



Orijinal Araştırma / Original Research

ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (CHF) TEKNİĞİ İLE TALKIN TUZLU SULARDA YÜZEBİLİRLİĞİ

FLOTABILITY OF TALC BY DISSOLVED AIR FLOTATION (DAF) TECHNIQUE IN SALT SOLUTION

Kenan Çinku^{a,*}, Gözde Bekçi^{b,*}, Orhan Özdemir

^a İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul / TÜRKİYE

^b İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beyazıt, İstanbul / TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 27 Mayıs / May 2018

Kabul Tarihi / Accepted : 19 Ağustos / August 2018

Anahtar Sözcükler:

CHF,
Talk,
Tuzlu su.

Keywords:

DAF,
Talc,
Salt solution.

ÖZ

Flotasyon tekniği tüm dünyada yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Talkın sahip olduğu doğal hidrofobik yapısı sayesinde, grafit, taş kömürü, molibden ve kükürt gibi ender mineraller kollektör adı verilen kimyasal toplayıcı kullanmaksızın yüzebildiği bilinmektedir. Flotasyon yönteminde, kollektör ve köpürtücü adı verilen pahalı kimyasalların ve suyun niteliği büyük öneme sahiptir. Bu nedenle flotasyonda kullanılan kimyasal sarfiyatının azaltılması veya hiç kullanılmaması flotasyon tesislerinin işletim masraflarını büyük oranda düşürebilir. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF) tekniğinin ince tane boyutundaki (-38 µm) malzemelere de uygulanabilmesi ince boyutlu artıkların değerlendirilmesine olanak verebilir. Ayrıca günümüzde hızla tükenen ve kirlenen su kaynakları göz önünde bulundurulduğunda flotasyon tesislerinde suyun çevrimi ve tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada doğal hidrofobik minerallerden olan ince boyutlu talkın kollektör ve köpürtücü kullanmaksızın tuzlu sular (NaCl, ve MgC₁₂) içerisinde yüzebilirliği araştırılmıştır. Tuzlu sular varlığında laboratuvar ölçekli CHF ekipmanıyla yapılan flotasyon deneyleri sonucunda talkın flotasyon veriminde %14'lük artış elde edilmiş olup sonuçlar ışığında Na⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının talk flotasyonuna etkisi ortaya konmuştur.

ABSTRACT

Flotation is one of the widely used mineral processing methods where hydrophobic particles are separated from hydrophilic particles using air bubbles. Since some minerals such as talc, graphite, molybdenite, hard coal, and sulphur is naturally hydrophobic, it is possible to float them without collector. The effect of flotation chemicals such as collector and frothers which are very expensive, and the water quality is very important in the flotation method. For this reason, the decrease in the amount of these chemicals for the flotation method or even not to use any of these chemicals may reduce the cost of mineral processing. Dissolved air flotation (DAF) is a clarification process that can be used to remove particles. In addition, when water scarcity and contamination are considered, water circulation and use of bore water which contains a high amount of salt, will be essential for mineral processing plants in the future. In this context, the aim of this study was to investigate the flotation behavior of natural hydrophobic mineral talc in solutions (NaCl and MgC₁₂) without collector using a lab scale DAF. The flotation results showed that flotation yield of talc increased 14% in the presence of salt ions. Based on the results obtained from this study, it can be concluded the effect of dissolved ions such as Na⁺ and Mg²⁺ on talc flotation is ion specific.

* Sorumlu yazar: kenan@istanbul.edu.tr * <https://orcid.org/0000-0001-7523-8126>

** gozdebekci@gmail.com

*** orhanozdemir@istanbul.edu.tr * <https://orcid.org/0000-0003-1294-5346>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayımlanmıştır. / This paper was published in the 25th International Mining Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

GİRİŞ

Günümüzde flotasyon birçok mineralin zenginleştirilmesinde kullanılmasının yanı sıra biyoteknoloji (su arıtımı, gıda sanayi v.b.) gibi cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisinden çok farklı alanlarda da başvurulan temel ayırma proseslerinin başında gelmektedir. Flotasyon yöntemiyle sülfürlü metalik cevherlerin yanı sıra bütün oksitli mineraller ve metal olmayan mineraller zenginleştirilebilirler. Düşük tenörlü cevherleri herhangi bir yöntemle zenginleştirmek mümkündür, ancak flotasyon tesisinin kurulmasının kolay olması ve diğer yöntemlere oranla ekonomik olması nedeniyle flotasyon metodu tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde, özellikle taş kömürü gibi doğal hidrofobik minerallerin tuzlu sular (elektrolit solüsyonları) içerisinde kollektör ve köpürtücü kullanmadan yüzdükleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Flotasyonda çözünmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, kabarcık ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar birçok teoriyi de beraberinde getirmiştir. Bu teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediğini, böylece kabarcık boyutunu düşürdüğü ve sayısını arttırdığı üzerinedir. Bu olayın kabarcık-tane yapışma olasılığını arttırdığı, köpük stabilitesi ve böylece flotasyon verimini arttırdığını söylenmektedir. Tuzlu suların kömür flotasyonunda büyük ilgi görmesinden dolayı, kömür gibi doğal hidrofobik karakterli minerallerden birisi olan talk için de tuzlu su ortamında çözünmüş hava flotasyon yapmanın mümkün olabileceği düşünülmüştür.

CHF flotasyonu tekniği esas olarak içme sularının iyileştirilmesi (Newcombe ve Dixon, 2006), atık suların geri kazanımı, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi atıklarının katı-sıvı ayırımının yapılarak proses suyunun tekrar sirkülasyonu, ağır metal ve anyonların uzaklaştırılması gibi amaçlarla kullanılmasının yanı sıra son yıllarda bakır-nikel gibi metalik şlam cevherlerin geri kazanımı, ince boyutlu feldispat cevherlerinin zenginleştirilmesi, fosfat cevheri şlamlarının zenginleştirilmesinde ve ince boyutlu kuvarsın geri kazanımı gibi uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Çözünmüş hava flotasyonu taşıyıcı faz olarak mikro kabarcıkların kullanıldığı katı-sıvı veya sıvı-sıvı ayırma proseslerinin çok iyi şekilde sağ-

landığı bir uygulamadır (Feris ve Rubio, 1999). Çözünmüş hava flotasyonu sistemlerinde hava, suya uygulanan birkaç atmosfer basınç altında çözünür ve su hava ile doyurulur. Daha sonra sudan basınç kaldırılarak su atmosfer basıncına getirilir. Bu esnada açığa çıkan hava kabarcıkları flotasyon işlemini gerçekleştirir (Edzwald, 1995; Rykaart ve Haarhoff, 1995; Eckenfedersor, 2000)

Flotasyon işlemi tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmekte olup proses esnasında önemli miktarda su tüketilmektedir. Günümüzde su kaynaklarının giderek azaldığı ve flotasyon işleminin kollektör kullanılmaksızın gerçekleştirilerek su kirliliğine sebebiyet verilmeyeceği göz önünde bulundurulduğunda çevre ve cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisine önemli bir katkı sağlanması da amaçlanan bir diğer unsur olmuştur. Ayrıca cevher hazırlama ve zenginleştirme endüstrisinde şlam olarak tabir edilen ve atık barajlarına gönderilen 38 µm'dan daha küçük boyuttaki mineral tanelerinin değerlendirilmesi de mümkün olacaktır.

Bu çalışmada doğal olarak hidrofob karaktere sahip olan ince boyutlu talkın toplayıcı kullanılmaksızın yüzdürülmesi, Na⁺ ve Mg⁺² gibi iyonlarının varlığının flotasyonuna etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, talkın tuzlu sular varlığında yüzebilirliği CHF flotasyonu deneyleri yapılarak ortaya konmuştur.

1. MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalarda kullanılan talk numunesi İstanbul-Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren ERC Minerals firmasından temin edilmiştir. Değirmen çıkışı olan talkın üst boyutu ortalama 2 mm olup alt boyutu ise -38 µm'dur. Flotasyon deneyleri Ofite marka CHF cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyisel çalışmalar esnasında kullanılan numuneler, tamamı tüvenan haldeki doğal hidrofob karaktere sahip talk olup CHF tekniği kullanılarak yüzebilirliklerine çözünmüş iyonların etkisi incelenmiştir.

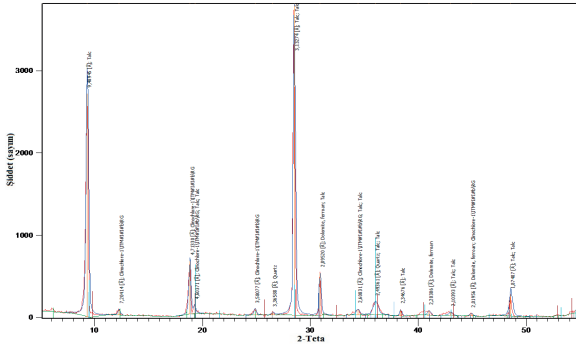
CHF deneylerinde kullanılacak talk'ın yapısal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan karakterizasyon çalışmalarında, kimyasal analiz, XRD, DTA/TG yöntemleri ve bunlara ek olarak zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan talk'a hem kalitatif hem de kantitatif analizler yapılmış olup sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Talkın kimyasal analiz sonuçları

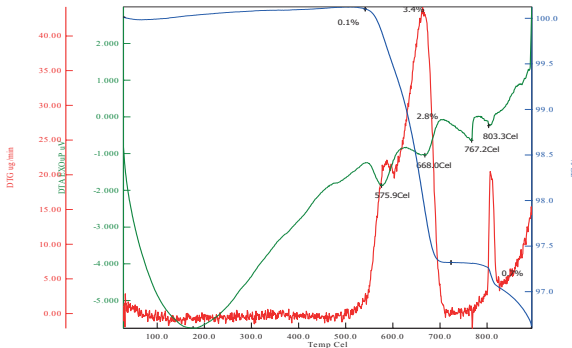
BİLEŞEN	Miktar (%)
SiO ₂	59,05
Al ₂ O ₃	0,90
Fe ₂ O ₃	0,41
MgO	31,68
CaO	1,39
Na ₂ O	<0,01
K ₂ O	<0,01
TiO ₂	0,02
P ₂ O ₅	0,15
MnO	0,02
Ba	
LOI	6,32

XRD analizleri SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile 2°-70° aralığında, 20/dk. tarama hızıyla Cu X-Işını tüpü kullanılarak yapılmış olup Şekil 1'de talkın XRD kırınım deseni verilmiştir.



Şekil 1. Talkın XRD kırınım deseni

Talk numunelerinin DTA analizleri SEIKO SII DTA/TG 6300 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bütün ölçümler 20 mg numune kullanılarak, 25-800°C aralığında 10°C/dk ısıtma hızında azot varlığında gerçekleştirilmiştir. Talk numunelerinin DTA/TG analizleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Talkın DTA/TG analiz sonuçları

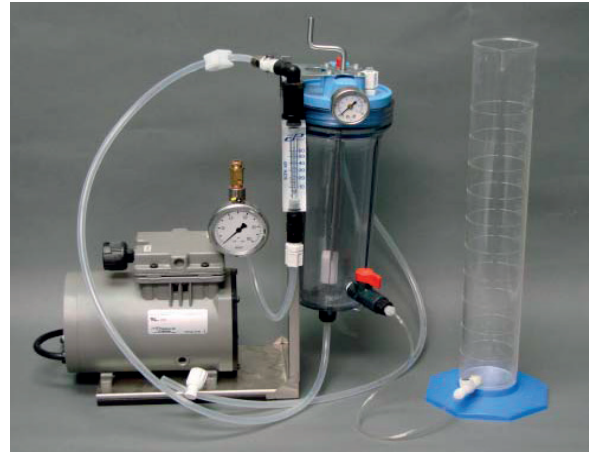
Şekil 2'den görüldüğü gibi 500-700°C arasında meydana gelen %3,4 ağırlık kaybı talkın kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmaktadır.

Talkın elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroelektroforezis yöntemi ile çalışan, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerini otomatik olarak hesaplayabilen Brookhaven Zeta Plus cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinde gerilim, iletkenliğe bağlı olarak ayarlanmıştır. Tüm deneylerde pH ölçümleri Hanna HI 221 marka pH metre ile yapılmıştır. Gerektiğinde pH ayarlayıcı olarak da 0,1 M HCl ile 0,1 M NaOH kullanılmıştır. pH'ya bağlı zeta potansiyel ölçümlerinde ölçüm öncesi ve sonrası pH değerleri ölçülerek, denge pH'sı olarak ölçüm sonrası pH değeri dikkate alınmıştır. Deneylerin oda sıcaklığında (25±2 °C) yapılmasına özen gösterilmiştir.

Talk numunelerinin temas açısı ölçümleri KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon deneyleri ise Şekil 3'de gösterilen laboratuvar ölçekli Ofite CHF düzeneği kullanılarak optimum basınç, tane boyutu, kabarcık giriş hızı değerleri belirlenmiştir. CHF deneyleri 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç, 212, 150, 106, 38 µm tane boyutu değerlerinde yapılmıştır.

DeneySEL çalışmalar kapsamında kullanılan tüvenan talk numunelerinin tamamı agat havanlı Retch öğütücü yardımıyla 500 µm tane boyutunun altına öğütülmüştür.



Şekil 3. DeneySEL çalışmalarda kullanılan CHF flotasyonu ünitesi

Tane boyutunun küçültülmesi işlemi sonrasında en uygun basıncı belirlemek amacıyla %1 pülpte katı oranında (PKO), 106 µm tane boyutundaki

numuneye 700 mL hacimde hazırlanan süspansiyonlar 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç altında ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Optimum basınç değerinin belirlenmesiyle en uygun tane boyutunu belirlemek amacıyla %1 PKO da, 700 mL hacimde, 212, 150, 106, 38 µm boyutlarında numunelerle hazırlanan süspansiyonlar uygun basınç altında ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuşlardır.

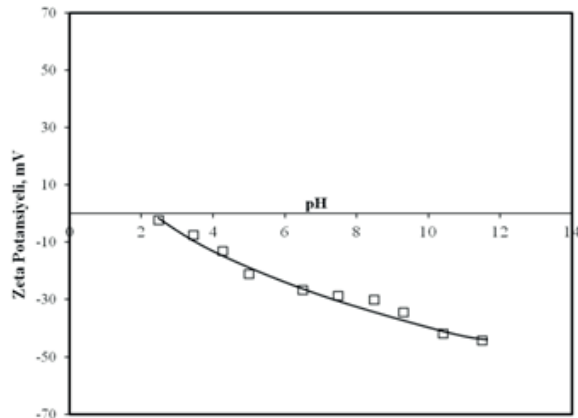
Optimum basınç ve tane boyutunun belirlenmesiyle kabarcık giriş hızını belirlemek amacıyla %1 PKO'da, 700 mL hacimde, uygun basınç ve tane boyutunda hazırlanan süspansiyonlar cihazın ayar vanası yardımıyla 4 farklı hızda ÇHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Talkın ÇHF tekniğinde çözülmüş iyonlar varlığında göstermiş olduğu yüzebilirlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla %1 PKO'da olacak şekilde NaCl ve MgCl₂ ile 1.10⁻³, 1.10⁻², 1.10⁻¹, ve 1M konsantrasyonlarda gerçekleştirilmiş ve ÇHF düzeneği ile flotasyon gerçekleştirilmiştir. Flotasyon sonucunda yüzen ve batan ürünler ılık suyla 3 kez yıkanarak vakum yardımıyla filtreden geçirilmiş ardından etüve konularak kurumaya bırakılmış tartılmış ve % verim değerlerine ulaşılmıştır.

2. BULGULAR

2.1. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Talk mineralinin tuzlu su içerisindeki elektrokinetik davranışını ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyeli ölçümlerinde %0,1 pülp yoğunluğunda hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Talkın pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi Şekil 4'de verilmiştir.

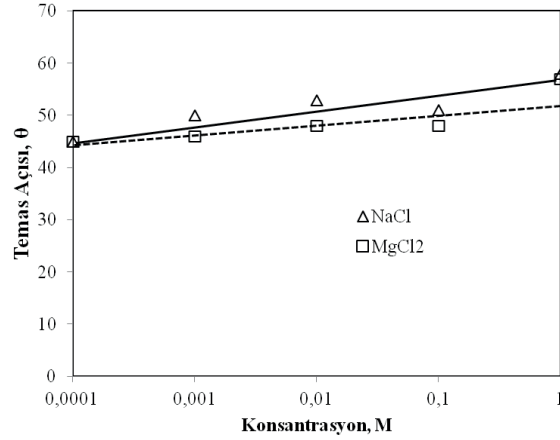


Şekil 4. pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi

Şekil 4'de görüldüğü gibi talk tüm pH değerlerinde negatif yüze yüküne sahiptir. Doğal pH'da ise -30 mV civarında zeta potansiyeline sahiptir.

2.2. Temas Açısı Ölçümleri

NaCl ve MgCl₂ konsantrasyonlarına bağlı temas açısı ölçümleri Şekil 5'de verilmiştir.

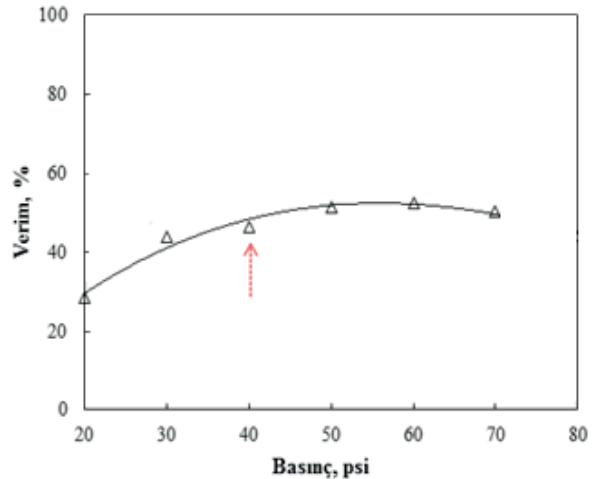


Şekil 5. Tuz konsantrasyonu-temas açısı ilişkisi

2.3. ÇHF Optimizasyon Deneyleri

2.3.1. Optimum Basınç Deneyleri

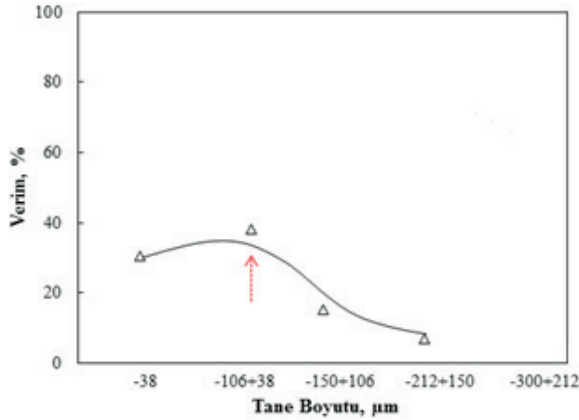
Optimum basıncın belirlenmesine yönelik yapılan deneyler Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere flotasyon verimleri 40 psi değerinden sonra sabit kalmıştır. Bu sonuçlar ışığında optimum basınç değeri sonraki deneyler için 40 psi olarak seçilmiştir.



Şekil 6. Optimum basınç deneyleri

2.3.2. Optimum Tane Boyutu Deneyleri

Optimum tane boyutunu belirlemek amacıyla farklı tane boyut gruplarında flotasyon deneyleri yapılmış olup sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir

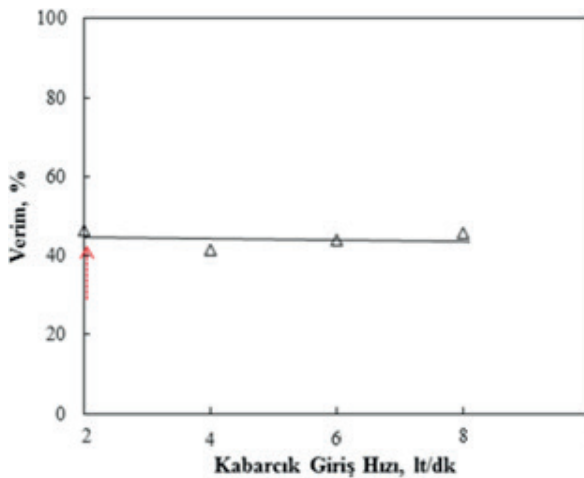


Şekil 7. Optimum tane boyut deneyleri

Şekil 7'de görüldüğü üzere en uygun tane boyut aralığı -1064 + 38 µm olarak belirlenmiştir.

2.3.3. Optimum Kabarcık Giriş Hızı Deneyleri

Optimum basınç ve boyut deneylerinde ulaşılan sonuçlar ışığında kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızını belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Kabarcık giriş hızı deneyi sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

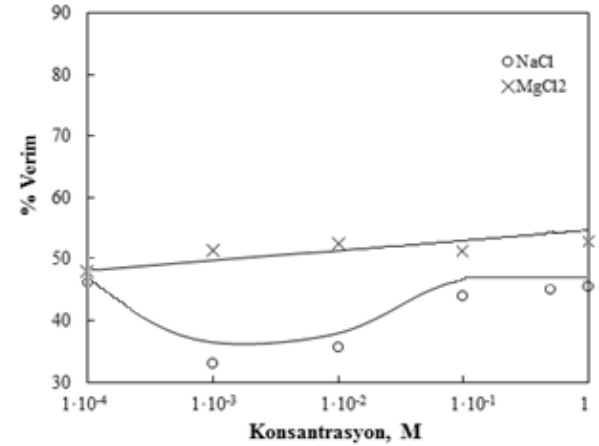


Şekil 8. Kabarcık giriş hızı deneyleri

Şekil 8'de görüldüğü üzere optimum kabarcık giriş hızı 1lt/dk olarak belirlenmiştir.

2.3.4. Çözünmüş İyonların Flotasyona Etkisi

Tuz çözeltilerine bağlı olarak yapılan çözünmüş hava flotasyonu çalışmaları tüvenan haldeki numuneler ile ve hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan gerçekleştirilmiş olup talk flotasyon sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



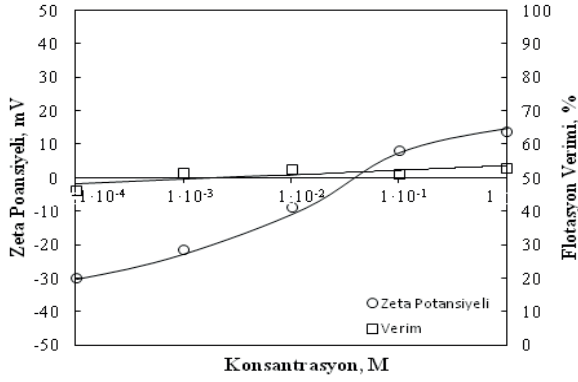
Şekil 9. Tuz konsantrasyonu-flotasyon verimi ilişkisi

Şekil 9'da görüldüğü gibi talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg⁺² tuzları %14 verim artışı sağlarken tek değerlikli Na⁺ tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Oldukça değişik bir kristal yapıya sahip olduğu bilinen talkın yüzeyleri hidrofobik, kenarları ise hidrofilik karakterlidir (Burdukova vd., 2006; Salopek vd., 1992; Nalaskowski vd., 2007).

Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması; talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir.

2.4 Tuz Tipinin Zeta Potansiyeline Etkisi

Deneyel çalışmalarda kullanılan Na⁺ ve Mg⁺² tuzlarının konsantrasyonuna bağlı olarak talkın, zeta potansiyeli değişimleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü gibi artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak talk mineralinin zeta potansiyeli 0,01 M'dan itibaren taneler arasındaki itme kuvvetlerinin azalması nedeniyle stabil olmayan bölgeye geçişe neden olmuştur. Özellikle MgCl₂ tuzu zeta potansiyelini daha düşük konsantrasyonlarda etkilemeye başlamıştır.

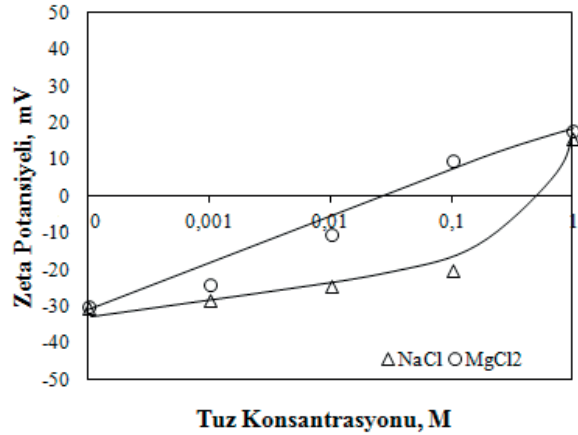


Şekil 10. Tuz tipi-zeta potansiyel ilişkisi

2.5. Zeta potansiyeli- Flotasyon Verimi İlişkisi

2.5.1. Na⁺ İyonunun Etkisi

Şekil 11'de görüldüğü üzere NaCl tuzunun özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin daha öncede vurgulandığı gibi talkın kristal yapısından kaynaklandığını düşündürmektedir.

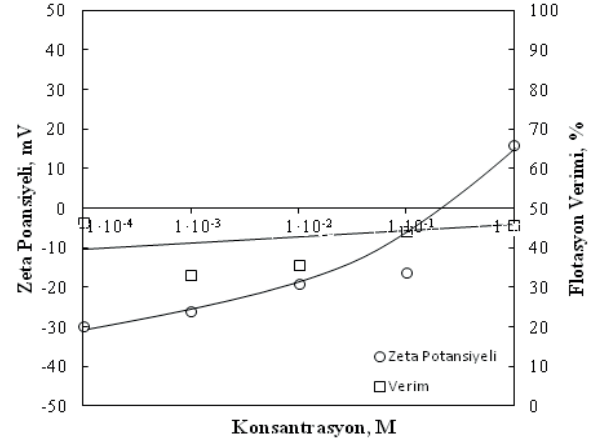


Şekil 11. Talkın NaCl tuzu konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel-flotasyon verimi ilişkisi

2.5.2. Mg²⁺ İyonunun Etkisi

Şekil 12'den görüldüğü üzere Mg²⁺ tuzunun tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin sadece %14 civarında artması Mg²⁺ iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Talk yüzeylerinde büyük bir elektriksel çift tabaka

itmesi ve zayıf vanderwaals çekmesi (DLVO ile uyumlu), kenarlarında ise hidrotasyona bağlı çok zayıf itme (non-DLVO ile uyumlu) kuvvetlerinin (Nalaskowski vd., 2007) varlığından dolayı olduğu bilinmektedir.



Şekil 12. Mg²⁺ konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel-flotasyon verimi ilişkisi

TARTIŞMA VE SONUÇ

Flotasyonda çözülmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeylerini etkileyerek, özellikle yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki koloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Özdemir, vd., 2009). Taşkömürlerinin tuzlu su içerisinde hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan yüzdüğü uzun yıllardan beri bilinmektedir. Bu durum kömürün hidrofobik özelliği ile açıklanabilmektedir. Taşkömürü doğal hidrofobik olduğu için tuzlu su içerisinde sadece kabarcık üretilmesi ile yüzebilmesi mümkün olmaktadır. Talk'ın da doğal hidrofobik minerallerden biri olması nedeniyle tuzlu su içerisinde yüzebilmesinin mümkün olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada çözülmüş iyonların etkisiyle çözülmüş hava flotasyonu tekniği kullanılarak talk'ın tuzlu sularda flotasyonu sonuçları incelenmiştir.

CHF deneylerinde uygulanacak optimum basınç 40 psi olarak belirlenmiştir. Optimum basınç değerinin belirlenmesi sonrasında en uygun tane boyutu ise -106+38 µm olarak belirlenmiştir. Optimum basınç ve boyut deneylerinde elde edilen sonuçlar ışığında kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızı ise 2 lt/dk hıza sahip 1. kademe vana açıklığı olarak belirlenmiştir.

Talkın tuz konsantrasyonuna bağlı olarak

gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri değerlendirildiğinde literatürle (Laskowski ve Iskra, 1970) uyumlu şekilde belirgin bir değişim gözlenmediği görülmüştür.

Na⁺ iyonunun CHF üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda tuz konsantrasyonu arttıkça verimin değişmediği gözlenmiştir. Mg⁺² iyonunun CHF üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde ise tuz konsantrasyonu arttıkça flotasyon veriminin %14 arttığı görülmüştür.

Flotasyon verimi kabarcıkların stabilitesine bağlıdır. Flotasyonda kabarcıklar yüksek derecede hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvvetleri zayıftır ve bu yüzden birleşirler. Yapılan deneylerde literatürle uyumlu biçimde (Marrucci ve Nicodemo, 1967; Yoon, 1982; Paulson ve Pugh, 1996; Özdemir, 2013) tuzlu sular içerisinde kabarcık birleşiminin tuz varlığı nedeniyle engellendiği ve tuzlu su ortamında yüksek sayıda ince boyutlu kabarcıkların üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg⁺² tuzları verim artışı sağlarken, tek değerlikli Na⁺ tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısının 3 tabakalı bir sulu magnezyum silikat olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir. Bu durum literatürle de uyumludur. Zira yüksek tuz konsantrasyonlarında ve özellikle Na⁺ veya Mg⁺² gibi çözünmüş iyonların kabarcıkların ve tanelerin elektrokinetik davranışlarını etkiledikleri ve böylelikle hem tanenin hem de kabarcığın zeta potansiyel değerlerini düşürdükleri bilinmektedir. Bu durumda yüksek tuz konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın (EÇT) bastırılması nedeniyle elektrostatik etkileşim zayıf olacaktır. Dolayısıyla da kabarcık tane etkileşimini sadece hidrofobik kuvvet belirleyecektir. Buna göre EÇT'nin bastırılması kabarcık tane yapışmasını kolaylaştıracak ve böylelikle flotasyon verimi de artacaktır (Özdemir, 2009).

Talkın zeta potansiyeli Na⁺ tuzu varlığında özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin talkın kristal yapısından kaynaklanabileceği

sonucunu düşündürmektedir. Mg⁺² tuzunda ise tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin %14 oranında artması Mg⁺² iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Genel anlamda bakıldığında ise tuz varlığında CHF'de talkın yüzebilirliğinin %14 arttığı ancak deneyler esnasında herhangi bir reaktif ve köpürtücü kullanılmadığı düşünüldüğünde CHF tekniğinin başarıyla uygulanabileceği görülmüştür.

CHF işlemi esnasında oluşan mikro kabarcıkların silikat formundaki talk yüzeyleriyle etkileşiminin düşük olduğu da düşünülebilir. Yalçın ve Byres, 2006 tarafından yapılan çalışmada mikro kabarcıkların kuvars yüzeyine tutunmadıkları ortaya konmuştur. Her ne kadar talk doğal hidrofob bir mineral olsa da kenarların hidrofilik karakteri ve mikrokabarcıklar nedeniyle yüzebilirliğin düşük kaldığı düşünülmektedir.

CHF tekniği özellikle ince boyutlu cevherlerin kazanımında (şlam kömürleri gibi) yararlı olabileceği düşünülen bir teknik olup yapılacak yeni çalışmalarla flotasyon işlemleri esnasında hava yerine başka gazların (argon, CO₂, v.d.) denenmesi daha farklı ve olumlu yüzebilirlik sonuçlarının elde edilmesini sağlayabileceği göz ardı edilmemelidir. Genel olarak CHF deney sonuçları yorumlandığında, sonuçlar pahalı ve özel kimyasal bileşiklerin flotasyonda kullanılma gerekliliğinin ortadan kalkmasına ve/veya azalmasına dolayısıyla flotasyon tesislerinin işletim masraflarının büyük oranda düşmesine yol açacak ve ince boyutlu malzemelerin kazanımına olanak sağlanacaktır. Buna ek olarak reaktif kullanımının neden olabileceği olası çevre kirliliği sorunları da giderilmiş olacaktır. Bununla birlikte dünyada hızla tükenen temiz su kaynakları ve flotasyon tesislerinde tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu da önemli bir husustur. CHF tekniğinin bu anlamda yakın gelecekte şlam kazanımı, kirlilik giderimi amaçlarıyla ön plana çıkma potansiyeli yüksektir.

En önemlisi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar birçok sistemin tuzlu sular veya deniz suyu içerisinde çözülmüş hava flotasyonu davranışlarını anlamamıza da yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Burdukova, E., Laskowski, J. S., Bradshaw, D. J., 2006. Surface Properties of Talc and Their

Effect on the Behaviour of Talc Suspensions. XXIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2006), Istanbul, Turkey, 904-910.

Eckenfeders W. W., 2000. Industrial Water Pollution Control, Third Edition.

Edzwald J.K., 1995. Principles and Applications of Dissolved air Flotation, Water Science and Technology, 31 (3-4), 1-23.

Feris, L.A., De Leon, A.T., Santander, M., Rubio, J., 2004. Advances in the Adsorptive Particulate Flotation Process, International Journal of Mineral Processing.

Laskowski, J., Iskra, J., 1970. Role of Capillary Effects in Bubble-Particle Collision in Flotation, Inst. Mining Met., Trans., Sect. C, 79(March), C6-C10.

Marrucci, G., Nicodemo, L., 1967. Coalescence of Gas Bubbles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes, Chemical Engineering Science, 22(9), 1257-1265.

Nalaskowski, J., Abdul, B., Du, H., Miller, J.D., 2007. The Anisotropic Character of Talc Surfaces as Revealed By Streaming Potential Measurements, Atomic Force Microscopy, and Molecular Dynamics Simulations, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah.

Newcombe, G., Dixon, D. (editors) 2006. Interface Science in Drinking Water Treatment, Dissolved

air Flotation in Drinking Water Treatment, Chapter 6, 89-107.

Özdemir, O., Taran, E., Hampton, M.A., Karakashev, S.I., Nguyen, A.V., 2009. Surface Chemistry Aspects of Coal Flotation in Bore Water, International Journal of Mineral Processing, 92(3-4), 177-183.

Özdemir, O., 2013. Specific Ion Effect of Chloride Salts on Collectorless Flotation of Coal, Physicochem, Probl. Miner. Process, 49(2), 511-524.

Paulson, O., Pugh, R.J., 1996. Flotation of Inherently Hydrophobic Particles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes, Langmuir; 12(20), 4808-4813.

Rykaart, E.M., Haarhoff J., 1995. Behaviour of Air Injection Nozzles In Dissolved Air Flotation. Water Science Technology, 31 (3-4), 25-35.

Salopek, B., Krasic, D., Filipovic, S., 1992. Measurement and Application of Zeta-Potential, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6.

Yalçın, T., Byers, A., 2006. Dissolved air Flotation in Mineral Processing. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 27: 87-97.

Yoon, R.H., 1982. Flotation of Coal Using Micro-Bubbles and Inorganic Salts, Mining Congress Journal, 6876-6780.