

KOLON FLOTASYONUNDA VERİM ve TENÖR ÜZERİNE SU İLE TAŞINIMIN ETKİSİ

Influence of Entertainment on the Grade and Recovery in Column Flotation

Hülya KURŞUN*
Zekeriya DURAN**
Nuh AKÇİÇEK***
Murat TONUS****
Mahmut ÇİFÇİ*****
Turan KILINÇ*****

ÖZET

Konsantre tenör ve verimi için önemli olan su ile taşınım, köpüğe bağlanmadan su ile köpüğe taşınan malzemeyi ifade etmektedir. İnce tanelerin köpük fazı içine taşınmaları, yukarı yönde yükselen hava kabarcığının arkasında veya çevresinde su ile yada köpük ara yüzeyin de yukarı doğru hareket eden kabarcıklar tarafından itilerek gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada, hidrofobik (talk)-hidrofilik (kalsit) minerallerinin karışımı (3:1 oranında) ile bir grup deneyler yapılmıştır. 5cm çapında 75 cm yükseklikte dairesel kesitli kolon hücresinde su ve katı verimleri hesaplanmış, köpürtücü miktarı, pülpte katı oranı, tane boyutu, hava hızı, pülp besleme hızı, yıkama suyu hızının konsantre tenör ve verimine etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin verim ve tenör üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu deneysel sonuçlar göstermiştir. Hidrofilik tanelerin su ile taşınım faktörünü (Pi) belirlemek için Kirjavainen (1988; 1989) Modeli kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Talk, Kalsit, Su İle Taşınım, Kolon Flotasyonu

ABSTRACT

Entrainment, which is important for concentrate grade and its recovery, refers to materials which are water-entrained without attaching to the foam. The entrainment of fine particles into the foam phase, takes place behind or around the uprising air bubbles, through the pushing of the water or the uprising bubbles at the bubble interface.

In this study, a group of experiments were carried out a mixture of pure hydrophobic (talk) and hydrophilic (calcite) minerals (3:1 ratio). Water and particle (talk and calcite) recoveries were calculated in column flotation cell which had a height of 75 cm, diameter of 5 cm and circular cross-section. The effects of frother concentration, pulp density, particle size, superficial air flow rate, superficial feed flow rate, and superficial wash water flow rate on the grade and recovery were investigated. The experimental results showed that this parameters had significant effect on the grade and recovery, flotation time and fine gangue entrainment. Kirjaveinen Model (1989) was used for describing a specific entrained factor (Pi) of hydrophilic particles.

Keywords: Talc, Calcite, Entrainment, Column Flotation

* Yrd.Doç.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, SİVAS,hkursun@cumhuriyet.edu.tr

** Öğr.Gör., Cumhuriyet Üniv., S.M.Y.O., Madencilik ve Maden Çıkarma Böl., Maden Teknolojisi Programı, SİVAS

*** Maden Yüksek Müh., Cumhuriyet Üniversitesi, S.M.Y.O., SİVAS

**** Öğr. Gör., Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Mühendisliği Bölümü, SİVAS

***** Öğr.Gör., Cumhuriyet Üniv., S.M.Y.O., Madencilik ve Maden Çıkarma Böl., Maden Teknolojisi Programı, SİVAS

***** Öğr.Gör., Cumhuriyet Üniv., S.M.Y.O., Madencilik ve Maden Çıkarma Böl., Maden Teknolojisi Programı, SİVAS

1.GİRİŞ

Tanelerin konsantreye taşınması, temel olarak hava kabarcığına bağlanma ve konsantreye taşınan su içinde sistemdeki akış hareketlerinden kaynaklanan taşınma (entrainment) olmak üzere iki mekanizma da gerçekleşir. Hidrofobik ve hidrofilik taneler arasındaki ıslanabilirlik farkından faydalanılarak ayırım yapılmaktadır. Hidrofobik taneler için bu iki mekanizma birlikte gerçekleşirken, serbest hidrofilik taneler için sadece su ile taşınım gerçekleşmektedir. Hidrofilik tanelerin ne kadarının hava kabarcıkları ile taşındığı tespit edilmesine rağmen hidrofobik tanelerin su ile sürüklenen miktarı kesin olarak tespit edilememektedir. Hidrofobik tanelerin su ile taşınımının belirlenmesi için farklı yaklaşımlar kullanılarak çeşitli modeller geliştirilmiştir (Warren 1985, Ross 1990, Gülsoy ve diğ., 1995). Jowett (1996), konsantredeki serbest gang derişimi ile pülp içerisinde ki serbest gang derişimi arasında bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Johnson ve diğ., (1974) bir pilot tesiste su ile kazanımın deneysel çalışmalara bağlı olarak su kazanım hızı ve sınıflanma fonksiyonunu kullanarak bir model önermişler, sınıflandırma fonksiyonunu (C_F) eşitlik 1' de belirttiği gibi tanımlamışlardır.

$$(C_F) = \frac{\text{Konsantrede Serbest Gang Derisimi}}{\text{Pülpdeki Serbest Gang Derisimi}} \quad (1)$$

Su ile taşınan malzeme miktarının belirlenmesinde farklı yöntemler geliştirilerek, flotasyonda konsantreye su ile taşınan minerallerin davranışını ve bu davranış üzerinde çeşitli işlem parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Gerçek flotasyonda boyut küçüldükçe su ile taşınan malzeme miktarı artar. İdeal flotasyon ortamında serbest haldeki hidrofilik tanelerin hava kabarcığına tutunarak konsantreye taşınmaları mümkün olmamaktadır. Fakat uygulamada tane boyu küçüldükçe hidrofilik tanelerinde konsantreye su ile taşındığı yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür (Fuerstenau, 1962; Jameson, 1977; Trahar,

1981; Subrahmanyam ve Forsberg, 1988; Smith ve Warren, 1989; Johansson, 1992). Woodburn (1975) tarafından, hidrofilik tanelerin su ve katı kazanımı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu, tane boyutu irileştikçe bu doğrusal ilişkinin su kazanımı eksenini kestiği belirtilmiştir.

Bisshop ve White (1976), tanelerin kalma zamanına bağlı olarak sınıflanma fonksiyonunu bir

modele bağlamışlardır. Engelbrect ve Woodburn (1975) pirit flotasyonun da silikat minerallerinin hava hızı ve köpük yüksekliğinin su ile taşınım üzerine etkisini incelemişler, su ve gang verimi arasında parabolik bir ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir. Trahar ve Warren (1976), köpük zonuındaki tanelerin su ile taşınımını iki farklı test üzerinde değerlendirmeler yapılmış, birinci testte toplayıcı ve köpürtücüyü birlikte kullanmışlar ikinci testte ise sadece köpürtücü kullanarak su kazanımına karşı katı kazanımı arasında ki ilişkiyi tanımlamışlar, toplayıcı ve köpürtücünün birlikte kullanılması sonucu konsantrede kazanılan katı miktardan sadece köpürtücü kullanılması sonucu elde edilen katı miktarının çıkarılması ile gerçek flotasyonda elde edilecek miktarı hesaplamaya çalışmışlardır.

Kirjavainen (1988; 1989), çeşitli mineraller kullanarak farklı bir yaklaşım geliştirmiş, çalışmasında bir transfer faktörü tanımlayarak buna bağlı bir model önermiş, tane kütlelerine bağlı olan transfer faktörünü eşitlik 2' de verildiği gibi tanımlamıştır.

$$P: 1-Dlog(m) \quad (2)$$

D : Sabit (%2-20) ağırlıkça katı içeren pülp için 0.17 civarında)

m : Dar tane boyutundaki tanelerin ortalama kütlesi (nanogram)

Hidrofilik minerallerin taşınımaları arasında ilişkinin doğrusal olmayacağını belirterek eşitlik 3' de ifade edilebilen bir model önermiştir.

$$R_1 = 1 - \exp(-P_1 R_w) \quad (3)$$

R_1 : Hidrofilik malzeme verimi

P_1 : Sürüklenme faktörü

R_w : Su kazanımı

Su Kazanımı: Köpükte alınan su ağırlığı/Pülpdeki su ağırlığı

Kalsit Kazanımı: Köpükte alınan kalsit ağırlığı/Pülpdeki kalsit ağırlığı

Talk Kazanımı: Köpükte alınan talk ağırlığı/Pülpdeki talk ağırlığı

Flotasyonda hidrofobik ve hidrofilik tanelerin taşınımı verim ve seçicilik açısından oldukça önemlidir. Verim ve seçicilik sistem içerisinde ki mineral özelliklerine, köpürtücü türü ve miktarı-

na, reaktif türü ve miktarına, karıştırma hızına, hava hızına, kabarcık boyutuna, pülp katı oranına, tane boyutuna, köpük derinliğine, köpük sıyırma hızına ve flotasyon kinetiği gibi birçok parametreye bağlı olmaktadır.

Kaya ve Laplante (1986) yapmış oldukları çalışmalarında yıkama suyu sıcaklığının artması ile su ile sürüklenmede tane miktarının azaldığını yine (1988)'de yaptıkları çalışmalarında ise, mekanik-ultrasonik titreşim ve köpük yıkamanın su ile sürüklemeyi azalttığını belirtmişlerdir. Subrahmanyam ve Forsberg (1988), su ile taşınımı ince boyutlu tanelerin oluşturduğunu, hidrofilik gang minerallerinin kazanımı doğrudan su kazanımı ile ilişkili olduğunu, köpük kararlılığının da su ile taşınımına etkisini açıklamışlardır. Ayrıca, bu mekanizma içerisinde özellikle su kazanımını etkileyen değişkenleri belirleyerek daha yüksek verim ve tenör değerlerine ulaşabileceğini de belirtmişlerdir. Hoşten ve Tezcan (1990) tarafından köpürtücü tipinin flotasyon kinetiği üzerindeki etkisini bakır cevheri kullanarak incelenmiştir. Düşük flotasyon kinetiğine sahip köpürtücü tipinde ayırmanın azda olsa etkin olduğunu belirtmişlerdir. Buda, köpürtücü tip ve özelliklerinin oluşan kabarcıkların boyutlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Malysa, (1993)' de kabarcık boyutunun köpüğe taşınan su ve köpük tabakasında süzülme ile yakından ilişkisi olduğunu tanımlamıştır. Laplante ve diğ., (1989), köpük yıkama işlemi ile su ile taşınım ilişkilenirlererek kolon flotasyonun da yıkama suyunun ısı arttıkça su ile taşınan malzeme miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Viskozitenin düşmesi akışkanlığı arttırmaktadır. Rahal ve diğ., (2001), köpürtücü türü ve konsantrasyonunun katı kazanımı ve su ile taşınım üzerine etkisini incelemiş, su ile taşınım ve su kazanımı arasında ki ilişkiyi belirlemek için basit bir güç modeli tanımlamışlardır. Akdemir ve diğ., (2005), ince kalsit tanelerinin su ile taşınımaları, talk kazanımı ve flotasyon kinetiği tek bir mineral(talk) ve talk-kalsit karışımı kullanarak farklı köpürtücü türlerinin etkileri araştırılmıştır.

Tuteja ve diğ., (1995), kolon flotasyonunda su ile taşınım üzerine köpük kalınlığının etkisini araştırmış, toplama bölgesi kalınlığının artması ile arsenik tenöründe önemli derecede azalma meydana gelirken arsenik veriminde artma olduğunu belirtmiştir. Malysa (1993), çeşitli alkollerin köpükte kazanılan su üzerine etkisini köpük yüksekliği ile ilişkilendirmiş bu testlerini de özel olarak geliştirdiği bir kolonda yapmıştır. Çalışma-

sını iki fazlı (su/hava) sistemde yapmış olup köpüğün su içeriğinin kalın köpük tabakasının üst kısmında hacimce % 5-12 gibi düşük değerlerde olduğunu ve köpürtücü derişiminin etkilenmediğini belirtmiştir.

Mekanik flotasyonda tanelerin su ile sürüklenmesinde karıştırma hızı önemli bir parametredir. Bütün parametreler sabit tutulmak suretiyle sadece karıştırma hızı değiştirilerek yapılan çalışmalarda, karıştırma hızı arttıkça katı kazanımı da su kazanımı da arttığı belirtilmiştir (Akdemir ve Güler, 2000). Deglon (2005), platin cevheri flotasyonunda karıştırma hızının önemli faydalar sağlamanın yanı sıra konsantrasyon tenör değerlerinin azalmasında su ile taşınımın etkili olduğunu tanımlamıştır. Kolon flotasyonu ile zenginleştirmede karıştırma sistemi mevcut olmayıp çok özel tasarımlar söz konusu olduğunda kullanılmaktadır. Ityokumbel ve diğ., (2000), karıştırmalı kolon hücresi (0.1x1.9) kullanarak ince boyutlu pirit cevherini farklı karıştırma hızlarında flote ederek karıştırma hızının etkilerini incelemişler, artan hava hızlarında ve 400 rpm üzerinde ki karıştırma hızlarında ince gang minerallerinin su ile taşınarak seçiciliği etkilediğini açıklamışlardır. Fakat, yinede karıştırma hızının etkisi konusunda yeterli çalışmalara literatürlerde rastlanmamaktadır. Kolon flotasyonda hava hızı su kazanımını doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. Su kazanımı hava hızı ile doğrusal olarak değişmektedir. Maksimum su kazanımına ulaşabilmesi için selül hacminin yarısı kadar hava hücre içerisinde bulunmalıdır. Uygulamada optimum kapasite % 50' in altına inebilir. Tao ve diğ., (2000), hava hızının artması köpüğü kararlı yapmakta ve yanabilir kömür verimini artırırken 2 cm/sn' in üzerindeki hava hızlarında hidrolik su taşınımının artması kül veriminin artmasına neden olmaktadır.

Tuteja ve diğ., (1995), kolon flotasyonunda su ile taşınım üzerine hava hızının etkisini araştırmışlar, hava hızının artması ile konsantrasyonda arsenik tenör ve verim değerlerinin arttığını, konsantrasyon oranı ve ağırlıkça verim değerlerinde de kayda değer önemli bir artışın söz konusu olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeni olarak, hava hızının artması ile ortamda oluşan çok fazla hava kabarcığı tanelerin tutunacağı yüzey alanını artırdığından ağırlıkça verim artmakta, tanelerin köpükte kalma zamanları azaldığı için konsantrasyonda ki arsenik tenöründe artmaktadır.

Kolon flotasyonunda, ince tanelerin yüzebilmesi için flotasyon süresi mekanik flotasyon

hücrelerine göre daha uzun olmakta ve kolonun üst kısımda bulunan yüzeysel yıkama suyu köpüğe yapışmış gang minerallerini köpükten uzaklaştırmaktadır. Araştırmacıların bir çoğu (Finch ve Dobby, 1990; Öteyaka ve diğ., 1996; Tao ve diğ., 2000), ince tanelerde seçimliliğin daha iyi olduğunu, bunun nedeni olarak da kolondaki kalın köpük ve köpüğün yıkama suyu ile yıkanmasının performansı arttıracağını belirtmişlerdir. Fakat tane büyüklüğünün küçülmesi ince tanelerin taşınımını da arttırmaktadır. Tane büyüklüğü ile taşınım arasındaki ilişki lineer olmamasına rağmen hava miktarının artması ile taşınım lineer artmaktadır ve aynı zamanda yükselen suyun hızı da artacaktır (Tao ve diğ., 2000). Maachar ve Dobby (1992), tane boyutunun azalması su ile taşınım derecesini arttırdığını hidrofilik galenit ve silikat minerallerini kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında belirtmişlerdir. Aynı zamanda katı yoğunluğunun artması sonucu su ile taşınım derecesinde çok az miktarda azalma olmaktadır. Tuteja ve diğ., (1995), köpükte su ile taşınım üzerine besleme hızının etkisini araştırmışlar, besleme hızının artması ile konsantrasyonda arsenik tenörü artmış, verim azalmış buna bağlı olarak konsantrasyon oranı artarken ağırlıkça verimin azaldığı gözlenmiştir. Besleme hızı arttığında pülp kalma süresi azaldığından ağırlıkça verim azalmıştır. Konsantrasyon oranının düzenli oranda artması ağırlıkça verimi azaltığı için besleme hızının artması ile arsenik veriminde azalma olmuştur.

Bu çalışmada; hidrofilik malzeme olarak kalsit, hidrofobik malzeme olarak ta talk kullanılmıştır. -106+75 μ m, -75+53 μ m, -53+38 μ m, -38 μ m tane boyutunda saf talk ve kalsit minerallerinin karışımı (3:1 oranında) ile bir grup kolon flotasyonu deneyleri yapılmış ve köpürtücü miktarı, pülp katı oranı, tane boyutu, hava hızı, pülp besleme hızı, yıkama suyu hızının su ile sürüklenme faktörüne etkisi incelenmiş, verim ve seçimlilik açı-

sından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Kirjavainen (1988; 1989) 'ın belirlemiş olduğu model üzerine uygulanarak açıklanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve Yöntem

Sivas-Ulaş bölgesinde Gülsoy Madencilik A.Ş. tarafından işletilen talk, tesisten çıkarıldıktan sonra 15-20 cm büyüklüğündeki cevher parçaları ön işlem olarak tavuklama (triyaj) ile ayıklanmaktadır.

Deneysel çalışmalarımızda, triyaj ile ayıklaması yapılmış konsantre talk ve BMT alçı tesisinden temin edilen, saflık derecesi %97.78 olan kalsit numuneleri kullanılmıştır. Talkın ve kalsitin kimyasal analizleri, XRF (X-Ray Fluoresans) analiz sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

Numunelere çeneli kırıcıda iki aşamalı kırma işlemi uygulanmış, malzemenin tamamı -3.35 mm tane büyüklüğüne kırılarak 5 kg numuneler halinde torbalanmıştır. Öğütme deneylerinde bilyalı değirmen ve öğütücü ortam olarak çelik bilyalar kullanılmıştır. Numuneler 5 dak. öğütüldükten sonra 106 μ m'luk elekten elenerek, elek üzerinde kalan miktar tekrar öğütüldü. Bu şekilde, kontrollü öğütme yapılarak fazla miktarda şlam oluşması önlenmiştir. Ürünün boyut dağılımı belirlemek için talk numunesi 106+75 μ m, -75+53 μ m, -53+38 μ m, kalsit numuneleri -106+75 μ m, -75+53 μ m, -53+38 μ m, 38 μ m boyutlarında sınıflandırılmıştır. Deneyler de kullanılan -106 μ m talk ve kalsit numunelerinin elek analizi sonuçları Şekil 1 de verilmiştir.

Kolon hücresi 75 cm yüksekliğinde 5 cm çapında dairesel kesitlidir. Şeffaf olması, akış koşullarındaki değişimler ve pülp / köpük arayüzeyinin rahatlıkla gözlenebilmesi açısından olanak sağlamaktadır. Besleme ve artık çıkışı peristaltik pompalarla yapılmıştır. Kolon yüzeyine verilen

Tablo 1. Deneylerde Kullanılan Talkın Kimyasal Analizi

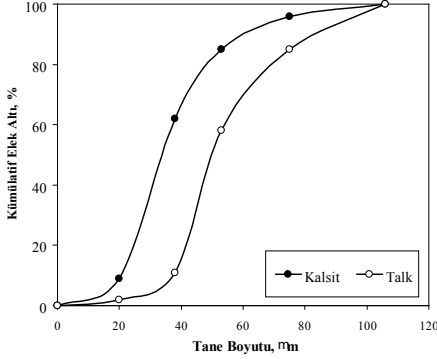
Element	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Cr	Ateş Zaiyatı (A.Z)
%	63.75	29.55	2.16	0.51	0.51	0.01	0.01	0.023	-	0.0024	7.66

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kalsitin kimyasal analizi

Element	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Beyazlık Değeri	Ateş Zaiyatı (A.Z)
%	< 0.01	1.58	54.42	0.03	0.03	0.03	0.05	0.3	91.5	43.36

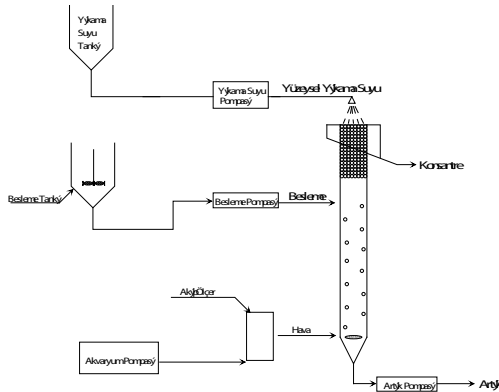
yıkama suyu, duş sistemi ile çalışmaktadır. Ön deneylerle pompaların performansları denenmiş ve pülpdeki katı içeriğinin çalışma süresince değişmediği gözlenmiştir.

Kabarcıklar hava üreten hava taşları ve maksimum 1.8 dev/dak., >0.012Mpa basınçta bir akvaryum pompası kullanarak sağlanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan talk ve kalsit numunelerinin elek analizi

Kolona verilen hava, farklı hava hızlarında hava akış ölçer yardımıyla ayarlanmıştır. Yıkama suyu, kolon üst kısmının 2.0 cm yukarısından verilmiştir. Deneyler esnasında yıkama suyu sisteminin köpüğü engellenmemesine ve kırmamasına dikkat edilmiştir. Pülp besleme tankı kolon hacminin beş katı olarak tasarlanmıştır. Kolon flotasyonu deneylerinde ANKE&KUNKEL'in IKA-WERK RW 20 modeli karıştırıcı, 60 dev/dak. hızla pülpü karıştırmakta, koşullandırma ve pH ayarlama tank içinde yapılmaktadır. Deneysel çalışmada incelenen parametreler ayarlandıktan sonra sistemin kararlı hale gelmesi için belirli bir süre beklenmiş daha sonra konsantre ve artıktan numuneler alınmıştır. Şekil 2' de deneysel çalışmalarda kullanılan kolon flotasyonu deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kolon flotasyonu deney düzeneği

Deneyler, önce su ile daha sonra pülp ile yapılarak deneysel düzeneğin çalışma aralıkları belirlenmiş, pompaların performanslarının zamanla değişip değişmediği kontrol edilmiştir. Deneylerimiz musluk suyunun pH'sı 7.8' de gerçekleştirilmiştir. Hava miktarı ayarlandıktan sonra kolonun tamamı su ile doldurulmuş, peristaltik pompalar çalıştırılmış en son olarak koşullandırılmış pülp ile yıkama suyu birlikte kolona beslenmiştir. Kolon içerisinde köpürtücü miktarını değiştirmemek için yıkama suyu tankına, besleme tankına ilave edilen miktar kadar köpürtücü eklenmiştir. Deneylerde pülp/köpük arayüzeyi yıkama suyu akış miktarı ve artık akış miktarı sabit tutulmuştur. Köpürtücü olarak MIBC (Metil Isobutyl Carbinol) kullanılmıştır. Numuneler hassas terazilerde tartılmış, kurutma işlemleri 80 °C ye ayarlanmış etüvde yapılmıştır. Deneylerde ele alınan kriterler, su kazanımı, kalsit kazanımı, talk kazanımı ve su ile sürüklenme faktörüdür. Su kazanımı, besleme tankı içerisinde ki su ve ilave edilen yıkama suyu miktarı ile birlikte hesaplanmıştır. Sürüklenme faktörü hesaplamaları eşitlik 4' de ifade edilen model üzerinden yapılmıştır (Kirjavainen, 1988;1989, 1992).

$$R_i = 1 - \exp(-P_i R_w), P_i = \frac{\ln(1 - R_w)}{-R_w} \quad (4)$$

R_i : Hidrofilik malzeme verimi

P_i : Sürüklenme faktörü

R_w : Su kazanımı

Talk/ Kalsit oranı 3:1 olarak sabit tutulmuş, 80gr (%4 katı), 118 gr (%5,8 katı), 157gr (%7.6 katı) veya 235,5 gr (% 11.1 katı) olarak kullanılmıştır. Pülp katı oranının yüksek olması, kabarcık yükselme hızını ters yönde etkileyerek viskoziteyi ve pülp yoğunluğunu artırmaktadır. Kabarcığa yapışan katı miktarının artması, kabarcık yükselme hızını düşüreceğinden kolondaki hava tutunumu artacaktır. Bu durum kolondaki çalışma koşullarını bozacaktır. (Tuteja ve diğ., 1995; Godall ve O'Connor, 1992). Bu nedenle, deneylerimizde daha yüksek katı derişimi seçilmemiştir.

2.2. Kolon Flotasyonu Deneyleri

2.2.1. Köpürtücü Miktarının İnce Tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkisi

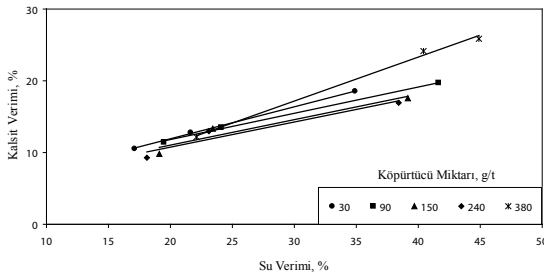
Köpürtücü miktarının su ve Kalsit+Talk kazanımı ile su ile sürüklenme faktörüne etkileri Tablo 3

Tablo 3. Köpürtücü Miktarının Katı Ve Su Kazanımları Ile Su Ile Sürüklenme Faktörüne Etkisi

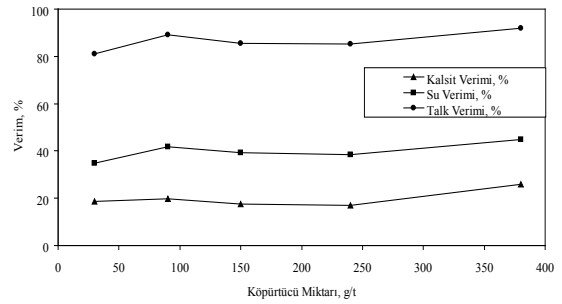
MIBC Miktarı (g/t)	Deney No	Verim(%)			Tenör (%)		Sürüklenme Faktörü (Pi)
		Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
30	1	64.12	10.51	17.12	95.12	4.88	0.64
	2	72.54	12.83	21.61	96.55	3.45	0.63
	3	80.93	18.54	34.87	95.28	4.72	0.59
90	1	82.13	11.41	19.47	97.21	2.79	0.62
	2	87.41	13.54	24.09	96.48	3.52	0.60
	3	89.17	19.72	41.65	98.12	1.88	0.53
150	1	83.12	9.81	19.08	94.82	5.16	0.54
	2	87.28	13.33	23.41	96.01	3.99	0.61
	3	85.65	17.61	39.14	97.28	2.72	0.50
240	1	86.21	9.24	18.11	94.21	5.79	0.53
	2	87.18	12.94	23.12	91.56	8.44	0.60
	3	85.24	16.91	38.41	93.12	6.88	0.48
380	1	92.91	12.91	22.13	92.21	7.79	0.59
	2	93.12	24.11	40.41	90.17	9.83	0.68
	3	91.82	25.83	44.92	87.91	12.09	0.67

ve Şekil 3,4,5' de verilmiştir. Toplam katı oranı %7.6, kalsit tane boyutu -38 μ m (%1.9), talk tane boyutu -106+75 μ m (% 5.7), hava hızı 1 cm/sn, besleme hızı 400 ml/dak, yıkama suyu hızı 150 ml/dak. deneysel koşullarında çalışılmıştır. Köpürtücü miktarına bağlı olarak kalsit verimi ve su kazanımı arasında lineer bir artış sağlandığı görülmüştür (Şekil 3). 30-90 g/t köpürtücü konsantrasyonların da kalsit, su ve talk verimi artmış, 90 g/t sonra artan köpürtücü konsantrasyonlarında bir miktar azalma görülmüştür. 240-380 g/t MIBC miktarlarında tekrar artış gözlenmiştir.

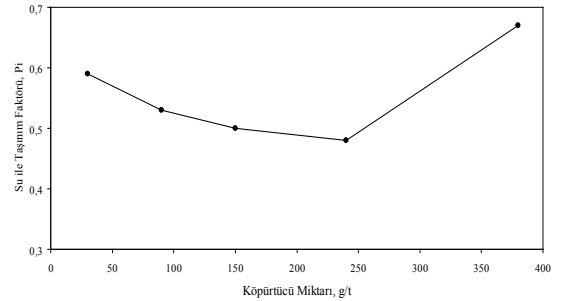
Şekil 5' de görüldüğü gibi su ile sürüklenme faktörünün değerin de Pi: 0,48 'lere kadar azalma sağlanmıştır. 240 g/t köpürtücü miktarından sonra entrainment faktörü artmıştır. Artan köpürtücü miktarı ile kolon içerisinde daha yoğun bir köpük oluşumu gözlenmiş dolayısıyla ince kalsit tanelerinin köpükler arasından konsantreye taşınımını kolaylaştırmıştır.



Şekil 3. Köpürtücü miktarının kalsit-su verim ilişkisine etkisi



Şekil 4. Köpürtücü miktarının kalsit-su ve talk verim ilişkisine etkisi



Şekil 5. Köpürtücü miktarının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

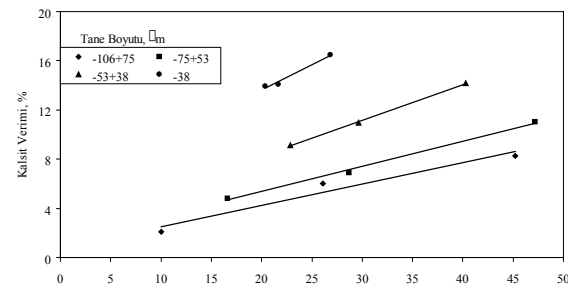
2.2.2. Kalsit Tane Boyutunun İnce Tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkisi

Tane boyutunun tanelerin su ile taşınımına etkisini incelemek için kalsit taneleri -106+75 μ m, -75+53 μ m, -53+38 μ m, -38 μ m boyut aralıklarında hazırlanmış yapılan deneysel sonuçlar Tablo 4 ve Şekil 6,7,8' de gösterilmiştir. MIBC miktarı

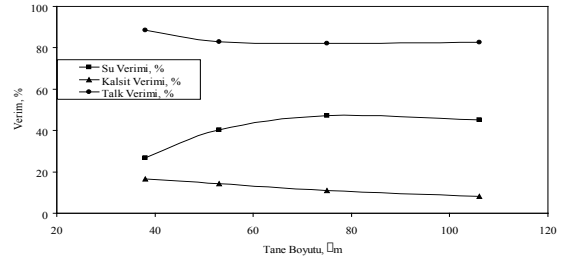
Tablo 4. Kalsit Tane Boyutunun Katı Ve Su Kazanımları İle Su İle Sürüklenme Faktörüne Etkisi

Kalsit Tane Boyutu (μm)	Deney No	Verim(%)			Tenör (%)		Sürüklenme Faktörü (Pi)
		Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
-106+75	1	82.75	2.11	10.04	98.74	1.26	0.21
	2	83.53	6.01	26.12	97.23	2.77	0.24
	3	82.77	8.27	45.18	98.41	1.59	0.19
-75+53	1	83.92	4.82	16.63	98.81	1.19	0.30
	2	83.81	6.91	28.73	97.96	2.04	0.25
	3	82.17	11.03	47.19	97.27	2.73	0.25
-53+38	1	85.41	9.12	22.83	98.74	1.26	0.42
	2	83.24	10.97	29.65	97.11	2.89	0.39
	3	82.91	14.18	40.27	96.56	3.44	0.38
-38	1	85.55	13.95	20.35	97.93	2.07	0.74
	2	86.24	14.07	21.66	94.75	5.25	0.70
	3	88.41	16.50	26.81	92.78	7.22	0.67

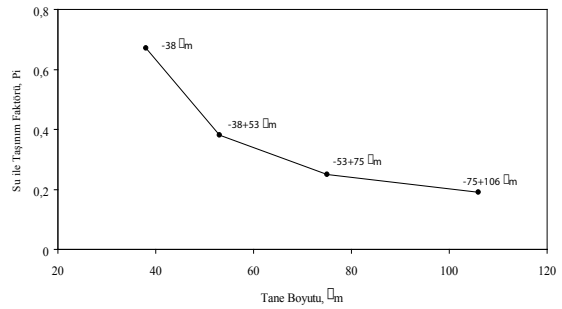
90 g/t, toplam katı miktarı %7.6, talk tane boyutu -106+38 μm (%5.7) hava hızı 1cm/sn, besleme hızı 400 ml/dak, yıkama suyu hızı 150 ml/dak deneysel koşullarında çalışılmıştır. Kalsit kazanımı kalsit tane boyutu arttıkça azalmaktadır (Şekil 6). -38 μm tane boyutunda %16.50 kalsit verimi elde edilirken -106+75 μm tane boyutunda %8.27 kalsit verimine ulaşılmıştır. İnce boyutlarda kalsitin sürüklenme oranının artması yüzen ürünün tenörünü olumsuz etkilemiştir. Talk içeriği sırasıyla; -106+75 μm , -75+53 μm , -53+38 μm ve -38 μm için, %98.41; %97.27; %96,56 ve %92,78 şeklinde azalma sağlanmıştır (Şekil 7). Su ile taşınım faktörü en ince tane boyutunda 0.67 iken, en iri boyutta bu değer 0.19'a düşmüştür (Şekil 8).



Şekil 6. Tane boyutunun kalsit-su verim ilişkisine etkisi



Şekil 7. Tane boyutunun kalsit-su ve talk verim ilişkisine etkisi



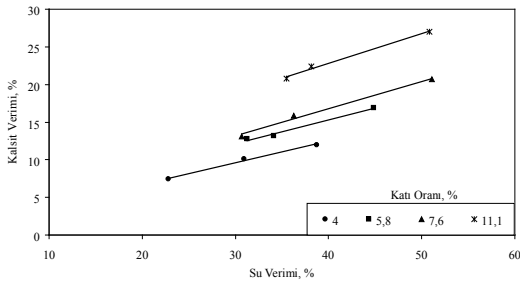
Şekil 8. Tane boyutlarının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

2.2.3. Katı Oranının İnce tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkisi

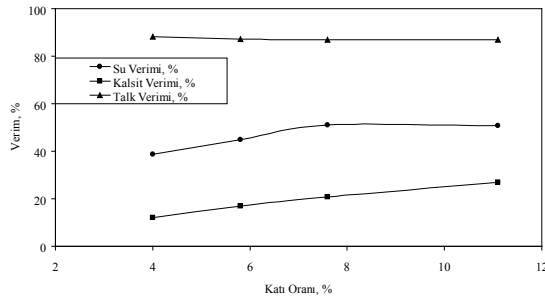
Farklı pülp konsantrasyonlarında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 5 ve Şekil 9,10,11' de verilmiştir. MIBC miktarı 90 g/t, kalsit tane boyutu -38 μm , talk tane boyutu -106+38 μm , hava hızı 1 cm/sn besleme hızı 400 ml/dak, yıkama suyu hızı 50 ml/dak deneysel koşullarında çalışılmıştır.

Tablo 5. Katı Oranının Katı Ve Su Kazanımları İle Su İle Sürüklenme Faktörüne Etkisi

Katı Oranı (%)	Deney No	Verim(%)			Tenör (%)		Sürüklenme Faktörü (Pi)
		Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
4.0	1	77.21	7.43	22.83	94.65	5.35	0.34
	2	83.64	10.12	30.92	96.52	3.58	0.35
	3	88.28	11.98	38.71	95.28	4.72	0.33
5.8	1	84.21	12.75	31.24	82.83	7.17	0.44
	2	85.07	13.21	34.11	93.07	6.93	0.42
	3	87.24	16.88	44.82	97.60	2.40	0.41
7.6	1	83.41	13.13	30.65	97.21	2.79	0.46
	2	85.68	15.82	36.24	96.83	3.17	0.47
	3	86.88	20.69	51.08	93.85	6.15	0.45
11.1	1	83.34	20.82	35.47	92.21	7.79	0.66
	2	84.20	22.41	38.15	91.53	8.47	0.67
	3	87.05	27.03	50.83	89.97	10.03	0.62

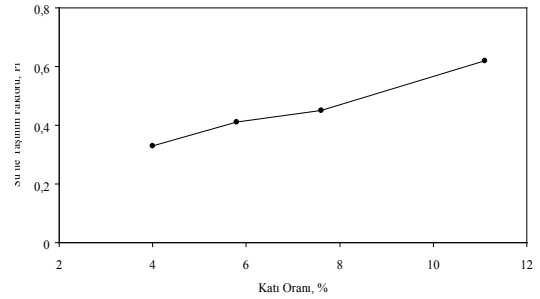


Şekil 9. Katı oranlarının kalsit ve su verime etkisi



Şekil 10. Katı oranının kalsit, su ve talk verimine etkisi

Katı oranının artması kalsit verimi, su kazanımını arttırmış, talk veriminde az miktarda azalmaya neden olurken su ile sürüklenme faktöründe artma gözlenmiştir. % 5.6 katı oranından sonra talk tenörün de azalma görülmüştür.



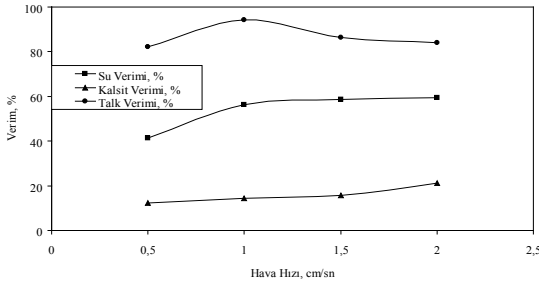
Şekil 11. Katı oranının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

2.2.4. Hava Hızının İnce Tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkisi

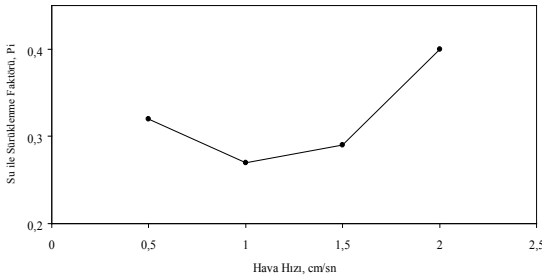
Farklı hava hızlarında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 6 ve Şekil 12,13' de verilmiştir. MIBC miktarı 90 g/t, Katı oranı %4, tane boyutu $-38 \mu\text{m}$, besleme hızı 400 ml/dak, yıkama suyu hızı 150 ml/dak deneysel koşullarında çalışılmıştır. Hava hızı arttıkça su ve kalsit veriminde doğrusal bir artış sağlanmıştır (Şekil 12). 1 cm/sn hava hızında talk verimi en yüksek (%94.12) değere ulaşmıştır. Artan hava hızlarında talk verimi azalma göstermiştir. Hava hızının artması ile kabarcık sayısı artarken kabarcık boyutlarında da artma olmakta aynı zamanda sistem içerisinde hava tutunumunu da arttırdığından kabarcıklar çarpışmakta, kabarcıktan kopan talk taneleri tekrar süzülerek toplama bölgesine ulaşmaktadır. Hava hızının artması, kabarcıklı akış bölgesinden türbülanslı akış bölgesine geçiş sağlandığından kolonda seçimlilik olumsuz yönde etkilendiği düşünülmektedir (Finch ve Dobby, 1990, Kursun, 2012). Şekil 13' den de görüldüğü gibi 1 cm/sn hava hızında en düşük sürüklenme hızına ve en yüksek talk tenörüne ulaşılmıştır.

Tablo 6. Hava Hızının Katı Ve Su Kazanımları İle Su İle Sürüklenme Faktörüne Etkisi

Hava Hızı (cm/sn)	Verim(%)			Tenör (%)		Sürüklenme Faktörü (Pi)
	Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
0.5	82.25	12.23	41.28	82.25	6.79	0.32
1.0	92.12	14.28	56.24	94.12	1.39	0.27
1.5	86.41	15.71	58.54	86.33	3.38	0.29
2.0	83.16	21.12	59.41	83.95	5.77	0.40



Şekil 12. Hava hızının kalsit, su ve talk verimine etkisi

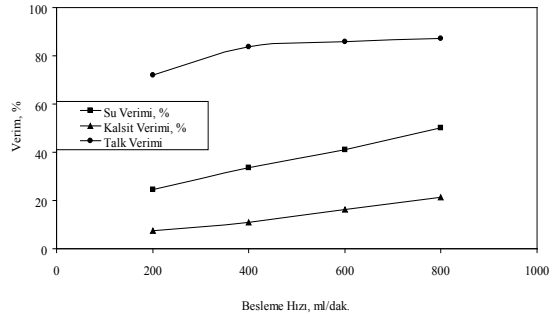


Şekil 13. Hava hızının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

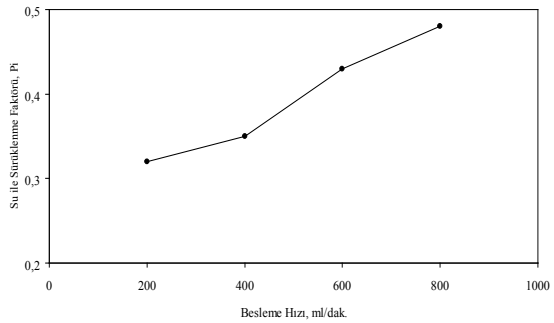
2.2.5. Besleme Miktarının İnce Tanelerin Su İle Sürüklenmesine Etkisi

Farklı besleme hızlarında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 7 ve Şekil 14,15'de verilmiştir. MIBC miktarı 90 g/t, Katı oranı %, tane boyutu -38 µm, hava hızı 1 cm/sn, yıkama suyu hızı 150 ml/dak deneysel koşullarında çalışılmıştır. Besleme hızının artması ile kalsit, su ve talk verimi de artmıştır (Şekil 14). Fakat bes-

leme hızının artması talk içerisinde kirlenmelere neden olduğundan en yüksek talk tenörü 400 ml/dak besleme hızında elde edilmiştir. Besleme hızı arttığında tanelerin kolonda kalma süreleri azalacağından tanelerin su ile sürüklenme faktöründe artmaktadır (Şekil 15). 200 ml/dak besleme hızında $P_i=0,32$ iken 800 ml/dak besleme hızında $P_i=0,48$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 14. Besleme hızının kalsit, su ve talk verimine etkisi



Şekil 15. Besleme hızının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

Tablo 7. Besleme Hızının Katı ve Su Kazanımları İle Su İle Sürüklenme Faktörüne Etkisi

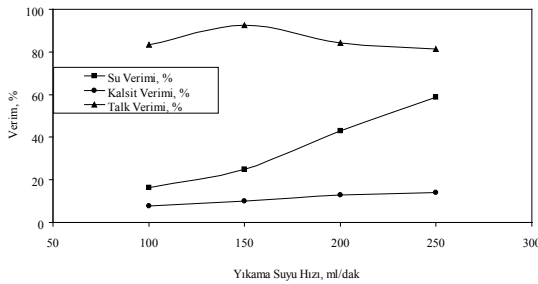
Besleme Hızı (ml/dk.)	Verim(%)			Tenör (%)		Sürüklenme Faktörü (Pi)
	Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
200	72.12	7.52	24.41	96.21	3.79	0.26
400	83.73	10.98	33.50	98.97	1.03	0.31
600	85.88	16.14	41.12	97.12	2.88	0.37
800	87.31	21.41	50.18	93.82	6.18	0.44

Tablo 8. Yıkama Suyu Hızının Katı ve Su Kazanımları ile Su ile Sürüklenme Faktörüne Etkisi

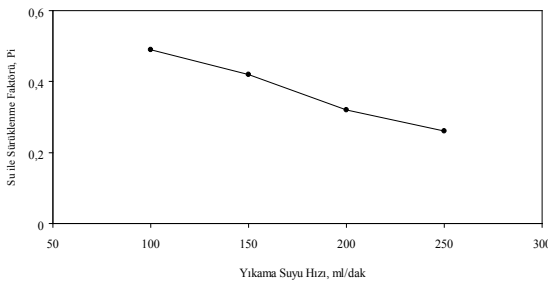
Yıkama Suyu (ml/dk.)	Verim(%)			Tenör		Sürüklenme Faktörü (Pi)
	Talk	Kalsit	Su	Talk	Kalsit	
100	83.25	7.63	16.25	96.44	3.56	0.49
150	92.68	10.01	24.83	98.71	1.29	0.42
200	84.71	12.85	43.12	96.12	3.88	0.32
250	81.41	14.07	58.83	94.82	5.18	0.26

2.2.6. Yıkama Suyu Hızının İnce Tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkisi

Farklı yıkama suyu hızlarında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 8 ve Şekil 16, 17’de verilmiştir. MIBC miktarı 90 g/t, Katı oranı %4, Tane boyutu -38 µm, hava hızı 1 cm/sn, besleme hızı 400 ml/dak deneysel koşullarında çalışılmıştır. Yıkama suyu hızının artması ile kalsit ve su kazanımı doğrusal bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 16). Şekil 17’den de görüldüğü gibi yıkama suyu hızının artması tanelerin sürüklenmesini azaltmakta fakat köpükteki kabarcıkların patlamasına, talk tanelerinin süzülerek toplama bölgesine tekrar dönmelerine neden olmaktadır. 150 ml/dak. yıkama suyu hızında talk tenörü en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 16. Yıkama suyu hızının kalsit, talk veriminin su kazanımı ile değişimi



Şekil 17. Yıkama suyu hızının su ile sürüklenme faktörüne etkisi

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kolon flotasyonunda, kalsit+talk karışımı kullanılarak sistemde etkin olan bazı parametrelerin kalsit, su ve talk verimlerine etkisi araştırılmış, su ile sürüklenme faktörü (Pi) Kirjavainen (1988;1989) Modeli’ne göre hesaplanmıştır. Çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Köpürtücü miktarı kolon flotasyonun da önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. Köpürtücü miktarındaki değişimin hidrofilik mineral ve su kazanımı üzerine önemli etkisi olduğu görülmüş, su ile sürüklenme faktörüne köpürtücü etkisinin büyük olduğu belirlenmiştir. Su ile sürüklenme faktörü, düşük MIBC konsantrasyonlarında yüksek, yüksek konsantrasyonlarda ise düşük kalmıştır. Pi en düşük değeri 90 g/t MIBC konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Tane boyutunun etkisini belirlemek yapmış olduğumuz deneylerimizde tane boyutunun artması ile suyla sürüklenerek yüzen malzeme miktarı ve su ile sürüklenme faktörü azalmaktadır. Kalsit tane boyutu arttıkça kalsit kazanımı azalmaktadır. Tane boyu arttıkça iri taneler özgül ağırlıkları daha fazla olduğundan hızlı bir şekilde çökelerek köpük fazından ayrılacağından az miktarda su ile kazanılacaktır. Kalsit tane boyutunun değişimi talk verimini etkilememiştir. Sadece yüzen malzemenin tenöründe azalmaya neden olmuştur. Taşınımın artması ince boyuttaki tanelerin su ile sürüklenme faktörünün değerini arttırmıştır.

Katı oranının en düşük ve en yüksek olduğu konsantrasyonlarda kalsit ve su kazanımı minimum seviyelerde kalırken %5.8 ve %7.6 konsantrasyonlarda kalsit ve su kazanımı yükselmiştir. Su ile sürüklenme faktöründe fazla değişim sağlanmamıştır. Katı oranı su ve kalsit kazanımını etkilerken talk kazanımını fazla etkilememiştir.

Kolon flotasyonunda, hava hızı arttıkça su ve kalsit veriminde doğrusal bir artış sağlanmıştır.

En yüksek talk verimi 1 cm/sn hava hızında elde edilmiştir (%94.12). Artan hava hızlarında talk verimi azalma göstermiştir. Hava hızının artması ile sistem içerisindeki hava tutunumu ve kabarcık sayısı artmakta, çarpışan hava kabarcıkları birleşerek büyük çapta (>1mm) kabarcıklar oluşmaktadır. Kabarcıktan kopan talk taneleri tekrar süzülerek toplama bölgesine ulaşmaktadır. Hava hızının artması, kabarcıklı akış bölgesinden türbülanslı akış bölgesine geçiş sağlandığından kolonda verimin düşmesine neden olmuştur. 1 cm/sn optimum hava hızında en düşük sürüklenme hızına ve en yüksek talk tenörüne ulaşılmıştır.

Besleme hızının artması ile kalsit, su ve talk verimi de doğrusal bir artış sağlanmıştır. Bu durum talk tenöründe azalmaya neden olmuş, en yüksek talk tenörü 400 ml/dak besleme hızında elde edilmiştir. Besleme hızı arttığında tanelerin kolonda kalma süreleri azalacağından tanelerin su ile sürüklenme faktöründe artmaktadır. 200 ml/dak besleme hızında $Pi=0,32$ iken 800 ml/dak besleme hızında $Pi=0,48$ olarak elde edilmiştir.

Kolon flotasyonunda etkin olan diğer bir önemli parametre yıkama suyu hızıdır. Yıkama suyu hızının artması ile kalsit ve su kazanımı doğrusal bir artış göstermiştir. Yıkama suyu hızının artması tanelerin sürüklenmesini azaltmakta fakat köpükteki kabarcıkların patlamasını sağladığından, talk veriminde azalmaya neden olmuştur. 150 ml/dak yıkama suyu hızında en yüksek %98.71 talk tenörüne ulaşılmıştır.

Bu çalışmamız neticesinde; deneysel ve literatür çalışmaları göz önünde bulundurulduğunda şu önerilerde bulunabilir.

Flotasyonunda metalurjik sonuçları daha çok hidrofob mineraller ve su kazanımı etkilediğinden çok daha fazla optimizasyon çalışmaları yapılmalı özellikle kolon flotasyonunda çok daha geniş kapsamda çalışmalar ortaya konulmalıdır.

Hidrofil ve hidrofob minerallerin flotasyonunda su ile taşınımının açıklanması amacıyla geliştirilmiş olan bütün modeller belirli varsayımlar doğrultusunda geçerli olabilmektedir. Bu nedenle, verim ve tenör değerinin daha etkili ve geniş sınırlar içinde kontrol edilebilmesi için su ile taşınımı tanımlayabilecek güvenilir modeller oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Özellikle de, kolon flotasyonundaki çalışmalar yeterli olmadığından daha geniş kapsamda çalışmalar yapılmalıdır.

Su ile taşınımında en önemli faktör olan konsantreye gelen su miktarının sistem değişkenleri ile

olan ilişkisinin detaylı çalışılması ve farklı matematiksel eşitlikler oluşturularak mevcut literatürde bulunan modellerle karşılaştırma yapmak suretiyle yeni matematiksel modeller oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Su ile taşınımı azaltıcı birtakım önlemler üzerine çalışılmalıdır. Köpük yıkama sistemleri, hücre geometrisi mekanik-ultrasonik titreşimler uygulanması, farklı hücre tasarımları gibi değişimler üzerine detaylı araştırmalar yapılmalıdır.

4. TEŞEKKÜR

Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Başkanlığı birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

Akdemir, Ü., Güler, T., (2000), "Role of Some Physical Variables on Gangue and Water Recovery in Froth", 8. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Antalya, pp:257-261

Bisshop J.P., M.E. White (1976) "Study of particle entrainment in flotation froths", Trans. of the Inst. of Min. and Metall., Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 85,191-194.

Deglon, D.A., (2005), "The Effect of Agitation on the Flotation of Platinum Ores", Minerals Eng., 18, pp:839-844

Engelbrecht, J.A., Woodburn, E.T., (1975), "The Effect of Froth High, Aeration Rate and Gas Precipitation on Flotation", J.S.Afr.Min.Mett.,76,125-132

Finch, J.A. and Dobby, G.S., (1990), "Column Flotation", Pergamon Press, Oxford (UK), USA, pp:1180

Fuerstenau, D.W., Yamada, B.J., (1962), "Neutral Molecules in Flotation Collection", Trans. Am. Inst. Min.Eng., 223,pp:50-52

Gülsoy, Ö.Y., Ersayın, S., Siyahhan, S., (1995), "Flotasyonda Su Kazanımı-Katı Kazanımı İlişkisinin İncelenmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım ", Türkiye 14. Madencilik kongresi, ISBN 975-395-150-7

Hoşten, Ç., Tezcan, A., (1990), Technical Note "The Influence of Frother Type on the Flotation Kinetics of a Massive Copper Sulphide Ore", Minerals Eng., V:3, 6, pp:637-640

Ityokumbul, M.T., deAquino J.A. O' Connor, CT., Harris, M.C., (2000), "Fine Pyrite Flotation in an Agitated Column Cell", Int.J.Miner.Process.28 pp:167-178

- Johansson, G., Pugh, R.J., (1992), "The Influence of Particle Size and Hydrophobicity on Stability of mineralized Froths", *Int.J.Mineral Process.*, 34, pp:1-21
- Johnson, N.W., MC Kee, D.J., Lynch, A.j., (1974), "Flotation Rates of Non-Sulphide Minerals in Chalcopyrite Processes", *Trans.Am.Ins.Min.Metall. Pet. Eng.*, 256, pp: 204-226
- Jowett, A., (1996), "Gangue Mineral Contamination of Froth" *Br. Chem.Eng.*, 2, 5, pp:330-333
- Kaya, M., Laplante, A.R., (1988), "Evaluation of the Potential of Wash Water Addition and Froth vibration on Gangue Entrainment in Mechanical Flotation Cells", *II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir*, pp:175-180
- Kaya, M., Laplante, A.R., (1986), "Investigation of Batch and Continuous Flotation Kinetics in a Modified Denver Laboratory Cell", *Canadian Metallurgical Quarterly*, 25, 1, pp:1-8
- Kirjavainen, V.M. and Laapas, H.R., (1988), "A Study of Entrainment Mechanism in Flotation", XVI International Mineral Processing Congress, Stockholm, Sweden, June 5-10, Part B. Forssberg K.S.E. ed. (Amsterdam, etc: Elsevier, pp:665-677
- Kirjavainen, V.M., (1989), "Application of a Probability Model for the Entrainment of Hydrophilic Particles in Froth Flotation", *Int.J.Mineral Process.*, 27, pp: 63-74
- Kirjavainen, V.M., (1992), "Mathematical model for the entrainment hydrophilic particles in froth flotation", *Int.J.Mineral Process.*, 35, pp: 1-11
- Kursun H., (2012), "Mekanik ve Kolon Flotasyonunda İnce Partiküllerin Su İle Taşınımının Araştırılması Çalışmaları" SMYO-005, CÜBAP Grup Projesi, Sivas 2012.
- Laplante, A.R., Kaya, M., and Smith, H.W., (1989), "The Effect of Froth on Flotation Kinetics-A Mass Transfer Approach" 5, pp:147-168
- Maachar, A. and Dobby, G.S., (1992), "Measurement of Feed Water Recovery and Entrainment Solids Recovery in Flotation Columns", *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol.3.1, No.3, pp: 167-172
- Malysa, K., (1993), "Water Contents in Froths Obtained from Solutions of Terpeneol and n-octanol", *Int.J.Mineral Process.*, 40, pp:69-81
- Öteyaka, B.; Uçbaş, Y.; Bilir, K. and Özdağ, H., (1996), "Entrainment of Fine Gangue Particles in Column Flotation With Negative Bias", *Proceeding of the 6th Int. Mineral Processing Symp.*, Kuşadası/Turkey, pp: 33-342
- Rahal, K., Manlapig E., Franzidis, J-P., (2001), "Effect of Frother Type and Concentration on the Water Recovery and Entrainment Recovery Relationship", *Minerals & Metallurgical Processing*, 18, 3, pp:138-141
- Ross, V.E., (1990), "Flotation and Entrainment of Particles During Batch Flotation", *Minerals Eng.*, 3, 3/4, pp:254-256
- Smith, P.G., Warren, L.J., (1989), "Entrainment of Particles into Flotation Froths", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, *Int. J.Min.Process.*, 5, pp:123-145
- Subrahmanyam, T.V., Forsberg, E., (1988), "Froth Stability Particle Entrainment and Drainage in Flotation", *A Review. Int.J.Min.Process.*, 23, pp:33-53
- Tao, D., Luttrell, G.H., and Yoon, R.-H., (2000), "An Experimental investigation on Column Flotation Circuit Configuration", *International Journal of Mineral Processing*, Vol.60, pp: 37-56
- Trahar, W.J. and Warren, L.J., (1976), "The Flotability of Very Fine Particles" -A Review. *Int.J. Miner. Process.* pp:103-131
- Trahar, W.J., (1981), "A Rational Interpretation of the Role of Particle Size in Flotation", *Int.J.Mineral Process.*, 8, pp:289-327
- Tuteja, R.K.; Spottiswood, D.J. and Misra, V.N., (1995), "Recent Progress in the Understanding of Column Flotation-A Review", *The AusIMM Proceedings*, No.2, pp: 25-31
- Warren, L.J., (1985), "Determination of the Contributions of True Flotation and Entrainment in Batch Flotation Test", *Int.J.Min.Process.*, 14, pp:33-34
- Woodburn, E.T., King, R.P., Colborn, R.P., (1971), "The Effect of Particle Size Distribution on Performance of a Phosphate Flotation Process" *Metall.Trans.*, 2, 3163-3174