
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

BORAKS ÜRÜNLERİNİN ÜRETİMİNDE FARKLI FLOKÜLANTLARIN KULLANIMININ İNCELENMESİ

Sinem ERDEMİR GURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sinem ERDEMİR GURAN

09/01/2024

BORAKS ÜRÜNLERİNİN ÜRETİMİNDE FARKLI FLOKÜLANTLARIN KULLANIMININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sinem ERDEMİR GURAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Boraks ürünleri üretim prosesinin flokülasyon aşamasında yurt dışından temin edilen flokülantlar kullanılmaktadır. Proseste flokülantların tüketim miktarı oldukça fazladır. Dolayısıyla bu durum bizi dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu sebeple ülkemizde yerli flokülant üretimi önem arz etmektedir. Bu ihtiyaca yönelik, proseste farklı flokülantların kullanımı iki farklı deneysel çalışma ile incelenmiş proses için uygun flokülant özellikleri ve laboratuvar ortamında sentez sonrası flokülant ile deneysel çalışma koşulları belirlenmiştir. Birinci aşamadaki deneyler için flokülant ilavesi öncesi prosesten süspansiyon numuneleri temin edilmiştir. İkinci aşamadaki deneyler için tüvenan tinkal cevheri temin edilmiştir. İlk olarak numunelerin yüzey yükü ölçümleri gerçekleştirilmiş olup minerolojik ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Sonrasında sıvı ve katı numuneler hazırlanarak proses koşullarını sağlayacak şekilde flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı özelliklere sahip anyonik, katyonik, non-iyonik flokülantlar kullanılmıştır. İki aşamalı deney sonuçları, flokülasyon sonrası elde edilen çökelme hızı ve üst akım bulanıklık verilerine göre değerlendirilmiştir. Deneyler kapsamında; flokülant tipi, dozajı, yük yoğunluğu, molekül ağırlığı, süspansiyon karışma hızı ve süresi, karıştırıcı seviyesi, süspansiyon katı yoğunluğu gibi parametrelerin flokülasyona etkisi incelenmiştir. Flokülasyon deneylerinde laboratuvarda gerçekleşen flokülasyon deneylerinde 800 ml'lik süspansiyonlar için farklı dozajlarda flokülant ilavesi gerçekleştirilmiş olup, en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri yüksek molekül ağırlığına ve düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) ile optimum flokülant dozajında (2 mg/L) elde edilmiştir. Flokülasyonda süspansiyonun optimum karıştırma hızı 150 rpm, optimum karışma süresi ise 1 dakika olarak belirlenmiştir. Flokülant besleme metodu etkisini görmek amacıyla karıştırıcı seviyesi üç farklı seviyede olacak şekilde deneyler yapılmış olup 1.Seviye'de en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri elde edilmiştir. Katı yoğunluğunun etkisini görmek amacıyla hazırlanan süspansiyonlar ile gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde, süspansiyon katı yoğunluğu arttıkça optimum flokülant dozajı miktarında artış görülmüştür. Katı yoğunluğu %10 ve %13 iken optimum flokülant dozajı 2 mg/L, katı yoğunluğu %17 ve %19 olduğunda ise 3 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda proses için uygun flokülant özellikleri ve proses için flokülant sentezlenmesi halinde bu flokülant ile laboratuvar ortamında çalışma koşulları belirlenmiştir.

Bilim Kodu	:	91204
Anahtar Kelimeler	:	Flokülasyon, bulanıklık, çökelme hızı, flokülant, optimum dozaj, boraks
Sayfa Adedi	:	126
Danışman	:	Prof. Dr. Fatih AKKURT

EXAMINATION OF THE USE OF DIFFERENT FLOCCULANTS IN THE PRODUCTION OF BORAX PRODUCTS

(M. Sc. Thesis)

Sinem ERDEMİR GURAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

Flocculants supplied from abroad are used in the flocculation stage of the production process of borax products. The consumption amount of flocculants in the process is quite high. Therefore, this situation makes us dependent on foreign countries. Therefore, domestic flocculant production is important in our country. In order to address this need, the use of different flocculants in the process was investigated with two different experimental studies and the appropriate flocculant properties for the process and the experimental working conditions with the flocculant after synthesis in the laboratory environment were determined. For the first stage experiments, suspension samples were obtained from the process before flocculant addition. For the second stage experiments, raw tincal ore was obtained. Firstly, surface charge measurements of the samples were performed and mineralogical and chemical analyses were carried out. Afterwards, liquid and solid samples were prepared and flocculation experiments were carried out to ensure the process conditions. Anionic, cationic and non-ionic flocculants with different properties were used in the experiments. The results of the two-stage experiment were evaluated according to the sedimentation rate and upstream turbidity data obtained after flocculation. Within the scope of the experiments; the effect of parameters such as flocculant type, dosage, load density, moleculer weight, suspension mixing speed and time, agitator level, suspension solid density on flocculation was investigated. In the flocculation experiments carried out in the laboratory, different dosages of flocculants were added for 800 ml suspensions and the best turbidity and settling velocity data were obtained at the optimum flocculant dosage (2 mg/L) with anionic flocculant (AN 905 VHM) with high molecular weight and low charge density. The optimum mixing speed of the flocculation suspension was determined as 150 rpm and the optimum mixing time was determined as 1 minute. In order to see the effect of flocculant feeding method, experiments were carried out with three different levels of agitator level and the best turbidity and settling velocity data were obtained at Level 1. In the flocculation experiments carried out with the suspensions prepared to see the effect of solid density, an increase in the optimum flocculant dosage amount was observed as the suspension solid density increased. The optimum flocculant dosage was determined as 2 mg/L when the solid density was 10% and 13%, and 3 mg/L when the solid density was 17% and 19%. As a result of the studies, suitable flocculant properties for the process and the working conditions in the laboratory environment with this flocculant were determined if the flocculant is synthesized for the process.

Science Code	:	91204
Key Words	:	Flocculation, turbidity, sedimentation rate, flocculant, optimum dosage, borax
Page Number	:	126
Supervisor	:	Prof. Dr. Fatih AKKURT

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü konuda bana destek olan, çalışmalarımın her aşamasında bana yol gösteren, deneyimlerinden ve bilgi birikiminden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Fatih AKKURT'a teşekkür ederim. Yüksek Lisans tez çalışmam kapsamında gerekli deneyleri ve analizleri bünyesinde gerçekleştirmiş olduğum Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu- Bor Araştırma Enstitüsüne teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım süresince desteğini ve yardımını esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşlarım; Esra BABÜR'e, Emre ÖKSÜZ'e, Kerem USLU'ya, Nasibe ARSLAN'a ve Resul BİBEROĞLU'na teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında yanımda olan, desteğini, sevgisini ve yardımını esirgemeyen, tüm sıkıntılarımı birlikte aştığımız annem Nejla ERDEMİR'e ve babam Yusuf ERDEMİR'e teşekkür ederim. Son olarak; sevgili eşim Emre GURAN' a teşekkür ediyor ve hazırlamış olduğum bu çalışmayı kızım Elif GURAN'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET…….. iv

ABSTRACT…… v

TEŞEKKÜR…… vi

İÇİNDEKİLER……. vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……. x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……... xiv

RESİMLERİN LİSTESİ……... xviii

SİMGELER VE KISALTMALAR……. xv

1. GİRİŞ…… 1

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI……... 5

2.1. Bor Elementi…… 5

2.2. Bor Mineralleri……. 6

2.3. Türkiye'de Bor……. 7

2.4. Boraks Ürünleri Üretim Prosesi……..... 8

2.5. Flokülasyon……..... 8

2.6. Flokülant Türleri……. 9

2.6.1. Kaynağına göre flokülantlar……..... 9

2.6.2. İyonizasyon durumuna göre flokülantlar…….. 10

2.6.3. Molekül ağırlığına göre flokülantlar……..... 12

2.7. Flokülasyon Mekanizmaları…… 12

2.7.1. Polimer köprü oluşumu mekanizması…….. 13

2.7.2. Elektrostatik yük yamama mekanizması…….. 14

Sayfa

2.8. Flokülasyona Etki Eden Parametreler……..….... 15

2.8.1. Flokülant tipi……..…….... 15

2.8.2. Flokülant molekül ağırlığı…… 15

2.8.3. Flokülant dozajı……...……. 15

2.8.4. Süspansiyonun pH'ı ve sıcaklığı……...…... 17

2.8.6. Tanecik boyutu ve pülp yoğunluğu……...…... 18

2.8.7. Flokülant besleme metodu…..…….. 18

2.9. Literatür Araştırması……... 18

3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM…… 25

3.1. Kullanılan Malzemeler…… 25

3.1.1. Flokülantlar……... 25

3.1.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen sıvı numuneler….…… 25

3.1.3. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen katı numuneler….…… 26

3.2. Deneysel Yöntem…… 26

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR…….. 35

4.1. Prosesten Alınan Numunelerin Kimyasal Analizi ve Karakterizasyonu…… 35

4.1.1. Kimyasal analiz değerleri……..... 35

4.1.2. X-Işınları difraktometre (XRD) analiz sonuçları…….. 35

4.1.3. Zeta potansiyel ölçüm değerleri……... 38

4.2. Temin Edilen Flokülantların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi……. 40

4.3. Prosesten Alınan Süspansiyon Numuneleri ile Gerçekleştirilen Flokülasyon Deneyleri……..……..……. 42

4.3.1. Flokülant türü ve miktarının flokülasyona etkisi…….. 42

4.3.2. Flokülant molekül ağırlığının flokülasyona etkisi…… 45

4.3.3. Flokülant yük yoğunluğunun flokülasyona etkisi…… 48

Sayfa

4.3.4. Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisi……..... 56

4.3.5. Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisi…….. 61

4.3.6. Karıştırıcı seviyesinin flokülasyona etkisi……... 66

4.4. Prosesten Alınan Katı Numuneler ile Hazırlanan Süspansiyonun Flokülasyon Deneyleri……..……... 68

4.4.1. Flokülant türü ve miktarının flokülasyona etkisi…….. 68

4.4.2. Flokülant molekül ağırlığının flokülasyona etkisi……..... 71

4.4.3. Flokülant yük yoğunluğunun flokülasyona etkisi……..... 72

4.4.4. Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisi……..... 79

4.4.5. Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisi…….. 80

4.4.6. Karıştırıcı seviyesinin flokülasyona etkisi…… 82

4.4.7. Süspansiyon katı yoğunluğunun flokülasyona etkisi…… 84

5. SONUÇ VE ÖNERİLER…..……. 91

KAYNAKLAR……... 95

EKLER…… 101

ÖZGEÇMİŞ…….. 126

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Bor elementinin atomik yapısı…… 5

Çizelge 2.2. Bor elementinin kimyasal özellikleri…….. 5

Çizelge 2.3. Bor elementinin fiziksel özellikleri……. 6

Çizelge 2.4. Ticari bor mineralleri…….……. 7

Çizelge 2.5. Eti maden rezerv miktarları……..... 7

Çizelge 2.6. Flokülantların molekül ağırlığına göre sınıflandırılması……..... 12

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan flokülantlar ve özellikleri...……... 25

Çizelge 4.1. Sıvı (süspansiyon) numunenin kimyasal analiz değerleri……... 35

Çizelge 4.2. Katı (tüvenan tinkal) numunenin kimyasal analiz değerleri……...…… 35

Çizelge 4.3. Prosesten temin edilen süspansiyon içeriğinin kristal boyutu değerleri…. 36

Çizelge 4.4. Prosesten temin edilen katı numune içeriğinin kristal boyutu değerleri… 37

Çizelge 4.5. Boraks içermeyen sıvı numunenin pH'a bağlı yüzey yükü değerleri...….. 38

Çizelge 4.6. Boraks içermeyen katı numunenin pH'a bağlı yüzey yükü değerleri...….. 39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Tüvenan tinkalden boraks ürünleri üretim prosesi akım şeması……. 8

Şekil 2.2. Flokülasyon mekanizmasının gösterimi…….. 9

Şekil 2.3. Poliakrilamid esaslı non-iyonik flokülantın kimyasal yapısı……...…….. 10

.

Şekil 2.4. Poliakrilamid esaslı anyonik flokülantın kimyasal yapısı...…… 11

Şekil 2.5. Poliakrilamid esaslı katyonik flokülantın kimyasal yapısı...…….. 12

Şekil 2.6. Polimer köprü oluşumu ile flokülasyon mekanizmasının gösterimi..…… 13

Şekil 2.7. Elektrostatik yük yamama ile flokülasyon mekanizmasının gösterimi...…... 14

Şekil 2.8. Anyoniklik derecesine göre flokülant yapısı..…….…... 15

Şekil 2.9. Polimer miktarına göre flokülasyon verimi değişimi…...…….. 16

Şekil 2.10. Fazla flokülant ilavesiyle katı tanelerin disperse olması (flokülantların sterik engeli)……..……... 16

Şekil 4.1. Prosesten temin edilen süspansiyon numunesinin XRD analizi……. 36

Şekil 4.2. Tüvenan tinkal numunesinin XRD analizi…….. 37

Şekil 4.3. Flokülantların yapısal içeriği……...……... 40

Şekil 4.4. Anyonik flokülantın FTIR spektrumu……. 40

Şekil 4.5. Non-iyonik flokülantın FTIR spektrumu...……. 41

Şekil 4.6. Katyonik flokülantın FTIR spektrumu…… 41

Şekil 4.7. Flokülant türünün bulanıklığa etkisi……...…… 42

Şekil 4.8. Flokülant türünün çökelme hızına etkisi……. 43

Şekil 4.9. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi…...……. 45

Şekil 4.10. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının çökelme hızına etkisi...……. 46

Şekil 4.11. Flokülant (non-iyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi…….. 47

Şekil 4.12. Flokülant (non-iyonik) molekül ağırlığının çökelme hızına etkisi...…… 47

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.13. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi……..……..……..……... 49

Şekil 4.14. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……..…….. 50

Şekil 4.15. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi……...……...…… 51

Şekil 4.16. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……...……..….. 52

Şekil 4.17. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi……...…… 53

Şekil 4.18. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……...…… 54

Şekil 4.19. Flokülant (katyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi…….. 55

Şekil 4.20. Flokülant (katyonik) yük yoğunluğunun çökelme hzına etkisi……. 55

Şekil 4.21. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi…..……..... 56

Şekil 4.22. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi……..…… 57

Şekil 4.23. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi...……..……... 58

Şekil 4.24. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi……..… 59

Şekil 4.25. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi…...……..…….. 60

Şekil 4.26. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi……..…… 60

Şekil 4.27. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi……...…..…… 62

Şekil 4.28. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi……..……. 62

Şekil 4.29. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi…...……..…… 63

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.30. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi……..……. 64

Şekil 4.31. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi...……..…… 64

Şekil 4.32. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi……..……. 65

Şekil 4.33. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa etkisi……...…….…... 67

Şekil 4.34. Karıştırıcı seviyesinin çökelme hızına etkisi…...……. 67

Şekil 4.35. Flokülant türü ve miktarının bulanıklığa etkisi……. 69

Şekil 4.36. Flokülant türü ve miktarının çökelme hızına etkisi…...……... 70

Şekil 4.37. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi…...……... 71

Şekil 4.38. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının çokelme hızına etkisi...…….…… 72

Şekil 4.39. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi……...…… 73

Şekil 4.40. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……..……..……...… 74

Şekil 4.41. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi……..…… 75

Şekil 4.42. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……...…… 76

Şekil 4.43. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi…….……..…… 77

Şekil 4.44. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi……...…… 78

Şekil 4.45. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi…… 79

Şekil 4.46. Süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi…….. 80

Şekil 4.47. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi……. 81

Şekil 4.48. Süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi……...……... 81

Şekil 4.49. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa etkisi……... 82

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.50. Karıştırıcı seviyesinin çökelme hızına etkisi..……. 83

Şekil 4.51. Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi…...…… 84

Şekil 4.52. Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi..... 85

Şekil 4.53. Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi…..... 86

Şekil 4.54. Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi...….. 87

Şekil 4.55. Anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi...…..…. 88

Şekil 4.56. Anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi…..... 89

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Deneylerde numuneyi ısıtmak için kullanılan reaktörler……..…….. 27

Resim 3.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen tüvenan tinkal numunesi.. 27

Resim 3.3. Isıtıcı ve karıştırıcı yardımıyla süspansiyon hazırlanması…...……. 28

Resim 3.4. Hazırlanan anyonik, non-iyonik ve katyonik flokülant çözeltileri...…… 28

Resim 3.5. Jar test cihazı (Flokülatör)……. 29

Resim 3.6. Türbidimetre (Bulanıklık ölçer)……...……. 30

Resim 3.7. Varian/660-IR Marka FT-IR cihazı……..… 31

Resim 3.8. Deneylerde kullanılan pHmetre……..... 31

Resim 3.9. Thermo Scientific/iCAP 7000 marka ICP-OES metal analiz cihazı……. 32

Resim 3.10. PANalytical/Epsilon 1 marka XRF cihazı...……..……. 32

Resim 3.11. PANalytical/Empreyan marka XRD cihazı…..…….……..... 33

Resim 3.12. Malvern/Zetasizer Nano ZSP marka tane boyutu ve zeta potansiyel ölçüm cihazı……..……..... 33

Resim 3.13. LECO Elementel analiz cihazı..……. 34

Resim 4.1. Karıştırıcı seviyesi gösterimi…...……. 66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Å	Angström
amp-hr	Amper saat
atm	Atmosfer
β	Beta
dk	Dakika
eV	Elektronvolt
g	Gram
J	Joule
kJ	Kilojoule
K	Kelvin
kV	Kilovolt
mA	Miliamper
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
NTU	Nepheleometric Turbidity Unit
L	Litre
Pa	Pascal
rpm	Revolutions Per Minute
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
W	Watt
°C	Celcius
°F	Fahrenheit
θ	Teta

Kısaltmalar	Açıklamalar
CaCI	Kalsiyum klorür
FT-IR	Fourier dönüşümlü infrared spektroskopi
FTR	X-Işını Floresans Spektrometresi
FWHM	Full width at half maximum
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma
KK	Kızdırma kaybı
PAM	Poliakrilamid
PolyDADMACI	Poli dialil-dimetil amonyum klorür
POE	Polietilenoksit
XRD	X-Işını Difraksiyon spektroskopisi

1. GİRİŞ

Bor madeni, dünyada ve Türkiye'de büyük öneme sahiptir. Ham madde kaynaklarının tüketilmesi, sanayi ve birçok alanda kullanıma sahip olması nedeniyle bor madenlerine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bor madenleri dünya çapında oldukça yaygın olmakla beraber, ticari bakımdan önem arz eden bor mineral yatakları belirli bölgelerde bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri Türkiye, ABD, Güney Amerika, Kazakistan, Çin ve Rusya'da yer almaktadır [1].

Ülkemiz, dünya bor rezervinin büyük bir kısmına (%73) sahiptir. Türkiye'deki bor yatakları Eskişehir-Kırka, Balıkesir-Bigadiç, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek'te yer almaktadır. Rezerv bakımından en fazla tinkal ve kolemanit mineralleri bulunmaktadır.

Bor ürünleri geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlar; cam sanayi, seramik sanayi, tarım, metalürji, nükleer uygulamalar, enerji depolama, yakıt, sağlık olarak sıralanmaktadır. Ülkemizde bor; %51 cam, %17 tarım, %14 seramik, %1 deterjan ve temizlik, %16 diğer (kimya, metalürji, tutkal, bor bileşikleri, selülozik izolasyon, böceklere karşı koruyucu, madeni yağ, çatı kaplama, alçıpan) sektörlerinde kullanılmaktadır.

Ülkemizde bor üretimi ve pazarlaması Eti Maden tarafından yapılmaktadır. Eti Madenin, ürün porföyünde birçok farklı bor ürünü bulunmaktadır. Eti Maden tarafından en çok üretimi yapılan ve satışı gerçekleşen ürünler; borik asit, boraks pentahidrat, öğütülmüş kolemanit ve boraks dekahidrattır [2].

Boraks ürünleri (borak pentahidrat ve boraks dekahidrat) önemli rafine bor ürünlerindendir. Bu ürünler ülkemizde Eskişehir-Kırka'dan eldesi sağlanan tinkal cevherinin ocaklardan alınıp fabrikalara getirilerek çözme, kilden ayırma, kristalizasyon, susuzlandırma ve kurutma işlemlerine tabi tutularak işlenmesiyle elde edilmektedir.

Kilden ayırma işlemi proses için önemli aşamalardan bir tanesidir. Bu aşamada süspansiyondaki killerin flokülant yardımıyla çöktürülmesi yani flokülasyonu sağlanmaktadır.

Flokülasyon işlemi atık su arıtma tesislerinde, içme suyu arıtma tesislerinde, madencilik endüstrisi, tekstil endüstrisi, kağıt endüstrisi, petrokimya endüstrisi, çamur susuzlaştırma üniteleri gibi çeşitli birçok proseste kullanılmaktadır.

Flokülasyon için proseslerde kullanılan flokülantlar farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Flokülantların karakterleri flokülasyon verimine etki etmektedir. Bu sebeple ayrıntılı incelenmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizde halihazırda yerli flokülant üretimi gerçekleştirilmemektedir. Proseslerde kullanılan yıllık bazdaki flokülant tüketimi, flokülantların önemini ve üretiminin gerekliliğini göstermektedir.

Çalışmanın amacı; boraks ürünleri üretim prosesindeki flokülasyona etki eden parametreleri ve flokülant niteliklerini belirleyerek, laboratuvar ortamında sentezi sonrası uygun çalışma parametrelerini ön plana çıkarmaktır.

Çalışmanın ilk bölümünde Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Penta 4 fabrikasından flokülant ilavesi öncesi çözme oluğundan alınan yüksek sıcaklıktaki süspansiyon numuneleri ile deneyler yapılmıştır. Temin edilen süspansiyon numuneleri laboratuvara getirilerek proses sıcaklığına olacak şekilde reaktörlerde ısıtılmış olup flokülasyon deneyleri için hazırlanmıştır. Çalışma parametreleri belirlendikten sonra flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Flokülant tipi, flokülant dozajı, flokülant molekül ağırlığı, flokülant yük yoğunluğu, süspansiyon karışma hızı ve süresi, flokülant besleme metodu parametreleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise tesisten temin edilen tüvenan tinkal cevher numuneleri ile proses koşullarını sağlayacak şekilde süspansiyonlar elde edilmiş, elde edilen bu süspansiyonlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, tesisten alınan tüvenan tinkal cevheri daha hızlı bir şekilde çözünmesi için belirli tane boyutuna küçültülmüştür. Elde edilen cevher numunesi ısıtıcı ve karıştırıcı yardımıyla kaynama sıcaklığındaki su ile çözünmesi sağlanarak proses sıcaklığında süspansiyon numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen süspansiyon numuneleri ile flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde de flokülant tipi, flokülant dozajı, flokülant molekül ağırlığı, flokülant yük yoğunluğu, süspansiyon karışma hızı ve süresi, flokülant besleme metodu ve katı yoğunluğu

parametreleri incelenmiştir. Proses sıcaklığı ve pH'ı numunenin kimyasal yapısını etkilediği için bu parametreler ile çalışılmamıştır.

Çalışmanın iki aşamada gerçekleşmesinin sebebi; flokülant ilavesi öncesi alınan sıvı proses numuneleri ile laboratuvar ortamında hazırlanan proses koşullarındaki numunelerin flokülasyon verilerin karşılaştırılıp benzerlik gösterip göstermediğinin belirlenmesidir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmış olup proses için uygun flokülantın nitelikleri ve deneysel çalışma parametreleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile daha önce denenmemiş olan iki farklı koşulda flokülasyon parametreleri incelenmiştir. Öngörülen flokülantın sentez sonrası proses şartlarına uygunluğunun belirlenmesi için laboratuvar çalışma koşulları oluşturulmuştur. Yerli flokülant üretiminin gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda, laboratuvar ortamında sentezlenecek olan flokülantın kısa sürede gerekli parametreler ile test edilip prosese uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen veriler kapsamında, gerçekleştirilen çalışmanın özgünlüğü proses için önem arz etmektedir.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Bor Elementi

Bor, periyodik cetvelin 3A grubunun ilk elementidir. Atom numarası 5, atom kütlesi 10,81'dir. Yarı metal yarı ametal özelliğe sahiptir. Bor elementinin beş farklı izotopu vardır. Bunlardan en kararlıları ^{10}B ve ^{11}B olanlarıdır [1]. Bor, çok sert ve ısıya dayanıklıdır. Saf element olarak bor, kimyagerler J.L. Baron L. J., Thenard Gay-Lussac ve H. Davy tarafından 1808 yılında ilk kez elde edilmiştir [2]. Kimyasal ilgisinin fazla olması sebebiyle doğada serbet halde değil, bileşikleri halinde bulunmaktadır. Borun atomik yapısı, kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bor elementinin atomik yapısı [3]

Atomik Çapı	1,17 Å
Atomik Hacmi	4,6 cm^3/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	$1s^2\ 2s^2 2p^1$
İyonik Çapı	0,23 Å
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans Elektronları	$2s^2p^1$

Çizelge 2.2. Bor elementinin kimyasal özellikleri [3]

Elektrokimyasal Eşdeğer	0,1344 g/amp-hr			
Elektronegativite (Pauling)	2,04			
Füzyon Isısı	50,2 kJ/mol			
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 8,298	İkinci: 25,154	Üçüncü: 37,93	
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190			

Çizelge 2.3. Bor elementinin fiziksel özellikleri [3]

Atomik Kütlesi	10,811	
Kaynama Noktası	4,275 K – 4,002°C – 7,236°F	
Termal Genleşme Katsayısı	0.0000083 cm/cm/°C (0°C)	
Kondüktivite	Elektriksel: 1,0E - 12 106/cm	Termal: 0,274 W/cmK
Yoğunluk:	2,34 g/cc @ 300K	
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal	
Elastik Modülü	Bulk: 320/GPa	
Atomizasyon Entalpisi	573,2 kJ/mol @ 25°C	
Füzyon Entalpisi	22,18 kJ/mol	
Buharlaşma Entalpisi	480 kJ/mole	
Sertlik	Mohs: 9,3	Vickers: 49000 MN m^2
Buharlaşma Isısı	489,7kJ/mol	
Ergime Noktası	2,573 K – 2,300°C – 4,172°F	
Molar Hacmı	4,68 cm^3/mole	
Fiziksel Durumu	(20°C & 1 atm): Katı	
Spesifik Isısı	1,02 J/gK	
Buhar Basıncı	0,348 Pa (2,300°C)	

2.2. Bor Mineralleri

Bor mineralleri içerik olarak farklı oranlarda B_2O_3 içeren bileşiklerdir. Doğada yaklaşık olarak 230'dan fazla bor minerali vardır [4]. Ticari olarak en önemli bor bileşikleri; tinkal, kernit, kolemanit, pandermit, üleksit, hidroborasit olarak belirtilmektedir. Bor lideri olarak bilinen Eti Maden; kolemanit, tinkal ve üleksit minerallerinden katma değeri yüksek ürünler elde etmektedir. Çizelge 2.4'te ticari bor mineralleri ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ticari bor mineralleri [5]

Mineral	Formül	B_2O_3 İçeriği (ağırlık olarak %)
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43
Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5
Kernit	$Na_2B_{14}O_7.4H_2O$	51
Pandermit	$Ca4B_{10}O_9.7H_2O$	49,8
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5

2.3. Türkiye'de Bor

Ülkemiz, dünya bor rezervinin büyük bir kısmına (%73) sahiptir. Türkiye'deki bor yatakları yoğun olarak Batı Anadolu bölümünde yer almaktadır. Bunlar; Kütahya (Emet), Balıkesir (Bigadiç), Eskişehir (Kırka), Bursa (Kestelek) olarak bilinen bor yataklarıdır. Ülkemizde rezerv açısından en bol olan tinkal ve kolemanit mineralleridir. Tinkal yatakları Kırka'da, kolemanit yatakları ise Emet, Kestelek ve Bigadiç'te karşımıza çıkmaktadır. Bigadiç'te kolemanit rezervlerine yanında üleksit rezervi de bulunmaktadır. Kestelek'te ise az miktarda üleksit, probertit elde edilmektedir [2]. Eti maden bor rezervleri çizelge 2.5'te verilmiştir [5].

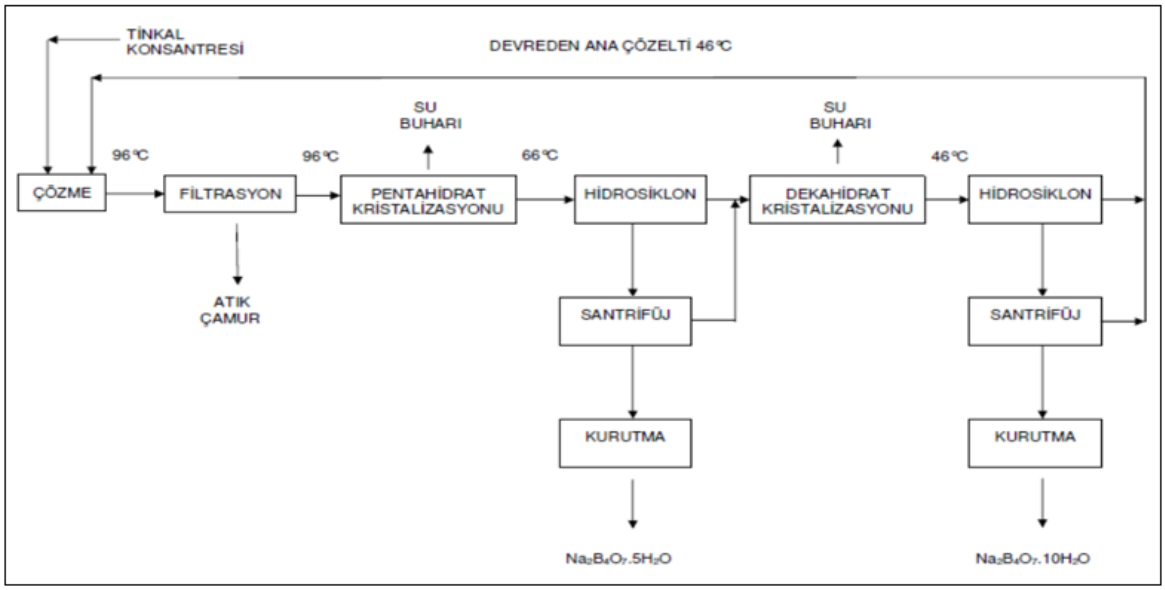
Türkiye'de bor ürünlerinin elde edilmesi, işlenmesi ve pazarlanması faaliyetleri Eti Maden tarafından yapılmaktadır. Eti Maden bünyesindeki tesislerde yoğun olarak boraks ürünleri, borik asit, çinko borat, susuz boraks vb. ürünlerin üretimi sağlanarak satışa sunulmaktadır.

Çizelge 2.5. Eti maden rezerv miktarları [5]

Havza adı	Miktar (Ton)
Emet (Kolemanit-Üleksit-Probertit)	1.803.491.939
Kırka (Tinkal)	811.468.299
Bigadiç (Kolemanit-Üleksit)	614.649.966
Kestelek (Kolemanit)	5.254.923
TOPLAM	3.234.865.128

2.4. Boraks Ürünleri Üretim Prosesi

Ülkemizde boraks ürünleri, ocaklardan çıkartılan tüvenan tinkal cevherinin işlenmesi ile elde edilmektedir. Ocaklardan çıkarılan cevher çözme oluğunda düşük B_2O_3 içerikli çözelti ile (geri besleme çözetisi) kaynama sıcaklığında çözme işlemine tabi tutulur. Çözme işleminin ardından süspansiyondaki kil ve benzeri safsızlıkların flokülant kullanılarak çöktürülmesi sağlanır. Elde edilen berrak çözelti kristalizatöre beslenerek kristalizasyon gerçekleştirilir. Kristalizasyon sonucu elde edilen kristaller santrifüj edilerek nemin uzaklaşması için kurutma işlemi uygulanır. Şekil 2.1'de boraks ürünleri üretim prosesi akış diyagramı verilmiştir.



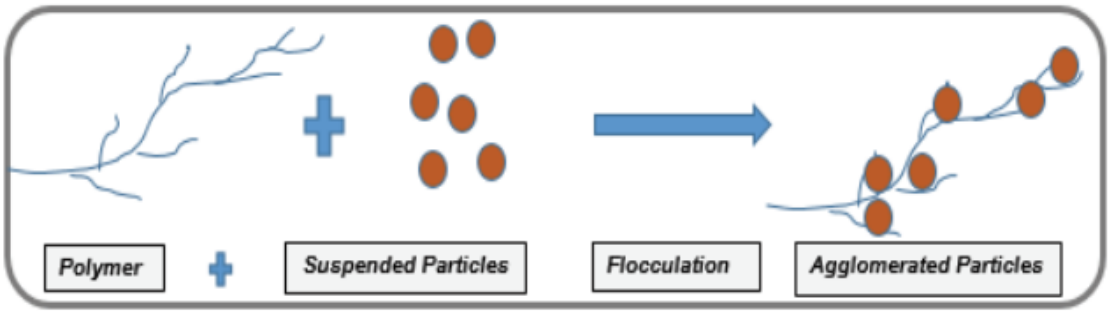
Şekil 2.1. Tüvenan tinkalden boraks ürünleri üretim prosesi akım şeması [6]

2.5. Flokülasyon

Flokülasyon, süspansiyon halindeki küçük partiküllerin bir araya gelerek orijinal partiküllerden çok daha kolay ayrılabilen büyük kümeler (floklar) oluşturmasını sağlayan bir süreçtir [7,8].

Flokülasyon prosesleri, atık sulardaki askıda ve çözünmüş katıları, kolloidleri ve organik maddeleri uzaklaştırmak için ayırma yöntemleri olarak kullanılmaktadır [9]. Ayrıca, biyoteknoloji, maden işleme, kağıt yapımı ve diğer endüstriyel uygulamalarda da yaygın

olarak kullanılan bir prosestir [10]. Temel olarak süspansiyondaki partiküllerin çarpışma ve bağlanmalarına bağlıdır [11]. Şekil 2.2'de flokülasyon mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Flokülasyon mekanizmasının gösterimi [12]

2.6. Flokülant Türleri

Flokülasyon işlemlerinde yararlanılan kimyasallar flokülant olarak adlandırılmaktadır. Flokülantlar organik esaslı polimerler veya polielektrolitlerdir [12]. Flokülantlar çok erken zamanlardan beri kullanılmaktadır [13]. Eski kültürler, suyun arıtılması için doğal polimerik maddeler kullanmışlardır. İçme suyunun arıtılmasında çok eski zamanlardan beri bazı fındık özlerinin (polisakarit içerikli) kullanıldığı bilinmektedir. Flokülantlar; genel olarak flokülant kaynağına göre doğal flokülantlar ve sentetik flokülantlar olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenmektedir [14,15].

2.6.1. Kaynağına göre flokülantlar

Doğal flokülantlar

Doğal flokülantlar, yenilenebilir kaynaklardan kolayca erişilebilirdirler ve toksik değillerdir. Fakat molekül ağırlıkları düşük olmakla beraber flokülasyon kabiliyetleri de sentetik flokülantlara nazaran daha düşüktür ve bu yüzden yüksek dozajda kullanım gerektirmektedirler. Flokülant olarak kullanılan doğal polimerler ve bunların türevleri arasında nişastalar, galaktomannanlar, selüloz türevleri, aljinat, ksantan ve kitin gelmektedir [13,16].

Sentetik flokülantlar

Sentetik flokülantlar, yüksek molekül ağırlığına sahiptir. Suda kolaylıkla çözünebilmektedir. Molekül ağırlığı, yapı (doğrusal veya dallı), yük yoğunluğu, yük tipi ve bileşim gibi polimer özellikleri topaklaştırma işlemi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir [17]. Bu polimerler hem biyolojik hem de kimyasal kararlılık, tekdüzelik ve ürün tutarlılığı konusunda son derece yetkindir [18,19].

Yaygın kullanım alanına sahip olan sentetik flokülantlar, poliakrilamid ve bu maddenin türevleridir. Sentetik flokülantlar, doğal flokülantlara göre daha fazla kullanım alanına sahiptir.

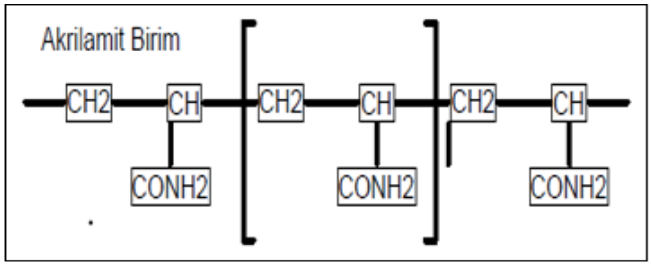
Bu flokülantlar iyonizasyon durumuna göre ve molekül ağırlığına göre iki ayrı grupta incelenmektedir [20].

2.6.2. İyonizasyon durumuna göre flokülantlar

Flokülantlar iyonizasyon durumuna göre anyonik flokülantlar, non iyonik flokülantlar ve katyonik flokülantlar olmak üzere üçe ayrılmaktadır [21,22].

Non iyonik flokülantlar

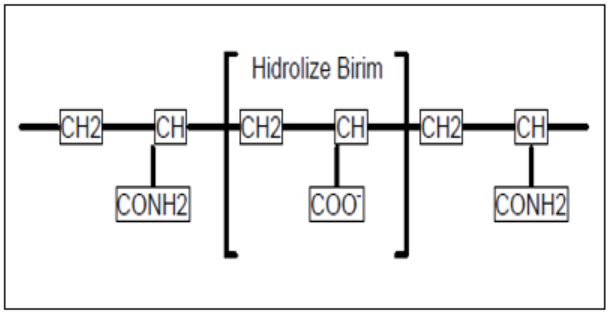
Önemli ve yaygın bir kullanım alanına sahip olan non iyonik flokülantlar poliakrilamid esaslı olanlardır (Şekil 2.3). Köprüleme yeteneği oldukça yüksektir [23]. Bunların dışında iyonik özelliği olmayan non iyonik flokülant olarak kullanılabilecek olan maddeler polivinil alkol (PVA) ve polietilenoksitlerdir (PEO) [24].



Şekil 2.3. Poliakrilamid esaslı non-iyonik flokülantın kimyasal yapısı [12]

Anyonik flokülantlar

Anyonik flokülantların diğer flokülantlara göre daha geniş kullanım alanı vardır. Molekül ağırlığı bakımından incelendiğinde yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik flokülantlar daha çok tercih edilmektedir. Günümüzde en çok tercih edilen, non iyonik yapıya sahip poliakrilamid (PAA) flokülantın bazı amin gruplarının (-NH2) bazik ortamda hidroliziyle veya akrilik asit (CH2=CHOOH) ile kopolimerizasyon (polimerleşme) reaksiyonu ile elde edilebilmektedir [25,26]. Şekil 2.4'te anyonik flokülant yapısı gösterilmektedir.



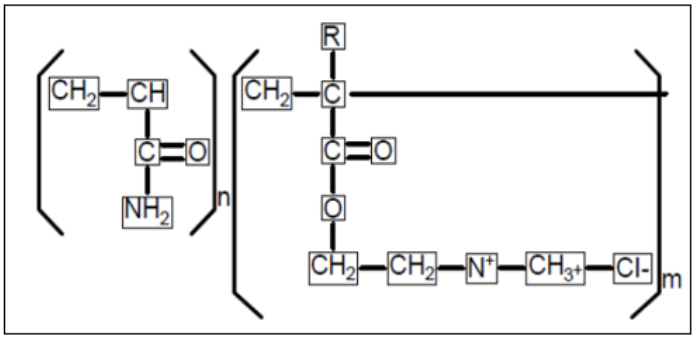
Şekil 2.4. Poliakrilamid esaslı anyonik flokülantın kimyasal yapısı [12]

Anyonik flokülant oluşum mekanizmaları, polimerleşme ve hidroliz ile kontrol edilebilmektedir. Farklı prosesler için istenilen anyoniklik derecesinde ve molekül ağırlığına sahip flokülantlar sentezlenebilmektedir [26,27]. Anyonik flokülantlar sahip oldukları negatif yük yoğunluğuna göre üç başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; zayıf anyonik flokülantlar, orta anyonik flokülantlar ve güçlü anyonik flokülantlardır. Poliakrilamid esaslı flokülantların dışında; akrilamido-metilpropan, sodyum polyestren, sülfamik asitin polimerizasyon reaksiyonuyla üretimi sağlanan çeşitli ürünler anyonik flokülant olarak kullanılabilmektedir [28].

Katyonik flokülantlar

Anyonik flokülantlar gibi katyonik flokülantlar da poliakrilamidin türevlerinden veya poliakrilamidin uygun katyonik monomer ile polimerizasyonu sonucu elde edilebilmektedir. Polimerizasyon reaksiyonları kontrol edilebilir olduğu için istenilen katyoniklik derecesinde ve molekül ağırlığına sahip flokülant üretimi yapılabilmektedir. Katyonik flokülantlar da pozitif yük yoğunluğuna göre; düşük katyonik, orta katyonik ve yüksek katyonik olarak üçe

ayrılmaktadır. Poliakrilamid esaslı katyonik flokülantların dışında polietilen aminin ve polidialidimetilamonyum kloritin de katyonik flokülant olarak kullanımı mevcuttur [29,30]. PAA esaslı katyonik flokülantın yapısı Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Poliakrilamid esaslı katyonik flokülantın kimyasal yapısı [12]

2.6.3. Molekül ağırlığına göre flokülantlar

Molekül ağırlığına göre flokülantların sınıflandırılması Çizelge 2.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 2.6. Flokülantların molekül ağırlığına göre sınıflandırılması [31,32]

Molekül Ağırlığı (g/mol)	Genel Tanımlama
10 000 000 ve üstü	Çok yüksek
1 000 000-10 000 000	Yüksek
200 000-1 000.000	Orta
100 000-200 000	Düşük
50 000-100 000	Çok düşük
50 000'den az	Çok çok düşük

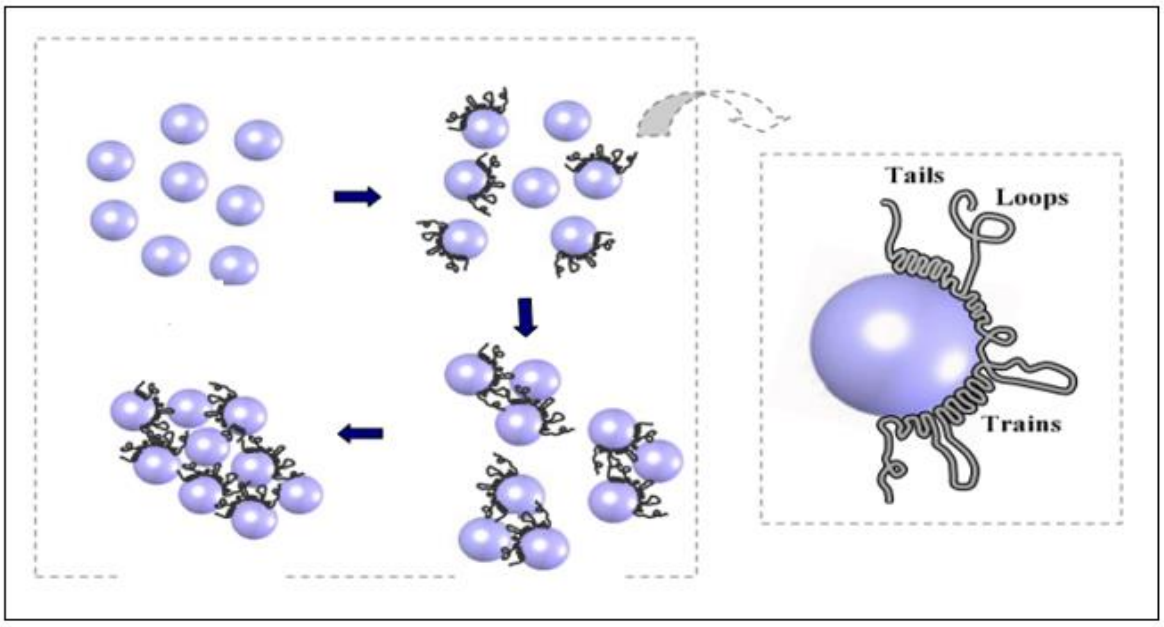
2.7. Flokülasyon Mekanizmaları

Flokülasyon işleminde taneciklerin bir araya gelmesi sırasında iki mekanizma söz konusudur. Bunlar; polimer köprü oluşumu ve elektrostatik yük yamama mekanizmalarıdır [33].

2.7.1. Polimer köprü oluşumu mekanizması

Köprü oluşum mekanizması, iyonik olmayan veya yüksek moleküler ağırlıklı ve düşük yüklü polimerlerin, aynı polimer molekülünün segmentlerinin diğer parçacıklara tutunduğu benzer yüke sahip parçacıklarla kullanıldığı durumda parçacığın toplanmasının temelidir. Polimer köprü oluşum mekanizması iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak polimer zinciri kısmen bir yüzeye adsorbe olur, daha sonra polimerin diğer kısmı çözeltiye doğru çıkıntı yaparak ikinci bir yüzeye bağlanır ve böylelikle agregatlar (floklar) oluşur [34].

Polimer köprüleme için temel gereklilikler, diğer partiküllere bağlı zincirlerden polimer segmentlerinin bağlanması için yeterli boş partikül yüzeyinin olması ve polimer köprülerinin, partiküller arası itmenin çalıştığı mesafeyi kapsayacak ölçüde olmasıdır [35,36]. Genel olarak, en etkili köprüleme flokülasyonu çok yüksek moleküler ağırlıklı (birkaç milyon) lineer polimerlerde bulunur, böylece uzun döngüler ve kuyruklar oluşabilir. Böylelikle diğer partiküllere bağlanma olasılığı artar [37,38]. Polimer köprü oluşumu ile flokülasyon mekanizması şekil 2.6'da gösterilmiştir.

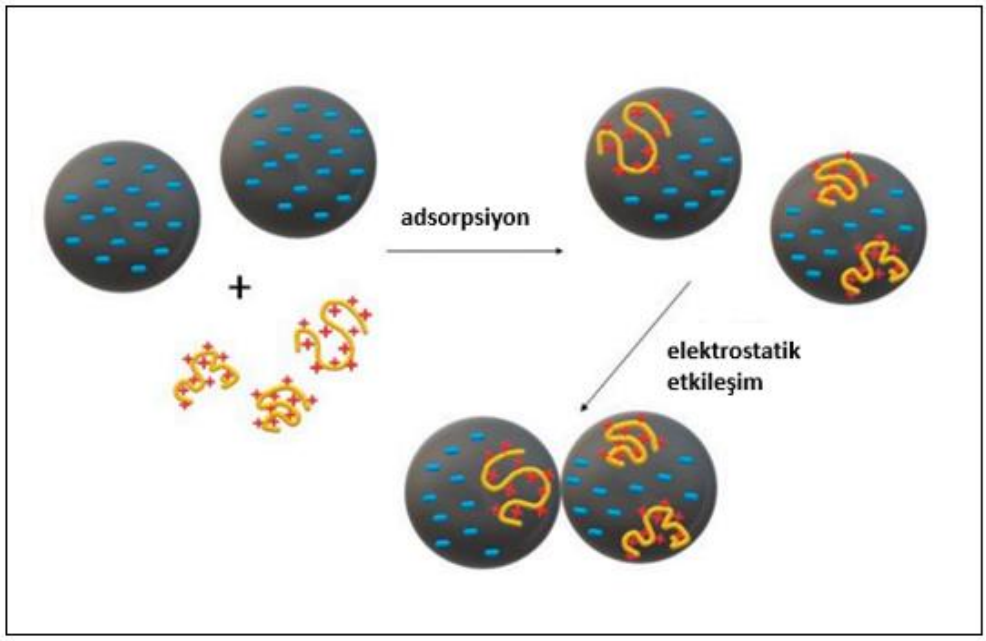


Şekil 2.6. Polimer köprü oluşumu ile flokülasyon mekanizmasının gösterimi [34]

2.7.2. Elektrostatik yük yamama mekanizması

Yük nötralizasyonu; polielektrolit polimer ile tanecik yüzey yüklerinin zıt yüklü olması durumunda, polimerin tanecik yüzeyine adsorbe olması ve böylece tanecik yüzey yükünün düşürülerek elektrostatik olarak stabil hale gelen sistemin dengesizleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır [39].

Flokülasyon performansının artması sistemin yüzey yükünün sıfıra yakın olduğu durumlarda artmaktadır. Bu flokülasyon mekanizması genel olarak, düşük ve orta molekül ağırlıklı yüksek yük yoğunluğuna sahip iyonik polimerler ile gerçekleşmektedir. Elektrostatik yük yamama modeli (Şekil 2.7), köprüleme modeli için uygun görülmeyen düz yapılı katyonik polimerler ile gerçekleştirilmektedir. Yüzeyinin belli bir kısmı polimerin yükü ile kaplanmamış tanecik, başka bir tanenin negatif bölümü ile birleşerek flok oluştururlar [40]. Elektrostatik yük yamama mekanizması daha çok katyonik polimerlerin kullanıldığı durumlarda gerçekleşmektedir. Polimer köprü oluşumu mekanizmasına göre bu mekanizma flokülasyon üzerinde daha az etkiye sahiptir [41].

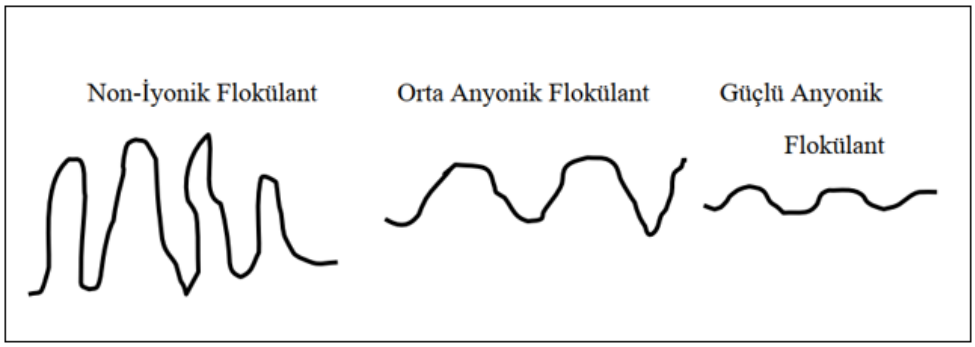


Şekil 2.7. Elektrostatik yük yamama ile flokülasyon mekanizmasının gösterimi [42]

2.8. Flokülasyona Etki Eden Parametreler

2.8.1. Flokülant tipi

Flokülantların iyonik olup olmadığı ve iyoniklik dereceleri (yük yoğunluğu) flokülasyon işlemi sırasında aktivasyonlarında önem arz etmektedir [43]. Non iyonik yapıdaki bir polimer yumaklaşmış kıvrımlı şekilde ortamda bulunurken, yük yoğunluğu arttığında polimerler daha düz ve uzun bir hal almaktadır. Bu yapı taneler arasındaki etkileşimi ve köprü oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu yapıdaki flokülantın akitivitisinin daha yüksek olduğu ve flokülasyonu kolaylaştırdığı bilinmektedir [44]. Şekil 2.8'de flokülantların iyonik karakterlerine göre fiziksel hali gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Anyoniklik derecesine göre flokülant yapısı [45]

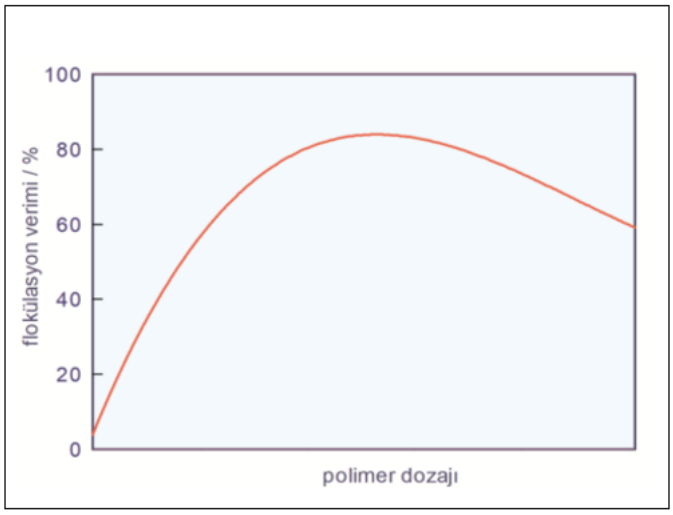
2.8.2. Flokülant molekül ağırlığı

Flokülasyonda kullanılan flokülantların molekül ağırlığı oldukça önemlidir [44]. Yüksek molekül ağırlığına sahip flokülantlar, boyut olarak büyük fakat yapı olarak poroz floklar oluşmasını sağlamaktadır. Molekül ağırlığı düşük (polimer uzunluğu kısa) flokülantlar ise yüksek molekül ağırlıklı flokülantlara göre daha küçük yapıda, porozitesi daha düşük floklar oluşturur [45].

2.8.3. Flokülant dozajı

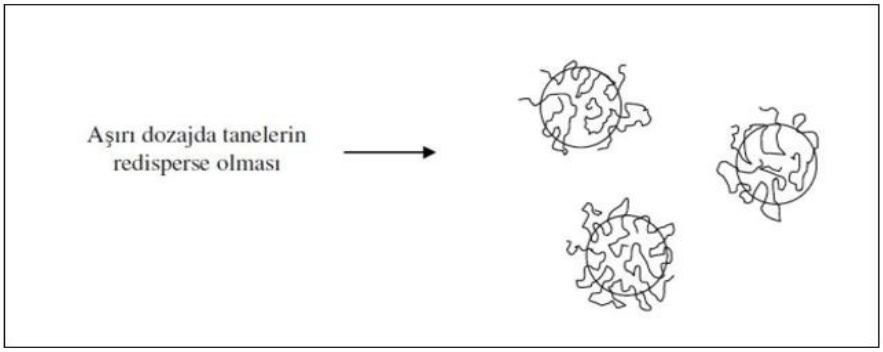
Süspansiyondaki katı partiküllerin flokülasyonunda flokülant dozajı arttıldığında genelde flokülasyon iyi şekilde gerçekleşmektedir [46]. Fakat proseslerde farklılık göstermektedir.

Literatürde, flokülasyonun en iyi şekilde gerçekleşmesi için belirli bir flokülant dozajı olduğu belirtilmektedir [47]. Bu dozaj (optimum dozaj), askıda kalan katı malzemenin yüzey alanıyla ilgilidir. Yüzey alanının tamamından ziyade yarısını kaplayacak kadar flokülant miktarı optimum dozaj olarak bilinmektedir [48]. Süspansiyona eklenen flokülant miktarı arttıkça flokülasyon verimi düşmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Polimer miktarına göre flokülasyıon verimi değişimi [49]

Süspansiyona optimum dozajdan fazla flokülant ilave edildiğinde katı taneler üzerinde daha fazla polimer adsoplanacaktır [50]. Böylelikle katı tanelerin aralarında köprü oluşturmaları için yeterli alan kalmamasına sebep olacaktır. Bu durum flok uluşmasını engelleyerek flokülasyon verimini düşürecektir [51]. Fazla polimer etkisiyle oluşan bu durum flokülantların sterik engeli olarak tanımlanmaktadır [52]. Şekil 2.10'da fazla flokülant ilavesiyle flokülantların sterik engel oluşturması ve tanelerin redisperse olması gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Fazla flokülant ilavesiyle katı tanelerin disperse olması (flokülantların sterik engeli) [53]

Süspansiyona, verimli bir flokülasyon için ilave edilmesi gereken optimum dozajdan daha düşük miktarlarda flokülant eklenmesi durumunda da flokülasyon verimi olumsuz yönde etkilenecektir. Bu durumda süspansiyondaki partiküllerin birbirine bağlanabilmesi ve flok oluşturabilmesi için ihtiyaç duyulan miktarda flokülantın ortamda bulunmaması beklenenden düşük seviyede flok oluşumu ile sonuçlacaktır [54,55].

2.8.4. Süspansiyonun pH'ı ve sıcaklığı

Süspansiyonun pH değeri, süspansiyondaki askıda kalan katılara ve süspansiyona eklenen polimere etki ederek özelliklerini değiştirebilmektedir. Bu da flokülasyon açısından oldukça önem arz etmektedir [56].

Non-iyonik bir polimer, farklı pH değerlerindeki ortamlarda pozitif veya negatif yüklü hale gelebilmektedir. Bu durum polimer ile tanecik arasındaki etkileşimi arttırabilir. Düşük pH değerlerinde oluşan floklar daha küçük boyutlu ve sağlam yapıda olurken, yüksek pH değerlerinde ise floklar büyük boyutlu ve gevşek yapıda olmaktadır [57].

Süspansiyon sıcaklığı flokülasyon verimini etkilemektedir. Flokülantların sıcaklığa göre viskoziteleri de değişiklik göstermektedir. Ayrıca ortam sıcaklığı, flokülantların tane yüzeyine adsorpsiyonu bazen olumlu bazen ise olumsuz etki yaptığı bilinmektedir [58].

2.8.5. Süspansiyonun karışma hızı ve süresi

Flokülant ilavesi sonrası flokların oluşması ve bu flokların büyüklükleri süspansiyona uygulanacak olan karıştırma hızından etkilenmektedir. Süspansiyonun düşük hızda karıştırılması flokülantların homojen bir şekilde dağılmasına olanak sağlamayacak olup flokülasyon verimliliğini düşürmektedir. Süspansiyonun yüksek hızda karıştırılması ise güçlü kesme kuvveti oluşumuna sebep olacağından oluşacak flokların küçülmesine ve parçalanmasına neden olacaktır ve flokların tekrardan bir araya gelmesi güçleşecektir. Bu sebeple flokülasyonun yüksek verimle gerçekleşebilmesi için optimum karışma hızı uygulanmalıdır [59].

Süspansiyon karışma süresi flokülasyon için diğer önemli bir parametredir. Optimum karışma süresi, flokülasyon için optimum polimer dozajının elde edilmesi için geçen süre olarak belirtilmiştir. Bu sürenin artması polimerlerin tane yüzeyinde daha çok adsorplanmasına sebep olup sterik engel oluşturarak flokülasyon verimini düşürmektedir. Bu sürenin gerekli olan süreden daha az olması durumunda ise eklenen polimerlerin süspansiyondaki askıda katı tanelere ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu da flokülasyonu olumsuz yönde etkilemektedir [60].

2.8.6. Tanecik boyutu ve pülp yoğunluğu

Süspansiyondaki askıda kalan katı taneciklerin boyut özelleri ve miktarları flokülant tüketimini doğrudan etkilemektedir [61]. Taneciğin boyutunun küçülmesiyle yüzey alanı artışı olmaktadır. Bu da süspansiyonda yüzeyi kaplayıp flokülasyonun gerçekleşmesi için kullanılan polimer tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Taneciklerin süspansiyon içerisindeki yoğunlukları arttıkça birbirleriyle çarpışma olasılıkları da artmaktadır. Bu durumun flokülasyonu olumlu etkilediği belirtilmiştir. Optimum flokülant dozajının belirlenebilmesi için tanecik boyutu, yüzey alanı ve süspansiyon içerisindeki yoğunluklarının analizi önemlidir [62].

2.8.7. Flokülant besleme metodu

Flokülasyon verimi için flokülantın süspansiyona besleme şekli önemlidir. Yüksek kesme kuvveti oluşturacak bölgelerin aksine hafif türbülans olan bölgeler polimer beslemesi için daha uygundur. Flokülant beslemesinin belirli aralıklarla yapılması da tanecikler arasında daha iyi köprü oluşumuna ve daha iyi flok oluşmasına yardımcı olmaktadır [63].

2.9. Literatür Araştırması

Yeşilkaya (1989), yaptığı çalışmada Kırka Bor İşletme Müdürlüğü konsantratör atıklarının çökelme davranışlarını incelemiştir. Atığın çöktürülmesi için farklı flokülant (Magnafloc, Superfloc, POE) ve koagülant (alüminyum sülfat, demir klorür, baryum klorür) kullanılmıştır. Atık numunesinin doğal haldeki ve boraks çözeltisiyle seyreltilmiş

durumdaki çökelme verileri incelenmiştir. Seyreltme işleminin çözelmeyi olumlu etkilediği görülmüştür. Anyonik flokülant (magefloc 342) kullanımı çökelmede daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Koagülant kullanılarak gerçekleştirilen deneyler olumlu sonuçlanmamıştır. Koagülant ile flokülantın beraber kullanılması ile çökelme gerçekleşmiştir. POE ile yapılan deneylerde flokların daha küçük ve sıkı yapıda olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneylerde katı oranı azaldıkça kullanılan koagülant ve flokülant miktarının azaldığı gözlemlenmiştir [8].

Çırak ve Hoşten (2015), Kırka konsantratör atığındaki kil, kaya gibi gang mineralleri ve geri kazanılamayan boraks içeren atık su üzerine çalışma yapmışlardır. Kolloidal parçacıkların atıklarda kararlı sulu süspansiyonlar oluşturarak temiz su oluşumu engellemektedir. Bu sebeple flokülasyon işlemi ile bu parçacıkların atık sudan uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Kırka madeninden temin ettikleri yeşil kil ve beyaz kil numunesi ile konsantratörün atık akışına benzemek için %3 katı ve %3 boraks çözeltsi ile hazırlanmış ve laboratuvar ortamında flokülasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde flokülant olarak iyonik olmayan yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen oksit (PEO) kullanmışlardır. Etkili bir flokülasyon gerçekleştirilememiş ve yüksek bulanıklık gözlemlenmiştir. Bunun nedeninini polimer adsopsiyonunda verimsizlik olduğu düşünülmektedir [10].

Taşdemir ve Erdem (2010), çalışmalarında flokülasyon ile atıksudan askıda kalan tanecik uzaklaştırılmasını incelemişlerdir. Gerçekleştirilen anazlilerde poliakrilamid esaslı farklı flokülantlar kullanılmıştır. Flokülasyon deneyleri jar test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Flokülasyona etki eden; flokülant tipi, flokülant dozajı, flokülant mol ağırlığı, süspansiyon pH değeri ve süspansiyonun karışma hızı parametreleri üzerinde durulmuştur. Yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant en uygun flokülant olarak değerlendirilmiştir. Optimum flokülant dozajı 0,06 mg/L, optimum çalışma koşulları ise pH 8, karışma hızı 250 devir/dakika olarak belirlenmiş olup bu koşullarda %98,9 oranında bulanıklık giderimi sağlanmıştır. [15].

Ceylan (2022), yaptığı çalışmada suda çözünür akrilamid esaslı anyonik, katyonik ve non iyonik polimerler sentezlemiştir. Bu polimerler ile barit ve selestit flokülasyonunu incelemiştir. Flokülasyon veriminde barit ve selestit mineral türünün etkinin çok olmadığı daha çok polimer türünün etkili olduğu belirlenmiştir. Poliakrilamidlerin polimer zincir uzunluğu ve molekül ağırlığının etkisi en çok non iyonik polimerde, en az katyonik

polimerde gözlemlenmiştir. Flokülasyona etki eden mekanizmanın köprüleme mekanizması olduğu ileri sürülmüştür. Sentezlenen flokülantların barit ve selestit minerallerinin flokülasyonunda kullanılabilirliği görülmüştür. Ayrıca hazırlanan bu flokülantların diğer ince tane yapısına sahip süspansiyonların flokülasyonunda da model flokülant olarak kullanılabilirliği uygun bulunmuştur [49].

Işık (2015), yaptığı çalışmada lavvar tesisi tikner girişinden temin ettiği numune ile optimum flokülasyon şartlarını belirlemek amacıyla flokülasyon deneyleri yapmıştır. Çalışmasında anyonik, katyonik ve non iyonik flokülantlar kullanarak çökelme davranışlarını incelemiştir. Deneylerde flokülant tipi, dozajı, süspansiyonun pH değeri ve sıcaklığı, süspansiyonun karışma hızı parametrelerini dikkate alınarak flokülasyon verimine etkisi belirlenmiştir. Nötr veya hafif bazik ortamda ve süspansiyon sıcaklığının 25˚C'de anyonik flokülantın düşük polimer konsantrasyonlarda kullanımı ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Katı oranının artmasıyla optimum flokülant dozajının da arttığı gözlemlenmiştir. Düşük karışma hızında ve yüksek karışma hızında etkin flokülasyon gerçekleşmemiştir [51].

Özkan (2021), çalışmasında feldispat mineralinin flokülasyonunu ve çökelmenin karakteristik özelliklerini incelemiştir. Feldispatın flokülasyonunda; flokülant türü ve dozajı, süspansiyonun pH değeri, süspansiyonun karışma hızı ve süresi, süspansiyonun katı yoğunluğu parametrelerinin etkisi belirlenmiştir. Flokülant türü olarak anyonik belirlenmiştir. pH 2-12 arasında değerlendirilmiş ve pH değişiminin etkisi gözlemlenmemiştir. Karıştırma hızı 300, 500 ve 700 devir/dk olarak denenmiş en iyi sonuçlar 500 devir/dk karışma hızında elde edilmiştir. Karıştırma süresi olarak 1,2 ve 4 dakika olacak şekilde belirlenmiştir. 2 dakika karışma süresinde optimum değerler elde edilmiştir. Katı oranı etkisi %0,08, %0,17, %0,50 katı oranlarında incelenmiştir. %0,08 katı oranında hiçbir flokülantla iyi sonuçlar eldde edilmemiştir. Değişen katı oranına göre olumlu sonuç gösteren flokülantlar çeşitlilik göstermiştir [53].

Taşdemir ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmada atık su numunelerinin flokülasyonunda flokülasyonu etkileyen flokülant tipi ve dozajı, süspansiyon katı oranı ve tane boyutu parametrelerini kuvars numunesi kullanarak incelemişlerdir. İlk olarak sabit katı oranında ve tane boyutunda atık su numuneleri hazırlanmış olup anyonik, non iyonik ve katyonik, flokülantlar ile flokülant tipinin ve miktarının etkisi incelenmiştir. En iyi sonucu anyonik flokülant kullanımı ile elde etmiştir. Sonrasında sabit tane boyutunda katı oranını arttırarak

etkisi incelenmiş olup katı oranı arttıkça flokülant tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Sabit katı oranında, tane boyutunun azalması durumunda ise süspansiyonun üst akım bulanıklık değerinin arttığı gözlemlenmiştir [59].

Karapınar (2018), çalışmasında tekli ve ikili flokülasyon yöntemi ile Kırka Boraks Konsantratör atığının susuzlandırılması yer almaktadır. Tekli ve ikili flokülasyon sisteminde poliakrilamid (PAM) türü anyonik flokülant ile poli dialil-dimetil amonyum klorür (polyDADMAC) türü bir katyonik flokülant kullanmıştır. Flokülasyon testleri konsantratör atığının doğal pH değerinde, 1 litrelik mezürde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan flokülantların performans özellikleri süspansiyonun çökelme hızı ve üst akım bulanıklık değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir. Atık numunesinin sadece anyonik flokülant ile gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde katının çökelme hızını artmış fakat üst akım çözeltinin berraklığı sağlanamamıştır. Anyonik ve katyonik flokülantların beraber kullanıldığı flokülantta ise daha iyi çökelme hızı ve temiz üst akım sağlanabilmiştir [64].

Çırak ve Hoşten (2017), yaptıkları çalışmada yüksek derecede stabiliteye sahip dolomit/kil/boraks içeren kolloidal süspansiyonun bulanıklık giderimini istatistiksel olarak incelemiştir. Deneyler yeşil kil olarak adlandırılan gang minerali ile boraks çözeltisi karıştırılmıştır. Boraks çözeltisinin tampon çözelti oluşturması nedeniyle flokülasyon deneyleri süspansiyonun doğal pH değerinde (9,40) gerçekleştirilmiştir. Koagülant olarak CaCl, flokülant olarak ise PEO kullanılmıştır. Parametre olarak; karıştırma yoğunluğu, pıhlaştırıcı ve flokülant dozajı etkisi ele alınmıştır. Yanıt yüzey metodolojisi (RSM) tekniği ile istatistiksel olarak veriler elde edilmiştir. Kolloidal süspansiyonun topaklanma performansı, çözünmüş boraksın tamponlama özelliğinden kaynaklanan pH değerinin fizibilitesine rağman diğer parametrelerin kombinasyonu ile iyileştirilebileceği görülmüştür [65].

Doğan (2017), çalışmasında Espey ve Hisarcık öğütülmüş kolemanit ile eldesi sağlanan borik asit süspansiyonlarını, anyonik (yüksek molekül ağırlıklı), katyonik ve non-iyonik flokülantlar (polielektrolitler) ile flokülasyon işlemine tabi tutmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında, flokülasyon için uygun süspansiyon karıştırma hızını ve süresini belirleme çalışmaları yapılmıştır. Süspansiyona 100,150, 200, 300 rpm karışma hızlarında; 1,2 ve 3 dk sürelerinde karıştırma işlemi uygulanmış ve çöktürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çökelme

miktarları incelenmiş ve süspansiyon için uygun karışma hızı ve süresi 150 rpm ve 2 dk olarak belirlenmiştir [66].

Kocaman (2022), çalışmasında yağlı atık sudan yağı uzaklaştırmak için flokülasyon prosesinde doğal ve sentetik flokülantlar kullanmıştır. Doğal flokülant olarak prejel nişasta, modifiye nişasta, nişasta graft akrilamid; sentetik flokülant olarak da PAM kullanmıştır. Flokülasyon parametreleri olarak flokülant türü, süspansiyon pH'ı, flokülant dozajı ve sıcaklık etkilerini incelemiştir. Deneyler çalışmaların sonunda poliakrilamidin diğer flokülantlara göre tüm etki değerlendirmelerinde diğer flokülantlara göre daha az tüketimi ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. PAM kullanımı ile %99,21 AKM giderim oranı, %98,99 bulanıklık giderimi ve %99,9 yağ giderim oranı elde edilmiştir [67].

Akray ve Şengül (2022), yaptıkları çalışmada sentetik polimerlerin flokülasyon işleminde verimliliğini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Kütahya Espey bor zenginleştirme tesisinin atık barajından temin edilen atık numunesi ile atık barajındaki su/zemin oranı göz önünde bulundurularak atık zemin süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyon ile farklı molekül ağırlığına sahip anyonik flokülantlar kullanılarak flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada flokülant türü ve miktarı, karıştırma hızı ve süresi, süspansiyon çökelme süresi, süspansiyon sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Flokülasyon deneyleri sonrası optimum flokülant dozajı 20 ppm, etkili flokülant ise 923, 934 ve 956 olarak belirlenmiştir. Optimum karışma hızının 200-250 dev/dk, optimum karışma süresinin 1-3 dakika aralığında olduğu görülmüştür. Flokülasyon sonucu süspansiyonun ideal çökelme süresi ise 2-4 dakika aralığında belirlenmiştir. Süspansiyon sıcaklığı 10˚C ile 40˚C aralığında farklı sıcaklıklarda olacak şekilde flokülasyon deneyleri yapılmış olup sıcaklığın bulanıklığı ve flokülasyonu etkileyen önemli bir faktör olarak görülmektedir. Ayrıca hazırlanmış olan flokülant çözeltilerinin 1-7 gün arasında etkiliğinde değişiklik olmadan kullanılabileceği belirlenmiştir [68].

Demir ve arkadaşları (2021), çalışmalarında Ağıldere ve Hisarcık'taki bor atıklarının farklı flokülantlar varlığında flokülasyonunu incelemişlerdir. Ağıldere numunesi için serbest çökelme koşullarının uygun olduğu, flokülant ilavesinin çökelme hızını olumsuz etkilediği görülmüştür. Hisarcık numunesinin süspansiyonunda ise flokülant ilavesi ile bulanıklık değerinde önemli bir düşüş olmakla beraber çökelme hızında artış belirlenmiştir. Süspansiyonun içerisindeki katı oranının azalması her iki numunenin de çökelme oranını

arttırdığı belirlenmiştir. İki numunenin flokülasyonundaki farklılık kimyasal yapılarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Hisarcık numunesinin flokülasyonunda en etkili flokülantlar anyonik, katyonik ve non-iyonik olarak sıralanmaktadır [69].

3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Flokülantlar

Flokülasyon deneylerinde kullanılmak üzere SNF firmasından anyonik, non-iyonik ve katyonik flokülantlar temin edilmiştir. Flokülantların özellikleri çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan flokülantlar ve özellikleri

Üretici Firma	Flokülant Kodu	Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Yük Yoğunluğu
SNF	AN 905 S	Anyonik	Düşük	%3
	AN 923 S	Anyonik	Düşük	%20
	AN 934 S	Anyonik	Düşük	%30
	AN 905 SH	Anyonik	Orta	%3
	AN 923 SH	Anyonik	Orta	%20
	AN 934 SH	Anyonik	Orta	%30
	AN 905 VHM	Anyonik	Yüksek	%3
	AN 923 VHM	Anyonik	Yüksek	%20
	AN 934 VHM	Anyonik	Yüksek	%30
	FO 4190 SSH	Katyonik	Yüksek	%10
	FO 4440 SSH	Katyonik	Yüksek	%30
	FO 4650 SSH	Katyonik	Yüksek	%55
	FA 920 SH	Non İyonik	Orta	-
	FA 920 VHM	Non İyonik	Yüksek	-

3.1.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen sıvı numuneler

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılmak üzere Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Penta 4 tesisi çözme oluğundan flokülant ilavesi öncesi sıvı numuneler tedarik edilmiştir. Numuneler çözme oluğundan yüksek sıcaklıkta (95-96˚C) süspansiyon halinde alınmıştır. Numuneler, laboratuvar ortamında reaktörlerde proses sıcaklığında tutulmuştur.

3.1.3. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen katı numuneler

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılmak üzere Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden tüvenan tinkal numuneleri alınmıştır. Numuneler katı olarak temin edilmiş olup laboratuvarda nem kapması önlenecek şekilde muhafaza edilmiştir.

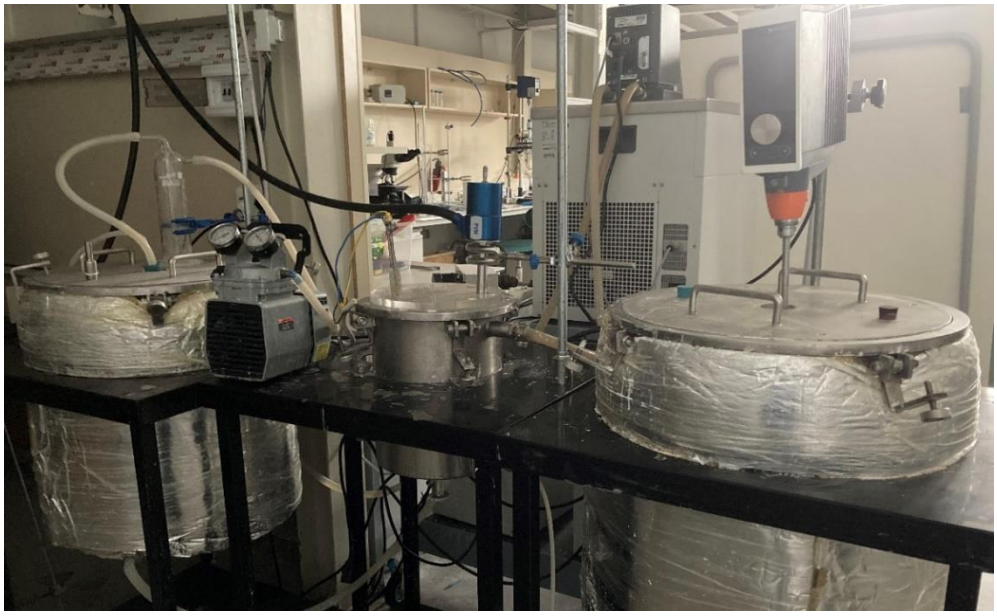
3.2. Deneysel Yöntem

Çalışma kapsamında; boraks ürünleri üretim prosesinde flokülasyonu etkileyen parametrelerin incelenmesi, proses için sentezlenmesi öngörülen flokülantın özelliklerinin belirlenmesi ve laboratuvar ortamında yüksek flokülasyon verimi elde edilebilmesi için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneysel çalışmalar farklı iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Kırka Bor İşletmeme Müdürlüğü Penta 4 fabrikasından katı (tüvenan tinkal) numuneler ve çözme oluğu bölümünden sıvı numuneler (süspansiyon karışım) temin edilmiştir.

Deneyler sonrasında iki farklı koşulda gerçekleştirilen flokülasyon deney verileri karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Sıvı numunelerin flokülasyon deneylerine hazırlanması

İlk aşamada gerçekleştirilen deneylerde flokülant ilavesi öncesi prosesten alınan yüksek sıcaklıktaki sıvı numuneler (süspansiyon karışım) 25 litrelik kaplarda laboratuvar ortamına getirilmiştir. Bu numuneler reaktörlerde (resim 3.1) proses sıcaklığına (95-96˚C) ısıtılmış olup flokülasyonu etkileyen parametreleri incelemek amacıyla flokülasyon deneyleri için hazırlanmıştır.



Resim 3.1. Deneylerde numuneyi ısıtmak için kullanılan reaktörler

3.2.2. Katı numunelerin flokülasyon deneylerine hazırlanması

Çalışmanın ikinci aşamasında, Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden Atemin edilen katı numunenin (tüvenan tinkal) (Resim 3.2), kaynama sıcaklığındaki saf su ile beher içerisinde karıştırıcı yardımıyla çözünmesi sağlanarak belirli katı oranlarında (%10, %13, %15, %17, %19) proses koşullarında (95-96˚C) süspansiyonlar hazırlanmıştır (Resim 3.3). Hazırlanan süspansiyonlar ile flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen tüvenan tinkal numunesi

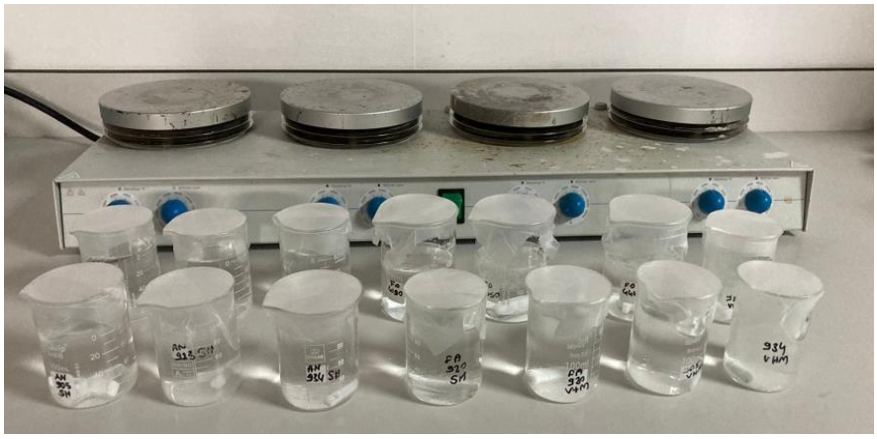


Resim 3.3. Isıtıcı ve karıştırıcı yardımıyla süspansiyon hazırlanması

3.2.3. Flokülasyon deneyleri

Prosesler için en uygun flokülasyon parametrelerini belirlemek için jar testi uygulanmaktadır. Proses için belirlenen jar testi basamakları aşağıda sıralanmıştır.

- Öncelikle firmadan temin edilen flokülantlar ile deneylerde kullanılmak üzere %0,2'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Flokülantlar 0,2 gr olacak şekilde hassas terazide tartılarak saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Oda sıcaklığında, manyetik karıştırıcıda 1,5-2 saat aralığında karıştırılarak çözeltiler hazırlanmıştır.



Resim 3.4. Hazırlanan anyonik, non-iyonik ve katyonik flokülant çözeltileri

- Flokülasyon deneylerini gerçekleştirmek amacıyla jar test cihazı (Velp JLT6) kullanılmıştır (Resim 3.5.). Cihaz karıştırma hız aralığı (0-300 rpm/dak.) ve karıştırma süresi ayarlanabilmektedir.



Resim 3.5. Jar test cihazı (Flokülatör)

- Hazırlanmış olan yüksek sıcaklıktaki numunelerden 500'er ml alınarak 800 ml'lik beherlere konmuştur. Beherler jar test cihazına yerleştirilmiş ve karıştırıcıların beherlere daldırılması sağlanmıştır.

- Süspansiyonun homejen şekilde kalması için için öncelikle karıştırıcı çalıştırılmış ve flokülant ilve edilmeden birkaç saniye beklenmiştir.

- Deneyler için hazırlanan farklı özellikteki flokülantlar sırasıyla beherlere ilave edilmiştir.

- Flokülantların süspansiyonda uygun şekilde karışması sağlaması için karıştırıcılar 150 rpm çalışma hızında, 1 dakika karışma süresi olacak şekilde karıştırıcıların çalışması sağlanır.

- Süspansiyonun karışma süresi 1 dakika ve karışma hızı 150 rpm/dk olarak belirlenmiş olup 1dakika süre sonunda karıştırıcılar süspansiyondan çıkartılmış ve çökelme işleminin gerçekleşip flok oluşumunun gözlemlenmesi için 1 dakika beklenmiştir.

- Çökelme sonrası üstte kalan sıvı numune, üst akım temiz çözelti olarak adlandırılmaktadır.

3.2.4. Bulanıklık ölçümü

Flokülasyon işlemi ardından çökelti oluşması için 1 dakika beklenmiş olup sonrasında her bir beherdeki üst akım (temiz çözelti) bulanıklık değerleri türbidimetre (Hach 2100) ile ölçülmüştür (Resim 3.6). Cihazın ölçüm aralığı 0-1000 NTU (Nepheleometric Turbidity Unit)'dur.



Resim 3.6. Türbidimetre (Bulanıklık ölçer)

3.2.5. Karakterizasyonda yararlanılan cihazlar ve ölçümler

(FT-IR) spektroskopi analizi

Firmadan temin edilen flokülantların yapısal olarak içeriği bilinmediğinden içerdiği bağları belirleyebilmek için FTIR spektroskopi cihazı (Resim 3.7) ile 600-4000 cm^{-1} aralığında analizler gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.7. Varian/660-IR Marka FT-IR cihazı

pH ölçümü

Prosesten temin edilen sıvı (süspansiyon) numune laboratuvar ortamında reaktörlerde proses sıcaklığına getirilmiş ve pH ölçümü yapılmıştır. Prosesten temin edilen katı numune (tüvenan tinkal) ise kaynama sıcaklığındaki su ile çözündürülerek süspansiyon haline getirildiktikten sonra pH ölçümü yapılmıştır. Ölçümler için Resim 3.8'de gösterilen OHAUS(Starter300) marka pHmetre kullanılmıştır.



Resim 3.8. Deneylerde kullanılan pHmetre

ICP-OES analizleri

Prosesten temin edilen sıvı ve katı numunelerin metal analizleri ICP-OES cihazı (Resim 3.9) ile belirlenmiştir.



Resim 3.9. Thermo Scientific/iCAP 7000 marka ICP-OES metal analiz cihazı

X-Işını Floresans (XRF) Spektrometresi analizi

Prosesten temin edilen sıvı ve katı numunelerin metal analizleri XRF cihazı (Resim 3.11) ile belirlenmiştir.



Resim 3.10. PANalytical/Epsilon 1 marka XRF cihazı

X-Işını kırımımı (XRD) analizi

Prosesten temin edilen sıvı ve katı numunelerini analiz etmek için XRD cihazı (Resim 3.10) kullanılmıştır. XRD desenleri, 40 kV ve 45 mA'da bir panalytical empyrean marka cihaz) kullanılarak kaydedilmiştir.



Resim 3.11. PANalytical/Empreyan marka XRD cihazı

Zeta potansiyel ölçümü

Temin edilen numunelerin yüzey yük ölçümü resim 3.12'de gösterilmiş olan malvern zetasizer cihazı ile ilk olarak doğal pH değerlerinde, sonrasında farklı pH aralıklarında yapılmıştır.



Resim 3.12. Malvern/Zetasizer Nano ZSP marka tane boyutu ve zeta potansiyel ölçüm cihazı

Elementel analiz

Temin edilen flokülantların azot içeriği LECO (TCH 600) cihazı ile belirlenmiştir (Resim 3.13).



Resim 3.13. LECO Elementel analiz cihazı

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Boraks ürünleri üretim prosesindeki flokülasyonun karakteristik özelliklerinin incelenmesi ve sentezlenmesi öngörülen flokülantın özelliklerini belirlemek amacıyla farklı türdeki flokülantların kullanımı incelenmiştir. Farklı flokülant kullanımı ile flokülasyonu etkileyen parametrelerin etkileri gözlemlenmiş ve proses için uygun flokülant özellikleri belirlenmiştir

4.1. Prosesten Alınan Numunelerin Kimyasal Analizi ve Karakterizasyonu

4.1.1. Kimyasal analiz değerleri

Sıvı ve katı numunelerin kimyasal içeriğini belirlemek amacıyla ICP-OES cihazıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına ait veriler çizelge 4.1 ve çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sıvı (süspansiyon) numunenin kimyasal analiz değerleri

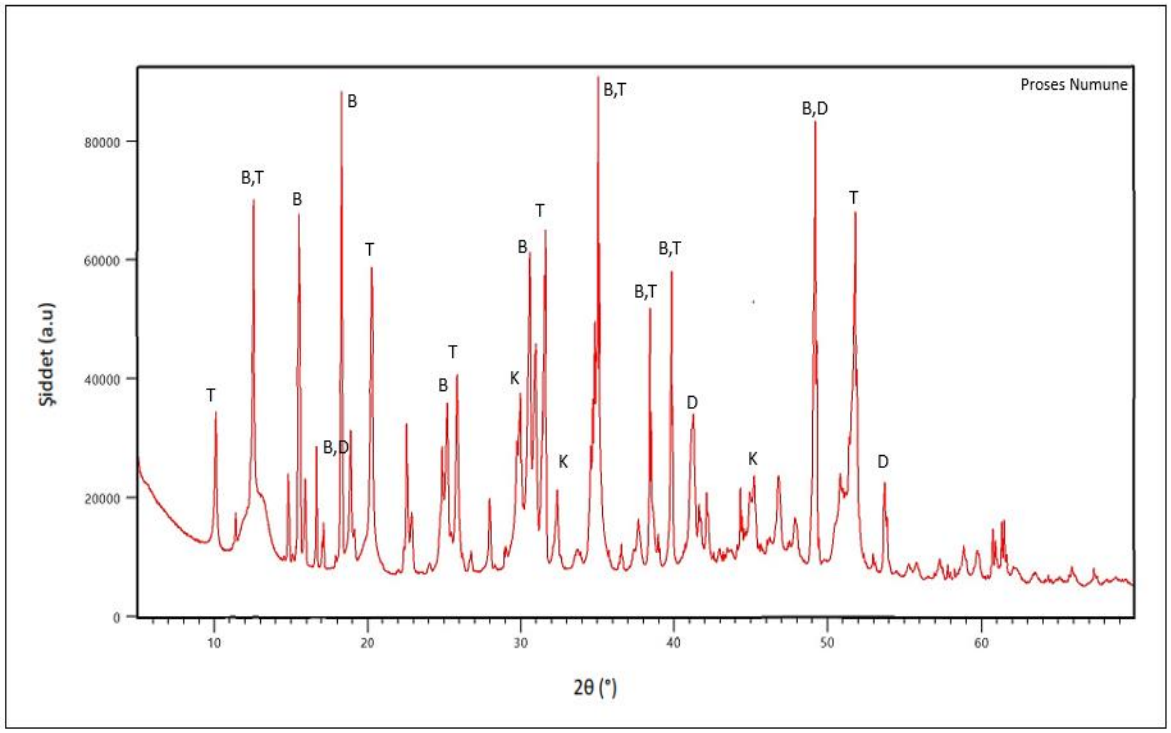
$\%B_2O_3$	%CaO	$\%Fe_2O_3$	%MgO	$\%Al_2O_3$	$\%Na_2O$	$\%SiO_2$	% K.K
21,86	9,56	0,06	9,81	0,10	9,51	3,76	39,91

Çizelge 4.2. Katı (tüvenan tinkal) numunenin kimyasal analiz değerleri

$\%B_2O_3$	%CaO	$\%Fe_2O_3$	%MgO	$\%Al_2O_3$	$\%Na_2O$	$\%SiO_2$	%K.K
21,22	9,71	0,12	10,22	0,31	10,23	4,68	41,88

4.1.2. X-Işınları difraktometre (XRD) analiz sonuçları

Süspansiyon numunelerin mineralojik bileşimi X-Işınları Difraktometre (XRD) analizi ile yapabilmek için katı halde eldesi gerekmektedir. Bu sebeple süspansiyon numunesi oda sıcaklığında bekletilerek içeriğindeki safsızlıkların ve boraksın çökmesi sağlanmıştır. Elde edilen çökelti etüvde kurutularak analiz için hazırlanmıştır. Hazırlanan numunenin minerolojik analizi yapılmıştır. Şekil 4.1'de minerolojik analiz sonuçları gösterilmektedir. Proses süspansiyon numune içeriğinde yoğun olarak; boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), tinkalkonit ($Na_2B_4O_7.5H_2O$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) ve kalsit ($Ca(CO_3)$) gözlemlenmiştir.



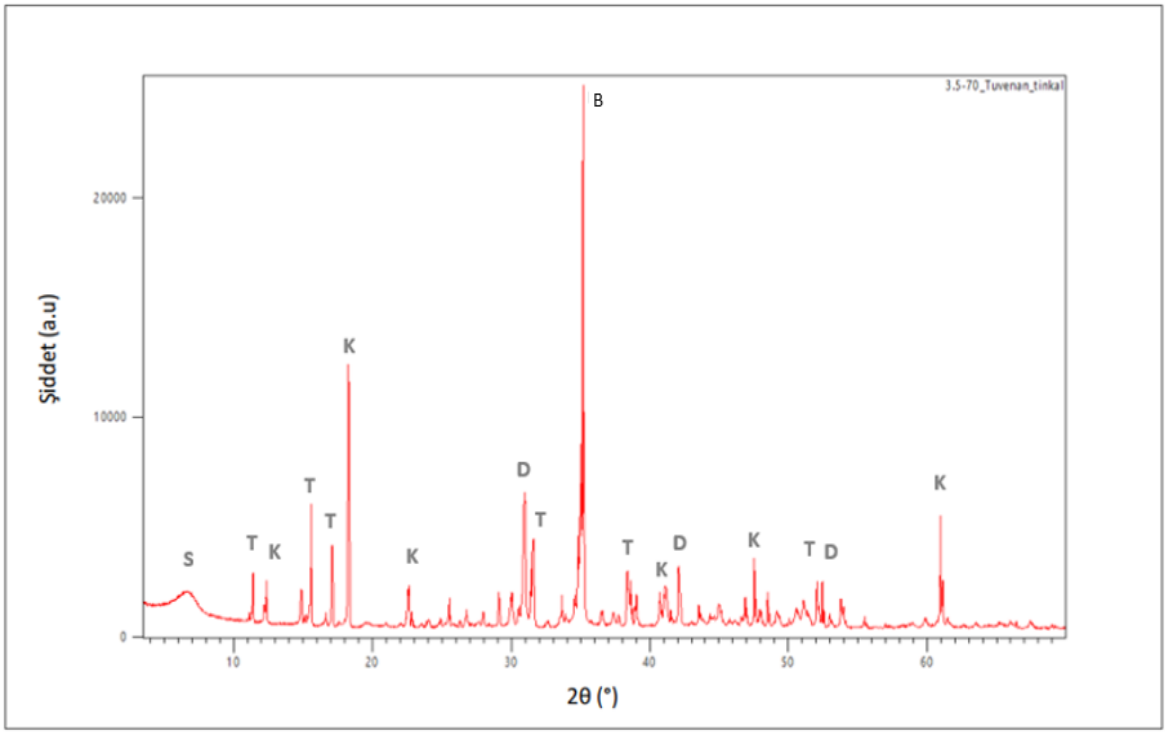
Şekil 4.1. Prosesten temin edilen süspansiyon numunesinin XRD analizi (B: Boraks, T: Tinkalkonit, D: Dolomit, K: Kalsit)

Çizelge 4.3'te kristal boyutu verileri verilmiştir. Kristal boyutları debye eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [73].

Çizelge 4.3. Prosesten temin edilen süspansiyon içeriğinin kristal boyutu değerleri

İçerik	2θ (XRD)	F.W.H.M. (β)(XRD)	Kristal Boyutu (nm)
Boraks	31,5159	0,0583	147,82
Dolomit	30,9311	0,204	42,18
Kalsit	32,3564	0,1593	54,21
Tinkalkonit	20,2456	0,193	43,65

Tüvenan tinkal numunelerin mineralojik bileşimi X-Işınları Difraktometre (XRD) analizi yapılarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). XRD analizi sonucuna göre tüvenan tinkal içinde yoğun olarak tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), kalsit ($CaCO_3$) ve simektit ($2Al_2O_3.8SiO_2.2H_2O.n\ H_2O$) olduğu gözlemlenmiştir [70].



Şekil 4.2. Tüvenan tinkal numunesinin XRD analizi (T: Tinkal, D: Dolomit, S: Smektit, K: Kalsit)

Çizelge 4.4'te kristal boyutu verileri verilmiştir. Kristal boyutları debye eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [73].

Çizelge 4.4. Prosesten temin edilen katı numune içeriğinin kristal boyutu değerleri

İçerik	2θ (XRD)	F.W.H.M. (β)(XRD)	Kristal Boyutu (nm)
Boraks	34,9997	0,0834	104,27
Dolomit	30,9512	0,1611	53,43
Kalsit	18,2803	0,0821	102
Simektit	6,3426	1,8177	4,56

Prosesten alınan sıvı ve katı numunelerin minerolojik analizlerindeki farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu farklılıklar öncelikli olarak cevherin içeriğinden kaynaklanmaktadır. Ocaklardan gelen cevherler farklı oranlarda B_2O_3 içermektedir. Yapılarında farklı çeşit kil bulunmaktadır. Ayrıca içerdikleri safsızlık oranları ve miktarları da farklıdır.

4.1.3. Zeta potansiyel ölçüm değerleri

Sıvı numunenin zeta potansiyel ölçüm değerleri

Sıvı numunenin zeta potansiyel ölçümleri iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk olarak doğal pH değerinde (9,40-9,45) değerinde yüzey yükü ölçüm değeri -34,9 mV olarak belirlenmiştir. İkinci olarak farklı pH aralığında zeta potansiyel ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sıvı numune (süspansiyon) tampon çözelti özelliği gösterdiği için pH değişiminde asit ve baz sarfiyatı oldukça fazla olmaktadır. Ayrıca yapıdaki boraks düşük pH aralığında borik asit formuna dönüştüğü için yüzey yükünde değişiklik olacaktır. Bu iki durum göz önünde bulundurulduğunda farklı pH aralığında yüzey yükü belirlemek için numunedeki boraksın yapıdan uzaklaştırılması uygun görülmüştür. Numune sıcak suyla yıkama işleminin ardından santrifüj edilmiş ve yapıdaki boraks uzaklaştırılarak kil içeriği elde edilmiştir. Elde edilen numunenin zeta potansiyel ölçüm değerleri çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Boraks içermeyen sıvı numunenin pH'a bağlı yüzey yükü değerleri

pH	Yüzey yükü(mV)
2	-0,50
3	-0,98
4	-2,10
5	-2,40
6	-2,80
7	-4,30
8	-5,20
9	-6,50
10	-31,2
10,5	-32,5
11	-34,3
11,5	-36,4
12	-38,3

Katı numunenin zeta potansiyel ölçüm değerleri

Tüvenan tinkal numunesin de hem doğal pH'ta hem de farklı pH aralıklarında yüzey yükü ölçümleri yapılmıştır. Doğal pH değerinde yüzey yükü ölçüm değeri -38,1 mV olarak belirlenmiştir. Farklı pH'larda ölçüm yapabilmek için yapıdaki boraksın uzaklaştırılması sağlanmıştır. Boraksın yüksek sıcaklıkta sudaki çözünürlüğünden faydalanarak işlem gerçekleştirilmiştir. Elde edilen süspansiyon santrifüj edilerek yapıda sadece kil minerallerin kalması sağlanmıştır. Kil minerallerin yüzey yükü ölçüm değerleri çizelge 4.6'da verilmiştir.

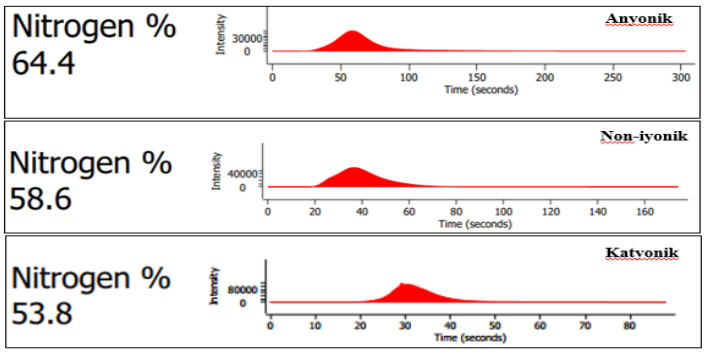
Çizelge 4.6. Boraks içermeyen katı numunenin pH'a bağlı yüzey yükü değerleri

pH	Yüzey yükü (mV)
2	-0,5
3	-2,1
4	-2,9
5	-3,3
6	-4,1
7	-5,1
8	-7
9	-7,2
10	-28,2
10,5	-30,8
11	-33,9
11,5	-37,3
12	-38

Her iki numunenin de yüzey yükü ölçüm sonuçları birbirine benzer bulunmuştur. Numuneler negatif yüzey yüküne sahiptir. pH 9-12 aralığında yüzey yükü değerleri incelendiğinde partiküllerin yüzey yüklerinde sayısal olarak artış gözlemlenmiştir. Süspansiyonun pH artışı sonrası daha kararlı bir hale dönüşeceği görülmektedir. pH 2-9 aralığındaki yüzey yükü değerleri ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise yüzey yükünün sayısal olarak oldukça düştüğü, nötr olmaya yakınlaştığı görülmektedir. Bu durum, kil yapısındaki kalsitin ya da benzeri bir yapının HCI ile reaksiyona girmesi sonucu yüzey yükünü büyük ölçüde değiştirmesi ile açıklanmaktadır.

4.2. Temin Edilen Flokülantların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

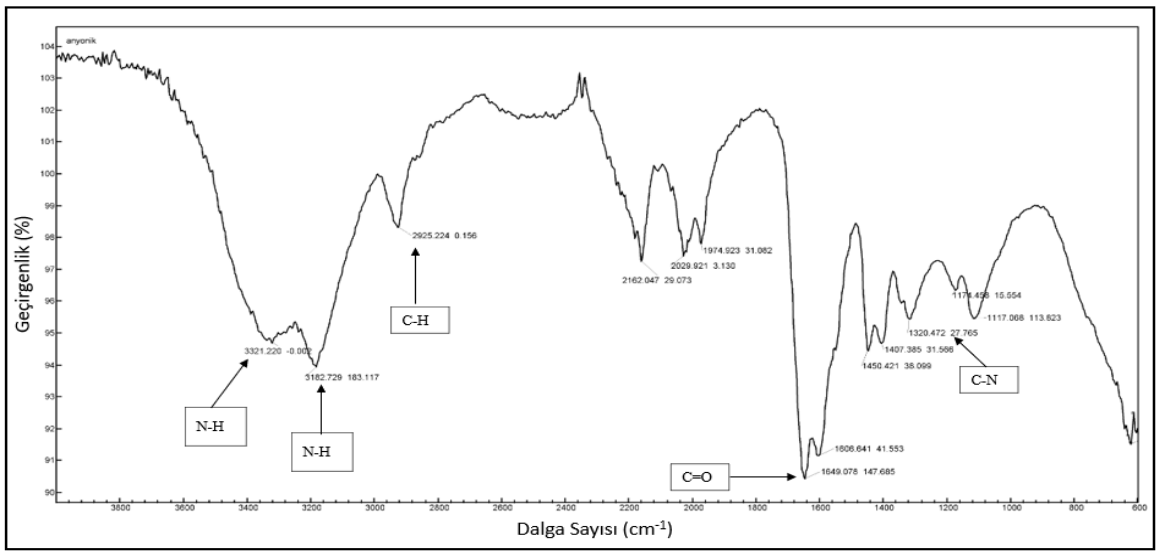
Anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülantların yapısal olarak özelliğini belirlemek için LECO elementel analiz cihazı ile azot içeriğine bakılmıştır. Flokülantlara ait % azot element bileşimleri şekil 4.3'de gösterilmiştir.



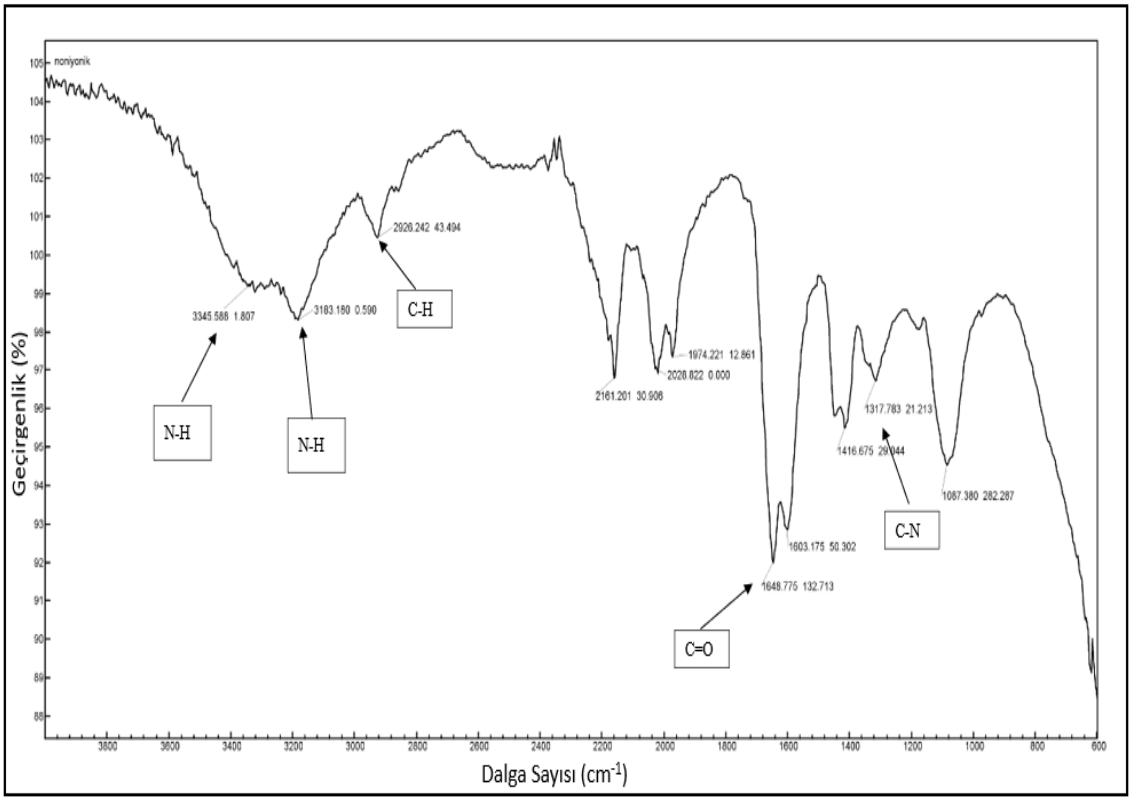
Şekil 4.3. Flokülantların yapısal içeriği

Analiz sonuçları incelendiğinde flokülantların yapısında azot olduğu görülmektedir. Yapıda azot olması flokülantların poliakrilamid yapıda olduğunu göstermektedir [71].

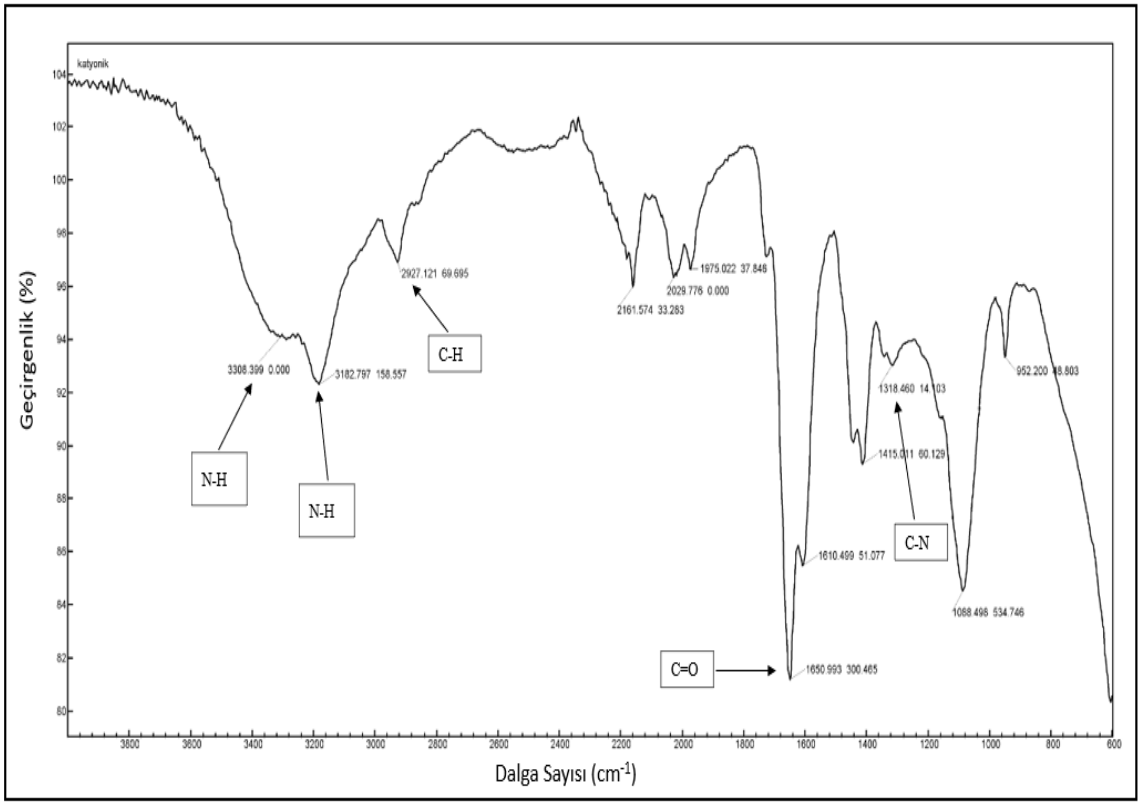
Flokülantların belirlenen yapısına ait bulguyu destelemek amacıyla fonksiyonel grupları belirleyebilmek için (FTIR, Varian/660-IR) ile 600-4000 cm^{-1} aralığında analizler yapılmıştır. Flokülantalrın FTIR spektrumları şekil 4.4, şekil 4.5 ve şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Anyonik flokülantın FTIR spektrumu



Şekil 4.5. Non-iyonik flokülantın FTIR spektrumu



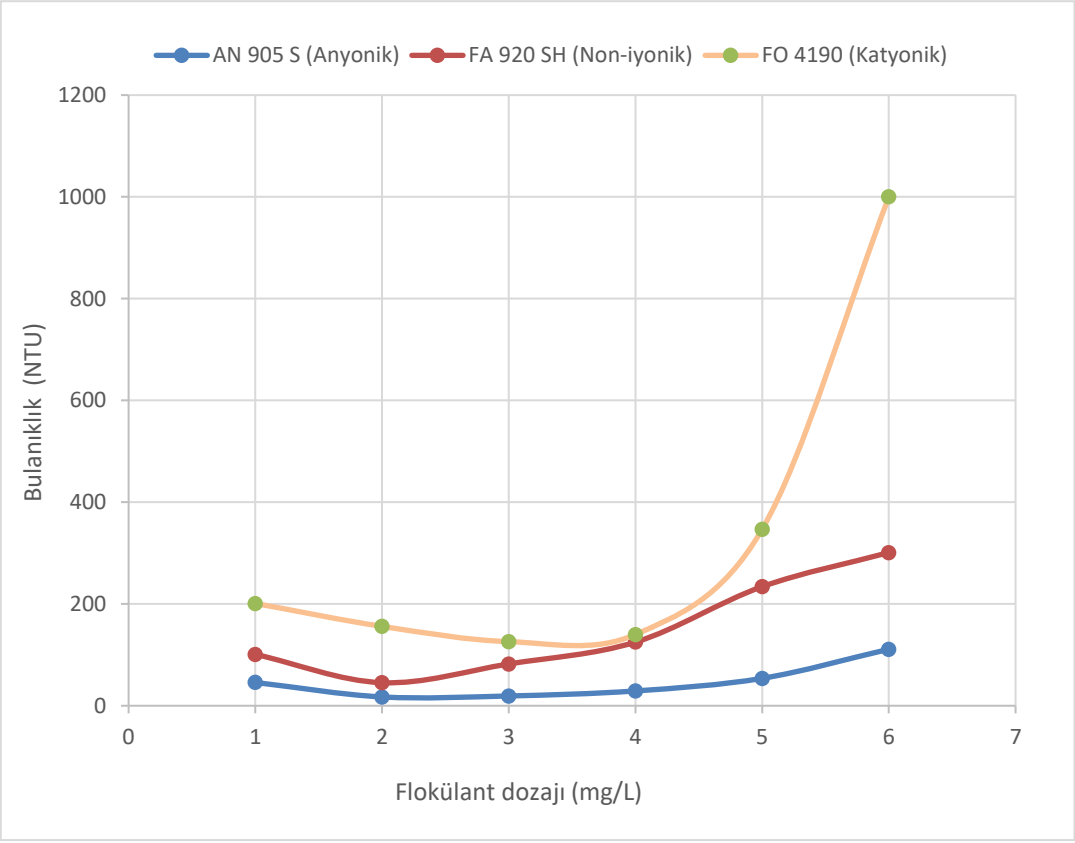
Şekil 4.6. Katyonik flokülantın FTIR spektrumu

Tüm FTIR spektrumlarındaki 3100-3500 cm^{-1} dalgasayısı aralığındaki bantlar amid grubuna bağlı karakteristik amin (NH_2) grubu bantlarıdır. 2700-3000 cm^{-1} bölgesinde -C-H bağlarını gösteren bandlar vardır. Birincil amid (-C=O-NH_2) grubuna özgü C=O bağına ait band 1650 cm^{-1}'de gözlenen banddır. 1100-1300 cm^{-1} dalga sayısı aralığındaki bantlar C-N bağlarına aittir [72]. FTIR spektrum sonuçlarına göre de yapıda azot bağı görülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan flokülantların akrilamid yapıda olduğu belirlenmiştir.

4.3. Prosesten Alınan Süspansiyon Numuneleri ile Gerçekleştirilen Flokülasyon Deneyleri

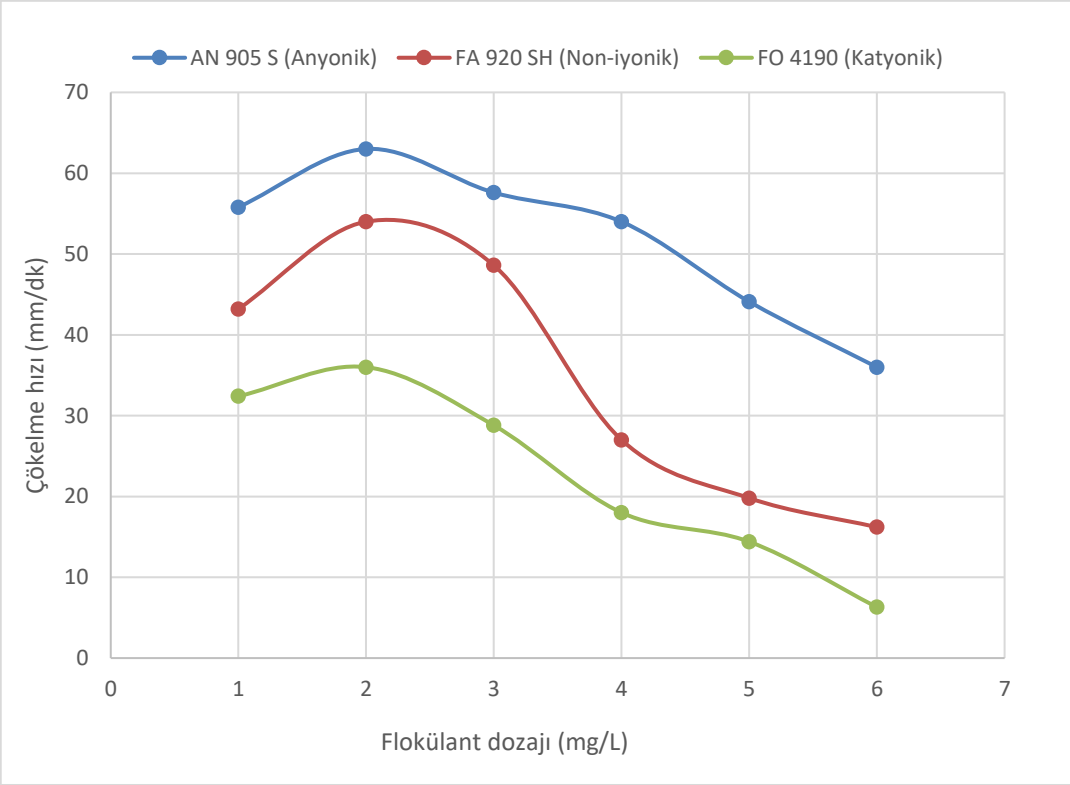
4.3.1. Flokülant türü ve miktarının flokülasyona etkisi

Flokülant türünün etkisini incelemek amacıyla; anyonik (AN 905 S), non-iyonik (FA 920 SH) ve katyonik (FO 4190 SSH) karakterli flokülantlar ile deneyler yapılmıştır. Flokülasyon deneyleri süspansiyonun doğal pH'ında (9,40-9,45) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen bulanıklık ve çökelme hızı değerleri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.7, 4.8).



Şekil 4.7. Flokülant türünün bulanıklığa etkisi

Şekil 4.7'de flokülasyon deneyleri sonucu elde edilen bulanıklık eğrileri incelendiğinde; Farklı flokülant kullanımına göre en düşük bulanıklık değerleri; 2 mg/L Anyonik (AN 905) flokülant ilavesi ile 17,3 NTU, 2 mg/L non-iyonik flokülant (FA 920 SH) ilavesi ile 45,3 NTU, 3 mg/L katyonik flokülant (FO 4190) ilavesi ile 126 NTU olarak elde edilmiştir. Anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülant kullanımı sonrası flokülant miktarı arttıkça bulanıklık değerlerinin düştüğü fakat belli bir flokülant miktarından sonra bulanıklık değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Flokülasyonun yüksek verimle gerçekleşebilmesi için flokülant miktarının katı yüzeyinin yarısı kaplayacak miktarda olması gerekmektedir [47]. Bu miktar optimum flokülant miktarı olarak bilinmektedir. Optimum flokülant miktarı aşıldığında flokülantların tutanacakları bir yüzey kalmadığı için flokülasyon mekanizması olumsuz etkilenmektedir. Aşırı miktarda flokülant ilavesiyle oluşan bu durum flokülantların sterik engeli olarak da tanımlanmaktadır [48]. Bu durum flokülasyon verimini düşürerek bulanklık değerlerinin atmasına neden olmaktadır. Flokülasyon deneyleri sonrasında en düşük bulanıklık değerine *anyonik flokülant* (AN 905 S) kullanımı sonrası ulaşılmıştır. En yüksek bulanık değeri ise katyonik flokülant kullanımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Flokülant türünün çökelme hızına etkisi

Şekil 4.8'de süspansiyonun flokülasyonunda, flokülant miktarına göre belirlenen çökelme hızı eğrilerilerinde anyonik, non- iyonik ve katyonik flokülantlar kullanımı sonrası flokülant miktarı arttıkça, belli bir miktara kadar çökelme hızının arttığı bu miktardan sonra ise çökelme hızının düştüğü gözlemlenmiştir.

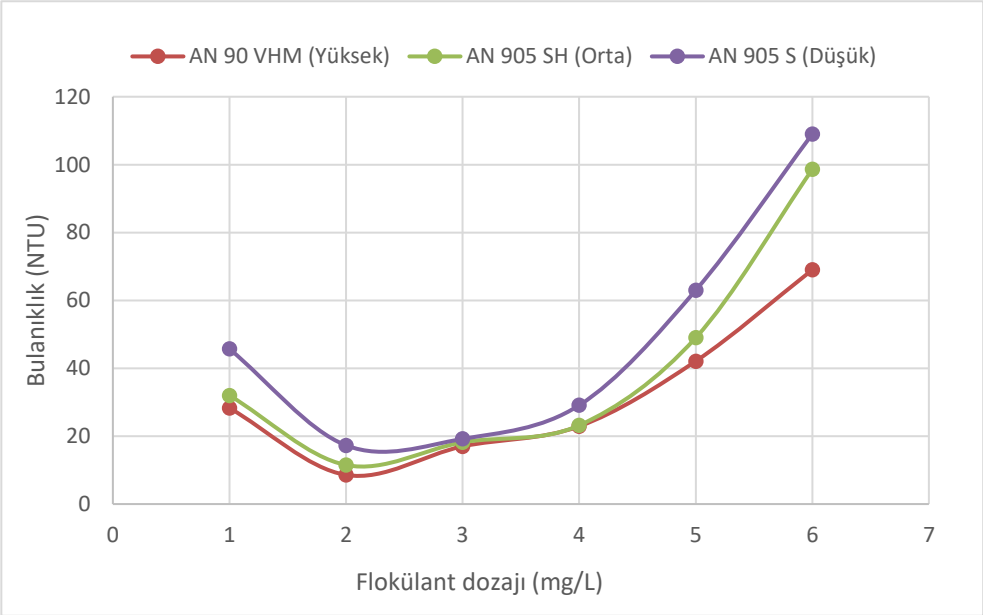
2 mg/L optimum dozajda flokülant ilavesi ile en iyi çökelme hızları; anyonik flokülant kullanımı sonrası 63 mm/dk, non-iyonik flokülant kullanımı sonrası 54 mm/dk, katyonik flokülant kullanımı sonrası 36 mm/dk olarak bulunmuştur. En iyi çökelme hızı verilerine *anyonik flokülant* kullanımı sonucu ulaşılmıştır.

Bulanıklık ve çökelme hızı verilerine göre proses için en uygun flokülantın anyonik olduğu görülmektedir. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon işleminde, süspansiyonun yüzey yükü ve flokülantın yüzey yükünün aynıdır. Taneciklerin yüzeyine adsoplanmış bazı metal iyonları (Ca^{+2}, Mg^{+2}) ile anyonik flokülantın polimer zincirindeki negatif gruplar arasında kovalent bağ oluşumu ile polimer adsorpsiyonu gerçekleştirği söylenebilmektedir. Bu sebeple, flokülasyon mekanizmasının polimer köprü teşekkülü olduğu düşünülmektedir [28].

Katyonik flokülant ilavesiyle gerçekleştirilen flokülasyon işleminde elektrostatik yük yamama mekanizması etkilidir [36]. Elektrostatik yük yamama mekanizmasının polimer köprü oluşumu mekanizmasına göre flokülasyonda etkinliği daha düşüktür. Bu sebeple, katyonik flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değerleri, anyonik flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değerlerine daha yüksek; katyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme hızları ise anyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme hızlarına göre daha düşüktür. Non iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda ise flokülasyon performansının anyonik flokülanta göre düşük olmasında flokülantın zincir yapısı etkili olmuştur. Non-iyonik flokülant, kıvrımlı ve yumaklaşmış bir yapıya sahiptir. Bu kıvrımlı yapı, tanelerin bir araya gelmesini ve flok oluşmasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla flokülasyon performansı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır [37].

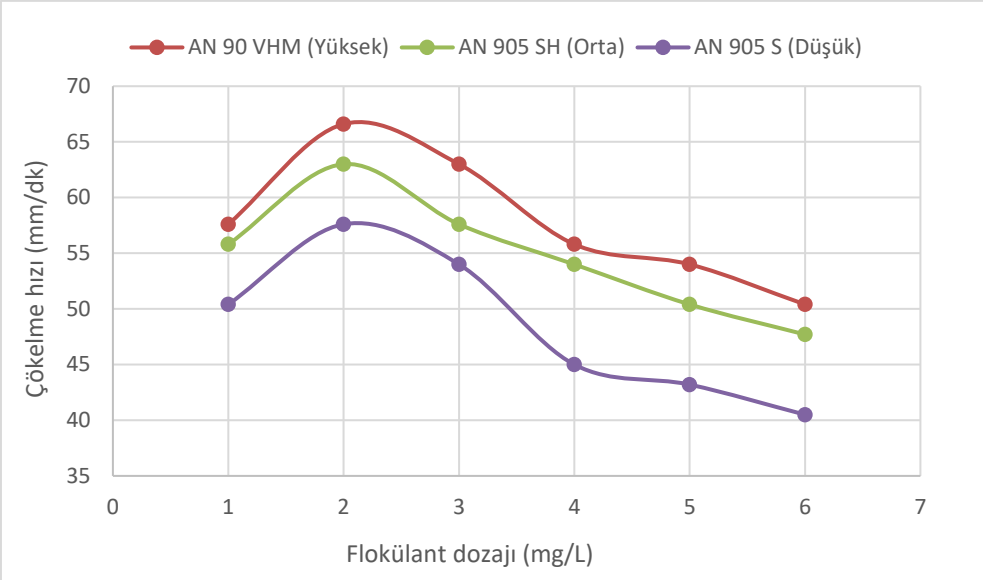
4.3.2. Flokülant molekül ağırlığının flokülasyona etkisi

Molekül ağırlığının flokülasyona etkisini incelemek için farklı molekül ağırlığına sahip anyonik ve non-iyonik flokülantlar ile gerçekleştirilen deneylere ait veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12).



Şekil 4.9. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi

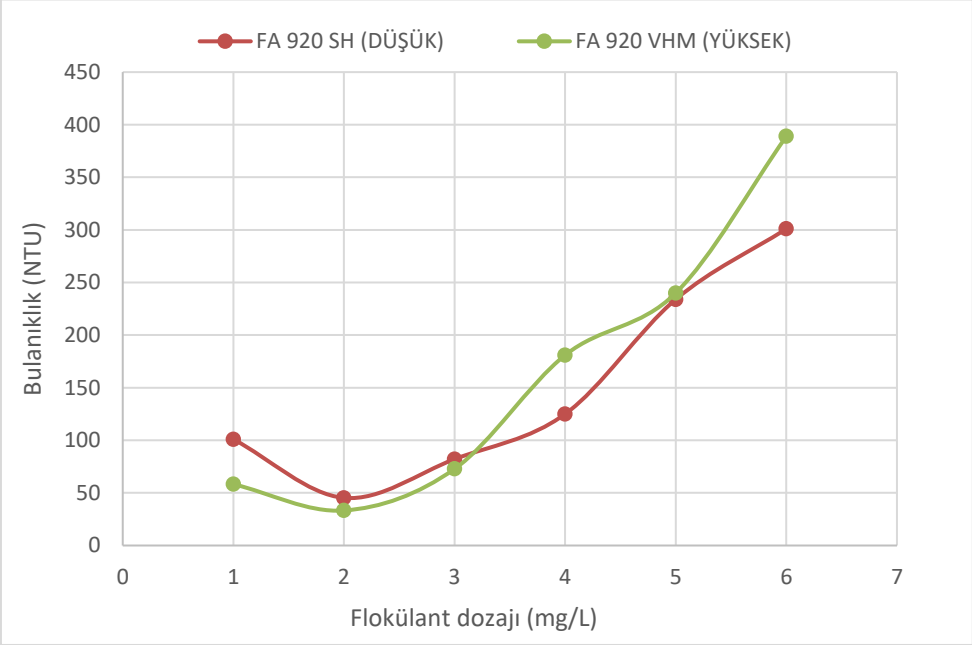
Şekil 4.9'da Flokülant miktarına göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değeri düşük gözlemlenmiştir. Bu dozajdan sonra bulanıklık değerlerinde artış olmuştur. Yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası bulanıklık 8,58 NTU, orta molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası bulanıklık 11,5, düşük molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası 17,3 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.10. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının çökelme hızına etkisi

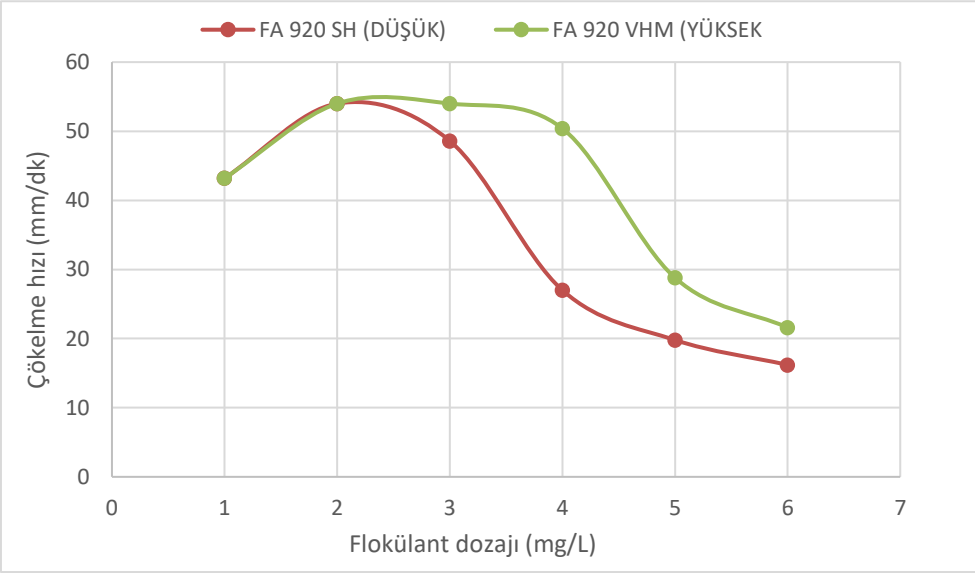
Şekil 4.10'da flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Çökelme hızı; düşük molekül ağırlığına sahip flokülant kullanımı ile 57,6 mm/dk, orta molekül ağırlığına sahip flokülant kullanımı ile 63 mm/dk, yüksek mol ağırlıklı flokülant kullanımı sonrası ise 66,6 mm/dk olarak elde edilmiştir.

Deney verileri incelendiğinde en düşük bulanıklık ve en iyi çökelme hızı verilerine *yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant* kullanımı ile ulaşıldığı görülmektedir. Yüksek mol ağırlığına sahip flokülantın hidrokarbon zincir uzunluğunun fazla olması sebebiyle büyük yapıda floklar oluşmasını sağlarken, düşük mol ağırlığına sahip flokülant nispeten daha küçük yapıda floklar oluşturmuştur [38]. Çökelme hızları da bunlara paralel olarak değişim göstermiştir. Flokülantların molekül ağırlığı ile polimer köprü mekanizmasıyla floküle etme performansı ilişkilendirilmiştir [39].



Şekil 4.11. Flokülant (non-iyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi

Non iyonik flokülantlarla gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonucu en düşük bulanıklık değeri 33,3 NTU olarak okunmuştur. Bu bulanıklık değeri yüksek molekül ağırlığına sahip non-iyonik flokülant kullanımı ile elde edilmiştir. Bulanıklık değerleri her iki flokülant kullanımı için optimum flokülant dozajına kadar düşmüş, sonrasında artış göstermiştir.



Şekil 4.12. Flokülant (non-iyonik) molekül ağırlığının çökelme hızına etkisi

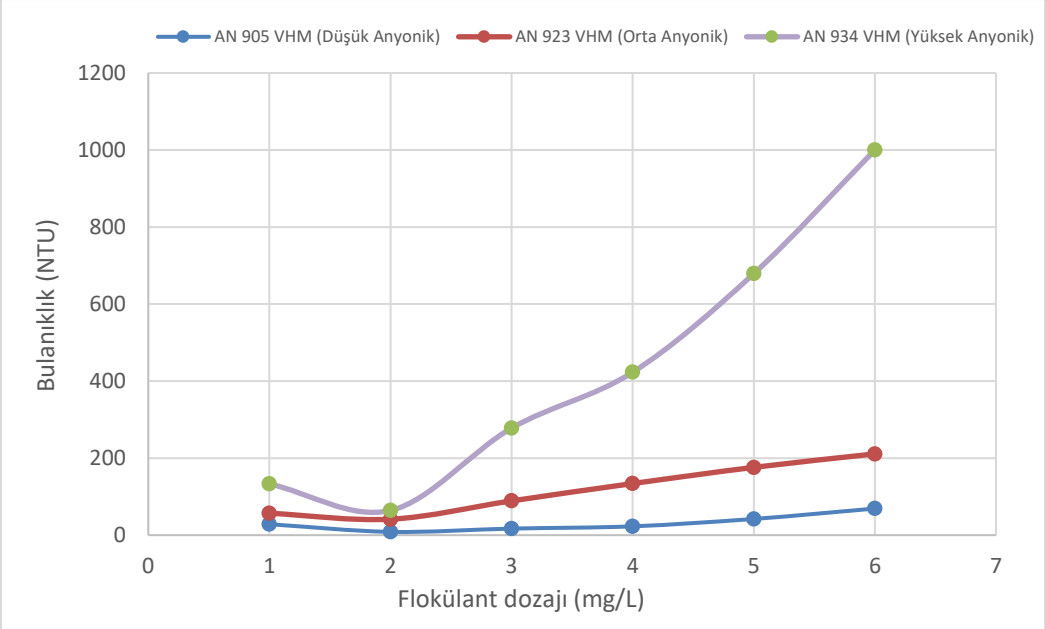
Şekil 4.12'de flokülant miktarına göre çökelme hızı verilerine bakıldığında çökelme hızı değerlerinin optimum dozaja kadar artış gösterdiği sonrasında azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Her iki flokülünat kullanımı sonrası en iyi çökelme hızı 54 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Yüksek molekül ağırlığına sahip non-iyonik flokülant kullanımı ile daha iyi bulanıklık verileri elde edilirken, çökelme hızı verileri düşük molekül ağırlığına sahip flokülant ile neredeyse eşdeğer bulunmuştur.

Non-iyonik flokülant kullanımı ile anyonik flokülant kullanımına göre daha yüksek bulanıklık değerleri ve düşük çökelme hızı verileri elde edilmiştir. Non-iyonik flokülantın kıvrımsal yapısı nedeniyle flokülasyon mekanizma verimi anyonik flokülanta göre daha düşük olmuştur [40].

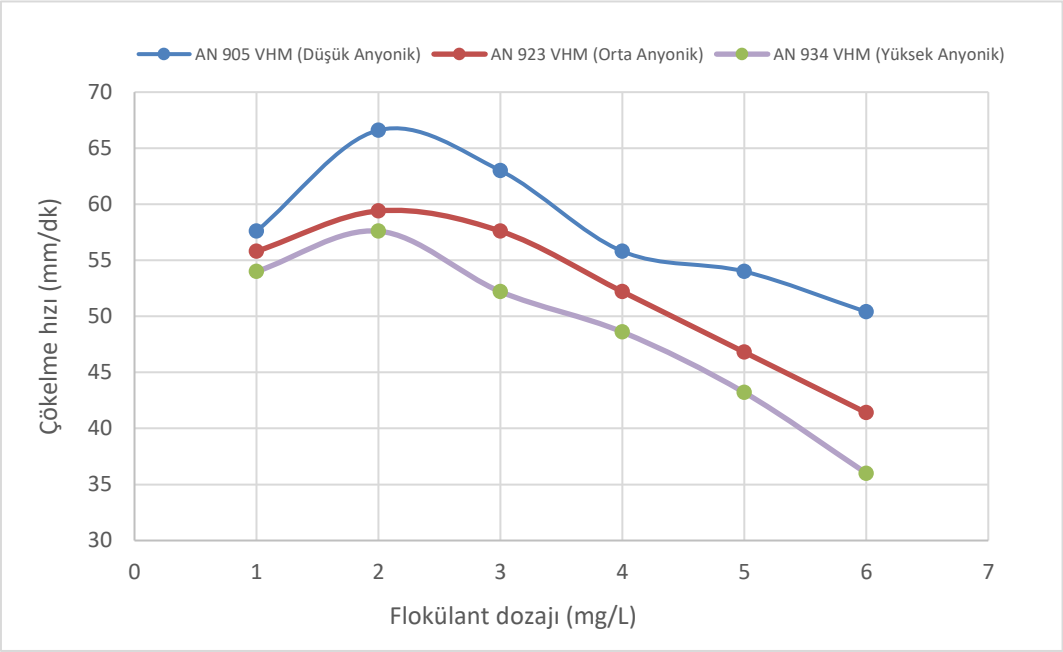
4.3.3. Flokülant **yük yoğunluğunun** flokülasyona etkisi

Yük yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelemek amacıyla yüksek, orta ve düşük molekül ağırlığına sahip farklı yük yoğunluklarında anyonik flokülantlar (AN 905 VHM, AN 923 VHM, AN 934 VHM, AN 905 SH, AN 923 SH, AN 934 SH, AN 905 S, AN 923 S, AN 934 S) ve farklı yük yoğunluğuna sahip katyonik flokülantlar kullanılarak flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ve çökelme hızı verileri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20).



Şekil 4.13. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

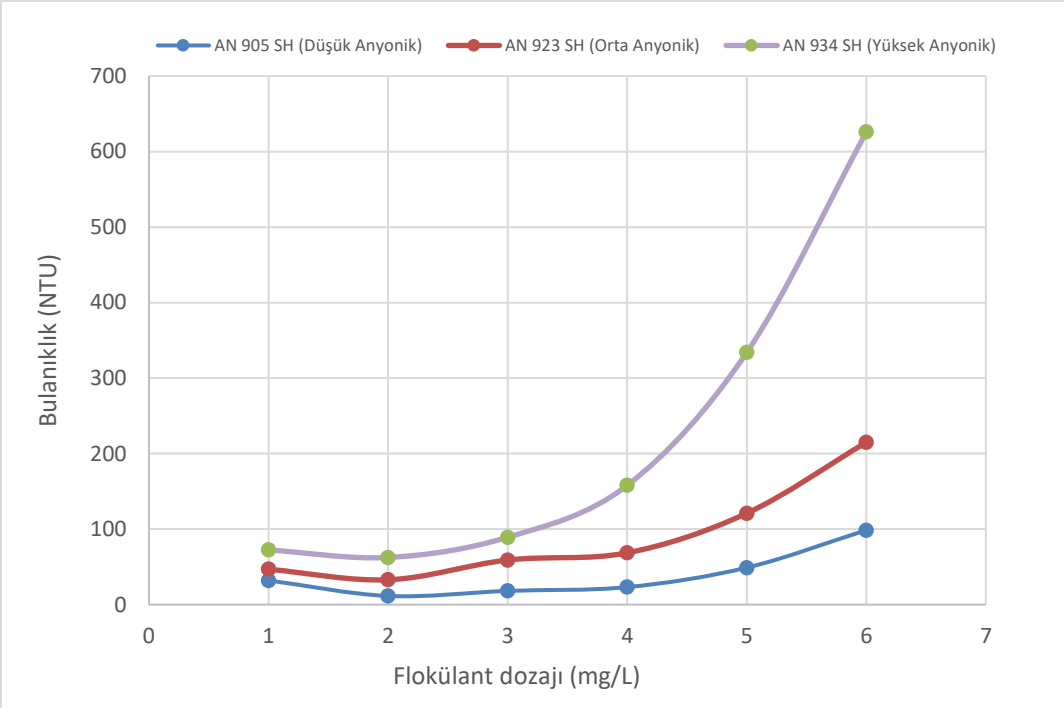
Flokülant yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değeri düşük gözlemlenmiştir. Bu dozajdan sonra bulanıklık değerlerinde artış olmuştur. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası en düşük bulanıklık 8,58 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 VHM) kullanımı sonrası en düşük bulanıklık 41,4 yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 VHM) kullanımı sonrası en düşük bulanıklık değeri 64,1 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.14. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

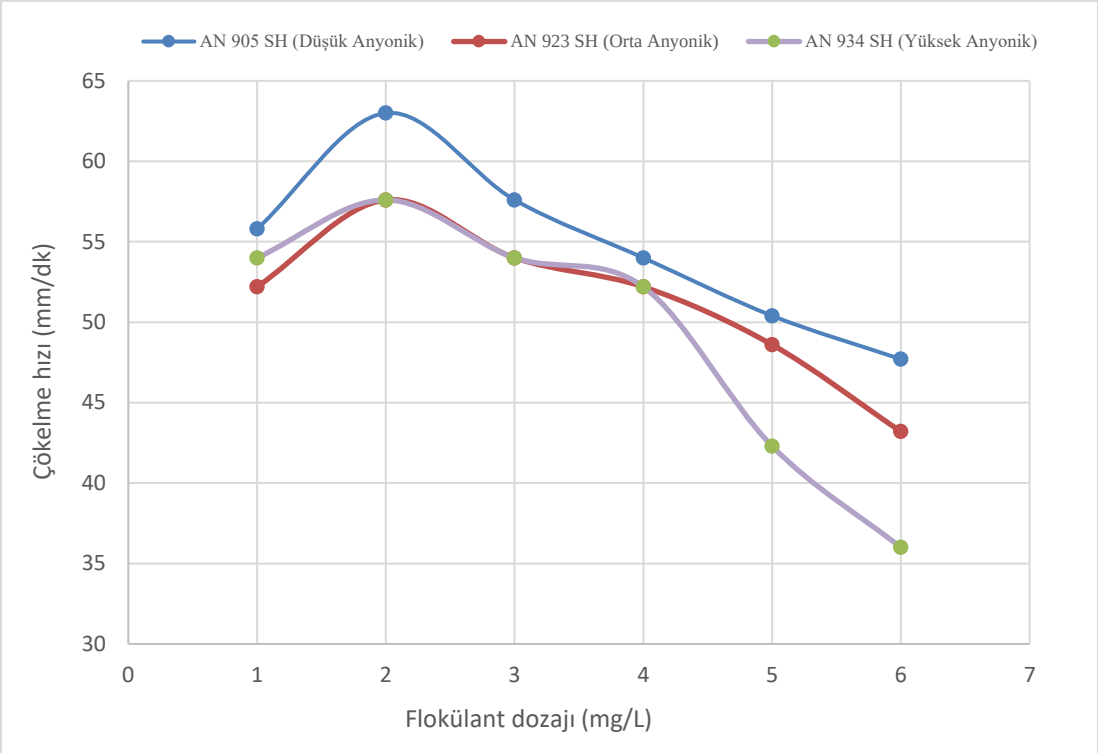
Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Flokülant dozajı arttıkça oluşan flokların yapısında değişiklik gözlemlenmiştir. Optimum dozajda büyük ve iri floklar oluşurken, flokülant miktarı arttıkça küçük floklar oluşmuş, toz halinde çökelme meydana gelmiştir.

Süspansiyonun flokülasyonunda düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası çökelme hızı 66,6 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 VHM) kullanımı sonrası çökelme hızı 59,4 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 VHM) kullanımı sonrası çökelme hızı 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.15. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

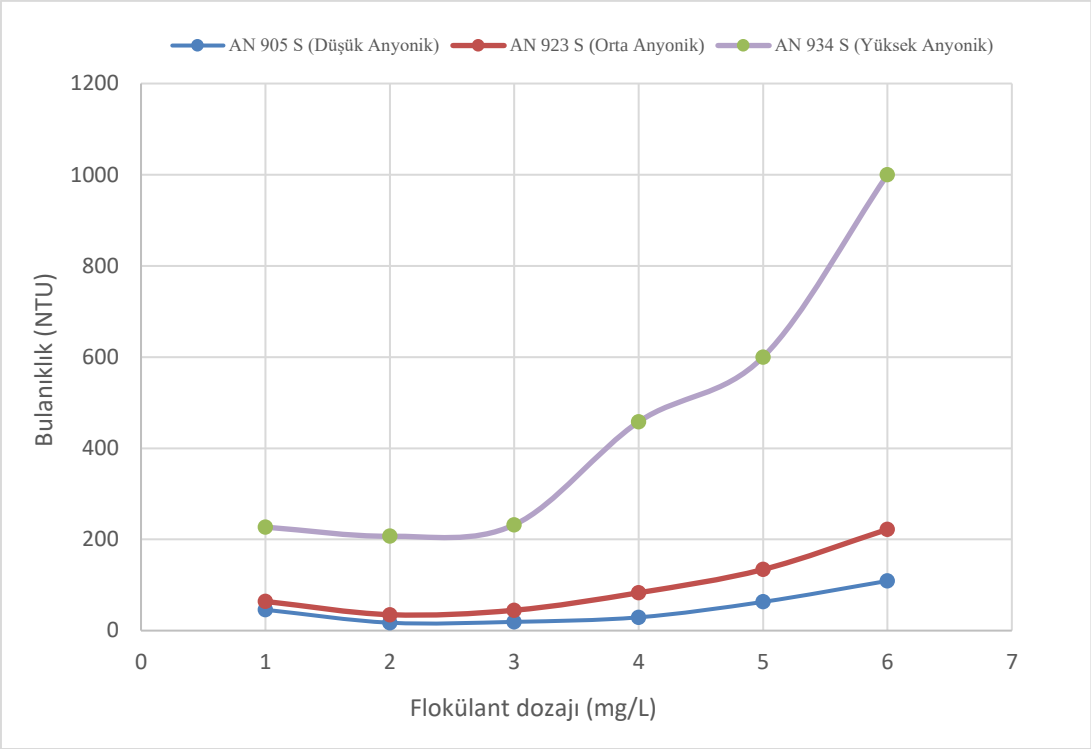
Flokülant yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası en düşük bulanıklık verileri elde edilmiştir. Bu dozajdan sonra artan flokülant miktarı ile bulanıklık değerlerinde yüksek okunmuştur. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası en düşük bulanıklık 11,5 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 SH) kullanımı sonrası en düşüki bulanıklık 32,9 yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 SH) kullanımı sonrası en düşük 62,5 NTU olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

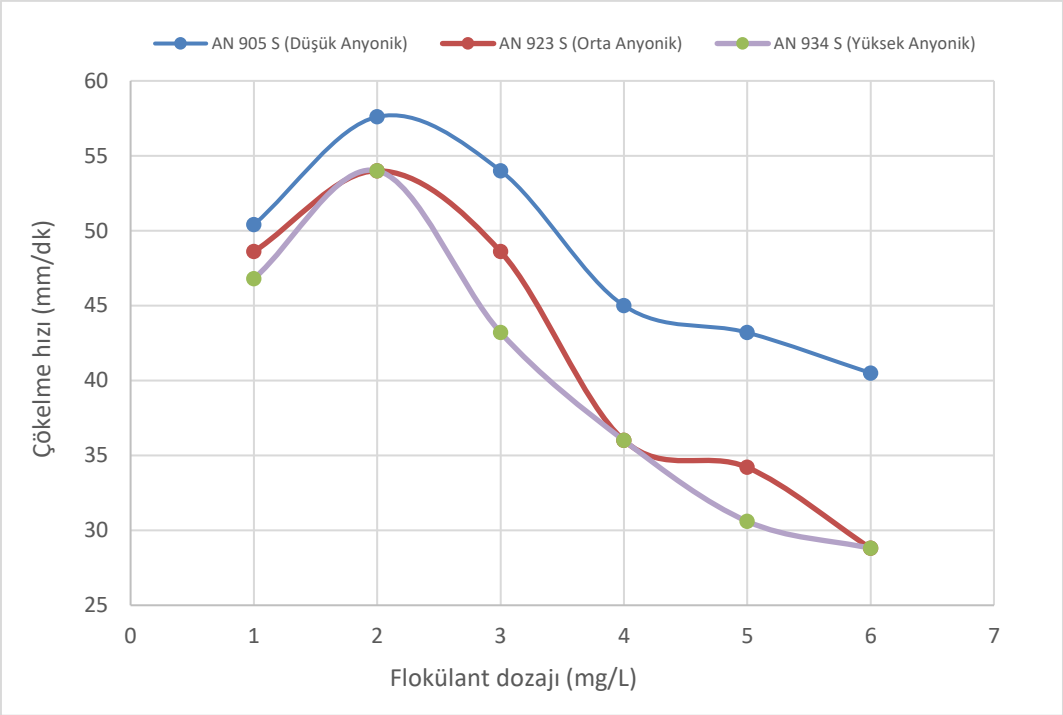
Şekil 4.16'da Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde flokülant miktarı arttıkça çökelme hızlarında artış gözlenmiş olup, optimum dozajda en yüksek çökelme hızı verilerine ulaşılmıştır. Flokülant dozajı arttıkça sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Flokülant miktarı arttıkça flokların yapısı küçülmüş olup çökelme toz halinde meydana gelmiştir. Etkin bir flokülasyon gerçekleşmemiştir.

Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası çökelme hızı 63 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 SH) kullanımı sonrası çökelme hızı 57,6 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 SH) kullanımı sonrası çökelme hızı 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir. Süspansiyonun flokülasyonunda en iyi çökelme hızı düşük yük yoğunluğuna sahip flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası ile elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

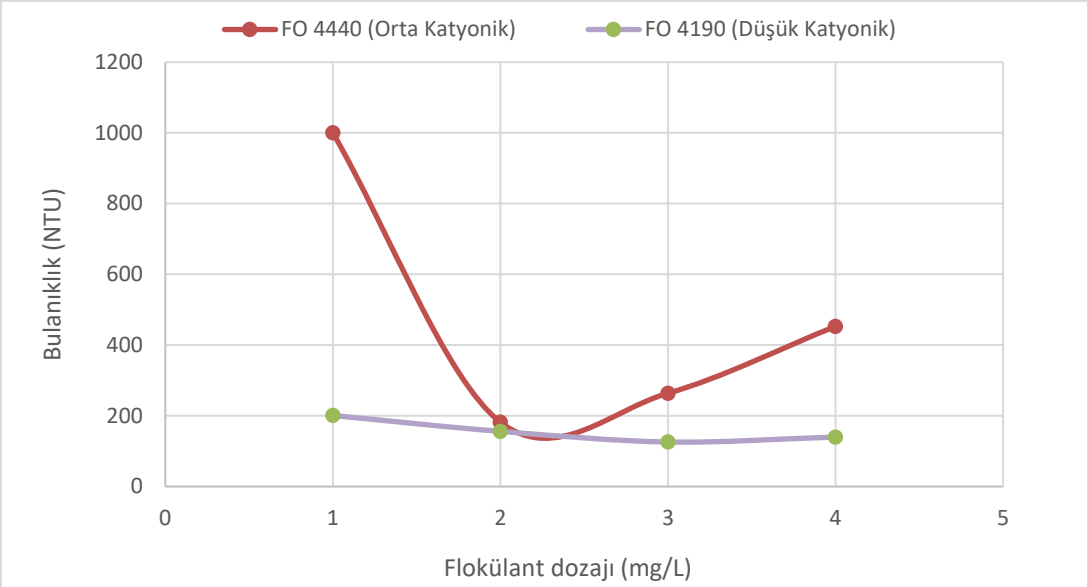
Elde edilen yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin başlangıçta yüksek olduğu, flokülant miktarı arttırıldığında azaldığı ve sonrasından tekrar artış olduğu gözlemlenmiştir. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası en düşük bulanıklık verileri elde edilmiştir. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası bulanıklık 17,3 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 S) kullanımı sonrası bulanıklık 34,9 NTU, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 S) kullanımı sonrası 207 NTU olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

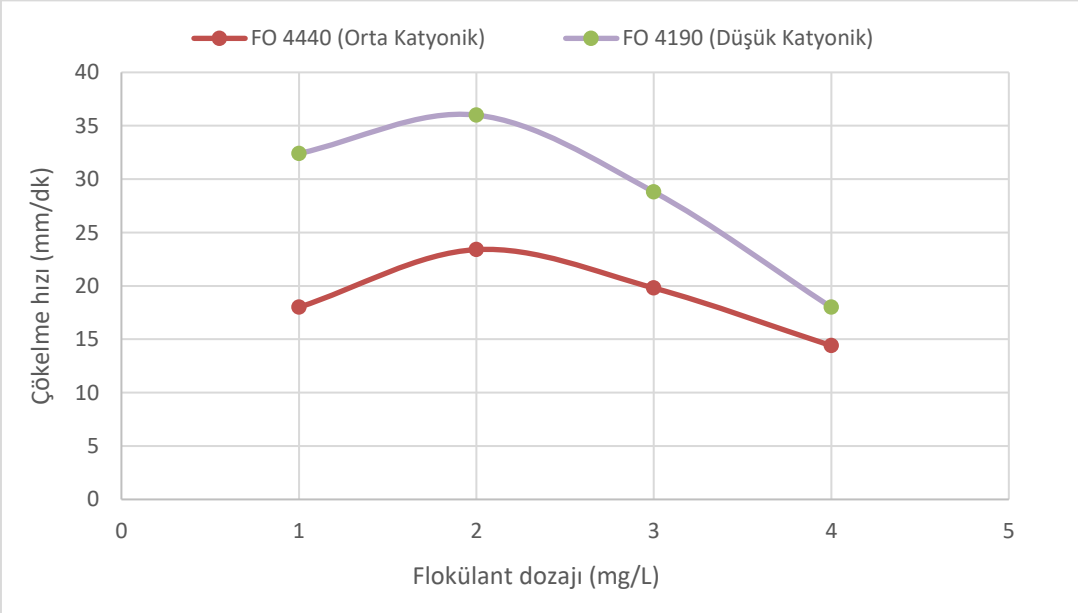
Şekil 4.18'de Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 57,6 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 54 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 54 mm/dk olarak belirlenmiştir. Süspansiyonun flokülasyonunda en iyi çökelme hızı düşük yük yoğunluğuna sahip flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası ile elde edilmiştir.

Anyonik flokülantlar ile gerçekleştirilen deneyler sonrası veriler incelendiğinde, en iyi bulanıklık ve çökelme hızı değerlerin *yüksek molekül ağırlığına sahip düşük yük yoğunluklu (AN 905 VHM)* flokülant kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Literatürde flokülanlarıntın yük yoğunluğunun artması ile flokülasyonun veriminin artacağı belirtilmiştir [43]. Literatürün aksine, süspansiyonun flokülasyonunda yüksek anyoniklik derecesine sahip flokülant kullanımı olumsuz etki yapmaktadır. Bunun nedeni, polimer köprü mekanizması oluşumu sırasında tanecik ve polimer arasında elektrostatik itme kuvvetlerinin oluşması ve köprü oluşumunu engelleyerek flokülasyonu olumsuz etkilemesidir.



Şekil 4.19. Flokülant (katyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Katyonik flokülantlarla gerçekleştirilen deneyler sonrası elde edilen yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin başlangıçta yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Flokülant miktarı arttırıldığında bulanıklık değerlerinde azalma olmuştur. Flokülant miktarı arttırılmaya devam edildiğinde ise bulanıklık değerlerinde tekrar bir artış gözlemlenmiştir. En düşük bulanıklık değerleri; düşük yük yoğunluğuna sahip katyonik flokülant (FO 4190) kullanımı sonrası bulanıklık 126 NTU, yüksek yük yoğunluğuna sahip katyonik flokülant (FO 4440) kullanımı sonrası 182 NTU olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Flokülant (katyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

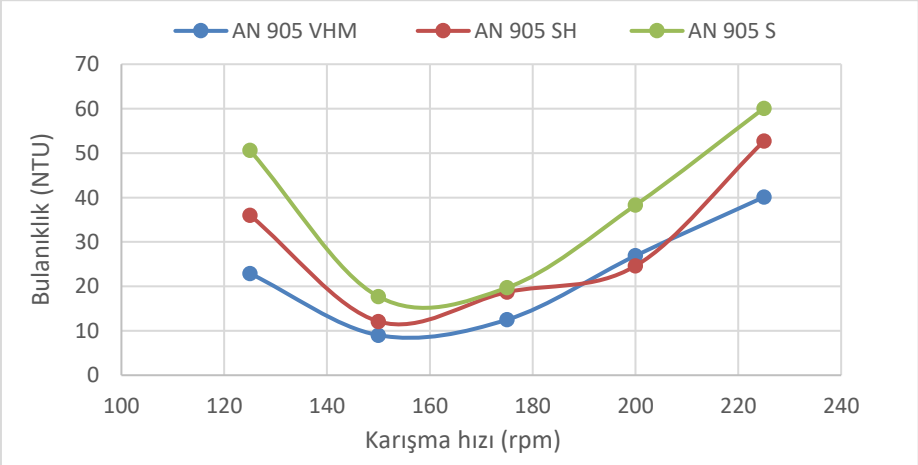
Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma olmuştur. Düşük yük yoğunluğuna sahip katyonik flokülant (FO 4190) kullanımı sonrası çökelme hızı 36 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip katyonik flokülant (FO 4440) kullanımı sonrası çökelme hızı 23,4 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Anyonik ve katyonik flokülantlar ile gerçekleştirilen deney verileri incelendiğinde flokülantın katyoniklik derecesi arttıkça bulanıklık değerlerinde artış, çökelme hızı değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında yük yoğunluğu yüksek flokülant kullanımı sonrası polimer ile tanecik arasında oluşan elektrostatik itme kuvvetlerinin artmış olduğu söylenebilmektedir. Bu sebeple tanecik ile polimer etkileşimi olumsuz şekilde etkilenmiş olup flokülasyon verimi düşmüştür [44].

Flokülant yük yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelemek için gerçekleştirilen deneyler sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri; *yüksek molekül ağırlıklı, düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant* kullanımı sonrası elde edilmiştir.

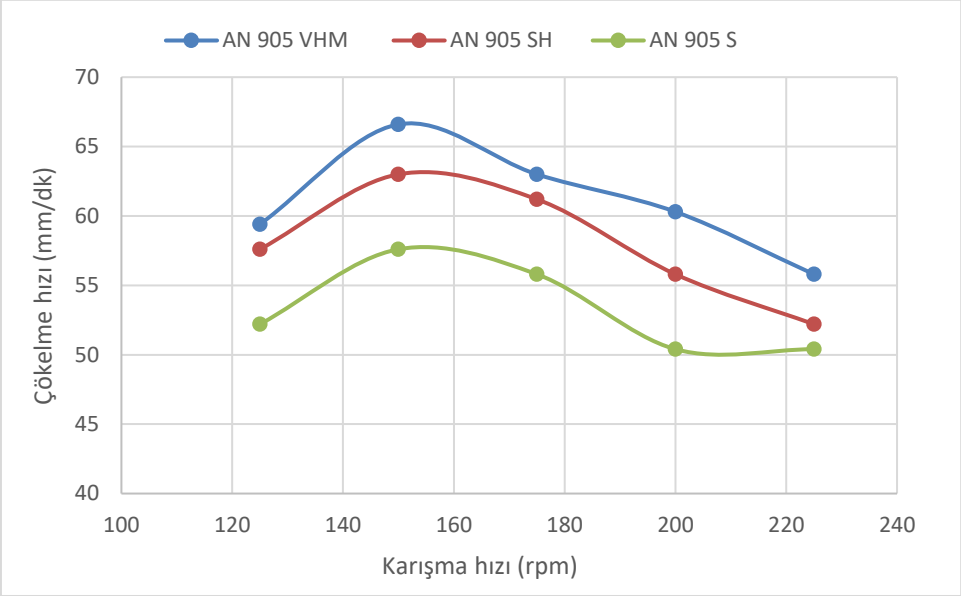
4.3.4. Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisi

Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisini incelemek amacıyla anyonik, non-iyonik ve katyonik flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ve çökelme hızı verileri grafğe aktarılmıştır. (Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26)



Şekil 4.21. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde farklı karıştırma hızına göre elde edilen verilere göre en düşük bulanıklık değerlerine 150 rpm karıştırma hızı ile elde edilmiştir. Düşük karıştırma hızından bulanıklık değerlerinin yüksek olduğu, optimum karıştırma hızında minimum seviyeye indiği gözlemlenmiştir. Optimum karıştırma hızından daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonucunda ise bulanıklık değerlerinde tekrar artış gözlemlenmiştir. En düşük bulanıklık değerleri her üç flokülant kullanımı ile 150 rpm karışma hızında elde edilmiştir. AN 905 VHM flokülantı kullanımı ile 9,02 NTU, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 12,1 NTU, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 17,7 NTU olarak okunmuştur. Karıştırma hızının artması oluşan flokların küçülmesine ve parçalanmasına neden olmuştur. Bu sebple bulanıklık değerinde artış gözlemlenmiştir [59].

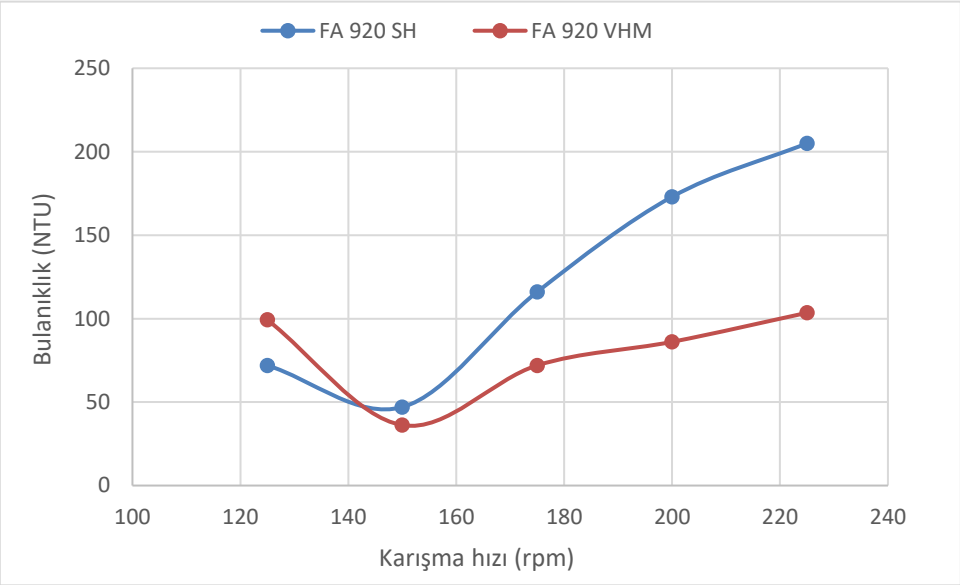


Şekil 4.22. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının optimum karışma hızında en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra artan karışma hızları ile çökelme hızı değerleri azalmaya başlamıştır. Optimum karışa hızı 150 rpm olarak belirlenmiştir. Optimum karışma hızında çökelme hızı değerleri; AN 905 VHM flokülantı kullanımı sonrası 66,6 mm/dk, AN 905 SH flokülantı kullanımı sonrası 63 mm/dk, AN 905 S flokülantı kullanımı sonrası 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir. Düşük karışma hızlarında flokülant süspansiyonda yeteri kadar dağılamış ve yeterli etki gösterememiştir. Yüksek

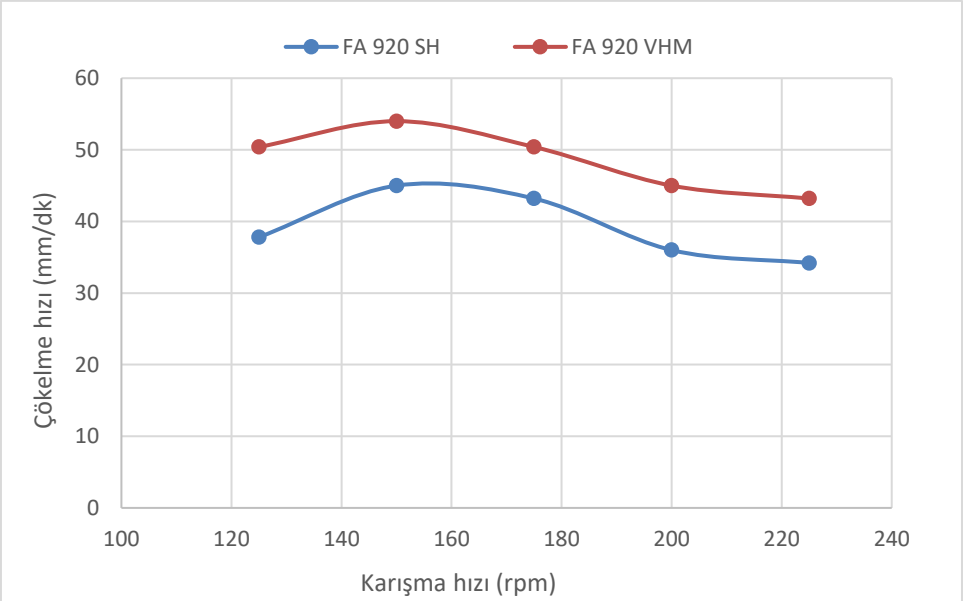
karıştırma hızlarında ise oluşan flokları kesme kuvveti etkisiyle ile parçalanması gerçekleşmiş olup flok oluşumu engellenmiştir [59]. Bu da flokülasyonu olumsuz etkilemiştir.

Optimum karışma hızında en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri *yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant* (AN 905 VHM) kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.23. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi

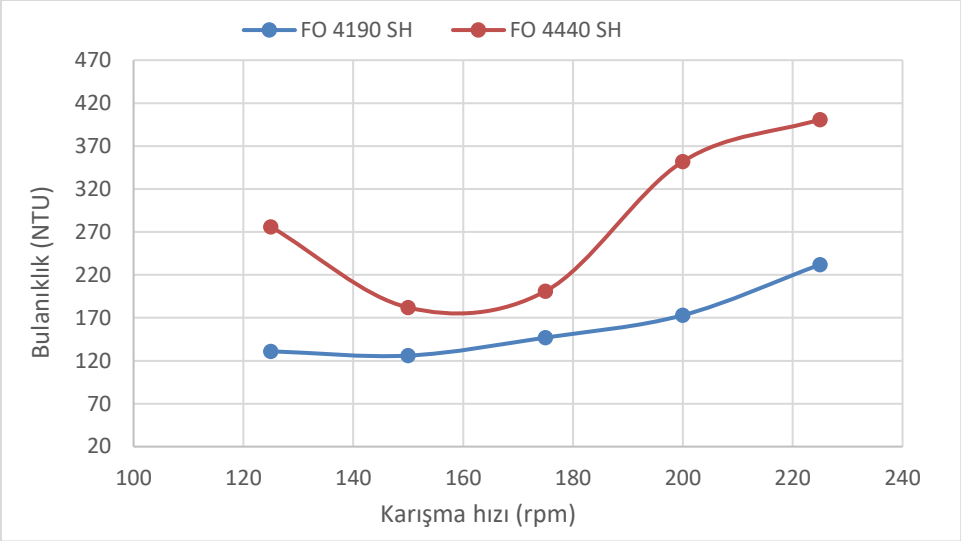
Non-iyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde farklı karıştırma hızına göre elde edilen verilere incelendiğinde düşük karıştırma hızında bulanıklık değerlerinin yüksek olduğu, optimum karıştırma hızında minimum seviyeye indiği ve optimum karıştırma hızından daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonucunda ise bulanıklık değerlerinde tekrar artış gözlemlenmiştir. Optimum karışma hızında bulanıklık değerleri; FA 920 VHM flokülantı kullanımı sonrası 36,2 NTU, FA 920 SH flokülantı kullanımı sonrası 47 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.24. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi

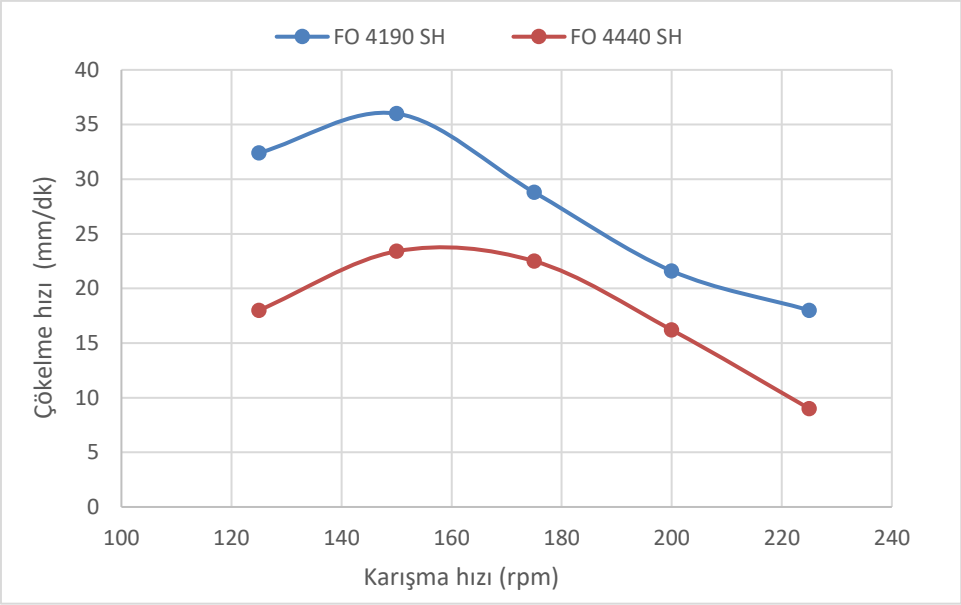
Non-iyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının düşük karışma hızlarında düşük olduğu, karıştırma hızı arttıkça yükseldiği gözlemlenmektedir. Optimum karışma hızında çökelme hızı en yüksk değere ulaşmıştır. Artan karışma hızları sonucunda çökelme hızı değerleri azalmaya başlamıştır. Optimum karışma hızında en iyi çökelme hızı değerleri; FA 920 VHM çökelme hızı 54 mm/dk, 175 sonucu çökelme hızı 50,4 mm/dk, FA 920 SH flokülantı kullanımı sonrası 150 rpm karışma hızı sonucu çökelme hızı 45 mm/dk olarak belirlenmiştir.

En iyi çökelme hızı ve bulanıklık değerleri *yüksek molekül ağırlıklı non-iyonik flokülant* kullanımı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.25. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi

Katyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde farklı karıştırma hızına göre elde edilen eğriler incelendiğinde; karışma hızı arttıkça bulanıklık değerlerinin düştüğü, optimum karışma hızında en iyi bulanıklık değerleri elde edildiği görülmektedir. Karıştırma hızı arttırıldıkça bulanıklık değerlerinde artış eğilimi olmuştur. Optimum karışma hızında en iyi bulanıklık değerleri; FO 4190 SH flokülantı kullanımı ile 126 NTU, FO 4440 SH flokülantı kullanımı sonrası ise 182 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.26. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi

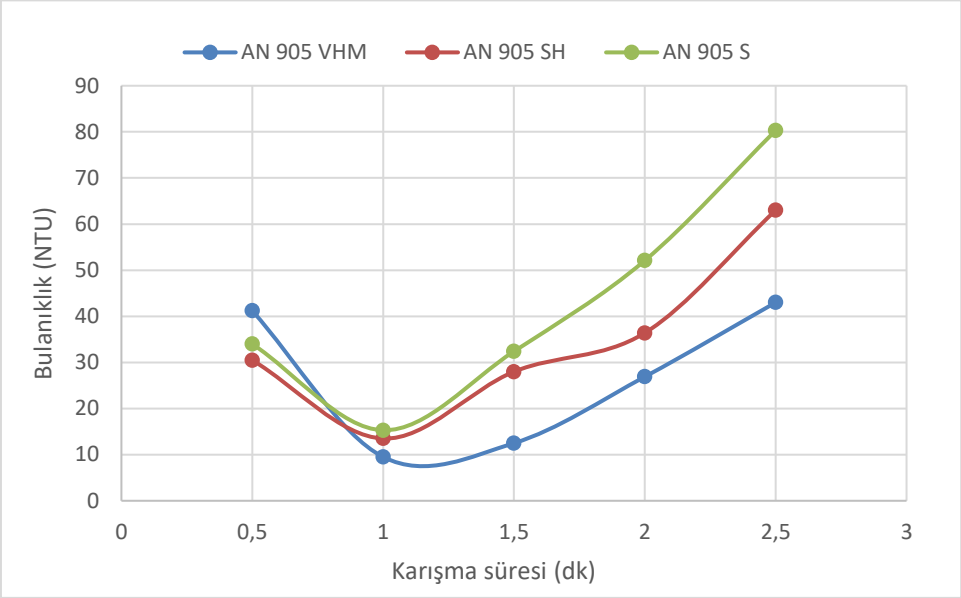
Katyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; karışma hızı arttıkça çökelme hızının arttığı, optimum karışma süresinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Artan karışma hızları sonucunda çökelme hızı değerleri azalmaya başlamıştır. Optimum karışma hızında en iyi çökelme hızı verileri; FO 4190 SH flokülantı kullanımı ile 36 mm/dk, FO 4440 SH flokülantı kullanımı ile 23,4 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Anyonik, non-iyonik ve katyonik flokülantlar ile gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrasında flokülasyon için optimum karışma hızı 150 rpm olarak belirlenmiştir. Düşük karışma hızlarında flokülantlar homojen olarak dağılım gösteremeyip flokülasyon verimliliği düşmüştür. Yüksek karışma hızlarında ise süspansiyonda oluşan kesme kuvvetleri etkisiyle oluşan flokların parçalanması söz konusu olup parçalanan flokların tekrardan bir araya gelmesi güçleşmiş ve flokülasyon olumsuz yönde etkilemiştir [53].

Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisini incelemek için gerçekleştirilen deneyler sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri; *yüksek molekül ağırlıklı, düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant* kullanımı sonrası elde edilmiştir.

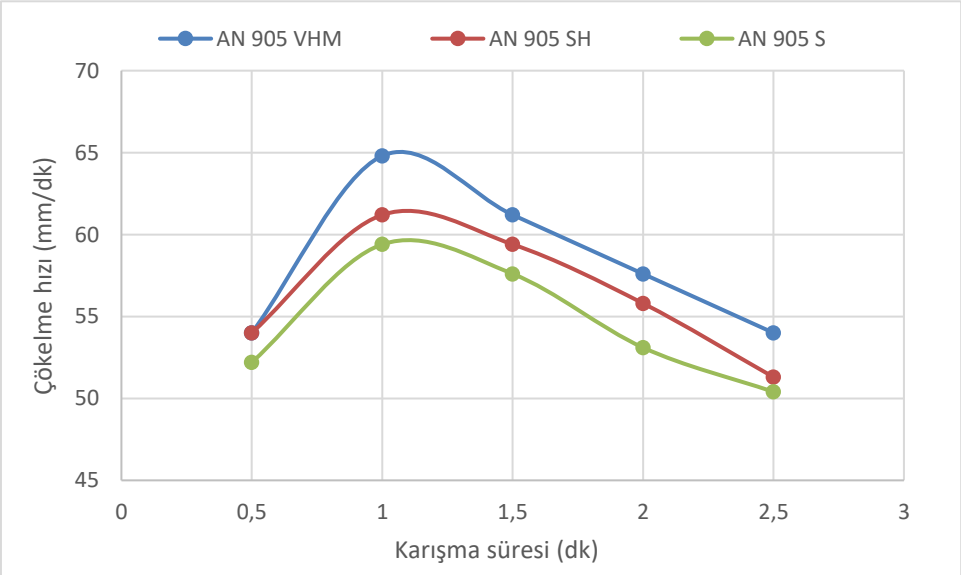
4.3.5. Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisi

Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisini incelemek amacıyla anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32).



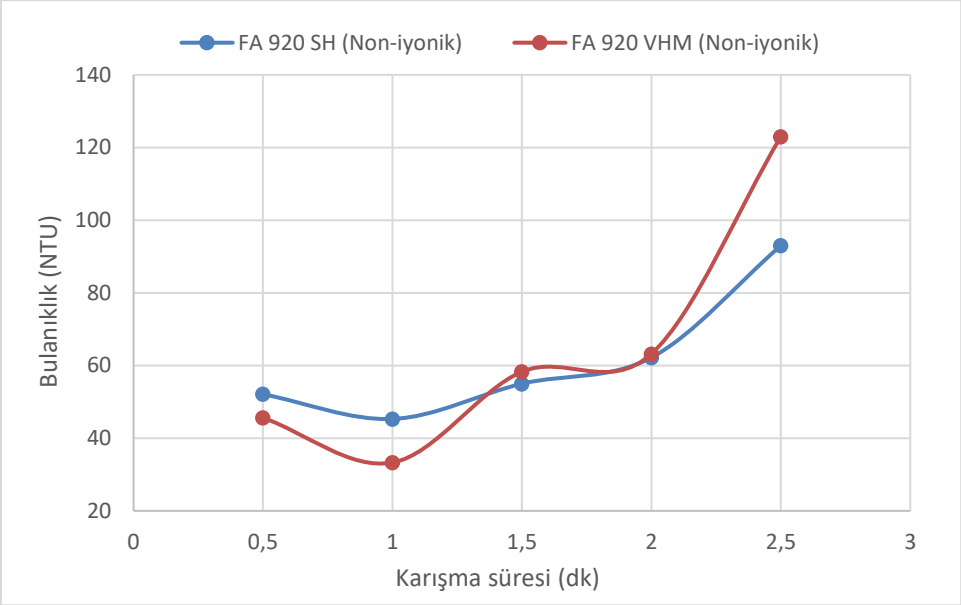
Şekil 4.27. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık değerlerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin belirli karıştırma süresinde en düşük değere indiği sonrasında tekrar yükselme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. 1 dakika karışma sonrası bulanıklık değerleri; AN 905 VHM flokülantı kullanımı ile 9,51 NTU, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 13,5 NTU, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 15,3 NTU olarak okunmuştur.



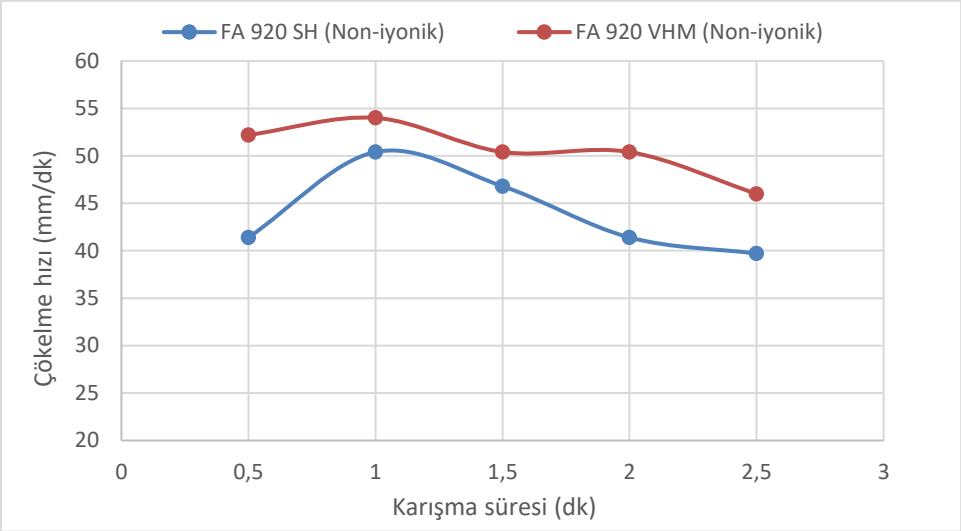
Şekil 4.28. Anyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının optimum karışma süresinde en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra artan karışma süreleri ile çökelme hızı azalmaya başlamış hem de oluşan flokların boyutunda küçülme gözlemlenmiştir. AN 905 VHM flokülantı kullanımı sonrası 1 dakika karışma sonucu çökelme hızı 64,8 mm/dk, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası çökelme hızı 61,2 mm/dk, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası çökelme hızı 59,4 mm/dk olarak belirlenmiştir. En iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerine *yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant* (AN 905 VHM) kullanılarak elde edilmiştir



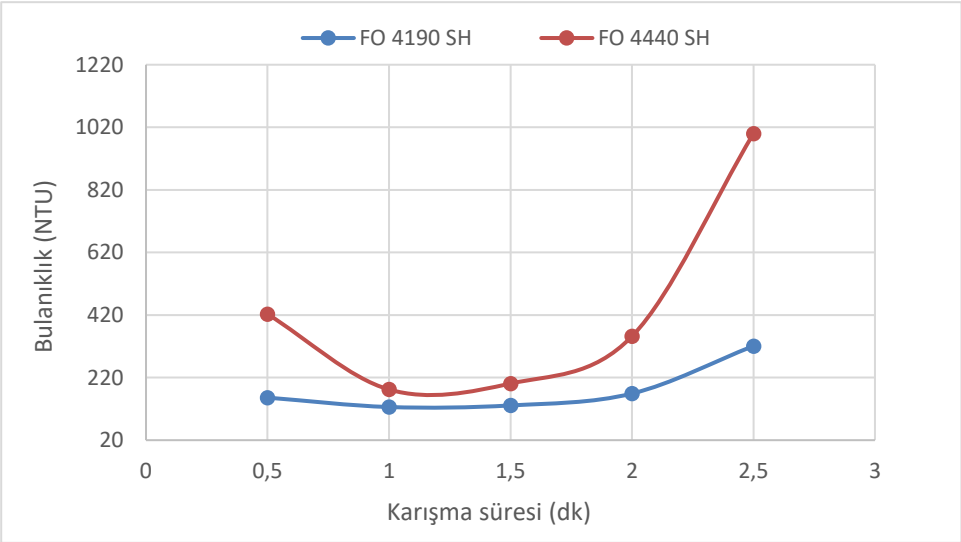
Şekil 4.29. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi

Non-iyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık değerlerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin başlangıçta yüksek olduğu görülmektedir. Karışma süresi artırıldığında bu değerler azalmıştır. Fakat karışma süresinin arttırılması devam ettiğinde bulanıklık değerlerinde tekrardan artış gözlemlenmiştir. FA 920 SH flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası bulanıklık değeri 45,3 NTU, FA 920 VHM flokülantı kullanımı ile, 1dakika karışma sonrası bulanıklık 54 NTU olarak okunmuştur.



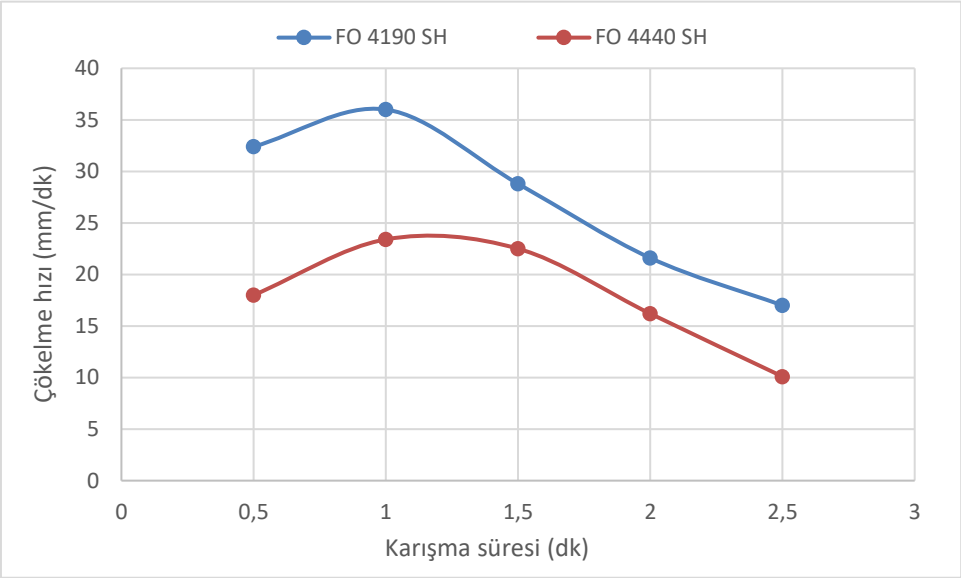
Şekil 4.30. Non-iyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi

Non-iyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının optimum karışma süresinde en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra artan karışma süreleri ile çökelme hızı azalmaya başlamıştır. FA 920 SH flokülantı kullanımı sonrası 1 dakika karışma sonucu çökelme hızı 50,4 mm/dk, FA 920 VHM flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası çökelme hızı 54 mm/dk olarak belirlenmiştir. En iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerine *yüksek molekül ağırlıklı non-iyonik flokülant* (FA 920 VHM) kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi

Katyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık değerlerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin başlangıçta yüksek olduğu görülmektedir. Karışma süresi artırıldığında bu değerler azalmıştır. Fakat karışma süresinin arttırılması devam ettiğinde bulanıklık değerlerinde tekrardan artış eğiliminde olduğu görülmektedir. FO 4190 SH flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası bulanıklık değeri 126 NTU, FO 4440 flokülantı kullanımı 1dakika karışma sonrası bulanıklık 182 NTU olarak okunmuştur. *Düşük yük yoğunluğuna sahip flokülant* (*FO 4190)* kullanımı sonrası en iyi bulanıklık verileri elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Katyonik flokülant kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi

Katyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler bakıldığında çökelme hızının karışma süresi arttıkça arttığı, belli bir süreden sonra azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. FO 4190 SH Flokülantı kullanımı sonrası 1 dakika karışma sonucu çökelme hızı 36 mm/dk, FO 4440 flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası çökelme hızı 23,4 mm/dk, olarak belirlenmiştir.

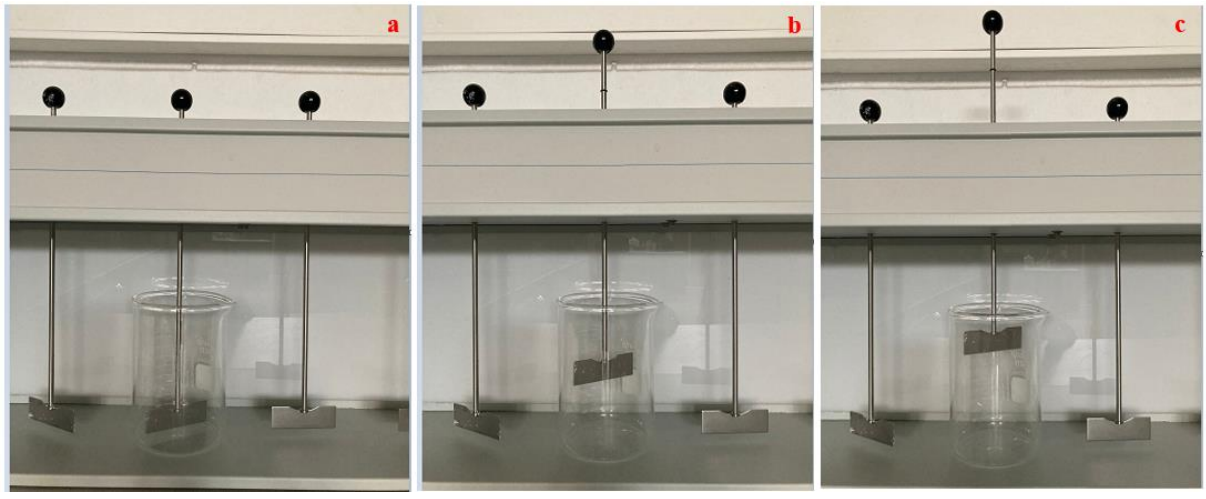
Anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülantların kullanımı sonrası optimum karışma süresinde (1dakika) en iyi bulanıklık ve çökelme verileri elde edilmiştir. Düşük karışma sürelerinde flokülant süspansiyonla iyi bir karışım ve tanecikler arasında tutunma sağlayamadığından flokülasyon olumsuz etkilenmiştir [53]. Optimum sürenin üzerinde karışma süresi ile deneyler gerçekleştiğinde ise bulanıklık değerlerinde yükseliş, çökelme

hızı değerlerinde ise azalma olmuştur. Bu da flokülantın fazla süre karışmaya maruz kalması sonucu taneler üzerinde fazlaca adsorplanması ve sterik engel oluşturarak flokülasyon verimini düşürdüğünü ve oluşan flokların dağılma yönünde eğilimde olduğunu göstermektedir [54].

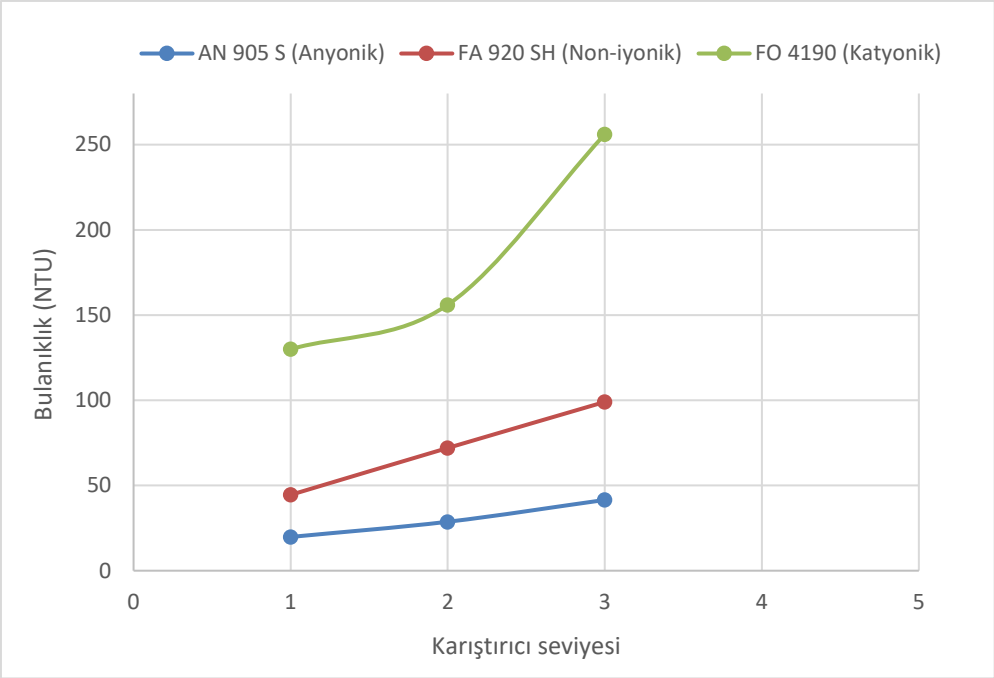
Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisini incelemek için gerçekleştirilen deneyler sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri; *yüksek molekül ağırlıklı, düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM)* kullanımı sonrası elde edilmiştir.

4.3.6. Karıştırıcı seviyesinin flokülasyona etkisi

Karıştırıcı seviyesinin etkisini incelemek amacıyla; anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülantlar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bulanık ve çökelme hızı verileri grafiğe aktarılmıştır. (Şekil 4.33, 4.34). Resim 4.1'de karıştırıcı seviyeleri gösterilmiştir.

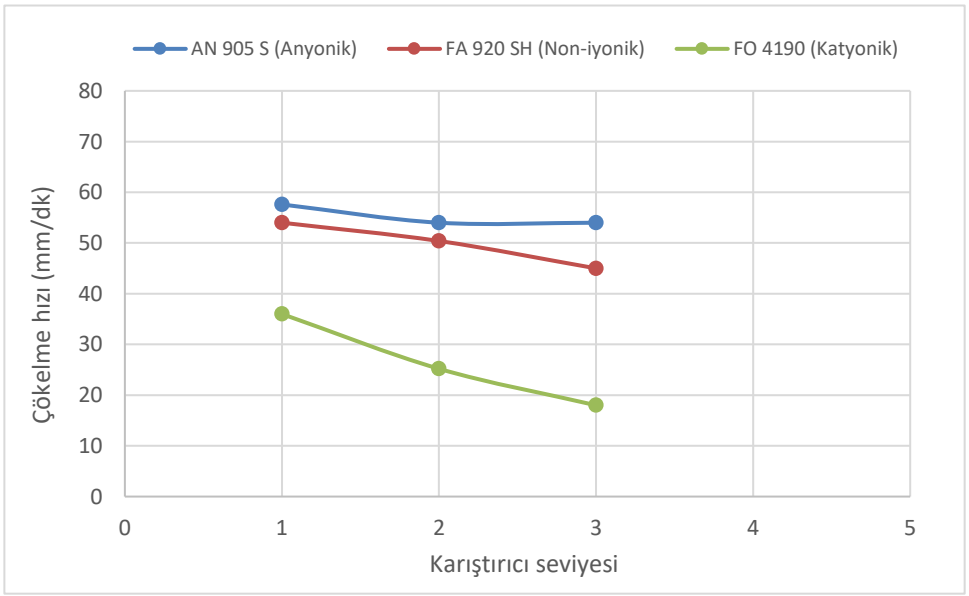


Resim 4.1. Karıştırıcı seviyesi gösterimi (a: 1. Seviye, b: 2. Seviye, c: 3. Seviye)



Şekil 4.33. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa etkisi

Flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça bulanıklık değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Her üç flokülant için de en iyi bulanıklık değerleri karıştıcının 1. Seviyede olduğu konumda elde edilmiştir. Bulanıklık değerleri ; Anyonik flokülant kullanımı sonrası 19,8 NTU, non-iyonik flokülant kullanımı sonrası 44,5 NTU, katyonik flokülant kullanımı sonrası 130 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.34. Karıştırıcı seviyesinin çökelme hızına etkisi

Flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça çökelme hızı değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. En iyi çökelme hızı verileri, karıştıcının 1. Seviyede olduğu konumda elde edilmiştir. Çökelme hızı değerleri ; anyonik flokülant kullanımı sonrası 57,6 mm/dk, non-iyonik flokülant kullanımı sonrası 54 mm/dk, katyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme 36 mm/dk, olarak belirlenmiştir.

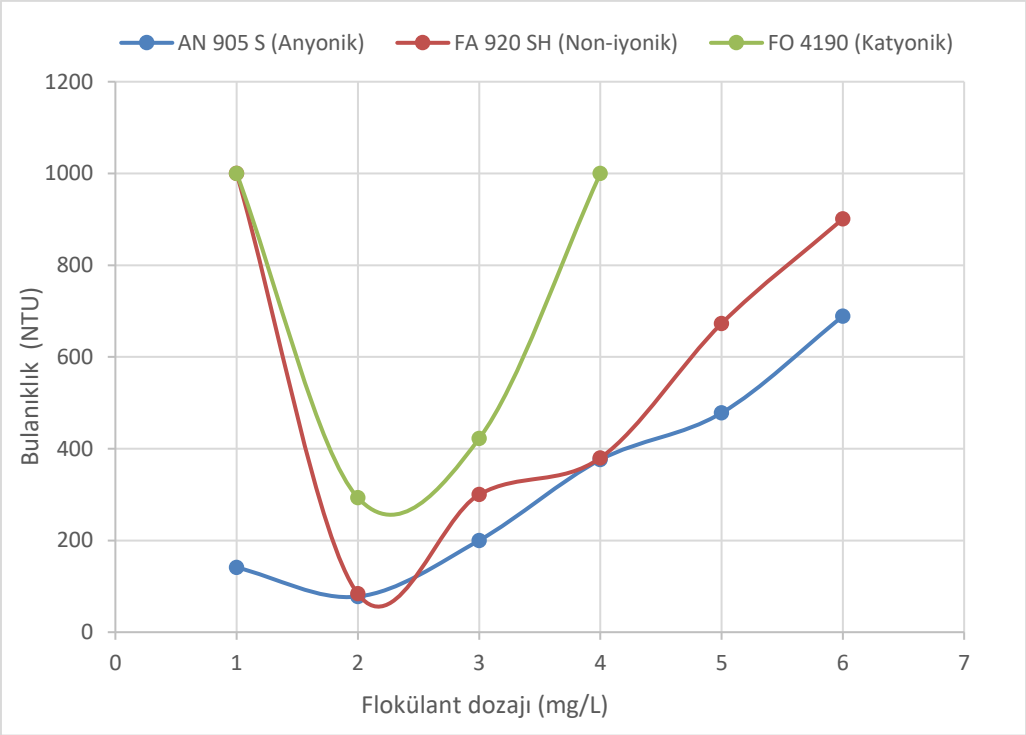
Karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça flokülantın süspansiyon içerisinde karışması yeterince sağlanamamış olup flokülasyon mekanizması olumsuz etkilenmiştir [57]. Bu da bulanıklık değerlerinin artmasına, çökelme hızı değerlerinin de azalmasına neden olmuştur.

4.4. Prosesten Alınan Katı Numuneler ile Hazırlanan Süspansiyonun Flokülasyon Deneyleri

Prosesten alınan katı numuye (tüvenan tinkal) ilk olarak boyut küçültme işlemi uygulanmıştır. Böylece kaynama sıcaklığındaki sıcak suyla çözünmesi kısa sürede gerçekleşmiştir. Ayrıca numunenin tane boyutunu küçülterek flokülasyona da etkisi gözlemlenmiştir.

4.4.1. Flokülant türü ve miktarının flokülasyona etkisi

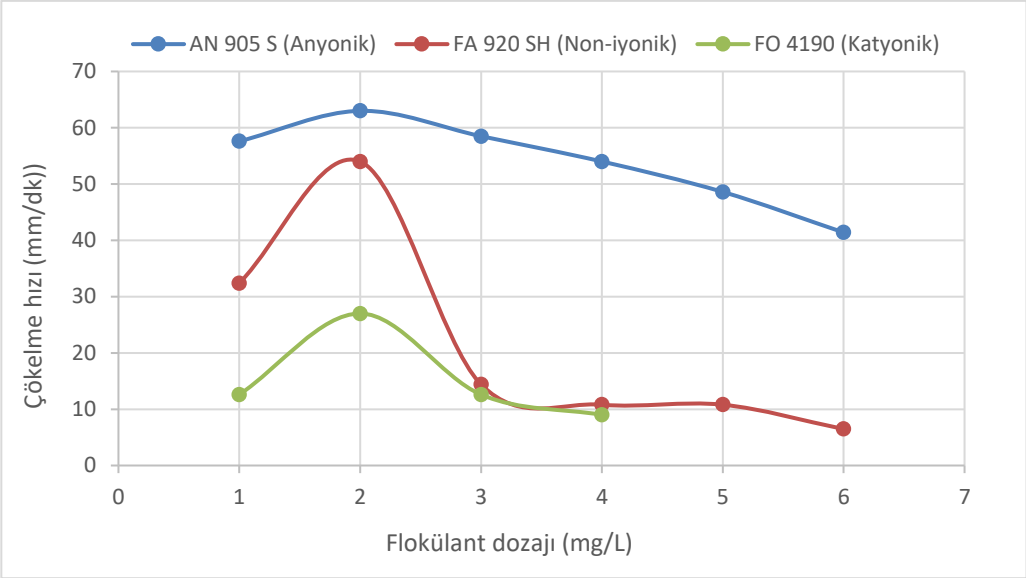
Flokülant türünün etkisini incelemek amacıyla; anyonik (AN S 905), non-iyonik (FA 920 SH) ve katyonik (FO 4190) karakterli flokülantlar ile deneyler deneyler yapılmıştır. Flokülasyon deneyleri süspansiyonun doğal pH'ında (9,40-9,45) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen bulanıklık ve çökme hızı değerleri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.35, 4.36).



Şekil 4.35. Flokülant türü ve miktarının bulanıklığa etkisi

Flokülasyon deneyleri sonucu elde edilen bulanıklık değeri eğrileri incelendiğinde; en düşük bulanıklık değeri, 2 mg/L anyonik (AN 905) flokülant ilavesi sonucu 77,6 NTU olarak elde edilmiştir. Daha sonra 2 mg/L non-iyonik flokülant (FA 920 SH) kullanımı sonrası bulanıklık değeri 83,6 NTU, 2 mg/L katyonik flokülant (FO 4190) kullanımı sonrası bulanıklık değeri 293,2 NTU olarak elde edilmiştir. 4 mg /L katyonik flokülant (FO 4190) kullanımı sonrası bulanıklık değeri 1000 NTU (en üst değer) olarak okunduğu için daha fazla katyonik flokülant dozajı ile deney yapılmamıştır.

Anyonik, katyonik ve non-iyonik flokülant kullanımı sonrası flokülant miktarı arttıkça bulanıklık değerlerinin düştüğü fakat belli bir miktardan sonra bulanıklık değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Flokülasyon deneyleri sonrasında en düşük bulanıklık değerine *anyonik flokülant (AN 905 S)* kullanımı sonrası ulaşılmıştır.



Şekil 4.36. Flokülant türü ve miktarının çökelme hızına etkisi

Şekil 4.36'da süspansiyonun flokülasyonunda, flokülant miktarına göre belirlenen çökelme hızı eğrilerilerinde anyonik, non- iyonik ve katyonik flokülantlar kullanımı sonrası flokülant miktarı arttıkça, belli bir miktara kadar çökelme hızı arttığı bu miktardan sonra ise çökelme hızının düştüğü gözlemlenmiştir.

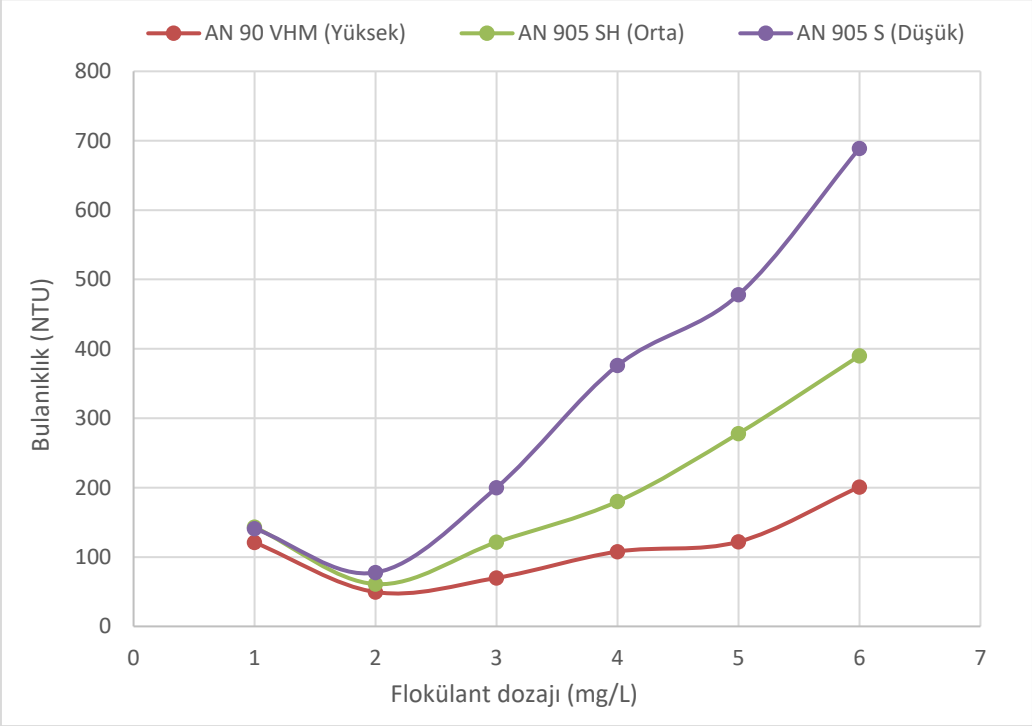
Optimum floklülant dozajı 2mg/ L olarak belirlenmiştir. Bu dozajdan fazlası kullanıldığında hem bulanıklık verilerinde hem de çökelme hızı verilerinde olumsuz etki görülmektedir. Flokülantlarn sterik engeli olarak bilinen bu durum flokülasyonu olumsuz etkilemiştir [48].

2 mg/L optimum dozajda flokülant ilavesi ile çökelme hızları; anyonik flokülant kullanımı sonucu 63 mm/ dk, non-iyonik flokülant kullanımı sonrası 54 mm/dk, katyonik flokülant kullanımı sonrası 27 mm/dk olarak bulunmuştur. En iyi çökelme hızı verilerine anyonik flokülant kullanımı sonucu ulaşılmıştır.

Elde edilen verilere göre flokülasyon işlemi için en uygun flokülant türünün anyonik olduğu belirlenmiştir. Çözme oluğundan alınan numuneler ile gerçekleştirilen deneyler sonuçları da göz önünde bulundurularak flokülasyonu etkileyen diğer parametrelerin incelenmesi için yapılacak olan deneylerde anyonik flokülantlar kullanılmıştır.

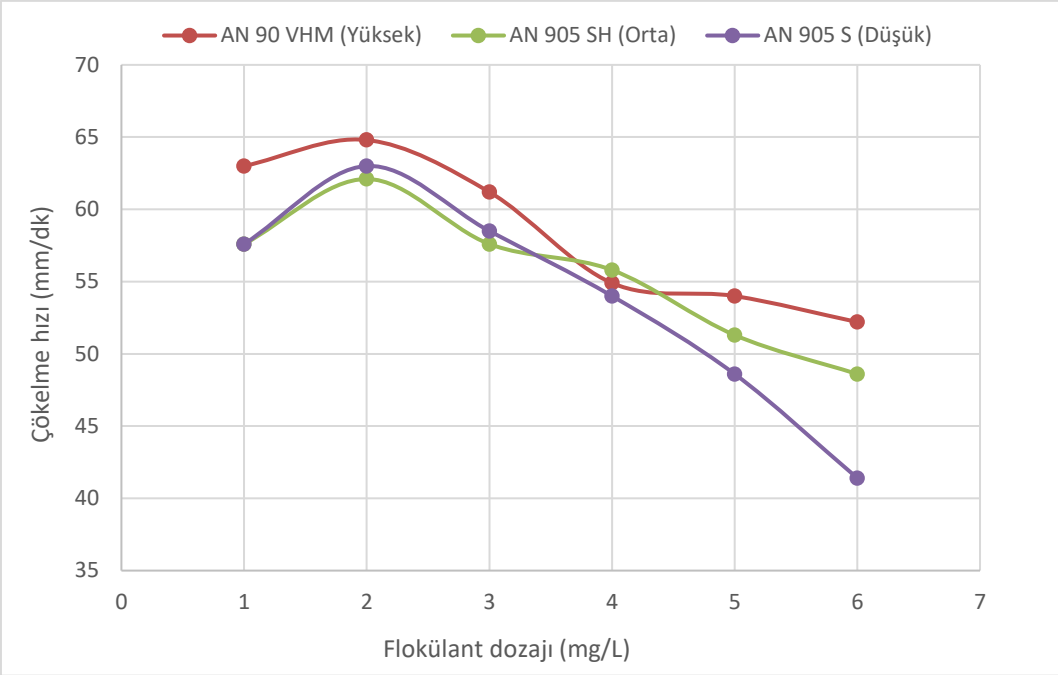
4.4.2. Flokülant molekül ağırlığının flokülasyona etkisi

Molekül ağırlığının flokülasyona etkisini incelemek için anyonik flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Molekül ağırlığının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.37, 4.38).



Şekil 4.37. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının bulanıklığa etkisi

Şekil 4.37'de flokülant miktarına göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değeri düşük gözlemlenmiştir. Bu dozajdan sonra bulanıklık değerlerinde artış olmuştur. Yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 49,5 NTU, orta molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 61 NTU, düşük molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 77,6 NTU olarak okunmuştur.

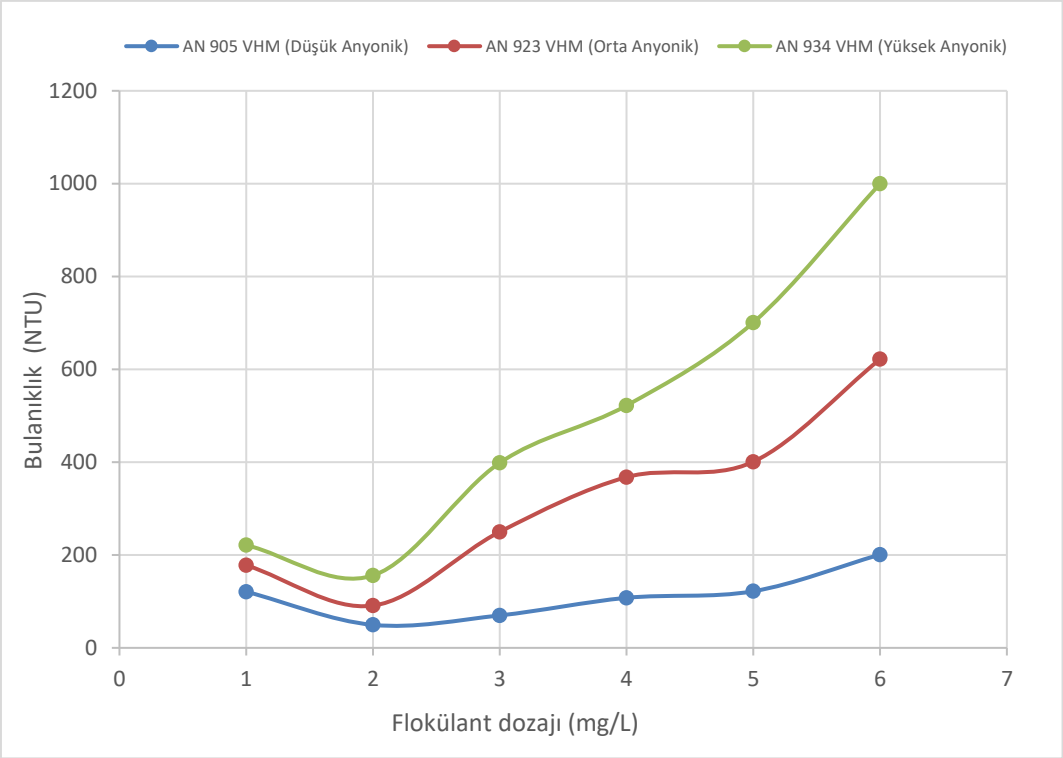


Şekil 4.38. Flokülant (anyonik) molekül ağırlığının çokelme hızına etkisi

Şekil 4.38'de flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Optimum flokülant kullanımı sonrası en iyi çökelme hızları; AN 905 VHM flokülantı ile 64,8 mm/dk, AN 905 SH flokülantı ile 62,1 mm/dk, AN 905 S flokülantı ile 63 mm/dk olarak belirlenmiştir. Süspansiyonun flokülasyonunda en iyi çökelme hızı *yüksek mol ağırlıklı flokülant (AN 905 VHM)* kullanımı sonrası ile elde edilmiştir. Bu durum, flokülantın zincir uzunluğunun artması ile birlikte tanecik ile flokülant arasında oluşan köprüleme mekanizmasını olumlu etkilemekle beraber flokülasyon veriminin artmasına neden olmasıyla açıklanmaktadır [39].

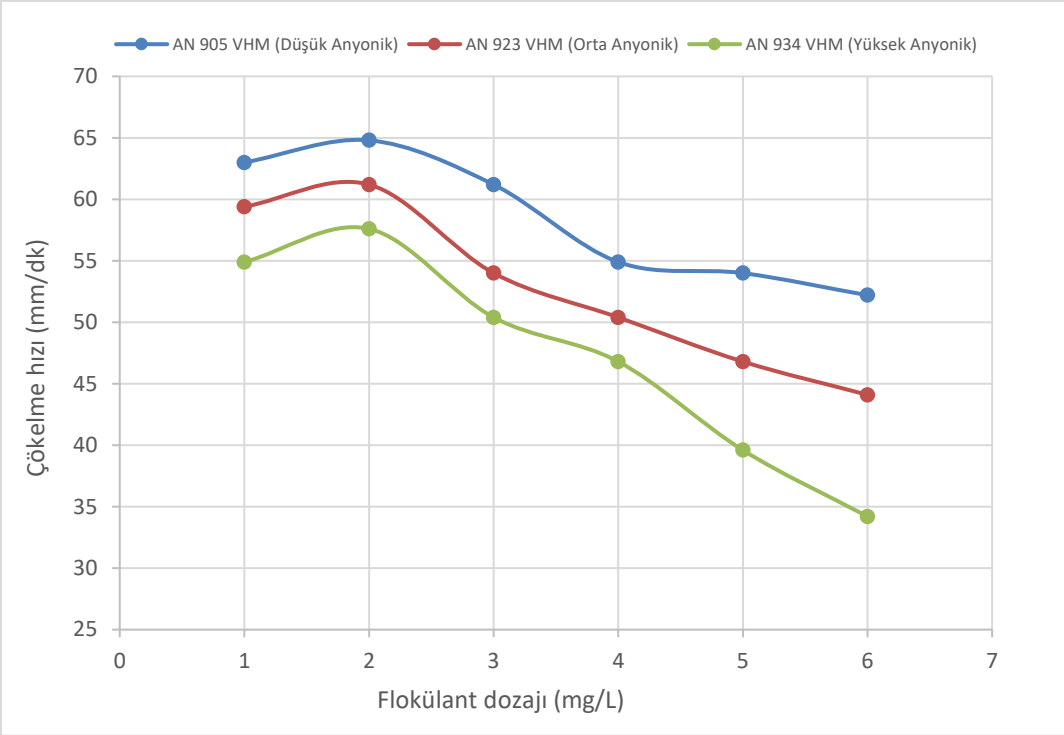
4.4.3. Flokülant yük yoğunluğunun flokülasyona etkisi

Yük yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelemek amacıyla amacıyla yüksek, orta ve düşük molekül ağırlığına sahip farklı yük yoğunluklarında anyonik flokülantlar (AN 905 VHM, AN 923 VHM, AN 934 VHM, AN 905 SH, AN 923 SH, AN 934 SH, AN 905 S, AN 923 S, AN934 S) kullanılarak flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney verileri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44).



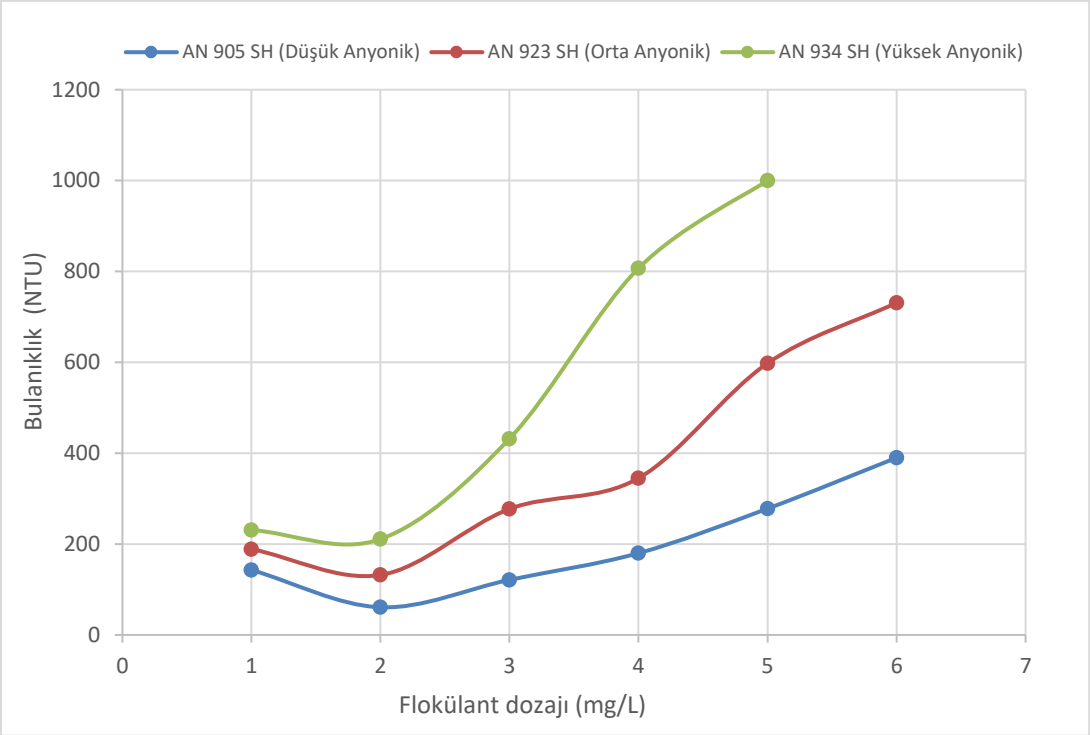
Şekil 4.39. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Flokülant yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değeri düşük gözlemlenmiştir. Bu dozajdan sonra bulanıklık değerlerinde artış olmuştur. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 49,5 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 VHM) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 91 NTU, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 VHM) kullanımı sonrası en iyi bulanıklık değeri 156 NTU olarak okunmuştur.



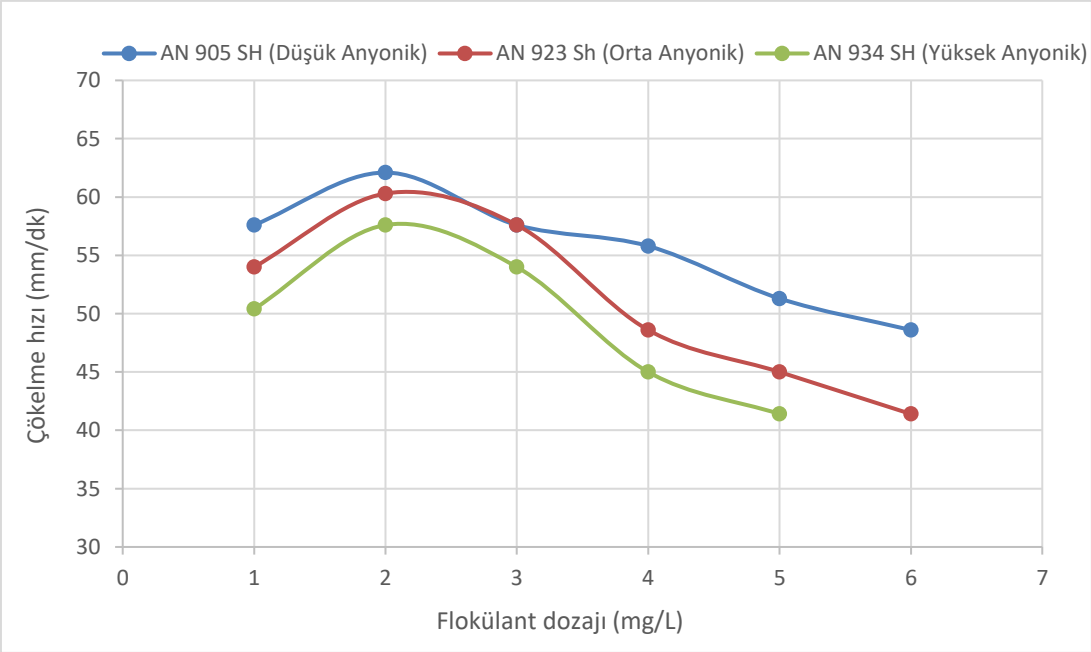
Şekil 4.40. Flokülant (yüksek molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. Optimum dozajda büyük floklar ve etkili bir flokülasyon olurken, flokülant miktarı arttıkça flokülasyon olumsuz etkilenmiştir ve floklar küçülmüş, çökelme toz halinde meydana gelmiştir. Süspansiyonun flokülasyonunda düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanımı sonrası en iyi çökelme hızı değeri 64,8 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 VHM) kullanımı sonrası en iyi çökelme hızı değeri 61,2 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 VHM) kullanımı sonrası en iyi çökelme hızı değeri 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir.



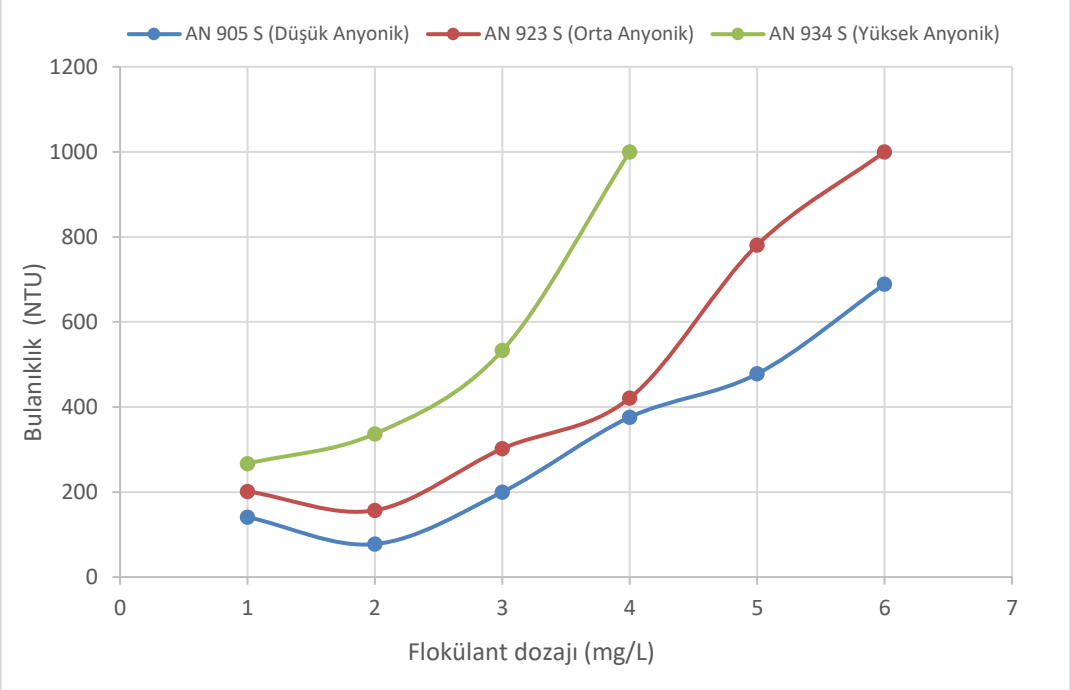
Şekil 4.41. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Flokülant yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri oluşturulmuştur. Optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası en düşük bulanıklık verileri elde edilmiştir. Bu dozajdan sonra artan flokülant miktarı ile bulanıklık değerlerinde yüksek okunmuştur. En iyi bulanık değerleri; Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası 61 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 SH) kullanımı sonrası 132 NTU, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 SH) kullanımı sonrası 211 NTU olarak elde edilmiştir.



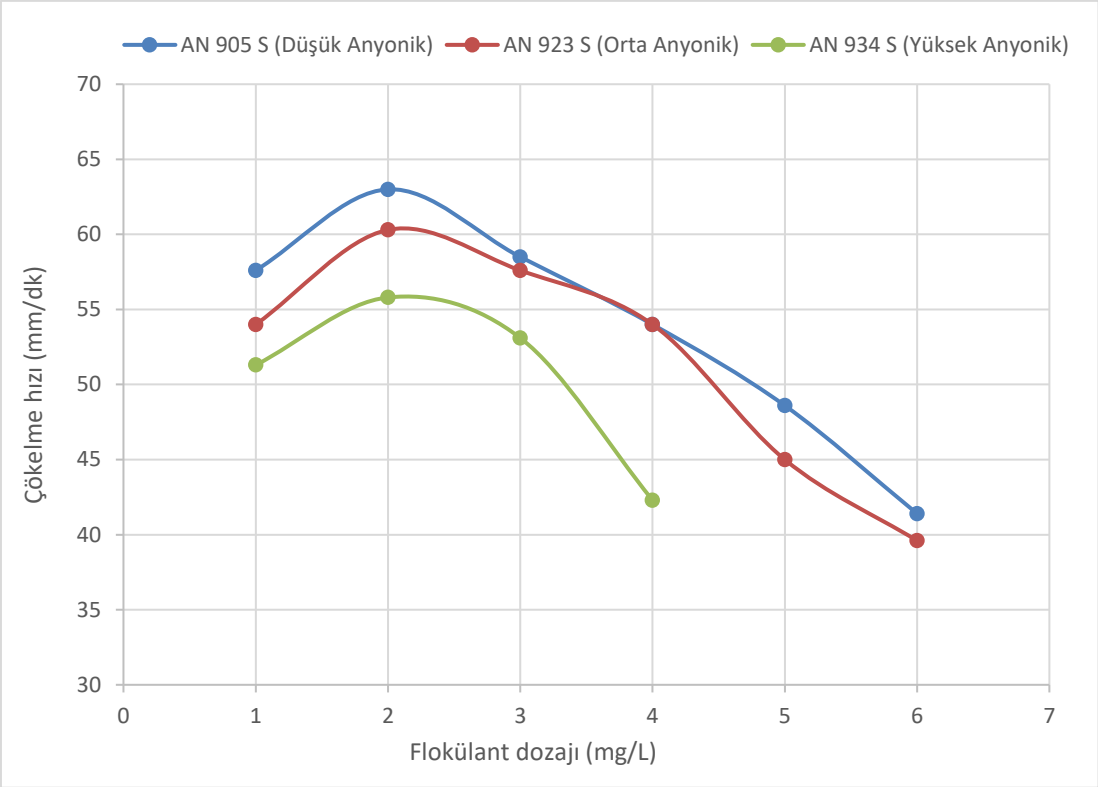
Şekil 4.42. Flokülant (orta molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde flokülant miktarı arttıkça çökelme hızlarında artış gözlenmiş olup, optimum dozajda en yüksek çökelme hızı verilerine ulaşılmıştır. Flokülant dozajı arttıkça sonra çökelme hızlarında azalma söz konusudur. En iyi çökelme hızları; düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanımı sonrası 62,1 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 SH) kullanımı sonrası 60,3 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 SH) kullanımı sonrası 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir. AN 934 SH flokülantı ile yapılan deneylerde 5 mg/L flokülant dozajında bulanıklık değeri en üst değer (1000 NTU) olarak elde edildiğinden bu flokülantla deneye devam edilmemiştir.



Şekil 4.43. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Elde edilen yük yoğunluğuna göre bulanıklık eğrileri incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin başlangıçta yüksek olduğu, eklenen flokülant miktarına ve çeşidine göre değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Her flokülant için optimum flokülant dozajında her üç flokülant kullanımı sonrası en düşük bulanıklık verileri elde edilmiştir. En iyi bulanıklık değerleri; düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası bulanıklık 77,6 NTU, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 S) kullanımı sonrası bulanıklık 157 NTU, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 S) kullanımı sonrası 267 NTU olarak elde edilmiştir.



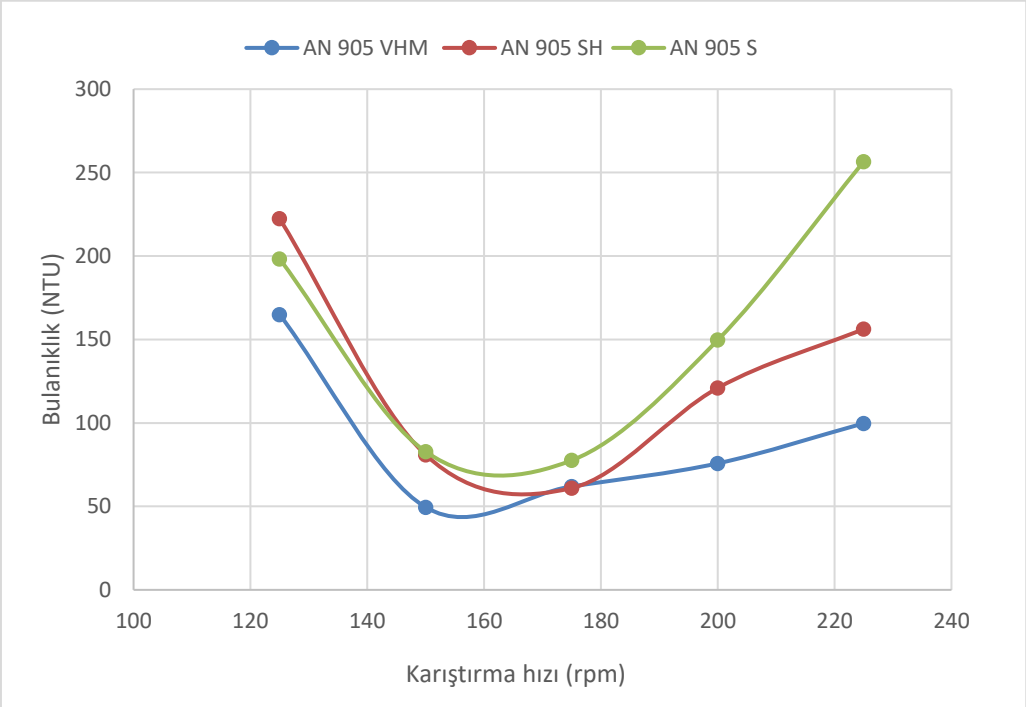
Şekil 4.44. Flokülant (düşük molekül ağırlıklı anyonik) yük yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

Flokülant miktarına göre çökelme hızı eğrilerileri incelendiğinde çökelme hızlarının optimum dozaja kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra hem çökelme hızlarında azalma hem de oluşan flok yapılarında küçülme söz konusudur. Düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 63 mm/dk, orta yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 923 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 60,3 mm/dk, yüksek yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 934 S) kullanımı sonrası çökelme hızı 55,8 mm/dk olarak belirlenmiştir. AN 934 S flokülantı ile yapılan deneylerde 4 mg/L flokülant dozajında bulanıklık değeri en üst değer (1000 NTU) olarak elde edildiğinden bu flokülantla deneye devam edilmemiştir.

Flokülant yük yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelemek için gerçekleştirilen deneyler sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri; *yüksek molekül ağırlıklı, düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant* (AN 905 VHM) kullanımı sonrası elde edilmiştir.

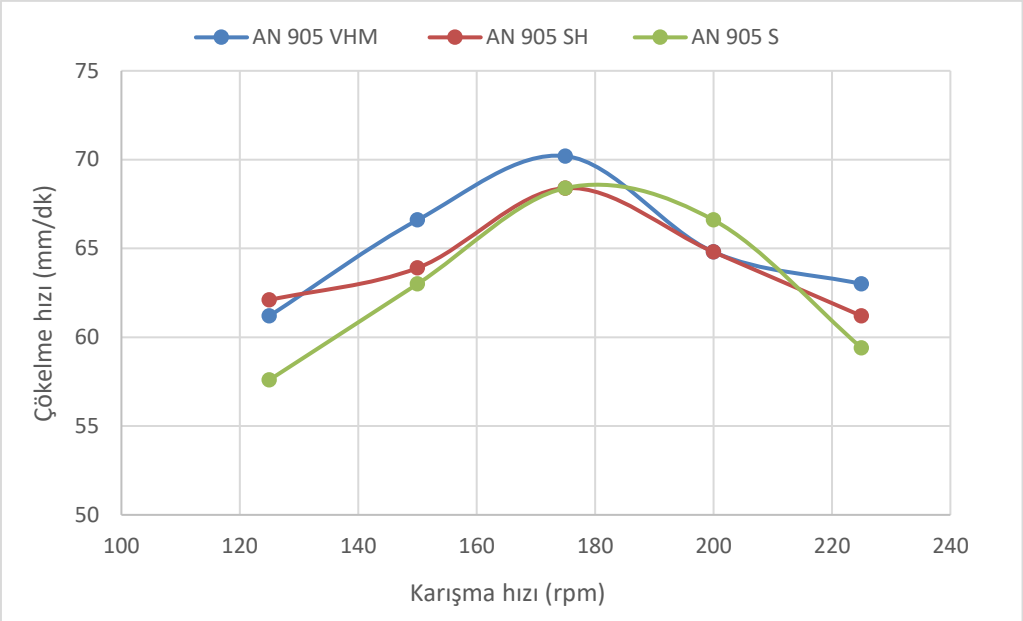
4.4.4. Süspansiyon karışma hızının flokülasyona etkisi

Karışma hızının flokülasyona etkisini incelemek amacıyla anyonik flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ve çökelme hızı değerleri grafikte verilmiştir (Şekil 4.45, 4.46).



Şekil 4.45. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde farklı karıştırma hızına göre elde edilen verilere göre en düşük bulanıklık değerleri AN 905 VHM flokülantı kullanımında 150 rpm, AN 905 S ve AN 905 SH flokülantı kullanımında ise 175 rpm karıştırma hızlarında elde edilmiştir. Düşük karıştırma hızından bulanıklık değerlerinin yüksek olduğu, optimum karıştırma hızında minimum seviyeye indiği gözlemlenmiştir. Optimum karıştırma hızından daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonucunda ise bulanıklık değerlerinde tekrar artış gözlemlenmiştir. Optimum karışma hızında bulanıklık değerleri; AN 905 VHM flokülantı kullanımı ile 49,5 NTU, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 61 NTU, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 77,6 NTU olarak okunmuştur.



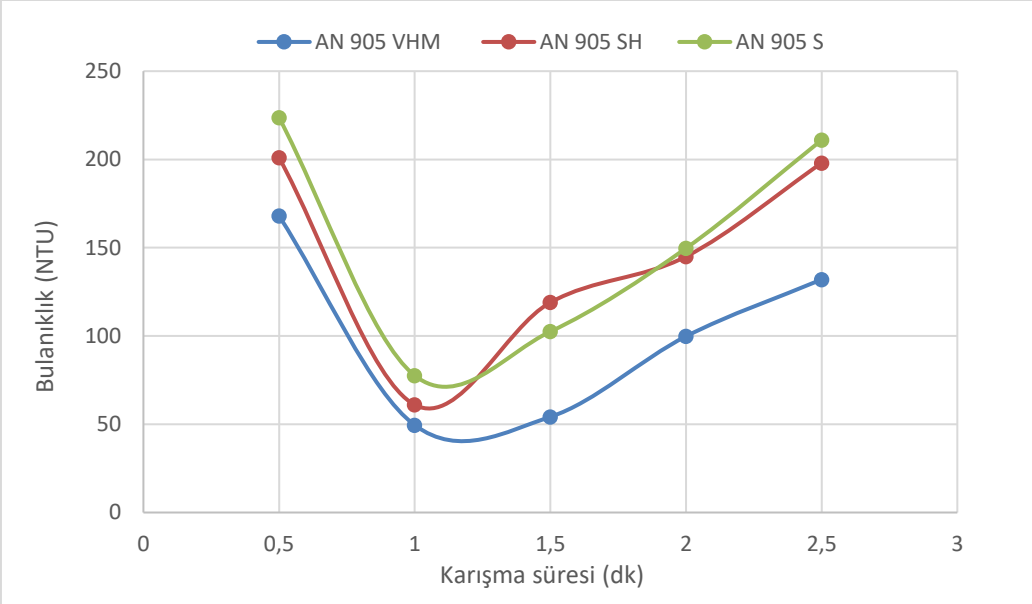
Şekil 4.46. Süspansiyon karışma hızının çökelme hızına etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının optimum karışma hızında en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra artan karışma hızları ile çökelme hızı değerleri azalmaya başlamıştır. Optimum karışma hızında çökeleme hızı değerleri; AN 905 VHM flokülantı kullanımı sonrası 70,2 mm/dk, AN 905 SH flokülantı kullanımı sonrası 68,4 mm/dk, AN 905 S flokülantı kullanımı sonrası 68,4 mm/dk olarak belirlenmiştir.

En iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerine *yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant (AN 905 VHM)* kullanılarak elde edilmiştir.

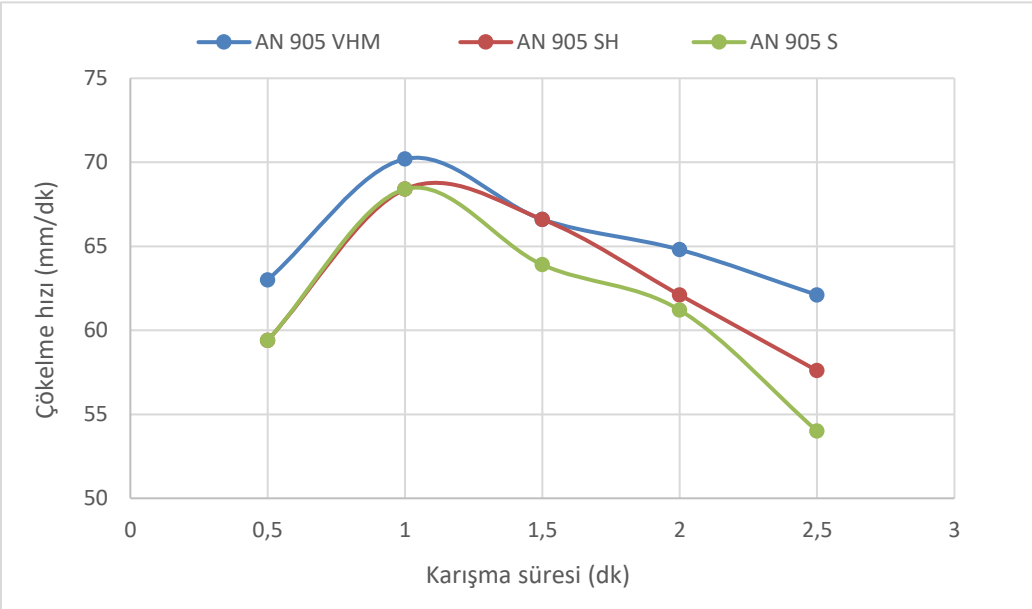
4.4.5. Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisi

Süspansiyon karışma süresinin flokülasyona etkisini incelemek amacıyla anyonik, flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.47, 4.48).



Şekil 4.47. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık değerlerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; bulanıklık değerlerinin belirli karıştırma süresinde en düşük değere indiği sonrasında tekrar yükselme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. En iyi bulanıklık değerleri; AN 905 VHM flokülantı kullanımı ile 1dk karışma sonrası bulanıklık değeri 49,5 NTU, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 1dk karışma sonrası bulanıklık 61 NTU, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası bulanıklık 77,6 NTU olarak okunmuştur.



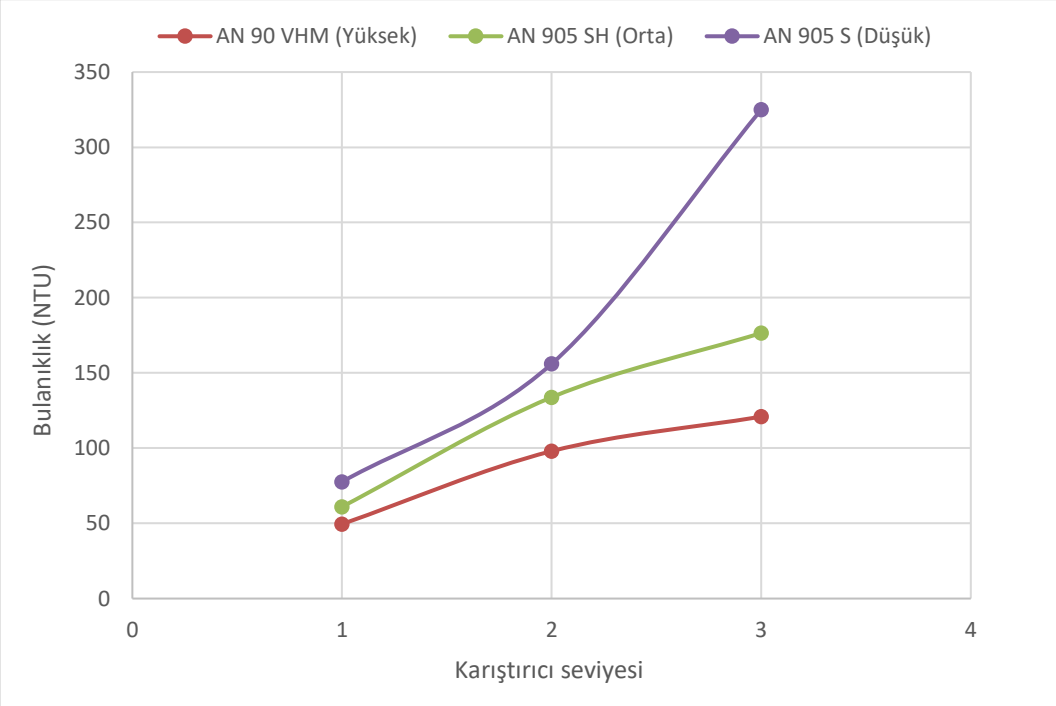
Şekil 4.48. Süspansiyon karışma süresinin çökelme hızına etkisi

Anyonik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; çökelme hızının optimum karışma süresinde en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra artan karışma süreleri ile çökelme hızı azalmaya başlamıştır. En iyi çökelme hızı verileri ; AN 905 VHM flokülantı kullanımı ile 1 dakika karışma sonucu çökelme hızı 70,2 mm/dk, AN 905 SH flokülantı kullanımı ile 1dakika karışma sonrası çökelme hızı 68,4 mm/dk, AN 905 S flokülantı kullanımı ile 1dk karışma sonrası çökelme hızı 68,4 mm/dk olarak belirlenmiştir.

En iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri *yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant (AN 905 VHM)* kullanılarak elde edilmiştir.

4.4.6. Karıştırıcı seviyesinin flokülasyona etkisi

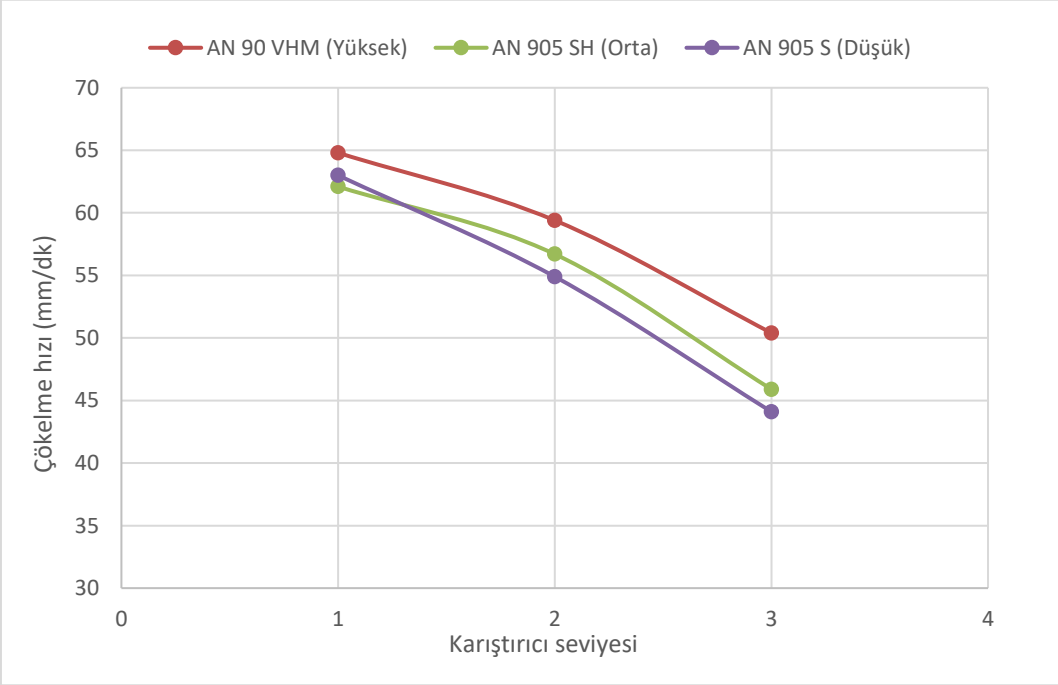
Karıştırıcı seviyesinin etkisini incelemek amacıyla; anyonik flokülantlar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bulanık ve çökelme hızı verileri grafige aktarılmıştır (Şekil 4.49, 4.50).



Şekil 4.49. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa etkisi

Flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça bulanıklık değerlerinin de arttığı

gözlemlenmiştir. AN 905 VHM Anyonik flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 49,5 NTU, 2. Seviyedeyken 98 NTU, 3. Seviyedeyken 120,9 NTU olarak okunmuştur. AN 905 SH flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 61 NTU, 2. Seviyedeyken 133,8 NTU, 3. Seviyedeyken 176,5 NTU olarak okunmuştur. AN 905 S anyonik flokülant kullanımı sonrası bulanıklık değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 77,6 NTU, 2. Seviyedeyken 156 NTU, 3. seviyedeyken 325 NTU olarak okunmuştur.



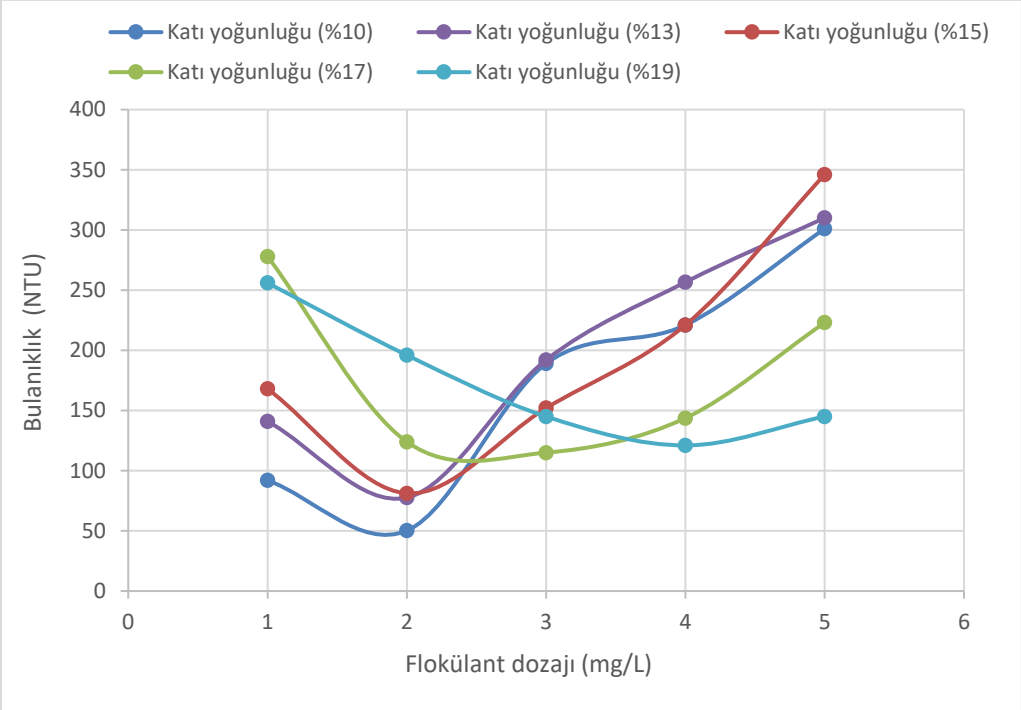
Şekil 4.50. Karıştırıcı seviyesinin çökelme hızına etkisi

Flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça çökelme hızı değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. AN 905 VHM Anyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme hızı değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 64,8 mm/dk, 2. Seviyedeyken 59,4 mm/dk, 3. Seviyedeyken 50,4 mm/dk olarak belirlenmiştir. AN 905 SH anyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme hızı değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 62,1 mm/dk, 2. Seviyedeyken 56,7 mm/dk, 3. Seviyedeyken 45,9 mm/dk olarak belirlenmiştir. AN 905 SH anyonik flokülant kullanımı sonrası çökelme hızı değerleri; karıştırıcı yüksekliği 1. seviyedeyken 63 mm/dk, 2. Seviyedeyken 54,4 mm/dk, 3. seviyedeyken 44,1 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Karıştırıcı seviyesi yüksekliği arttıkça flokülantın süspansiyon içerisinde yeterince dağılmamış olup flokülasyon mekanizmasını olumsuz etkilenmiştir. Bu da bulanıklık değerlerinin artmasına, çökelme hızı değerlerinin ise azalmasına neden olmuştur [57].

4.4.7. Süspansiyon katı yoğunluğunun flokülasyona etkisi

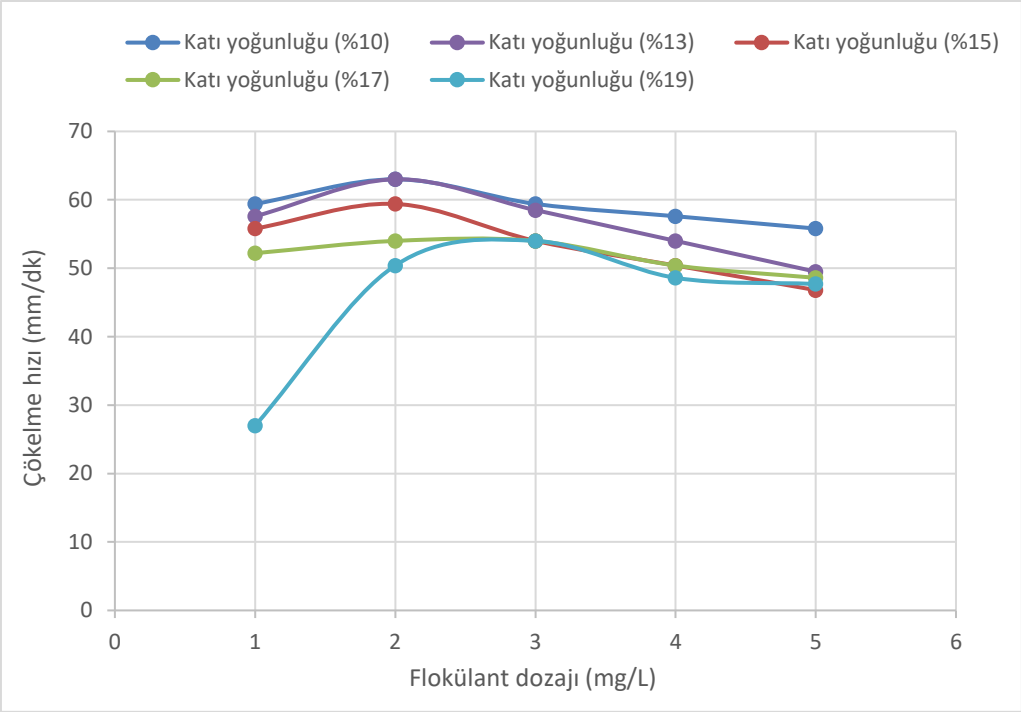
Katı yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelemek amacıyla %10, %13, %15, %17, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar hazırlanmış ve anyonik flokülantlar kullanılarak flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56).



Şekil 4.51. Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; optimum dozajda flokülant ilavesi sonrası bulanıklık değerleri en düşük seviyede gözlemlenmiştir. %10, %13, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonların flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 2 mg/L, %17, süspansiyonun flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 3 mg/L, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 4 mg/L olarak belirlenmiştir. %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük

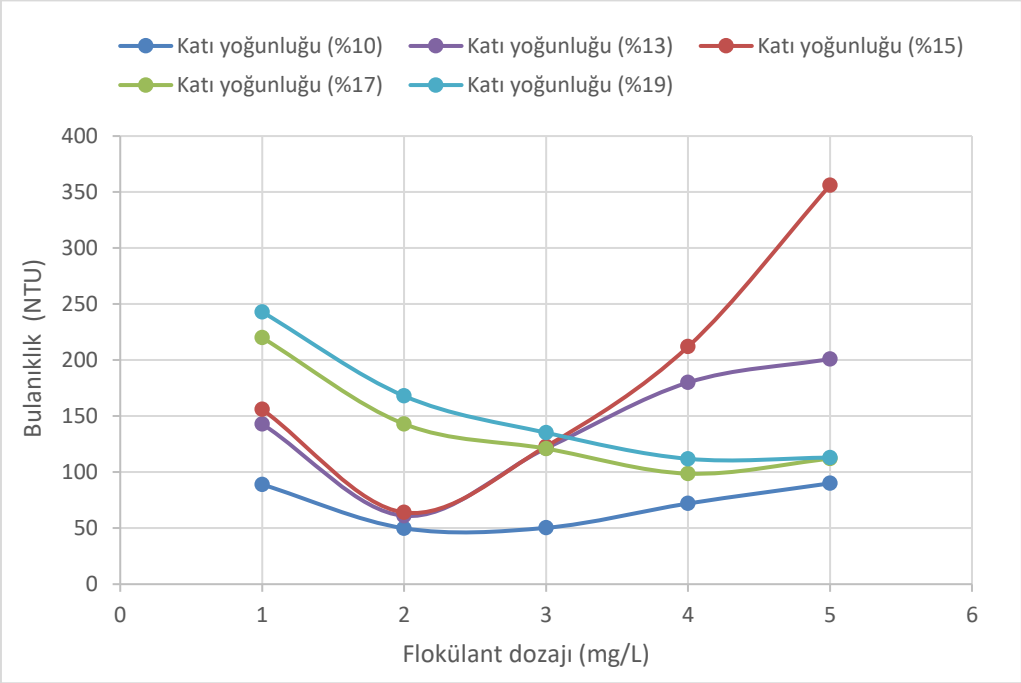
bulanıklık değeri 50,2 NTU, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri ile bulanıklık değeri 77,6 NTU, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 81,2 NTU, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 115 NTU, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 121 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.52. Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

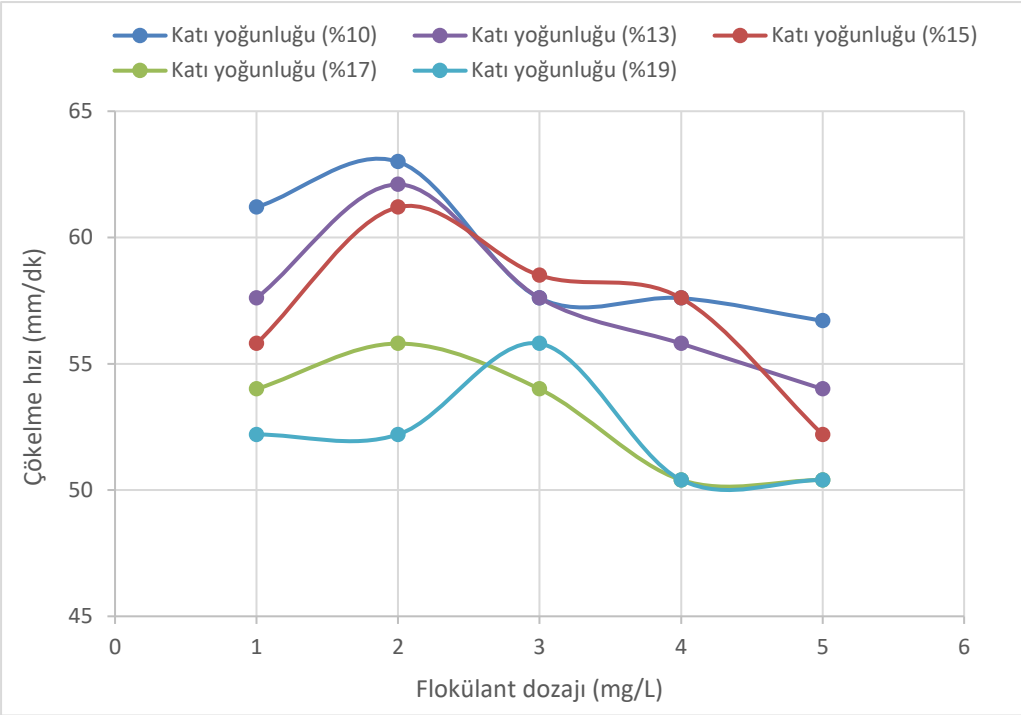
Anyonik flokülant (AN 905 S) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; ; %10, %13, %15, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar için en iyi çökelme hızı verilerine optimum dozajlarda flokülant ilavesi ile, %19 katı yoğunluğna sahip süspansiyon için en iyi çökelme hızı verilerine ise optimum dozajdan fazla miktarda flokülant ilavesi sonrası ulaşıldığı gözlemlenmiştir. %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 63 mm/dk, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 63 mm/dk, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 59,4 mm/dk, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (3

mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 54 mm/dk, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda 3 mg/L flokülant ilavesi ile çökelme hızı 54 mm/dk olarak elde edilmiştir.



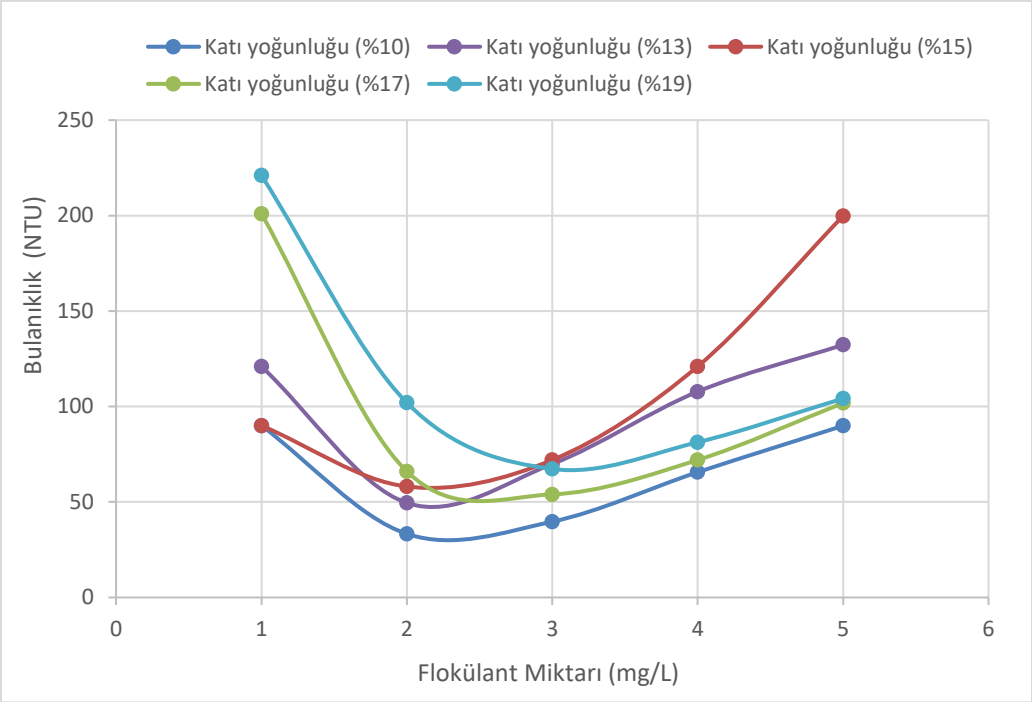
Şekil 4.53. Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; optimum dozajda flokülant ilavesi sonrası bulanıklık değerleri en düşük seviyede gözlemlenmiştir. %10, %13, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonların flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 2 mg/L, %17 ve %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonların flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 4 mg/L olarak belirlenmiştir. %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 49,9 NTU, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri ile bulanıklık değeri 61 NTU, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 64 NTU, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 98,7 NTU, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 111,9 NTU olarak okunmuştur.



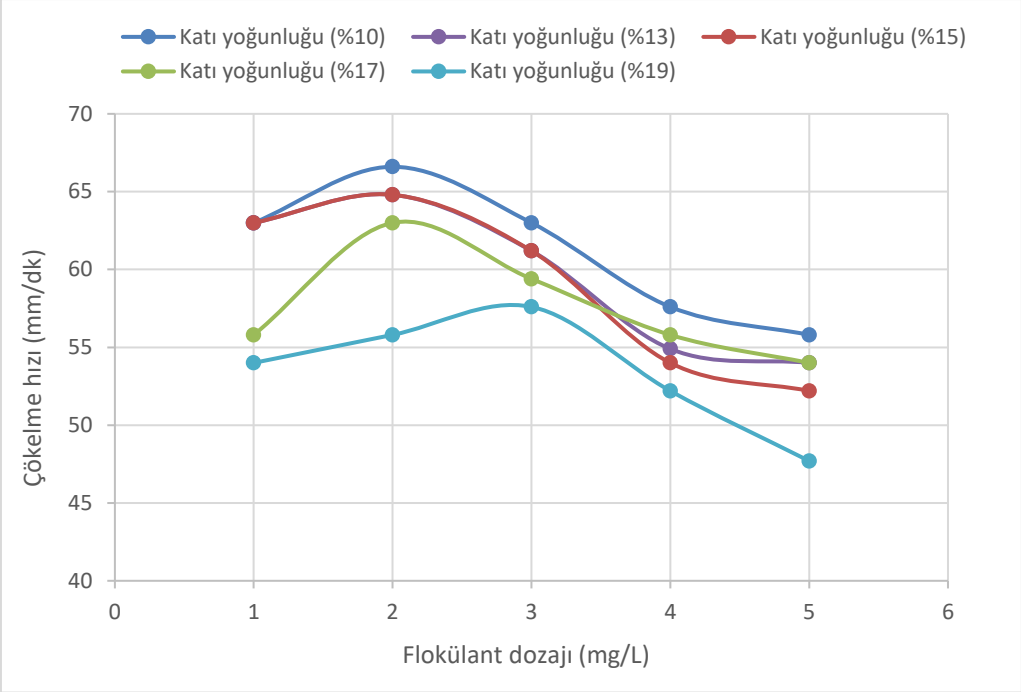
Şekil 4.54. Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

Anyonik flokülant (AN 905 SH) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; %10, %13, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar için en iyi çökelme hızı verilerine optimum dozajlarda flokülant ilavesi ile, %17 ve %19 katı yoğunluğna sahip süspansiyonlar için en iyi çökelme hızı verilerine ise optimum dozajdan fazla miktarda flokülant ilavesi sonrası ulaşıldığı gözlemlenmiştir. %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 63 mm/dk, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 62,1 mm/dk, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda optimum dozajda flokülant (2 mg/L) ilavesi ile çökelme hızı 61,2 mm/dk, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda 4 mg/L flokülant ilavesi ile çökelme hızı 55,8 mm/dk, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda 4 mg/L flokülant ilavesi ile çökelme hızı 55,8 mm/dk olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.55. Anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa etkisi

Anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen bulanıklık verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; optimum dozajda flokülant ilavesi sonrası bulanıklık değerleri en düşük seviyede gözlemlenmiştir. %10, %13, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonların flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 2 mg/L; %17 ve %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonların flokülasyonunda optimum flokülant miktarı 3mg/L olarak belirlenmiştir. %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 33,3 NTU, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri ile bulanıklık değeri 49,5NTU, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 58,1 NTU, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 54 NTU, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun flokülasyonunda en düşük bulanıklık değeri 67,3 NTU olarak okunmuştur.



Şekil 4.56. Anyonik flokülant (AN 905 VHM) kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyonda süspansiyon katı yoğunluğunun çökelme hızına etkisi

AN 905 VHM anyonik flokülantı kullanılarak gerçekleştirilen flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen çökelme hızı verilerine göre oluşturulan eğriler incelendiğinde; %10, %13, %15 ve %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar için en iyi çökelme hızı verilerine optimum dozajlarda flokülant ilavesi ile, %17 katı yoğunluğna sahip süspansiyon için en iyi çökelme hızı verilerine ise optimum dozajdan fazla miktarda flokülant ilavesi sonrası ulaşıldığı gözlemlenmiştir. En iyi çökelme hızı verileri; %10 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun için 66,6 mm/dk, %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun için 64,8 mm/dk, %15 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun için 64,8 mm/dk, %17 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonun 63 mm/dk, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyon için çökelme hızı 57,6 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda her üç flokülant kullanımı sonrası katı yoğunluğu arttıkça flokülant tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Düşük katı yoğunluğunda tanelerin birbirine çarpma olasılığı düşükken, yüksek katı yoğunluğunda bu durum artmaktadır. Fakat katının tane boyut veya spesifik yüzey alanı analizinin de bilinmesi flokülasyon verimi için önemlidir [53]. İlgili proses için için katı yoğunluğunun artması, flokülasyonu olumsuz yönde etkilemiş olup fazlaca flokülant tüketilmesine sebep olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında prosesten flokülasyon ilavesi öncesi temin edilen yüksek sıcaklıktaki sıvı numuneler ile laboratuvarda proses sıcaklığında flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde; 9 adet anyonik, 2 adet katyonik ve 2 adet non-iyonik flokülant kullanılmıştır. Flokülasyonu etkileyen parametreler; flokülant tipi, flokülant dozajı, flokülant yük yoğunluğu, süspansiyon karışma hızı ve süresi, karıştırıcı seviyesinin etkisi incelenmiştir. Süspansiyonun pH değeri ve sıcaklığı parametreleri incelenmemiştir. Boraks çözeltisinin tampon çözelti olma özelliğinden dolayı pH değerinin değiştirilmesi için çok fazla miktarda asit ve baz sarfiyatı gerektirmektedir. Ayrıca boraksın kimyasal yapısı pH ile değişkenlik göstermektedir. Fazla miktarda asit ilavesi ile boraks borik asite dönüşmektedir. Bu sebeple çalışma boyunca süspansiyonun doğal pH değerinde (9,40-9,50) çalışılmıştır.

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında ise prosesten tüvenan tinkal numuneleri temin edilmiş olup laboratuvarda proses koşullarını sağlayacak şekilde farklı katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar hazırlanmış ve flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamadaki deney verileri göz önünde bulundurularak anyonik flokülantların flokülasyonda daha etkin olması sebebiyle kullanılan flokülant sayısı azaltılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde; 9 adet anyonik,1 adet katyonik ve 1 adet non-iyonik flokülant kullanılmıştır. Flokülasyonu etkileyen parametreler; flokülant tipi, flokülant dozajı, flokülant yük yoğunluğu, süspansiyon karışma hızı ve süresi, karıştırıcı seviyesi, süspansiyonun katı yoğunluğu etkisi incelenmiştir.

Deneyler sonucunda gözlemlenen flokların iriliği, üst akım bulanıklık değerleri ve oluşan flokların çökelme hızı göz önünde bulundurularak proses için uygun flokülant özellikleri ve laboratuvar çalışma parametreleri belirlenmiştir. Flokülasyonu etkileyen parametreler incelendiğinde, her iki deneysel çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Flokülasyonda; anyonik katyonik ve non-iyonik flokülantlar karşılaştırıldığında en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerine anyonik (AN 905 S) flokülant kullanımı sonucu ulaşılmıştır. Non-iyonik flokülant kullanımı ile kısmen katyonik flokülant kullanımına göre

daha iyi sonuçlar elde edilse de flokülasyon için uygun flokülant olarak değerlendirilmemiştir.

Flokülant molekül ağırlığı flokülasyon için önemli bir parametredir. Düşük, orta ve yüksek molekül ağırlığına sahip flokülantlar flokülasyon deneylerinde kullanılmış olup flokülant molekül ağırlığı arttıkça flokülant etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. En iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerini yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) ile elde edilmiştir

Boraksın flokülasyonunda etkili olan mekanizmanın polimer köprü teşekkülü mekanizması olduğu belirlenmiştir. Kullanılan flokülantın molekül ağırlığı arttıkça daha iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri elde edilmesi de bunu desteklemektedir. Çünkü polimer köprü teşekkülü mekanizmasında polimer molekül ağırlığı arttıkça mekanizmanın da etkinliği artmaktadır.

Flokülant yük yoğunluğu flokülasyon verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı yük yoğunluğuna sahip flokülantlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda düşük yük yoğunluğuna sahip (%3) anyonik flokülant ile en iyi veriler elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, yüksek molekül ağırlığına ve düşük yük yoğunluğuna sahip anyonik flokülant (AN 905 VHM) en uygun flokülant olarak belirlenmiştir.

Süspansiyon karışma hızı ve süresi flokülasyonu etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Süspansiyon karışma hızı aralıkları olarak 125 rpm, 150 rpm, 175 rpm, 200 rpm ve 225 rpm olarak belirlenmiştir. Yapılan flokülasyon deneyleri sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verileri, 150 rpm karışma hızında elde edilmiştir. Süspansiyon karışma süresi olarak 0,5 dakika, 1 dakika, 1,5 dakika, 2 dakika olarak belirli aralıklar seçilmiştir. Çalışmalar sonrası en iyi verilere 1 dakika karışma süresi sonrasında ulaşılmıştır.

Karıştırıcı seviyesi flokülantların homojen bir şekilde dağılması ve etkinliğini gösterebilmesi için önem arz etmektedir. Jar test cihazında karıştırıcı seviyesi için 3 farklı yükseklik belirlenmiştir. Flokülantın ilavesi sonrası en iyi bulanıklık ve çökelme hızı verilerine karıştırıcı seviyesi 1 durumunda ulaşılmıştır. Bu seviyede flokülant türbülansın az olduğu yerden beslenmiş olup, homojen şekilde süspansiyonda karışması sağlanarak etkinliğini göstermiştir.

Süspansiyon katı yoğunluğu flokülant tüketim miktarı etkilemektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında prosesten alınan tüvenan tinkalin tane boyutu belirli oranlarda küçültülerek %10, %13, %15, %17, %19 katı yoğunluğuna sahip süspansiyonlar hazırlanmıştır. Bu şekilde hem tane boyutunun hem de süspansiyon katı yoğunluğunun flokülasyona etkisini incelenmiştir.

Prosesten alınan %13 katı yoğunluğuna sahip süspansiyon numunesi ile %13 katı yoğunluğunda hazırlanan süspansiyon numunesi bulanıklık ve çökelme hızı verileri karşılaştırıldığında farlılıklar gözlemlenmiştir. Proses numunesinin optimum dozajdaki bulanık değeri 8,58 NTU, çökelme hızı değerleri 66,8 mm/dk; hazırlanan süspansiyonun optimum dozajdaki bulanıklık 49,5 NTU çökelme hızı değeri 64,8 mm/dk olarak belirlenmiştir. Tane boyutu küçülmesi bulanıklık değerinin artmasına çökelme hızının azalmasına sebep olmuştur. Tane boyutunun küçültülerek çözünmenin hızlı olmasını sağlamak flokülasyon için olumlu etki yapmamıştır.

Farklı katı yoğunluğu sahip süspansiyonların flokülasyon verileri incelendiğinde, katı yoğunluğu arttıkça flokülasyon için tüketilen flokülant miktarında artış görülmüştür. Tüketilen flokülant miktarı artmasına rağmen etkili bir flokülasyon gerçekleşmemiş olup bulanıklık değerleri beklenen oranda düşmemiş ve flok oluşumu gecikmiştir. Süspansiyondaki katı yoğunluğunun artması flokülasyon verimini düşürmüştür.

Deneysel çalışmalar kapsamında proses için uygun flokülant özellikleri ve flokülasyon parametreleri incelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışma ile proses için flokülant sentezlenmesi durumunda sentez sonrası laboratuvar ortamında flokülasyon deney koşulları belirlenmiştir. Boraks üretim prosesinden iki farklı koşulda temin edilen numuneler ile daha önce tiknerde gerçekleşen flokülasyon işleminin ayrıntılı olarak incelendiği ve proseste kullanılmak üzere flokülant sentezi için laboratuvar deney koşullarının belirlendiği bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Proseste fazlaca flokülant tüketildiği düşünüldüğünde yerli flokülant sentezinin gerekliliği önem arz etmektedir. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda tez çalışması kapsamında gerçekleştirmiş olan çalışmanın özgün olduğu ve sonraki çalışmalara destek sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Yünlü, K. (2019). *Bor bileşikleri sentez yöntemleri özellikleri uygulamaları* (2. Baskı). Ankara: Değişim Yayınları, 820.

2. İnternet: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Bor hakkında genel bilgi. URL:https://www.etimaden.gov.tr/bor-elementi, Son Erişim Tarihi: 16.06.2023.

3. İnternet: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu Bor Araştırma Enstitüsü. Bor elementinin özellikleri. URL: https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/bor-elementi.html. Son Erişim Tarihi: 17.06.2023.

4. İnternet: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü. Bor hakkında genel bilgi. URL:https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor. Son Erişim Tarihi: 17.06.2023.

5. İnternet: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2022). *Bor Sektör Raporu*. URL: https://www.etimaden.gov.tr/storage/2023/2022_Bor_Sektor_Raporu.pdf. Son Erişim Tarihi: 17.06.2023.

6. Uğur, M. (2015). *Tinkalden boraks pentahidrat üretimi.* Yüksek Lisans Tezi, Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı, 32-34.

7. Gregory, J. (1989). Fundamental of flocculation. *Critical Reviews in Environmental* Controls, 19(3), 185-230.

8. Göçer, M. (2016). *Kil minerallerinin flokülasyon ve koagülasyon işlemleri ile çöktürme karakteristiklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 16.

9. Lourenco, A., Arnold, J., Olivier Cayre O., Rasteiro, M. (2018). Flocculation treatment of an ındustrial effluent: performance assessment by laser diffraction spectroscopy. *Industrial & Engineering Chemistry Research,* 57, 2628-2637.

10. Çırak, M., Hoşten, Ç. (2015). Characterization of clay rock samples of a borax ore in relation to their problematical flocculation behavior. *Powder Technology*, 284, 452-458.

11. Cengiz, İ., Sabah, E., Erkan, Z. E. (2004). Geleneksel ve UMA (unique molecular architecture) teknolojisi polimerlerin flokülasyon performansları üzerine bir araştırma. *Madencilik Dergisi*, 43(1), 15-20.

12. Adesipo, A. (2018). *Bacis studies on the dual-polymer flocculation of iron hydroxide* (1.Baskı). Hamburg: Anchor Academic Publishing, 5-10.

13. Yeşilkaya, L. (1989). *Kırka boraks işletmesi müessesesi tinkal konsantratörü artıklarındaki kilin flokülasyon ile ayrıştırılması ve sanayide kullanılabilirliğinin araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 14-15.

14. Ateşok, G. (1988). Adsorption of polymers. *Bulletin of The Technical University of İstanbul*, 41,13-32.

15. Taşdemir, T., Erdem, V. (2010). Flokülasyon yöntemi ile atıksudan askıda tanelerin giderimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 109-121.

16. İnternet: O Kimya Anonim Şirketi. Flokülantlar hakkında genel bilgi. URL: İnternet: https://okimya.com.tr/flokulantlar/flokulant/. Son Erişim Tarihi: 12.08.2023.

17. Lee, S. C., Robinson, C., Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Proses Safety And Environmental Protection*, 92, 489-508.

18. Bharti, S. (2019). A critical review on flocculants and flocculation. *Non-Metallic Material Science*, 1(1), 11-21.

19. Oğul, K. (2005). *Mermer ince artıklarının koagülasyunu ve flokülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 57-59.

20. Alptekin, A. M. (2006). *Doğal taş atık sularının flokülasyon/koagülasyon yöntemiyle arıtılması.* Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 66.

21. Singh, R. P., Karmakar, G. P., Rath, S. K., Karmakar, N. C., Pandey, S. R., Trıpathy, T., Wan, K., Jain, S. K., and Lan, N. T. (2000). Biodegradable drag reducing agents and flocculants based on polysaccharides: materials and applications. *Polymer Engıneering and Science*, 40(1), 46-60.

22. Ateşok, G. (1987). Polimerlerin cevher hazırlamadaki yeri ve kullanım özellikleri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 26(3), 15-22.

23. Shatat, R. S., Niazi, S. K., Batati, F. S. A. (2019). Synthetic polyelectrolytes based on polyacrylamide: non-ionic, anionic and cationic polyacrylamides and their applications in water and wastewater treatment*:* literature review. *Chemical Science International Journal*, 25(4), 1−8.

24. Dudnik, V. (2013). *Talkın farklı yağlar ile flokülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi**,** Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 24-27.

25. Önen, V., Göçer, M., Taner, H. A. (2018). Effect of coagulants and flocculants on dewatering of kaolın suspensions. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 297-305.

26. Demiral, A. (2013). *Killerin elektrokinetik özellikleri ve flokülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 65.

27. Ma, J., Zheng, H., Tan, M., Liu, L., Chen, W., Guan, Q., Zheng, X. (2013). Synthesis, characterization, and flocculation performance of anionic98polyacrylamide P(AM-AA-AMPS). *Journal of Applied Polymer Science,* 129(4), 1984–1991.

28. Erim, M. (1992). *Yüksek molekül ağırlıklı akrilamid polimerlerin sentezi ve flokülant olarak değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 33.

29. Liu, D., Edraki, M., Fawell, P., Berry, L. (2019). Improved water recovery: A review of clay-rich tailings and saline water interactions. *Powder Technology* 364, 604-621.

30. Klimpel, R**.** (1997). Introduction to chemicals used in particle systems. *ERC Particle science & Technology*, 10-13, Florida.

31. Ersoy, B. (2003). Mermer işleme tesisi atık su arıtımında kullanılan flokların tanıtımı. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, 449-462, Afyon.

32. Ağırtmış, D. (2017). *Fonolit işleme tesisi atıksuyunun koagülasyon ve flokülasyon yöntemleriyle arıtımı*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 21.

33. Tüter, M., Erciyes, A. T. (1994). Polyacrylamides obtained by redox polymerization as flocculants the effect of the polymer structure on flocculating properties. *Tr. J. Of Chemistry*, 18, 116-119.

34. Vollan, E. (2019). *Flocculation Processes and Applications* (1.Baskı). New York: Nova Science Publisher, 1-143.

35. Gregory, J. (2013). *Flocculation Fundamentals*. Encyclopedia of Colloid and Interface Science. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 484-485.

36. Dickinson, E., Eriksson, L. (1991). Particle Flocculation by Adsorbing Polymers. *Advances in Colloid and İnterface Science*, 34, 1-29.

37. İpekoğlu, Ü. (1997). Susuzlandırma ve yöntemleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 179*, 112s, İzmir.

38. Çırak, M. (2010). *Flocculation behavior of two different clay samples from kirka tincal deposit.* Master of Science Thesis, Middle East Technical University Institute of Science, Ankara, 6-9.

39. Oyegbile, B. A. (2016). *Optimization of Micro Processes in Fine Particle Agglomeration by Pelleting Flocculation* (1.Baskı). Londra: CRC Pres, 19-21.

40. Popa, I., Papastavrou, G., Borkovec, M. (2010). Charge regulation effects on electrostatic patch-charge attraction ınduced by adsorbed dendrimers. *Physical Chemsitry Chemical Physics*, 12(18), 4863–4871.

41. Önen, V., Göçer, M. (2016). Simektit süspansiyonlarının bazı elektrolit ve polimer solüsyonları içerisinde sedimantasyon ve elektrokinetik özellikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 399-408.

42. Maćczak, P., Kaczmarek, H.; Ziegler-Borowska, M. (2020). Recent achievements in polymer bio-based flocculants for water treatment. *Materials*, 13(18), 3951.

43. Stutzmann, T., Siffert, B. (1997). Contribution to the adsorption mechanism of acetamide and polacrylamide on to Clays. *Clays and Clay Minerals*, 25(6), 392-406.

44. Özün, S., Ulus, D. A. (2019). Coagulation and flocculation behavior of fines in foid-bearing rock processing plant (frpp) wastewater at alkaline environment. *Powder Technology*, 344, 335-342.

45. Hogg, R. (2000). Flocculation and dewatering. *International Journal Mineral Processing*, 58, 223-236.

46. Gregory, J. (1973). Rates of flocculation of latex particles by cationic polymer. *J. Colloid Interface Science*, 42, 448- 459.

47. Somasundaran, P. and Das, K. K. (1998). *Flocculation and selective flocculation-Anoverview.* Innovations in Mineral and Coal Processing, S. Atak, G. Önal and M. S. Çelik (eds), 81-91, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.

48. Atak, S. (1982). Flotasyon ilkeleri ve uygulaması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi*, İstanbul, 222.

49. Ceylan, S. (2022). *Suda çözünür akrilamid esaslı polimerlerin hazırlanması, karakterizasyonu ve bazı minerallerin flokülasyonunda kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 40.

50. Çiftçi, H., Işık, S. (2017). Farklı anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantların ince boyutlu lavvar tesisi atıklarının çökelme davranışlarına etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 21(1), 13-19.

51. Işık, S. (2015). *İnce boyutlu lavvar tesisi atığının susuzlandırılmasında optimum flokülasyon şartlarının belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 23.

52. Yang, Y., Wu, A., Klein, B., Wang, H. (2019). Effect of primary flocculant type on a two-step flocculation process on iron ore fine tailings under alkaline environment. *Minerals Engineering*, 132, 14-21.

53. Özkan, A. (2021). *Feldispat mineralinin flokülasyon ile çöktürme karakteristiklerinin incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 16.

54. Öner, B. (2011). *Konya-ılgın kömürünün polimerik flokülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 12-13.

55. Demirci, G. (2014). *Mermer işleme tesisi ince artıklarından suyun kazanılması ve çöktürme tankı tasarımı.* Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 24-26.

56. Hunter, T.K., Pearse, M.J. (1982). The Use of Flocculants and Surfactants for Dewatering in the Mineral Processing Industry, *XIV. Int. Mineral Proc. Cong*. Toronto-Canada.

57. Özün, S. (2020). Madencilikte atıksu yönetimi ve katı/sıvı ayrımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1278-1289.

58. Hançer, M., Kaytaz, Y., Çelik, M. S. (1993). Doygun çözeltilerde boraks flotasyonun anyonik ve katyonik reaktiflerle incelenmesi. *Türkiye XIII. Madencilik Kongresi*, 519-528.

59. Taşdemir, T., Taşdemir, A. (2018). Bazı flokülasyon parametrelerinin etkinliğinin kuvars kullanılarak araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 807-815.

60. Owen, A.T., Fawell, P. D., Swift, D. M., Labbett, D. M., Benn, F. A., Farrow, J. B. (2008). Using turbulent pipe flow to the study the factors affecting polymer-bridging flocculation of mineral systems. *International Journal of Mineral Processing,* 87, 90-99.

61. Forbes, D. (2013). Theory of flocculation, Technical publication. *World Environmental Technologies,* Streamwood, Illinois-USA, 1-4.

62. Tripathy1, T., Ranjan, De, B. (2006). Flocculation: A New Way to Treat the Waste Water. *Journal of Physical Sciences*, 10, 93-127.

63. Yılmazer, Y. A. (2006). *Baritin polimerler ile flokülasyonu ve katyonların etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 33.

64. Karapınar, N. (2018). Characterization and dewatering of borax clayey tailings by mono- and dual-flocculants systems. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration,* 156, 241-250.

65. Çırak, M., Hoşten, Ç. (2017). Optimization of coagulant-flocculation prosess for treatment of a colloidal suspansion containing dolomite/clay/borax. *International Journal of Mineral Processing,* 159, 30–41.

66. Doğan, A. (2017). *Flokülasyonla çöktürme yöntemi ile borik asit süspansiyonunun süzülmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 94-113.

67. Kocaman, E. (2022). *Yağlı atık sudan yağı uzaklaştırmak için doğal flokülant ilavesinin incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-85.

68. Akray, N., Şengül, T. (2022). Sentetik polimerlerin flokülasyonda verimliliğini etkileyen faktörler. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 961-971.

69. Demir, İ., Güngören, C., Baktarhan, Y., Yücel, M., Kurşun, İ., Çinku, K., Özkan, Ş. G. (2021). Ultrasound supported flocculation of borate tailings with differently charged flocculants. *Bor Dergisi*, 6(3), 348-358.

70. Yılmaz, O. (2014). Tüvenan tinkalden kalsine tinkal üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 401-406.

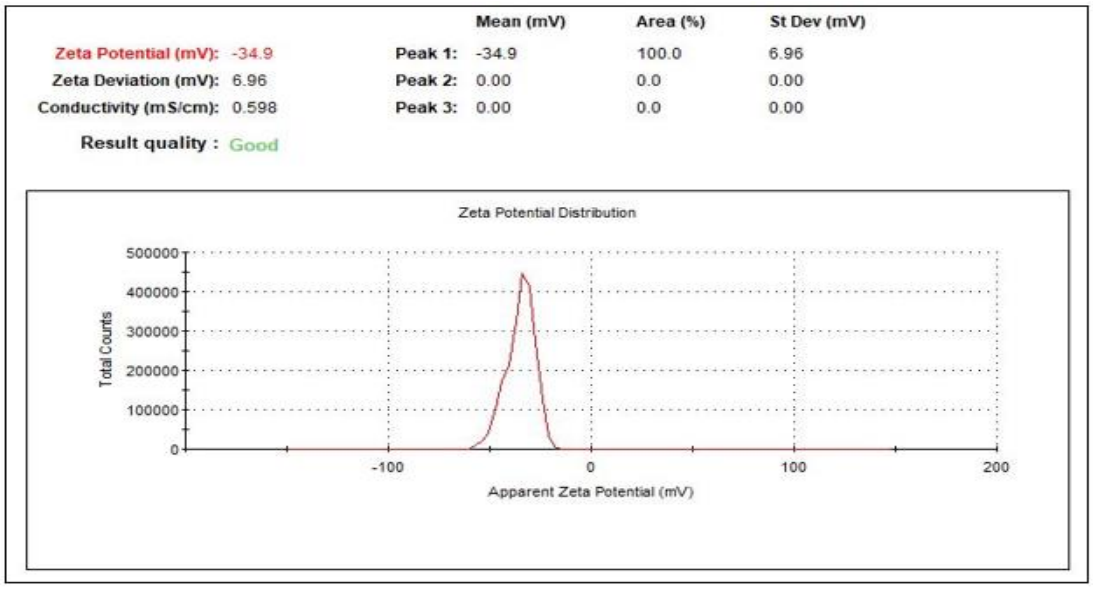
71. Vajihinejad, V., Gumfekar, S. P., Bazoubandi, B., Rostami Najafabadi, Z., Soares, J. B. P. (2018). Water soluble polymer flocculants: Synthesis, characterization, and performance assessment. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(2), 1800526.

72. Internet: Prof. Dr. Birsen Beşergil. URL: https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_799.html. Son erişim tarihi: 20.09.2023.

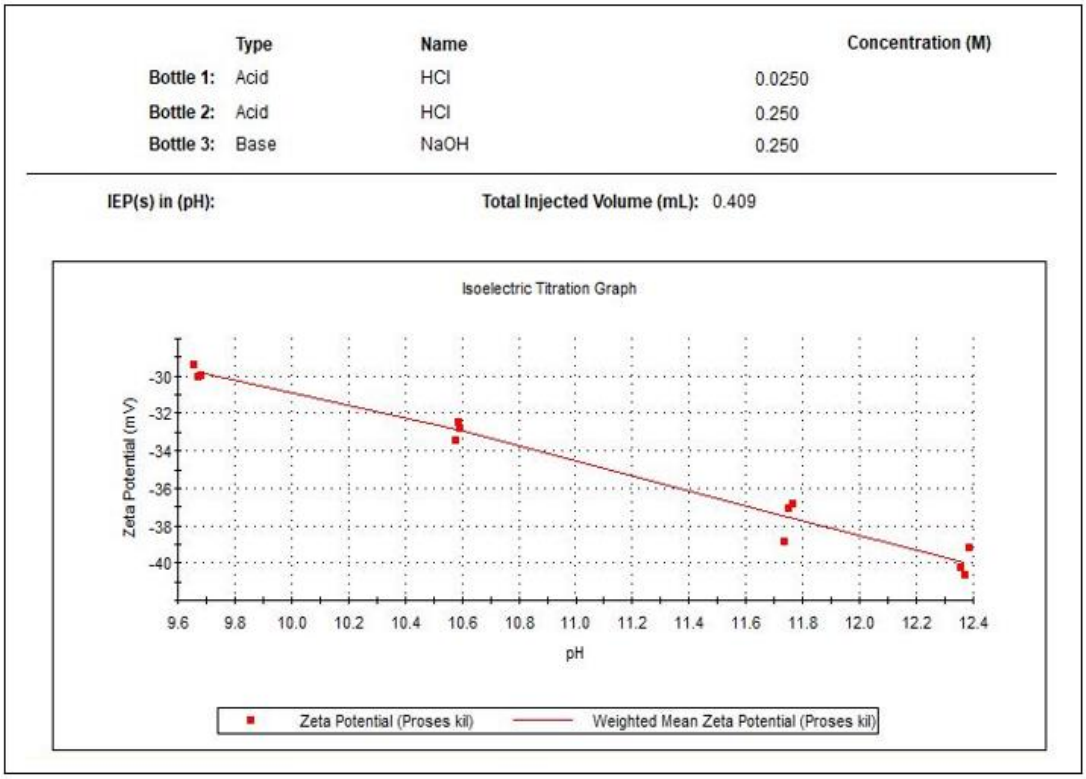
73. Ak Azem, N. F., Birlik, I. (2018). Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış ZnO nanopartiküllerin optimizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20 (58), 123.

EKLER

EK-1. Sıvı ve katı numunelere ait zeta potansiyel ölçüm değerleri

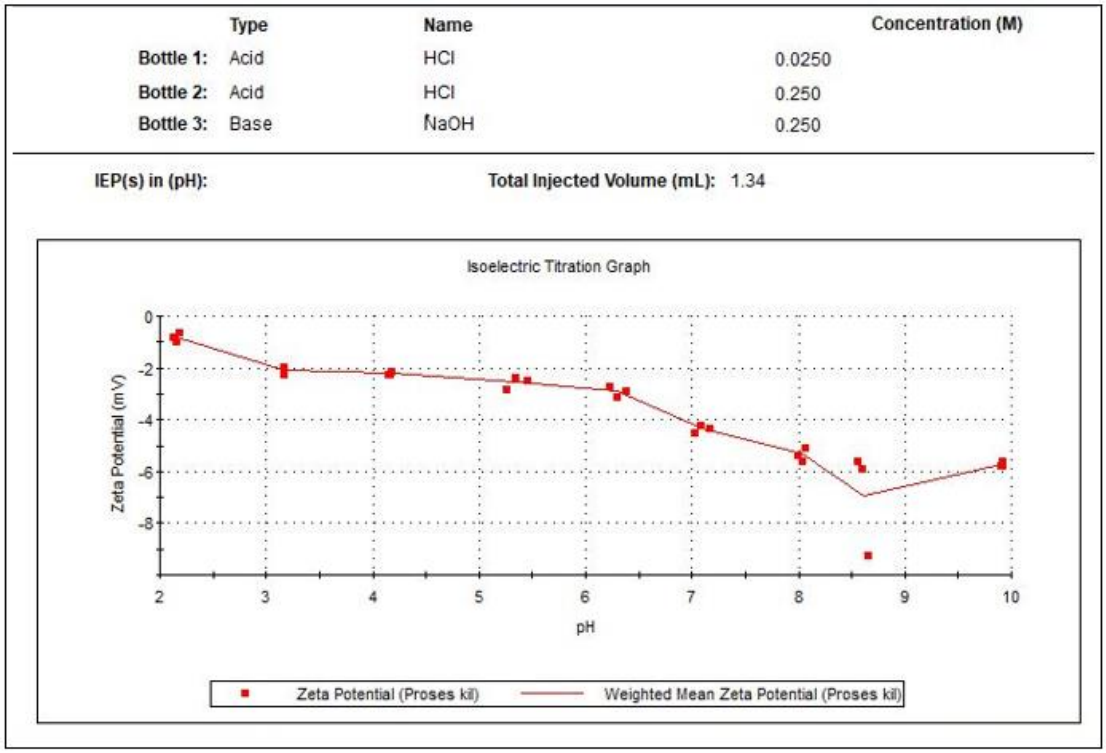


Şekil 1. Sıvı numunenin zeta potansiyel ölçüm grafiği (doğal pH)

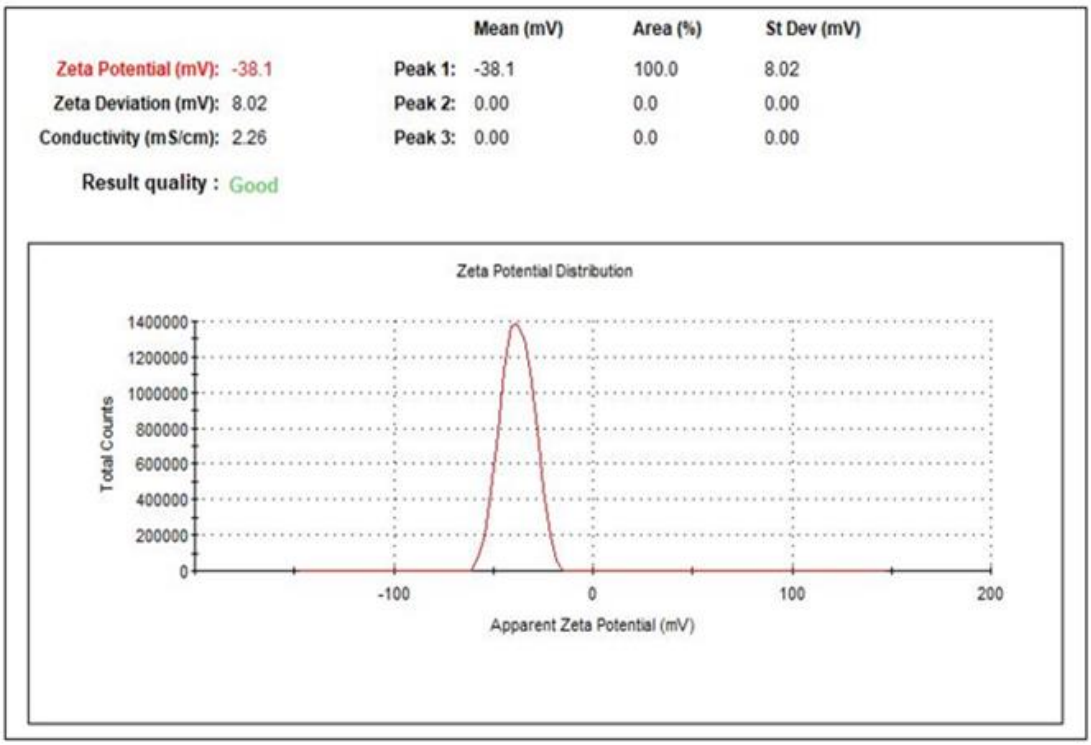


Şekil 2. Boraks içermeyen sıvı numunenin zeta potansiyel ölçüm grafiği (pH 9-12)

EK-1. (devam) Sıvı ve katı numunelere ait zeta potansiyel ölçüm değerleri

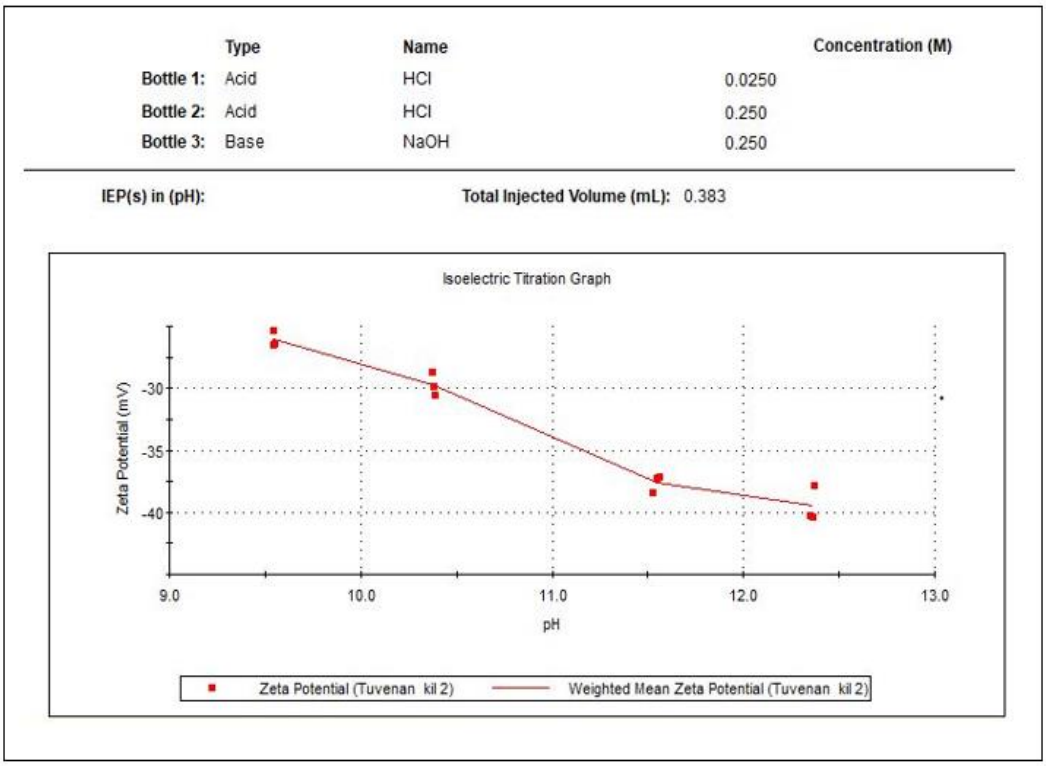


Şekil 3. Boraks içermeyen sıvı numunenin zeta potansiyel ölçüm grafiği (pH 2-9)

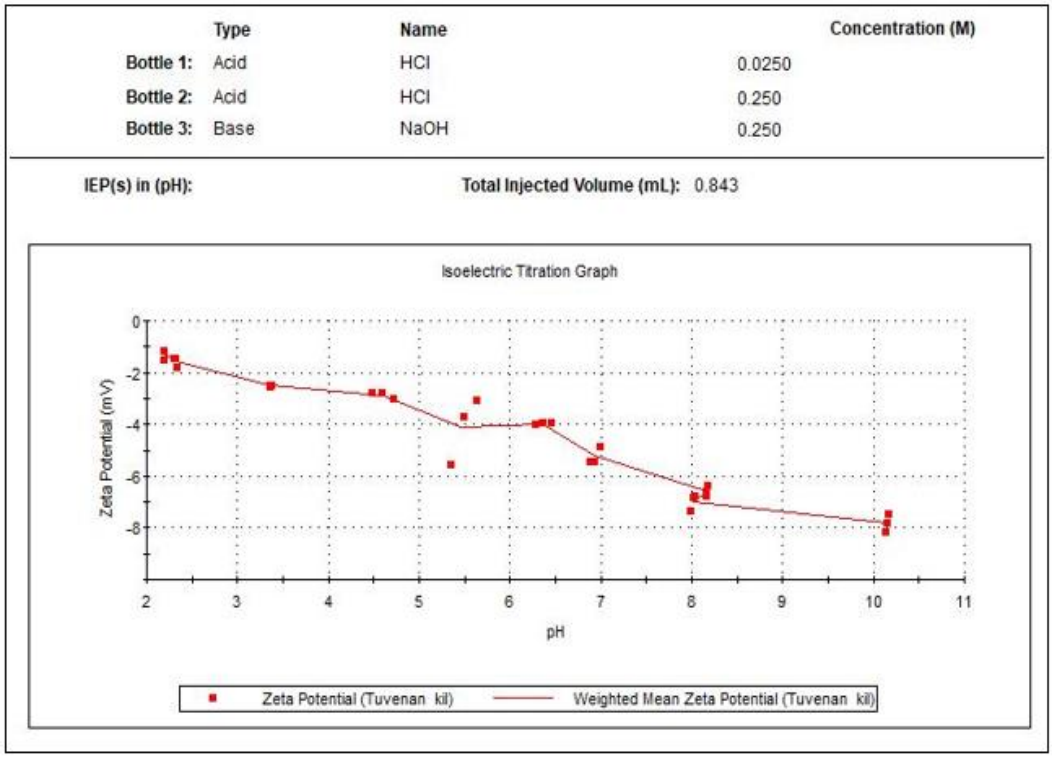


Şekil 4. Tüvenan tinkalin zeta potansiyel ölçüm grafiği (doğal pH)

EK-1. (devam) Sıvı ve katı numunelere ait zeta potansiyel ölçüm değerleri



Şekil 5. Boraks içermeyen katı numunenin zeta potansiyel ölçüm grafiği (pH 9-12)



Şekil 6. Boraks içermeyen katı numunenin zeta potansiyel ölçüm grafiği (pH 2-9)

EK-2. Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.1. Flokülant türünün bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.7, Şekil 4.8)

Flokülant Tipi	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 S)	1	45,7	55,8
	2	17,3	63
	3	19,2	57,6
	4	29,1	54
	5	53,8	44,1
	6	111	36
Non-iyonik(FA 920 SH)	1	101	43,2
	2	45,3	54
	3	82,1	48,6
	4	125	27
	5	234	19,8
	6	301	16,2
Katyonik (FO 4190)	1	201	32,4
	2	156	36
	3	126	28,8
	4	140	18
	5	346,7	14,4
	6	1000	6,3

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.2. Flokülant molekül ağırlığının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.9, Şekil 4.10)

Flokülant Tipi	Flokülant Molekül Ağırlığı	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 VHM)	Yüksek	1	28,3	57,6
		2	8,58	66,6
		3	17	63
		4	22,9	55,8
		5	42,1	54
		6	69	50,4
Anyonik (AN 905 SH)	Orta	1	32	55,8
		2	11,5	63
		3	18,2	57,6
		4	23,2	54
		5	49	50,4
		6	98,6	47,7
Anyonik (AN 905 S)	Düşük	1	45,7	50,4
		2	17,3	57,6
		3	19,2	54
		4	29,1	45
		5	63	43,2
		6	109	40,5

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.3. Flokülant molekül ağırlığının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi **(**Şekil 4.11, Şekil 4.12)

Flokülant Tipi	Flokülant Molekül Ağırlığı	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Non-iyonik (FA 920 SH)	Orta	1	101	43,2
		2	45,3	54
		3	82,1	48,6
		4	125	27
		5	234	19,8
		6	301	16,2
Non-iyonik (FA 920 VHM)	Yüksek	1	58,3	43,2
		2	33,3	54
		3	72,8	54
		4	181	50,4
		5	240	28,8
		6	389	21,6

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.4. Flokülant Yük yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.13, Şekil 4.14)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 VHM)	3	1	28,3	57,6
		2	8,58	66,6
		3	17	63
		4	22,9	55,8
		5	42,1	54
		6	69	50,4
Anyonik (AN 923 VHM)	20	1	56,9	55,8
		2	41,4	59,4
		3	89	57,6
		4	134	52,2
		5	176	46,8
		6	211	41,4
Anyonik (AN 934 VHM)	34	1	133	54
		2	64,1	57,6
		3	278	52,2
		4	423	48,6
		5	679	43,2
		6	1000	36

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.5. Flokülant yük yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.15, Şekil 4.16)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 SH)	3	1	32	55,8
		2	11,5	63
		3	18,2	57,6
		4	23,2	54
		5	49	50,4
		6	98,6	47,7
Anyonik (AN 923 SH)	20	1	46,9	52,2
		2	32,9	57,6
		3	59,1	54
		4	68,6	52,2
		5	121	48,6
		6	215	43,2
Anyonik (AN 934 SH)	34	1	72,4	54
		2	62,5	57,6
		3	89,2	54
		4	158	52,2
		5	334	42,3
		6	626	36

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.6. Flokülant yük yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.17, Şekil 4.18)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 S)	3	1	45,7	50,4
		2	17,3	57,6
		3	19,2	54
		4	29,1	45
		5	63	43,2
		6	109	40,5
Anyonik (AN 923 S)	20	1	64	48,6
		2	34,9	54
		3	44,6	48,6
		4	83	36
		5	134	34,2
		6	222	28,8
Anyonik (AN 934 S)	34	1	227	46,8
		2	207	54
		3	232	43,2
		4	458	36
		5	600	30,6
		6	1000	28,8

Çizelge 2.7. Flokülant yük yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.19, Şekil 4.20)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
FO 4190 SH	Düşük	1	201	32,4
		2	156	36
		3	126	28,8
		4	140	18
FO 4440 SH	Orta	1	1000	18
		2	182	23,4
		3	264	19,8
		4	453	14,4

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.8. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.21, Şekil 4.22)

Flokülant Tipi	Flokülant Molekül Ağırlığı	Karıştırma Hızı (rpm)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 VHM	Yüksek	125	22,9	59,4
		150	9,02	66,6
		175	12,5	63
		200	26,9	60,3
		225	40,1	55,8
AN 905 SH	Orta	125	36	57,6
		150	12,1	63
		175	18,7	61,2
		200	24,6	55,8
		225	52,7	52,2
AN 905 S	Düşük	125	50,6	52,2
		150	17,7	57,6
		175	19,7	55,8
		200	38,3	50,4
		225	60,1	50,4

Çizelge 2.9. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.23, Şekil 4.24)

Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Karıştırma Hızı (rpm)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
FA 920 VHM	Yüksek	125	99,3	50,4
		150	36,2	54
		175	72	50,4
		200	86,1	45
		225	205	43,2
FA 920 SH	Düşük	125	72	37,8
		150	47	45
		175	116	43,2
		200	173	36
		225	205	34,2

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.10. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.25, Şekil 4.26)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Karıştırma Hızı (rpm)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
FO 4190 SH	Düşük	125	131	32,4
		150	126	36
		175	147	28,8
		200	173	21,6
		225	232	18
FO 4440 SH	Orta	125	276	18
		150	182	23,4
		175	201	22,5
		200	352	16,2
		225	401	9

Çizelge 2.11. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.27, Şekil 4.28)

Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Karıştırma Süresi (dk)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 VHM (Anyonik)	Yüksek	3	0,5	41,2	54
			1	9,51	64,8
			1,5	12,5	61,2
			2	26,9	57,6
			2,5	43	54
AN 905 SH (Anyonik)	Orta	20	0,5	30,5	54
			1	13,5	61,2
			1,5	28	59,4
			2	36,4	55,8
			2,5	63	51,3
AN 905 S (Anyonik)	Düşük	34	0,5	34	522
			1	15,3	59,4
			1,5	32,4	57,6
			2	52,1	53,1
			2,5	80,3	50,4

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.12. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.29, Şekil 4.30)

Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Karıştırma Süresi (dk)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
FA 920 SH (Non-iyonik)	Orta	0,5	52,1	41,4
		1	45,3	50,4
		1,5	55	46,8
		2	62,2	41,4
		2,5	93	39,7
FA 920 VHM (Non-iyonik)	Yüksek	0,5	45,6	52,2
		1	33,3	54
		1,5	58,3	50,4
		2	63,2	50,4
		2,5	123	46

Çizelge 2.13. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.31, Şekil 4.32)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Karıştırma Hızı (rpm)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
FO 4190 SH (Katyonik)	Düşük	125	131	32,4
		150	126	36
		175	147	28,8
		200	173	21,6
		225	232	18
FO 4440 SH (Katyonik)	Orta	125	276	18
		150	182	23,4
		175	201	22,5
		200	352	16,2
		225	401	9

EK-2. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Prosesten alınan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 2.14. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.33, Şekil 4.34)

Flokülant Tipi	Karıştırıcı Yüksekliği	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 S (Anyonik)	1	19,8	57,6
	2	28,7	54
	3	41,5	54
FA 920 SH (Non-iyonik)	1	44,5	54
	2	72	50,4
	3	99	45
FO 4190 (Katyonik)	1	130	36
	2	156	25,2
	3	256	18

EK-3. Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.1. Flokülant tipi ve miktarının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.35, Şekil 4.36)

Flokülant Tipi	Flokülant Dozajı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
(Anyonik) AN 905 S	1	141	57,6
	2	77,6	63
	3	200	58,5
	4	376	54
	5	478	48,6
	6	689	41,4
(Non-iyonik) FA 920 SH	1	1000	32,4
	2	83,6	54
	3	300	14,4
	4	380	10,8
	5	673	10,8
	6	901	6,48
(Katyonik) FO 4190	1	1000	12,6
	2	293,2	27
	3	422	12,6
	4	1000	9

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.2. Flokülant molekül ağırlığının miktarının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.37, Şekil 4.38)

Flokülant Tipi	Flokülant Molekül Ağırlığı	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 VHM)	Yüksek	1	121	63
		2	49,5	64,8
		3	69,9	61,2
		4	107,8	54,9
		5	122	54
		6	201	52,2
Anyonik (AN 905 SH)	Orta	1	143	57,6
		2	61	62,1
		3	121,3	57,6
		4	180	55,8
		5	278	51,3
		6	390	48,6
Anyonik (AN 905 S)	Düşük	1	141	57,6
		2	77,6	63
		3	200	58,5
		4	376	54
		5	478	48,6
		6	689	41,4

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.3. Flokülant yük yoğunluğunun miktarının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.39, Şekil 4.40)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 VHM)	3	1	121	63
		2	49,5	64,8
		3	69,9	61,2
		4	107,8	54,9
		5	122	54
		6	201	52,2
Anyonik (AN 923 VHM)	20	1	178	59,4
		2	91	61,2
		3	250	54
		4	367,8	50,4
		5	401	46,8
		6	622	44,1
Anyonik (AN 934 VHM)	34	1	221,3	54,9
		2	156	57,6
		3	398,7	50,4
		4	522,1	46,8
		5	701	39,6
		6	1000	34,2

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.4. Flokülant yük yoğunluğunun miktarının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.41, Şekil 4.42)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 SH)	3	1	143	57,6
		2	61	62,1
		3	121,3	57,6
		4	180	55,8
		5	278	51,3
		6	390	48,6
Anyonik (AN 923 SH)	20	1	189	54
		2	132	60,3
		3	277,3	57,6
		4	345	48,6
		5	598	45
		6	731	41,4
Anyonik (AN 934 SH)	34	1	231	50,4
		2	211	57,6
		3	432	54
		4	807	45
		5	1000	41,4

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.5. Flokülant yük yoğunluğunun miktarının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.43, Şekil 4.44)

Flokülant Tipi	Flokülant Yük Yoğunluğu (%)	Flokülant Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
Anyonik (AN 905 S)	3	1	141	57,6
		2	77,6	63
		3	200	58,5
		4	376	54
		5	478	48,6
		6	689	41,4
Anyonik (AN 923 S)	20	1	201,5	54
		2	157	60,3
		3	302	57,6
		4	421	54
		5	781	45
		6	1000	39,6
Anyonik (AN 934 S)	34	1	267	51,3
		2	337	55,8
		3	533	53,1
		4	1000	42,3

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.6. Süspansiyon karışma hızının bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.45, Şekil 4.46)

Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Karıştırma Hızı (rpm)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 VHM	Yüksek	125	165	61,2
		150	49,5	66,6
		175	62	70,2
		200	75,8	64,8
		225	99,8	63
AN 905 SH	Orta	125	222,4	62,1
		150	80,9	63,9
		175	61	68,4
		200	121	64,8
		225	156,3	61,2
AN 905 S	Düşük	125	198,3	57,6
		150	82,8	63
		175	77,6	68,4
		200	149,7	66,6
		225	256,7	59,4

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.7. Süspansiyon karışma süresinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.47, Şekil 4.48)

Flokülant Tipi	Molekül Ağırlığı	Karıştırma Süresi (dk)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 VHM	Yüksek	0,5	168	63
		1	49,5	70,2
		1,5	54,2	66,6
		2	99,8	64,8
		2,5	132	62,1
AN 905 SH	Orta	0,5	201	59,4
		1	61	68,4
		1,5	119	66,6
		2	145	62,1
		2,5	198	57,6
AN 905 S	Düşük	0,5	223,7	59,4
		1	77,6	68,4
		1,5	102,5	63,9
		2	149,7	61,2
		2,5	211	54

Çizelge 3.8. Karıştırıcı seviyesinin bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.49, Şekil 4.50)

Flokükant Tipi	Karıştırıcı Seviyesi	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN 905 VHM	1	49,5	64,8
	2	98	59,4
	3	120,9	50,4
AN 905 SH	1	61	62,1
	2	133,8	56,7
	3	176,5	45,9
AN 905 S	1	77,6	63
	2	156	54,9
	3	325	44,1

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.9. Süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.51, Şekil 4.52)

Flokülant Tipi	% Katı Oranı	Flokülant Dozajı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN905 S (Anyonik)	10	1	92	59,4
		2	50,2	63
		3	189	59,4
		4	221	57,6
		5	301	55,8
	13	1	141	57,6
		2	77,6	63
		3	192	58,5
		4	256,6	54
		5	310	49,5
	15	1	168	55,8
		2	81,2	59,4
		3	152	54
		4	221	50,4
		5	346	46,8
	17	1	278	52,2
		2	124	54
		3	115	54
		4	143,7	50,4
		5	223	48,6
	19	1	256	27
		2	196	50,4
		3	145	54
		4	121	48,6
		5	145	47,7

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.10. Süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.53, Şekil 4.54)

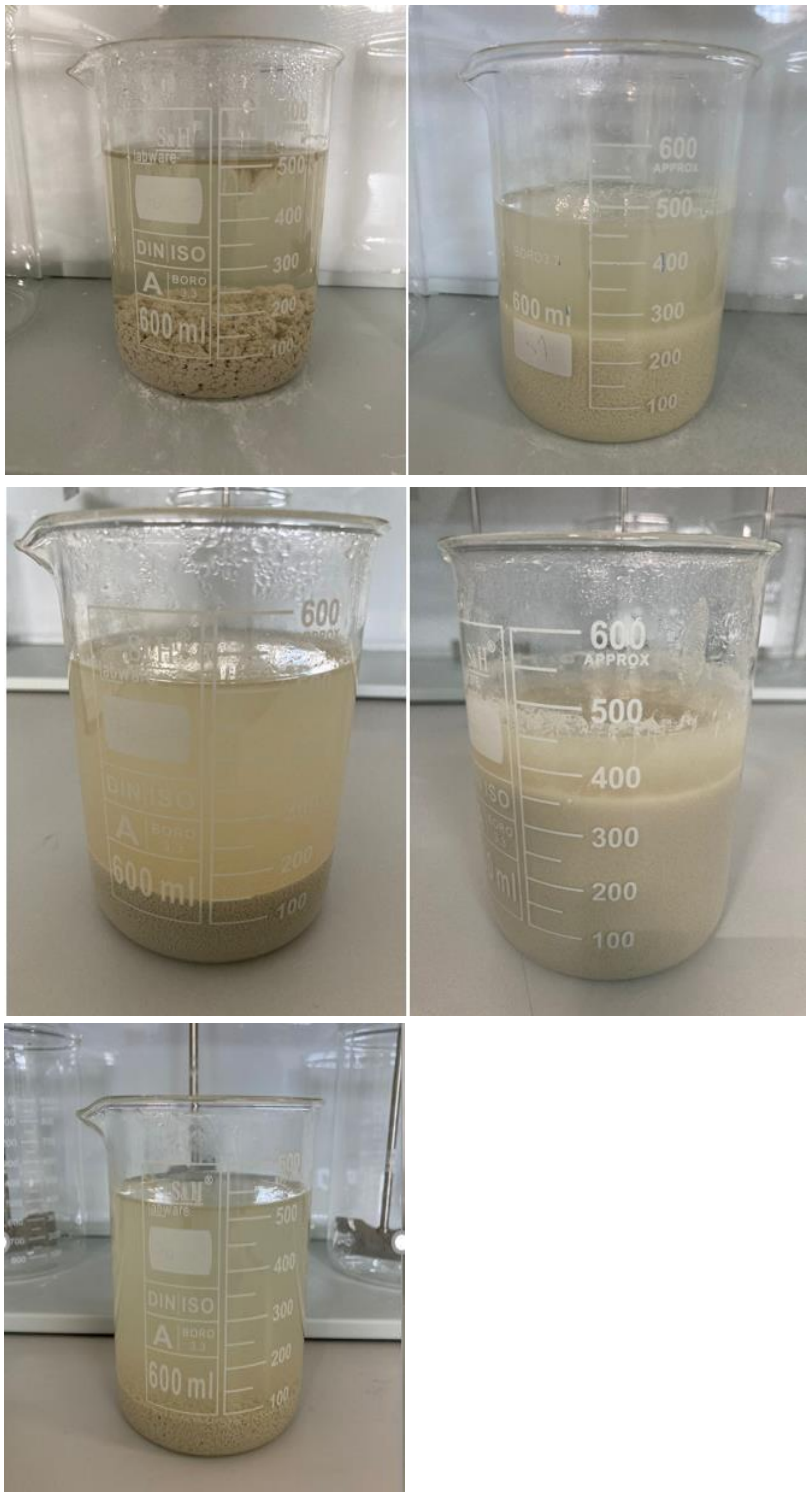
Flokülant Tipi	% Katı Oranı	Flokülant Dozajı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (mm/dk)
AN905 SH (Anyonik)	10	1	89	61,2
		2	49,9	63
		3	50,3	57,6
		4	72	57,6
		5	90	56,7
	13	1	143	57,6
		2	61	62,1
		3	121,3	57,6
		4	180	55,8
		5	201	54
	15	1	156	55,8
		2	64	61,2
		3	123	58,5
		4	212	57,6
		5	356	52,2
	17	1	220	54
		2	143	55,8
		3	121	54
		4	98,7	50,4
		5	112	50,4
	19	1	243	52,2
		2	168	52,2
		3	135,2	55,8
		4	111,9	50,4
		5	113	50,4

EK-3. (devam) Grafiklerde kullanılan deney verileri (Katı numune (tüvenan tinkal) kullanılarak hazırlanan süspansiyonun flokülasyon deney verileri)

Çizelge 3.11. Süspansiyon katı yoğunluğunun bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi (Şekil 4.55, Şekil 4.56)

Flokülant Tipi	% Katı Oranı	Flokülant Dozajı (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Çökelme Hızı (ml/dk)
AN905 VHM	10	1	90	63
		2	33,3	66,6
		3	39,7	63
		4	65,6	57,6
		5	89,9	55,8
	13	1	121	63
		2	49,5	64,8
		3	69,9	61,2
		4	107,8	54,9
		5	132,3	54
	15	1	90	63
		2	58,1	64,8
		3	72	61,2
		4	121	54
		5	199,8	54
	17	1	201	55,8
		2	66	63
		3	54	59,4
		4	72	55,8
		5	101,8	54
	19	1	221	54
		2	102	55,8
		3	67,3	57,6
		4	81,3	52,2
		5	104,2	47,7

EK-4. Flokülasyon deneylerine ait fotoğraflar



Resim 1. Flokülasyon deneylerine ait fotoğraflar



Gazili olmak ayrıcalıktır