



Orijinal Araştırma / Original Research

MURGUL BAKIR CEVHERİNİN ÖN ZENGİNLEŞTİRMESİNDE ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

ALTERNATIVE APPROACHES TO PRE-CONCENTRATION OF MURGUL COPPER ORE

Özgür Özcan^{a,*}

^a Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 16 Ocak / January 2018
Kabul Tarihi / Accepted : 19 Şubat / February 2018

Anahtar Sözcükler:

Kabaran yataklı ayırıcı (KYA),
Altın,
Bakır,
Murgul,
Engelli çökeltme.

ÖZ

Bu çalışmada, Murgul bakır cevherinden laboratuvar ölçekli bir kabaran yataklı ayırıcı (KYA) ile ön zenginleştirme olanakları incelenmiştir. Ayrıca işletme değişkenlerinin cevher içerisindeki farklı mineraller üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar cevherdeki kuvarslı flotasyon öncesinde yüksek miktar ve verim değerinde uzaklaştırıldığını göstermektedir. KYA alt akımı altın ve sülfür verimleri benzerlik göstermektedir. Basınç set değerinin artması alt akım altın ve sülfür tenör ve verimini arttırmıştır. Ancak yıkama suyu miktarındaki artış alt akım altın ve sülfür veriminde önemli bir düşüşe yol açmıştır. KYA testleri farklı yoğunluklara sahip minerallerin engelli çökeltme koşulları altındaki davranımının ortaya konması konusunda önemli sonuçlar sunmaktadır. En yüksek altın ve sülfür verimine sahip KYA alt akım ürünü ön konsantre olarak sallantılı masa testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarına göre sallantılı masa beslemesinin ağırlıkça %11,63'ü 4,39 ppm altın tenörü ve %64,42 verim ile nihai konsantre olarak alınmaktadır. Bu koşuldaki konsantre %48,46 gibi yüksek bir sülfür tenörüne de sahiptir.

ABSTRACT

In this study, pre-concentration possibilities of Murgul copper ore was investigated by using a laboratory scale teetered bed separator (TBS). Also effect of operational parameters on different minerals in the ore was evaluated. Results indicated that silica removal achieved in high mass and recovery before flotation. Gold and sulfur recoveries of TBS underflow was similar. An increase in pressure set point increases gold and sulfur recovery of TBS underflow. But an increase in teeter water rate decreases gold and sulfur recovery of TBS underflow. TBS tests were presented significant results about behavior of different density minerals under hindered settling conditions. The TBS underflow product which has highest gold and sulfur recovery was subjected to shaking table test as a pre concentrate. According to test results 11.63% of the shaking table feed can be concentrated with 4.39 ppm gold grade and 64.42% recovery as a final concentrate. The concentrate has also a higher sulfur grade as 48.46%.

Keywords:

Teetered bed separator (TBS),
Gold,
Copper,
Murgul,
Hindered settling.

* Sorumlu yazar: ozgurozcan@hacettepe.edu.tr * <https://orcid.org/0000-0001-6177-4585>

GİRİŞ

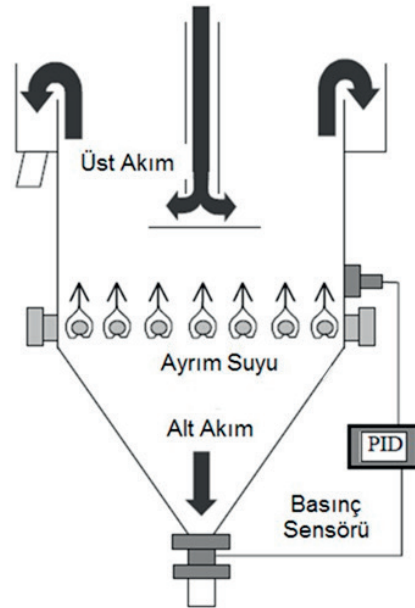
Altın doğada genellikle saf veya elektrik denilen altın-gümüş alaşımı olarak bazen de tellüridler halinde bulunur. Minerallerin kristal kafeslerinde kendisine kimyasal olarak benzeyen elementlerle, örneğin, bakır, gümüş ile yer değiştirebilir veya pirit (FeS_2), arsenopirit ($FeAsS$), kalkopirit ($CuFeS_2$), stibnit (Sb_2S_3), orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) gibi minerallerde küçük kapanımlar halinde de gözlenir.

Ülkemizdeki altın zenginleşmelerini ise; Cu-Pb-Zn yatakları içindeki zenginleşmeler, epitermal oluşumlar, ultramafik kayalar içindeki listvenitik oluşumlar ve plaser tipi zenginleşmeler şeklinde gruplandırmak mümkündür. Altın içeriği yüksek masif sülfid yatakları arasında, Küre Bölgesi Cu yatakları, Artvin Bölgesi Cu yatakları (Murgul, Cerattepe, Akarşen vb.) ve Elazığ Bölgesi Cu yatakları sayılabilir (Erler, 1993; Karabalık, 1994). Bu yataklardan üretilen metalik bakırın elektrolizi sırasında bir miktar altın da kazanılabilmektedir.

Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler; yerçekimi ile zenginleştirme, flotasyon, amalgamasyon ve siyanür liçidir. Zenginleştirme yönteminin seçimi; cevherin mineralojik, jeolojik, metalurjik özellikleri ile çevresel ve coğrafik faktörler değerlendirilerek yapılır (Ünal vd., 2016).

KYA'lar dünyanın bazı bölgelerinde kömür yıkama tesislerinde kullanılmaktadır (Kumar vd., 2013). Literatürde farklı cevherler ile yürütülen çalışmalarda ise kromit ve nefelinli siyanit zenginleştirmede (Özcan, 2017), demir ve kromit atıklarının değerlendirilmesinde (Ozcan ve Celik 2016; Kumar vd. 2009) ve manganez cevherinin zenginleştirilmesinde (Triphaty vd., 2013) başarılı sonuçlar alınmıştır. KYA'lar ayrıca ön zenginleştirme uygulamalarında da kullanılmıştır (Sarkar vd., 2008a). Bunun yanı sıra yapay bir manyetit kuvars karışımı ile zenginleştirme çalışmaları yürütülmüştür (Ozcan ve Ergun 2017a). Elde edilen sonuçlar yüksek yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinde KYA alt akımından %67.58 Fe tenörlü bir konsantrenin, %77.86 verim değeri ile alınabileceğini göstermiştir. Ancak bu koşulda, yoğunluğu yüksek ancak çökme hızı nispeten düşük ince manyetit tanelerinin üst akımdan kaybedildiği belirlenmiştir.

Hidrolik sınıflandırıcılar grubunda yer alan KYA'lar temel olarak yukarı yönde verilen ayırım suyunun karşılık beslemenin yerçekimi etkisi altında ve engelli çökme koşulları içerisinde çökelme hızı, çökme esnasında tanelerin boyut ve yoğunluk farklarından yararlanılarak ayrıldığı ekipmanlardır. Çalışma anında, çökme hızı yukarı yönlü su hızına yakın olan taneler ayırıcı içerisinde birikerek ağır ortam gibi davranan akışkan bir malzeme yatağı oluşturmaktadır. Akışkan yatak içerisinde biriken ve ağır ortam gibi davranan bu malzeme yatağının varlığı nedeniyle, ayırıcıya beslenen tanelerin çökme hızları da düşmektedir. Sistem içerisinde biriken ve nispeten malzeme yatağının üst bölgelerinde kalan yoğunluğu düşük/ince taneler yıkama suyunun hidrolik taşıma kuvveti ile üst akıma sevk edilirken, malzeme yatağının alt bölgelerinde kalan yoğunluğu yüksek/iri taneler ise hem yatak ağırlığının hem de yerçekiminin etkisi ile alt akımdan alınırlar (Şekil 1). Kolon içerisindeki akışkan yatak yüksekliği bir basınç sensörü tarafından sürekli ölçülmektedir. İstenilen yatak yüksekliğine ulaşıldığında otomatik bir PID (oransal-integral-türevsel) denetleyicisi yardımıyla alt akım ucunda bulunan hava kontrollü vana açılıp kapatılarak fazla katı alt akımdan sistemi terk eder ve bu sayede yatak yüksekliği sabit kalır. Alt akımdan alınan malzeme yüksek katı içeriğine sahiptir.

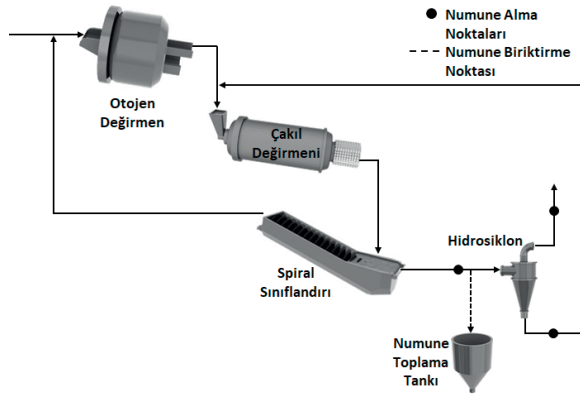


Şekil 1. Kabaran yataklı ayırıcının şematik görünümü

Bu çalışmanın amacı, yüksek kuvars içeriğine sahip Murgul Çakmakkaya bakır cevherinin ön zenginleştirme alternatiflerinin araştırılmasıdır. Deneysel çalışmalarda KYA'nın mevcut akım şemasındaki flotasyon devresi öncesi ya da alternatif bir akım şemasında sallantılı masa öncesi bir ön zenginleştirici olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca KYA'nın temel işletme değişkenleri olan yıkama suyu miktarı ve basınç set değeri ile cevherden flotasyon öncesi kuvars uzaklaştırma ve KYA-sallantılı masa kullanılarak metal kazanım performansı arasındaki ilişkiler de belirlenmiştir.

1. TESİS ÇALIŞMALARI

Bakır cevheri öğütme devresine ait basitleştirilmiş akım şeması ve numune alma noktaları Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Bakır öğütme devresi basitleştirilmiş akım şeması ve numune alma noktaları

Öğütme devresinde bir adet 6x2 m otojen değirmen, bir adet 3x5.7 m çakıl değirmeni, bir adet spiral sınıflandırıcı ve iki adet 370 mm çapında hidrosiklon bulunmaktadır. Taze besleme otojen değirmende öğütülmekte ve siklon irisi ile birleşerek çakıl değirmenine beslenmektedir. Çakıl değirmen çıkışı spiral sınıflandırıcı ile sınıflandırılmaktadır. Spiral irisi otojen değirmene dönerken spiral incesi ise siklona beslenmektedir. Siklon incesi ürün flotasyon beslemesini oluşturmaktadır.

Tesis çalışmaları kapsamında devrede yer alan siklon beslemesinden uzun süreli numune toplanmıştır. Ayrıca normal çalışma koşulları altında siklon etrafından madde denkleğinin kurulması için, tüvenan cevherden ise mineralojik

analizler için numuneler alınmıştır. Numune alma çalışmalarına başlamadan önce normal çalışma koşullarında devrenin kararlı durumda olup olmadığının takip edilmesi amacıyla kontrol odasında besleme tonajı, değirmen motor akımı, siklon basıncı, gibi parametrelerin zamana bağlı değişimi gözlenmiştir. Devrenin tamamen kararlı durumda olduğuna karar verildikten sonra, siklon beslemesi, alt akımı ve üst akımından eş zamanlı temsili numuneler alınmıştır. Daha sonra siklonun alt akım ucu tikanarak siklon besleme numunesi üst akımdan yaklaşık 1000 lt hacimli bir tanka alınmıştır. Tank içerisindeki numunenin suyu süzülerek laboratuvar ölçekli KYA testlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

KYA testleri için seçilen numune biriktirme noktası ayrı bir önem arz etmektedir. Özellikle kapalı devre öğütme uygulamalarında altın, gümüş, demir vb. içeren taneler yüksek yoğunlukları nedeniyle sınıflandırıcı alt akımına gitme eğilimi göstermektedir. Bu taneler siklon üst akımından ürün olarak alınmadan önce ise öğütme boyundan çok daha ince boylara inmektedir. Bunun sonucu olarak bir sonraki zenginleştirme devresinin verimlerinde büyük düşüşler gözlenmektedir. Bu tür tanelerin sistemden mümkün olan en iri boyda çıkarılması hem aşırı öğütme için harcanan enerji miktarının düşürülmesini hem de değerli tanelerin verimli şekilde kazanılabileceği boydan daha ince boylara inerek şlam oluşturmasını engelleyecektir (Kawatra ve Eisele, 2005).

2. MALZEME KARAKTERİZASYONU

Malzeme karakterizasyonu kapsamında tüvenan cevher üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analizler cevherin pirit, kalkopirit, sfalerit ve molibdenit mineralleri içerdiğini göstermiştir. Cevherin yan kayacı ise temel olarak kuvarstan oluşmaktadır. Kuvarsin yanı sıra çok az miktarda kalsit-dolomit ve barit de içermektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan siklon besleme numunesine ait kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 1'de sunulmaktadır.

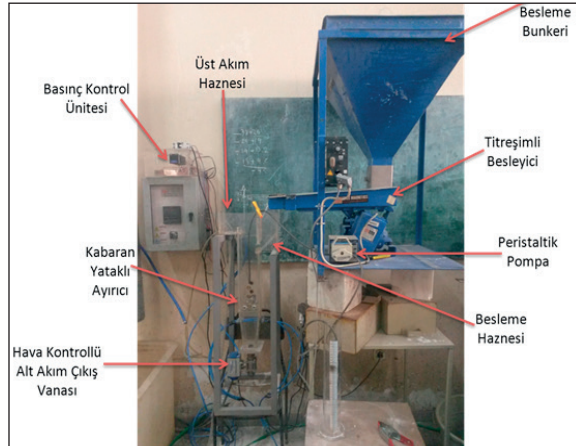
Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan siklon beslemesi kimyasal analiz sonuçları

Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	SiO ₂ (%)	S (%)
0,84	0,05	0,60	70,47	12,24

Çizelge 1 incelendiğinde siklon beslemesinin çok büyük oranda kuvars içerdiği, aynı zamanda %12 gibi bir S tenörü olduğu görülmektedir. Siklon beslemesinin altın tenörü ise 0,60 ppm'dir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tesiste yer alan siklon beslemesinden toplanan numuneler ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yer almaktadır. Deneysel çalışmalar esnasında kullanılan laboratuvar ölçekli KYA, 100 mm x 100 mm kesit alanına sahiptir. 500 mm yüksekliğindeki ayırım kolonunu 200 mm'lik susuzlandırma konisi takip etmektedir. KYA testlerinde öncelikle her bir test için istenilen yıkama suyu miktarı ayarlanmıştır. Ardından test malzemesi ayırıcıya beslenerek istenilen basınç değerine ulaşıncaya kadar sistem açık devre çalıştırılmıştır. İstenilen basınç değerinin elde edilmesinin ardından sistem 20 dakika daha çalıştırılarak kararlı duruma gelmesi sağlanmıştır. Sistemin kararlı duruma gelmesinin ardından eş zamanlı olarak besleme, alt ve üst akışlardan 20 dakika boyunca kesikli numuneler alınmıştır. Alınan tüm numunelerin tane boyu dağılımları ve katı içerikleri belirlenmiş, kimyasal analizleri yapılmıştır. KYA deney düzeneği Şekil 3'te, KYA test koşulları ise Çizelge 2'de sunulmaktadır.



Şekil 3. KYA test düzeneği

KYA ile gerçekleştirilen testler sırasında besleme miktarı (500 g/dk) ve katı oranı (%25) sabit tutulmuştur. KYA testlerinden elde edilen en iyi tenör-verim ilişkisine sahip alt akım ürünü nihai zenginleştirme için sallantılı masa testine tabi tutulmuştur. Sallantılı masa test koşulları Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 2. KYA test koşulları

Test No.	Yıkama Suyu Miktarı (L/dk)	Basınç Set Değeri
1	2	120
2	2	140
3	2	160
4	6	120
5	6	140
6	6	160

Çizelge 3. Sallantılı masa test koşulları

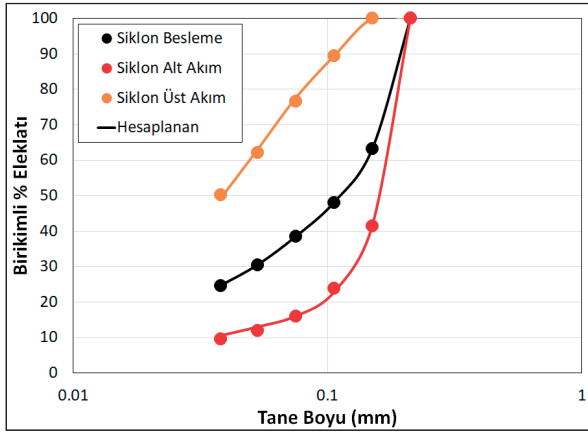
Test Koşulları	
Besleme Katsısı (%)	30
Yıkama Suyu Miktarı (L/dk)	10
Masa Eğimi (°)	5

4. MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARI

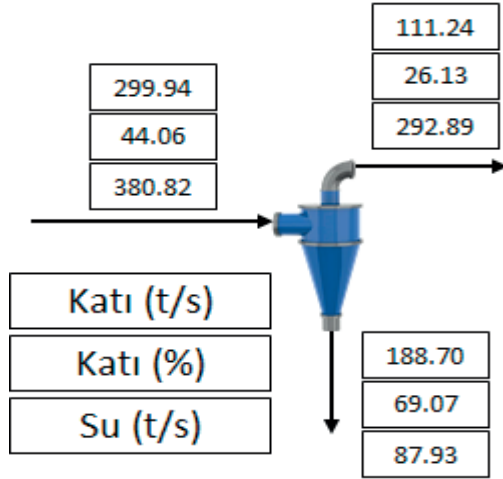
Herhangi bir örnekleme çalışması sırasında, sistemin dinamik yapısından, fiziksel koşullardan, ölçüm hatalarından ve insan faktöründen kaynaklanan bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Madde denkliği, ham verilerin istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak, devre etrafındaki akış ve tenör değerlerinin en iyi şekilde tahmin edilmesini kapsamaktadır.

Tesis çalışmalarından ve laboratuvar ölçekli çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak her bir numune alma koşulu için madde denkliği oluşturulmuştur.

Tesis çalışmaları kapsamında madde denkliği kullanılarak siklon etrafı tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak düzeltilmiş ve bu değerler kullanılarak siklonun normal çalışma koşullarında akış değerleri (tonaj) hesaplanmıştır. Siklon etrafında hesaplanan tane boyu dağılımları ile tonaj değerleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 4'te yer alan grafikte ölçülen değerler noktalar, madde denkliği ile hesaplanan değerler ise çizgiler ile gösterilmektedir. Tüm değerlerin birbirine oldukça yakın olması numune alma çalışmalarının başarı ile yürütüldüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Siklon etrafı ölçülen-hesaplanan tane boyu dağılımları



Şekil 5. Siklon etrafı hesaplanan tonaj değerleri

Siklon etrafında yapılan madde denkleği sonucunda siklon beslemesinin yaklaşık 300 t/s olduğu, ağırlıkça %63'ünün ise siklon alt akımından alındığı görülmektedir. Ayrıca siklon beslemesindeki suyun ağırlıkça %23'ü de siklon altına kaçak yapmaktadır. Bu sonuç önemli miktarda besleme malzemesinin hiçbir sınıflandırmaya maruz kalmadan alt akıma kaçak yaptığı anlamına gelmektedir.

Laboratuvar ölçekli KYA test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan akış ve tenör değerleri Çizelge 4'te verim değerleri ise Çizelge 5'te sunulmaktadır.

Sallantılı masa test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan akış ve tenör değerleri ise Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Çizelge 4. KYA madde denkleği sonuçları

Alt Akım Tenör Değerleri						
Test No.	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	SiO ₂ (%)	S (%)
1	73,32	0,75	0,06	0,62	69,72	11,59
2	67,78	0,91	0,06	0,70	67,83	12,88
3	61,66	1,04	0,07	0,79	64,99	15,15
4	45,03	1,21	0,06	0,81	60,79	16,05
5	39,72	1,28	0,07	1,01	55,80	19,92
6	28,57	1,61	0,10	1,52	41,56	30,10

Üst Akım Tenör Değerleri						
Test No.	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	SiO ₂ (%)	S (%)
1	26,68	1,09	0,01	0,54	72,52	14,03
2	32,22	0,69	0,04	0,40	76,02	10,89
3	38,34	0,52	0,01	0,29	79,29	7,56
4	54,97	0,54	0,04	0,43	78,40	9,12
5	60,28	0,55	0,04	0,33	80,14	7,18
6	71,43	0,53	0,03	0,23	82,04	5,10

Çizelge 5. KYA verim değerleri

Alt Akım Verim Değerleri						
Test No.	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (%)	SiO ₂ (%)	S (%)
1	73,32	65,43	93,37	76,07	72,55	69,42
2	67,78	73,51	76,37	78,57	65,25	71,34
3	61,66	76,34	91,87	81,49	56,86	76,32
4	45,03	64,99	54,96	60,80	38,84	59,04
5	39,72	60,52	57,16	66,85	31,45	64,65
6	28,57	54,61	58,31	72,44	16,85	70,26

Üst Akım Verim Değerleri						
Test No.	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (%)	SiO ₂ (%)	S (%)
1	26,68	34,57	6,63	23,93	27,45	30,58
2	32,22	26,49	23,63	21,43	34,75	28,66
3	38,34	23,66	8,13	18,51	43,14	23,68
4	54,97	35,01	45,04	39,20	61,16	40,96
5	60,28	39,48	42,84	33,15	68,55	35,35
6	71,43	45,39	41,69	27,56	83,15	29,74

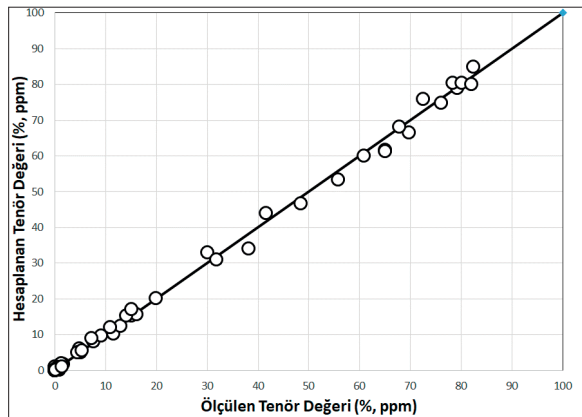
Hem tesis çalışmaları sırasında alınan numunelerin hem de laboratuvar çalışmaları sırasında alınan numunelerin ölçülen tenör değerleri ile madde denkliği sonucu hesaplanan tenör değerleri 'y=x' eğrisi üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 6).

Şekil 6'da ölçülen ve hesaplanan tenör değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum hem numune alma işlemlerinin hem de kimyasal analiz işlemlerinin başarılı şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Çizelge 6. Sallantılı masa testi hesaplanan tenör verim değerleri

Sallantılı Masa Testi Tenör Değerleri						
Ürün	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	SiO ₂ (%)	S (%)
Besleme	100,0	1,04	0,07	0,79	64,99	15,15
Konsantre	11,63	4,80	0,40	4,39	1,43	48,46
Ara Ürün	18,12	1,24	0,07	0,78	38,12	31,79
Atık	70,25	0,37	0,02	0,20	82,44	5,34

Sallantılı Masa Testi Verim Değerleri						
Ürün	Ağırlık (%)	Cu (%)	Zn (%)	Au (%)	SiO ₂ (%)	S (%)
Besleme	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Konsantre	11,63	53,68	61,82	64,42	0,26	37,20
Ara Ürün	18,12	21,63	17,02	17,88	10,63	38,01
Atık	70,25	24,68	21,16	17,71	89,12	24,78



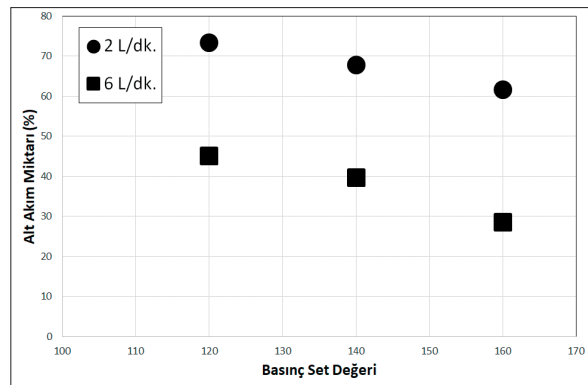
Şekil 6. Ölçülen-hesaplanan tenör değerleri

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. KYA Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

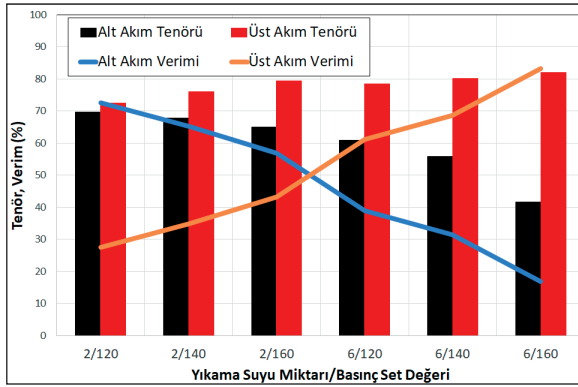
Bu bölümde KYA testlerinden elde edilen sonuçlar detaylı şekilde değerlendirilmiştir. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin alt akım miktarına olan etkisi Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7'den açıkça görüldüğü üzere, yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artması KYA alt akımına giden malzeme miktarını azaltmaktadır. KYA alt akımına giden malzeme miktarı yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artması sonucu %73,32'den %28,57 değerine kadar düşmektedir. Şekil 7 incelendiğinde alt akıma giden miktarın birincil olarak yıkama suyu miktarına bağlı olduğu, basınç set değerinin etkisinin ise daha düşük olduğu görülmektedir.

Tanelerin aşağı yönlü çökme hızına ters yöndeki yukarı yönlü su hızı, yıkama suyu miktarının ve kolon kesit alanının bir fonksiyonudur. Ayrım bölgesine giren tanelerin çökme hızları yukarı yönlü su hızından düşük olduğu takdirde taneler üst akıma taşınmaktadır. Bu nedenle yıkama suyu miktarının artırılması sonucu aynı yatak basıncı değerinde daha fazla tane üst akıma gitmekte ve bu nedenle alt akım miktarı da düşmektedir. Literatürde sabit yoğunluklu numunelerle yapılan benzer çalışmalar yıkama suyu miktarının alt akım miktarı üzerinde birincil derecede etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Ozcan ve Ergun, 2017b).



Şekil 7. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin alt akım miktarına olan etkisi

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin SiO₂ tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin SiO₂ tenör-verim değerlerine etkisi

Şekil 8 incelendiğinde yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artması ile birlikte KYA alt akım SiO₂ tenörü ve veriminin önemli ölçüde düştüğü, üst akım SiO₂ tenörünün kısıtlı oranda, veriminin ise önemli ölçüde arttığı gözlenmektedir. Test 6 sonuçları incelendiğinde beslemedeki kuvarsin yaklaşık olarak %83'ünün KYA üst akımından alındığı görülmektedir. Bu sonuç siklon beslemesi içerisindeki kuvars tanelerinin çok verimli bir şekilde KYA üst akımdan alınabildiğini göstermektedir. Kuvars tenör ve verim değerlerinin alt akımda artış, üst akımda ise azalış göstermesi yıkama suyu miktarı ve basınç set değerindeki artışın ekipman içerisindeki kuvars tanelerini seçimli olarak üst akıma taşıdığı anlamına gelmektedir.

KYA içerisindeki taneler engelli çökme koşulları altında çökmemektedir. Ekipman içerisindeki ayırım bölgesinde tanelerin özgül ağırlık farkına göre ayrılmasını sağlayan bir ağır ortam kendiliğinden oluşmaktadır. Bu ağır ortam ekipman içerisindeki yoğunluk ve viskozitenin artmasına neden olmakla birlikte tanelerin aşağı yönlü hareketine karşı olan sürtünme kuvvetlerini de arttırmaktadır. Sonuç olarak değişen akışkan özelliği, engelli çökme koşullarının varlığı ve yukarı yönlü su hızı tanelerin hangi yönde hareket edeceğini belirlemektedir. Literatürdeki birçok çalışma tanelerin yukarı yönlü su hızına bağlı olarak KYA içerisindeki çökme hızı şeklinde tanımlanan kayma hızı kavramı üzerinde durmaktadır (Richardson ve Zaki, 1954).

Galvin ve arkadaşları engelli çökme ayırıcıları konusunda çalışmalar yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda pülp yoğunluğu ile çökme hızını ilişkilendirmişlerdir. Bu durum kayma hızının hidrodinamik kuvvetlere ne şekilde bağlı olduğunu açıklamaktadır. Galvin'e göre tanelerin pülp içerisindeki hacimsel oranının artması kayma hızını düşürmektedir. Bu açıklamadan yola çıkılarak Richardson ve Zaki eşitliği güncellenerek bir kayma hızı eşitliği geliştirilmiştir (Eşitlik 1), (Galvin vd., 1999).

$$V_{ti} = U_{ti} \left(\frac{\rho_i - \rho_p}{\rho_i - \rho_f} \right)^{n_i - 1} \quad (1)$$

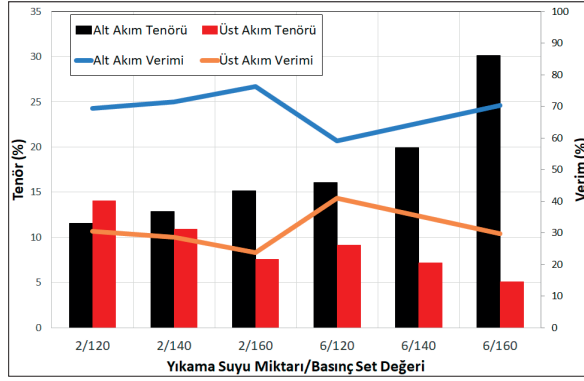
Burada,

- V_{ti} : Kayma hızı,
- U_{ti} : Terminal çökme hızı,
- ρ_i : Tane yoğunluğu,
- ρ_p : Pülp yoğunluğu,
- ρ_f : Sıvı yoğunluğu
- n_i : Richardson ve Zaki indeksi

şeklinde verilmektedir.

Eşitlik 1 üzerinde yapılan detaylı araştırmalar tanelerin terminal çökme hızlarının boyut ve yoğunluklarına başka bir deyişle kütlelerine bağlı olduğunu göstermiştir (Sarkar vd., 2008b). Sonuç olarak ayırım bölgesi içerisinde yer alan ve yeterli kütleyle sahip taneler sürtünme kuvvetlerini yenemekte ve malzeme yatağından geçerek alt akıma gelebilmektedirler. Aksi takdirde ise üst akıma taşınmaktadırlar. Gerçekleştirilen testlerde daha hafif olan kuvars tanelerinin malzeme yatağı içerisindeki sürtünme kuvvetlerini yenememesi sonucu yukarı yönlü hareket eden yıkama suyu ile birlikte üst akıma taşındıkları düşünülmektedir. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artmasına rağmen alt akımdaki kuvars tenörü ve veriminin düşmesi de beslemenin büyük oranda kuvarstan oluşması ve KYA içerisindeki engelli çökme koşulları ve yukarı yönlü su hızından seçimli şekilde etkilenmeleri ile açıklanabilir.

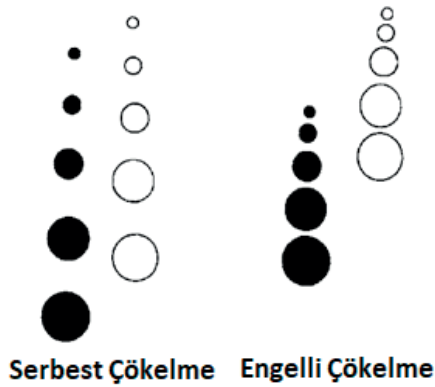
Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin sülfür tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin sülfür tenör-verim değerlerine etkisi

Şekil 9 incelendiğinde yıkama suyu miktarı ve basınç set değerindeki artış altakım sülfür tenörünü %11,59'dan %30,10'a kadar yükseltmekte, üst akım sülfür tenörünü ise %14,03'ten %5,10 değerine kadar düşürmektedir. Düşük ve yüksek yıkama suyu miktarlarındaki sülfür tenör-verim ilişkileri ise Şekil 8'de verilen kuvars tenör verim ilişkisinden farklılık göstermektedir.

Sabit yıkama suyu miktarında basınç set değerinin artması alt akım sülfür verimini artırırken üst akım sülfür verimini düşürmektedir. Basınç set değerinin artmasıyla ekipman içerisinde baskın hale gelen engelli çökeltme koşulları sonucunda sülfür içeren pirit gibi minerallerin yoğunluklarına bağlı olarak malzeme yatağının alt kısımlarına ilerledikleri düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuç farklı yoğunluk ve boyut değerlerine sahip tanelerin serbest ve engelli çökeltme koşulları altındaki davranımı ile örtüşmektedir (Şekil 10).

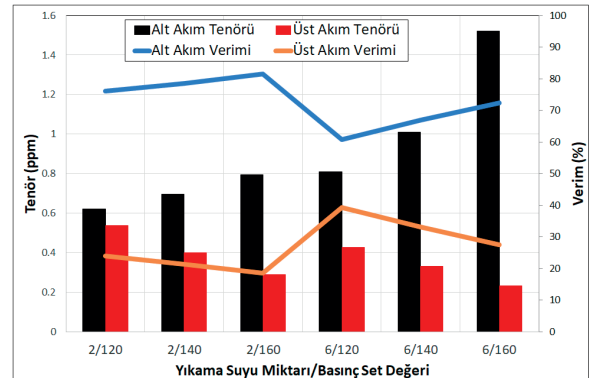


Şekil 10. Tanelerin serbest ve engelli çökeltme koşulları altındaki davranımları (Wills ve Napier-Munn, 2006)

Şekil 10 incelendiğinde engelli çökeltme koşulları altında yoğunluğu yüksek ve iri taneler ile yoğunluğu yüksek ve ince taneler hafif tanelere göre daha hızlı hareket etmekte ve malzeme yatağı içerisinde daha alt bir noktada yer almaktadırlar. Sabit yıkama suyu miktarında basınç set değerinin artmasıyla bu hareketin daha belirgin hale geldiği, kuvars tanelerinin yatağın üst kısmına itilmesine karşın sülfür içeren pirit gibi minerallerin daha verimli şekilde alt akıma gelerek sülfür tenör ve verimini arttırdığı düşünülmektedir.

Ancak yıkama suyu miktarının 2 L/dk'dan 6 L/dk'ya çıkarıldığı ve basınç set değerinin en düşük değere çekildiği Test 4 (6/120) sonuçları incelendiğinde alt akım sülfür veriminin ani bir düşüş, üst akım sülfür tenörü ve veriminin ani bir yükseliş yaşadığı görülmektedir. Yıkama suyu miktarının artırılması aynı zamanda yukarı yönlü hidrolik taşıma kuvvetinin de artırılması anlamına gelmektedir. Bu durum kuvars tanelerinin yanında daha ince boyda olan yoğunluğu yüksek tanelerin de malzeme yatağının üst kısımlarına taşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca basınç set değerinin düşürülmesi ekipman içerisindeki engelli çökeltme koşullarının daha az baskın hale gelmesine neden olmaktadır (Şekil 10). Yoğunluğu yüksek ancak kayma hızı nispeten düşük tanelerin bu yüksek su hızı ile üst akıma taşındığı düşünülmektedir. 6 L/dk. yıkama suyu miktarında basınç set değerinin artırılması her ne kadar alt akım sülfür verimini arttırsa da verim değerleri 2 L/dk. yıkama suyu miktarına göre düşük kalmaktadır. Bu sonuç alt akımdan yüksek tenör ve verim alınması için birbirine zıt koşullarda çalışılması gerektiğini göstermektedir.

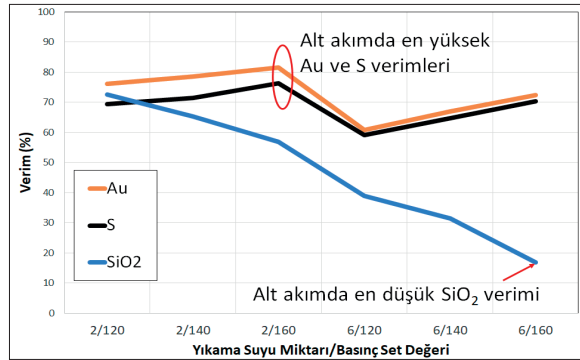
Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin altın tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin altın tenör-verim değerlerine etkisi

Şekil incelendiğinde yıkama suyu miktarı ve basınç set değerindeki artış alt akım altın tenörünü 0,66 ppm'den 1,52 ppm'e kadar yükseltmekte, üst akım tenörünü ise 0,54 ppm'den 0,23 ppm'e kadar düşürmektedir. Yıkama suyu miktarının artışı aynı basınç set değerinde alt akım altın verimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Sonuçlar bu açıdan incelendiğinde, altın ve sülfür arasındaki tenör-verim ilişkisinin çok benzer olduğu görülmektedir. Tüvenan cevhere yapılan mineralojik analiz sonuçları da cevher içerisinde bulunan altının çoğunlukla pirit kafesinde olduğunu göstermiştir. Bu nedenle üst akımdan kuvarsın verimli şekilde alındığı koşullarda alt akımda sülfür ve altın verimlerinin düştüğü düşünülmektedir.

Şekil 12 incelendiğinde alt akım altın ve sülfür verimleri benzer davranım göstermektedir. Ancak altın veriminin sülfür veriminden bir miktar daha fazla olması cevher içerisinde serbest altın varlığının işaretçisi olabilir. Ancak bu çalışma kapsamında serbest altın varlığının belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma yürütülmemiştir.

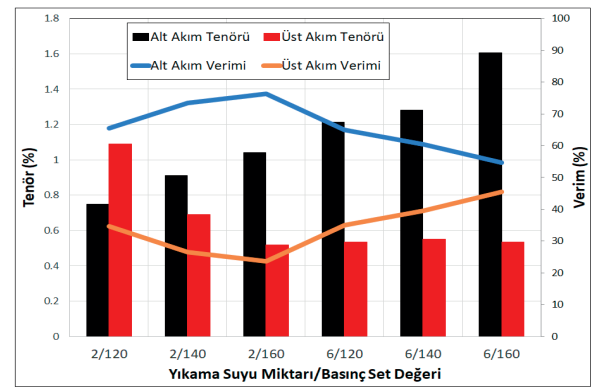


Şekil 12. Alt akım Au, S ve SiO₂ verimlerinin karşılaştırılması

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin bakır tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 13'te verilmektedir.

Şekil 13 incelendiğinde düşük yıkama suyu miktarında basınç set değerinin artması alt akım bakır tenör ve verimini arttırmaktadır. Ancak yıkama suyu miktarındaki artış sülfür ve altın değerlerine benzer şekilde alt akım bakır verimini önemli ölçüde düşürmektedir. Yüksek yıkama suyu miktarındaki bakır verimi ele alındığında, basınç set değerinin artması alt akım bakır verimini önemli

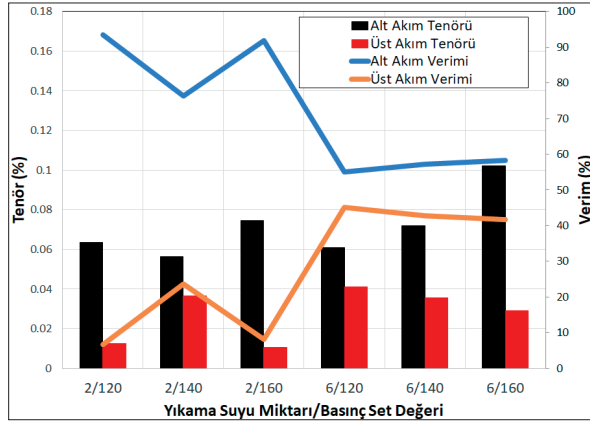
ölçüde düşürmektedir. Bu durum engelli çökeltme koşullarının daha baskın hale gelmesine karşın bakır içeren tanelerin üst akıma gitmesi anlamına gelmektedir. Literatürde aynı cevher ile yapılan bir çalışmada tüvenan cevher -9 mm'ye kırılarak fraksiyonel bakır analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre tane boyu fraksiyonunun incelenmesi bakır tenörünü arttırmaktadır. Bu durum cevher içerisindeki kalkopirit mineralinin pirit mineraline göre daha kırılabilir oluşu ile açıklanmıştır. Sonuç olarak ise kalkopirit mineralinin öğütülmesi için daha düşük bir enerji seviyesinin yeterli olacağı bildirilmiştir (Gül ve Önal, 2000).



Şekil 13. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin Cu tenör-verim değerlerine etkisi

Bu sonuçlar karşılaştırıldığında çakıl değirmenden çıkan kalkopirit mineralinin pirit mineraline göre çok daha ince boyda olduğu söylenebilir. Ayrıca çakıl değirmen çıkışı spiral sınıflandırıcı da sınıflandırılmakta ve spiral sınıflandırıcı incesi siklon beslemesi olarak kullanılmaktadır. KYA ile gerçekleştirilen testlerde yüksek yıkama suyu miktarında daha ince boylarda olduğu düşünülen kalkopirit mineralinin daha çok miktarda üst akıma taşındığı ve alt akım bakır veriminin düştüğü düşünülmektedir. Yüksek yıkama suyu miktarında basınç set değerinin artırılması üst akım bakır verimini düşürmemiştir. Bu durum ise daha viskoz hale gelen malzeme yatağı içerisinde kalkopirit tanelerinin yatağın üst kısımlarında kaldığı ve ince boyda olmaları sonucu yeterli kütleye sahip olamadıkları için yıkama suyu ile birlikte üst akıma taşındığı şeklinde yorumlanabilir.

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin çinko tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 14'te verilmektedir.



Şekil 14. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin Zn tenör-verim değerlerine etkisi

Şekil 14 incelendiğinde yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin alt akım çinko tenörünü %0,06'dan %0,10 değerine kadar yükselttiği görülmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar, KYA işlem değişkenlerinin alt akım çinko verimi üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir. Özellikle yıkama suyu miktarının artması üst akım çinko verimini önemli ölçüde arttırırken basınç set değerinin artması çinko veriminde gözle görülür bir iyileşme sağlamamıştır.

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin çinko tenör-verim değerleri üzerine olan etkisi Şekil 14'te verilmektedir.

KYA testlerinden elde edilen sonuçlar farklı yoğunluklara sahip minerallerin engelli çökelme koşulları altındaki davranımını ortaya koyma konusunda önemli katkı sağlamıştır. Tanelerin bu koşullar altındaki davranımları başta yoğunlukları, tane boyları, serbestleşme dereceleri ve şekilleri gibi birçok değişken tarafından kontrol edilmektedir. Değirmenden çıkan tanelerin nispeten serbestleşme boyutuna kadar öğütüldüğü ve benzer şekillerde olduğu düşünülürse çalışmadan elde edilen sonuçlar, minerallerin KYA ile yoğunluk farkına göre ayrılabilceğini göstermektedir. Ancak yıkama suyu miktarındaki artış sonucunda yoğunluğu yüksek ancak çok ince boyda olan tanelerin KYA üst akımından kaybedildiği gözlenmiştir. Bu durumda ise KYA beslemesinin daha dar tane boyu dağılımı içerecek şekilde sınıflandırılması ve boyut etkisinin en aza indirilmesinin ekipman verimini arttıracakı düşünülmektedir. Literatür çalışmalarında da

dar tane boyu aralığında gerçekleştirilen KYA ile zenginleştirme testlerinin daha verimli olduğu bildirilmiştir. (Ozcan ve Celik, 2016).

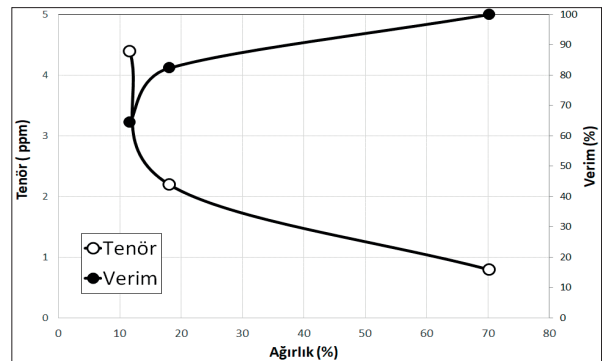
5.2. Sallantılı Masa Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

KYA ile gerçekleştirilen testlere ait sonuçlar incelendiğinde silisin cevherden başarılı şekilde uzaklaştırıldığı anlaşılmaktadır. Ancak bu koşulda alt akımdaki metal verimleri önemli ölçüde düşüş göstermektedir.

Sallantılı masa testinde 3 no'lu KYA testi alt akım numunesi kullanılmıştır. Çizelge 5 incelendiğinde bu koşuldaki alt akım altın ve sülfür verimlerinin en yüksek değerlerinde olduğu görülmektedir. KYA alt akım numunesi ile gerçekleştirilen sallantılı masa testine ait birikimli tenör-verim değerleri Şekil 15'te verilmektedir.

Şekil 15 incelendiğinde sallantılı masa beslemesinin ağırlıkça %11,63'ü 4,39 ppm altın tenörü ve %64,42 altın verimi ile nihai konsantre olarak elde edilebilmektedir. Bu koşuldaki konsantre %48,46 gibi yüksek bir sülfür tenörüne de sahiptir. Ara ürünün de konsantreye dahil edilmesi durumunda ağırlıkça %29,95'lik bir başka konsantre %2,19 Altın tenörü ve %82,29 Au verimi ile elde edilebilmektedir. Bu koşuldaki konsantrenin sülfür tenörü ise % 38,31 olmaktadır.

Sallantılı masa test sonuçları ve altın tenör-verim değerleri incelendiğinde cevher içerisinde bulunan altının yüksek bir verim değeri ile kazanılabildiği görülmektedir. Sallantılı masa testi sırasında masa üzerindeki ürün bantlarını gösterir görüntü de ayırmanın oldukça başarılı olduğunun bir göstergesidir (Fotoğraf 1).



Şekil 15. Sallantılı masa birikimli altın tenör-verim değerleri

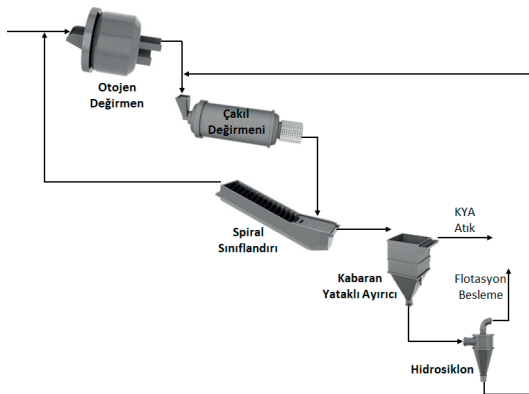


Fotoğraf 1. Sallantılı masa testine ait görüntü

5.3. Akım Şeması Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

KYA ve sallantılı masa ile yürütülen deneysel çalışmalar iki farklı sonuç ortaya koymuştur. Bunlardan ilki, siklon beslemesinin yaklaşık %70'ini oluşturan silisin yüksek yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinde yüksek verim ile cevherden uzaklaştırılabilmesidir. İkincisi ise daha düşük yıkama suyu miktarı ve yüksek basınç set değerinde siklon beslemesinde yer alan altın ve sülfürün yüksek verim değerleri ile KYA alt akımından alınmasıdır (Çizelge 5).

Elde edilen ilk koşulun tesis ölçekli uygulandığı varsayılarak oluşturulan basitleştirilmiş akım şeması Şekil 16'da verilmektedir.

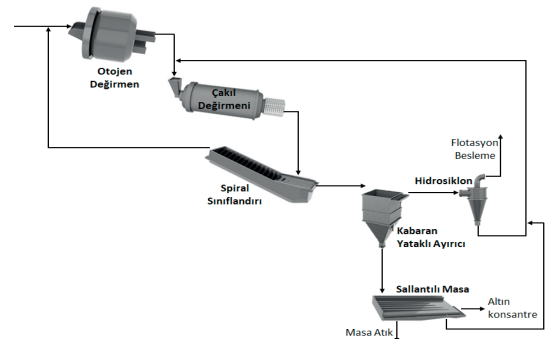


Şekil 16. Alternatif akım şeması 1

Şekil 16'da verilen akım şeması incelendiğinde spirale sınıflandırıcı taşanının KYA'ya beslendiği, KYA üst akımının flotasyon devresine beslenmeden atıldığı, KYA alt akımının ise siklon beslemesi olduğu görülmektedir. Bu akım şemasının normal akım şemasından en büyük farkı KYA'nın bir ön zenginleştirme ekipmanı

olarak kullanılmasıdır. Bu koşulda siklon beslemesi normal çalışma koşullarına göre daha iri ve daha yüksek tenörlü olacaktır. Bu durumda ise yüksek yoğunluklu tanelerin aşırı öğütülme sorunu devam edecektir.

Tesiste yer alan siklon etrafında ve laboratuvar ölçekli KYA etrafında yapılan madde denkliliği çalışmalarında siklon beslemesi 299,94 t/s tonaj ve %70,47 kuvars tenörüne sahiptir. Spirale sınıflandırıcı taşanının uygun boyutlu tesis ölçekli bir KYA'ya beslenmesi durumunda, 214,24 t/s, % 82,04 kuvars tenörlü bir ön atığın %83,15 verimle atılabileceği ön görülmektedir. Bu değerler siklon üzerindeki besleme ve geri dönüş tonajlarının önemli ölçüde düşmesi anlamına da gelmektedir. Ancak bu akım şemasında önemli dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi KYA beslemesi içerisindeki metallerin işletme koşulları nedeniyle önemli ölçüde KYA üst akımından atık olarak atılmasıdır. Siklon beslemesinde yer alan bakır ve çinkonun yaklaşık olarak %40'ı, altın ve sülfürün ise yaklaşık olarak %30'u KYA üst akımından kaybedilmektedir. Bir diğer önemli dezavantaj ise KYA-siklon grubunun çalışma prensiplerindeki farktan kaynaklanmaktadır. KYA işletme değişkenleri değiştirilerek kolayca farklı koşullarda çalıştırılabilecek bir ekipmandır. Siklonlar ise besleme özelliklerinin değişmesi durumunda daha düşük verim değerlerinde çalışmaktadırlar. Siklonlarla ilgili bir başka problem ise yüksek yoğunluklu tanelerin siklon alt akımında birikmeleri ve aşırı öğünmeye maruz kalmalarıdır. Bu taneler her ne kadar tekrar KYA alt akımına gelme eğiliminde olsalar da çok ince boylara öğütülen taneler zaman içerisinde KYA üst akımının metal kaybını artırabilir. Elde edilen ikinci koşul için oluşturulan basitleştirilmiş akım şeması Şekil 17'de verilmektedir.



Şekil 17. Alternatif akım şeması 2

Şekil 17’de verilen ikinci akım şeması incelendiğinde spiral sınıflandırıcı taşanının KYA’ya beslendiği, KYA alt akımından alınan bir ön konsantrenin sallantılı masa devresi ile nihai zenginleştirme işlemine tabi tutulduğu, KYA üst akımının ise siklona beslendiği görülmektedir. Ayrıca masa devresi ara ürünü yüksek metal içeriği nedeniyle yeniden öğütme devresine döndürülmektedir. Bu akım şemasında KYA alt akımından alınan ürünün sallantılı masa ile nihai zenginleştirmeye tabi tutulması sonucunda ise, 4,39 ppm altın ve %48 sülfür tenörlü ve ağırlıkça düşük bir konsantre elde edilebilmektedir. Bu koşulda elde edilen KYA üst akımı ise siklona beslenebilir özelliğindedir. İkinci akım şeması alternatifinde yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi kullanılarak flotasyon devresine göre nispeten daha iri bir boyda altın konsantresi elde edilmektedir. Sallantılı masa devresinden alınan ara ürünün tekrar öğütmeye tabi tutulması ise serbestleşme problemi olan taneler açısından olumludur. Siklon beslemesinde yer alan yüksek yoğunluklu tanelerin aşırı öğütülme olasılığının bu sayede düşürülebileceği düşünülmektedir. Madde denklığı çalışmalarından elde edilen sonuçlar, bu koşulda 299,94 t/s, 0,60 ppm altın ve %70,47 kuvars tenörlü spiral sınıflandırıcı taşanının uygun boyutlarda tesis ölçekli bir KYA’ya beslenmesi, 184,95 t/s, 0,79 ppm altın, %15,15 sülfür ve %64,99 kuvars tenörlü bir ön konsantre alınabileceğini göstermektedir. Bu ön konsantre uygun bir masa devresinde nihai zenginleştirmeye tabi tutulursa 21,51 t/s, 4,39 ppm altın, %48,46 sülfür ve 1,43 kuvars tenörlü bir konsantre elde edilebilmektedir. Siklon beslemesine göre nihai konsantre verimleri ise altın, sülfür ve kuvars için sırasıyla %52,50, %28,39 ve %0,15 şeklindedir.

YORUM VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Murgul Çakmakaya bakır cevheri öğütme devresinde yer alan siklon beslemesinden temsili numuneler toplanmış ve laboratuvar ölçekli bir KYA ile ön zenginleştirme çalışmaları yürütülmüştür. Laboratuvar ölçekli KYA testlerinden elde edilen sonuçlara göre, yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artması KYA alt akımına giden malzeme miktarını azaltmaktadır.

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin kuvars tenör-verim değerlerine etkisi incelendiğinde, yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin artması ile birlikte KYA alt akımı kuvars tenörü ve veriminin önemli ölçüde düştüğü, üst akım kuvars tenörünün kısıtlı oranda, veriminin ise önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Üst akım tenöründeki kısıtlı değişimin başlıca nedeni test çalışmalarında kullanılan cevherin %70’inin kuvars olması şeklinde yorumlanmaktadır.

Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin sülfür tenör-verim değerlerine etkisi incelendiğinde, basınç set değerinin artması sonucu alt akım tenör ve verim değerlerinde iyileşme gözlenmiştir. Ancak yıkama suyu miktarındaki artış alt akım sülfür veriminde önemli bir düşüşe yol açmıştır. Yıkama suyu miktarı ve basınç set değerinin altın tenör-verim değerlerine etkisi incelendiğinde sülfür değerlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kuvarsın cevherden yüksek verim değerlerinde uzaklaştırıldığı koşulda üst akım altın ve sülfür verimleri de önemli ölçüde artmaktadır. Bu durumda tesisin hangi ürüne yönelik çalışacağına kararlaştırılması ve KYA işletme değişkenlerinin o koşula göre ayarlanması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışmanın temel amacına uygun olarak 3 no’lu KYA testi alt akım numunesi nihai zenginleştirme testinde kullanılmıştır. Bu koşulda altın ve kükürt verimleri KYA alt akımında en yüksek değerlere erişmektedir. Sallantılı masa testi sonuçları incelendiğinde masa beslemesinin ağırlıkça %11,63’ü 4,39 ppm altın tenörü ve %64,42 altın verimi ile nihai konsantre olarak elde edilebilmektedir. Bu koşuldaki konsantre %48,46 gibi yüksek bir S tenörüne de sahiptir.

KYA testleri sonucunda farklı yoğunluklara sahip minerallerin engelli çökelme koşulları altındaki davranımının ortaya konması konusunda önemli veriler elde edilmiştir. KYA ve sallantılı masa testlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak iki farklı akım şeması alternatifi geliştirilmiş, devre üzerinde yaratması muhtemel etkileri yorumlanmıştır. Sonuç olarak tenör-verim ilişkileri incelendiğinde iki numaralı akım şeması alternatifinin daha olası olduğu düşünülmektedir. Bu akım şemasında KYA ile bir ön zenginleştirme gerçekleştirilmektedir. KYA ön konsantresi

sallantılı masa devresi ile nihai zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. KYA üst akımı ise birinci alternatiften farklı olmak üzere atık olarak atılmamakta öncelikle siklon ile sınıflandırılmakta ardından flotasyon devresine beslenmektedir. Ayrıca nihai atık tenörünün düşürülmesi açısından sallantılı masa devresinden alınan ara ürünün tekrar sisteme döndürülmesi önerilmektedir.

Mineraller arasındaki boyut ve yoğunluk farkına dayalı bir ön zenginleştirme işleminin hem nihai zenginleştirme işlemlerine girecek tenörü artırması hem de miktarı azaltması açısından önem arz ettiği düşünülmektedir. KYA'lar besleme koşullarından bağımsız olarak uygun endüstriyel boyutlarda çok farklı işletme koşullarında çalıştırılabilmektedir. Bu yönü ile KYA'ların siklonlardan daha verimli sınıflandırma ve zenginleştirme yaptığı bilinmektedir. Literatürde yapılan kısıtlı sayıdaki çalışmada da KYA'ların siklonlardan daha verimli ekipmanlar olduğu belirtilmektedir.

Elde edilen tesis ve laboratuvar ölçekli veriler kullanılarak farklı akım şeması alternatiflerini oluşturmak öğütme ve zenginleştirme devreleri için olumlu görünmektedir. Ancak laboratuvar ölçekli sonuçlardan endüstriyel boyutlu uygulamalara geçilirken (ölçek büyütme) teknik ve ekonomik açıdan daha fazla çalışma yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Erlar, A., 1993. Altın ve Türkiye. Metalurji Dergisi 87/27.

Galvin, K. P., Pratten, S. J. Nicol, S. K., 1999. Dense Medium Separation Using A Teetered Bed Separator. Miner. Eng., Vol. 12, no. 9, 1059-1081.

Gül, A., Önal, G., 2000. Pre-Concentration of A Low-Grade Sulfidic Copper Ore From Murgul Çakmakkaya Region of Turkey, Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress, eBook ISBN: 9780080543895, C10-1-C10-4.

Karabalık, N., 1994. Altının Türkiye'deki Yakın Geleceği. JMO Bülteni, Sayı 94/1, Ankara

Kawatra, S. K., Eisele, T. C., 2005. Optimization of Comminution Circuit Throughput and Product Size Distribution by Simulation and Control.

Final Technical Report, Department of Chemical Engineering Michigan Technological University, p. 64.

Kumar, C. R., Bhoja, S. K., Tripathy, S. K., Mohanan, S., Venugopalan, T., Suresh N., 2013. Classification Performance Evaluation of Floatex Density Separator For Coal Fines. Fuel, no. 108, 303-310.

Kumar, C. R., Tripathy, S. K., Rao, D. S., 2009. Characterisation and Pre-concentration of Chromite Values from Plant Tailings Using Floatex Density Separator. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 8, no. 5, 367-378.

Ozcan, O., Ergun, S. L., 2017a. Performance of Teetered Bed Separator For Non-Coal Applications, Separation Science and Technology. Vol. 52:8, 1486-1495.

Ozcan, O., Celik, I.B., 2016. Beneficiation Routes For Upgrading Iron Ore Tailings With A Teetered Bed Separator. Separation Science and Technology, Vol. 51:17, 2844-2855.

Özcan, Ö., 2017. Kabaran Yataklı Ayırıcı ile Farklı Minerallerin Zenginleştirilmesi. Yerbilimleri, Cilt 38 (2), 179-192.

Özcan, Ö., Ergün, Ş. L., 2017b. Yıkama Suyu Miktarının Kabaran Yataklı Ayırıcı Performansı Üzerine Etkisi. IMCET 2017 Bildiri Kitabı, ISBN: 978-605-01-1008-1611-619, Antalya.

Özcan, 2015. Kömür Dışı uygulamalarda Kabaran Yataklı Sınıflandırıcıların Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 168 s.

Richardson, J. F., Zaki, W. N., 1954. Sedimentation and Fluidization: Part I. Transact of Institution of Chemical Engineers, Vol. 32, 35-53.

Sarkar, B., Das, A., Roy S., Kai, K., 2008a. In Depth Analysis of Alumina Removal From Iron Ore Fines Using Teetered Bed Gravity Separator. Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 117, no. 1, 48-55.

Sarkar, B., Das, A., Mehrotra, S. P., 2008b. Study of Separation Features in Floatex Density Separator For Cleaning Fine Coal. Int. J. Miner. Process., no. 86, 40-49.

Triphaty, S. K., Mallick M. K., Singh V., Murthy R. M., 2013. Preliminary Studies on Teeter Bed Separator For Separation of Manganese Fines. *Powder Technology*, no. 239, 284-289.

Ünal, İ.H., Tuncel, S., Yoleri, B., Arslan, M., 2016. *Türkiye ve Dünyada Altın*. MTA Genel Müdürlüğü,

Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 35.

Wills, B. A., Napier-Munn, T., 2006. *Mineral Processing Technology, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral*, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0750644508.