olarak elde edilen diğer bulgular tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.3).

4.5.3. Ca-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonu

Ca-Bentonit minerali süspansiyonu koagülasyonunda ilk olarak koagülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli koagülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (8,61) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



Şekil 4.14. Ca-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi.

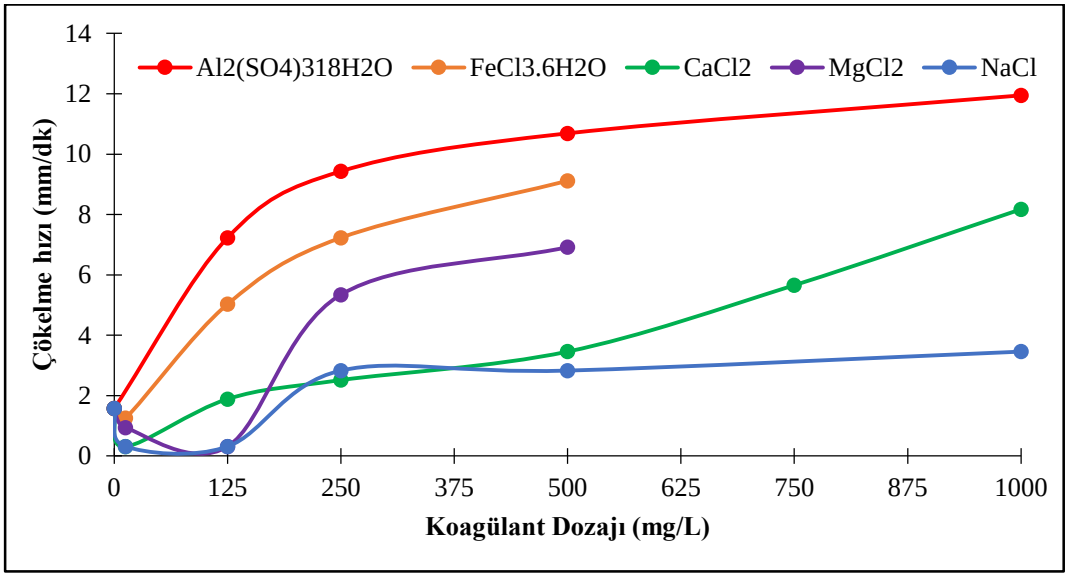
En düşük bulanıklık değeri $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla $FeCl_3.6H_2O$, $MgCl_2$, $CaCl_2$ ve NaCl gelmektedir. Ca-Bntonit süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 635 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ 1000 mg/L dozajda 2,87 NTU
- $FeCl_3.6H_2O$ 500 mg/L dozajda 9,54 NTU
- $MgCl_2$ 500 mg/L dozajda 18,7 NTU
- $CaCl_2$ 1000 mg/L dozajda 32,7 NTU
- NaCl 1000 mg/L dozajda 97 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ vermiştir. Her bir koagülant için en düşük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine

bakılırsa, en iyi performansı % 99,55 koagülasyon verimiyle $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 98,5 verimle $FeCl_3.6H_2O$, % 97,06 verimle $MgCl_2$, % 94,85 verimle $CaCl_2$ ve % 84,72 verimle NaCl, ile sağlanmıştır. Bulanıklık ve verim değerleri incelendiğinde koagülant olarak kullanılan metal tuzlarının iyonlaşma değeri arttıkça koagülantların etkinliğinin arttığı görülmektedir. Verim değerlerine bakıldığında +3 değerlikli Al ve Fe koagülantları yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu koagüle etmişlerdir. +1 değerlikli Na tuzu en kötü performansta süspansiyonu koagüle etmiştir.

Çalışılan tüm koagülantlar için optimum doz olarak belirlenen koagülant dozajına kadar süspansiyon bulanıklığında bir düşüş gözlenirken, daha sonra artan koagülant dozajı ile süspansiyon bulanıklığında sabitlenme ya da oldukça düşük miktarlarda azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15. Ca-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi.

Ca bentonit süspansiyonunun ortalama çökelme hızı tüm koagülantlar için dozaja bağlı olarak artmaktadır. Çökelme hızları sırasıyla;

- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ 1000 mg/L dozajda 11,95 mm/dk
- $FeCl_3.6H_2O$ 500 mg/L dozajda 9,12 mm/dk
- $CaCl_2$ 1000 mg/L dozajda 8,17 mm/dk
- $MgCl_2$ 500 mg/L dozajda 6,92 mm/dk
- NaCl 1000 mg/L dozajda 3,45 mm/dk' dır.

Süspansiyonun çökelme hızı değerleri bulanıklık değerleri ile paralellik göstermektedir. Yalnız $CaCl_2$ bulanıklık giderim veriminden daha iyi çökelme hızı sonucu vermiştir.

Ca-Bentonit süspansiyonun koagülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

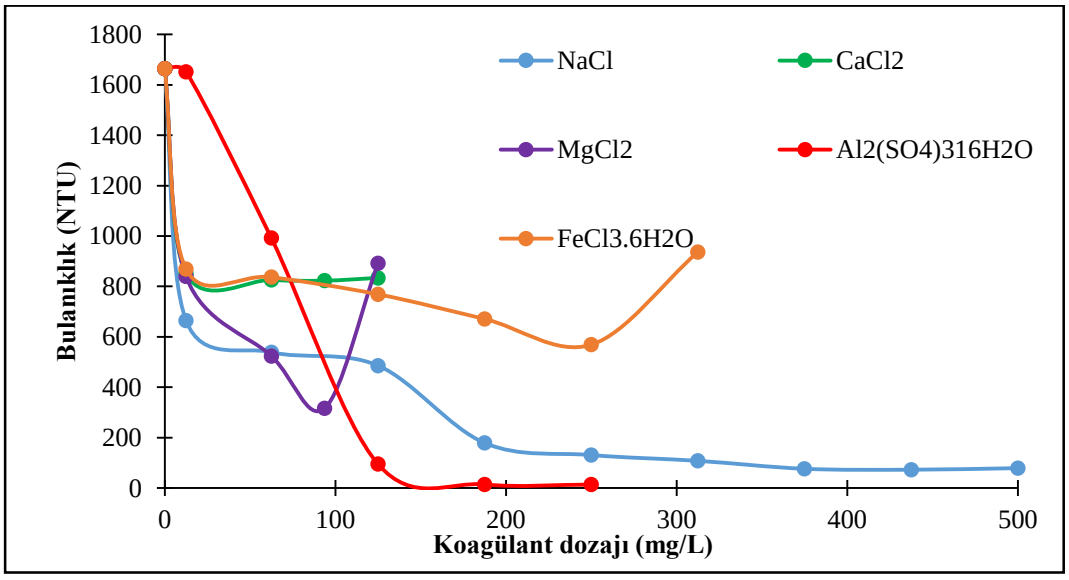
Çizelge 4.4. Ca-Bentonit süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Koagülan türü	$FeCl_3.6H_2O$	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	NaCl
Optimum dozaj (mg/L)	250	125	750	250	500
Bulanıklık (NTU)	13,79	32,3	53	36,4	119
Zeta potansiyeli (mvolt)	-24,25	-26,51	-21,42	-21,91	-25,42
Verim (%)	97,83	94,91	91,65	94,27	81,26
İletkenlik	1307	1010	1297	1343	1853
pH	7,41	7,8	8,88	8,44	8,69
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	1,68	1,68	1,89	1,73	1,62

4.5.4. Ara tip (Na,Ca)-Bentonit süspansiyonlarının koagülasyonu

4.5.4.1. N999

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonu koagülasyonunda ilk olarak koagülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli koagülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (8,31) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



Şekil 4.16. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi.

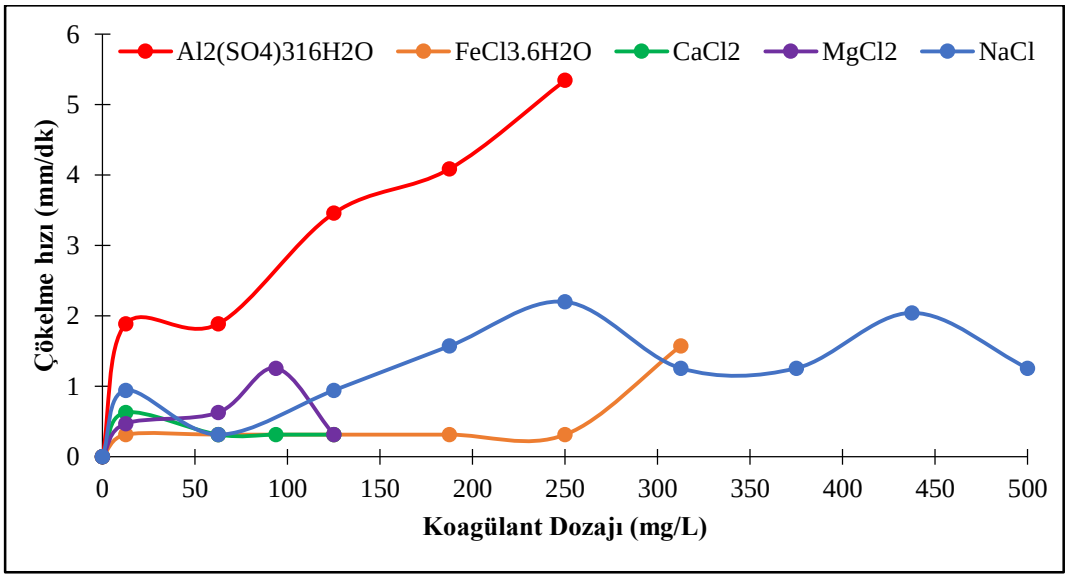
En düşük bulanıklık değeri $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla NaCl, $MgCl_2$, $FeCl_3.6H_2O$ ve $CaCl_2$ gelmektedir. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 1664 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için en

küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ 250 mg/L dozajda 13,72 NTU
- NaCl 500 mg/L dozajda 72,80 NTU
- $MgCl_2$ 93,75 mg/L dozajda 317 NTU
- $FeCl_3.6H_2O$ 250 mg/L dozajda 569 NTU
- $CaCl_2$ 93,75 mg/L dozajda 823 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ vermiştir. Her bir koagülant en düşük bulanıklık değerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 99,18 koagülasyon verimiyle $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 95,63 verimle NaCl, % 80,95 verimle $MgCl_2$, % 65,81 verimle $FeCl_3.6H_2O$ ve % 50,54 verimle $CaCl_2$ ile sağlanmıştır.

Burada çıkarılabilinecek bir diğer husus ise sodyum (Na) içeriği Na-Bentonit mineraline yakın olan bu mineralin koagülasyon veriminde en iyi ikinci sonuca NaCl koagülantı ile ulaşılmasıdır. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonuna dozlanan NaCl koagülantına mineralin içeriğinde bulunan Na^+ iyonlarının pozitif bir girişim yapmış olabileceği düşünülmektedir. (Bkz. Bölüm 3).



Şekil 4.17. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi.

Ortalama çökelme hızı hesaplamaları açısından en iyi çökelme hızı değerinin bulanıklık değerleri ile paralel olarak $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ vermiştir. Bu koagülant için 250 mg/L dozajda hız 5,34 mm/dk dır. Ardından sırasıyla 250 mg/L dozajda NaCl, 312,50 mg/L dozajda $FeCl_3.6H_2O$, 93,75 mg/L dozajda $MgCl_2$ ve 12,50 mg/L dozajda $CaCl_2$ vermiştir.

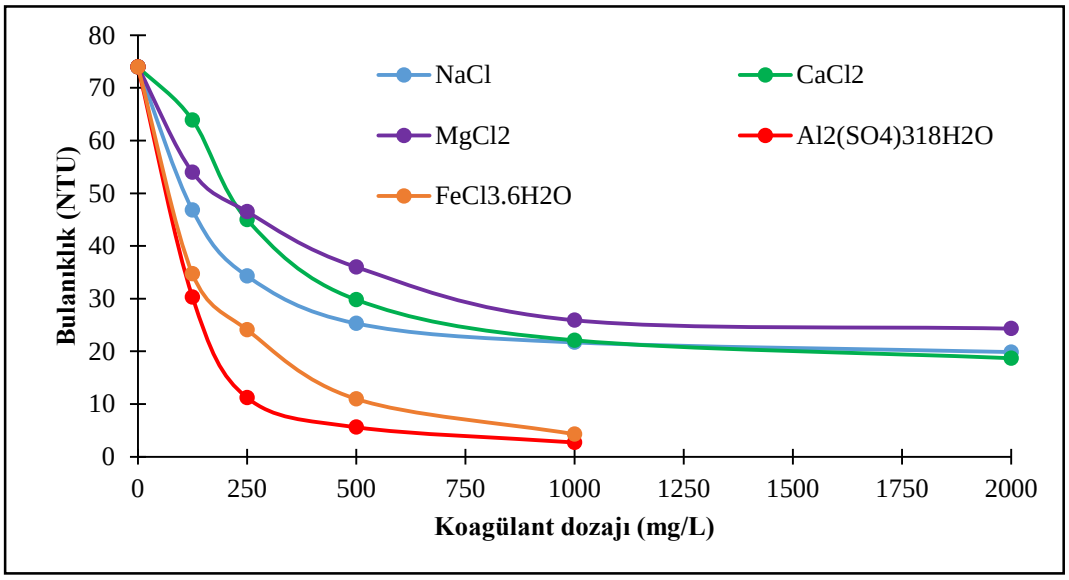
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonun koagülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Koagülan türü	$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$	NaCl	$MgCl_2$	$FeCl_3.6H_2O$	$CaCl_2$
Optimum dozaj (mg/L)	125	250	93,75	250	93,75
Bulanıklık (NTU)	95	131	317	569	823
Zeta potansiyeli (mvolt)	-32,98	-32,44	-30,62	-34,01	-33,76
Verim (%)	94,29	92,13	80,95	65,81	50,54
İletkenlik	1389	2154	1914	1653	1519
pH	8,45	8,84	8,9	8,49	8,9
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	1,05	1,62	1,1	0,16	0,21

4.5.4.2. N1000

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonu koagülasyonunda ilk olarak koagülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli koagülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (9,35) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.

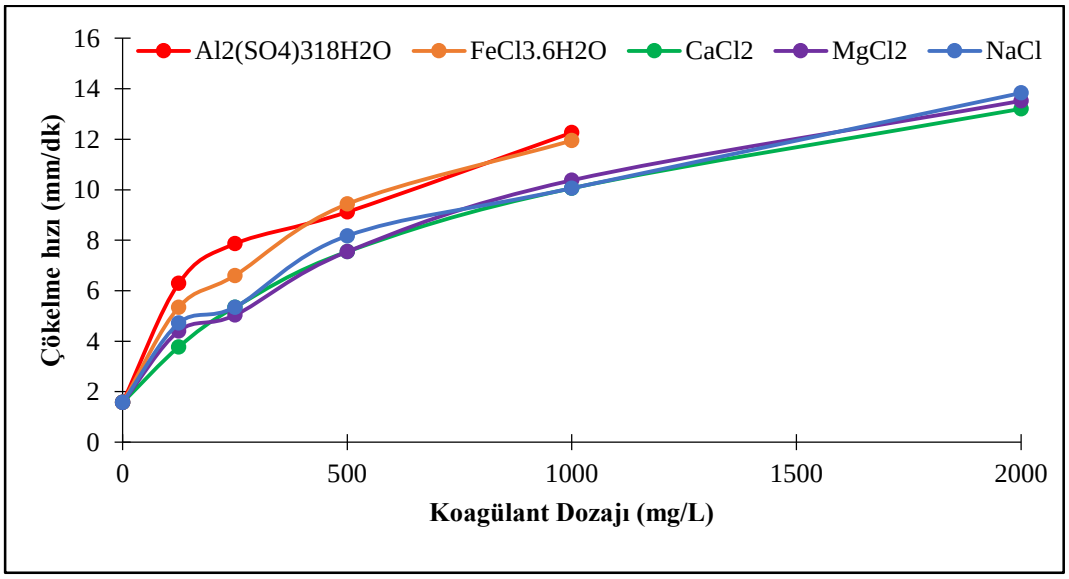


Şekil 4.18. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla $FeCl_3.6H_2O$, $CaCl_2$, NaCl ve $MgCl_2$ gelmektedir. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 74 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ 1000 mg/L dozajda 2,71 NTU
- $FeCl_3.6H_2O$ 1000 mg/L dozajda 4,29 NTU
- $CaCl_2$ 2000 mg/L dozajda 18,7 NTU
- NaCl 2000 mg/L dozajda 19,87 NTU
- $MgCl_2$ 2000 mg/L dozajda 24,31 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ vermiştir. Bulanıklık değerleri incelendiğinde genellikle koagülant olarak kullanılan metal tuzlarının iyonlaşma değeri arttıkça bulanıklık değeri azalmaktadır. İstisna olarak NaCl koagülantı $MgCl_2$ koagülantından daha düşük bulanıklık değeri vermiştir. Her bir koagülant için en düşük bulanılığa ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 96,34 koagülasyon verimiyle $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 94,20 verimle $FeCl_3.6H_2O$, % 74,73 verimle $CaCl_2$, % 73,15 verimle NaCl, ve % 67,15 verimle $MgCl_2$ ile sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında +3 değerlikli Al ve Fe koagülantları yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu koagüle etmişlerdir.



Şekil 4.19. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) koagülant türü ve dozajının etkisi.

Çökelme hızları açısından en iyi hız sonuçlarını 2000 mg/L dozajlarda çalışılan NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ vermiştir. Oysa bulanıklık değerleri açısından en iyi performansları $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ve $FeCl_3.6H_2O$ göstermişti. Bu süspansiyon için koagülant dozajı arttıkça çökelme hızı değerleri artmıştır. Bu nedenle $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ve $FeCl_3.6H_2O$ için yüksek verim değerleri elde edildiğinden dolayı 1000 mg/L dozajda çalışmalar sonlandırılmıştır. Çalışmalar ileriki dozajlarda da devam edilseydi hız değerleri artabilirdi.

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonun koagülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

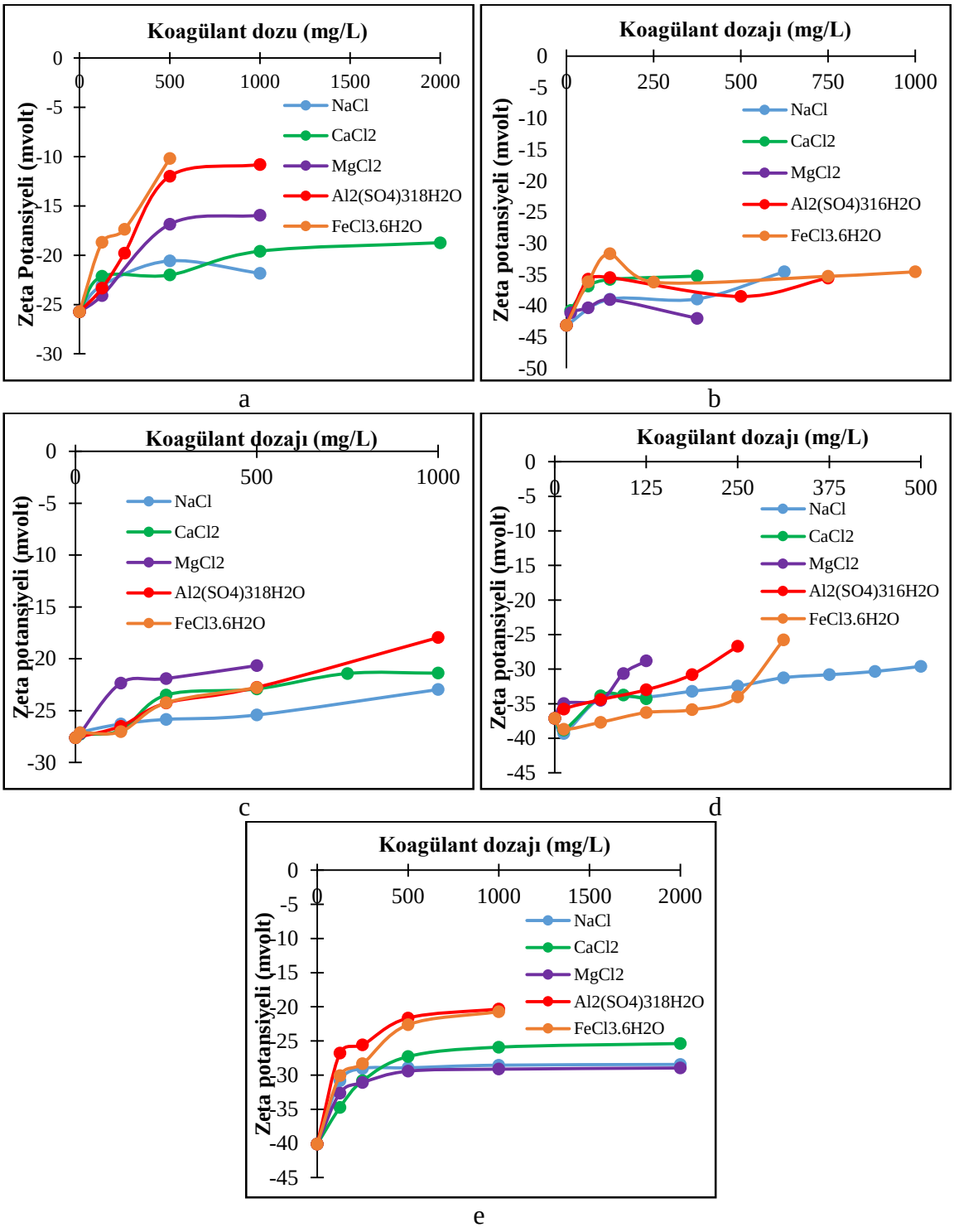
Çizelge 4.6. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun koagülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Koagülan türü	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	$FeCl_3.6H_2O$	NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
Optimum dozaj (mg/L)	500	1000	1000	1000	1000
Bulanıklık (NTU)	5,6	4,29	21,7	22,1	25,9
Zeta potansiyeli (mvolt)	-21,64	-20,71	-28,55	-28,55	-28,55
Verim (%)	92,43	94,2	70,68	70,14	65
İletkenlik	2068	2921	2431	2187	2048
pH	8	6,89	8,45	8,74	8,85
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	2,15	2,36	2,25	2,15	2,25

4.5.5. Koagülantların kil minerallerinin zeta potansiyeline 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. Bu yöntemde, süspansiyondaki minerallerin taşıdıkları elektriksel şarjlara zıt işaretli iyonlar sisteme ilave edilerek yüzey şarjları nötralize edilmeye çalışılır. Genel kanı zeta potansiyeli değerinin $\pm$ 15 milivolt' un altında olduğunda koagülasyonun mümkün olacağıdır.

Kil taneleri su içerisinde negatif yüzey yüküne ve zeta potansiyele sahiptir. Bu nedenle sistemin koagülasyonu için katyon ilavesi gerekir. Koagülasyon mekanizmasında + 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.



Şekil 4.20. Kil minerallerinin zeta potansiyeline koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

Tüm kil mineralleri için süspansiyona ilave edilen koagülant miktarı arttıkça zeta potansiyeli değerlerinin de mutlak değerce azaldığı ve sıfıra doğru yaklaştığı görülmektedir. Örneğin kaolin süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli -25,74 mvolt iken bu değer 500 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ dozlandığında -10,2 mvolt (Şekil 4.20 (a)), Na-Bentonit süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli -43,11 mvolt iken bu değer 125 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ dozlandığında -31,68 mvolt (Şekil 4.20 (b)), Ca-Bentonit süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli –27,63 mvolt iken bu değer 1000 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozlandığında -17,96 mvolt (Şekil 4.20 (c)), Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli –37,12 mvolt iken bu değer 250 mg/L $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ dozlandığında -26,68 mvolt (Şekil 4.20 (d)), Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun doğal haldeki zeta potansiyeli –40,09 mvolt iken bu değer 1000 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozlandığında -20,32 mvolt (Şekil 4.20 (e)).olmuştur

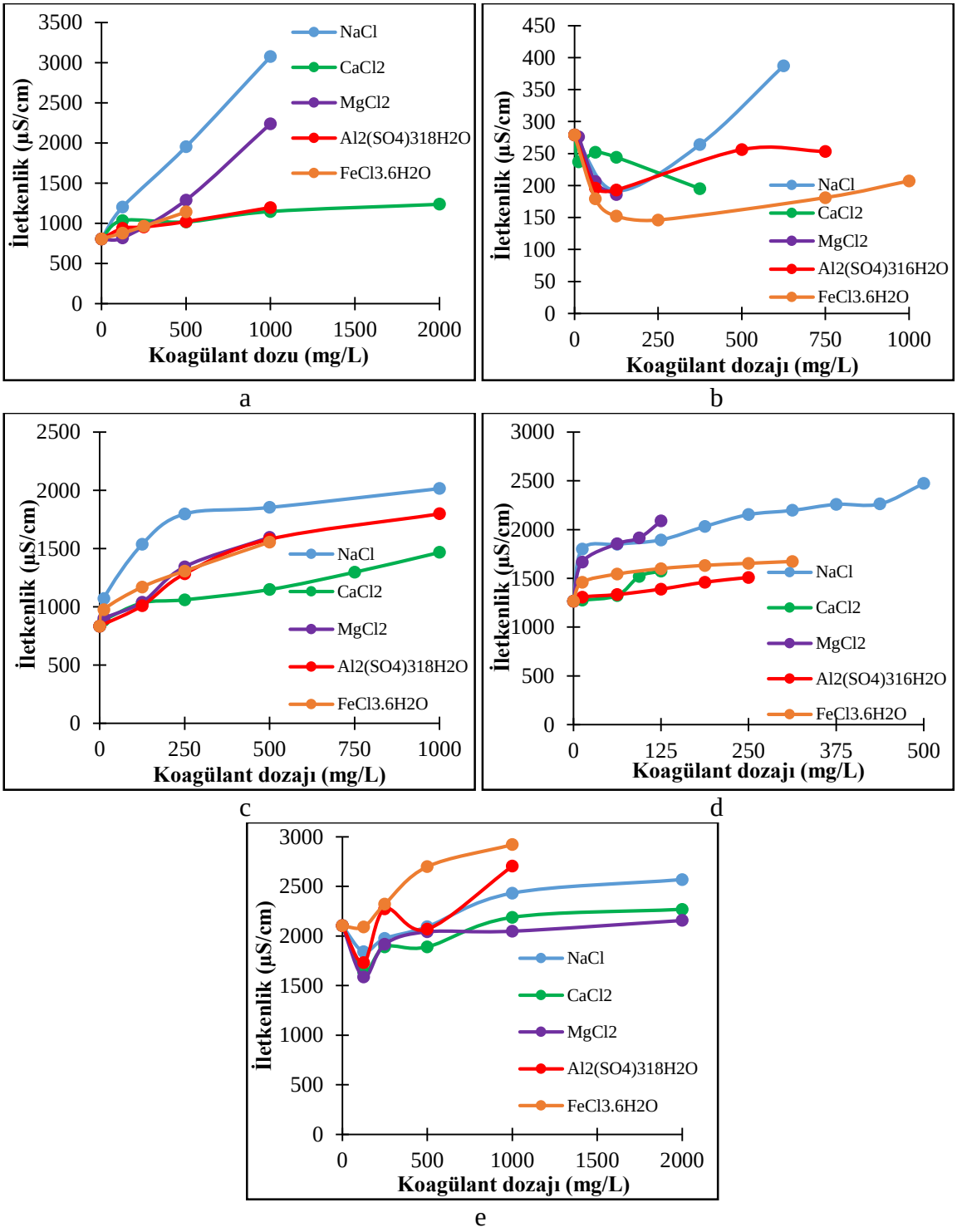
Daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki, iki ve üç değerlikli katyonlar tek değerlikli katyonlara göre killerin zeta potensiyalini daha yüksek derecede azaltmaktadır (Duman ve Tunç 2009, Zadaka ve ark. 2010). Bu çalışmada da önceki çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiş ve mineral süspansiyonlarında en düşük zeta potansiyeli değerlerini genellikle Al^{3+} ve Fe^{3+} tuzları vermiştir.

4.5.6. Koagülantların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi

İletkenlik sulu bir çözeltinin elektriği iletme kabiliyetinin sayısal bir ifadesidir. Bünyesinde iyon bulunduran su da bir iletkendir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. İletkenlik, iyon miktarıyla doğru orantılı olmasına rağmen bazı iyonlar; klorür, sülfat, kalsiyum, magnezyum için bu orantı aynı değildir.

Na-Bentonit minerali süspansiyonu hariç diğer mineral süspansiyonlarında kullanılan koagülantların tamamı iletkenlik değerlerini artırmışlardır. Bu mineral süspansiyonunun doğal haldeki iletkenlik değeri (279 (µS/cm)) diğer mineral süspansiyonlarından oldukça düşüktür. Bu da mineral bünyesindeki iyonların süspansiyona sınırlı bir şekilde geçtğinin göstergesidir. Yani çözünürlüğü düşüktür. Na-Bentonit süspansiyonlarında çökelme verimli bir şekilde gerçekleşmediği, taneler askıda kaldığı için iletkenlik değerleri tüm koagülantlar için azalma göstermiştir. Yalnızca NaCl 375 mg/L dozdan sonra iletkenliği artırabilmiştir Örneğin 250 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ dozlandığında iletkenlik 146 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.21 (b)).

N1000 haricindeki süspansiyonlarda iletkenliği en fazla NaCl artırmıştır. Bunun nedeni sularda tuzluluk ile iletkenlik doğru orantılı olarak arttığındandır. N1000 süspansiyonunda ise en fazla iletkenliğe $FeCl_3.6H_2O$ ulaşmıştır. Örneğin 1000 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ dozlandığında iletkenlik 2921 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.21 (e)).



Şekil 4.21. Kil minerallerinin süspansiyonlarının iletkenliğine koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

Kaolin, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999), Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonlarının doğal halde iletkenlikleri sırasıyla; 806, 834, 1266, 2103 (µS/cm) dir. Süspansiyonlara koagülantlar dozlandığında ve dozlanan koagülant miktarı arttıkça iletkenlik değerleri genellikle artmaktadır. Özellikle NaCl için bu artış miktarları oldukça fazladır. Örneğin Kaolin ve Ca-Bentonit süspansiyonlarına 1000 mg/L NaCl dozlandığında iletkenlik değerleri sırasıyla; 3075, 2015 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.21(a, c)). N999 için ise 500 mg/L NaCl dozlandığında iletkenlik 2473 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.21 (d)).

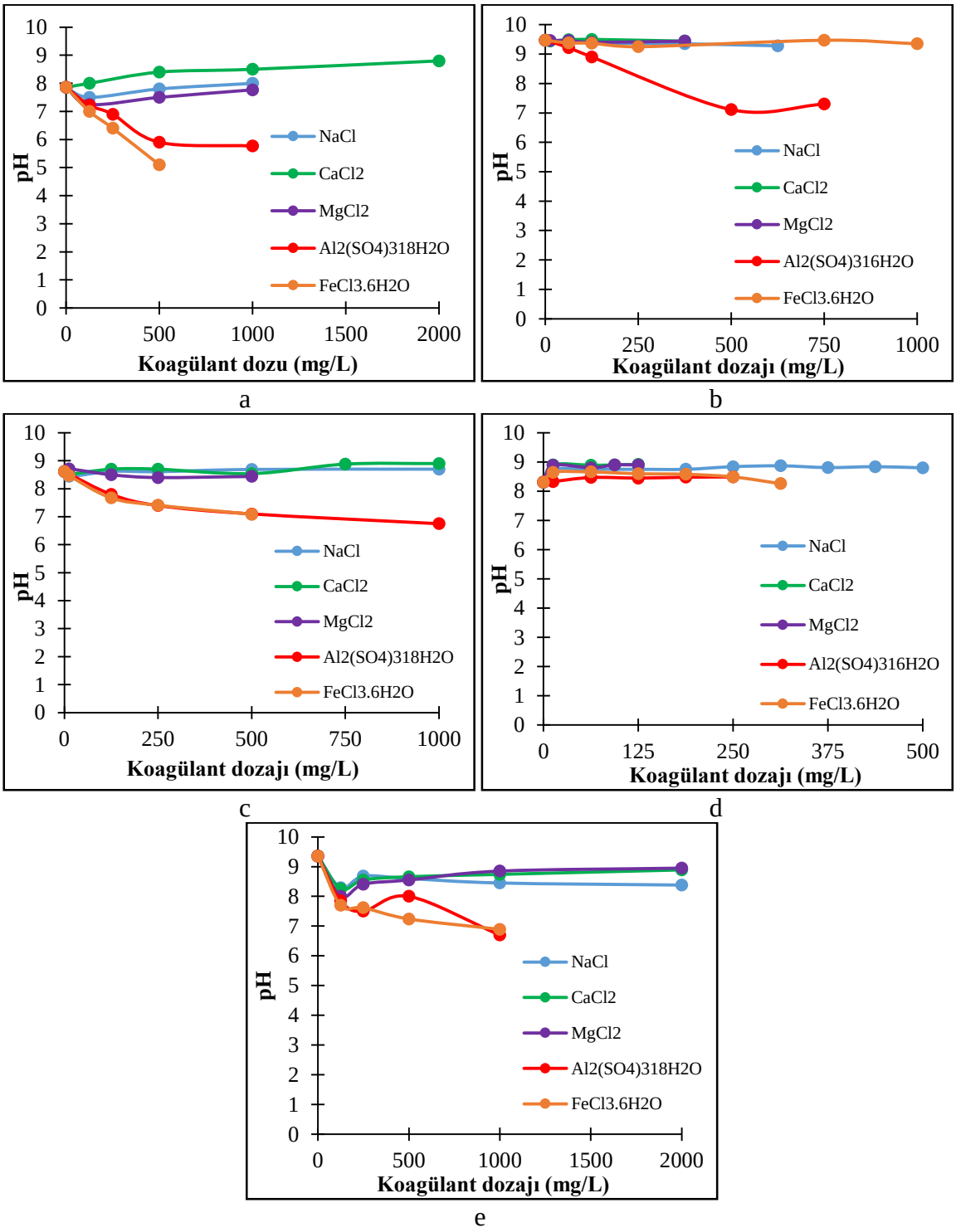
İletkenliğin artmasının nedeni süspansiyona geçen Na^+ iyonudur. Teorikte, tuzluluğun iletkenliği artıracağı bilinmektedir. Na^+ iyonuda suda tuzluluk oluşturduğundan iletkenlik artmıştır.

4.5.7. Koagülantların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi

pH bir çözeltinin asitlik özelliğinin göstergesi olup, hidrojen iyonunun aktivitesinin eksi logaritmasına ($-\log [H^+]$) eşittir. Mühendislik uygulamalarında sık kullanılan pH değeri su temininde, koagülasyon, flokülasyon, dezenfeksiyon, su yumuşatma ve korozyon kontrolü gibi işlemlerde büyük önem taşır.

Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonlarının doğal halde pH'ları 7,86 - 9,47 - 8,61 - 9,35 dir. Süspansiyon içerisine asidik karekterde olduklarından $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ve $FeCl_3.6H_2O$ koagülantları dozlandığında ve dozlanan koagülant miktarı arttıkça pH değerleri azalmaktadır. Örneğin kaolin süspansiyonuna 500 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ dozlandığında pH 5,1 Na-Bentonit süspansiyonuna yine aynı dozajda $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozlandığında pH 7,11 olmuştur. Ca-Bentonit ve Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonlarına 1000 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ dozlandığında pH sırasıyla; 6,75 - 6,70 olmuştur.

Bütün mineral süspansiyonlarında en yüksek pH değerleri $CaCl_2$ deneylerinde ölçülmüştür. $CaCl_2$ ise bazik karakterde olduğu için süspansiyonların pH ını artırmaktadır (Şekil 4.22).

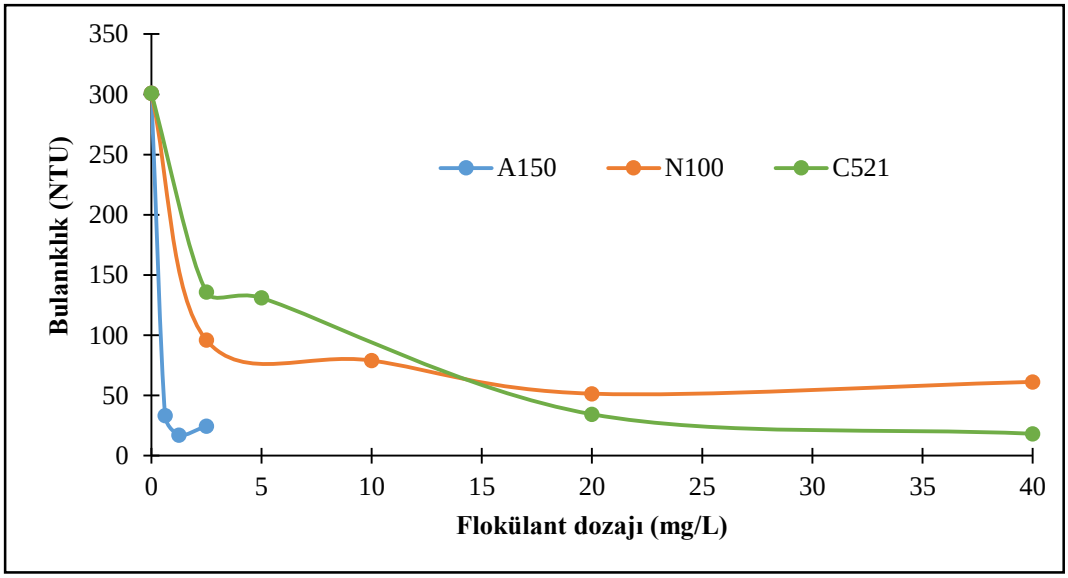


Şekil 4.22. Kil minerallerinin süspansiyonlarının final pH değerine koagülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

4.6. Flokülasyon Deneyleri

4.6.1. Kaolin süspansiyonunun flokülasyonu

Kaolin minerali süspansiyonu flokülasyonunda ilk olarak flokülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli flokülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH ında (7,86) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.

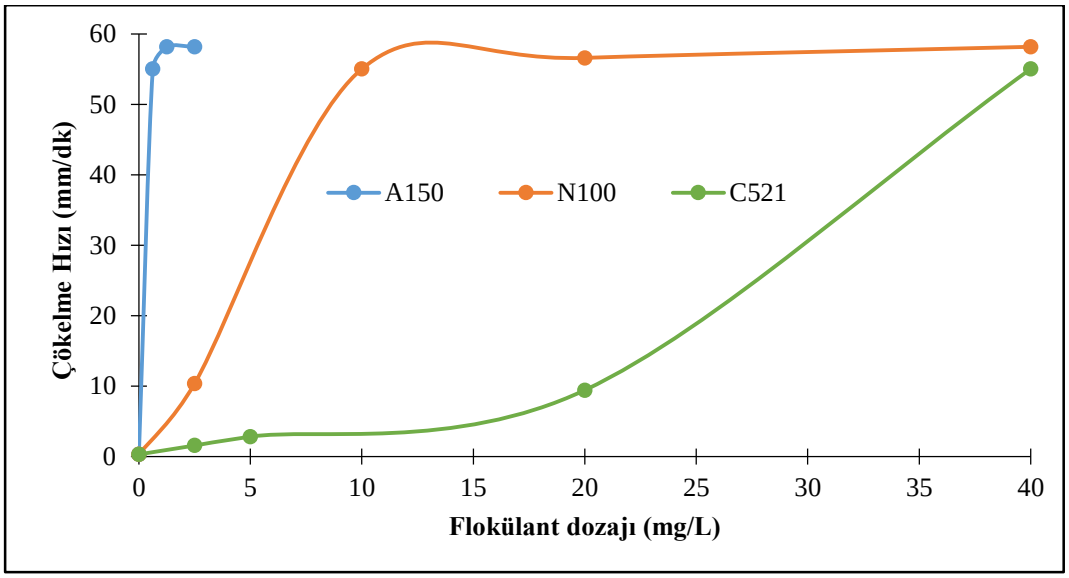


Şekil 4.23. Kaolin süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla katyonik (C521) ve noniyonik (N100) gelmektedir. Kaolin süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 301 NTU olup, tüm çalışılan flokülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- Anyonik (A150) 1,25 mg/L dozajda 17,10 NTU
- Katyonik (C521) 40 mg/L dozajda 18,22 NTU
- Noniyonik (N100) 20 mg/L dozajda 51,50 NTU' dur.

Kaolin süspansiyonu için Anyonik flokülant daha etkin sonuçlar vermiştir. Her bir flokülant için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 94,32 koagülasyon verimiyle Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 93,95 verimle Katyonik (C521), % 82,89 verimle Noniyonik (N100) sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında Anyonik (A150) ve Katyonik (C521) flokülantlar yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu floküle etmişlerdir. Ancak aynı verim değerine A150 de 1,25 mg/L dozajda ulaşılırken C521 de 40 mg/L dozajda ulaşılmıştır.



Şekil 4.24. Kaolin süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi.

Çökelme hızları açısından tüm flokülantlar yaklaşık olarak aynı hıza ulaşmışlardır. Bu değer 58,18 mm/dk dır. Ancak A150 bu hız değerini oldukça düşük bir dozda yakalamıştır. 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 (Hogg ve ark. 1993, Owen ve ark. 2002). Onlar birkaç tane üzerine eş zamanlı olarak adsorbe olabilir ve üç boyutlu matriksler oluşturabilirler. C-521 flokülantı A150 ile kıyaslandığında daha düşük molekül ağırlığa sahiptir ve bu nedenle flokülasyon etkinliğinin daha düşük olduğu söylenebilir. Ayrıca katyonik polimer ile flokülasyonun daha çok elektrostatik yük yamama yöntemiyle gerçekleşmektedir. Bu mekanizmanın polimer köprü teşekkülü mekanizmasına göre flokülasyon üzerindeki etkisi nisbeten daha azdır. Bu durumda kaolin flokülasyonunda birincil mekanizmanın polimer köprüleme mekanizması olduğu söylenebilir. Zeta potansiyeli ölçümleri de bu konuyu desteklemektedir (bkz. Şekil 4.34) Yapılan bazı çalışmalarda yüksek molekül ağırlıklı anyonik polymerlerin negatif yüzey şarjlı killerin çökeltilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (Hogg 2000, Nasser ve James 2006, Patience ve ark. 2003). 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 da desteklemektedir (Cengiz ve ark. 2004).

Kaolin süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.7 de sunulmuştur.

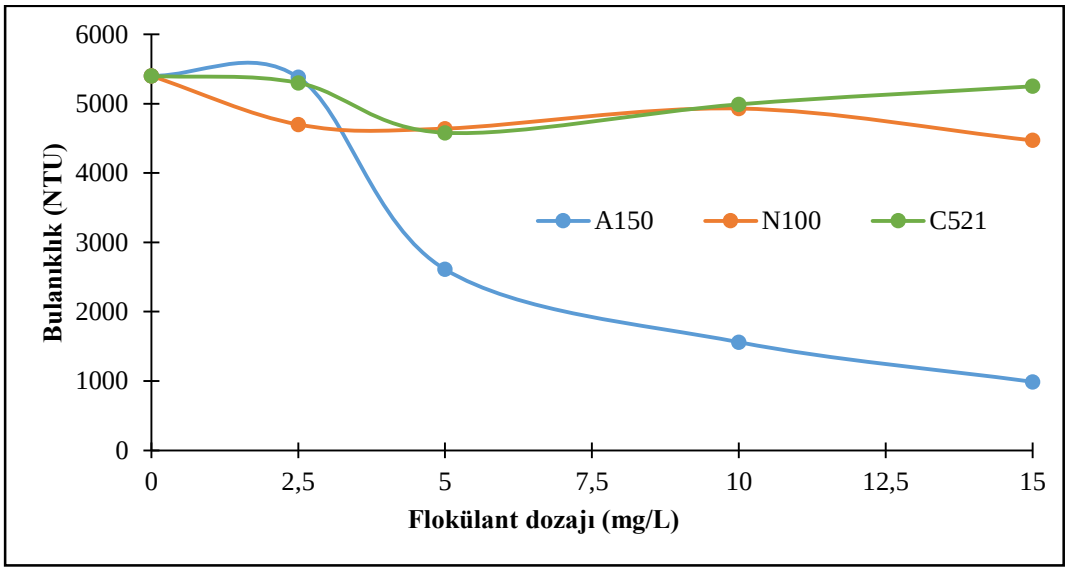
Çizelge 4.7. Kaolin süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	A150	C521	N100
Optimum dozaj (mg/L)	1,25	20	20
Bulanıklık (NTU)	17,1	34,4	51,5
Zeta potansiyeli (mvolt)	-26,79	-22,16	-19,7
Verim (%)	94,32	88,57	82,89
İletkenlik	752	750	755
pH	7,1	8,2	8
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	58,18	3,88	55,02

Optimum dozaj değerleri belirlenirken koagülasyon deneylerinde olduğu gibi etkinlik-maliyet analizleri dikkate alınmıştır. Örneğin Katyonik (C521) flokülantı için optimum dozaj 20 mg/L olarak belirlenmiştir. Burada koagülant dozajı 40 mg/L ye çıkarıldığında verim % 93,95 olmuştur. Görüldüğü gibi dozaj 2 katına çıkarıldığında verim değeri yalnızca % 5,38 kadar artmıştır. Bu yüzden optimum dozaj 20 mg/L olarak sunulmuştur. Diğer kimyasallar için de aynı yöntemle bulunan optimum dozaj verileri ve bunlara bağlı olarak elde edilen diğer bulgular tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.7).

4.6.2. Na-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonu

Na-Bentonit minerali süspansiyonu flokülasyonunda ilk olarak flokülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli flokülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (9,47) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.

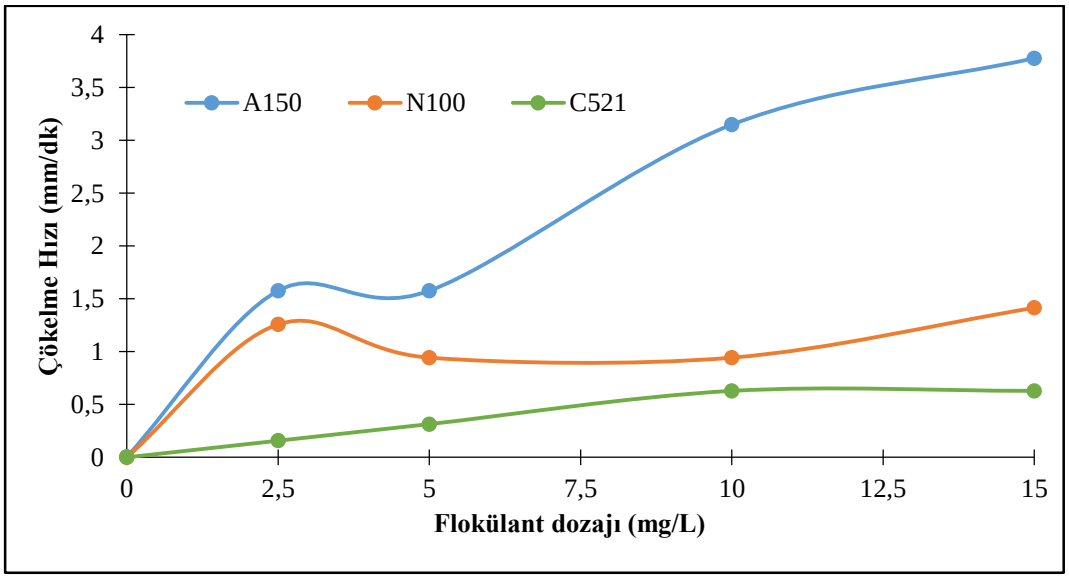


Şekil 4.25. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla noniyonik (N100) ve katyonik (C521) gelmektedir. Na-Bentonit minerali süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 5400 NTU olup, tüm çalışılan flokülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- Anyonik (A150) 15 mg/L dozajda 988 NTU
- Noniyonik (N100) 15 mg/L dozajda 4470 NTU
- Katyonik (C521) 5 mg/L dozajda 4580 NTU' dur.

Na-Bentonit minerali süspansiyonu için Anyonik flokülant daha etkin sonuçlar vermiştir. Her bir flokülant için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 81,70 flokülasyon verimiyle Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 17,22 verimle Noniyonik (N100) % 15,19 verimle Katyonik (C521), sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında Anyonik (A150) bu mineral için diğer flokülantlara göre oldukça fazla etkinlik göstermiştir. Ancak Na-Bentonit minerali diğer minerallere kıyasla daha düşük verimde floküle edilmiştir.



Şekil 4.26. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi.

Ortalama çökelme hızları sırasıyla A150, N100, C521 şeklindedir. En hızlı çökelme hızı 3,78 mm/dk dır. Bu sıralama bulanıklık verileri ile paralellik göstermektedir. Çökme hızı değerleri bu mineral için diğer minerallerle kıyasla olduça düşük hesaplanmıştır.

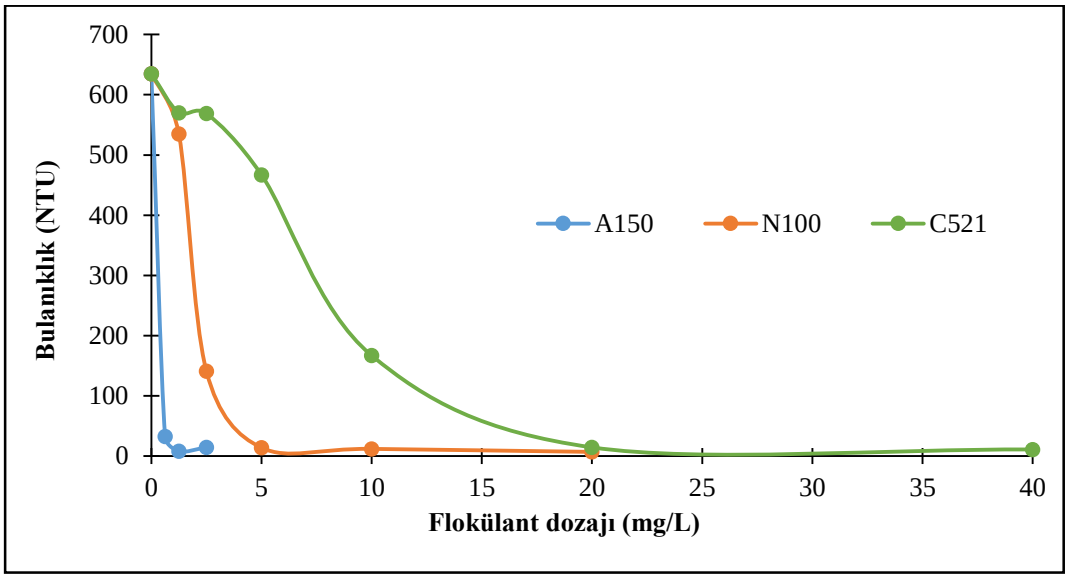
Na-Bentonit süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.8 de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Na-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	A150	C521	N100
Optimum dozaj (mg/L)	15	5	5
Bulanıklık (NTU)	988	4580	4640
Zeta potansiyeli (mvolt)	-47,64	-32,12	-32,50
Verim (%)	81,70	15,19	14,07
İletkenlik	145	161	144
pH	9,15	9,48	9,23
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,47	0,10	0,24

4.6.3. Ca-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonu

Ca-Bentonit minerali süspansiyonu flokülasyonunda ilk olarak flokülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli flokülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (8,61) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



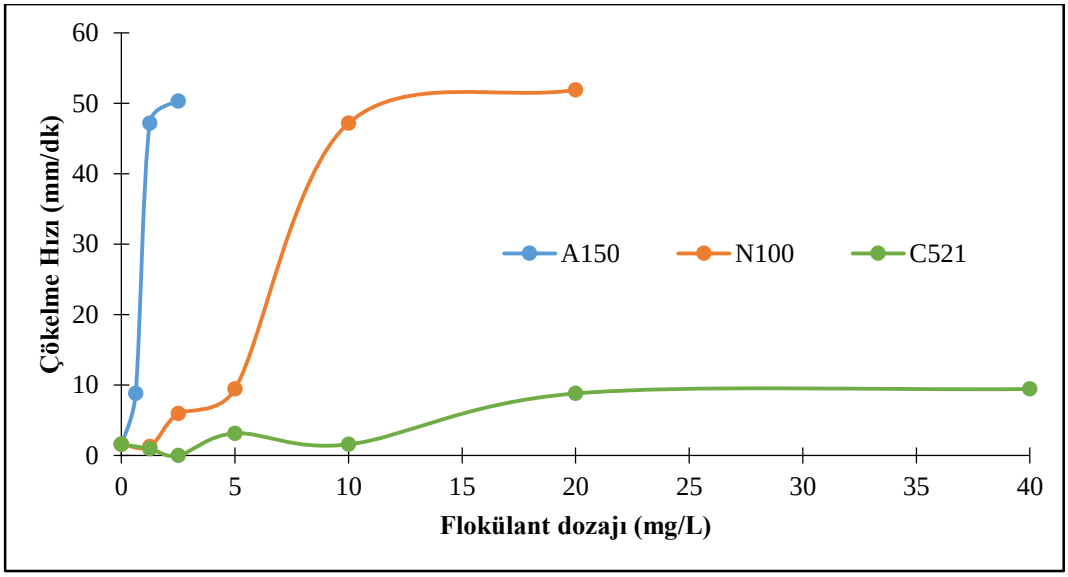
Şekil 4.27. Ca-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri noniyonik (N100) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla anyonik (A150) ve katyonik (C521) gelmektedir. Ca-Bentonit süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 635 NTU olup, tüm çalışılan flokülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- Noniyonik (N100) 20 mg/L dozajda 6,99 NTU
- Anyonik (A150) 1,25 mg/L dozajda 7,92 NTU
- Katyonik (C521) 40 mg/L dozajda 11 NTU' dur.

Her bir flokülant için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 98,90 flokülasyon verimiyle

Noniyonik (N100) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 98,75 verimle Anyonik (A150) % 98,27 verimle Katyonik (C521), sağlanmıştır. Verim ve bulanıklık değerlerine bakıldığında bütün flokülantlar yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu floküle etmişlerdir. Ancak bu performansa A150 1,25 mg/L gibi düşük bir dozajda ulaşmıştır.



Şekil 4.28. Ca-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi.

Ortalama çökelme hızları bulanıklık değerleri ile paralel olarak sırasıyla N100, A150, C521 şeklinde hesaplanmıştır. En iyi sonuç 51,90 mm/dk ile N100 e aittir.

Ca-Bentonit süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.9 da sunulmuştur.

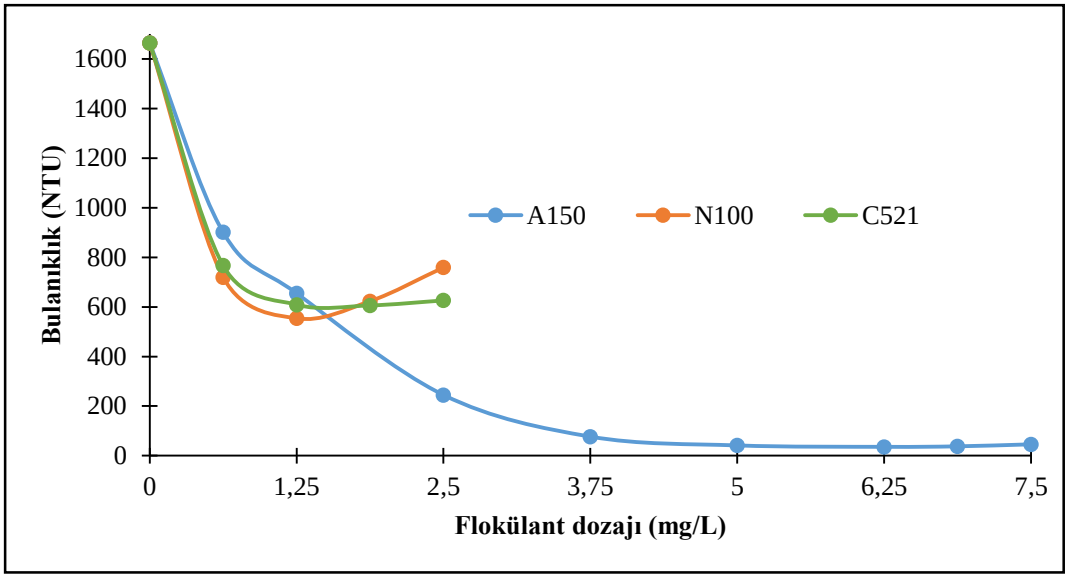
Çizelge 4.9. Ca-Bentonit süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	**A150**	**N100**	**C521**
Optimum dozaj (mg/L)	1,25	5	20
Bulanıklık (NTU)	7,92	14	14,5
Zeta potansiyeli (mvolt)	-38,42	-32,58	-34,14
Verim (%)	98,75	97,8	97,72
İletkenlik	990	900	937
pH	8,67	8,75	8,6
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	47,20	1,73	1,68

4.6.4. Ara tip (Na, Ca)-Bentonit süspansiyonlarının flokülasyonu

4.6.4.1. N999

Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonu flokülasyonunda ilk olarak flokülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli flokülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (8,31) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



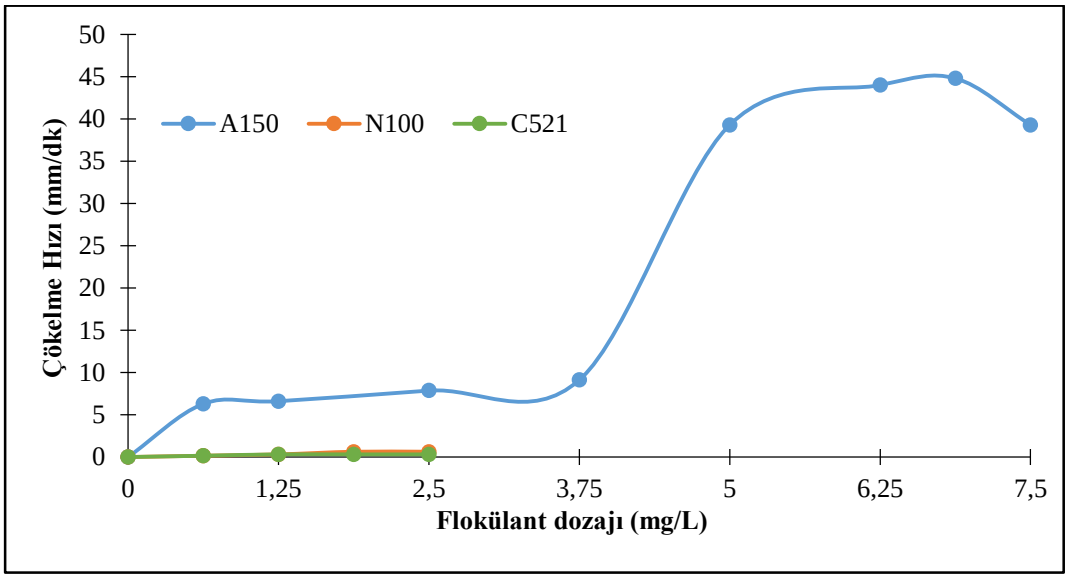
Şekil 4.29. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla noniyonik (N100) ve katyonik (C521) gelmektedir. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 1664 NTU olup, tüm çalışılan flokülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

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

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonu için Anyonik flokülant daha etkin sonuçlar vermiştir. Her bir flokülant için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 97,85 flokülasyon verimiyle Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 66,71 verimle Noniyonik (N100) ve % 63,58 verimle Katyonik (C521), sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında Anyonik (A150) flokülantının diğer flokülantlara göre etkin bir şekilde floküle ettiği

görülmektedir. Noniyonik (N100) ve Katyonik (C521) flokülantları yaklaşık aynı performanslarda süspansiyonu floküle etmişlerdir (Şekil 4.29).



Şekil 4.30. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi.

N100 ve C521 için çökelme hızları çok düşüktür. A150 için en iyi çökelme hızı 44,80 mm/dk olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bulanıklık verileri ile paralellik göstermiştir.

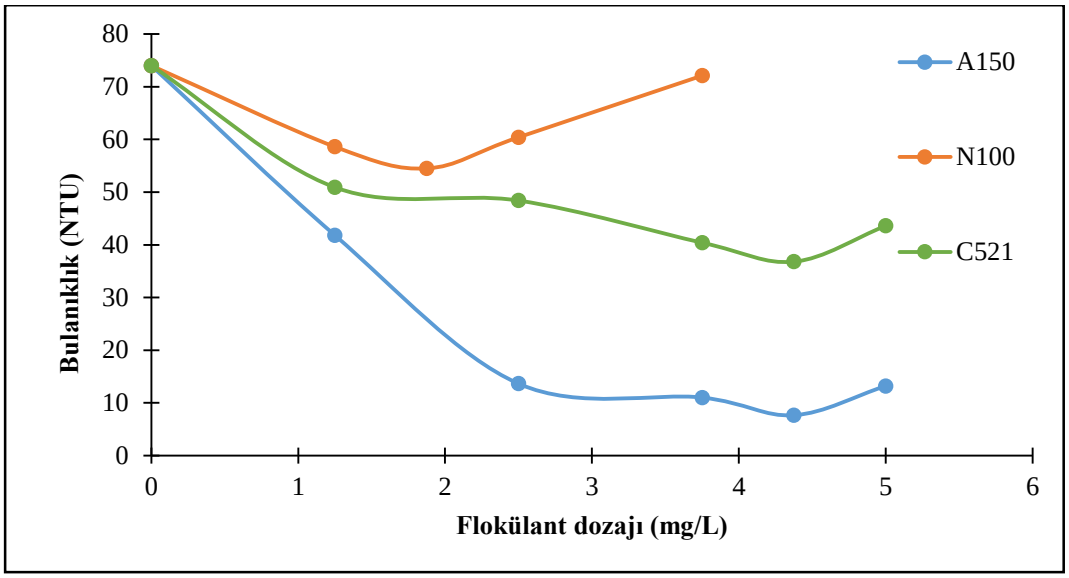
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	A150	N100	C521
Optimum dozaj (mg/L)	3,75	1,25	1,25
Bulanıklık (NTU)	76,8	554	609
Zeta potansiyeli (mvolt)	-48,98	-44,58	-47,51
Verim (%)	95,38	66,71	63,4
İletkenlik	1197	1229	1308
pH	9,34	9,6	9,02
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	28,29	0,21	0,09

4.6.4.2. N1000

Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) minerali süspansiyonu flokülasyonunda ilk olarak flokülant türü ve dozajının etkisini görmek amacıyla, çeşitli flokülantlar varlığında süspansiyonun doğal pH' ında (9,35) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.

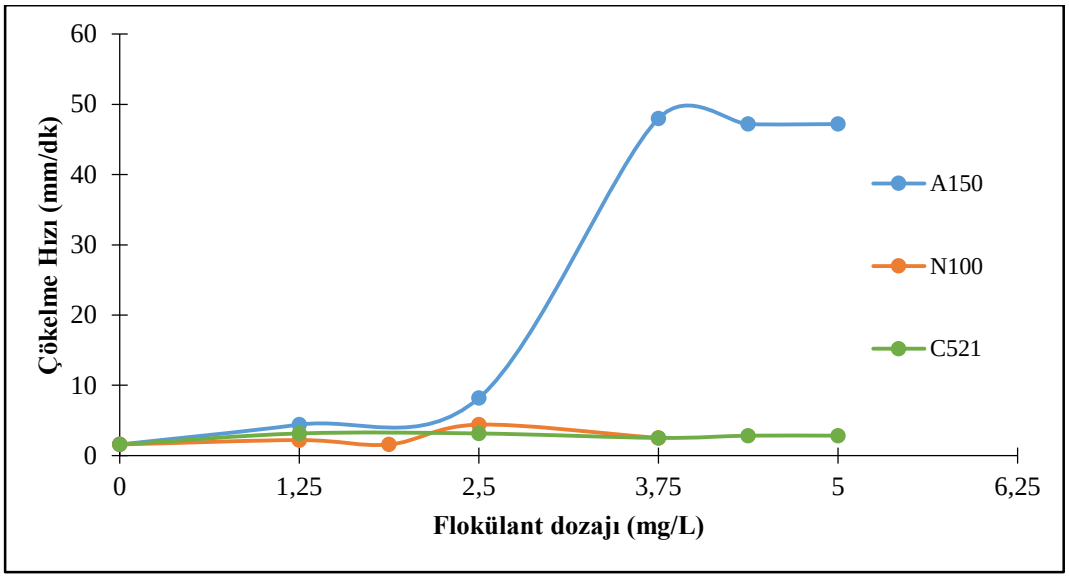


Şekil 4.31. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun bulanıklığına flokülant türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri anyonik (A150) ile sağlanırken daha sonra sırasıyla katyonik (C521) ve noniyonik (N100) gelmektedir. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 74 NTU olup, tüm çalışılan flokülantlar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- Anyonik (A150) 4,375 mg/L dozajda 7,66 NTU
- Katyonik (C521) 4,375 mg/L dozajda 36,8 NTU
- Noniyonik (N100) 1,875 mg/L dozajda 54,5 NTU'dur.

Bulanıklık değerleri incelendiğinde flokülant olarak kullanılan kimyasalların yüzey yükleri ile ilgilidir. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) minerali süspansiyonu için Anyonik flokülant daha etkin sonuçlar vermiştir. Her bir flokülant için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı % 89,65 verimle Anyonik (A150) ile sağlanırken, % 50,27 verimle Katyonik (C521) ve % 26,35 verimle Noniyonik (N100) ile sağlanmıştır.



Şekil 4.32. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) flokülant türü ve dozajının etkisi.

Anyonik flokülant (A150) bulanıklık verilerine paralel olarak hızlı çökelme sonuçları vermiştir. Bu hız değerleri diğer flokülantlarla kıyasla yaklaşık 15 kat daha fazladır.

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.11 de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N1000) süspansiyonunun flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	**A150**	**C521**	**N100**
Optimum dozaj (mg/L)	4,375	4,375	1,875
Bulanıklık (NTU)	7,66	36,8	54,5
Zeta potansiyeli (mvolt)	-41,68	-42,29	-39,08
Verim (%)	89,65	50,27	26,35
İletkenlik	2039	2133	2104
pH	8,82	9,41	9,43
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	47,16	4,72	1,23

Yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar daha önce de bahsedildiği gibi aynı anda bir çok partikül yüzeyine adsorbe olarak üç boyutlu bir matris meydana getirebilirler. Bu yöntemle elde edilen floklar büyük boyutlu olup çökelme hızları yüksektir. Anyonik flokülant ile elde edilen floklar oldukça büyük tanelidir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Süspansiyonların flokülasyonu esnasında alınan fotoğraf.

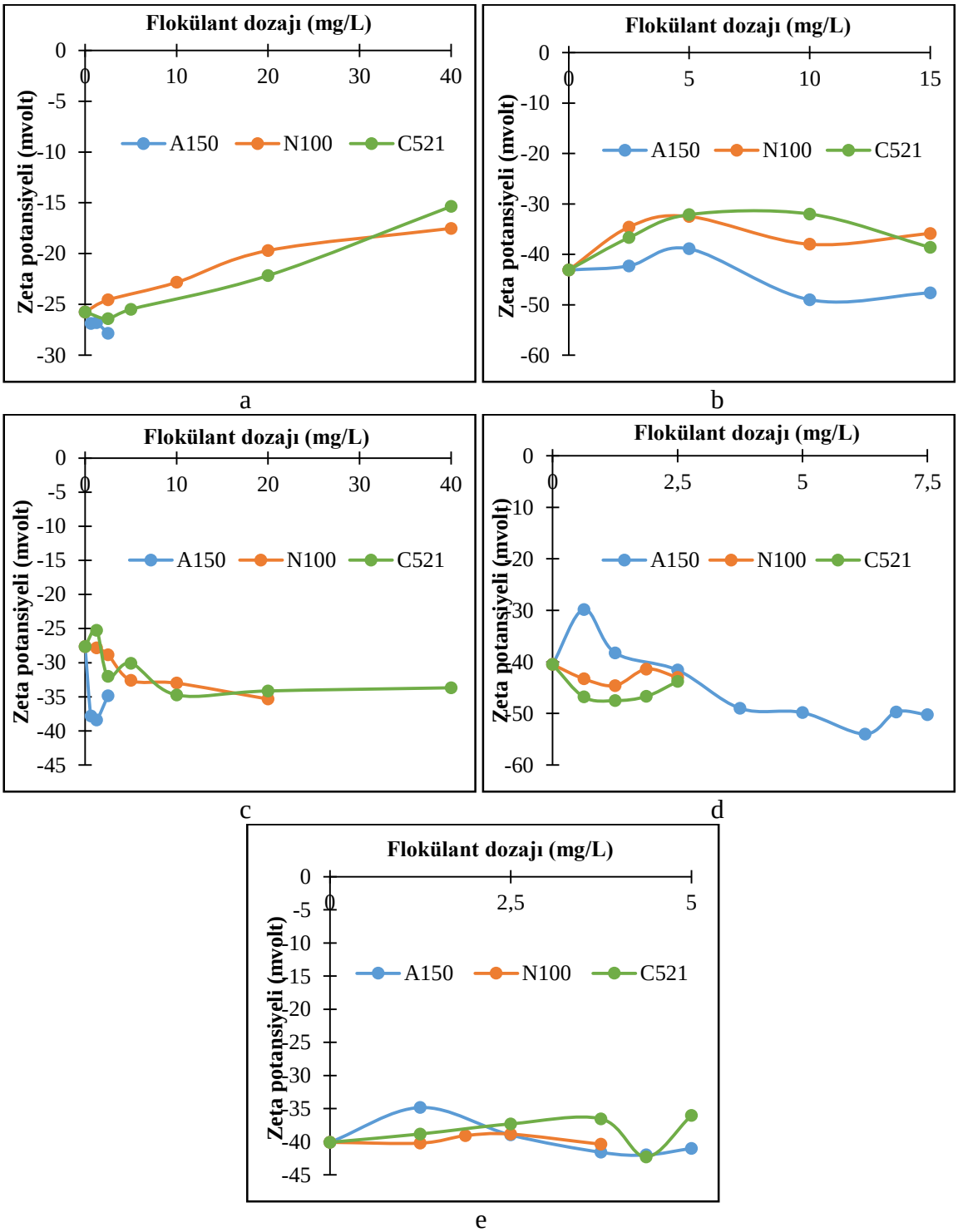
4.6.5. Flokülantların kil minerallerinin zeta potansiyeline etkisi

Flokülasyon deneylerinde kullanılan flokülantlar iyonik karakterlerine göre üç türlüdür. Bunlar anyonik katyonik ve noniyoniktir. Anyonik flokülantlar negatif, katyonikler pozitif şarjlıdır. Noniyonikler ise şarjsızdır. Flokülantlar suda çözünebildiklerinden ve bu karakterlerinden dolayı süspansiyonların iyon derişimlerini etkileyebilmektedirler. Süspansiyonların tamamında en fazla değişimi anyonik flokülantlar göstermiştir.

Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999), Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonlarının doğal haldeki zeta potansiyeli değerleri sırasıyla; (-25,74) – (-43,11) – (-27,63) – (-40,50) – (-40,09) mvolt dur. Kaolin ve Na-Bentonit süspansiyonlarına Katyonik (C521) ve Noniyonik (N100) flokülantları dozlandığında ve dozlanan flokülant miktarı arttıkça zeta potansiyeli değerleri artmaktadır. Örneğin Kaolin

süspansiyonuna 40 mg/L Katyonik (C521) dozlandığında -15,36 mvolt, Na-Bentonit için ise 10 mg/L Katyonik (C521) dozlandığında -32,00 mvolt olmuştur (Şekil 4.34).

Anyonik (A150) flokülantı ise zeta potansiyelini tüm minerallerde azaltmaktadır. Örneğin Kaolin için 2,5 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında -27,86 mvolt olmuştur (Şekil 4.34 (a)), Na-Bentonit için 10 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında -49,00 mvolt, (Şekil 4.34 (b)), Ca-Bentonit için 1,25 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında –38,42 mvolt, (Şekil 4.34 (c)), N999 için 6,875 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında –49,71 mvolt, (Şekil 4.34 (d)), N1000 için 3,75 mg/L Anyonik (A130) dozlandığında –41,60 mvolt olmuştur (Şekil 4.34 (e)).



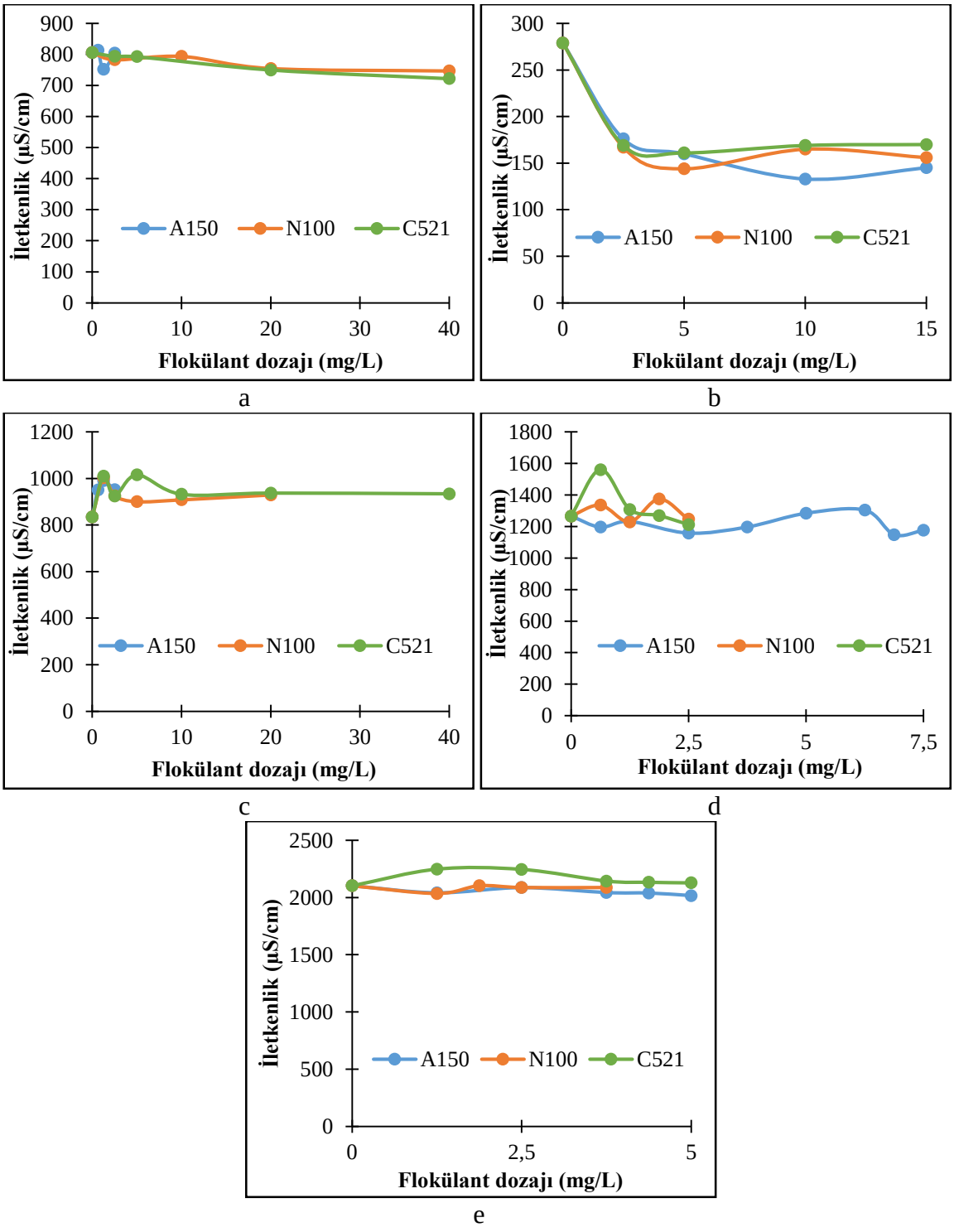
Şekil 4.34. Kil mineralleri süspansiyonlarının zeta potansiyeline flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

4.6.6. Flokülantların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi

Na-Bentonit harcindeki süspansiyonlarda iletkenlik değişimi sınırlı olmuştur. Koagülasyondaki kadar extrem noktalara çıkmamıştır. Flokülantlar, organik yapıda olduklarından iletken verisini koagülantlar kadar etkilememektedirler (Şekil 4.35).

Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999), Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000) süspansiyonlarının iletkenlikleri sırasıyla; 806, 279, 834, 1266, 2103 (µS/cm) dir.

Na-Bentonit süspansiyonunun doğal halde iletkenliği 279 (µS/cm) dir. Süspansiyon içerisine flokülantlar dozlandığında ve dozlanan flokülant miktarı arttıkça genellikle iletkenlik değerleri azalmaktadır. Özellikle Anyonik (A150) flokülant maddesi için incelendiğinde süspansiyonun iletkenliğini en fazla azaltan flokülant olduğu söylenebilir. Örneğin 10 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında iletkenlik 133 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.35 (b)).

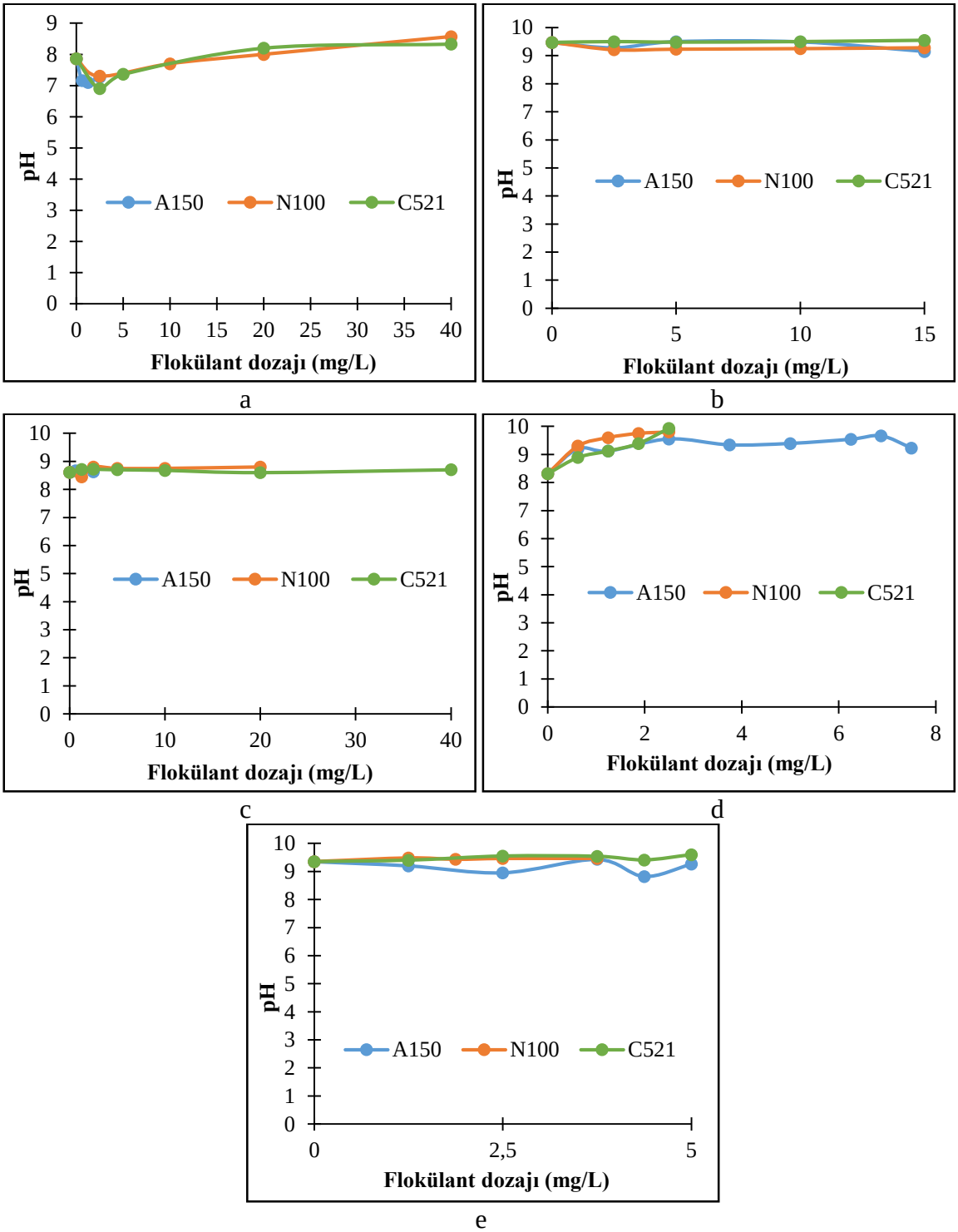


Şekil 4.35. Kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

4.6.7. Flokülantların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi

Flokülasyon deneylerinde süspansiyonların pH değerleri kendi içlerinde belli bir aralıkta değişmektedir. Koagülantlardaki gibi belirgin iniş çıkışlar görülmemiştir. Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) ve Ara tip (Na, Ca) bentonit

(N1000) süspansiyonları için pH değişim aralıkları sırasıyla, 6,90-8,57, 9,28-9,55, 8,45-8,72, 8,89-9,93, 8,82-9,60 şeklindedir. Buradaki en geniş aralık Kaolin numunesine aittir (Şekil 4.36).



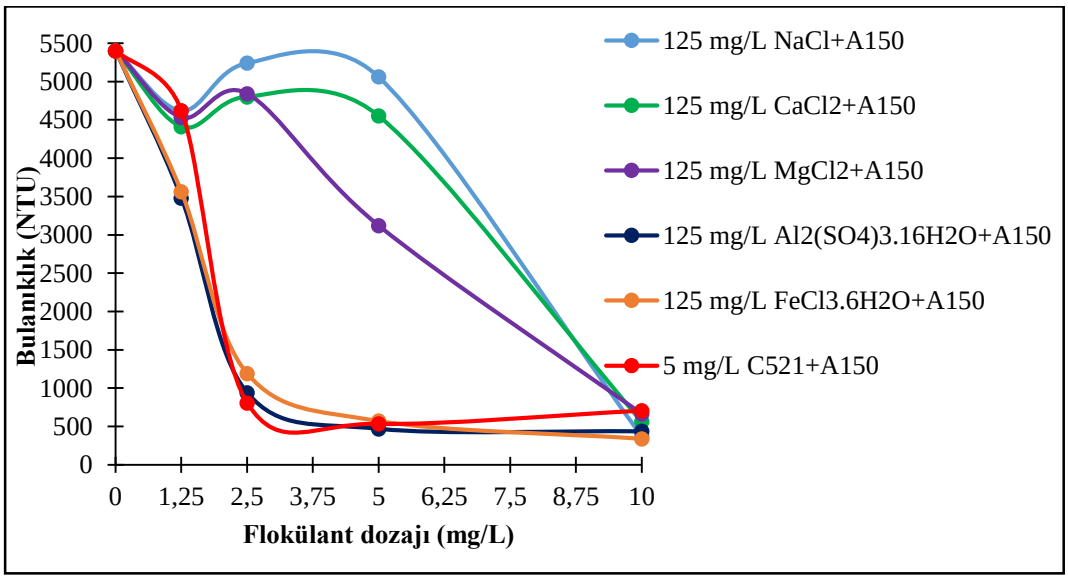
Şekil 4.36. Kil mineralleri süspansiyonlarının final pH değerine flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Kaolin, (b) Na bentonit, (c) Ca bentonit, (d) N999, (e) N1000.

4.7. Koagülasyon+Flokülasyon ve Dual Flokülasyon Deneyleri

Kaogülasyon + Flokülasyon ve dual flokülasyon deneysel çalışmalarında sadece Na-Bentonit ve Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) numuneleri çalışılmıştır. Bunun nedeni diğer numuneler için ayrı ayrı yapılan koagülasyon ve flokülasyon deneylerinde % 95 lere varan verimlerin elde edilmiş olmasıdır. Ayrıca bu minerallerin doğal sedimantasyonunda bulanıklık değerlerinin yüksek (Na-Bentonit için 5400 NTU, N999 için 1664 NTU) olmasıdır.

4.7.1. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonu ve dual flokülasyonu

Na-Bentonit minerali süspansiyonu koagülasyon+flokülasyonu ve dual flokülasyonunda ilk olarak 125 mg/L koagülantlar ($Al_2(SO_4)_3.16H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$, NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$) ve 5 mg/L katyonik flokülant (C521) üzerine flokülant dozajının etkisini görmek amacıyla, süspansiyonun doğal pH'ında (9,47) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır. Bu testlerde flokülant olarak anyonik (A150) flokülantı kullanılmıştır. Bunun nedeni Koagülantlar ve katyonik flokülant ile süspansiyonun önce zeta potansiyeli azaltılması hedeflenmiş ardından anyonik flokülant ile çöktürme sağlanmıştır.



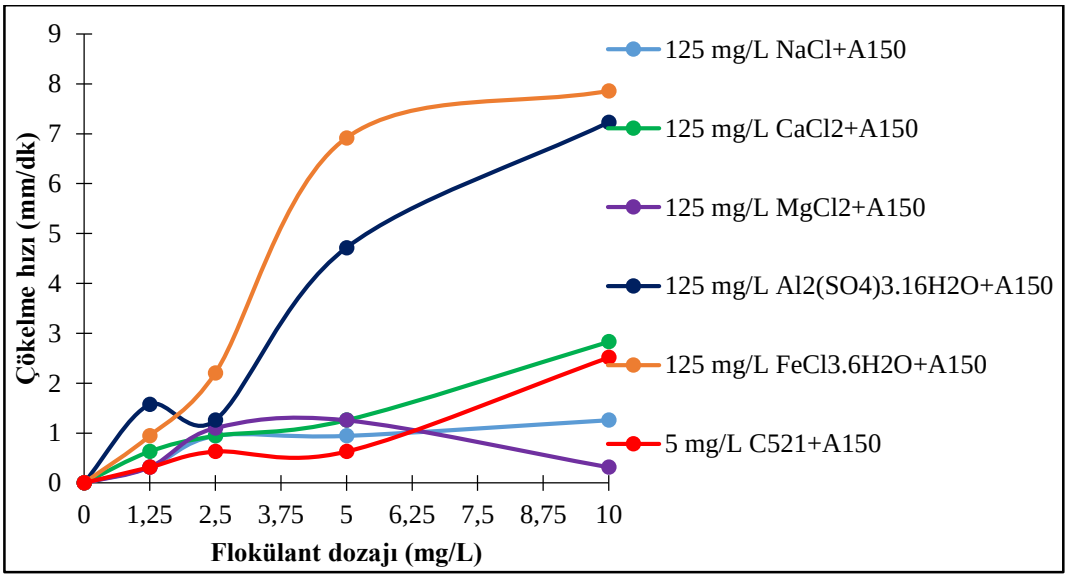
Şekil 4.37. Na-Bentonit süspansiyonunun bulanıklığına kimyasal türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri 125 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ koagülantı üzerine 10 mg/L anyonik flokülant (A150) ile sağlanmıştır. Na-Bentonit minerali süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 5400 NTU olup, çalışılan kimyasallar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değeri;

- 125 mg/L $FeCl_3.6H_2O$+Anyonik (A150) 10 mg/L dozajda 339 NTU
- 125 mg/L NaCl+Anyonik (A150) 10 mg/L dozajda 373 NTU

- 125 mg/L $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+Anyonik (A150) 10 mg/L dozajda 436 NTU
- 5 mg/L Katyonik (C521)+Anyonik (A150) 5 mg/L dozajda 533 NTU
- 125 mg/L $CaCl_2$+Anyonik (A150) 10 mg/L dozajda 565 NTU
- 125 mg/L $MgCl_2$+Anyonik (A150) 10 mg/L dozajda 665 NTU' dur.

Bütün kimyasallar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa, en iyi performans % 94 flokülasyon verimiyle $FeCl_3.6H_2O$+Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 93,09 verimle NaCl+Anyonik (A150), % 92 verimle $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+Anyonik (A150), % 90,13 verimle Katyonik (C521)+Anyonik (A150), % 90,13 verimle $CaCl_2$+Anyonik (A150) ve % 88 verimle $MgCl_2$+Anyonik (A150) sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında yalnızca 15 mg/L Anyonik flokülant (A150) ile çöktürme deneyi yapıldığında verim değeri % 81,70 olarak bulunmuştur. Koagülasyon+Flokülasyon ve dual flokülasyon deneylerinde ise % 94 verimlere ulaşılmıştır.



Şekil 4.38. Na-Bentonit süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) kimyasal türü ve dozajının etkisi.

Çökelme hızları açısından en iyi sonucu $FeCl_3.6H_2O$+A150 vermiştir. Bu kimyasallar için en iyi hız değeri 7,86 mm/dk dır. Daha sonra sırasıyla $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+A150, $CaCl_2$+A150, C521+A150, $MgCl_2$+A150 ve NaCl+A150 kimysalları gelmektedir. Ortalama çökelme hızı verileri bulanıklık değerleri ile tam olarak paralellik göstermemektedirler. NaCl+A150 kimyasalları en düşük ikinci bulanıklık değerlerini vermişken burada en kötü çökelme hızına sahiptirler.

Na-Bentonit süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.12 de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	NaCl +A150	$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ +A150	C521 +A150	$CaCl_2$ +A150	$FeCl_3.6H_2O$ +A150	$MgCl_2$ +A150
Optimum dozaj (mg/L)	10	5	5	10	5	10
Bulanıklık (NTU)	373	496	553	565	570	665
Zeta potansiyeli (mvolt)	-46,4	-36,81	-34,97	-46,26	-35,27	-44,57
Verim (%)	93,09	90,81	90,13	89,54	89,44	87,69
İletkenlik	163	229	125	265	217	150
pH	9,47	8,92	9,55	9,47	8,82	9,5
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,94	1,31	0,84	1,00	1,36	0,31

Optimum dozajın belirlenmesinde verim artışı ve kullanılan flokülant miktarı dikkate alınmıştır. Örneğin 125 mg/L $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ üzerine 5 mg/L anyonik flokülant (A150) dozlandığında verim % 90,81 olarak gerçekleşmiştir. 12,5 mg/L $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ üzerine 10 mg/L anyonik flokülant (A150) dozlandığında verim % 91,93 olmuştur. Görüldüğü gibi dozaj 2 katına çıkarıldığında verim değeri yalnızca %1,12 kadar artmıştır. Bu yüzden optimum dozaj 5 mg/L olarak sunulmuştur (Çizelge 4.12).

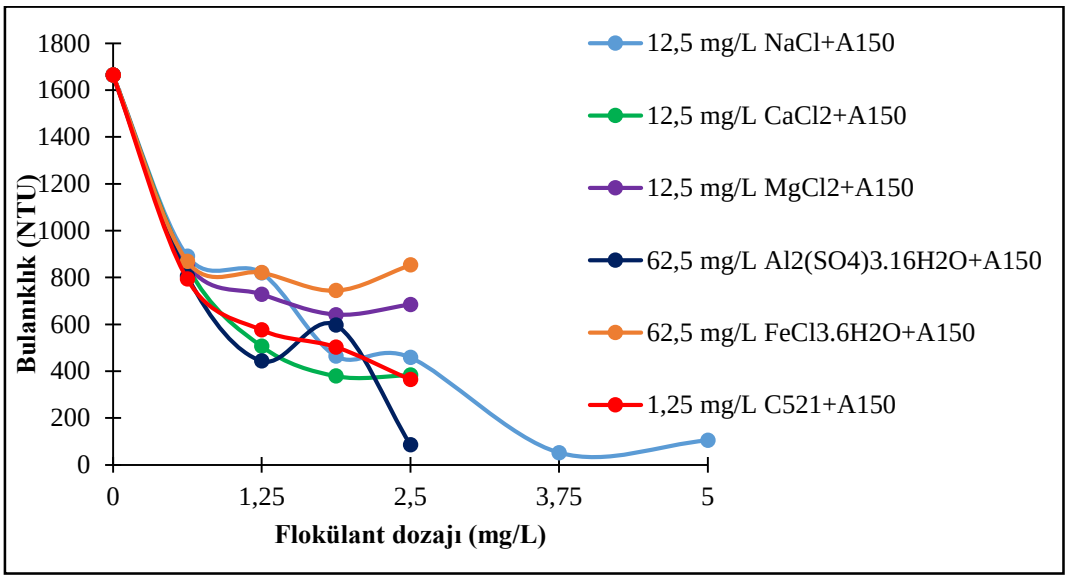
Na-Bentonit süspansiyonu için yapılan koagülasyon, flokülasyon, koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon deneylerinden elde edilen verilerin özeti Çizelge 4.13 de sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Na-Bentonit süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonu ve dual flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	**A150**	**NaCl**	**NaCl +A150**	**$FeCl_3.6H_2O$**	**$FeCl_3.6H_2O$ +A150**	**$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$**	**$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ +A150**	**C521**	**C521 +A150**	**$CaCl_2$**	**$CaCl_2$ +A150**	**$MgCl_2$**	**$MgCl_2$ +A150**
Optimum dozaj (mg/L)	15	375	10	750	5	125	5	5	5	125	10	125	10
Bulanıklık (NTU)	988	4300	373	4220	570	4410	496	4580	553	4820	565	4320	665
Zeta potansiyeli (mvolt)	-47,64	-38,91	-46,4	-35,28	-35,27	-35,47	-36,81	-32,12	-34,97	-35,78	-46,26	-39,02	-44,57
Verim (%)	81,70	20,37	93,09	21,85	89,44	18,33	90,81	15,19	90,13	10,74	89,54	20	87,69
İletkenlik	145	264	163	181	217	193	229	161	125	244	265	186	150
pH	9,15	9,35	9,47	9,47	8,82	8,9	8,92	9,48	9,55	9,5	9,47	9,4	9,5
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,47	0,16	0,94	0,16	1,36	0,16	1,31	0,10	0,84	0,10	1,00	0,10	0,31

4.7.2. N999 süspansiyonunun koagülasyon + flokülasyonu ve dual flokülasyonu

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonunda ilk olarak 12,5 mg/L koagülantlar (NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$), 62,5 mg/L koagülantlar ($Al_2(SO_4)_3.16H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$) ve 5 mg/L katyonik flokülant (C521) üzerine flokülant dozajının etkisini görmek amacıyla, flokülant varlığında süspansiyonun doğal pH'ında (8,31) bir dizi çöktürme testleri yapılmıştır.



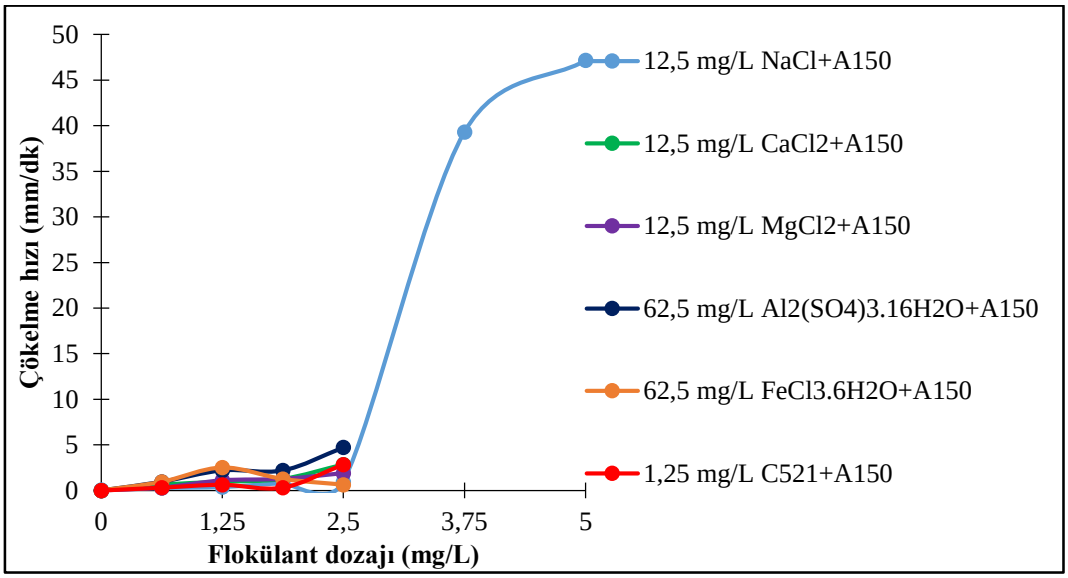
Şekil 4.39. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun bulanıklığına kimyasal türü ve dozajının etkisi.

En düşük bulanıklık değeri 12,5 mg/L NaCl koagülantı üzerine 3,75 mg/L anyonik flokülant (A150) ile sağlanmıştır. Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 1664 NTU olup, çalışılan kimyasallar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değeri;

- 12,5 mg/L NaCl+Anyonik (A150) 3,75 mg/L dozajda 51,8 NTU
- 62,5 mg/L $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+Anyonik (A150) 2,5 mg/L dozajda 85,8 NTU
- 1,25 mg/L Katyonik (C521)+Anyonik (A150) 2,5 mg/L dozajda 364 NTU
- 12,5 mg/L $CaCl_2$+Anyonik (A150) 1,875 mg/L dozajda 379 NTU
- 12,5 mg/L $MgCl_2$+Anyonik (A150) 1,875 mg/L dozajda 641 NTU'
- 62,5 mg/L $FeCl_3.6H_2O$+Anyonik (A150) 1,875 mg/L dozajda 744 NTU' dur.

Görüldüğü gibi en iyi sonucu 12,5 mg/L NaCl üzerine 3,75 mg/L anyonik flokülant (A150) dozlandığında elde edilmiştir. Bütün kimyasallar için en küçük bulanıklık değerlerine ulaşılan dozajlarda süspansiyonunun flokülasyon verimine bakılırsa en iyi performans % 96,89 flokülasyon verimiyle NaCl+Anyonik (A150) ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla % 94,84 verimle $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+Anyonik (A150), % 78,13 verimle Katyonik

(C521)+Anyonik (A150), % 76,98 verimle CaCl2+Anyonik (A150), % 58,89 verimle $MgCl_2$+Anyonik (A150) ve % 55,29 verimle $FeCl_3.6H_2O$+Anyonik (A150) sağlanmıştır. Verim değerlerine bakıldığında yalnızca 6,25 mg/L Anyonik flokülant (A150) ile çöktürme deneyi yapıldığında verim değeri % 97,85 olarak bulunmuştur. Koagülasyon+flokülasyon deneylerinde ise 12,5 mg/L NaCl üzerine 3,75 mg/L anyonik flokülant (A150) dozlandığında verim % 96,89 olmuştur. Yani 2,5 mg/L anyonik flokülant (A150) daha az kullanılarak yaklaşık aynı flokülasyon verimine ulaşılmıştır.



Şekil 4.40. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun çökelme hızına (0-5 dk) kimyasal türü ve dozajının etkisi.

Çökelme hızlarını matematiksel olarak karşılaştırırsak en hızlı çökelme 12,5 mg/L NaCl+Anyonik (A150) 3,75 mg/L dozajda 51,8 NTU bulanıklık değerine karşın 39,30 mm/dk olarak gerçekleşmiştir. Bu hız değeri fazla miktarda A150 dozlanmasından da olabilir. Ardından $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+A150 gelmektedir. Bu hız değerleri bize çökelme hızı ile bulanıklık gideriminin doğru orantılı olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer kimyasallar için ise en yüksek çökelme hızı değerleri birbirlerine yakın hesaplanmıştır.

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonun flokülasyonuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda 30 dakikalık sedimentasyon süresi sonucunda elde edilen bulgular özet halinde Çizelge 4.14 da sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Koagülant türü	**NaCl +A150**	**$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ +A150**	**C521 +A150**	**$CaCl_2$ +A150**	**$MgCl_2$ +A150**	**$FeCl_3.6H_2O$ +A150**
Optimum dozaj (mg/L)	3,75	2,5	2,5	1,875	1,875	1,875
Bulanıklık (NTU)	51,8	85,8	364	379	641	744
Zeta potansiyeli (mvolt)	-47,46	-36,2	-36,2	-40,87	-31,04	-38,53
Verim (%)	96,89	94,84	78,13	77,22	61,48	55,29
İletkenlik	1305	1358	1214	1285	1296	1408
pH	8,9	8,45	8,89	8,9	8,92	8,9
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	39,30	1,83	0,5	1,10	0,57	0,94

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonu için yapılan koagülasyon, flokülasyon, koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon deneylerinden elde edilen verilerin özeti Çizelge 4.15 de sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Ara tip (Na,Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyon+flokülasyonve dual flokülasyonuna ilişkin özet bulgular.

Flokülant türü	**A150**	**NaCl**	**NaCl +A150**	**$FeCl_3.6H_2O$**	**$FeCl_3.6H_2O$ +A150**	**$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$**	**$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ +A150**	**$CaCl_2$**	**$CaCl_2$ +A150**	**$MgCl_2$**	**$MgCl_2$ +A150**	**C521**	**C521 +A150**
Optimum dozaj (mg/L)	3,75	250	3,75	250	1,875	125	2,5	93,75	1,875	93,75	1,875	1,25	2,5
Bulanıklık (NTU)	76,8	131	51,8	569	744	95	85,8	823	379	317	641	609	364
Zeta potansiyeli (mvolt)	-48,98	-32,44	-47,46	-34,01	-38,53	-32,98	-36,2	-33,76	-40,87	-30,62	-31,04	-47,51	-36,2
Verim (%)	95,38	92,13	96,89	65,81	55,29	94,29	94,84	50,54	77,22	80,95	61,48	63,4	78,13
İletkenlik	1197	2154	1305	1653	1408	1389	1358	1519	1285	1914	1296	1308	1214
pH	9,34	8,84	8,9	8,49	8,9	8,45	8,45	8,9	8,9	8,9	8,92	9,02	8,89
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	28,29	1,62	39,30	0,16	0,94	1,05	1,83	0,21	1,10	1,1	0,57	0,09	0,5

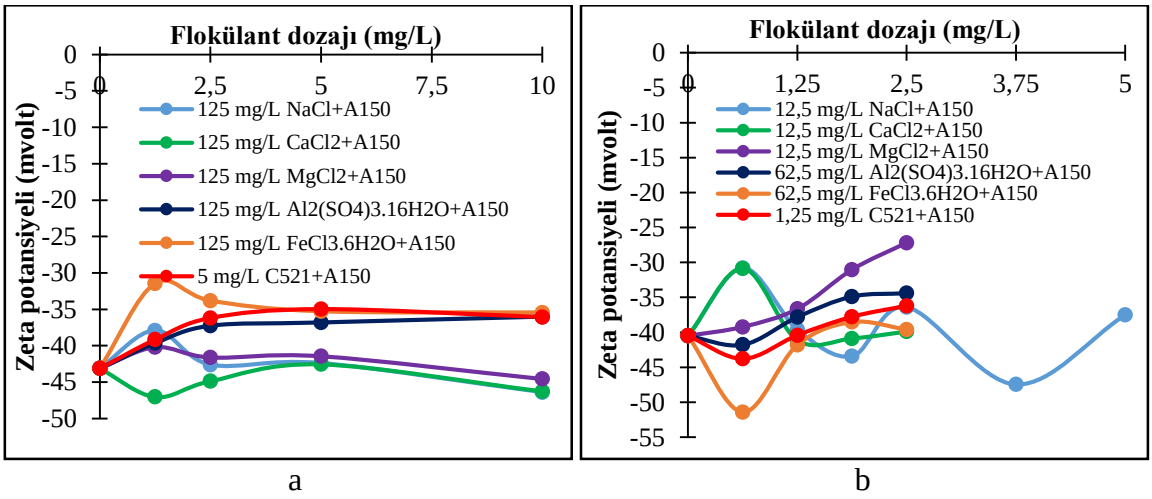
4.7.3. Kimyasalların kil minerallerinin zeta potansiyeline etkisi

Na-Bentonit, N999 süspansiyonları için en düşük zeta potansiyeli değerleri sırasıyla, $FeCl_3.6H_2O$+A150 ve $MgCl_2$+A150 ile yapılan koagülasyon+flokülasyon işlemlerinde ölçülmüştür (Şekil 4.41).

Na-Bentonit süspansiyonuna 125 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ + 1,25 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında -31,46 mvolt, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonuna 12,5 mg/L $MgCl_2$+2,5 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında -27,19 mvolt olmuştur. (Şekil 4.41 (a)).

Flokülasyon deneylerindeki zeta potansiyeli verileri ile karşılaştırılır ise örneğin Na-Bentonit süspansiyonuna yalnızca 10 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında zeta potansiyeli -49 mvolt, N999' a yalnızca 6,875 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında –49,71 mvolt olmuştur.

Yani zeta potansiyeli değerleri koagülasyon+flokülasyon deneylerinde flokülasyon deneylerine göre daha çok azalma göstermiştir. Bu, flokülantlardan önce dozlanan koagülantlardan kaynaklanmaktadır.



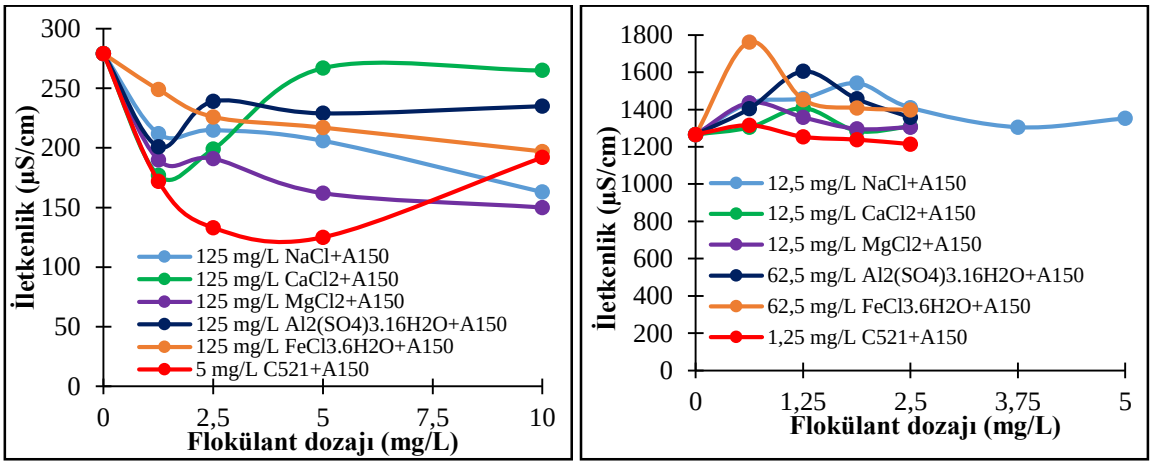
Şekil 4.41. Kil mineralleri süspansiyonlarının zeta potansiyeline koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999.

4.7.4. Kimyasalların kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine etkisi

Na-Bentonit süspansiyonu için C521+A150 ile yapılan dual flokülasyon işlemi iletkenlik değerini oldukça fazla azaltmıştır. Örneğin 5 mg/L Katyonik (C521) + 5 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında iletkenlik 125 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.42 (a)).

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) süspansiyonunun iletkenliği dual flokülasyon dışındaki deneylerde artmıştır. $FeCl_3.6H_2O$ + Anyonik (A150) kimyasal maddeleri için incelendiğinde süspansiyonun iletkenliğini en fazla artıran kimyasallar olduğu söylenebilir.

Örneğin 62,5 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ + 0,625 mg/L Anyonik (A150) dozlandığında iletkenlik 1762 (µS/cm) olmuştur (Şekil 4.42 (b)).

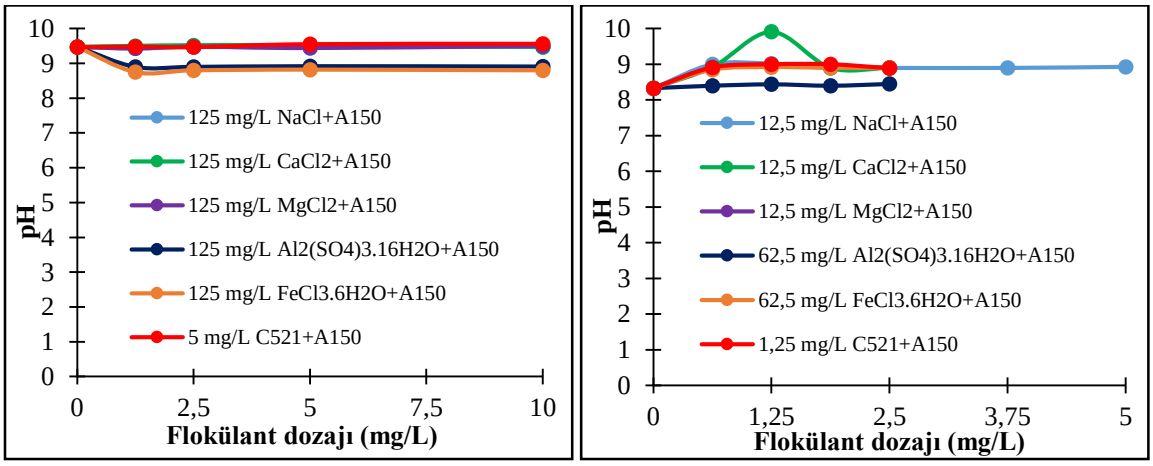


a b

Şekil 4.42. Kil mineralleri süspansiyonlarının iletkenliğine koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999.

4.7.5. Kimyasalların kil mineralleri süspansiyonlarının final pH'ına etkisi

Koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon işlemlerinde de flokülasyon çalışmalarında olduğu gibi pH değerleri extrem değişiklikler göstermemişlerdir. Her iki numune için de değerler yatay bir seyir izlemişlerdir (Şekil 4.43).



a b

Şekil 4.43. Kil mineralleri süspansiyonlarının pH değerine koagülant+flokülant ve dual flokülant türü ve dozajının etkisi (a) Na bentonit, (b) N999.

4.8. Bulguların Tartışılması

İki ve üç tabakalı olmak üzere iki farklı kil grubuna ait ve özellikleri birbirinden farklı olan beş adet numuneye (Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) ve Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000)) önce koagülasyon sonra flokülasyon ve bu işlemlerin yeterli gelmediği analiz edilen iki adet numuneye (Na-Bentonit, Ara tip (Na,

Ca) bentonit (N999)) koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Koagülasyon çalışmalarının özeti Çizelge 16 da, flokülasyon çalışmalarının özeti Çizelge 4.17 de, koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon çalışmalarının özeti Çizelge 4.18 de aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Koagülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti.

Mineraller	**Kaolin**	**Na-Bentonit**	**Ca-Bentonit**	**Na,Ca-Bentonit (N999)**	**Na,Ca-Bentonit (N1000)**
Etkili Koagülant	$FeCl_3.6H_2O$	$FeCl_3.6H_2O$	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$
Optimum dozaj (mg/L)	250	750	125	125	500
Bulanıklık (NTU)	26,9	4220	32,3	95	5,6
Zeta potansiyeli (mvolt)	-17,36	-35,28	-26,51	-32,98	-21,64
Verim (%)	91,06	21,85	94,91	94,29	92,43
İletkenlik	962	181	1010	1389	2068
pH	6,4	9,47	7,8	8,45	8
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	2,1	0,16	1,68	1,05	2,15

Koagülasyon deneylerinin ardından elde edilen bulgularda deneysel çalışmalarda kullanılan kil mineralleri için etkili koagülantlar +3 değerlikli $FeCl_3.6H_2O$ ve $Al_2(SO_4)_3.18(16)H_2O$ koagülant maddeleri olmuştur. Na-Bentonit minerali dışındaki numuneler için % 90 ın üzerinde koagülasyon verimleri elde edilmiştir. Çökelme hızları açısından bakıldığında da Na-Bentonit mineralinin verimle paralel olarak çökelme hızı değeri de oldukça düşüktür. En fazla çökelme hızı N1000 in $Al_2(SO_4)_3.18(16)H_2O$ ile koagülasyonunda hesaplanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.17. Flokülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti.

Mineraller	Kaolin	Na-Bentonit	Ca-Bentonit	Na,Ca-Bentonit (N999)	Na,Ca-Bentonit (N1000)
Etkili Flokülant	A150	A150	A150	A150	A150
Optimum dozaj (mg/L)	1,25	15	1,25	3,75	4,375
Bulanıklık (NTU)	17,1	988	7,92	76,8	7,66
Zeta potansiyeli (mvolt)	-26,79	-47,64	-38,42	-48,98	-41,68
Verim (%)	94,32	81,70	98,75	95,38	89,65
İletkenlik	752	145	990	1197	2039
pH	7,1	9,15	8,67	9,34	8,82
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	58,16	0,47	47,20	28,29	47,16

Flokülasyon deneylerinin ardından elde dilen bulgularda deneysel çalışmalarda kullanılan kil mineralleri için etkili flokülant Anyonik (A150) flokülant olmuştur. Na-Bentonit minerali dışındaki numuneler için % 90 ın üzerinde flokülasyon verimleri elde edilmiştir. Na-Bentonit için ise verim % 81,70 dir. Çökelme hızları açısından bakıldığında da Na-Bentonit mineralinin verimle paralel olarak çökelme hızı değeri de oldukça düşüktür. En fazla çökelme hızı ise kaolin mineralinin Anyonik (A150) flokülantı ile flokülasyonunda görülmüştür. (Çizelge 4.17).

Koagülasyon ve flokülasyon işlemlerinde bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farkların başında deney sonlarında gözlemlenen flok boyutları gelmektedir. Flokülasyon işlemi sonunda çöken malzemenin flok boyutu koagülasyon işlemi sonunda çöken malzemenin flok boyutundan hep daha büyük olmuştur (Şekil 4.44). Ayrıca flokülasyon sonunda hesaplanan çökelme hızları koagülasyon sonunda hesaplanan çökelme hızlarından büyük çıkmıştır.



Şekil 4.44. Süspansiyonların koagülasyon ve flokülasyonu esnasında alınan fotoğraf (soldaki koagülasyon sağdaki flokülasyon işlemidir).

Çizelge 4.18. Koagülasyon, Flokülasyon ve Koagülasyon+Flokülasyon deneyleri sonunda elde edilen verilerin özeti.

Mineraller	**Na-Bentonit K**	**Na-Bentonit F**	**Na-Bentonit K+F**	**Na, Ca-Bentonit (N999) K**	**Na, Ca-Bentonit (N999) F**	**Na, Ca-Bentonit (N999) K+F**
Etkili Kimyasal	$FeCl_3.6H_2O$	A150	NaCl+A150	$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$	A150	NaCl+A150
Optimum dozaj (mg/L)	750	15	10	125	3,75	3,75
Bulanıklık (NTU)	4220	988	373	95	76,8	51,8
Zeta potansiyeli (mvolt)	-35,28	-47,64	-46,4	-32,98	-48,98	-47,46
Verim (%)	21,85	81,70	93,09	94,29	95,38	96,89
İletkenlik	181	145	163	1389	1197	1305
pH	9,47	9,15	9,47	8,45	9,34	8,9
Ort. Çökelme hızı (mm/dk)	0,16	0,47	0,94	1,05	28,29	39,3

K: Koagülasyon F: Flokülasyon K+F: Koagülasyon+Flokülasyon

Na-Bentonit minerali süspansiyonunun koagülasyonunda optimum olarak 750 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ için % 21,85 koagülasyon verimi, flokülasyonunda 15 mg/L A150 için % 81,70 flokülasyon verimi, koagülasyon+flokülasyonunda ise 125 mg/L NaCl üzerine 10 mg/L A150 için sedimantasyon verimi % 93,09 olmuştur. Matematiksel veriler karşılaştırılacak olursa 125 mg/L koagülant + 10 mg/L flokülant kullanılarak verim değeri

% 11,39 artmıştır. Burada kimyasal sarfiyatı A150 için 5 mg/L azalmasına karşın verim değeri artmıştır (Çizelge 4.18).

Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999) minerali süspansiyonunun koagülasyonunda optimum olarak 125 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ için % 94,29 koagülasyon verimi, flokülasyonunda 3,75 mg/L A150 için % 95,38 flokülasyon verimi, koagülasyon+flokülasyonunda ise 12,5 mg/L NaCl üzerine 3,75 mg/L A150 için sedimantasyon verimi % 96,89 olmuştur. Matematiksel veriler karşılaştırılacak olursa 12,5 mg/L koagülant + 10 mg/L flokülant kullanılarak verim değeri % 1,51 artırılmıştır. Burada kimyasal sarfiyatı A150 için aynı olmasına karşın verim değeri artmıştır (Çizelge 4.18).

Koagülasyon+flokülasyon ve dual flokülasyon işlemleri sonunda özellikle Na-Bentonit minerali için etkileyici sonuçlar bulunmuştur. Bu işlem sonunda başlangıç bulanıklık değeri çok çok yüksek olan (5400 NTU) bulanıklık değeri 373 NTU' ya düşürülebilmiştir. Yine aynı şekilde başlangıç bulanıklık değeri yüksek olan (1664 NTU) N999 mineralinde son bulanıklık 51,80 NTU' ya düşürülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Kil mineralleri süspansiyonlarının bulanıklığının fiziko-kimyasal yöntemlerle giderilmesi için yürütülen bu tez çalışmasında aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

Koagülasyon deneylerinde $Al_2(SO_4)_3.18(16)H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$, NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ ile çalışılmış ve koagülasyon da en iyi verimleri $FeCl_3.6H_2O$ ve $Al_2(SO_4)_3.18(16)H_2O$ koagülantları vermiştir. Bu koagülantlar zeta potansiyelini diğer koagülantlara göre daha fazla sıfıra yaklaştırarak ve mutlak değerce düşük değerler vererek bulanıklık giderim verimini artırmışlardır. Koagülasyon deneylerinde en yüksek koagülasyon verimini sağlayan koagülant ve bu koagülanta ait koagülasyon verimi, bulanıklık değeri verileri aşağıda sunulmuştur.

Kaolin	$FeCl_3.6H_2O$	% 91,06	26,90 NTU
Na-Bentonit	$FeCl_3.6H_2O$	% 21,85	4220 NTU
Ca-Bentonit	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	% 94,91	32,30 NTU
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999)	$Al_2(SO_4)_3.16H_2O$	% 94,29	95 NTU
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000)	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	% 92,43	5,60 NTU' dur.

Flokülasyon deneylerinde anyonik (A150), katyonik (C521) ve noniyonik (N100) flokülantlar ile çalışılmış ve flokülasyon da en iyi verimleri anyonik (A150) flokülantları vermiştir. Flokülasyon deneylerinde en yüksek flokülasyon verimini sağlayan flokülant ve bu flokülanta ait flokülasyon verimi, bulanıklık değeri verileri aşağıda sunulmuştur.

Kaolin	A150	% 94,32	17,10 NTU
Na-Bentonit	A150	% 81,70	988 NTU
Ca-Bentonit	A150	% 98,75	7,92 NTU
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999)	A150	% 95,38	76,80 NTU
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N1000)	A150	% 89,65	7,66 NTU' dur.

Flokülasyon deneylerinde anyonik flokülantların en iyi performansları göstermesinin nedeni flokülasyon mekanizmasında etkili olan tanelerin salkımlaşarak biraraya gelmesini sağlayan polimer köprüleme mekanizmasıdır. Flokülasyon deneylerinde ölçülen mutlak değerce büyük zeta potansiyeli değerleri de bunu desteklemektedir.

Koagülasyon+Flokülasyon deneylerinde koagülasyon ve flokülasyon çalışmalarında başarı elde edilemeyen iki kil mineralleri ile (Na-Bentonit, Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999)) çalışılmıştır. Deneylerde $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$+A150, $FeCl_3.6H_2O$+A150, NaCl+A150, $MgCl_2$+A150, $CaCl_2$+A150 ve katyonik C521+A150 kimyasalları ile

çalışılmış ve koagülasyon+flokülasyon, dual flokülasyonda en iyi verimleri NaCl+A150 kimyasalları vermiştir. Koagülasyon+Flokülasyon deneylerinde en yüksek flokülasyon verimini sağlayan kimyasallar ve bu kimyasallara ait flokülasyon verimi, bulanıklık değeri verileri aşağıda sunulmuştur.

Na-Bentonit	NaCl+A150	% 93,09	373 NTU
Ara tip (Na, Ca) bentonit (N999)	NaCl+A150	% 96,89	51,80 NTU'dur.

Deneylerde kullanılan koagülantlar süspansiyonların doğal hallerini flokülantlara göre daha fazla etkilemektedirler. Koaülantlar süspansiyonların iletkenlik pH değerleri pozitif veya negatif yönde etkilemişlerdir.

Kil mineralleri üzerine yapılan bu tez çalışması sonunda uygulanan kimyasal çöktürme yöntemlerinde % 90 ın üzerinde askıda katı madde giderimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu giderim verimleri hem çevre hem de ekonomik açıdan önem arz etmektedir.

5.2. Öneriler

Cevher hazırlama tesisleri zenginleştirme işlemlerini genelde su ile yapmaktadırlar. Ayrıca yan kayaç olarak kil minerallerine sahip cevherlerin zenginleştirilmesi işlemlerinde açığa çıkan artık suyun içinde bulunmalarından dolayı kil minerallerinin çökelme karakterisitikleri oldukça önemlidir. Su temini ise gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bu yüzden tesisler için suyun önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu problemler doğrultusunda yapılan bu tez çalışmasında süspansiyon içerisinde kendi kendilerine çökelemeyen bu kil taneleri için farklı çökeltme (koagülasyon, flokülasyon ve koagülasyon+flokülasyon) yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerde en iyi sonuçları flokülasyon ve koagülasyon+flokülasyon yöntemleri vermiştir. Hem bu yöntemlerde sarfedilen kimyasal madde miktarı diğer yöntemlere göre daha az olmuştur.

Su kaynaklarının her geçen gün azalması ve buna bağlı olarak su temin maliyetlerinin artmasına karşı tesis içinde kullanılan suyun geri kazanılması ekonomik bir şekilde gerçekleşmelidir. Ayrıca dünyadaki büyük küresel tesislerde yaygınlaşan ve gelecekte çok daha etkin bir hal alacak olan tesislerdeki sıfır (0) atık uygulamasına katkı sağlamak adına tesisde kullanılan suyun geri kazanılıp tekrar tekrar kullanılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Akın, Y. ve M. S. Çelik. 1995, Montmorillonit Tipi Killerin Elektrokinetik Davranışı, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*:135-142.

Alkan, M., Ö. Demirbaş ve M. Doğan. 2005, Electrokinetic Properties Of Kaolinite In Mono And Multivalent Electrolyte Solutions, *Microporous and Mesoporous Materials* (83):51-59.

Alptekin, A., M., . 2006, "Doğal Taş Atıksularının Flokülasyon/Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılması." Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi (93).

Atesok, G., P. Somasundaran ve L. J. Morgan. 1988, Charge Effects in the Adsorption of Polyacrylamides on Sodium Kaolinite and Its Flocculation, *Powder Technology* 54 (2):77-83.

Bentli. 2010, Kömür Lavvar Tesisi Atıkların Flokülasyonunda İnorganik Elektrolitlerin Etkisi, *Ekoloji Dergisi* 19 (76):71-77.

Besra, L., D. K. Sengupta, S. K. Roy ve P. Ay. 2004, Influence of polymer adsorption and conformation on flocculation and dewatering of kaolin suspension, *Separation and Purification Technology* 37 (3):231-246.

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

Chen, Y., S. Liu ve G. Wang. 2007, A Kinetic İnvestigation Of Cationic Starch Adsorption And Flocculation İn Kaolin Suspension, *Chemical Engineering* 133:325-333.

Cristiane O., Nádya P. S. ve Jorge R. 2010, Polymer Structural And Surface Charge Characterızatıon On Partıcles Flocculatıon, *7th International Symposium on Natural Polymers and Composites*:1-6.

Çırak, M. 2010, "Kırka Tinkal Cevher Yatağından Alınan İki Farklı Kil Örneğinin Flokülasyon Davranışları." Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ (132).

Duman ve S Tunç. 2009, Electrokinetic and rheological properties of Na-bentonite in some electrolyte solutions, *Microporous and Mesoporous Materials* (117):331-338.

Ersoy, B., A. Alptekin, A. Sanışık ve S. Gürcan. 2005, Doğal Taş İşleme Tesis Atıksularından Bulanıklığın Giderilmesinde Farklı Yöntemlerin ve Farklı Koagülantların Etkisi, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*:117-125.

Ersoy, B. ve M.S. Çelik. 2002, Electrokinetic properties of clinoptilolite with mono-and multivalent electrolytes, *Microporous and Mesoporous Materials* (55):305-312.

Ethem, M. Y. 1999, Flokülasyon Tekniği ve Günümüzdeki Önemi *Madencilik Dergisi* 14 (3):21-28.

Gregory, J. 1985, The use of polymeric flocculants. Proc. of the Engineering Foundation Conference on Flocculation, Sedimentation and Consolidation, *American Institute of Chemical Engineers*:125-137.

Güler, Ç. ve N. Böke. Kaolinin Flokülasyonu:53-58.

Hogg, R. . 2000, Flocculation and Dewatering, *Int. J. Miner. Process* (58):223-236.

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

Hollander, A. F. ve P. Somasundaran. 1981, "Adsorption of Polyacrylamide and Sulfonated Polyacrylamide on Na-kaolinite." Master, Columbia University (211).

Hu, Y., X. Liu ve ZH. Xu. 2003, Role Of Crystal Structure in Flotation Seperation Of Diaspore From Kaolinite Pyrophyllite and İllite, *Mineral Enginering* 16 (3):219-227.

Hunter, T.K. ve M.J. Pearse. 1982, The Use of Flocculants and Surfactants for Dewatering in the Mineral Processing Industry, *XIV. Int. Mineral Proc. Cong*.

Kım, H.S., C. Lamarche ve A. Verdıer. 2003, Flocculatıon Of Bentonıte By Non Ionıc Polyelectrolyte :Influence Of Catıons, *Chemical Engineering*:101-113.

Kosmulski, M. ve P. Dahlsten. 2006, High Ionic Strength Elektrokinetics Of Clay Minerals *Colloids and Surfaces* 291 (1-3):212-218.

Köroğlu, Ç. 2007, "Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) Yöresi Seramik Killerinin Malzeme Özelliklerinin Araştırılması." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ (111).

Küçükçelebi, H. 1990, "Ilgın Harami (Konya) Kömür Yatağı Killerinin Kristal Fiziği Yönünden İncelenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi (66).

Lagaly, G. ve S. Ziesmer. 2003, Colloid Chemistry Of Clay Minerals: The Coagulation Of Montmorillonite Dispersions, Advances İn Colloid And Interface Science, *Elsevier Science* 100 (102):105-128.

Malayoğlu, U. ve A. Akar. 1995, Killerin Sınıflandırılmasında Ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi., *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*:125-133.

Mensah, J. 2007, Enhanced flocculation and dewatering of clay mineral dispersions, *Powder Technology* 179 (1-2):73-78.

Mpofu, P., J. Mensah ve J. Ralston. 2003, Flocculation And Dewatering Behaviour Of Smectite Dispersions: Effect Of Polymer Structure Type, Minerals Engineering, *Elsevier Science* 17:411-423.

Nasser, M. S. ve A.E. James. 2006, The effect of polyacrylamide charge density and molecular weight on the flocculation and sedimentation behaviour of kaolinite suspensions, *Separation and Purification Technology* (52):241-252.

Owen, A.T., P.D. Fawell, J.D. Swift ve J.B. Farrow. 2002, The İmpact Of Polyacrylamide Flocculant Solution Age On Flocculation Performance, *Elsevier Science* 67:123-144.

Önal, G., M. Özer ve F. Arslan. 2003, Sedimentation of Clay in Ultrasonic Medium Minerals Engineering, (16):129-134.

Özer, M. 2002, "Ultrasonik Titreşimin Kil Çöktürmesinde Etkisinin İncelenmesi ve Klasik Çöktürme Yöntemleri İle Karşılaştırılmasıs." Fen Bilimleri Enstitüsü (96).

Özmetin. 2009, İllit Mineralinin Elektrokinetik Özelliklerinin Belirlenmesi, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi* 1 (11):12.

Özyiğit, S. 2010, "Konya-Ilgın Kadınhanı Bölgesi Killerinden Yapı Tuğlası Üretiminin Araştırılması." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi (61).

Patience, M., J. Addai-Menash ve J. Ralston. 2003, Investigation of the effect of polymer type on flocculation, rheology and dewatering behaviour of kaolinite dispersions, *Int. J. Miner. Process* (71):247-268.

Pierre, A.C. ve K. Ma. 1997, Sedimantation Behaviour Of Kaolinite And Montmorillonit Mixed With Iron Additives, As A Function Of Their Zeta Potantial, *Mat. Sci* (32):2937-2947.

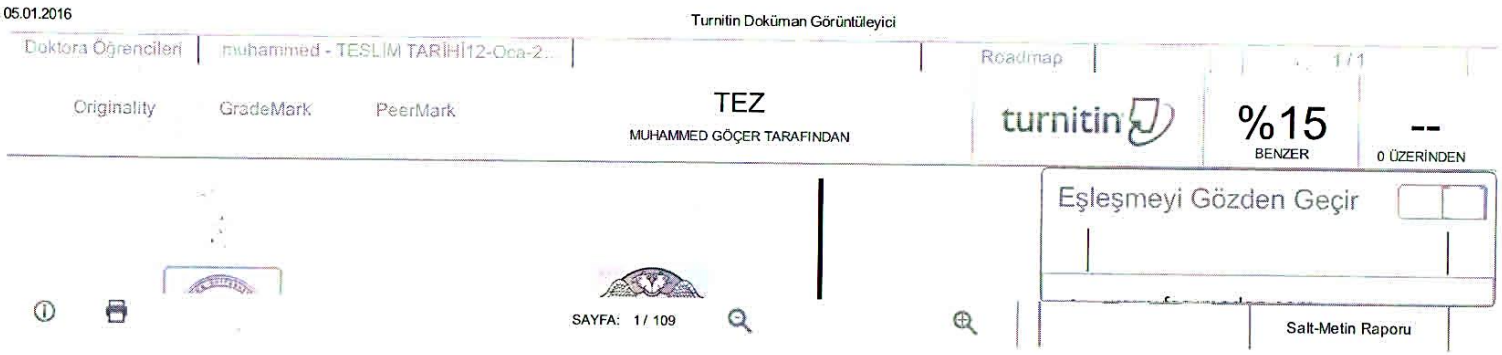
Savaş, H. 2000, "Toprak Dolgu Barajlarda Kullanılan Yüksek Plastisiteli Killerin Dispersibilite Özelliğinin Belirlenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, OÜ (60).

Tanışan, H. H. ve Z. Mete. 1988, *Seramik Teknolojisi ve Uygulaması*. Vol. 51: Söğüt Matbaası.

Tunçay, N. Ö. 2006, "Karışım Ve Taşıma Maliyetlerinin Minimizasyonunda Doğrusal Programlamanın Kullanılması Ve Bir Maden İşletmesi İçin Uygulama Çalışması." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi (96).

Yükselen, Y. ve A. Kaya. 2003, Zeta Potantıal Of Kaolinite In The Presence Of Alkali, Alkaline Earth And Hydrolzable Metalions, *Water, Air and Soil Pollution* 145:155-168.

Zadaka, D., A. Radian ve Y.G. Mishael. 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.


Doktora Öğrencileri
muhammed - TESLİM TARİHİ12-Oca-2..
Roadmap
1 / 1
Originality
GradeMark
PeerMark
TEZ
MUHAMMED GÖÇER TARAFINDAN
turnitin
%15
BENZER
--
0 ÜZERİNDEN
Eşleşmeyi Gözden Geçir
SAYFA: 1 / 109
Salt-Metin Raporu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Muhammed GÖÇER
Uyruğu	**:**	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Meram 12/06/1989
Telefon	**:**	0 506 903 80 56
Faks :		
e-mail :		gocermuhammed@gmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise :	**CEMIL KELEŞOĞLU, Karatay, KONYA**	**2006**
Üniversite :	**SELÇUK, Selçuklu, KONYA**	**2012**
Üniversite :	**SELÇUK, Selçuklu, KONYA**	**2014**
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Kucukcongar, S., Gocer, M., 2014, The Removal Of Reactıve Dye From Aqueous Solutıons By Natural Zeolıte - *4th International Conference Of Ecosystems (Ice2014)* At Tirana, Albania, May 23-26.

Gocer, M., Onen V., 2015, Coagulation and Flocculation of (Na, Ca)- Bentonite Suspensions - *9th International Industrial Minerals Symposium* At İzmir, Türkiye, May 14-15. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Kucukcongar, S., Oden, M. K., Gocer M., 2015, Removal of Reactive Red 141 from Aqueous Solutions Using Sodium Bentonite with Adsorption Mechanism - *The Role of Business in Sustainable Development in the Western Balkans (MISIC2015)* At Pristina and Mitrovica, September 15-16.