

Yer Çekimi İle Zenginleştirme Yöntemleri Kullanılarak Cu-Au Cevherinden Altın Kazanımı Çalışmaları

Gold Recovery From Cu-Au Ore Using Gravity Concentration Methods

AHMET YAŞAR YAMANTAŞ^{1*}, N. METİN CAN¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe – Ankara, Türkiye.

Geliş (received) : 09 Nisan (April) 2018

Kabul (accepted) : 18 Nisan (April) 2018

ÖZ

Bu çalışmada Karadeniz bölgesinde bulunan masif sülfürlü Cu-Au cevherinden yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak altın kazanımı amaçlanmıştır. Yer çekimi ile zenginleştirme çalışmalarında Falcon zenginleştiricisi ile sallantılı masa kullanılmıştır. MLA (Mineral serbestleşme analizi) sonuçlarına göre Cu-Au cevheri çoğunlukla pirit/markasit, barit, sfalerit, kalkopirit ve kuvars minerallerini içermektedir. Altının iri boyalarda Au-Ag alaşımı formunda (elektrum), daha ince boyalarda ise nabit formda olduğu ve altın içeren minerallerin genellikle pirit/markasit ile birlikte bulunduğu belirlenmiştir. Falcon zenginleştiricisi testleri, Cu-Au zenginleştirme tesisinin farklı akış kollarından alınan numunelerle gerçekleştirilmiştir. Falcon konsantrelerinin altın tenörünü arttırmak için, sallantılı masa kullanılmıştır. Falcon ile testler üç farklı G kuvvetinde yapılmıştır. G kuvveti arttıkça konsantre veriminin arttığı, tenörünün ise düştüğü belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda siklon beslemesinden %7.37 nihai verimle 255.75 ppm altın içeren konsantre, siklon altından %12.32 nihai verimle 168.80 ppm altın içeren konsantre ve sekonder değirmen çıkışından %12.44 nihai verimle 267.90 ppm altın içeren konsantre elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliğini belirlemek amacıyla, altı ay sonra testler tekrar edilmiştir. Bu testlerden, sekonder değirmen çıkışından %8.94 nihai verimle 306.00 ppm altın tenörüne sahip konsantre kazanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cu-Au cevheri, Falcon, Sallantılı Masa, Altın Kazanımı, Yer çekimi ile zenginleştirme

ABSTRACT

In this study, recovery of gold from massive sulphide Cu-Au ore from Black Sea region was aimed by using gravity concentration methods. Falcon concentrator and shaking table were used in gravity the studies. According to MLA results (Mineral Liberation Analyser), Cu-Au ore is composed mostly of pyrite/marcasite, barite, sphalerite, chalcopyrite and quartz minerals. It has been determined that gold occurs in Au-Ag alloy form (electrum) in coarser sizes and native form in finer sizes. The gold-bearing minerals were generally seen in pyrite/marcasite. Falcon concentrator tests were carried out on samples taken from different streams of the Cu-Au concentrator. In order to increase the gold grade of Falcon concentrates further, shaking table was used for final gold concentrate. The tests were conducted at three different G forces with Falcon. As the gold recovery improves with increasing G force increases but this results in a decrease in concentrate grade. As a result of the experimental studies, the concentrates from cyclone feed, cyclone underflow and secondary mill discharge were obtained with the grades and recoveries such as 255.75 ppm Au and 7.37%, 168.80 ppm Au and 12.32%, 267.90 ppm Au and 12.44% respectively.

After six months, the test on the secondary ball mill discharge was repeated to determine whether the previous result was reproducible. Fortunately, a compatible result in terms of the gold grade and recovery was obtained being 306.00 ppm Au and 8.94% recovery.

Keywords: Cu-Au ore, Falcon, shaking table, gold recovery, gravity concentration.

*A.Y. Yamantaş

e-posta: e-posta: ahmetyamantas@gmail.com

GİRİŞ

En eski zenginleştirme yöntemlerinden birisi olan yer çekimi ile zenginleştirme, minerallerin yoğunluk farkına göre ayrılmasına dayanır (Burt, 1984). Yer çekimi ile zenginleştirme tanım olarak ise farklı tane boyuna, şekle ve özgül ağırlığa sahip karışım içerisindeki tanelerin yer çekimi kuvveti ve/veya merkezkaç kuvveti ile birbirlerinden ayrılabilmesidir (Aplan, 1985). Yer çekimi ile zenginleştirme hem düşük yatırım ve işletme maliyeti, hem de zenginleştirme sırasında herhangi bir kimyasal kullanılmamasından dolayı ilgi çekmektedir (Falconer, 2003). Ayrıca, bir kimyasal işlem uygulanması durumunda, iri taneli elektrik ve nabit altının çözünme hızı oldukça düşük olduğundan, yer çekimi yöntemleriyle cevher içindeki iri elektrik ve altın tanelerinin öncelikle alınmasının çok ciddi yatırım ve işletme maliyeti avantajları vardır (Bayraktar ve Yazar, 1985).

Teknolojik ilerlemelere bağlı olarak 1990'lı yıllardan itibaren geliştirilen yüksek kapasiteli yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarının mineral endüstrisindeki kullanımı artmıştır. Bu ekipmanlar yüksek kapasiteleri ve düşük operasyonel maliyetlerinden dolayı tercih sebebi olmaya devam etmektedir. Modern yerçekimi ile zenginleştirme ekipmanları, geliştirilmiş pompa ve enstrümantasyon teknolojileri ile birleştirildiğinde 50 µm ve daha ince tane boylarında, yüksek kapasitede verimli bir zenginleşme sağlamaktadır (Holland-Batt, 1998). Özellikle nabit altın tanelerinin kazanımında ve içerisinde altın bulunduran sülfürlü minerallerin siyanürleme öncesi ön zenginleştirme işlemlerinde başarılı uygulamaları mevcuttur (Potorieko ve Yeomans, 2006). Bu uygulamalar sayesinde tesislerdeki altın kaçakları azaltılmış ve altın kazanım verimlerinde artış meydana gelmiştir. Falconer da merkezkaç kuvvetini kullanan modern bir zenginleştirici olup özellikle altın, gümüş, platin gibi değerli minerallerin kazanımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hızda dönebilen konik bir haznede taneler merkezkaç kuvveti etkisi altında zenginleştirilmekte olup 400 ton/saat kapasite ve 600 G kuvvetine çıkabilen farklı modelleri mevcuttur (Sepro Systems, 2017).

Cu-Au cevherinde de olduğu gibi volkanojenik masif sülfürlü yataklar değişen oranlarda altın içerebilir. Altının, tesiste üretilen konsantre ile birlikte alındığı durumlarda bir problem bulunmazken altının konsantreye yeterince alınamaması durumunda bunun nedenlerinin incelenmesi ve akım şemasında gerekli değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Buna yönelik

literatürde yapılan çalışmalarda; cevherin tipine, kullanılan zenginleştiricilerin tesiste uygulandığı akış yerlerine göre altın kazanımında farklı sonuçların elde edildiği belirtilmektedir (Laplante ve Gray, 2005; Celep, 2006; Gray vd., 2003; Froehling vd., 2007).

Deneysel çalışmanın yürütüldüğü Cu-Au cevherini işleyen zenginleştirme tesisinde, altın besleme tenörünün ~4-4.5 ppm olmasına rağmen bunun büyük bir kısmının nihai atıkta kaldığı görülmüştür. Bunun önlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; altın tenörünün yüksek olduğu akış kollarından numune alma çalışmaları yürütülerek Falcon L40 zenginleştiricisi ve sallantılı masa kombinasyonu ile nihai zenginleştirme işlemi yapılmış, hedeflenen verim ve tenör değerlerinde altın içeren konsantrenin üretilebilirliği araştırılmıştır. Başarılı sonuçların elde edildiği koşulda olmak üzere, tekrar edilebilirliği ölçmek amacıyla, numune alınan dönemden 6 ay sonra tekrar numuneler alınmış ve sonuçların güvenilirliği doğrulanmıştır.

MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM

Cevher Karakterizasyonu Çalışmaları

Bu çalışmada Karadeniz bölgesinde bulunan volkanojenik masif sülfürlü bakır altın cevheri kullanılmıştır. Cevher karakterizasyonu çalışmaları için tesisin primer değirmen beslemesinden çalışma dönemi boyunca düzenli aralıklarla numune biriktirilmiştir. Biriktirilen numunenin tamamı 212 µm'nin altında olacak şekilde kırılmış ve -212+106µm, -106+53µm, -53+20µm ve -20µm fraksiyonlarına ayrılarak MLA analizine (ActLabs, Kanada) gönderilmiştir. Analize gönderilen numunenin kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmektedir. MLA analizi sonuçları fraksiyonel bazda incelendiğinde Cu-Au cevherinin ana bileşenlerinin bulunma miktarına göre sırasıyla pirit/markasit (~%15-51), barit (~%15-26), sfalerit (~%11-13) ve kalkopirit (~%9-12) olduğu görülmektedir. Silikatlar grubundan kuvars mineralinin ise yaklaşık olarak %5'lik bir orana sahip olduğu belirlenmiştir. Cevherde yaklaşık %1 civarında Pb minerali galenin de bulunduğu görülmektedir.

MLA analiz sonuçları altının iri boylarda Au-Ag alışı (elektrum), daha ince boylarda ise nabit olarak oluştuğunu göstermektedir. Altın taramasının özeti Çizelge 2'de verilmektedir.

Şekil 1'de -212+106 µm tane boyundaki altın içeren tanelerin elektron mikroskobu görüntüleri, Şekil

Çizelge 1. Besleme numunesinin kimyasal analiz değerleri.

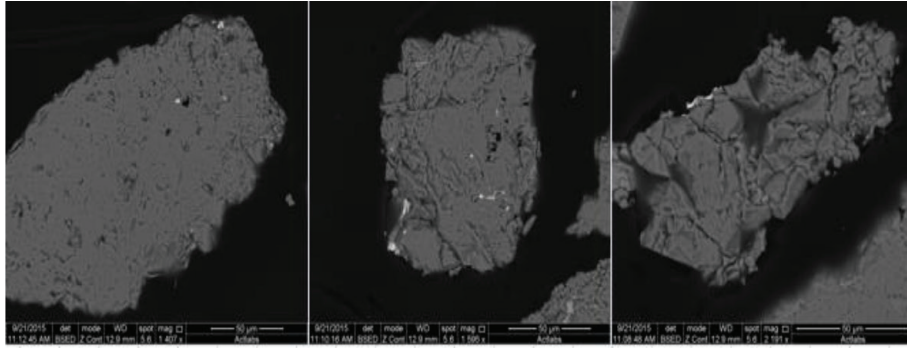
Table 1. Chemical analysis values of feed sample.

Cu - Au Tesis Beslemesi				
Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	S (%)
3.60	7.35	4.3	117.0	28.55

Çizelge 2. Altın taramasının fraksiyonel özeti.

Table 2. Fractional summary of gold screening.

Tane Boyu	-20 μ m	-53+20 μ m	-106+53 μ m	-212+106 μ m
Altın Tespit Edilen Tane Sayısı	1	2	1	4
Tespit Edilen Altın Minerali	Au-Ag Alaşımı	Nabit Au/Au-Ag Alaşımı	Nabit Altın	Nabit Au/Au-Ag Alaşımı
Altın Mineralinin Bağlılık Durumu	İnce taneler içinde kilittli	Pirit/Markasit	Pirit/Markasit	Pirit/Markasit



Şekil 1. -212+106 μ m tane boyu aralığında belirlenen altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüleri.
Figure 1. Electron microscope images of gold particles determined at -212+106 μ m particle size.

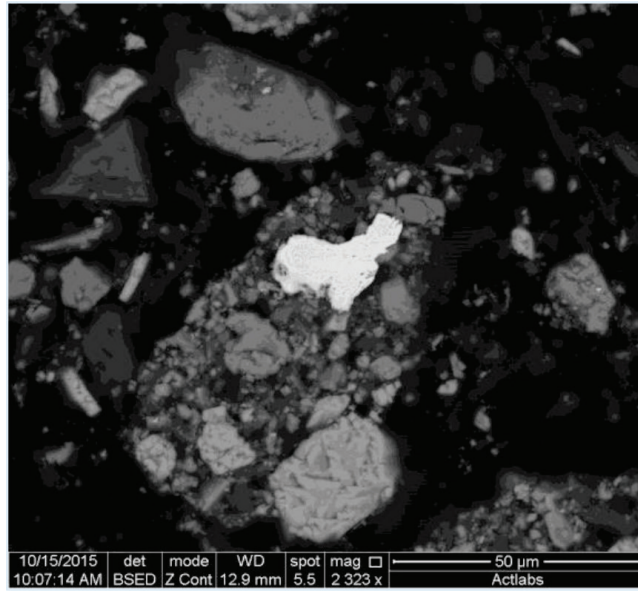


Şekil 2. -212+106 μ m tane boyu aralığındaki altın içeren taneler.

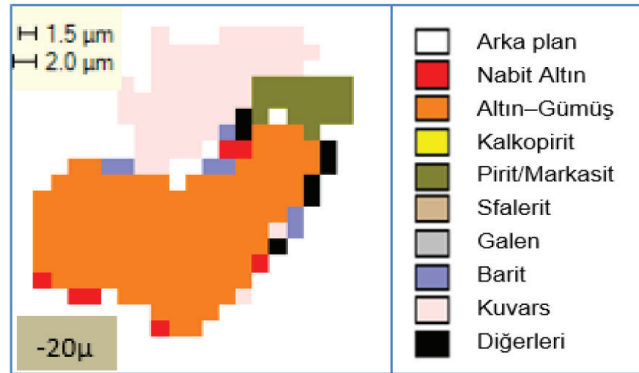
Figure 2. Gold-bearing particles in the range of -212+106 μ m particle size.

2'de ise bu tanelerin MLA ile tanımlanan mineralojik bileşimleri verilmektedir.-20 μ m tane boyu aralığında bulunan altın tanelerine ait elektron mikroskobu

görüntüsü ise Şekil 3'te verilmektedir. Bu altın tanelerinin ince taneler içinde kilittli olduğu Şekil 4'ten de anlaşılmaktadır.



Şekil 3. -20 µm tane boyu aralığında bulunan altın tanelerine ait elektron mikroskop görüntüsü.
Figure 3. Electron microscope image of gold particles determined at -20 µm particle size.



Şekil 4. -20 µm fraksiyonunda bulunan altın tanelerinin gösterimi.
Figure 4. Display of gold particles in the -20 µm fraction.

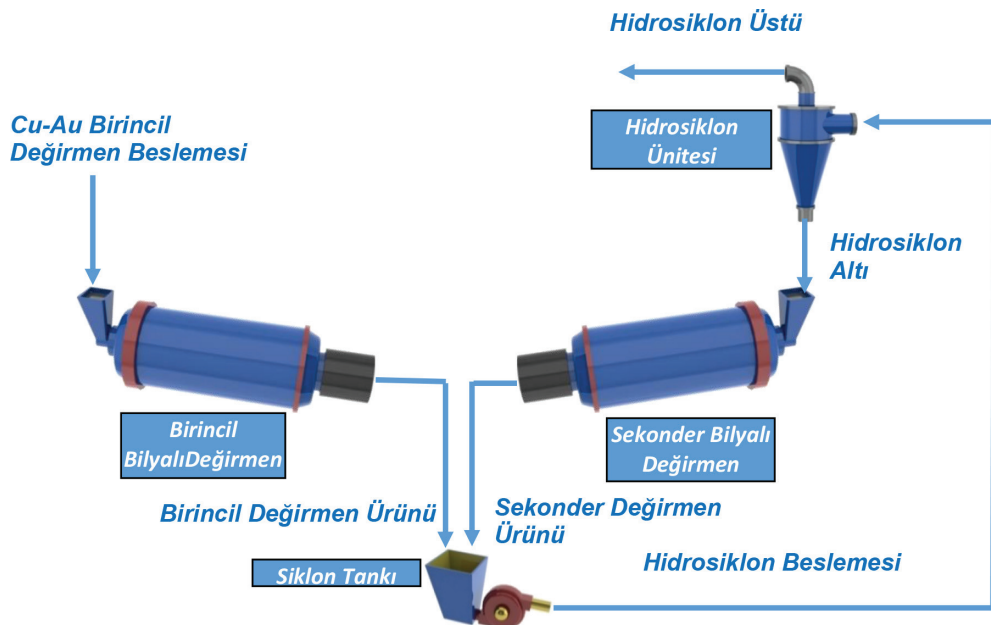
DeneySEL ÇALIŞMALAR

Testler için numunelerin alındığı öğütme ve sınıflandırma devresi Şekil 5'te gösterilmektedir. Yüksek yoğunluğu nedeniyle sürekli olarak öğütme ve sınıflandırma devresi arasında biriken iri boydaki altın taneleri ancak çok ince tane boylarına inebildikten sonra siklon üst akımından çıkabilmektedir. Aşırı öğütmeye maruz kalan altın taneleri, siklon üst akımından çıkabilecek boya geldiğinde ise konvansiyonel yöntemler ile kazanılmaları oldukça güçleşmektedir. Bu nedenle yer çekimi ile zenginleştirme testlerinde kullanılmak üzere siklon beslemesinden, siklon altından ve sekonder değirmen çıkışından numune alınmasına karar verilmiştir.

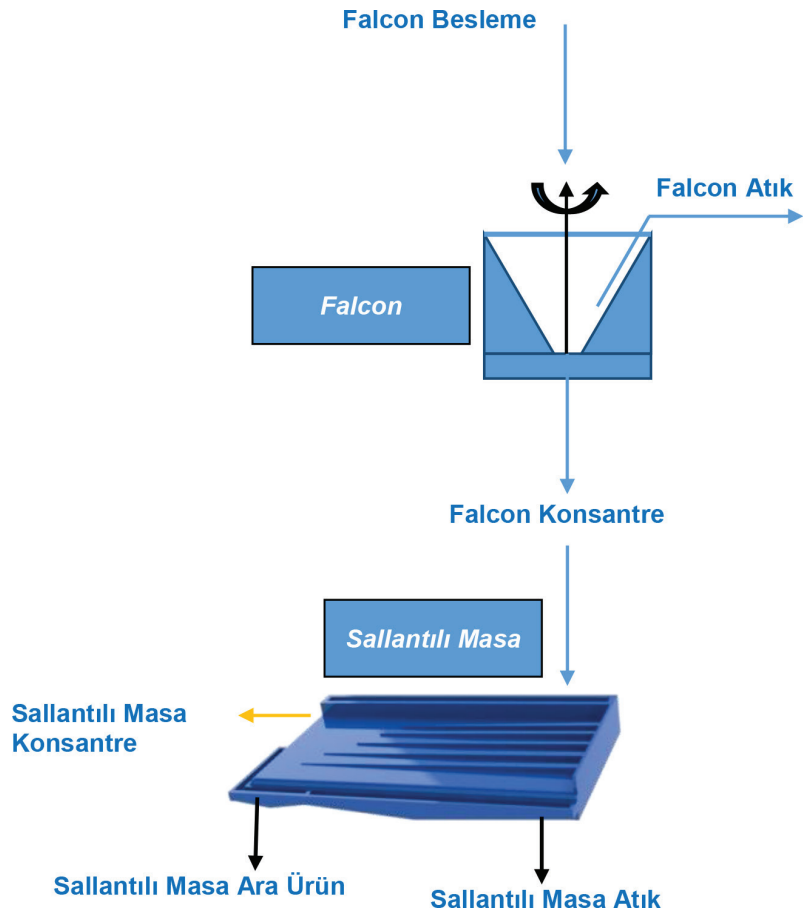
Falcon L40 ile yapılan ön testler sonucunda frekans değerlerinin 50 Hz (123 G), 60 Hz (176 G) ve 70 Hz (240 G) olarak ayarlanmasına karar verilmiş ve 3 farklı G kuvvetinde çalışılmıştır. Yıkama suyu basıncı tüm testlerde 0.5 bar olarak ayarlanmış ve su basıncı sabit tutulmuştur. Testler sonucunda üretilen Falcon konsantreleri ile sallantılı masa deneyleri yapılmış ve Au tenörünün artırılması hedeflenmiştir. Deneylerde kullanılan akım şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.

FALCON TESTLERİ SONUÇLARI

Siklon besleme, siklon altı ve sekonder değirmen çıkışına yapılan Falcon testlerinin sonuçları Çizelge 3'te gösterilmektedir. 50 Hz ve 0.5 bar su basıncı ile



Şekil 5. Cu-Au öğütme ve sınıflandırma devresi.
Figure 5. Cu-Au grinding and classification circuit.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan akım şeması.
Figure 6. Flow chart used in experiments.

Çizelge 3. Falcon testlerinin sonuçları.

Table 3. Results of Falcon tests.

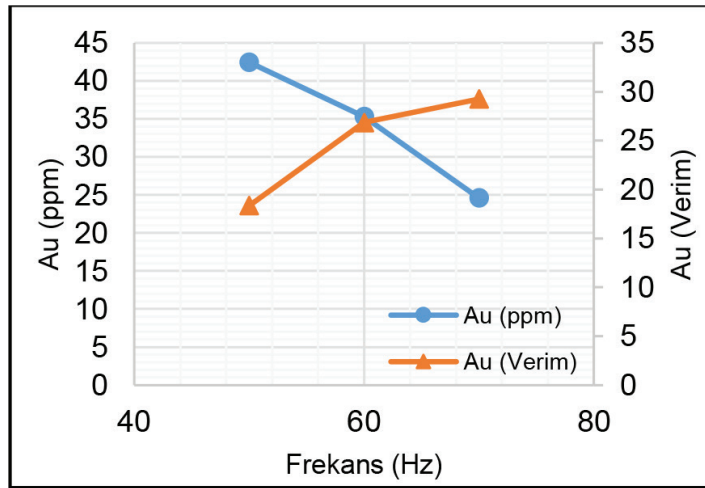
	Siklon Besleme			Siklon Altı			Sekonder Değirmen Çıkışı		
	Ağırlık	Au	Au Verim	Ağırlık	Au	Au Verim	Ağırlık	Au	Au Verim
	(%)	(ppm)	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	(ppm)	(%)
50 Hz 0.5 Bar									
Besleme	100	6.58		100	7.91		100	6.96	
Konsantre	2.84	42.45	18.35	4.59	44.65	25.94	3.5	39.33	19.76
Atık	97.16	5.53	81.65	95.41	6.14	74.06	96.5	5.79	80.24
60 Hz 0.5 Bar									
Besleme	100	6.54		100	7.86		100	6.91	
Konsantre	4.97	35.32	26.87	6.7	31.6	26.91	4.52	32.42	21.23
Atık	95.03	5.03	73.13	93.3	6.16	73.09	95.48	5.7	78.77
70 Hz 0.5 Bar									
Besleme	100	6.62		100	7.95		100	6.94	
Konsantre	7.87	24.63	29.26	9.7	24.22	29.54	7.19	23.2	24.04
Atık	92.13	5.09	70.74	90.3	6.2	70.46	92.81	5.68	75.96

yapılan deneyde siklon beslemesinin 6.58 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 42.45 ppm değerine yükseltilmiştir. Falcon konsantresi ağırlık verimi ise beslemeye göre %2.84'tür. Bu konsantrenin Au verimi %18.35 olarak hesaplanmıştır. 60 Hz ve 0.5 bar su basıncı ile yapılan deneyde beslemenin 6.54 ppm Au tenörü, konsantrede 35.32 ppm değerine yükselmiştir. 70 Hz koşulunda yapılan deneyde ise beslemedeki 6.62 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 24.63 ppm değerine yükselmiştir. Siklon beslemesinden alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 7'de gösterilmektedir.

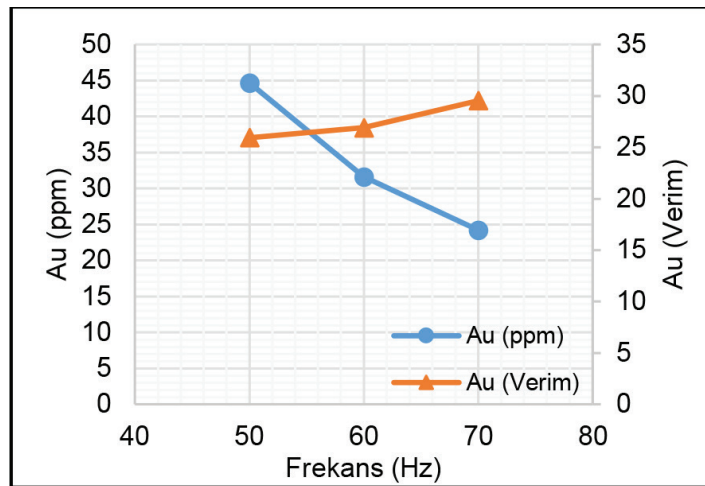
Şekil 7'de de görüldüğü ve beklendiği üzere frekans artışına bağlı olarak konsantre tenöründe azalma meydana gelirken konsantre verimi artmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmada frekans değerinin artması ile ekipmanın konsantre haznesinde biriken konsantre miktarının da arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise tanelere etki eden G kuvveti arttığı için tanelerin oluşturan merkezkaç kuvvetine karşı koyması zorlaşmakta ve buna bağlı olarak haznede biriken konsantre miktarı artmaktadır.

Cu-Au devresinin siklon alt akımından alınan numunenin Au tenörünün, primer değirmen beslemesindeki Au tenöründen yüksek olduğu görülmekte bu da altın tanelerinin yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle siklon alt akımına gitme eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. Bu akışa yapılan Falcon testinde, 50 Hz değerinde 7.91 ppm besleme Au tenörü, Falcon konsantresinde 44.65 ppm değerine yükselmiştir. 60 Hz değerinde 7.86 ppm besleme Au tenörü, Falcon konsantresinde 31.60 ppm değerine çıkmıştır. 70 Hz değerinde ise altın 7.95 ppm besleme değerinden 24.22 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Siklon altından alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 8'te gösterilmektedir.

Sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile gerçekleştirilen testlerde ise, 50 Hz koşulunda 6.96 ppm Au tenörü, 39.33 ppm değerine yükseltilirken konsantrenin Au verimi de %19.76 olarak belirlenmiştir. 60 Hz değerinde ise 6.91 ppm Au tenörü 32.42 ppm değerine yükseltilmiştir. 70 Hz değerinde 6.94 ppm Au içeriği 23.20 ppm değerine yükseltilirken, Au verimi de %24.04 olarak belirlenmiştir. Cu-Au sekonder



Şekil 7. Siklon besleme numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.
Figure 7. Relationship between frequency and grade-recovery of cyclone feed sample.



Şekil 8. Siklon altı numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.
Figure 8. Relationship between frequency and grade-recovery of cyclone underflow sample.

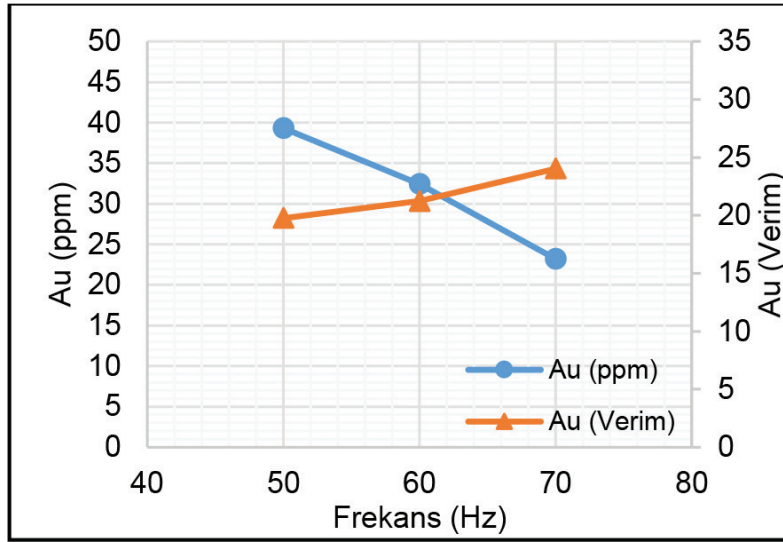
değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim-tenör ilişkisi Şekil 9'da gösterilmektedir.

Üretilen Falcon konsantrelerinin altın tenörlerinin artırılması amacıyla seçilen akış kollarına ait Falcon konsantre numuneleri ile sallantılı masa deneyleri yapılmıştır.

SALLANTILI MASA TESTLERİ SONUÇLARI

Falcon testlerinden üretilen yeterli miktardaki her konsantre ile ayrı ayrı sallantılı masa testleri yapılmıştır. Sallantılı masa ile yapılan testlerin sonuçları

Çizelge 4'te verilmektedir. Siklon beslemesi 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 42.45 ppm değerinden, 255.75 ppm değerine %40.16 verim ile çıkmıştır. Falcon konsantresinin ağırlıkça %6.67'si, ana beslemeye göre %7.37 nihai verim ile sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Çizelge 4'ten görüleceği üzere Cu-Au siklon besleme 60 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testi sonucunda ise Au tenörü 35.32 ppm değerinden, 216.51 ppm değerine çıkmıştır. Sallantılı masa testinin sonucunda, Falcon konsantresinin ağırlıkça %6.83'ü, ana beslemeye göre %11.24 nihai verim ile kazanılmıştır.



Şekil 9. Sekonder değirmen çıkışı numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.
Figure 9. Relationship between frequency and grade-recovery of secondary ball mill product sample.

70 Hz konsantresi ile yapılan sallantılı masa testinin sonucunda Au tenörünün 24.63 ppm değerinden 149.70ppm değerine çıktığı belirlenmiş ve sallantılı masanın Au verimi %57.37 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %16.79 olarak belirlenmiştir.

Şekil 10'da görüleceği üzere 50 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testinde Au tenörü 250 ppm değerinin üzerindeyken, 70 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testinde bu değer 150 ppm'in altına inmiştir. Bunun nedeni; artan G kuvvetine bağlı olarak haznede daha fazla malzeme birikmesi ve bunun da konsantre tenörünü düşürmesidir.

Cu-Au siklon altı 50 Hz Falcon konsantresinin ağırlıkça %12.45'i sallantılı masa konsantresi olarak alınırken Au tenörü 44.65 ppm değerinden 168.80 ppm değerine zenginleştirilmiş ve sallantılı masa testine ait Au verimi %47.49 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %12.32 olmuştur. Bu koşulda Falcon ekipmanı ile en iyi sonuçlar alınmasına rağmen sallantılı masa çalışmalarında tenör değeri diğer koşullara göre düşük kalmıştır.60 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen testte ise Au tenörü 31.60 ppm değerinde olan numune 98.23 ppm değerine zenginleşmiş ve sallantılı masa verimi %54.14, nihai verimi ise %14.57 olarak hesaplanmıştır.

70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan testte ise, Au tenörü 24.22 ppm değerinden 74.80 ppm değerine %16.83 nihai verim ile zenginleştirilmiştir. Siklon altı

numuneleri ile yapılan sallantılı masa testlerinin sonuçlarının frekans ile verim-tenör arasındaki ilişkisi Şekil 11'de gösterilmektedir.

Sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile 50 Hz koşulunda gerçekleştirilen testte Au tenörü 39.33 ppm değerinden 267.90 ppm değerine zenginleştirilirken, sallantılı masa testine ait Au verimi de %59.71 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %12.44 olarak belirlenmiştir. 60 Hz koşulunda ise 176.1 ppm değerinde konsantre, %60.97 verimle 32.42 ppm besleme numunesinden elde edilmiştir.

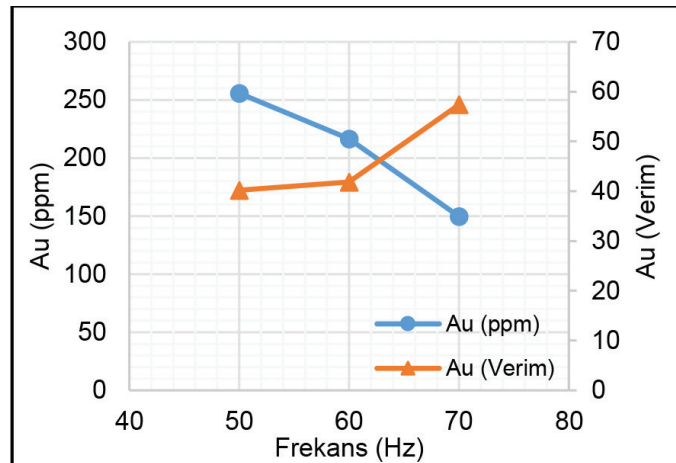
70 Hz ile yapılan testte beslemenin ağırlıkça %12.84'ü sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Test sonucunda Au tenörü 23.20 ppm değerinden 130.12 ppm değerine zenginleştirilirken, konsantre %72.02 masa verimi ve %17.31 nihai verim ile kazanılmıştır. Sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 12'de gösterilmektedir. Buna göre, testlerde benzer bir davranım gerçekleştiği görülmektedir.

İkinci Dönemde Yapılan Çalışmalar

İlk dönemde alınan sonuçların tekrar edilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla tesisten sekonder değirmen çıkışına ait bir numune daha talep edilmiş, Falcon ile zenginleştirme testleri, 50 Hz 0.5 bar koşulunda

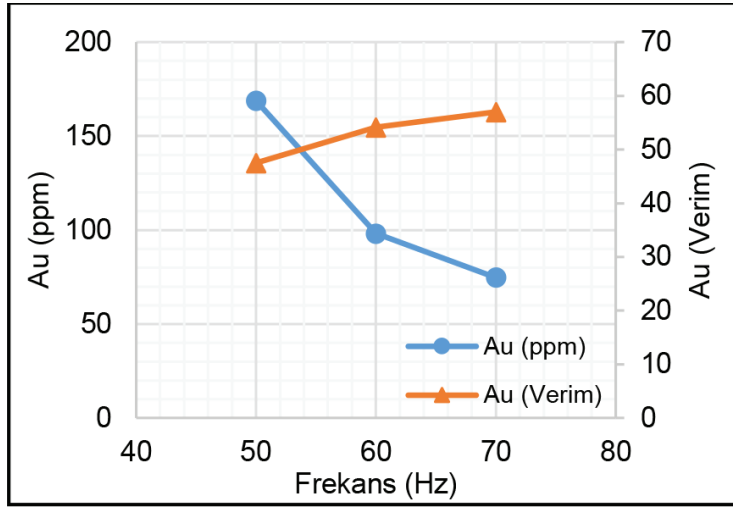
Çizelge 4. Sallantılı masa testlerinin sonuçları.
Table 4. Shaking table tests results.

Siklon Besleme	50 Hz				60 Hz				70 Hz			
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	6.67	255.75	40.16	7.37	6.83	216.51	41.84	11.24	9.44	149.7	57.37	16.79
Ara Ürün	37.69	56.41	50.09	9.19	43.4	39.34	48.35	12.99	43.27	16.59	29.15	8.53
Atık	55.64	7.44	9.75	1.79	49.78	6.96	9.81	2.63	47.29	7.02	13.48	3.94
Besleme	100	42.45	100	18.35	100	35.32	100	26.87	100	24.63	100	29.26
Siklon Altı	50 Hz				60 Hz				70 Hz			
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	12.45	168.8	47.49	12.32	17.41	98.23	54.14	14.57	18.45	74.8	56.98	16.83
Ara Ürün	48.03	35.14	42.75	11.09	39.14	25.7	31.84	8.57	33.35	20.68	28.46	8.41
Atık	39.53	13.17	9.77	2.53	43.45	10.2	14.03	3.77	48.2	7.32	14.56	4.3
Besleme	100	44.65	100	25.94	100	31.6	100	26.91	100	24.22	100	29.54
Sekonder Değirmen Çıkışı	50 Hz				60 Hz				70 Hz			
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	9.24	267.9	62.94	12.44	11.22	176.1	60.97	12.94	12.84	130.1	72.02	17.31
Ara Ürün	42.64	20.94	22.71	4.49	46.51	19.31	27.69	5.88	29.73	10.36	13.27	3.19
Atık	48.12	11.73	14.35	2.84	42.27	8.7	11.34	2.41	57.43	5.94	14.71	3.54
Besleme	100	39.33	100	19.76	100	32.42	100	21.23	100	23.2	100	24.04

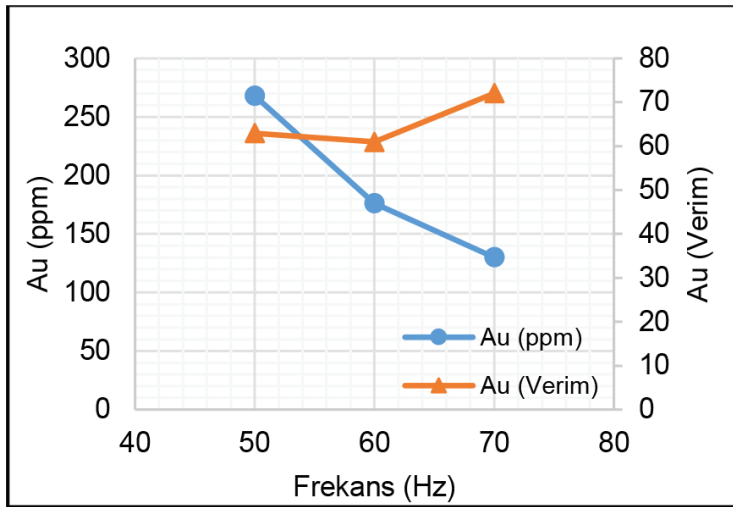


Şekil 10. Siklon besleme numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.

Figure 10. Relationship between frequency and grade-recovery of cyclone feed sample.



Şekil 11. Siklon altı numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.
Figure 11. Relationship between frequency and grade-recovery of cyclone underflow sample.



Şekil 12. Sekonder değirmen çıkışı numunesinde frekans ile verim-tenör arasındaki ilişki.
Figure 12. Relationship between frequency and grade-recovery of secondary ball mill product sample.

yapılmıştır. Bu akışa ait ikinci dönemde yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları Çizelge 5'te gösterilmektedir.

50 Hz değerinde 8.30 ppm Au tenörü, 25.60 ppm değerine yükseltilirken konsantrenin Au verimi de %17.34 olarak belirlenmiştir. Yapılan sallantılı masa testinin sonucunda beslemenin ağırlıkça %4.31'i sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 25.60 ppm değerinden 306.00 ppm değerine zenginleştirilirken sallantılı masa testine ait Au verimi %51.54 olarak hesaplanmıştır. Ana beslemeye göre nihai Au verimi ise %8.94 olarak belirlenmiştir.

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Cu-Au siklon altına yapılan testlerde siklon altından gelen akışın iri olması bu tanelerin Falcon zenginleştiricisinin haznesini hızlı bir şekilde doldurmasına ve sallantılı masa eşiklerinde de hızlı bir şekilde çökeliş konsantreye taşınmalarına sebep olmaktadır. İri boyda altın serbestleşmesinin de düşük olması sebebiyle, bu akışta yapılan çalışmaların sonuçlarında istenilen verim ve tenör değerlerine ulaşılamamıştır. Cevher içerisinde bulunan nabit altın ve Au-Ag alaşım taneleri öğütme ortamına girdikleri zaman yumuşak

Çizelge 5. Sekonder değirmen çıkışı numunesi ile ikinci dönemde yapılan testlerin sonuçları.
Table 5. Results of tests done with secondary ball mill producing the second part.

Sekonder Değirmen Çıkışı	Falcon			Sallantılı Masa			
	Ağırlık	Au	Au	Ağırlık	Au	Au	Nihai Au
	(%)	(ppm)	Verim (%)	(%)	(ppm)	Verim (%)	Verim (%)
Konsantre	5.62	25.6	17.34	4.31	306	51.54	8.94
Ara Ürün	-	-	-	54.17	15.97	33.79	5.86
Atık	94.38	7.27	82.67	41.52	9.05	14.67	2.54
Besleme	100	8.3		100	25.6	100	17.34

yapılarından dolayı yassı bir şekil alabilmektedirler. Altın taneleri, yoğun olmalarına rağmen aldıkları bu yassı şekilden dolayı yer çekimi ile zenginleştirme uygulamalarında atığa kaçabilmektedir. Bundan dolayı altın tanelerinin sekonder değirmende öğütülmeden önce kazanılabilirliğinin incelenmesi adına siklon altı akışı da önemlidir.

Cu-Au siklon beslemesinden alınan numune ile yapılan çalışmaların sonuçlarında da altın tenörü bakımından yüksek değerler elde edilmesine rağmen, serbestleşmeye de bağlı olarak sekonder değirmen çıkışıyla elde edilen konsantrenin tenörü ve verimi daha yüksek olmuştur. Falcon atıklarının öğütme devresine dönmesi durumunda su denkleğinin korunması açısından da sekonder değirmen çıkışı daha avantajlıdır.

Yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçlarına göre yüksek altın tenörlü konsantrelerin kazanılabileceği tespit edilmiştir. 3 farklı G kuvvetinde yapılan testlerde G kuvveti arttıkça konsantre miktarının ve dolayısıyla verimin arttığı, tenörün ise düştüğü gözlemlenmektedir. Şekil 13,14 ve 15'te 3 farklı G kuvvetinde yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin konsantrelerinin Au tenör değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi Falcon ile yapılan tüm testler içerisinde en yüksek konsantre tenörü siklon altı malzemenin 50 Hz'de muamele edilmesiyle, sallantılı masa testlerinde elde edilen en yüksek konsantre tenörü ise sekonder değirmen çıkışı 50 Hz koşulunda elde edilmiştir.

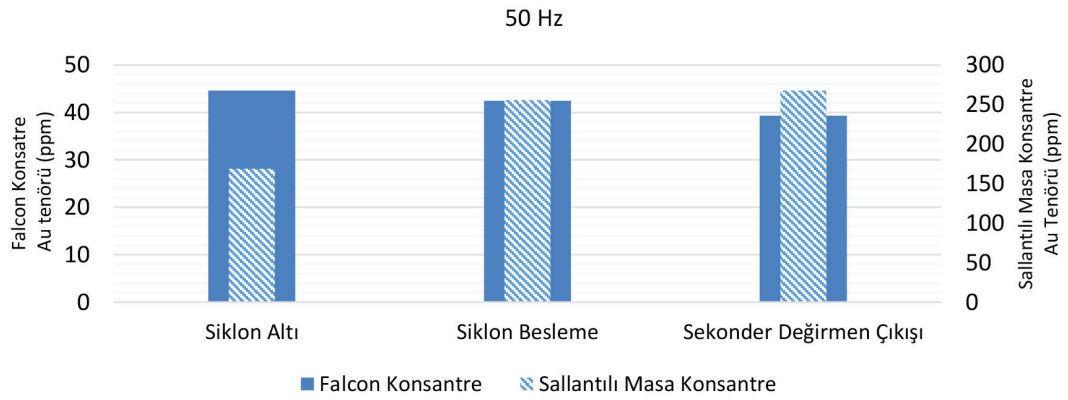
Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda öğütme devresinde bir miktar serbest altın birikimi olabileceği gözardı edilmemelidir. Uygulama başlasa bu birikim oluşmayacağından besleme tenörünün

daha düşük olması beklenmektedir. Tesise kurulacak Falcon ekipmanının öğütme devresinden sistemin kütle denkleğini bozmayacak şekilde en az ağırlıkta konsantre çıkartması hedeflenmektedir. Ayrıca yapılacak olan tesis uygulamasında sallantılı masa ara ürününün tesisin kütle denkleğini bozmayacak şekilde Falcon zenginleştiricisine geri çevrilmesi mümkün olur ise kazanılacak olan altın miktarı artış gösterebilir.

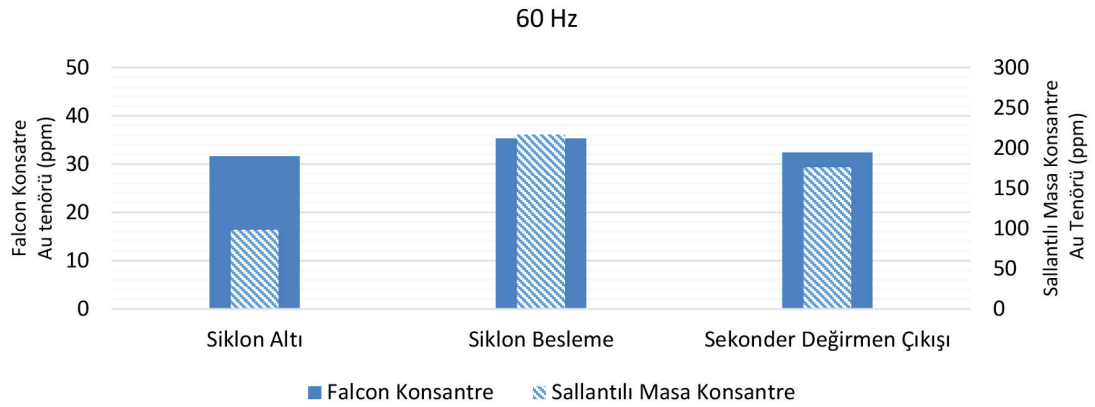
SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda siklon beslemesinden %7.37 nihai verimle 255.75 ppm altın içeren konsantre, siklon altından %12.32 nihai verimle 168.80 ppm altın içeren konsantre ve sekonder değirmen çıkışından %12.44 nihai verimle 267.90 ppm altın içeren konsantre elde edilebileceği belirlenmiştir. İkinci dönemde yapılan çalışmalarda ise sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan testlerde %8.94 nihai verimle 306.00 ppm altın kazanılabileceği görülmektedir. Bu çalışma, ilk dönemde yapılan çalışmayı desteklemektedir.

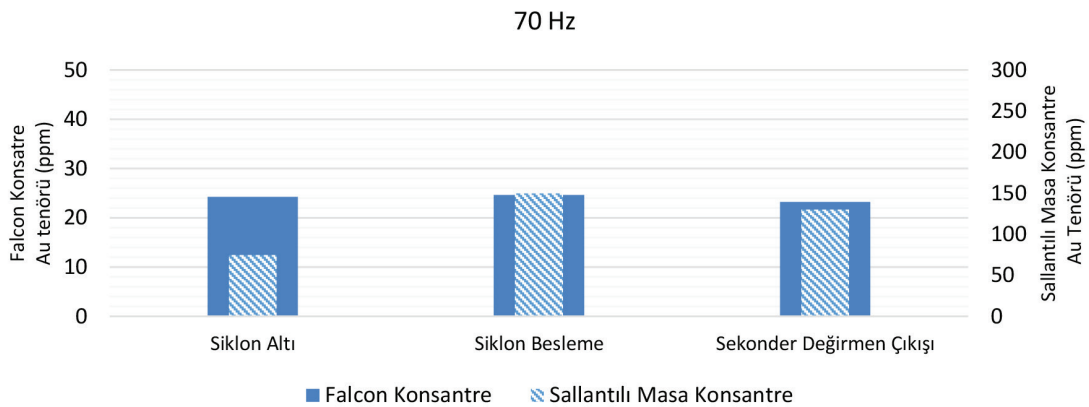
Tüm bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, Falcon ekipmanının Cu-Au öğütme devresinin akış kollarından sekonder değirmen çıkışına yerleştirilmesinin uygun olabileceği görülmektedir. Ayrıca Falcon ekipmanının tek başına istenilen zenginleştirme değerlerine ulaşamadığı, sallantılı masa (tercihan Gemini Table) devresinde nihai zenginleştirme yapıldıktan sonra yüksek tenörde altın içeren konsantre elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 13. Falcon ve sallantılı masa konsantrelerinin Au tenör değerleri (50 Hz).
Figure 13. Au grade values of falcon and shaking table concentrates (50 Hz).



Şekil 14. Falcon ve sallantılı masa konsantrelerinin Au tenör değerleri (60 Hz).
Figure 14. Au grade values of falcon and shaking table concentrates (60 Hz).



Şekil 15. Falcon ve sallantılı masa konsantrelerinin Au tenör değerleri (70 Hz).
Figure 15. Au grade values of falcon and shaking table concentrates (70 Hz).

KATKI BELİRTME

Yazarlar, makale değerlendirme sürecinde gösterdikleri ilgi nedeniyle Yerbilimleri Dergisi Editörlüğüne ve çalışmaya yapıcı eleştirileriyle katkı koyan Prof. Dr. İrfan Bayraktar ve diğer hakemimize teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- Aplan, F. F., 1985. Gravity Concentration - Introduction: in SME Mineral Processing Handbook. New York: Society of Mining Engineers.
- Bayraktar, İ. ve Yarar, B., 2017. Altın cevherlerinin zenginleştirilmesi ve Altının ekstraksiyonu, Türkiye Bil. Ve Teknik 9. Madencilik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 2017.
- Burt, R. O., 1984. Gravity Concentration Technology. New York: Elsevier Science Publishing Company.
- Celep, O., 2006. Gold Recovery From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Knelson, İstanbul Üniversitesi Müh.Fak. Yerbilim. Derg., vol. 19, no. 2, sf. 175–182.
- Falconer, A. , 2003. Gravity Separation: Old Technique/New Methods, Phys. Sep. Sci. Eng., vol. 12, no. 1, sf. 31–48.
- Froehling, M. , Mohns, C. , Rajwani, R. and M. Fullam, 2007. Reduction of Free Gold Losses in the Cleaner Circuit with the Installation of a Gravity Circuit at the Kemess Mine, in Canadian Mineral Processors' Conference.
- Gray, S., Abols, J., McCallum, A., Patrick, G. and Johansen, G. , 2003. Who needs it? A combination circuit of gravity, flotation and intensive leach may provide the optimal environmental end cost outcome for gold plants, in Canadian Mineral Processors' Conference 2.
- Holland-Batt, A. B., 1998. Gravity Separation: a revitalized technology, Miner. Eng., sf. 43-48.
- Laplante, A. and Gray, S., 2005. Advances in gravity gold technology, Dev. Miner. Process., vol. 15, no. C, sf. 280–307.
- Potorieko, C. and Yeomans, T., 2006. Improvements in Gravity and Overall Gold Recovery at NVI Mining Ltd. Myra Falls Operation, Solutions, vol. 5, no. 604.
- Systems, S., 2017. Falcon SB Gravity Concentrators. Broşür.

