



Investigation of the Effects of Suspension pH, Stirring Speed, Stirring Time, and Solid Ratio on Feldspar Flocculation Using Non-Ionic Flocculants

Özlem Kaya^{1,a,*}, Ahmet Özkan^{2,b}

¹ Sivas Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, 58140 Sivas, Türkiye

² Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 06510 Ankara, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 05/05/2025

Accepted: 16/06/2025

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

In this study, two different non-ionic flocculants (Magnaflow 333 and Magnaflow 351) were used for flocculation of feldspar suspensions and the effects of basic process parameters such as suspension pH, stirring speed, stirring time, and solid ratio on feldspar flocculation performance were investigated. The flocculation performance was evaluated together with suspension turbidity (NTU) and flocculation efficiency (%). The experimental results showed that the optimum conditions for both flocculants were suspension pH of 6.1, stirring speed of 500 rpm, and stirring time of 2 minutes. Under these conditions, 97.4% flocculation efficiency and 10.4 NTU turbidity were obtained with Magnaflow 333, and 98.5% flocculation efficiency and 6.4 NTU turbidity were obtained with Magnaflow 351. The optimum solid ratio for Magnaflow 333 was found to be 0.5% and 99.1% flocculation efficiency and 4.0 NTU turbidity. For Magnaflow 351, the optimum solid ratio was 0.2%, and 98.5% flocculation efficiency and 6.4 NTU turbidity were obtained. The results obtained provide important data for process design and optimization for flocculation of feldspar containing systems.

Keywords: Turbidity, feldspar, flocculation efficiency, non-ionic flocculant

Feldspat Flokülasyonunda Süspansiyon pH'sı, Karıştırma Hızı, Karıştırma Süresi ve Katı Oranının Etkilerinin Non-İyonik Flokülantlar Kullanılarak İncelenmesi

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 05/05/2025

Kabul: 16/06/2025

ÖZ

Bu çalışmada, feldspat süspansiyonlarının flokülasyonu için iki farklı non-iyonik flokülant (Magnaflow 333 ve Magnaflow 351) kullanılmış ve süspansiyon pH'sı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve katı oranı gibi temel proses parametrelerinin feldspat flokülasyon performansını üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Flokülasyon performansı, süspansiyon bulanıklığı (NTU) ve flokülasyon verimi (%) ile birlikte değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, her iki flokülant için optimum koşulların süspansiyon pH'sının 6.1, karıştırma hızının 500 dev/dk. ve karıştırma süresinin 2 dakika olduğunu göstermiştir. Bu koşullarda, Magnaflow 333 ile %97.4 flokülasyon verimi ve 10.4 NTU bulanıklık elde edilirken, Magnaflow 351 ile %98.5 flokülasyon verimi ve 6.4 NTU bulanıklık elde edilmiştir. Magnaflow 333 için optimum katı oranı %0.5 olarak bulunmuş ve %99.1 flokülasyon verimi ve 4.0 NTU bulanıklık elde edilmiştir. Magnaflow 351 için ise optimum katı oranı %0.2 olup, %98.5 flokülasyon verimi ve 6.4 NTU bulanıklık elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, feldspat içeren sistemlerin flokülasyonuna yönelik proses tasarımı ve optimizasyonu için önemli veriler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bulanıklık, feldspat, flokülasyon verimi, non-iyonik flokülant

^a okaya@cumhuriyet.edu.tr

^{ID} 0000-0001-7613-3609

^b aozkan725@gmail.com

^{ID} 0000-0002-7544-3709

How to Cite: Kaya O, Ozkan A (2025) Investigation of the Effects of Suspension pH, Stirring Speed, Stirring Time, and Solid Ratio on Feldspar Flocculation Using Non-Ionic Flocculants, Journal of Science and Technology, 4(1): 51-58

Giriş

Feldispatlar, yerkabuğunun yaklaşık %60-65'ini oluşturan, benzer kristal yapı ve kimyasal özelliklere sahip susuz alümina silikat mineralleridir. Alkali metal içeriğine göre kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve potasyum (K) feldispatları olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Ticari öneme sahip başlıca feldispat mineralleri anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve mikrolin veya ortoklaz (KAlSi_3O_8)'dır. Türkiye'de özellikle Batı Anadolu bölgesinde yoğunlaşan rezervleri ile feldispatlar; seramik, cam, boya ve kâğıt endüstrileri başta olmak üzere birçok sektörde önemli rol oynamaktadır. Seramik sektöründe feldispat, vitrifiye sıcaklığını düşürerek camsı faz oluşumunu kolaylaştırmakta ve ürünün mekanik dayanımını artırmaktadır. Cam üretiminde feldispat, düşük ergime sıcaklığı sağlayan bir flaks (eritici) görevi yapmakta ve camın kimyasal direncini ve termal dayanıklılığını artırmaktadır. Boya endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanılan feldispat, boyaya parlaklık, viskozite kontrolü ve düzgün yayılma gibi işlevsel özellikler kazandırmaktadır. Kâğıt endüstrisinde ise feldispat, yüzey pürüzsüzlüğü ve opaklık gibi fiziksel özellikleri artıran bir katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Kılıç, 2023).

Flokülasyon, katı-sıvı ayırma prosesleri arasında; madencilik ve cevher hazırlama, atık su arıtımı, kâğıt endüstrisi ve biyoteknoloji gibi çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle ince taneli ve koloidal sistemlerde, alternatif arıtma yöntemleri ile karşılaştırıldığında; uygulama kolaylığı, düşük enerji tüketimi, ekonomik avantajları ve çevresel açıdan sürdürülebilirliği ile öne çıkmaktadır (Dao et al., 2016; Gregory and Barany, 2011). Flokülasyon, özellikle madencilik ve cevher hazırlama endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Cevher zenginleştirme işlemleri sonrasında oluşan ince taneli atıkların uzaklaştırılması, hem ekonomik ve hem de çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Flokülasyon; çöktürme tankları, yoğunlaştırıcılar ve filtreleme ünitelerinde katıların hızlı ve etkin bir şekilde ayrılmasını sağlayarak proses verimliliğini artırmaktadır.

Flokülasyon, süspansiyon halindeki ince taneli katı partiküllerin uygun flokülantlar kullanılarak aglomere edilerek

çökelmeye uygun "flok" adı verilen daha büyük yapılar oluşturmaları işlemidir. Bu işlem, genellikle yüksek molekül ağırlıklı organik ve inorganik polimerik flokülantlar kullanılarak gerçekleştirilir. Flokülantlar, sahip oldukları iyonik karaktere bağlı olarak dört ana gruba ayrılmaktadır: non-iyonik, katyonik, anyonik ve amfoterik flokülantlar (Drzymala, 2007; Wills and Napier-Munn, 2006). Flokülantların etki mekanizması; yüzey yükü nötralizasyonu, köprüleme (bridging), hidrofobik etkileşimler veya polimerik ağ yapılarının oluşumu gibi fizikokimyasal prensiplere dayanmaktadır.

Flokülasyon etkinliği, kullanılan flokülantın yapısal özelliklerine ve uygulama koşullarına bağlı olarak önemli değişkenlik göstermektedir. Flokülantın türü ve miktarı, molekül ağırlığı, zincir uzunluğu ve elektriksel yükü gibi faktörler, parçacıklarla olan etkileşim mekanizmasını ve dolayısıyla flok oluşumunu doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca, süspansiyon pH'sı, partikül boyutu dağılımı, katı oranı, karıştırma süresi ve hızı, ve ortam sıcaklığı gibi proses parametreleri de flokülasyon performansı üzerinde doğrudan etkilidir (Gregory and Barany, 2011; Yang, 2020). Flokülasyon performansı; genellikle süpernatant bulanıklığı, flok çökme hızı ve flokülasyon verimliliği gibi temel parametreler kullanılarak değerlendirilmektedir (Gregory, 2013).

Bu çalışmada, non-iyonik karakterli Magnafloc 333 ve Magnafloc 351 flokülantları kullanılarak feldispat süspansiyonunun flokülasyon davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda süspansiyon pH'sı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve katı oranı temel proses parametrelerinin, flokülasyon performansını belirleyen bulanıklık ve flokülasyon verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Metod

Materyal

Deneysel çalışmalar için Muğla/Yatağan Polat Maden San. ve Tic. A.Ş.'ya ait sodyum feldispat ocağından temin edilen feldispat numunesi kullanılmıştır. Numunenin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de, -90 μm boyutuna öğütülerek kullanılan numunenin tane boyut dağılımı ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Feldispat numunesinin kimyasal analizi

Table 1. Chemical analysis of feldspar sample

SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	TiO ₂ , %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	CaO, %	MgO, %	P ₂ O ₅ , %
70.07	17.34	0.12	0.34	10.64	0.40	0.61	<0.01	0.24

Tablo 2. Feldispat numunesinin tane boyut dağılımı

Table 2. Particle size distribution of feldspar sample

Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (%)
-90 + 75	4.82
-75 + 53	14.98
-53 + 45	6.96
-45 + 38	8.28
-38 + 20	27.30
-20	37.66
Toplam	100

Tablo 3. Çalışmada kullanılan flokülanların özellikleri

Table 3. Properties of the flocculants used in the study

Flokülant ismi	Flokülant kodu	Flokülant türü	Fiziksel formu	Molekül ağırlığı
Magnafloc 333	N.333	Non-iyonik	Toz – kırık beyaz	Orta
Magnafloc 351	N.351	Non-iyonik	Toz – kırık beyaz	Orta

Flokülasyon deneylerinde, BASF SE firmasından temin edilen non-iyonik karakterli Magnafloc 333 ve Magnafloc 351 flokülanları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan flokülanların özellikleri Tablo 3’de verilmiştir. Her bir flokülan için %0.5 (a/a) konsantrasyonda stok çözeltileri hazırlanmış; bu stok çözeltilerden %0.05 (a/a) konsantrasyonda seyreltilmiş çalışma çözeltileri hazırlanarak deneylerde kullanılmıştır.

Metod

Her bir flokülasyon deneyi için, 750 ml cam beherde 600 ml saf su içerisine 1 g feldispat eklenerek bir süspansiyon hazırlanmıştır. Süspansiyonun homojenliğini sağlamak amacıyla karışım, 500 dev/dk. hızda 5 dakika süreyle manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Belirlenen flokülan miktarı süspansiyona ilave edilmiş ve 500 dev/dk. hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Ardından karıştırma hızı 200 dev/dk.’ya düşürülmüş ve flok oluşumunu sağlamak amacıyla karışım 2 dakika bu hızda karıştırılmıştır. Bu işlemten sonra sistem durdurulmuş ve oluşan flokların çökmesi için süspansiyon 2 dakika bekletilmiştir. Çökme süreci tamamlandıktan sonra, hava-su ara yüzeyinin 4 cm altından 10 ml süpernatant numunesi dikkatli bir şekilde alınmıştır. Alınan süpernatant numunenin bulanıklık ölçümleri, MicroTPI marka turbidimetre (bulanıklık ölçer) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Nephelometric Turbidity

Unit (NTU) cinsinden ifade edilmiştir. Flokülasyon verimi ise aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Flokülasyon verimi (\%)} = \left[\frac{(T_0 - T_f)}{T_0} \right] \times 100$$

To = Süspansiyonun flokülasyon öncesi bulanıklık değeri (NTU)

Tf = Süspansiyonun flokülasyon sonrası bulanıklık değeri (NTU)

(NTU: Nephelometric Turbidity Unit)

Bulgular ve Tartışma

Muğla/Yatağan bölgesinden temin edilen feldispat mineralinin flokülasyonunda, flokülan türü ve miktarının etkilerinin incelendiği çalışmada, en yüksek flokülasyon verimi ve en düşük bulanıklık sonuçları, non-iyonik karakterli Magnafloc 333 (N.333) ve Magnafloc 351 (N.351) flokülanlarının tekli sistemde kullanımı ile elde edilmiştir (Özkan, 2021). Her iki flokülan için optimum miktarlar 0.8 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada, N.333 ve N.351 flokülanları 0.8 mg/L miktarında sabit tutularak kullanılmış; süspansiyon pH’sı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve katı oranı parametrelerinin, süspansiyon bulanıklığı ve flokülasyon verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Süspansiyon pH’sının etkisi

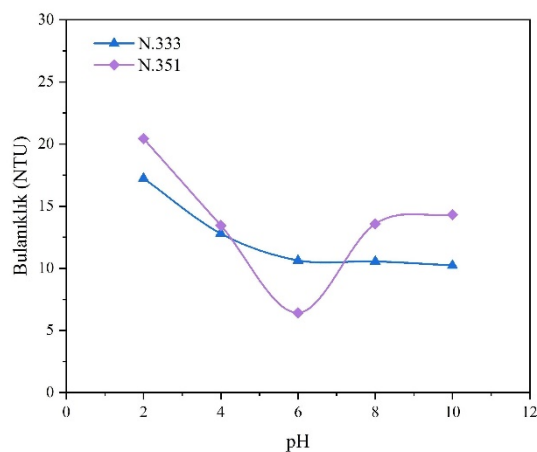
Süspansiyon pH’sının etkisinin incelendiği deneylerde, pH ayarlamaları sodyum hidroksit (NaOH) ve sülfürik asit (H₂SO₄) kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerin başlangıcında, 600 ml saf su içerisine 1 g feldispat eklenerek hazırlanan karışım 500 dev/dk. hızında 5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırma hızı 150 dev/dk'ya düşürülerek istenilen pH değerleri ayarlanmış ve pH sabitlendikten sonra karıştırma işlemine 5 dakika daha devam edilmiştir. Ardından Metod bölümünde açıklanan flokülasyon deney prosedürü uygulanmıştır.

Başlangıçta feldispat süspansiyonu bulanıklık değeri 430.1 NTU olarak ölçülmüş olup, bu durum süspansiyon içinde oldukça yüksek oranda askıda katı madde bulunduğunu göstermektedir.

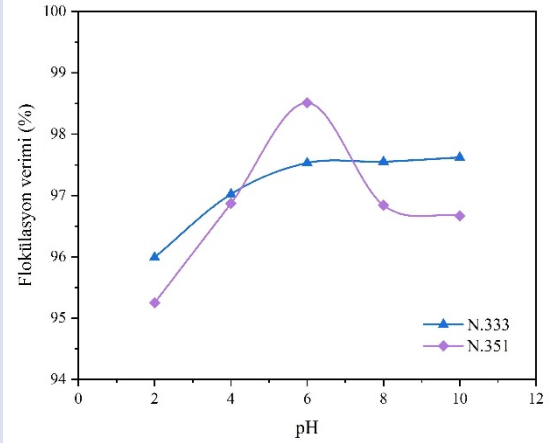
Feldispat flokülasyonunda süspansiyon pH'sının etkisi, pH 2-10 aralığında araştırılmıştır. Deneylerde, feldispat süspansiyonunun ortam pH'sı 6.1 olarak tespit edilmiştir. Süspansiyon pH'sına bağlı olarak bulanıklık değerlerinin değişimi Şekil 1'de, flokülasyon verimi üzerindeki etkisi ise Şekil 2'de gösterilmektedir.

N.333 ve N.351 flokülantlarının süspansiyon bulanıklık değerlerinin asidik pH aralığında (pH: 2-4) yüksek olduğu, süspansiyonun ortam pH'sına (pH: 6.1) yaklaştıkça bu değerlerin azaldığı, ancak pH değerinin alkali seviyelerinde (pH>8) yeniden arttığı görülmektedir (Şekil 1). Bu davranış, asidik pH koşullarında çözeltideki yüksek H^+ iyonu konsantrasyonunun, flokülant molekülleri ile etkileşime girerek flokülantın yüzey özelliklerini değiştirmesi ve flokülant-partikül etkileşimini azaltması sonucu süspansiyon bulanıklığının artması ile açıklanabilir (Cao et al., 2010). Benzer şekilde, alkali pH koşullarında, feldispat yüzeyinin daha negatif yüklenmesi ve elektrostatik itmenin artması, flokülant-partikül etkileşimi olumsuz etkileyerek bulanıklık değerlerinin yeniden artmasına neden olmuştur (Bolto and Gregory, 2007).



Şekil 1. Süspansiyon pH'sının bulanıklığa etkisi [Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Karıştırma süresi: 2 dakika, Katı oranı: %0.2]

Figure 1. Effect of suspension pH on turbidity [Stirring speed: 500 rpm, Stirring time: 2 minutes, Solid ratio: 0.2%]



Şekil 2. Süspansiyon pH'sının flokülasyon verimine etkisi [Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Karıştırma süresi: 2 dakika, Katı oranı: %0.2]

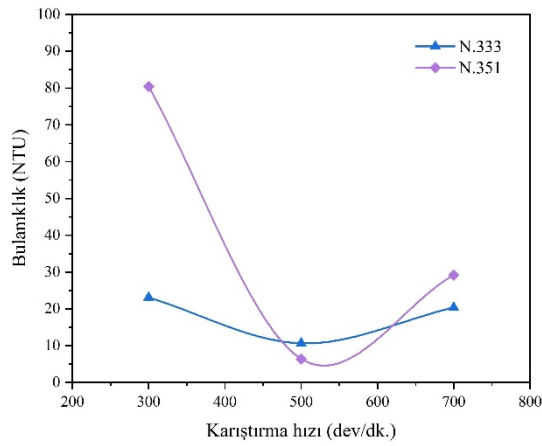
Figure 2. Effect of suspension pH on flocculation efficiency [Stirring speed: 500 rpm, Stirring time: 2 minutes, Solid ratio: 0.2%]

N.333 ve N.351 flokülantlarının kullanımı ile geniş bir pH aralığında yüksek flokülasyon verimleri elde edilmiştir (Şekil 2). Özellikle N.351 flokülantı, pH 6.1'de %98.5 ile en yüksek flokülasyon verimi göstermiştir. Bu sonuç, aynı pH'da Şekil 1'de gösterilen en düşük bulanıklık değeri olan 6.4 NTU ile uyumludur. N.333 flokülantı ise pH 6.1'de %97.5 flokülasyon verimi sağlarken, bulanıklık değeri 10.4 NTU olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her iki flokülant için yüksek flokülasyon verimi ve düşük bulanıklık değerleri, süspansiyonun ortam pH'sı olan 6.1'de elde edilmiştir. Bu nedenle, diğer parametrelerin etkisi incelenirken süspansiyon pH değeri 6.1 olarak seçilmiştir.

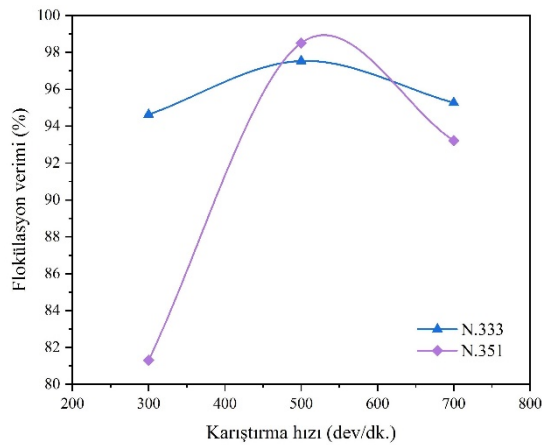
Karıştırma hızının etkisi

Feldispat flokülasyonunda karıştırma hızının süspansiyon bulanıklığı ve flokülasyon verimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneyler 300, 500 ve 700 dev/dk. hızlarında gerçekleştirilmiştir. Karıştırma hızının süspansiyon bulanıklığına etkisi Şekil 3'de, flokülasyon verimindeki etkisi ise Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Karıştırma hızının bulanıklığa etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma süresi: 2 dakika, Katı oranı: %0.2]

Figure 3. Effect of stirring speed on turbidity [Suspension pH: 6.1, Stirring time: 2 minutes, Solid ratio: 0.2%]



Şekil 4. Karıştırma hızının flokülasyon verimine etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma süresi: 2 dakika, Katı oranı: %0.2]

Figure 4. Effect of stirring speed on flocculation efficiency [Suspension pH: 6.1, Stirring time: 2 minutes, Solid ratio: 0.2%]

N.333 ve N.351 flokülantları ile gerçekleştirilen deneylerde, karıştırma hızına bağlı olarak süspansiyon bulanıklık değerlerinde belirgin değişimler gözlenmiştir (Şekil 3). 300 dev/dk. karıştırma hızında bulanıklık değerlerinin yüksek, 500 dev/dk. hızda ise belirgin şekilde azaldığı, karıştırma hızının 700 dev./dk.'ya yükseltilmesiyle birlikte bulanıklık değerlerinin tekrar arttığı görülmektedir. Bu durum, optimum flokülasyon koşullarının orta seviyede bir karıştırma hızı olan 500 dev/dk.'da gerçekleştiğini göstermektedir.

Şekil 4'de verilen karıştırma hızına bağlı olarak flokülasyon verimleri incelendiğinde, her iki flokülantın

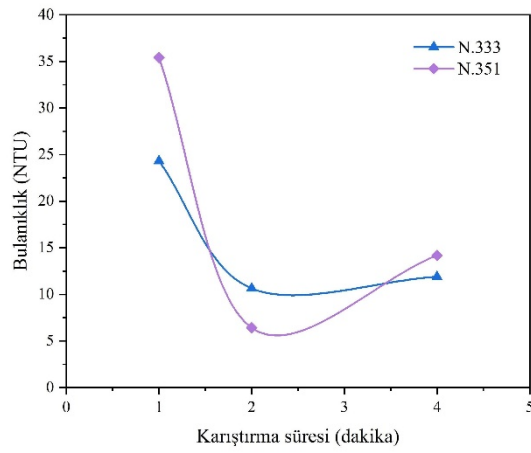
da düşük (300 dev/dk.) ve yüksek (700 dev/dk.) karıştırma hızlarında düşük performans gösterdiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu karıştırma hızlarındaki yüksek bulanıklık değerleri ile uyumludur. Düşük karıştırma hızında (300 dev/dk.) elde edilen düşük flokülasyon verimi, süspansiyondaki tanecikler arasındaki çarpışmanın yetersiz olması nedeniyle tanelerin etkin bir şekilde bir araya gelememesi ve flok oluşumunun sınırlanmasıyla açıklanabilir. 700 dev/dk. yüksek karıştırma hızında ise oluşan flokların parçalandığı ve bu nedenle flokülasyon veriminin azaldığı görülmektedir. Uygulanan yüksek karıştırma hızıyla oluşan yoğun kesme kuvvetleri, mevcut floklar üzerinde yıkıcı etki oluşturarak flokların dağılarak ayrılmasına neden olmakta ve bu parçalanmış yapıların yeniden birleşme eğilimleri azalmakta ve bazı durumlarda tekrar floküle olamamaktadırlar (Hogg, 2000).

Deneyler sonucunda, 500 dev/dk. karıştırma hızında N.333 flokülantı ile %97.5, N.351 flokülantı ile ise %98.5 en yüksek flokülasyon verimleri elde edilmiştir. Aynı koşullarda en düşük bulanıklık değerleri, sırasıyla N.333 için 10.4 NTU ve N.351 için 6.4 NTU olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, diğer proses parametrelerinin etkisi incelenirken karıştırma hızı 500 dev/dk. olarak belirlenmiştir.

Karıştırma süresinin etkisi

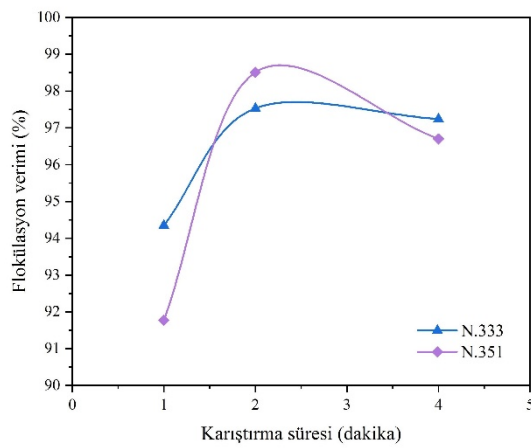
Karıştırma süresinin süspansiyon bulanıklığı ve flokülasyon verimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1, 2 ve 4 dakika karıştırma sürelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Karıştırma süresine bağlı olarak süspansiyon bulanıklığı değerleri Şekil 5'de, flokülasyon verimine etkisi ise Şekil 6'da gösterilmiştir.

N.333 ve N.351 flokülantlarının karıştırma süresine bağlı olarak süspansiyon bulanıklık değerleri incelendiğinde (Şekil 5), 1 dakikalık karıştırma süresinde yüksek bulanıklık değerlerinin elde edildiği, 2 dakikalık karıştırma süresinde ise bulanıklık değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak karıştırma süresinin 4 dakika'ya çıkartılmasıyla birlikte bulanıklık değerlerinin yeniden arttığı görülmektedir. Bu durum, optimum flokülasyon koşullarının 2 dakikalık karıştırma süresinde sağlandığını göstermektedir.



Şekil 5. Karıştırma süresinin bulanıklığa etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Katı oranı: %0.2]

Figure 5. Effect of stirring time on turbidity [Suspension pH: 6.1, Stirring speed: 500 rpm, Solid ratio: 0.2%]



Şekil 6. Karıştırma süresinin flokülasyon verimine etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Katı oranı: %0.2]

Figure 6. Effect of stirring time on flocculation efficiency [Suspension pH: 6.1, Stirring speed: 500 rpm, Solid ratio: 0.2%]

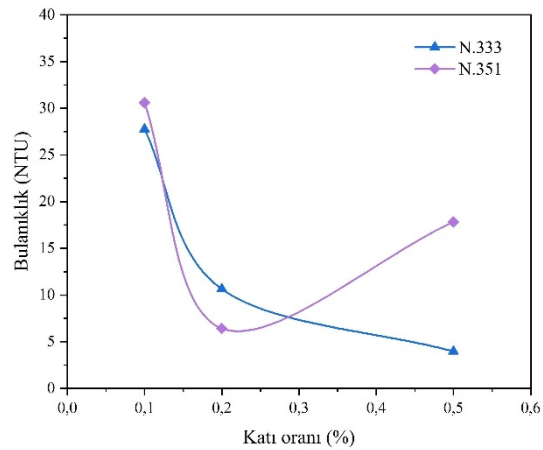
Karıştırma süresine bağlı olarak flokülasyon verimleri incelendiğinde (Şekil 6), her iki flokülant ile 1 ve 4 dakikalık karıştırma sürelerinde düşük flokülasyon verimleri elde edilmiştir. Bu durum, aynı karıştırma sürelerindeki yüksek bulanıklık değerleri ile uyumludur. Flokülasyon verimleri açısından da en yüksek değerlerin 2 dakikalık karıştırma süresinde elde edildiği belirlenmiş olup, daha kısa veya uzun sürelerde verimliliğin azaldığı tespit edilmiştir. Flokülasyonda en uygun karıştırma süresi, optimum flokülant miktarının belirlenebilmesi için diğer bir ifade ile partikül yüzey alanının yaklaşık yarısının flokülant ile kaplanabilmesi için gerekli olan süredir. Karıştırma süresinin fazla olması durumunda,

flokülantların partikül yüzeyine aşırı adsorpsiyonu meydana gelebilmekte ve bu durum sterik engellemeler oluşturarak flokülasyon verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Somasundaran and Das, 1998). Öte yandan, karıştırma süresinin çok kısa olması (örneğin 1 dakika), flokülantların partikül yüzeyine yeterli düzeyde adsorbe olamaması ve partiküller arası çarpışmaların yeterince gerçekleşmemesi nedeniyle flokülasyon veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle diğer proses parametrelerinin etkisi incelenirken karıştırma süresi 2 dakika olarak seçilmiştir.

Katı oranının etkisi

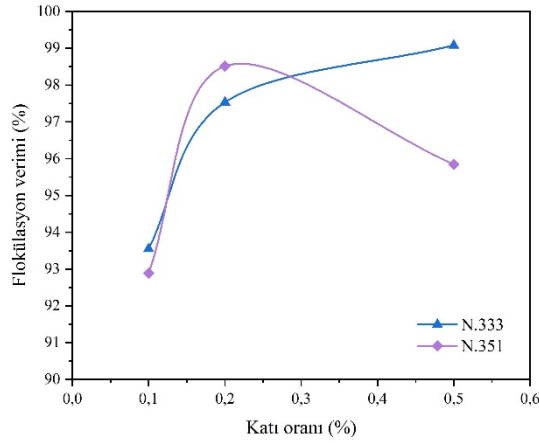
Feldispat flokülasyonunda katı oranının etkisini belirlemek amacıyla %0.1, %0.2 ve %0.5 katı oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Katı oranının süspansiyon bulanıklığına etkisi Şekil 7'de, flokülasyon verimi üzerindeki etkisi ise Şekil 8'de gösterilmiştir.

N.333 ve N.351 flokülantlarının katı oranına bağlı olarak bulanıklık değerleri incelendiğinde (Şekil 7), N.333 flokülantı için %0.1 katı oranında en yüksek bulanıklık değeri (28.0 NTU) elde edilmiştir. Katı oranı arttıkça bulanıklık değeri belirgin bir şekilde azalmış ve %0.5 katı oranında en düşük bulanıklık değeri (4.0 NTU) elde edilmiştir. N.351 flokülantı için ise %0.1 katı oranında yüksek bir bulanıklık değeri gözlemlenmiş, bu değer %0.2 katı oranında azalmış, ancak katı oranının %0.5'e artırılması ile birlikte bulanıklık değeri yeniden artmıştır.



Şekil 7. Katı oranının bulanıklığa etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Karıştırma süresi: 2 dakika]

Figure 7. Effect of solid ratio on turbidity [Suspension pH: 6.1, Stirring speed: 500 rpm, Stirring time: 2 minutes]



Şekil 8. Katı oranının flokülasyon verimine etkisi [Süspansiyon pH: 6.1, Karıştırma hızı: 500 dev/dk., Karıştırma süresi: 2 dakika]

Figure 8. Effect of solid ratio on flocculation efficiency [Suspension pH: 6.1, Stirring speed: 500 rpm, Stirring time: 2 minutes]

N.333 ve N.351 flokülantlarının katı oranına bağlı olarak flokülasyon verimleri incelendiğinde (Şekil 8), N.333 flokülantı için katı oranı arttıkça flokülasyon veriminin arttığı görülmektedir. %0.5 katı oranında maksimum flokülasyon verimi %99.1 olarak elde edilmiştir. Katı oranındaki artış, partiküllerin birbirleriyle çarpışma olasılığını artırarak hızlı ve etkin bir flokülasyonu desteklemektedir. Ayrıca, salkımların karıştırmaya karşı gösterdikleri denge de katı oranı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Karıştırma sonrasında parçalanmış bir salkımın yeniden oluşabilmesi, partiküller arasındaki etkileşim süresine bağlıdır. Düşük katı oranlarında bu etkileşim süresi uzamakta ve böylece flokülant daha uzun süre aynı partikül üzerine adsorbe olmaya çalışmaktadır. Bu durum, köprü sayısının azalmasına ve sonuç olarak flokülasyon verimi düşmesine yol açmaktadır (İpekoğlu, 1997). N.351 flokülantı için ise %0.1 ve %0.5 katı oranlarında daha düşük olan flokülasyon verim değerleri elde edilirken, %0.2 katı oranında en yüksek verim %98.5 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, N.351 flokülantının ortalama katı oranlarında daha etkili olduğu ve yüksek katı oranlarında flokülasyon veriminin azaldığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, süspansiyonun bulanıklığı ve flokülasyon verimliliği ile birlikte değerlendirildiğinde, N.333 flokülantı için en uygun katı oranının %0.5, N.351 flokülantı için ise %0.2 olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışmada, non-iyonik karakterli Magnafloc 333 (N.333) ve Magnafloc (N.351) flokülantları kullanılarak feldispat süspansiyonlarının flokülasyon davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda; süspansiyon pH'sı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve katı oranı parametrelerinin süspansiyon bulanıklığı ve flokülasyon verimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Deneysel sonuçlara göre, her iki flokülant için optimum süspansiyon pH'sı 6.1, karıştırma hızı 500 dev/dk. ve karıştırma süresi 2 dakika olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda, N.333 flokülantı ile %97.4 flokülasyon verimi ve 10.4 NTU bulanıklık, N.351 flokülantı ile ise %98.5 flokülasyon verimi ve 6.4 NTU bulanıklık elde edilmiştir. N.333 flokülantı için optimum katı oranı %0.5 olarak belirlenmiş, bu koşulda %99.1 flokülasyon verimi ve 4.0 NTU bulanıklık elde edilmiştir. N.351 flokülantı için ise optimum katı oranı %0.2 olarak belirlenmiş, bu koşulda %98.5 flokülasyon verimi ve 6.4 NTU bulanıklık elde edilmiştir.

Kaynaklar

- Bolto B and Gregory J. 2007. Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research, 41(11): 2301-2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>.
- Cao BC, Gao BY, Xu CH, Fu Y and Liu X. 2010. Effects of pH on coagulation behavior and floc properties in Yellow River water treatment using ferric based coagulants. Chinese Science Bulletin, 55: 1382-1387. doi: 10.1007/s11434-010-0087-5.
- Dao VH, Cameron NR and Saito K. 2016. Synthesis, properties and performance of organic polymers employed in flocculation applications. Polymer Chemistry, 7: 11-22 <https://doi.org/10.1039/C5PY01572C>.
- Dryzmala J. 2007. Mineral processing, Foundations of theory and practice of mineralurgy, 1st English edition, Wroclaw, Poland: Wroclaw University of Technology, pp. 449-463.
- Gregory J. 2013. Flocculation fundamentals. Encyclopedia of Colloid and Interface Science, Ed: Tadros T, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 459-491.
- Gregory J and Barany S. 2011. Adsorption and flocculation by polymers and polymer mixtures, Advances in Colloid and Interface Science, 169 (1): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.06.004>.
- Hogg R. 2000. Flocculation and dewatering. International Journal of Mineral Processing, 58(1-4): 223-236. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00023-X).
- Kılıç D. 2023. Dünyada ve Türkiye'de feldispat. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 58 s, Ankara, Türkiye.
- Özkan A. 2021. Feldispat mineralinin flokülasyon ile çöktürme karakteristiklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
- İpekoğlu Ü. 1997. Susuzlandırma ve yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:179, s. 112, İzmir.
- Somasundaran P and Das KK. 1998. Flocculation and selective flocculation-An overview. Innovations in mineral and coal

processing. Eds: Atak S, Önal G, Çelik MS, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

Wills BA and Napier-Munn TJ. 2006. Wills' mineral processing technology: An introduction to practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K., pp. 378-381.

Yang Y, Wang H, Klein B, Wu A. 2020. Shear-dependent yield stress of iron ore fine tailings in two-step flocculation process. *Advances in Materials Science and Engineering*, 6611392.