

KNELSON SANTRİFÜJ GRAVİTE AYIRICISIYLA MASTRA (GÜMÜŞHANE) CEVHERİNDEN ALTIN KAZANIMI

GOLD RECOVERY FROM MASTRA (GÜMÜŞHANE) ORE USING KNELSON CENTRIFUGAL SEPARATOR

Oktaç CELEP, İbrahim ALP, Hacı DEVECİ, Mithat VICİL, Tuğba YILMAZ
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon, Türkiye

ÖZ: Bu çalışmada Mastra (Gümüşhane) altın cevherinin yapılan mineralojik incelemeleri ışığında Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısı ile altın kazanımı araştırılmıştır. Mastra cevherinde altın tanelerinin iri olması (ortalama 30 µm) nedeniyle siyanür liçi öncesi gravite yönteminin uygulanabileceği görülmüştür. Öğütülmüş cevher üzerinde (% 80'i -75 µm) Knelson santrifüj ayırıcısı ile gravite deneyleri yapılmış, cevherdeki altının % 47,2'si 771,95 gr/ton Au tenörlü konsantrasyon olarak alınabileceği anlaşılmıştır. Bu bulgular, Mastra cevherinin santrifüjlü gravite ayırma yöntemleri ile zenginleştirilebileceğini ve siyanür liçi öncesi Knelson konsantratorü ile ön zenginleştirme/zenginleştirme uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın kazanımı, Mastra cevheri, santrifüj gravite ayırıcısı, Knelson ayırıcısı

ABSTRACT: In this study, the amenability of Mastra gold ore to centrifugal gravity separation was investigated using a Knelson concentrator in the light of the mineralogical examinations. Because Mastra ore contains relatively coarse gold particles (a mean diameter of 30 µm), centrifugal gravity separation could be used prior to or in place of cyanidation. Recovery tests on the ground ore (80% passing -75 µm) have demonstrated that 47,2% of the gold present in the ore can be recovered into a concentrate assaying 771.95 g/t Au. These findings indicate that the ore is amenable to centrifugal gravity separation, which can be employed as a pre/concentration method using a Knelson separator ahead of cyanidation.

Key Words: Gold recovery, Mastra ore, centrifugal gravity separator, Knelson concentrator

GİRİŞ

Altın cevherleri genellikle "serbest taneli", "kompleks" ve "refrakter" olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar (La Brooy vd., 1994). Serbest taneli cevherlerden (% 80'i <80 µm) 20–30 saatlik geleneksel siyanür liçiyle % 90 verimin üzerinde bir altın kazanımı elde edilebilmektedir (Deschenes vd., 2005). Siyanürle ekonomik şekilde kazanılamayan cevherlere "refrakter" cevher denmektedir. Daha yüksek siyanür ve oksijen ilavesiyle ekonomik olarak kazanılabilen cevherler ise "kompleks" cevher olarak tanımlanmaktadır (Pyke, 1999).

Dünya'da altın üretiminin % 84'ü siyanürleme, % 10'u gravite ve % 4'ü flotasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde iri taneli altın içeren cevherler için gravite, amalgamasyon ve aglomerasyon yöntemleri kullanılırken ince taneli ve düşük tenörlü cevherler için flotasyon ve hidrometalurjik yöntemler kullanılabilmektedir (Roshan, 1990). Nispeten ince ve serbest taneli altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde santrifüjlü gravite ayırıcıları kullanılırken, ince taneli cevherler için yaygın olarak siyanür liçi uygulanmaktadır (Linge, 1997).

Gravite ile Altın Kazanımı

Cevher içerisindeki gang mineralleriyle (özgül ağırlık 2,7–3,5) altın (≈ 19) arasındaki özgül ağırlık farklarından dolayı altın zenginleştirilmesinde gravite yöntemleri kullanılmaktadır (Kongolo ve Mwema, 1998). Gravite yönteminin seçiminde ve verimli olarak uygulanabilmesinde minimum tane boyutunun belirlenmesi için ‘taggart konsantrasyon kriteri’ kullanılmaktadır.

$$K = \frac{da - ds}{dh - ds}$$

K :Konsantrasyon kriteri

da :Ağır mineral yoğunluğu, gr.cm⁻¹

ds :Hafif mineral yoğunluğu, gr.cm⁻¹

dh :Sıvı ortamın özgül ağırlığı, gr.cm⁻¹

Burada $K > 2,5$ ise çok küçük boyutlara kadar serbestleşme derecesi bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kolayca uygulanabilir (Wills, 1997). Gravite ile ayırmanın etkinliği tane boyutunun azalmasıyla azalır. Buna rağmen yeni geliştirilen santrifüjlü ayırıcılar ile ince taneli cevherler etkin bir şekilde zenginleştirilmektedir (Ling, 1994). Pratikte 40 μm - 2 mm arasındaki taneler iri tanelerdir. Altın taneleri için tercih edilen cevherin serbestleşmiş olması gerekir ve daha çok plaser yataklardan altın kazanımı gravite yöntemleriyle yapılmaktadır (Laplante vd., 1995).

Gravite zenginleştirmede altın taneleri tercihen serbest ve iri olmalıdır. Serbestleşen altının hemen devreden alınmasında yarar vardır. Ön zenginleştirme işlemi olarak gravite zenginleştirmenin kullanımı şu avantajları sağlamaktadır (Adams, 2005):

- İri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman alır. Örneğin 150 μm boyutunda saf altın tanesi için teorik çözünme süresi 44 saattir. Gravite yöntemlerle büyük tanelerin önceden ayrılması liç işlemlerinin süresini kısaltmaktadır. Ayrıca liç işlemlerinde harcanacak reaktif miktarının azalmasının yanında, çözüldükten altının kazanılması sırasında daha düşük aktif karbon maliyetleri oluşacaktır.
- Altın tanelerinin yüzeyleri siyanürle çözünmeyi engelleyecek düzeyde özellikle demir oksit ya da organik bileşiklerle kaplanmış olabilir. Bu tip konsantrelerde altın yüzeylerinin ek bir işlemle temizlenmesi gerekir. Gravite yöntemle alınan konsantr miktari toplam cevher kütesinin küçük bir bölümü olacağından bu tür ikincil işlemlerin uygulanmasını ekonomik açıdan engellemez.
- Altının özgül ağırlığının çok yüksek olması nedeniyle kapalı öğütme devrelerinde devreden yükün gravite zenginleştirmeye tabi tutulması gerekir. Gravite yöntemle elde edilen konsantrler doğrudan izabe edilemeyecek nitelikte ise amalgamlar ve atıklarına siyanür liçi yapılır (Vincent, 1997).

Gravite zenginleştirmesi çevresel ve insan sağlığı açısından daha az risk oluşturmasının yanında reaktif kullanımının olmaması nedeniyle liç yöntemlerine göre daha ekonomik yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen temiz konsantrere direk izabeye gönderilerek metal daha ucuza ve daha kısa sürede elde edilebilmektedir. Elde edilen düşük tenörlü atıklar ise liç ile tekrar değerlendirilebilmektedir.

Gravite sonrası elde edilen yüksek tenörlü ve düşük kütleyle sahip konsantreler yoğun siyanür liçi (%2 CN) kullanarak yüksek Au verimleriyle (>% 98 Au) kazanılmaktadır. Elde edilen yüksek konsantrasyona sahip olan çözültü katı sıvı ayırımından sonra ya doğrudan elektrolize ya da karbon adsorpsiyonu devresine gönderilmekte ve yüksek saflıkta altın elde edilmektedir. Çevresel açıdan problem yaratan kalsinasyon ve ergitme gibi işlemlere ihtiyaç duymadan gerçekleştirilen bu proseslerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşük olmaktadır (Longley vd., 2003).

Knelson Santrifüj Ayırıcısı

Son yıllarda ince veya çok ince taneli ağır minerallerin kazanımında santrifüj kuvvetin uygulanması etkin bir teknoloji getirmiştir. Tane üzerine etkiyen santrifüj kuvvet gravite kuvvetin 50 katıdır. Uygulanan santrifüj kuvvetin şiddeti arttıkça kazanılacak tanelerin boyutu daha ince olmaktadır. Santrifüj ayırıcısında oluşturulan santrifüj kuvvet (F_c) şu şekilde ifade edilmektedir: (Magumbe, 2002).

$$F_c = \left(\frac{\pi}{6} \right) (d_p)^3 \cdot (\delta_s - \delta_l) \cdot r \cdot \omega^2$$

Burada;

F_c : Santrifüj kuvvet, gr.cm.s⁻²

r : Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

d_p : Tanenin çapı, cm

δ_s : Tanenin yoğunluğu, gr.cm³

δ_l : Ortamın yoğunluğu, gr.cm³

ω : Tanenin açısal hızı, radyan.sn⁻¹

Merkezkaç kuvvetiyle etkilenen tane boyutu oluşturulan santrifüj kuvvete bağlıdır. Santrifüj film tabakasında askıda kalan kritik tane boyutu aşağıda verilmektedir (Xiao, 1998);

$$d_{cr} = k_0 \sqrt[4]{\frac{g}{w^2 r}}$$

Burada;

d_{cr} : kritik tane boyutu, cm

k_0 : oransal sabit

r : tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm
 w : tanenin açısal hızı, radyan.sn⁻¹
 g : gravite kuvveti, m.sn⁻²

Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Bunlar <30 µm boyutunda çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler (Ren vd., 1994). Knelson ayırıcısı (KC) Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada’da patenti alınmış, dünyada damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür. Standart Knelson ayırıcısı, 6 mm ya da daha az üst besleme boyutuyla çalışabilmektedir (Patchejieff vd., 1995). Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırma yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır (Alp vd., 2004a.b; Celep vd., 2005).

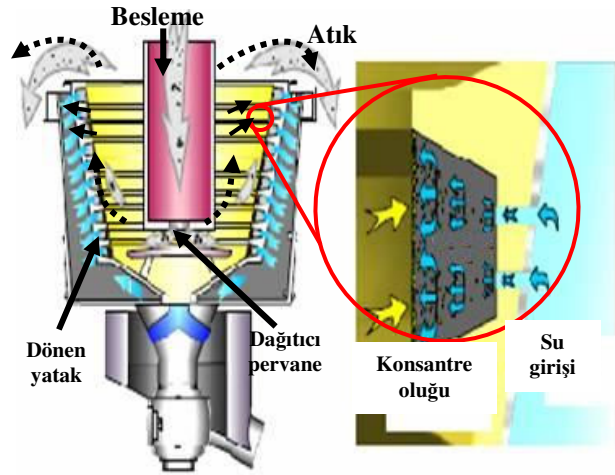
KC dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üstten beslenen pülpten santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır taneler konsantre olarak yatağın oluklarına takılır. Gang mineralleri ise atık olarak pülpün üst akışıyla birlikte atılır. Besleme standart model Knelson konsantratörünün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla gravite olarak yapılmaktadır. Besleme % 0-70 pülp yoğunluğunda yapılabilir. Konsantratör haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur (Knelson ve Jones, 1993). KC’nin ana operasyon değişkenleri; yıkama suyu miktarı, besleme pülp yoğunluğu ve alıkonma süresidir. Knelson ayırıcısı altın cevherleri için ön zenginleştirici olarak dizayn edilmiştir ve yerçekimi ivmesinin ortalama 60 katı kadar bir santrifüj kuvveti oluşturabilmektedir (Huang, 1996).

Haznenin içindeki paralel olukların içindeki küçük deliklerden hazneye su enjekte edilerek malzemenin hem yıkanması hem de haznenin dibinde toplanması sağlanır. Diğer santrifüj ayırıcılarıyla kıyaslandığında, ayırma mekanizması ya da dizayn özellikleri açısından oldukça farklıdır. Jigler ve spiraller gibi gravite ile zenginleştirme yapan araçlara göre daha ince altın taneleri kazanılabilmektedir (Zhang, 1998).

Knelson’ un diğer avantajı, şlam uzaklaştırma yapmaksızın malzemeyi zenginleştirmesidir. Knelson ayırıcısının etkinliği gangın yoğunluğu ve besleme hızının etkisiyle değişmektedir. Besleme boyut dağılımının, (gang yoğunluğunun düşük olması şartıyla) Knelson ayırıcısı ile zenginleştirme üzerine çok az etkisi olduğu belirlenmiştir.

Knelson ayırıcısı, konsantrenin otomatik ve elle boşaltma esasına göre; kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boşaltma şekline göre manuel boşaltma, merkezi boşaltma (CD) ve değişken boşaltma modelleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Knelson ayırıcıları metalurjik atıklardan, nehir kumlarından ve farklı cevherlerden değerli metallerin kazanımı için endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca plaser ya da cevherlerdeki serbest altın tanelerinin kazanımında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Knelson ve Jones, 1993). Altın, platin, kurşun, gümüş ve bakır gibi metallerin kazanımında uygulama alanı bulmuştur. Knelson ayırıcısının kullanımını daha basit ve en azından benzer altın kazanımları elde ettiği için, geri dönüş yükünün bir kısmını zenginleştirdiği zaman bile, gravite ayırmada altın kazanımı için en mantıklı seçim olmuştur. Knelson ayırıcısının iç konisinin şekli ve oluklardaki su girişinin şematik görüntüsü Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Knelson ayırıcısının düşey kesiti (Ling, 1998).
Figure 1: The vertical cross-section of Knelson separator (Ling, 1998).

Knelson başlangıçta alüvyal uygulamalar için dizayn edilmiş olmasına rağmen kayaçların zenginleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Elde edilen konsantre genellikle sallantılı masaya gönderilirken, atıklar hidrosiklon beslemesine ya da siyanürleme işlemine gönderilmektedir. Gravite kazanımının tek kazanım yöntemi olduğu alüvyal zenginleştirmeleri için metalurjik kazanım çok önemli olmaktadır. Knelson ayırıcısının değişik modelleri ve operasyon parametreleri Çizelge 1’de verilmektedir (Knelson ve Jones, 1993).

Çizelge 1: Knelson ayırıcısı değişik modelleri ve özellikleri.
Table 1: Different models and characteristic of Knelson separator.

Model (çap;cm)	Kapasite (t/h)	Su girişi (lt/dk)	Konsantr e ağırlığı (kg)
7,62	0,065	2	0,08-0,11
19,8	0,25	20	2-3
30,48	3-4	120	10-20
52,8	12-15	400	30-40
76,2	30-40	1200	60-70

Mastra Altın Cevheri

Mastra altın yatağı 8 gr/ton Au tenör ve 808.000 ton tahmini rezerve sahiptir (Alp vd., 2002 ve 2003)(Şekil 2). Mineralojik yapısı, alterasyon ve sıvı kapanım özelliği adularya serizit tip epitermal yataklar ile benzerlik göstermektedir. Altının çoğunlukla kuvars içerisinde kapanım halinde 1–100 µm boyutlu taneler olarak bulunduğu belirtilmiştir (Tüysüz vd., 1995a.b).



Şekil 2: Mastra altın yatağının yeri.

Figure 2: Location of Mastra gold deposit.

Mastra cevheriyle (-100 µm) Gönen (1992) tarafından yapılan siyanür liçinde 2,3 kg/ton siyanür tüketimiyle 42 saatlik liç süresi sonunda % 97,4'lük Au kazanımı elde edilmiştir (Gönen, 1992 ve 2003). Tiyoüre liç deneylerinde 8,97 kg tiyoüre/ton cevher ve 40,25 kg Fe₂(SO₄)₃/ton cevher tüketimiyle 5 saatlik liç süresi sonunda % 75,5 Au kazanma verimi elde edilmiştir (Gönen, 1997 ve 1998). Mastra cevheri üzerine

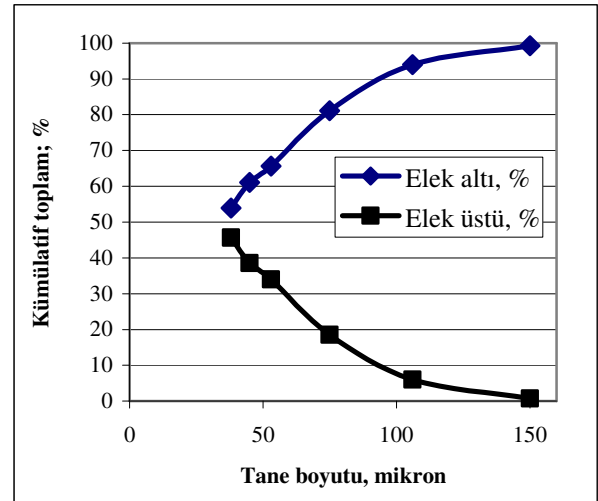
Tanrıverdi'nin (1997) yaptığı çalışmalarda; % 80' i -75 µm boyutundaki cevher ile 3 kg/ton cevher NaCN tüketimiyle birlikte 48 saatlik liç süresi sonunda % 93,62 Au kazanımı elde edilmiştir (Tanrıverdi, 1997). Yine benzer şekilde Celep ve arkadaşlarının yaptığı liç deneylerinde % 90-95 altın çözünmesi gerçekleştirilmiştir (Celep vd., 2006).

Bu çalışmada Mescitli-Gümüşhane yöresinde yer alan Mastra Au-Ag epitermal yatağının santrifüj gravite ayırıcısıyla altın kazanımı araştırılmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan numuneler, Mastra (Gümüşhane) altın yatağının hazırlık galerisinin açılması sırasında baz metalce zengin sülfürlü damardan üretilen yığınlardan örnek azaltma yöntemleriyle alınmıştır. Mineralojik incelemeler için numuneler ayrıldıktan sonra kırma, harmanlama ve bölme ile deneylerde kullanılmak üzere numuneler paketlenmiştir. Deneylerde öğütme çubuklu değirmende gerçekleştirilmiştir. Öğütme sonunda Mastra numunesi % 80'i -75 µm olacak şekilde öğütülmüş (Şekil 3) ve komple kimyasal analiz için örnekler ayrılmıştır.

Örneklerin komple kimyasal analizleri Acme Analytical Laboratuvarında (Kanada) ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) ve NAA (Neutron Activation Analysis) yöntemleriyle yapılmıştır. Analizler incelendiğinde Mastra cevherinin % 86'sının silis içerdiği ve 26 ppm Au ve 8,6 ppm Ag içerdiği görülmektedir (Çizelge 2).



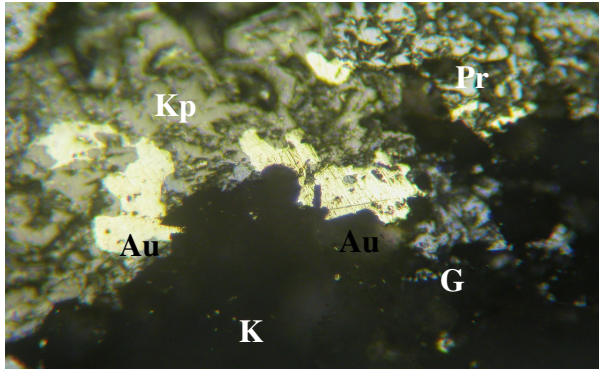
Şekil 3: Numunenin kümülatif elek altı-üstü tane boyut dağılımı eğrileri.

Figure 3: Cumulative size distribution curves of screen under/over of the sample.

Çizelge 2: Numunenin kimyasal analizi.
Table 2: The chemical analysis of sample.

Bileşik	(%)	Elem.	(ppm)
SiO ₂	86,12	Au	26
Al ₂ O ₃	3,36	Ag	8,6
Fe ₂ O ₃	5,47	Mo	23
CaO	0,33	Cu	3519
MgO	0,01	Pb	3799
Na ₂ O	0,02	Zn	2639
K ₂ O	0,16	Ni	199
TiO ₂	0,10	As	824
P ₂ O ₅	0,04	Cd	21,6
MnO	0,01	Sb	11,8
Cr ₂ O ₃	0,07	Ga	9
LOI	3,40	U	1
Top. S	4,32	V	54
Top. C	0,06	Co	14,3
Org. C	-	Sr	34,4
Toplam	99,27	Zr	18,5

Mineralojik araştırmalar için seçilen parçalardan parlak kesitler hazırlanmıştır. Bu kesitler cevher mikroskopu ile detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmalar yağlı ortamda Leitz Wetzlar 1432 model mikroskop altında gerçekleştirilmiştir. Cevher minerali olarak baz metal sülfürlere ilaveten nabit ve elektrik altın, gang mineralleri olarak kuvars, barit ve karbonatlar bulunmaktadır. Mineralojik incelemeler sonucunda Mastra altın cevherinde altının pirit, kalkopirit, galen, sfalerit ve kuvars ile birlikte bulunduğu tespit edilmiştir. Sülfür mineralleri genellikle birlikte bulunmakta ve kataklastik dokular oluşturmaktadırlar. Parlak kesitlerin mineralojik incelenmesi sonucunda cevherde kuvarsin yaygın mineral olduğu görülmüştür. Pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen sülfür fazları olarak belirlenmiş olup birbirleriyle ilişkili bulunmaktadır (Şekil 4).



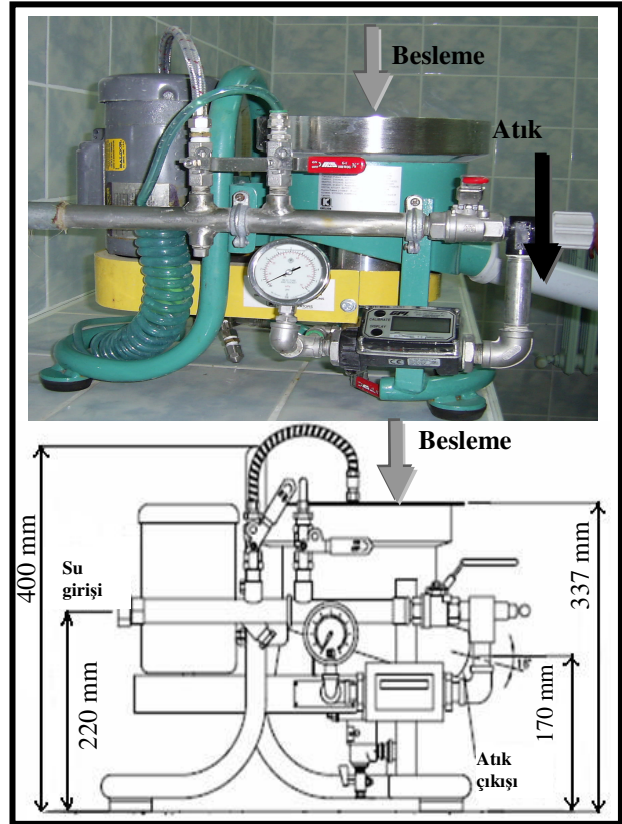
Şekil 4: Kuvars içerisinde kalkopirit, galen ve pirit ile ilişkili altın taneleri (Au; altın, Pr; Firit, Kp; Kalkopirit, G: Galen, K: Kuvars) (Yağ ortamında, x25).

Figure 4: Gold particles associated with chalcoprite, galena and pyrite in quartz gold particles (Au; gold, Pr; Pyrite, Kp; Chalcopyrite, Sf; Sphalerite, G: Galena, K: Quartz) (Oil immersion).

Altın tanelerinin ortalama tane boyutu 30 μm 'dur. Mastra cevherinde bulunan altın tanelerinin yarısının 20 μm 'dan küçük olmasına karşın, altının hacimsel dağılımı cevherdeki toplam altının % 50' sinin 150 μm ' dan küçük olduğunu göstermektedir (Vııcıl ve Alp, 2002). Bu bulgular daha yüksek altın kazanımına ulaşmak için uzun liç süresi gerektiğini gösteren siyanür liçi verileriyle (Alp vd., 2003) uyumluluk göstermektedir. İri altın tanelerinin varlığı gravite zenginleştirmenin mümkün olabileceğine işaret etmektedir.

% 80'i -75 μm olacak şekilde çubuklu değirmende öğütülmüş olan Mastra cevheri ile gravite zenginleştirme testleri laboratuvar tip MD3 Knelson ayırıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri Çizelge 3'de ve genel görünümü Şekil 5'de verilmektedir.

Knelson'un MD3 laboratuvar ölçekli modeli 34,4x40x47 cm boyutunda kesikli çalışan bir sistemdir. Çizelge 3'de verilen deney şartlarına göre çalışma sonrasında koniğin çeperlerine takılan altın taneleri konsantre olarak alınırken üstten taşan kısım atık olarak alınmıştır. Besleme tamamlandıktan sonra kanallarda kalan malzeme bir kaba alınmıştır. Konsantre ve atıktan alınan numunelerden altın analizi yapılmış ve metalürjik denge tablosu oluşturulmuştur.



Şekil 5: Knelson ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüşü.

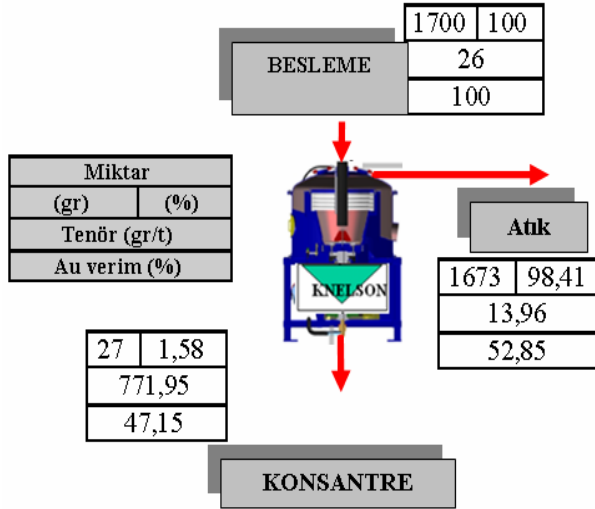
Figure 5: A photograph and schematic view of Knelson separator.

Çizelge 3: Knelson ayırıcısının deney parametreleri.**Table 3:** Experimental parameters of KC.

Besleme miktarı, kg	20
Ters su beslemesi, l/dk	4
Dönüş hızı, dev/dk	1425
Besleme katı oranı, %	70
Besleme hızı, gr/dk	1000

DENEYSEL SONUÇLAR

Mineralojik bulgular ışığında Mastra altın cevherinin gravite ile zenginleştirilebileceği düşünülerek Knelson santrifüj ayırıcısı ile gravite zenginleştirme testleri yapılmıştır. Knelson ile yapılan deney sonuçları ve akım şeması Şekil 6'de ve Çizelge 4'de gösterilmektedir.

**Şekil 6:** Knelson gravite test sonuçları.**Figure 6:** Knelson gravity test results.**Çizelge 4:** Konsantrinin element tenörleri ve zenginleştirme oranları.**Table 4:** Concentrate grades and concentration ratio of elements.

Elem.	Besleme tenörü	Konsantre tenörü	Zeng. oranı
Au	26	771,9	29,7
Ag	8,6	143,9	16,7
Cu	3519	10225	2,9
Pb	3799	6025,5	1,58
Zn	2639	8330	3,15
Ni	199	292	1,46
As	824	1939,9	2,35

Cevherdeki altının % 47,2'si 771,95 gr/ton Au tenörlü konsantre olarak alınmıştır. Beslemenin yaklaşık % 98,4'i 13,96 gr/ton Au tenörlü nihai artık olarak kalmıştır. Elde edilen ürün besleme miktarının % 1,58'ini oluşturmaktadır. Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Ni ve As'nin konsantre tenörleri Çizelge 4'de gösterilmektedir. Knelson konsantrisinde Au ve Ag'nin konsantrasyon oranı sırasıyla 29,7 ve 16,7 olarak bulunmuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gümüşhane civarında bulunan Mastra yatağın altın kazanımı üzerine yapılan mineralojik inceleme ve gravite kazanım deneylerine göre elde edilen sonuçlara göre şu değerlendirmeler yapılabilir:

- Kimyasal analiz sonuçlarına göre; Mastra cevherinin yüksek altın tenörüne sahip olması ve yüksek oranda kuvars içermesi altın kazanımının kolay olabileceğini göstermektedir. Ancak baz metal sülfürlerinin daha fazla oranda bulunmaları altın tanelerinin kapanım halde bulunması durumunda kazanımın azalmasına ve siyanürle işlemede daha fazla siyanür sarfiyatına sebep olabilmektedir.
- Mineralojik inceleme sonuçlarına göre; Mastra cevherinde altın tanelerinin büyük boyutlarda ve nabit olarak büyük bir oranda kuvars içinde bulunması siyanür liçinin iri tane boyutlarında dahi yüksek verimlerle gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Bu aynı zamanda Mastra cevherinin Knelson santrifüj ayırıcılarla ön gravite zenginleştirmesine de olumlu cevap verebilmesini önermektedir. Bu şekilde daha ekonomik ve daha sorunsuz bir kazanım sözkonusu olabilecektir.
- Ögütülen cevherin (-74 µm) Knelson Konsantratörle zenginleştirme testleri cevherdeki altının % 47,15 verim ve 771,95 gr/t tenörle kazanılabileceğini göstermiştir. Altın zenginleştirme konsantrasyonu 29,7 olarak sonuçlanmıştır.
- Gravite sonrası elde edilen yüksek tenörlü ve düşük kütleye sahip konsantreler yoğun siyanür liçi - intensive cyanidation- kullanan prosesler (inline leach reactor ve acacia reactor gibi) ile yüksek Au verimleriyle (>% 98 Au) kazanılabilir. Elde edilen yüksek konsantrasyona sahip olan çözelti ya doğrudan elektrolize ya da karbon adsorpsiyonu devresine gönderilip yüksek saflıkta altın elde edilebilir. Yaklaşık 14 gr/t tenöre sahip atıklar ise tekrar öğütülerek daha ince boyutlarda serbestleşmeyi sağlayarak farklı santrifüj parametrelerinde ikincil gravite kazanımına tabi tutulabilecektir.
- Tüm çalışmalar sonucunda; Mastra cevherinin iri ve kısmen daha iyi serbestleşen altın taneleri içermesinden dolayı uygun bir gravite ayırıcısı ile ön zenginleştirme uygulanması ve atıklarına siyanür liçi uygulanarak ekonomik ve etkin bir şekilde zenginleştirilebileceği söylenebilmektedir.

SUMMARY

In this study, Mastra ore was mineralogically investigated in order to determine its ore processing characteristics. Amenability of Mastra (Gümüşhane) gold ore to gravity recovery using Knelson Concentrator was also examined.

The mineralogical analysis of the ore has shown that gold occurs as particle size of 1-300 µm and related to quartz and sulphide minerals. There are pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena as ore minerals. Although a half of the gold particles had a size of ≤20 µm, the volumetric distribution of gold indicated that the gold particles of ≤150 µm in size constituted 50% of the total gold present in the ore.

In the Knelson gravity test, a concentrate containing 771.95 g/t Au was produced at 47.15 % recovery and 1.58 % yield. Because Mastra ore consists of coarse and partly separated gold particles, it is said that Mastra ore could be recovered as a preconcentration using centrifugal gravity separators and its tails could economically be evaluated using cyanide leaching.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Adams, M.D., 2005**, Advances in Gold Ore Processing, Developments in Mineral Processing 15, Elsevier.
- Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E., 2004a**, Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane-Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator, SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259-266.
- Alp, İ., Celep, O., Deveci, H., Vıçıl, M. ve Yazıcı, E., 2004b**, Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators, 10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 27-33.
- Alp, İ., Celep, O., Tüysüz, N., Vıçıl, M. ve Lermi, A., 2003**, Mineralojik Yapının Cevher Zenginleştirme İşlemine Etkisi: Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) Altın Cevherleri Üzerine Örnek Çalışma, 18.Uluslararası Madencilik Kongresi, Antalya, Bildiriler Kitabı, 147-153.
- Alp, İ., Vıçıl, M. ve Celep, O., 2002**, Gümüşhane-Mescitli-Mastra Altın Cevherinin Türkiye ve Dünya Altın Madenciliğindeki Yerinin Değerlendirilmesi, Gümüşhane ve Yöresi Kalkındırma Sempozyumu, Gümüşhane, Bildiriler Kitabı Cilt I, 365-376.
- Celep O., Alp İ., Deveci H., Yılmaz T., Vıçıl M., Duran C., 2006**, The Amenability of Mastra (Turkey) Gold Ore to Centrifugal Gravity Separation and Cyanide Leaching, XXIII International Mineral Processing Congress, s.1590-1595.
- Celep, O., 2005**, Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) Cevherlerinden Altın Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Maden Müh. Bölümü, Trabzon.
- Deschenes, G., McMullen, J., Ellis, S., Fulton, M. ve Atkin, A., 2005**, Investigation on the Cyanide Leaching Optimization for the Treatment of KCGM Gold Flotation Concentrate-phase 1, Minerals Engineering, 18,832-838.
- Gönen, N., 1992**, Altın Teknolojisi ve Siyanürleme Yöntemiyle Altın Üretim Prosesleri, M.T.A. Rap No:289, Ankara.
- Gönen, N., 1997**, Gümüşhane - Mastra Cevherinden Altın Kazanımında Tiyoüre Yönteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, M.T.A. Rap No:1790, Ankara.
- Gönen, N., 2003**, Leaching of Finely Disseminated Gold Ore with Cyanide and Thiourea Solutions, Hydrometallurgy, 69, 169-176.
- Gönen, N., Kekeç, K., Kızılkaya, B. ve Yıldırım, M., 1998**, Leaching of Gümüşhane-Mastra ore with Thiourea, Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam, 561-565.
- Huang, L., 1996**, Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.
- Knelson, B. ve Jones, R., 1993**, A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line, Mineral Engineering, 7,201-207.
- Kongolo, K. ve Mwema, M.D., 1998**, The Extractive Metallurgy of Gold, Hyperfine Interactions, 111,281-289.
- La Brooy, S.R., Linge, H.G. ve Walker, G.S., 1994**, Review of Gold Extraction from Ores, Minerals Engineering, 7, 10, 1213-1241.
- Laplante, A.R., Woodcock, F. ve Noaparast, M., 1995**, Predicting Gravity Separation Gold Recoveries, Mine-rals and Metallurgical Processing, 5,74-79.
- Ling, J., 1998**, A study of a variable speed 3-in Knelson Concentrator, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.

- Ling, P., 1994**, A Kinetic Study of Gold Ore by Cyanidation, Yüksek Lisans Tezi, University of Toronto.
- Linge, H.G. ve Welham, N.J., 1997**, Gold Recovery from a Refractory Arseno-pyrite (FeAsS) Concentrate by In-Situ Slurry Oxidation, Mineral Engineering, 10,6,557-566.
- Longley, R.J., McCallum ve Katsikaros N., 2003**, Intensive Cyanidation: Onsite Application of the Inline Leach Reactor to Gravity Gold Concentrates, Minerals Engineering, 16,411-419.
- Magumbe, L., 2002**, Process Desing for Gold Recovery from The Chester Deposit, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.
- Patchejieff, B., Gaidarjiev, S. ve Lazarov, D., 1995**, Opportunities for Fine Gold Recovery from a Copper Flotation Circuit using a Knelson Concentrator, Minerals Engineering, 7,2/3,405-409
- Pyke, B.L., Johnston, R.F. ve Brooks, P., 1999**, The Charecterisation and Behavi-our of Carbonaceous Material in a Refractory Gold Bearing Ore, Minerals Engineering, 12,8,851-862.
- Ren, X., Li, Q., Zhang, Y. ve Liu, D., 1994**, A New Centrifugal Seperator for Recovering Minerals from Fine and Ultrafine Sizes, Innovations in Minerals Processing, Sudbury, 349-355.
- Roshan, B.B., 1990**, Hydrometallurgical Processing of Precious Metal Ores, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 6, 67-80.
- Tanrıverdi, M., 1997**, Dissolution and Degradation Behaviour of Certain Metals in Gold Cyanidation Process, Doktora Tezi, D.E.Ü., İzmir.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z. ve Akıncı, S., 1995a**, Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epithermal Gold – Silver Deposit, Gümüşhane, NE- Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences (Tübitak), 4,11-21.
- Tüysüz, N., Sadıklar, M.B., Er, M. ve Yılmaz, Z., 1995b**, An Epithermal Gold – Silver Deposit in The Pontide Island Arc, Mastra Gümüşhane, Northeast Turkey, Economic Geology, 90,5,1301-1309.
- Vıcl, M. ve Alp, İ., 2002**, Gümüşhane Yöresinde Bulunan Altın Yataklarındaki Altın Tanelerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması, Gümüşhane ve Yöresi Kalkındırma Sempozyumu, Gümüşhane, Bildiriler Kitabı Cilt I, 413-422.
- Vincent, F., 1997**, A Comparison of Knelson Concentrator and Jig Performance for Gold Recovery, Yüksek Lisans Tezi, McGill Üniversitesi, Montreal.
- Wills, B.A., 1997**, Mineral Processing Technology, Butterworth-Heinemann Press, Londra.
- Xiao, J., 1998**, Testing a New Gold Centrifugal Concentrator, Yüksek Lisans Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal, Kanada.
- Zhang, B., 1998**, Recovering Gold from High Density Gangues with Knelson Concentrator, Yüksek Lisans Tezi, McGill Üniversitesi, Kanada.

Yayma Geliş - Received : 22.12.2006

Yayma Kabul - Accepted : 16.03.2007