

KİLLERİN PÜLP ORTAMINDAKİ DAVRANIŞI VE FLOTASYONA ETKİSİ

Behaviour of Clays in Pulp Media and Their Effect on Flotation

Hasan Ali Taner*

Vildan Önen**

ÖZET

Dünyada zengin maden yataklarının azalmasıyla birlikte, yüksek kil içerikli ve düşük tenörlü cevher yataklarının işlenmesinin zorunluluk haline gelmesi ve bunun içinde flotasyon yönteminin kullanımı önem kazanmaktadır. Pek çok cevherleşmede ana gang minerali olarak bulunan kil mineralleri, zenginleştirme işlemlerinin tüm aşamalarında problem oluşturmaktadır. Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesindeki zorluklar onların farklı ve karmaşık bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alan kil mineralleri arasında belirgin yapısal farklılıklar mevcuttur. Bu yapısal farklılıklar onların zenginleştirme işlemleri sırasındaki davranışlarında dolayısıyla zenginleştirme işlemlerine olan etkilerinde de farklılıklar oluşturmaktadır. Kil içeren gang minerallerinin mineralojisini ve yapısal özelliklerini ve bu özelliklerin zenginleştirme işlemlerine etkilerini anlamamanın önemi günden güne artmaktadır.

Kil minerallerinin varlığı flotasyonda köpük kararlılığının değişmesi, şişme davranışı kaynaklı problemler, pülpün viskozitesinde artış meydana gelmesi, fazla reaktif tüketimi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden olmaktadır. Flotasyon verimini artırmak için, kil minerallerinin etkisinden emin olmak ve bu mekanizmayı iyi anlamak gereklidir. Bu makalede, kil minerallerinin flotasyon performansı üzerine etkileri ve bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar incelenmiştir.

ABSTRACT

Flotation method has gained importance because of necessity for processing of high clay content and low grade ore deposits with the reduction of the rich ore deposits in the world. Clay minerals which are the main gangue mineral in many mineralization create problems in all steps of the mineral processing. Difficulties in the processing of high clay content in ores are due to their different and complex structure. The clay minerals which have significant structural differences are the most complicated minerals in terms of composition and classification. These structural differences cause different behavior, so effect the enrichment process. The importance of understanding the mineralogy of clay minerals and their structural characteristics, hence effect of this properties to enrichment process is increasing day by day.

The presence of clay minerals leads to problems such as changing of froth stability, problems related to swelling behavior, increase in pulp viscosity, overconsumption of reagents, slime coating and mechanical entrainment in flotation. To improve the flotation performance, to ensure the effects of clay minerals and understand this mechanism is required. In this article, it was investigated the effects of clay minerals on flotation performance and scientific studies related with this issue.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, Kil mineralleri, Köpük kararlılığı, Mekanik taşıma

Keywords: Flotation, Clay minerals, Froth stability, Gangue entrainment

* Araş.Gör., Selçuk Üni., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., KONYA

** Yrd.Doç.Dr., Selçuk Üni., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., KONYA, vonen@selcuk.edu.tr

GİRİŞ

Kil mineralleri cevher hazırlama tesislerinde genellikle gang mineralleri olarak; birçok porfirik bakır cevherlerinde (Bulatovic vd., 1998; Petruk, 2000), düşük tenörlü nikel cevherlerinde (Senior ve Thomas, 2005), platinyum grubu metal yataklarında (Visser vd., 1994), altın, kömür (Oats vd., 2010) ve bor (Çelik vd., 2002) yataklarında bulunmaktadır. Bu cevherleşmelerdeki kil minerali içeriği bazı durumlarda %80'lere kadar ulaşabilmektedir (Burdukova vd., 2008; Forbes vd., 2014).

Cevher hazırlamada kil minerallerinin varlığı, zenginleştirmede zorluklara neden olmaktadır (Peng ve Zhao, 2011). Kilin az akışkan doğasından dolayı, kuru elemelerde ve kırıcılarda tıkanmalara; öğütmede ise yüksek viskoziteye sebep olmaktadır. Kil minerallerinin varlığı flotasyonda da köpük kararlılığının değişmesi, pülp viskozitesinde artış meydana gelmesi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden olmaktadır.

Kompleks sülfürlü polimetalik cevherlerin bünyelerinde kil zonları bulundurması sık rastlanılan bir durumdur. Bu cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesi hakkında birçok gelişme kaydedilmesine rağmen, zenginleştirilmelerinde çoğunlukla jeolojik oluşumlarından kaynaklanan serbestleşme zorluğu ve kimyasal/fiziksel heterojenliklerinden kaynaklanan flotasyonları ile ilgili zorluklar ile karşılaşmaktadır. Jeolojik oluşumlarından kaynaklanan en önemli sorun kil içermeleridir. Kilin oluşmasını engellemek veya azaltmak mümkün olmadığından, yapılması gereken bunların flotasyon birim işlemindeki zararlı etkilerini en aza indirmeye çalışmaktır (Aslan 1996). Kil mineralleri sülfür flotasyonunu birçok nedenlerden dolayı olumsuz etkilemektedir. Bu tip cevherler ile birlikte bulunan kil mineralleri genellikle kaolinit, illit ve montmorillonit olmaktadır. Özellikle kaolinit ve montmorillonit bulunduğu, pülpün fiziksel özelliklerindeki değişim, flotasyonu kayda değer bir şekilde etkilemektedir (Bayraktar vd, 1992). Sülfür taneleri ve silikatlar zıt yüklü olduklarından pülpde şlam kaplamaya sebep olmaktadır (O'Connor ve Dunne, 1991).

Aslan (1996)'da yaptığı çalışmada, kil fraksiyonunun bakır kaba flotasyonunu bakır tenörü açısından olumsuz olarak etkilediği sonucuna ulaşmıştır. Kil miktarı arttıkça, alınan konsantrelerin ağırlıkça miktarları da artmıştır. Bunun nedeni kil fraksiyonunun çok ince tane boyutta olmasından dolayı, köpüğe "gerçek" flotasyon

(flotasyon hücresindeki mineral tanesi kabarcığa yapıştıktan sonra hidrofobik taneler ile yüklü kabarcığın köpük bölgesine yükselmesi) ile değil, mekanik taşıma ile (kabarcıklar arasındaki sıvı filmi ile konsantreye taşınarak) gelmesidir. İnce tanelerin küçük kütle ve dolayısıyla küçük momentuma sahip olmaları, onların ya su ile birlikte ya da yüzdürülen taneler arasında mekanik olarak köpüğe taşınmasına neden olmaktadır. Bulatovic vd (1999) bakır flotasyonunda, farklı miktar ve tipteki killerin etkisini araştırdıkları çalışmalarında, montmorillonit ve kamositin (bir çeşit klorit) flotasyon da kaolinit ve illitten daha zararlı etkiye sebep olduğunu ancak kaolinitin de köpürtücü özelliklerini değiştirerek flotasyon verimini azalttığını ifade etmişlerdir. Farrokhpay ve Ndlovu (2014), farklı fillosilikat minerallerinin (illit, talk, kaolinit ve montmorillonit) kalkopirit flotasyonunda etkisini araştırmışlardır. Fillosilikatların ilavesi ile bakır verimi yaklaşık %90 olarak sabit kalırken tüm deneylerde tenör azalmıştır. %34.8 olan bakır tenörü illitin ilavesiyle %30'a, kaolinit ile %28 ve muskovit ile %26.5'e kadar düşmüştür. %30 talk ve %15 montmorillonit eklendiği zaman tenör her biri için %22'ye kadar gerilemiştir.

Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesindeki zorluklar onların farklı ve karmaşık bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kil mineralleri ince taneli minerallerden oluşan birincil doğal malzemelerdir, bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alırlar.

Kil tabakaları arasında bulunan yük dengeleyici katyonlar çözelti içerisindeki, diğer katyonlar ile yer değiştirebilirler. Yer değiştirebilen bu katyonların miktarı kilin katyon değiştirme kapasitesini (KDK) tanımlar. KDK, 100 gram kilin adsorpladığı katyonun miliequivalent (meq/100 gr) olarak ifade edilmesidir. Kil minerallerinin oldukça yüksek bir katyon değiştirme kapasitesi ve büyük bir yüzey alanı vardır. Katyonların kil yüzeylerinde bulunan katyonlarla etkileşimi, kil minerallerine, katyonların/anyonların iyon çaplarına ve derişimlerine bağlıdır. Flotasyon pülpünde bulunan katyonların (Fe^{+3} , Fe^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} ve Ca^{+2}) killeri tarafından absorbe edilmesi, cevher içerisindeki minerallerin flotasyon özelliklerini değiştirebilmektedir. Aslan (1996), bakır, kurşun ve çinko cevheri flotasyonunda sfaleritin bastırılmasında etkili olan Zn^{+2} iyonunun sfaleritin canlandırılmasında etkin olan Cu^{+2} iyonuna göre daha fazla kil yüzeyine soğurulmasından dolayı sfaleritin bastırılmadığını ve dolayısıyla bakır

konsantresi içerisindeki çinko içeriğini artırdığını ifade etmiştir.

Cevher minerallerinin olduğu gibi gang minerallerinin de flotasyon davranışı belirlenerek değerli bilgiler elde edilebilir. Sonuç olarak kil mineralleri flotasyonda, flotasyon hızını azaltarak ve kompleks bir ortam oluşturarak zorluklar meydana getirmektedir. Flotasyon verimini ve ürün kalitesini artırmak için, kil minerallerinin etkisinden emin olmak ve bu mekanizmayı iyi anlamak gereklidir.

1. KİL MİNERALLERİNİN FLOTASYONA ETKİLERİ

Cevher hazırlama tesislerinde ana gang minerali olarak yaygın şekilde karşılaşılan kil minerallerinin flotasyonda sebep olduğu problemler:

- Yüzey kimyasına etkisi,
- Mineral yüzeyine veya hava kabarcıklarına şlam kaplama yaparak verimi azaltması,
- Yüzey alanlarının fazla olmasından dolayı reaktif tüketimini artırması,
- Kaba ve süpürme flotasyon devrelerinde büyük miktarda kil minerallerinin konsantreye geçmesi (mekanik taşıma),
- Flotasyon devrelerinde temizleme aşamalarının sayısının artması,
- Montmorillonit tipi killerde görülen şişme davranışının sistemi etkilemesi,
- Pülpün viskozitesinde artış meydana getirmeleri,
- Köpük zonunda salkımlaşma meydana gelmesi,
- Köpük kararlılığını etkilemesi şeklinde özetlenebilir.

1.1. Kil Minerallerinin Yüzey kimyası ve Flotasyona Etkileri

Kil mineralleri; tek alüminyum oktahedral ve tek silikat tetrahedral tabakası (kaolinit) veya iki silikat tetrahedral tabakasından (smektit) oluşan anizotropik ve hidratlaşmış fillosilikatlardır. İzomorfik yer değiştirmeden dolayı, kil minerallerinin yüzeyi pH'a bağlı negatif yüzey yüküne sahiptir (Zhao vd, 2008). Tabakaların kenarında, tetrahedral silika tabakaları ve oktahedral alüminyum tabakaları birincil bağları kırılmıştır. Elektrik yükü kenarda pH'a bağlıdır. Nötr ve asidik çözeltide kil minerallerinin kenar kısımları pozitif yüklüdür

(Swartzen-Allen ve Egon, 1974). Köşelerdeki ve yüzeydeki anizotropik yükler, kil mineralinin yüzeyinde kaplama (şlamla kaplama) oluşmasına sebep olur. Bu durum yeteri kadar yüzeyin hidrofobik yapılamamasına ve dolayısıyla flotasyon performansının/konsantre kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Zhang ve Peng 2015).

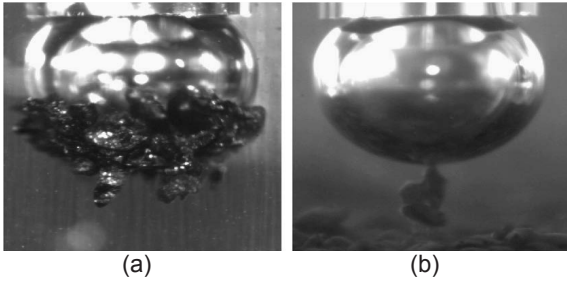
Hu vd (2003) illit, kaolin, pirofillitin kristal yapısının flotasyonla ayırmadaki rolüne ait araştırmalarında katyonik toplayıcılar kullanarak ters flotasyonla bu killerin ıslanabilirliğini ve elektrokinetiğini incelemiştir. Ölçülen sıfır yük noktası (zpc) ve hesaplanan izoelektrik nokta (iep) değerlerinde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

1.2. Şlam Kaplama

Flotasyonu olumsuz etkileyen parametrelerden bir tanesi olan şlam kaplama, değerli tanelerin kısmen ya da tamamen hidrofilik şlam tabakası ile kaplanmasının sonucunda toplayıcı adsorpsiyonunun engellenmesidir. Şlamla kaplama, yüzmesi istenen mineralin kabarcığa bağlanmasını önleyebildiği gibi, minerale birlikte şlam teşkil eden diğer minerallerin de köpük fazında toplanmasına sebep olabilir. Şlamla kaplama, iri mineral ile ince mineraller arasındaki zeta potansiyeli işaretinin farklı oluşu ile izah edilebilir. Pozitif işaretli şlam, negatif işaretli mineral yüzeyinde toplanır veya tersi olur. Fakat hiçbir zaman şlam ve mineral aynı işaretli elektrik yükünü taşımaz. Bu sebeple şlamın veya iri mineralin elektrik yükünü değiştirici elektrolitler (potansiyeli tayin edici iyonlar) kullanılır (Atak, 1990). Değerli mineralin iri tanelerini kaplayan şlam taneleri gang minerallerinden oluştuğu zaman, bu taneler hava kabarcıklarına yapışmayı engellemekte ve bu yüzden değerli mineralin kazanımı önemli oranda azalmaktadır (Fuerstenau, 1980).

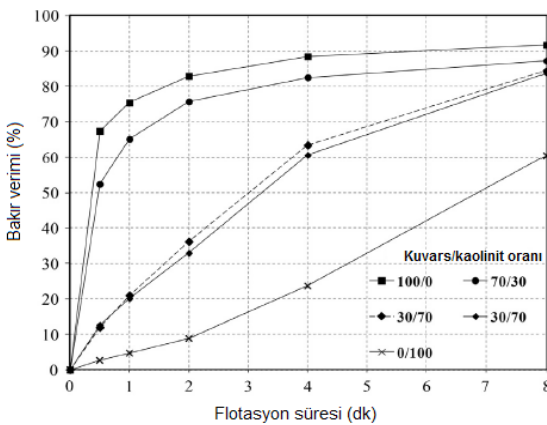
10 µm'den daha ince taneler mineral yüzeyinde toplayıcıların adsorpsiyonunu engelleyerek değerli mineralin yüzeyine kaplanır. Bu ince taneler ayrıca daha fazla reaktif tüketimine neden olarak işletim maliyetini artırmaktadır (Oats vd, 2010). Flotasyon verimi de önemli ölçüde hava kabarcıklarının pülpten hidrofobik taneleri toplayabilme yeteneğine bağlıdır. Kömür flotasyonunda verimi özellikle etkileyen olaylardan biriside şlam kaplamadır. Oats vd (2010), şlamın kömür flotasyonundaki etkisini daha iyi anlamak için ka-

barcık-tane tutunmasını, ince taneleri içeren ve içermeyen pülplerle deneyler yaparak incelemiştir. Şekil 1'de kömür tanelerinin kabarcık yüzeyine kil varlığında ve yokluğunda tutunmasındaki belirgin fark görülmektedir. Şlam kaplama kömür tanelerinin kabarcığa tutunmasını önemli derecede engellemekte ve böylece flotasyon verimini düşürmektedir. Şekil 1a'da kabarcığın yüzeyi kömür taneleri ile kaplanırken, Şekil 1b'de ince kil tanelerinin varlığında ise pülp daha bulanıklaşmıştır ve kil taneleri kömür yüzeyine kaplanarak kömür tanelerinin kabarcık yüzeyine tutunmasını zorlaştırmıştır.



Şekil 1. Kil ilave edilmeden (a) ve kil varlığında (b) kömür tanelerinin hava kabarcığına tutunması (Oats vd, 2010).

Forbes vd (2014) yaptıkları araştırmada, kalkopiritin yüzebilirliğinde şlam kaplama ve pülp reolojisinin etkisini araştırmışlardır. Gang tamamen kuvars içerdiği zaman kalkopirit %90 verim ile kazanılmıştır. Kaolinit miktarının artmasıyla kalkopirit verimi düşmüştür ve tamamıyla kaolinitin bulunduğu pülpten %60 bakır verimli ürün alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı kuvars/kaolinit oranlarında zamana bağlı bakır verimi (pH:8), (Forbes vd, 2014).

1.3. Mekanik Taşıma

İnce ve aşırı ince tanelerin zenginleştirilmesi gereksiniminin sonucu olarak flotasyon daha da

zorlaşmaktadır. Bu ince tanelerin flotasyonundaki zorluklardan biri düşük tenörlü yüksek gang taşımanın olmasıdır.

Flotasyon hücresi içindeki kabarcıklar, köpük bölgesine yükselirken sadece susevmez mineralleri değil, aynı zamanda kabarcıklar arasındaki sıvı filmi de kabarcıklarla beraber köpük bölgesine doğru taşır ve kabarcıklar arasında bulunan bu sıvı filmi kendisinin bir parçasıymış gibi hareket eden çok küçük tanelerin de köpük bölgesine mekanik olarak taşınmasını sağlar. Mekanik taşıma ile ilgili daha önceki yapılan araştırmalar konsantreye ne kadar su gelirse mekanik taşımanın da o ölçüde değişeceğini göstermiştir. Konsantreye gelen besleme suyunun azaltılması için, kabarcıklar arasındaki sıvı filminin (besleme suyunun) pülp bölgesine geri akışının sağlanması gerekmektedir. Kabarcıklar arasındaki besleme suyunun pülp içine yeterince akabilmesi ise yeterli bir süre köpüğün bekletilmesi, yani köpük derinliğinin artırılması ile sağlanabilir (Özer, 2007).

1.4. Killerin Viskoziteye Etkisi ve Şişme Davranışı

Yüksek kil içerikli cevherlerin flotasyonunda kil minerallerinin etkilerine yönelik çalışmalar genellikle mekanik taşıma ve şlam kaplama üzerine yoğunlaşırken pülp reolojisi ve kil minerallerinin flotasyona pülp reolojisinden kaynaklanan etkilerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar (Zhang ve Peng, 2015) sınırlı sayıda kalmıştır. Aslında pülp reolojisinin modifikasyonu, kil minerallerinin en önemli karakteristiklerinden bir tanesidir.

Killer farklı yapıda olmalarından dolayı pülp reolojisini farklı şekillerde etkilerler. Minerallerin şişme davranışları pülpün viskozitesini artırarak reolojisini etkiler. Şişme davranışı kilin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Kaolinit 1:1 alümina silika tabakalı yapısıyla şişmeyen bir kil mineralidir ve düşük kimyasal reaktiviteye sahiptir. Montmorillonit 2:1 alümina silika tabakalı yapıya sahip smektit grubu bir kil mineralidir. Hacminin 20, ağırlığının 10 katı kadar şişebilir. Jele benzeyen viskoz bir yapı oluşturan ince kil tanelerinin salkımlaşması ve yüksek oranda şişmesinden dolayı düşük konsantrasyonda bile kayda değer miktarda akma gerilmesi sergilerler. Kaolinitle kıyaslandıklarında montmorillonitin pülpteki viskozite üzerine etkileri daha güçlüdür. Bu etki düşünüldüğünde montmorillonitin mineral flotasyonu üzerine kaolinitten daha büyük etkilere sahip olabileceği düşünülebilir (Zhang ve Peng 2015).

Suyun tuzluluğu arttıkça, kilin şişme potansiyeli düşecektir (Zhou ve Law, 1998). Kil minerallerinin oluşumunu, değişimini ve özelliklerini anlayabilmek için kristal yapısını bilmek gerekir. Kil mineral pülplerinin reolojik davranışlarının yorumlanmasında kristalinite önemli bir etkiye sahiptir.

Bazı araştırmalar pülpün reolojik özellikleri ve flotasyon performansı arasındaki güçlü ilişkiye işaret etmişler ve mineral pülpünün reolojisindeki değişikliklerin flotasyon hücre hidrodinamiğini etkilediğini ifade etmişlerdir. Shabalala vd (2011), katı konsantrasyonunun artması ile gaz tutuşu ve kabarcık boyutundaki beklenmedik azalmayı pülpün akma gerilmesinin yüksekliğine bağlamıştır. Schubert (2008), düşük pülp viskozitesinin hücre içerisindeki türbülansın sönmelenmesinde azalmaya sebep olacağını ifade etmiştir. Ayrıca artan pülp viskozitesi ile köpük kararlılığında artış ve kabarcıktan ayrılma olmasında azalma olduğu Xu vd (2011) tarafından doğrulanmıştır. Pulp viskozitesinin artışı, pervaneyi çevreleyen küçük türbülans boşluğunu yani flotasyon selülünün türbülans bölgesinin sınırları boyunca oluşan gaz dağılımı üzerine zararlı etkiler gösterir (Bakker vd,2009; Shabalala vd, 2011; Forbes vd,2014). Forbes vd (2014) kil içerikli kalkopiritin yüzdürülmesinde flotasyon verimindeki düşüşü kalkopirit taneciklerinin şlamla kaplanma miktarının artmasıyla ilişkilendirmişler, ayrıca pülp viskozitesinin artması ile hidrofobik tanelerin köpüğe tutunma ihtimalinin azalması sonucu flotasyon performansının düştüğünü ifade etmişlerdir.

Kabarcıktaki hidrofobik mineral miktarı kabarcık viskozitesini oldukça etkiler (Moudgil, 1993). Eğer viskozite çok düşükse kabarcık değerli minerali tutamayacak kadar çok kararsız olabilir. Bu da bastırıcı dozajının fazla olmasından ileri gelir. Fazla viskozite ise hidrofobik tanelerin hücreden çıkmasını geciktirir. Bunun nedeni ise köpüğün aşırı yüklü olmasıdır ve bu da düşük tenör ve verime neden olur (Moolman vd, 1996).

Xu vd (2012), kabarcık-tane agregatlarını daha kararlı hale getiren belirli bir miktarda gliserol ilave edilmesiyle artan ortam viskozitesinin kontrol edilmesi sonucu iri tanelerin kazanımının arttığını göstermişlerdir. Ayrıca pülp viskozitesinin kabarcık-tane agregatları üzerindeki gerilim kuvvetlerinin miktarı ve tane-kabarcık agregatlarının kararlılığını direkt kontrol eden anahtar bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir.

1.5. Reaktif tüketimini artırması

Flotasyonda kullanılan kimyasal reaktifler mineral yüzeylerine adsorplanarak aktivitelerini yerine getirmektedirler. Birçok kil minerali; iyonik ve molekül bağ yapıları ile adsorpsiyonu destekleyen geniş bir kimyasal aktif yüzey alanına sahiptir (Luckham ve Rossi, 1999). Kil minerallerinde bir çözünenle reaksiyona giren üç çeşit yüzey vardır ki bunlar: iç ve dış yüzey ile köşelerdir. Geniş yüzey alanları ile kil mineralleri daha çok reaksiyona olanak sağlayabilir (Farrokhpay ve Bradshaw, 2012). Bu durum artan yüzey alanı ile reaktif tüketiminin artmasının yanı sıra kimyasal reaktiflerin yoğun bir biçimde kil yüzeyine adsorpsiyonuna sebep olabilmektedir. Yüksek yüzey alanı doğrudan (a) su içinde yüksek bir çözünme hızına; (b) büyük miktarda kimyasal soğurumuna; (c) köpüğün rijitliğine; (d) yüksek pülp viskozitesine; (e) değerli tanelerin çok ince gang taneleri tarafından kaplanmasına neden olmaktadır (Çilek, 2006).

1.6. Köpük Kararlılığına Etkisi

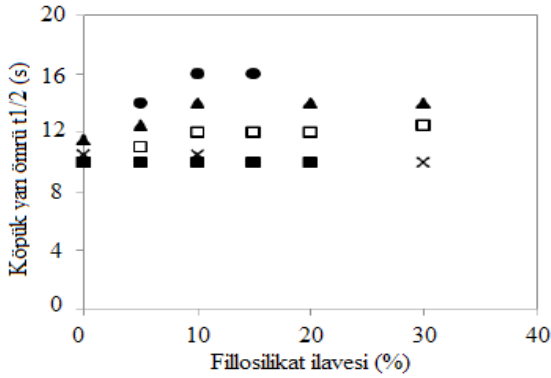
Köpük kararlılığının flotasyonda elde edilen mineralin tenörünü ve verimini belirlemede önemli bir etken olduğu bilinmektedir. Köpük kararlılığı, hem köpürtücü hem de pülpün miktarına ve tipine bağlıdır (Schwarz ve Grano, 2005). En iyi köpük kararlılığını oluşturma ve koruma, flotasyon verimini belirlemede kolay olmayan bir süreçtir.

Kil mineralleri hava kabarcıklarında kaplama oluşturabilir ve geniş mineral taneleriyle birleşmesini engelleyebilir (Wen ve Sun, 1977). Oats vd (2010) kabarcık-tane tutunması ile ilgili yaptıkları çalışmada, hücrede kalma süresinin kil tanelerinin varlığında olumsuz etkilenebileceğini göstermiştir. Flotasyon verimi kabarcıkların pülp-tan hidrofobik taneleri toplama kabiliyetine bağlı olduğu için, bu tanelerin yakalama veriminin azalması onların kabarcıktaki konsantrasyonunu ve böylelikle tüm köpük kararlılığını azaltacaktır.

Flotasyonda mekanik taşıma tane boyutuna bağlı olduğu kadar, köpük kararlılığına da bağlıdır. Daha küçük ve kararlı kabarcık yüksek gang taşınmasına sebep olur (Subrahmanyam ve Forsberg, 1988).

Şekil 3'te farklı fillosilikat minerallerinin ilavesine bağlı olarak köpük kararlılığındaki (köpük yarı ömrü) değişiklik gösterilmiştir (Farrokhpay ve Ndlovu, 2014). Kalkopirit süspansiyonunda montmorillonit ve muskovitin köpük kararlılığını önemli derecede etkilediği görülmektedir. Diğer

yandan illit daha az etki gösterirken, kaolinit ve talk önemsenmeyecek kadar az etki göstermiştir.



Şekil 3. Kalkopirit pülpünün köpük kararlılığında fillosilikat minerallerinin (illit □, kaolinit ■, muskovit ▲, montmorillonit ● ve talk x) etkisi (Farrokhpay ve Ndlovu, 2014).

SONUÇLAR

Bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alan kil mineralleri geniş bir yelpazeye sahiptir ve her kil grubu kendine özgü anizotropik yapıları ile farklı kristal yapılarından kaynaklı yüzey yükleri, şişme potansiyelleri ve katyon değişim kapasitesi gibi yapısal özellik farklılıklarıyla cevher hazırlama tesislerindeki işlemleri farklı etki mekanizmalarıyla etkileyebilmektedirler. Günümüzde düşük tenörlü cevherlerin üretiminin bir zorunluluk haline gelmesinden dolayı, kil içeren gang minerallerinin mineralojisini ve yapısal özelliklerini ve bu özelliklerin zenginleştirme işlemlerine etkilerini anlamamanın önemi günden güne artmaktadır.

Flotasyon düşük tenörlü ince tane boyutunda serbestleşen cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygın kullanılan bir yöntem olmasına karşın en karmaşık zenginleştirme işlemidir. Kil mineralleri flotasyon işlemlerinde flotasyon kinetiğinin engellenmesi, seçimliliğin azalması şlam kaplama, mekanik taşıma, pülp viskozitesinde artış, reaktif tüketiminin artması, düşük köpük kararlılığı gibi problemlere neden olabilmektedir. Sonuç olarak etki mekanizmalarını iyi anlamak ve çözümlenmek, yüksek flotasyon verimi ve ürün kalitesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

Aslan, A., 1996; "Subvolkanik kompleks polimetalik sülfürlü cevherlerde birincil şlam ve kilin özellikleri ve flotasyon seçimliliğine etkileri", Yüksek Lisans

Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87-94.

Atak, S., 1990; "Flotasyon ilkeleri ve uygulaması", 34. Basım, İstanbul: İTÜ Vakfı.

Bakker, C. W., Meyer, C. J. ve Deglon, D.A., 2009; "Numerical modelling of non-Newtonian slurry in a mechanical flotation cell", Minerals Engineering, 22 (11), 944-950.

Bayraktar, İ., İpekoğlu, U. A. ve Tolun, R., 1992; "Features and flotation of complex Cu-Pb-Zn sulphides, in Innovations in Flotation Technology", 307-330.

Bulatovic, S. M., Wyslouzil, D. M. ve Kant, C., 1998; "Operating practices in the beneficiation of major porphyry copper/molybdenum plants from Chile: Innovated technology and opportunities, a review", Minerals Engineering, 11(4):313-331.

Bulatovic, S. M., Wyslouzil, D. M. ve Kant, C., 1999; "Effect of clay slimes on copper, molybdenum flotation from porphyry ores", in Proceedings of the Copper 99-Cober 99 International Conference, pp 95-111, Phoenix.

Burdukova, E., Becker, M., Ndlovu, B., Mokgethi, B. ve Deglon, D.A., 2008; "Relationship between slurry rheology and its mineralogical content", 24th Int. Minerals Processing Congress, China, pp. 2169-2178.

Çelik, M. S., Hançer, M. ve Miller, J. D., 2002; "Flotation chemistry of boron minerals", J. Colloid and Interface Science, 203: 254-259.

Çilek, E. C., 2006; "Mineral flotasyonu", Yayın No:59, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.

Farrokhpay, S. ve Bradshaw, D., 2012; "Effect of clay minerals on froth stability in mineral flotation", A review, XXVI. IMPC, New Delhi, India, Paper No. 313.

Farrokhpay, S. ve Ndlovu, B., 2014; "Effect of phyllosilicate minerals on the rheology, colloidal and flotation behaviour of chalcopyrite mineral", 3-6.

Forbes, E., Davey, K. J. ve Smith, L., 2014; "Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp", Minerals Engineering, 56, 136-144.

Fuerstenau, D. W., 1980; "Fine particle flotation", in Fine Particle Processing (Ed. P. Somasundaran), AIME, Tech. Publ., 1, 669-706.

Hu, Y., Liu, X. ve Xu, Z., 2003; "Role of crystal structure in flotation separation of diasporite from kaolinite, pyrophyllite and illite", Minerals Engineering 16:219-227.

Luckham, P. F. ve Rossi, S., 1999; "The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions", Advances in Colloid and Interface Science, 82:43-92.

- Moolman, D. W., Eksteen, J. J., Aldrich, C. ve Van Deventer, J. S. J., 1996; The significance of flotation froth appearance for machine vision control, *Int. J. of Miner. Process.*, 48:135-158.
- Moudgil, B. M., 1993; Correlation between froth viscosity and flotation efficiency, *Miner. Metallurg. Process.*, 10(2):100-101.
- Oats, W. J., Özdemir, O. ve Nguyen, A. V., 2010; "Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation", *Minerals Engineering*, 23:413-419.
- O'Connor, C. T. ve Dunne, R. C., 1991; "The practice of pyrite flotation in South Africa and Australia", *Miner. Eng.*, 4(7-11), 1057-1069.
- Özer, H., 2007; "Oksit flotasyonunda tane boyutu, hidrofobiklik, köpük yapısı ve mekanik taşıma arasındaki ilişki", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 73-75.
- Özmetin E., 2009; "İllit Mineralinin Elektrokinetik Özelliklerinin Belirlenmesi", CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1(11), Manisa.
- Peng, Y. ve Zhao, S., 2011; "The effect of surface oxidation on copper sulfide minerals on clay slime coating flotation", *Minerals Engineering*, 24(15):1687-1693.
- Petruk, W., 2000; "Applied mineralogy: Porphyry copper deposits", In: Petruk, W.(Ed.), *Applied Mineralogy in the Mining Industry*, Elsevier, Amsterdam, pp. 135-147 (Chapter 7).
- Schubert, H., 2008; "On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation", *Minerals Engineering*, 21, 930-936.
- Schwarz, S. ve Grano, S., 2005; "Effect of particle hydrophobicity on particle and water transport across a flotation froth", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 256:157-164.
- Senior, G.D., ve Thomas, S.A., 2005; "Development and implementation of a new flowsheet for the flotation of a low grade nickel ore", *International Journal of Mineral Processing*, 78 (1), 49-61.
- Shabalala, N. Z. P., Harris, M., Leal Filho, L. S. ve Deglon, D. A., 2011; "Effect of slurry rheology on gas dispersion in a pilot-scale mechanical flotation cell", *Minerals Engineering*, 24 (13), 1448-1453.
- Subrahmanyam, T. V. ve Forsberg, E., 1988; "Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation - a review", *International Journal of Mineral Processing*, 23:33-53.
- Swartzen-Allen, S. L. ve Egon, M., 1974; "Surface and colloid chemistry of clays", *Chemical Revolution*, 74:385-400.
- Visser, P.R., Coetzee, M.L. ve Kendall, S.G., 1994; "Flotation of autogenously milled material", *Minerals Engineering*, 7 (2-3), 357-369.
- Wen, W. W. ve Sun, S. C., 1977; "An electrokinetic study of an amine flotation of oxidized coal", *Transactions of AIME*, 262:174-180.
- Xu, D., Ametov, I. ve Grano, S.R., 2011; "Detachment of coarse particles from oscillating bubbles – the effect of particle contact angle, shape and medium viscosity", *International Journal of Mineral Processing*, 101 (1-4), 50-57.
- Xu, D., Ametov, I. ve Grano, S. R., 2012; "Quantifying rheological and fine particle attachment contributions to coarse particle recovery in flotation", *Miner. Eng.*, 39, 89-98.
- Zhang, M. ve Peng, Y., 2015; "Effect of clay minerals on pulp rheology and the flotation of copper and gold minerals", *Minerals Engineering*, 70:8-13.
- Zhao, H., Bhattacharjee, S., Chow, R., Wallace, D., Masliyah, J. H. ve Xu, Z., 2008; "Probing surface charge potentials of clay basal planes and edges by direct force measurements", *Langmuir*, 24:12899-12910.
- Zhou, Z. ve Law, D., 1998; "Swelling clays in hydrocarbon reservoirs: the bad, the less bad, and the useful", Alberta Research Council: Edmonton, Alberta, Canada.

EĞİTİM PROGRAMLARI

Bilirkişilik / Kamulaştırma Bilirkişiliği Eğitim Semineri
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

Maden Arama, Cevher Modelleme, Rezerv Hesabı ve
Maden İşletme Tasarımı Micromine Yazılımı Temel Eğitimi
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

Maden Arama, Cevher Modelleme, Rezerv Hesabı ve
Maden İşletme Tasarımı Micromine Yazılımı İleri Seviye
Eğitimi
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

2 ve 3 Boyutlu Netcadkampüs Madencilik
Uygulamaları Sertifika Eğitimi Programı
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

Netpro/Mine Cevher Modelleme Eğitim Programı
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

Patlamadan Korunma Dokümanı Eğitimi
Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri

Su Sondajı Eğitimi
Genel Merkez

Zemin Sondajları ve Enjeksiyon Eğitimi
Genel Merkez

Maden Mühendislerine Yönelik Risk Değerlendirme
Eğitimi
Genel Merkez

Jeotermal Enerji Araştırmaları Eğitimi
Genel Merkez

Coğrafi Bilgi Sistemleri Eğitimi
Genel Merkez

Delme-Patlatma Eğitim Programı
Genel Merkez

Patlayıcı Madde-Ateşleyici Eğitimi
Genel Merkez

Proje Yönetimi Eğitimi
Genel Merkez

Maden İşletme Projesi Eğitimi
Genel Merkez

Tünelcilik Temel Eğitimi
Genel Merkez

Acil Durum Yönetimi Eğitimi
Genel Merkez

Çevre Mevzuatı Eğitimi
Genel Merkez

Not: Eğitim Tarihleri Talep Durumuna Göre Belirlenecektir.