

Jameson Flotasyon Hücresinde
İnce Taneli Kompleks Bakır Cevherlerinin
Zenginleştirilebilirliği

Y. Hakan Gürsoy

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2007

Possible Concentration Of Fine Size Complex Copper Ores
In Jameson Cell

Y. Hakan Gürsoy

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

August 2007

Jameson Flotasyon Hücresinde İnce Taneli Kompleks Bakır Cevherlerinin
Zenginleştirilebilirliği

Y. Hakan Gürsoy

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Cevher Hazırlama Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Ağustos 2007

Y. Hakan GÜRSOY' un DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Jameson Flotasyon Hücrelerinde İnce Taneli Kompleks Bakır Cevherlerinin Zenginleştirilebilirliği” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Üye : Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ

Üye : Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Üye : Prof. Dr. Yaşar UÇBAŞ

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KOCA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Jameson Flotasyon Hücresi, flotasyonu sorunlu olan ince taneli minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılan ve flotasyon performansı yüksek bir alettir. Çalışma prensipleri ve dizaynı açısından diğer flotasyon makinelerinden farklılıklar gösteren Jameson hücresinin düşey borusunda tane ve kabarcık arasında gelişen flotasyonun mikro olayları, hücre kısmında ise agrega ve gang minerallerinin birbirinden ayrıldığı zenginleşme gerçekleşir.

Çeşitli metalik minerallerin ve endüstriyel hammaddelerin flotasyonunda pilot ve endüstriyel boyutta başarı ile kullanılan Jameson hücresinde, hücre çapı, düşey boru çapı, nozzle çapı, düşey boru içinde oluşan hold-up miktarı, düşey boru dalma derinliği, besleme, atık ve yıkama suyu debileri gibi verimi etkileyen birçok aletsel parametre vardır. Bu parametrelerin ayrıntılı olarak incelenmesi ve ülkemiz için yeni bir teknoloji olan Jameson flotasyon hücresinde ince boyutlarda serbestleşen metalik cevherlerin zenginleştirilebilirliğini görmek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Kompleks bakır-çinko flotasyonunda, cevherin mineralojik yapısı, minerallerin uygun serbestleşme boyutu, kullanılacak reaktif seçimi ve kullanılacak flotasyon aletinin teknolojik yapısı oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında flotasyonu özellikle oksitlenme ve tane boyutundan dolayı sorunlu olan Doğu Karadeniz Bölgesi ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko cevheri çalışılmıştır. Cevherin serbestleşme boyutu mikroskobik ve flotasyon yöntemiyle tespit edilerek Jameson hücresinde zenginleştirilebilme olanakları araştırılmıştır. Flotasyon verimi ve konsantre tenörü üzerine çalışma parametreleri olan; katı oranı, düşeyboru dalma derinliği, jet uzunluğu ve bias faktörünün etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, Jameson flotasyon hücresinin ince taneli kompleks sülfürlü kurşun-bakır-çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jameson Flotasyon Hücresi, Flotasyon Verimi, Cu-Zn Flotasyonu.

SUMMARY

Jameson flotation cell is a type of flotation device that has a high flotation performance and used for fine grained minerals having problematic flotation behavior. While micro events of flotation occur into a downcomer, which differ from other flotation devices in point of operation principles and design, beneficiation occurs into the cell part by separation of gangue minerals and aggregates.

There are several equipment parameters, i.e. cell diameter, downcomer diameter, nozzle diameter, hold-up into the downcomer, plunging length of downcomer, feed, tailing and wash water flowrates, effect the recovery of the Jameson cell, which is used for beneficiation of various metallic and industrial raw materials in pilot and full scale. This study carried out to investigate these parameters in a detail and to show the beneficiation possibilities of the metallic ores liberated in fine sizes by the use of Jameson cell is a newcomer flotation device for our country.

In the complex copper-zinc flotation; mineralogical structure of ore, suitable liberation size of minerals, reactive selection and technological structure of flotation device are considerably important. In the present study; fine grained complex copper-zinc ore of Doğu Karadeniz Region, which has problematic flotation behavior due to the very fine size and quick oxidation problem, was used. Beneficiation possibilities of the ore, by using the Jameson cell, were examined by determining the liberation size with macroscopic method and flotation. Effects of the solid ratio, downcomer plunging length, jet length and bias factor, are the effective parameter on flotation recovery and grade, were investigated in this study. According to experimental study; Jameson flotation cell can be effectively used for fine grained complex lead-copper-zinc ores.

Key Words: Jameson flotation cell, flotation recovery, Cu-Zn flotation.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım sırasında her konuda yardımlarını esirgemeyen, yapıcı yöndeki eleştirileri ve katkıları ile beni yönlendiren tez danışmanım, hocam Sayın Prof. Dr. Bahri Öteyaka'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımdaki teknik konularda ve deney aşamalarında bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Derya Öz'e, Prof. Dr. Şadan Kelebek'e, Araş. Gör. Oktay Şahbaz'a ve Yrd. Doç. Dr. Ali Uçar'a, ayrıca; deneylerde ve yazım aşamasında bana yardımcı olan Maden Müh. Taner Mergan'a sağladıkları destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Deneylerimi yaptığım Dumlupınar Üniversitesi'nde Maden Mühendisliği Bölümünü kendi yuvam gibi hissettiren başta hocam Prof. Dr. Bahri Öteyaka olmak üzere değerli hocalarıma ve akademisyen arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmam boyunca gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı değerli eşim Meryem Gürsoy'a ve aileme teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarımda ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Hüseyin Özdağ başta olmak üzere Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümündeki hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Y. Hakan Gürsoy

Ağustos 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. BAKIR CEVHERLERİ VE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ.....	4
2.1 Bakır.....	4
2.1.1 Bakırın fiziksel özellikleri.....	4
2.1.2 Bakır cevherleri.....	4
2.1.3 Dünyadaki bakır yatakları.....	7
2.1.4 Ülkemizdeki bakır yatakları.....	9
2.2 Kompleks Bakır Cevherlerinin Değerlendirilmesi.....	13
2.2.1 Kompleks bakır-çinko-kurşun cevherlerinin ortak özellikleri.....	13
2.2.2 Kompleks cevherlerde zenginleştirme sorunları.....	15
2.2.3 Konsantre üretim seçenekleri.....	17
2.2.4 Selektif konsantre üretim yöntemleri.....	18
2.2.5 Kompleks bakır-çinko sülfür cevherleri flotasyonu.....	18
2.2.6 Cu-Zn cevherlerinde selektiviteyi etkileyen parametreler.....	19
3. JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ.....	21
3.1 Jameson Flotasyon Hücresinin Tanıtımı.....	21
3.2 Jameson Flotasyon Hücresinin Çalışma Prensipleri.....	22
3.3 Jameson Flotasyon Hücresinin Üstünlükleri.....	27

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4. JAMESON FLOTASYON HÜCRESİNİN HİDRODİNAMİĞİ.....	35
4.1 Düşey Borudaki Hidrodinamik Bölgeler	36
4.1.1 Serbest jet (Free Jet)	36
4.1.2 Yayılma başlangıcı (Induction Trumpet)	37
4.1.3 Dalan jet (Plunging Jet).....	38
4.1.4 Karıştırma zonu (Mixing Zone)	39
4.1.5 Boru akış zonu (Pipe Flow Zone).....	40
4.2 Hücredeki Hidrodinamik Bölgeler	41
4.2.1 Zenginleştirme bölgesi	41
4.2.2 Köpük bölgesi.....	42
4.3 Hidrodinamik Bölgelerin Çalışma Sınırları	43
4.4 Jameson Flotasyon Hücresinin Çalışma Parametreleri	45
4.4.1 Köpük derinliği.....	45
4.4.2 Kesitsel hava hızı.....	46
4.4.3 Kabarcık boyutu	47
4.4.4 Hava miktarının besleme miktarına oranı (APR- Air to Pulp Ratio).....	48
4.4.5 Yıkama suyu oranı ve bias faktörü.....	49
4.4.6 Hacimsel hava miktarı (Hold-up).....	52
4.4.7 Taşıma kapasitesi	55
4.4.8 Reaktifler	56
4.4.9 Koşullandırma süresi.....	57
5. JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ UYGULAMALARI.....	58
5.1 Laboratuar ve Endüstriyel Ölçekte JFH Çalışmaları	58
5.2 Jameson Flotasyon Hücresi Uygulamaları.....	60
5.2.1 Metal cevherleri uygulamaları.....	63
5.2.2 Kömür uygulamaları.....	66
5.2.3 Solvent ekstraksiyonu uygulamaları	68

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.4 Atıksu arıtım uygulamaları.....	70
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	72
6.1 Cevherin Özellikleri.....	72
6.2 Örnek Hazırlama.....	74
6.3 Cevherin Serbestleşme Derecesi.....	75
6.4 Öğütme Süresinin Belirlenmesi.....	77
6.5 Denver Flotasyon Hücresinde Uygun Reaktif ve pH Değerlerinin Belirlenmesi	80
6.5.1 Mekanik Flotasyon Hücresindeki Çalışma Parametreleri.....	81
6.6 Jameson Flotasyon Hücresinde Zenginleştirme Çalışmaları.....	85
6.6.1 Flotasyon deney düzeneği.....	86
6.6.2 Uygun hücre, düşey boru ve nozul seçimi.....	90
6.6.3 Jameson flotasyon hücresinde flotasyon koşulları.....	90
6.6.4 Deneysel yöntem.....	91
6.6.5 Deneysel Sonuçlar ve İrdelenmesi.....	93
6.6.5.1 Öğütme süresinin tenör ve randıman etkisi.....	93
6.6.5.2 Toplayıcı miktarının tenör ve randıman üzerine etkisi.....	95
6.6.5.3 Koşullandırma süresinin tenör ve randıman üzerine etkisi.....	97
6.6.5.4 Katı oranının tenör ve randıman üzerine etkisi.....	99
6.6.5.5 Düşeyboru dalma derinliğinin tenör ve randıman üzerine etkisi.....	101
6.6.5.6 Jet uzunluğunun tenör ve randıman üzerine etkisi.....	103
6.6.5.7 Bias faktörünün tenör ve randıman üzerine etkisi.....	105
6.6.6 Jameson flotasyon hücresinde temizleme flotasyonu.....	108
6.6.6.1 ZnSO ₄ bastırıcısının tenör ve randıman üzerine etkisi.....	108
6.6.6.2 Fe ₂ (SO ₄) ₃ reaktifinin tenör ve randıman üzerine etkisi.....	109

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 111

KAYNAKLAR DİZİNİ 113

EK AÇIKLAMALAR

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Jameson flotasyon hücresi şematik görünümü	22
3.2 JFH nin genel yapısı ve hücrede meydana gelen zonlar	25
3.3 Jameson hücresi çalışma şekilleri	26
3.4 Besleme miktarına göre JFH çalışma performansı	27
3.5 Klasik flotasyon kolonu ile Jameson Flotasyon Hücresi'nin boyutsal karşılaştırılması	29
3.6 Jameson hücresi ve mekanik hücre devreleri plan ve yükseklik görünümleri	30
3.7 Mekanik hücre ve Jameson hücresi kalış sürelerinin talk cevheri için karşılaştırılması	31
3.8 Pilot ve büyük çaplı Jameson hücrelerinde ürün külüne göre yanabilir kısm değerlerinin karşılaştırılması	33
3.9 Jameson ve mekanik flotasyon hücrelerinde 1mm ³ hava ile üretilen kabarcık boyutları	34
4.1 Jameson hücresindeki hidrodinamik bölgeler	35
4.2 Serbest jet ile havanın taşınma mekanizmaları	36
4.3 Dalan jet içine emilen hava akışı	38
4.4 Düşeyboru içinde meydana gelen akış türleri	40
4.5 Hava akış hızıyla düşeyboru çalışma şekilleri	44
4.6 Konsantre tenörü ve yıkama suyu oranı arasındaki ilişki	51
4.7 Verim ve yıkama suyu oranı arasındaki ilişki	51
4.8 Jameson hücresinde iletkenlik yöntemi ile hold-up ölçümü	53
4.9 Jameson hücresinde basınç farkı yöntemi ile hold-up ölçümü	54
4.10 Yıkama suyu oranı ile kabarcık taşıma kapasitesi arasındaki ilişki	56
6.1 Öğütülmüş cevherin +75 µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü	75
6.2 Öğütülmüş cevherin -75+53µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü	76
6.3 Öğütülmüş cevherin -53+38µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü	76
6.4 Öğütülmüş cevherin -38+25µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü	77

6.5	Öğütülmüş cevherin -25 μ m boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü....	77
6.6	Değirmende 20 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği	78
6.7	Değirmende 30 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği	78
6.8	Değirmende 40 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği	79
6.9	Değirmende 50 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği	79
6.10	pH 10,5'te flotasyon süresine göre konsantrelerin bakır ve çinko içerikleri ...	83
6.11	pH 10,5'te flotasyon süresine göre bakır ve çinko verimleri.....	83
6.12	pH 11,8'de flotasyon süresine göre konsantrelerin bakır ve çinko içerikleri ..	84
6.13	pH 11,8'de flotasyon süresine göre bakır ve çinko verimleri.....	84
6.14	Laboratuvar boyutlu JFH Şematik Görünümü.....	86
6.15	JFH nin genel görünümü.....	88
6.16	Manometre	88
6.17	Besleme debisi ölçümü için kullanılan akışölçer.....	89
6.18	Hava debisi ölçümü için kullanılan akışölçer	89
6.19	Öğütme süresinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.....	94
6.20	Öğütme süresinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.....	94
6.21	Toplayıcı miktarının Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.....	96
6.22	Toplayıcı miktarının Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.....	96
6.23	Koşullandırma süresinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.....	98
6.24	Koşullandırma süresinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.....	98
6.25	Katı oranının Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.....	100
6.26	Katı oranının Cu, Zn ve Fe randımanı üzerine etkisi.....	100
6.27	Düşeyboru dalma derinliğinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi	102
6.28	Düşeyboru dalma derinliğinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.....	102
6.29	Jet uzunluğunun Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.....	104
6.30	Jet uzunluğunun Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.....	104
6.31	Bias faktörünün Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi	106
6.32	Bias faktörünün Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Ülkemizdeki bakır madeni yataklanmaları	10
2.2	Tipik bir kompleks Cu-Zn-Pb cevherinin metal içeriği	14
2.3	Selektif konsantrelerin kimyasal bileşimi ve verimleri	15
3.1	Jameson ve mekanik flotasyon hücresinin enerji tüketimi	31
5.1	Jameson kolonunun metal cevherlerindeki uygulamaları	61
5.2	İnce kömür ve kömür şlamı uygulamaları.....	62
6.1	Cevherin tane boyu dağılımı	73
6.2	Cevherin genel kimyasal analizi	73
6.3	Deneysel çalışmalarda kullanılan numenin kimyasal analizi.....	74
6.4	Aerophine 3418A'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri	81
6.5	Denver flotasyon hücresi deneysel koşulları.....	82
6.6	Kullanılacak hücre çapına göre uygun nozul ve düşeyboru seçimi	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C_a	Taşıma kapasitesi
d	Kabarcık çapı
D_f	Köpürtücü miktarı
d_{80}	Toplam katı malzemenin %80'inin geçtiği elek boyutu
g	Yerçekimi ivmesi
h	İki nokta arasındaki yükseklik
J_b	Bias faktörü
J_g	Kesitsel hava hızı
κ_1	Sıvının iletkenliği
κ_{1g}	Sıvı-gaz karışımının iletkenliği
P_1 ve P_2	Düşey boru üzerindeki herhangi iki noktadaki basınçlar
S_b	Kolonun birim kesit alanı başına düşen arayüzeysel alan akışı
V	Hacim
V_G	Gazın hacmi
V_L	Sıvının hacmi
Q_A	Artık debisi
Q_B	Besleme debisi
$Q_b(z)$	Havalandırma sınır tabakası
Q_T	Hapsedilen hava
Q_{ys}	Yıkama suyu debisi
Q_{WC}	Konsantredeki suyun akış hızı
Q_{WW}	Yıkama suyu akış hızı
W	Yıkama suyu oranı
We_i	Weber sayısı
α	Sabit sayı
ϵ	Boşluk fraksiyonu
ϵ	Dağılımın içindeki iletken olmayan fazın hacmi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ε	Hacimsel hava miktarı
ρ_L	Pülp yoğunluğu
ρ_p	Katı malzemenin yoğunluğu

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
APR	Hava miktarının besleme miktarına oranı
cm	Santimetre
cm ²	Santimetre kare
cm ³	Santimetre küp
COMEX	New York Metal Borsası
ÇBİ	Çayeli Bakır İşletmeleri
dk	Dakika
EBİ	Ergani Bakır İşletmeleri
et al	Ve diğerleri
g	Gram
h	Saat
JFH	Jameson Flotasyon Hücresi
KBİ	Karadeniz Bakır İşletmeleri
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kPa	Kilo paskal
kW	Kilo watt
LME	Londra Metal Borsası
lt	Litre
m ²	Metre kare

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar Açıklama**

m ³	Metre küp
MIBC	Metil İzo Bütil Karbinol
MIM	Mount Isa Madenleri
mm	Milimetre
mm ²	Milimetre kare
mm ³	Milimetre küp
M.T.A.	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
SE-EW	Solvent Extraction – Electro Winning
sn	Saniye
t	Ton
vb.	Ve benzerleri
vd.	Ve diğerleri
µm	Mikrometre
°C	Derece santigrat

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Flotasyon, genel olarak su-hava karışımı ortamda farklı yüzey özelliklerine sahip mineralleri uygun reaktiflerle muamele ettikten sonra, bazı mineral yüzeylerini hidrofob, bazılarını hidrofil yaparak hava kabarcıkları yardımıyla mineralleri birbirinden ayıran bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon, cevher hazırlamada diğer yöntemler ile ekonomik olarak zenginleştirilmesi zor olan ince boyutlu minerallerin kazanımında geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Cevherlerin serbestleşme boyutu flotasyon prosesinde önemli bir parametre olup, flotasyon veriminde ve uygun flotasyon makinesi seçiminde etkili rol oynar. Bazı cevherler, özellikle sülfürlü metalik cevherler oldukça ince boyutta serbestleşmektedir. Bu cevherlerin (20-25 mikron altı) klasik flotasyon hücresinde zenginleştirilmesinde sorunlar yaşanmaktadır ve genellikle flotasyon randımanı düşük olmaktadır. Bu sorun, ince taneli cevherler için gerekli olan uygun küçük çaplı hava kabarcıklarının (0,5-1mm) klasik flotasyon hücresinde oluşturulamamasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi flotasyonun mikro olaylarından biri olan çarpışma olayı tane çapı ile doğru, hava kabarcığı çapı ile ters orantılıdır. İnce taneli minerallerin flotasyonunda çarpışma olasılığının artabilmesi için sistemde küçük çaplı hava kabarcıklarının bulunması gerekir. Klasik flotasyon hücrelerinde sistemin yapısından dolayı bu mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla ince taneli minerallerin flotasyon verimi klasik flotasyon hücrelerinde düşük olmaktadır (Öteyaka, 1993,1994; Yoon and Luttrell, 1989; Schulze, 1984).

İnce taneli minerallerin sorunlu flotasyon problemini çözebilmek amacıyla aletler bazında yoğun araştırmalar yapılmış olup, çalışma prensipleri farklı iki flotasyon aleti ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri klasik flotasyon kolonu, diğeri ise Jameson flotasyon

hücrelidir (Finch, 1995; Jameson,1991 ve Öteyaka,1993). Bu aletler hava ile karıştırmalı aletlerdir.

Klasik flotasyon hücrelerine karşılık Jameson flotasyon hücresinde kolaylıkla küçük çaplı hava kabarcığı elde edilebilmekte (0,4-1mm) olup, ilave olarak Jameson flotasyon hücresinin düşey borusundaki basıncın da etkisi ile kabarcık-tane çarpışma olasılığı artmakta ve sonuç olarak ince tanelerin yüzme olasılığı da yüksek olmaktadır. Kısacası, Jameson flotasyon hücresinde, ince taneli cevherlerin flotasyon randımanı, flotasyon hücrelerine ve klasik kolonlara göre daha yüksek olabilmektedir.

Klasik flotasyon hücrelerinde ince taneli minerallerin flotasyon sorununu çözmek amacıyla da araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak farklı iki alan üzerinde yoğunlaşmıştır:

- Klasik flotasyon hücrelerinin çalışma mekanizmaları ve fiziki yapıları üzerine araştırmalar (yeni pervane tasarımları, yıkama suyunun ilavesi ve tanka ilave havanın verilmesi gibi),
- Klasik hücrelere göre çalışma prensipleri farklı yeni flotasyon aletlerinin tasarımı (flotasyon kolonları ve Jameson flotasyon hücresi) (Önal ve Ateşok, 1994; Finch, 1995; Wills, 1997).

İnce taneli minerallerin flotasyon sorununa çözüm bulmak amacıyla 1989 yılında Greame Jameson tarafından tasarlanan Jameson flotasyon hücresi, çalışma prensipleri ve flotasyon mekanizmaları açısından klasik flotasyon hücrelerinden farklı bir tasarıma sahiptir. Bu aletlerin klasik flotasyon hücrelerine göre temelde iki büyük avantajı vardır. Bunlardan birincisi; aletin küçük boyutta hava kabarcığı üretmesi ve yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması (düşeyboruda % 50-70 hold-up) nedeniyle tane - kabarcık arasındaki karşılaşma ve çarpışma olaylarının olasılığının yüksek olması, ikincisi ise; tanenin alet içinde kalma süresinin (residence time) çok az olması nedeniyle yüksek zenginleştirme kapasitesidir. Bu avantajlarından dolayı Avustralya, A.B.D. ve Güney Afrika başta olmak üzere pek çok ülkede kullanılan

Jameson hücresinin dünyada 200'den fazla endüstriyel uygulaması vardır. Bu uygulamaların çoğunluğunu ince kömür ve metalik minerallerin zenginleştirilmesi oluşturmaktadır (Jameson and Manlapig, 1991; Bangerter, 1998; Kennedy, 1990; Evans, 1990, Evans et al., 1995, Mohanty, 2001; Harbort et al., 1997; Carretta et al., 1997; Mohanty and Honaker, 1999; Atkinson et al., 1993; Clayton, 1994). Endüstriyel boyutta ülkemizde henüz uygulaması bulunmamaktadır.

Ülkemizde bulunan metalik minerallerden kompleks Cu-Pb-Zn sülfür cevherleri genellikle çok ince boyutlarda serbestleşmektedir. Oldukça ince boyutlarda serbestleşen minerallerin klasik flotasyon hücrelerinde zenginleştirilmesinde boyuttan ve kısa sürede oksitlenmelerinden dolayı sorunlar yaşanmaktadır. Konsantre verimleri istenen düzeye getirilememektedir. Bu cevherler üzerine bilimsel araştırmalar sürmektedir (Ekmekçi et al., 2006; Aksarı and Mian, 2004 ve 2006; Hiçyılmaz and Altun, 2006). Bu çalışmanın da temel amacı;

- Doğu Karadeniz Bölgesine ait kompleks sülfürlü Cu-Zn cevherinin Jameson flotasyon hücresinde zenginleştirilebilme olanaklarını araştırmak ve flotasyon verimi üzerine etkili çalışma parametrelerini belirlemektir,
- Ayrıca deneysel olarak elde edilen sonuçları klasik flotasyon hücresinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırmaktır.

BÖLÜM 2

BAKIR CEVHERLERİ VE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

2.1 Bakır

Bakır insanların eski çağlardan beri çeşitli amaçlarla kullandığı ve günümüzde de sanayinin temel girdileri arasında yer alan, kullanım açısından demir dışı metaller içerisinde alüminyumdan sonra gelen en önemli metaldir. Bakır kırmızımsı renkli, metalik parlaklığı olan, ağır, dövmekle şekillendirilebilen, tel haline çekilebilen, çekmeye karşı dayanıklı, manyetik duyarlılığı olmayan, korozyona karşı dayanıklı çeşitli metallerle alaşım yapan ve hepsinden önemlisi yüksek elektrik iletkenliği olan bir metaldir. Bakır altının dışında doğal olarak kendine özgü belirgin rengi olan tek metaldir. Bakırın alaşımları çok çeşitli olup endüstride değişik amaçlarda kullanılmaktadır. Günümüzde bakır tüketimi 13 milyon tonun üzerindedir ve bakır endüstride en çok kullanılan elementler arasında yer almaktadır (www.tugiad.org.tr).

2.1.1 Bakırın fiziksel özellikleri

Sertliği	: 2,5 – 3
Yoğunluğu	: 8,92 – 8,93 (g/cm ³)
Ergime Noktası	: 1083 – 1084 °C
Ergime ısısı	: 43 kcal/kg

2.1.2 Bakır cevherleri

Yer kabuğunda ortalama % 0,01 mertebesinde bakır bulunur. En çok bulunan elementler sıralamasında bakır 25. sırada yer almaktadır. Magma tabakasından yukarıya, yer kabuğuna doğru sıvı sızması sonucu ağır metal sülfürleri ayrıştırır, en çok rastlanan kalkopirit minerali de, CuFeS₂ (%34,6 Cu), primer olarak bu şekilde

oluşmuştur. Kızgın doğal buharların ya da sülfürlü mineraller üzerine sızan doğal sülfat çözeltilerinin kimyasal etkisi ile oksitlenme ve redüklenme sonucu sekonder olarak oksitli bakır mineralleri ve metalik bakır (nabit bakır) oluşur. Bu nedenle birçok maden yatağında üstteki oksitli bakır mineralleri alınarak derine inildikçe sülfürlü cevherlere ulaşılır. Günümüzde bilinen bakır cevherlerinin yaklaşık % 85'i sülfürlü, % 15'i oksitli minerallerdir. 200 civarında mineralin bakır ihtiva ettiği, bunlardan 30-40 kadarının doğada daha yaygın bulunduğu bilinmektedir. Aşağıda önemli ve yaygın olan bakır mineralleri verilmiştir:

Kalkopirit	: CuFeS_2 (%34,6 Cu)
Kalkosin	: Cu_2S (% 79,9 Cu)
Kovellin	: CuS (% 66,5 Cu)
Bornit	: Cu_5FeS_4 (takriben % 63 Cu, değişkenlik gösterir)
Tetraedrit	: 3 ($\text{Cu}_2, \text{Ag}_2, \text{Fe}, \text{Zn}$) $\text{S.Sb}_2\text{S}_3$
Tennantit	: 3 ($\text{Cu}_2, \text{Fe}, \text{Zn}$) S. As_2S_3 (Arsenopirit)
Enarjit	: 3 $\text{Cu}_2\text{S. As}_2\text{S}_5$
Burnonit	: 3 (Cu_2, Pb) S. Sb_2S_3
Küprit	: Cu_2O (% 88,8 Cu)
Tenörit	: CuO (% 79,9 Cu)
Malakit	: $\text{CuCO}_3.\text{Cu}(\text{OH})_2$ (% 57,5 Cu)
Azurit	: 2 $\text{CuCO}_3. \text{Cu}(\text{OH})_2$ (% 55,3 Cu)
Krizokol	: $\text{CuSiO}_3. 2 \text{H}_2\text{O}$ (% 36,2 Cu)
Atakamit	: $\text{CuCl}_2 .3 \text{Cu}(\text{OH})_2$ (% 59,5 Cu) (Güney Amerika'da önem arz eder)
Kalkantit	: $\text{CuSO}_4 . 5 \text{H}_2\text{O}$ (% 25,5 Cu) (Göztaşı)
Brokantit	: $\text{CuSO}_4 . 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$ (% 56,2 Cu) (Arizona, New Mexico, Kuzey Şili)
Antlerit	: $\text{CuSO}_4 . 2 \text{Cu}(\text{OH})_2$ (%53,8 Cu) Şili/Chuquicamata yatağı oksit zonundaki en önemli mineral (TMMOB, 2003).

Bakır yatakları oluşumlarına göre üç ana grupta toplanabilir;

- 1) Magmatik bakır yatakları
- 2) Tortul bakır yatakları
- 3) Metamorfik bakır yatakları

Tenörlerine göre de bakır yatakları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- 1) Porfiri tip bakır yatakları (sülfürler) Dünya bakır rezervinin % 40-45'ini oluştururlar. Bakır tenörü % 0,3-2 Cu arasındadır.
- 2) Volkanojenik masif sülfid yatakları dünya rezervlerinin % 30-35'ini oluştururlar. Bakır tenörü % 2-6 arasındadır.
- 3) Damar tipi bakır yatakları, dünya rezervlerinin % 20-30'unu oluşturur (DPT, 1996).

Listede metalik bakır yüzdesi verilmeyen kompleks minerallerin kimyasal formüllerinden de görüldüğü gibi çinko, kurşun ve gümüş, bakırın başlıca refakatçi elementleridir, bunun yanında cevherlerdeki altın ve platin grubu metaller de izabe sonucu blister bakır içinde toplanır ve elektrolitik rafinasyonda anot çamurunda birikir. Cevherin yapısına bağlı olarak blister bakır içinde 10 ila 50 g/t mertebesindeki altın, ateşle rafinasyon sırasında katılan hurda bakır oranına da bağlı olarak anot çamuru içinde % 0,1 – 0,5 Au konsantrasyonuna erişebilir. Anot çamuru, yaklaşık 2500 t/yıl 'lık Dünya altın üretiminin % 15-20'sini karşılayan bir hammadde olarak görülmelidir.

Kurşun, arsenik, antıman, kalay, çinko gibi elementler bakır konsantresi içinde safsızlık olarak ifade edilir, dolayısıyla bunların mümkün mertebe azaltılmasına çalışılır ya da cevher yapısı uygunsa Çayeli Bakır İşletmelerinde olduğu gibi düşük çinkolu bakır konsantresi ve düşük bakırlı çinko konsantresi ayrı ayrı üretilir. Porfiri tipi yataklarda genellikle Molibden, bakır ile birlikte. Pentlandit türü minerallerden de hem bakır hem de nikel elde edilmektedir, bunlarda ayrıca kıymetli metal içeriği de (Au, Ag, Pt – grubu) yüksek olabilmektedir. Sülfürlü bakır cevherlerinde maden yatağı açık işletmeye uygunsa ve altın, molibden gibi ek kıymet ifade eden refakatçiler varsa cevher tenörünün % 0,3 Cu olması bile büyük ölçekli işletmelerde ekonomik

olabilmektedir. Pratikte genel geçerli ekonomiklik alt sınırı olarak kabul edilebilecek tenör değerleri:

Açık İşletme (yerüstü): min. % 0,5 Cu

Yeraltı İşletmesi: min. % 1,0 Cu (derinleştikçe ve zorluk derecesi arttıkça bu değer yükselir, maden yatağı yapısına göre münferit fizibilite çalışması yapılmalıdır.)

İzabe için cevherin zenginleştirilmesi gerekir. Sülfürlü cevherlerde flotasyon yöntemi hakimdir ve cevherin tenörü ve yapısına bağlı olarak % 20 ila % 30 Cu içeren konsantre elde edilir. Konsantre, içindeki bakır yüzdesine göre LME (Londra Metal Borsası) bakır katot fiyatı baz alınarak ve güncel izabe ve rafinasyon maliyetleri düşülerek fiyatlandırılır. Safsızlıklar için ayrıca ceza puanları uygulanır. Özetle bakır konsantresi LME kriterleri ile uluslararası düzlemde alınıp satılabilen bir üründür. Oksitli bakır cevherlerinin zenginleştirilmesi gerekli değildir. Bunlar sülfürik asit ile doğrudan, örneğin yığın liçine tabi tutulup, $CuSO_4$ olarak çözeltilmeye alınabilir. Maliyet açısından gang minerallerinin asit içinde çözünmeyen türden olması önemlidir (Silikatlar, Kuvars gibi). Refakatçi diğer bazı elementlerle kirlenmiş asidik çözeltiden Cu iyonları uygun bir çözücüye aktarılır ve daha sonra buradan temiz sülfürik asit içine alınır (sıyırma işlemi). Temiz asidik $CuSO_4$ çözeltisi redüksiyon elektrolizine tabi tutularak doğrudan katot bakır elde edilir. Kısa yoldan bakır kazanımına olanak verdiği için daha ekonomik olan bu yöntem SE-EW (Solvent Extraction – Electro Winning) adı altında ürün kalitesi yönünden de sürekli gelişme göstermektedir. Burada üretim potansiyeli, oksitli cevherlerin kükürtlülere kıyasla miktarca çok daha az bulunması ile sınırlıdır. Ekonomiklik alt sınırı, cevherin yapısına bağlı olmakla birlikte (sertlik, çözünürlük vb.) % 0,2 Cu olarak alınabilir (TMMOB, 2003).

2.1.3 Dünyadaki bakır yatakları

Dünya görünür bakır rezervleri, metal içeriği olarak 321 milyon ton civarındadır. Dünya bakır üretiminin % 83'ü birincil kaynaklardan (bakır cevherlerinden) ve % 17'si ise ikincil kaynaklardan (hurda, toz ve artık malzemelerden) sağlanmaktadır.

Dünyada bakır üretimi, sülfürlü ve oksitli bakır cevherlerinin madencilik yöntemleri ile çıkarılması, zenginleştirilmesi ve değerlendirilmesi ile yapılmaktadır. Sülfürlü bakır cevherleri genellikle flotasyon yöntemi ile zenginleştirilerek izabe işlemlerine tabi tutulmak suretiyle blister bakır üretilmektedir. Oksitli bakır cevherleri ise genellikle hidrometalurjik ve bakteriyel yöntemlerle değerlendirilmektedir (TMMOB, 2003). Bakır cevheri ve konsantresi fiyatlarının tespitinde, bakır satış fiyatları baz alınmaktadır. Bakır fiyatları Londra Metal Borsasında (LME) ve New York Metal Borsası'nda (COMEX) günlük olarak belirlenmektedir.

Dünya'da önemli bakır yataklarının bulunduğu bölgeler şu şekilde özetlenebilir:

- Güney Amerika'nın özellikle batı sahilleri, Kuzey – Şili
- Kuzey Amerika'da A.B.D.'nin güney-batısı ve Kanada'nın doğusu (Cu ve Ni)
- Afrika'da Kongo, Zaire, Kuzey-Rodezya
- Asya'da Kazakistan, Özbekistan, Afganistan, Hindistan
- Avrupa'da Polonya, Finlandiya, Portekiz, Yugoslavya
- Avustralya'da Olympic Dam (WMC şirketi işletiyor) ve
- Papua Yeni Gine'de Bougainville (TMMOB, 2003).

Dünya bakır cevheri üretiminde Amerika Kıtası'nın payı büyüktür. A.B.D., Şili ve Kanada Dünya cevher üretiminin % 50'inden fazlasını gerçekleştirmektedir. Bazı şirketlerin günlük bakır cevheri istihraç değerleri ve ortalama bakır tenörleri örnek olarak aşağıda verilmiştir:

Kennecott Copper Corp. Utah Mines Division	108.000 t/gün % 0,68 Cu
Bougainville Copper Pty.Ltd. Panguna Papua Y.Gine	90.000 ,, % 0,48 ,,
Duval Corp., Sierrita, Arizona (Mo içerikli)	80.000 ,, % 0,30 ,,
Phelps Dodge Corp.,Morenci, Arizona	61.000 ,, % 0,85 ,,
Cyprus Pima Mining Co., Sahuarita Tucson, Arizona	58.000 ,, % 0,50 ,,
Palabora Mining Co.Ltd., Transvaal, G.Afrika	53.000 ,, % 0,55 ,,
Lornex Mining Corp.Ltd., Logan Lake, B.C.Kanada	47.500 ,, % 0,43 ,,

Görüldüğü gibi yılda 30–40 milyon ton bakır cevheri istihraç eden kuruluşlar vardır. Açık işletmelerde böylesine büyük ölçekli üretim sonucunda % 0,30–0,50 Cu içeren cevherlerin de ekonomik olarak değerlendirilmesinin mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.4 Ülkemizdeki bakır yatakları

Ülkemizde keşfedilen bakır madenleri, Karadeniz Bölgesi'nde Artvin (Murgul, Cerattepe), Rize (Çayeli), Kastamonu (Küre)'de ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Siirt (Madenköy) ve Diyarbakır (Ergani; aslında Elazığ'a bağlı Maden ilçesinde) yörelerinde bulunmaktadır. Çanakkale ve Kırklareli yörelerinde de çinko, kurşun ve molibden içeren kompleks bakır cevherleri olduğuna dair bulgular ve kısmi faaliyetler vardır.

MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucu ekonomik olarak değerlendirilebileceği düşünülen başlıca bakır maden yatakları hakkında özet bilgi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Artvin/Murgul'daki Damar ve Çakmakkaya yatakları pratik olarak tükenmiştir, Kastamonu/Küre yatağı da hızla tükenme yolundadır (TMMOB, 2003).

Türkiye'de başta M.T.A. olmak üzere yerli ve yabancı sermayeli şirketler tarafından etüt edilen 650'ye yakın bakır mostrası bulunmaktadır. Genellikle magmatik kökenli olan cevherleşmeler jeolojik özelliklerle kayaç türlerine göre köken ve parajenez yönünden farklılıklar gösterirler. Bakır ve pirit cevherleri genellikle, ya bakır-pirit ya da Cu-Pb-Zn-Pirit zuhurlarıyla birlikte bulunur.

Çizelge 2.1 Ülkemizdeki bakır madeni yataklanmaları (TMMOB, 2003).

Mevkii	Gör.+ Muht. Rezerv (t)	% Cu	Metal Bakır (t)
Rize / Çayeli / Madenköy	16.511.040	5,5	908.107
Trabzon / Maçka / Güzelyayla	154.700.000	0,3	464.100
Siirt / Şirvan / Madenköy	14.515.000	3,0	435.450
Erzurum / İspir / Ulutaş	73.600.000	0,31	228.160
Kırklareli / - / Dereköy	65.209.000	0,31	208.668
Artvin / Murgul / Damar	15.238.000	1,18	179.808
Kastamonu / Küre / Aşıköy	11.229.208	1,56	175.176
Artvin / Murgul / Çakmakkaya	16.618.000	0,99	164.518
Artvin / Kafkasör / Cerrattepe	1.200.000	10,0	120.000
Artvin / Kafkasör / Cerrattepe	3.800.000	2,1	79.800
Giresun / Espiye / Lahanos	1.529.000	4,23	64.676
Kırklareli/Demirköy/İkiztepe	12.700.000	0,39	49.539
Grup toplamı			2.998.202
Diğerleri			562.297
Toplam	436.152.000		3.560.499

Bakır yataklarımız jenetik olarak şu şekilde sınıflandırılabilir;

- 1) Porfiri bakır yatakları,
- 2) Masif sülfid yatakları,
- 3) Hidrotermal damarlar ve kontakmetasomatik yataklar.

Hidrotermal ve kontakmetasomatik yataklar sayıca en çok olup, rezerv yönünden büyük değildirlir. Porfiri tip yataklarda, rezerv ve tenör yönünden işletilebilir düzeyde değillerdir. Buna karşılık masif sülfid yatakları ülkemizin bakır madenciliği açısından önemlidir. Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt-Madenköy, Cerattepe ve Küre ülkemizde bilinen en önemli masif sülfid bakır yataklarıdır.

Diğer bölgelerimizdeki değişik tipteki cevherleşmeler düşük tenörlü ve küçük rezervlidir. Pb-Zn yataklarında bulunan bakır cevherleşmeleri ikinci derece olup, bunlar Balya, Sisorta, Şavşat, Asarcık, Bulancak, Gölköy'de olduğu gibi, genellikle asidik plütonizmaya bağlı damar ve saçınımlar şeklindedir.

Porfiri bakır yatakları, %0.8 Cu tenörlü ve ortalama rezervi 500 milyon ton'dan fazla olup, bunlar az miktarda molibden, altın ve gümüş içeren, açık işletme veya yer altı işletmeciliği ile işletilebilen yataklardır.

Volkanik kökenli masif sülfür yatakları volkanik-tortul kayalar birimleri içerisinde tabaka biçimli mercekli, masif, piritçe zengin baz metal (Cu-Pb-Zn) içerikli sülfür kütelleridir. Bir volkanik kökenli masif sülfür yatağı, üstte çoğunlukla mercekimsi bir masif cevher kütlesi ile altta volkanik ve volkano-tortul çökeller içindeki ağsal (stockwork) ve saçılmış zonlardan oluşur. Türkiye bakır üretiminin tümü volkanojenik masif sülfür yataklarından (Ergani, Küre, Murgul, Çayeli, vb.) sağlanmaktadır.

Bugün ekonomik olarak işletilebilen sülfürlü bakır yataklarının büyük kısmının bakır içeriği % 1'in üzerindedir. Oksitli cevherlerde ise, bakır içeriği % 0,3'ün üzerindeki yataklar liç yöntemiyle ekonomik olarak işletilebilmektedir (DPT, 2001).

Blister ve rafine bakır üretimi: Ergani Bakır İşletmelerinde, küçük kapasitelerde çalıştırılmayacağı düşünülmeden bir Sülfürik Asit Fabrikası kurulmuş ve çalıştırılmadan hurdaya çıkarılmıştır. Türkiye Cumhuriyeti'nin ikinci bakır izabe tesisi olan Artvin/Murgul'daki 10.000 t/y blister kapasiteli tesis de teknolojik ve ekonomik nedenlerle 90'lı yılların başlarında kapatılmış, hurdaya çıkarılarak satılmıştır. EBİ'de yapılan mühendislik hatası burada da aynen tekrarlanmış, Polonya tarafından kurulan Asit Fabrikası işletmeye alınamadan İzabe Tesisleri hurdaya çıkarılmıştır. Murgul İzabe Tesislerinin Etibank bünyesinde bulunduğu dönemlerde koordinasyon yetersizliği, iletişim kopukluğu ve benzeri diğer bazı subjektif nedenlerle Damar bakır yatağında 1.000.000 t/y cevher kapasiteli bir flotasyon tesisi kurulmuş ve işletmeye alınmadan hurdaya çıkarılmıştır. Çünkü bu arada Murgul Tesisleri, KBİ bünyesine

aktarılmış ve KBİ'ne ait komşu Çakmakkaya Flotasyon Tesisinin 4.000.000 t/y olan kapasitesine yetecek kadar maden istihracı zaten yapılamamıştır.

Günümüzde primer bakır (blister) üreten tek kuruluş, 1973'de KBİ altında işletmeye alınan ve 2004 yılındaki özelleştirmeye CE-KA firmasına devredilen Samsun İzabe Tesisleridir.

Çayeli Bakır İşletmelerinde (ÇBİ) üretilen bakır konsantresi için cevher yeraltı işletmeciliği ile çıkarılmakta ve flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Park grubu tarafından işletmeye alınması planlanan 25.000.000 t cevher rezervli ve ortalama % 2 Cu tenörlü Siirt/Madenköy sahası da ancak yeraltı maden işletmeciliği ile değerlendirilebilecek bir bakır yatağıdır. Günümüzde ülkemizin üçüncü büyük rezervine sahip olan Kastamonu Küre Aşıköy Bakır Madeni yine yeraltı yöntemiyle CE-KA İnşaat Firması tarafından işletilmektedir ve Cevher flotasyonla zenginleştirilmektedir.

Ham bakırın rafine edilmesi için 1952/53 'lerde ilk tesis, 3000 t/y kapasite ile MKEK-Kırıkkale'de kurulmuştur. İkinci tesis 1962/63'lerde İstanbul'da RABAK adı altında kurulmuştur. 1972/73'lerde kurulan SARKUYSAN Şirketi en büyük rafine üreticimiz olmuştur. Son 30 yıllık dönem içinde İstanbul, Hendek, Denizli, Kayseri, Samsun'da ortaya çıkan diğer rafineri tesisleri ile Türkiye bakır rafinasyon kapasitesi toplamda 190.000 t/y katot düzeyindedir. Bu değer, gelişmiş sanayi ülkelerinde bir tek tesisin kapasitesi olarak karşılaştırılabilir (DPT, 2001).

Bakır, üretim miktarı bakımından alüminyumdan sonra demirdışı metallerde ikinci sırada yer almakla birlikte cevherlerinin fakir olması (% 0,5-1,0 Cu içeriği) nedeni ile demir madenciliği kadar önemlidir. Bakır metal hurdası da ayrıca değerini yitirmeyen, çok daha az enerji tüketerek (çevre koruma) yeniden ürüne dönüştürülebilen bir malzemedir. Ülkemizde sanayileşme seviyesinin yüksek olmayışı ve makine imalat sektörünün gelişmemesi sonucunda bakır ve bakır alaşımlarında hurda birikmesi yetersizdir. Rafinasyon sonrası filmaşın ve tel üretiminde belirgin bir kapasite fazlalığı ve uluslararası başarı göze çarpmaktadır. Yerli kablo ve emaye tel sanayinin de başarılı

konumu nedeniyle rafine bakır ürünleri hem çıplak veya kalay kaplı, nikel kaplı tel olarak hem de kablo ve emaye tel olarak yurtdışına gönderilmektedir (DPT, 2001).

2.2 Kompleks Bakır Cevherlerinin Değerlendirilmesi

Cevherlerin isimlendirilmesi genellikle ihtiva ettikleri kıymetli ana minerale göre olmaktadır. Günümüzde % 2 Cu ihtiva eden bir cevher içeriğinde % 3 Pb ihtiva etse bile, ekonomik değerlilik açısından bir bakır cevheri olarak belirlenir. Bu örnekteki kadar açık olmayan durumlarda ekonomik kıymetler göz önünde tutularak cevherler kompleks Cu–Zn, Cu–Pb, Cu–Pb–Zn cevherleri şeklinde isimlendirilirler.

Sülfürlü kompleks cevherlerin değerlendirilmesi genellikle bir cevher hazırlama işlemi ile başlar. Minerallerin fiziksel özelliklerinden faydalanılmak suretiyle ilk kademedeki mineralizasyonu örten kıymetsiz kayaların ayrılması ve kıymetli metal bileşiklerinin toplanması yoluna gidilir. Sülfürlü cevherlere günümüzde uygulanan en önemli metot flotasyon metodudur.

2.2.1 Kompleks bakır-çinko-kurşun cevherlerinin ortak özellikleri

Günümüzde bakır, çinko, kurşun, nikel, kobalt, kadmiyum vb. elementlerin çok büyük bir bölümü sülfürlü cevherlerden üretilmektedir. Ayrıca bu sülfürlü cevherler aynı zamanda önemli miktarda gümüş, altın ve platin grubu soy metalleri de içermektedir. Dünyanın hemen her yerinde bulunan bu tür cevherleri kompleks ya da kompleks olmayan cevherler olarak sınıflandırmak çoğu kez tartışma konusu olmaktadır(Wakamatsu and Shibata, 1989). Kompleks olarak adlandırılan cevherlerin, genel kabul görmüş ortak özellikleri aşağıda kısaca özetlenmektedir.

- Kompleks cevherler genellikle çok yüksek oranda, bazen %90 a kadar varan pirit içerirler.

- En az iki baz metalin (Cu-Zn, Zn-Pb veya Cu-Zn-Pb) mineralleri pirit matriks 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 içerikleri diğer cevherlerden daha fazladır.
- Kesin genel bir özellik olmamakla birlikte önemli olabilecek miktarlarda altın ve/veya gümüş içerirler.
- Oluşumları genelde denizaltı volkanizmasına bağlıdır.
- Tavan-taban sınırları oldukça belirgindir.
- Yatak başına rezervleri genellikle birkaç yüz bin tondan birkaç milyon tona kadardır.
- Diğer metalik cevherlerden çok daha fazla nominal değere sahiptirler.
- Yataktaki tenor ve mineralojik dağılım son derece düzensizdir ve yer yer çok zengin merccekler içerirler.

Kompleks cevherler diğer baz metal cevherlerine göre daha yüksek bir nominal değere sahiptir. Çizelge 2.2' de tipik bir kompleks Cu-Zn-Pb cevherinin metal içeriği Çizelge 2.3'te ise benzer cevherlerden dünyada üretilen selektif konsantrelerin ortalama kimyasal bileşimleri verilmektedir (Bayraktar ve Altun, 1996).

Çizelge 2.2. Tipik Bir Kompleks Cu-Zn-Pb Cevherinin Metal İçeriği.

Element	İçerik
Cu (%)	1.76
Zn (%)	7.81
Pb(%)	2.31
Ag (g/t)	105.0
Au (g/t)	0.74
Pirit (%)	60.0

Çizelge 2.3. Selektif Konsantrelerin Kimyasal Bileşimi ve Verimleri

Element	Cu-Konsantre	Zn-Konsantre	Pb-Konsantre	Pirit Konsantre
Cu (%)	21.0	1.3	5.2	0.50
Zn (%)	5.0	55.0	6.3	0.50
Pb (%)	4.6	2.5	52.0	0.40
Ag (g/t)	450	250	1055	53
Au (g/t)	2.5	0.1	7.5	1.0
Verimler (%)	75	90.0	60.0	70.0

2.2.2 Kompleks cevherlerde zenginleştirme sorunları

Kompleks cevherlerin pek çok özelliği cevher zenginleştirme için bir sorun teşkil etmektedir. Örneğin, cevher yatağında mineral ve tenör dağılımının homojen olmayışı laboratuvar ölçekli deney sonuçlarının ne derece güvenilir olabileceği sorusunu gündeme getirmektedir. Maden üretim planı ne kadar iyi yapılırsa yapılsın, cevher, tesise yatağın belirli bölüm veya bölümlerinden geleceği için, çok iyi bir karışım hazırlama yatırımı yapılmadığı takdirde tesise beslenen cevherde günlük, haftalık, aylık cevher karakteri değişimleri kaçınılmaz olacaktır.

Ayrıntılı bir cevher mikroskobisi yapılmadan bu tür cevherlerin zenginleştirilmesi çalışmalarına başlanmamalıdır. Cevher mikroskopisinin, kompleks cevherlerde sağlayacağı yararlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Ayrıca kompleks cevherlerde bazı minerallerin serbestleşmelerinin mümkün olmadığı durumlar da mevcuttur. Örneğin, sfaleritlerde kalkopirit hastalığı, ya bakır konsantrisinde çinko içeriğinin ya da çinko konsantrisinde bakır içeriğinin artmasına neden olacaktır. Cevherde bu durumun tespiti ve yaygınlık oranı belirlenmişse selektif bakır ve çinko konsantrelerinin safsızlık içerikleri de kestirilebilmektedir.

Bakır konsantrisinde cezaya tabi antimuan, arsenik, civa gibi safsızlıkların bulunabileceği, ham cevherdeki tetrahedrit, tennantit gibi minerallerin kalitatif olarak önceden belirlenmesiyle tahmin edilebilmektedir. Bu gibi minerallerin varlığı bakır-kurşun ayırımının olumsuz olacağına işaretidir, çünkü tetrahedritin flotasyon davranışı kalkopiritten farklı ve bazı durumlarda da stibnit ve galenite benzemektedir. Örneğin; tetrahedrit de galenit gibi siyanürle bastırılmamaktadır.

Sfaleritlerin yüksek oranda demir içeriğinin saptanması çinko flotasyonunda aktivasyon ile ilgili sorunlar çıkacağına işaretir. Çünkü marmatit ($ZnFeS$), sfalerit gibi kolayca aktive edilebilen bir mineral değildir.

Cevherleşme içinde kovellin ve kalkosin gibi sekonder minerallerin varlığı, sfaleriti bastırmak için kükürtdioksit kullanımını imkansız kılacaktır. Bu mineraller kükürtdioksit tarafından çözündüklerinden ortamda sfaleriti aktive etmek için gereğinden fazla Cu^{+2} iyonu olacaktır. Diğer taraftan, cevherin bir süre beklemesi de oksidasyona neden olmaktadır. Oksidasyon derecesi arttıkça selektif flotasyonun başarısı azalacaktır.

Metamorfizma geçirmemiş, genç volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş kompleks cevherlerde kil ve primer şlam problemleri oldukça sık görülmektedir. Primer şlam, doğal olarak çok ince cevher ve/veya gang mineralleri ile birlikte madencilik operasyonlarında oluşan ince taneler olarak tanımlanabilir. Öğütme sırasında oluşan şamlar ise sekonder şamlardır. Cevherleşme anında cevher kütlesi içindeki dayk vb. yapıların alterasyonu kaolin, serizit vb. gibi flotasyonu bozucu primer şlam ve kil minerallerinin oluşmasına yol açmaktadır. Eğer cevher, önemli miktarda kil ve primer şlam içeriyorsa, kilin ve primer şlamın mutlaka kırma devresinde yıkanıp, cevherden ayrılması gerekmektedir (Bayraktar ve Altun, 1996).

Bazı kompleks cevherlerin, halen flotasyon yoluyla selektif işlenmesinin mümkün olmadığı bir gerçektir. Dowa Mining Co., Japonya, flotasyonda erişilen selektivitenin yeterli olmaması üzerine ekonomik faktörler karşısında % 10 Cu, % 16–17 Zn ihtiva

eden bir bulk konsantre üretimini öngören ve sülfatlayıcı kavurma ve çözümlendirme ile elektroliz safhalarını kapsayan bir çalışma düzenine öncelik vermiştir.

Yurdumuzda ve özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde geniş rezervler gösteren Cu-Zn ve Cu-Zn-Pb kompleks cevherleri üzerinde yapılan selektif flotasyon denemeleri de, ekonomik faktörler dışında, teknik açıdan yeterli bir ayırımın mümkün olmadığını göstermiştir (Bor, 1974; Sapmaz vd., 1972).

Çayeli-Madenköy zuhurunda rastlanan ve sarı, siyah, dissemine tarif ettikleri her üç cevher tipinde de yeterli selektif bir Cu-Zn ayırımının mümkün olmadığı, deneylerle gösterilmiştir. Deneyler, her şart için çinko randımanının bakır randımanından daha yüksek bulunduğuna işaret etmektedir. Siyah cevherle yapılan bir bulk flotasyon % 7 Cu ve % 29 Zn tenörlerini göstermektedir. Giresun Espiye-Kızılkaya ve Lahanos cevherlerinin de aynı şekilde zorluklar çıkardığı bilinmektedir (Bor, 1974).

Giresun-Tirebolu-Köprübaşı cevher yatağının göze batan önemi, ekonomik değerlilikte üçten fazla (Cu, Pb, Zn ve Cd, Sb, Ag vb.) mineralizasyona sahip olması yanında, cevher hazırlama metotlarının selektivitesinin yetersiz kalmasıdır. Bu cevherden üretilebilecek bulk konsantre % 24 Pb, % 13 Zn, % 7 Cu ve % 5 Sb civarında, yine de metalurjik açıdan problemlidir. Selektif flotasyon yoluyla ise, % 37 Pb tenörlü kurşun konsantresinde % 14 Zn, % 7 Cu ve % 5 Sb bulunmakta, % 41 Zn tenörlü kurşun konsantresi ise bünyesinde % 6 Pb ve % 1 Cu ihtiva etmektedir (Bor, 1974).

2.2.3 Konsantre üretim seçenekleri

Kompleks cevherlerden konsantre üretim seçeneğini belirleyebilmek için geniş kapsamlı araştırmalar yapmak bir zorunluluktur. Çünkü üretim seçenekleri oldukça fazladır. Örneğin, selektif, bulk, selektif+bulk konsantre üretimleri gibi.

Kompleks Cu-Zn-Pb, Cu-Zn ve Zn-Pb cevherleri için farklı konsantre üretim seçenekleri mevcuttur. Tamamen selektif konsantreler üretilebileceği gibi bulk konsantreler de alınabilmektedir. Kompleks cevherlerde önce bulk ardından da seçimli olarak selektif flotasyonun uygulandığı prosesler mevcut olup, bazı işletmelerde de tamamen selektif flotasyon yapıp, konsantrelerin atıkları bulk flotasyonla kazanılmaktadır.

2.2.4 Selektif konsantre üretim yöntemleri

Birden fazla metal içeren kompleks cevherlerin flotasyonunda önce sfalerit ve pirit bastırıldıktan sonra ilk flotasyon aşamasında bakır ile kurşun birlikte yüzdürülür. Bu devrenin artığı önce çinko devresine beslenerek çinko aktive edilip yüzdürülür; çinko devresi artığı da pirit devresine beslenerek pirit konsantresi üretilir. İlk aşamada üretilen, bulk bakır-kurşun konsantresinden de selektif konsantreler üretebilmek için ya kurşun ya da bakır bastırılarak ayrılır (Bayraktar ve Altun, 1996).

2.2.5 Kompleks bakır-çinko sülfür cevherleri flotasyonu

Kompleks bakır-çinko flotasyonunda, cevherin mineralojik yapısı, minerallerin uygun serbestleşme boyutu, kullanılacak reaktif seçimi ve kullanılacak flotasyon aletinin teknolojik yapısı oldukça önemlidir. Metal sülfür flotasyonunda genelde toplayıcı olarak ksantatlar kullanılmakta ve ksantatlar metal-sülfür yüzeyine kimyasal olarak adsorbe olmaktadır. Eğer değerli metaller oksit veya sülfat formunda ise önceden mineral yüzeyinin canlandırıcılarla sülfürlenmesi gerekmektedir. Tüm metal-sülfürlerin ksantatlarla yüzebilme eğilimi olduğundan dolayı kompleks metal-sülfür flotasyonunda seçimliliği sağlamak için, istenmeyen mineraller bastırıcı reaktiflerle veya pH değişimi ile bastırılır. Bastırılan minerallerin kazanılmasında, demir sülfür için pH 5-5,5 civarlarına çekilir, çinko sülfür ise bakır sülfat ilavesi ile yüzeyi ksantata karşı aktif hale getirilerek yüzdürülür. Bakır ve çinko sülfür içeren cevherlerin flotasyonunda, bakır sülfür minerallerinden bakır iyonlarının ortama geçmesi

durumunda çinko sülfür minerallerinin canlanması ve kolaylıkla yüzmesi nedeniyle çinkosuz temiz bir bakır konsantresi alınması güçleşebilir. Bu problem uygulamada iki farklı yolla çözülebilir. Birincisi, çinko sülfat ilavesi ile çinko sülfürün bastırılmasıdır. İkinci yol; çinko zor ve uzun sürede, bakır ise kolay ve kısa sürede yüzdüğü için, bakır flotasyonunda flotasyon zamanının iyi ayarlanmasıdır.

Cu-Zn cevherleri için selektif flotasyondan başka seçenek maalesef günümüzde mevcut değildir. Sülfürlü bakır-çinko bulk konsantresi için geliştirilen endüstriyel hidrometalurjik prosesler yaygın olarak uygulanmamaktadır (Bayraktar ve Altun, 1996).

2.2.6 Cu-Zn cevherlerinde selektiviteyi etkileyen parametreler

Aktive edilmemiş sfaleritin kalkopirit ve/veya galenitten ayrılması genellikle sorun yaratmaz. Ancak bazı kompleks cevherlerde sfalerit, jeolojik süreç içerisinde yer alan doğal oksidasyon nedeniyle bakır minerallerinden çözünen Cu^{+2} ve bazı durumlarda da kurşun minerallerinden çözünen Pb^{+2} tarafından yerinde, doğal olarak aktive olmuş olabilir. Bu durumda sfaleritin kalkopirit veya galenitten ayrılması çok ciddi bir sorun oluşturulabilir ve bu doğal aktivasyonun, NaCN, ZnSO_4 , SO_2 gibi kimyasal maddelerle giderilmesi gerekir. Aksi takdirde selektif flotasyon başarılı olamayacaktır. Sfaleritin, bakır-kurşun veya bakır flotasyonu aşamasında başarılı bir şekilde bastırılması gereklidir. Üretilen bakır konsantresinde çinko istenmeyen bir safsızlıktır genellikle % 4-5'ten fazla çinko içeren bakır konsantrelerinin pazarlanması zordur. Bakır konsantresi içinde çinko içeriğinin artması diğer bir deyişle sfaleritin bastırılmaması, çinko konsantre veriminin düşmesine de neden olacaktır.

NaCN ve/veya ZnSO_4 ile sfaleritin bastırılması eskiden beri uygulanan bir tekniktir (Gaudin, 1957). Son yıllarda NaCN'ün yerini SO_2 gazı almıştır. Bunun başlıca nedeni, siyanürün yaratabileceği potansiyel çevre sorunları ve bu sorunun çözümü için zorunlu ve büyük harcamalar yapılmasıdır. Sfaleriti bastırmak için SO_2 kullanıldığı durumlarda, flotasyon ortamında bulunabilecek Zn^{+2} veya Ca^{+2} iyonlarının, sfalerit yüzeyinde hidrofilik ZnSO_3 ya da CaSO_3 tabakası oluşturduğu bazı

araştırmacılar tarafından iddia edilmektedir (Wakamatsu and Shibata, 1989). Bir başka çalışmada da SO_2 'nin ksantatları dekompoze ederek ortamdaki toplayıcı miktarını kontrol etmesinin selektiviteye yardımcı olduğu savunulmaktadır (Bayraktar ve Altun, 1996). SO_2 'nin ucuz olmasının yanında, özel tanklar ve besleme sistemine gerek duyması ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

SO_2 yerine Na_2SO_3 ve/veya $Na_2S_2O_5$ kullanılması da mümkündür. Ülkemizdeki ilk endüstriyel $Na_2S_2O_5$ uygulaması, Giresun-Espiye-Killik yöresi kompleks bakır-çinko cevherlerine Demir Export A.ř. tarafından yapılmıştır. İlk öğütme aşamasında kireçle pH 10 civarında tutularak değirmen çıkışlarına $Na_2S_2O_5$ ilave edilerek pH nötrale (6.6-6.8) edilmektedir. İşletmede % 3-4 Zn içeren bakır konsantresi % 19-22 Cu içeriği ve yaklaşık %70-80 arası bir verimle üretilmektedir (Bayraktar vd., 1991).

SO_2 'nin sfalerit ve piriti bastırmadaki rolü henüz çok iyi anlaşılmış değildir. Fakat SO_2 , kireç ile birlikte kullanıldığında NaCN / $ZnSO_4$ kombinasyonundan daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle artık dünyada NaCN / $ZnSO_4$ kombinasyonunu kullanan tesis hemen hemen hiç kalmamıştır (Bayraktar ve Altun, 1996).

Oldukça ince öğütme gereksinimi, polimetalik kompleks cevherlerde selektiviteyi olumsuz etkileyen bir nedendir. İnce öğütme, selektiviteyi artırmak için bir gereklilik olduğu halde, öğütme-sınıflandırma sistemi iyi kontrol edilmeyen işletmeler için ise sorun oluşturmaktadır. Çünkü sülfürlü minerallerin flotasyon verimleri ile tane boyları arasında bir ilişki vardır. Genelde 10 mikrondan daha küçük sülfürlü minerallerin flotasyonu güçtür ve verim kaybına neden olmaktadır (King, 1982).

BÖLÜM 3

JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ

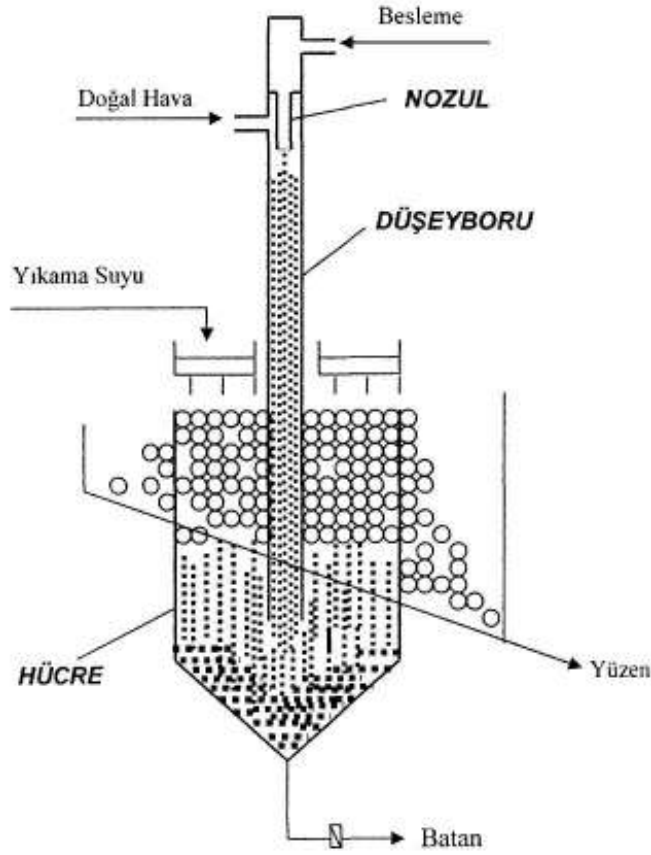
Uzun yıllardan beri daha ekonomik, daha basit ve daha yüksek tenör ve verim elde edebilmek için cevher zenginleştirmede flotasyon yöntemi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Jameson flotasyon yöntemi de bu türlü bir araştırmanın sonucunda tasarlanmış ve sürdürülen araştırmaların yardımıyla da geliştirilmeye devam edilmekte olan bir yöntemdir.

3.1 Jameson Flotasyon Hücresinin Tanıtımı

Jameson Flotasyon Hücresi (JFH), klasik flotasyon hücrelerinde flotasyonu sorunlu olan ince taneli minerallerin zenginleştirilmesine çözüm bulmak amacıyla 1985-1986 yılları arasında Mount Isa Madenleri (MIM) Şirketi ile birlikte yürütülen bir araştırma projesinde Newcastle Üniversitesinden Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanmıştır. 1989 yılında "Jameson Flotasyon Hücresi" adı altında patenti alınmış ve ilk endüstriyel uygulaması MIM Şirketinin Queensland 'daki (Avustralya) tesislerinde kolon flotasyonunun yerine kullanılarak yapılmıştır (Bangerter, 1998; Evans, et al., 1995; www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).

JFH basitleştirilmiş olarak Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, iki ana bölümden oluşmaktadır:

- İlki pülpün basınç altında beslendiği ve tane ile kabarcığın birbirine temasının sağlandığı silindirik bir düşeyboru,
- Diğeri tane yüklü kabarcıkların pülpten ayrılarak köpük zonundan uzaklaştırıldığı ve ayırımın gerçekleştirildiği hücre.



Şekil. 3.1 Jameson Flotasyon Hücresi Şematik Görünümü

Klasik flotasyon kolonlarından teknolojik olarak köklü değişiklikleri olan JFH yaklaşık olarak 3,5 metre yüksekliğinde bir flotasyon aletidir. Pilot ve endüstriyel ölçekteki flotasyon sonuçları oldukça iyi sonuçlar göstermiştir. Hidrodinamik etkilerden dolayı Jameson hücresinde iri boyutlu minerallerin flotasyon randımanı ince taneli minerallerin flotasyon randımanına göre düşüktür (Öteyaka, 1993).

3.2 Jameson Flotasyon Hücresinin Çalışma Prensipleri

Düşey boru yaklaşık olarak 1,5-2 metre boyunda, 15-50 mm çaplarındadır. Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi düşey borunun üst kısmında pülpün beslendiği nozul (3,5-10 mm çaplarında) ve yan taraftan doğal havanın girdiği küçük çaplı boru vardır. Yaklaşık

olarak 140 -170 kPa basınç altında beslenen koşullandırılmış pülp, nozuldan düşey boru içerisine su jeti şeklinde akar ve oluşan basınç düşmesi nedeniyle dışarıdan doğal hava boru içerisine vakumlanır. Düşey boruda oluşan pülp + hava karışımında hold-up (hacimsel hava miktarı) yaklaşık olarak %40-70 arasındadır. Bu bölgede ince hava kabarcıklarıyla (400-600 mikron) ile hidrofob mineral taneleri arasında flotasyonun mikro olayları gerçekleşir ve hidrofob ince taneler (-100 mikron) hava kabarcıklarına yapışır. Oluşan agregalar ve hidrofil taneler düşey borunun alt kısmından hücrenin (tankın) içine geçer. Hücrenin kesit alanı düşeyboruya göre oldukça büyük olduğundan burada daha sakin bir ortam vardır.

Kolonun hücre kısmı, agregaların hidrofil tanelerden ayrıldığı bölgedir. Agregalar hücrenin üst kısmına doğru yükselerek köpük zonunu oluşturur. Hidrofil taneler ise hücrenin altından kolonu terk eder. Hücrenin üst kısmında oluşan köpük bölgesine yıkama suyu ilave edilir. Yıkama suyunun görevleri:

- Sistemin Bias pozitifte (artık debisi > besleme debisi) çalışmasını sağlamak,
- Köpük bölgesinin stabilitesini sağlamak,
- İnce hidrofil tanelerinin konsantre içerisine hidrolik olarak sürüklenmesini engellemektir.

Jameson hücresine pülp beslemesi ve yıkama suyu verilmesi kontrol kolaylığı olan pompalarla yapılır. Tüm besleme ve çıkış debileri elle (manuel) veya otomatik olarak debi ölçerlerle kontrol edilir.

Endüstriyel boyuttaki Jameson hücreleri, genellikle tek bir hücre içinde birden fazla düşeyboru olacak şekilde dizayn edilmektedirler. Bazı büyük tesislerde bir hücreye bağlı 30 ayrı düşeyboru bulunabilmektedir (Jameson and Manlapig, 1991; Evans, et al., 1995; Summers, et al., 1995; Ata ve Önder, 1997; Bangerter, 1998; Harbort and Manlapig, 2003 b).

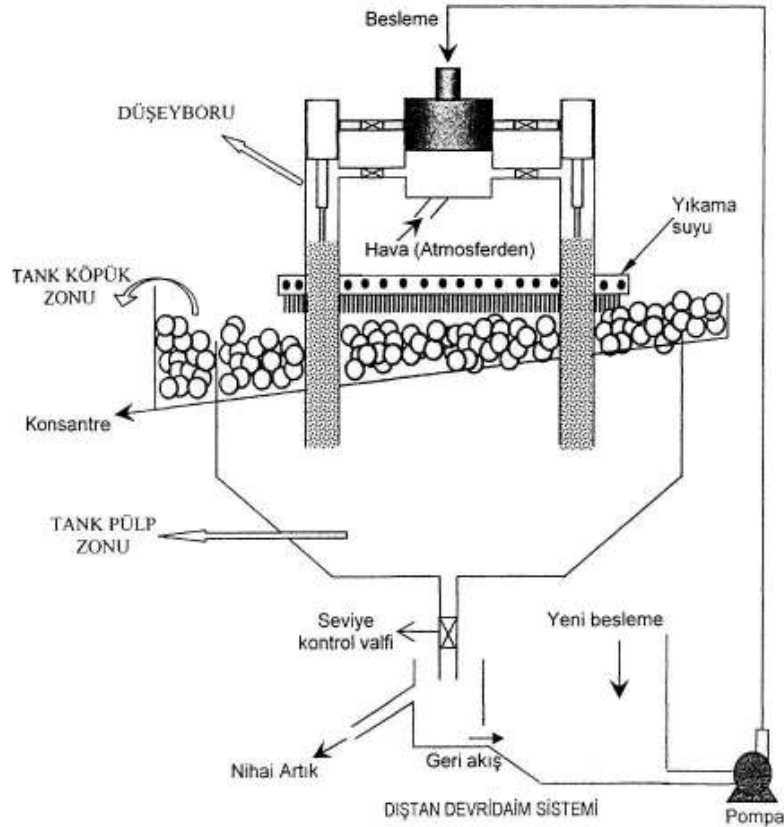
Metalik cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen bu teknoloji, kömürde yapılan pilot çaptaki uygulamaların iyi sonuç vermesi üzerine,

son yıllarda kömür yıkama tesislerinde de kullanılmaya başlanmıştır. JFH özellikle ince kömür kazanımı ve metal cevherlerinin flotasyonunda tercih edilmekle beraber solvent ekstraksiyonu, endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesi ve atık suların arıtımında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Bangerter, 1998; Kennedy, 1990; Carretta et al., 1997; Clayton, 1994; Jameson and Manlapig, 1991; Harbort et al., 1997; Mohanty, 2001; Dawson and Yannoulis, 1996; Yan and Jameson, 2004; Jameson, 1999; Harrison, 1998; Orr, 2000).

JFH nin genel yapısı ve hücrede meydana gelen zonlar Şekil 3.2'de verilmiştir. Pülp beslemesi basınç altında nozuldan pompalanır. Bu basınç düşey borunun üst kısmında yüksek hızlı bir jet yaratır. Jetin boru içindeki sıvıya dalması sonucunda düşeyborunun üst boşluğundaki hava pülp çözeltisi içine emilir. Havanın bu şekilde emilmesi hücrenin dibinde bir sızdırmazlık oluşmasını sağlar. Bunun sonucunda pülp, hücreden düşeyboru içine yukarı doğru çekilir. Pülp seviyesi oldukça hızlı bir şekilde nozulun uç kısmına ulaşır. Pülpün meydana getirdiği hidrostatik bir emmenin sonucu olarak düşeyborunun üst kısmındaki basınç, atmosferik basınçtan daha azdır. Delik açıldığında hava, bu basınç farkından dolayı düşeyborunun üst boşluğuna doğal olarak emilir ve buradan da dalan jet yoluyla pülp çözeltisi içine alınır. Daha sonra hava ince kabarcıklara parçalanır. Yüksek karıştırma hızı ve büyük ara yüzey alanından dolayı düşeyboruda hızlı bir temas etme ve tane toplaması gerçekleşir. Düşeyborudaki kalma süresi 10-30 saniye arasında değişir (Harbort, et al., 2002, 2003 a, 2003 b; Jameson and Manlapig, 1991; Bangerter, 1998; Taşdemir, 2006). Üç fazdan oluşan karışım çözeltisi, düşeyborunun alt ucundan hücreye verilir. Düşeyborudan daha büyük kesit alanı olduğu için hücre içinde durgun ve sakin bir akış hakimdir. Dolayısıyla karışımın aşağı doğru olan kesitsel hava hızı azalır. Böylece tane yüklü kabarcıklar pülp çözeltisinden ayrılarak yüzeye doğru yükselirler ve bir köpük tabakası oluştururlar. Pülp çözeltisi ve hidrofob taneler hücrenin alt kısmından uzaklaştırılırlar.

Tank içinde kalma süresi kaba flotasyon uygulamaları için yaklaşık 40 saniye, temizleme uygulamaları için 3 dakikadır. Köpük zonuna gelen hidrofob taneler ise, köpüğün taşmasıyla ve/veya köpüğün yıkanmasıyla köpükten

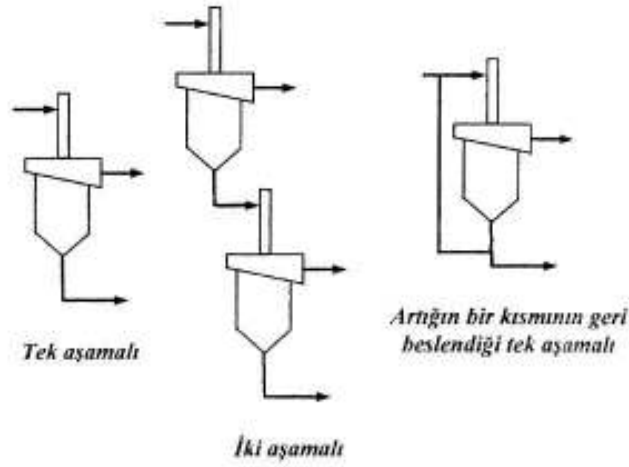
uzaklaştırılırlar (Jameson and Manlapig, 1991; Evans, et al., 1995; Summers, et al., 1995; Harbort et al., 2002, 2003 b; Bangerter, 1998).



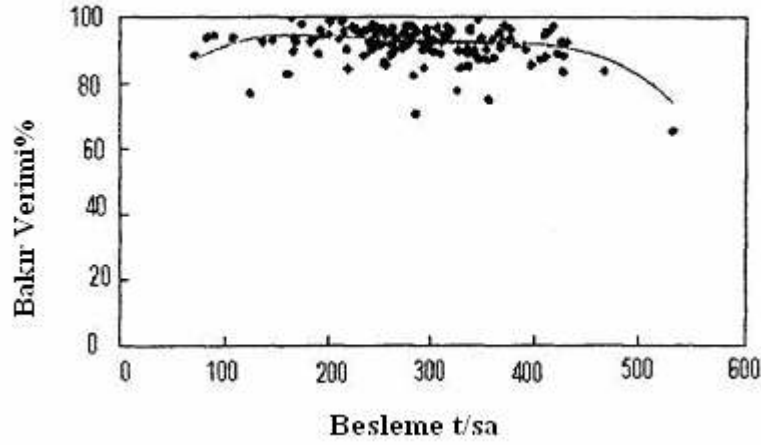
Şekil 3.2 JFH nin genel yapısı ve hücrede meydana gelen zonlar

Düşeyboru ve hücre takımından oluşan JFH nin birden fazla düşeyborusu olabilmektedir. Bu durum olması hücrenin çalışma şeklini değiştirmemekte, zenginleştirme performansı aynı kalmaktadır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hücreler çalıştırılma şekillerine göre tek aşamalı, iki aşamalı ve artığın bir kısmının geri beslendiği tek aşamalı gibi farklı çalışma şekillerinde sahiptir (Carretta, et al., 1997). Genellikle artığın bir kısmının devridaim edildiği çalışma şekli tercih edilmektedir. Hücrenin dengeli çalışması için, düşeyboruya beslenen pülp akışının kesintisiz olması gerekmektedir. Bu kesintisiz çalışma sistemi, hücre artık çıkışının bir

kısının besleme haznesine geri beslenerek devridaim edilmesi ile sağlanmaktadır. Hazneye gelen yeni besleme dalgalı-değişken olduğundan, devridaim edilecek miktar otomatik olarak ayarlanarak, düşeyboruya düzenli bir besleme akışı yapılabilmektedir. Böylece, düzenli bir performans yaratılmakta ve hücre çalıştırıldığında besleme akış değişiklikleri için herhangi bir parametre değiştirmeye gerek kalmamaktadır. Örneğin; şekil 3.4'teki grafikte görüldüğü gibi, hücreye olan besleme miktarları değişse bile devri daim sistemi sayesinde hücre performansında bir değişiklik olmamaktadır. Aynı zamanda, devridaim sistemi ile çalışıldığında beslenen malzeme birçok kez düşeyborudan geçerek işleme tabi tutulduğundan dolayı, tenör ve verim artmaktadır. Genellikle devridaim edilecek yeni besleme %20-45 aralığında ayarlanmaktadır (Jameson hücresi broşürü, 2004).



Şekil 3.3 Jameson hücresi çalışma şekilleri (Carretta, et al., 1997)



Şekil 3.4 Besleme miktarına göre JFH çalışma performansı (Jameson hücresi broşürü, 2004)

3.3 Jameson Flotasyon Hücresinin Üstünlükleri

Jameson hücresinin spesifik özellikleri ve çalışması, mekanik hücrelerden ve flotasyon kolonlarından çok farklıdır. JFH daha iyi performans ve daha basit çalışma sağlayarak flotasyona yeni bir yaklaşım getirmiştir (Kennedy, 1990; Jameson and Manlapig, 1991; Atkinson et al., 1993; Clayton, 1994; Evans, 1995; Carretta et al., 1997; Harbort et al., 1997, 2003 a; Ata ve Önder, 1997; Cloke et al., 1997; Mohanty and Honaker, 1999; Bangerter, 1998; Güney et al., 1997; Gray et al., 2000; Jameson Hücresi broşürü, 2004; www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).

Flotasyon aletlerinin hepsinde de iki önemli aşama vardır:

- Hava kabarcıkları ile hidrofobik özellikteki tanelerin toplanması,
- Yüzdürülen tanelerin köpük yoluyla hücreden taşınması.

Mekanik hücrelerde, tanelerin toplanması konusunda yoğunlaşmış ve bu makinelerde köpük davranışının tenör ve verim üzerine etkileri fazla önemsenmemiştir. Dolayısıyla da iyi bir köpük kontrolü çalışılmamıştır.

Flotasyon kolonunda ise tanelerin kabarcıklar tarafından toplanması kolondaki uzun pülp zonunda gerçekleşmektedir ve kolonun bu tasarımı köpük tabakasının daha iyi kontrol edilmesi için elverişli bir ortam sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı flotasyon performansında kolon önemli gelişmeler sağlamıştır ve özellikle temizleme flotasyonu devrelerinde son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Bangerter, 1998).

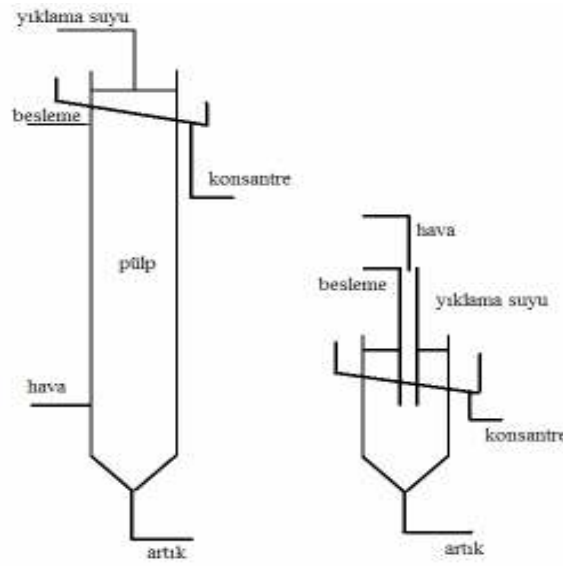
Jameson Flotasyon Hücresinde ise ne kolonda ne de mekanik flotasyon hücresinde başarısız olan temas etme zonu (düşeyboru içinde) ile köpük zonu (hücre içinde) birbirinden ayrılmıştır. Düşeyboruda, yoğun ve hızlı tane toplanmasını sağlayan, yüksek boşluk içeren (%40-70) ve çok ince boyutlu kabarcıkların (400µm) oluşturulduğu bir ortam yaratılmıştır. Ayırma hücresi ise mineral yüklü kabarcıkların köpük zonuna taşınmasını sağlayan oldukça sakin bir bölgedir ve daha iyi köpük kontrolü yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı JFH'nde hem yüksek tenör hem de yüksek verimin elde edilebildiği bir zenginleştirme meydana gelmektedir (Evans et al., 1995; Bangerter, 1998).

Jameson Flotasyon Hücresinin diğer flotasyon aletleriyle karşılaştırıldığında pek çok üstün yanları vardır. Özellikle ilk maliyet, işçilik, tamir-bakım ve flotasyon verimi açısından öne çıkan bu üstünlüklerini şu şekilde sıralanabilir:

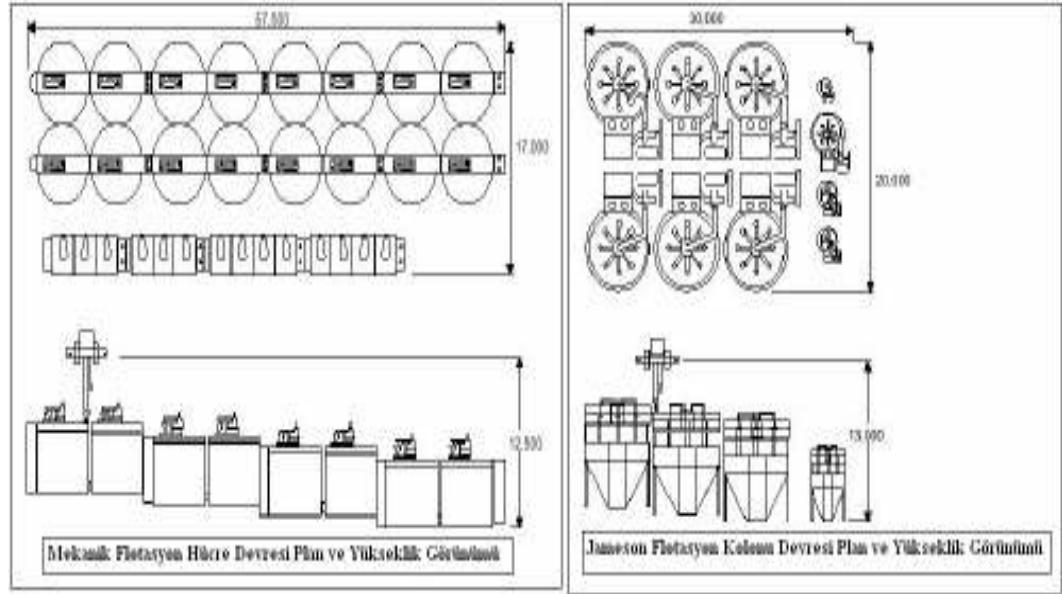
Kendiliğinden havalandırma: Sistemin çalışması sırasında, bir hava kompresörüne ihtiyaç yoktur. Çünkü sistem tasarımından dolayı, hava kendiliğinden ve doğal olarak sistem içerisine çekilmektedir (Jameson and Manlapig, 1991; Ata ve Önder, 1997; Kennedy, 1990; Evans et al., 1995).

Düşük maliyet: JFH ilk yatırım ve işletim maliyeti açısından diğer flotasyon aletlerinden oldukça üstündür. Sistem kurulduktan ve işletmeye alındıktan sonra da çok fazla bir müdahaleye gerek olmadığından, işçilik giderleri de oldukça düşük olmaktadır. Besleme pompası dışında hareketli ve yüksek devinimli parçaya sahip olmadığından, bakım ve onarım masrafları da diğerlerine göre oldukça düşüktür (Bangerter, 1998; www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).

Küçük Boyut: Kapladığı alan açısından klasik flotasyon hücrelerine, yükseklik bakımından klasik flotasyon kolonuna (modifiye flotasyon kolonu hariç) göre çok daha avantajlıdır (Şekil 3.5). Şekil 3.6'da aynı kapasiteye sahip bir kolon ve Jameson hücrelerinin boyutsal karşılaştırılması görülmektedir (Ata ve Önder, 1997). Aynı işi yapan mekanik hücre 969 m²'lik bir alan kaplarken, Jameson hücresi 600 m²'lik alan kaplamaktadır (Gray et al., 2000; Ata ve Önder, 1997) (Şekil 3.5 ve 3.6). JFH için gerekli alan, mekanik hücrelerin kapladığı alanın %60'ı kadardır ve yüksekliği de kolonun yüksekliğinden %30 daha azdır (Jameson and Manlapig, 1991; Bangerter, 1998; Ata ve Önder, 1997; Harbort et al., 1997; Kennedy, 1990; Evans et al., 1995; www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).



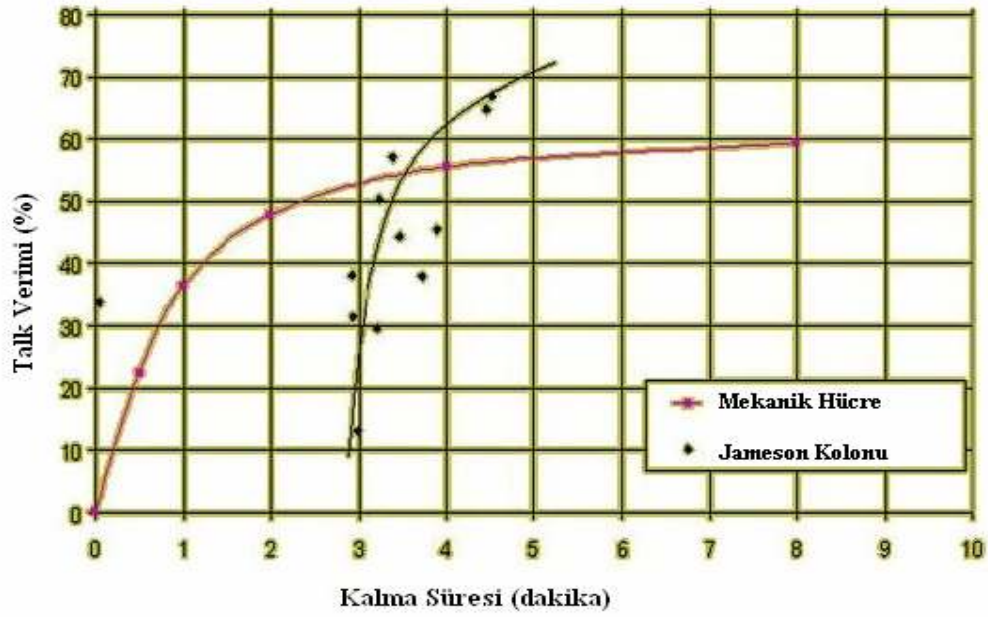
Şekil 3.5 Klasik flotasyon kolonu ile Jameson Flotasyon Hücresi'nin boyutsal karşılaştırılması (Kennedy, 1990; Ata ve Önder, 1997)



Şekil 3.6. Jameson hüresi ve mekanik hücre devreleri plan ve yükseklik görünümüleri (Gray et al., 2000)

Kontrol kolaylığı: Bütün sistemi kontrol etmek diğer sistemlere göre, çok daha kolaydır. Bu nedenle otomatik kontrol yönünden de avantaj sağlamaktadır (Ata ve Önder, 1997).

Kısa kalma süresi: Flotasyonun mikro olaylarının (karşılaşma, çarpışma, yapışma gibi) gerçekleştiği düşeyboru içerisinde pülpün kalma süresi yaklaşık 10-30 saniyedir. Pülpün tümüyle sistemden ayrılması ise 2-3 dakika sürmektedir. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha kısa kalma süresi Jameson hücresinin en önemli avantajlarından biri olmaktadır (Şekil 3.7) (Mohanty, 2001; Harbort et al., 1997; Jameson and Manlapig, 1991; Kennedy, 1990; Harbort et al., 2003 a).



Şekil 3.7 Mekanik hücre ve Jameson hücresi kalış sürelerinin talk cevheri için karşılaştırılması (Harbort et al, 2003 a)

Çizelge 3.1. Jameson ve mekanik flotasyon hücresinin enerji tüketimi (Ata ve Önder, 1997; Harbort et al, 1997)

Tonaj (t/s)	Enerji Tüketimi (JFH) (kW)		Jameson Hücresi	Mekanik Hücre
10	2,24	Enerji tüketimi (kW)	197,8	393
20	4,48			
50	11,19			
100	22,38			
150	33,57			

Düşük güç tüketimi: JFH enerji tüketimi açısından da diğer flotasyon aletlerine göre çok daha avantajlıdır. Çizelge 3.1'de, Jameson hücresinin tonaja göre enerji tüketimi ve temizleme-süpürme flotasyon devresindeki Jameson hücreleri ile

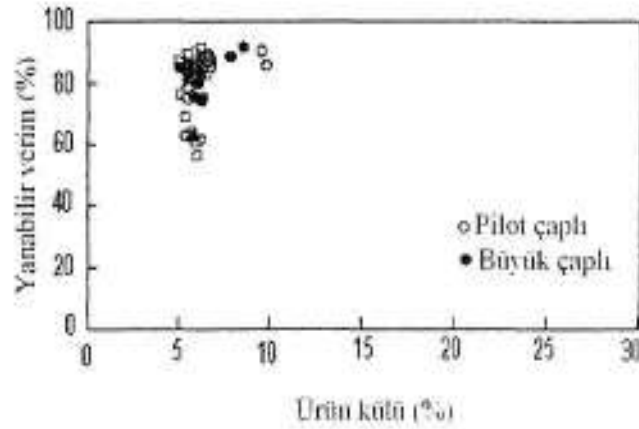
Mekanik flotasyon hücrelerinin enerji tüketimleri verilmektedir (Ata ve Önder, 1997; Harbort et al., 1997).

Geniş tane boyu aralıklarında kullanılabilme: Jameson Flotasyon Hücresinin diğer bir üstün yönü ise çok geniş tane boyut aralığına sahip olmasıdır. Diğer bir deyişle, çok iri ya da çok ince taneciklerle çalışabilme becerisine sahiptir (Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997). Özellikle ince tanelerde yüksek verimde yüksek tenörlü konsantreler elde edilir (Jameson hücresi broşürü, 2004; Gray et al., 2000, Mohanty, 2001; www.acarp.com.au).

Yüksek Üretim Kapasitesi: Tek bir Jameson hücresi, büyük miktarlarda cevher zenginleştirebilme kapasitesine sahiptir. Dikdörtgen veya dairesel hücreden oluşan bir veya birden çok düşeyborusu olacak şekilde tasarlanabilen Jameson hücreleri 80 m³/sa 'ten 3000 m³/sa 'e kadar geniş besleme debilerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı daha üstün metalurjik performans gösterirler (Bangerter, 1998; Jameson hücresi broşürü, 2004).

Direkt Ölçeklenebilme: Jameson hücresinde düşeyboru performansı, boyuttan bağımsızdır ve çalışma parametreleri kabarcık yüzey alan akışıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle laboratuvar veya pilot ölçekteki bir Jameson hücresinden elde edilen sonuçlar %100 doğrulukla ticari boyuta uygulanabilmektedir (Şekil 3.8) (Gray et al., 2000; Jameson hücresi broşürü, 2004; Bangerter, 1998).

En yüksek verim ve tenör: İnce hava kabarcıkları, şiddetli karıştırma, yüksek temas etme olasılığı (karşılaşma-çarpışma-yapışma) sayesinde Jameson hücresinden yüksek tenör ve verim değerleri elde edilebilmektedir (Bangerter, 1998; Atkinson et al., 1993; Jameson hücresi broşürü, 2004).



Şekil 3.8 Pilot ve büyük çaplı Jameson hücrelerinde ürün külüne göre yanabilir kısım değerlerinin karşılaştırılması (Jameson hücresi broşürü, 2004)

En uzun mekanik ömür: Hücrede hareketli parça çok az olduğundan her iki veya dört yılda bir değiştirilmesi gereken tek önemli parça nozuldur. Ayrıca bu bölümün sökülüp takılması oldukça kolaydır ve çok kısa zaman almaktadır (www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).

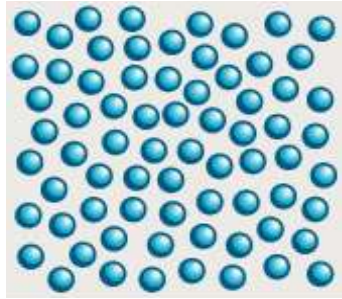
Temasa bağımlı: Jameson hücresi akışa dayalı bir teknolojidir. Dolayısıyla diğer klasik hücrelerdeki gibi boyutlandırılması kalma süresine bağlı değil, kesit alanına dayalıdır (Bangerter, 1998).

Küçük kabarcık boyutu: Jameson hücresinin en üstün yönlerinden biri de ürettiği kabarcık boyunun küçük olmasıdır. Hücrede dar bir alandan oluşan düşeyboru içerisinde, yüksek hıza sahip jetin dalması sonucu giren hava, yüksek kesme-parçalama kuvvetleri ile çok ince hava kabarcıklarına dönüşmektedir. Jameson hücresinde en yakın rakibinin ürettiği kabarcık boyutunun yarısı büyüklüğünde kabarcık boyutu elde edilmektedir (Şekil 3.9) (Jameson and Manlapig, 1991; Bangerter, 1998; Ata ve Önder, 1997; Harbort et al.,1997; Kennedy, 1990; Evans et al., 1995; www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html).

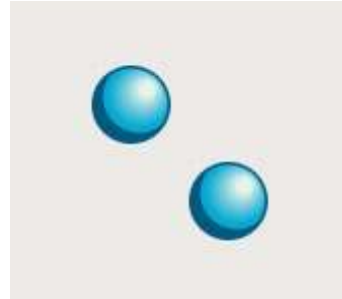
Basit Çalışma Şekli: Şimdiye kadar Jameson hücrelerinin bütün uygulamalarından, hücrenin çalışmasının basit ve dengeli olduğu sonucuna varılmıştır. Hücrenin kurulumunda bütün değerler ayarlandığından her defasında ayarlama gerekmemektedir. Tesislerde akım şemalarına kolayca birleştirilebilir, esnektir ve değişik değerlerde pülp yoğunlukları, akış hızları, hava/besleme oranları, köpük derinlikleri ve yıkama suyu oranları kullanılarak çalıştırılabilmektedir (Bangerter, 1998; Atkinson et al., 1993; Jameson hücresi broşürü, 2004).

Mekanik hücreler ve JFH nin ürettiği kabarcık boyutunun karşılaştırmasının yapıldığı bir araştırmanın sonuçları Şekil 3.9'te verilmiştir.

	<i>Jameson flot. hücresi</i>	<i>Mekanik flot. hücresi</i>
Ortalama kabarcık çapı (μm):	300	1000
Kesme/şiddeti (l/s):	200-250	7-10



Jameson Flotasyon Hücresi
(Ortalama kabarcık çapı = 0.3 mm
Toplam yüzey alanı = 20 mm²)



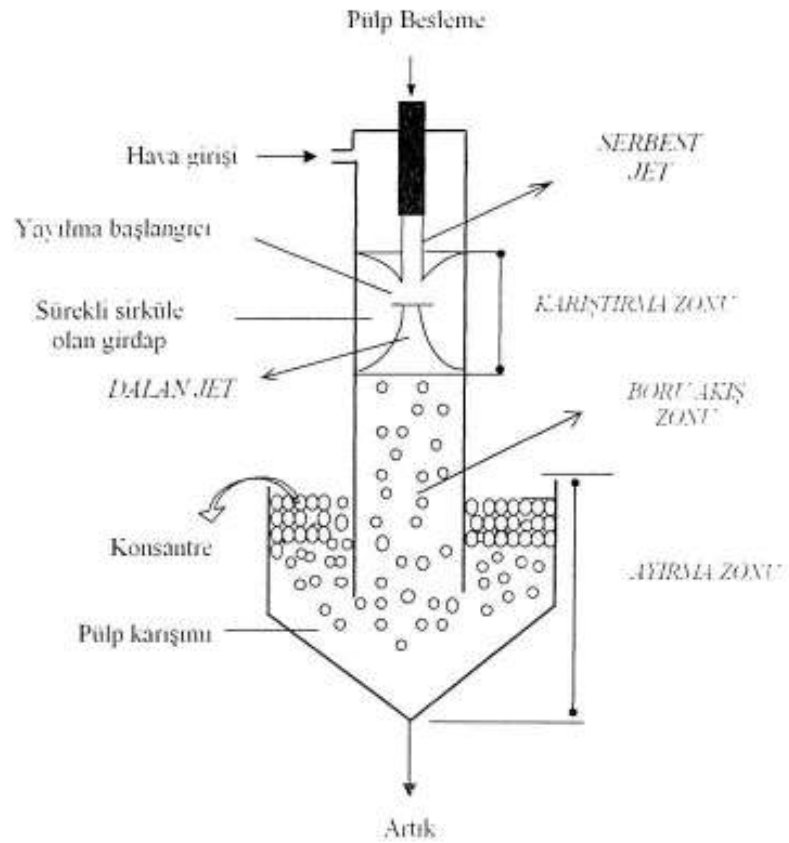
Mekanik Flotasyon Hücresi
(Ortalama kabarcık çapı = 1 mm
Toplam yüzey alanı = 8 mm²)

Şekil 3.9 Jameson ve mekanik flotasyon hücrelerinde 1mm³ hava ile üretilen kabarcık boyutları (www.jamesoncell.com/index.cfm?action=dsp_content&contentID=16)

BÖLÜM 4

JAMESON FLOTASYON HÜCRESİNİN HİDRODİNAMİĞİ

JFH nde farklı hidrodinamik bölgeler vardır. Düşeyboru içinde serbest jet, dalan jet, karıştırma zonu ve boru akış zonu meydana gelirken; hücre içerisinde köpük tabakasını da kapsayan ayırma zonu oluşmaktadır (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996) (Şekil 4.1).

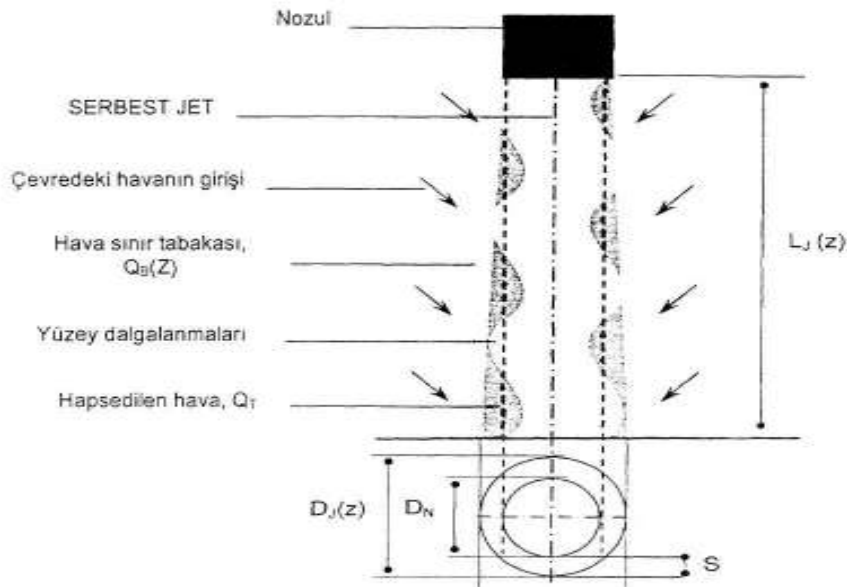


Şekil 4.1 Jameson Hücresindeki Hidrodinamik Bölgeler

4.1 Düşey Borudaki Hidrodinamik Bölgeler

4.1.1 Serbest jet (Free jet)

Serbest jet, nozulun uç kısmı ile düşeyboru içindeki sıvının yatay yüzeyi arasında kalan bölgeye verilen isimdir. Pülp, basınç altında nozula gönderildiğinde, sıvı jeti delik çeperinden geçecek ve jet düşeyboru içinde ilerlerken etrafını saran borunun üst boşluğundaki hava ile temas edecektir. Jet nozuldan çıktığında; jetin çapı genişleyecek ve dolayısıyla jet hızında bir gevşeme meydana gelecektir. Bu gevşeme sayesinde pülpün nozul içinde olduğu andaki hız profili, jetin nozuldan dışarı çıkmasıyla düzgün akışlı (plug-flow) bir hız profiline dönüşmesine sebep olur. Daha sonra; jeti sınırlayan dış çeper ile etrafını saran havanın aralarındaki etkileşiminden dolayı, aşağı akan bu hız profili, düzgün akıştan dalgalı akışa dönüşmektedir. Bu etkileşim jetin serbest yüzeyindeki jet hızını yavaşlatmakta ve serbest jet çapının büyümesine neden olmaktadır (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002; 2003 b; Jameson Hücresi broşürü, 2004).



Şekil 4.2 Serbest jet ile havanın taşınma mekanizmaları (Evans et al., 1995)

Jet nozuldan çıktığında, mevcut hızının gevşemesiyle jetin dış yüzeyinde yanıl dalgalanmalar oluşmaktadır. Jet uzunluğunun artması ile dalgalanmaların büyüklüğü de artmakta ve bağılı olarak jetin etkin çapı da artmaktadır (Şekil 4.2).

Jet yüzeyinin dalgalanmalar sonucu oluşan düzensiz yapısına "yüzey pürüzlülüğü" adı verilirken, yüzey pürüzlülüğü gösteren jetlere "pürüzlü jetler", hiç yüzey pürüzlülüğü göstermeyen jetlere "düz jetler" adı verilir.

Yüzey pürüzlülüğü, sistemin akışını engelleyici koşullarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Pompanın oluşturduğu girdap, motordan gelen titreşim veya borunun iç yüzeyindeki düzensizlikler gibi dengesizlikler, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur (Evans et al., 1995).

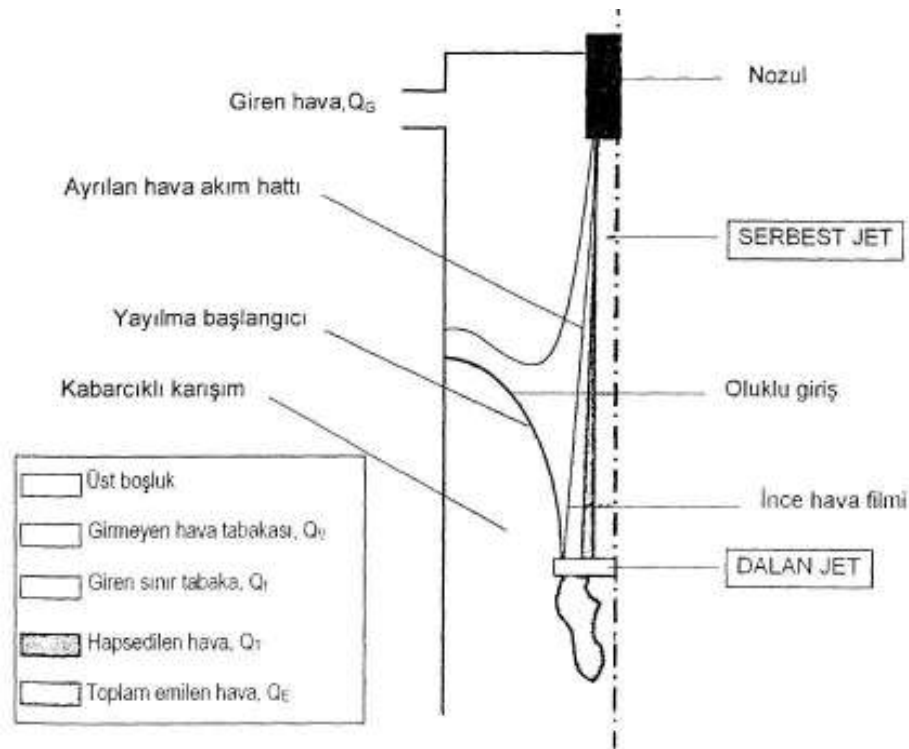
Serbest jet düşeyborunun üst boşluğundan geçerken beraberinde havayı da sürüklemektedir. İnce halka şeklindeki hava katmanı $Q_B(Z)$, jet yüzeyine bitişik olarak taşınırken, jetin etkin çapı içinde bir miktar hava da (Q_T) hapsedilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü göstermeyen düz jetler içlerinde hava tutmazlar. Dolayısıyla hızı ve pülp akış oranı aynı olan iki jet için pürüzlü jet düz jetten daha fazla hacimde hava taşımaktadır (Evans et al., 1995).

4.1.2 Yayılma başlangıcı (Induction trumpet)

Serbest jet düşeyboru içindeki sıvı karışımının yüzeyine çarparak sıvı yüzeyinde bir çökme oluşturur. Buna "yayılma başlangıcı"(Induction Trumpet) denir. Serbest jet, içine aldığı hava tabakasını beraberinde taşıyarak yayılma başlangıcından geçer. Hava, serbest jetin ve yayılma başlangıcının oluşturduğu kesme etkisinden dolayı düşeyboru içine doğal olarak vakumlanır (Jameson hücresi broşürü, 2004; Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002).

Şekil 4.3'te yayılma başlangıcının olduğu bölgenin yarı kesit görünüşü verilmiştir. Görüldüğü gibi; serbest jetin hareketi (momentumu) ile düşeyborunun üst

kısımındaki sıvı serbest yüzeyi, aşağıya doğru çekilmektedir. Yayılma başlangıcı, üst kısımda geniş olarak açılıma sahiptir ve sonra uç kısmı serbest jetin etkin çapına bitişik, ince halka filmi şeklinde daralır. Hava tabakası, oluklu giriş kanallarından yayılma başlangıcının içine doğru hareket eder. Emilen havanın bir kısmı, ince film şeklinde girerken; hava tabakasının içindeki geride kalan hava, sıvının yatay serbest yüzeyi boyunca merkezden dışarıya hareket eder ve üst boşluğa geri döner.



Şekil 4.3 Dalan jet içine emilen hava akışı (Evans et al., 1995).

4.1.3 Dalan jet (Plunging jet)

Dalan jet, düşeyborunun üst kısmındaki sıvının yatay serbest yüzeyi ile serbest jetin çarpıştığı bölge olarak tanımlanmaktadır. Yayılma başlangıcından geçen jet düşeyborudaki asıl sıvı haznesi içine girer. "Dalan jet" diye isimlendirilen bu alanda jetin yüksek kesme hızı sayesinde ortama giren hava tabakası birçok küçük hava kabarcığına parçalanarak düşeyboruda aşağıya doğru taşınır. Dalan jet, yüksek enerji

dağılımının ve türbülansın olduğu bir alan yaratır ve oluşan momentum jetin etrafını saran sıvıya aktarılır. Jet, düşeyboru kesit alanını kaplayacak şekilde genişleyerek, sürekli karıştırmanın sağlandığı ve içerisinde havanın bulunduğu sıvı girdapları oluşturur (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002).

Yayılma başlangıcı bölgesinde serbest yüzeyinde meydana gelen dengesizliklerden dolayı, sürekli şekilde çökmeler oluşur. Bu sayede hava kesintisiz olarak içeri emilir. Dalan jetin hava emme kapasitesi düşeyboruya giren hava beslemesi miktarına eşit değildir. Bunun nedeni, karıştırma zonu içinde havanın sürekli sirküle edilmesidir. Havanın belli bir kısmı üst boşluğa geri dönmekte ve buradan tekrar dalan jet ile emilmektedir. Karıştırma zonunda, havanın sürekli sirküle edilmesi, düşeyboruya girebilecek yeni hava miktarını etkin bir şekilde azaltmaktadır (Evans et al., 1995).

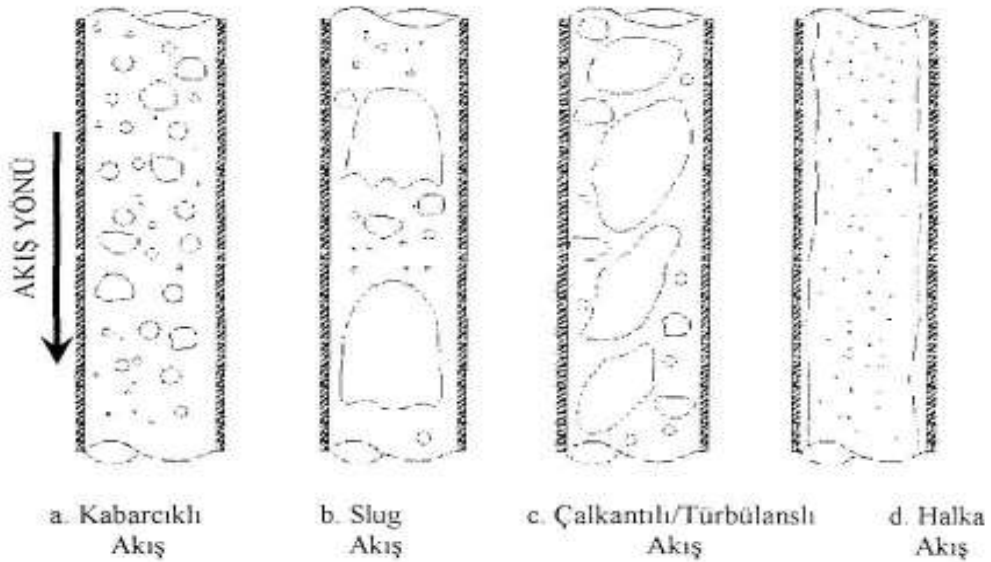
4.1.4 Karıştırma zonu (Mixing zone)

Yayılma başlangıcının altında, dalan jetin sıvı içine girmesiyle oluşan alan ve dalan jet ile düşeyboru duvarı arasında sürekli karıştırılan sıvı kısmın oluşturduğu bölgeye "karıştırma zonu" (mixing zone) adı verilir. Karıştırma zonu, dalma noktasının hemen altında dalmış jet içindeki, düşeyborunun kesit alanını kaplayacak kadar genişleyen sıvının oluşturduğu hacim olarak da tanımlanır. Aynı zamanda düşeyboru duvarı ve dalan jet yüzeyi arasında sürekli karıştırılan girdap olarak da ifade edilmektedir. Bu girdap ve dalan jet arasındaki yüksek hızlar nedeniyle, karıştırma zonu içinde yüksek bir enerji yayılımı vardır. Dalan jet ile giren hava, ince kabarcıklara parçalanır ve sonra sıvının hareketi ile beraber boru akış zonu içine aşağıya doğru taşınırlar. Karıştırma zonu içinde tanelerin hava kabarcıklarına yapışması gerçekleşirken bir taraftan da yeni kabarcık oluşumu devam etmektedir (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002).

4.1.5 Boru akış zonu (Pipe flow zone)

Karıştırma zonunun altındaki çok fazlı ve düzenli bir akışın olduğu kısma "boru akış zonu" (Pipe flow zone) denir. Düşeyboru içinde aşağıya doğru olan akış hızı, kabarcıkların yukarı yükselmelerine engel olur. Bu alanda hava kabarcıkları ve taneler yüksek boşluk fraksiyonlu büyük bir yatak oluşturacak ve bir araya gelecek şekilde sıkıştırılırlar (Evans, 1990; Evans et al., 1995; Harbort, et al., 2002; Jameson Hücresi broşürü, 2004).

Pülp sıvısıyla birlikte aşağıya doğru hareket ederken, düşük hava hızlarında, sıvı faz ile aynı hıza sahip olmayan, küçük ve farklı çaplarda birbirlerinden ayrı kabarcıklar oluşur. Bu akış şekline "kabarcıklı akış" adı verilir (Şekil 4.4-a). Büyük çaplı kabarcıklar düşeyborunun kenarlarına yaklaşırken; küçük çaplı kabarcıklar, aşağı doğru hızları daha büyük olduğundan düşeyborunun merkezine doğru toplanma eğilimindedirler.



Şekil 4.4 Düşeyboru içinde meydana gelen akış türleri (Evans, 1990; Mandal, et al., 2005; Stephens and Ireland, 2002)

Hava debisi arttırılırsa, birbirlerinden ayrı olarak bulunan küçük kabarcıklar birleşirler ve düşeyboru içinde “slug akış” adı verilen iri kabarcık kümelerinin oluşturduğu bir akış şekli oluşur (Şekil 4.4-b).

Eğer, hava debisi daha da arttırılırsa birleşmiş büyük kabarcıklar uzamaya başlar. Oluşan kesme kuvvetlerinin etkisiyle kabarcıklar oldukça dengesiz bir hal alırlar. Hava-sıvı ceplerinden oluşan düzensiz bir karışımın olduğu bu akış şekli “türbülanslı akış” ya da “çalkantılı akış” olarak adlandırılır (Şekil 4.4-c).

Çok yüksek hava debilerinde sıvının düşey borunun çeperlerinden aşağı doğru kaydığı, havanın ise merkezde bir gaz oyuğu oluşturduğu “halka şeklinde akış” meydana gelmektedir (Şekil 4.4-d) (Evans, 1990; Evans et al., 1995).

Kabarcıklı akış karakteristiği açısından diğer akış türlerine tercih edilir. Çünkü bu akışta belirli bir hava /besleme oranında en fazla tane-kabarcık teması oluşturulur ve düşeyborunun bu dengeli çalışma şekli ile daha yüksek verim elde edilir. Türbülanslı ve slug akışlarda, gazın birim hacimdeki yüzey alanı çok düşük olacağından toplama etkinliği de önemli ölçüde azalmaktadır. Büyük çaplı kabarcıkların oluşma eğilimi bu akış şekillerinde daha fazla olacağından, iri kabarcıkların yükselme hızları, sıvının aşağıya doğru olan hızından daha büyük olur. Bu şekilde düşeyborunun üst boşluğuna geri dönen kabarcıklar jet ile tekrar içeri alınırlar. Bu olay girebilecek yeni hava miktarının azalmasına neden olmaktadır (Evans, 1990; Evans et al., 1995; Mandal et al., 2005; Stephens and Ireland, 2002).

4.2 Hücredeki Hidrodinamik Bölgeler

4.2.1 Zenginleştirme bölgesi

Düşey boruda oluşan karışımın boşaldığı bu bölgede agregalar yukarıya doğru yükselerek köpük zonunu oluşturur. Gravite etkisiyle hidrofil taneler aşağıya doğru

hareket ederek hücrenin altından sistemi terk ederler. Düşey borudan yüksek debi ile hücre içine geçen karışım içindeki hava kabarcıkları bu bölgede mikro türbülans oluşturmaktadır. Bu türbülans mekanik hücrelerde oluşan türbülansın daha zayıftır. Tane ve hava kabarcığı boyutları küçük olduğundan dolayı, bu türbülansın agregaların parçalanması daha zor olmaktadır. Ancak ince hidrofil tanelerin konsantre içine sürüklenmesi fazladır. İnce tanelerin sürüklenmesini önlemek için hücre içinde yukarıya doğru yükselen kesitsel su hızının azaltılması gerekmektedir (Öteyaka, 1993).

Ayırma zonunda etkin bir çalışma için, düşeyborunun alt ucu hücre içindeki sıvı seviyesinden aşağıda yer alır. Kabarcıklı karışım düşük yoğunluğundan dolayı, ilk önce düşeyborunun dış çeperini sarmaktadır. Fakat yukarı doğru yükselirken daha yavaş hareket eden sıvının içine girme eğilimindedir ve sonrasında yatay olarak yayılır. Kabarcıklar sıvının içerisinden yukarıya doğru yükselerek pülp tabakasından köpük tabakasına geçerler (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002).

Havanın sıvı içindeki sirkülasyonu, türbülans ve boşluk fraksiyonunun gösterdiği değişkenlik, zenginleştirme bölgesinde kompleks bir sistem meydana getirmektedir. Hücrenin tasarımı yapılırken en iyi tenör ve verimi elde etmek için düşeyborudaki akışların ve düşeyborunun konumunun dikkate alınması gerekmektedir. Hücrenin hacminde bir sınırlama yoktur ancak hidrofil taneleri içeren pülpün aşağıya doğru olan net hızı, kabarcıkları alt akıma sürüklememesi için yeterince düşük olmalıdır (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002).

4.2.2 Köpük bölgesi

Köpük bölgesi hücrenin üst kısmında agregalardan oluşan ve % 60 -70 hava içeren bölgedir. Köpükte meydana gelen olaylar özellikle tenör ve verimin belirlenmesinde çok önemlidir. Mineralce zengin köpük doğal taşma ile hücreden ayrılır.

Bu bölgede kesitsel hava hızı (j_g) çok küçük veya köpük derinliği çok fazla olduğunda kabarcıklar birleşir ve köpük tabakasında bir alçalma meydana gelir. Sonuç olarak bir miktar hidrofobik tane sıkışmakta ve verim kaybı oluşturmaktadır. Eğer hava hızı çok yüksek ve köpük derinliği çok sığ olursa, verim yüksek olabilir ancak gangın sürüklenmesinden dolayı tenör düşecektir. Mineral tanelerinin köpük bölgesinde kalma süresi, kaba flotasyon için 4 saniye, temizleme için ise 60 saniye civarındadır (Jameson hücresi broşürü, 2004; Harbort et al., 2003 b).

Sonuç olarak hücre, uygun hava hızı ve köpük derinliği kullanılarak optimum tenör ve verim elde edilecek şekilde çalıştırılmalıdır. Eğer hava hızı aşırı yüksek ise, pülp taşabilir. Bu olay, köpük fazı ile pülp fazı arasındaki sınırın kalkması anlamına gelir.

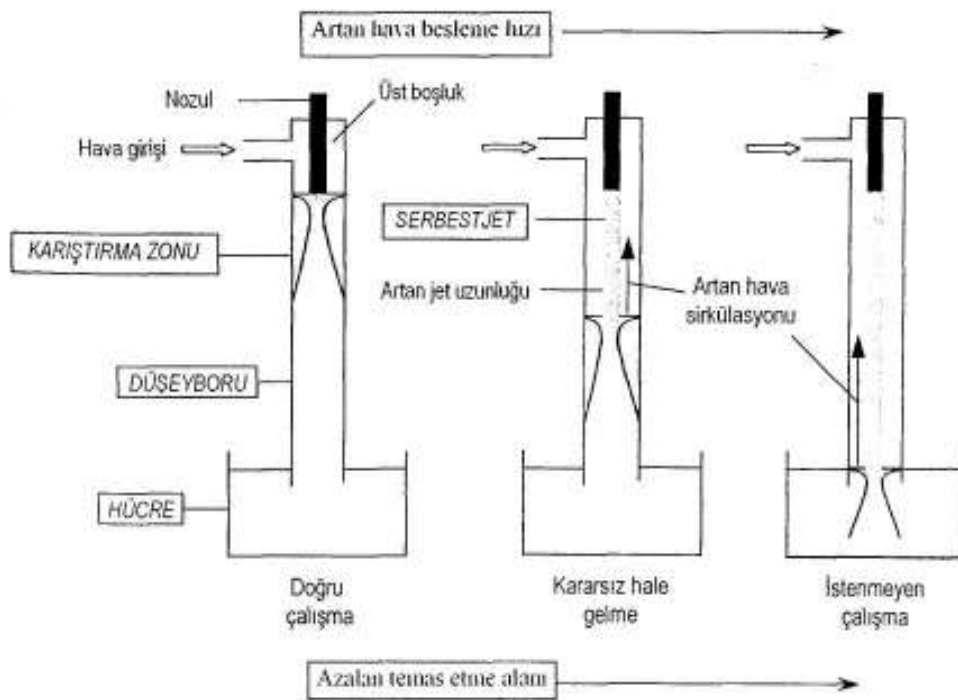
Köpük bölgesinin dengesini sağlamak için ve sistemin pozitif biasta çalışmasını sağlamak için köpük bölgesinin üstünden flotasyon kolonlarında olduğu gibi yıkama suyu ilave edilebilmektedir. Yıkama suyu bağlı tanelerden oluşan zayıf agregaları ve sürüklenen hidrofil taneleri pülp içine sürükleyeceğinden tenörün artmasını sağlamaktadır.

Yıkama suyu köpüğü yıkamada kullanılmasının yanında, bazen de sıvı seviyesini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yıkama suyu optimum verimi düşürdüğü için uygulamada pek tavsiye edilmemektedir.

4.3 Hidrodinamik Bölgelerin Çalışma Sınırları

JFH nin performansı, düşeyboru içinde meydana gelen kabarcıkların tane toplama kapasitesi ile hücre içinde ürünlerin ayrışmasıyla belirlenmektedir. Genellikle düşeyborunun hava/besleme oranının artmasıyla toplama hızı da artmaktadır. Aynı zamanda kararsızlıklara da yol açan bu durum bazen sistemin tamamen çökmesine de sebep olabilir. Şekil 4.5'te artan hava besleme hızlarında meydana gelen düşey boru çalışma şekilleri gösterilmektedir. Düşük hava giriş debilerinde, düşeyborunun

içindeki pülp seviyesi hava giriş seviyesinin hemen altında yer alır. Bu durum dalan jetin üst boşluktaki havanın tamamını etkin bir şekilde emildiğini gösterir. Bu çalışma şekli en kararlı çalışma koşulunu oluşturur. Hava çok küçük kabarcıklara parçalandığından düşeyboruda en uzun kalma süresi ve dolayısıyla maksimum tane-kabarcık temas etme süresi oluşur (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996).



Şekil 4.5 Hava akış hızıyla düşeyboru çalışma şekilleri (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996)

Düşeyboruya verilen hava/besleme oranının nispeten daha az olması bu çalışma şeklinin tek dezavantajıdır. Ancak çok daha kararlı bir düşeyboru çalışması sağlayan düşük hava hızının, kesitsel hava hızı sabit tutulmak koşuluyla verimde bir azalmaya neden olmadığı yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996).

Eğer hava hızı arttırılırsa, üst boşluğa giren havanın tamamı jet ile emilememektedir. Düşeyboru içindeki sıvı seviyesi düşmeye başlar ve serbest jet uzunluğunda artışla birlikte etkin jet çapında da artış görülür. Hava hızındaki artışla önce bir dengesizlik görünse de, düşeyboru içinde, jet aracılığıyla giren havanın tamamının etkin bir şekilde emilebildiği yükseklik olan yeni bir denge yüksekliğine ulaşılmaktadır.

Serbest jet uzunluğundaki artış, düşeyboru içindeki sıvı yüksekliğini azalttığı için kabarcıkların kalma süresi de azalmaktadır. Ayrıca karıştırma zonu içinde de büyük çaplı kabarcıkların oluşmasına neden olmakta ve düşeyboru içinde birim hava hacmine göre daha az ara yüzey alanı oluşmaktadır.

Çok yüksek hava hızlarında, boru akış zonunda kabarcıkların birleşmesi ile büyük hava kümecikleri (slug) meydana gelmektedir. Bu olay sıvı seviyesinde aşırı düşmeye neden olarak sistemin tamamen çökmesine yol açmaktadır.

Yeterli hava girişini sağlayan en kısa jet uzunluğunda çalışılması, flotasyon hidrodinamiğinin sağlanması açısından önemli olmaktadır (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996).

4.4 Jameson Flotasyon Hücresinin Çalışma Parametreleri

4.4.1 Köpük derinliği

JFH nde oluşturulan köpük derinliği, klasik kolonlarda olduğu gibi kontrol altında tutulmalıdır. Eğer köpük derinliği gereğinden az olursa (200mm'den daha ince) kazanım oranı yüksek ama tenörü düşük bir konsantre elde edilir. Ayrıca-sığ köpük derinliklerinde 10 µm'den daha küçük gang tanelerinin konsantre içerisine sürüklenmesi söz konusudur

Yüksek köpük derinliklerinde (1000mm kadar) hidrofilik gang tanelerinin çoğu ayrışma zonunda kalacağından, maksimum konsantre tenörü elde etmek mümkün olmaktadır. Aşırı köpük oluşması sonucu hareketsiz bir köpük fazı olduğu durumlarda yıkama suyu ilavesi de köpük hareketliliğine yardımcı olabilmektedir. Köpük derinliğinin kontrolü sabit bir konsantre tenörünün elde edilmesi için oldukça önemlidir.

Endüstriyel uygulamaların çoğunluğunda 300-800mm köpük derinliği vardır. Bunun yanında tenörün önemli olmadığı yüksek verimin istendiği işletmelerde 50mm'ye kadar olan köpük derinlikleri kullanılmaktadır (Ata ve Önder, 1997, Evans et al., 1995; Patwardhan and Honaker, 2000).

4.4.2 Kesitsel hava hızı

Kesitsel hava hızı (J_g), flotasyon kolonlarında havanın kolon içerisinde aşağıdan yukarıya doğru olan net hızıdır. Jameson hücresinde ise kesitsel hava hızı (J_g), düşey borudaki hacimsel hava hızının (cm^3/sn) hücre kesit alanına (cm^2) bölünmesi ile bulunur. Uygulamada kesitsel hava hızı değeri, genellikle 0.5-4 cm/s arasında değişmektedir.

Klasik kolonlarda olduğu gibi JFH'de de J_g 'nin artması ile verim ve konsantre taşıma oranında artış gözlenmektedir (Evans et al., 1995).

Kesitsel hava hızı, tane boyu, hücrenin uygulama alanı ve daha önceki proseslerden gelen artan reaktif konsantrasyonları ile ilişkilidir. Genel olarak temizleme flotasyonunda düşük J_g değerleri (0,4-0,8 cm/sn); kaba ve süpürme flotasyonunda ise yüksek J_g değerleri (1-2 cm/sn) kullanılmaktadır (Atkinson et al., 1993; Evans et al., 1995).

Temizleme flotasyonunda beslemenin büyük çoğunluğu konsantreden olduğu için köpük üzerindeki yük de daha fazla olmaktadır. Yani taneler ile yüklü kabarcıklar daha kararlı bir köpük oluşturma eğilimindedirler. Köpüğün taşıma

hızı, göreceli olarak tanelerin yüksek konsantrasyonu ile ilgilidir. Böylece yüksek tenör istenildiği durumlarda, köpük fazından gang tanelerinin sıyrılıp aşağı çekilmesi için zaman gerektiğinden daha düşük kesitsel hava hızı değerleri kullanılmalıdır.

Kaba flotasyon uygulamalarında, beslemenin küçük bir bölümü konsantreden oluşmaktadır ve daha az kararlı bir köpük oluşma eğilimi vardır. Ayrıca gangın köpükle sürüklenmesi temizleme devresine geçileceği için önemli bir problem oluşturmamaktadır.

Önceki flotasyon devrelerinden gelen yüksek reaktif konsantrasyonu, köpük kabarması meydana getireceğinden bunu engellemek için daha düşük kesitsel hava hızı değerleri kullanmak zorunlu hale gelmektedir. Böyle bir durumda toplayıcı miktarı fazla ise köpürtücü miktarı azaltılmalıdır.

Tane boyutunun da kesitsel hava hızı üzerinde etkisi olmaktadır. 100 µm'den daha küçük ince taneler düşük kesitsel hava hızlarında (1 cm/s'den daha az) kolay bir şekilde kabarcıklara yapışıp toplanırken; 100 µm'den daha büyük iri taneler için yüksek kesitsel hava hızı değerleri (1 cm/s'den daha büyük) kullanılmaktadır (Atkinson et al., 1993; Evans et al., 1995).

4.4.3 Kabarcık boyutu

Newcastle Üniversitesindeki pilot çaptaki ve endüstriyel boyutlu Jameson flotasyon hücrelerinde yapılan çalışmalar sonucu optimum ortalama hava kabarcığı çapının 300 ile 600 µm arasında olması gerektiği bulunmuştur. Konvansiyonel flotasyon kolonlarındaki kabarcık boyutu ile karşılaştırıldığında JFH ndeki kabarcık boyutunun çok daha küçük olduğuna görülmektedir. Bilindiği üzere küçük boyutlu köpük kabarcıklarının oluşturulması toplam köpük yüzey alanının artmasına, bu ise flotasyon veriminde ya da katı malzeme kazanım oranında önemli bir artışa neden olmaktadır (Atkinson et al., 1993; Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997; Jameson hücresi broşürü, 2004; Gray et al., 2000; Dawson ve Jackson, 1995).

4.4.4 Hava miktarının besleme miktarına oranı (APR- Air to pulp ratio)

Hacimsel hava miktarının besleme miktarına oranı olarak bilinen APR özellikle düşey borudaki toplanma mekanizması üzerine etkili olan ve onun açıklanmasını sağlayan bir parametredir. Jameson Flotasyon Hücrelerinde, uygulama alanına, kullanılan tane boyutuna ve diğer pek çok değişkene bağlı olan bu oran, 0,3 ile 1,2 arasında değişiklik göstermektedir. Şimdiye kadar yapılan araştırmaların sonuçları incelendiğinde optimum hava/besleme oranının 0,9 ile 1,1 arasında olması gerektiği görülmüştür (Harbort et al., 2003 b; Jameson hücresi broşürü, 2004; Harbort et al., 2002; Ata ve Önder, 1997).

Tesis çaplı Jameson hücreleri ile yapılan çalışmalar sonucunda; kesitsel hava hızı belirli bir minimum değer üzerinde tutulduğunda, düşük bir hava/besleme oranında hücrenin metalurjik performansında bir azalma görülmediği bulunmuştur. Buna karşılık daha üniform ve daha ince kabarcık boyutu elde edilerek dengeleyici bir etkiye sahip olunmaktadır. Ayrıca düşük hava besleme oranında daha az köpürtücü konsantrasyonu kullanılması önemli bir avantaj olmaktadır.

Harbort ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Jameson hücresine vakumlanan hava miktarının direkt olarak hava/besleme oranı ile ilgisi olduğunu, APR arttıkça vakumun lineer olarak azaldığını ortaya koymuşlardır. Son on yılda yapılan çalışmalarda ise APR'nin su jetinin Weber sayısının (We_j) bir fonksiyonu olduğu açıklanmaktadır (Harbort et al., 2002).

Düşük APR oranlarındaki metalurjik performansın kontrolü, kolonun birim kesit alanı başına düşen arayüzeysel alan akışı (S_b) ile açıklanmaya çalışılmıştır:

$$S_b = 6 \cdot J_g / d \quad (4.1)$$

Burada;

d : kabarcık çapı,

J_g : kesitsel hava hızıdır.

Kabarcık boyutunun azaltılması sağlanarak ve böylece kesitsel hava hızının düşürülmesi ile kabarcık yüzey hızı (dolayısıyla toplama kabiliyeti) kontrol edilebilmektedir (Atkinson et al., 1993; Evans et al., 1995).

4.4.5 Yıkama suyu oranı ve bias faktörü

Yıkama suyu oranı, kısaca yıkama suyu hızının konsantredeki suyun akış hızına bölünmesi olarak ifade edilebilir.

$$W = Q_{ww} / Q_{wc} \quad (4.2)$$

- W : Yıkama suyu oranı,
 Q_{ww} : Yıkama suyu akış hızı (m^3/sa),
 Q_{wc} : Konsantredeki suyun akış hızı (m^3/sa).

Yıkama suyu ilavesini tanımlayan diğer bir genel yöntem ise, artık ve besleme debisi arasındaki farkın yıkama suyuna oranı olan bias hızıdır. Aşağıda verilen eşitlik kullanılarak bütün sistemdeki bias faktörünü bulmak mümkündür (Patwardhan and Honaker, 2000):

$$J_b = (Q_A - Q_B) / Q_{ww} \quad (4.3)$$

- J_b : Bias faktörü
 Q_A : Artık debisi (m^3/sa)
 Q_B : Besleme debisi (m^3/sa)

Yıkama suyunun amacı, sürüklenerek köpüğe gelen gangı temiz su ile köpükten uzaklaştırmak ve köpükteki pülp suyu ile yer değiştirmektir. Bu ifade ile yıkama suyu oranı, köpükte yer değiştiren pülp/su oranı şeklinde tanımlanabilir (Evans et al., 1995; Mohanty and Honaker, 1999).

JFH ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Bias Faktör diye farklı bir yaklaşım tanımlanmıştır. Bu yaklaşımda bias faktörü;

$$\text{Bias} = (Q_A - Q_B - D_f) / Q_{ys} \quad (4.4)$$

Q_A : Artık debisi (litre/dakika)

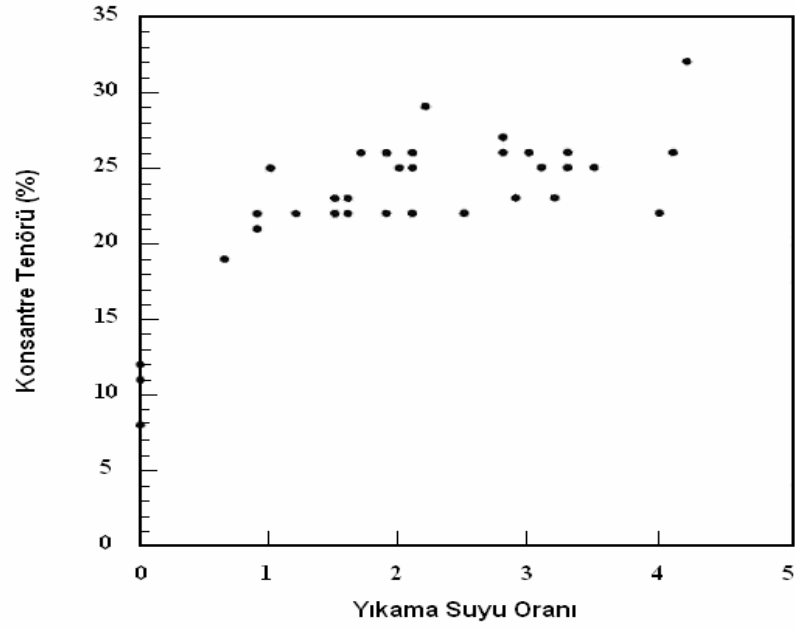
Q_B : Besleme debisi (litre/dakika)

D_f : Köpürtücü miktarı (litre/dakika)

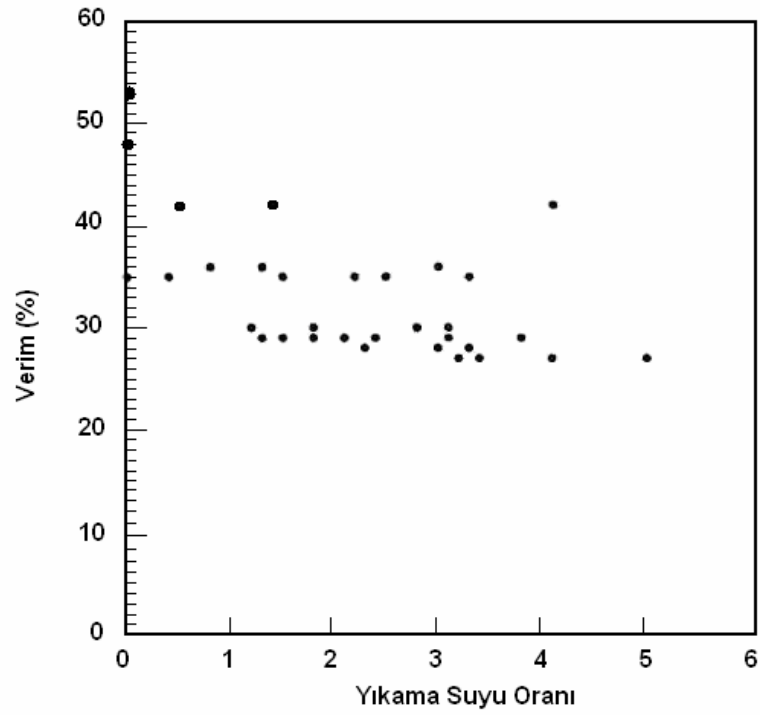
Q_{ys} : Yıkama suyu debisi (litre/dakika)

olarak tanımlanmıştır. Bu formülde köpürtücü miktarı diğer ifadelerin yanında ihmal edilebilir. Böylece bias faktör artık debisinin besleme debisine farkının, yıkama suyu debisine bölümü ile elde edilmiş olur. Çeşitli bilim adamlarının yapmış oldukları çalışmalara göre flotasyonun pozitif biasta gerçekleşmesi gerektiği ifade edilmektedir (Patwardhan and Honaker, 2000, Mohanty and Honaker, 1999; Chugh and Patwardhan, 2004; Honaker, et al., 1999).

JFH, $W > 1$ ile çalışsa da optimum çalışma değerinin $W = 0,3-1$ sınırları arasında olması gerekir. Örneğin Şekil 4.6 ve 4.7'de sırası ile ince taneli bir bakır cevherinin ($d_{80} = 30 \mu\text{m}$) zenginleştirilmesinde yıkama suyu oranının tenör ve verim üzerindeki etkisi gösterilmektedir (Evans et al., 1995).



Şekil 4.6 Konsantre tenörü ve yıkama suyu oranı arasındaki ilişki (Evans et al., 1995)



Şekil 4.7 Verim ve yıkama suyu oranı arasındaki ilişki (Evans et al., 1995)

4.4.6 Hacimsel hava miktarı (Hold-up)

Jameson Hücresinin düşeyborusu içindeki hacimsel hava miktarı (hold-up) flotasyon sürecinde önemli bir değişkendir. Hold-up düşeyboru içinde tane-kabarcık karşılaşma olasılığına etki eden parametredir ve kabarcık çapı ile hava debisine bağlıdır. Jameson hücrelerinde 200-400 mikronluk çok küçük çaplı hava kabarcığı oluşturulduğundan düşey borudaki hacimsel hava miktarı (gaz hold-up) %40 ile %70 arasında değişmektedir. Bu sayede Jameson Hücresinde tane ile hava kabarcığı çarpışma olasılığı diğer konvansiyonel teknolojilere (%8-25) göre çok daha yüksek olmaktadır (Jameson hücresi broşürü, 2004; Harbort et al., 2002; Ata ve Önder, 1997; Honaker et al., 1999).

Düşeyborudaki hacimsel hava miktarı; seviye eksilmesi ile direkt olarak ölçülebildiği gibi, iletkenlik ve basınç yöntemleri ile de doğrudan hesap edilebilmektedir.

Direkt ölçüm yönteminde düşeyboru içindeki karışım aynı anda kapatılan iki valf arasında tutularak sıvı seviyesi direkt olarak düşeyboru üzerinden ölçülmektedir ($V_0 - V_1$). Bu yöntemde düşeyboruya iki adet bilye valf yerleştirilir. Valfler açıkken çapları düşeyboru ile aynı çapta olmalıdır. Bu şekilde sistemin hidrostatik düzensizliği ihmal edilebilmektedir (Marchese et al., 1992; Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997). Buradan düşeyboru içindeki yoğun köpük halinde bulunan gazın boşluk fraksiyonu (ϵ) şu şekilde hesap edilebilir:

$$\epsilon = V_G / (V_G + V_L) \quad (4.5)$$

V_L = Sıvının hacmi,

V_G = Gazın hacmi.

İletkenlik yönteminde, boşluk fraksiyonunun iletkenliğinin ölçülmesine bağlı olarak Marchese ve arkadaşlarının geliştirdiği Maxwell bağıntısı ile hesaplama yolundan faydalanılmaktadır. Maxwell, sıvı ve gazdan oluşan bir dağılımın etkin

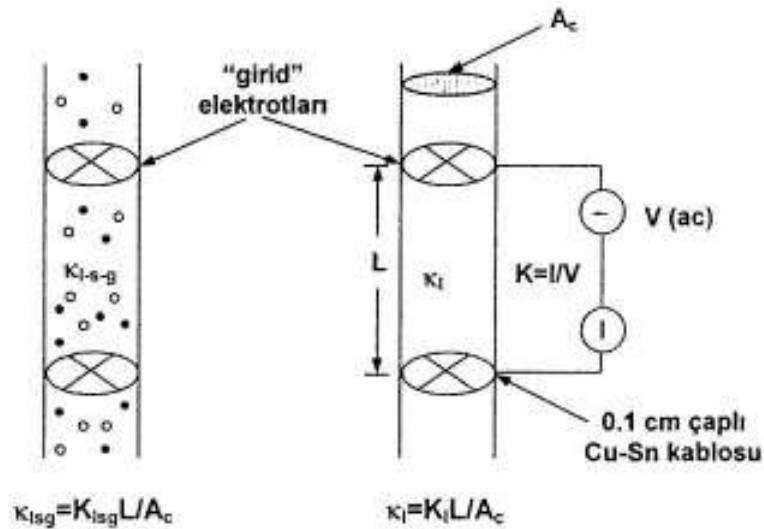
iletkenliğinin (κ_{lg}) dağılımının içindeki iletken olmayan fazın hacmiyle (ε) ilişkili olduğunu bulmuştur:

$$\varepsilon = 2 [(\kappa_l - \kappa_{lg}) / (2\kappa_l + \kappa_{lg})] \quad (4.6)$$

κ_l = Sıvının iletkenliği

κ_{lg} = Sıvı-gaz karışımının iletkenliği.

Dağılımların iletkenliğinin ölçülmesi için kolonun kesit alanını kaplayacak büyüklükte iki adet "grid" elektrotu paralel şekilde yerleştirilerek (Şekil 4.8) ölçülen voltaj ve akım değerlerinden fazların iletkenliği hesaplanmaktadır.



Şekil 4.8 Jameson Hücresinde iletkenlik yöntemi ile hold-up ölçümü (Marchese et.al., 1992; Summers et al, 1993)

Basınç yönteminin kullanıldığı hold-up ölçümlerinde ise düşeyborunun üst boşluğunda ölçülen basınç değerlerinden faydalanılmaktadır (Şekil 4.9). Dinamik etkinin olmadığı durumda; ε , basit hidrostatik basınç koşullarından

hesaplanabilmektedir (Marchese et al., 1992; Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997).

$$\varepsilon = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho_L g h} \quad (4.7)$$

Burada;

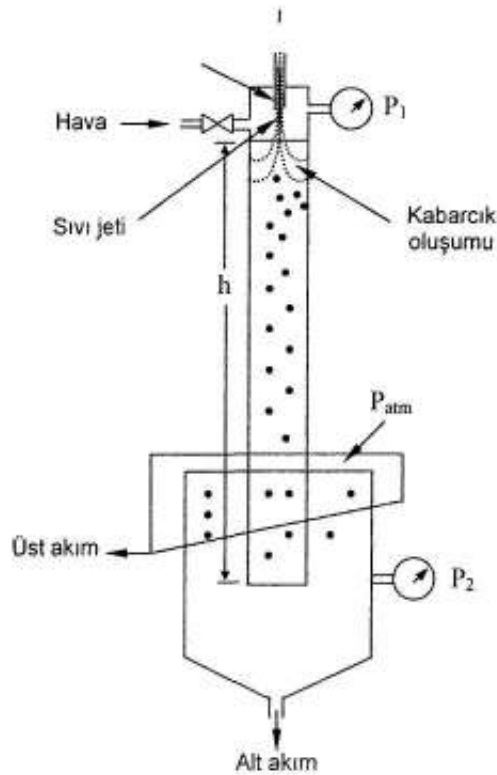
ε : Hacimsel hava miktarı

P_2 ve P_1 : Düşey boru üzerindeki herhangi iki noktadaki basınçlar (kPa)

ρ_L : Pülp yoğunluğu (kg/m^3)

g : Yerçekimi ivmesi ($=9.81 \text{ m/s}^2$)

h : İki nokta arasındaki yükseklik (m)



Şekil 4.9 Jameson hücresinde basınç farkı yöntemi ile hold-up ölçümü (Marchese et al., 1992)

Harbort ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, düşey boru içerisindeki bölgelerdeki hold-up değerlerini de bulmuşlardır. Buna göre; düşey boru indüksiyon bölgesinde hacimsel hava miktarı %40-50 arasında değişmekteyken, bu değer düşey boru dalma jeti bölgesinde %60-70 arasında olmaktadır. Düşey boru karışma bölgesinde %50'lere kadar düşen hold-up değeri, düşey boru akış bölgesinde %55 civarındadır ve düşey boru çıkışında bu değer %65 e ulaşır (Harbort et al., 2002).

4.4.7 Taşıma kapasitesi

Taşıma kapasitesi; birim zamanda birim hücre kesit alanı başına düşen birim konsantre miktarı olarak tanımlanır. Birimi gram/dakika/cm² veya ton/saat/m² 'dir. Taşıma kapasitesi bir anlamda kolonda kazanılabilecek maksimum katı miktarını, diğer bir ifadeyle kabarcık yüzeyinin maksimum miktarda tane ile kaplanmasını ifade etmektedir. Bilindiği üzere, kabarcıklar tarafından taşınan hidrofobik tanecik miktarı kabarcıkların toplam yüzey alanları ile doğrudan ilgilidir. Diğer önemli bir etken ise tane boyutu ve yoğunluğundadır (Ata ve Önder, 1997). Aşağıdaki eşitlik kabarcığın taşıma kapasitesini vermektedir;

$$C_a = \alpha \cdot d_{80} \cdot \rho_p \quad (4.8)$$

Burada ;

C_a : Taşıma kapasitesi (g/dk/cm²)

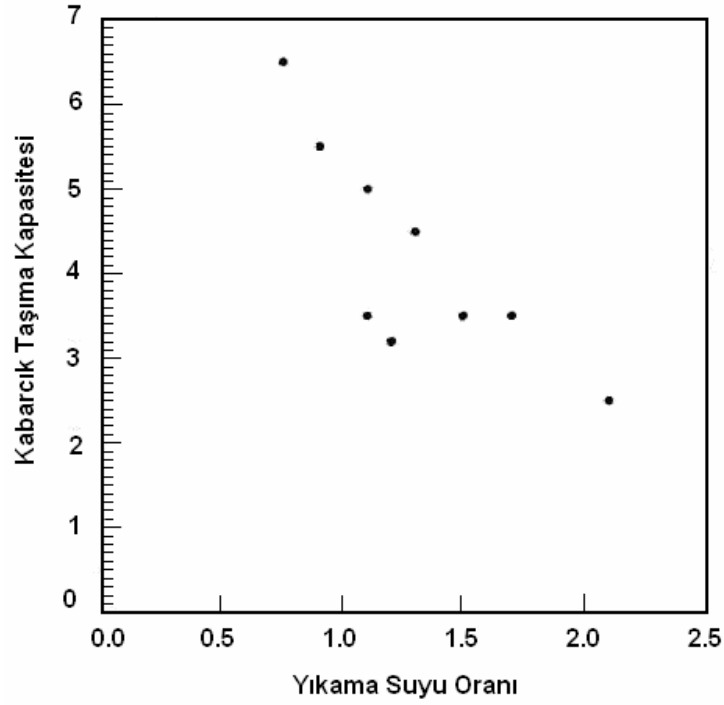
α : Sabit sayı

d_{80} : Toplam katı malzemenin %80'inin geçtiği elek boyutu (cm)

ρ_p : Katı malzemenin yoğunluğu (g/cm³)

Aslında kolon flotasyonları için kullanılan bu eşitlik Jameson Hücresinde de kullanılmış ve uygun olduğu görülmüştür. Bu eşitlikteki α sabit sayısı doğrudan Jameson Hücresinin çapı ile ilgili olup, çapı 50mm'ye kadar olan hücrelerde bu sayı 0,068; çapı bir metreye kadar olan hücrelerde 0,05 ve çapı iki metreden büyük olan flotasyon hücrelerinde ise 0,035 olarak alınmalıdır (Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997; Murphy et al., 2000).

Yapılan çalışmalar yıkama suyu oranı ile taşıma kapasitesi arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.10'da bu ilişki açıkça görülmektedir (Evans et al., 1995; Ata ve Önder, 1997; Murphy et al., 2000).



Şekil 4.10 Yıkama suyu oranı ile kabarcık taşıma kapasitesi arasındaki ilişki (Evans et al., 1995)

4.4.8 Reaktifler

Jameson hücresi ile yapılan çalışmalarda en yüksek verim MIBC (Metil İzobütil Karbinol) olarak adlandırılan köpürtücü kullanılarak elde edilmiştir (Evans et al., 1995). Uzun zincirli alkoller, poliglikol, propilenler ve poliglikol eterler kullanılan diğer köpürtücülerdir. Besleme tankına katılan optimum köpürtücü miktarı 5 ile 25 gram/ton arasındadır (Ata ve Önder, 1997).

Temizleme flotasyonunda kaba flotasyon aşamasından gelen köpürtücü konsantrasyonundan dolayı hiç köpürtücü ilavesi gerekli olmamaktadır. Bazı

durumlarda daha önceki devrelerden gelen aşırı köpürtücü konsantrasyonu, Jameson hücrelerinde uygulanan maksimum kesitsel hava hızında (J_g) bir azalmaya neden olabilmektedir (Atkinson et al., 1993; Evans et al, 1995).

4.4.9 Koşullandırma süresi

Yapılan çalışmalar sonucunda Jameson flotasyon hücrelerine beslenecek cevherin hücre dışında çok iyi koşullandırılmış olması gerekir. Ayrıca yüksek karıştırma hızına sahip bir karıştırıcı kullanıldığı takdirde daha başarılı bir flotasyon olacağı savunulmaktadır (www.xstratatech.com/current/doc/jc_boundaries.pdf).

BÖLÜM 5

JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ UYGULAMALARI

5.1 Laboratuvar ve Endüstriyel Ölçekte JFH Çalışmaları

Aplan ve Arnold (1991), kömür flotasyonunda JFH'nin kullanılabilceğini belirterek, MIBC'nin en çok kullanılan köpürtücü olduğunu, gaz yağının toplayıcı ve cam suyunun da dağıtıcı olarak kullanılabilceğini vurgulamışlardır.

Summers ve arkadaşları (1993), deneylerde 3,81cm çapında düşeyboru, 20cm çapında hücre ve 0,5cm çapında nozul kullanarak, düşey borudaki gaz hold-up'ını elektrot metodu ile saptamaya çalışmışlardır.

Dawson ve Jackson (1995), hidrometalurjik bir artığın, organik bileşenlerinin kazanılabilirliğini araştırmışlardır. Besleme içeriği 50–300 g/t arasında olan organikleri %75 verimle kazanabilmişlerdir. Liç artıklarında bulunan 50 g/t'luk artıkların ise geri kazanım oranının %65–85 arasında olduğunu bulmuşlardır.

Ata ve Önder (1997) cevher ve kömür flotasyonunda en son teknoloji olan JFH'nin optimum çalışma parametrelerini, yaklaşık 20cm köpük derinliği, 0,9–1,1 arasında değişen hava/besleme oranı ve 5–25 g/t arasında değişen köpürtücü miktarı olarak belirlemişlerdir. Ayrıca kolondaki kabarcık boyutunun 300–600 mikron arasında değiştiğini açıklamışlardır.

Honaker ve arkadaşları (1999), ince kömürlerin JFH kullanılarak temizlenebilirliğinin araştırmasını yapmışlar ve deneylerde 1 ile 1,8 cm/sn arasında değişen kesitsel hava hızı (Jg) kullanmışlardır.

Mohanty ve Honaker (1999 a) 15cm çaplı hücre ve 33mm'lik düşeyboru kullanarak JFH'nde performans ve optimizasyon çalışması yapmışlardır. Büyük bir

bölümü 38 mikronun altında olan ince kömür numunesi üzerinde yapılan çalışmalarda, %4'lük katı oranı, 140 kPa'lık basınç ve 0,7 kg/t toplayıcı miktarı kullanılmıştır. Köpürtücü miktarı 15, 20 ve 25 g/t olarak alınırken, yıkama suyu oranı 1,9 lt/dk, 2,85 lt/dk ve 3,8 lt/dk olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda yüksek küllü kömürden temiz kömür elde edebilmek için 0,6 ve üzerindeki pozitif bias ve 2,5 yıkama suyu oranı gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca 1,0 cm/sn'lik kesitsel hava hızının en uygun değer olduğu bildirilmiştir.

Patwardhan ve Honaker (2000) tane boyut dağılımı, yoğunluk ve hava oranını baz alan bir taşıma kapasitesi modeli geliştirmişlerdir. Dar tane boyut dağılımında beslenen malzeme ile taşıma kapasitesinin arttığını saptamışlardır. Ayrıca, özellikle iri taneli malzemelerin flotasyonunda 1,8 cm/sn'nin altındaki kesitsel hava hızı değerlerinin taşıma kapasitesine çok büyük etki yaptığını açıklamışlardır.

Gray ve arkadaşları (2000), MIM Process Technologies'in olanakları çerçevesinde yaptıkları çalışmada, JFH'nin aynı işi mekanik hücrenin 4 katı kadar daha az bir zamanda yaptığını söylemektedirler. Ayrıca çalışmada JFH aynı iş için 1,598 kW'lık enerjiye ihtiyaç duyarken, mekanik hücre 1,789 kW'lık enerji harcamaktadır.

Mohanty (2001) JFH 'nde, boyutu (d_{90}) 45 mikron olan ince kömür numunesinin kül içeriğini %30'dan %6'ya düşürmüştür. Çalışma sırasında atık tekrar beslemeye verilerek verim %91'e çıkarılmıştır.

Harbort ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları bir çalışmada JFH düşey borusundaki parçacık toplanma mekanizmasını incelemişlerdir. Parçacıkların toplanmasının, ince tabaka göçü (thin film migration), anlık toplanma (instantaneous collection), karışım bölgesi (the mixing zone), kalma zamanı (the residence time dependence) ve kabarcık-yüzey alanı değişimi (bubble-surface area flux) mekanizmalarının gerçekleşmesi ile sağlanacağından bahsetmişlerdir. Buna göre ince tabaka göçü sağlayabilmek için hava/besleme oranının 1,0 ve içeri çekilen vakumun 4,0 kPa olması gerektiği vurgulanmıştır. Kalma süresinin artmasının parçacık toplanma

olasılığını artırdığı ileri sürülmüş, düşük hava/besleme oranlarında iri parçacıkların kazanılabilirliğinin arttığı vurgulanmıştır.

Harbort ve arkadaşları (2003-a), parçacıkların flotasyon sürelerini incelemişler ve JFH'nin, mekanik hücreye göre en az 4 kat daha hızlı sürede ürün verdiğini savunmuşlardır. Kalma süresi (residence time) olarak adlandırılan bu flotasyon süresinin; hava debisi, sıvı ve gaz miktarı ve düşey boru içerisindeki kabarcık yüksekliğine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Harbort ve arkadaşları (2003-b) bir başka çalışmada, JFH'nin çalışma parametrelerini ve yapısını tanımlamışlardır. Bir mineralin yüzme zamanını en az 45sn en çok 250sn (süpürme de dahil) olarak saptamışlardır. Hava miktarının pülp miktarına oranının 1 olduğu durumlarda, hold-up'ın %40 ile 70 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında; özellikle 5 ile 53 mikron arasındaki taneler için geçerli olan bir kabarcık-tanecik çarpışma modeli geliştirmişlerdir.

Chugh ve Patwardhan (2004) ince kömür artığı kullanarak, termik santraller için tekno-ekonomik fizibilite çalışması yapmışlardır. %56 kül içeren 26 mikron çapındaki beslemenin, kül içeriği, %51 verim ile %8'e düşürülmüştür. Farklı katı oranlarında ve farklı parametreler ile yapılan deneylerde; %3 katı oranı, 11 lt/dk'lık besleme debisi, 13.2 lt/dk'lık artık debisi ve 3.1 lt/dk'lık yıkama suyu debisi en uygun çalışma şartı olarak bulunmuştur. Bu şartlarda 0,7'lik bias oluşmuş ve $J_g=0,91$ cm/sn olmuştur.

5.2 Jameson Flotasyon Hücresi Uygulamaları

Yaklaşık iki yüz adet Jameson kolonu, dünya genelinde yüzden fazla işletmede, metalik cevherlerden kömüre, endüstriyel minerallerden çevre kirliliğini önlemek amacıyla artık su temizleme, mandıra, mezbaha artıklarını temizleme, metal cürufu artıklarından geri kazanıma kadar birçok farklı alanda başarıyla uygulanmaktadır (Jameson, 1999).

Jameson hücreleri; diğer flotasyon makinelerine, özellikle flotasyon kolonuna göre avantajları bulunmasından dolayı son yıllarda hem kömür hem de metal endüstrisinde büyük ilgi görmektedir. Çizelge 5.1 ve 5.2’de Jameson flotasyon teknolojisinin farklı uygulama alanlarında kullanıldığı tesisler detaylarıyla verilmiştir (www.xstratatech.com/en/doc/jc_installmetals_en.pdf; www.xstratatech.com/en/doc/jc_installcoal_en.pdf).

Çizelge 5.1 Jameson kolonunun metal cevherlerindeki uygulamaları (www.xstratatech.com/en/doc/jc_installmetals_en.pdf)

Şirket	Ülke	Uygulama	Yıl	Sayı
Minera Alumbreira	Arjantin	Bakır (Temizleme)	1996	14
Amalg Syndicate	Avustralya	Bakır Nikel	1991-1996	3
Mount Isa Mines	Avustralya	Kurşun-Çinko (temizleme, İnce tane flot., Ara ürün zeng.)	1988-1999	9
North Ltd.	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1994	4
Posgold	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1990	2
Western Mining Corp.	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1994	1
Compania Min. Del Sur	Bolivya	Çinko (Süpürme)	1995	1
Solmil	Bolivya	Çinko (Kaba flotasyon)	1997	1
Kidd Creek	Kanada	Bakır (Temizleme)	1992	2
Mantos Blancos	Şili	Bakır (Kaba)	1993	1
Mamut Copper	Malezya	Bakır (Temizleme)	1991	1
Namib Lead	Nambiya	Çinko (Kaba temizleme devreleri)	1996	4
Ok Tedi Mining Ltd.	Papua Y.Gine	Talk temizleme (bakır)	1997	4
Minera Nor Peru	Peru	Çinko (temizleme)	1994	1
Glencore	Peru	Pb-Zn (Kaba flotasyon)	2000	1
Maricalum Mining	Filipinler	Bakır (Kaba-temizleme ve süpürme flotasyonu)	1994	9
Pasar	Filipinler	Bakır Cürufu (Süpürme ve temizleme flot.)	1994-1997	2
Philex Mining Corp.	Filipinler	Bakır (Temizleme, Kaba ve Süpürme Flotasyonu)	1993-1995	15
Amandelbult	G. Afrika	Platin	1998	1
Genmin	G. Afrika	Platin	1993	1
Rustenberg Platinum	G. Afrika	Platin	1995-1998	3
Cons Murchison	G. Afrika	Antimon	1992-1994	4
Renco	Zimbabve	Au (Temizleme flotasyon)	1997	1
Toplam				85

Çizelge 5.2 İnce kömür ve kömür şlamı uygulamaları (www.xstratatech.com/en/doc/jc_installcoal_en.pdf)

Şirket	Ülke	Uygulama	Yıl	Sayı
Rio Tinto	Avustralya	İnce Kömür	1995	2
BHP Aust Coal	Avustralya	İnce Kömür	1993-1996	22
CIM Resource	Avustralya	Kömür Şlamı	1996	2
Coal Operations Lim.	Avustralya	İnce Kömür	1997	1
Minpro Lmt.	Avustralya	Kömür Şlamı	1994	1
Moranbah North Coal	Avustralya	İnce Kömür	1997	6
Mount Isa Mines	Avustralya	İnce Kömür Kömür Şlamı	1998-2001 1990	7 12
Portman Mining	Avustralya	İnce Kömür	1994-1998	4
Warkworth Min. Ltd.	Avustralya	İnce Kömür	2000	4
White Mining Ltd.	Avustralya	Kömür Şlamı	1993	2
Thiess Contractor	Avustralya	İnce Kömür	1999	-
Steel Auth İndia	Hindistan	Kömür Şlamı	1996	1
ATCOM	G. Afrika	Kömür Şlamı	1996	2
Springlake Colliery	G. Afrika	Kömür Şlamı	1995	1
A T Mossey	ABD	Kömür Şlamı	1998	4
R & P	ABD	İnce Kömür	1998	1
Sedgeman	ABD	İnce Kömür	1998	1
Vigo Coal	ABD	İnce Kömür	1998	1
Ohio Valley Coal	ABD	İnce Kömür	1998	2
Carbontronics	ABD	İnce Kömür	1999	1
The Daniels Co.	ABD	İnce Kömür	1999	1
Gibraltar	ABD	İnce Kömür	1999	1
Toplam				79

Bunlarla birlikte, Jameson kolonu ile zenginleştirme işlemi yapılan endüstriyel hammaddeler de bulunmaktadır. Jameson kolonunun endüstriyel hammadde uygulamalarından bir tanesi İngiltere’de Cleveland Potash Şirketi’nin 1994 yılında çalıştırmaya başladığı potas tesisi ve diğer iki tanesi de Mozambik’te sırasıyla 1994 ve 1997 yıllarında kurulan grafit tesisleridir (www.xstratatech.com/en/doc/jc_minerals_en.pdf).

Son olarak, Jameson kolonu ile 15 tanesi Avustralya’da, 8 tanesi Meksika’da, 6 tanesi Amerika Birleşik Devletleri’nde, 3 tanesi Uganda’da, 2 tanesi Zimbabve’de, 1 tanesi İran’da ve 1 tanesi de Zambiya’da olmak üzere toplam 36 adet çözücü ekstraksiyonu uygulaması (SX, Solvent extraction) vardır (www.xstratatech.com/en/doc/jc_sxew_en.pdf).

Ayrıca son yıllarda çevrenin çok önemli olduğu tesis atık sularının arıtımında da endüstriyel amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Kennedy, 1990; Jameson and Manlapig, 1991; Clayton, 1994; Dawson and Yannoulis, 1996; Carretta et al., 1997; Bangerter, 1998; Harbort et al., 1997; Harrison, 1998; Mohanty, 2001; Jameson, 1999; Orr, 2000; Yan and Jameson, 2004).

Tesislere kurulan hücrelerin %37'si ince kömür kazanımında; %43'ü metal cevherlerinin (Cu, Pb, Zn, Ni, Pt, Au, Sb) kaba, süpürme ve temizleme flotasyonu devrelerinde; % 18'i çözücü ekstraksiyonunda (SX) elektrolit ve rafine temizlemesinde (Cu, Ni, Co, Zn) ve geri kalanı da potasyum-grafit gibi endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır (Hall and Harrison, 1995).

Günümüzde bakır, kurşun ve çinko tesislerinin %5'inden daha azında sadece mekanik hücrelerinin bulunduğu flotasyon devreleri çalışır haldedir. % 95'inde flotasyon kolonları ve %30'unda Jameson hücreleri bulunmaktadır. Son yıllarda kömür flotasyon devrelerinin %90'ında sadece Jameson hücreleri kullanılmakta, %10'unda flotasyon kolonları kullanılmakta ve hiç mekanik flotasyon hücresi kullanılmamaktadır (Gray et al, 2000).

5.2.1 Metal Cevherleri Uygulamaları

Mount Isa Madenleri Kurşun-Çinko Konsantratörü, yılda 4,6 milyon ton cevher işlemektedir. Bu cevher ortalama %5,3 Pb, %6,5 Zn ve 132 g/t Ag içermektedir. Cevher, içerisinde serbest halde bulunan gangın büyük bir kısmını ayırmak için önce ağır ortam tesisine verilmektedir. Ağır ortam tesisine verilen cevher, şlam uzaklaştırılması için yıkanmaktadır. Daha önceden bu şlamların doğrudan flotasyon tesisine gönderildiği ve kurşun devresinde çok fazla miktarda devreden yükün oluştuğu ve yüzdürmenin de daha yavaş olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Kennedy, 1990; Jameson ve Manlapig, 1991).

Tesiste, ağır ortam şamlarının zenginleştirildiği flotasyon devresinin kapasitesini arttırmak için, kaba flotasyonda kullanılan mekanik hücrelerin bir bankı iptal edilerek temizleme görevinde kullanılmak üzere bir Jameson hücresinin kurulmasına karar verilmiştir. Jameson hücrelerinin performansı, ağır ortam tesisi şamlarının temizleyicileri olarak çalıştırılan mekanik hücreler ile ve laboratuvar çaplı pilot bir klasik kolon ile karşılaştırılmıştır. Ağır ortam tesisi şamlarını, JFH, hem mekanik hücrelerden hem de kolonlardan daha hızlı yüzdürmüştür. Bu avantaj baştan sona kalma süresinin 1 dk'dan kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Ağır ortam tesisi şamlarının (yaklaşık $d_{50}=20\mu\text{m}$) çok hızlı bir şekilde okside olduğu bilindiğinden, mekanik hücrede çok daha uzun olan kalma süresinin (önerilen 45 dk) yanında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Benzer şekilde klasik kolonlardaki kalma süresi de JFH'ne göre daha uzundur (20dk civarında). Çalışmalar sonrası temizleme flotasyonu için yeni bir devre tasarlanmıştır (Kennedy, 1990; Jameson and Manlapig, 1991).

MIM Şirketinde Jameson hücresi kullanılarak 3000 m³/saat gibi yüksek kapasitelere ulaşıldığı, ayrıca oluşturulan küçük hava kabarcıkları nedeniyle yüksek tane-cik-kabarcık etkileşimi olduğunu ve tenörün yükseldiği, işlem kolaylığı, uzun ekipman ömrü ve esnek dizaynı gibi belli avantajlar olduğu tespit edilmiştir. İnce kömürler için olması gereken tane boyutu -106 mikron olarak belirlenmiş olup, katı oranının %3-6, Jg'nin 0,6-1,3 cm/sn, APR (hava/besleme oranı)'nin 0,8-1,5 olması durumunda 280mm'lik düşey boruda 60-75m³/h taşıma kapasitesi elde edileceği vurgulanmıştır. MIM şirketi, 63-700 mikron arasındaki kömür tanelerinde %80'lik yanabilir verimle çalışıldığını belirtmiştir. Başka bir çalışmada da 400 mikron civarında çok ince hava kabarcıkları ile sadece bir JFH ile günde 80.000 ton bakır cevheri yıkanabildiği belirtilmektedir (Gray et al., 2000).

Hilton Madeni, yılda 750.000 ton Pb-Zn cevheri zenginleştirilmektedir. Maden 70.000 t/y Zn, 60.000 t/y Pb/Ag ve yaklaşık 20.000 t/y toplu sülfür konsantresi üretmektedir. Tane serbestleşmesini sağlamak için yeniden öğütmenin yapıldığı Pb-Zn temizleme devrelerine iki adet JFH kurulmuştur. Jameson hücreleri %25 katı oranında ve 12,6 t/h besleme hızı ile çalıştırılmaktadır. Hücreler seri olarak yerleştirilmiştir ve her birinde iki adet düşey boru bulunmaktadır (Kennedy, 1990).

Bajo de Alumbreira (Cu-Au), dünyanın en büyük metal madenlerinden biridir. Cevher yatağı çoğunlukla kalkopiritten oluşmaktadır. Bunun yanında az miktarda kalkosit ve kovalit de vardır. Altın serbest halde bulunmaktadır. Genel konsantratör besleme tenörleri %0,65 g/t Cu ve %0,8 g/t Au'dır. Tesiste, mekanik flotasyon hücrelerinden elde edilen konsantrenin taşınabilir özellikte çok az nem içerecek şekilde susuzlandırılması mümkün olmadığından temizleme flotasyonu devresinde Jameson hücreleri kullanılarak yapılan filtrasyonlarda daha düşük nem içeren sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca JFH flotasyonu kinetik olarak kolon flotasyonundan daha hızlı olduğu için daha yüksek altın randımanına sahiptir. Tesis, temizleme flotasyonu devresinde yalnızca Jameson hücrelerinin kullanıldığı dünyada sayılı tesislerden biridir. Tesiste kaba flotasyon konsantresi $d_{80}=37\mu\text{m}$ olacak şekilde yeniden öğütülmektedir. Temizleme flotasyonu iki paralel devre olacak şekilde tasarlanmış ve saatte 652 ton kaba konsantrenin zenginleştirildiği Jameson hücreleri bu devrelerde kullanılmaktadır. Devrelerin her birinde; birinci kademe temizleme için 4.67m çapında 12 tane düşeyborusu olan dört adet Jameson hücresi, yeniden temizleme için bir tane 5.5m çaplı Jameson hücresi ve temizleme-süpürme aşaması için iki tane 4.67m çaplı Jameson hücresi bulunmaktadır. Her bir Jameson hücresinde ERM tankı (dıştan devridaim mekanizması) bulunmaktadır. Bu mekanizma düşeyborudaki basıncın ve akışın sabit olmasını sağlamaktadır. Jameson hücreleri ile çok iyi nihai konsantre tenörü (%27.5–28.5 Cu ve 30g/t Au) ve temizleme devresi bakır verimleri elde edilmiştir (Bangertter, 1998; Harbort et al, 2000).

Philex Bakır Madeni, Filipinlerin en büyük bakır, altın ve gümüş üreticilerinden biridir. Cevher, %0.4 Cu ve 0.7 g/t altın içermektedir. 1994 yılında tesiste, mekanik temizleme süpürme devrelerinin yerine Jameson hücreleri yerleştirilmiştir. Yapılan flotasyon devresi yenilenme sürecinde; yüz mekanik hücre, bir kolon (yeniden temizleme hücresi) ve yeniden öğütme devresi yerine sadece 15 tane Jameson hücresi yerleştirilmiştir. Hücreler tüm alanın %60'ını kaplamış, tüm gücün %38'ini gerektirmişlerdir. Jameson hücresi konsantresinin filtre edilebilirliği çok daha iyi olduğu için döner kurutuculara da gerek kalmamıştır. Bu yenilenme ile tesiste

temizleme devresinde bakır veriminde %3.5, altın veriminde 52.6 artış ve nihai bakır konsantre tenöründe %2.6 artış sağlanmıştır (Harbort et al, 1997; Bangerter, 1998).

Peko Madenlerinde, ayda 35.000 ton cevher zenginleştirilmektedir. Cevher %34 Cu tenörlü kalkopirit pirittir. Konsantre yaklaşık %23 Cu içermektedir. Nakliye maliyetinin yüksek oluşu sebebiyle yeniden temizleme devrelerinde Jameson hücreleri kullanılarak, konsantre tenörü, %80'i geçen verimlerle %23'ten %30'a çıkarılmıştır. Üç düşeyborusu bulunan ve 1,4m çapındaki hücreler daha sonraki olası devre değişikliklerine esnekliği sağlamak için paralel halde yerleştirilmişlerdir. Hücrelere yeniden temizleme devresi konsantresi beslenmekte olup besleme miktarı her bir hücre için %23'lük katı oranlarında 10 t/h'tir (Kennedy, 1990; Jameson ve Manlapig, 1991).

5.2.2 Kömür Uygulamaları

Goonyella Kömür Madeni, yılda 10-11 milyon ton satış değeriyle dünyadaki en büyük kok kömürü madenlerinden biridir (Dawson and Yannoulis, 1996). Yapılan çalışmalar sonucunda pilot çaplı Jameson hücresi ile 0,5mm flotasyon beslemesi için %85 yanabilir verimi ve %6 kül içeren ürün, şamlar için %82 yanabilir verimi ve %6 kül içeren ürün, atık tiknerinin alt akımı için %68 yanabilir verimi ve %7,5 kül içeren ürün elde edilmiştir.

Tesiste ilk önce -0,5mm boyutundaki ince kömürü zenginleştirmek için iki aşamalı olacak şekilde Jameson hücreleri kurulmuş, daha sonraki yıllarda kaba-süpürme flotasyon devrelerindeki mekanik hücrelerin yerini de Jameson hücreleri almıştır (Dawson and Yannoulis, 1996; Carretta et al, 1997). Yeni flotasyon tesisine 8 tane 5m çaplı endüstriyel boyutlu hücre kurulmuş ve her bir hücrede 16 adet 300mm çaplı düşeyboru vardır. Hücrelerin her birinin kapasitesi 160 m³/sa'tir. Jameson hücreleri ile Goonyella'da ince kömür kazanımında hem verimde hem de tenörde önemli oranda artış sağlanmıştır (Bangerter, 1998; Dawson and Yannoulis, 1996; Carretta et al, 1997; Heiser, 1996).

Newlands Kömür Madeni yılda 4-5 milyon tonluk üretim kapasitesine sahiptir. Tüvenan kömür, %14'den daha az kül içeren ürünlerin alındığı Batac jiglerinde zenginleştirilmektedir. Jiglerden alınan su, çöktürme konilerine verilmekte ve devredeki şamların birikmesini önlemek için üst akımın üçte biri atığa gönderilmektedir. Dışarı boşaltılan üst akım %15-%45'lik kül değerleri arasında ve %5-8 katı içermektedir. Burada saatte 50 ton kömür atığa gönderilmekte ve ince kömür kaybı oluşmaktadır. Bu kömürü geri kazanmak amacıyla Newlands'ta öncelikle 500 lt/dk'lık bir besleme hızına sahip tek aşamalı bir Jameson hücresi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yıkama suyu olmadan maksimum %10'luk bir kül tayinine rastlanabileceğinin mümkün olduğu fakat yanabilir kazanma veriminin yalnızca %70 civarında kaldığı bulunmuştur (hedeflenen değer %90). Bundan dolayı ilk bölümden alınan atıkları zenginleştirmek için 125 lt/dk kapasiteli ikinci bir pilot tesis ünitesi tesise ilave edilmiş ve pilot tesis çalışmalarına dayalı olarak Jameson hücrelerinin bulunduğu büyük çaplı bir devre dizayn edilmiştir. (Kennedy, 1990; Jameson and Manlapig, 1991; Dawson and Yannoulis, 1996).

Blackwater Madeni kömür hazırlama tesisi 906 t/h beslemeyi işleyecek kapasitededir. Tesiste ağır ortam siklonları ve -0,5mm fraksiyonu için klasik hücrelerinin kullanıldığı flotasyon devreleri kullanılmaktadır. Şirket mekanik flotasyon hücreleriyle %40–60 yanabilir verim ile kazabildiği şamları Jameson hücreleri kullanarak %90–95 yanabilir verimlerde düşük küllü (%5–8) ürünler kazanmayı başarmıştır. Tesiste ince kömürü kazanmak için Jameson hücreleri, kaba-süpürme flotasyonu olacak şekilde iki aşamalı yerleştirilmişlerdir. Her bir aşamada, 10 tane 250mm çapında düşeyborusu bulunan, 3,5m çaplı 4 adet Jameson hücresi bulunmaktadır. Büyük ölçekli bu hücrelerle %91,5–%99,5 yanabilir verimlerde %6–8,3 küllü ürünler elde edilmektedir (Dawson and Yannoulis, 1996).

Gordonstone Kömür Madeni tesisi, iri kömürler için, iki tane birbirinin aynısı olan ağır ortam teknesinden; ince kömürler için iki tane ağır ortam siklonlarından ve ince kömür flotasyonu için de Denver klasik hücrelerinden oluşmaktadır. Birbiriyle aynı iki devrenin bulunduğu tesiste her bir devrenin besleme kapasitesi 400 t/h'tir.

Gordonstone madeninde üretim kapasitesi 600 t/h'e çıkarıldıktan sonra, paralel bağlı pilot ölçekteki Jameson flotasyon hücreleri kullanılarak daha iyi seçimlilik sağlandığı için tesisteki Denver hücrelerinin yerine Jameson hücreleri yerleştirilmiştir. Tesisin flotasyon devresinde iki tane 300mm çaplı 10 düşeyborusu olan 5m çapında Jameson hücresi bulunmaktadır. Hücreler, atığın bir kısmının devridaim edilecek şekilde (%20-30'unun geri beslendiği) ve tek aşamalı olarak çalışmaktadırlar. İki hücreye 1200 m³/sa debide tek bir pompayla besleme yapılmaktadır. Besleme katı oranı %6-8 ve kül içeriği %18-25'dir. Jameson hücresi flotasyonu sonucunda elde edilen ürün %80 yanabilir verim ile %6,5 kül içermektedir (Dawson and Yannoulis, 1996)

Riverside Kömür Madeni kömür hazırlama tesisi, 1500 t/h besleme kapasitesine sahiptir ve altı tane aynı modülden oluşmaktadır. +0,5mm boyutundaki kömür ağır ortam siklonlarında kazanılmaktadır. İnce fraksiyon (-75 mikron) siklonlarda sınıflandırılmaktadırlar. Her bir modül içinde iri fraksiyon ve şamlar için Wemco klasik flotasyon hücreleri kullanılmaktadır.

Riverside Madeninde de şamları geri kazanmak ve flotasyon zorluklarının üstesinden gelmek için Jameson hücresi ve microcell kolon üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda, -0,5mm fraksiyonu kullanılmış ve yapılan deneyler sonucunda, Jameson hücreleri ile ince kömür için %85,7 yanabilir verim ile %6,6 kül içeren ürün elde edilmiştir. Tesiste ince kömürü zenginleştirmek için Jameson hücreleri atığın bir kısmının devridaim edildiği ve tek aşamalı çalışacak şekilde tasarlanmıştır (Dawson and Yannoulis, 1996).

5.2.3 Solvent Ekstraksiyonu Uygulamaları

Jameson hücreleri, düşeyboru içerisinde büyük miktarda ince kabarcıklar üretildiğinden, iyi bir karıştırma ve yüksek boşluk fraksiyonu sağlandığından dolayı hidrometalurjik sıvılardan (organik sıvı) organik bileşiklerin kazanılmasında kullanılmaktadırlar.

Jameson hücresinde elektrolit veya rafine gibi besleme solüsyonları düşeyboruya belirli bir basınç altında pompalanmaktadır. Jetin sıvıya daldığı bölgede şiddetli parçalanma ve türbülanslı karıştırma meydana gelmektedir. Çok ince kabarcıklar ve yüksek karıştırma derecesi, solüsyonda bulunan organiğin toplanma olasılığını artırmaktadır. Organik bileşikler hidrofobiktir ve dolayısıyla hava-solüsyon ara yüzeyinde tutulmaktadır. Kabarcıklı karışım düşeyborudan boşalarak hücreye geçtiğinde ise, organik yüklü kabarcıklar yukarı doğru yükselirler ve solüsyondan ayrılırlar. Temizlenmiş solüsyon da hücrenin alt kısmından uzaklaştırılmaktadır (Clayton, 1994; Dawson and Jackson, 1995).

Jameson hücreleri ile hidrometalurjik sıvılardaki organiğin büyük bir miktarı kazanılabilmektedir. Aslında organiğin yüzey gerilim özellikleri, organiğin sıvı ortamdan ziyade hava tabakasını tercih etmesine neden olmaktadır. Düşeyboru içinde ince kabarcıklardan oluşan yüksek boşluk fraksiyonunun (%50–60) bulunması yani yüksek ara yüzey alanının olması organiğin çoğunluğunun toplanmasını sağlamaktadır (Jameson hücresi broşürü, 2004; Clayton, 1994; Dawson and Jackson, 1995).

Organik kazanımında hücre hem çalışma hem de sermaye maliyeti açısından ucuz bir alet olduğunu kanıtlamıştır. Dünya çapında kurulan en büyük Jameson hücresi kuvvetli elektrolitten organiği kazanmak amacıyla Phelps Dodge Morenci'de kurulmuştur. Bu hücre 6,5m çapındadır ve iç içe halkalar halinde yerleştirilmiş 30 düşeyborusu vardır. İç halkada 10, dış halkada 20 düşeyboru vardır (Clayton, 1994; Dawson and Jackson, 1995).

Mount Isa SX-EW Tesisi, ilk olarak hidrokarbon fazı içinde bulunan bakırın seçimli olarak ayrıldığı kazanma bölümünden ve daha sonra bakırın sulu asidik fazın içine aktarıldığı bir sıyırma bölümünden oluşmaktadır. En son kalan hidrokarbon kalıntıları uzaklaştırmak için son kısımdaki temizleme aşamasına bir Jameson temizleme hücresi yerleştirilmiştir (Kennedy, 1990). SX-EW uygulamalarında 3m derinliğe sahip ilk büyük boyutlu hücre bu tesiste kurulmuştur. Hücre, sıvının kalma süresini arttırmak için mineral ve kömür flotasyonu hücrelerinkinden daha derin

olarak dizayn edilmiştir. 30 m³/sa'lik bir besleme hızına sahip hücrelerin çok iyi çalıştığı kaydedilmiştir (Kennedy, 1990; Dawson and Jackson, 1995).

5.2.4 Atıksu Arıtım Uygulamaları

JFH dünya çapında mineral ve kömür endüstrisinde önemli başarılar elde ederken, aynı zamanda alternatif başka uygulama alanları da araştırılmıştır. İlk olarak bu uygulamalar endüstriyel atık suların zenginleştirilmesi alanında yapılmıştır ve kısa bir süre sonra atık sulardan süspansiyon katıların, yağ ve gres yağının uzaklaştırılmasında başarılı olarak uygulanmaya başlamıştır. Jameson hücresi ile yağ ve gres yağının %95'i, süspansiyon katıların %95'i, çözünmez biyolojik/kimyasal oksijen talebinin %70'i, su yosunlarının %95'i ve çöktürülmüş fosforun %95'i uzaklaştırabilmektedir (www.environmental.com.au/p_water.flot.html).

Hücre esas olarak suyun boşaltılmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir ve dolayısıyla köpükteki çamurun katı içeriği fazladır. Bundan dolayı elde edilen çamur hacmi azaltılarak depolama maliyetleri düşük olmaktadır. Jameson hücresi, diğer çözünmüş hava prosesine dayalı flotasyon makinelerine kıyasla, 70°C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Klasik flotasyon makineleri 45°C'nin üzerinde etkin değildir ve bu düşük sıcaklıklarda atık su içindeki havanın çözünürlüğü az olmaktadır.

Avustralya-Queensland'da de artık su temizleme projesinde JFH kullanılarak, %95 oranında yağ ve gres uzaklaştırılırken, %90 oranında süspansiyon halinde su içerisinde kalmış katı organik artıklar %80 oranında uzaklaştırılmıştır.

Jameson hücre teknolojisinde flokülasyon esnasında hava kabarcıklarının bulunması oldukça faydalıdır. Flok yapısı içinde kabarcıkların bir araya getirilmesi yüzeyliliği sağlamakta ve yüzey özelliklerinden bağımsız olarak tanelerin yüzdürülmesini mümkün kılmaktadır (Orr, 2000; Jameson, 1999; Yan and Jameson, 2004).

Atıksu zenginleştirme tesislerinin stabilizasyon havuzlarında oluşan yosunların temizlenmesi sorunları için Jetflote şirketi atıksulardan mavi-yeşil ve yeşil yosunu uzaklaştırmak için kullanılan flotasyon yöntemini geliştirmek amacıyla bir araştırma yaparak Jameson hücresi ile atık sulardan bütün yosun türlerinin uzaklaştırılabileceğini görmüştür. Bunun yanında kimyasal olarak çöktürülen fosfor da yosun ile birlikte tek bir proses içinde uzaklaştırılabilmektedir. İlk pilot çaplı denemeler Avustralya'daki Wagga Wagga ve Hunter Valley atıksu tesislerinde uygulanmıştır (www.chemsoc.org/exemplarchem/entries/2001/rabeendran/pages).

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Özellikle oksitlenme ve tane boyutundan dolayı flotasyonu sorunlu, fiziksel ve kimyasal özelliği 6.1 başlığı altında verilmiş ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko cevherinin (Doğu Karadeniz Bölgesi) Jameson flotasyon hücresinde zenginleştirilebilirliği ve çalışma parametrelerinin (jet uzunluğu, bias faktörü, düşeyboru dalma derinliği, toplayıcı dozağı, köpürtücü miktarı, koşullandırma süresi, pH) flotasyon verimi üzerine etkisi deneysel çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar sırasıyla şöyledir;

- Cevherin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi,
- Örnek hazırlama ve tane serbestleşme boyutunun tespiti,
- Uygun öğütme süresinin araştırılması,
- Denver flotasyon hücresinde uygun reaktif ve pH değerlerinin belirlenmesi,
- Jameson flotasyon hücresinde zenginleştirme deneyleri ve uygun koşulların araştırılması.

Yapılan tüm çalışmaların sonuçları ve yorumları ilgili başlıklar altında sunulmuştur.

6.1 Cevherin Özellikleri

Cevher Doğu Karadeniz Bölgesine ait olup, boyutu yaklaşık olarak 12 mm altındadır (kurulu tesisin değirmene besleme bandından alınmıştır). Variller içerisinde çalışmanın yapılacağı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'na getirilmiştir. Oksitlenmeden dolayı sorunlu olan cevherin oksitlenmesini belli bir oranda önleyebilmek için numuneler serin bir yerde ve varil ağızları kapalı bir şekilde muhafaza edilmiştir. Boyut dağılımı Çizelge 6.1'de verilmiştir. Cevherin kimyasal analizi Çizelge 6.2'de sunulmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılan kompleks sülfürlü bakır-çinko cevheri; kalkopirit, sfalerit, pirit ve bunların yanında az miktarda galen, bornit ve tetrahedrit içermekte olup, atık mineraller ise barit, dolomit, kuvars, serüzit ve kildir (Yumlu, 2001).

Çizelge 6.1 Cevherin tane boyu dağılımı.

Tane Boyu (mm)	% Ağırlık
+4,750	43,12
-4,750+2,360	12,49
-2,360+1,180	5,92
-1,180+0,600	7,29
-0,600+0,300	7,40
-0,300+0,150	6,19
-0,150+0,075	4,60
-0,075+0,038	3,04
-0,038	9,96

Çizelge 6.2. Cevherin genel kimyasal analizi.

Element	İçerik (%)
Cu	3,02
Zn	6,75
Pb	0,24
Fe	26,80
S	29,30
Ag	0,005
Si	5,40
Ba	1,82
Ca	1,47
Ateş zayıtı ve diğer elementler	25,20

Cevher yapısal ve içerik olarak dört farklı yatağın harmanlamasından oluşmaktadır. Bunlar; masif sülfür cevherin alt tabakasını oluşturan Stokwork cevheri, bakırca zengin sarı cevher, çinkoca zengin olan siyah cevher ve sfalerit parçalarıyla ayırt edilebilen klastik cevherdir.

6.2. Örnek Hazırlama

Deneysel çalışmalar için yaklaşık bir ton civarında cevher getirilmiştir. Cevher içindeki çok ince boyuttaki tanelerin (300 mikron altı) oksitlenmesi (toplam yüzeyde) yapılacak flotasyon çalışmalarında sorun yaşatır düşüncesi ile cevherden eleme yöntemiyle uzaklaştırılmıştır (yaklaşık olarak cevherin %23,79'u). Kalan cevher harmanlanarak numune bölücü yardımıyla 1200 gramlık örnekler ayrılmış ve yaklaşık olarak 300 örnek naylon torbalar içine konulmuştur. 300 mikron altı uzaklaştırıldıktan sonra deneysel çalışmalarda kullanılacak cevherin yapılan kimyasal analizinde Cu ve Zn içeriklerinde düşmeler görülmüştür. Orijinal cevherde bakır içeriği yaklaşık % 3.02 iken yeni cevherde % 2.75 olmuştur. Aynı şekilde çinko % 6.75 den % 6.15'e düşmüştür (Çizelge 6.2, Çizelge 6.3). Cevherin serbestleşme derecesini ve uygun flotasyon parametrelerini belirleyebilmek amacıyla alınan örnekler, çalışmalardan önce bilyalı değirmende öğütülmüştür.

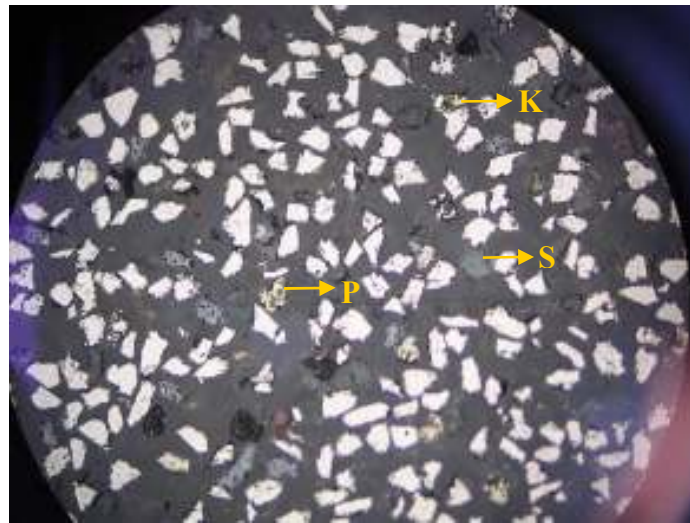
Çizelge 6.3 Deneysel çalışmalarda kullanılan numenin kimyasal analizi.

Element	İçerik (%)
Cu	2,75
Zn	6,15
Fe	24,81
S	23,33

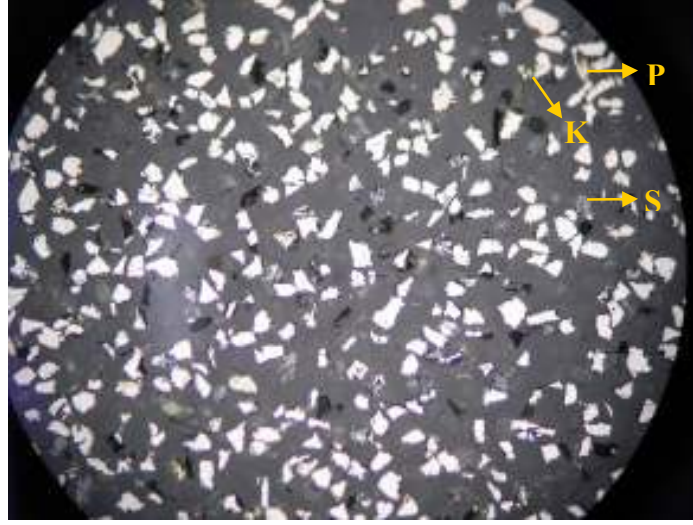
6.3. Cevherin Serbestleşme Derecesi

Cevherin serbestleşme boyutunun tespiti için bilyalı değirmende öğütülen cevher elek fraksiyonlarına ayrılarak her bir fraksiyondan ayrı ayrı parlak kesitler hazırlanmıştır. Parlak kesitlerin mikroskobik incelemeleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji Laboratuvarında Prof. Dr. Rifat Bozkurt yardımıyla yapılmıştır. Flotasyon yöntemiyle kazanılması düşünülen kalkopirit ve sfalerit minerallerinin serbestleşme derecesi yaklaşık 38 mikron olarak saptanmıştır.

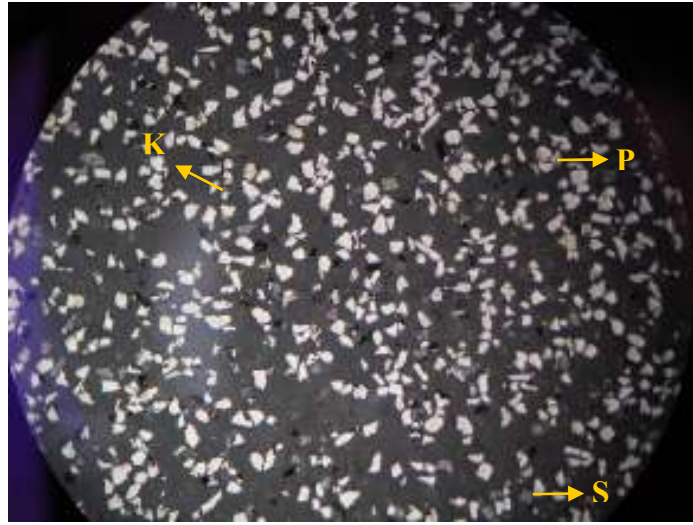
Parlak kesitleri alınan öğütülmüş cevherin mikroskop görüntüleri Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'te verilmiştir. Parlak kesitler üzerinde yapılan incelemeler ışığında; kalkopirit tanelerinin değirmende daha çabuk ufalandıkları ve serbest kalkopirit tanelerinin genellikle ince elek fraksiyonlarında yoğun olarak bulunduğu gözlenmiştir. İri boyutlarda ise (38 mikron üstü) serbest kalkopirit tanelerinin daha az ve genellikle bağlı taneler şeklinde olduğu görülmüştür. Bu ön mikroskobik bilgilere göre; cevherin 38 mikron altına indirilebilmesi ve mümkün olduğu kadar çok ince tanelerden kaçınmak için (10-15 mikron altı) en uygun öğütme süresinin belirlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçla farklı sürelerde öğütme işlemleri yapılarak ve Malvern tane boyut analiz cihazı kullanılarak optimum öğütme süresi belirlenmeye çalışılmıştır.



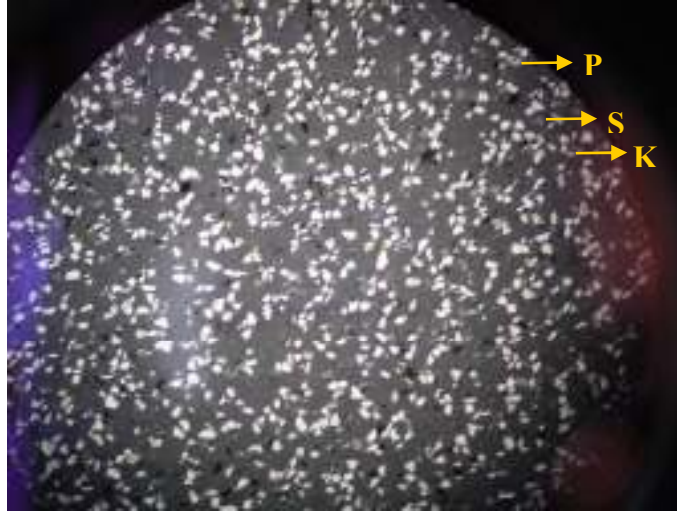
Şekil 6.1 Öğütülmüş cevherin +75 µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: x600).



Şekil 6.2 Öğütülmüş cevherin $-75+53\mu\text{m}$ boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (**P**: Pirit, **S**:Sfalerit, **K**:Kalkopirit; Büyütme Oranı: x600).



Şekil 6.3 Öğütülmüş cevherin $-53+38\mu\text{m}$ boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (**P**: Pirit, **S**:Sfalerit, **K**:Kalkopirit; Büyütme Oranı: x600).



Şekil 6.4 Öğütülmüş cevherin -38+25µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (P: Pirit, S:Sfalerit, K:Kalkopirit; Büyütme Oranı: x600).

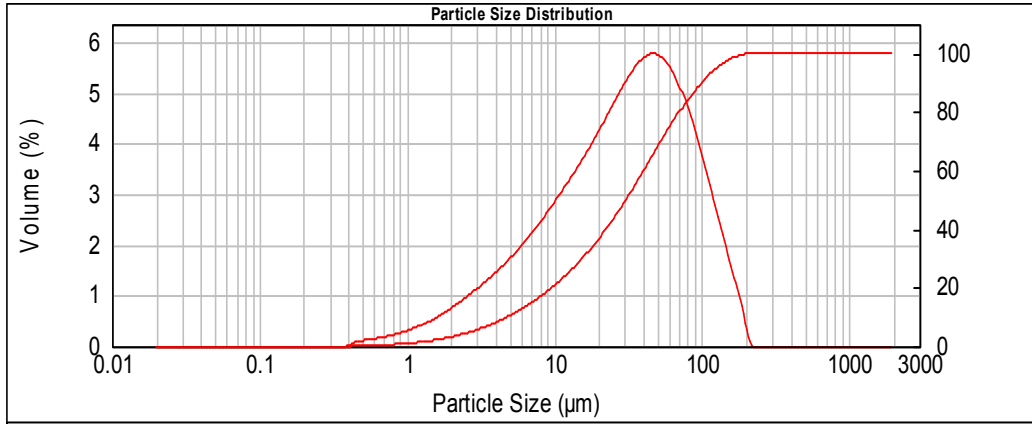


Şekil 6.5 Öğütülmüş cevherin -25µm boyut fraksiyonundaki parlak kesit görüntüsü (Büyütme Oranı: x600).

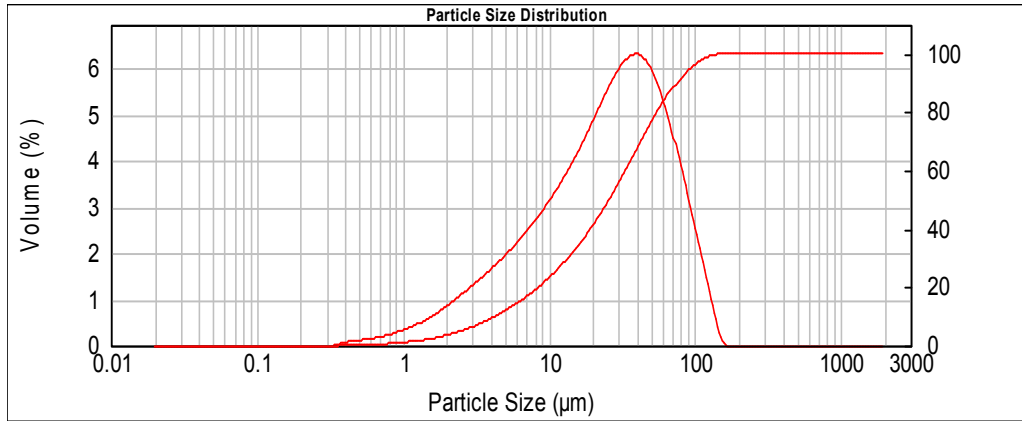
6.4. Öğütme Süresinin Belirlenmesi

Çalışmaya konu olan cevherin oksitlenme problemi olmasından dolayı kademeli öğütme işlemi yapılmadan, doğrudan önceden belirlenen sürelerde öğütme işlemleri

laboratuvar tipi bilyalı değirmende yaş olarak % 60 oranıyla yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı değirmenin çapı 19,5 cm boyu 20 cm olup hacmi yaklaşık 6 litredir. Çeşitli çaplarda 167 adet bilyaya sahip olan değirmenin kritik hızı 102 dev/dk olup çalışma 90 dev/dk'da gerçekleştirilmiştir.



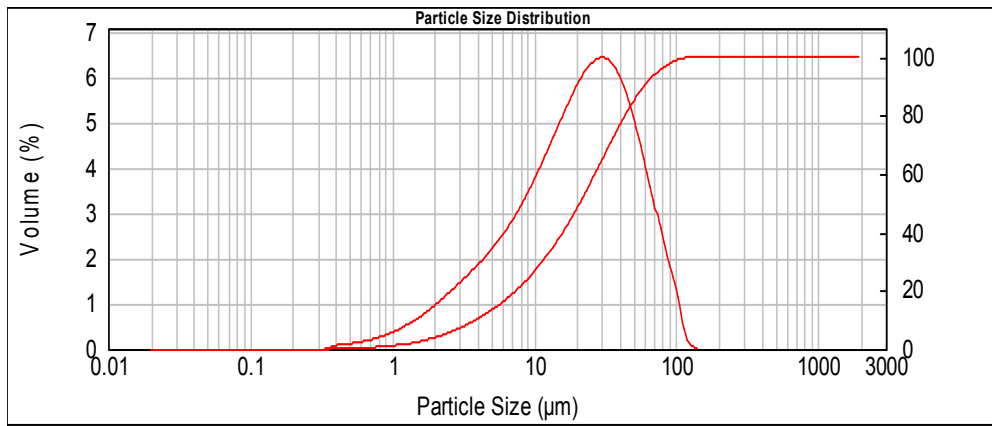
Şekil 6.6 Değirmende 20 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği



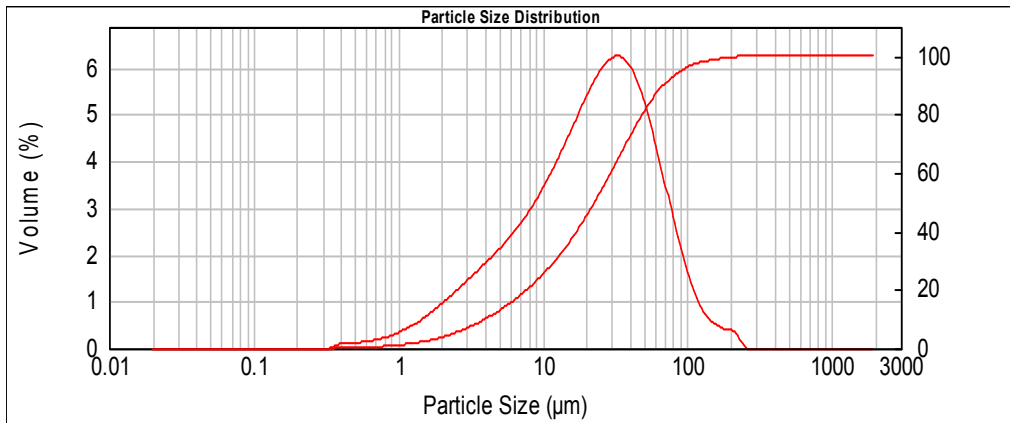
Şekil 6.7 Değirmende 30 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği

Çalışmanın başlangıcında çok ince öğütmeden (10 mikron altı) kaçınmak için kademeli öğütme düşünülmüş ve 20 dakikalık süreyle öğütme işlemi yapılarak 38 mikron üstü tekrar değirmene beslenerek testler yapılmıştır. Ancak, laboratuvar

şartlarında eleme işleminin ve değirmen için öğütme koşullarının yeniden sağlanmasının (% 60 katı oranı) uzun süre almasından dolayı tek kademedeki öğütme yapılması daha uygun bulunmuştur. Öğütme süresi olarak 20, 30, 40 ve 50 dakikalık süreler seçilmiş ve ürünlerin tane boyut analizleri Malvern tane boyut analiz cihazında yapılmıştır. Boyut analiz sonuçları Şekil 6.6, 6.7, 6.8 ve 6.9’da sunulmuştur.



Şekil 6.8 Değirmende 40 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği



Şekil 6.9 Değirmende 50 dk. öğütülen cevherin tane boyut dağılım grafiği

Şekil 6.6; 6.7; 6.8 ve 6.9’deki sonuçlara göre; cevherin % 70’inin elek altına geçtiği boyut olan d_{70} ; 20 dakikalık öğütme süresinde yaklaşık olarak 52 mikron, 30

dakikalık öğütme süresinde 45 mikron, 40 dakikalık öğütme süresinde ise 38 mikron olduğu görülmektedir. 50 dakikalık öğütme süresinde grafikteki eğrinin düzgün olmayışının nedeni ise; ölçüm yapılırken ince taneler arasındaki elektrostatik çekim nedeniyle tanelerin birbirine yapışması olarak açıklanabilir. Çok fazla ufalanmadan dolayı, aglomerasyona uğrayan ince taneleri cihaz daha iri boyutlu olarak algılamaktadır. Bu da tane boyu-hacim eğrisinde düzensizliğe (eğrinin son kısmında hacimsel artış) neden olmaktadır.

Öğütme süresi olarak cevherin yaklaşık %70'inin, serbestleşme boyutu olan 38 mikronun altına indirildiği 40 dakikalık öğütme, yapılacak deneylerde uygulanacak öğütme süresi olarak belirlenmiştir. Yapılan flotasyon deneylerinin öncesinde numuneler 40 dakika süreyle bilyalı değirmende öğütülmüştür.

6.5. Denver Flotasyon Hücresinde Uygun Reaktif ve pH Değerlerinin Belirlenmesi

Cevher üzerinde yapılan araştırmalara göre (Ekmekçi et al.,2006; Hiçyılmaz and Altun, 2006; Pecina et al.,2006; Cytec);

- Kalkopirit için toplayıcı olarak; Aerophine 3418A (Çizelge 6.4),
- pH : 11,8 - 12 (CaO),
- Köpürtücü: MIBC (Methyl isobutyl carbinol),
- Sfalerit canlandırıcısı $CuSO_4$ belirlenmiş olup, bunların uygunluğu, flotasyon süresinin tenör ve verim üzerine etkisi laboratuvar tipi Denver flotasyon hücresinde deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir. Ayrıca ilave olarak sfaleriti bastırmak için $ZnSO_4$ bastırıcısının etkisi de araştırılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmaların temel amacı; Jameson flotasyon hücresi için uygun reaktifleri ve pH değerini belirlemek, ayrıca flotasyon süresinin verim ve tenör üzerine etkisini görmektir. Bilindiği gibi Jameson flotasyon hücresinde flotasyon süresi yaklaşık 3–5 dakika arasındadır. Sonuç olarak elde edilecek uygun bulgular Jameson flotasyon hücresinde uygulanacaktır.

Çizelge 6.4 Aerophine 3418A'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Ticari İsim	Aerophine 3418A
Renk	Sarımsı
Görünüm	Sıvı
Koku	Kokusuz
Kaynama noktası	106 °C
Erime noktası	-5 – 0 °C Kristalizasyon noktası
Buhar basıncı	17,5 mmHg (24°C)
Özgül ağırlık	1,14 g/cm ³ (24°C)
pH	Hafif Alkali

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numune öncelikle değirmende % 60 katı oranı ve kireç ilave edilerek 40 dakika öğütüldükten sonra Denver flotasyon hücresi içine alınmıştır. Gerekli parametre ayarlamalarından sonra flotasyon işlemi yapılmıştır.

6.5.1. Mekanik Flotasyon Hücresindeki Çalışma Parametreleri

Laboratuvar ölçekli Denver Flotasyon hücresinde yapılan flotasyon çalışmalarındaki çalışma parametreleri Çizelge 6.5'te sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalarda, önce uygun pH belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra kalkopirit ve sfaleritin selektif flotasyonu için farklı bastırıcıların sfalerit üzerine etkisi araştırılmıştır. Denver flotasyon hücresinde pervane dönüş hızı 1250 devir/dakika olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 6.5 Denver flotasyon hücresi deneysel koşulları.

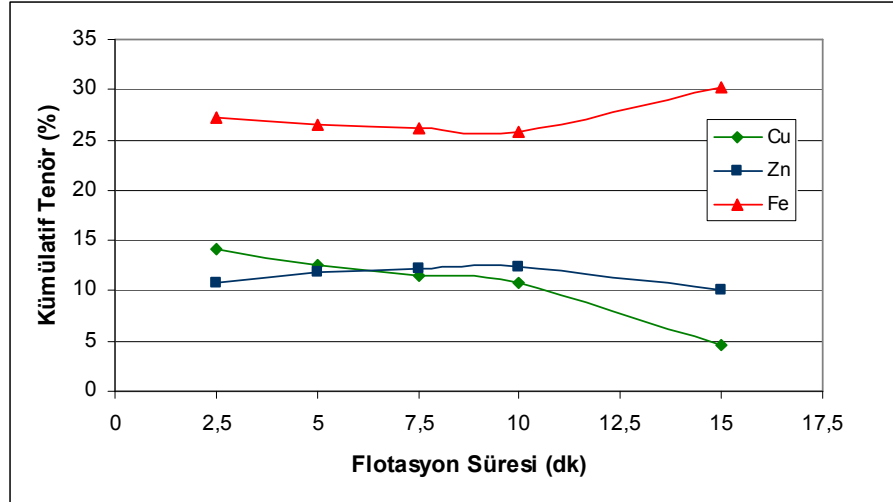
Parametre	Değer
Boyut (d_{70})	- 38 mikron
pH	10,5 - 11,8
pH ayarlayıcı	CaO
% katı	% 35
Bastırıcı	ZnSO ₄
Bastırıcı Miktarı (g/t)	1000
Koşullandırma Süresi (dk)	5
Toplayıcı	Aerophine 3418A
Toplayıcı Koş. Süresi (dk)	5
Toplayıcı Miktarı (g/t)	100
Köpürtücü	MIBC
Köp. Miktarı (g/t)	15
Köpürtücü Koş. Süresi (dk)	2

Flotasyon konsantreleri farklı zaman dilimlerinde alınmıştır. İlk konsantrenin flotasyon süresi 1 dakika, ikinci konsantre 1,5 dakika, 3, 4 ve 5'nci konsantrelerin süresi ise 2,5 dakikadır. Deneysel sonuçlar Şekil 6.10, 6.11, 6.12 ve 6.13'te sunulmuştur.

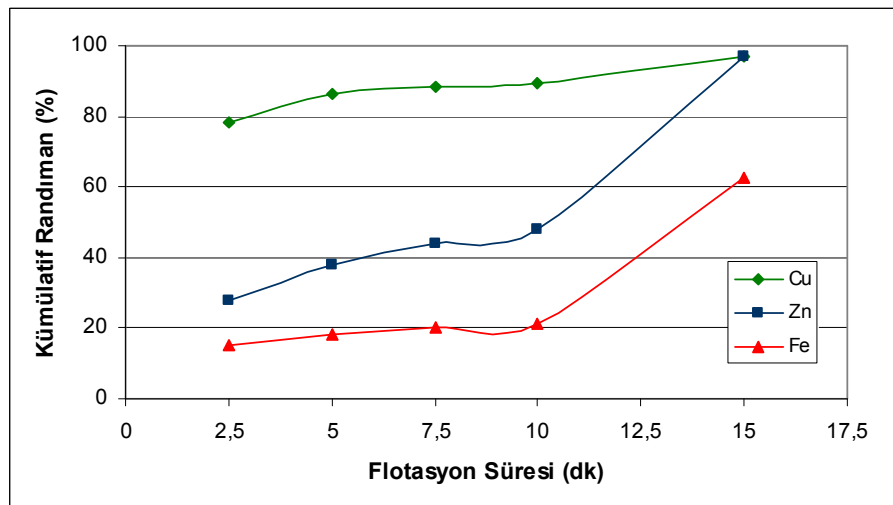
Bakır ve çinko tenörü ve verimi üzerine pH'nın etkisini araştırmak amacıyla pH 10,5 ve 11,8 de iki deney yapılmıştır.

Bu deneylerde ilave olarak bakır sülfat ilavesi ile canlandırma yapılmış ve 5 dk daha konsantre alınmıştır. Konsantreler ilk 10 dakikada farklı sürelerde alınmış, CuSO₄ ilavesinden sonra 5 dakika koşullandırma yapılarak (pH 11.8 deneyinde canlandırmadan sonra pH 10,5'e indirilmiştir) 5 dakika süreyle alınmıştır.

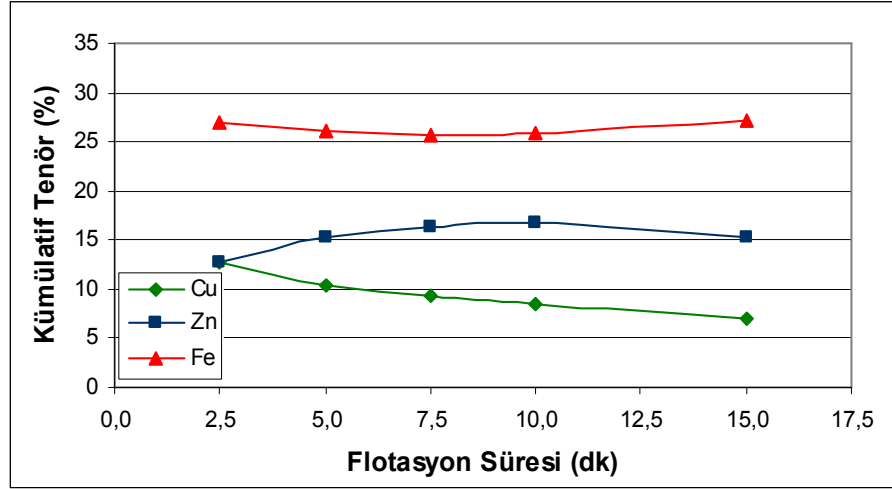
Alınan konsantre miktar ve tenörleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Sonuçlar şekillerde kümülatif olarak sunulmuştur. Bu sonuçların sayısal değerleri çizelge şeklinde Ek A'de verilmiştir.



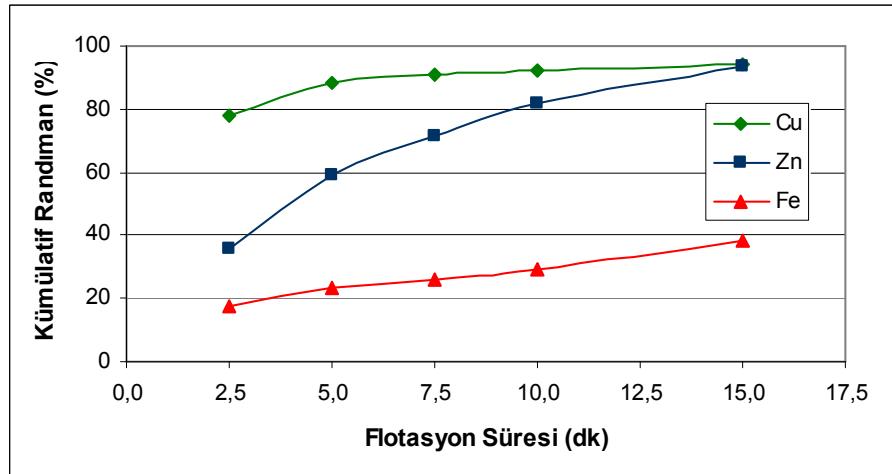
Şekil 6.10 pH 10,5'te flotasyon süresine göre konsantrelerin bakır ve çinko içerikleri.



Şekil 6.11 pH 10,5'te flotasyon süresine göre bakır ve çinko verimleri.



Şekil 6.12 pH 11,8'de flotasyon süresine göre konsantrasyonların bakır ve çinko içerikleri.

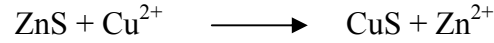


Şekil 6.13 pH 11,8'de flotasyon süresine göre bakır ve çinko verimleri.

Şekil 6.10; 6.11; 6.12 ve 6.13'te sunulan sonuçlara göre;

- Her iki pH değerinin ilk 2,5 dakikasında alınan konsantrasyonların bakır içeriği yüksek iken zamana bağlı olarak azalmaktadır. Buna karşın, çinko içerikleri ise 10'uncu dakikaya kadar tersi davranış göstermektedir (Şekil 6.10 ve 6.12).

- Bakır ve çinko verimi zamana bağlı olarak artmaktadır.
- Beslemedeki çinko içeriği ortalama %6,15 iken, konsantredeki çinko içeriği ortalama %13,5 olmakta, bu sonuca göre sfalerit için kullanılan ZnSO₄ bastırıcısının etkisi görülmemektedir. Bunun nedeni ise oksitlenmeden dolayı ortamda bulunan Cu²⁺ iyonları ile sfalerit yüzeyinin aktifleşmesi ve yüzme eğilimi göstermesi olabilir.



- Jameson flotasyon hücresindeki flotasyon süresinin kısalığı açısından (3-5 dakika arası) deneysel sonuçların (içerik ve randıman) ilk 5 dakikasına bakılırsa;
 - İlk 5 dakikada pH 11,8'de bakır içeriği %10,39 iken pH 10,5'te bakır içeriği %12,30 olup, yaklaşık %2 düşüş gözlenmektedir. Buna karşın randımanında % 2 artış görülmektedir.
 - İlk 5 dakikada çinko içeriklerine ve randımana bakılınca, pH 11,8 değerleri pH 10,5 göre daha yüksektir.

Bu sonuçlara göre, bakır veriminin yüksek olduğu pH 11,8 değeri Jameson flotasyon hücresi için seçilip, bu pH ortamında diğer parametrelerin (alet değişkenleri ve ortam koşulları) verim ve içerik üzerine etkisinin araştırılması düşünülebilir. Bu düşünce ile Jameson flotasyon hücresinde yapılan zenginleştirme çalışmalarında pH 11,8 alınmıştır.

6.6. Jameson Flotasyon Hücresinde Zenginleştirme Çalışmaları

Flotasyon deneyleri, Dumlupınar Üniversitesi (Kütahya) Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında bulunan Jameson Flotasyon Hücresinde (JFH) yapılmıştır. JFH, Prof. Dr. Greame J. Jameson'un önerileri ve Prof. Dr. Bahri Öteyaka'nın bilgi ve deneyimleri doğrultusunda iki yıl süren yoğun bir araştırma ve çalışma sonucu imal edilmiş olup, sağlıklı biçimde bilimsel çalışmalar yapılabilir. Bu alanda uluslararası makale

Deney setini oluşturan ekipmanlar şunlardır:

- Konsantre ve artığın ayrıldığı şeffaf hücre (Çap 150, 200 ve 300 mm, boy 1000 mm, deneylerde 200 mm çaplı hücre kullanılmıştır.),
- Düşey boru (Şeffaf, çap 16, 21, 26, 36 ve 46 mm, boy 1800 mm, deneylerde 26 mm çaplı düşey boru kullanılmıştır.),
- Nozul (paslanmaz çelik, Çap 3, 3.8, 5, 6, 7 ve 10 mm, deneysel çalışmalarda 5 mm çaplı nozul kullanılmıştır.),
- Besleme tankı: 100 litre hacminde olup paslanmaz (çelik) malzemeden yapılmıştır.
- Yıkama suyunun beslendiği ve hücrenin çalışma koşullarının ayarlanmasında kullanılan 100 litre hacimli paslanmaz çelik tank
- Besleme ve yıkama suyu pompası,
- Pülp besleme basıncını ölçen bir manometre (Şekil 6.16),
- Besleme ve artık debisini ölçmek için iki adet flowmetre (Şekil 6.17),
- Hava debisini ölçmek için flowmetre (Şekil 6.18),
- Besleme tankı üzerine monte edilmiş pülp karıştırma motoru.

Yukarıda açıklanan farklı çaplardaki hücrelerden, düşey borulardan ve nozullardan uygun olan kombinasyonların seçimi için katı fazı kullanılmadan (cevhersiz, sadece su+köpürtücü ve hava) ön deneysel çalışmalar yapılmış olup, yukarıda belirtildiği gibi 200 mm çaplı hücre, 26 mm çaplı düşey boru ve 5 mm çaplı

nozullar belirlenmiştir ve flotasyon deneylerinde kullanılmıştır. Bunların seçimi ile ilgili detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.



Şekil-6.15 JFH nin genel görünümü.



Şekil-6.16 Manometre.



Şekil-6.17 Besleme debisi ölçümü için kullanılan akışölçer.



Şekil-6.18 Hava debisi ölçümü için kullanılan akışölçer.

6.6.2. Uygun hücre, düşey boru ve nozul seçimi

Çalışmalarda kullanılacak Jameson Flotasyon Kolonu için üç farklı çapta ayırma hücresi, beş adet farklı çapta düşey boru ve altı adet farklı çaplarda nozul yaptırılmıştır (Çizelge 6.2). Uygun hücre, düşey boru ve nozul kombinasyonu seçimi için cevhersiz (su + köpürtücü ve hava) deneysel çalışmalar yapılmış olup, yapılan çalışmalarda kabarcık boyutu (0,6 – 1 mm), hold-up (% 40 -50) ve ortamın stabilitesi (hücrede kararlı köpük zonu oluşumu ve düzgün köpük taşması) dikkate alınmıştır. Bu durumda Çizelge 6.6’da belirtilen kombinasyonlar belirlenmiştir. Bu sonuçlar araştırmacıların yaptığı çalışmalarla da (Evans, 1990; Evans et al., 1995, 1996; Harbort, et al., 2002; 2003 b; Jameson Hücresi broşürü, 2004; Jameson and Manlapig, 1991; Bangerter, 1998; Ata ve Önder, 1997; Harbort et al., 1997; Kennedy, 1990) uyumludur. Deneysel çalışmalar için kullanılacak katı miktarı da dikkate alınarak 200 mm çaplı hücre, 26 mm çaplı düşey boru ve 5 mm çaplı nozul kullanımına karar verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kullanılacak hücre çapına göre uygun nozul ve düşeyboru seçimi.

Toplama Hücresi Çapı	Düşey Boru Çapı	Nozul Çapı
150mm	16mm	3 – 3,8mm
	21mm	3 – 3,8 – 5mm
<u>200mm</u>	21mm	3 – 3,8 – 5mm
	<u>26mm</u>	3,8 – <u>5</u> – 6mm
	36mm	5 – 6 – 7mm
300mm	26mm	3,8 – 5 – 6mm
	36mm	5 – 6 – 7mm
	46mm	5 – 6 – 7 – 10mm

6.6.3. Jameson flotasyon hücresinde flotasyon koşulları

Kalkopirit ve sfalerit kolektif, kalkopiritin selektif kazanımı için yapılan flotasyon deneylerinde alet değişkenleri ve reaktif miktarı bazında değişiklikler

yapılmıştır. Bunların konsantre içeriği ve randımanı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma koşulları aşağıda verildiği gibidir;

- Tane boyutu (d_{70}) : 52, 45, 38, 32 μ m
- Kabarcık boyutu : 0,6 – 1,0 mm
- Köpürtücü : MIBC (20 g/t)
- Toplayıcı : Aerophine 3418A (100g/t)
- Bastırıcı : kullanılmamıştır
- pH : 11,8
- Koşullandırma süresi : 2; 4; 6 dk.
- Hücre çapı : 200 mm.
- Hücre hacmi : 29,3 lt.
- Düşeyboru çapı : 26 mm.
- Nozul çapı : 5mm
- Besleme debisi : 11,5 lt/dk
- Atık debisi : 12,8, 13.3, 13.8 ve 14,3 lt/dk
- Yıkama suyu debisi : 3 lt/dk
- Düşeyboru dalma derinliği : 50, 60 ve 70 cm.
- Jet uzunluğu : 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 cm.
- Besleme basıncı : ~110 kPa

6.6.4. Deneysel yöntem

Jameson flotasyon hücresinde her bir flotasyon deneyinin yapımında aşağıda belirtilen aşamalar izlenmiştir;

- Her deney için hücreyi doldurmaya ve flotasyon deneyini tamamlamaya yetecek kadar şebeke suyu (70 litre) yıkama tankına doldurulmuş ve suyun pH'sı ve köpürtücü miktarı ayarlanmıştır.

- Jameson flotasyon hücresi bu su ile doldurulmuş ve hücrenin önceden belirlenen çalışma değişkenleri ayarlanmıştır. Flotasyonda kullanılacak numunenin koşullandırılmasına kadar hücrenin atık çıkışı ve üstten taşan köpük yıkama suyu tankına geri beslenmiştir.
- Her deney başlangıcında koşullandırma yapmak için bazik ortamda öğütülen cevher Denver flotasyon hücresine alınmıştır. Katı oranı % 35 olacak şekilde su ilave edilerek önce pH ayarlanmıştır. Sonra gerekli reaktifler ilave edilip (köpürtücü hariç), 1650–1700 devir/dakikada belirlenen sürelerde koşullandırılmıştır.
- Belirlenen katı oranına (% 2; 4 ve 6) göre besleme tankına şebeke suyu doldurulup, karıştırılarak ortamın pH'sı ayarlanmış ve gerekli köpürtücü ilave edilmiştir. Daha sonra koşullandırılmış numune besleme tankına boşaltılmıştır.
- Çalışır durumdaki flotasyon hücresine pülp beslemeye başlandığı anda yıkama suyu tankının besleme vanası kapatılmış, atık ve konsantre çıkışları ayrı kovalara verilmiştir.
- Hücrenin üst kısmından konsantre gelmeye başladığı andan itibaren yaklaşık 1.5 dakika süreyle numune alınmış ve pülp beslemesi kesilerek yıkama suyu tankından su beslenmiştir. Su beslemesi hücrede katı tane bitinceye kadar (yaklaşık 5 dakika) devam etmiştir. Bu işlemin amacı, katı taneciklerin (hidrofob ve hidrofil) sistemden ayrılması içindir.
- Deney sonunda sistem durdurularak yüzen ve batan ürünler filtre edilmiştir. Daha sonra etüvde kurutulularak tartımları alınmış ve kimyasal analizleri XRF analiz cihazında yaptırılmıştır.
- Elde edilen deneysel veriler değerlendirilmiştir.

6.6.5. Deneysel Sonuçlar ve İrdelenmesi

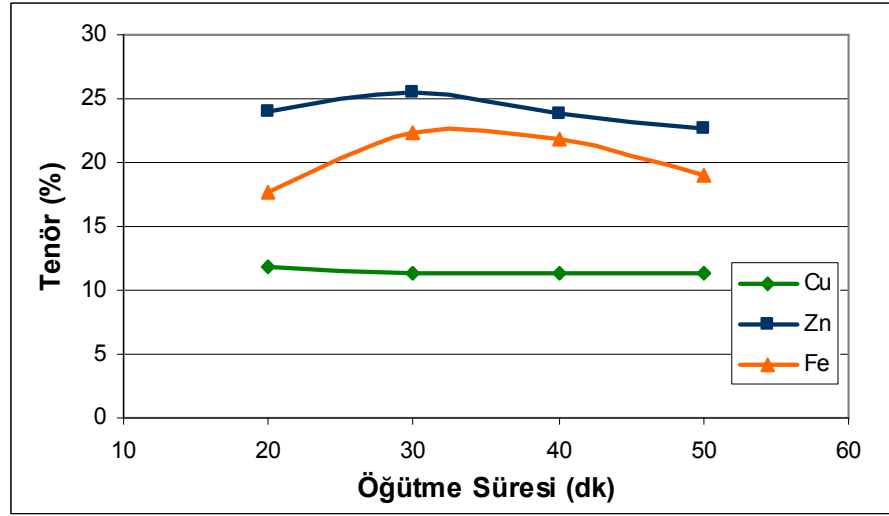
Uygun flotasyon koşullarının ve alet değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla; öğütme süresi, toplayıcı miktarı, koşullandırma süresi, % katı oranı, düşeyboru dalma derinliği, jet uzunluğu ve bias faktörünün flotasyon verimi ve konsantre tenörü üzerine etkisinin araştırmak için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.6.5.1. Öğütme süresinin tenör ve randıman etkisi

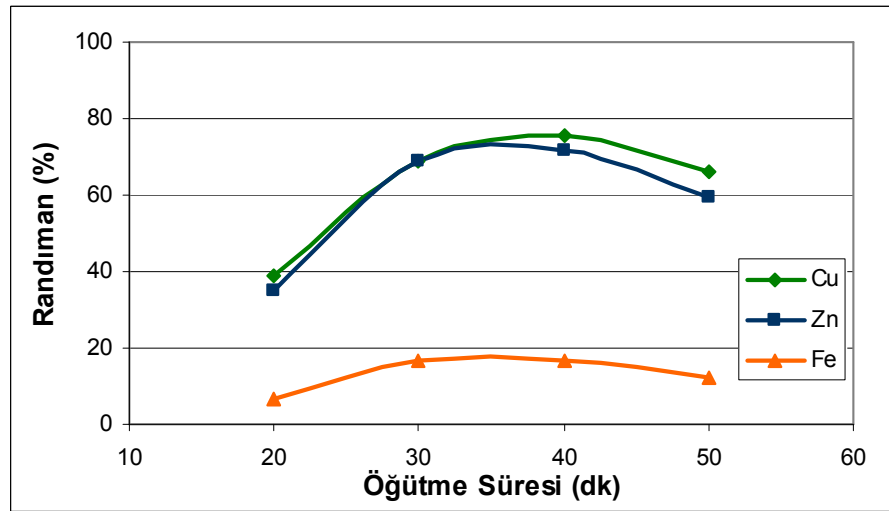
Mikroskop yöntemi ile önceden belirlenmiş tane serbestleşme boyutunun (40 dakikalık öğütmede d_{70} boyutu 38 mikron) flotasyon yöntemi ile doğruluğunu irdeyebilmek amacıyla cevher dört farklı öğütme sürelerinde (20, 30, 40 ve 50 dakika) öğütülmüş ve her bir ürün flotasyon işlemine (flotasyon koşulları aynı) tabi tutulmuştur. Flotasyon koşulları aşağıda verilmiş olup, sonuçlar şekil 6.19 ve 6.20’de verilmiştir. Bu sonuçların değerleri ayrıca çizelge şeklinde Ek B’de sunulmuştur.

Flotasyon koşulları:

Öğütme süresi	: 20, 30, 40 ve 50 dk
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Bastırıcı	: kullanılmadı
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 6cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa
Katı oranı	: % 4



Şekil 6.19 Öğütme süresinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.20 Öğütme süresinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

Şekil 6.19 ve 6.20'de verilen sonuçlar incelendiğinde; bakır verimi açısından en iyi sonuç 40 dakikalık öğütme süresinde elde edilebilmekte olup (flotasyon verimi %73,80), konsantrenin bakır içeriği de yaklaşık %11,35'dir. Aynı şekilde çinko

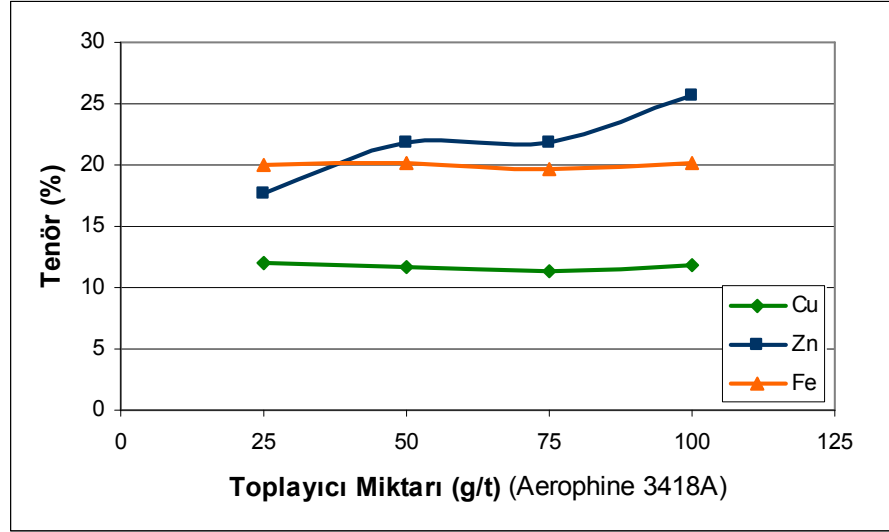
veriminin de en yüksek olduğu noktadır. Bu sonuçlara göre en uygun serbestleşmenin sağlandığı öğütme süresi 40 dakikadır. Bu sonuç mikroskopik yöntemle belirlenen öğütme süresiyle uyum göstermektedir. Yapılan diğler flotasyon çalışmalarında öğütme süresi 40 dakika olarak seçilmiştir.

6.6.5.2. Toplayıcı miktarının tenör ve randıman üzerine etkisi

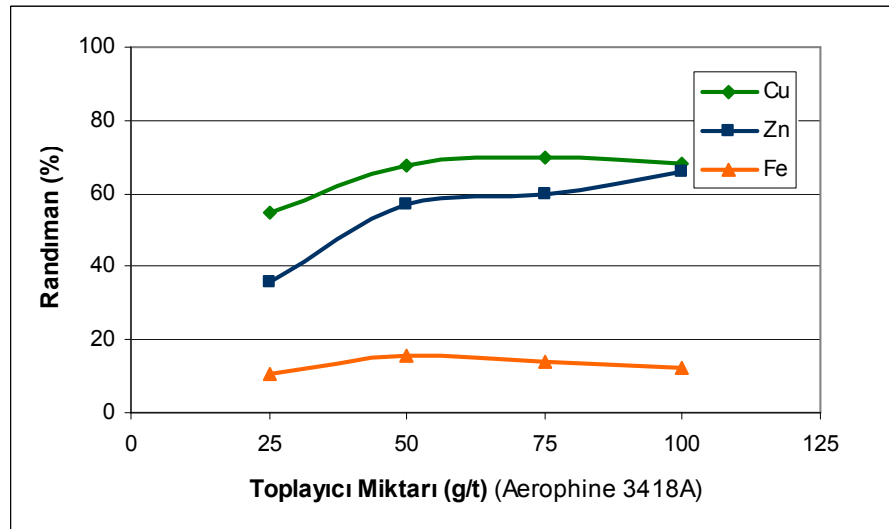
Farklı toplayıcı miktarının etkisini inceleyebilmek için Aerophine 3418A ile 25, 50, 75 ve 100 g/t dozajlarında koşullandırma yapılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diğler deneysel koşullar aşağıda verilmiştir. Sonuçlar şekil halinde 6.21 ve 6.22’de sunulmuş olup, çizelge halinde EK C’de verilmiştir.

Deney koşulları:

Öğütme Süresi	: 40 dk
Toplayıcı (Aerophine 3418A): 25, 50, 75, 100 g/t	
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
BİAS faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu sebisi	: 3 lt/dk
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 6cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa
Katı oranı	: % 4



Şekil 6.21 Toplayıcı miktarının Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.22 Toplayıcı miktarının Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

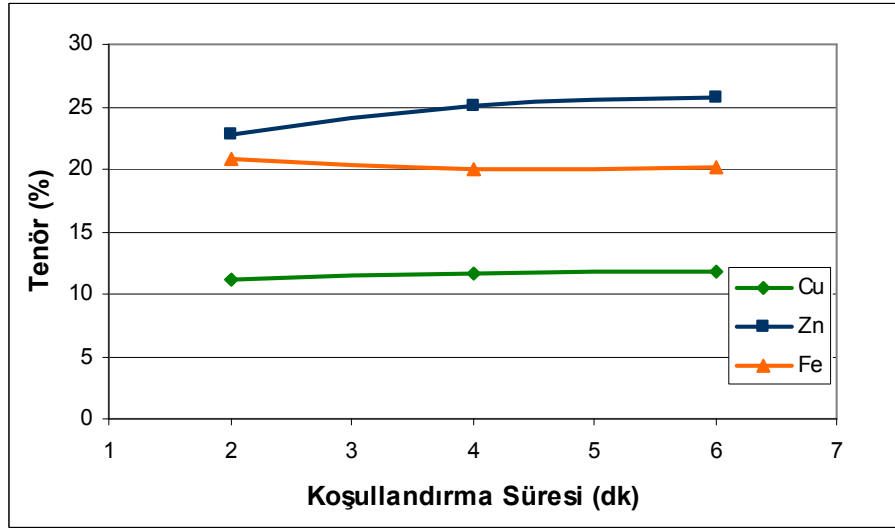
Şekil 6.21 ve 6.22’te sunulan deneysel verilerde tenör ve randımanlara bakılırsa, uygun toplayıcı (Aerophine 3418A) miktarı 100 g/t olarak belirlenebilmektedir. Toplayıcı miktarı artışı ile bakır ve çinko verimi artmakta, bakır içeriğinde dikkate

değer değişiklik gözlenmemekle birlikte 100 g/t'da ki tenör, 75 g/t'a göre biraz daha yüksektir (Cu içeriği % 11,78 e karşılık % 11,39). Buna karşın çinko tenörü artmaktadır. Burada toplayıcı miktarı çinkoyu yüzdürmede aktif rol oynamaktadır. Bu sonuçlar ışığında diğer flotasyon deneyleri için toplayıcı miktarı 100 g/t olarak seçilmiştir.

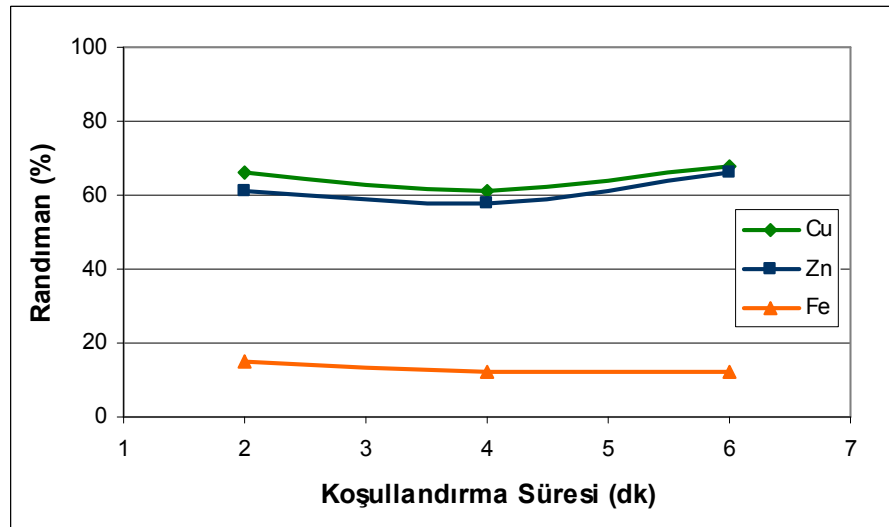
6.6.5.3. Koşullandırma süresinin tenör ve randıman üzerine etkisi

Belirlenen toplayıcı miktarından sonra koşullandırma süresinin konsantre tenörü ve randımanı üzerine etkisini araştırmak ve uygun süreyi belirleyebilmek amacıyla 2, 4 ve 6 dakikalık 3 farklı değerde koşullandırma yapılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar şekil 6.23 ve 6.24'te verilmiştir. Sayısal değerleri ise çizelge halinde EK D'de sunulmuştur. Deneysel koşullar ise aşağıda verilmiştir;

Öğütme Süresi	: 40 dk
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 2, 4, 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 6 cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa
Katı oranı	: % 4



Şekil 6.23 Koşullandırma süresinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.24 Koşullandırma süresinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

Sonuçların sunulduğu Şekil 6.23 ve 6.24 irdelendiğinde, koşullandırma süresine bağlı olarak konsantrite içersindeki bakır ve çinko içerikleri artmakta, verimlerinde sapmalar görülmektedir. Bu sapma alınan konsantrenin ve atığın susuzlandırma ve

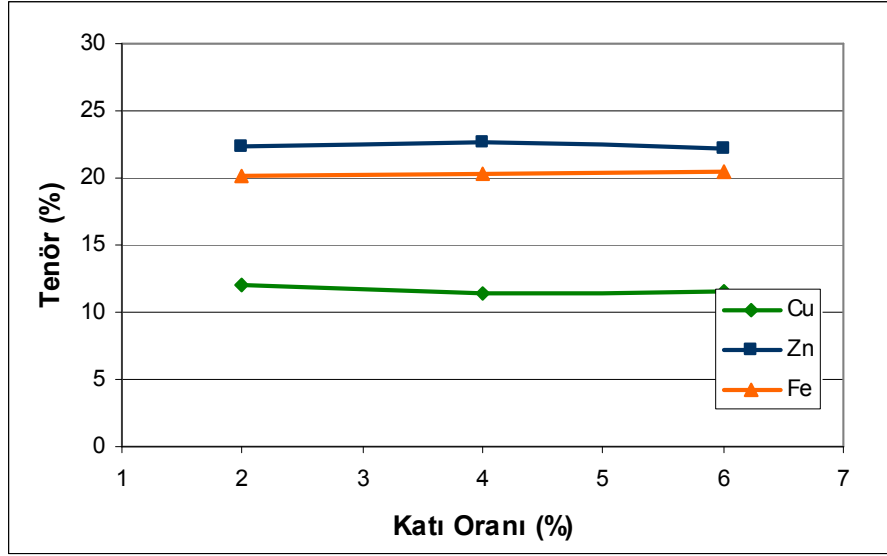
kurutma işlemlerinden kaynaklanabilir. Bu sonuçlara göre en uygun koşullandırma süresi olarak 6 dakikalık süre düşünülebilir. Bundan sonraki deneysel çalışmalarda koşullandırma süresi 6 dakika alınmıştır.

6.6.5.4. Katı oranının tenör ve randıman üzerine etkisi

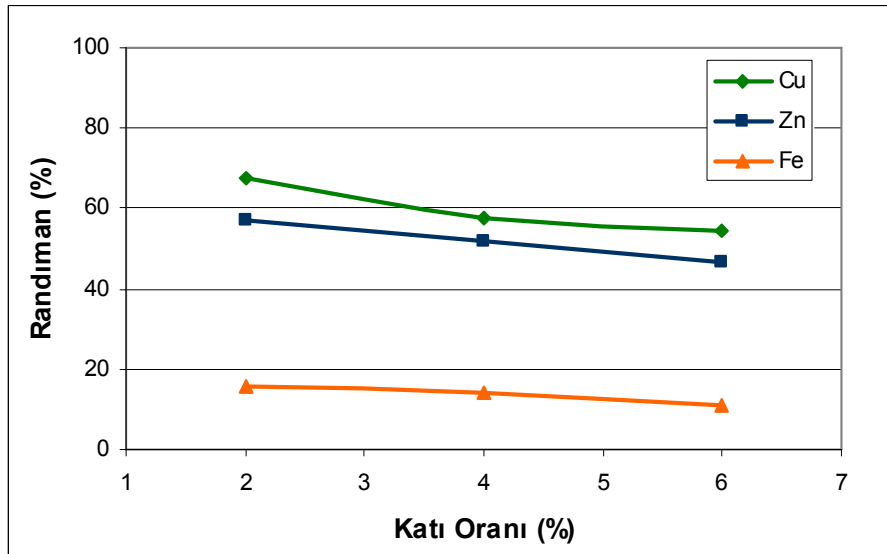
Jameson flotasyon hücrelerine beslenen cevherin % katı oranı önemli bir çalışma parametresidir. Bu nedenle beslenen pülpün ideal katı oranını belirlemek amacıyla %2, %4 ve %6 katı oranlarında besleme yapılarak deneyler yapılmıştır. Diğer deneysel koşullar aşağıda verilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.25 ve 6.26'da sunulmuştur. Ek E'de ise deneylerin sayısal verileri tablo halinde verilmiştir.

Deney koşulları;

Öğütme Süresi	: 40 dk
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Katı oranı	: % 2, 4, 6
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 6 cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa



Şekil 6.25 Katı oranının Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.26 Katı oranının Cu, Zn ve Fe randımanı üzerine etkisi.

Beslemedeki katı oranının konsantrasyon verimi ve içerikleri üzerine etkisini gösteren şekil 6.25 ve 6.26'daki grafikler incelendiğinde; katı oranı artışı ile içeriklerde önemli değişiklik görünmezken verimlerde düşüş gözlenmektedir. Verimin düşüş

nedeni ise sistemdeki sabit hava kabarcık sayısına karşılık katı tanecik sayısının katı miktarı ile artışıdır. Bu haliyle yüzecek tane miktarını azaltır. Bu sonuçlara göre, uygun katı miktarı %2'dir. Sisteme verilecek hava miktarı ile % katı miktarı artırılabilir. Ancak sistemin duraylı çalışma koşulları önemlidir. Verilecek fazla hava düşey boruda ve hücrede dalgalanmalara neden olabilir. Aletin diğer çalışma koşullarını belirleyebilmek için katı oranı %2 kullanılmıştır.

6.6.5.5. Düşeyboru dalma derinliğinin tenör ve randıman üzerine etkisi

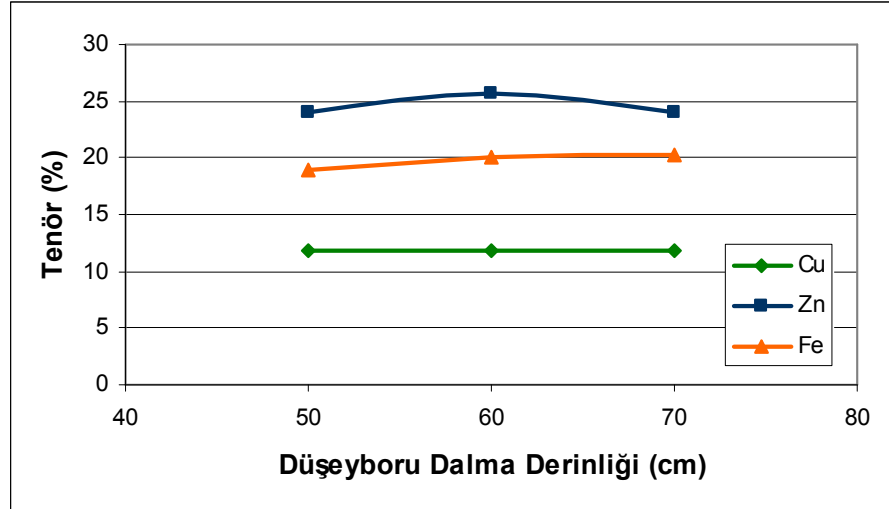
Düşeyborunun hücre içine boşaldığı dalma derinliği önemli bir çalışma parametresidir. Fiziki yasalara göre dalma derinliği artıkça düşeyborunun boşalma noktasından çıkan pülpün kesitsel yüzey alanına uygulanan su basıncı artar. Düşeyborudan hücreye boşalan pülpün ve hava kabarcıklarının hızında azalma olur. Bu sebeple düşeyborudaki hold-up değerinde artış meydana gelir. Bu durum verimi ve tenörü etkileyebilir. Bu nedenle değişik dalma derinliklerinde (50, 60 ve 70 cm) flotasyon deneyleri yapılarak dalma derinliğinin tenör ve randıman üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar Şekil 6.27 ve 6.28'de grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca sayısal değerler Ek F'de tablolar halinde verilmiştir. Deneysel çalışmaların diğer deney koşulları aşağıdadır;

Öğütme Süresi	: 40 dak.
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Katı oranı	: %2

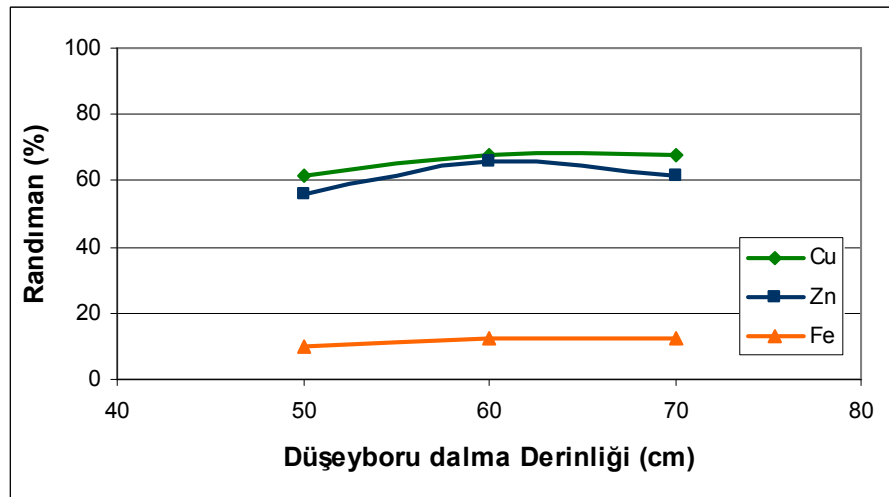
Düşeyboru dalma derinliği : 50, 60, 70 cm

Jet uzunluğu : 6 cm

Besleme basıncı : ~110 kPa



Şekil 6.27 Düşeyboru dalma derinliğinin Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



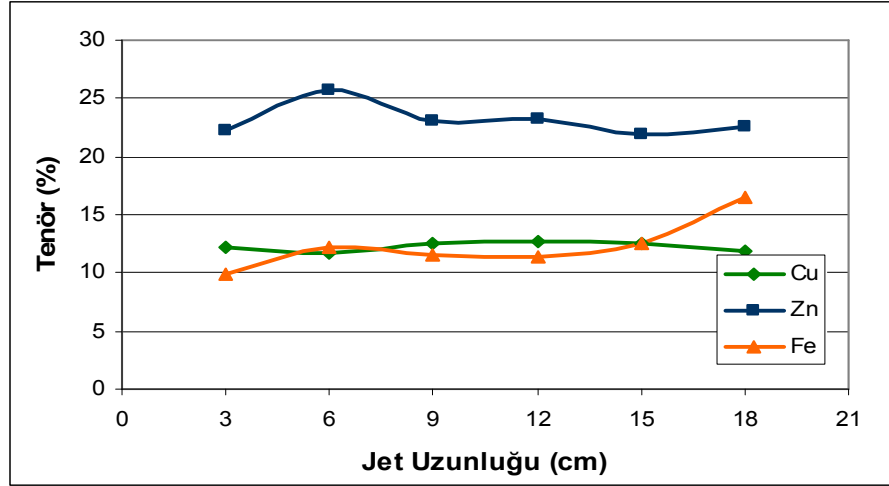
Şekil 6.28 Düşeyboru dalma derinliğinin Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

Şekil 6.27 ve 6.28’de sunulan grafiksel sonuçlara bakılınca; tenör ve verim açısında 60 cm’lik dalma derinliği uygun görülmektedir. Diğer parametrelerin etkisini araştırmak amacıyla yapılacak çalışmalar için dalma derinliği 60 cm olarak düşünülmüş ve uygulanmıştır.

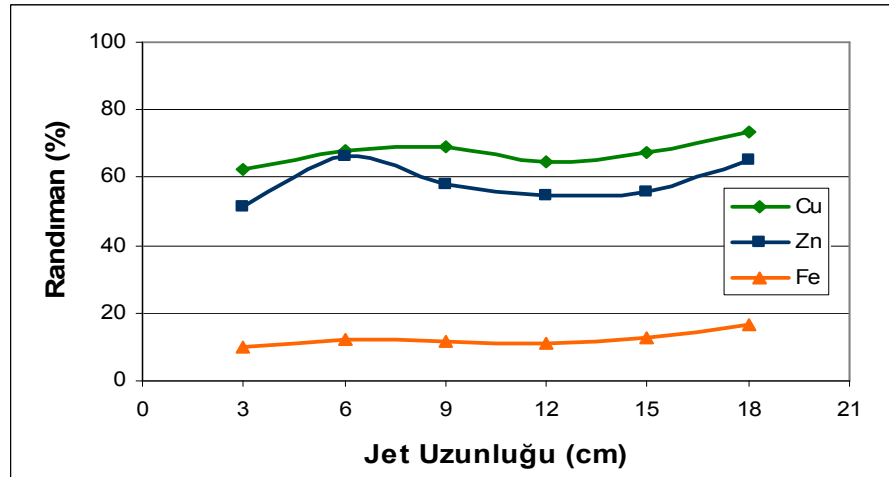
6.6.5.6. Jet uzunluğunun tenör ve randıman üzerine etkisi

Jet uzunluğu, düşey boruya vakumlanan doğal hava debisinin ayarlanmasına bağlıdır ve kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Fazla hava verilirse jet uzunluğu artar ve haliyle düşeyboru içersinde hold-up’ta artar. Bu artış belli bir değere kadar uygun olabilir. Flotasyon verimi ve konsantre içerikleri üzerine jet uzunluğunun etkisini araştırmak amacıyla 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 cm’lik jet uzunluklarında deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar grafik halinde Şekil 6.29 ve 6.30’da verilmiştir. Sayısal değerleri ise Ek G’de tablo halinde sunulmuştur. Jet uzunluğunun etkisinin incelendiği deneylerde çalışma şartları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

Öğütme Süresi	: 40 dk
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Katı oranı	: %2
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 3, 6, 9, 12, 15, 18 cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa



Şekil 6.29 Jet uzunluğunun Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.30 Jet uzunluğunun Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

Jet uzunluğunun flotasyon verimine ve konsantre içeriğine etkisinin araştırmak amacıyla yapılan deneylerin sonuçları irdelendiğinde (Şekil 6.29 ve 6.30); kalkopirit kazanımının en yüksek değeri jet uzunluğunun 9 cm olduğu durumda görülmektedir. Elde edilen konsantrede bakır içeriği yaklaşık % 12,51 olup, verim ise % 68,83'dür.

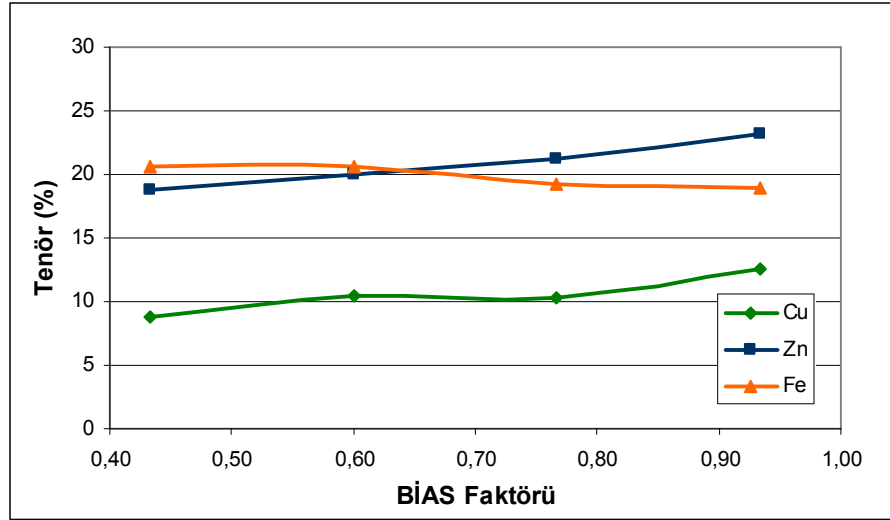
Çinko için verimde ve tenörde düşme gözlenmektedir. Burada temel hedef, bakır için uygun tenör ile yüksek verime ulaşabilmektir. Yüksek jet uzunluğu değerlerinde sistemin stabilitesi bozulmaktadır. Sonuç olarak uygun jet uzunluğu değeri 9 cm olabilir. En son araştırılan bias faktörünün tenör ve verim üzerine etkisi çalışmalarında jet uzunluğu 9 cm alınmıştır.

6.6.5.7. Bias faktörünün tenör ve randıman üzerine etkisi

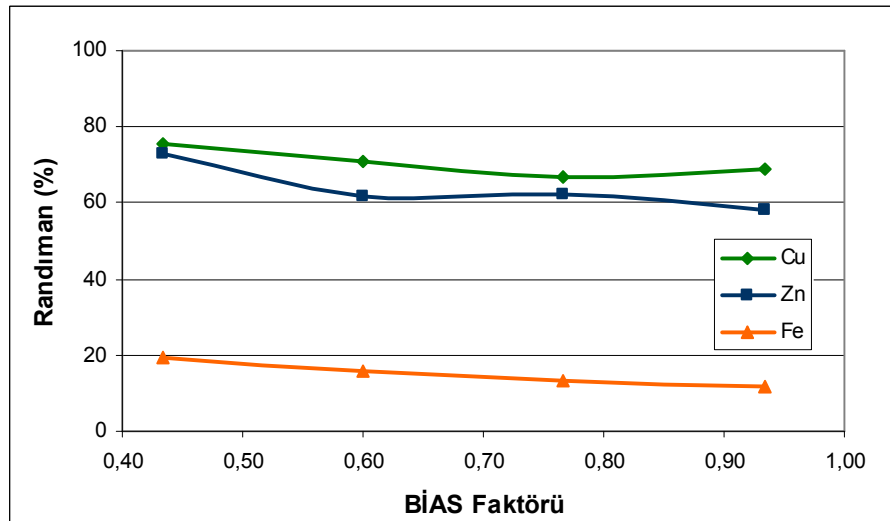
Bias, artık debisi ile besleme debisi arasındaki farktır. Çalışma koşullarına göre negatif veya pozitif olabilir. Pozitif bias'ta köpük zonu oluşur. Negatifte ise bu mümkün değildir. Jameson flotasyon hücresinde bias pozitifdir. Bias faktörü ise atık ve besleme debisi arasındaki farkın yıkama suyu debisine oranıdır (0 ile 1 arasında) ve etkili bir parametredir. Özellikle ince taneli cevherlerin flotasyonunda gang minerallerinin konsantrasyonuna sürüklenmesinde etkin rol oynar. Bu faktörün değeri arttıkça sürüklenme azalır ve konsantrasyon tenörü artar (Taşdemir, 2006). Bu nedenlerden dolayı bias faktörünün tenör ve randıman üzerine etkisini araştırmak üzere dört farklı bias faktörü değerinde (0,43; 0,60; 0,77; 0,93) flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonuçları grafikler halinde Şekil 6.31 ve 6.32'de verilmiştir. Ayrıca sayısal olarak tablo şeklinde Ek H'de sunulmuştur. Bias faktörünün etkisinin incelendiği deneylerde çalışma koşulları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

Öğütme Süresi	: 40 dk
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Besleme debisi	: 11,5 lt/dak
Atık debisi	: 12,8, 13,3, 13,8, 14,3 lt/dk
Bias	;0,43, 0,60, 0,77, 0,93
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk

Katı oranı : %2
 Düşeyboru dalma derinliği : 60cm
 Jet uzunluğu : 9 cm
 Besleme basıncı : ~110 kPa



Şekil 6.31 Bias faktörünün Cu, Zn ve Fe tenörüne etkisi.



Şekil 6.32 Bias faktörünün Cu, Zn ve Fe randımanına etkisi.

Deneysel sonuçların grafikler halinde verildiği Şekil 6.31 ve 6.32 incelendiğinde; bias faktörü artıka tenörler artmakta, buna karşın verimler azalmaktadır. Bakır tenörü açısından uygun bias faktörü değeri 0.93 olup, bu değeri sağlayan artık debisi ise 14,3 litre/dakika'dır.

Buraya kadar belirlenen en uygun çalışma parametrelerini özetlersek, sonuç olarak en uygun flotasyon koşulları aşağıdadır;

Öğütme Süresi	: 40 dk.
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (100g/t)
pH	: 11,8
Bastırıcı	: kullanılmadı
Koşullandırma süresi	: 6 dk
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Besleme debisi	: 11,5 lt/dk
Atık debisi	: 14,3 lt/dk
Bias	: 0,93
Yıkama suyu debisi	: 3 lt/dk
Katı oranı	: % 2
Düşeyboru dalma derinliği	: 60cm
Jet uzunluğu	: 9 cm
Besleme basıncı	: ~110 kPa

Yukarıda belirtilen koşullarda elde edilen bakır konsantresinin verimi % 68,83 olup, bakır içeriği % 12,51'dir. Bu konsantrenin çinko içeriği % 23,13'dür. Demir içeriği ise % 18,90'dır. Bakır tenörünü artırmak ve çinko içeriğini azaltmak amacıyla $ZnSO_4$ ve $Fe_2(SO_4)_3$ bastırıcılarıyla (sfalerit için bastırıcı) konsantreyi temizleme çalışmaları yapılmıştır. Bu deneyler için yukarıda belirtilen uygun koşullarda flotasyon deneyleri yapılmış ve elde edilen konsantreler Jameson flotasyon hücresinde temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

6.6.6. Jameson flotasyon hücresinde temizleme flotasyonu

6.6.6.1. ZnSO₄ bastırıcısının tenör ve randıman üzerine etkisi

Jameson flotasyon hücresinde uygun koşullarda elde edilen konsantreler Denver flotasyon hücresinde ZnSO₄ ile 5 dakika muamele edildikten sonra 10 g/t Aerophine 3418A toplayıcısı ilave edilerek JFH besleme tankına aktarılmıştır. Aşağıda belirtilen koşullarda yeniden flotasyonu yapılmıştır.

Deney koşulları:

pH	: 11,8
Bastırıcı	: ZnSO₄ (1000 g/t)
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (10 g/t)
Koşullandırma Süresi	: 5 dk (Bastırıcı için) + 2 dk (toplayıcı için)
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme Debisi	: 11,5 lt/dk
Atık Debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama Suyu Debisi	: 3 lt/dk
Düşeyboru Dalma Derinliği	: 60cm
Jet Uzunluğu	: 9 cm
Besleme Basıncı	: ~110 kPa
Katı oranı	: % 2

Yapılan deneysel sonuca göre; temizleme konsantrenin bakır içeriği, % 12,51 den % 18,55 yükselmiş, çinko içeriği, % 23,13 den % 18,61 düşmüştür. Bakır kazanımı % 93,59 olmuştur. Bu verilere göre ZnSO₄ az da olsa bastırıcı özelliği göstermiştir. Sayısal değerler Ek J de tablo halinde sunulmuştur.

6.6.6.2. Fe₂(SO₄)₃ reaktifinin tenör ve randıman üzerine etkisi

Kompleks sülfürlü bakır çinko cevherlerin liçinde kullanılan Fe₂(SO₄)₃ 'ün sfalerit ve kalkopirit mineral yüzeylerinin temizlenmesinde etkili olduğu belirtilmiştir (Özdağ, 2007). Bu nedenle temizleme işleminde Fe₂(SO₄)₃ reaktifi kullanılmıştır. JFH de elde edilen konsantreler Denver hücresinde Fe₂(SO₄)₃ ile 5 dakika süreyle pH 3,5'te muameleye tutulmuş ve 10 g/t Aerophine 3418A toplayıcısı ilave edilerek (pH 11,8) JFH besleme tankına aktarılmıştır. Deneysel sonuçları Ek J'de çizelge halinde sunulmuştur.

Deney koşulları:

pH	: 11,8
Bastırıcı	: Fe₂(SO₄)₃ (150 g/t)
Toplayıcı	: Aerophine 3418A (10 g/t)
Koşullandırma Süresi	: 5 dk (bastırıcı için) + 2 dk (toplayıcı için)
Köpürtücü	: MIBC (20 g/t)
Bias faktörü	: 0,93
Besleme Debisi	: 11,5 lt/dk
Atık Debisi	: 14,3 lt/dk
Yıkama Suyu Debisi	: 3 lt/dk
Düşeyboru Dalma Derinliği	: 60 cm
Jet Uzunluğu	: 9 cm
Besleme Basıncı	: ~110 kPa
Katı oranı	: % 2

Elde edilen deneysel verilere göre; konsantresinin bakır içeriği, % 12,54 den % 17,35 yükselmiş, çinko içeriği, % 23,17 den % 18,23 düşmüştür. Bakır kazanımı % 89,93 olmuştur. Bu sonuçlara göre Fe₂(SO₄)₃ da ZnSO₄ gibi az da olsa bastırıcı etkisi göstermiştir.

Bakır konsantrasyonunun tenörünü artırmak ve çinko içeriğini düşürmek için $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ve ZnSO_4 miktarları artırılarak ve/veya değişik pH ortamlarında temizleme flotasyonunun yapılmasında yarar vardır. Bu çalışma kapsamında zaman ve analiz güçlükleri nedeniyle yukarıda belirtilen öneriler gerçekleştirilememiştir.

7. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz için yeni bir teknoloji olan Jameson flotasyon hücresinin ince taneli cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılabilirliğini görebilmek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başlangıcında Jameson flotasyon hücresinin boyutlandırılması ve deney setinin kurulması için büyük emek harcanmıştır. Böylece ülkemizde ilk defa laboratuvar ve pilot ölçekte çalışabilecek alet gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında flotasyonu özellikle oksitlenme ve tane boyutundan dolayı sorunlu Doğu Karadeniz Bölgesi ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko cevherinin serbestleşme boyutu mikroskobik ve flotasyon yöntemiyle tespit edilerek Jameson flotasyon hücresinde zenginleştirilebilme olanakları araştırılmıştır. Flotasyon verimi ve konsantre tenörü üzerine çalışma parametreleri olan, % katı oranı, düşeyboru dalma derinliği, jet uzunluğu ve bias faktörünün etkileri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre;

- Ortalama bakır tenörü % 2,75 olan cevherden % 68,83 verimle % 12,51 bakır içeren konsantre elde edilmiştir.
- Tek kademeli temizleme işleminden sonra konsantrenin bakır içeriği % 18,55 yükselmiştir. Toplam bakır randımanı ise % 64,42 olmuştur.
- Zenginleştirme oranı bulk flotasyonda bakır konsantresi için 4,55 temizleme flotasyonu sonrası bakır konsantresinin toplam zenginleştirme oranı 6,75 olarak gerçekleşmiştir.
- Elde edilen konsantrenin çinko içeriği % 18,61 olup, bu değer satılabilir bakır konsantresi için yüksektir.

- Flotasyon verimi ve konsantre tenörü üzerine alet çalışma parametrelerinin önemli etkisi görülmüştür. Özellikle su jeti uzunluğunun ve bias faktörünün etkisi daha belirgindir.
- Bazı parametrelerin örneğin; hold-up, köpük kalınlığı, kabarcık boyutu ve kademeli öğütmenin flotasyon verimi ve konsantre tenörü üzerine etkileri zaman ve analiz güçlükleri nedeniyle araştırılmamıştır.
- Jameson flotasyon hücresi ince taneli kompleks sülfürlü bakır-çinko-kurşun cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılabilir.
- Jameson flotasyon hücresinde flotasyon zamanı klasik hücelere göre oldukça kısa olduğundan, bu tip cevherlerin kaba zenginleştirilmesinde klasik flotasyon hücreleri, temizleme devrelerinde ise Jameson flotasyon hücresinin kullanılması daha uygun olabilir.
- Flotasyonu sorunlu olan böyle bir cevher için detaylı bir çalışma yapılabilmesi için ekip çalışmasına gereksinim vardır. Bu da proje bazında gerçekleştirilebilir.
- Oksitlenme sorunu olan bu tip cevherlerin deneysel çalışmaları için sürekli taze (oksidlenmemiş) cevher sağlanması gerekir.
- Klasik flotasyon hücresi sonuçları ile Jameson flotasyon hücresi sonuçlarının kıyaslanabilmesi için klasik hücrede daha fazla deneysel çalışmalar yapılmalıdır.
- Konsantrede bakır tenörünü artırmak için birkaç aşama temizleme flotasyonu uygulanabilir ve bastırıcı dozajları arttırabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aksanı, B., Mian, M. N., 2004, Flotation Column Cell Experience in CBI Zinc Circuit, Proceedings of X International Mineral Processing Symposium, Çeşme, Turkey, pp 277-283.
- Aksanı, B., Mian, M. N., 2006, Çayeli concentrator zinc circuit: Operational difficulties due to widw variations in zinc head grades, XXIII International Mineral Processing Congress, vol. 3, pp 1191-1994.
- Aplan, F.F. and Arnold, B.J., 1991, Wet fine particle concentration: flotation, Coal Preparaion, Ed. Leonard, Pub. By Society for Mining Metalurgy Exploration Inc., Littleton, Colorado.
- Ata. S. ve Önder Ü.Y., 1997, Yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson flotasyon hücresi, Madencilik Dergisi, Vol.36, No.4, s.21-29.
- Atkinson, B.W., Griffin, P.T., Jameson, G.J. and Espinosa-GOMEZ, R., 1993, Jameson Cell Test Work on Copper Streams in The Copper Concentrator of Mount Isa Mines Limited, XVIII International Mineral Processing Congress, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Sydney, Australia.
- Bangerter, P., 1998, Jameson Cell Advances, The AusIMM Bulletin, No 8.
- Bayraktar, İ., Ipekoglu, U.A., and Tolun, R., 1991; Features and Flotation of Complex Cu-Pb-Zn Sulphides, in Innovations in Flotation Technology, ed. P. Mavros and K.A. Matis, NATO ASI Series, vol.208, pp.307-330.
- Bayraktar, İ., Altun, Y., 1996, Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Özellikleri, Ekonomik Değeri ve Zenginleştirilmesi, Madencilik Dergisi, Mart 1996, s. 11-21.
- Bor, F.Y., 1974, Bakır İzabesinde Çinko Problemi ve Bu Açıdan Kompleks Bakır-Çinko Sülfürlü Cevherlerin Değerlendirilme İmkânları, MTA Dergisi, sayı 83, Sa: 122-131.
- Carretta, M.F., Graham J.N. and Dawson, W.J., 1997, Jameson Cell Scale-up Experiences at BHP Coal's Goonyella Coal Preparation Plant, Coal Prep 97, Lexington, Kentucky.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chugh, Y.P., and Patwardhan, A., 2004, Mine-mouth Powver and Prosess Steam Generation Using Fine Coal Waste Fuel, Resources, Conservation and Recycling, Vol 40, pp 255-243
- Cinar, F., Sahbaz, O., Cinar, M., Oteyaka, B., Kelebek, S., 2007, A parametric study on Jameson cell flotation of quartz, XII Balkan Mineral Processing Congress, Delphi, Greece
- Clayton, R.L., 1994, Recovering organic from raffinate using jameson cell, Arizon AIME Conferance, Tucon, AZ.
- Cloke, M., Barraza, J., and Miles, N.J., 1997, Pilot-scale studies using a hydrocyclone and froth flotation for the production of beneficiated coal fractions for improved coal liquefaction, Fuel, Vol:76, No:13, pp 1217-1223.
- Cowburn, J., Harbort, G., Manlapig, E. and Pokrajcic, Z., 2005, Improving the Recovery of Coarse Coal Particles in a Jameson Cell, Minerals Engineering, Article in Press.
- CYTEC, Mining Chemicals Handbook, Revised Edition.
- Dawson, W.J. and Jackson, B.R., 1995, Evolution of Jameson Cells for Solvent Extraction Applications, Copper Hydrometallurgy Forum, Sept 18-19, Brisbane, Australia.
- Dawson, W.J., Yannoulis, G.F., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1996, Applications of the Jameson Cell in the Australian Coal Industry, Column'96, pp 233-246.
- DPT, 1996, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Metal Madenler Alt Komisyonu: Bakır Cevheri ve Pirit Çalışma Grubu Raporu, 113 s. tab. (DPT.2459 - ÖİK.511) ISBN: 975-19-1465-5
- DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu, Bakır-Pirit Çalışma Grubu Raporu, 2627 - ÖİK: 638, ISBN 975 – 19 – 2861-3 <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik638.pdf>
- Ekmekçi, Z., Can, N. M., Aslan, A., Bradshaw, D. J., 2006, Relating the changes in froth structure to metallurgical performance in flotation using machine vision, XXIII International Mineral Processing Congress, vol. 1, pp 802-806.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Evans, G.M.,1990, A Study of a Plunging Jet Bubble Column, Ph. D. Thesis, Newcastle University, Australia.
- Evans, G.M., Jameson, G.J. and Atkinson, B.W., 1992, Prediction of the Bubble Sized Generated by a Plunging Liquid Jet Bubble Column, Chemical Engineering Science, Vol 47, pp 3265-3272.
- Evans, G.M., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1995, The Jameson Cell, Flotation Science and Engineering, Edited by K.A. Matis, pp 331-363.
- Evans, G.M., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1996, Recent Advances in Jameson Cell Tecnology, Column'96, pp.39-49.
- Finch, J.A., 1995, Column Flotation: A Selected Review-Part IV: Novel Flotation Devices; Minerals Engineering, Vol.8, No.6, pp.587-602.
- Gaudin, A.M.; 1957, Flotation, Second Edition, , McGraw-Hill, Eng., New York, 573 pp.
- Gray, M.P., Harbort, G.J. and Murphy, A.S., 2000, Flotation Circuit Desing Utilising The Jameson Cell, MIM Process Technologies, Brisbane, Queensland.
- Güney, A., Doğan, M.Z., and Önal, G., 1997, Beneficiation of Fine Coal Using the Free Jet Flotation System, Proceeding of the XX IMPC, Aachen.
- Harbort, G.J., Murphy, A.S. and Budod, A., 1997, Jameson Cell Developments at Philex Mining Corporation, Sixth Mill Operators' Conference, Madang.
- Harbort, G.J., Lauder, D., Miranda, J. and Murphy, A.S.,2000, Size by Size Analysis of Operating Characteristics of Jameson Cell Cleaners at the Bajo de Alumbraera Copper/Gold Concentrator, Seventh Mill Operators Conference.
- Harbort, G.J., Manlapig E.V. and De Bono, S., 2002, Partide Collection Within the Cell Downcomer, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, IMM Transactions section C, vol 111, pp 1 -10.
- Harbort, G.J., De Bono, S., Carr, D. and Lawson, V., 2003 a, Jameson Cell Fundamentals, Minerals Engineering, Vol 16, pp 1091-1101.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Harbort, G.J., Manlapig E.V., De Bono, S. and Monaghan A.J., 2003 b, Air and Fluid Dynamics within a Jameson Cell Downcomer and Its Implications for Bubble-Particle Contact in Flotation, XXII. IMPC, pp 715-724.
- Hall, S. And Harrison, M.E., 1995, New Jameson Cell Flotation of Industrials Minerals. Industrials Minerals, June, 61-67.
- Harrison, M.E., 1998, Liquids of Commercial Solvent Extraction and Entrained Organic Recovery in New Nickel/Cobalt Laterite Process, Jameson Cell Business Meeting, Tuscon, Arizona.
- Heiser, N., 1996, Coal Flotation Technical Review, The Australian Coal Review, 34-36.
- Hiçyılmaz, C. and Altun, N. E., 2006, Electrochemical investigation of copper-DTPI interactions, Journal of Applied Electrochemistry, pp. 609-616.
- Honaker, R.Q., Patwardhan, A., Mohanty, M.K. and Bhaskar, K.U., 1999, Fine Coal Cleaning Using the Jameson Cell The North American Experience, pp 331-341.
- Jameson Hücresi Broşürü, Nisan 2004, http://www.mimpt.com.au/current/t_jameson_cell.html.
- Jameson, G.J. and Manlapig, E.V., 1991, Applications of the Jameson Cell, Column'91. Proceedings of an International Conference on Column Flotation, Sudbury. Ontario, pp.673-687.
- Jameson, G.J., 1999, Hydrophobicity and Floc Density in Induced-air Flotation for Water Treatment, Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp, 151, pp 269-281.
- Kennedy, A., 1990, The Jameson Flotation Cell, Mining Magazine, pp 281-285.
- King, R.P., 1982, Flotation of Fine Particles, in Principles of Floation, Ed. by R.P. King, pp. 215-225, South African Inst, of Min. and Met., Johannesburg
- Mandal, A., Kundu, G. and Mukherjee, D., 2005, Comparative Study of Two-Phase Gas-Liquid Flow in the Ejector induced Upflow and Downflow Bubble Column, International Journal of Chemical Reactor Engineering, Vol 3

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Marchese, M.M., Uribe Salas, A. and Finch, J.A., 1992, Measurement of Gaz Holdup in a Three-Phase Concurrent Downflow Column, Chemical Engineering Science, Vol 47, 3475-3482.
- Mohanty, M.K. and Honaker, R.Q., 1999 a, Performance Optimization of Jameson Flotation Technology for Fine Coal Cleaning, Minerals Engineering, Vol. 12. No.4, pp.367-381.
- Mohanty, M.K. and Honaker, R.Q., 1999 b, A Comparative Evaluation of the Leading Advanced Flotation Technologies, Minerals Engineering, Vol 12, pp 1-13.
- Mohanty, M.K., 2001, Technical Note in Plant Optimization of a Full Scale Jameson Cell, Minerals Engineering, Vol 14, pp 1531-1536.
- Murphy, A.S., Honaker, R., Manlapig, E.V., Lee, D.J. and Harbort, G.J., 2000, Breaking the Boundaries of Jameson Cell Capacity", www.xstratatech.com/jamesoncell.html
- Orr, D.J., 2000, Implementation and Optimisation of a Suspended Solids Removal Unit, Individual Inquiry, Queensland University.
- Önal, G. ve Ateşok, .G.,1994, Cevher Hazırlama El Kitabı
- Öteyaka, B., 1993, Modelisation d'une colonne de flottation şans zone d'ecume pour la separation de particules grossieres, Ph.D Thesis, Laval University, Canada.
- Öteyaka, B., 1994, Efflot du taux de retention du gauz sur la stabilite deş agregats buble-particule(s) pendant la flotasyon, Mines & Carieres, Les Techniques, vol 76, pp 245-248.
- Öteyaka, B., Bilir, K., Taşdemir, T., Gürsoy, H., Taşdemir, A. and Öz, Y., 2002 , The Role of Nozzle and Downcomer Diameter in Jameson Cell, IX International Mineral Processing Symposium, Türkiye.
- Öz, Y., 2000, Jameson Flotasyon Kolonunun Dizaynı ve Çalışma Değişkenlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Özdağ, H., 2007, Kişisel görüşme, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Bölüm Bşk.,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Patwardhan, A. and Honaker, R.Q., 2000, Development of a Carrying-capacity Model for Column Froth Flotation, *Int. Journal of Mineral Processing*, V 59, pp 275-293.
- Pecina, E. T.; Orrantia, E. and Uribe, A.; 2006, Impact of copper and lead on the activation of pyrite in the presence of thiol collectors, *International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT)*, Vol. 27, No. 1/2, 2006.
- Sapmaz, S.; Yavuzel, İ. & Cingöz, N., 1972, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik III. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s. 607-617.
- Schulze, H. J., 1984, *Physico-chemical Elementary Processes in Flotation*, Elsevier, Amsterdam.
- Stephens, A., and Ireland, K., 2002, Two phase flow in a vertical annulus, R and R projects, Loughborough Universty.
- Summers, A., Mançiu, X.U. and Finch, J.A., 1995, Technical Note Effect of Level in Separation Tank on Downcomer Behaviour in a Jameson Cell, *Minerals Engineering*, Vol.8, No.12, pp.1607-1613.
- Summers, A., Xu, M. and Finch, J.A., 1993, Ring Electrodes for Estimation of Gas Holdup and Identification of Process Disturbances in Jameson Cell Downcomer. *Trans. Instn. Min. Metall.*, pp 135-137.
- Şahbaz, O., 2005, Tunçbilek Termik Santral Cürufundaki Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu ile Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- Taşdemir, T., 2006, Jameson Hücresinde Holp-Up'ın Modellenmesi ve Bazı Çalışma Parametrelerinin Flotasyon Verimine Etkisi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Tasdemir, T., Oteyaka, B., and Tasdemir, A., 2007, Air entrainment rate and holdup in the Jameson cell, *Minerals Engineering*, Vol.20 No.8,
- TMMOB, Metalurji Mühendisleri Odası, Mayıs 2003, Bakır Raporu, <http://www.metalurji.org.tr/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=17>.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wakamatsu, T., and Shibata, J., 1989; Progress and Outlook of Complex Sulphide Ore (Kuroko) Processing in Japan, in Challenges in Mineral Processing, Ed; by K.V.S. Sastry and M.C. Fuerstenau, pp.130-141, Soc. Of Mining Engineers, Littleton.

Wills, B.A., 1997, Mineral Processing Technology.

Yan, Y.D., Jameson, G.J., 2004, Application of the Jameson Cell technology for algae and phosphorus removal from maturation ponds, Int. J. Mineral Process., Vol 73, pp 23-28.

Yoon, r. H., and Luttrell, 1989, The effect of Bubble size on Fine particle flotation, Miner. Process Extr. Metal. Rev., 5, 101.

Yumlu, M., 2001, Çayeli Underground Cu-Zn Mine, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, pp 861-868.,

http://www.acarp.com.au/Completed/Coal_Preparation/briefs/cp/4047brief.html

<http://www.chemsoc.org/exemplarchem/entries/2001/rabeendran/pages/>

http://www.environmental.com.au/p_water.flot.html

<http://www.mining-technology.com/projects/bajo/>

http://www.xstratatech.com/en//t_jameson_cell_advantages.html

http://www.xstratatech.com/current/doc/jc_boundaries.pdf

http://www.xstratatech.com/current/doc/jc_installmetals.pdf

http://www.xstratatech.com/en/doc/jc_sxew_en.pdf

http://www.xstratatech.com/en/doc/jc_minerals_en.pdf

http://www.xstratatech.com/en/doc/jc_installcoal_en.pdf

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

http://www.tugiad.org.tr/bultendosya/maden_raporu1%5B1%5D.doc

http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi133/d133_3444.pdf

EK AÇIKLAMALAR

- Ek A. Denver Hücresi Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek B. Öğütme Sürelerine Göre JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek C. Toplayıcı Miktarlarına Göre JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek D. Koşullandırma Sürelerine Göre JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek E. Farklı Katı Oranlarına Göre JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek F. Düşeyboru Dalma Derinliklerine Göre JFH Metalurjik Denge
Diyagramları
- Ek G. Jet Uzunluklarına Göre JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek H. Farklı Bias Faktörlerinde JFH Metalurjik Denge Diyagramları
- Ek J. Temizleme Flotasyonu Metalurjik Denge Diyagramları

Çizelge A.1 Denver hücresi (**pH 10.5**) deneyi konsantre tenör ve randımanları (Şekil 6.10, Şekil 6.11)

ÜRÜNLER	%AĞ.	Süre (dk)	T E N Ö R				R A N D I M A N			
			Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
Konsantre1	15,95	2,5	13,87	10,74	32,07	27,16	77,78	27,78	16,32	15,02
Konsantre2	3,86	2,5	5,81	16,41	31,35	23,85	7,90	10,28	3,86	3,19
Konsantre3	2,21	2,5	2,29	16,12	29,52	23,00	1,78	5,78	2,08	1,76
Konsantre4	1,83	2,5	1,58	14,52	26,87	21,49	1,01	4,30	1,57	1,36
Konsantre5	35,80	5,0	0,64	8,38	40,15	33,06	8,01	48,63	45,87	41,04
Atık	40,35		0,25	0,49	23,53	26,89	3,53	3,23	30,29	37,62
BESLEME	100,00		2,84	6,17	31,34	28,84	100,00	100,00	100,00	100,00

(Konsantre 5'te reaktif (canlandırıcı ve toplayıcı) ilave edilerek ürün alınmıştır.)

Çizelge A.2 Denver hücresi (**pH 11.8**) deneyi konsantre tenör ve randımanları (Şekil 6.12, Şekil 6.13)

ÜRÜNLER	%AĞ.	Süre (dk)	T E N Ö R				R A N D I M A N			
			Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
Konsantre1	17,07	2,5	12,73	12,78	28,84	26,86	78,21	35,52	22,22	17,30
Konsantre2	6,63	2,5	4,35	21,68	29,25	24,23	10,37	23,39	8,75	6,06
Konsantre3	3,34	2,5	1,85	23,13	26,46	21,77	2,23	12,59	3,99	2,75
Konsantre4	3,14	2,5	1,41	20,28	29,79	27,59	1,59	10,37	4,22	3,27
Konsantre5	7,16	5,0	0,76	9,81	29,61	33,14	1,97	11,44	9,57	8,95
Atık	62,65		0,25	0,66	18,12	26,09	5,64	6,70	51,24	61,67
BESLEME	100,00		2,78	6,14	22,16	26,51	100,00	100,00	100,00	100,00

(Konsantre 5'te reaktif (canlandırıcı ve toplayıcı) ilave edilerek ürün alınmıştır.)

Çizelge B.1 20 dk öğütme süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.19, Şekil 6.20)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	9,00	11,87	24,03	24,39	17,69	38,70	34,94	9,88	6,80
BATAN	91,00	1,86	4,43	22,00	24,00	61,30	65,06	90,12	93,20
BESLEME	100,00	2,76	6,19	22,22	23,43	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge B.2 30 dk öğütme süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.19, Şekil 6.20)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,61	11,33	25,43	31,62	22,30	68,76	68,90	26,91	16,58
BATAN	83,39	1,03	2,29	17,11	22,34	31,24	31,10	73,09	83,42
BESLEME	100,00	2,74	6,13	19,52	22,33	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge B.3 40 dk öğütme süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.19, Şekil 6.20)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	17,17	11,35	23,80	29,11	21,80	73,80	69,42	22,35	15,48
BATAN	82,83	0,84	2,17	20,96	24,67	26,20	30,58	77,65	84,52
BESLEME	100,00	2,79	6,19	22,47	24,14	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge B.4 50 dk öğütme süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.19, Şekil 6.20)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,07	11,41	22,73	26,03	19,00	66,22	59,27	18,29	12,27
BATAN	83,93	1,11	2,99	22,26	26,01	33,78	40,73	81,71	87,73
BESLEME	100,00	2,77	6,16	22,87	24,88	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge C.1 25g/t toplayıcı miktarında (Aerophine 3418A) Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.21, Şekil 6.22)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	12,25	11,99	17,65	24,65	20,08	54,79	35,56	15,47	10,82
BATAN	87,75	1,38	4,46	18,80	23,10	45,21	64,44	84,53	89,18
BESLEME	100,00	2,68	6,08	19,52	22,73	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge C.2 50g/t toplayıcı miktarında (Aerophine 3418A) Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.21, Şekil 6.22)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,95	11,61	21,81	27,55	20,19	67,80	57,00	26,07	15,67
BATAN	84,05	1,05	3,12	14,82	20,62	32,20	43,00	73,93	84,33
BESLEME	100,00	2,73	6,10	16,85	20,55	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge C.3 75g/t toplayıcı miktarında (Aerophine 3418A) Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.21, Şekil 6.22)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,86	11,39	21,80	26,74	19,59	69,80	59,64	21,25	14,13
BATAN	83,14	1,00	2,99	20,09	24,13	30,20	40,36	78,75	85,87
BESLEME	100,00	2,75	6,16	21,21	23,36	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge C.4 100g/t toplayıcı miktarında (Aerophine 3418A) Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.21, Şekil 6.22)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,04	11,78	25,66	29,00	20,14	67,98	66,12	17,92	12,17
BATAN	83,96	1,06	2,51	25,38	27,76	32,02	33,88	82,08	87,83
BESLEME	100,00	2,78	6,22	25,96	26,54	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge D.1 2dk koşullandırma süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.23, Şekil 6.24)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,30	11,07	22,84	27,80	20,75	65,95	60,96	22,45	14,99
BATAN	83,70	1,11	2,85	18,70	22,91	34,05	39,04	77,55	85,01
BESLEME	100,00	2,74	6,11	20,18	22,56	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge D.2 4dk koşullandırma süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.23, Şekil 6.24)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	14,16	11,67	25,07	28,07	20,00	61,16	57,90	17,38	12,08
BATAN	85,84	1,22	3,01	22,00	24,00	38,84	42,10	82,62	87,92
BESLEME	100,00	2,70	6,13	22,86	23,43	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge D.3 6dk koşullandırma süresinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.23, Şekil 6.24)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,04	11,78	25,66	29,00	20,14	67,98	66,12	17,92	12,17
BATAN	83,96	1,06	2,51	25,38	27,76	32,02	33,88	82,08	87,83
BESLEME	100,00	2,78	6,22	25,96	26,54	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge E.1 %2 katı oranında Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.25, Şekil 6.26)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,95	11,95	22,27	27,55	20,19	67,80	57,00	26,07	15,67
BATAN	84,05	1,08	3,19	14,82	20,62	32,20	43,00	73,93	84,33
BESLEME	100,00	2,81	6,23	16,85	20,55	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge E.2 %4 katı oranında Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.25, Şekil 6.26)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	14,24	11,39	22,72	28,54	20,26	57,70	51,94	24,13	14,04
BATAN	85,76	1,34	3,44	23,82	27,05	40,81	47,31	121,23	112,87
BESLEME	100,00	2,77	6,18	24,49	26,08	98,52	99,25	145,36	126,91

Çizelge E.3 %6 katı oranında Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.25, Şekil 6.26)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	12,87	11,52	22,14	29,25	20,42	54,31	46,38	16,99	10,85
BATAN	87,13	1,43	3,78	21,10	24,77	45,69	53,62	83,01	89,15
BESLEME	100,00	2,73	6,14	22,15	24,21	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge F.1 50cm düşeyboru dalma derinliğinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.27, Şekil 6.28)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	14,40	11,84	23,99	26,60	18,92	61,31	55,87	16,19	10,15
BATAN	85,60	1,26	3,19	23,16	28,16	38,69	44,13	83,81	89,85
BESLEME	100,00	2,78	6,18	23,66	26,83	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge F.2 60cm düşeyboru dalma derinliğinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.27, Şekil 6.28)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,04	11,78	25,66	29,00	20,14	67,98	66,12	17,92	12,17
BATAN	83,96	1,08	2,95	25,38	27,76	32,34	39,62	82,08	87,83
BESLEME	100,00	2,80	6,25	25,96	26,54	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge F.3 70cm düşeyboru dalma derinliğinde Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.27, Şekil 6.28)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,84	11,77	24,00	28,69	20,23	67,72	61,33	18,98	12,36
BATAN	84,16	1,06	2,85	23,05	26,98	32,28	38,67	81,02	87,64
BESLEME	100,00	2,75	6,20	23,94	25,91	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.1 3cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	14,30	12,13	22,25	28,69	19,44	62,59	51,22	15,16	9,82
BATAN	85,70	1,21	3,53	26,78	29,78	37,41	48,78	84,84	90,18
BESLEME	100,00	2,77	6,21	27,05	28,30	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.2 6cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	16,04	11,78	25,66	29,00	20,14	67,98	66,12	17,92	12,17
BATAN	83,96	1,06	2,51	25,38	27,76	32,02	33,88	82,08	87,83
BESLEME	100,00	2,78	6,22	25,96	26,54	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.3 9cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,02	12,51	23,13	27,57	18,90	68,83	58,17	17,80	11,50
BATAN	84,98	1,00	2,94	22,50	25,71	31,17	41,83	82,20	88,50
BESLEME	100,00	2,73	5,97	23,26	24,69	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.4 12cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	14,22	12,69	23,16	26,16	17,87	64,45	54,44	17,67	11,30
BATAN	85,78	1,16	3,21	20,20	23,24	35,55	45,56	82,33	88,70
BESLEME	100,00	2,80	6,05	21,05	22,48	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.5 15cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,10	12,46	21,89	29,24	20,19	67,19	55,57	19,01	12,57
BATAN	84,90	1,08	3,11	22,16	24,99	32,81	44,43	80,99	87,43
BESLEME	100,00	2,80	5,95	23,23	24,27	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge G.6 18cm jet uzunlunda Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.29, Şekil 6.30)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	17,45	11,93	22,50	30,20	22,16	73,57	65,23	24,68	16,45
BATAN	82,55	0,91	2,54	19,48	23,78	26,43	34,77	75,32	83,55
BESLEME	100,00	2,83	6,02	21,35	23,50	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge H.1 Bias faktörü 0,433'te Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.31, Şekil 6.32)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	23,47	8,80	18,76	26,02	20,64	75,41	73,01	27,69	19,46
BATAN	76,53	0,88	2,13	20,84	26,20	24,59	26,99	72,31	80,54
BESLEME	100,00	2,74	6,03	22,06	24,89	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge H.2 Bias faktörü 0,600'de Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.31, Şekil 6.32)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	19,01	10,39	20,06	27,38	20,66	70,83	61,83	21,96	16,00
BATAN	80,99	1,00	2,91	22,84	25,47	29,17	38,17	78,04	84,00
BESLEME	100,00	2,79	6,17	23,70	24,56	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge H.3 Bias faktörü 0,767'de Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.31, Şekil 6.32)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	18,16	10,34	21,17	26,47	19,29	66,79	61,99	18,96	13,47
BATAN	81,84	1,14	2,88	25,10	27,48	33,21	38,01	81,04	86,53
BESLEME	100,00	2,81	6,20	25,35	25,99	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge H.4 Bias faktörü 0,933'te Cu, Zn, S ve Fe tenör ve randımanları (Şekil 6.31, Şekil 6.32)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	15,02	12,51	23,13	27,57	18,90	68,83	58,17	17,80	11,50
BATAN	84,98	1,00	2,94	22,50	25,71	31,17	41,83	82,20	88,50
BESLEME	100,00	2,73	5,97	23,26	24,69	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge J.1 Temizleme flotasyonunda $ZnSO_4$ kullanılması durumunda tenör ve randıman değerleri (deney koşulları, sa:108)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	63,12	18,55	18,61	30,57	19,52	93,59	50,79	69,99	65,18
BATAN	36,88	2,17	30,86	22,44	17,84	6,41	49,21	30,01	34,82
BESLEME	100,00	12,51	23,13	27,57	18,90	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge J.2 Temizleme flotasyonunda $Fe_2(SO_4)_3$ kullanılması durumunda tenör ve randıman değerleri (deney koşulları, sa:109)

ÜRÜNLER	%AĞ.	T E N Ö R				R A N D I M A N			
		Cu	Zn	S	Fe	Cu	Zn	S	Fe
YÜZEN	65,00	17,35	18,23	27,98	18,45	89,93	51,14	66,28	63,16
BATAN	35,00	3,61	32,34	26,44	19,99	10,07	48,86	33,72	36,84
BESLEME	100,00	12,54	23,17	27,44	18,99	100,00	100,00	100,00	100,00

ÖZGEÇMİŞ

Yaşar Hakan Gürsoy, Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olup, 05.04.1972 Gediz-Kütahya doğumludur.

İlkokulu Gediz Zafer İlkokulu, orta ve lise öğretimini Gediz Lisesinde tamamlamıştır. 1995 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun olmuş, yüksek lisansını 1999 yılında yine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Bilim Dalında tamamlamıştır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak 1998 yılında göreve başlamış, halen bu görevi sürdürmektedir. İngilizce bilmektedir. Evlidir.