

**BİR METAL OKSİT KONSANTRATÖRÜNDE İŞLEM
DEĞİŞKENLERİNİN TESİS PERFORMANSI ÜZERİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PROCESS
VARIABLES ON PLANT PERFORMANCE IN A METAL
OXIDE CONCENTRATOR**

METEHAN OLCA YTO ÇOLAK

PROF. DR A. HAKAN BENZER

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

Yüksek Lisans TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024

i

Hayatım boyunca beni sonsuz destekleyen babama ve anneme.

ÖZET

BİR METAL OKSİT KONSANTRATÖRÜNDE İŞLEM DEĞİŞKENLERİNİN TESİS PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Metehan Olcayto ÇOLAK

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Hakan Benzer

Haziran 2024, 66 sayfa

Yapılan çalışmanın odak noktası oksitli kurşun çinko cevherinin zenginleştirme esnasında uygulanan metot değişkenliğinin proses verimine olan etkisinin gözlemlenmesidir. Uygulama Kayseri-Aladağ bölgesinden çıkarılan cevherin zenginleştirme tesisinde yapılmıştır. İşlem değişkenlerinin sistem performansı üzerine etkilerinin incelenmesi için her bir değişken için kontrollü değişim uygulanarak sistem performansı dinamik olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sırasında öğütme tane boyutu ve reaktif miktarları hedef parametreler olarak seçilmiştir. Her bir değişken parametre için devre etrafındaki günlük fiziksel ve kimyasal analizler izlenmiş, reaktif sarfiyat miktarı ve yoğunluk ölçümleriyle takip edilmiştir. Elde edilen analiz verileri için her seferinde kütle denkliği çalışmaları yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar istatistikî analizlerle test edilerek sistem üzerindeki değişkenliğin minimize edilebilmesi için bir kontrol metodolojisi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: öğütme, flotasyon, serüzit, oksitli kurşun cevheri.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PROCESS VARIABLES ON PLANT PERFORMANCE IN A METAL OXIDE CONCENTRATOR

Metehan Olcayto ÇOLAK

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. A. Hakan Benzer

June 2024, 66 pages

The main focus of the study is to observe the effect of method variability applied on enrichment of high clay content oxide lead zinc ore on enrichment process. The application will be carried out in the enrichment facility of ore extracted from Kayseri-Aladağ region. To examine the effects of process variables on system performance, system performance is monitored dynamically by applying controlled change for each variable. During the study, grinding grain size and reagent amounts were selected as target parameters. Daily physical and chemical analyzes around the circuit for each variable parameter is monitored, followed by reactive consumption amount and density measurements. For the analysis data obtained, mass balance studies are carried out each time and the results obtained are tested with statistical analyzes and it is aimed to develop a control methodology in order to minimize the variability on the system.

Keywords: grinding, flotation, serusite, oxide lead ore.

TEŞEKKÜR

BaŐta danıŐmanım ve akıl hocam sayın Prof. Dr. A. Hakan Benzer'e, tım imkanlarıyla her daim beni destekleyen aileme, en değerlim eŐime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
DENKLEMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	12
2. GENEL BİLGİLER	15
2.1. Kurşun Cevheri	15
2.2. Kurşun Cevherinin Zenginleştirilmesi	15
2.3. Flotasyon	17
2.3.1. Flotasyon Reaktifleri	18
2.3.1.1. Toplayıcılar	18
2.3.1.2. Köpürtücüler	19
2.3.1.3. Kontrol Reaktifleri	19
2.3.1.4. Canlandırıcılar	20
2.3.1.5. Bastırıcılar	20
2.4. Oksitli Kurşun Cevherlerinin Sülfidasyonu	20
2.5. Tesis Örnekleri	21
3. BÖLGESEL JEOLJİ VE MİNERAL YAPISI	27
4. OKSİTLİ KURŞUN MİNERALLERİNİN FLOTASYONLA ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMİ	30
5. TESİS VERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	34
5.1. Öğütme	34
5.2. Zenginleştirme	35
6. TESİS ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI	37
6.1. Akım Şeması	37
6.2. Çalışma Süreci ve Numune Alma	41

6.3. Elek Analizleri	43
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve ELDE EDİLEN BULGULAR	51
8. TANK SELÜL DENEMESİ	53
9. SONUÇ	56
10. YORUMLAR	59
KAYNAKLAR.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kurşun-Çinko Yatakları (Türkiye) (MTA).....	28
Şekil 2. Kırma Eleme Devresi Akım Şeması.....	38
Şekil 3. İkinci Değirmen Öğütme ve Sınıflandırma Akım Şeması	39
Şekil 4. Birinci Değirmen Öğütme ve Sınıflandırma Akım Şeması	40
Şekil 5. Zenginleşme Devresi Akım Şeması	41
Şekil 6. Zenginleşme Devresi Verim Tenör Grafiği	46
Şekil 7. Birinci Devre Akış %Ağırlıkları	47
Şekil 8. Zenginleştirme Devresi Verim-Tenör Analiz Grafiği	39
Şekil 9. 2. Devre %Ağırlık-Tane Boyutu Grafiği.....	39
Şekil 10. Tank Selül Deneyi Verim-Tenör Analiz Grafiği	54
Şekil 11. Tank Selül Deneyi Reaktif Sarfiyatına Karşılık Tenör Grafiği.....	55
Şekil 12. Tank Selül Zenginleştirme Devresi	56
Şekil 13. Tank Selül Kimyasal Analizleri.....	57
Şekil 14. Tank Selül Operasyonel Verim-Tenör Grafiği	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Sardunya-Masua, Ammi Madeni, İtalya.....	22
Çizelge 2. Utah, Eureka Madeni Birleşik Amerika	22
Çizelge 3. Setif, Cebel Gustar Madeni, Cezayir	23
Çizelge 4. L'Argentiera - İtalya	24
Çizelge 5. Mibladende - Fas	25
Çizelge 6. Sierra de Lujar - İspanya.....	26
Çizelge 7. La Plagne - Fransa.....	26
Çizelge 8. Tesis Ton Başına Reaktif Tüketimi.....	40
Çizelge 9. Birinci Devre Değirmen Çıkışı – Klasifikatör Taşarı Pülp Yoğunlukları.....	42
Çizelge 10. İkinci Devre Değirmen Çıkışı – Klasifikatör Taşarı Pülp Yoğunlukları	42
Çizelge 11. Flotasyon Atığı Pülp Yoğunlukları	42
Çizelge 12. Tesis Besleme Değerleri	43
Çizelge 13. Birinci Değirmen Çıkışı Elek-Kimyasal Analizi	43
Çizelge 14. Birinci Klasifikatör Taşarı Elek-Kimyasal Analizi	44
Çizelge 15. Birinci Klasifikatör Alt Akışı Elek-Kimyasal Analizi	44
Çizelge 16. Birinci Flotasyon Devresi Elek-Kimyasal Analizi	44
Çizelge 17. Birinci Zenginleştirme Devresi Konsantre Elek-Kimyasal Analizi	45
Çizelge 18. Birinci Devre Fraksiyonel Verim Tablosu	45
Çizelge 19. Birinci Zenginleştirme Devresi Değirmen Çıkışı Elek-Kimyasal Analizi.....	47
Çizelge 20. İkinci Zenginleştirme Devresi Klasifikatör Üst Akışı Elek-Kimyasal Analizi.....	48
Çizelge 21. İkinci Zenginleştirme Devresi Klasifikatör Alt Akışı Elek-Kimyasal Analizi	48
Çizelge 22. İkinci Zenginleştirme Devresi Flotasyon Atığı Elek-Kimyasal Analizi.....	48
Çizelge 23. İkinci Zenginleştirme Devresi Konsantre Elek-Kimyasal Analizi	48
Çizelge 24. İkinci Devre Fraksiyonel Verim Tablosu.....	49
Çizelge 25. Tank Selül Denemeleri Kimyasal Analiz Sonuçları.....	53
Çizelge 26. Tank Selül Deney Reaktif Sarfiyatları.....	55
Çizelge 27. Tank Selül Devresi %Pb-Verim Tablosu	57

DENKLEMLER DİZİNİ

Eşitlik 1. Serütizin Sülfürleşmesi	21
Eşitlik 2. Kurşun-Sülfür İyon Etkileşimi	21
Eşitlik 3. OH ⁻ İyonlarının Kurşun Yüzeyine Etkileşimi	33

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada gün geçtikçe artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen teknoloji ve bu teknolojiyi karşılamak için gerekli olan hammadde temini, sorunlu cevher oluşumlarının değerlendirilmesine yönelik araştırmaları artırmıştır. Bu cevherlerin başında gelen kurşun ve çinko rezervi, yapılan son çalışmalara göre uzun yıllar ihtiyaçları karşılayacak durumdadır. Çünkü yapılan son araştırmalar, daha fazla kaynağın olduğunu göstermektedir (Mudd vd., 2017).

Kurşun ve çinko dünya genelinde sanayide kullanılan en önemli metallere aittir. Kurşunun en temel kullanım alanları akü imalatı olup yeraltı kablolarının kurşunla izolasyonu da en önemli tüketim alanlarından biridir. Korozyonu önleyen kurşun oksit boyalar, kurşun tetraetil ve tetrametil formlarında benzin içinde oktan ayarlayıcı bileşikler olarak, kabloların kaplanmasında, radyasyonu çok az miktarda geçiren metal olması nedeniyle x-ışınlarından korunmada, renkli televizyon tüplerinin yapımında ve mühimmat imalinde önemli kullanım alanları oluşturmaktadır (DPT, 2001).

Çinko ve kurşun elementleri yaygın şekilde, oksitli ya da sülfürlü mineraller halinde birlikte yataklanmaktadır. Bu nedenle kurşun ve çinko, -çoğunlukla- ortak bir madencilik konusu oluşturmaktadır.

Diğer metal madenlerle kıyaslandığında çinko ve kurşun yatakları daha yaygın şekilde bulunmakla birlikte, kurşun-çinko madenciliği birçok ülkede yapılmaktadır. Bundan dolayı diğer metalik madenlerden farklı olarak, belirli ülkelerin kurşun-çinko madenciliği konusunda belirleyici bir konuma sahip olduğunun ileri sürebilmesi güçtür. Kurşun ve çinko tabiiatta tek başına bulunabileceği gibi farklı oranlarda bakır, kurşun ve çinkonun birlikte bulunduğu yataklara da sıklıkla rastlanmaktadır. Kurşunca zengin yataklarda gümüş, çinkoca zengin yataklarda altın gümüş kadmiyum metalleri de yüksek oranlarda olabilmektedir.

Kurşun-çinkodan metal elde edim süreci maden yataklarından tüvenan üretimiyle başlayıp, farklı zenginleştirme işlemlerinden geçmesiyle birlikte konsantre (kurşun konsantresi, çinko konsantresi veya bulk konsantre formlarında) elde edilmektedir. Elde edilen konsantrenin izabe edilmesi sonrasında birincil kurşun ve çinko metali çeşitli nihai ürünlere dönüştürülmektedir.

Türkiye'nin rezerv bakımından birinci derecede önemli kurşun-çinko yatakları Karadeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır. Karadeniz Bölgesi'ni, Zamantı (oksitli cevherleşmeler) Keban ve Batı Anadolu Bölgeleri takip etmektedir. Mevcut kurşun madenlerimiz, dünya standartlarıyla karşılaştırıldığında düşük kapasiteli olup, yüksek maliyetli ocaklardır. Mevcut zenginleştirme tesislerinin sadece birkaçı 100-150 ton/gün tüvenan cevher işleyebilecek durumdadır. Kapasite düşüklüğü yüksek maliyetlere sebebiyet vermekte ve düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi yerine yüksek tenörlü cevherlerin flotasyonla zenginleştirilmesine neden olmaktadır. Cevher zenginleştirme tesislerimizin tamamına yakını flotasyonla zenginleştirmeye göre tasarlanmıştır. Ancak, bu tesislerin birçoğunda teknolojik problemlerin yanında cevher mineralojisine ilişkin de sorunlar olduğundan, değerli olan selektif ürünler yerine, daha kolay elde edilebilen toplu (bulk) konsantrü üretime yönelmişlerdir.

Ülkemizde oksitli kurşun cevherleri konusunda araştırmalar kısıtlı olup, farklı zenginleştirme yöntemleri üstüne ağırlık verilmiştir. Ancak işleyişteki sorunlar ve çözüm yöntemleri hakkında veya cevher değişkenliğinin prosese olan etkisi gözlenmemiştir. Bu çalışma, aktif olarak işleyen bir oksitli kurşun zenginleştirme tesisinin güncel verilerini işleyerek yapılmış ve günlük sorunlar ile aksaklıklar gözlemlenmiştir.

Çalışma Kayseri-Aladağ Bölgesi'nden çıkarılan cevherin işlendiği zenginleştirme tesisinde yapılmıştır. İşlem değişkenlerinin sistem performansı üzerine etkilerinin incelenmesi için her bir değişkene kontrollü değişim uygulanarak sistem performansı dinamik olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sırasında öğütme tane boyutu, reaktif miktarları ve cevher mineralojik değişimleri hedef parametreler olarak seçilmiştir. Her bir değişken parametre için devre etrafındaki günlük fiziksel ve kimyasal analizler izlenmiş, reaktif sarfiyat miktarı ve yoğunluk ölçümleriyle takip edilmiştir. Elde edilen analiz verileri için her seferinde kütle denkliği çalışmaları yürütülmüştür.

Çalışmanın yürütüldüğü tesiste, zenginleştirme prosesi aşağıda belirtilen sıralamada yürütülmektedir;

1. Kırma-eleme
2. Öğütme
3. Sınıflandırma
4. Flotasyon
5. Susuzlandırma

Yapılan alışma, ülkemizdeki kısıtlı sayıda işlev halinde olan oksitli kurşun cevher yataklarından birini kapsamaktadır. Araştırılan literatür içeriklerinde çalışmaların çoğu alınan numunelerle laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilmiş olup işleyiş halinde olan bir tesis üzerine bir çalışma bulunmamaktadır. Bu da hem literatüre hem de ileriki çalışmalara kaynak yaratma potansiyeli oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın nihai amacı, kısıtlı miktarda rezervi olan oksitli kurşun cevherlerinden serzitin zenginleştirme işleminin veriminin nasıl arttırılabileceğinin araştırılmasıdır. Kısıtlı olan ülke kaynağının daha efektif kullanılmasına katkı sağlanması gözetilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kurşun Cevheri

Kurşun cevherinden elde edilen metalik kurşun, yumuşak, esnek ve sünek bir yapıya sahiptir. Mavimsi beyaz renkte, yüksek yoğunluklu ve düşük erime noktasına sahiptir. Kurşun, kireçtaşı ve dolomit içinde damarlarda ve kitleler halinde bulunur. Aynı zamanda çinko, gümüş, bakır ve altın gibi diğer metallerin yataklarında da rastlanır. Kurşun genellikle çinko madenciliğinin bir yan ürünü olarak ya da bakır, altın ve gümüş madenciliği sırasında elde edilir. Karmaşık cevherler, bizmut, antimon, gümüş, bakır ve altın gibi yan ürün metallerinin de kaynağıdır. En yaygın kurşun cevheri galenit veya kurşun sülfürdür (PbS). Kurşunun kükürtle birleştiği bir diğer cevher ise anglezit veya kurşun sülfattır (PbSO₄). Serüzit (PbCO₃) ise kurşun karbonat içeren bir mineraldir.

Galen (PbS): Galen yaklaşık olarak %86,6 Pb ve %13,4 S'den meydana gelmektedir. Ancak eser miktarda çinko, demir, antimuan, selenyum, altın ve gümüş içerebilir. Gümüş oranı genellikle %0,01-2,0 aralığındadır. Bundan dolayı simli kurşun adını alır. Sertliği 2,3 olup özgül ağırlığı 7,4-7,6'dır. Gümüş grisi görünümündedir. Kristalleşmesi kübik sistemde olan galen, üfleç alevinde kolayca erir.

Serüzit (PbCO₃): Gevrek bir yapıya sahip olan serüzin sertliği 3-3,5 ve özgül ağırlığı 6,5'tir. Genellikle sarı, gri, esmer ve beyaz renklerde olmakla birlikte mineralin saf olanı beyaz renge sahiptir. Gruplar halinde veya yalın halde kristalleri gözlenen serüzit rombik kristal yapısındadır.

Anglesit (PbSO₄): Bileşiminde %68,3 Pb içerir. Sertliği 3 olup, yapısı gevrek ve özgül ağırlığı 6,3'tür. Renksiz olmasına karşın çeşitli renklerde izlenebilen anglesit, rombik sistemde kristalleşir (DPT, 2001).

2.2. Kurşun Cevherinin Zenginleştirilmesi

Günümüzde dünya kurşun gereksinimi birincil kaynaklardan; göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir miktarı ise geri dönüşümden karşılanmaktadır. Kurşun ve çinko konsantrelerinin üretimi, flotasyon veya yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme metotlarıyla yapılmaktadır. Düşük yatırım ve operasyon maliyetine rağmen, gravite yöntemleriyle metal kazanım oranı ve konsantre tenörü, flotasyonla zenginleştirmeye

oranla düşüktür. Graviteyle zenginleştirme, genellikle ön konsantre üretimi için tercih edilmektedir. Minerallerin serbestleşme tane boyutunda zenginleştirilmesinde çoklu gravite yöntemi, ortam ayırıcıları, ağır ortam ayırıcısı, spiral, jig ve sarsıntılı masalar, tek başlarına veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Günümüzde kurşun-çinko cevherleri zenginleştirmesinde yoğunluğa dayalı zenginleştirme yöntemi; flotasyon besleme tenörünü yükseltmek, gangın flotasyona girmesini önlemek için ön zenginleştirme işlemi olarak uygulanmaktadır (Çilingir, 1996).

Flotasyon kurşun ve çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde en etkin yöntemdir. Bu yöntemle, yüksek tenör ve metal kazanımıyla konsantre ürün elde etmek mümkündür (Cöcen vd., 1998). Flotasyon prosesinde; kurşun-çinko, bakır-çinko ve bakır-çinko-kurşun gibi karmaşık mineraller, çeşitli kontrol ve toplayıcı reaktifler kullanılarak birbirinden ayrılır ve zenginleştirilir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından benzer yapıda olan diğer oksit, silikat ve tuz tipi mineraller de uygun kontrol reaktifleri ve toplayıcılarla gang minerallerinden ayrılabilir. Flotasyon işlemi, mineral endüstrisinin yanı sıra, çevre kirliliğini önlemek ve bazı endüstriyel ürünlerin saflaştırılmasında da kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında koloidal atık suların temizlenmesi, atık fotoğraf çözeltilerinden gümüş geri kazanımı ve tohumların flotasyonla ayrılması gibi örnekler bulunmaktadır.

Flotasyon işleminde kullanılan kimyasallar üç ana sınıfa ayrılır: Toplayıcılar, köpürtücüler ve kontrol reaktifleri (bastırıcılar, canlandırıcılar, pH ayarlayıcıları, dağıtıcılar, köpük önleyiciler vb.).

Minerallerin hava kabarcığına tutunarak yüzdürülmesi işlemi olan flotasyon yönteminde, minerallerin fiziko-kimyasal özelliklerine göre su içerisinde oluşan yüzey özellikleri büyük önem taşır. Islanan bir yüzey yerine, suyu iten (hidrofobik) bir yüzey yapısı, hava kabarcığına tutunmayı sağlar. Hidrokarbonlar ve diğer etkin kovalent bağlı bileşikler genellikle simetrik molekül yapısına sahip olup dipol moment içermezler. Bu tür maddeler "apolar maddeler" olarak adlandırılır ve su gibi polar bir sıvıyla etkileşime giremezler, bu nedenle ıslanmazlar. Islanabilen mineraller, bazı organik reaktiflerle karıştırıldıklarında suyu iten (hidrofobik) yüzey özellikleri kazanabilirler. Bu reaktifler, toplayıcı reaktifler olarak bilinir.

Flotasyon işleminde, minerallere hidrofobiklik kazandırmak için toplayıcı olarak adlandırılan bu yüzey aktif maddeler pulpa ilave edilir ve adsorpsiyon için bir süre beklenir. Toplayıcılar, organik bileşikler olup iyonlaşan veya iyonlaşmayan (suda çözünmeyen) bileşikler olabilirler ve mineral yüzeyini ince bir tabakayla kaplayarak suyu iten hale getirirler. İyonlaşan toplayıcılar flotasyonda yaygın olarak kullanılır. Bu bileşikler kompleks moleküller olup, asimetric yapıda ve genellikle dipolardır; apolar hidrokarbon grup ve polar grup içerirler. Apolar hidrokarbon, radikal su itici özelliklere sahipken, polar grup, suyla reaksiyona girer. İyonlaşan toplayıcılar anyonik ve katyonik olarak sınıflandırılır.

2.3. Flotasyon

Flotasyon, cevherlerin yüzdürme yoluyla zenginleştirme metodudur. İsminden de anlaşılacağı üzere, yaş usulle çalışan bir metottur. Bu metotla, cevherlerin zenginleştirilmesi, mineral tanelerinin gangından ayırıp sıvı üzerinde teşekkül ettirilen köpükte toplamak, gangı ise sıvı altında bırakmasıyla sağlanır.

Flotasyonun, kullanılmaya başlanmasından bu yana geçirdiği gelişim ve süreç neticesinde “Köpük Flotasyonu” sistemi ortaya çıkmıştır. Köpük flotasyonun yanı sıra benzer birçok yüzdürme metodu, uygulama alanı bulabilmişse de bugün, flotasyon deyimini Köpük Flotasyonunu tanımlamaktadır (Fuerstenau, 2007).

Flotasyon olayının meydana gelebilmesi için aşağıdaki şartların sağlandığı bir ortamın olması gerekmektedir:

1. Cevher içerisindeki minerallerin birisi ve/veya bir bölümünün havaya karşı yüzey gerilimine sahip olması gereklidir. Ayrıca, minerallerden birisi ve/veya bir kısmının da zor ıslanabilir veya ıslatılamaz (Hidrofob), kolay ıslanabilir (Hidrofil) olmalıdır.
2. Flotasyon esnasında pülp, yüzey gerilimini aktif yapan maddeleri içermelidir. Bu maddelerden birisi su-hava yüzey gerilimini azaltmalı, diğeri de köpük yapmalı ve miktarı da stabil/durağan bir köpük yaratacak kadar olmalıdır.
3. Hidrofob mineral tanecikleri hava kabarcıkları tarafından taşınabilmelidir. Bu olayda hava kabarcığı ve mineral tane boyutunun önemli rolü vardır.

Flotasyon olayının devamlı olabilmesi için:

- Bir cevher minerali tanesinin gang malzemenen selektif bir şekilde ayrışması malzemenin optimum serbestleşme boyutunda öğütülmesi,
- Köpük stabilitesinin sağlanması,
- Mineral tanecikleri ile hava kabarcıklarının çarpışma ihtimalinin yüksek olduğu ortamın sürekliliği gerekmektedir (Fuerstenau, 2007).

2.3.1. Flotasyon Reaktifleri

Taneciklerin hava kabarcıklarına yapışabilmesi için mineral yüzeyindeki suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için, mineral yüzeyinin suyu sevmeyen, diğer bir deyişle hidrofobik olması gerekmektedir. Yüzeğe çıkan hava kabarcıklarının mineral tanelerini taşımaya devam edebilmesinin tek yolu kararlı bir köpük oluşturmaktır. Aksi takdirde hava kabarcıkları patlar ve taneler düşer. Bu koşulları sağlayabilmek amacıyla flotasyon reaktifleri olarak bilinen kimyasallardan yeteri kadar kullanılması gerekmektedir (Wills ve Napier-Munn, 2006).

Flotasyonun ilk aşaması, toplayıcılar ve kontrol reaktifleri yardımıyla gerçekleştirilir. Minerallerin çoğu, birkaç istisna dışında, doğal olarak hava kabarcıklarına yapışarak yüzmeye özelliğine sahip değildir. Toplayıcıların hedeflenen minerallerle etkileşime girmesini kolaylaştıran reaktiflere canlandırıcılar, bu etkileşimi zorlaştıran reaktiflere ise bastırıcılar denir. Mineral tanelerinin şlamlarla kaplanmasını önlemek için kullanılan diğer bir flotasyon reaktifi ise dağıtıcılardır. Flotasyon sürecinde, köpük oluşumunu kolaylaştıran ve köpüğün dayanıklılığını artıran köpürtücü reaktifler de kullanılır (Booth ve Freyberger, 1962).

2.3.1.1. Toplayıcılar

Flotasyonla zenginleştirme sürecinde toplayıcı seçimi kritik bir faktördür. Seçilecek toplayıcı, yüzdürülmek istenen mineralin yanı sıra bastırılmak istenilen mineralleri de dikkate alarak belirlenmelidir. Toplayıcı seçiminde amaç, verimi etkilemeden en yüksek seçiciliği elde edebilmektir.

Minerallerin hava kabarcıklarına yapışarak yüzdürülmesine dayanan flotasyon yönteminde, minerallerin yapısal özelliklerine bağlı olarak su içinde oluşan yüzey özellikleri büyük önem taşır. Suyu seven ve ıslanan yüzeyler yerine, suyu sevmeyen ve iten (hidrofobik) yüzeyler hava kabarcıklarına daha iyi tutunur. Toplayıcılar, minerallerin yüzeylerini hidrofobik hale getirerek hava kabarcıklarına yapışmalarını sağlayan

kompleks organik bileşiklerdir. Toplayıcılar, bir hidrokarbon zinciri (polar olmayan grup) ve bir polar grup içeren heteropolar moleküller olarak tanımlanabilir. Mineral yüzeyiyle etkileşime geçen kısım, toplayıcıların polar grubudur; polar olmayan grup ise sulu ortamda hidrofobik yüzey oluşturur (Önal, Ateşok ve Perek, 2004).

Toplayıcılar, iyonik (anyonik - katyonik) ve iyonik olmayan olarak iki gruba ayrılırlar. Genel olarak; anyonik toplayıcılar sülfür flotasyonunda, amin türü katyonik toplayıcılar ise oksit flotasyonunda kullanılır.

Ksantatlar, genellikle etil, bütil, amil alkol gibi doymuş basit yapılı alkollerden elde edilir ve birçok sülfürlü minerali yüzdürebilen toplayıcılardır. Hidrokarbon zinciri uzadıkça kararlılıkları artar. Kısa zincirli ksantatlar suda hızlı çözünürler ancak hidroliz sonucu ksantatik asit, alkol ve karbon sülfüre ayrışabilir. Bu nedenle ksantatlar, uzun süre çözelti halinde muhafaza edilmemelidir. Ksantatlar, suyun yüzey gerilimini de etkilerler, ancak kısa zincirli olanların bu etkisi oldukça zayıftır ve bu nedenle köpük oluşumuna neden olmazlar. Toplayıcı olarak ksantatların seçiciliği düşüktür ve yüksek alkali pH'larda oldukça duyarlıdırlar. Düşük pH'larda ise ksantatlar kolaylıkla bozulabilir.

2.3.1.2. Köpürtücüler

Köpürtücüler, bir polar grup ve su-hava arayüzü içinde soğurulan bir hidrokarbon radikali içeren heteropolar yüzey aktif bileşiklerdir (Bulatovic, 2007).

Köpürtücülerin fonksiyonu, sıvı-gaz ara yüzeyine yerleşerek yüzey gerilimini düşürmektir. Bu sayede sürekli ve duraylı bir köpük tabakası oluşur. Köpürtücüler palpta heterojen bir boyut dağılımına sahip olan hava kabarcıklarının daha küçük çaplı ve homojen bir yapıya sahip olmalarına da neden olmaktadır (Fuerstenau, 2007).

2.3.1.3. Kontrol Reaktifleri

Flotasyonda tek reaktif olarak toplayıcının kullanılması oldukça nadirdir. Minerallerin yalnızca flotasyon özellikleri açısından belirgin bir şekilde farklılık gösterdiği durumlarda, toplayıcının tek başına kullanımı seçimli flotasyon için yeterli olabilir. Ancak, pratikte böyle bir durum pek mümkün değildir. Bu nedenle, minerallerin flotasyon özelliklerinde ihtiyaç duyulan farklılıklar, düzenleyici reaktifler yardımıyla sağlanır. Düzenleyiciler, mineral yüzey koşullarının suyu sevme veya sevmeme özelliklerini kullanarak toplayıcıların etkilerini kontrol ederler. Bu da minerallerin seçimli flotasyonunu kolaylaştırır. Düzenleyici reaktifler, canlandırıcılar, bastırıcılar ve pH düzenleyiciler olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

2.3.1.4. Canlandırıcılar

Canlandırıcılar, toplayıcı reaktiflerin mineral yüzeylerine doğal olarak yeterince adsorbe olmadığı durumlarda kullanılır. Bu durumlarda, toplayıcıların istenen minerallere daha iyi tutunabilmesi için yüzeyi canlandırırılar. Ancak, istenmeyen gang minerallerinin aktivasyonunun en aza indirilmesi de son derece önemlidir. Aksi takdirde, bu mineraller konsantre edildiğinde konsantrenin kalitesini düşürebilirler. Örneğin, sülfürlü minerallerin flotasyonunda, sfaleritin canlandırılması için genellikle bakır sülfat kullanılır. Sfaleritin bakır sülfatla canlandırılmasından önce uygun bir alkali pH'ta koşullanması gereklidir. Bu, piritin aktivasyonunu önleyecektir (Önal, Ateşok ve Perek, 2004).

2.3.1.5. Bastırıcılar

Flotasyon sürecinde, minerallerin tamamı toplayıcılarla kaplanarak flotasyona uygun yüzey özellikleri kazandığında, farklı minerallerin ayrılması mümkün olmaz. Cevherde bulunan mineralleri birbirinden ayırabilmek için, bazı minerallerin hava kabarcıklarına yapışabilme yeteneği kazanması, diğer minerallerin ise ıslanabilirlik özelliklerini muhafaza etmesi gerekir. Bu nedenle, bastırıcı olarak adlandırılan ve mineral yüzeyinde toplayıcı adsorpsiyonunu azaltan kimyasal reaktiflerin kullanılması zorunludur. Bastırıcı sistemi, gang minerallerinin bastırılmasında etkili olmalı, ancak yüzen minerallere müdahale etmemelidir.

Bastırıcı sisteminin seçimi için belirli bir yöntem bulunmamaktadır. Ancak bastırıcı seçiminde şu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Minerallerin serbestleşme boyuna bağlı olarak ince gang mineralleri (sülfür ya da sülfürlü olmayan) iri taneli minerallerden daha zor bastırılır.
- Minerallerin çözünürlükleri.
- Minerallerin doğal aktivasyon dereceleri (Bulatovic ve Wyslouzil, 1995).

2.4. Oksitli Kurşun Cevherlerinin Sülfidasyonu

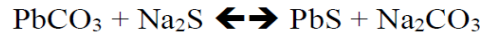
Kurşun mineralleri doğada farklı yapılarda bulunur. Ekonomik olarak işletilebilen en yaygın kurşun mineralleri, oksitli yapıda olan Serüzit ($PbCO_3$) ve Angleszit ($PbSO_4$), sülfürlü yapıda ise (PbS), yani Galendir (Chatterjee, 2007).

Sülfürlü kurşun minerali yataklarının zamanla azalması sebebiyle ve gelecekte oluşabilecek pazar talebinin karşılanabilmesi için tipik okside kurşun minerali olan Serüzin zenginleştirmeye yönelmiştir. Önceki yıllarda yapılan birçok zenginleştirme yöntemi denemeleri içinden -flotasyon, gravite, gravite & flotasyon kombinasyonu, ağır ortam, sallantılı masa- flotasyonla zenginleştirme en yaygın ve efektif metot olarak öne çıkmaktadır (Fa vd., 2005; Önal vd., 2005).

Ancak oksitli kurşun cevherlerinin sülfürlü oluşumlarına göre daha yüksek çözünürlük ve yüzey hidrasyonu özellikleri flotasyonla zenginleştirilmesini zorlaştırmaktadır (Herrera vd., 1998).

Yüzeyi sülfürleştirilmiş serbest haldeki kurşun, toplayıcı reaktif ksantat ile etkileşir ve bu etkileşim pülp solüsyonunda bulunan çözünmemiş kurşun iyonları tükenene kadar devam eder. Bu karşılıklı reaksiyon (ksantat-serüzin yüzeyi) ksantat ile karbonat iyonları arasındaki iyon değişimidir (Guy ve Trahar, 1985).

Eşitlik 1. Serüzin Sülfürleşmesi



Ancak yüzeydeki katman ile ksantat arasındaki bağ kolayca kopabilir ve mineral yüzeyinin hidrofobik özelliğinin yitirmesine yol açabilir. En yaygın kullanılan sülfürleştirici reaktifler Sodyum Sülfat (NaS) ve Sodyum Hidro Sülfattır (NaHS). Bu iki reaktif arasındaki seçim ise gang mineralinin içeriğine ve cevherdeki serüzin ile anglezit mineralinin oranına göre yapılır. Sülfürleştirici kimyasalların yetersiz kullanılması ve/veya tane ile kondisyonlanma süresinin eksik olması, toplayıcı reaktifin tane yüzeyine adsorbe olmasını engeller. Sülfürleştirici reaktif (NaHS-NaS) dozajı ve kondisyon süresi flotasyon verimine doğrudan etki eder. Kontrolsüz sülfat kullanımı ksantat ile mineral yüzeyi arasındaki iyon etkileşimi negatif yönde etki eder, bu da zenginleştirilmesi amaçlanan mineralin bastırılması ile sonuçlanabilir (Guy ve Trahar, 1985).

Eşitlik 2. Kurşun-Sülfür İyon Etkileşimi



2.5. Tesis Örnekleri

Bu bölümde Dünya'nın farklı noktalarında bulunan oksitli kurşun-çinko cevherinin zenginleştiği tesislerden örnekler verilmektedir (Yiğit, 1976).

Sardunya, Masua'da Ammi madeni, İtalya:

Cevher Karakteri: Kurşun tenörü %0,8-1,5 bunun %25'i oksitli kurşun minerallerinden oluşmaktadır. Oksitli kurşun mineralleri esas olarak Simitsonit tali derecede Hemimorfit, Hidrozinkit ve Willetmittinden ibarettir. Gang mineralleri Dolomit ve Kalkerdir.

Tesiste elde edilen flotasyon sonuçları:

Çizelge 1. Sardunya-Masua, Ammi Madeni, İtalya

Sardunya-Masua, Ammi madeni, İtalya			
	Ağırlık %	Pb %	Zn %
Tüvenan	100	0,95	6,88
Kurşun Konsantresi	0,9	54,07	8,38
Siklon Şlamı	32,4	0,61	6,72
Çinko Konsantresi	10,5	0,93	35,51
Flotasyon Atığı	56,1	0,2	1,6
Flotasyon Atığı-4 Siklon Şamları	88,5	0,41	3,47
Kurşun Kazanma Verimi		51,2	
Çinko Kazanma Verimi			80,6
Toplam Çinko Verimi			54,2
Reaktif Sarfiyatı gr/t			
NaHS	1500	4000	
NasSiO ₃	1000	2500	
Fuel Oil ve Çam Yağı, Koko Amin		110	
İzpropil Ksantat	100		
Aeroflot	40		

Utah, Eureka Madeni Birleşik Amerika

Cevher Karakteri: Cevher galenle birlikte serüzit ve çinko minerali olarak sfalerit ihtiva etmekte olup bir miktar anglezit içermektedir. Gang esas olarak kuvarstan ibaret olup Rodokrozit, Barit ve Hematit, %10 kadar Pirit mevcuttur.

Tesiste elde edilen Flotasyon sonuçları:

Çizelge 2. Utah, Eureka Madeni Birleşik Amerika

Utah, Eureka Madeni Birleşik Amerika			
	Ağırlık %	Pb %	Zn %
Tüvenan	100	22,2	13,3
Sülfürlü Kurşun Konsantresi	18,74	54,5	17,9
Sülfürlü Çinko Konsantresi	13,44	4,1	53,6
Oksitli Kurşun Konsantresi	30,22	32,6	4,2
Flotasyon Atığı	37,6	4,3	34
Kurşun Kazanma Verimi (Sülfür)		45,96	25,26
Kurşun Kazanma Verimi (Oksit)		44,32	9,45

Çinko Kazanma Verimi		2,48	54,27
Reaktif Sarfiyatı gr/t (Sülfürlü Kurşun Devresi) pH=8,3			
NaCN	320		
NasCO3	1600		
ZnSO	900		
MIBC	65		
Aeroflot	90		
Reaktif Sarfiyatı gr/t (Sülfürlü Çinko Devresi) pH=10,3			
CuSo			
Kireç			
Amil Ksantat			
MIBC			
Reaktif Sarfiyatı gr/t (Oksitli Çinko Devresi) pH=12,1			
NaS	6500		
Amil Ksantat	600		
Na2SiO3	650		

Setif, Cebel Gustar Madeni, Cezayir:

Cevher Karakteri: Esas cevher mineralleri Serüzit ve Simitsonitten ibarettir. Az miktarda Galen, Sfalerit, ve Hidrozinkit mevcuttur. Gang minerali olarak Kalker çoğunlukta olmakla birlikte, bir miktar Kuvars, Barit, Pirit ve az miktarda bakır mineralleri de bulunmaktadır.

Tesiste elde edilen flotasyon sonuçları:

Çizelge 3. Setif, Cebel Gustar Madeni, Cezayir

Setif, Cebel Gustar Madeni, Cezayir		
	Pb %	Zn %
Tüvenan	3,5	7,0
Kurşun Konsantresi	58	3,9
Çinko Konsantresi	2,1	37
Atık	0,9	2,2

Kurşun Kazanma Verimi	71	
Çinko Kazanma Verimi		72
Reaktif Sarfiyatı gr/t		
NaCO	500	
NasSio3	1000	
NaS	500	6500
K Amil Ksantat	250	
Emkonil	20	
18 ve 12 karbonlu Amin Karşımı		750
Gaz yağı		1000
Omokei		10

L'Argentiera-İtalya

Cevher Karakteri: Galen ve serüzit toplam kurşunun %60'ını oluşturmaktadır. Çinko mineralleri Sfalerit ve Çinko tenörünün %90'ını oluşturan Simitsonit ve Hidrozinkitten oluşmaktadır. Gang mineralleri Dolomit, Barit ve Kuvarsttan oluşmakta, ilaveten Pirit ve Markasit te bulunmaktadır.

Tesisten elde edilen flotasyon sonuçları:

Çizelge 4. L'Argentiera - İtalya

L'Argentiera - İtalya		
	Pb %	Zn %
Tüvenan	0,8	5,9
Kurşun Konsantresi	58,1	4,2
Çinko Konsantresi	1,3	37,2
Atık	0,13	1,96
Kurşun Kazanma Verimi	75,5	

Çinko Kazanma Verimi		70,5
Reaktif Sarfiyatı gr/t		
NaS	932	3320
Ksantat	35	
Flotanol	34	
Acroflot 15	3	
Dowfroth	3	
NaSiO ₂	800	1112
NaCO ₃		96
Amin Asetat		146
Çam Yağı		62
Fuel Oil		212

Mibladende - Fas

Cevher Karakteri: Cevher mineralleri Galen, Serüzit, tali derecede Wulfenit, Anglezit, Mimetit. Kalkopirit ve eser miktarda Pirit bulunmaktadır. Gang mineralleri Barit, Marn ve Kildir. Ortalama tüvenan kurşun tenörü %8'dir.

Çizelge 5. Mibladende - Fas

Mibladende - Fas	
	Pb %
Tüvenan	8,4
Kurşun Konsantresi	77,2
Atık	0,95
Kurşun Kazanma Verimi	90
Reaktif Sarfiyatı gr/t	
Ksantat	314
NaHS	1184
Çam Yağı	95

Sierra de Lujar - İspanya

Cevher Karakteri: Cevher mineralleri Galen ve Serüzittir. Tali olarak Hidroserüzit, Piromorfit ve Plombajrozit bulunmaktadır. Gang mineralleri Kalker ve Dolomittir.

Tesisten elde edilen flotasyon sonuçları:

Çizelge 6. Sierra de Lujar - İspanya

Sierra de Lujar - İspanya	
	Pb %
Tüvenan	5,2
Kurşun Konsantresi	73
Atık	0,17
Kurşun Kazanma Verimi	96,8
Reaktif Sarfiyatı gr/t	
Ksantat	314
NaHS	1184
Çam Yağı	95
Flotanel F	33
Na ₂ SiO ₃	3470

La Planet - Fransa

Cevher Karakteri: Cevher yatağı az miktarda Serüzit ihtiva ederken esas itibarıyla Galenden ibarettir. Gang mineralleri Kuvars, Baht ve Mikadır. Hematit, Pirit ve Sideritte az miktarda mevcuttur.

Tesisten elde edilen flotasyon sonuçları:

Çizelge 7. La Plagne - Fransa

La Plagne - Fransa	
	Pb %
Tüvenan	3,5
Kurşun Konsantresi	67,6
Atık	0,37
Kurşun Kazanma Verimi	90
Reaktif Sarfiyatı gr/t	
Ksantat	513

NaHS	233
Çam Yağı	2

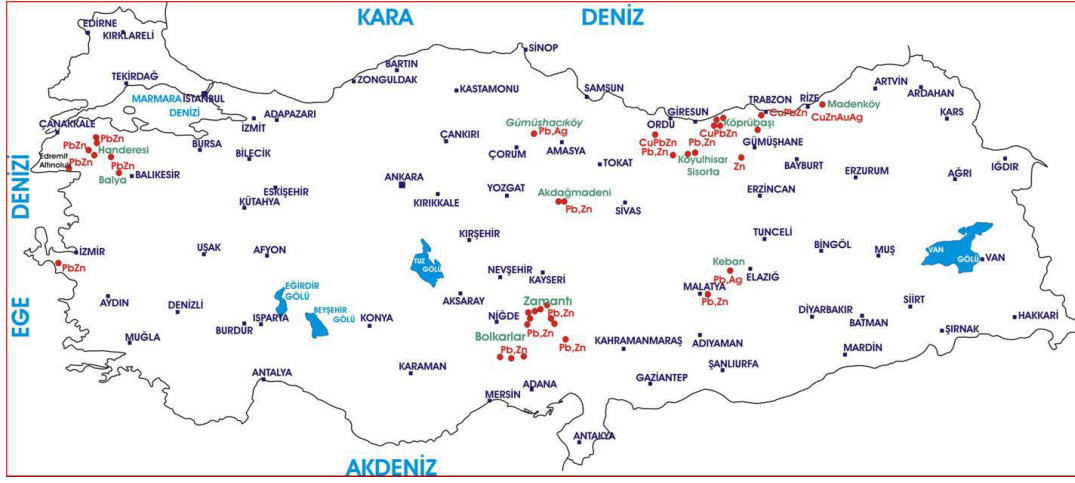
3. BÖLGESEL JEOLJİ VE MİNERAL YAPISI

Kireç taşlı yataklar barit ve dolomit içermektedir. Bu tip yataklarda yaygın kurşun minerali serüzittir. Dolomit matrisi yapısındaki okside kurşun cevherleri şlam boyutunda kil ve yüksek miktarda pirit ve barite rastlanır. Bu iki mineralin de kurşun flotasyonu üzerine negatif etkisi vardır.

Çalışmadaki cevher yatağının çıkarıldığı kurşun-çinko işletmesi Aladağlar, Niğde, Kayseri üçgeninde, Yahyalı'nın güneybatı kesimlerinde yer alır. Zamantı çinko-kurşun kuşağı batıda Ecemiş fayı (Niğde- Çamardı) kuzeyde Yahyalı-Develi, doğuda Göksun ve güneyinde Saimbeyli –Adana ile sınırlanır ve çok sayıda Zn-Pb yatak ve zuhuruna kapsar. Niceleme alanı bu kuşağın batı ucunda Yahyalı ve Çamardı ilçeleri sınırları içinde yer alır.

Çalışmaya konu kurşun-çinko sahaları, Türkiye'nin önemli kurşun-çinko provenislerinden biri olan Doğu Toroslardaki Zamantı kurşun-çinko kuşağının içinde yer alır. Doğu Toroslar, güneydoğudan kuzeybatıya doğru birbirleri üzerine itilmiş bir dizi nap dilimlerinden oluşmuştur. Bu nap birlikleri, farklı havza koşullarında çökelmiş kayaç gruplarını içermektedir. Bu olgu dikkate alınarak Doğu Toroslar'da yedi farklı tektonostratigrafik birlik ayırtlanmıştır.

Zamantı bölgesinde, Çataloturan (Karbonifer-Permiyen), Beyaz Aladağ (Üst Triyas-Jura), Üst kuşak (Jura) istifleri dışında, Devoniyen-Kretase yaşlı tüm karbonatlı kaya birimlerinde çinko-kurşun cevherleşmesi izlenir. Ancak bölgenin belli başlı cevher yatakları çoğunlukla Siyah Aladağ ve Yahyalı istiflerindeki Alt Permiyen yaşlı kireçtaşları içinde yer alır. İnce şeritler şeklinde bölgenin güney kesiminde yüzeyleyen ofiyolitli melanj, yalnız İspir Tepe çevresinde, içlerindeki karbonatlı kaya blok ve tabakalarına bağlı küçük cevherleşmeler içermektedir.



Şekil 1. Kurşun-Çinko Yatakları (Türkiye) (MTA)

Cevherleşme, bölgedeki tektonik aktivitelerle ilişkilidir. Aladağ - Delikkaya yatağı haricinde, çoğu yatak K-G ve KD-GB yönelimli kırıklarda yer almaktadır. Bu kırıklarda bulunan damarların kalınlıkları, uzanımları ve yayılımları değişkenlik gösterir ve faylar boyunca süreksizlikler görülür. Bölgenin önemli Zn-Pb rezervleri ve tenörleri iki ayrı zon içinde bulunmaktadır. Birinci zon, Suçatı-Delikkaya-Meydan Yaylası-İspir-Minaretepeler yataklarını; ikinci zon ise Tekneli-Minas-Yıldız Tepe-Dündarlı-Karlığın-Karagedik-Şıpşıkaya-Keybettepe yataklarını içerir.

Bu yatakların kökeni hakkında üç ana görüş öne sürülmüştür. En yaygın görüş, bu yatakların magmatik sokulumlara bağlı hidrotermal damar dolgusuyla oluştuğunu savunur. Bu görüşe göre, sülfidli mineral parajenezleri ile temsil edilen birincil cevherler, Orta-Üst Tersiyer döneminde gerçekleşen çok evreli karstlaşma sonucu karbonatlı cevherlere dönüşmüştür. İkinci görüş ise hem ofiyolitik karmaşık içindeki kayalardan hem de Permiyen içindeki tabakayla uyumlu cevherli zonlardan çözülen metallerin

karstlar içinde çökmesiyle bu yatakların oluştuğunu belirtir. Üçüncü görüşe göre, primer cevherleşme SEDEX-tipi olup, Permo-Triyas döneminde okyanuslaşmanın erken evrelerinde stratiform tipte (sinjenetik) meydana gelmiş ve sonraki süreçlerde karst sistemlerine aktarılmıştır, böylece karstik bir özellik kazanmıştır.

Çatal oturan istifinin alt kısmında, volkanik bileşenli ve yeşil renkli kireçtaşları ile siyah renkli, orta tabakalı kireçtaşları bulunmaktadır. Bu birim alt karbonifer yaşlıdır. Üzerine gri renkli, kalın tabakalı, dört ara katmanlı üst permien yaşlı kireçtaşları gelir. Alt karbonifer yaşlı alt birim, derin su (şelf kenarı) fasiyesine ait regresif bir geçişi yansıtırken, üst permien çökeltileri açık platform fasiyesine aittir.

Cevher mineralleri çoğunlukla oksitli ve daha az oranda sülfidli minerallerden oluşur. Sülfürlü mineraller arasında en yaygın olanları galenit ve sfalerittir. Oksitli ve hidroksitli mineraller ise ağırlıklı olarak simitsonit, limonit, seruzit ve hidrozinkitten oluşmaktadır. Oksitli mineraller genellikle sarımsı, kırmızımsı ve kahverengi toprak görünümündedir ve bu renklerle limoniti andırsa da ağırlıklarıyla ondan ayırt edilebilir. Ayrıca böbreğimsi, hücresel, ağsal bantlı ve kabuklu yapıda cevherler de görülmektedir.

Yan kayaç özellikleri açısından, gang mineralleri çoğunlukla kalsit, aragonit, dolomit, kalsedon ve kil minerallerinden (ilit, halloysit, nakrit, klorit) oluşur. Cevherlerde nadir de olsa altın (Au) ve gümüş (Ag) minerallerine rastlanabilir. Kalsiyum karbonat (CaCO₃) ağırlıklı kireç taşları masif halde bulunur ve Jura yaşlı kireç taşları da bölgede yer alır.

4. OKSİTLİ KURŞUN MINERALLERİNİN FLOTASYONLA ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMİ

Kurşun hem ekonomik hem de teknik olarak uygulanabilir yöntemlerle avantajlı özellikleri ve işleme imkânı dikkate alınarak hem günlük yaşam hem de endüstriyel uygulamalar içinde en çok kullanılan baz metaldir. Flotasyon, madencilik endüstrisinde ekonomik açıdan değerli minerallerin veya katıların gang malzemedan seçici olarak ayrılmasını sağlamak ve doğal yapısı kullanılarak veya uyarılarak taneler arasındaki yüzey özellikleri farklılıklarından yararlanılan bir yöntemdir (Wills, 1979). Bu işlem, bakır, kurşun, çinko, kobalt, nikel gibi ortak metallerin sülfür, oksit veya karbonat mineralleri gibi minerallerin farklı yüzey özelliklerini kontrol etmek için farklı kimyasal reaktifler kullanarak faydalanması için hem büyük hem de küçük ölçeklerde uygulanır (Leja, 2004).

Flotasyon, cevher kazanımı için en yaygın kullanılan yöntem olarak kabul edilir. Flotasyon, değerli minerallerin, fiziko-kimyasal yüzey özelliklerinde farklılıklar kullanılarak, gang materyalden veya diğer değerli minerallerden seçici olarak ayrılma işlemidir (Vidyadhar ve Singh, 2007). Kısaca, köpük yüzdürme, yüzeyin hidrofobik olan su ile kolayca ıslanıp ıslanmadığı, yani hidrofilik veya su itmeyen, minerallerin yüzey özelliklerinde doğal ve uyarılmış farklılıkların avantajlarından yararlanan bir ayırma ve faydalanma işlemidir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi kurşun metalin ana minerali galendir, ancak sülfürlü kurşun cevheri yataklarındaki kademeli azalma nedeniyle kurşun oksit mineralleri önem kazanmıştır. Tipik bir oksitli kurşun minerali olan Serüzit, endüstrinin gelecekteki talebini karşılamak için alternatif kurşun metal kaynağı olacaktır (Qicheng Feng, 2015). Bununla birlikte, kurşun oksit minerallerinin, oksitleyici minerallerin daha yüksek çözünürlüğü ve oksit yüzeylerinin yoğun hidrasyonu ve aşırı reaktif tüketimi nedeniyle sülfürlü oluşumlarına oranla yüzmeleri daha zordur (Fuerstenau vd., 1986). Serüzit ve galenin çözünürlüğü sırasıyla 1.1×10^{-13} ve 8.3×10^{-29} 'dur. İlk olarak, çözelti içindeki

çözünmüş kurşun iyonları, daha büyük reaktif tüketimi ile sonuçlanan çözünmeyen tuzların (Pb-alkil ksantat) oluşumuna yol açan ksantat iyonlarıyla reaksiyona girer. Ksantat iyonları ve karbonat iyonları, oluşan kurşun ksantat ve karbonat iyonları arasındaki reaksiyonun bir sonucu olarak, çözelti içine salınır, bu nedenle önemli sayıda yüzey mineral katmanını oluşturarak Serüzit yüzeyinde bir yüzey adsorpsiyonu geliştirilemez (Popov ve Vucinic, 1992a).

Oksitli çinko ve kurşun minerallerinin flotasyonla zenginleştirilmesi ganglarından ayrılması, ana minerallerin fiziko-kimyasal ve yüzey kimyasındaki benzerlikleri nedeniyle oldukça karmaşıktır. Ayrıca, çinko minerallerinin, diğer sülfürlü mineraller ile karşılaştırıldığında yüzdürülmesi daha zordur (Irannajad vd., 2009)

Oksitli mineraller; bileşiminde oksijen içeren oksit, karbonat ve silikat gibi bütün mineraller bu grup içerisinde yer alır. Bu tür mineraller hidrofilik özellikleri ve suyun hidrojen iyonları ile bağ kurmakta çok istekli davranan bileşiklerdir (Yiğit ve Özkan, 2007).

Kurşun ve çinko vb. oksitli minerallerin kayda değer miktarda bulunduğu yerlerde ilk olarak kurşun sülfürlerini yüzdürmek daha kolay ve pratiktir. Genellikle sülfürleştirici madde olarak sodyumsülfür veya sodyum hidrosülfür kullanılır (Önal vd., 2005).

Okside kurşun minerallerinin flotasyonundaki en kritik faktörlerde bir tanesi, sülfürleştirici reaktifin kontrollü bir şekilde dozajlanmasıdır. Bu bağlamda, fazla miktarda sülfürleştirici kullanımı oksit minerallerinin bastırılması ile sonuçlanırken, eksik miktarda kullanımı flotasyon verimsizliğine yol açar (Qicheng Feng, 2015). Fazla miktarda sülfürleştirici ilavesi, oksit minerallerinin flotasyonu üzerinde birkaç olumsuz etkiye neden olur. İlk olarak, sülfürleştirici reaktifler güçlü indirgeyici kimyasallar olduğu için, mineral yüzeylerin bir araya gelme potansiyelinin sabit metal ksantat oluşturmak için istenen değer altına düşmesi muhtemeldir. İkincisi, eğer sülfür iyonları mineral yüzeylerinde tamamen emilirse, metal sülfür oluşumu metal ksantat oluşumundan daha kolay hale gelir. Ek olarak, sülfür, metal ksantata oranla daha az çözünebildiği için, mineral yüzeyinde oluşan metal ksantat yerine sülfür iyonları kaplayacaktır. Ayrıca, fazla miktarda sülfürleştirici kullanılması, negatif yüklü ksantat iyonlarının mineral yüzeylerinde adsorpsiyonunu önleyen kuvvetli negatif mineral yüzeyi oluşması ile sonuçlanır (Feng vd., 2015).

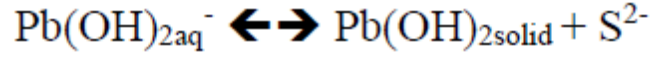
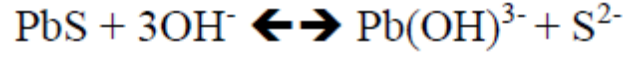
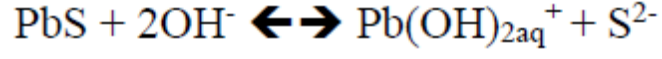
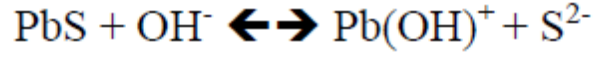
Flotasyonun metalürjik performansı doğrudan sülfürleşme işlemiyle, yani sülfür ilave miktarıyla ilişkilidir. Yüksek veya düşük dozajlarda sülfür ilavesi durumunda, metalürjik performans genel olarak istenilen verimlilik değerleri altında olmuştur. Daha ayrıntılı olarak, düşük sülfür dozajlanmasında pülp içinde bulunan çözünmemiş kurşunlar sülfür iyonlarını tüketir ve kurşun-sülfat olarak çökmesine neden olur. Benzer şekilde, aşırı miktarda sülfid ilavesi, esas olarak, pülpün oksidasyon-indirgeme potansiyelini düşüren şartlara kaymasından dolayı kurşun minerallerinin bastırılması sebep olur (Herrera-Urbina vd, 1999).

Marabini vd. (1984) serüzit mineral yüzeyinin sülfürleşmesinin 30 saniye içerisinde gerçekleştiği öne sürmüştür ve mineral yüzeyinde çoklu katman yapısında sülfürle kaplandığını söylemiştir. İşlemin reaktif tükenene veya pülp içerisindeki reaksiyon dengeye ulaşana kadar devam edeceğini belirtmiştir.

Endüstri ölçeğinde, oksit minerallerinin yüzdürülmesi için kullanılan toplayıcı reaktifi, ksantat ile sınırlıdır (Bulatovic, 2007). Düşük flotasyon verimi, ksantat dozajının yetersiz olması ve bundan dolayı oluşan ince tanelerin mekanik taşınması veya düşük kondisyonlanma süresinden kaynaklanabilir (Popov ve Vucinic, 1992b).

pH'nin etkisi için ana mekanizma, flotasyon pulplarındaki sodyum sülfid'in farklı pH değerlerine göre dağılımına dayanır. pH değerlerindeki artış, ortamdaki HS⁻'ye bağlı olarak artabilir ve flotasyon koşulunu alkali hale getirir. Ayrıca, yüksek dozda sülfür iyonunun varlığında, sülfürlenmiş Serüzit ve toplayıcı varlıkları arasındaki etkileşimi önler ve sülfürlenmiş Serüzit mineral yüzeyine ksantat toplayıcıların adsorpsiyonunu engel. Öte yandan ortam pH'ı 11 in üzerine çıktığında kararlı Kurşun-Hidroksil oluşur bu da Serüzit'in bastırılması sebebiyet verir. Bu koşullar altında, OH⁻ iyonları sülfürlenmiş kurşunun yüzeyi ile etkileşir ve Serüzit ile toplayıcı etkileşimi azaltır (Feng vd., 2016);

Eşitlik 3. OH⁻ İyonlarının Kurşun Yüzeyine Etkileşimi



Oluşan kurşun hidroksil türleri genellikle hidrofildir, bu da kurşun konsantre verim performansını doğrudan düşürür.

Serüzit içeren cevherlerin flotasyon verimine etki eden 4 ana etmen vardır;

1. Toplayıcı türü
2. Toplayıcı dozajı
3. Pülpün pH değeri
4. Sülfürleştirici reaktif türü ve kullanım dozajı.

5. TESİS VERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

5.1. Öğütme

Öğütme işlemi, dünya genelindeki çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmakta olup, üretilen toplam elektrik enerjisinin %5'i bu işlemde harcanmaktadır (Norholm, 1995). Öğütme etkinliğinde yapılacak küçük bir iyileştirme, ekonomik açıdan büyük kazançlar sağlayabilir (bu çalışmanın gerçekleştirildiği tesiste öğütme işlemi, toplam enerjinin %40'ından fazlasını tüketmektedir).

Öğütme sistemlerinde verimliliği etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler arasında değirmenin geometrik özellikleri, bilya boyutu, bilya doldurma oranı, astar tasarımı, besleme malzemesinin kırılma ve öğütülebilirlik özellikleri, besleme tane boyutu dağılımı, aşınma hızı, öğütme kimyasalları, ön kırma sistemi tasarım ve işletme değişkenleri, sınıflandırıcı tasarım ve işletme değişkenleri yer almaktadır. Bu faktörlerin öğütme üzerindeki etkileri hem nicel hem de nitel olarak incelenebilir (Gouda, 1981; Benzer vd., 2001).

Öğütme devrelerinin performansını ölçmek ve devrede yer alan ekipmanların performansını izlemek, işletme verimliliğini artıran önemli unsurlardan biridir. Devredeki ani performans değişikliklerinin zamanında tespit edilmesi ve müdahale edilmesi, koruyucu bakımın etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, devre performanslarının belirli aralıklarla izlenmesi gerekmektedir.

Tipik bir öğütme devresinde, malzemelerin boyut dağılımlarında değişiklikler meydana gelir. Belirli bir boyut dağılımına sahip malzeme devreye beslenir ve devreden yine belirli bir boyut dağılımıyla çıkar. Beslemeden ürün aşamasına kadar olan süreçte gözlemlenen

tane boyu dağılımları, bu iki eğri arasında yer alır. Öğütme devrelerinin performansını değerlendirmek için en önemli analitik yöntem, tane boyu dağılımlarının belirlenmesidir. Tane boyu dağılımlarının belirlenmesiyle devre etrafındaki madde dengesi sağlanabilir ve performanslar değerlendirilebilir (Benzer, Dündar ve Altun, 2021).

Öğütme devrelerinde performansın izlenmesi amacıyla, devrelerden numuneler alınmakta, bu numunelerin tane boyu dağılımları belirlenmekte ve bu veriler kullanılarak performans değerlendirme çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmada, bazı işlem değişkenlerinin performans üzerindeki etkileri tartışılmaktadır.

5.2. Zenginleştirme

Zenginleştirme işlemlerinin tesis performansını etkileyen bir dizi önemli parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden bazıları şunlardır:

1. Cevher Mineralojisi: Zenginleştirme işlemi için kullanılan cevherin mineralojisi, işlemin verimliliğini doğrudan etkiler. Farklı mineraller farklı özelliklere sahiptir ve bu da zenginleştirme işlemlerinde farklı stratejilerin kullanılmasını gerektirir.
2. Besleme Tenörü: Zenginleştirme işlemine giren cevherin başlangıçtaki tenörü, işlemin başarısını etkileyen önemli bir faktördür. Daha yüksek değere sahip cevherler, daha az işlem gerektirirken, düşük değerli cevherler daha fazla işlem gerektirebilir.
3. Öğütme ve Boyut İndirgeme: Cevherin öğütülmesi ve boyutunun indirgenmesi, zenginleştirme işleminde önemli bir adımdır. Daha küçük boyutlara öğütülen cevherler, zenginleştirme işlemlerinde daha iyi bir performans sağlayabilir.
4. Konsantrasyon ve Akış Hızı: Zenginleştirme işlemi sırasında kullanılan çözelti veya gaz akış hızı ve konsantrasyonu, işlemin verimliliğini etkiler. Doğru akış hızı ve konsantrasyonun seçilmesi, istenilen ürün konsantrasyonlarına ulaşmak için önemlidir.
5. Kimyasal Reaktifler: Zenginleştirme işlemi için kullanılan kimyasal reaktiflerin türü, miktarı ve konsantrasyonu, işlemin verimliliğini belirleyen kritik parametrelerdir. Doğru reaktiflerin seçilmesi ve optimal koşullarda kullanılması önemlidir.
6. Proses Kontrolü ve Otomasyon: Zenginleştirme işlemlerinde proses kontrolü ve otomasyon sistemlerinin kullanılması, işlemin verimliliğini artırabilir. Bu

sistemler, işlem parametrelerini izleyebilir, kontrol edebilir ve gerektiğinde ayarlayabilir.

7. Ekipman Performansı: Kullanılan zenginleştirme ekipmanının performansı da işlemin verimliliğini etkiler. Optimal çalışma koşullarında ve düzenli bakım ve kalibrasyon ile ekipmanın verimliliği artırılabilir.

Bu parametrelerin dikkatlice izlenmesi ve optimize edilmesi, zenginleştirme işlemlerinin tesis performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmasını sağlar.

Flotasyon ile zenginleştirmede kimyasal ve fiziksel parametreler verimi doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık, pülp yoğunluğu, köpük boyu ve stabilitesi, ortamın pH değeri ve işlem süresi gibi fiziksel parametrelerin yanı sıra; kullanılan reaktifler ve bunların adsorpsiyonu doğrudan etkilidir.

6. TESİS ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI

Çalışmaya konu işletme Kayseri, Yahyalı-Aladağ bölgesinde bulunmaktadır. Tesiste oksitli kurşun minerallerinden Serüzit zenginleştirilmektedir. Tesis 20 ton/saat kapasiteli olup ortalama %15 Pb tenörlü cevher beslenmektedir. İşletme akım şeması kırma-eleme, öğütme-sınıflandırma, flotasyonla zenginleştirmeden sonra susuzlandırma işlemi sonunda nihai konsantre elde edilmektedir.

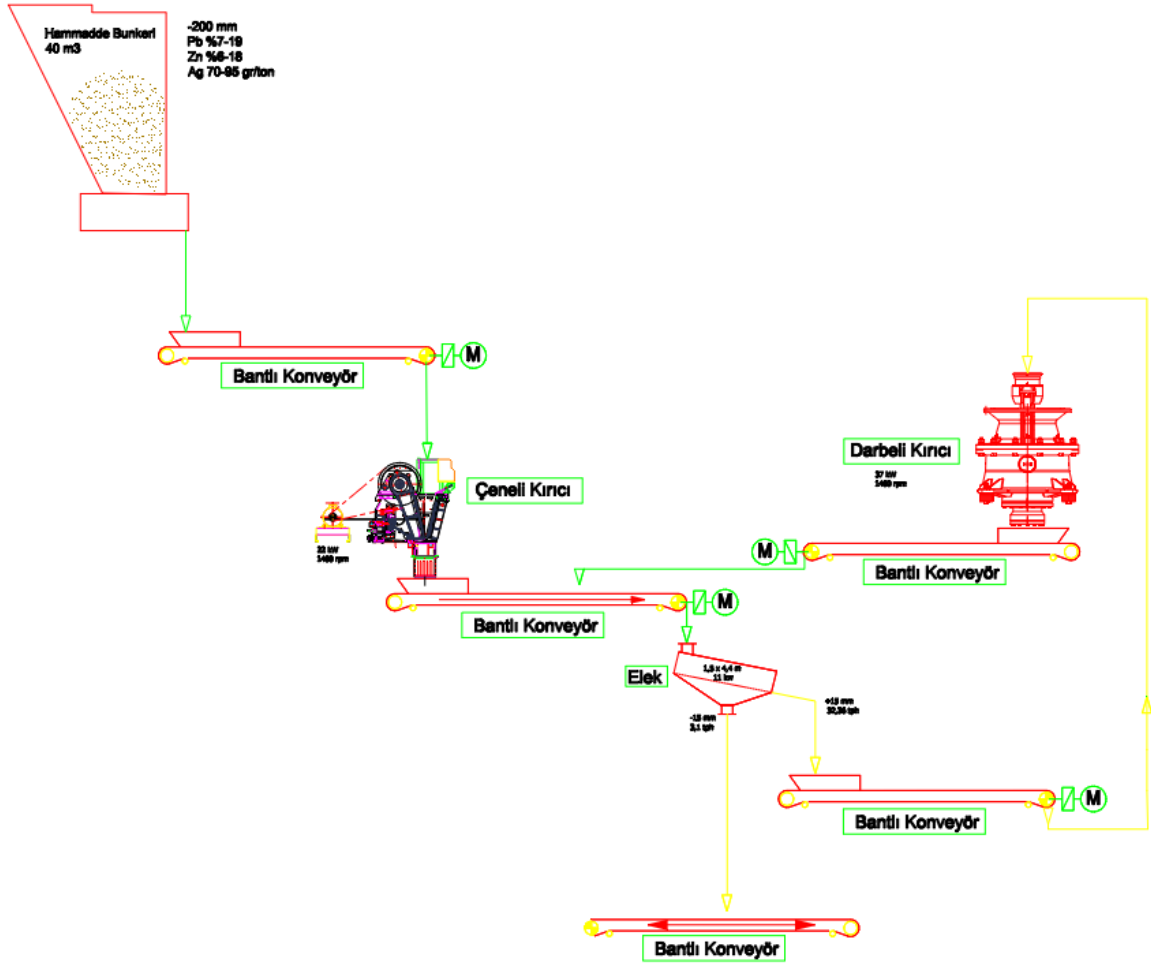
Numune alımı esnasında tesis içindeki akışların optimum koşulu gözetilip alınmıştır.

Numune alınan noktalar:

1. Değirmen Girişi
2. Değirmen Çıkışı
3. Klasifikatör Taşarı (Over Flow)
4. Klasifikatör Kumu (Under Flow)
5. Flotasyon Atığı
6. Konsantre

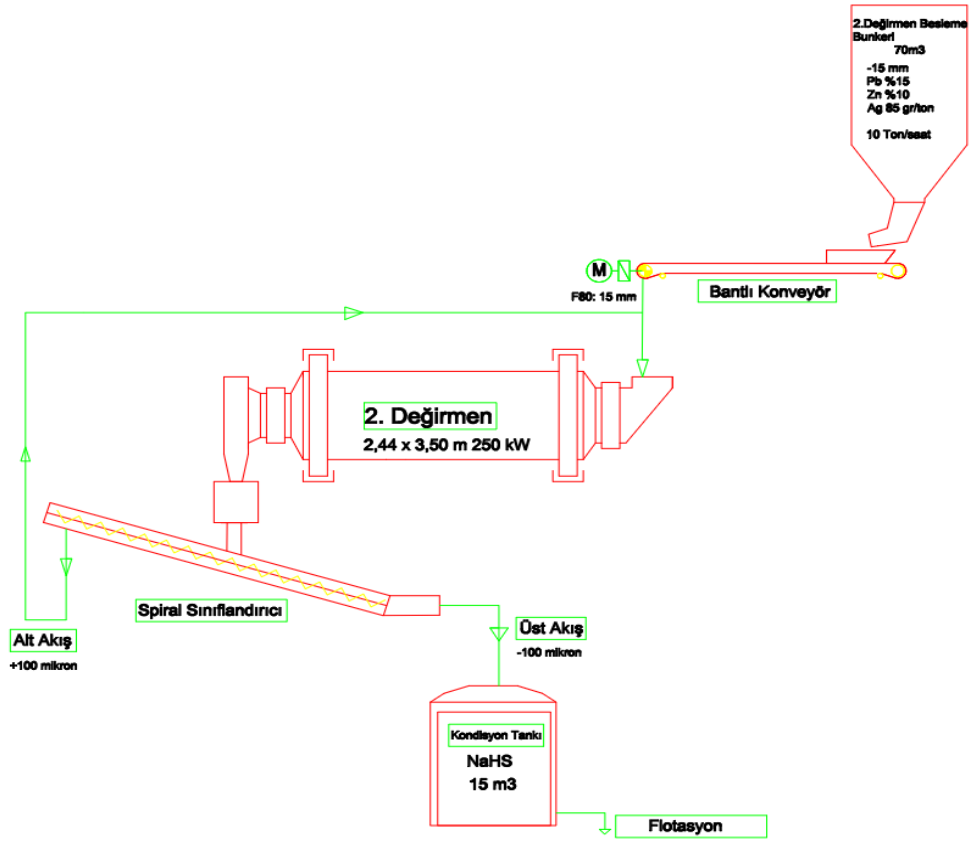
6.1. Akım Şeması

Çalışma yapılan işletmenin proses sırası ana hatlarıyla kırma-eleme, öğütme-sınıflandırma ve zenginleştirme sonrası susuzlandırma şeklindedir. Kırma devresinde -250 mm boyutundaki malzeme çeneli kırıcıya beslenir, kırılan malzeme 15 mm'lik eleğe dökülür, elek altı bilyalı değirmen besleme silosuna aktarılırken, elek üstü darbeli kırıcı besleme bandına dökülür. Darbeli kırıcı çıkışı ile çeneli kırıcı çıkışı birleşerek tekrardan 15 mm açıklığa sahip eleğe dökülerek kapalı devre oluşturur. Kırılan -15 mm boyutundaki elek altı malzeme bilyalı değirmene beslenir.

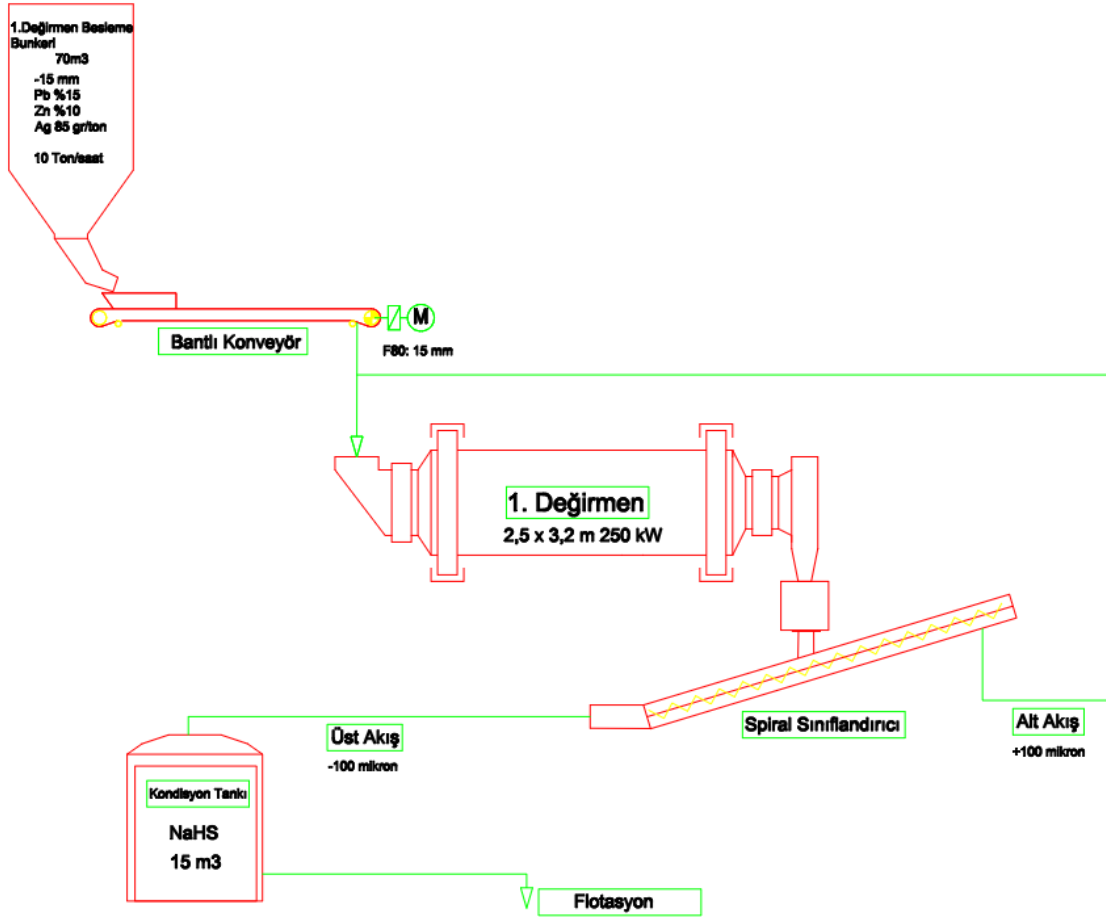


Şekil 2. Kırma Eleme Devresi Akım Şeması

Tesiste 2,5 x 3,20 m ve 2,44 x 3,50 m boyutlarında 2 adet bilyalı değirmen bulunmaktadır. Bilyalı değirmen ile Spiral Klasifikatör kapalı devre çalışmaktadır. Öğünen malzeme kendiliğinden taşma yoluyla değirmeni terk eder ve spiral sınıflandırıcıya aktarılır. Burada -100/+100 mikron olarak ayrılır. +100 mikron malzeme değirmene geri beslenip, istenilen optimum serbestleşme boyutuna indirilmesi amaçlanır. -100 mikronluk taneler flotasyon devresine beslenmek üzere kondiyoner tankına aktarılır.



Şekil 3. İkinci Değirmen Öğütme ve Sınıflandırma Akım Şeması



Şekil 4. Birinci Değirmen Öğütme ve Sınıflandırma Akım Şeması

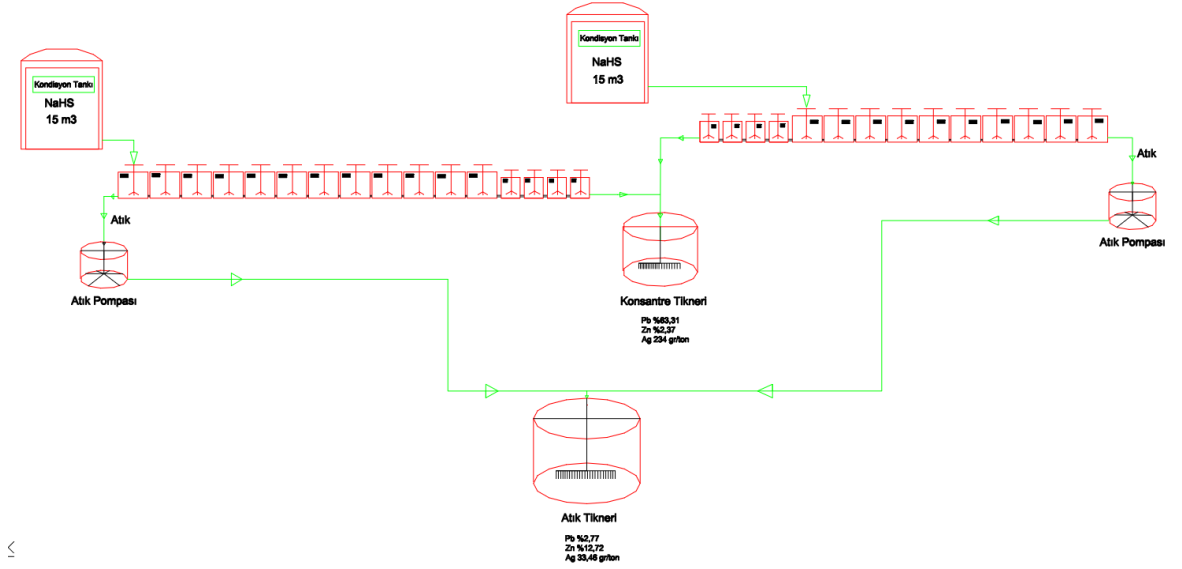
Flotasyon devresinde kullanılan kimyasallar PAX (Potassium Amyl Xanthate), NaHS, MIBC, motorindir. PAX toplayıcı olarak kullanılır, NaHS kurşun yüzeyini sülfürleyerek hidrofobik duruma getirir, böylece kurşun taneleri flotasyona uygun koşullanmış olur. Sülfürlenmiş yüzey aynı zamanda toplayıcının tane seçiminde de etkilidir. Sülfürlü yüzeyle etkileşen toplayıcı bu sayede seçilimlilik sağlar. Hücre girişlerinde MIBC eklenir, böylece köpük oluşumu sağlanır. Beslemede zaman zaman yoğun kil gözlemlenmiştir, oluşan köpüğün stabilitesini istenilen oranın da üzerinde arttırması, hücre oluklarının tıkanmasına yol açabilir. Bu gibi sorunlar yüzünden gerekli görüldüğünde motorin veya MIBC eklemesi yapılmaktadır. Motorin killi minerallerde köpük stabilitesini düşürme ve kil dağıtıcı özelliğinden ötürü kullanılmaktadır.

Çizelge 8. Tesis Ton Başına Reaktif Tüketimi

PAX	1,5	Kg/Ton
-----	-----	--------

NaHS	5	Kg/Ton
MIBC	0,3	L/Ton

Flotasyon işlemi, Kaba, Süpürme ve Temizleme olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. Toplam 11 adet 2,8 m³'lük ve 4 adet 1 m³'lük selüller bulunmaktadır. Kondisyon tankından çıkan malzeme ilk olarak kaba flotasyon hücrelerine beslenir. Alınan köpük temizleme hücrelerine aktarılırken, kaba hücrede kalan malzeme süpürme hücrelerine aktarılıp işlenmeye devam ettirilir. Temizleme hücrelerinden alınan köpük, köpük pompası aracılığıyla kurşun tiknerine aktarılır. Flokulant yardımıyla tikner altına çöküp yoğunlaşan konsantre pres filtreye basılır. Burada preslenip susuzlandırılarak final konsantre olarak alınır. Kurşun konsantre tenörü %65'tir.



Şekil 5. Zenginleşme Devresi Akım Şeması

6.2. Çalışma Süreci ve Numune Alma

Pülöp yoğunluk kontrolü için 3 nokta baz (değirmen çıkışı, spiral klasifikatör taşı, flotasyon atığı) alınarak 15 dakika aralıklarla ölçüm alınmıştır. Bu noktalardan numune

alımı esnasında, değirmen besleme kantarı takip edilmiş, sistemin stabil olduğuna kanaat getirilince numuneler alınmıştır.

Çizelge 9. Birinci Devre Değirmen Çıkışı – Klasifikatör Taşarı Pülp Yoğunlukları

NUMUNE NO	1. DEĞİRMEN ÇIKIŞI		1. KLASFİYER TAŞARI	
	S.G	%KATI	S.G	%KATI
1	1,49	51%	1,19	25%
2	1,48	59%	1,2	30%
3	1,47	44%	1,29	36%
4	1,49	53%	1,25	25%
5	1,43	48%	1,13	18%
6	1,37	42%	1,19	26%
7	1,48	43%	1,29	35%
8	1,43	48%	1,25	32%
9	1,5	54%	1,27	35%
ORTALAMA	1,46	49%	1,23	29%

Çizelge 10. İkinci Devre Değirmen Çıkışı – Klasifikatör Taşarı Pülp Yoğunlukları

NUMUNE NO	2. DEĞİRMEN ÇIKIŞI		2. KLASFİYER TAŞARI	
	S.G	%KATI	S.G	%KATI
1	1,57	58%	1,17	22%
2	1,45	47%	1,19	29%
3	1,6	57%	1,2	27%
4	1,58	60%	1,19	26%
5	1,35	42%	1,18	23%
6	1,46	50%	1,3	36%
7	1,7	49%	1,25	32%
8	1,66	65%	1,43	48%
9	1,52	55%	1,17	24%
ORTALAMA	1,54	54%	1,23	30%

Çizelge 11. Flotasyon Atığı Pülp Yoğunlukları

NUMUNE NO	FLOTASYON ATIĞI	
	S.G	%KATI
1	1,11	16%
2	1,15	23%

3	1,13	22%
4	1,09	13%
5	1,1	14%
6	1,05	5%
7	1,11	15%
8	1,09	13%
9	1,11	15%
ORTALAMA	1,10	15%

6.3. Elek Analizleri

Yapılan çalışma öncesi tesisin optimum koşullar altında olduğu gözlenmiş, ardından önceden belirlenmiş noktalardan numuneler alınmıştır. 5 farklı tane boyu aralığında göre tenör ve ağırlık dağılımı ortaya çıkmıştır. Amaç tesis koşullarında tane boyu dağılımı - davranışını anlayıp, analiz etmek ve sistem değişkenlerinin konsantre tenörü üzerinde oluşturabileceği muhtemel etkileri öngörmektir. Ayrıca sistem verimliliği, dönen yük oranı ve kütle denklilikleri hakkında da bilgi sahibi olunmuştur.

Tesis genel olarak 2 akış kolundan oluşmaktadır. 2 Değirmenin bulunduğu tesiste elek analizleri de bunu göz önüne alarak yapılmıştır. Ayrıca bu sonuçlar 2 devre arasındaki öğütme ve verimlilik farklılıkları birbiriyle karşılaştırılmalı olarak da ortaya koymaktadır.

Çizelge 12. Tesis Besleme Değerleri

Tenörler	Besleme	Konsantre	Atık
%Pb	15,13	63,31	2,77
%Zn	10,61	2,37	12,72
Ag gr-ton	86,63	293,94	33,46

Çizelge 13. Birinci Değirmen Çıkışı Elek-Kimyasal Analizi

1.DEĞİRMEN ÇIKIŞI						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	9,47	11,84	60	1066	38,0	38,0
-150+106	18,24	10,94	110	236	8,4	46,4

-106+75	29,6	11,15	167	166	5,9	52,4
-75+45	20,09	11,62	121	476	17,0	69,3
-45	10,12	11,97	76	860	30,7	100,0
Ortalama	13,40	11,73	85,81	2804		

Çizelge 14. Birinci Klasifikatör Taşarı Elek-Kimyasal Analizi

1.KLASFİKATÖR TAŞARI						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	7,16	10,06	56	316	21,27	21,27
-150+106	11,05	11,85	79	162	10,90	32,17
-106+75	18,99	12,25	119	112	7,54	39,70
-75+45	17,77	11,93	108	154	10,36	50,07
-45	9,75	11,92	72	742	49,93	100,00
Ortalama	10,87	11,54	76,63	1486		

Çizelge 15. Birinci Klasifikatör Alt Akışı Elek-Kimyasal Analizi

1.KLASFİKATÖR KUMU						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	15,82	13,12	117	4668	85,51	85,51
-150+106	41,62	9,45	274	282	5,17	90,68
-106+75	39,2	9,15	229	138	2,53	93,20
-75+45	37,87	10,18	205	92	1,69	94,89
-45	12,01	12,07	84	279	5,11	100,00
Ortalama	15,73	12,19	113,58	5459		

Çizelge 16. Birinci Flotasyon Devresi Elek-Kimyasal Analizi

1.FLOTASYON ATIK						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	1,79	10,79	29	132	10,94	10,94
-150+106	1,61	11,66	17	50	4,14	15,08
-106+75	1,74	12,03	19	44	3,65	18,72

-75+45	2,22	14,82	20	48	3,98	22,70
-45	4,73	11,85	36	933	77,30	100,00
Ortalama	4,07	11,85	33,19	1207		

Çizelge 17. Birinci Zenginleştirme Devresi Konsantre Elek-Kimyasal Analizi

1.KONSANTRE						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	51,19	2,64	229	197	17,80	17,80
-150+106	66,47	2,57	321	209	18,88	36,68
-106+75	68,65	1,23	337	274	24,75	61,43
-75+45	72,22	1,81	308	245	22,13	83,56
-45	54,43	2,97	249	182	16,44	100,00
Ortalama	63,58	2,15	293,87	1107		

Yapılan analizlere göre 1. Devrenin verimi %74,39'dur.

Fraksiyonel bazda devrenin ayrıca verimi aşağıda belirtilmiştir. Buna göre tane boyu -150+45 aralığında en yüksek verimin elde edildiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 18. Birinci Devre Fraksiyonel Verim Tablosu

TANE BOYU	R
+150	78%
-150+106	88%
-106+75	93%
-75+45	90%
-45	56%
Ortalama	81%

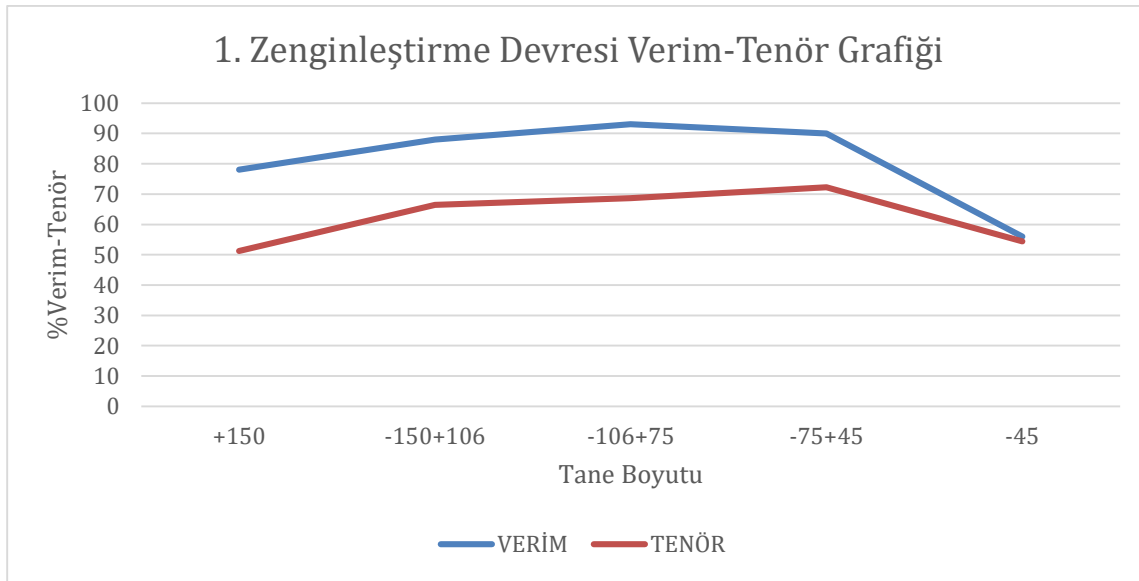
Fraksiyonel verim tablosuna bakıldığında, tane boyutu irileştikçe veya inceldikçe verim azalmaktadır. Göreceli olarak iri olan +150 mikron boyutundaki tanelerin verimi çok düşük olmamakla birlikte, yüzdesini azaltmak ve işlem verimini arttırmak için öğütme ve sınıflandırma prosesi optimize edilerek veya bilya boyutu dağılımı değiştirilerek çözülebilir.

Ancak -45 mikron olan ve bu sistem için ince denebilecek taneler için, flotasyon prosesinde bu tanelerdeki verimsizliğin bazı sebepleri bulunmaktadır;

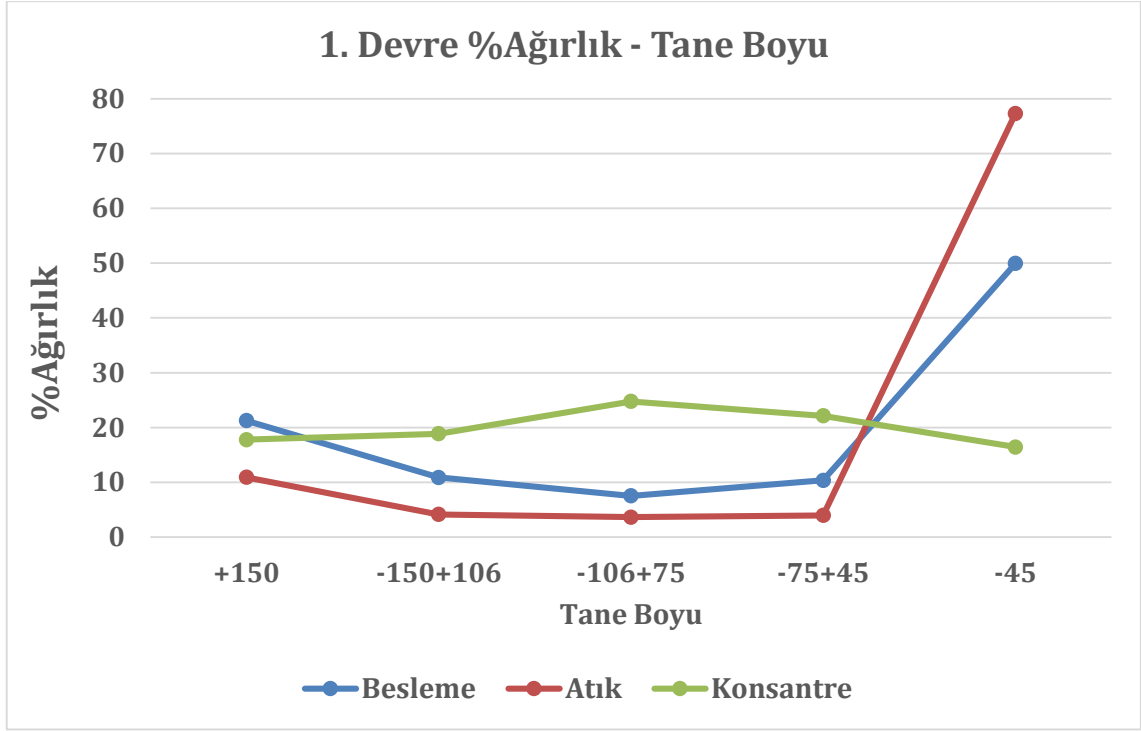
- Yetersiz veya aşırı reaktif kullanımı
- Şlam oluşumu (şlam malzemenin pülpün viskozitesini arttırması bunun da kabarcıkların tane ile çarpışmasını ve bağlanmasını engelleyebilir)
- Düşük işlem süresi

- Yetersiz tane-kabarcık bağlantısı
- Düşük flotasyon kinetiği (İnce tanelerin kütlelerinin ve momentumunun düşük olması pülpün içinde daha uzun süre asılı kalmasına neden olarak verimliliği azaltabilir.)
- Yetersiz hücre kapasitesi - sayısı (ince taneler düşük flotasyon kinetiğine sahip bu da işlem süresinin arttırılması ile çözülebilir, eğer sistemde bulunan hücre adeti yeterli değilse ince tanelerin kazanılmasında verim düşük olacaktır) gibi etmenler bulunmaktadır.

Flotasyon veriminin maksimum seviyede tutulması için öğütme sonrası ürün tane boyutunun dar bir aralıkta tutulması gerekmektedir. Konsatredaki -45 mikron tanenin %20'nin altında olması, atık içerisinde bulunan -45 boyutundaki tane miktarının %80'e yakın olması 1. Devre Zenginleştirme sisteminin tane boyutu inceldikçe yetersiz kaldığı ve verimsizleştiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Zenginleşme Devresi Verim Tenör Grafiği



Şekil 7. Birinci Devre Akış %Ağırlıkları

Yukarıda belirtilen yüzde ağırlık grafiği klasifikatör taşıarı yani flotasyon besleme akışından alınan numunenin elek analizidir. Bu ve fraksiyonel bazlı verim tablosu göz önüne bulundurulduğunda flotasyon için optimum tane boyutu aralığındaki malzeme miktarı %28,8, en düşük verimde ki -45 mikron malzem miktarı %49,93'tür. Konsantre ve atık içerisindeki -45 mikron malzeme miktarlarına bakıldığında sırasıyla %16,44 ve %77,30'dur. Bu da tane boyu inceldikçe zenginleştirilmesinin zorlaştığını göstermektedir.

Çizelge 19. Birinci Zenginleştirme Devresi Değirmen Çıkışı Elek-Kimyasal Analizi

2.DEĞİRMEN ÇIKIŞI						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	11,9	11,85	81	1112	27,73	27,73
-150+106	14,34	11,65	98	334	8,33	36,06
-106+75	19,37	12,51	129	216	5,39	41,45
-75+45	22,48	12,35	136	290	7,23	48,68
-45	10,48	11,42	74	2058	51,32	100,00
Ortalama	12,54	11,68	85,39	4010		

Çizelge 20. İkinci Zenginleştirme Devresi Klasifikatör Üst Akışı Elek-Kimyasal Analizi

2.KLASFİKATÖR TAŞARI						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	6,15	10,84	41	540	19,75	19,75
-150+106	13,45	12,15	98	252	9,22	28,97
-106+75	20,06	11,83	124	152	5,56	34,53
-75+45	17,58	12,15	108	202	7,39	41,92
-45	10,58	11,87	73	1588	58,08	100,00
Ortalama	11,01	11,71	74,41	2734		

Çizelge 21. İkinci Zenginleştirme Devresi Klasifikatör Alt Akışı Elek-Kimyasal Analizi

2.KLASFİKATÖR KUMU						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	14,40	11,94	105,3	3189	56,81	56,81
-150+106	31,22	8,69	246,6	486	8,66	65,47
-106+75	24,70	8,51	206,1	718	12,79	78,26
-75+45	21,21	9,57	184,5	468	8,34	86,60
-45	10,69	10,62	75,6	752	13,40	100,00
Ortalama	17,24	10,85	133,05	5613		

Çizelge 22. İkinci Zenginleştirme Devresi Flotasyon Atığı Elek-Kimyasal Analizi

2.FLOTASYON ATIK						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	1,27	9,91	26	300	29,70	29,70
-150+106	1,49	12,2	24	60	5,94	35,64
-106+75	1,16	12,06	24	44	4,36	40,00
-75+45	1,43	15,3	27	68	6,73	46,73
-45	4,05	11,9	39	538	53,27	100,00
Ortalama	2,770	11,563	32,786	1010		

Çizelge 23. İkinci Zenginleştirme Devresi Konsantre Elek-Kimyasal Analizi

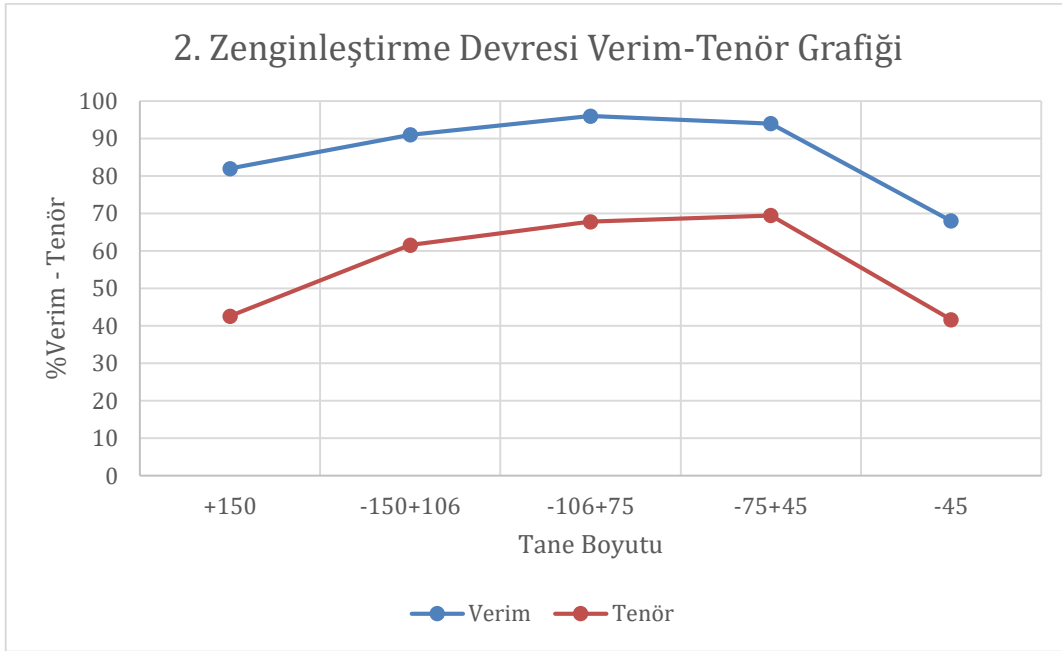
2.KONSANTRE						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag(gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm. Elek Üstü
+150	42,6	3,44	179	146	10,74	10,74
-150+106	61,57	3,32	244	298	21,93	32,67
-106+75	67,82	2,08	356	381	28,04	60,71
-75+45	69,46	1,36	298	357	26,27	86,98
-45	41,65	1,79	233	177	13,02	100,00
Ortalama	60,76	2,27	281,17	1359		

2. Zenginleştirme devresi verimi %81,64 olarak hesaplanmıştır.

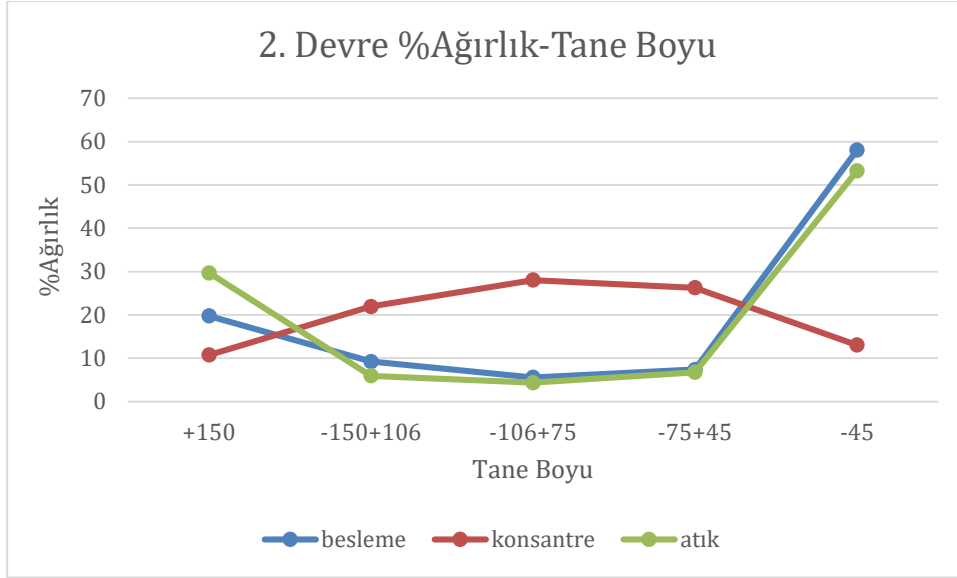
Fraksiyonel bazda verim tablosuna bakıldığında 1.devreye benzer bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 24. İkinci Devre Fraksiyonel Verim Tablosu

TANE BOYU	R
+150	82%
-150+106	91%
-106+75	96%
-75+45	94%
-45	68%
Ortalama	86%



Şekil 8. 2.Zenginleşme Devresi Verim Tenör Grafiği



Şekil 9. 2. Devre %Ağırlık-Tane Boyutu Grafiği

Her iki devreye ait analizler incelendiğinde, karakteristik olarak benzer oldukları ortaya çıkmıştır. Bu sistem özelinde ince olarak kabul edilebilecek -45 mikron tane boyutlarında, özellikle -150+45 mikron aralığı ile kıyaslandığında, sistem veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Buna ilişkin sonuçlar ve yapılabilecekler aşağıda irdelenmiştir.

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ELDE EDİLEN BULGULAR

Tesiste birbirinden bağımsız 2 farklı öğütme ve flotasyon devresi bulunmaktadır. 2 farklı öğütme ve zenginleştirme devresi etrafından alınan numunelere yapılan analizler sonucunda zenginleştirme için optimum tane boyutunun -150+45 mikron olduğu görülmektedir. Flotasyon verimi tane boyutu 150 mikronun altına indikçe artmakta, -45 mikrondan daha ince boyuta geldiğinde azalmaktadır.

İki devreden alınan numune sonuçları değerlendirildiğinde öğütme ve flotasyon prosesindeki bazı noktalarda verimsizlikler göze çarpmaktadır. Öğütme ve flotasyonda yaşanan işlem verimsizliği birkaç etmene bağlamak mümkündür;

- 1- Cevher değişkenliği
- 2- Bilya boyutu
- 3- Besleme boyutu
- 4- Ekipman yeterliliği

Cevher değişkenliği, öğütme ve flotasyon verimini etkileyen önemli bir faktördür. Cevherin mineralojik ve kimyasal bileşimi, tane boyutu dağılımı, sertlik gibi özellikleri değiştikçe, öğütme ve flotasyon süreçlerinin etkinliği de değişir. Cevher değişkenliği öğütme verimi ve performansını bu da doğrudan flotasyon ve tesisini etkilemektedir.

Cevherin başlangıçtaki tane boyutu dağılımı, öğütme verimini belirlemektedir. Daha homojen tane boyutu dağılımı, öğütme sürecini optimize ederken, geniş bir tane boyutu dağılımı öğütme süresini ve enerji tüketimini artırabilir. Farklı minerallerin farklı öğütme davranışları göstermektedir. Örneğin, yumuşak mineraller daha kolay öğütülürken, sert mineraller daha zor öğütülür. Cevherin mineralojik bileşimi bu nedenle öğütme verimini önemli ölçüde etki eder. Kil gibi ince taneli mineraller, öğütme sırasında istenmeyen jelleşme ve viskozite artışına neden olmaktadır.

Beslemedeki cevherin sürekli değişmesinin flotasyon verimi üzerindeki bir başka negatif etkisi de ortam pH'ını değiştirmesinden kaynaklıdır. Minerallerin yüzey yükü, zeta potansiyeli olarak bilinen bir ölçü ile ifade edilir. Zeta potansiyeli, bir mineralin yüzeyindeki elektriksel potansiyeldir ve pH değerine bağlı olarak değişir. pH değeri mineral yüzeyindeki iyonların dağılımını ve dolayısıyla yüzey yükünü etkiler. Örneğin,

metal oksit mineralleri genellikle düşük pH'ta pozitif yüke sahipken, yüksek pH'ta negatif yüke sahip olabilir. Bu değişiklik, flotasyon reaktiflerinin yüzeye adsorpsiyonunu etkiler.

Bir değirmenin verimliliği ölçmek ve değerlendirmek için bakılabilecek ana kriterlerden ikisi değirmen enerji sarfiyatı (kwh/ton) ve ürün boyut dağılımıdır. Öğütme verimini belirlemek için, flotasyon veya zenginleştirme için hangi metot kullanılıyorsa, değirmen çıkışı tane boyutu dağılımının istenen tane boyutuna ne kadar yakın olduğu incelenir. Hedeflenen tane boyutu dağılımına ulaşma oranı öğütme verimliliğini belirler.

Belirtilen ve irdelenen verimsizliklerin tesis maliyetlerine yüksek ölçüde etkisi vardır. Öğütmede yaşanan verimsizlik reaktif sarfiyatını arttırmakta doğrusal olarak flotasyon verimini etkilemektedir (Guy ve Trahar, 1985). Yaşanan verimsizliğe ek olarak elektrik ve reaktif sarfiyatının artması işletme maliyetlerine olumsuz yönde büyük etkileri olabilmektedir. Bu sorunların daha erken ve net tespiti için tesis teknolojisinin geliştirilmesi gerekmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi günlük üretim kapasitesinin düşük olmasından kaynaklı teknolojik yetersizlikler bazı detayların ortaya çıkmasını engellemektedir.

Atık içerisinde göreceli olarak ince tane boyutundaki yüksek tenörlü kurşunun kazanımı işletme maliyetleri açısından elzemdir. Ancak, mevcut flotasyon devrelerinde kullanılan Denver tipi hücre teknolojisinin sınırlı olması ve sayısal yetersizlik nedeniyle devrenin mevcut durumunda bir iyileştirme yapılması mümkün değildir. Tane boyu incelidikçe içerisinde bulunan kurşunun zenginleştirilmesi flotasyon süresinin dolayısıyla hücre sayısının artırılması gerekmektedir ancak işletme koşulları buna müsaade etmemektedir. Bu yüzden alternatif çalışmalara yönelinmiştir.

Yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular ışığında alternatif bir zenginleştirme sistemi araştırılmasına ve bu doğrultuda atığın farklı bir flotasyon teknolojisinde işlenmesine karar verilmiştir.

Her ne kadar metal fiyatları yükselse de, operasyonel maliyetlerdeki artış işletmelerin ömrünü de etkilemektedir. Bu yüzden verimi korumak ve arttırmak her işletme için hayati bir durumdur.

Madencilik sektöründe yüksek tenörlü cevher yataklarının azalması ve bununla birlikte gelişen flotasyon teknolojileri farklı tip flotasyon ekipmanlarının değişik alanlarda kullanılmasına yol açmıştır. Günümüzde birçok gelişmiş ve özel alanlara yönelik flotasyon ekipmanları bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı tesis koşulları, işletme şartları

gibi doneler değerlendirildiğinde yaygın kullanımda bulunan bu flotasyon hücreleri içerisinde Tank Selül teknolojisinin gerek uygulama ve işletme kolaylığı açısından bu denemeye en uygun teknoloji olduğuna karar verilmiştir.

8. TANK SELÜL DENEMESİ

Amaç; atık içerisindeki kayıp kurşunun kazanımının denemesi ve denenecek sistemin endüstriyel koşullar altında ekonomik bir zenginleştirme yöntemi olup olmayacağını belirlenmesidir. Atık içerisindeki kurşunun kazanılması için mevcut sistemin teknolojik yetersizliğine çözüm olarak alternatif bir sistem denenecektir. Bu doğrultuda flotasyon atığının mevcut konvansiyonel hücrelere göre daha yeni bir teknoloji olan Tank Selül tipi ekipmanlarda zenginleştirilmesinin denemesine karar verilmiştir. Deneme esnasında kurşun geri kazanımındaki verim, konsantre tenörü, reaktif sarfiyatı ve enerji tüketimi gibi ekonomik doneler de gözlemlenmiştir.

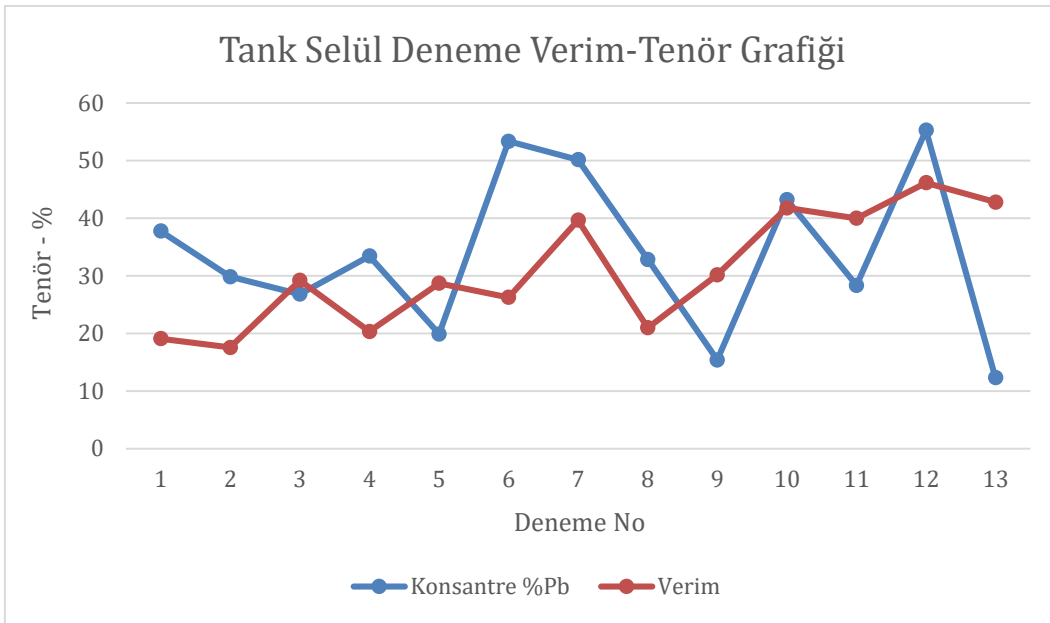
Deneme amacıyla çalışmanın yapıldığı tesise 3 m³ hacimde tank selül getirilmiştir. Deney hücresine besleme doğrudan 2 ayrı zenginleştirme devresi atığının birleşim noktasından alınmıştır. Akış kontrolü için besleme hattına debi metre konmuş ve bu sayede beslemenin stabilitesi kontrol altında tutulmuştur.

Deney esnasında verilen reaktif sarfiyat miktarları kayıt altına alınmıştır. Besleme, konsantre ve atık kollarından numune alınıp, kimyasal analiz yapılmıştır. Aşağıda alınan numunelere ait kimyasal analizleri belirtilmiştir.

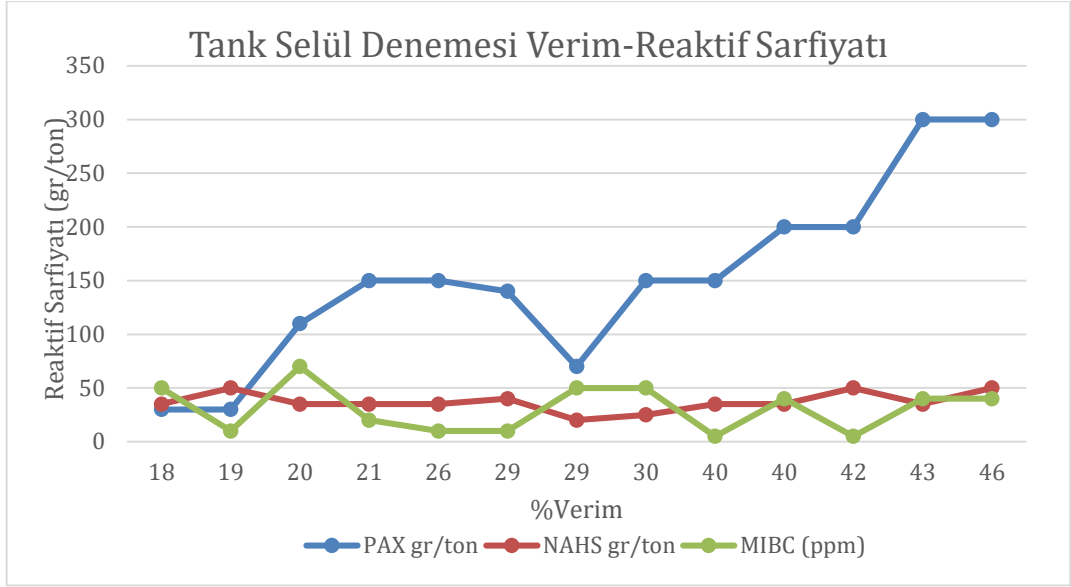
Çizelge 25. Tank Selül Denemeleri Kimyasal Analiz Sonuçları

DENEME	BESLEME			ATIK			KONSANTRE			VERİM %
	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	R
1	1,74	11,14	23	1,42	10,57	21	37,76	10,66	228	19,11
2	3,33	7,8	35	2,8	5,67	21	29,85	7,06	237	17,56
3	1,99	9,16	23	1,44	7,12	14	26,83	6,2	208	29,21
4	1,32	8,61	24	1,06	6,46	16	33,43	4,26	251	20,34
5	2,24	10,4	25	1,65	8,6	16	19,9	8,38	153	28,72
6	3,02	9,96	28	2,26	8,13	19	53,35	7,46	277	26,28
7	1,99	13,16	17	1,22	10,58	11	50,17	5,12	263	39,66
8	1,38	3,84	22	1,10	2,63	13	32,86	4,07	214	20,99
9	1,85	9,79	20	1,34	7,28	11	15,39	8,25	88	30,20
10	1,74	11,81	39	1,03	9,58	24	43,25	5,82	382	41,80
11	1,66	9,24	23,31	1,02	8,43	15,85	28,36	6,63	193,31	39,99
12	2,26	9,01	27	1,24	8,02	24	55,26	2,42	431	46,17
13	1,71	9,12	26	1,04	9,37	23	12,33	9,07	111	42,79
Ortalama	2,04	9,49	25,53	1,47	7,76	17,15	35,53	6,36	243,78	30,00

Yapılan denemeler esnasında alınan günlük numune değerlerine göre besleme, atık ve konsantre sonuçları yukarıdaki tabloda verilmiştir. Numune sonuçlarının ortalamasına bakıldığında %2,04 Pb beslemeye karşılık, %1,47 Pb atık ve %35,53 konsantre tenörü elde edilmiş, ortalama verim %30 çıkmıştır. Ortaya çıkan verim oranı bir işletme performansı için düşük olsa da, bu deney açısından ileriye dönük olumlu sonuçlar taşımaktadır.



Şekil 10. Tank Selül Deneyi Verim-Tenör Analiz Grafiği



Şekil 11. Tank Selül Deneyi Reaktif Sarfiyatına Karşılık Verim Grafiği

Deney esnasında her denemeye ilişkin reaktif sarfiyatı ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Deneme sonrası elde sonuçlar neticesinde sistemin kurulması durumunda yeni kurulacak devrenin ton başı reaktif sarfiyatı miktarı ve maliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

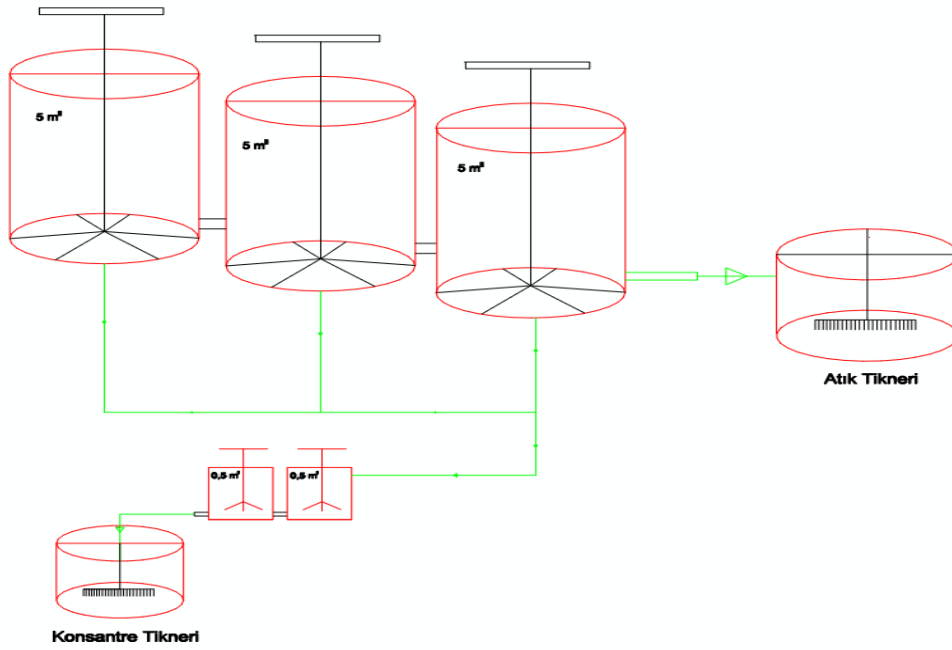
Çizelge 26. Tank Selül Deney Reaktif Sarfiyatları

Deneme No	PAX gr/ton	NAHS gr/ton	MIBC (ppm)	Verim
1	30	35	50	18
2	30	50	10	19
3	110	35	70	20
4	150	35	20	21
5	150	35	10	26
6	140	40	10	29
7	70	20	50	29
8	150	25	50	30
9	150	35	5	40
10	200	35	40	40
11	200	50	5	42
12	300	35	40	43
13	300	50	40	46

9. SONUÇ

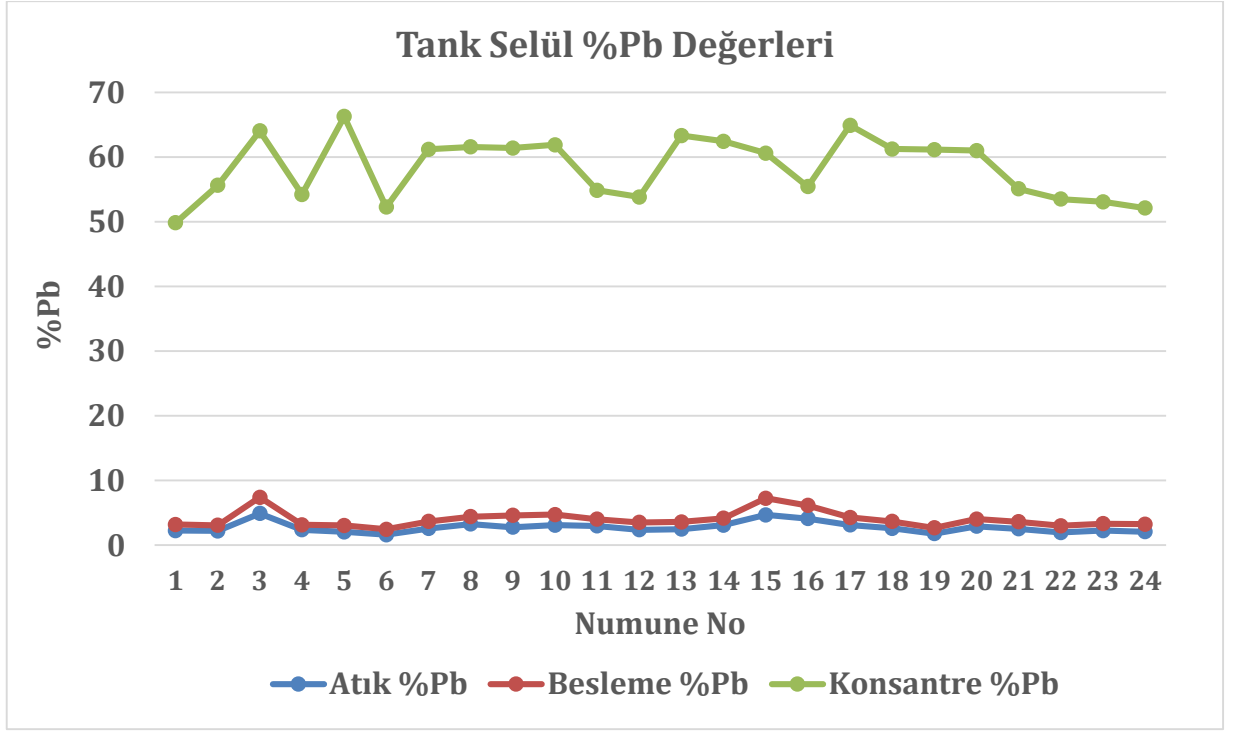
Yapılan deneme sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde tank selül tipi flotasyon ekipmanlarının atıktan kurşun kazanımı konusunda potansiyeli olduğu ve istenen verim tenör değerlerini ekonomik olarak sağlayabileceğine karar verilmiştir.

Bu doğrultuda mevcut flotasyon devresi atığının işlenmesi için işletmeye 3 adet 5 m³ Tank Selül ve 2 adet 0,5 m³'lük Denver tipi flotasyon hücresinden oluşan yeni bir zenginleştirme devresi entegre edilmiştir. 3 adet tank selül akış kolları seri olarak birbirine bağlıdır ve kaba flotasyon olarak işlev sağlamaktadır. Bu hücrelerde kazanılan kurşun Denver tipi temizleme hücrelerine aktararak konsantre olarak kazanılır. Kazanılan kurşun, tikner ve ardından press filtre ile susuzlandırılarak nihai konsantre elde edilmektedir.



Şekil 12. Tank Selül Zenginleştirme Devresi

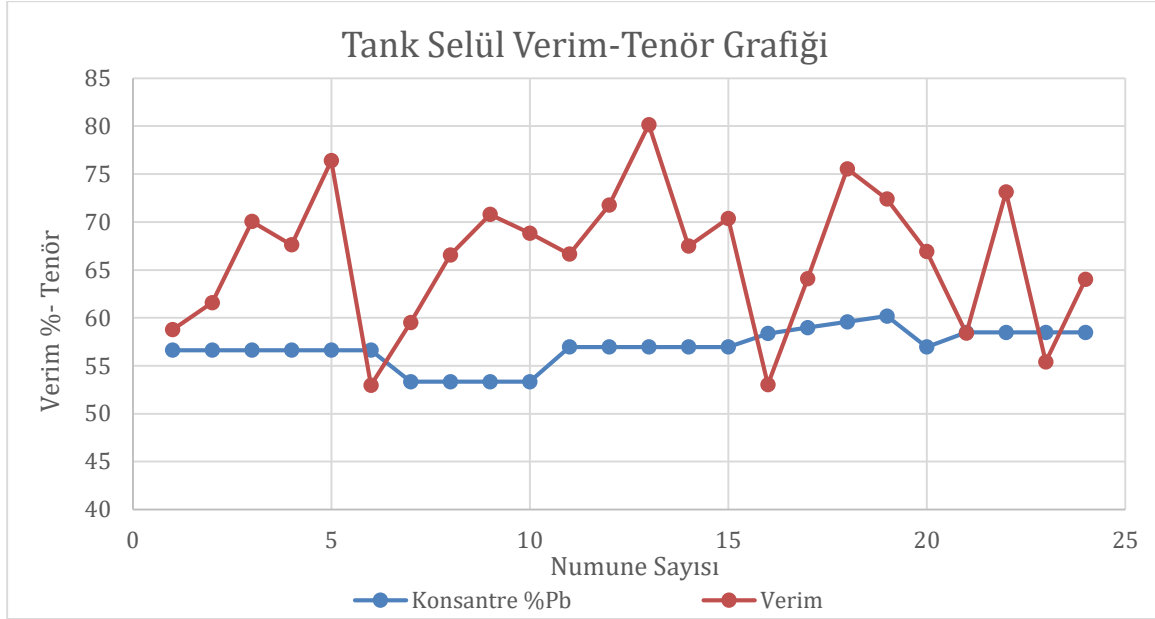
Sistemin devreye alınması sonrasında, devre etrafından alınan numune sonuçları ve verim değerleri aşağıda paylaşılmıştır. Kurulum sonrası atık kazanımından %55-60 kurşun tenörlü konsantre elde edilmekte ve yapılan analizler sonucunda sistemin verimi %66 çıkmaktadır.



Şekil 13. Tank Selül Kimyasal Analizleri

Çizelge 27. Tank Selül Devresi %Pb-Verim Tablosu

Numune No	Besleme %Pb	Atık %Pb	Konsantre %Pb	R
1	2,25	0,95	46,63	59%
2	2,21	0,87	52,54	62%
3	4,90	2,50	56,63	51%
4	2,37	0,79	51,05	68%
5	2,06	1,00	63,20	52%
6	1,61	0,84	49,80	49%
7	2,59	1,08	57,51	59%
8	3,27	1,14	57,14	66%
9	2,77	1,84	56,76	35%
10	3,11	1,62	57,14	49%
11	2,98	1,03	50,83	67%
12	2,37	1,16	50,27	52%
13	2,48	1,11	59,73	56%
14	3,11	1,05	58,25	67%
15	4,68	2,57	53,34	47%
16	4,12	2,01	49,29	53%
17	3,12	1,16	60,61	64%
18	2,61	1,06	57,57	61%
19	1,79	0,88	58,47	52%
20	2,92	1,11	56,96	63%
21	2,53	1,08	51,47	59%
22	1,96	1,04	50,48	48%
23	2,26	1,06	49,75	54%
24	2,09	1,17	48,85	45%
Ortalama	2,76	1,26	54,34	56%



Şekil 14. Tank Selül Operasyonel Verim-Tenör Grafiği

Devreye alma süreci tamamlandıktan sonra akış kollarından alınan numune sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 28. Tank Selül Besleme Analizi

TANK SELÜL BESLEME						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm Elek Üstü
-150+106	1,82	10,18	26,92	432	19,49	19,49
+106	1,53	12,04	21,86	110	4,96	24,45
-106+75	1,34	12,05	22,47	88	3,97	28,42
-75+45	1,67	15,15	24,86	116	5,23	33,65
-45	4,26	11,88	38,08	1471	66,35	100,00
Ortalama	2,12	12,26	26,84	2217	100	

Çizelge 29. Tank Selül Konsantre Analizi

TANK CELL KONSANTRE						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm Elek Üstü
-150+106	42,10	7,74	104	244	26,87	26,87
+106	48,75	8,95	156,0	46	5,07	31,94
-106+75	46,25	9,03	175,0	58	6,39	38,33
-75+45	45,63	11,30	182,0	52	5,73	44,05
-45	63,85	9,52	231,4	508	55,95	100,00
Ortalama	49,32	9,31	169,68	908	100,00	

Çizelge 30. Tank Selül Atık Analizi

TANK CELL ATIK						
TANE BOYU	%Pb	%Zn	Ag (gr/ton)	Ağırlık gr	Ağırlık %	Küm Elek Üstü
-150+106	1,01	14,47	26,33	296	34,02	34,02
+106	0,99	11,93	20,5	102	11,72	45,75
-106+75	0,96	12,045	21,5	134	15,40	61,15
-75+45	1,02	15,06	23,5	140	16,09	77,24
-45	1,59	11,875	37,5	198	22,76	100,00
Ortalama	1,11	13,08	25,87	870	100,00	

Analizler sonucu devre verimi %48,6'dır.

10. YORUMLAR

Devreye alma sonrası akış kollarından alınan numuneler ile deney sonuçları karşılaştırıldığında analizlerin örtüştüğü görülmektedir. Tank Selül tipi flotasyon hücresinin kendinden taşmalı yapısı, harici ve kontrol edilebilir hava besleme sistemi, uzun işleme süresi gibi özellikleri mevcut konvansiyonel hücrelerde zenginleştirilemeyip atığa giden -45 mikron boyutundaki tanelerin geri kazanımında başarılı olmuştur. Mevcut sistemdeki Denver tipi hücrelerde kabarcık oluşumu sadece MIBC eklenerek sağlanırken, Tank Selül sisteminde bulunan blower sayesinde hücre içerisindeki kabarcık oluşumunun kontrolü sağlanabilmektedir. Sistemin kendiliğinden taşmalı yapısı sayesinde tanelerin hücre içerisindeki işlem süresi konvansiyonel hücrelere kıyasla uzundur, bu sayede ince tanelerin elde edilmesindeki verimi artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Benzer H., Ergun L., Aydoğan N., Çelik İ. B., Design and Optimization of Cement Grinding Circuits Using Simulation, New Trends in Mineral Processing IV, Ostrava, 28-30 Haziran 2001, Ostrava, 2001, p. 103-111.
- Benzer, H., Dündar, H., and Altun, O., Çimento Öğütme Devrelerinde Kapalı Devre Bilyalı Değirmen Özelinde Performans Değerlendirme Çalışmaları. MT Bilimsel, 20 (2021) 53-66.
- Booth, R.B., Freyberger, W.L., Froths and Frothing Agents. In Froth Flotation, 50th Anniversary Volume, Edited Fuerstenau, New York, 1962.
- Bulatovic, S. M., Handbook of Flotation Reagents, Elsevier Science & Technology Books, 5-40, 2007.
- Bulatovic, S., and Wyslouzil, D.M., Selection and Evaluation of Different Depressant Systems for Flotation of Complex Sulphide Ores, Minerals Engineering 8 (1/2) (1995) 63- 76.
- Chatterjee, K., Uses of Metals and Metallic Minerals. New Age International Publishers. 2007.
- Cöcen, İ., Semerkant, O., Ergin, Z. (). Cevher Zenginleştirme Laboratuvar Ders Notları, 3. Baskı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basın Ünitesi, İzmir, 1998.
- Çilingir, Y. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri (Cilt 1) D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Baskı Ünitesi No: 198, İzmir, 1996.
- DPT, 8. BeG Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2001.
- Fa, K.Q., Miller, J.D., Jiang, T., and Li, G.H., Sulphidization Flotation for Recovery of Leadand Zinc from Oxide-Sulfide Ores, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 15 (2005) 1138–1144.

- Feng, Q., Wen, S., Zhao, W., Wang, Y., Cui, C., Contribution of Chloride Ions to Sulfidization Flotation of Cerussite. Elsevier, (2015), 128-135.
- Fuerstenau M.C., Froth Flotation: A Century of Innovation, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 2007.
- Fuerstenau, D.W., Sotillo, F.J., and Valdivieso, A., Sulfidization and Flotation Behavior of Anglesite, Cerussite and Galena. In: 15th Congress International Mineralurgie, 2 (1985) 74–86.
- Fuerstenau, M., Olivas, S., Herrera-Urbina, R., and Han, K., The Surface Characteristic and Flotation Behaviour of Anglesite and Cerussite. International Journal of Mineral Processing, 20(1-2) (1986) 73-85.
- Gouda G.R., Technical Aspects of Comminution in the Cement Industry-Part 1, World Cement Technology, April, 1981, 112-122
- Guy, P. J., Trahar, W. J., The effects of oxidation and mineral interaction on sulphide flotation, In: Flotation of sulphide minerals. developments in mineral processing. K.S. E. Forssberg (ed.), Elsevier, Amsterdam, 1985, pp. 91-109.
- Herrera-Urbina, R. R. Sotillo, F.J.Fuerstenau, D.W., Effect of Sodium Sulfide additions on The Pulp Potential and Amyl Xanthate Flotation of Cerussite And galena, Int. J. Min. Process. 55 (1999) 157–170.
- Irannajad, M., Ejtemaei, M., & Gharabaghi, M., The effect of reagents on selective flotation of smithsonite–calcite–quartz. Minerals Engineering, 22(9-10), 2009, 766- 771.
- Leja, J. (2004). Surface Chemistry of froth Flotation. Vancouver: Springer Science Business Media.
- Marabini, A.A., Alesse, V., and Garbassi, F., Role of Sodium Sulphide, Xanthate and Amine in Flotation of Lead–Zinc Oxidized Ores. In: Jones, M.J., Oblatt, R. (Eds.), Reagents in the Mineral Industry. The IMM, London, 1984, p. 125–136.
- Moradi, S. and Monhemius, A.J., Mixed Sulphide-Oxide Lead and Zinc Ores: Problems and Solutions, Miner. Eng. 24 (2011) 1062–1076.

- Mudd, G. M., Jowitt, S. M., & Werner, T. T. (2017). The world's lead-zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities. *Ore Geology Reviews*, 80, 1160- 1190.
- Norholm, A., Notes on energy conservation, FL Smidth and Co. ¾ Seminar, Istanbul, Turkey, **1995**.
- Önal G., Ateşok, G., Perek K.T., Cevher Hazırlama El Kitabı, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı, Minerals, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 38, 79-94, **2004**.
- Önal, G. Bulut, G. Gül, A. Kangal, O., Perek, K.T., ve F. Arslan, Flotation of Aladag oxide Lead-Zinc Ores, *Miner. Eng.* 18 (**2005**) 279–282.
- Önal, G., and Abramov, A. A., Optimal Conditions for Oxide Lead Minerals Flotation. In: IX International Mineral Processing Symposium, Extended Abstracts, **2002**, p. 18-20.
- Popov, S.R. and Vucinic, D.R., The Effect of Prolonged Agitation in Lead Ion Solution on Ethylxanthate Adsorption and Surface Characteristics of Cerussite. *Int. J. Miner. Process.* 35, (**1992a**), 85–100.
- Popov, S.R., and Vucinic, D.R., Adsorption Characteristics and Floatability Ofcerussite with Ethylxanthate in the Presence of Dissolved Lead Ion, *Int. J. Min.Process.* 34 (**1992b**) 307–319.
- Qicheng Feng, S. W., Adsorption of Sulfide Ions on Cerussite Surfaces and Implications for Flotation. Elsevier, 1-8, **2015**.
- Vidyadhar, A., Singh, R., Froth Flotation and Its Application to Concentration of Low Grade Iron Ores. Processing of Iron Ore, Perth: Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication, **2007**.
- Wills, B. A. and Napier-Munn, T. J., Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, **2006**.
- Wills, B., Will's Mineral Processing Technology. Oxford: Elsevier, **1979**.

Yiğit, E., Oksitli Kurşun Çinko Minerallerinin Flotasyonu. Scientific Mining Journal, 15(3) (1976) 33-36.

Yiğit, E., Özkan, Ş. G., Flotasyon Yöntemi ve Uygulamaları, İstanbul, 61, 2007.

