



## CuSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>S ve farklı toplayıcı birleşimlerinin kullanımının altın flotasyonu üzerindeki etkisinin belirlenmesi

*Determination of the effect of CuSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>S and different collector combinations on gold flotation*

**Sezai ŞEN, Yaşar ÇİLİNGİR**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 35160, Buca, İZMİR

Geliş (received) : 31 Ocak (January) 2009

Kabul (accepted) : 27 Mayıs (May) 2009

### ÖZ

Bu çalışmada, Bergama-Ovacık altın yatağından alınmış olan cevher numuneleri kullanılarak yapılan flotasyon testleri ile farklı toplayıcıların bir arada kullanımının altın flotasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar birinci derece flotasyon modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmalar neticesinde potasyum amil ksantat (Aero 350), dialkil ditiyofosfat (Aerofloat 208) ve dialkil ditiyofosfinat (Aerophine 3418A) türü toplayıcıların birlikte kullanımı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Pülpe 85 g/t a kadar Na<sub>2</sub>S ilavesinin işlem kinetik hızını (k) göreceli olarak arttırdığı ancak bu miktarın aşılması durumunda kinetik hız ve beraberinde altın kazanım veriminin düşmeye başladığı gözlemlenmiştir. Pülpe CuSO<sub>4</sub> ilavesi işlem kinetik hızı (k) veya verim üzerinde etkili olmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Altın, flotasyon, Na<sub>2</sub>S, CuSO<sub>4</sub>, toplayıcılar.

### ABSTRACT

This study investigated the effect of reagent synergism on gold flotation by conducting tests on gold ore samples from the Bergama Ovacık gold ore deposit. The results were evaluated by using a first order flotation model. Based on the results, the most effective reagent combination was determined as a potassium amyl xanthate (Aero 350), dialkyl dithiophosphate (Aerofloat 208) and dialkyl dithiophosphinate (Aerophine 3418A) mixture. It was observed that increasing the Na<sub>2</sub>S addition to the pulp up to 85 g/t increased the rate constant (k), while increasing the reagent addition further caused decreases in the rate constant (k) and ultimate gold recovery (R<sub>∞</sub>) values. The rate constant (k) and ultimate recovery values were not affected by the addition of CuSO<sub>4</sub> to the pulp.

**Keywords:** Gold, flotation, Na<sub>2</sub>S, CuSO<sub>4</sub>, collectors.

## GİRİŞ

Altın taneleri göreceli olarak doğal hava severlik özellik taşımaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, cevher mineralojisi uygun olduğunda, endüstriyel çapta flotasyon yöntemi kullanılarak kazanılabilmektedirler. Nabit altın tanelerinin yüzdürülebilirliği tane iriliği ve tanecik şekline bağlıdır. Pulsu taneler, küresel tanelere göre daha kolay yüzerler. 200 mikrondan iri ve 20 mikrondan ince nabit altın ve gümüş taneleri içeren bir cevherin flotasyonla zenginleştirilmesi oldukça zordur. Yapılan mikroskopik incelemelerde cevherin 200 mikrondan iri nabit altın taneleri içerdiği görülürse, cevher önce gravite yöntemleriyle veya amalgamasyonla zenginleştirilir. Cevher fazla killi ise, dağılmayı sağlamak için ortamın pH'ı çok önemlidir. Zayıf alkali ortamda en fazla dağılma sağlanabilmektedir. Killeri bastırmak için soda,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve bazen  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanılır ve bu reaktifler genellikle değirmene beslenir.  $\text{Na}_2\text{S}$  aynı zamanda çok ince şlamın mineral dağıtılması amacı ile de kullanılabilir (Çilingir, 1996; Klimpel, 1999; Glembotski vd., 1972).

Chander ve Briceno (1989), yapmış oldukları dönüşümlü voltametri çalışmalarında, okside olmuş altın yüzeyinde üç tür sülfür formunun oluştuğu, bunların atomik sülfür ( $\text{S}^0$ ), polisülfidler ( $\text{S}_{x+1}^{-2}$ ) ve elementel sülfür  $\text{S}_8$  olduğundan bahsedilmektedir (Mendiratta, 2000). Bu çalışmada, oluşan polisülfidler ve elementel sülfürün altın yüzeyini hava sever hale getirdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar, toplayıcısız flotasyon çalışmalarında flotasyon ortamında  $\text{Na}_2\text{S}$  bulunması durumunda kalkopirit yüzeyinden oksidasyon ürünlerinin ( $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$ ) uzaklaştırıldığını, böylece taze ve hava sever bir mineral yüzeyinin oluşmasının sağlandığını ortaya çıkarmışlardır. Ortamdaki  $\text{Na}_2\text{S}$  varlığı, aslında iki farklı aşamada mineralin doğal yüzebilirliğine etki yapmaktadır. İlk aşamada taze yüzeyden oksidasyon ürünlerini uzaklaştırarak temiz bir yüzey oluşumunu sağlarken, diğer yandan düşük oksidasyon koşullarında mineral yüzeyini sülfürleyerek, yüzeyde hava sever sülfür bileşenleri oluşmasını sağlamaktadır (Luttrell ve Yoon, 1984a, 1984b). Ortama  $\text{Na}_2\text{S}$  ilave edilirken son derece dikkatli olunması gerekmektedir. Çünkü ortamdaki sülfid konsantrasyonunun artması flotasyon işlemi üzerinde olumsuz etki gösterebilmektedir.

Uygun miktarda kullanıldığında  $\text{Na}_2\text{S}$  bir canlandırıcı reaktif etkisi yaratmakta, optimum reaktif konsantrasyonunun üzerine çıkıldığında ise, altın yüzeyine toplayıcı adsorbsiyonunu engelleyerek bastırıcı etkisi gösterebilmektedir (Teague vd., 1999; Allan ve Woodcock, 2001). Aksoy ve Yazar (1989) kurdukları özel test düzeneği ile yaptıkları testlerde (bubble pick-up-kabarcıklık kaldırma deneyleri) sülfür iyonu konsantrasyonunun  $10^{-5}$  moları aşmadığı sürece canlandırıcı özellik gösterdiğini belirlemişlerdir. Derişimin  $10^{-5}$  moları geçmesi durumunda altın taneleri üzerinde bastırıcı etki göstermektedir.

Teague vd. (2000) yaptıkları çalışmalarında, refrakter altın cevherlerinin flotasyonunda  $\text{CuSO}_4$  kullanımının olumlu etki yarattığı sonucuna varmışlardır. Serbest altın taneleri içeren bir cevher numunesinin flotasyonunda ise,  $\text{CuSO}_4$  bir canlandırıcı reaktiften çok flotasyon köpüğünün stabilizasyonunda rol almaktadır. Bazı çalışmalarda (örneğin; Bulatovic, 1997) yüksek konsantrasyonlarda (400 g/t)  $\text{CuSO}_4$  ve toplayıcı olarak ksantat kullanıldığında altın tanelerinin yüzebilirliğinin olumsuz olarak etkilendiği saptanmıştır. Bazı durumlarda  $\text{CuSO}_4$  flotasyon köpüğündeki kil içeriğinin artmasına, bu nedenle altın kazanımının başarısının düşmesine neden olabilmektedir.  $\text{CuSO}_4$ 'ın aynı zamanda ksantat toplayıcısının, diksantojene oksidasyonunda etkili bir oksidant olmasından dolayı sülfür ve altın kazanımında olumsuz etki yaratabileceğinden bahsedilmektedir (Monte vd., 2002).

Daha önceki yıllarda yapılmış olan dönüşümlü voltametri çalışmaları ile farklı reaktiflerin mineral yüzeylerinin hava sever hale getirilmesindeki etkisi araştırılmıştır. Ancak, bu tür çalışmaların gerçek bir flotasyon ortamını temsil etme başarısı, kullanılan elektrodların yüzeyinin oksidasyon ürünleri ile kaplanabilmesi ve ancak imal edildikleri tek ve saf bir mineralin davranışını karakterize edebilmeleri nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Yapılan ölçümler steril bir ortam içerisinde gerçekleştirildiği için, flotasyon sisteminin karmaşık yapısından kaynaklanabilecek farklı koşullar gözden kaçabilmektedir. Bu çalışmada, yapılmış olan kinetik flotasyon testleri ile  $\text{Na}_2\text{S}$  ve  $\text{CuSO}_4$  reaktiflerinin farklı toplayıcı bileşimleri ile birlikte kullanılmasının altın flotasyonu üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

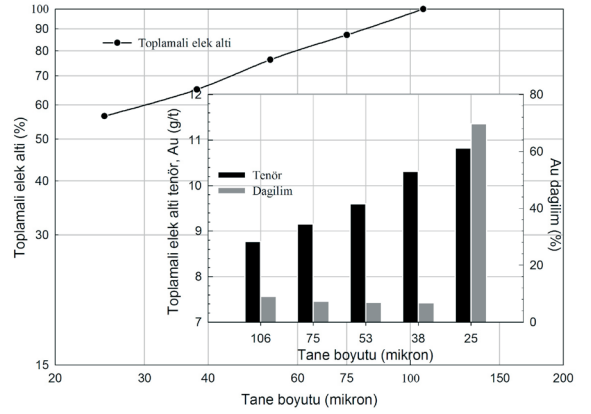
### Malzeme

Deneysel çalışmalarda, Bergama-Ovacık altın yatağından alınmış olan altın cevheri numuneleri kullanılmıştır. Cevher içerisindeki altın varlığı çok ince taneli (<0.050 mm) elektrik (~%72 Au, % 25 Ag, % 3 Hg, Cu, Zn, Pb, As and Fe) ve nabit altın tanelerinin yanı sıra metal sülfürlere bağlı olarak tanımlanmıştır (Yılmaz vd., 2007). Cevher numunesi % 95 oranında SiO<sub>2</sub>, % 0.42 S, 8 g/t Au ve 48 g/t Ag içermektedir. Metalik elementler olarak cevherin; 27 ppm Cu, 295 ppm Zn, 250 ppm Pb ve 7100 ppm Fe içerdiği belirlenmiştir.

Deney numunelerinin hazırlanması aşamasında, cevher altın içeriğinin homojen olarak tüm numunelere dağıtılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla kuru ve yaş öğütme yöntemleri denenmiştir. Yapılan bu hazırlık çalışması sonucunda, kuru olarak doğrudan flotasyon tane boyutuna öğütme ve otomatik numune bölücü yardımıyla test numunelerinin hazırlanması yönteminin izlenmesiyle yaş öğütme yöntemine göre daha homojen numuneler hazırlanması mümkün olmuştur. Sahadan alınmış olan yaklaşık 250 kg ağırlığındaki numune çeneli kırıcı kullanılarak -5 mm tane boyutuna indirilmiştir. Numune gençleştirme işlemleri sonucunda azaltılmış ve yaklaşık olarak 125 kg ağırlığındaki malzeme öncelikle d<sub>80</sub>: -1 mm tane boyutuna indirilmiş, ardından bilyalı değirmen kullanılarak d<sub>80</sub>: 0.06 mm tane boyutu olarak öğütülmüştür. Öğütme işlemi sonrasında otomatik numune bölücü (8 hücreli) kullanılarak flotasyon numuneleri hazırlanmıştır. Flotasyon testleri için hazırlanmış olan numuneye ait tane boyutuna göre altın dağılımları Şekil 1’ de sunulmuştur.

Deneysel çalışmalarda, değerli metaller ve sülfür minerallerinin flotasyonunda etkili olan toplayıcılar kullanılmıştır. Bu toplayıcılara ait temel bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

- Aero 350 ksantat (Potasyum amil ksantat), güçlü ancak seçiciliği düşük olan bir ksantattır. Yaygın olarak Cu, Ni, Zn ve Au içeren sülfürlerin flotasyonunda kullanılmaktadırlar.
- Aerofloat 208 (Dialkil ditiyofosfat), Cu cevheri için kullanılan seçiciliği yüksek bir toplayıcıdır.



Şekil 1. Altın cevheri numunesinin tane boyut ve altın içerik dağılımı.

Figure 1. Particle size and Au distribution of the gold ore sample.

cıdır. Nabit Au, Ag ve Cu tanelerinin flotasyonunda etkilidir.

- Aerofloat 242 (Diaril ditiyofosfat), Pb/Zn, Cu/Pb ve Cu/Pb/Zn cevherlerinden Pb ayırımında yaygın olarak kullanılmakta olan bir toplayıcıdır. Bu tip cevherlerden Ag kazanımında olumlu etki göstermektedir ve köpürtücü etkisine sahiptir.
- Aero 6697 (Dialkil monotiyofofosfat), alkali devrelerde (pH>7) kullanıldığında değerli minerallerin selektif flotasyonunda etkili olan bir toplayıcıdır. Geleneksel sülfür toplayıcılarla birlikte kullanıldığında değerli minerallerin kazanım başarısını arttırmaktadır.
- Aerophine 3418A (Dialkil ditiyofosfinat), kompleks sülfürlerden galen ve değerli metallerin flotasyonunda etkili bir toplayıcıdır.
- Aero 412 (Merkaptobenzotiyazol), ksantat türü toplayıcılar gibi kuvvetli bir toplayıcıdır. Alkali devrelerde demir sülfürlere karşı seçicilik özelliği artmaktadır. Cu, Ni ve Zn gibi baz-metal cevherlerin flotasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

### Yöntem

Flotasyon çalışmaları, 2 litrelik flotasyon selülü ve laboratuvar tipi Outokumpu flotasyon makinası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında hava miktarı 2.5 l/dk olarak sabit tutulmuştur. Pülp doğal pH değeri 8.1 olarak

ölçülmüş ve testler % 20 (ağırlıkça) katı oranı kullanılarak yapılmıştır. Flotasyon testlerinde, silikat bastırıcı reaktif olarak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (400 g/t), köpürtücü reaktif olarak MIBC (25 g/t) kullanılmış, kondüsyon süresi 25 dakika köpük alma süresi ise 8 dakika olarak uygulanmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, Eşitlik 1' de verilmiş olan birinci derece flotasyon modeli kullanılarak yapılmıştır.

$$R(t) = R_{\infty} \left[ 1 - \int_0^{\infty} f(k) \exp(-kt) dk \right] \quad (1)$$

Burada;  $R_{\infty}$  sonsuz zamanda (en uzun flotasyon süresi sonunda) ulaşılacak verim değerini göstermektedir.  $R(t)$  ise bir (t) anındaki fraksiyonel verim değeridir (Polat ve Chander, 2000).

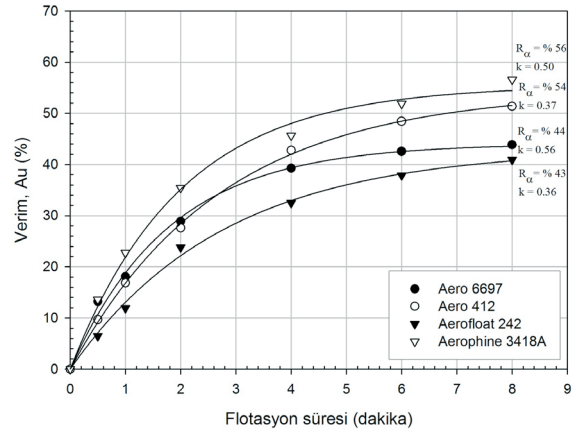
Flotasyon ürünlerinin altın analizinde yaş analiz yöntemi kullanılmıştır. Numunelerin altın içeriği, öncelikle kral suyu (aqua regia) kullanılarak çözeltiye, sonrasında ise çözeltiden metil izobutil keton fazına alınmıştır. Numune azaltma işlemleri sırasında oluşabilecek hataları engellemek amacıyla, konsantrelerin tamamı (numune alınmadan) analize tabi tutulmuştur. Altın tenörleri AnayltikJenaAG novAA 330 atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir.

## Flotasyon Deneyleri ve Değerlendirme

### Farklı reaktif birleşimlerinin altın kazanımı ve flotasyon hız sabiti üzerindeki etkisinin belirlenmesi

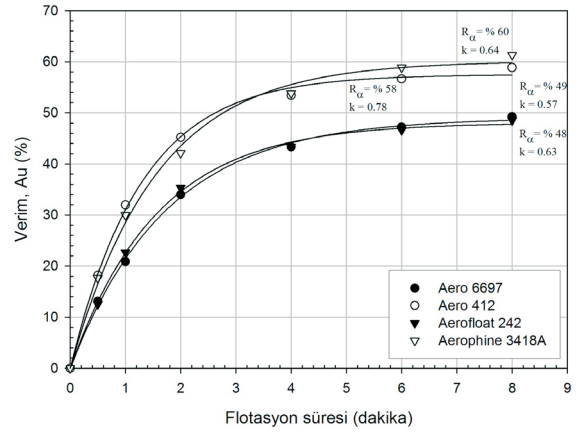
Flotasyon deneyleri 2 aşamada yürütülmüştür. Testlerin birinci aşamasında farklı toplayıcı birleşimlerinin altın kazanım performansı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu aşamada, toplayıcı olarak Aero 350 potasyum amil ksantat (Aero 350, 50 g/t), ditiyofosfat (Aerofloat 208, 50 g/t) ve ilave olarak farklı bir toplayıcı (50 g/t) kullanılmıştır. Bu testler, hem  $\text{CuSO}_4$  (150 g/t) hem de  $\text{Na}_2\text{S}$  (70 g/t) kullanılarak yapılmış olup, böylelikle toplayıcı birleşimlerinin hangi ilave reaktifle daha iyi sonuç verdiği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve Şekil 3' te sunulmuştur.

Söz konusu testler kullanılan ilave toplayıcı cinsleri açısından incelendiğinde, her iki deney



Şekil 2. Farklı toplayıcı birleşimleri ve  $\text{CuSO}_4$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 2. The effect of different collector combinations and  $\text{CuSO}_4$  on gold recovery.



Şekil 3. Farklı toplayıcı birleşimleri ve  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 3. The effect of different collector combinations and  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.

grubunda da benzer veriler elde edildiği gözlenmektedir. En iyi sonuçlar, Aero 412 ve Aerophine 3418A toplayıcılarının ilave toplayıcı olarak kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir. Bu toplayıcıların özellikleri incelendiğinde, Aero 412 reaktifinin ksantat türü toplayıcılar kadar güçlü ve özellikle baz metallerin flotasyonunda etkili bir toplayıcı olduğu görülmektedir. Aerophine 3418A toplayıcısı ise özellikle altın ve gümüş flotasyonun da sağladığı verim artışı nedeni ile tavsiye edilmektedir (Cyttec, 2002). Özellikle kil içerikli cevherlerin flotasyonunda  $\text{CuSO}_4$  kullanımının olumlu katkısının azlığından, hatta yüksek oranlarda kullanımı durumunda yarattığı olumsuz etkilerden bahsedilmektedir (Bulatovic,

1997; Monte vd., 2002). Öte yandan, bir çok çalışmada uygun miktarda kullanıldığında  $\text{Na}_2\text{S}$ 'ün altın taneciklerinin ve altın taşıyan minerallerin hava sever hale getirilmesinde olumlu rol oynadığı belirtilmektedir (Teague vd., 1999; Allan ve Woodcock, 2001; Luttrell ve Yoon, 1984a, 1984b).  $\text{Na}_2\text{S}$  aynı zamanda ince öğütmeden kaynaklanan kil içerikli çok ince şlam tanelerinin dağıtılmasını sağlayarak flotasyon işlemine yardımcı olmaktadır (Glembotski vd., 1972).

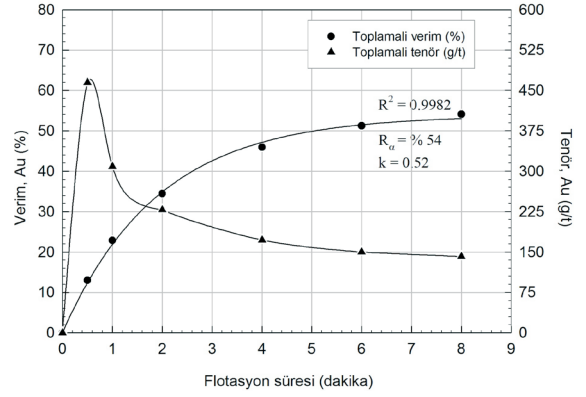
### $\text{Na}_2\text{S}$ tüketiminin altın kazanımı ve flotasyon hız sabiti üzerindeki etkisinin belirlenmesi

Bu çalışmanın birinci aşamasında, Aerophine 3418A reaktifinin Aero 350, Aerofloat 208 reaktifleri ile birlikte kullanımı ve  $\text{Na}_2\text{S}$  ilavesi ile elde edilen altın konsantrasyonu en yüksek verim değeri ile üretilen konsantre olmuştur. Bu nedenle çalışmanın ikinci aşamasında bu toplayıcı birleşimine ilave olarak farklı miktarlarda  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının işlem başarısı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Pülpe 20 g/t gibi düşük bir tüketim miktarında  $\text{Na}_2\text{S}$  ilavesi ile yapılan test sonucu 8 dk flotasyon süresi sonunda elde edilen altın konsantrasyonu tenörü 142 g/t olmuştur,  $R_{\infty}$  değeri % 54 olarak, flotasyon hız sabiti ise 0.52 (1/dk) olarak hesaplanmıştır. Yapılan testlerde, kullanılan  $\text{Na}_2\text{S}$  miktarının 85 g/t'a kadar yükseltilmesi durumunda (Şekil 4, 5, 6 ve 7) altın kazanım verimi ve flotasyon hız sabitinin (k) arttığı gözlenmektedir. Kullanılan  $\text{Na}_2\text{S}$  miktarı 85 g/t'a çıkartıldığında, 8 dk flotasyon süresi sonunda elde edilen konsantre tenörü 99 g/t olmuştur.  $R_{\infty}$  değeri % 62 olarak, flotasyon hız sabiti ise 0.66 (1/dk) olarak hesaplanmıştır.

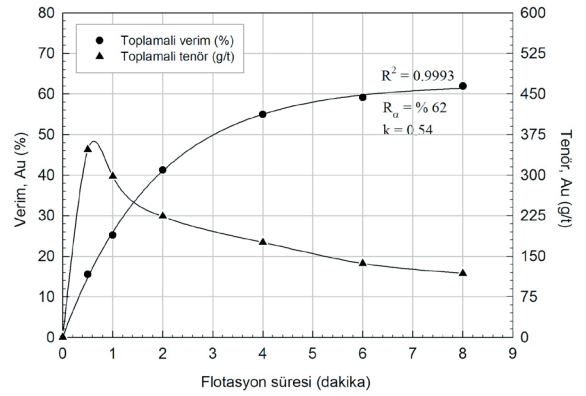
$\text{Na}_2\text{S}$  tüketim değeri 750 g/t'a kadar arttırılmaya devam edildiğinde (Şekil 8, 9, 10 ve 11) altın kazanım verimi ve flotasyon hız sabitinin (k) hızla düştüğü gözlenmektedir. Pülpe ilave edilen  $\text{Na}_2\text{S}$  miktarının 750 g/t'a yükseltilmesi ile 8 dk flotasyon süresi sonunda elde edilen konsantrasyonun altın tenörü 141 g/t olmuştur. % 48  $R_{\infty}$  değeri ve 0.39 (1/dk) flotasyon hız sabiti değeri ile üretilebilmiştir.

Bu grup deneylerin birlikte değerlendirilmesi Şekil 12'de verilmiştir. Buradan da görüle-



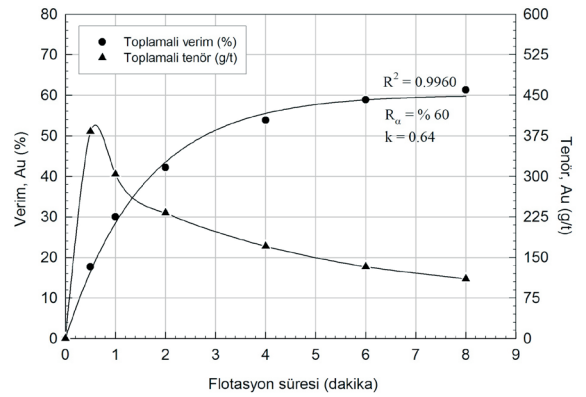
Şekil 4. 20 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 4. The effect of 20 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



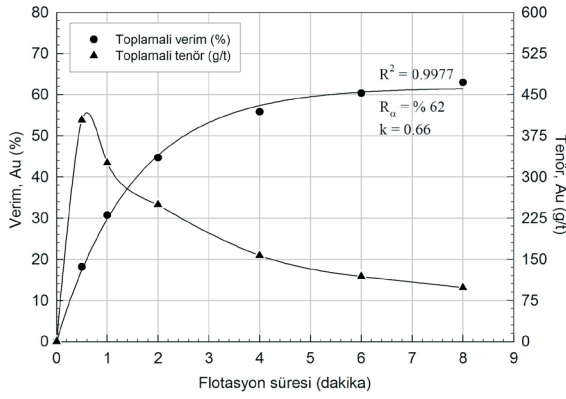
Şekil 5. 40 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 5. The effect of 40 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



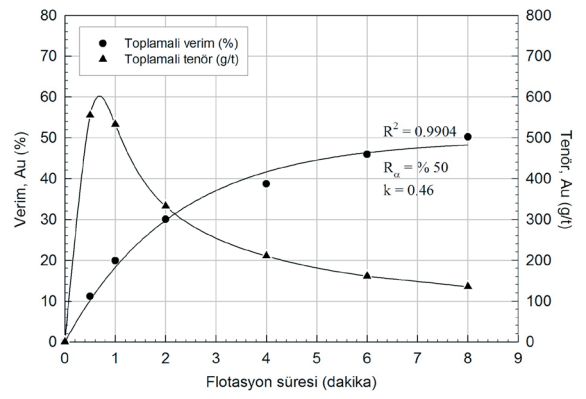
Şekil 6. 70 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 6. The effect of 70 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



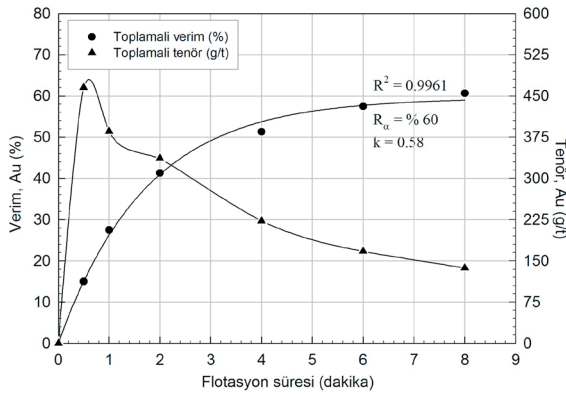
Şekil 7. 85 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 7. The effect of 85 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



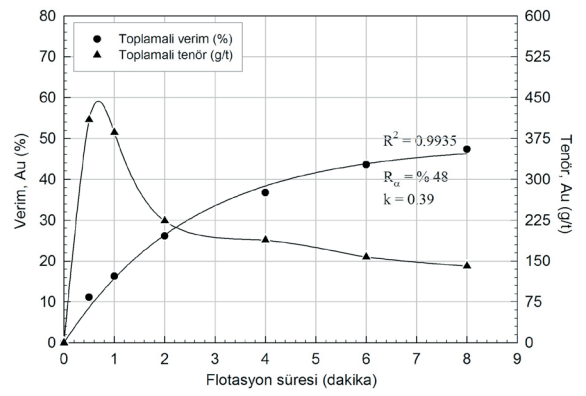
Şekil 10. 350 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 10. The effect of 350 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



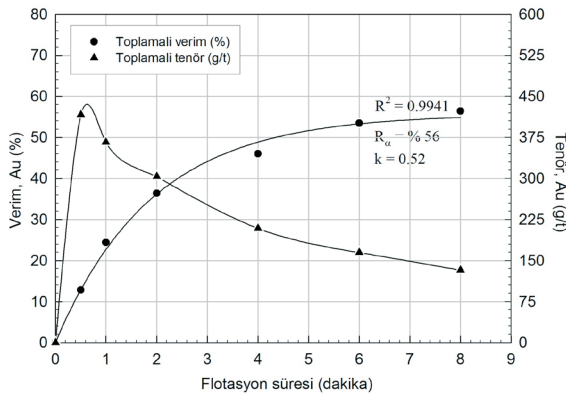
Şekil 8. 100 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 8. The effect of 100 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery



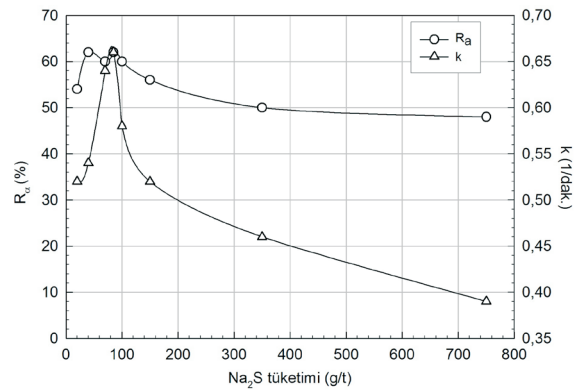
Şekil 11. 750 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 11. The effect of 750 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



Şekil 9. 150 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 9. The effect of 150 g/t  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.



Şekil 12. Farklı miktarlarda  $\text{Na}_2\text{S}$  kullanımının altın kazanımı üzerindeki etkisi.

Figure 12. effect of different amount of  $\text{Na}_2\text{S}$  on gold recovery.

bileceği gibi, testler sırasında kullanılan  $\text{Na}_2\text{S}$  miktarı altın taneciklerinin flotasyonu üzerinde oldukça etkili olmaktadır. İlgili kaynakçada belirtildiği şekilde (Aksoy ve Yarar, 1989; Teague vd., 1999; Allan ve Woodcock, 2001; Luttrell ve Yoon, 1984a; 1984b), uygun miktarda kullanıldığında  $\text{Na}_2\text{S}$ 'ün altın taneciklerinin ve kısmen okside olmuş altın taşıyan sülfür minerallerinin yüzeylerinin yeniden sülfürlenerek hava sever hale getirilmesinde etkili olduğu gözlenmektedir. Ancak, kritik derişim değerinin aşılması durumunda  $\text{Na}_2\text{S}$  bastırıcı etki göstermeye başlamakta, gerek pülp içerisindeki aktif oksijen miktarını tüketerek, gerekse mineral yüzeylerine toplayıcı absorpsiyonunu engelleyerek flotasyon işlemine engel olmaktadır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmanın ilk aşamasında farklı toplayıcıların bir arada kullanılması ve bu reaktif birleşimlerine ilave olarak  $\text{CuSO}_4$  veya  $\text{Na}_2\text{S}$  reaktiflerinin ilavesi ile oluşacak reaktif birliktelik etkisinin altın kazanma verimi ve işlem kinetik hızı üzerindeki etkileri araştırılmış ve elde edilmiş olan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Aero 350, Aerofloat 208, Aero 412 toplayıcı birleşimine ilave olarak  $\text{Na}_2\text{S}$  (70 g/t) kullanımı ile en yüksek kinetik hız değeri sağlanmıştır. Bu test sonucunda 8 dk lık flotasyon süresi sonunda  $R_\infty$  değeri % 58, flotasyon hız sabiti (k) değeri ise 0.78 (1/dk) olarak hesaplanmıştır.
- Aero 350, Aerofloat 208, Aerophine 3418A toplayıcı birleşimine ilave olarak  $\text{Na}_2\text{S}$  (70 g/t) kullanımı ile en yüksek  $R_\infty$  değeri (% 60) ile altın konsantrasyonu üretilebilmiştir.

Testlerin ikinci aşamasında, ilk aşamada en etkili reaktif birleşimi olarak belirlenmiş olan Aero 350, Aerofloat 208, Aerophine 3418A ve  $\text{Na}_2\text{S}$  birleşimlerinin kullanılarak  $\text{Na}_2\text{S}$  tüketim miktarının flotasyon işlemindeki etkisi araştırılmıştır.

- Cevher içerisindeki nabit ve sülfürlü mineraller ile birlikte bulunan altın taneleri ortamdaki  $\text{Na}_2\text{S}$  konsantrasyonuna bağlı olarak farklı flotasyon hızları (k) ve verim değerleri ( $R_\infty$ ) ile kazanılabilmektedirler. Ortamda  $\text{Na}_2\text{S}$  konsantrasyonunun 85 g/t değerini aşması ile birlikte

hem verim hem de flotasyon hızı değerleri düşme eğimli göstermiştir. Bu durum daha önceki araştırmacıların çalışmalarıyla uyum göstermektedir.

- Cevher numunesinin çok ince altın taneleri içermesi nedeniyle gerek flotasyon için yeterli serbestleşmenin sağlanamaması, gerekse serbest hale gelmiş ancak çok ince tane boyutuna sahip altın tanelerinin flotasyonunun güçlüğü nedeniyle verim değerleri göreceli olarak düşük kalmıştır. Uygulanan tek kademe flotasyon işlemiyle ancak sınırlı verim ve tenör değerleri ile konsantrasyon üretimi olanağının olduğu gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Allan, G.C., and Woodcock, J.T., 2001. A review of the flotation of native gold and electrum. *Minerals Engineering*, 14, 931-962.
- Aksoy B.S. ve Yarar, B., 1989. Natural hydrophobicity of native gold flakes and their flotation under different conditions. *Processing of Complex Ores*, Pergamon, NY, pp. 19-27.
- Bulatovic, S.M., 1997. Flotation behavior of gold during processing of porphyry copper-gold ores and refractory gold-bearing sulphides. *Minerals Engineering*, 10, 895-908.
- Cytec, 2002. *Mining Chemical Handbook*.
- Çilingir, Y., 1996. *Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri ders kitabı*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Glembotski, V.A., Klassen, V.I., and Plaksin, I.N., 1972. *Flotation. Primary Sources*, New York.
- Klimpel, R.R., 1999. Industrial experiences in the evaluation of various flotation reagent schemes for the recovery of gold. *Minerals and Metallurgical Processing*, 16, 1-11.
- Luttrell, G.H., and Yoon, R.H., 1984a. The collectorless flotation of chalcopyrite ores using sodium sulfide. *International Journal of Mineral Processing*, 13, 271-283.

- Luttrell, G.H., and Yoon, R.H., 1984b. Surface studies of the collectorless flotation of chalcopyrite. *Colloids and Surfaces*, 12, 239-254.
- Mendiratta, N.K., 2000. Kinetic studies of sulfide mineral oxidation and xanthate adsorption. PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Monte, M.B.M., Dutra, A. J. B., Albuquerque, Jr., Tondo, L.A., and Lins F. F., 2002. The influence of the oxidation state of pyrite and arsenopyrite on the flotation of an aureferous sulphide ore. *Minerals Engineering*, 12, 1113-1120.
- Polat, M., and Chander S., 2000. First-order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constants. *International Journal of Mineral Processing*, 58, 145-166.
- Teague, A.J., Van Deventer, J.S.J., and Swaminathan, C., 1999. A conceptual model for gold flotation. *Minerals Engineering*, 9, 1001-1019.
- Teague, A.J., Van Deventer, J.S.J., and Swaminathan, C., 2000. The effect of galvanic interaction on the behaviour of free and refractory gold during froth flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 57, 243-263.
- Yılmaz, H., Oyman, T., Arehart, G.B., Çolakoglu A.R., and Billor, Z., 2007. Low-sulfidation type Au-Ag mineralization at Bergama, İzmir, Turkey. *Ore Geology Reviews*, 32, 81-124.