

**OKSİTLENMİŞ KOMPLEKS BAKIR-KURŞUN-ÇİNKO
CEVHERLERİNİN FLOTASYONU**

**FLOTATION OF OXIDIZED COMPLEX COPPER-LEAD-
ZINC ORES**

ELİF ÖZDEMİR

PROF. DR. ZAFİR EKMEKÇİ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.


2014

ELİF ÖZDEMİR' in hazırladığı "**Oksitlenmiş Kompleks Bakir-Kurşun-Çinko Cevherlerinin Flotasyonu**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

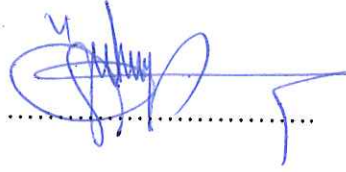
Prof. Dr. Çetin HOŞTEN
Başkan



Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ
Danışman



Prof. Dr. Özcan Y. GÜLSOY
Üye



Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN
Üye



Yrd. Doç. Dr. İlkay Bengü ÇELİK
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/08/2014


ELİF ÖZDEMİR

ÖZET

OKSİTLENMİŞ KOMPLEKS BAKIR-KURŞUN-ÇİNKO CEVHERLERİNİN FLOTASYONU

Elif ÖZDEMİR

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ

Ağustos 2014, 90 sayfa

Sülfürlü cevher yataklarında genellikle homojen bir cevherleşme görülmemektedir. Aynı cevher yatağında farklı mineralojiye, serbestleşme derecesine ve oksidasyon derecesine sahip cevherleşmeler gözlenebilmektedir. Kompleks sülfürlü cevherlerin seçimli flotasyonu mineralojik özelliklerine, minerallerin serbestleşme durumlarına ve cevherlerin flotasyon kimyasındaki farklılıklarına bağlı olarak oldukça problemlili olabilmektedir. Kompleks mineraloji ile ilişkili olan flotasyon kimyası, dünyada birçok büyük cevher yatağının ekonomik olarak işletilmesini zorlaştırmaktadır.

Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevheri, volkanojenik masif sülfürlü (VMS) yapıdadır ve üç farklı zondan (oksitli, bakırca zengin ve sülfürlü) oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevherinin bakırca zengin zonu test edilmiştir. Bakırca zengin bu zonda ikincil bakır mineralleri bulunması ve buna bağlı olarak yüzey oksidasyon derecesinin yüksek olması nedeniyle flotasyonda düşük seçimlilik ve verim problemleri yaşanmaktadır. Ayrıca cevher yüksek oranda kil ve mika mineralleri içermektedir. Bu cevherin flotasyon performansını arttırmak için farklı tür toplayıcı ve bastırıcılarla testler gerçekleştirilmiştir. Kil atımlı ve kil atımsız koşullarda kimyasalların flotasyona etkisi araştırılmıştır.

Kilin flotasyona olumsuz etkisini gidermek için bütün testlerde dağıtıcı olarak Na-silikat kullanılmış ve farklı türde bastırıcılar denenmiştir. Test edilen P82, OS-3 ve Sodyummetabisülfid (MBS) bastırıcıları arasından en iyi sonucu MBS'nin verdiği görülmüştür. Deneylede Aero 7279, NaAF, Aero 8761, Aero 7279+NaAF, Aero 7279+SIPX, NaAF+ Aero 8761 ve NaAF+Aero 5100'den oluşan farklı toplayıcı ve toplayıcı karışımları test edilmiştir. Test edilen toplayıcılar arasında en iyi sonuçlar NaAF ve NaAF+8761 toplayıcı karışımında elde edilmiştir.

Bakır kaba flotasyon verimi % 67.39, üç kademe temizleme flotasyonu sonrasında tenör ise % 31.38 Cu değerine yükseltilmiştir. Kurşun kaba flotasyon verimi % 34.72 üç kademe temizleme flotasyonu sonunda tenör ise % 51.32 Pb değerine yükseltilmiştir. Çinko kaba flotasyon verimi %51.88 ve iki kademe temizleme flotasyonu sonrası tenör % 55.45 Zn değerine yükseltilmiştir.

Anahtar kelimeler: Flotasyon, sülfürlü cevherler, ikincil bakır mineralleri, yüzey oksidasyonu, kil

ABSTRACT

FLOTATION OF OXIDIZED COMPLEX COPPER-LEAD-ZINC ORES

Elif ÖZDEMİR

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ

August 2014, 90 pages

In sulphide ore deposits, mineralization is generally not homogeneous. Ore types with different mineralization, liberation and surface oxidation in the same ore body are likely to be seen. Selective flotation of complex sulphide ore is quite problematic due to mineralogical characteristics, liberation problems and differences in the flotation chemistry of the ore. Flotation chemistry, which is related to complex mineralogy, makes it difficult for many major ore deposits in the world to operate economically.

Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn complex sulphide ore is a volcanogenic massive sulphide (VMS) and composed of three different zones (oxide, copper-rich and sulphide). In this study, the copper-rich sulphide ore zone of Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn complex sulphide ore was tested. Low selectivity and recovery problems occur in the flotation of this copper-rich ore since it includes secondary copper minerals causing high degrees of surface oxidation. Also, this ore contains high amount of clay and mica minerals. In order to increase the flotation performance of this ore, the effects of different types of collectors and depressants and also, effect of clay removal on the flotation with different depressants and collectors were investigated.

To prevent from the adverse effects of clay on flotation, Na-silicate was used as dispersant and different types of depressants were tested. Among these depressants, which were P82, OS-3 and MBS, the best results were obtained with sodium metabisulphite (MBS). On the other hand, different collectors and their mixtures such as Aero 7279, NaAF, Aero 8761, Aero 7279 + NaAF, Aero 7279 + SIPX, NaAF + Aero 8761, NaAF + Aero 5100 were also tested. Best results were obtained with the mixture of NaAF+8761 and NaAF collectors.

Copper recovery at the rougher stage was 67.39 %. After three stages of cleaning, grade of the concentrate was increased to 31.38 % Cu. Similarly, lead recovery at the rougher stage was 34.72 %. After three stages of cleaning, grade of the concentrate was increased to 51.32 % Pb and finally zinc recovery at the rougher stage was 51.88 %. After two stages of cleaning, grade of the concentrate was increased to 55.45 % Zn.

Keywords: Flotation, sulphide ores, secondary copper minerals, surface oxidation, clay

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında bilgisi ve engin tecrübesiyle başlangıcından sonuna kadar her aşamada bana yol göstermiş, yönlendirmiş ve karşılaştığım problemlerin çözümünde bana yardım etmiş olan tez danışmanım Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ 'ye çok teşekkür ederim.

Tez projemi destekleyerek malzeme, teknik ve maddi katkılarından dolayı ALDRİDGE MINERAL AŞ'ye, sağladığı ekipman ve olanaklardan dolayı Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na,

Çalışmam esnasında tecrübeleriyle, bazen cesaret verici bir söz ile desteklerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Özcan Y. GÜLSOY, Yrd. Doç. Dr. Metin CAN ve Yrd. Doç. Dr. İlkay Bengü ÇELİK'e,

Tezin her aşamasında bana sonsuz yardım eden ve bazen bir hoca bazen de bir arkadaş gibi hep yanımda olan Dr. Özlem BIÇAK'a,

Deneysel çalışmalarım esnasında kimyasal analizler ile günlerce uğraşan, bu esnada güleryüz ve sohbetini benden hiç esirgemeyen Yasemin ÖZTÜRK'e,

Deneysel çalışmalar esnasında ve yazım sürecinde desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Ataallah BAHRAMİ ve Ahad AGHLMANDI HARZANAGH'a ,

Tez yazım sürecinde desteğini esirgemeyen, bana süreç boyunca moral ve destek veren oda arkadaşım Arş. Gör. Ergin GÜLCAN'a,

Tez yazım sürecinde her aşamasında desteğini fazlasıyla hissettiğim ve hep yanımda olan, sabırla beni dinleyen değerli arkadaşım F.Büşra YILDIRIM'a,

Manevi destek ve ilgileri ile her zaman yanımda olan ailem ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	VI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
3. Cu-Pb-Zn YATAKLARI	3
3.1. Hidrotermal Damar Yataklar	3
3.2. Sedimanter Yataklar	3
3.3. Masif Sülfür Yataklar	4
4. FLOTASYON	5
4.1. Flotasyon Reaktifleri	6
4.1.1. Toplayıcılar	6
4.1.2. Köpürtücüler	8
4.1.3. Kontrol Reaktifleri	9
5. SÜLFÜRLÜ Cu-Pb-Zn MİNERALLERİNİN FLOTASYONU	11
5.1. Toplu Cu-Pb Flotasyonu	12
5.1.1. Bakır-Kurşun Seçimli Flotasyonu	12
5.2. Seçimli Flotasyon	15
5.3. Sülfür Flotasyonunu Etkileyen Parametreler	15
5.3.1. Redoks Potansiyeli	15
5.3.2. pH	16
5.3.3. Yüzey Oksidasyonu	16
5.3.4. İkincil Bakır Mineralleri	17
5.3.5. Kil	18
6. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM	19
6.1. Malzeme	19
6.2. Deneysel Yöntem	20

6.2.1. EDTA Testi.....	20
6.2.2. Öğütme Süresinin Belirlenmesi	21
6.2.3. Flotasyon Testleri.....	22
7. DENEYSEL SONUÇLAR.....	27
7.1. Oksitlenme Derecesinin Etkisi.....	27
7.2. Kilin Etkisi.....	29
7.2.1. Kilin Köpük Fazına Etkisi	29
7.2.2. Kilin Verime Etkisi	30
7.2.3. Kilin Seçimliliğe Etkisi	31
7.3. Toplayıcının Etkisi	33
7.3.1. Toplayıcıların Köpük Fazına Etkisi	34
7.3.2. Toplayıcıların Verime Etkisi	35
7.3.3. Toplayıcıların Seçimliliğe Etkisi	37
7.4. Bastırıcının Etkisi.....	39
7.4.1. Bastırıcıların Köpük Fazına Etkisi	39
7.4.2. Bastırıcıların Verime Etkisi	40
7.4.3. Bastırıcıların Seçimliliğe Etkisi	40
7.5. Bastırıcı Dozajının Etkisi	42
7.5.1. Bastırıcı Dozajının Köpük Fazına Etkisi	42
7.5.2. Bastırıcı Dozajının Verime Etkisi	43
7.5.3. Bastırıcı Dozajının Seçimliliğe Etkisi	43
7.6. Açık Devre Temizleme Flotasyonları	44
8. TARTIŞMA.....	46
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER

Şekil 4.1. Temel Flotasyon Mekanizması	5
Şekil 5.1..Cu-Pb-Zn Cevherleri İçin Uygulanan Bakırın Bastırılması Ve Kurşunun Flotasyonunu.....	13
Şekil 6.1. Yaş Öğütme Tane Boyu Dağılımı.....	21
Şekil 6.2. Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn Kompleks Sülfür Cevherinin Kimyasal Analizi...21	
Şekil 6.3. Flotasyon Deneylerinde İzlenen Akış Şeması	24
Şekil 7.1. Yenipazar Cevherinden Alınan 91 Karot Numunesinin Es_Cu Dağılımları	27
Şekil 7.2. Cu-Zn, Cu-Pb Arasındaki Seçimlilik ve Es_Cu Arasındaki İlişki.....	28
Şekil 7.3. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi	29
Şekil 7.4. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Katı Verimi ile Kümülatif Su Verimi Arasındaki İlişki.....	30
Şekil 7.5. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşulların Cu Verimine Etkisi	31
Şekil 7.6. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi	31
Şekil 7.7. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi	32
Şekil 7.8. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi	33
Şekil 7.9. Farklı Toplayıcı Koşullarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi.....	34
Şekil 7.10. Farklı Toplayıcı Koşullarında Kümülatif Katı Verimine Karşı Kümülatif Su Verimi	34
Şekil 7.11. Farklı Toplayıcı Koşullarının Cu Verimine Etkisi	35
Şekil 7.12. Farklı Toplayıcı Koşullarının Pb Verimine Etkisi	35
Şekil 7.13. Farklı Toplayıcı Koşullarının Zn Verimine Etkisi	36
Şekil 7.14. Farklı Toplayıcı Koşullarının Fe Verimine Etkisi.....	36
Şekil 7.15. Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi	37

Şekil 7.16. Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi	38
Şekil 7.17. Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi.....	38
Şekil 7.18. Farklı Bastırıcı Koşullarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi	39
Şekil 7.19. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Su Verimine Karşı Kümülatif Katı Verimi	39
Şekil 7.20. Farklı Bastırıcı Koşullarında Zamana Karşı Cu Verimi.....	40
Şekil 7.21. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi	40
Şekil 7.22. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi	41
Şekil 7.23. Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi.....	41
Şekil 7.24. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi	42
Şekil 7.25. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Su Verimine Karşı Kümülatif Katı Verimi	42
Şekil 7.26. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Zamana Karşı Cu Verimi.....	43
Şekil 7.27. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi	43
Şekil 7.28. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi	44
Şekil 7.29. Seçimli Cu-Pb-Zn Flotasyonu.....	45
Şekil 8.1. Oksitlenme Koşulları Altında ve Kilin Olması Durumunda Kalkozin ve Kalkopiritin Verimleri [34]	47
Şekil 8.2. Farklı Bastırıcı Koşulları Altında Cu-Pb-Zn Verimleri.....	48
Şekil 8.3. Farklı Toplayıcı Koşulları Altında Cu Verim-Tenör İlişkisi.....	49
Şekil 8.4. Farklı Toplayıcı Koşulları Altında Katı- Su Verimi	50
Şekil 8.5. Sülfürlü ve Diğer Minerallerin Mineral Oluşum Büyüklüğü	51

ÇİZELGELER

Çizelge 6.1. Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn Kompleks Sülfür Cevherinin Mineralojisi.....	19
Çizelge 6.2. Sülfürlü ve Diğer Minerallerin Mineral Oluşum Büyüklüğü (D50)	20
Çizelge 6.3. EDTA Testleri Sonucu Hesaplanan Mineral Yüzeyinde Oksitlenmiş Metal Miktarı (Es)	21
Çizelge 6.4. Flotasyon Testleri için Kullanılan Toplayıcılar ve Türleri	23
Çizelge 6.5. Flotasyon Deney Koşulları	25
Çizelge 6.6. Deney Kodları ve Koşulları	25
Çizelge 6.7. P82 Bastırıcısını Oluşturan Reaktifler	26
Çizelge 6.8. OS-3 Bastırıcısını Oluşturan Reaktifler	26

1 GİRİŞ

Sülfürlü cevher yataklarında genellikle homojen bir cevherleşme görülmemektedir. Aynı cevher yatağında farklı mineralojiye, serbestleşme derecesine ve oksidasyon derecesine sahip cevherleşmeler gözlenebilmektedir [1,2].

Kompleks sülfürlü cevherlerin seçimli flotasyonu mineralojik özelliklerine, minerallerin serbestleşme durumlarına ve cevherlerin flotasyon kimyasındaki farklılıklarına bağlı olarak oldukça problemlidir. Kompleks mineraloji ile ilişkili olan flotasyon kimyası, dünyada birçok büyük cevher yatağının ekonomik olarak işletilmesini zorlaştırmaktadır [3].

Sülfürlü cevherler baz metallerin ana kaynağını oluşturmaktadırlar. Bu yüzden bakır, kurşun, çinko minerallerinin flotasyonu oldukça önem kazanmıştır [4,5]. Kompleks sülfürlü cevherlerin flotasyonunda en önemli sorunlarından biri, yüksek seçimlilikte zenginleştirme yapılmasının oldukça zor olmasıdır. Bu sorunun sebepleri, öğütülen cevherin serbestleşme derecesinin yeterli olmaması, flotasyonda kullanılan reaktiflerin (toplayıcı, bastırıcı, canlandırıcı, pH düzenleyici) ve dozajlarının yeterli olmaması ve cevher oluşumu ve sonrasında meydana gelen oksitlenme derecesi olabilmektedir. Sülfürlü minerallerin yüzey oksidasyonu, flotasyon davranımlarını belirleyen en önemli faktörlerden birisidir. Flotasyon, yüzeyde bulunan hidrofobik ve hidrofilik gruplar arasındaki dengeye bağlı olduğundan ve yüzeyin kimyasal bileşimi toplayıcılarla olan tepkimeleri etkilediğinden, sülfürlü minerallerin oksidasyonu flotasyonda çok önemli bir rol oynamaktadır. Oksitlenmiş yüzey flotasyon reaktiflerine cevap vermeyebilir. Buna ek olarak, Cu^{+2} ve Pb^{+2} gibi oksidasyon ürünü iyonlar bakır mineralleri ve sfalerit arasındaki seçimliliği olumsuz yönde etkiler. Bu iyonlar sfalerit üzerine soğurularak, sfaleritin bakır minerali gibi davranmasına ve aktive olmasına sebep olurlar.

Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevheri, volkanojenik masif sülfürlü (VMS) yapısında ve üç farklı zondan (oksitli, bakırca zengin ve sülfürlü) oluşmaktadır. Bunlardan bakırca zengin zonda ikincil bakır mineralleri ve kil mineralleri bulunmaktadır. Buna bağlı olarak flotasyonda düşük seçimlilik ve verim problemleri yaşanmaktadır.

Bu tez kapsamında, seçimlilik sorunu olan bu kompleks cevher üzerinde çalışılmış, sorunun nedeni araştırılmış, farklı koşullar ve reaktifler test edilmiştir.

2 GENEL BİLGİLER

Dünyada yüzey özellikleri ve kimyasal bileşimleri cevher hazırlama teknolojisinde problem yaratmayan az sayıda cevher bulunmaktadır. Günümüzde bakır, kurşun ve çinko gibi metallerin elde edildiği cevherler genellikle kompleks bir mineralojik yapı içerisinde bulunmaktadır. Kompleks sülfürlü cevherler yüksek oranda pirit içeren bir matris içerisinde bulunan kalkopirit, sfalerit ve galenden oluşmaktadır. Bu cevherler aynı zamanda önemli miktarda altın, gümüş ve platin grubu soy metalleri de içermektedir. Kompleks cevher olarak adlandırılan cevherlerin, genel kabul görmüş ortak özellikleri şöyledir [6]:

- Genellikle çok yüksek oranda, bazen %90'a varan pirit içerirler.
- En az iki baz metalin (Cu-Zn, Zn-Pb veya Cu-Zn-Pb) mineralleri pirit matrisi içinde birkaç mikron ile birkaç milimetre gibi geniş bir tane boyu aralığında girift bir biçimde dağılmışlardır.
- Zararlı (izabede cezaya tabi) safsızlıkları, örneğin As, Sb, Bi vb. içerikleri, diğer cevherlerden daha fazladır.
- Kesin genel bir özellik olmamakla birlikte önemli miktarda altın ve/veya gümüş içerirler.

Cu-Pb-Zn cevherlerinin ortalama tenörleri % 0.3-3 Cu, % 0.3-3 Pb, % 0.2-10 Zn, 3-100 g/t Ag ve 0-10 g/t Au'dır. Kompleks Cu-Pb-Zn cevherleri, toplam dünya üretiminin %15'ini ve dünya bakır rezervlerinin %7.5'ini oluşturur [7]. Yüksek tenörlü Cu-Pb-Zn cevher yataklarının hızla azalması ve hammadde ihtiyacının artması nedeniyle düşük tenörlü kompleks cevherlerin değerlendirilmesi zorunlu olmuştur. Bu durum cevher hazırlama sürecinin gelişmesini ve özellikle de gravite yöntemleriyle zenginleştirilemeyen düşük tenörlü kompleks yapıları cevherlerin zenginleştirilmesine imkan sağlayan flotasyon yönteminin önemini artırmaktadır. Cu-Pb-Zn cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygun flotasyon yöntemini belirlemede, cevher mineralojisi ve izabe koşulları birinci derecede önemli olmaktadır. Bu nedenle toplu, seçimli ya da toplu+seçimli flotasyon yöntemi uygulanmaktadır [7]. Kompleks sülfürlü cevherlerin seçimli flotasyonu mineralojik özelliklerine, serbestleşme sorunlarına ve cevherin flotasyon kimyasındaki farklılıklara bağlı olarak oldukça problemlidir. Kompleks mineraloji ile ilişkili olan flotasyon kimyasındaki zorluklar, dünyada birçok cevher yatağının ekonomik olarak işletilmesini engellemektedir. Son yıllarda, sülfürlü minerallerin flotasyon performansını iyileştirmeye yönelik yeni yöntemler üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır.

3 Cu-Pb-Zn YATAKLARI

Bakır-kurşun-çinko cevherleri, bakır-çinko ve kurşun-çinko cevherleriyle benzer yataklardan gelmektedir. Ancak istisnai olarak bakır, kurşun ve çinko içeren cevherler ekonomik açıdan değerlendirilebilir minerallerin başında gelir. Ayrıca, bu cevherlerden bazıları büyük miktarda değerli metal ve az da olsa kobalt ile nikel de içerirler.

Bakır-kurşun-çinko cevheri için pek çok jeolojik oluşum mevcuttur ki bunlardan en önemlileri şu şekildedir:

- Hidrotermal damar yataklar
- Volkanojenik kökenli masif sülfür yatakları
- Sedimanter yataklar

3.1. Hidrotermal Damar Yataklar

Hidrotermal damar yatakları, cevher yerleşimi damar şeklinde ya da belirli zayıf zonlar boyunca görülen yer değiştirme hareketine bağlı olarak gelişmiş yataklardır. Bu yataklar bakır, kurşun ve çinkonun yanı sıra altın ve gümüş içermektedir.

Bakır-kurşun-çinko damar yataklarının karakterizasyonu genellikle pirit, galen, sfalerit ve kalkopiritin iri agregalar halinde bulunmasından, her bir mineralin iri taneli bantlar halinde beraber bulunmasına kadar geniş bir skalada değerlendirilmektedir. Kuvars, kalsit ve florit gibi pirit, sfalerit ve gang mineralleri katman düzlemleri oldukça elverişli zonlardır. Bu yatakların oluşabilmesi için bir ortamda bulunması gereken şartlar şunlardır:

- Kayaç içinde hidrotermal akışkanların geçebileceği boşluk ve yolların bulunması,
- Cevher minerallerinin bünyesinde bulunan elementlerin kaynaklarından çözüp alabilecek ve taşıyabilecek bir çözeltinin varlığı,
- Çözeltinin cevher minerallerini çökeltecek uygun ortamların bulunması,
- Çözeltiden mineral çökeliminin sağlanabilmesi için çözeltinin kimyasal özelliklerinde bazı değişikliklerin gerçekleşmesi [8]

3.2. Sedimanter Yataklar

Sedimanter maden yatakları, herhangi bir sedimanter havzasında, kimyasal ve klastik olarak oluşan malzemenin tortulaşması ile oluşan maden yataklarıdır.

3.3. Masif Sulfür Yataklar

Hacimsel olarak yaklaşık %50-60'dan daha fazla sulfür içeren bir kayaç yığını için masif sulfür yatağı terimi kullanılmaktadır. Masif sulfür yatakları genellikle stratiform (tabakaya uyumlu) ve merceğimsi bir morfolojide olup, volkanik kayaçlar arasında veya volkanik kayaçlarla sedimanter kayaçlar arasında oluşurlar. Masif sulfür yatakları ya Cu-Pb-Zn ya Cu-Zn ya da sadece Cu içerirler. Genel olarak gruplar halinde belirli zonlarda yer alırlar.

Kalkopirit, sfalerit, galen, pirit ve pirotin asıl cevher mineralleridir. Bazı durumlarda kalkozin ve bornit asıl sulfürlü mineraller olabilir. Tetrahedrit ve arsenopirit nadir rastlanan minerallerdir. Kuvars asıl gang mineralidir. Yan ürün olarak altın ve gümüş de önemlidir. Altın içeriği bazı yataklarda 2-3 gr/t gibi yüksek değerlere ulaşabilir.

Oksitli ve alterasyona uğramış masif sulfür yatakları, iri taneli sulfür yataklarına benzemektedir. Ancak kısmen oksitlenmiş ya da superjen (yüzey kökenli) alterasyona uğramışlardır. Başlıca ekonomik mineralleri kalkopirit, galen, sfalerit ve önemli miktarda ikincil bakır mineralleri içermektedirler. Oksitlenme ve ikincil bakır mineralleri bu cevherlerin zenginleştirilmesinde başlıca sorundur.

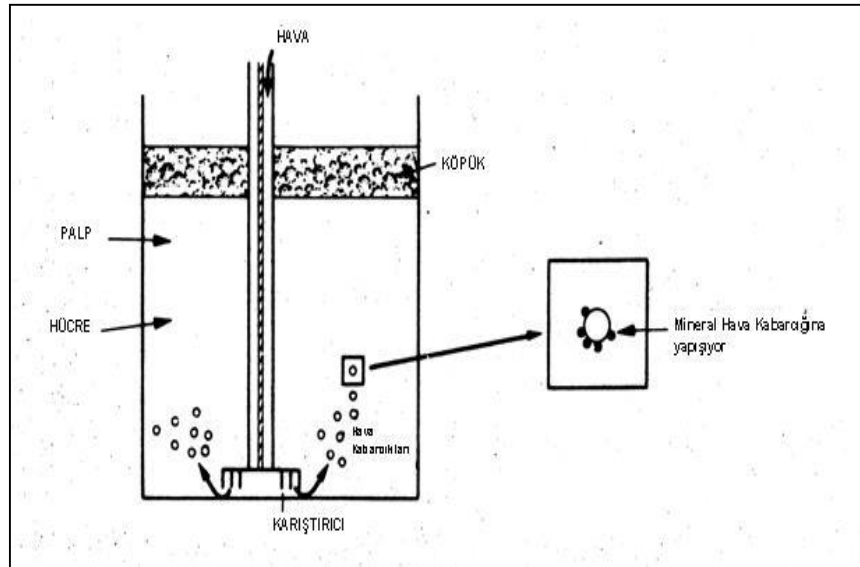
4 FLOTASYON

Sülfürlü minerallerinin zenginleştirilmesinde tüm dünyada kullanılan en yaygın yöntem flotasyondur. Flotasyonun uygulanmaya başladığı 1911 yılından günümüze kadar geçen süre içinde farklı minerallerinin flotasyon davranışlarının incelenmesine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Özellikle bakır, kurşun ve çinko metallerinin ana kaynağı olan kompleks sülfürlü cevherlerinin flotasyonu birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur.

Sülfürlü minerallerin flotasyonu, sonucu etkileyen kimyasal ve fiziksel birçok faktörün bulunduğu karmaşık bir işlemdir. Bu faktörlerin tanımlanması ve flotasyon etkilerinin belirlenmesi ile özellikle kompleks sülfürlü cevherlerin flotasyonunda önemli iyileştirmeler sağlanmıştır [9].

20. Yüzyılın başlangıcından itibaren flotasyon mineral ayırımında çok önemli rol oynamaya başlamıştır. Bunun en baştaki nedeni yüksek tenörlü ve problemsiz metal sülfür yataklarının azalması nedeniyle düşük tenörlü ve kompleks Cu-Zn, Pb-Zn veya Cu-Pb-Zn yataklarının işletilme zorunluluğudur [10].

Flotasyon, minerallerin birbirinden ayrılması için uygulanan ve cevher içindeki çeşitli minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri arasındaki farklılıklarının kullanıldığı önemli, çok yönlü ve seçimli bir ayırma işlemidir [11,12,13]. Flotasyonda, kazanılmak istenilen değerli mineral çoğunlukla köpükten alınmakta ve konsantre olarak adlandırılmaktadır. Gang minerali ise palpin diğer bir deyişle atığın içinde bırakılmaktadır. Bu yöntem flotasyon olarak adlandırılmaktadır [14]. Genel flotasyon mekanizması Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Temel Flotasyon Mekanizması [14]

4.1. Flotasyon Reaktifleri

Mineral tanelerinin hava kabarcıklarına yapışabilmesinin tek yolu mineral yüzeyindeki suyun uzaklaştırılmasıdır. Bu olayın gerçekleştirilmesi 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 [14]. Flotasyonun ilk aşaması toplayıcı ve kontrol reaktiflerinin yardımı ile oluşur. Birkaç istisna dışında mineraller, hava kabarcığına yapışarak yüzebilme özelliğine doğal olarak sahip değillerdir. Toplayıcıların yüzmesi istenen minerallerle reaksiyona girmesini kolaylaştıran reaktifler canlandırıcı, diğerleri ile reaksiyonu güçleştiren reaktifler ise bastırıcı olarak adlandırılır. Mineral tanelerinin şlamla kaplanmasını önlemek amacıyla kullanılan diğer bir flotasyon reaktifi de dağıtıcılardır. Flotasyonda, köpük oluşumunu kolaylaştıran ve köpüğün dayanıklılığını artıran köpürtücü reaktifler kullanılır [15].

4.1.1. Toplayıcılar

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda toplayıcı seçimi oldukça önemli bir faktördür. Kullanılacak toplayıcı türü yüzdürülmesi istenen mineralin yanı sıra bastırılmak istenilen mineral de düşünülerek seçilmelidir. Birçok sülfürlü mineral kısa zincirli toplayıcılarla bile kolayca yüzdürülebilmektedirler. Bu yüzden toplayıcı seçimi yaparken amaç verimi etkilemeden en çok seçimliliği elde edebilmek olmalıdır.

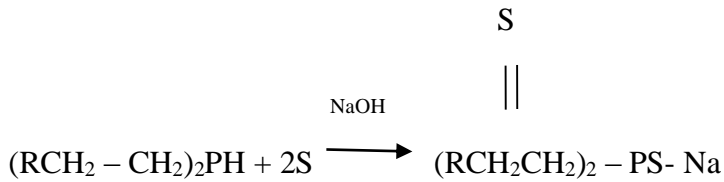
Flotasyon prosesinde; kurşun-çinko, bakır-çinko, bakır-çinko-kurşun gibi kompleks sülfürlü mineraller çeşitli kontrol reaktiflerinin ve toplayıcı reaktiflerin yardımı ile birbirinden ayrılarak zenginleştirilir. Bazı minerallerin hava kabarcığına yapışarak yüzdürülmesine dayanan flotasyon yönteminde, minerallerin yapısal özelliklerine bağlı olarak su içinde oluşan yüzey özellikleri çok önemlidir. Islanan bir yüzey yerine, ıslanmayan suyu iten (hidrofob) bir yüzey yapısı hava kabarcığına tutunmayı sağlayacaktır. Toplayıcılar minerallerin yüzeyini hidrofobik yapıp hava kabarcıklarına yapışmasını sağlayan kompleks organik bileşiklerdir. Toplayıcılar bir hidrokarbon zinciri (polar olmayan grup) ve bir polar grup içeren heteropolar moleküller olarak da tanımlanabilirler. Mineral yüzeyi ile etkileşime giren kısım toplayıcıların polar grubudur. Polar olmayan grup ise sulu ortamda hidrofobik bir yüzey yaratır [16].

Toplayıcılar iyonik (anyonik ve katyonik) ve iyonik olmayan toplayıcılar olarak iki grupta toplanabilirler. Temel olarak; anyonik toplayıcılar sülfür flotasyonunda, amin türü katyonik toplayıcılar ise oksit flotasyonunda kullanılır.

Sülfürlü cevherlerin flotasyonunda, toplayıcı olarak, ditiyokarbonatlar, ksantatlar, ditiyofosfatlar, ditiyofosfinler, tiyonokarbamatlar ve ditiyokarbamatlar yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Ksantatlar; Genellikle etil, bütül, amil alkol gibi doymuş basit yapılu alkollerden elde edilir ve birçok sülfürlü minerali yüzdürebilen toplayıcılarıdır. Hidrokarbon zinciri uzadıkça güçleri artar. Kısa zincirli ksantatlar suda iyi erirler. Fakat hidroliz neticesinde meydana gelen ksantatik asit alkol ve karbon sülfüre ayrışabilir. Bu sebeple ksantatlar, uzun süre çözelti halinde muhafaza edilmemelidirler. Ksantatlar suyun yüzey gerilimini de etkilerler, fakat kısa zincirlerinde bu etki oldukça zayıftır. Bu sebeple köpük oluşumuna sebep olmazlar. Toplayıcı olarak ksantatların seçimliliği azdır ve yüksek alkali pH' larda oldukça duyarlıdır. Düşük pH' larda ksantatlar kolaylıkla bozunabilir.

Ditiyofosfin (DTPI); Dialkil ditiyofosfinin üç adımlı tepkimesi sonucunda oluşur. Fosfin gazı, olefin ile tepkimeye girerek alkil fosfin oluşturur ve alkil fosfin sülfür ile tepkimeye sokulur sonra da NaOH ile nötralize edilir. Bu proses oldukça pahalıdır ve bu yüzden DTPI diğer sülfürlü toplayıcılar ile karşılaştırıldığında oldukça pahalı bir toplayıcıdır [8].



Kompleks masif sülfürlü cevherlerin flotasyonunda değerli metallerin kazanılmasında kullanılması gereken seçimlilik özelliği yüksek bir toplayıcıdır. DTPI bakır ve kurşun sülfür minerallerinin sfalerit ve piritten seçimli olarak ayrılmasında kullanılan en önemli toplayıcıdır. Yüksek oranda demir ve manganez içeriği de sfaleritin yüzmesini engeller. Değerli metaller özellikle gümüş ve galen için yüksek seçimlilik özelliğine sahiptir. Cezalı elementler ve aktif hale getirilmemiş sfalerit ve demir sülfür minerallerine karşı mükemmel derecede seçimlilik özelliğine karşın esas olarak çok güçlü bir toplayıcıdır. Aynı oranda

verim elde etmek için benzer toplayıcılardan (örneğin ksantatlardan %30-50 arasında) daha az oranda kullanılması yeterlidir.

Ditiyofosfatlar; Bu tür toplayıcılar özellikle Cu/Zn cevherlerinde ve bu cevherler içerisindeki bakır sülfatlar tarafından aktif hale getirilmiş Zn' nin çok kolay yüzebilme özelliğine sahip olduğu durumlarda, Cu için seçimli toplama özelliği vardır. Bakır cevherleri için seçimli, doğal Au ve Ag için en verimli toplayıcılardan biridir. Kurşun minerallerini toplayabilme yeteneğinin çok düşük olması nedeni ile bakır kurşun seçimli devrelerinde bakır için ideal toplayıcı olarak tanımlanmaktadır [17].

Tiyonokarbamat; Karbon sülfürün amonyak ve aminlerle işleme sokulmasıyla elde edilirler.
Kimyasal yapısı;



R – O – C – N – CH₂ – CH = CH₂ şeklindedir.

Aero 5100, tiyonokarbamat kökenli bir toplayıcıdır. Değerli metallerin, aktif hale getirilmiş çinko ve bakır flotasyonunda kullanılmaktadır. Galen üzerinde zayıf toplayıcılık etkisi vardır. Bundan başka konsantrenin tenörünü düşürecek oranda kurşun içeren cevherlerin flotasyonunda ve Cu-Pb-Zn flotasyonunda kullanılması çok iyi bir seçimdir. Uygulamalarda, değerli metalleri toplayabilme özelliği çok iyi olan, buna karşın seçimliliği iyi olmayan bir toplayıcıdır. Çok güçlü bir toplayıcı olması nedeni ile uygulamalarda düşük dozajda kullanılması uygundur.

Toplayıcılar tek başlarına ya da karışım halinde kullanılabilirler. Toplayıcı karışımlarının yarattığı sinerji, toplayıcıların karışım halinde kullanılmasının, tek başlarına kullanılmasına göre flotasyon verimi üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olması şeklinde tanımlanabilir. Flotasyon performansındaki sinerjik etkiye bağlı gelişme, toplayıcı karışımlarının mineral yüzeyine daha etkin soğurulmalarına bağlanmaktadır [18].

4.1.2. Köpürtücüler

Bazı minerallerin hidrofilik özellikte tutulurken, diğerlerine hidrofobik yüzey özelliği kazandırılması olarak tanımlanan flotasyonun diğer aşaması ise köpürtücü denilen reaktiflerin yardımıyla meydana gelir. Köpürtücüler, bir polar grup ve su-hava arayüzü içinde soğurulan bir hidrokarbon radikali içeren heteropolar yüzey aktif bileşiklerdir [8]. 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 [9].

Köpürtücü olarak MIBC (Metil izobütil karbinol) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MIBC alkol kökenli bir köpürtücüdür. Düşük dozajlarda ve saf olarak kullanılması uygundur. Toplayıcılık özelliği çok düşüktür. MIBC sülfürlü ve diğer cevherlerde köpüğün birbirine yapışmasını engelleyen ve daha homojen köpük alınmasını sağlayan özelliğe sahiptir. Daha güçlü ve kararlı köpük oluşturan çam yağı ve poliglikol etherler de yaygın kullanılan köpürtücülerdendir. Poliglikol etherler sentetik köpürtücülerdir, daha küçük ve kırılabilir köpük yaparlar, oldukça seçimlidir ve hiçbir toplayıcı özelliği yoktur [16].

4.1.3. Kontrol Reaktifleri

Flotasyonda toplayıcının tek başına kullanılmasına oldukça nadir rastlanır. Çünkü mineraller, sadece flotasyon özellikleri açısından birbirlerinden keskin bir biçimde farklılık gösteriyorlarsa, seçimli flotasyonda toplayıcının tek başına kullanılması yeterli olacaktır. Ama pratikte böyle bir durumun olması mümkün değildir. Bu nedenle minerallerin flotasyon özelliklerindeki ihtiyaç duyulan farklılık, düzenleyici reaktifler sayesinde elde edilir. Düzenleyiciler, mineral yüzey koşullarının suyu sevme ya da sevmeme özelliğinden yararlanarak toplayıcıların etkilerini kontrol etmek amacıyla kullanılırlar. Bu da minerallerin seçimli flotasyonuna yardımcı olmaktadır. Düzenleyiciler; canlandırıcılar, bastırıcılar ve pH düzenleyiciler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır.

4.1.3.1. Canlandırıcılar

Canlandırıcılar, toplayıcının mineral yüzeylerine doğal olarak soğurulmadığı durumlarda kullanılır. Nitekim bu durumlarda, toplayıcıların istenen minerallere tutunabilmeleri için yüzeyi canlandırır. Ancak gang minerallerinin istenmeyen aktivasyonunun en aza indirilmesi de oldukça önemlidir. Aksi takdirde bu mineraller konsantreye ulaştığında konsantrenin tenörünü düşürecektir.

Örneğin, sülfürlü minerallerin flotasyonunda sfaleritin canlandırılması için genellikle bakır sülfat kullanılır. Sfaleritin bakır sülfatla canlandırılmasından önce uygun bir alkali pH da koşullanması gereklidir. Bu da pirit aktivasyonunu önleyecektir.

4.1.3.2. Bastırıcılar

Flotasyon palpındaki bütün mineraller toplayıcılarla kaplanarak flotasyona uygun yüzey özellikleri kazanırsa, farklı minerallerin birbirinden ayrılması mümkün olmaz. Cevher içindeki mineralleri birbirinden ayırmak için, bazı minerallerin toplayıcılarla kaplanarak hava kabarcığına yapışabilir bir özellik kazanırken, diğerlerinin de etkilenmeden ıslanabilme özelliklerini korumaları gerekir. Bu sebeple bastırıcı adı verilen mineral yüzeyinde toplayıcı soğurulmasını azaltan kimyasal reaktiflerin kullanılması gereklidir. Bastırıcı sistemi, gang minerallerinin bastırılması için etkili olmalıdır ancak yüzen minerallere müdahale etmemelidir.

Masif sülfür cevherlerinin flotasyonu için geliştirilen reaktiflerin etkili olamamasının önündeki en büyük engellerden biri de etkili bir bastırıcı sistemi bulunamamasıdır. Nitekim bakır, kurşun ve çinko gibi değerli minerallerde yaşanan hatırı sayılır miktardaki kayıp, seçimliliğin düşük olmasından ve market gereksinimlerinden dolayı satılabilir tenörün verimden daha önemli hale gelmesinden kaynaklanmaktadır.

Bastırıcı sisteminin seçimi için belirli bir yöntem yoktur. 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 [19].

4.1.3.3. pH Düzenleyiciler

Flotasyonda istenen sonucu alabilmek için, palp ortamını değiştirmek yani yerine göre asidik yerine göre de bazik yapmak için kullanılan reaktiflerdir. Sülfürlü minerallerin flotasyonunda pH'yı yükselten reaktiflerin en önemlileri sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve kireç (CaO)'tir.

5 SÜLFÜRLÜ Cu-Pb-Zn MİNERALLERİNİN FLOTASYONU

Kompleks bakır-kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirilmesi için uygulanan yöntem, diğer bütün cevherlere uygulanan işlemlere göre oldukça karmaşıktır. Nitekim bu minerallerin seçimli flotasyonu kurşun-çinko ya da bakır-çinko cevherlerinden farklılık göstermektedir; Bu sebeple uygulanacak yöntem, her bir cevher türünün özellikleri baz alınarak belirlenir. Bakır- kurşun- çinko cevherlerinin flotasyonunda üç temel zenginleştirme tekniği yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu teknikler şunlardır:

- Bakır, kurşun ve çinko konsantrelerini ayrı ayrı üretmek için bu cevherlerin sırayla yüzdürüldüğü seçimli bakır, kurşun ve çinko flotasyonu yöntemi.
- Toplu Cu-Pb flotasyonu ve ardından Zn flotasyonu yöntemi. Bakır-kurşun ayrımı, tenörü yükseltilmiş toplu konsantr üzerinde yapılır. Bu, bakır-kurşun-çinko cevherlerinin flotasyonunda en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.
- Toplu Cu-Pb-Zn flotasyonu ve toplu konsantreden seçimli Cu-Pb ve Zn flotasyonu yöntemi. Bu yöntem nadiren uygulanmakla birlikte cevherde birincil bakır mineralleri olarak bornit, kovellin ve diğer ikincil bakır sülfürlerinin olduğu cevherlerde etkilidir.

Bu yöntemlerin hangisinin uygulanacağı konusunda genel bir kural yoktur. Seçimli flotasyon yöntemini uygulayan bazı tesislerde aynı cevher toplu bakır-kurşun flotasyonuna da olumlu cevap vermektedir. Ancak bir flotasyon yönteminin seçimini etkileyen faktörler de mevcuttur. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Değerli metaller içeren bazı bakır-kurşun-çinko cevherleri seçimli bakır-kurşun-çinko flotasyonuna, toplu bakır-kurşun flotasyonundan daha etkili cevap vermektedir. Bu durum özellikle de bakır ve kurşun konsantrelerindeki altın ve gümüşün verimi için geçerlidir. Bunun tipik bir örneği, bakır-kurşun-çinko-gümüş-altın cevherleriyle öne çıkan British Columbia'daki (Kanada) Silver Queen Madenidir.
- Bakır-kurşun toplu flotasyonunun kullanıldığı bazı durumlarda toplu konsantresinden bakır-kurşun ayrımı oldukça zor hatta imkânsızdır. Bu durumun bir örneğine yukarıdaki sebeplerden dolayı selektif bakır-çinko ayrımı yöntemini kullanan Black Mountain cevherinde (Güney Afrika) rastlanmaktadır.

- Birincil öğütme ve konsantrenin yeniden öğütülmesini (Örneğin <20 µm) gerektiren ince dağılmış masif sülfür cevherlerinde selektif bakır-kurşun flotasyonu, toplu bakır-kurşun flotasyonundan daha iyi sonuç vermektedir (Hellyer Mine, Tasmania).
- Doğal ya da öğütme esnasında canlandırılmış sfalerit içeren bazı cevherler için seçimli bakır-kurşun flotasyon tekniği tercih edilir. Avustralya'daki Rosebery tesisinde bu yöntemle zenginleştirme yapılmaktadır.

Seçimli bakır-kurşun-çinko ve toplu bakır-kurşun flotasyonunda kullanılan reaktifler birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu tekniklerden herhangi birini kullanarak yapılacak olan reaktif seçimi cevherin kökenine ve de mineralojisine bağlıdır. Cevher yatağının özellikleri de bu seçimde önemli bir etkiye sahiptir [8].

5.1. Toplu Cu-Pb Flotasyonu

Toplu bakır-kurşun flotasyonu en ekonomik flotasyon yöntemidir ve oldukça kullanışlıdır. İlk flotasyon aşamasında sfalerit ve pirit bastırıldıktan sonra bakır-kurşun mineralleri birlikte yüzdürülür. Ardından devrenin artığının çinko devresine beslenmesi ve burada çinko aktivasyonu yapılması ile konsantrenin tenörü yükselir. Bu sayede bakır ile kurşun birbirinden ayrılır. Bakır-kurşun ayrımı atığı, kullanılan yöntemle göre bakır ya da kurşun konsantresi şeklindedir. Ancak bazı durumlarda ayırmadan sonraki kurşun konsantresinin tenörünün yükseltilmesine ihtiyaç duyulmaktadır bu da prosesi daha karmaşık hale getirmektedir.

5.1.1. Bakır-Kurşun Seçimli Flotasyonu

Bakır-kurşun-çinko cevherlerinin flotasyonu sırasında kullanılan iki temel bakır-kurşun ayırma yöntemi vardır.

5.1.1.1. Bakır Minerallerinin Bastırılması

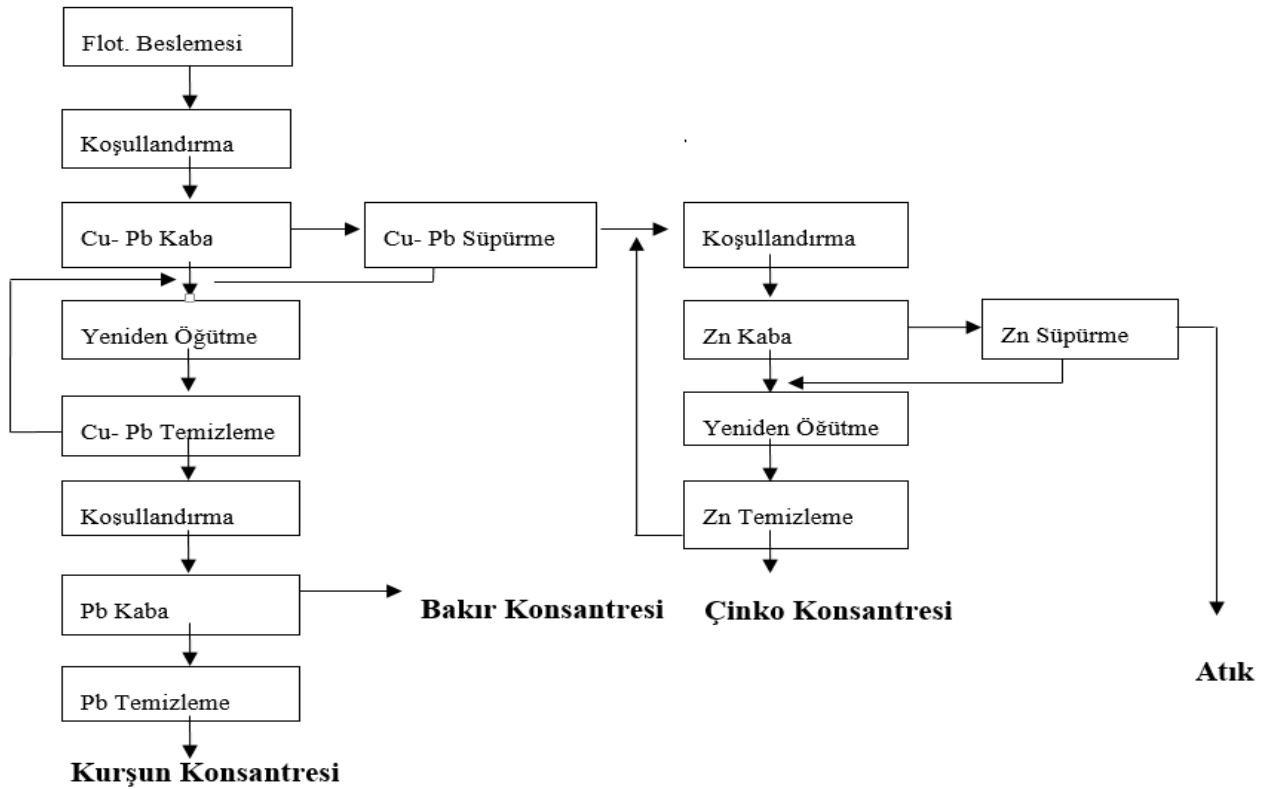
Bu yöntem, siyanür yöntemi olarak da bilinir. Cu-Pb toplu flotasyonundaki kalkopiritin miktarı, galenin miktarından fazla olduğunda bu yöntem kullanılır. Siyanür yönteminin başarılı olması için ön şartlar şunlardır:

- Konsantre ikincil bakır mineralleri içermemelidir. Bakır-kurşun toplu konsantresi içinde kovellin, kalkozin gibi ikincil bakır minerallerinin bulunması halinde bu minerallerin siyanürlü çözeltilerde çözünmeleri nedeniyle siyanür tüketimi aşırı artmaktadır.
- Bakır-kurşun ayrımı sonrasında satılabilir bakır konsantresi elde etmek amacıyla toplu konsantrenin yeterince temiz olması gerekmektedir. Çünkü siyanürle

bastırıldıktan sonra bakır konsantresinin tenörünün yükseltilmesi amacıyla yeniden işleme sokulması mümkün değildir ya da ekonomik olmayabilir. Bu yöntemin iki açıdan dezavantajı mevcuttur. Siyanür tüketimi hayli fazladır ve bazı durumlarda 300 g/t'a kadar çıkmaktadır. Ayrıca, konsantre içinde nabit altın bulunuyorsa, siyanür serbest altınları çözer ve önemli miktarda altın kayıpları olur [6].

Siyanür metodu kullanarak yapılan Cu-Pb ayrımı boyunca altın kayıplarını önlemek için kompleks siyanür kullanılır. Siyanür, alkali ortamda $ZnSO_4$ ile karıştırılır. Bu kompleksin genel oranı $ZnSO_4: NaCN: Alkali = 2:1:2$ 'dir.

$NaCN/ ZnSO_4$ karışımı için alkali olarak kireç ve soda külü de kullanılabilir. Az miktarda Na_2S ya da Na_2SO_3 , köpük fazının duraylılığını düzenlemek için kullanılır. Bunun nedeni, siyanürün fazla miktarda kullanıldığı durumda köpükte hacimce bir artışın meydana gelmesidir. Na_2S ya da Na_2SO_3 'ün kullanılarak köpük duraylılığı azaltılır ve bu sorun çözülür [8].



Şekil 5.1. Cu-Pb-Zn Cevherleri İçin Uygulanan Bakırın Bastırılması Ve Kurşunun Flotasyonu [8]

5.1.1.2. Kurşun Minerallerinin Bastırılması

Bakır-kurşun ayırımında en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntem genellikle toplu konsantredeki kurşun miktarı, bakır miktarından daha fazla olduğunda kullanılmaktadır. Bir diğer yöntemde ise elde edilen toplu sülfür konsantresinde bakır miktarı yüksek ve yeteri kadar temiz değilse, kurşun bastırılır. Bakır-kurşun toplu konsantresi içindeki bakırı kurşundan ayırmak için üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlar sodyum metabisülfid, kromat ve sülfür dioksit yöntemleridir. Hangi yöntemin seçileceği, cevher içerisinde bulunan bakır ve kurşun minerallerinin miktarına bağlıdır.

- **Kromat Yöntemi**

Kromatlar ($K_2Cr_2O_7$ veya $Na_2Cr_2O_7$) çok eskiden beri kullanılan galene özgü bastırıcılardır. Genellikle pH 5-8,5 de, 1-2 kg/ton kullanılarak galen bastırılır. Pahalı bir işlemdir. Pek çok ülkenin su kirliliği kontrol yönetmeliklerine göre tesis artık sularında kromun 1 ppm den fazla olmaması zorunluluğu bu yöntemin terk edilmesine neden olmuştur.

- **Sodyum Metabisülfid Yöntemi**

Bakır flotasyonu boyunca kullanılan temel kurşun bastırıcısı sodyum bisülfittir ($Na_2S_2O_5$). $Na_2S_2O_5$, sfaleriti bastırmak için $ZnSO_4$ ile birlikte ya da $ZnSO_4$ olmadan öğütme devresinde eklenir. Bakır, dithiofosfat ve ksantat'ın kombinasyonları, etil ksantat, dithiokarbamat ve dithiofosfatlar kullanılarak yüzdürülür. $Na_2S_2O_5$ 'in miktarı 2000-5000 g/t arasında değişmektedir.

Bakır devresinde $Na_2S_2O_5$ kullanılmasının kurşun devresinde de bazı avantajlara vardır:

-Nişasta kullanıldığında kurşun daha kolay aktive olur. pH'daki artış sayesinde kurşun reaktif eklemenden bile aktive olur.

- $Na_2S_2O_5$ 'in kurşun flotasyonu sırasında sfalerit üzerinde bastırıcı bir etkisi olması, sfaleritin bastırılmasında gereken siyanür tüketimi azalır [8].

- **SO₂ - Nişasta Yöntemi**

SO₂-Nişasta yöntemi, kurşun konsantresinin tenörünün yükseltilmesinin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Yöntem, düşük tenörlü Cu-Pb toplu konsantrelerinden Cu-Pb ayırımı için etkin bir yöntemdir. Bu yöntemde palp ön-ısıtma işleminden geçirilir. Prosedür, 65-85°C yükseltilmiş sıcaklıkta dekstrin ya da nişasta ile palpın ön koşullandırılmasından sonra pH 5-5.5'da SO₂'nin varlığında soğutulması ve daha sonra bakır flotasyonu yapılmasını kapsamaktadır.

Bu yöntemler birbirinin kombinasyonları şeklinde de kullanılabilir. Dikromatlar nişasta ve aktif karbon ile birlikte kullanılır. Bazı tesislerde (Bela Union, Peru) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ile dikromatlar da kullanılır. Ayırma esnasında pH 6,5-7,5'de tutulmaktadır. Dikromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) çok fazla miktarlarda kullanıldığında bakır bastırmaktadır. Bunun sonucu olarak da ayırmanın etkin olmamaktadır. Dikromat kullanırken bakırın bastırılmasını önlemek için dikromat silikat kompleksi uygulanmaktadır. Dikromat silikat kompleksi, dikromatın yalnız başına kullanılmasından daha etkilidir. Çünkü bakırın yüzebilirliğini etkilemez. Bu reaktif ayrıca nişasta- SO_2 ayırımı yöntemi kullanıldığında ikincil bastırıcı olarak da kullanılır. Dikromatla bastırılmasından sonra kurşunun yeniden flotasyonu hayli zor olduğundan düşük pH değerlerinden kaçınılmalıdır [6].

5.2. Seçimli Flotasyon

Basit yapıdaki sülfürlü bakır cevherleri genellikle pirit ve pirotin gibi demir sülfürlerle birlikte bulunmaktadır. Cevherde pirit/pirotin oranı fazlaysa ve cevher sadece kısmi oksidasyona uğramışsa, bakır sülfürler genellikle seçimli flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Kompleks sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesi, genellikle değerli minerallerin ekonomik serbestleşme boyutuna kadar öğütülmesinden sonra seçimli flotasyonla gerçekleştirilmektedir. Seçimli flotasyonda önce doğal olarak hidrofob olan sülfürler yüzdürülmekte diğer sülfürler ise uygun bastırıcılar kullanılarak bastırılmaktadır. Daha sonra bastırılmış olan sülfürlü mineraller uygun canlandırıcılar kullanılarak yüzdürülmektedir [20].

5.3. Sülfür Flotasyonunu Etkileyen Parametreler

Sülfür cevherinin flotasyonu pH, Eh, çözünmüş iyonlar ve yüzey oksidasyonu gibi kimyasal parametrelerden fazlasıyla etkilenir.

5.3.1. Redoks Potansiyeli

Sülfürlü mineral yüzeyleri ve toplayıcı arasındaki etkileşimin kontrolünde elektrokimyanın önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Yapılan birçok temel çalışmada sülfürlü minerallerin flotasyonuna elektrokimyasal parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Ön havalandırma işleminin yapılmasının ana nedeni palpın çözünmüş oksijen derişimini ve dolayısı ile redoks potansiyelini (Eh) artırmaktadır. Bilindiği gibi sülfürlü minerallerin flotasyonunda toplayıcıların mineral yüzeyine soğurumu genellikle elektrokimyasal tepkimeler sonucunda gerçekleşir. Bu nedenle palpın Eh değeri bazı toplayıcıların soğurum kinetiği ve miktarına önemli derecede etki etmektedir [3,21].

5.3.2. pH

Palp pH değeri bakır flotasyonunda çok büyük önem taşımaktadır. Özellikle kompleks cevherlerin ayırımında seçilimlilik, pH ve toplayıcı dozajı arasındaki hassas denge ile sağlanmaktadır. Yaygın pH aralığı 8-12 civarındadır. Genellikle pH düzenleyici olarak kireç kullanılmaktadır. Sulu çözeltilerde sürekli hidrojen iyonu olacağından, pH ve potansiyel arasında yakın bir ilişki bulunur. Genellikle pH yükseldikçe ortam potansiyeli azalır. Sülfürlü minerallerin flotasyonu pH'daki değişimlerden çok etkilenir. Genelde, flotasyon işlemi alkali çözeltilerde daha yavaş ve zordur. Bunun nedenleri: sülfürlü mineral yüzeyini hidrofilik yapan metal hidroksit oluşumlarına yol açan hidroksil iyonlarının varlığı, alkali pH'larda palp potansiyelinin daha çok katodik bölgeye kayması ve katodik potansiyellerde minerallerin çözünmesi ve bunun sonucunda yüzey özelliklerinin değişmesidir [22].

5.3.3. Yüzey Oksidasyonu

Sülfür minerallerinin yoğunluk, boy, bileşim ve mineralojisinin (mineral çeşidi, doku, serbestleşme vb.) yanı sıra, yüzey özellikleri de bu cevherlerin flotasyonunu büyük ölçüde etkilemektedir. Nitekim cevherlerin yüzey özelliklerinin değişkenlik göstermesi yüzey oksidasyon derecesinde de değişiklikler görülmesine yol açar. Bu da flotasyon performansını etkileyen bir faktördür. Madencilik işlemleri süresince sülfürlü minerallerin oksidasyonu kaçınılmaz bir olaydır. Sülfürlü minerallerin kimyasal içeriği, kristal yapısı ve en önemlisi de elektrokimyasal tepkilemelerine göre oksidasyon derecesi farklılık göstermektedir [23]. Dolayısıyla, mineral yüzeylerinde oluşan oksidasyon ürünlerinin türlerini, bunların miktarlarını ve oksidasyon hızını belirlemek, flotasyonu genellikle ters yönde etkileyen oksidasyonu en aza indirmek için bir strateji geliştirmeye yarayan ilk adım olmaktadır [24].

Sülfürlü mineral yüzeylerinin hafif oksidasyonu, toplayıcı soğurumu ve hidrofobik yüzey türlerinin oluşumu için yararlı olmasına karşın, aşırı oksidasyon minerallerin ayırımını zorlaştırmaktadır. Hafif oksidasyon sonucu oluşan elementer kükürt, polisülfatlar veya oksidasyon sonucu mineralden metal iyonu eksilmesi ile oluşan yüzey kaplamaları sülfürlü minerallerin flotasyonunu olumlu yönde etkilemektedir. Bunlar ayrıca, mineral yüzeyinde toplayıcıların bağlanabileceği veya yer değiştirebileceği oksit, hidroksit veya sülfoksit türlerini de oluşturabilirler. Ancak, maden ocağında üretimi sırasında, stok alanında, kırma, öğütme ve flotasyon aşamalarında meydana gelen aşırı oksidasyon genellikle flotasyon verimini ve seçimliliğini azaltmaktadır. Oksidasyon ürünleri, değerli ve gang minerallerinin yüzeyini benzer şekilde kaplayabilmekte ve böylece değerli minerallerin hidrofobikliğini

azaltarak, değerli ve gang mineralleri arasındaki hidrofobiklik farkını düşürebilmektedir. Cevherin oluşumu sırasında veya sonrasında meydana gelen oksitlenme derecesinin, mineral yüzeyinin flotasyon işlemindeki tepkisini belirlemede kesin bir etkisi vardır. Oksitlenmiş yüzey, flotasyon reaktiflerine cevap vermeyebilir. Bundan başka Cu^{+2} ve Pb^{+2} gibi oksidasyon ürünü iyonlar, bakır sülfür ve sfalerit arasındaki seçimliliği de olumsuz yönde etkiler. Bu iyonlar sfalerit yüzeyine soğurularak sfaleritin bakır minerali gibi davranmasına neden olmaktadır [25].

5.3.4. İkincil Bakır Mineralleri

Sülfürlü bakır minerallerinin en önemlisi kalkopirit (CuFeS_2) ve bornit (Cu_5FeS_4)'tir. Milyonlarca yıllık süre zarfında mineral yatağı, hava ya da su temasıyla oksijene maruz kalabilir. Böylece sülfür oksitlenerek çözülür ve sülfata dönüşür. Bu da çözeltiliye geçerek bakır ve demir sülfürlerin, karbonat ve oksitlerle yer değiştirmesine sebep olur. Sonuç olarak oksidasyon cevherin mineralojisini değiştirmektedir. Oksitli zondaki en yaygın bakır mineralleri azurit ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), kuprit (Cu_2O), malakit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) ve tenorit (CuO)'tir. Oksitli zonun altında bir miktar çözülmüş bakır, ikincil ya da superjen (yüzey kökenli) bakır mineralleri olarak çöker. Bunun sonucunda geçiş zonu oluşur ve sülfür cevherlerinin miktarı artar. İkincil bakır minerallerinin oluşumu sonucunda, minerallerdeki demirin yerini daha fazla bakır alır. İkincil bakır minerallerinin oluşumu zonundaki en yaygın bakır mineralleri kalkozin (Cu_2S) ve kovelin (CuS)'dir. Cevherden birincil ve ikincil bakır sülfür minerallerini kazanmak için flotasyon yapılır ve sülfürlü mineraller gang minerallerinden ayrılır [26].

Genel olarak kalkopiritin oksidasyonu yavaş gerçekleşir. Araştırmalar, cevherin oksijenle temizlenmesi sonucunda bile az miktarda bakır iyonunun çözüldüğünü göstermiştir [27,28]. İkincil bakır sülfürlerinin oksidasyonu kalkopiritten daha hızlıdır. Nitekim Lascelles ve Finch [28] EDTA ekstraksiyon yoluyla, kalkozinin kalkopiritten 50 kat daha fazla bakır iyonu çözüldüğünü bulmuşlardır.

Oksitlenmiş sülfürlü minerallerin yüzeylerinin temizlenmesi ve oksitlenmeden kaynaklanan etkiyi belli ölçüde gidermek amacıyla öğütme aşamasında Na_2S eklemesi yapılmaktadır. Ortamdaki Na_2S varlığı, aslında iki farklı aşamada mineralin doğal yüzeyliliğine etki yapmaktadır. İlk aşamada yüzeyden oksidasyon ürünlerini uzaklaştırarak temiz bir yüzey oluşumunu sağlarken, diğer yandan düşük oksidasyon koşullarında mineral yüzeyini sülfürleştirerek, yüzeyde hidrofobik sülfür bileşenleri oluşmasını sağlamaktadır [29].

5.3.5. Kil

Kompleks sülfürlü cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesi konusunda birçok gelişme kaydedilmiştir. Buna rağmen bu cevherlerin jeolojik oluşumlarından ileri gelen serbestleşme zorluğu ve kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanan flotasyon farklılıkları göz önüne alınmalıdır. Bu tip yatakların jeolojik oluşumundan kaynaklanan en önemli sorun şlam ve kil içermeleridir [30]. Genelde kabul edilebilir bir tanıma göre şlam, bir cevherin iri taneleri için geliştirilen işlemlerle ticari olarak kazanılamayacak kadar ince olan tane boyu fraksiyonudur. Kil mineralleri sülfür flotasyonunu birçok nedenlerden dolayı olumsuz etkilemektedir [31].

Kil minerallerinin oldukça büyük özgül yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle flotasyon reaktiflerinin gereğinden fazla kullanılmasına yol açmaktadır. Ayrıca flotasyon reaktifleri bu tanelerin yüzeylerine öncelikli olarak soğurulmaktadır. Şlam, tanelerin yüzeylerini fiziksel olarak kaplayarak yüzmelerine engel olmaktadır [10].

Kilin flotasyon üzerindeki olumsuz etkisi sodyum karbonat, sodyum silikat, kalgon ya da bazı organik kolloidler (karboksimetil selüloz) kullanılarak kontrol edilebilmektedir. Bazı durumlarda flotasyon öncesi kil ayrılmalıdır [8].

6 MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM

6.1. Malzeme

Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevheri, volkanojenik masif sülfür (VMS) yapısındadır ve üç farklı zondan (oksitli, bakırca zengin ve sülfürlü) oluşmaktadır. Bunlardan bakırca zengin zonda, ikincil bakır mineralleri ve kil mineralleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında bakırca zengin zondaki cevher ile çalışılmıştır. Çizelge 6.1'de Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevherinin mineralojisi ve Çizelge 6.2'de cevherin kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6. 1. Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn Kompleks Sülfür Cevherinin Mineralojisi [32]

Mineral	%
Pirit	17.4
Kalkopirit	1.2
İkincil Bakır Mineralleri (Kalkozin, Kovelin)	0.4
Sfalerit	2.7
Galen	1.0
Kuars/Feldspat	38.8
Killer	5.1
Amfibol	0.2
Muskovit/Serisit	17.1
Biyotit	6.3
Klorit	1.7
Diğer silikatlar	0.7
Karbonatlar	2.0
Fe-Ti Oksitler	1.8
Zn Oksitler	1.3
Barit	1.8
Diğerleri	1.4
Toplam	100

Çizelge 6.2. Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn Kompleks Sülfür Cevherinin Kimyasal Analizi [33]

Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	S (%)	Au (g/t)	Ag (g/t)
0.48	6.50	0.95	0.90	7.7	1.65	59.32

Cevher, sülfür mineralleri olarak başlıca kalkopirit (CuFeS_2) sfalerit (ZnS), galen (PbS) ve pirit (FeS_2) içermektedir. Cevher % 1.6 oranında Cu sülfür mineralleri içermektedir. Cu sülfür minerallerinin % 1.2' sini kalkopirit oluştururken geri kalan kısmını (% 0.4) ikincil bakır mineralleri olan kovelin (CuS) ve kalkozin (Cu_2S) oluşturmaktadır. Bununla birlikte cevher flotasyon performansını olumsuz etkileme potansiyeline sahip yüksek oranda kil ve mika mineralleri içermektedir.

Çizelge 6.3. Sülfürlü ve Diğer Minerallerin Mineral Oluşum Büyüklüğü (D_{50}) [32].

Mineral	D_{50} (μm)
Kalkopirit	64
Pirit	57
Sfalerit	53
Galen	29
Kuvars/Feldspat	54
Silikatlar (mika, kil)	26
Karbonatlar	25
Zn Oksitler	24
Diğer Oksitler	20
Barit	26
Diğer Mineraller	44

Çizelge 6.3'de minerallerin mineral oluşum büyüklükleri (D_{50}) verilmiştir. SGS tarafından yapılan serbestleşme analizi verilerine dayanarak bu cevher için $D_{80} -75 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir [32]. Temsili cevher numunesi merdaneli kırıcı kullanılarak -2 mm tane boyuna kırılmıştır. Kırılan numunedan temsili olarak 2 kg'lık deney numuneleri hazırlanmıştır. Oksitlenmeyi önlemek amacıyla numuneler vakum torbaları içinde tutulmuştur.

6.2. Deneysel Yöntem

Farklı cevherleşme ve mineralojilerin görüldüğü ve oksitlenme davranımının farklı olduğu cevher yataklarının flotasyon performansının tahmin edilmesinde EDTA testi uygulanmıştır. İstenen tane boyunu elde edilmesi için bir seri öğütme testleri yapılmıştır. Belirlenen öğütme süresinde farklı koşullarda, farklı reaktiflerle flotasyon testleri yapılmıştır.

6.2.1. EDTA Testi

EDTA'nın metal sülfürlü bileşikler yerine metal hidroksitleri sıyırma özelliğinden yararlanarak oksitlenme derecesinin belirlenmesinde EDTA kullanılmıştır. EDTA için 10 gr kuru cevher, pH'ı 7.5'e ayarlanmış olan 200 ml (%3) EDTA çözeltisine eklenmiştir. 30 dakika karıştırıcıda karıştırılan çözelti filtrelenmiştir. Elde edilen çözelti ile katı kısım

(Cu,Pb,Zn,Fe) analizleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile yapılmıştır. Çizelge 6.4'te EDTA testleri sonucu hesaplanan E_s (Eşitlik 6.1) değeri verilmiştir. Çizelge verilerine göre mineral bazında oksitlenmeyi temsil eden E_s_Cu değerinin yüksek olduğu görülmektedir.

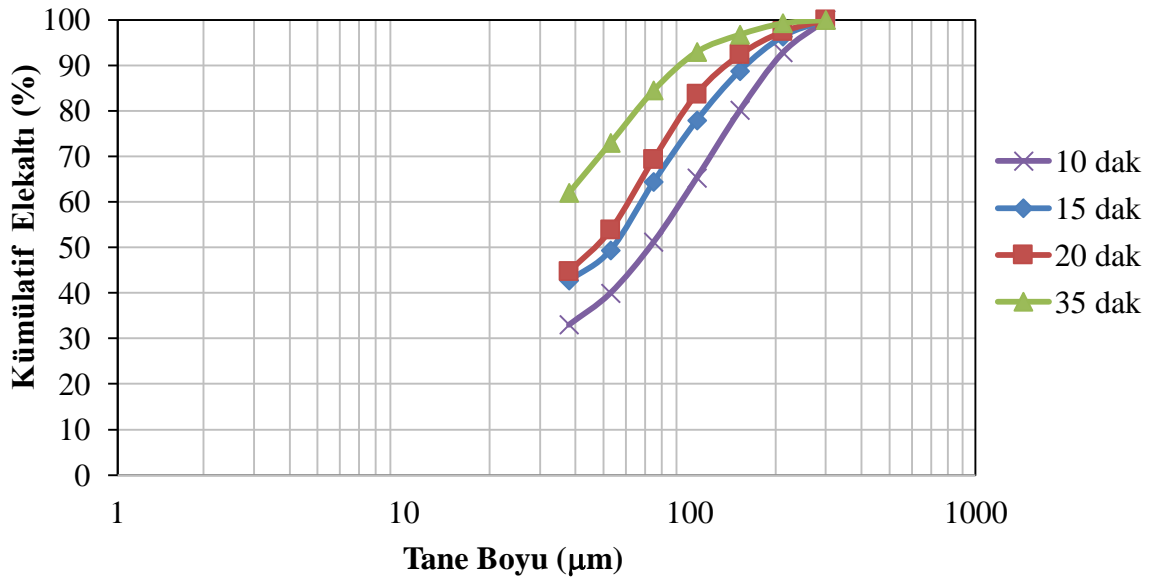
Çizelge 6.4. EDTA Testleri Sonucu Hesaplanan Mineral Yüzeyinde Oksitlenmiş Metal Miktarı (E_s)

	Katı	Çözelti	Çözeltinin Kimyasal Analizi (ppm)				Katının Kimyasal Analizi (ppm)				Metal, gr				Oksitlenmiş Metal, mg				Es (mg/g)			
	gr	ml	Cu	Fe	Pb	Zn	Cu	Fe	Pb	Zn	Cu	Fe	Pb	Zn	Cu	Fe	Pb	Zn	Cu	Fe	Pb	Zn
Yenipazar Cevheri	10.00	201	37.66	16.2	266	15.8	0.53	6.88	0.76	0.96	0.05	0.69	0.08	0.10	7.57	3.26	53.47	3.17	142.839	4.7	703.6	33.0

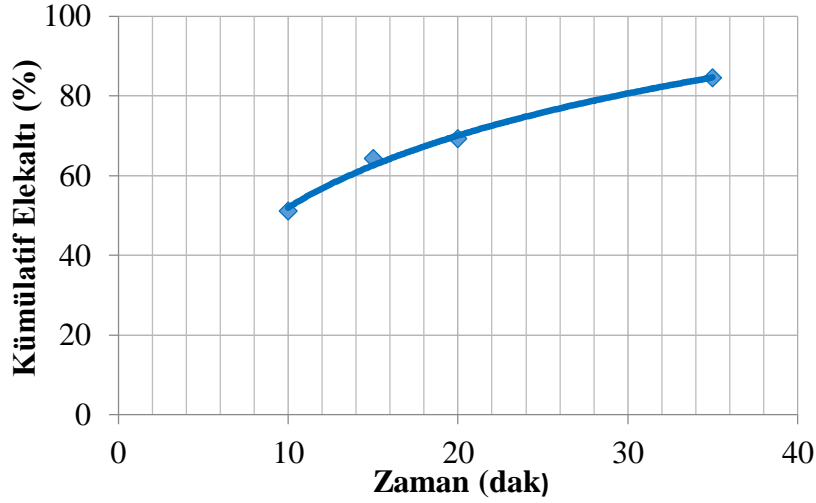
$$E_s = \frac{\text{Çözeltiye geçen metal miktarı (mg)}(Cu,Pb,Zn,Fe)}{\text{Katıdaki metal miktarı (gr)}(Cu,Pb,Zn,Fe)} \quad (6.1)$$

6.2.2. Öğütme Süresinin Belirlenmesi

Öğütme işlemi bilyalı değirmen kullanılarak ağırlıkça %60 katı palp yoğunluğunda yapılmıştır. Flotasyon devresine beslenen cevherin istenilen tane boyunda elde edebilmek için gerekli öğütme süresinin belirlenmesi amacıyla 10, 15, 20 ve 35 dakikalık öğütmeler ve elek analizi testleri yapılmıştır. Her öğütme sonrası yaş elek analizi ile tane boyu dağılımları elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Yaş Öğütme Tane Boyu Dağılımı



Şekil 6.2. Farklı Öğütme Sürelerindeki -75µm için Kümülatif Elekalıt Dağılımı

Şekil 6.2’de farklı öğütme sürelerinde -75µm için Kümülatif elekalıt dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere %80 -75 mikron tane boyuna 30 dakika öğütme ile ulaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre, öğütme süresi 30 dakika seçilmiş ve bütün flotasyon deneyleri bu sürede yapılmıştır. Öğütme ve tane boyu SGS tarafından yapılan serbestleşme analizi verilerine dayanarak belirlenmiştir [32].

6.2.3. Flotasyon Testleri

Aldridge Mineral A.Ş. için hazırlanan teknik rapora göre [36] bakır, kurşun, çinko cevherleri için toplu flotasyon yöntemini uygun olmadığı görülmektedir. Cevher Cu-Pb toplu flotasyonundan sonra, kurşundan bakırı seçimli yüzdürmek ve satılabilir nitelikte bakır, kurşun ve çinko tenörü elde etmek için uygun niteliklere sahip değildir. Bu nedenle, bu çalışmada sadece seçimli flotasyon yöntemi kullanılmıştır. Seçimli flotasyonda galen, sfalerit ve piriti bastırmak için $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ve ZnSO_4 öğütme aşamasında değirmene ve flotasyon aşamasında hücreye eklenmiştir.

Öğütme aşamasında, oksitlenmiş sülfürlü yüzeyleri temizlemek ve yüzeyi sülfürleştirmek amacıyla değirmene 1 kg/t Na_2S ve cevherde bulunan kilin flotasyona olumsuz etkisini gidermek amacıyla dağıtıcı olarak öğütme aşamasında değirmene 1 kg/t Na-silikat eklenmiştir.

Flotasyon testleri kil atmadan ve kil atılarak iki şekilde yapılmıştır. Değirmenden çıkan numuneye dekantasyon uygulanmıştır. Stoke’s yasasına göre 10 mikron altı kil olarak atılmıştır.

Flotasyon deneyleri için Denver flotasyon makinası kullanılmıştır. Öğütme işleminden sonra değirmenden alınan öğütülmüş numune 4.5 litre hacimli flotasyon hücresine konulmuştur ve katı oranı %30-35 olacak şekilde ayarlanmıştır. Palp flotasyon hücresinde 5 dakika süresince 2000 devir/dakika karıştırma hızında 200 gr/t Na₂S ile koşullandırılmış ve sonrasında 2 kg/t MBS ve 2 kg/t ZnSO₄ ile 5 lt/dk hava hızında palpın çözünmüş oksijen derişimini artırmak için ön havalandırma yapılmıştır. Toplayıcı koşullandırması 2 dakika ile sabit tutularak çeşitli toplayıcılar ve toplayıcı karışımları denenmiştir. Çizelge 6.5'te flotasyon testleri için kullanılan toplayıcılar ve türleri verilmiştir.

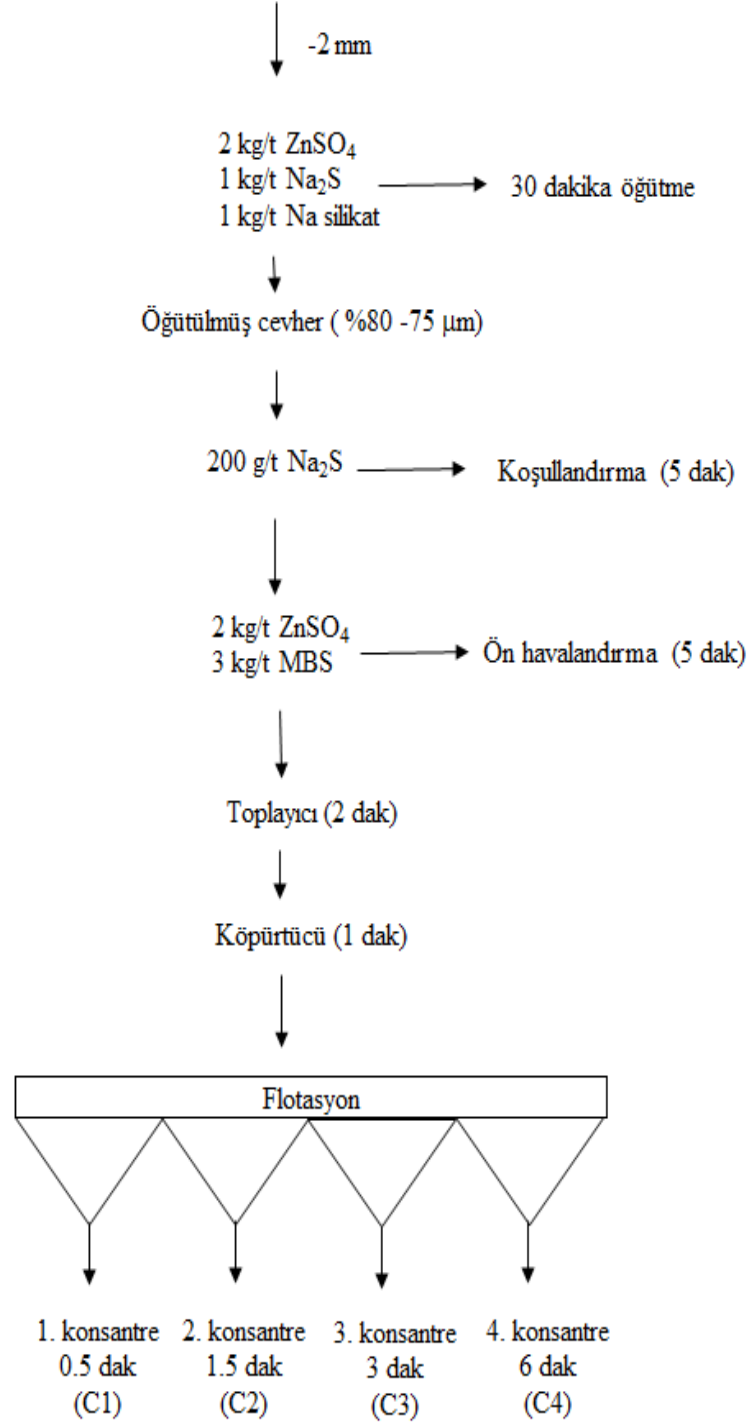
Çizelge 6.5. Flotasyon Testleri için Kullanılan Toplayıcılar ve Türleri

Toplayıcılar	Toplayıcı Türü
Sodyum Aerofloat (NaAF)	Ditiyofosfat
Aero 7279	Tiyonokarbamat
Aero 5100	Tiyonokarbamat
Aero 9810	Ditiyofosfat
Aero 8761	Monotiyofosfat
Sodyum izopropil ksantat (SIPX)	Ksantat

Köpürtücü olarak 15 gr/ton MIBC kullanılmış ve köpürtücü ilavesinden sonra koşullandırmaya 1 dakika daha devam edilmiştir. Sırasıyla 0.5, 1.5, 3 ve 6 dakika köpük sıyırma sürelerinde Cu üzerinden kinetik flotasyon testleri yapılarak dört konsantre alınmıştır. Konsantreler palp halinde tartılmış ve ardından süzülerek kurutulmuştur. Tartımlar arasındaki farklardan flotasyonda su verimi hesaplanmıştır. Daha sonra her bir konsantrenin ve son artığın kimyasal analizleri yapılmıştır.

Cu üzerinden yapılan kinetik flotasyon deneyleri sonucunda Sodyum Aerofloat (NaAF) ve NaAF + Aero 8761 toplayıcı karışımının en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Satılabilir tenör elde edebilmek için bu toplayıcılarla temizleme flotasyonu yapılmıştır. Galen flotasyonunda, soda külü (Na₂CO₃) kullanılarak pH 8.5-9'a çıkartılmıştır. Toplayıcı olarak da Aerophine 3418A (Ditiyofosfin) kullanılmıştır. Zn flotasyonunda kireç ile pH 10.5'e çıkartılmış ve ardından CuSO₄ ile koşullandırılarak sfalerit canlandırılmıştır. Sfalerit için toplayıcı olarak Aero 7279 kullanılmıştır.

Cu, Pb ve Zn kaba flotasyon aşamasından sonra kademeli olarak temizleme yapılmıştır. Şekil 6.2’de flotasyon deneylerinde izlenen akış şeması ve Çizelge 6.5’te flotasyon deney koşulları verilmiştir.



Şekil 6.2. Flotasyon Deneylerinde İzlenen Akış Şeması

Çizelge 6.6. Flotasyon Deney Koşulları

Deney Koşulları	Cu Kaba Flotasyon (gr/t)	Koşullandırma Süresi (dak)
pH	7-7,5	2
Öğütme aşamasında ZnSO ₄ - Na ₂ S- Na-silikat	2 kg/t- 1kg/t- 1 kg/t	30
Hücrede Na ₂ S	200 gr/t	5
Ön havalandırma ZnSO ₄ -MBS	2 kg/t- 3 kg/t	5
Toplayıcı	40 gr/t	2
Köpürtücü (MIBC)	15 gr/t	1

Deney koşulları ve deney kodları Çizelge 6.6’da verilmiştir. ALD 26 ve ALD 27 kodlu deneylerde farklı bastırıcı türü olan P82 ve OS3 bastırıcıları denenmiştir.

Çizelge 6.7. Deney Kodları ve Koşulları

Deney Kodu	Şlam Atımı	Toplayıcı	MBS (kg/t)	ZnSO₄ (kg/t)	Na silikat (kg/t)
ALD 6	Yok	40 gr/t 7279+NaAF	4	3	1
ALD 7	Var	40 gr/t 7279+NaAF	2	2 + 2	-
ALD 8	Var	40 gr/t 7279+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 9	Yok	40 gr/t 7279+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 10	Var	40 gr/t 9810+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 13	Var	40 gr/t 7279+SIPX	2	2 + 2	1
ALD 14	Var	40 gr/t 7279	2	2 + 2	1
ALD 15	Var	40 gr/t 8761+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 16	Var	40 gr/t 7279+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 17	Var	40 gr/t 5100+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 18	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	2	2 + 2	1
ALD 19	Var	40 gr/t 8761	2	2 + 2	1
ALD 21	Var	30 gr/t 8761	2	2 + 2	1
ALD 22	Var	40 gr/t NaAF	2	2 + 2	1
ALD 23	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	2	2 + 2	2
ALD 24	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	4	2 + 2	1
ALD 25	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	3	2 + 2	1
			P82 (kg/t)		
ALD 26	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	2	2 + 2	2
			OS-3 (kg/t)		
ALD 27	Yok	40 gr/t 8761+NaAF	2	2 + 2	2

P82 ve OS-3 bastırıcıları aktive olmuş sfaleritin ve demir sülfürlerin bastırılmasında kullanılmaktadır. Çizelge 6.8’de P82 bastırıcısını oluşturan reaktifler ve Çizelge 6.9’da ise OS-3 bastırıcısını oluşturan reaktifler verilmiştir.

Çizelge 6.8. P82 Bastırıcısını Oluşturan Reaktifler

P82-Reaktifler	%
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	35
NaHSO_3	60
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5

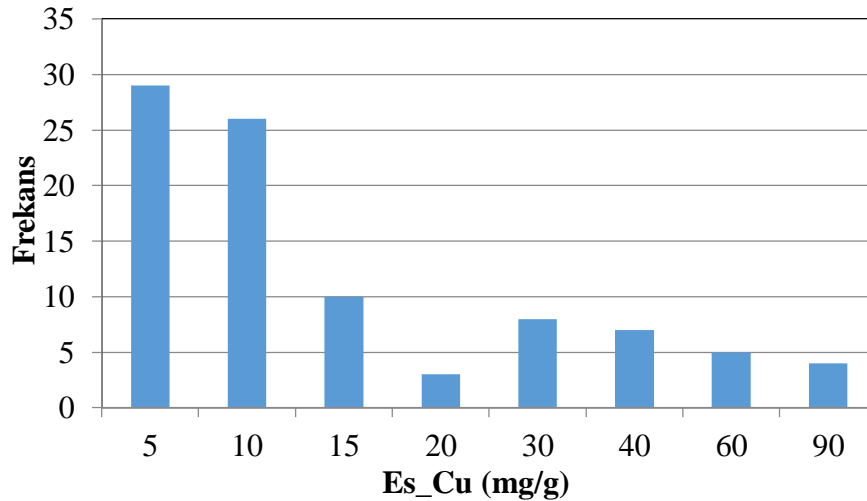
Çizelge 6.9. OS-3 Bastırıcısını Oluşturan Reaktifler

OS-3-Reaktifler	%
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	80
Oksalik Asit	20

7 DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Oksitlenme Derecesinin Etkisi

Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn kompleks sülfür cevheri, volkanojenik masif sülfür (VMS) yapısındadır ve üç farklı zondan (oksitli, bakırca zengin ve sülfürlü) oluşmaktadır. Bakırca zengin bu zonda ikincil bakır mineralleri ve kil bulunmaktadır. Bakır minerallerinin yüzey oksidasyonu ve ikincil bakır minerallerinin varlığı bakır flotasyon devresinde, flotasyon performansını (verim, seçicilik) önemli ölçüde etkilemektedir. Yenipazar kompleks sülfür cevherinin bakırca zengin zonunda, oksitlenmenin flotasyona performansını öngörmek için daha önce yapılan Yenipazar cevher yatağının sülfürlü zonunu temsil eden 91 adet numuneye yapılan EDTA testi çalışmasındaki sonuçlar kullanılmıştır [34]. Şekil 7.1’de Yenipazar cevherinden alınan 91 adet karot numunesinin Es_Cu dağılımları verilmiştir.



Şekil 7.1. Yenipazar Cevherinden Alınan 91 Karot Numunesinin Es_Cu Dağılımları [34]

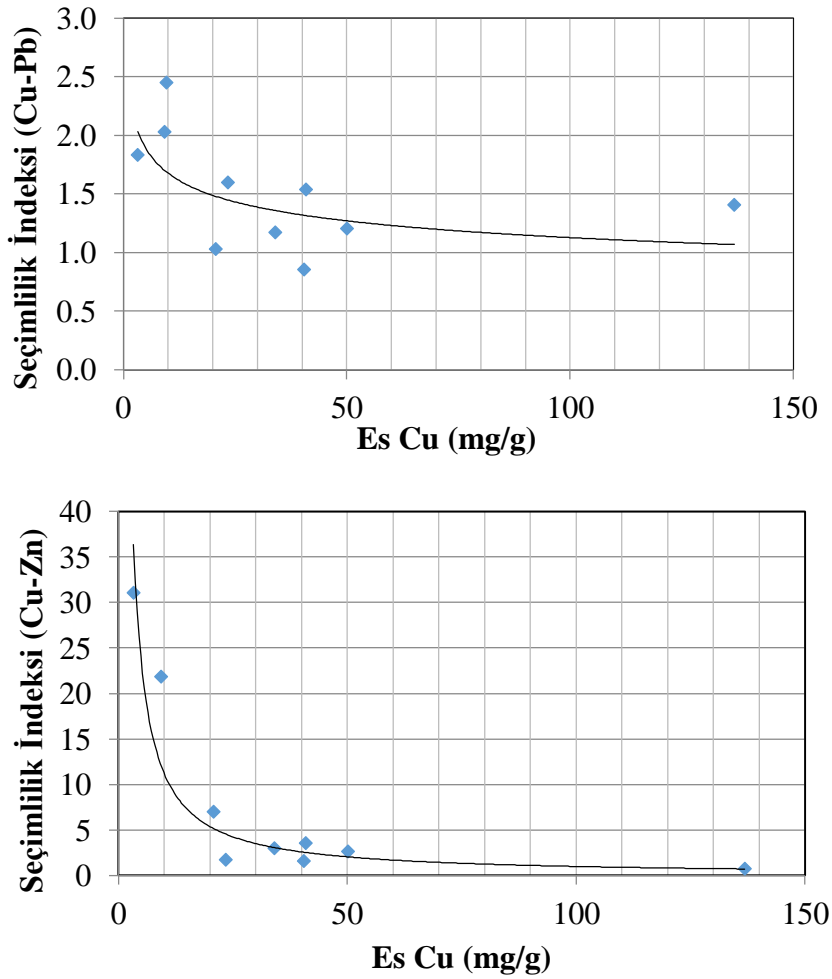
Şekil 7.1’e göre yaklaşık olarak numunelerin 55’inin Es_Cu değerinin 10 mg/g’den daha düşük olduğu ve bu değerlerin sülfürlü cevherlerde olduğu görülmüştür. Kovelin ve kalkozin gibi ikincil bakır minerallerinin miktarının artması ve yüksek yüzey oksidasyonu ile bu değerlerin yükseldiği görülmüştür. Şekil 7.1 incelendiğinde en yüksek Es_Cu değerinin 90’larda olduğu görülmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan bakırca zengin Yenipazar cevherinin ise yapılan EDTA testi sonucunda Es_Cu değerinin yaklaşık olarak 143 mg/g olduğu görülmüştür. Cevherin ikincil bakır mineralleri olarak zengin olduğu ve yüzey oksidasyon derecesinin sülfürlü cevher zonundan çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

Daha önce yapılan çalışmalarda Es_Cu ve flotasyon performansı arasında ilişki incelendiğinde, Es_Cu belirli değerlerin üzerinde olduğunda flotasyon performansının olumsuz etkilendiği görülmektedir. Seçimlilik indeksi ve Es_Cu arasındaki ilişki Şekil 7.2’de verilmiştir. Şekil 7.2 incelendiğinde Es_Cu değeri 20 mg/g değerinden daha yüksek olduğunda, ikincil bakır minerallerinin varlığının ve bakır minerallerinin yüzey oksidasyonunun bakır flotasyon aşamasında seçimlilik açısından flotasyon performansını olumsuz olarak etkilediği ve Cu-Zn ve Cu-Pb arasındaki seçimliliğin son derece düşük olduğu görülmektedir. Seçimlilik indeksi (SI) için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 6.2) [9].

$$\text{Seçimlilik İndeksi}_{(A-B)} = \frac{A_{\text{Konsantre}} * B_{\text{Atık}}}{B_{\text{Konsantre}} - A_{\text{Atık}}} \quad (6.2)$$

A and B metal tenörlerini temsil etmektedir. Bu eşitliğe göre seçimlilik indeksi (SI) değeri ne kadar yüksekse o kadar seçimli bir ayırım gerçekleşir.



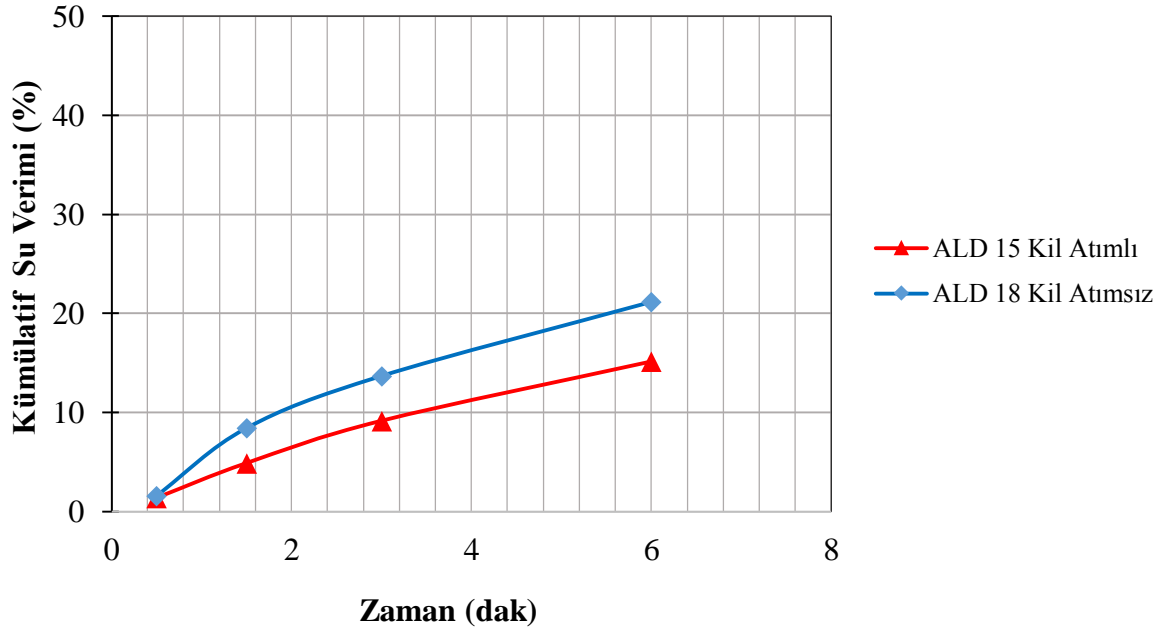
Şekil 7.2. Cu-Zn, Cu-Pb Arasındaki Seçimlilik ve Es_Cu Arasındaki İlişki [33]

7.2. Kilin Etkisi

Cevherde bulunan kilin flotasyona etkisini incelemek için dekantasyon ile kil atımı yapılmıştır. Kil atımı ile bakırın % 10' u atılmıştır. Numunenin kili uzaklaştırıldıktan sonra ve kil atımı olmadan iki farklı koşulda flotasyon testleri yapılmış ve her iki koşulun flotasyona etkisi incelenmiştir. Bu flotasyon testlerinde NaAF+8761 toplayıcı karışımı kullanılmıştır.

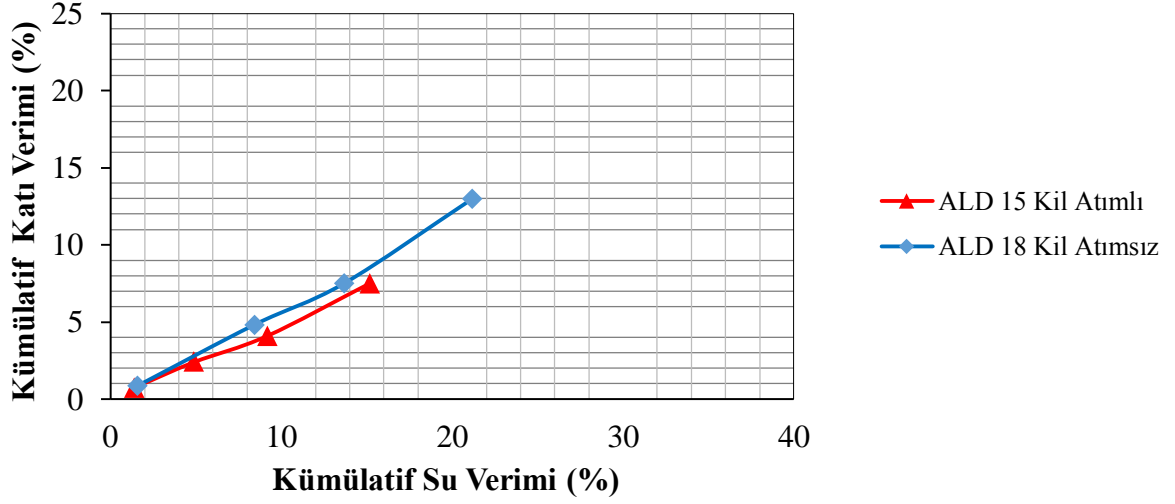
7.2.1. Kilin Köpük Fazına Etkisi

Kil atımlı ve kil atımsız koşullarda flotasyon süresine karşı kümülatif su verimi Şekil 7.3'te verilmiştir. Şekil 7.3'e bakıldığında, zamana karşı kil atımsız koşulda su veriminin % 21.15 olduğu, kil atımlı koşulda ise bu değer % 15.15 olduğu görülmektedir. Zamana karşı kil atımsız koşulda su veriminin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da kilin varlığının köpük stabilitesini arttırdığını göstermektedir.



Şekil 7.3. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi

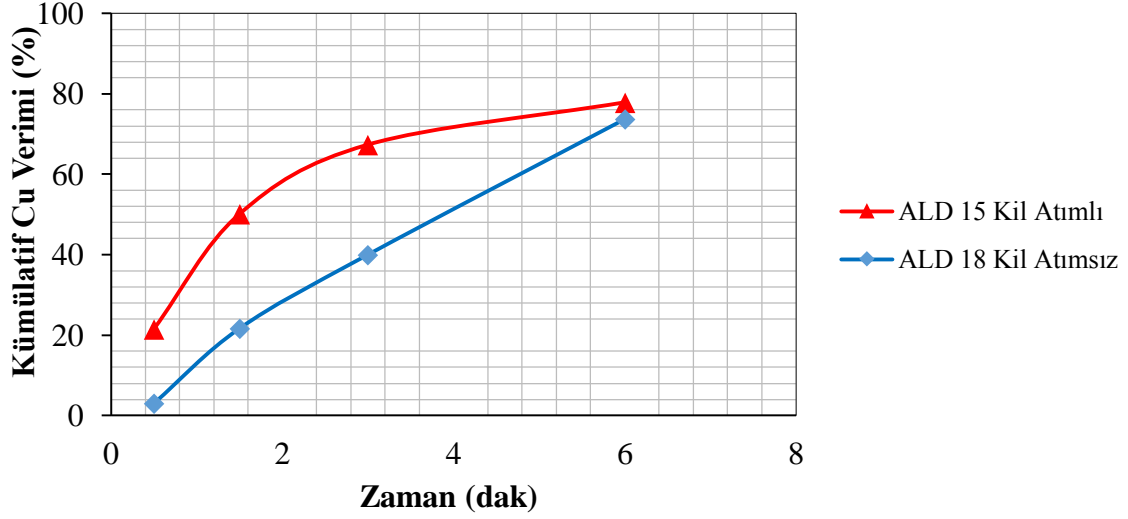
Şekil 7.4'te kil atımlı ve kil atımsız koşullarda kümülatif su verimine karşı kümülatif katı verimi verilmiştir. Her iki koşulda da birim su verimine karşılık konsantreye taşınan katı miktarı aynıdır. Dolayısıyla minerallerin hidrofobiklik derecesinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.4. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Katı Verimi ile Kümülatif Su Verimi Arasındaki İlişki

7.2.2. Kilin Verime Etkisi

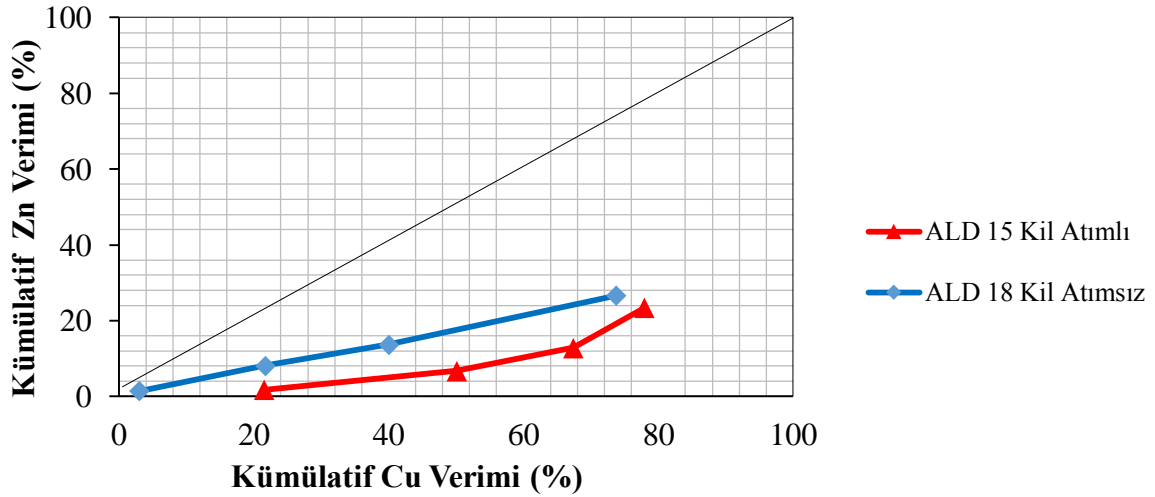
Bakır veriminin flotasyon süresine bağlı değişimi Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.5'e göre kil atımı flotasyon kinetiğini etkilemektedir. Kil atımlı koşulda birim zamanda daha fazla verim alınmıştır. Bu da kilin uzaklaştırılmasının flotasyon kinetiğini arttırdığını göstermektedir. İlk flotasyon süresinde kil atımlı koşulda % 21.51 olan Cu verimi 3.dakikada % 67.37' ye yükselmiştir. Nihai durumda % 77.89 Cu verimi elde edilmiştir. Bu değer kil atımsız koşulda % 3.01'dir ve 3. dakikada ancak % 39.99 Cu verimi elde edilmiştir. Kil atımsız koşulda kil sülfürlü minerallerin yüzeyini kaplayarak yüzmelerine engel olduğu ve flotasyon hızını düşürdüğü söylenebilir. Kil atımsız koşulda ancak toplayıcı ilavesiyle Cu verimi biraz daha yükselmiştir. Bu da su ile gelen katı miktarının artışından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.5. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşulların Cu Verimine Etkisi

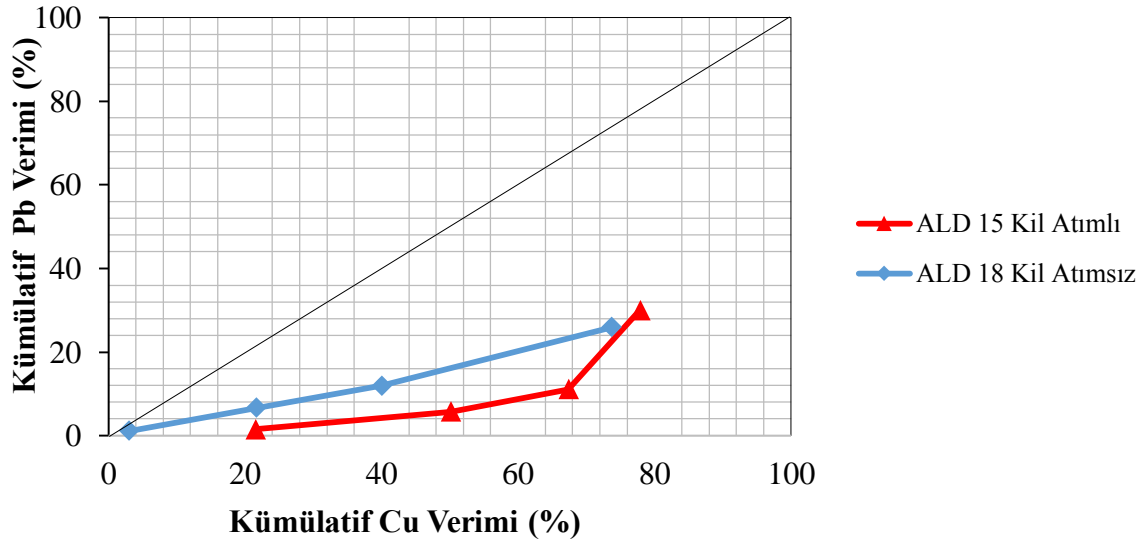
7.2.3. Kilin Seçimliliğe Etkisi

Kil atımlı ve kil atımsız koşullarda kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Zn verimi Şekil 7.6'da verilmiştir. Şekil 7.6'da kil atımlı deney koşulunda % 77.89 Cu verimi elde edilirken, kil atımsız koşula göre de daha düşük Zn verimi elde edilmiştir. Kil atımsız koşulda grafiğin doğrusal olması, gelen katı miktarına bağlı olarak bir verim artışının göstergesidir. Kil atımlı koşulda Cu flotasyon aşamasında daha az Zn geldiğini ve daha seçimli flotasyon yapıldığını göstermiştir.



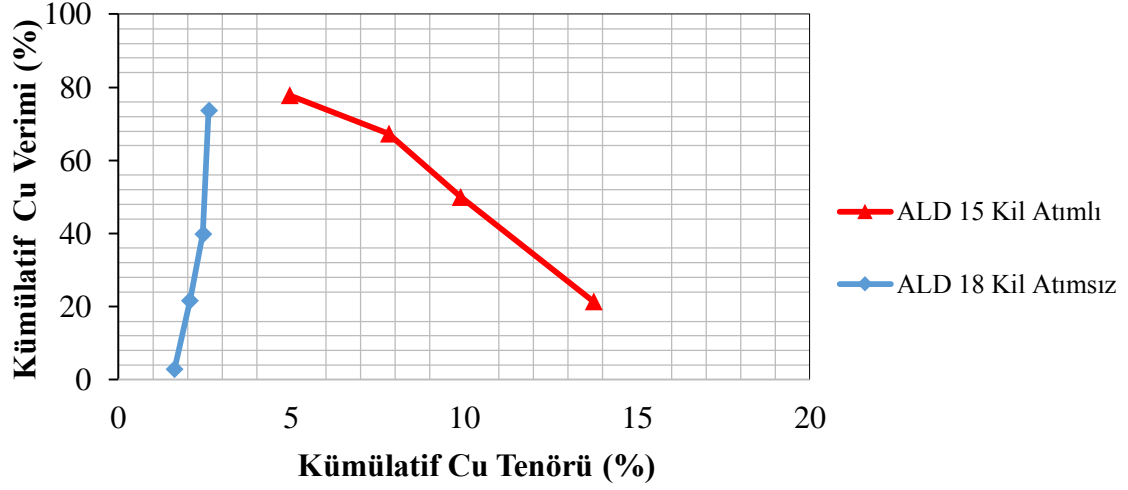
Şekil 7.6. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi

Kil atımlı ve kil atımsız koşullarda kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Pb verimi Şekil 7.7’te verilmiştir. Şekil 7.6’da verilen sonuçlar Pb verimi için de aynı sonuçları göstermiştir. Kil atımsız deney koşuluna göre kil atımlı deney koşulunda Cu devresine daha az Pb gelerek daha seçimli flotasyon sonuçları elde edilmiştir. Yüksek bakır veriminde, neredeyse aynı kurşun verimi elde edilmektedir.



Şekil 7.7. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi

Şekil 7.8’de kil atımlı ve kil atımsız koşullarda kümülatif Cu tenörüne karşı kümülatif Cu verimi verilmiştir. Şekil 7.8’de görüldüğü gibi tenör-verim açısından en iyi sonuçlar kil atımı yaparak elde edilmiştir. Kil atımı yapıldığında ilk flotasyon süresinde alınan konsantrenin Cu tenörü %13.74, Cu verimi % 21.51 iken kil atımsız koşulda ise % 1.62 Cu tenörü ve %3.01 Cu verimi elde edilmiştir. Kil atımsız koşullarda ilk konsantrenin tenörünün düşük çıkması cevher içindeki kilden kaynaklanmaktadır. Yüksek verimde daha yüksek tenör alınmasının nedeni, kil atımsız koşulda kilin sebep olduğu şlam kaplamasıdır. İlk konsantrede kilin flotasyon verimini düşürücü etkisinden dolayı daha çok silikat bazlı malzemeler geldiği için tenör ve verim düşük olmaktadır. Kil atımlı koşulda ise son derece ideal bir eğri elde edilmektedir. Kilin olumsuz etkisi açıkça görülmektedir.



Şekil 7.8. Kil Atımlı ve Kil Atımsız Koşullarda Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi

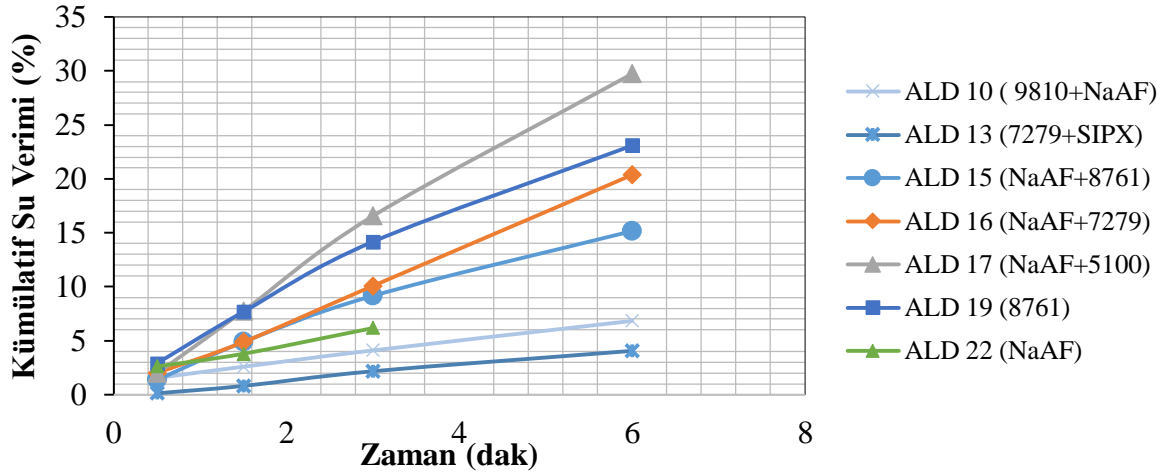
7.3. Toplayıcının Etkisi

Sülfürlü cevhere uygulan prosedüre göre baz koşulu olarak 3 kg/t ZnSO₄, 4 kg/t MBS, 1 kg/t Na silikat öğütme aşamasında ilave edilmiştir. 40 gr/t (20gr/t NaAF+ 20 gr/t 7279) toplayıcı karışımı ve köpürtücü olarak da 15gr/t MIBC kullanılmıştır. 0.5, 1,5, 3 ve 6 dakika flotasyon sürelerinde Cu üzerinden kinetik flotasyon testleri yapılarak dört konsantr alınmıştır. Bu baz koşulları ile yapılan deney sonuçlarında ancak % 37.54 Cu verimi elde edilebilmiştir. Buna karşılık % 30.40 Pb, % 29.87 Zn ve % 27.09 Fe verimine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar Cu devresinde kurşun, sfalerit ve piritin yeterince bastırılmadığı ve seçimli bir flotasyon yapılamadığını göstermiştir. Bu deney çalışmasından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde farklı toplayıcı ve bastırıcı türleri ile dozajlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

Deneylerde Aero 7279, NaAF, Aero 8761, Aero 7279+NaAF, Aero 7279+SIPX, NaAF+ Aero 8761 ve NaAF+Aero 5100'dan oluşan farklı toplayıcı ve toplayıcı karışımları kullanılmıştır. Toplayıcı dozajı 40 gr/t olarak belirlenmiştir. Bu deneylerde kil atımı yapılmıştır. Verim ve tenör değerleri kil atımından sonra flotasyona beslenen malzeme üzerinden hesaplanmıştır.

7.3.1. Toplayıcıların Köpük Fazına Etkisi

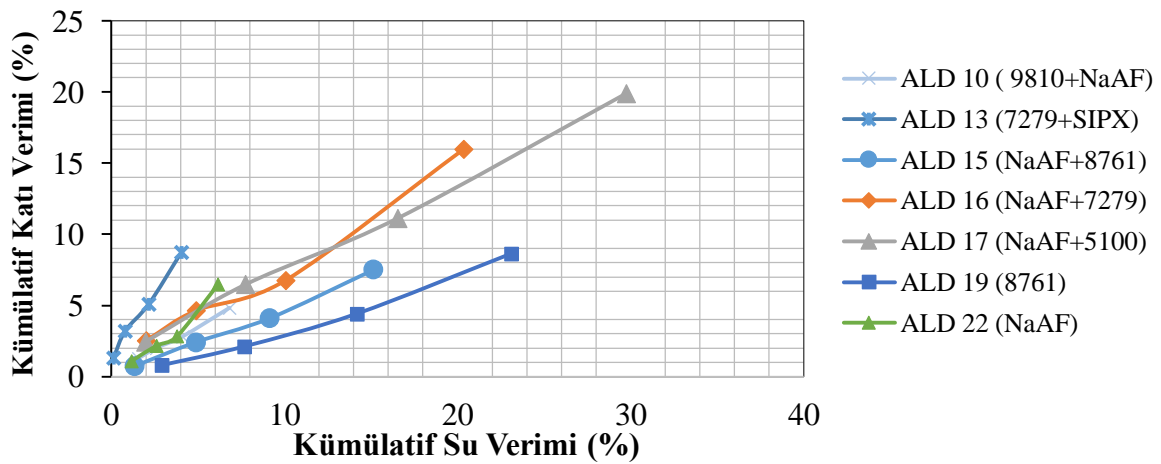
Şekil 7.9'de farklı toplayıcıların zaman ve kümülatif su verimi ilişkisi verilmiştir.



Şekil 7.9. Farklı Toplayıcı Koşullarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi

Şekil 7.9'a göre en yüksek su verimi %29.72 ile NaAF+5100 toplayıcı karışımının kullanıldığı ALD 17 kodlu deneyde elde edilmiştir. ALD 13 kodlu deneyde kullanılan 7279+SIPX toplayıcı karışımı ise % 4.06 ile en düşük su veriminin elde edildiği toplayıcı karışımıdır. Bu sonuçlara göre NaAF+5100 toplayıcı karışımında köpük yapısının daha akışkan olduğu ve entrainment (su ile taşınma) mekanizması ile malzemenin geldiği saptanmıştır.

Şekil 7.10'da farklı toplayıcı koşullarında kümülatif katı verimi ile kümülatif su verimi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Birim su verimine karşılık katı verimi incelendiğinde en yüksek katı veriminin NaAF+5100 toplayıcı karışımı ile elde edildiği belirlenmiştir.

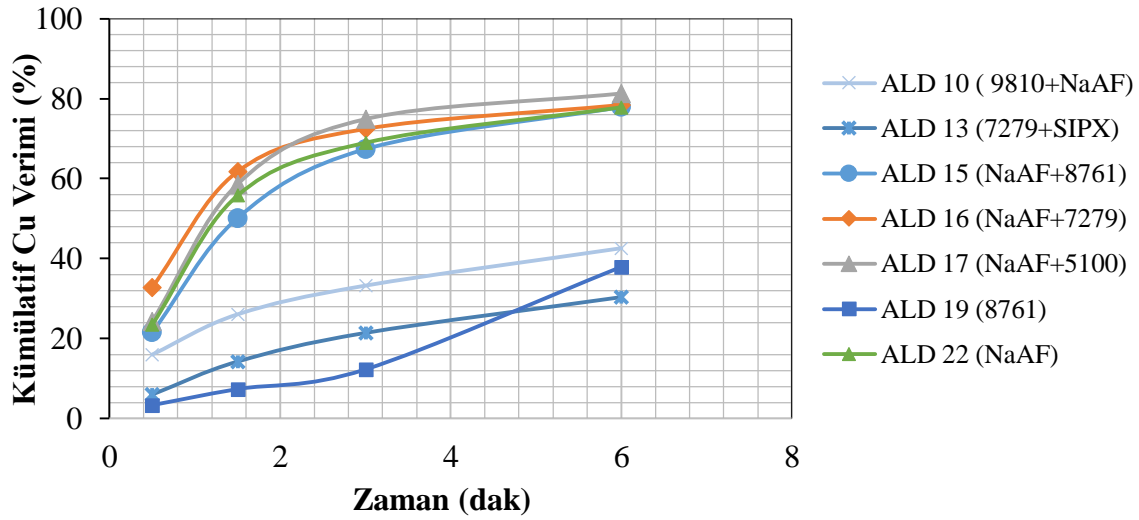


Şekil 7.10. Farklı Toplayıcı Koşullarında Kümülatif Katı Verimine Karşı Kümülatif Su Verimi

7.3.2. Toplayıcıların Verime Etkisi

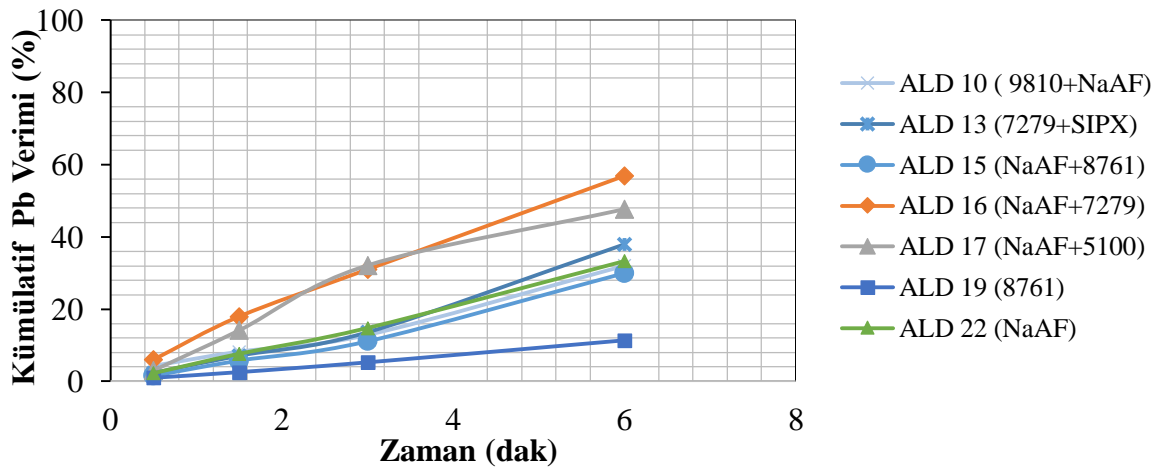
Bakır veriminin flotasyon süresine bağlı değişimi Şekil 7.11’de verilmiştir.

Şekil 7.11’ e göre NaAF, NaAF + 8761 ve NaAF+5100 toplayıcı karışımlarında en yüksek bakır verimine ulaşılmış ve elde edilen değerler bu toplayıcılar için sırasıyla %77.82, % 77.89, % 81.28 olmuştur. Aero 8761 toplayıcısı ise % 37.93 ile en düşük bakır verimini göstermiştir. Farklı toplayıcı koşullarında Cu verimi incelendiğinde olumlu etkinin NaAF toplayıcısından geldiği düşünülmektedir.



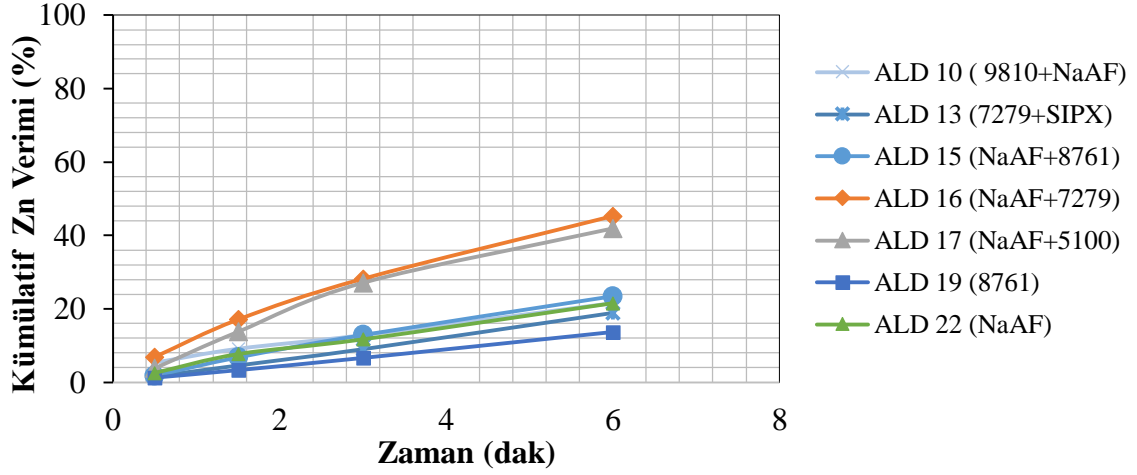
Şekil 7.11. Farklı Toplayıcı Koşullarının Cu Verimine Etkisi

Kurşun veriminin flotasyon süresine bağlı değişimi Şekil 7.12’de verilmiştir. Şekil 7.12’ye göre en yüksek Pb verimi % 56.91 ile NaAF+7279 toplayıcı karışımında elde edilmiştir. 8761 toplayıcısı ile yapılan deneyde ise sadece Cu veriminin düşük olmadığı, % 11.37 ile Pb veriminin de düşük olduğu gözlenmiştir.



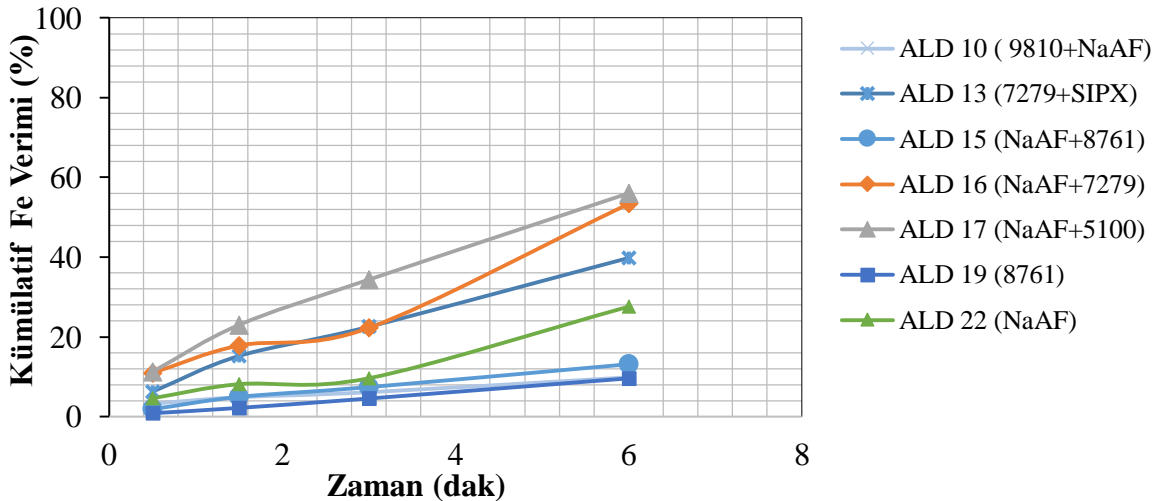
Şekil 7.12. Farklı Toplayıcı Koşullarının Pb Verimine Etkisi

Çinko veriminin flotasyon süresine bağlı değişimi Şekil 7.13'te verilmiştir. Şekil 7.13'e göre en yüksek Zn verimi % 45.28 ile NaAF+7279 toplayıcı karışımında elde edilmiştir. Cu ve Pb veriminde olduğu gibi en düşük verim % 13.70 ile 8761 toplayıcısında elde edilmiştir.



Şekil 7.13. Farklı Toplayıcı Koşullarının Zn Verimine Etkisi

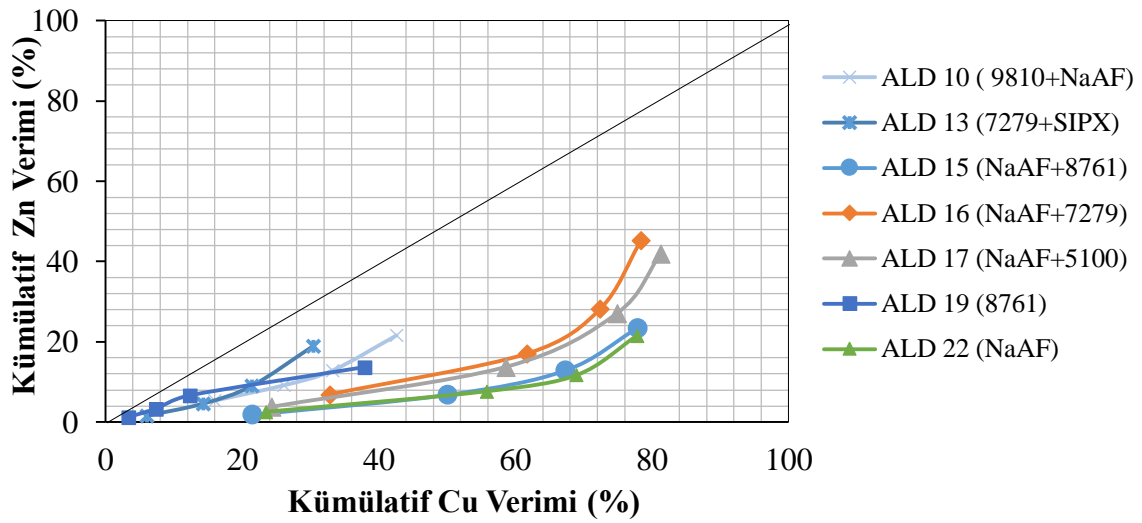
Demir veriminin flotasyon süresine bağlı değişimi Şekil 7.14'te verilmiştir. Şekil 7.14'e göre NaAF+5100 toplayıcı karışımında, % 56.02 ile en yüksek Fe verimi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu toplayıcı karışımının kuvvetli ancak seçimli bir toplayıcı olmadığını göstermiştir. NaAF+8761 toplayıcı karışımında % 13.13 ile en düşük Fe verimi elde edilmiştir. Sonuç olarak, deneylerde kullanılan toplayıcı karışımları arasında en seçimli toplayıcının NaAF+8761 olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 7.14. Farklı Toplayıcı Koşullarının Fe Verimine Etkisi

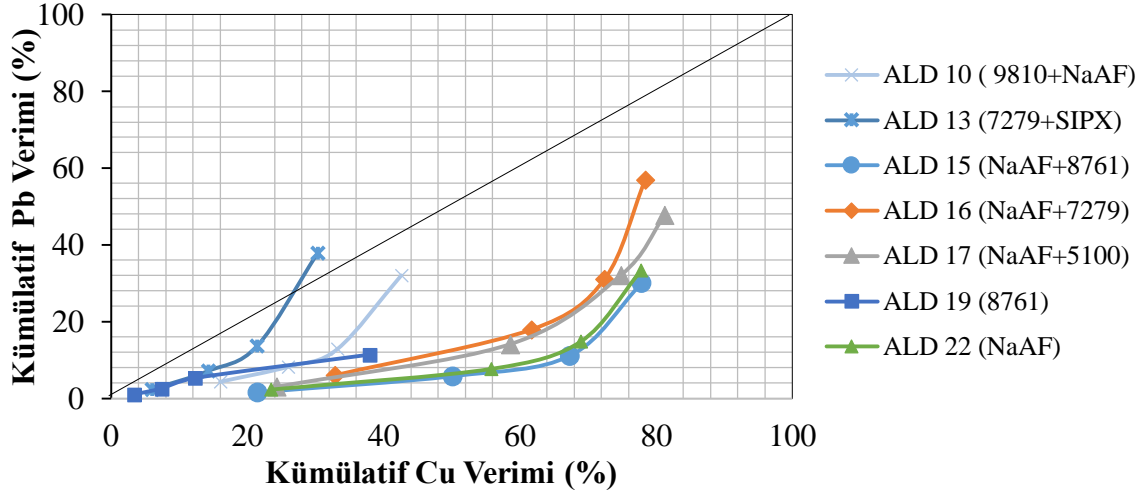
7.3.3. Toplayıcıların Seçimliliğe Etkisi

Farklı toplayıcı koşullarında Cu verimi ile Zn verimi arasındaki ilişki Şekil 7.15’de verilmiştir. Şekil 7.15’e göre en yüksek Cu verimi NaAF+5100 ve NaAF+7279 toplayıcı karışımlarında elde edilmişken bu deneylerde ayrıca en yüksek Zn verimi de elde edilmiştir. Bu da bu koşullarda Cu veriminin yüksek olduğunu, ancak Cu devresine Zn’nin kaçtığını göstermiştir. Bu durum seçimliliğin düşük olmasına neden olmuştur. En yüksek Cu verimi % 77.89 ile NaAF+8761 toplayıcı karışımında ve % 77.82 ile NaAF toplayıcısında elde edilmiş ve Zn’ye karşı en yüksek seçimliliği vermiştir.



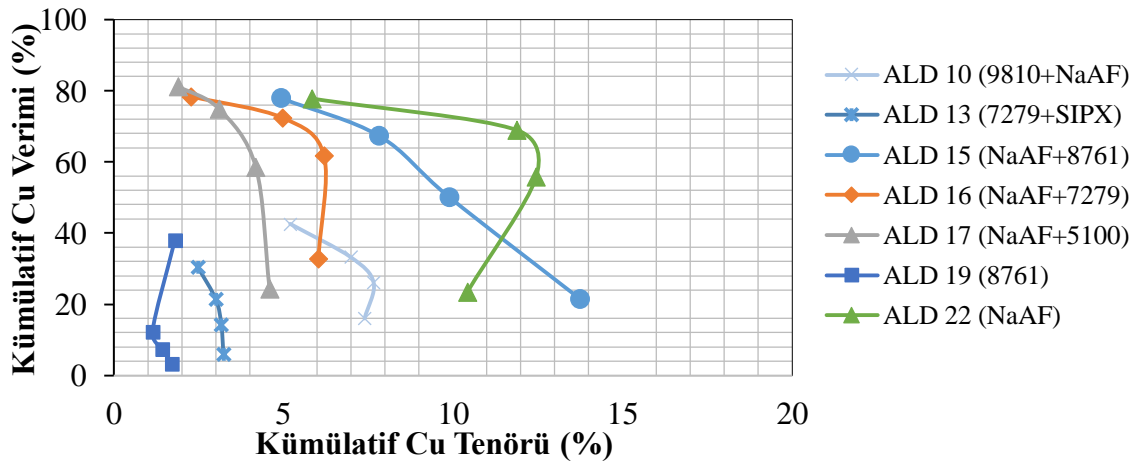
Şekil 7.15. Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi

Farklı toplayıcı koşullarında Cu verimi ile Pb verimi arasındaki ilişki Şekil 7.16’da verilmiştir. Şekil 7.16’ya göre en yüksek Cu verimi NaAF+5100 ve NaAF+7279 toplayıcı karışımlarında elde edilmiştir. Bu deneylerde aynı zamanda en yüksek Pb veriminin elde edildiği de görülmektedir. Bu da bu koşullarda Cu verimini yüksek olduğunu ancak Cu devresine Pb’nin kaçtığını göstermiştir. % 77.89 verimle NaAF+8761 ve % 77.82 verimle NaAF toplayıcı karışımında en düşük Pb verimi elde edilerek en seçimli flotasyon bu toplayıcı karışımlarında elde edilmiştir.



Şekil 7.16. Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi

Farklı toplayıcılar için bakır verim-tenör ilişkisi Şekil 7.17’de verilmiştir. Şekil 7.17’de görüldüğü gibi en yüksek tenöre NaAF ve NaAF+8761 toplayıcı karışımında elde edilmiştir. Bu toplayıcı ile ilk alınan konsantrenin tenörünün 2 ve 3. konsantreye göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun cevherdeki kilden kaynaklandığı düşünülebilir. İlk eklenen toplayıcı dozajında şlam kaplaması nedeniyle kilin sülfürlü minerallerin yüzeyine kaplanarak flotasyonu engellediği düşünülmektedir. Bu da flotasyon hızını düşürmekte ve ilk konsantrenin daha kirli gelmesine sebep olmaktadır. Daha sonra alınan konsantrelerin tenörünün arttığı ve %12.45 Cu tenörüne ulaştığı görülmüştür. 3 dakikada sonunda, reaktif eklendiği zaman beklendiği gibi Cu verimi % 68.96’dan %77.82’ye yükselmiştir. Ancak tenörün % 5.84’e düştüğü görülmüştür. En düşük tenör-verim değerleri ise Aero 8761 toplayıcının olduğu koşullarda elde edilmiştir. Cu verim ve seçimlilik açısından, NaAF ve NaAF+8761 seçilebilir toplayıcı karışımlarıdır.



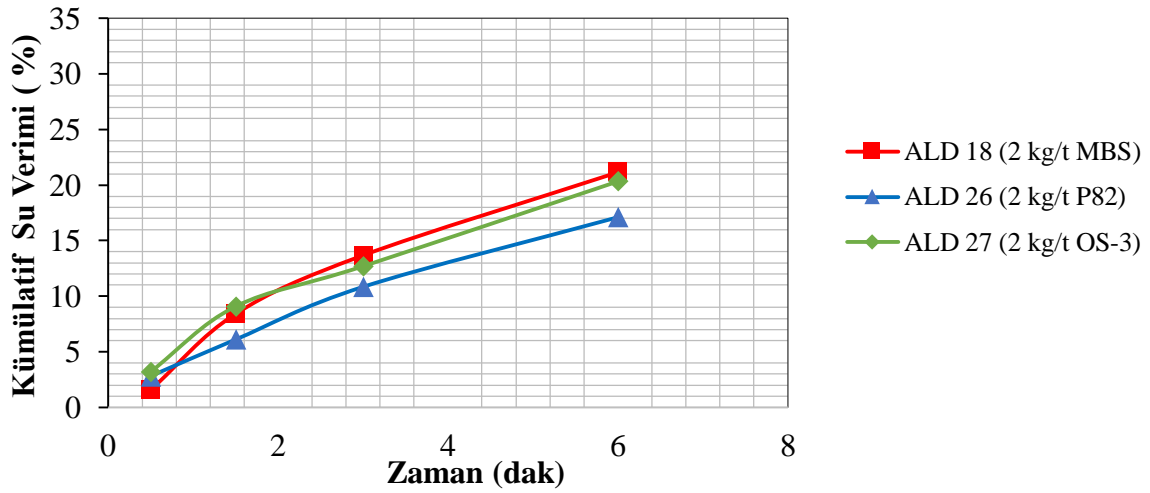
Şekil 7.17. Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi

7.4. Bastırıcının Etkisi

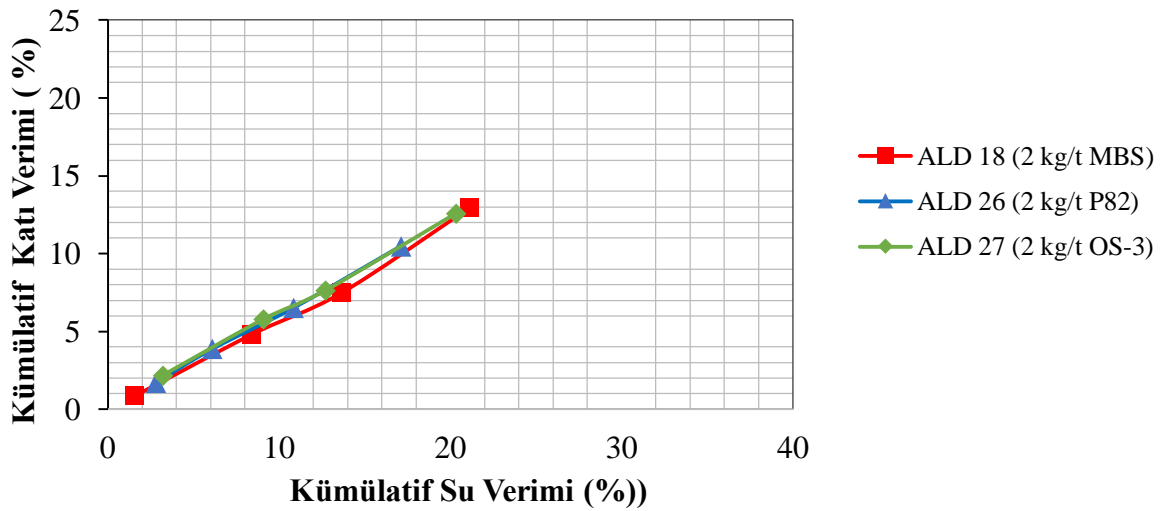
Bakır devresinin seçimli flotasyonunda bastırıcı çok önemlidir. Deneyde üç farklı bastırıcı denenmiştir. Flotasyon deneyleri kil atımı olmadan 40 gr/t NaAF+8761 toplayıcı karışımında yapılmıştır.

7.4.1. Bastırıcıların Köpük Fazına Etkisi

Şekil 7.18’de farklı bastırıcı koşullarında flotasyon süresine göre kümülatif su verimi verilmiştir.



Şekil 7.18. Farklı Bastırıcı Koşullarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi

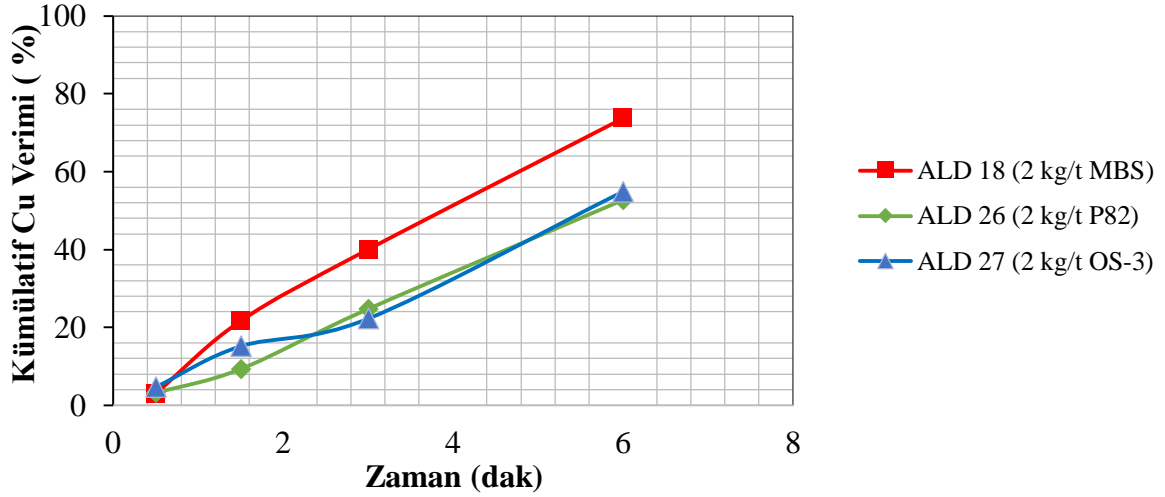


Şekil 7.19. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Su Verimine Karşı Kümülatif Katı Verimi

Farklı bastırıcı koşullarında kümülatif su verimine karşı kümülatif katı verimi Şekil 7.19’da verilmiştir. Bütün bastırıcıların sonuçlarının neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

7.4.2. Bastırıcıların Verime Etkisi

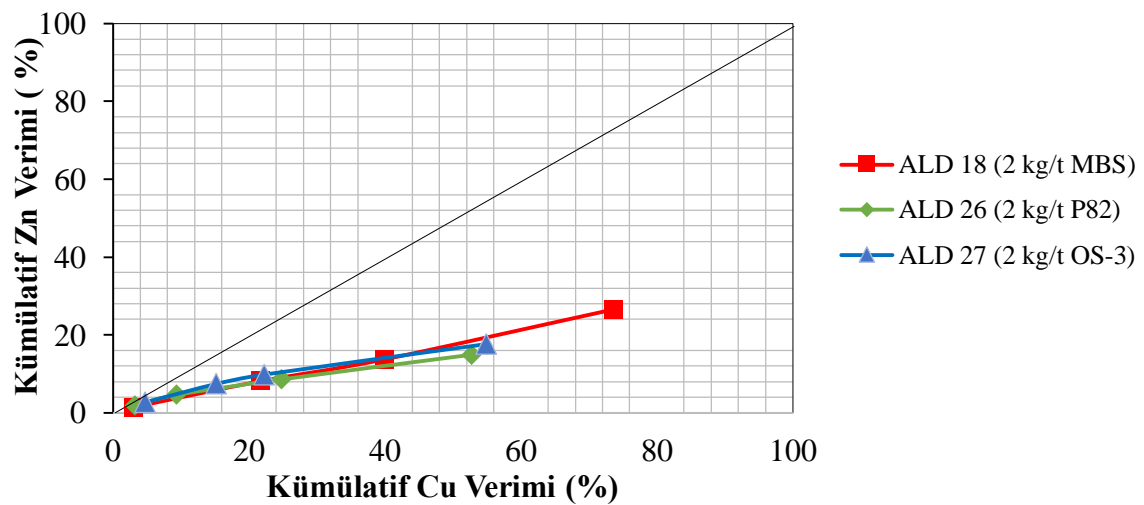
Farklı bastırıcı koşullarında flotasyon süresi ile Cu verimi Şekil 7.20’de verilmiştir. Şekil 7.20’ye göre en yüksek Cu verimi % 73.70 ile ALD 18 kodlu 2 kg/t MBS ile elde edilmiştir. ALD 26 (2 kg/t P82) ve ALD 27 (2 kg/t OS-3) kodlu deneylerde ise en düşük Cu verimi elde edilmiştir. MBS ile karşılaştırıldığında, P82 ve OS-3 bastırıcıların Cu verimini olumsuz etkilediği görülmüştür.



Şekil 7.20. Farklı Bastırıcı Koşullarında Zamana Karşı Cu Verimi

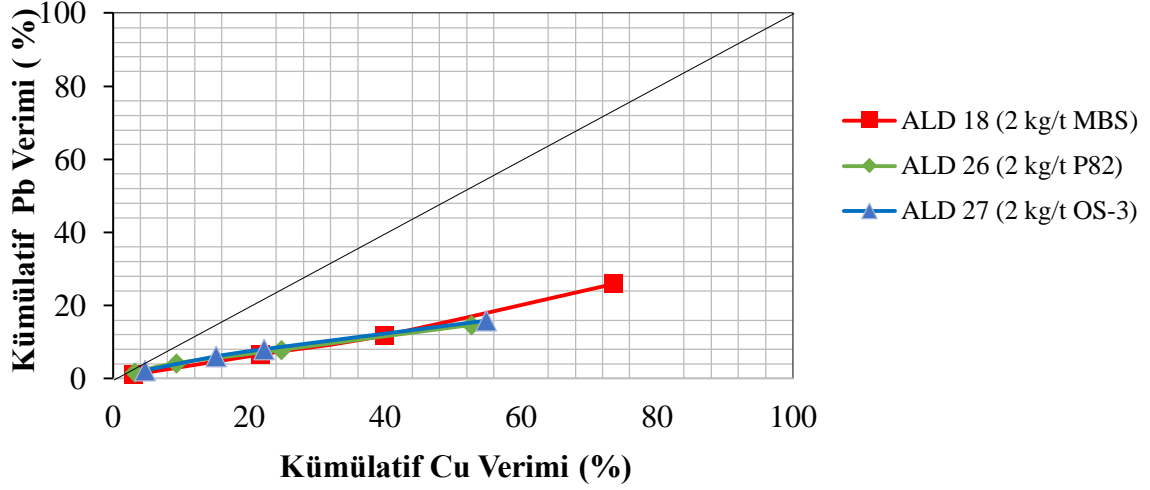
7.4.3. Bastırıcıların Seçimliliğe Etkisi

Farklı bastırıcı koşullarında kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Zn verimi Şekil 7.21’de verilmiştir.



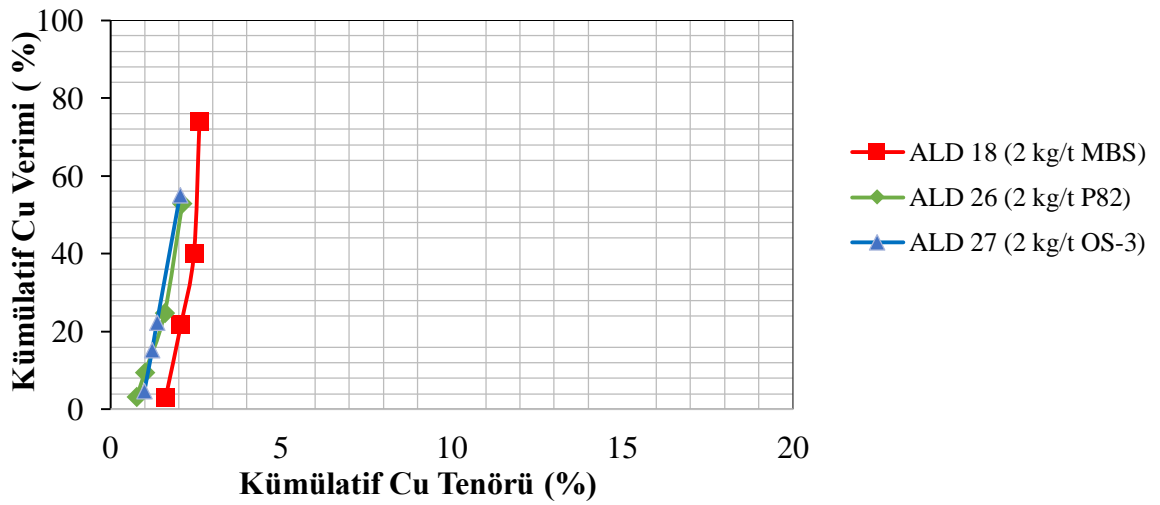
Şekil 7.21. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi

Şekil 7.22’de farklı bastırıcı koşullarında kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Pb verimi verilmiştir. Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’ye baktığımızda seçimlilik açısından sonuçların aynı olduğu görülmektedir ancak P82 ve OS-3 bastırıcılarının, Cu verimi üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7.22. Farklı Bastırıcı Koşullarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi

Kümülatif Cu tenörüne karşı kümülatif Cu verimi Şekil 7.23’te verilmiştir. Şekil 7.23 verim-tenör grafiğine bakıldığında en yüksek % 70.73 Cu verimi ve % 2.61 Cu tenörü ALD 18 kodlu 2 kg/t MBS toplayıcı ile elde edilmiştir. Diğer iki bastırıcıya baktığımızda Cu veriminin % 50’lerde kalmaktadır. Seçimlilik açısından sonuçların aynı olduğu ancak P82 ve OS-3 bastırıcılarının Cu verimini olumsuz etkilediği görülmektedir.



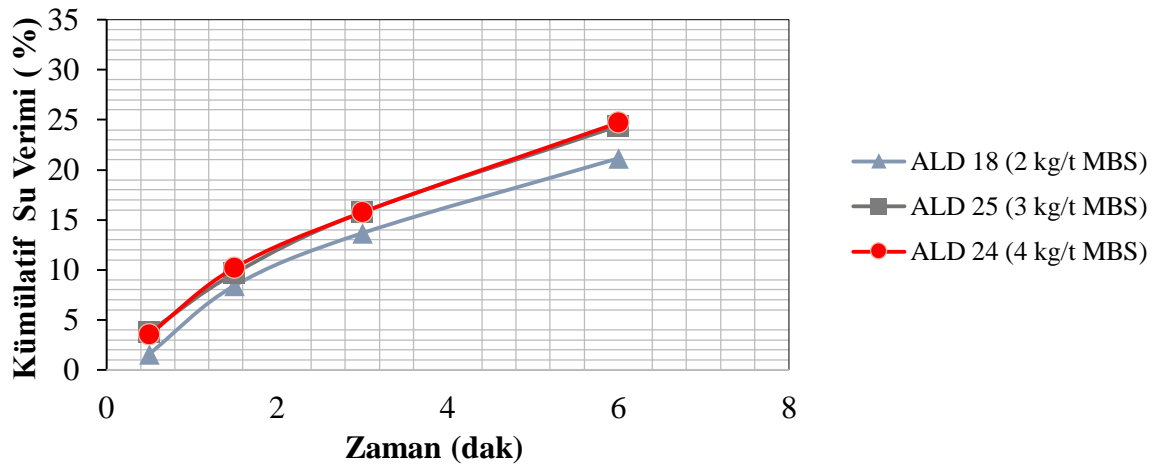
Şekil 7.23. Kümülatif Cu Tenörüne Karşı Kümülatif Cu Verimi

7.5. Bastırıcı Dozajının Etkisi

Bakırın seçimli flotasyonunda, 2 kg/t MBS ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), 2 kg/t P82 ve 2 kg/t OS-3 bastırıcıları denenmiştir ve en yüksek verim ile en yüksek seçimliliğin 2 kg/t MBS ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in etkisini anlamak için farklı dozajlarda (2 kg/t, 3 kg/t ve 4 kg/t $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) kil atımı olmadan NaAF+8761 toplayıcı karışımı ile flotasyon deneyleri yapılmıştır.

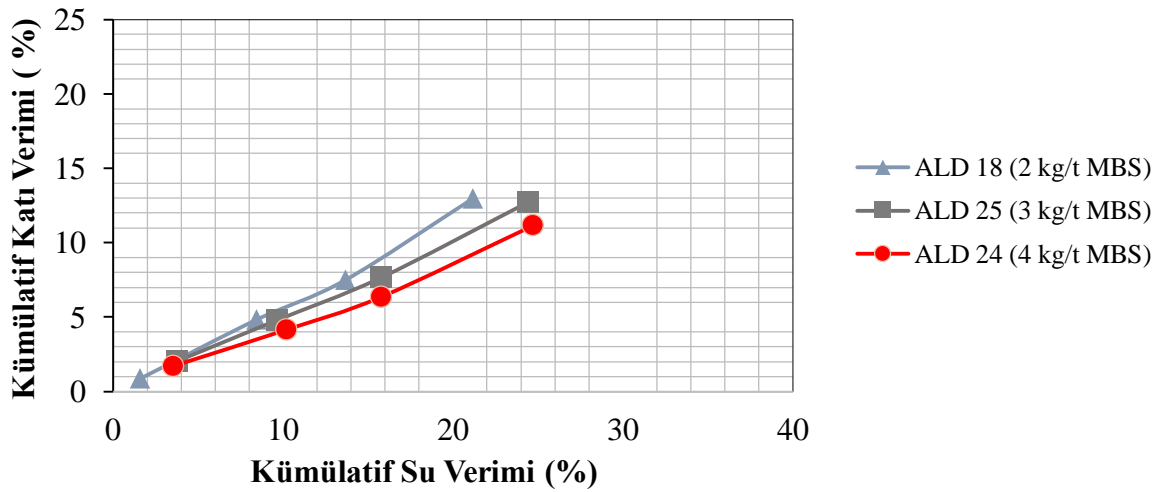
7.5.1. Bastırıcı Dozajının Köpük Fazına Etkisi

Farklı bastırıcı dozajlarında zamana karşı kümülatif su verimi Şekil 7.24'te verilmiştir.



Şekil 7.24. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Zamana Karşı Kümülatif Su Verimi

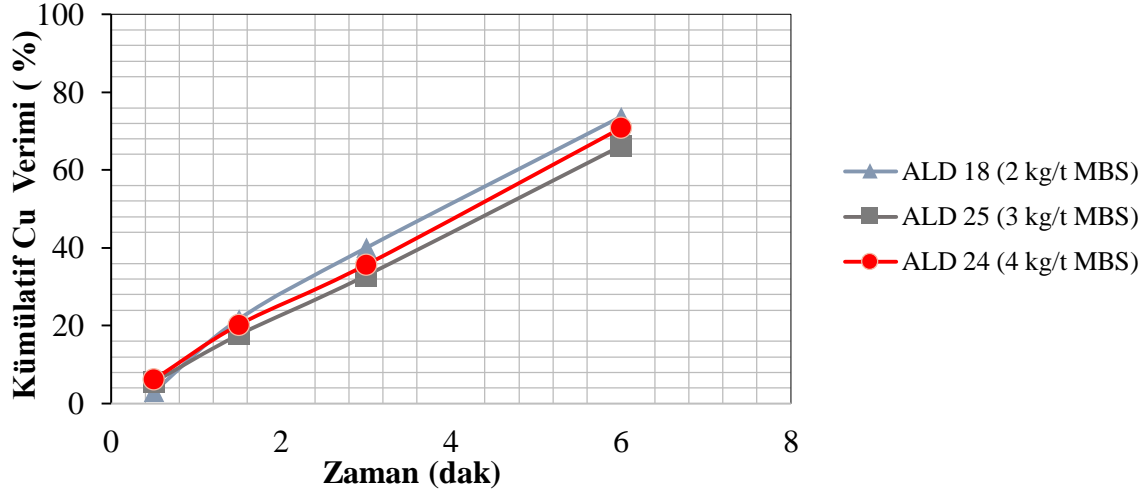
Şekil 7.25'te Farklı bastırıcı dozajlarında kümülatif su verimine karşı kümülatif katı verimi verilmiştir.



Şekil 7.25. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Su Verimine Karşı Kümülatif Katı Verimi

7.5.2. Bastırıcı Dozajının Verime Etkisi

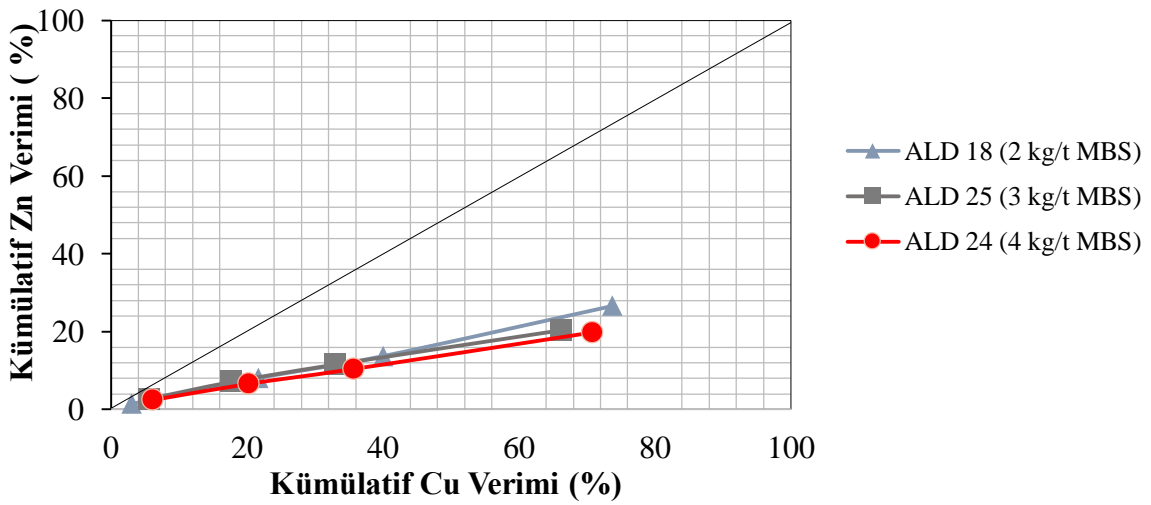
Farklı bastırıcı dozajlarında flotasyon süresine karşı Cu verimi Şekil 7.26'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi MBS dozajının çok önemli olmadığı sonucuna varılmıştır.



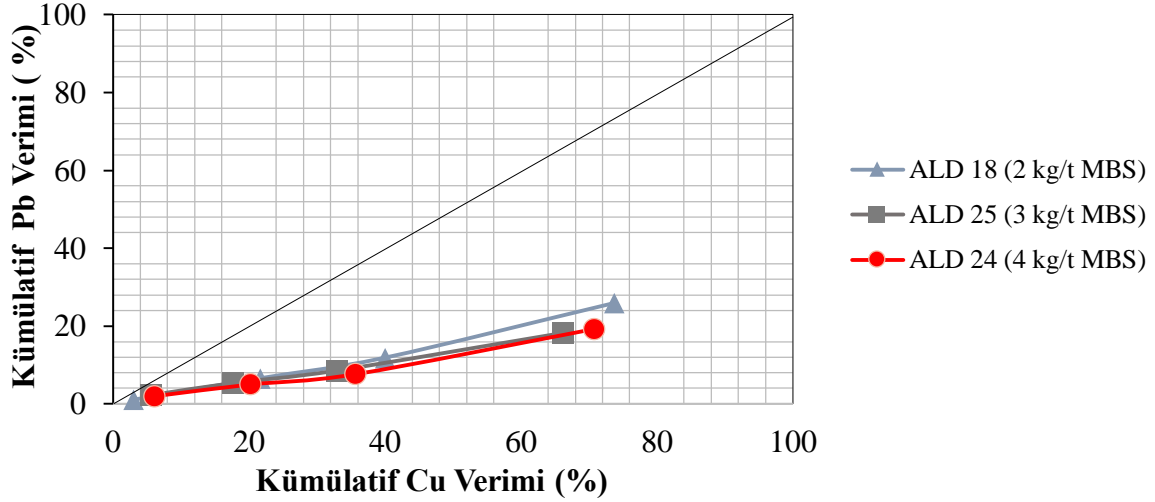
Şekil 7.26. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Zamana Karşı Cu Verimi

7.5.3. Bastırıcı Dozajının Seçimliliğe Etkisi

Farklı bastırıcı dozajlarında kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Zn verimi Şekil 7.27'de ve Şekil 7.28'de farklı bastırıcı dozajlarında kümülatif Cu verimine karşı kümülatif Pb verimi verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında MBS dozajının Pb ve Zn üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Optimum olarak 3 kg/t MBS dozajı uygun bulunmuştur.



Şekil 7.27. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Zn Verimi

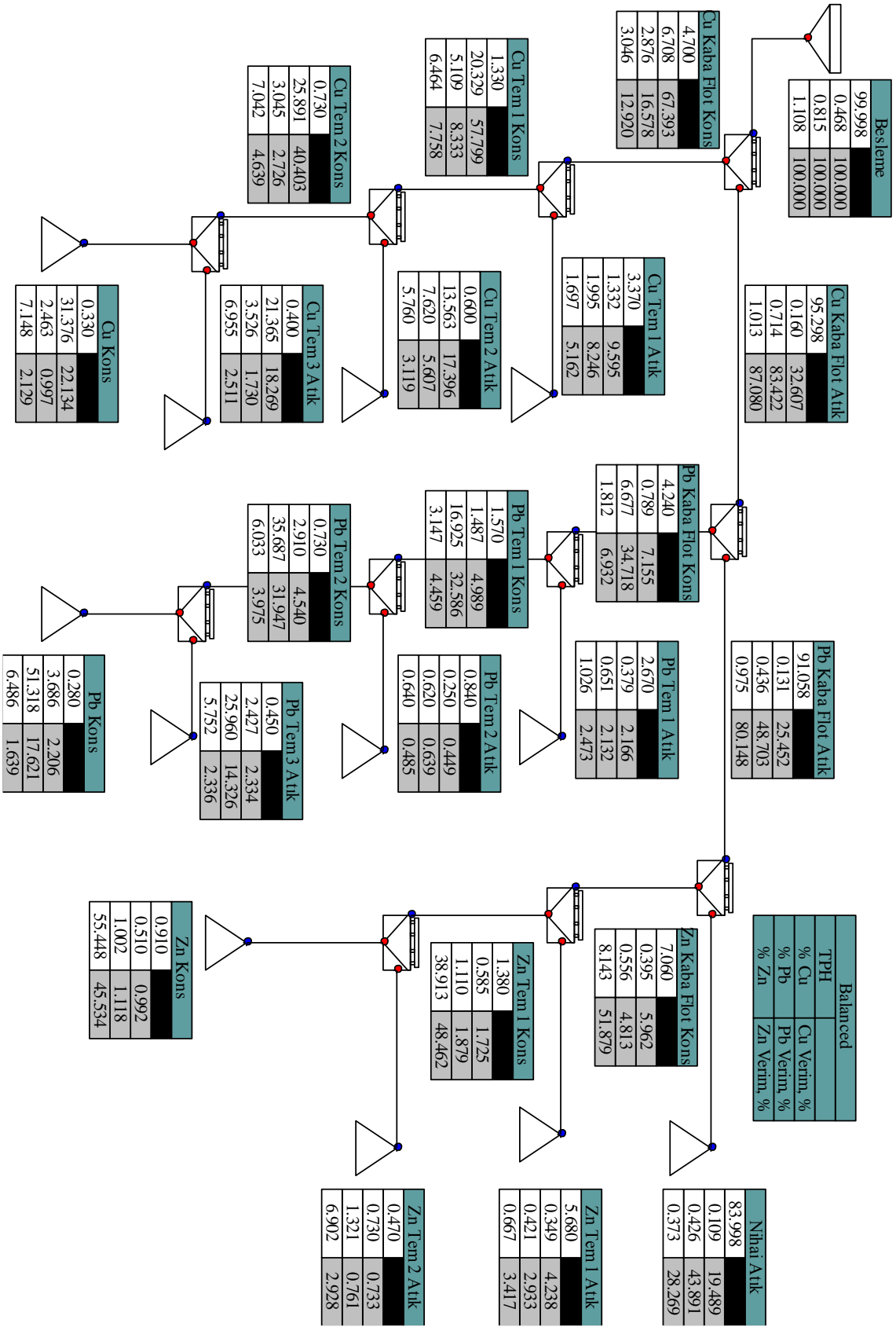


Şekil 7.28. Farklı Bastırıcı Dozajlarında Kümülatif Cu Verimine Karşı Kümülatif Pb Verimi

7.6. Açık Devre Temizleme Flotasyonları

Yapılan deneyler sonucunda Cu devresi için verim ve seçimlilik açısından en iyi sonucu NaAF+8761 karışımının verdiği görülmüştür. Bu toplayıcı karışımı kullanıldığında kaba flotasyon sonrası temizleme devrelerindeki prosese etkisini incelemek amacıyla kil atımı yapılarak temizleme testleri yapılmıştır. Seçimli Cu-Pb-Zn flotasyonu kütle denkliği sonuçları Şekil 7.29'da verilmiştir.

Bakır devresinde; galen, sfalerit ve piritin bastırılması için 3 kg/t MBS ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) kullanılması uygun bulunmuştur. Kaba Cu flotasyonunda % 67.4 bakır verimi elde edilmiştir. Cu devresi için 3 kademe temizleme yapılmıştır ve % 31.34 Cu tenörü elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada Pb devresi için Na_2CO_3 ile pH 9'a ayarlanmış, toplayıcı olarak Aero 3418A kullanılmış ve üç kademe temizleme yapılmıştır. Pb konsantrisinin tenörü % 51.28'e yükselmiştir. Ancak Pb verimi % 17.62'de kalmıştır. Zn devresinde kireç ile pH 10.5'e çıkartılmış ve 400 gr/t CuSO_4 ile 5 dakika koşullandırarak sfalerit canlandırılmıştır. Toplayıcı olarak Zn devresinde toplayıcı olarak Aero 7279 kullanılmıştır. Piritin bastırılması için temizleme aşamalarında pH 11.5'te tutulmuştur. Temizleme sonucunda % 55.45 tenörlü Zn konsantrisi ve % 45.53 Zn verimi elde edilmiştir.



Şekil 7.29. Seçimli Cu-Pb-Zn Flotasyonu

8 TARTIŞMA

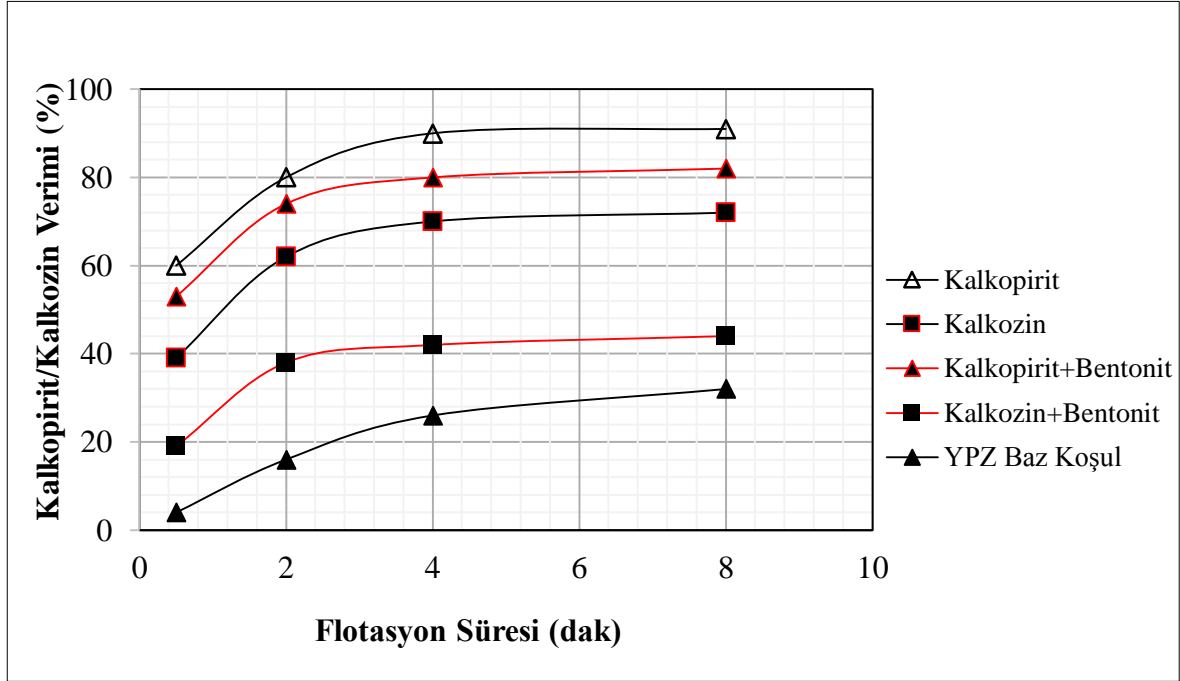
Bu tez kapsamında çalışılan Yenipazar cevheri, kalkopirit (CuFeS_2), ikincil bakır mineralleri olarak kovelin (CuS) ve kalkozin (Cu_2S), sfalerit (ZnS), galen (PbS) ve pirit (FeS_2) ve yüksek oranda kil ve mika minerallerini içermektedir. %80 -75 mikron tane boyu elde edebilmek amacıyla, flotasyon devresine beslenen cevher için gerekli öğütme süresinin 30 dakika olmasına karar verilmiştir. Farklı toplayıcı türleri, farklı bastırıcı türleri ve dozajları ile kil atımlı ve kil atımsız koşullarda flotasyon testleri yapılmıştır.

Yataktan elde edilen karot numuneleri kullanılarak flotasyon yöntemi ile cevherin zenginleşebilirliğini belirlemede oksidasyon derecesinin önemi çok büyüktür. EDTA testi yapılarak numunenin ne kadar oksitli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca EDTA ile cevher içerisindeki bakır minerallerinin yüzey oksidasyonu tespit edilebilmiştir. İkincil bakır minerallerinin varlığının, bakır flotasyon devresinde flotasyon performansını (verim, seçicilik) önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Cevherin oluşum sırasında veya sonrasında meydana gelen oksitlenme derecesinin, mineral yüzeyinin flotasyon işlemindeki tepkisini belirlemede kesin bir etkisi vardır. Oksitlenmiş yüzey flotasyon reaktiflerine cevap vermeyebilir. Bundan başka Cu^{+2} ve Pb^{+2} gibi oksidasyon ürünü iyonların bakır sülfür ve sfalerit arasındaki seçiciliği de olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Genel olarak kalkopiritin oksidasyonu yavaş gerçekleşir. Araştırmalar, cevherin oksijenle temizlenmesi sonucunda bile az miktarda bakır iyonunun çözüldüğünü göstermiştir [27,28]. İkincil bakır sülfürlerinin oksidasyonu kalkopiritten daha hızlıdır. Lascelles ve Finch [28] EDTA ekstraksiyon yoluyla, kalkozinin, kalkopiritten 50 kat daha fazla bakır iyonu çözüldüğünü bulmuşlardır.

Şekil 8.1’de oksitlenme koşulları altında ve kilin olması durumunda kalkozin ve kalkopiritin verimleri verilmiştir. Yapılan çalışmaya [34] göre kalkopirit ile kalkozini kıyasladığımızda ikincil bakır minerali olan kalkozinin daha çok oksitlendiği ve veriminin kalkopirite göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca killi olması durumunda ikincil bakır minerali kalkozinin daha çok etkilendiği, verimin % 45’lere kadar düştüğü görülmektedir. Kalkopiritin kalkozin kadar hızlı oksitlenmediği ancak kalkopiritin de kil ile birlikte baktığımızda flotasyonunun olumsuz etkilendiği görülmüştür [35]. Bu tez için deneysel çalışmalarda kullanılan bakırca zengin Yenipazar cevherinin yapılan EDTA testi sonucunda Es_{Cu} değerinin yaklaşık olarak 143 mg/g olduğu görülmüştür. Cevherin ikincil bakır mineralleri olarak zengin olduğu ve yüzey oksidasyon derecesinin sülfürlü cevher zonundan

çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 8.1’de verilen baz koşul, yenipazar cevherinin bakırca zengin zonunun flotasyon süresine bağlı Cu verimini göstermektedir. Şekil 8.1’e baktığımızda bu zondaki cevher içindeki ikincil bakır minerallerinin ve kilin flotasyonu olumsuz etkilediği ve verimin % 35’lerde kaldığı görülmektedir.

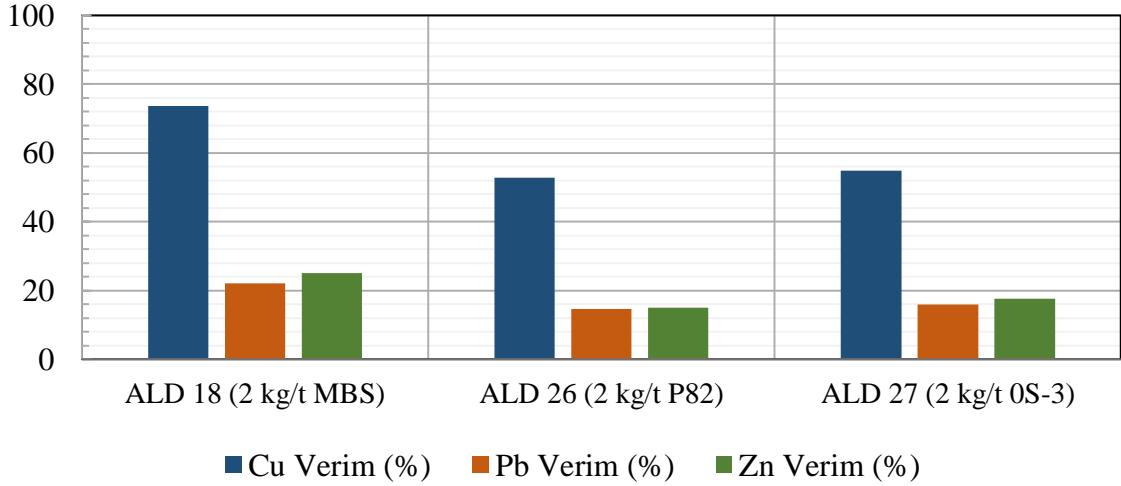


Şekil 8.1. Oksitlenme Koşulları Altında ve Kilin Olması Durumunda Kalkozin ve Kalkopiritin Verimleri [35]

Bu tez çalışmasında kilin etkisi incelendiğinde, kilin sülfürlü minerallerin yüzeylerine fiziksel olarak çökerek tanenin yüzeyini kaplamakta ve yüzmelerine engel olduğu düşünülmektedir. Hava kabarcıklarını kaplayarak yüzebilecek tanelerin kabarcığa yapışmalarını engellediği ve flotasyon kinetiğini azalttığı görülmüştür. Bunun etkisini azaltmak amacıyla flotasyonda kili uzaklaştırmak için kil atımı yapılmıştır. Kil atımlı ve kil atımsız sonuçları kıyasladığımızda kil atımlı koşullarda flotasyon kinetiğinin ve Cu veriminin yüksek olduğu görülmüştür.

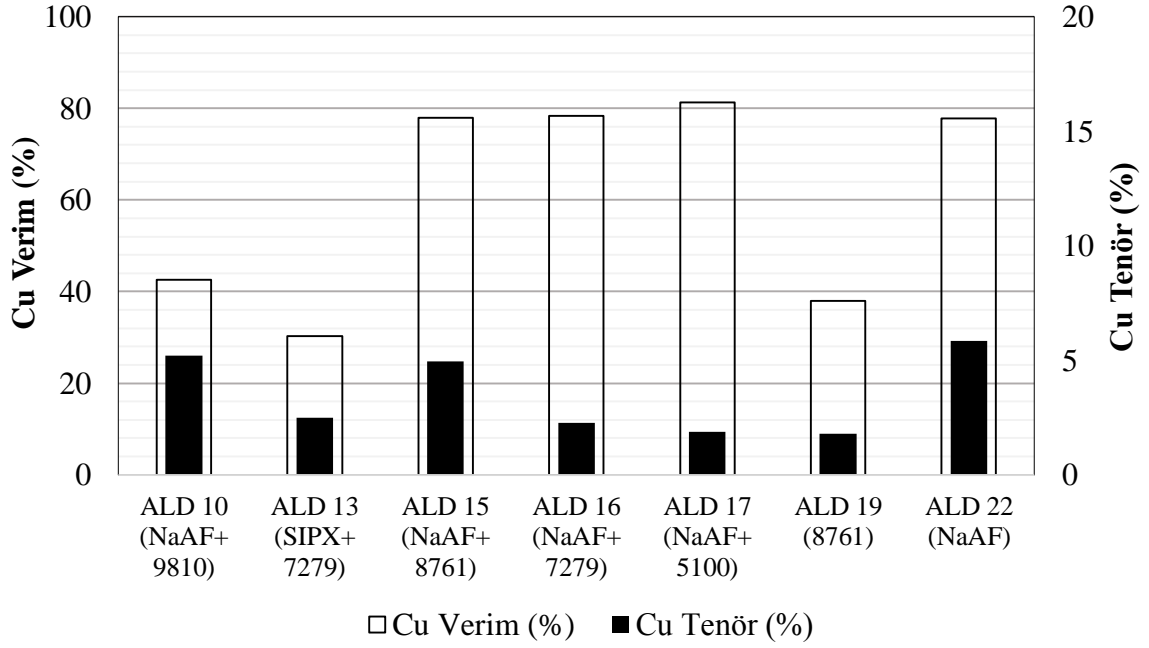
Kilin bu olumsuz etkisini gidermek için kil atımlı testler yapılmıştır. Yöntem olarak sülfürlü koşullara uygulanan koşullar uygulanmıştır. Na_2S yüzey oksidasyonunu belli oranda azaltmak ve aktivasyonu engellemek için kullanılmıştır. Kil atımlı ve kil atımsız koşullarda Na-silikat standart olarak kullanılmıştır. Kilin etkisini görmek için de testler yapılmıştır ve kilin flotasyona büyük oranda olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Kilin bu olumsuz etkisinin gidermek için farklı türde bastırıcılar kullanılmıştır.

P82 ve OS-3 ve MBS (Sodyummetabisülfid) bastırıcıları denenmiştir. Bu bastırıcıların, aktive olmuş sfaleritin ve demir sülfürlerin bastırılmasında iyi sonuç vermesinden dolayı kullanılmasına karar verilmiştir [8]. Kullanılan P82, OS-3 ve MBS (Sodyummetabisülfid) bastırıcıları arasından çalışılan cevher için $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (Sodyummetabisülfid)'in en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Sülfürlü cevher ile yapılan testler için de en iyi sonuçların, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ bastırıcısının kullanıldığı deneyler olduğu görülmüştür [36]. Seçimlilik açısından bu bastırıcılar arasında pek fark olmadığı ve aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Ancak Cu verimi olarak baktığımızda, P82 ve OS-3 bastırıcılarının Cu verimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu yüzden bu bastırıcılar tercih edilmemiştir. Şekil 8.2'de kullanılan bastırıcıların Cu-Pb-Zn verimlerine etkisi verilmektedir.



Şekil 8.2. Farklı Bastırıcı Koşulları Altında Cu-Pb-Zn Verimleri

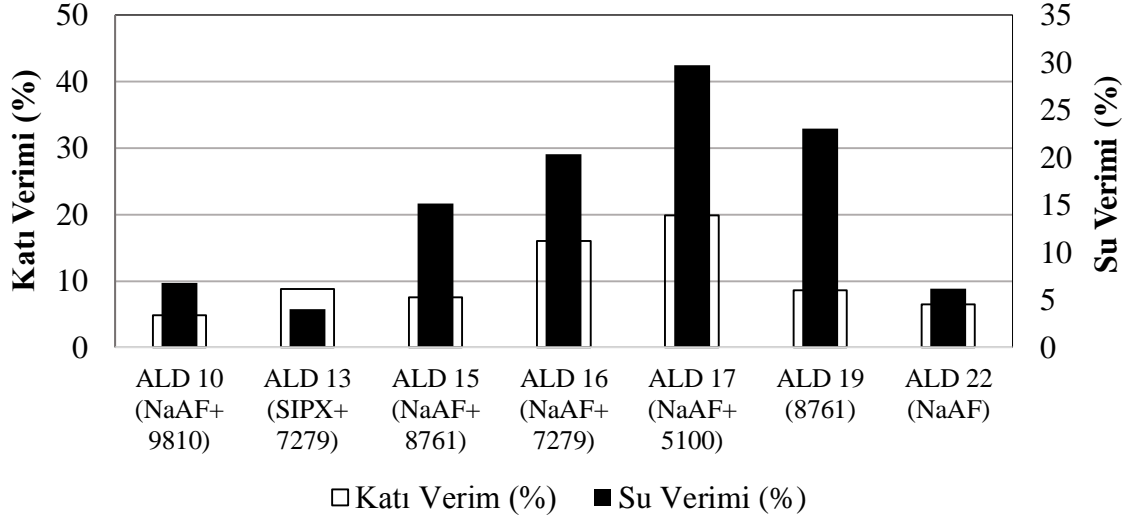
Verim ve seçimliliği arttırmak için farklı türde ditiyofosfat, tiyonokarbamat, monotiyofofosfat ve ksantat türü toplayıcılar denenmiştir. Şekil 8.3'te farklı toplayıcı koşulları altında Cu verim-tenör ilişkisi verilmiştir. Seçilen toplayıcılar arasında NaAF+5100 kullanımında % 81.28 ile en yüksek Cu veriminin ve NaAF+7279 kullanımında ise % 78.41 ile en yüksek Cu veriminin elde edildiği görülmüştür. Tiyonokarbamat türü olan Aero 5100 güçlü bir toplayıcı olmasından dolayı piriti de toplama özelliğine sahiptir.



Şekil 8.3. Farklı Toplayıcı Koşulları Altında Cu Verim-Tenör İlişkisi

Bu sonuçlara göre NaAF+5100 toplayıcı karışımında köpük yapısının daha akışkan olduğu ve entrainment (su ile taşınma) mekanizması ile konsantrenin veriminin yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 8.4 Katı-su verim ilişkisine baktığımızda, malzemenin daha çok su ile geldiği görülmektedir. Şekil 7.14'e baktığımızda ise NaAF+5100 toplayıcı karışımında %56.02 ile en yüksek Fe verimi elde edilmiştir. NaAF+7279 toplayıcı karışımında da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu toplayıcı karışımlarının kuvvetli ancak seçimli bir toplayıcı olmadığını göstermiştir.

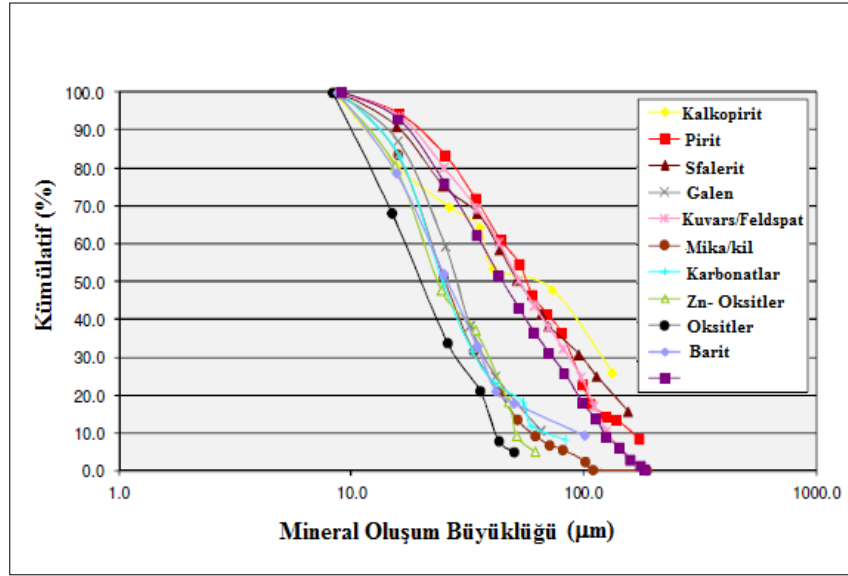
Ancak NaAF ve NaAF+8761 toplayıcı karışımında en düşük Fe verimi elde edildiği görülmüştür. Bu toplayıcıların seçimliliklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda NaAF ve NaAF+8761 toplayıcı karışımlarının en iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. NaAF'in tek başına da aynı performansı verdiği görülmüştür ancak tez kapsamında sinerjik etkileşiminden dolayı NaAF+8761 toplayıcı karışımı seçilmiştir. NaAF toplayıcısının da test edilmesi önerilmektedir.



Şekil 8.4. Farklı Toplayıcı Koşulları Altında Katı- Su Verimi

Kil atımı yapılarak bu koşullarda temizleme flotasyonları yapılmıştır. Bakır kademesinde üç kademe temizleme sonunda %31.38 Cu tenörü elde edilmiştir. Ancak bakır minerallerinin Cu aktivasyonu ve toplayıcı kullanılmasına rağmen, bakırın % 19.49'u atıkta kalmaktadır. Bunun ikincil bakır minerallerin yüksek hızda oksitlenmesinden ve bakır minerallerinin silikatlar ya da pirit içerisinde serbestleşmemesinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu gibi kompleks cevherlerde seçimliliği ve verimi aynı anda en yüksek seviyede tutmak kolay olmamaktadır. Kuvvetli ve seçimli olmayan toplayıcı kullanılmadığı için bazen Cu veriminden ödün vermek zorunda kalınmaktadır. Ancak tenör değerine baktığımızda herhangi bir sorunun olmadığı görülmüştür.

Kurşun devresinde üç kademe temizleme sonucunda % 51.32 Pb tenörüne ulaşılmıştır. Tenörünün %51.32'de kalmasının nedeni yüzdürmek için yeterli malzemenin kalmayıp kaynaklanmaktadır. Laboratuvar ölçekli flotasyon testi için çok az malzeme kalması sebebiyle bir kademe daha devam edilememiştir. Bir kademe daha devam edilmesi durumunda yüzdürülerek istenen tenör değerlerine yükseltilebilir. Nihai atıkta kurşunun % 43.9'unun kaldığı görülmektedir. Bu da kurşunun silikatlar içinde olduğunu ve oksitlenmiş kurşun minerallerinin de olma ihtimalini göstermektedir. Ayrıca Şekil 8.5'te galenin mineral oluşum büyüklüğüne baktığımızda, (D₅₀) 29 µm olduğu görülmektedir. Bu da öğütme aşamasında şlam boyutuna kaçması sonucunda flotasyonu olumsuz etkilemekte, verimin düşük olmasına ve atıkta kurşunun kalmasına neden olmaktadır. Bununla ilgili atık malzemesine detay çalışma mineralojik araştırmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 8.5. Sulfürlü ve Diğer Minerallerin Mineral Oluşum Büyüklüğü

Çinko kademesinde cevher içerisindeki çinko minerallerine baktığımızda beslemenin % 67.5'ini sfalerit, Zn-oksitler ise %32.5'ini oluşturmaktadır. İki kademe temizleme sonunda % 55.45 Zn tenörüne ulaşılmıştır. Ancak atığa baktığımızda, %28.27 Zn kaldığı görülmüştür. Bunun gahnit ($ZnAl_2O_4$) ve Zn/Fe oksit mineralinin olduğu düşünülmektedir ve bu mineralin flotasyonla kazanımı çok zordur [32].

için çok az malzeme kaldığı için bir kademe daha flotasyona devam edilememiştir. Bir kademe daha devam edilmesi durumunda istenen tenör değerlerine ulaşılabileceği düşünülmektedir. Çinko kademesinde % 55.45 Zn tenörüne ulaşılmıştır. Ancak atıkta % 28.27 Zn kaldığı görülmüştür. Bunun gahnit ve Zn/Fe oksit mineralinin olduğu düşünülmektedir ve bu mineralin flotasyonla kazanımı çok zordur.

Elde edilen sonuçlar; tenör değerlerinde herhangi bir sorunun olmadığını, satılabilir nitelikte Cu, Pb ve Zn değerlerine ulaşılabileceğini göstermiştir. Ancak atık malzemesine detaylı mineralojik araştırmaların yapılması gerektiği saptanmıştır. Pb ve Zn devresi için daha detaylı çalışma yapılacaktır. Ayrıca seçilen toplayıcılarda dozaj taraması ve flotasyon süresinin optimum koşulların sağlanması için test edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Jones, M.P., Applied Mineralogy, a Quantitative Approach (Graham and Trotman: London), **1987**.
- [2] Bicak, O, Ekmekci, Z., Prediction of Flotation Behavior of Sulphide Ores by Oxidation Index, Mineral Engineering, 36-38, 279-283, **2012**.
- [3] Grano, S.R., Ralston, J., Smart, R., Influence of Electrochemical Environment on the Flotation Behaviour of Mt. Isa Copper and Lead-Zinc Ore, *International Journal of Mineral Processing*, 30, 1-2, 137-150, **1990**.
- [4] Forssberg, K.S.E. (Ed.), Flotation of Sulphide Minerals. Elsevier, New York, **1985**.
- [5] Dobby, G.S., Rao, S.R. (Eds.), Processing of Complex Ore. CIM. Montreal, **1989**.
- [6] Bayraktar, L., Altun, Y., Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Özellikleri, Ekonomik Değeri ve Zenginleştirilmesi, Madencilik Dergisi, 35,11-21, **1996**.
- [7] Cebeci, Y., Kuvvetli, A.A., Özkan, A., Koyulhisar Pb-Cu-Zn Cevherinin Seçimli Flotasyonla Zenginleştirilmesinde Optimum Koşulların Belirlenmesi, Madencilik Dergisi, 37, 35- 43, **1998**.
- [8] Bulatovic, S.M., Handbook of Flotation Reagents, Elsevier Science & Technology Books, 5-40, **2007**.
- [9] Fuerstenau M.C., Jameson, G., Yoon, R., Froth Flotation, A Century of Innovation, SME, **2007**.
- [10] Arbiter, N., Flotation, In: SME Mineral Processing Handbook, SME&AIMM, 1, 5-43, **1985**.
- [11] Kohad, V.P., Froth Flotation: Recent Trends, Flotation of Sulphide Ores – HZL Experience, 18-41, **1998**.
- [12] Cilek E.C., The Effect Of Hydrodynamic Conditions on True Flotation and Entrainment in Flotation of A Complex Sulphide Ore, *International Journal of Mineral Processing*, 90, 35-44, **2009**.
- [13] Chandra, A.P., Gerson A.R., A Review of the Fundamental Studies of the Copper Activation Mechanisms for Selective Flotation of the Sulfide Minerals, Sphalerite and Pyrite, *Advances in Colloid and Interface Science* 145, 97–110, **2009**.
- [14] Wills, B. A. and Napier-Munn, T. J., *Mineral Processing Technology*, 7th Edition, Elsevier Science & Technology Books, 109-351, **2006**.
- [15] Booth, R.B., Freyberger, W.L., Froths and frothing agents. In Froth Flotation, 50th Anniversary Volume, Edited Fuerstenau, New York, **1962**.
- [16] Önal G., Ateşok, G., Perek K.T., Cevher Hazırlama El Kitabı, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı, **2014**.

- [17] Cytec, Mining Chemicals Handbook, **2002**.
- [18] Bağcı, E., Sülfürlü Minerallerin Flotasyonunda Toplayıcı Karışımlarının Sinerjik Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2006**.
- [19] Bulatovic, S., Wyslouzil, D.M., Selection and Evaluation of Different Depressant Systems for Flotation of Complex Sulphide Ores, *Minerals Engineering* 8 (1/2), 63-76, **1995**.
- [20] Atak S., Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, **1982**.
- [21] Hayes, R.A. ve Ralston, J., The Collectorless Flotation and Separation of Sulphide Minerals by Eh Control, *International Journal of Mineral Processing*, 23, 55-84, **1988**.
- [22] Peters, E., The Electrochemistry of Sulphide Minerals, Trends in Electrochem. (Ed. by J.O.M. Bockris, D.A.J. Rand and B.J. Welch), Plenum, 267-289, **1976**.
- [23] Ekmekçi, Z., Aslan A., Hassoy H., Effects of EDTA on Selective Flotation of..... Minerals, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 38, 79-94, **2004**.
- [24] Rumball, J.A., Richmond, G.D., Measurement of Oxidation in Base Metal Flotation Circuit by Selective Leaching with EDTA, *International Journal of Mineral Processing*, 48, 1-20, **1996**.
- [25] Senior, G.D., Trahar, W.J., The Influence of Metal Hydroxides and Collector on the Flotation of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, 33, 321-341, **1991**.
- [26] Sillitoe, R., Petersen, R., Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny, Littleton, CO, **1996**
- [27] Fairthorne, G., Fornasiero, D., Ralston, J., Effect of Oxidation on the Collectorless Flotation of Chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, 49, 31-48, **1996**.
- [28] Lascelles, D., Finch, J.A., Quantifying Accidental Activation, Part I. Cu Ion Production, *Mineral Processing*, 15(8), 567-571, **2002**.
- [29] Luttrell, G.H., Yoon, R.H., Surface Studies of the Collectorless Flotation of Chalcopyrite. *Colloids and Surfaces*, 12, 239-254, **1984**.
- [30] Aslan, A., Subvolkanik Kompleks Polimetallik Sülfürlü Cevherlerde Birincil Şlam ve Kilin Özellikleri ve Flotasyon Seçimliliğine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1996**.
- [31] Parsonage, P., Effect of Slime and Colloidal Particles on the flotation of galena in Flotation of Sulphide Minerals, Elsevier, 11, 139, **1985**.

- [32] SGS Mineral Services UK Ltd for Aldridge Minerals Inc., An Investigation by High Definition Mineralogy Into the Mineralogical Characteristics of Five Samples From the Yenipazar Deposit, Turkey, **2013**.
- [33] SGS Mineral Services UK Ltd., Variability Study on Five Different Samples from Yenipazar Polymetallic Deposit, Turkey, **2013**.
- [34] Report 1. Characterization Of Yenipazar Ore By EDTA Extraction Method, Technical Reports, Hacettepe Mineral Technologies, **2014**.
- [35] Peng, Y., Zhao, S., The Effect of Surface Oxidation of Copper Sulfide Minerals on Clay Slime Coating in Flotation, *Minerals Engineering*, 24, 1687-1693, **2011**.
- [36] Ekmekçi Z., Can, N.M., Bıçak, Ö., Öztürk, Y., Sezer, N., Genç, Y., Flotation of Yenipazar Au-Ag-Cu-Pb-Zn Complex Ore prepared for Aldridge Minerals Inc, **2010**.

EKLER

TEST	ALD 6	Şlam atımı yok		Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	
Öğütme süresi	30 dak	P80:	75 µm	%katı	30-35		Hız	650 rpm	
Koşullar									
	ZnSO ₄	MBS	Na-silikat	Na-Aerofloat	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH
Öğütme	3000 kg/t	4000 kg/t	1000 kg/t						6.98
Ön havalandırma							10		6.5
Koşullandırma 3				20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		
C1								0.5	
C2								1.5	
C3								3	
Koşullandırma 4				10 g/t	10 g/t		2	6	
C4									

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. su %
Besleme					60.7	4285.71		
C1	163.3	534.7	482.3	233.2	16.7	0.8	0.02	0.02
C2	162.2	555.8	500.6	263.7	22.2	24.1	0.56	0.58
C3	166.3	601.8	522.9	283.9	19.4	19.3	0.45	1.03
C4	166.8	470.2	344.3	491.8	67.9	131.2	3.06	4.09

	Tenörler						Verimler %			
	W (gr)	W (%)	Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	16.7	0.89	0.96	33.31	2.11	3.09	1.71	5.35	1.93	2.94
C2	22.2	1.18	2.05	28.79	4.11	4.68	4.86	6.15	5.01	5.92
C3	19.4	1.04	3.67	25.34	5.96	5.32	7.60	4.73	6.35	5.87
C4	67.9	3.62	3.22	16.63	4.59	3.92	23.37	10.86	17.11	15.14
Atık	1747.6	93.27	0.33	4.34	0.73	0.70	62.46	72.91	69.60	70.13
Besleme (Hesaplanan)	1873.8	100.00	0.49	4.54	0.97	0.89	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.50	5.55	0.97	0.94				

TEST	ALD 7	Şlam atımı var			Besleme	2 kg		Hücre	5 lt
Öğütme süresi	30 dak	P80:	75 µm	%katı	30-35		Hız	750 rpm	
Koşullar									
	ZnSO ₄	Na ₂ S	MBS	Na-Aerofloat	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH
Öğütme	2 kg/t	1kg/t							8
Koşullandırma 1		200 gr/t					5		7.8
Ön havalandırma	2 kg/t		2 kg/t				5		6.77
Koşullandırma 3				20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1	0.5	
C1								1.5	
C2								3	
C3							2	6	
Koşullandırma 4				10 g/t	10 g/t				
C4									6.9

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. su %
Besleme					75.3	4285.71		
C1	166.9	607.3	573.6	330.8	61.4	68.8	1.61	1.61
C2	167	616.9	574.8	269.4	18	42.3	0.99	2.59
C3	166.2	552.5	507	297.2	13.8	71.7	1.67	4.27
C4	166.9	582.7	455.3	565.7	83.1	188.3	4.39	8.66

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	61.4	3.73	4.03	38.94	1.73	2.34	28.42	17.27	6.49	8.65
C2	18	1.09	7.16	31.09	5.60	5.14	14.78	4.04	6.17	5.57
C3	13.8	0.84	6.02	19.36	9.96	6.14	9.54	1.93	8.41	5.10
C4	83.1	5.05	1.04	33.91	5.45	4.17	9.96	20.35	27.70	20.88
Atık	1470.2	89.29	0.22	5.31	0.57	0.67	37.31	56.41	51.24	59.79
Besleme (Hesaplanan)	1646.5	100.00	0.53	8.41	0.99	1.01	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.55	8.30	1.09	1.01				

TEST	ALD 8	Şlam atımı var		Besleme	2 kg		Hücre	5 lt		
Öğütme süresi	30 dak	P80:	75 µm	%katı	30-35		Hız	750 rpm		
Koşullar										
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.95
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.99
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		6.95
C1									0.5	
C2									1.5	
C3									3	
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2	6	
C4										6.93

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. su %
Besleme					115.5	4285.71		
C1	166.9	593.2	559.1	285.3	29.9	54.4	1.27	1.27
C2	167	589.8	550.6	316.1	39.2	70.7	1.65	2.92
C3	166.2	574.4	524.4	315.3	24	75.1	1.75	4.67
C4	166.9	608.5	541.4	411.3	58.7	118.6	2.77	7.44

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	29.9	1.75	2.86	38.76	1.65	2.29	10.70	9.48	2.60	3.87
C2	39.2	2.29	3.03	36.42	2.33	2.41	14.86	11.68	4.83	5.34
C3	24	1.40	4.89	28.20	4.70	3.76	14.71	5.54	5.95	5.10
C4	58.7	3.43	2.96	30.55	6.47	3.13	21.76	14.67	20.03	10.38
Atık	1560.1	91.13	0.19	4.59	0.81	0.85	37.97	58.63	66.60	75.31
Besleme (Hesaplanan)	1711.9	100.00	0.47	7.14	1.11	1.03	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.51	5.82	1.32	1.09				

TEST	ALD 9	Şlam atımı yok			Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	Hız	750 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.72	-297
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.88	-233
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.95	-251
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1			
C1									0.5		
C2									1.5		
C3								2	3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t			6		
C4										7.1	-155

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. su %
Besleme					55.3	4285.71		
C1	116.2	509.5	497.4	482.4	86.2	267.9	6.25	6.25
C2	115.4	541.1	502.9	284.9	28.8	102.5	2.39	8.64
C3	115.6	551.2	493	259.8	21.3	64.7	1.51	10.15
C4	115.7	535.4	477.1	814.5	174.3	466.2	10.88	21.03

	Tenörler						Verimler %			
	W (gr)	W (%)	Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	86.2	4.50	0.97	7.52	1.56	1.26	8.59	5.26	5.16	5.99
C2	28.8	1.50	2.44	17.42	2.57	2.56	7.23	4.07	2.84	4.08
C3	21.3	1.11	3.50	17.54	3.17	2.77	7.68	3.03	2.59	3.25
C4	174.3	9.10	1.93	18.11	2.98	1.81	34.61	25.63	19.97	17.40
Atk	1604.3	83.78	0.25	4.76	1.13	0.78	41.89	62.00	69.43	69.28
Besleme (Hesaplanan)	1914.9	100.00	0.51	6.43	1.36	0.95	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.52	6.24	1.40	0.90				

TEST	ALD 10	Şlam atımı var			Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	Hız	750 rpm
Öğütme süresi	30 dk				%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	9810	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.73	-358
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.92	-368
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.98	-407
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1			
C1									0.5		
C2									1.5		
C3									3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2	6		
C4										7.31	-393

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. su %
Besleme					165.1	4285.71		
C1	116.5	587.4	540.6	250.9	21	66.6	1.55	1.55
C2	115.9	539.7	463.8	248	12	44.2	1.03	2.59
C3	115.8	588.8	511.4	271.3	13.2	64.9	1.51	4.10
C4	115.7	575.2	394.3	446.9	33.3	117	2.73	6.83

	Tenörler						Verimler %			
	W (gr)	W (%)	Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	21	1.28	7.39	18.54	3.80	4.21	15.99	3.24	4.31	5.35
C2	12	0.73	8.13	16.19	6.06	5.20	10.05	1.62	3.92	3.78
C3	13.2	0.80	5.29	11.36	6.51	4.67	7.20	1.25	4.63	3.73
C4	33.3	2.03	2.73	13.48	10.66	4.33	9.35	3.74	19.15	8.73
Atık	1564.8	95.17	0.36	6.92	0.81	0.83	57.41	90.15	67.98	78.42
Besleme (Hesaplanan)	1644.3	100.00	0.59	7.30	1.13	1.01	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.58	7.16	1.05	0.92				

TEST	ALD 13	Şlam atımı var				Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	Hız	750 rpm
Öğütme Süresi	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	SIPX	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.82	-134	
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		8.02	-155	
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.85	-114	
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1				
C1									0.5			
C2									1.5			
C3								2	3			
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t			6			
C4										7.01	-87	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					44.1	4285.71		
C1	118.5	616.8	566.7	194.7	20.8	5.3	0.12	0.12
C2	117.1	613.6	563.1	226.5	29.6	29.3	0.68	0.81
C3	116	583.5	509.6	277.7	29.5	58.3	1.36	2.17
C4	116	580.9	530.1	305	57.2	81	1.89	4.06

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	20.8	1.33	3.23	36.84	1.80	1.29	5.99	6.23	2.33	1.56
C2	29.6	1.89	3.12	37.25	2.60	1.75	8.25	8.96	4.79	3.01
C3	29.5	1.88	2.73	30.61	3.53	2.58	7.17	7.34	6.49	4.43
C4	57.2	3.65	1.75	37.10	6.83	2.97	8.94	17.26	24.34	9.89
Atık	1428.6	91.24	0.55	5.18	0.70	0.98	69.65	60.21	62.06	81.11
Besleme (Hesaplanan)	1565.7	100.00	0.72	7.85	1.03	1.10	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.75	7.66	0.93	1.04				

TEST	ALD 14	Şlam atımı var			Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	
Öğütme	30 dak	Hız		750 rpm	%katı	30-35		P80:	75 µm	
Koşullar										
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t						7.7	-105
Koşullandırma 1		200 gr/t					5		7.84	-150
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t			5		6.82	-82
Koşullandırma 3					40 g/t	15 g/t	2+1			
C1								0.5		
C2								1.5		
C3							2	3		
Koşullandırma 4					20 g/t			6		
C4									7.07	-47

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					43.5	4285.71		
C1	118.5	566.7	536.7	261.6	41.3	131.8	3.08	3.08
C2	117.1	563.1	527.7	221.8	17.3	122.8	2.87	5.94
C3	116	509.6	473.3	259.7	13.8	166.2	3.88	9.82
C4	116	530.1	478.4	276.1	18.6	193.2	4.51	14.33

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	41.3	2.71	3.37	35.98	1.24	2.45	12.20	12.59	3.46	6.11
C2	17.3	1.14	4.09	31.71	1.86	3.57	6.19	4.65	2.17	3.74
C3	13.8	0.91	5.29	19.62	2.72	4.69	6.39	2.29	2.53	3.91
C4	18.6	1.22	5.92	18.25	11.57	5.18	9.64	2.87	14.54	5.82
Atık	1433	94.03	0.52	6.39	0.80	0.93	65.58	77.60	77.30	80.42
Besleme (Hesaplanan)	1524	100.00	0.75	7.75	0.97	1.09	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.74	7.64	0.98	1.05				

TEST	ALD 15	Şlam atımı var				Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon Süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.98		
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		8.04		
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.74		
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		6.9	-113	
C1									0.5			
C2									1.5			
C3								2	3			
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t			6	6.92	-80	
C4										6.85	-39	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					50.2	3785.71		
C1	116.2	579.3	566.9	192.3	12.2	51.5	1.36	1.36
C2	115.5	573.6	564.8	284.7	27.3	133.1	3.52	4.88
C3	115.6	579.6	565.7	319.2	27.7	162	4.28	9.16
C4	115.6	597.3	581.7	414	55.7	227.1	6.00	15.15

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	12.2	0.75	13.74	16.43	1.79	2.11	21.51	1.86	1.54	1.80
C2	27.3	1.67	8.17	12.14	2.18	2.60	28.60	3.07	4.21	4.96
C3	27.7	1.69	4.86	9.57	2.73	3.15	17.26	2.46	5.34	6.10
C4	55.7	3.40	1.47	11.12	4.80	2.71	10.52	5.74	18.88	10.57
Atık	1514.4	92.49	0.11	6.19	0.65	0.72	22.11	86.87	70.03	76.56
Besleme (Hesaplanan)	1637.3	100.00	0.48	6.59	0.86	0.87	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.38	6.38	0.89	0.83				

TEST	ALD 16	Şlam atımı var			Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35		P80:	75 mm		
Koşullar											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	7279	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.52	-108
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.73	-161
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.65	-50
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1			
C1									0.5		
C2									1.5		
C3									3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2	6		
C4										6.85	-43

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					49.8	3785.71		
C1	116.2	566.9	555.6	244.9	41.4	76	2.01	2.01
C2	115.5	564.8	553.1	270.2	34.4	108.6	2.87	4.88
C3	115.6	565.7	551.3	361.8	35	196.8	5.20	10.07
C4	115.6	581.7	558.8	678.7	150.8	389.4	10.29	20.36

			Tenörler				Verimler %			
	W (gr)	W (%)	Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	41.4	2.53	6.03	30.39	1.97	2.42	32.82	10.93	5.99	6.88
C2	34.4	2.10	6.39	23.06	4.73	4.31	28.92	6.89	11.95	10.19
C3	35	2.14	2.32	14.54	5.09	4.62	10.68	4.42	13.06	11.11
C4	150.8	9.22	0.30	23.74	2.34	1.65	5.99	31.11	25.91	17.10
Atık	1374.7	84.01	0.12	3.91	0.43	0.58	21.59	46.65	43.09	54.72
Besleme (Hesaplanan)	1636.3	100.00	0.46	7.03	0.83	0.89	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.38	6.34	0.85	0.80				

TEST	ALD 17	Şlam atımı var				Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	Hız	750 rpm
Öğütme süresi	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	5100	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.68	-92	
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.91	-170	
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.9	-60	
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		6.97	-94	
C1									0.5			
C2									1.5			
C3									3			
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2	6			
C4										7.09	-22	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme						3785.71		
C1	116.2	555.6	545.9	240.9	40.3	74.7	1.97	1.97
C2	115.5	553.1	546.2	407	66.2	218.4	5.77	7.74
C3	115.6	551.3	545.6	531.8	76.9	333.6	8.81	16.55
C4	115.6	558.8	539.6	777.5	144.1	498.6	13.17	29.72

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	40.3	2.45	4.59	30.85	1.04	1.36	24.32	11.22	2.99	3.81
C2	66.2	4.02	3.94	19.68	2.34	2.15	34.27	11.76	11.10	9.93
C3	76.9	4.67	1.61	16.41	3.26	2.49	16.28	11.39	18.01	13.36
C4	144.1	8.75	0.34	16.66	1.50	1.48	6.41	21.66	15.57	14.81
Atık	1319.5	80.12	0.11	3.69	0.55	0.63	18.72	43.98	52.32	58.09
Besleme (Hesaplanan)	1647	100.00	0.46	6.73	0.85	0.87	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.38	6.26	0.87	0.83				

TEST	ALD 18	Şlam atımı yok				Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.51	-150	
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.55	-196	
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.79	-88	
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1	0.5	6.83	-111	
C1									1.5			
C2									3			
C3								2				
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t			6			
C4										6.92	-24	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					195.6	3785.71		
C1	116.2	544.6	536.4	199.2	15.1	59.7	1.58	1.58
C2	115.5	586.5	567	463.9	70.1	258.8	6.84	8.41
C3	115.6	579.4	565.1	376.7	47.6	199.2	5.26	13.68
C4	115.6	602.2	574.2	523.2	96.7	282.9	7.47	21.15

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	15.1	0.85	1.62	7.89	1.13	1.45	3.01	1.09	1.09	1.43
C2	70.1	3.96	2.16	8.26	1.23	1.46	18.64	5.31	5.52	6.65
C3	47.6	2.69	3.13	7.93	1.74	1.82	18.35	3.46	5.28	5.65
C4	96.7	5.46	2.83	13.07	2.28	2.04	33.70	11.58	14.03	12.85
Atık	1542.1	87.05	0.14	5.56	0.75	0.73	26.30	78.57	74.08	73.42
Besleme (Hesaplanan)	1771.6	100.00	0.46	6.16	0.89	0.87	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.38	5.33	0.85	0.77				

TEST	ALD 19	Şlam atımı var			Besleme	2 kg	Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35	P80:	75 µm		
Koşullar										
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t						7.45	-100
Koşullandırma 1		200 gr/t					5		7.7	-155
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t			5		6.63	-45
Koşullandırma 3					40 g/t	15 g/t	2+1	0.5	6.72	-76
C1								1.5		
C2								3		
C3										
Koşullandırma 4					20 g/t		2	6		
C4									6.92	5

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					72.5	3785.71		
C1	116.2	536.4	529.7	245.4	12.7	109.8	2.90	2.90
C2	115.5	567	549.2	335.1	21	180.8	4.78	7.68
C3	115.6	565.1	556.6	406.6	36.6	245.9	6.50	14.17
C4	115.6	574.2	555.2	538.9	67.1	337.2	8.91	23.08

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	12.7	0.80	1.71	5.94	1.08	1.32	3.34	0.84	1.00	1.26
C2	21	1.32	1.25	5.69	1.02	1.30	4.03	1.33	1.56	2.05
C3	36.6	2.30	0.87	5.77	1.02	1.21	4.92	2.36	2.71	3.32
C4	67.1	4.22	2.49	6.74	1.25	1.40	25.64	5.05	6.10	7.06
Atık	1454.2	91.37	0.28	5.57	0.84	0.79	62.07	90.41	88.63	86.30
Besleme (Hesaplanan)	1591.6	100.00	0.41	5.63	0.86	0.84	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.36	5.54	0.86	0.78				

TEST	ALD 21	Şlam atımı var			Besleme	2 kg	Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35	P80:	75 mm		
Koşullar										
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t						7.35	-153
Koşullandırma 1		200 gr/t					5		7.65	-205
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t			5		6.7	-84
Koşullandırma 3					30 g/t	15 g/t	2+1	0.5	6.75	-128
C1								1.5		
C2								3		
C3										
Koşullandırma 4					15 g/t		2	6		
C4									6.58	-13

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					151.3	3785.71		
C1	117.7	534.1	533.1	250.8	18.4	113.7	3.00	3.00
C2	117.5	566.1	556	467.2	49.8	289.8	7.66	10.66
C3	116.9	579.4	569.3	547	69	351	9.27	19.93
C4	117.2	545.5	519.4	630.6	86.9	400.4	10.58	30.51

	Tenörler						Verimler %			
	W (gr)	W (%)	Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	18.4	1.12	0.86	5.99	1.04	1.27	2.31	1.24	1.34	1.72
C2	49.8	3.03	0.80	5.94	1.00	1.21	5.78	3.33	3.50	4.45
C3	69	4.20	0.68	5.86	0.94	1.13	6.86	4.55	4.57	5.77
C4	86.9	5.29	2.09	6.47	1.22	1.38	26.50	6.32	7.47	8.88
Atık	1417.2	86.35	0.28	5.31	0.83	0.76	58.54	84.57	83.13	79.17
Besleme (Hesaplanan)	1641.3	100.00	0.42	5.42	0.87	0.82	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.37	5.27	0.85	0.74				

TEST	ALD 22	Şlam atımı var			Besleme	2 kg	Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35	P80:	75 µm		
Koşullar										
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t						7.45	-77
Koşullandırma 1		200 gr/t					5		7.67	-140
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t			5		6.8	-50
Koşullandırma 3					40 g/t	15 gr/t	2+1			
C1								0.5		
C2								1.5		
C3								3		
Koşullandırma 4					20 g/t		2			
C4								6	6.68	-83

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					72.2	3785.71		
C1	116.3	551.9	542.1	188.4	18	44.3	1.17	1.17
C2	115.6	564.1	554	198.2	17.8	54.7	1.44	2.62
C3	115.7	563.7	553.5	180.9	10.6	44.4	1.17	3.79
C4	115.6	542	523.1	284.7	60.1	90.1	2.38	6.17

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	18	1.10	10.42	29.23	1.81	2.05	23.47	4.60	2.27	2.56
C2	17.8	1.08	14.50	22.69	4.33	4.15	32.28	3.53	5.37	5.11
C3	10.6	0.64	9.96	16.06	9.68	5.51	13.21	1.49	7.15	4.04
C4	60.1	3.66	1.18	34.16	4.42	2.37	8.86	17.95	18.52	9.83
Atık	1537.2	93.52	0.12	5.39	0.62	0.74	22.18	72.43	66.69	78.46
Besleme (Hesaplanan)	1643.7	100.00	0.49	6.96	0.87	0.88	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.37	6.25	0.95	0.83				

TEST	ALD 23	Şlam atımı yok				Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	lotasyon süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	2kg/t							7.41	-158	
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.64	-210	
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		6.87	-110	
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 gr/t	2+1				
C1									0.5			
C2									1.5			
C3									3			
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2				
C4									6	6.77	-38	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					180.9	3785.71		
C1	116.3	542.1	541.3	281.5	32.6	131.8	3.48	3.48
C2	115.6	554	552.1	351.2	43.3	190.4	5.03	8.51
C3	115.7	553.5	542.5	322.4	34.2	161.5	4.27	12.78
C4	115.6	523.1	505.9	519.1	103.7	282.6	7.46	20.24

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	32.6	1.82	6.01	11.39	1.12	1.31	19.87	3.15	2.22	2.68
C2	43.3	2.42	2.51	9.19	1.27	1.53	11.04	3.38	3.34	4.15
C3	34.2	1.91	3.32	8.66	1.58	1.69	11.51	2.51	3.28	3.63
C4	103.7	5.79	2.93	13.81	2.04	1.47	30.82	12.15	12.79	9.57
Atık	1575.8	88.05	0.17	5.89	0.82	0.81	26.77	78.80	78.36	79.97
Besleme (Hesaplanan)	1789.6	100.00	0.55	6.58	0.92	0.89	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.39	6.18	0.96	0.84				

TEST	ALD 24	Şlam atımı yok				Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak					%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar												
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh	
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.27	-132	
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.37	-180	
Ön havalandırma	2 kg/t			4 kg/t				5		6.56	-110	
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1				
C1									0.5			
C2									1.5			
C3									3			
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2				
C4									6	6.58	-62	

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					124.5	3785.71		
C1	116.3	541.3	541.2	279.5	29.8	133.3	3.52	3.52
C2	115.6	552.1	572.6	390.9	42.9	252.9	6.68	10.20
C3	115.7	542.5	531.3	375.3	38.4	210	5.55	15.75
C4	115.6	505.9	486.6	558.2	84.1	339.2	8.96	24.71

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	29.8	1.70	1.67	7.12	1.08	1.26	6.12	1.84	1.98	2.43
C2	42.9	2.45	2.67	7.88	1.14	1.50	14.08	2.93	3.01	4.16
C3	38.4	2.19	3.27	7.65	1.11	1.53	15.45	2.55	2.64	3.82
C4	84.1	4.80	3.40	7.57	2.23	1.72	35.12	5.53	11.61	9.38
Atık	1555.9	88.85	0.15	6.46	0.84	0.79	29.23	87.15	80.76	80.21
Besleme (Hesaplanan)	1751.1	100.00	0.46	6.58	0.92	0.88	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.39	6.28	0.94	0.87				

TEST	ALD 25	Şlam atımı yok			Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	1900 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	MBS	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	otasyon süresi (da	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	1kg/t							7.21	-150
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.28	-205
Ön havalandırma	2 kg/t			3 kg/t				5		6.63	-114
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1			
C1									0.5		
C2									1.5		
C3									3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2			
C4									6	6.59	-57

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					177.4	3785.71		
C1	116.3	541.2	540.2	297.5	36.6	143.6	3.79	3.79
C2	115.6	572.6	562.1	396.5	49	221.4	5.85	9.64
C3	115.7	531.3	516.1	413.4	51	231.5	6.12	15.76
C4	115.6	486.6	470.7	548.3	90.2	326.6	8.63	24.38

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	36.6	2.05	1.20	6.48	1.00	1.18	5.48	2.03	2.23	2.70
C2	49	2.74	1.99	7.46	1.05	1.42	12.16	3.14	3.14	4.36
C3	51	2.86	2.40	7.03	1.03	1.40	15.25	3.07	3.19	4.47
C4	90.2	5.05	2.96	7.30	1.76	1.57	33.29	5.65	9.68	8.84
Atk	1559.1	87.30	0.17	6.44	0.86	0.82	33.81	86.11	81.76	79.64
Besleme (Hesaplanan)	1785.9	100.00	0.45	6.53	0.92	0.90	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.40	6.26	0.98	0.86				

TEST	ALD 26	Şlam atımı yok			Besleme	2 kg		Hücre	5 lt	Hız	2080 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35		P80:	75 mm		
Koşullar											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	OS-3	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	2kg/t							7.3	-179
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.37	-228
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		7.04	-125
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		7.05	-145
C1									0.5		
C2									1.5		
C3									3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2			
C4									6	6.67	-40

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					111.5	3785.71		
C1	116.3	480.1	473.3	263.2	33.5	106.6	2.82	2.82
C2	115.5	555.3	545.7	291.7	42	124.6	3.29	6.11
C3	115.6	531.6	517.1	360.7	51.3	179.3	4.74	10.84
C4	115.6	559.1	531.8	457.1	77.1	237.1	6.26	17.11

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	33.5	1.72	0.77	6.41	0.98	1.06	3.15	1.65	1.80	1.92
C2	42	2.16	1.19	6.95	1.07	1.16	6.13	2.25	2.45	2.64
C3	51.3	2.64	2.45	7.11	1.29	1.44	15.43	2.81	3.62	3.99
C4	77.1	3.96	2.96	8.41	1.62	1.52	28.01	4.99	6.83	6.34
Atık	1741.7	89.52	0.22	6.59	0.90	0.90	47.28	88.30	85.30	85.10
Besleme (Hesaplanan)	1945.6	100.00	0.42	6.68	0.94	0.95	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.39	6.53	0.94	0.94				

TEST	ALD 27	Şlam atımı yok			Besleme	2 kg		Hücre	4.5 lt	Hız	2080 rpm
Öğütme süresi	30 dak				%katı	30-35		P80:	75 µm		
Koşullar											
Conditions											
	ZnSO₄	Na₂S	Na-silikat	P82	Na-Aerofloat	8761	MIBC	Koşullandırma (dak)	Flotasyon süresi (dak)	pH	Eh
Öğütme	2 kg/t	1kg/t	2kg/t							7.54	-136
Koşullandırma 1		200 gr/t						5		7.7	-210
Ön havalandırma	2 kg/t			2 kg/t				5		7.17	-115
Koşullandırma 3					20 g/t	20 g/t	15 g/t	2+1		7.2	-177
C1									0.5		
C2									1.5		
C3									3		
Koşullandırma 4					10 g/t	10 g/t		2			
C4									6	7	-38

	Kap Dara (g)	Su (D.Ö)	Su (D.S)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su (g)	Su %	Küm. Su %
Besleme					80	3785.71		
C1	116.3	487.3	480.1	287.6	42.7	121.4	3.21	3.21
C2	115.5	562.8	555.3	416	70.6	222.4	5.87	9.08
C3	115.6	546.9	531.6	303.8	36.1	136.8	3.61	12.70
C4	115.6	575.9	559.1	518.3	97	288.9	7.63	20.33

	W (gr)	W (%)	Tenörler				Verimler %			
			Cu%	Fe%	Pb%	Zn%	Cu	Fe	Pb	Zn
C1	42.7	2.18	0.99	6.72	0.97	1.16	4.64	2.23	2.23	2.64
C2	70.6	3.61	1.36	6.90	1.02	1.26	10.50	3.78	3.88	4.74
C3	36.1	1.84	1.79	6.68	1.01	1.25	7.08	1.87	1.96	2.42
C4	97	4.95	3.08	8.92	1.49	1.51	32.66	6.72	7.80	7.82
Atık	1711.4	87.41	0.24	6.42	0.91	0.90	45.13	85.39	84.13	82.38
Besleme (Hesaplanan)	1957.8	100.00	0.47	6.57	0.95	0.96	100.00	100.00	100.00	100.00
Besleme (Analiz)			0.38	6.71	0.94	0.92				

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Elif ÖZDEMİR

Doğum Yeri: Trabzon

Medeni Hali: Bekar

E-posta: elif.ozdemir@hacettepe.edu.tr

Adresi: Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü Maden Mühendisliği Bölümü
Beytepe/ANKARA, 06800

Eğitim:

Lise: 2003-2006 Yunus Emre Lisesi

Lisans: 2007-2011 Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: 2012-2014 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi:

İngilizce

İş Deneyimi

Araştırma Görevlisi (2013--) Hacettepe Üniversitesi

Deneyim Alanları

Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, Flotasyon

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-