




Polimetallik Bir Cevherden Falcon Santrifüj Zenginleştirici Kullanarak Altın Kazanımı Olanaklarının Araştırılması

Investigation of Gold Recovery Possibilities of a Polymetallic Ore by Using Falcon Centrifugal Concentrator

Özgür Özcan ^{1*} 

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: ozgurozcan@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 30.01.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216101

Kabul Tarihi / Accepted: 07.09.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/ How to cite: ÖZCAN, Ö. (2019). Polimetallik Bir Cevherden Falcon Santrifüj Zenginleştirici Kullanarak Altın Kazanımı Olanaklarının Araştırılması. DEUFMD, 21(61), 01-14.

Öz

Bu çalışmada Yenipazar polimetallik Au-Ag-Cu-Pb-Zn cevherinden Falcon santrifüj zenginleştirici kullanılarak altın kazanımı olanakları araştırılmıştır. Çalışmada, gravimetrik yöntemler ile kazanılabilir altının (GRG) ve altın içeren sülfürlü minerallerin bir öğütme devresindeki davranışları incelenmiştir. Ayrıca, besleme tane boyu dağılımı ve tenör değişikliklerinin Falcon zenginleştirici performansına etkileri araştırılmıştır. İri numune ile gerçekleştirilen çalışmalarda 3 ppm Au tenörlü bir konsantre, ince numune ile gerçekleştirilen çalışmalarda ise 34,50 ppm Au tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Konsantre ve atıkların fraksiyonel altın analizleri iri numunedeki altının fraksiyonel veriminin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Falcon zenginleştirici performansı ise hem işletme değişkenlerine hem de malzeme özelliklerine bağlıdır. Sonuç olarak, sınıflandırıcı alt akımından gravimetrik yöntemler ile bir ön konsantre elde edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenipazar cevheri, Altın kazanımı, Falcon zenginleştirici, Santrifüj kuvvet

Abstract

In this study, gold recovery possibilities of Yenipazar polymetallic Au-Ag-Cu-Pb-Zn ore was investigated by using a Falcon centrifugal concentrator. In the study, behaviours of gravity recoverable gold (GRG) and gold containing sulphide minerals was investigated in a grinding circuit. Also, effect of particle size and grade distribution on the Falcon concentrator performance was investigated. By using coarse sample, a concentrate containing 3 ppm Au, by using fine sample a concentrate containing 34.50 ppm Au were obtained. Fractional gold analyses of concentrates and tails revealed that fractional gold recovery of coarse sample was higher. Falcon concentrator performance depends on both operating parameters and material properties. Therefore, a pre-concentrate can be obtained from classifier underflow stream by using gravity separation

Keywords: Yenipazar ore, Gold recovery, Falcon concentrator, Centrifugal force

1. Giriş

Altın doğada genellikle saf halde veya altın-gümüş alaşımı olarak bulunur. Bunun yanı sıra, minerallerin kristal kafeslerinde kendisine kimyasal olarak benzeyen bakır, gümüş gibi elementler ile yer değiştirebilir veya pirit (FeS_2), arsenopirit ($FeAsS$), kalkopirit ($CuFeS_2$), stibnit (Sb_2S_3), orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) gibi mineraller içerisinde küçük kapanımlar halinde gözlenir. Altın içeren cevherin mineralojik özellikleri, bu soy metalin kazanılması için uygulanacak birim yöntemleri belirler. Bu nedenle öncelikle cevher mineralojisinin ayrıntılı olarak belirlenmesi önem arz etmektedir [1].

Günümüzde altın yaygın olarak siyanür liçi ile kazanılmaktadır. Bu yöntemde, suda çözünen siyanür tuzları (sodyum veya potasyum siyanür) cevher ile temas ederek cevher içinde bulunan altını çözelti içerisine almaktadır. Siyanür liçi yönteminin dünya çapında kabul görmesinin başlıca nedeni, basit ve kendini kanıtlamış oluşudur [2]. Bununla birlikte cevher içerisindeki iri taneli altının kazanımında çeşitli gravimetrik (yer çekimi ile) zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Klasik gravimetrik zenginleştirme yöntemlerinde altın taneleri tercihen serbest ve iri olmalıdır. Çünkü gravimetrik zenginleştirme ekipmanlarının verimi ince tane boylarında daha düşüktür. Klasik gravimetrik zenginleştirme ekipmanları, daralan oluklar, jigler, spiral zenginleştiriciler, sallantılı masalar, ikiz masalar (Gemini), Bartles - Mozley masası, Bartles zenginleştirme bandı ve Reichert konisi olarak sınıflandırılabilir. Ancak 90'lı yılların başında geliştirilen Knelson ve Falcon gibi santrifüj zenginleştiriciler ince boydaki serbest altın ve altın içeren tanelerin gravimetrik yöntemler ile zenginleştirilebileceğini göstermişlerdir [3,4].

Santrifüjlü yer çekimi ayırıcıları dikey eksenli ekipmanlar ve türleri (Knelson, Falcon vb), merkezkaç kuvvetini kullanan jigler ve yatay eksenli ekipmanlar (MGS) olmak üzere üç grupta incelenebilir. Dikey eksenli ayırıcılar, özellikle plaser tip yataklardan nabit ve ince boyda altın içeren cevherleri kazanmak için geliştirilmiştir [5]. Gravimetrik yöntemler kullanılarak yapılan altın kazanımı uygulamalarının çoğunda ekipmanı yerleştirmek için en doğru yer öğütme devresidir. Siklon üstü akışında bulunan ince boydaki altının sallantılı masa gibi klasik yöntemlerle zenginleştirilebilmesi oldukça zordur [6].

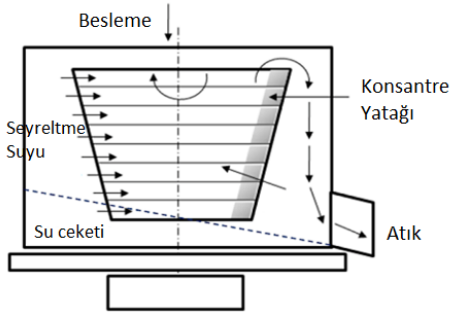
1.1. Falcon santrifüj zenginleştirici

Falcon santrifüj zenginleştirici Sepro Mineral Systems tarafından üretilmektedir. Bu ekipman, taneler üzerine uyguladığı yüksek santrifüj (merkezkaç) kuvveti ile farklı yoğunluk ve boyuta sahip tanelerin tabakalanmasını sağlamaktadır.

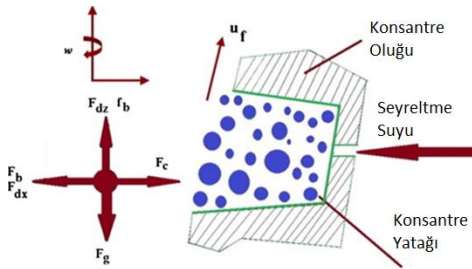
Ekipman çalışırken konik hazne içerisinde bulunan taneler yüksek merkezkaç kuvvetinin etkisi ile konik kısım içerisinde tabakalanmaya başlar. Hazne, tabakalanmanın oluşabilmesi için gerekli yüksekliğe sahiptir. Malzeme üst kısma ulaştığında ise yüksek yoğunluğa sahip taneler konsantre oluklarına girerek burada birikirler [7]. Olukları dolduran ağır taneler ekipmanın modeline göre kesikli ya da sürekli olarak sisteminin dışına alınır. Yıkama frekansı otomatik olup istenilen tenör ve verim değerine göre ayarlanabilir. Falcon zenginleştiricilerinin 400 t/s kapasiteli, 600 G merkezkaç kuvvetine çıkabilen modelleri mevcuttur. Günümüzde aktif olarak kullanılan 3 çeşit Falcon modeli vardır. Bunlar Falcon SB (Semi-Batch), Falcon C (Continuous) ve Falcon UF (Ultra - Fine) olarak adlandırılır.

Falcon kesikli zenginleştirici altın, gümüş ve platin gibi değerli metallerin kazanılmasında kullanılmaktadır [8]. Bu model genelde siklon beslemesinde, siklon alt akımında ya da değirmen çıkışlarında kullanılmaktadır. Birçok uygulamada sallantılı masa gibi bir ekipmanla nihai zenginleştirme işlemleri uygulanmaktadır [8].

Kesikli Falcon zenginleştirici işletme maliyeti düşük bir ekipmandır. Özellikle altın madenciliğinde uygulama alanı bulmuştur. Tesis uygulamalarında elde edilecek sonuçları kestirmek için laboratuvar ölçekli testler yapılması ekipmanın kullanılacağı optimum noktayı belirlemek açısından önem arz etmektedir [6]. Falcon kesikli zenginleştirici şematik görünümü Şekil 1'de, basitleştirilmiş ayırım mekanizması ise Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'de, Fg yerçekimi kuvvetini, Fc santrifüj kuvvetini, Fd sürüklenme kuvvetini, Fb santrifüj alan içerisindeki kaldırma kuvvetini, fb yerçekimi alanı içerisindeki kaldırma kuvvetini, uf su hızını, W ise açılma hızı ifade etmektedir.



Şekil 1. Falcon L40 laboratuvar ölçekli zenginleştiricinin şematik görünümü



Şekil 2. Falcon zenginleştirici basitleştirilmiş ayırım mekanizması

Ülkemizde Falcon ve Knelson tipi santrifüj ayırıcılar ile atıkların değerlendirilmesi ve altın kazanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır [9-14]. Elde edilen sonuçlar Falcon ve Knelson santrifüj zenginleştiricilerin farklı mineralojik özellikler ve altın tenörlerine sahip cevherlerin ön zenginleştirmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Elde edilen ön zenginleştirme atıklarına ise siyanür liçi uygulanarak ekonomik ve etkin bir şekilde altın kazanılabileceği de ifade edilmektedir [13].

Bu çalışmanın amacı ise, volkanojenik masif sülfürlü (VMS) yapıda olan Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevheri için kurulacak tesiste yer alacak öğütme devresinden yer çekimi ile altın kazanımı olanaklarının laboratuvar ölçekli olarak incelenmesidir.

Bu amaçla, devredeki yer çekimi ile kazanılabilir altının (GRG) ve altın içeren sülfürlü minerallerin bir öğütme devresindeki davranışlarını incelemek için farklı numuneler hazırlanmıştır. Besleme tane boyu dağılımı ve tenör değişikliklerinin Falcon zenginleştirici üzerindeki etkisini incelemek üzere devrede yer alması planlanan siklonun alt ve üst akımı gibi farklı akışları için altın kazanımını belirlemeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Falcon

zenginleştiricinin farklı beslemeler için fraksiyonel altın kazanım verimleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Yenipazar cevheri için henüz bir zenginleştirme tesisi kurulmamıştır. Bu nedenle çalışmadan elde edilecek sonuçlar hem gravimetrik yöntemler ile cevherden ekonomik bir altın konsantrasyonu alınıp alınamayacağı, hem de Falcon zenginleştiricisinin devredeki en uygun kullanım noktası hakkında önemli bilgilerin elde edilmesini sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan cevhere ait, mineralojik analiz çalışmaları, numune hazırlama çalışmaları, laboratuvar ölçekli Falcon zenginleştirici ile gerçekleştirilen altın kazanımı çalışmaları ve madde denkliği çalışmaları yer verilmektedir.

2.1. Mineralojik analiz çalışmaları

Yenipazar cevheri mineralojik analiz çalışmaları maden sahasının 0-18 aylık üretim planı için yapılan sondajlardan alınan temsili numuneler kullanılarak QEM*SCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy) sistemi ile yapılmıştır. Bu sistemde, enerji dağıtım X-ışını sinyalleriyle taneler noktalar halinde haritalanmakta, işlemi hızlandırabilmek için simetrik yerleştirilmiş 4 dedektörle çalışılmaktadır [15].

QEM*SCAN sisteminde X-ışını spektrasi kullanılarak her nokta piksel detektörler ile 10 milisaniye gibi çok kısa bir sürede analiz edilmekte, mineral fazları ise içerdikleri elementlerin oranına ve geriye saçılmış elektron şiddetine göre sınıflandırılmaktadır. Elementin varlığı o elemente ilişkin X-ışını spektrisindeki karakteristik piki ile belirlenmektedir. Nicel EDS analizi sayesinde mevcut elementlerin miktarı hesaplanmakta, her noktanın analizi sonucunda elde edilen bilgi QEM*SCAN'ın geniş mineral veri tabanı ile karşılaştırılmaktadır [15, 16]. Cevherin mineralojik analiz sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1 incelendiğinde, tüvenan cevherin çoğunlukla yumuşak silikatlar ve kuvars/feldspatlardan, cevher içindeki sülfürlü minerallerin ise pirit, Cu sülfürler (çoğunlukla kalkopirit %1,3), sfalerit, galen ve Zn oksitlerden meydana geldiği görülmektedir. Cevher içerisindeki ana gang minerali olan kuvars/feldspatlar, yumuşak silikatlar ($\cong 2,65 \text{ g/cm}^3$) ile altın içeren sülfürlü mineraller (pirit =

5,0, sfalerit = 4,0, galen = 7,5 ve kalkopirit = 4,2 g/cm³ arasında belirgin bir yoğunluk farkı vardır. Bu fark cevherin yoğunluk farkına dayalı bir ayırım için uygun olabileceği anlamına gelmektedir.

Tablo 1. Yenipazar cevheri mineralojik analiz sonuçları

Mineral Adı	Ağırlık (%)
Pirit	22,2
Cu Sülfürler	1,40
Sfalerit	5,50
Galen	2,10
Kuars/Feldspatlar	27,0
Yumuşak Silikatlar	33,5
Karbonatlar	1,20
Fe-(Ti) Oksitler	0,40
Zn-Oksitler	1,80
Barit	3,90
Diğerleri	1,10
TOPLAM	100,0

QEM*SCAN sistemi ile analiz edilen taneler ile bu taneler içerisinde yer alan sülfürlü minerallerin tane boyu dağılım eğrisinden elde edilen ortalama tane boyları (d₅₀) ve minerallere ait serbestleşme dereceleri Tablo 2'de sunulmaktadır.

Ortalama tane boyları incelendiğinde galen ve kalkopirit minerallerinin daha ince bir boyut dağılımına sahip olduğu pirit ve sfaleritin ise nispeten daha iri bir tane boyu dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Serbestleşme dereceleri incelendiğinde ise pirit ve sfaleritin 50 µm'de diğer minerallere göre serbestleşme derecelerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Ayrıca tüvenan cevhere daha önce yaptırılan standart GRG (Gravity Recoverable Gold) testi sonucunda öğütme devresinden elde edilebilecek toplam altın verimi %31 olarak tahmin edilmiştir. Test sonucunda altın veriminin tane boyu dağılımı ile değişebileceği ve daha ince boylarda serbestleşmenin artması ile verim değerinin de artacağı bildirilmiştir.

Standart GRG testi bir numunedeki yer çekimi yöntemleri ile kazanılabilir altın miktarını belirlemeye yönelik bir testtir [17].

Tablo 2. Tüvenan cevher minerallerine ait ortalama tane boyları ve serbestleşme dereceleri

Mineral	d ₅₀ (µm)	Serbestleşme (%)
Kalkopirit	30	84,30
Pirit	41	95,00
Sfalerit	36	83,10
Galen	28	69,30
Tane Boyu	49	-

Yenipazar cevheri içerisindeki altın minerallerinin çoğu kalkopirit ile gelen bir parajenez içine oturmuş durumdadır. Yani elde edilecek bir kalkopirit konsantresi altının da yaklaşık olarak % 90'ını kazanmaktadır. Bu durumun bir benzeri gümüş için de geçerlidir. Gümüşte galenitlerle birlikte yaklaşık olarak % 95 oranında kazanılabilmektedir [18].

2.2. Numune hazırlama çalışmaları

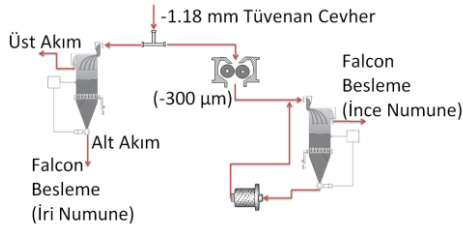
Numune hazırlama çalışmalarının ilk aşamasında maden sahasından elde edilen karot numuneleri üretim planı doğrultusunda birleştirilerek tamamı 1,18 mm'nin altına kırılmış ve elde edilen kompozit numunenin kimyasal analizi yapılmıştır. Tüvenan cevher numunesine ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Numune hazırlama çalışmaları altın içeren tanelerin öğütme devrelerindeki genel davranımı temel alınarak yürütülmüştür. Tüvenan cevherin temsili bir kısmı laboratuvar ölçekli bir kırıcı kullanılarak %80'i 0,75 mm'den ince olacak şekilde "iri numune" kodlaması ile kırılmıştır. İri numune tesiste yer alacak değirmen ürününü temsil etmektedir. İri numune ardından bir hidrolik sınıflandırıcıya beslenmiştir. Hidrolik sınıflandırıcıdan alınan iri alt akım ise altın kazanımı testleri için Falcon zenginleştirici beslemesi olarak alınmıştır.

Tablo 3. Tüvenan cevhere ait kimyasal analiz sonuçları

Element	Tenör (ppm)
Au	0,96
Ag	32
Al	33000
Ca	3300
Cu	5400
Fe	99783
K	30000
Pb	11300
Ti	1600
Zn	17400

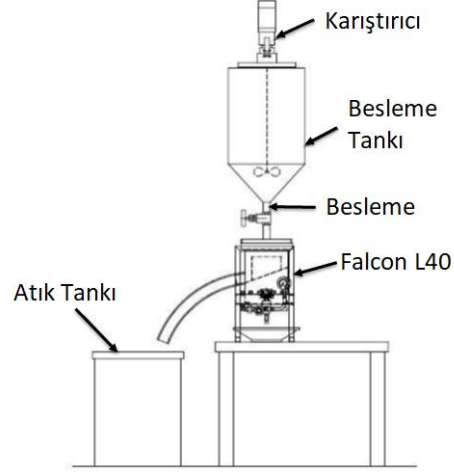
Numunenin kalan temsili kısmı ise tesiste yer alacak siklon üstü numunesini temsil etmesi amacıyla öncelikle laboratuvar ölçekli bir merdaneli kırıcı ile tamamı 0,3 mm'den %80'i 0,12 mm'den ince olacak şekilde, "ince numune" kodlaması ile kırılmıştır. İnce numune daha sonra laboratuvar ölçekli bir hidrolik sınıflandırıcı ile kapalı devre sınıflandırılmıştır. Bu çalışma esnasında hidrolik sınıflandırıcı üst akımı Falcon zenginleştirici beslemesi olarak alınırken, hidrolik sınıflandırıcı alt akımı ise her döngünün sonunda laboratuvar ölçekli bir değirmende öğütülerek aynı koşullar altında sınıflandırıcıya geri beslenmiştir. Numune hazırlama çalışmalarına ait basitleştirilmiş akım şeması Şekil 3'te verilmektedir.

**Şekil 3.** Numune hazırlama çalışmalarına ait basitleştirilmiş akım şeması

2.3. Altın kazanımı çalışmaları

Altın kazanımı çalışmaları kesikli olarak çalışan laboratuvar ölçekli Falcon L40 kullanılarak yürütülmüştür. Ekipman içerisinde bulunan konsantre haznesinin hacmi 65 ml olup, santrifüj kuvveti 300 G değerine kadar çıkabilmektedir [8]. Deney düzeneği ve Falcon santrifüj zenginleştiricisinin konsantre haznesine ait

fotoğraf görüntüsü sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir.

**Şekil 4.** Altın kazanımı çalışmaları basitleştirilmiş deney düzeneği**Şekil 5.** Falcon L40 zenginleştiricisinin konsantre haznesinin içten görünümü

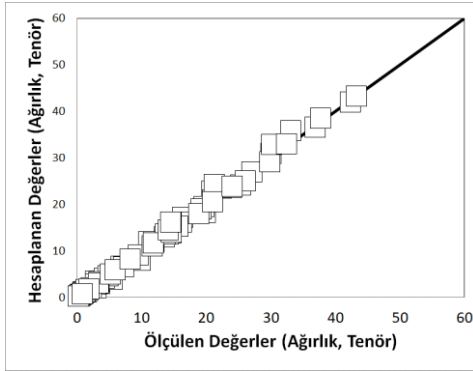
Testler sırasında 100'er gramlık hazırlanan besleme numunesi karıştırıcıda %30 katıda karıştırılarak toplamda 1 kg numune ekipmana beslenmiştir. Deney esnasında atık büyük bir tankta toplanırken, konsantre 100 gr'lık numunenin bitirilmesi sonucunda ekipmanın durdurulması ve iç haznenin temizlenmesi ile elde edilmiştir. İri ve ince numune ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen besleme, konsantre ve atıkların kimyasal analizleri yapılmıştır.

İri numune ile yapılan altın kazanım çalışmaları esnasında yüksek santrifüj kuvveti ve düşük seyreltme suyu basıncında herhangi bir atık numunesi alınamamıştır. Bu koşullarda numunenin iri olması nedeniyle besleme hazne içerisinde birikme eğilimi göstermiştir. Bu nedenle santrifüj değeri 50 Hz (123 G),

seyreltme suyu basıncı 1 bar değerine sabitlenmiştir. İnce numune ile yapılan deneysel çalışmalar esnasında ise yüksek seyreltme suyu basıncında hazne içerisinde malzeme birikimi gözlenmemiştir. Bu nedenle seyreltme suyu basıncı 0.5 bar değerine sabitlenmiştir. Yüksek tenörlü bir konsantre elde edilebilmesi ve hazne içerisinde birikme sağlanabilmesi amacıyla santrifüj değeri 70 Hz (240 G) değerine sabitlenmiştir.

2.3. Madde denklığı çalışmaları

Herhangi bir örnekleme çalışması sırasında, sistemin dinamik yapısından, fiziksel koşullardan, ölçüm hatalarından ve insan faktöründen kaynaklanan bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Madde denklığı, ham verilerin istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak, devre etrafındaki akış ve tenör değerlerinin en iyi şekilde tahmin edilmesini kapsamaktadır. Laboratuvar ölçekli çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak hidrolik sınıflandırma ve altın kazanımı çalışmalarındaki numune alma koşulları için madde denklığı oluşturulmuştur. Hidrolik sınıflandırma kapsamında madde denklığı kullanılarak sınıflandırıcı etrafı tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak düzeltilmiş ve bu değerler kullanılarak sınıflandırıcının deney koşullarında akış değerleri hesaplanmıştır. Altın kazanımı çalışmalarında ise konsantre ve atık altın tenörleri ile fraksiyonel altın tenörleri kullanılarak tüm testlere ait tenör değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan tüm değerler $y=x$ eğrisi üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

Sonuçlar incelendiğinde hem ölçülen ve hesaplanan ağırlık değerlerinin hem de ölçülen ve hesaplanan tenör değerlerinin $y=x$ eğrisi üzerinde çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuç deneysel çalışmaların ve numune alma işlemlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

3. Bulgular

3.1. İri numuneye uygulanan hidrolik sınıflandırma çalışmalarından elde edilen bulgular

İri numune ile yürütülen hidrolik sınıflandırma çalışmalarında tüvenan cevherin önemli bir bölümünü oluşturan kuvars/feldspatlar ve yumuşak silikatların mümkün olduğunca sınıflandırıcı üst akımından alınması, sınıflandırıcı alt akımında ise nispeten daha iri ve daha yüksek yoğunluğa sahip tanelerin biriktirilmesi hedeflenmiştir. Bu test koşulu ile Yenipazar cevheri için kurulacak öğütme devresinde altın içeren tanelerinin sınıflandırıcı etrafındaki davranımları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Hidrolik sınıflandırıcı yukarı yönlü su hızı 150 μm boyutunda bir kuvars tanesinin çökelme hızına eşit olacak şekilde Stokes yasası ile hesaplanmıştır (Denklem 1).

$$V_t = \frac{(\sigma_k - \rho)gd^2}{18\eta} \quad (1)$$

Burada,

V_t : Tanenin terminal çökelme hızı,

σ_k : Katı yoğunluğu (t/cm^3),

ρ : Sıvı yoğunluğu (t/cm^3),

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2),

d : Tane boyu (m),

η : viskozite,

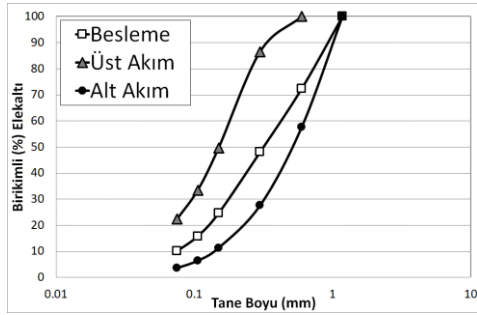
şeklinde verilmektedir. Stokes yasasına göre 150 μm 'lik bir kuvars tanesinin çökelme hızı 20 mm/s olarak hesaplanmıştır. Aynı yönde bir yıkama suyu hızı elde etmek için hidrolik sınıflandırıcı yıkama suyu miktarı 12 l/dk. olarak hesaplanmıştır. İri numune ile gerçekleştirilen sınıflandırma testine ait analiz sonuçları ise Tablo 4'te, ölçülen-hesaplanan tane boyu dağılımları ise Şekil 7'de sunulmaktadır.

Tablo 4. Hidrolik sınıflandırıcı etrafı tenör ve verim değerleri

Akış Adı	Ağırlık			Tenör		
	(%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu %	Pb %	Zn %
Alt Akım	65,25	1,21	39,00	0,67	1,38	2,08
Üst Akım	34,75	0,48	18,00	0,31	0,66	1,09
Besleme	100	0,96	32,00	0,54	1,13	1,74

Akış Adı	Ağırlık			Verim (%)		
	(%)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
Alt Akım	65,25	82,50	80,27	79,98	79,74	78,18
Üst Akım	34,75	17,50	19,73	20,02	20,26	21,82

Tablo 4 incelendiğinde hidrolik sınıflandırıcı beslemesinin ağırlıkça %65,25'inin alt akımdan alındığı, aynı zamanda alt akım metal tenörlerinin de yükseldiği görülmektedir.

**Şekil 7.** İri numune hidrolik sınıflandırıcı etrafı ölçülen-hesaplanan tane boyu dağılımı

Şekil 7'de yer alan her bir nokta ölçülen değerleri, düz çizgiler ise madde denklığı sonucunda hesaplanan değerleri göstermektedir. Tüm değerlerin birbirine oldukça yakın olması numune alma çalışmalarının başarı ile yürütüldüğünü ortaya koymaktadır.

Hidrolik sınıflandırıcı etrafı metal verimleri ise özellikle altın ve gümüş veriminin %80'in üzerinde olduğunu göstermektedir.

Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da altın ve altın içeren tanelerin yüksek yoğunlukları nedeniyle siklon alt akımında biriktikleri ve bu noktaya yer çekimi ile bir ön zenginleştirme uygulanmasının altın kazanımı açısından uygun

olacağı bildirilmiştir [13, 19-21]. Ancak altının sınıflandırıcı alt akımında hangi boyut aralıklarında yer aldığı ön zenginleştirme işleminin performansı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle sınıflandırıcı alt akımındaki altının tane boyu fraksiyonlarına nasıl dağıldığının tespit edilmesi amacıyla alt akım numunesine fraksiyonel altın analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5'e göre hidrolik sınıflandırıcı alt akımının ağırlıkça %88,74'ü 0,150 mm'den iridir. İnce fraksiyonların alt akım içerisindeki ağırlıkları beklendiği üzere oldukça düşüktür. Hidrolik sınıflandırıcı alt akımı fraksiyonel altın tenörleri incelendiğinde iri boydan ince boya gidildikçe altın tenörünün arttığı görülmektedir. Özellikle en ince boy olan -0,075 mm fraksiyonunda altın tenörü 4,91 ppm'e çıkmaktadır. Fraksiyonel tenör dağılımı ince boylarda altın tenörü yüksek tanelerin sınıflandırıcı alt akımına gelebildiğini göstermektedir. Ancak bu fraksiyonların alt akım içerisindeki ağırlıkları oldukça düşüktür.

Hidrolik sınıflandırıcı alt akımı fraksiyonel altın verimi incelendiğinde alt akıma gelen altının %73,75'inin 0,15 mm'den iri fraksiyonlardan, %14,25'inin ise 0,075 mm'den ince fraksiyondan geldiği görülmektedir. Fraksiyonel verim değerleri sınıflandırıcı alt akımındaki altının daha çok iri ve ince boylardan kazanıldığını göstermektedir.

Tablo 5. Hidrolik sınıflandırıcı alt akımı fraksiyonel altın analizi sonuçları

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)		Tenör (ppm)	Altın Verimi (%)	
	Fraksiyonel	Ana Besleme		Fraksiyonel	Ana Besleme
1,180+0,600	42,30	27,60	0,95	33,05	27,26
0,600+0,300	30,08	19,63	1,05	26,10	21,53
0,300+0,150	16,36	10,68	1,08	14,60	12,05
0,150+0,106	4,91	3,20	1,28	5,19	4,28
0,106+0,075	2,84	1,85	2,90	6,81	5,62
-0,075	3,51	2,29	4,91	14,25	11,76
Toplam	100,00	65,25	1,21	100,00	82,50

Tablo 2 ve Tablo 5 birlikte değerlendirildiğinde, iri boylardan kazanılan altının daha çok bağlı taneler şeklinde, ince boylarda kazanılan altın ve gümüşün ise daha çok serbest kalkopirit ve serbest galen taneleri içerisinde alt akıma geldiği düşünülmektedir. Altın-bakır, gümüş-kurşun verimlerinin birbirine çok yakın olması da bu sonucu desteklemektedir.

İri numune ile gerçekleştirilen hidrolik sınıflandırma çalışması çökelme hızı hesaplarından yararlanılarak düşük yoğunluklu minerallerin üst akımdan alındığı koşulda metalik minerallerin ve altının yüksek verimde alt akımdan kazanılabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda cevher ve yan kayaç yapısı ile akım şeması uygun bir tesiste sınıflandırıcı alt akımının devreden yük olarak değirmene geri döndürülmeden gravimetrik yöntemler ile zenginleştirmeye tabi tutulması önerilebilir. Bu yöntemin kullanılması ile metalik minerallerin öğütme boyundan çok daha ince boylara öğütülmesinin ve sonraki zenginleştirme aşamasında verim kaybının önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Ancak bir ön zenginleştirme devresinin tasarlanması sırasında iri boylardaki serbestleşme dereceleri de mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2. İri numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı çalışmalarından elde edilen bulgular

İri numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı çalışmasına ait sonuçlar Tablo 6'da sunulmaktadır. Zenginleştirme çalışması sonunda Falcon beslemesinin ağırlıkça % 17,18'i konsantre olarak elde edilmiştir. Normal çalışma koşullarında Falcon konsantresinin ağırlıkça %1-2 gibi bir değerde olması beklenmektedir. Ancak besleme numunesinin iri ve dar bir tane boyu aralığına sınıflandırılmış olması sonucu konsantreye gelen miktarın arttığı görülmektedir. Bu durum ekipman içerisinde yoğunluğa bağlı tam seçimli bir ayırım olmadığına da göstergesidir.

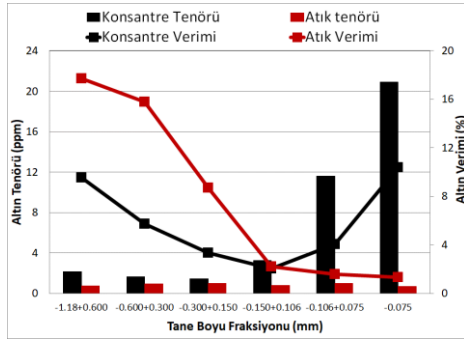
Elde edilen konsantrenin altın ve gümüş tenörleri sırasıyla 3,00 ppm ve 85,00 ppm'dir. Konsantre verimleri ise oldukça düşüktür. Beslemedeki altının %42,60'ı, gümüşün ise %37,44'ü konsantre içerisinde kazanılmıştır. Konsantredeki altın-bakır ve gümüş-kurşun verimleri de benzerlik göstermektedir. Konsantredeki altın ve gümüş verimleri ana beslemeye göre sırasıyla % 35,14 ve % 30,05'tir. Bu değerler diğer metaller için daha düşüktür.

Altının Falcon santrifüj zenginleştirici ürünlerindeki fraksiyonel davranımını belirlemek amacıyla konsantre ve atık numunelerine fraksiyonel altın analizi yapılmıştır. Falcon zenginleştirici ürünlerine ait tenör- verim değerleri Şekil 8'de verilmektedir.

Tablo 6. İri numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı testi sonuçları

	Tenör					
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu %	Pb %	Zn %
Konsantre	17,18	3,00	85,00	1,52	3,00	2,60
Atık	82,82	0,84	29,46	0,49	1,04	1,97
Besleme	100,00	1,21	39,00	0,67	1,38	2,08

	Verim (%)					
	Ağırlık (%)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
Konsantre	17,18	42,60	37,44	39,12	37,35	21,48
Atık	82,82	57,40	62,56	60,88	62,65	78,53

**Şekil 8.** İri numune Falcon ürünlerine ait altın tenörü ve verimi

Şekil 8 incelendiğinde konsantre içerisinde iri boydan ince boya gidildikçe altın tenöründe önemli bir artış gözlenmektedir. Fraksiyonel altın tenörü -1,18+0,60 mm fraksiyonunda 2,17 ppm iken bu değer -0,075 mm fraksiyonunda 20,91 ppm'e kadar yükselmektedir. Buna karşılık atık içerisindeki fraksiyonel altın tenörleri oldukça düşük değerlerdedir.

Beslemedeki altının konsantre tane boyu fraksiyonları içerisindeki dağılımı incelendiğinde altının genellikle iri ve ince boyut fraksiyonlarından kazanıldığı görülmektedir. Konsantre -0,075 mm fraksiyonu en yüksek altın verimine sahiptir. Tablo 2'de sunulan sülfürlü minerallerin serbestleşmeleri de dikkate alındığında Falcon zenginleştiricinin ince ve yüksek serbestleşme derecesine sahip taneleri daha verimli kazandığı görülmektedir. İri boylarda konsantreye altın kazanımı olmasına rağmen fraksiyonel tenörler oldukça düşüktür.

Bu durum iri boylarda genellikle bağlı tanelerin konsantrede kazanıldığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Beslemedeki altının atık tane boyu fraksiyonları içerisindeki dağılımı altın kaybının daha çok iri boylarda olduğunu göstermektedir. Tane boyu incelmeye ve serbestleşme derecesinin artmasının ise atık verimini düşürdüğü görülmektedir.

İri numune ile gerçekleştirilen hidrolik sınıflandırma çalışmalarında metal verimi yüksek bir altın ürünü elde edilmiştir. Altının % 17,50'si ise üst akımdan kaybedilmiştir. Falcon zenginleştirici ile yapılan altın kazanımı çalışmaları sonucunda iri boylarda düşük ince boylarda yüksek altın tenörüne sahip bir konsantre elde edilmiştir. Atıktaki altının ise iri boylardan kaybedildiği belirlenmiştir. Bu durumun fraksiyonel serbestleşme dereceleri ile yakından alakalı olduğu açıktır. Bu sonuçlar doğrultusunda sınıflandırıcı alt akımının doğrudan ön zenginleştirmeye tabi tutulması yerine kontrollü bir açık öğütme süreci ile bir miktar daha ince boya öğütülmesinin nihai konsantre tenör-verim değerlerini olumlu etkileyeceği düşünülmektedir. Ancak öğütme esnasında herhangi bir sınıflandırma ekipmanı kullanılması önerilmemektedir. Toplam beslemenin % 65,25'nin öğütmeye tabi tutulmasının hem değirmen boyutlandırması hem de enerji maliyetleri konusunda olumlu etki yaratacağı düşünülmektedir.

3.2. İnce numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı çalışmalarından elde edilen bulgular

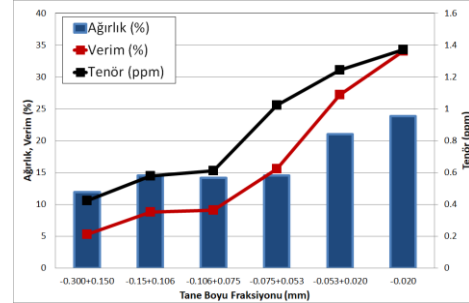
İnce numune ile gerçekleştirilen altın kazanım çalışmasına ait sonuçlar Tablo 7'de sunulmaktadır. Sonuçlara göre Falcon beslemesinden ağırlıkça %1,44'lük bir konsantre 34,50 ppm altın ve 172,97 ppm gümüş tenörü ile elde edilmiştir. Verimler incelendiğinde ise, altının %51,77'sinin konsantreden alındığı görülmektedir. Ancak gümüşte dahil olmak üzere diğer metallerin konsantre verimleri oldukça düşüktür.

İnce numune ile yapılan altın kazanımı çalışmalarında da gümüş-kurşun verim değerleri oldukça benzerdir. Ancak altın-bakır verim değerleri arasında çok önemli bir fark mevcuttur.

Deney koşulu gereği kapalı devre öğütülen numune içerisindeki yüksek yoğunluklu sülfür minerallerinin öğütme boyundan ince bir boya öğütüldüğü düşünülmektedir. İnce numunenin yaklaşık olarak % 25'inin 38 µm'den daha ince olması bu durumun bir sonucudur. Konsantre metal verimleri çok düşük değerlerde iken altın tenör ve veriminin yükselmesi altının sadece sülfürlü mineraller ile bağlı olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır. Sonuçlar gravimetrik yöntemler (GRG) ile kazanılacak altın varlığı ile açıklanabilir. Gümüş ve kurşun verimlerinin birbirine çok yakın olması ise gümüşün galen minerali bünyesinde olduğunu açıkça göstermektedir.

Altının Falcon santrifüj zenginleştirici ürünlerindeki fraksiyonel davranımını belirlemek amacıyla besleme, konsantre ve atık numunelerine fraksiyonel altın analizi yapılmıştır. İnce besleme numunesine ait

fraksiyonel ağırlık, tenör ve verim değerleri Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Falcon beslemesi fraksiyonel ağırlık, altın tenörü ve verimi (İnce Numune)

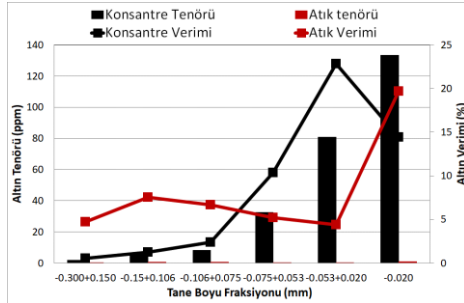
Şekil 9'da besleme numunesinin ağırlıkça % 59,36'sının 0.075 mm'den ince olduğu görülmektedir. Ayrıca besleme içerisindeki altının %76,88'i de bu boydan ince fraksiyonlarda bulunmaktadır. Numune hazırlama işlemleri sırasında hidrolik sınıflandırıcı alt akımı değirmende öğütülerek sınıflandırıcıya geri beslenmiştir.

Tablo 7. İnce numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı testi sonuçları

	Tenör					
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu %	Pb %	Zn %
Konsantre	1,44	34,50	172,97	0,67	5,91	2,07
Atık	98,56	0,47	29,95	0,54	1,06	1,74
Besleme	100	0,96	32,00	0,54	1,13	1,74

	Verim (%)					
	Ağırlık (%)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
Konsantre	1,44	51,77	7,76	1,77	7,51	1,71
Atık	98,56	48,23	92,24	98,23	92,49	98,29

Bu işlemdeki temel amaç ise özellikle altın gibi yüksek yoğunluğa sahip tanelerin konvansiyonel bir öğütme devresindeki davranışını temsil etmektir. Tekrarlı öğütme ve sınıflandırma sonucunda besleme malzemesinin önemli ölçüde incelmesi ve aynı nedenle ince fraksiyonlardaki altın içeriğinin yükseldiği düşünülmektedir. İnce numune Falcon zenginleştirici ürünlerine ait altın tenör-verim değerleri Şekil 10'da verilmektedir.

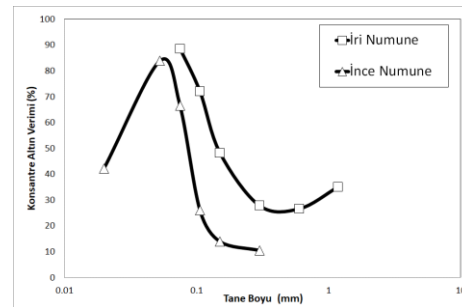
**Şekil 10.** İnce numune Falcon ürünlerine ait altın tenörü ve verimi

Şekil 10'da iri numuneye benzer şekilde ince numune konsantresinde de iri boydan ince boya gidildikçe altın tenöründe önemli bir artış gözlenmektedir. Fraksiyonel altın tenörü -0,300+0,150 mm fraksiyonunda 1,86 ppm iken bu değer -0,020 mm fraksiyonunda 133,32 ppm'e kadar yükselmektedir. Buna karşılık atık içerisindeki fraksiyonel altın tenörleri oldukça düşük değerlerdedir. Ancak atık içerisinde -0,020 mm fraksiyonunda altın tenörü 0,795 ppm değerine yükselmektedir. Beslemedeki altının % 19,69'u bu boydan kaybedilmektedir.

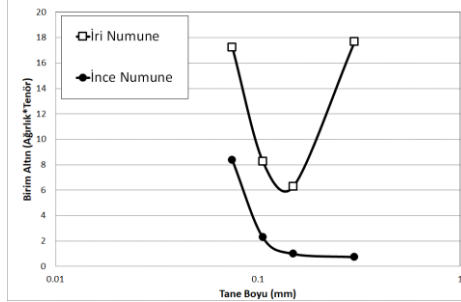
Verim değerleri incelendiğinde Falcon zenginleştiricisinin ince boylarda daha verimli çalıştığı, ancak -0,020 mm fraksiyonunda ani bir verim kaybı yaşandığı görülmektedir. Bu durum Falcon zenginleştiricisinin serbest dahi olsa 0,020 mm'den ince altın tanelerini verimli şekilde yakalayamadığı anlamına gelmektedir.

Madde denkliği çalışmalarından elde edilen sonuçlar kullanılarak Falcon zenginleştiricisinde iri ve ince numune koşullarında herhangi bir tane boyundaki altının konsantreye gitme oranı (verimi) hesaplanmıştır (Şekil 11).

Şekil 11 incelendiğinde her iki numunenin de iri tane boyu fraksiyonlarında konsantre altın verimi düşüktür. Tane boyu fraksiyonunun incelenmesi ise konsantre altın verimini önemli ölçüde yükseltmektedir. Aynı tane boyu fraksiyonunda iri numune fraksiyonel verim değerlerinin ince numuneye göre yüksek olduğu görülmektedir.

**Şekil 11.** Falcon zenginleştirici tane boyuna bağlı konsantre verimi

Bir başka deyişle iri numune $-0,106+0,075$ mm fraksiyonu içerisindeki altının konsantreye gitme oranı ince numuneye göre daha yüksektir. Bu durumu açıklamak için her iki numunede aynı tane boyu fraksiyonlarına ait birim altın miktarları hesaplanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. İri ve ince numune birim altın miktarları

Şekil 12 incelendiğinde aynı tane boyu fraksiyonunda iri numune içerisindeki birim altın miktarının ince numuneye oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. İri numune hidrolik sınıflandırma ile elde edilmiştir. Dolayısıyla elde edilen ürünün hem tane boyu dağılımı daralmış hem de fraksiyonel altın tenörü artmıştır. Aynı tane boyu fraksiyonunun iri numunede daha yüksek verimle konsantreye gitmesi ve konsantre veriminin daha yüksek olması bu şekilde açıklanmaktadır.

İri numunede en yüksek verim değeri $-0,075$ mm fraksiyonunda, ince numune içinse $-0,053+0,020$ mm fraksiyonundadır. İnce numune verim eğrisi incelendiğinde $-0,020$ mm fraksiyonunda ani bir düşüş yaşanmaktadır. Bu sonuç Falcon zenginleştiricisinin $0,020$ mm'den ince tanelerde daha verimsiz çalıştığını göstermektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da çok ince boylarda Falcon zenginleştirici veriminin düştüğü bildirilmektedir [17,19-21].

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında, Yenipazar polimetallik Au-Ag-Cu-Pb-Zn cevheri üzerinde detaylı karakterizasyon çalışmaları yürütülmüş, Falcon santrifüj zenginleştirici ile zenginleştirme testleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın amacı kurulacak olan tesiste yer alacak öğütme devresinden gravimetrik yöntemler ile altın kazanımı olanaklarının araştırılması ve altın kazanımı için öğütme devresindeki en uygun akış kolunun belirlenmesidir. Ayrıca Falcon zenginleştirici

ürünlerine yapılan fraksiyonel altın analizi besleme tane boyu dağılımı ve fraksiyonel altın içeriğinin ekipman performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Hazırlanan ilk numune değirmen çıkışını temsil etmektedir. Bu numunedeki altın ve sülfürlü minerallerin bir sınıflandırıcıdaki davranımını kestirmek amacıyla laboratuvar ölçekli hidrolik sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Hidrolik sınıflandırma deney sonuçlarına göre alt akım altın ve gümüş verimlerinin %80'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, alt akım bakır, kurşun ve çinko verimleri de oldukça yüksektir. Bu sonuç, altın ve gümüş içeren tanelerin yüksek yoğunlukları nedeniyle hidrolik sınıflandırıcı alt akımında birikme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar tesiste yer alacak sınıflandırıcı alt akımının gravimetrik yöntemler ile bir ön zenginleştirmeye tabi tutulabileceği şeklinde yorumlanmaktadır.

Hidrolik sınıflandırıcı alt akım numunesi ile gerçekleştirilen altın kazanımı testi sonucunda ağırlıkça % 17,18'lik bir konsantre elde edilmiştir. Elde edilen konsantrenin altın ve gümüş tenörleri sırasıyla 3,00 ppm ve 85,00 ppm ana beslemeye göre verimleri ise sırasıyla % 35,14 ve % 30,05'tir. Konsantrenin altın tenörü ana beslemeye göre 3 kat arttırılmıştır. Elde edilen konsantre ve atığa yapılan fraksiyonel altın analizi sonucunda konsantre içerisindeki ince boylarda altın tenörünün yükseldiği, atık içerisindeki ince boylarda ise altın tenörünün düştüğü belirlenmiştir. Beslemedeki altının atık tane boyu fraksiyonlarındaki dağılımı altın kaybının daha çok iri boylarda olduğunu göstermiştir. Tane boyunun incelenmesi ve dolayısıyla serbestleşme derecesinin artması atık verimini düşürmektedir.

Malzeme karakterizasyonu çalışmaları cevherin iri boylarda serbestleşme sorunu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle devrede yer alacak sınıflandırma ekipmanının alt akımı doğrudan bir ön zenginleştirmeye tabi tutulduğunda konsantre veriminin düşük değerlerde kalacağı düşünülmektedir. Bunun yerine elde edilen alt akımın kontrollü bir şekilde açık devre öğütülmesi ve ardından gravimetrik yöntemler kullanılarak bir ön zenginleştirmeye tabi tutulması önerilmektedir.

Hazırlanan ikinci numune sınıflandırıcı üst akımını temsil etmektedir. Bu numunenin hazırlanması sırasında hidrolik sınıflandırıcı alt akımı toplanarak yeniden öğütülmüştür. Bu

şekilde altının bir öğütme devresinde aşırı öğünmeye maruz kalması temsil edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen Falcon beslemesine uygulanan fraksiyonel altın analizi sonuçları numunenin ağırlıkça % 59,36'sının 0,075 mm'den ince olduğunu, ayrıca besleme içerisindeki altının % 76,88'inin de 0,075 mm'den ince fraksiyonlarda bulunduğunu göstermiştir. Bu sonuç altın ve gümüş gibi yüksek yoğunluk değerlerine sahip tanelerin ancak öğütme boyundan (P_{80} 0,12 mm) daha ince boylara öğütülmesi durumunda sınıflandırıcı üst akımına taşınabildiğini açıkça göstermektedir.

İnce numune ile gerçekleştirilen altın kazanımı testinden ağırlıkça %1,44'lük bir konsantr 34,50 ppm altın, 172,97 ppm gümüş tenörü ile elde edilmiştir. Bu koşulda altının % 51,77'si konsantreye alınmıştır. Konsantre ve atığa yapılan fraksiyonel altın analizleri sonucunda Falcon zenginleştiricisinin 0,10 mm'den ince boylarda iri boylara göre daha verimli çalıştığı belirlenmiştir. Ancak 0,020 mm'den ince fraksiyonda ani bir verim kaybı yaşanmaktadır. Bu durum Falcon zenginleştiricisinin serbest dahi olsa 0,020 mm'den ince altın tanelerini verimli şekilde yakalayamadığı anlamına gelmektedir.

İri ve ince numune ile yapılan altın kazanımı çalışmalarından elde edilen sonuçlar Falcon santrifüj zenginleştirici performansının işletme değişkenlerinin yanı sıra malzeme özelliklerine de bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Her ne kadar ince numune ile elde edilen konsantre altın verimi yüksek olsa da fraksiyonel anlamda altının konsantreye gitme oranı iri numunede daha yüksektir (Şekil 11). Bu nedenle öğütme devresinde yer alacak sınıflandırıcı alt akımından bir ön konsantre elde edilmesi faydalı görülmektedir. Ancak ekipmana besleme yapmadan önce bir kademe açık öğütme uygulanmasının cevher serbestleşmesini ve zenginleştirme performansını arttıracığı düşünülmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar altın kaybının daha çok iri boyut fraksiyonlarında bağlı taneler şeklinde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca ince numune ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Falcon zenginleştiricinin -100+20 µm fraksiyonunda oldukça verimli çalıştığını göstermektedir. İri numunenin kontrollü öğütülüp Falcon zenginleştiriciye beslenmesi sonucunda ince numune ile elde edilen yaklaşık % 51'lik altın veriminin yakalanacağı da

öngörülmektedir. Altın kazanımı çalışmalarından elde edilen atık ise tekrar sınıflandırıcıya ya da boyut dağılımının uygun olması durumunda zenginleştirme aşamasına doğrudan beslenebilir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan numuneyi temin eden ve kimyasal analizler konusunda desteğini esirgemeyen Aldridge Mineral Madencilik'e teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Bayraktar, İ., Yarar, B. 1985. Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, 6-10 Mayıs Ankara, 75-96.
- [2] Roshan, B.B., 1990. Hydrometallurgical Processing of Precious Metal Ores, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, Cilt. 6, s. 67-80. DOI:10.1080/08827509008952657
- [3] Knelson, B.V., 1988. Centrifugal Concentration and Separation of Precious Metals, 2nd Int. Conf. on Gold Mining, Vancouver, Nov.
- [4] Morley, C., 1992. Cassiterite Recovery with a Falcon Concentrator, Memorandum to B. Lewis, Rio Kemptville Tin Company, Jan.
- [5] Burt, R. O., Korinek, G., Young, S. R., Deveau C. 1995. Ultrafine tantalum recovery strategies, Miner. Eng., Cilt. 8, s. 859-870. DOI: 10.1016/0892-6875(95)00048-U
- [6] Laplante, A. R. 1993. A Comparative Study of Two Centrifugal Concentrators, Canadian Mineral Processors Conference. McGill University, Montreal, s. 14-15.
- [7] Yıldız, N. 2007. Cevher Hazırlama, Ertem Basım Ltd. Şti - Ankara, 730 s.
- [8] S. Systems, Falcon SB Gravity Concentrators. http://seprosystems.com/products/gravity-concentrators/_falcon-sb-gravity-concentrators/. [Erişim tarihi: 24.02.2018].
- [9] Sayın, Z. E., Aksoy, U. 2012. Mermer Toz Artıkları Özelliklerinin İyileştirilmesine Falcon Gravite Konsantratörün Etkisi, Madencilik, Cilt 51, Sayı 4, s. 23-29.
- [10] Önel, Ö. 2011. Altın Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Örnek Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İzmir.
- [11] Alp, İ., Celep, O., Deveci, H., Vıçıl, M. 2008. Recovery of Gold a Free-Milling Ore by Centrifugal Gravity Separator, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Cilt 32, s. 67-71.
- [12] Sayın, E., Batar, T., Kaya, E., Tufan, B. 2010. Altın Üretiminde Siyanür Tüketiminin Azalması İçin Farklı Bir Yöntem: Gravite Zenginleştirme ve Liç Kombinasyonu, Ekoloji, Cilt 19, s. 65-71. DOI:
- [13] Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M., Yılmaz, T. 2006. Knelson Santrifüj Gravite Ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) Cevherinden Altın Kazanımı, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Cilt 19, Sayı 2, s. 175-182.
- [14] Yamantaş, A. 2017. Yerçekimi ile Zenginleştirme Yöntemleri Kullanılarak Akarşen Cevherinden Altın Kazanımı Çalışmaları. Hacettepe Üniversitesi, Fen

- Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117 s, Ankara.
- [15] Can, N. M., Çelik, İ. B. 2009. Proses Mineralojisi: Cevher Hazırlamadaki Önemi, Ölçüm Yöntem ve Araçları-Bölüm I, Madencilik, Cilt 48, Sayı 1, s. 43-53
- [16] Çelik, İ. B., Can, N. M. 2009. Proses Mineralojisi: Veri Değerlendirme ve Uygulama Örnekleri-Bölüm II, Madencilik, Cilt 48, Sayı 2, s. 13-22
- [17] Laplante, A. R., Woodcock, F., Huang, L. 2001. Laboratory procedure to characterize gravity-recoverable gold, SME Trans, Cilt 308, s. 53-59
- [18] Akça, S. 2017. Aldridge'den Madencilığe Yenilikçi ve Şeffaf Yaklaşımlar. [http: // www. madencilik - turkiye. Com / pdfler / mak - 1379161247. pdf](http://www.madencilik-turkiye.com/pdfler/mak-1379161247.pdf) (Erişim tarihi: 26.01.2018)
- [19] Buonvino, M. 1993. A study of the Falcon concentrator, McGill University, Faculty of Graduate Studies and Research, Yüksek Lisans Tezi, 209 s, Kanada.
- [20] Laplante, A., Gray, S. 2005. Advances in gravity gold technology, Developments in Mineral Processing, Cilt 15, s. 280-306.
- [21] Banisi, S. 1990. An Investigation of the Behaviour of Gold in Grinding Circuits, McGill University, Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yüksek Lisans Tezi, 168 s, Kanada.