

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUYUMCULUK KÖKENLİ CURUFLARDAN
FİZİKSEL ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ İLE ALTIN GERİ KAZANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cevahir DURMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Ağustos 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUYUMCULUK KÖKENLİ CURUFLARDAN
FİZİKSEL ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ İLE ALTIN GERİ KAZANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cevahir DURMAZ
(506091425)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Servet TİMUR

Ağustos 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506091425 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cevahir DURMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KUYUMCULUK KÖKENLİ CURUFLARDAN FİZİKSEL ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ İLE ALTIN GERİ KAZANIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İ. Servet TİMUR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gökhan ORHAN**
İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nuri SOLAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **6 Ağustos 2012**

Savunma Tarihi : **14 Ağustos 2012**

ÖNSÖZ

Mühendis olmanın ve bu şekilde yaşamının farkına varmamı sağlayan, eğitimim boyunca öğrendiğim bilgileri kullanmanın tarif edilmez bir keyif olduğunu anlamama fırsat veren, tecrübeleri, anıları ve şaşırtıcı bilgi birikimi ile ufkumu açan kıymetli ve saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. İ. Servet TİMUR'a; yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana yol gösterdiği, her soruma ve sorunuma itina ile çözüm bulduğu, sevecenliğini ve babacanlığını her zaman hissettirdiği için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma gruplarına katıldığım ilk günden beri benden tecrübelerini, güler yüzlerini ve sevgilerini esirgemeyen, başım her sıkıştığında yardımına koşan sevgili Dr. Güldem KARTAL'a, Araş. Gör. Yasin KILIÇ'a, Yük. Met. Müh. Ayşe KILIÇ'a çok teşekkür ederim.

Yük. Met. Müh. Barış DARYAL'a ve Dr. Özgenur KAHVECİOĞLU FERİDUN'a da bilgi ve tecrübelerini benimle paylaştıkları için çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım esnasında yardımlarını ve desteklerini eksik etmeyen, keyifli sohbetlerle sıkıntılı çalışma saatlerini çekilebilir hale getiren arkadaşlarım; Malz. Müh. Özkan TİRYAKİ'ye, Araş. Gör. Levent KARTAL'a, Met. Müh. Bengisu Müge YOLCU'ya ve tüm çalışma grubu arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans eğitimimde üzerimde çok emekleri bulunan, yüksek lisans tez çalışmam esnasında da bana vakit ayırıp, bilgilerini paylaşan ve ihtiyaç duyduğum deney cihazlarına ulaşmama imkan veren kıymetli hocalarım, Sayın Doç. Dr. Gülay BULUT'a ve Sayın Doç. Dr. Alim GÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yardım isteğimi hiçbir zaman geri çevirmeyen, kendi işlerini aksatma pahasına bana çalışma imkanı sağlayan değerli meslektaşlarım ve arkadaşlarım Araş. Gör. Ünzile YENİAL'a, Araş. Gör. Beste AYDIN'e ve Araş. Gör. Hüseyin BAŞTÜRKÇÜ'ye de teşekkürü borç bilirim.

Deneyisel çalışmalarım sonucunda ortaya çıkan numuneleri titizlikle ve sabırla analiz eden, çalışmamda büyük emekleri bulunan Kimya Müh. İnci KOL'a, itina ile ve büyük çaba ile analizlerimi yapan Kimya Müh. Nihal CEBBAR'a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam için gerekli olan malzemeyi temin etmemizi sağlayan ONSA Rafineri'ye, Rafineri Müdürü Met. ve Malz. Müh. Hüseyin HAZIR'a ve rafineri çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca beni sevip koruyan, her isteğimi yerine getiren hayatımı hep kolaylaştırmaya çalışan canım annem Necmiye DURMAZ, canım babam Hamit DURMAZ ve biricik kardeşim Ceyda DURMAZ'a sonsuz sevgi ve minnetlerimi sunarım. Sıkıntılı zamanlarda yanımda ya da telefonun diğer ucunda bana destek veren, cesaretlendirici ve gerçekçi yorumlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Sevgi ÖNAL'a çok teşekkür ederim.

Ağustos 2012

Cevahir DURMAZ

Bu tez çalışmasında verilen deneysel sonuçlar tamamen özgün olup, tarafıma aittir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	3
2.1 Altının Tarihçesi.....	3
2.2 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	4
2.2.1 Altının fiziksel özellikleri	4
2.2.2 Altının kimyasal özellikleri.....	4
2.3 Altının Kullanım Alanları	5
2.4 Türkiye’de Altın Sektörü	6
2.5 Altının Doğada Bulunuş Şekli.....	7
2.6 Kuyumculuk Atıkları, Kuyumculuk Ara Ürünlerinden Altın Geri Kazanımı ve Altın İçeren Curufların Oluşumu	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
4. İKİNCİL KAYNAKLARDAN ALTIN GERİ KAZANIMI VE ALTIN RAFİNASYONU	15
4.1 İkincil Üretim Kaynaklarından Altın Geri Kazanımında Kullanılan Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri	15
4.1.1 Boyuta göre sınıflandırma (eleme)	15
4.1.2 Gravite zenginleştirme	16
4.1.3 Flotasyon	19
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
5.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler.....	23
5.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler	24
5.3 Numune Alma ve Hazırlama.....	25
5.3.1 Numune alma	25
5.3.2 Kaba öğütme	25
5.3.3 İnce öğütme.....	25
5.3.4 Elek analizi.....	25
5.4 Curufun Yapısı	25
5.5 Curufun Yapısındaki Metalik Tanelerin Serbestleşme Boyutunu Belirleme...	26
5.6 Fiziksel Zenginleştirme Deneyleri	27
5.6.1 Boyuta göre sınıflandırma.....	27
5.6.2 Gravite zenginleştirme deneyleri.....	27

5.6.2.1 Knelson gravite zenginleştirmesi deneyleri	27
5.6.2.2 Falcon gravite zenginleştirmesi deneyleri.....	28
5.7 Flotasyon Yöntemi ile Curuflardan Altın Kazanımı Deneyleri	28
5.7.1 Pülp pH değeriinin etkisi.....	29
5.7.2 Toplayıcı reaktif miktarının etkisi.....	29
5.7.3 Toplayıcı reaktif çeşidinin etkisi	31
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER	33
6.1 Elek Analizi Sonuçları.....	33
6.2 Fiziksel Zenginleştirme Deneyleri Sonuçları	36
6.2.1 Eleme sonuçları.....	36
6.2.2 Gravite ile zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	38
6.2.2.1 Knelson gravite zenginleştirmesi deneyleri sonuçları.....	38
6.2.2.2 Falcon gravite zenginleştirmesi deneyleri sonuçları	43
6.3 Flotasyon Yöntemi ile Curuflardan Altın Kazanımı	47
6.3.1 Pülpün pH değeriinin etkisi.....	47
6.3.2 Toplayıcı reaktif miktarının etkisi.....	48
6.3.3 Toplayıcı reaktif çeşidinin etkisi	52
7. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	55
8. ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR ve TANIMLAMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
KC	: Knelson Concentrator
MIBC	: Methyl Isobuthyl Carbinol
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
PGM	: Platin Group Metal
PGMs	: Platin Group Minerals
PKO	: Pülpte Katı Oranı
BESLENEN	: Deneyde Kullanılan Elenmiş Malzeme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Altının fiziksel özellikleri [6].	5
Çizelge 2.2 : Altın içeren kayaçlar [10].	8
Çizelge 2.3 : Çeşitli atıklar içindeki altın oranları [6, 25].	9
Çizelge 4.1 : Konsantrasyon kriterine bağlı verimli tane boyutu [26].	17
Çizelge 5.1 : Curufun tane boyut dağılımı analizi.	25
Çizelge 5.2 : Curufun bazı fiziksel özellikleri.	26
Çizelge 5.3 : Curufun genel kimyasal bileşimi.	26
Çizelge 5.4 : Asidik pH değeri deney koşulları.	29
Çizelge 5.5 : Bazik pH değeri deney koşulları.	29
Çizelge 5.6 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.	30
Çizelge 5.7 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.	30
Çizelge 5.8 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.	30
Çizelge 5.9 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.	30
Çizelge 5.10 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.	31
Çizelge 5.11 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.	31
Çizelge 5.12 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney koşulları.	31
Çizelge 5.13 : Aero 8761 – Aerophine 3418A reaktifleri deney koşulları.	32
Çizelge 5.14 : Aero Mx 980 reaktifi deney koşulları.	32
Çizelge 6.1 : -0.106 mm boyutunda gravite zenginleştirilmesi [25 KPa basınç, %50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].	38
Çizelge 6.2 : -0.053 mm boyutunda gravite zenginleştirilmesi [15 KPa basınç, %50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].	38
Çizelge 6.3 : -0.038 mm boyutunda gravite zenginleştirilmesi [10 KPa basınç, %50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].	39
Çizelge 6.4 : -0.106 mm gravite zenginleştirilmesi deneyi [7 KPa basınç, % 50 PKO, 60 g santrifüj kuvveti].	42
Çizelge 6.5 : -0.106 mm gravite zenginleştirilmesi deneyi [15 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].	42
Çizelge 6.6 : -0.106 mm gravite zenginleştirilmesi deneyi [25 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].	42
Çizelge 6.7 : I. numune I. zenginleştirme deney sonuçları [% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].	44
Çizelge 6.8 : I.numune II. zenginleştirme deney sonuçları [% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].	44
Çizelge 6.9 : II. numune I. zenginleştirme deney sonuçları [% 25 PKO, 300g santrifüj kuvveti].	45
Çizelge 6.10 : II.numune II. zenginleştirme deney sonuçları [% 25 PKO, 300g santrifüj kuvveti].	45

Çizelge 6.11 : -0.106 mm gravite zenginleştirmesi deneyi sonuçları [5 KPa, %25 PKO, 60g santrifüj kuvveti].....	46
Çizelge 6.12 : Asidik pH değeri deneyi sonuçları [pH= 4.82-5.60].	47
Çizelge 6.13 : Bazik pH değeri deney sonuçları [pH= 10.28-10.71].....	48
Çizelge 6.14 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları [50 g/t, 7 kademe flot.].....	49
Çizelge 6.15 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları [100 g/t, 7 kademe flot.].....	49
Çizelge 6.16 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları [150 g/t, 7 kademe flot.].....	49
Çizelge 6.17 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [50 g/t,7 kademe flot.].....	51
Çizelge 6.18 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [100 g/t,7 kademe flot.].....	51
Çizelge 6.19 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [150 g/t,7 kademe flot.].....	51
Çizelge 6.20 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları [Kaba devre ve, I.temizleme 50 g/t, II.temizleme 75 g/t].	52
Çizelge 6.21 : Aero 8761 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları [Kaba devre ve I.temizleme 50 g/t, II.temizleme 75 g/t].	53
Çizelge 6.22 : Aero Mx 980 reaktifi deney sonuçları [Kaba devre ve I.temizleme 50 g/t, II. temizleme 75 g/t].	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tipik bir soda-boraks esaslı curufun görüntüsü.	10
Şekil 2.2 : Altın içeren ara ürün ve atıkların geri kazanım prosesi.....	11
Şekil 4.1 : Gravite ayrımı yapan cihazlar ve kullanılan ayırma ortamları [12].	18
Şekil 4.2 : Knelson ayırıcısının düşey kesiti [14].	18
Şekil 4.3 : Falcon ve Knelson ayırıcılarının konsantre hazneleri [18].	19
Şekil 4.4 : Flotasyon hücresi [20].	20
Şekil 4.5 : Flotasyon reaktifleri sınıflaması [27].	21
Şekil 5.1 : Flotasyon ve gravite ile zenginleştirme deneylerine ait akım şemaları....	24
Şekil 6.1 : Farklı tane boyutu aralığına öğütülmüş curufun yapısındaki camsı faz ve metalik taneciklerin dağılımlarının parlak kesit görüntüleri: (a) -150 +106 µm [x10], (b) -106+75 µm [x20], (c) -75+53 µm [x20], (d) -53+45 µm [x20], (e) -45+38 µm[x10], (f) -38 µm [x10].	35
Şekil 6.2 : Tane boyut dağılımı eğrisi.....	36
Şekil 6.3 : -0.150+0.106 mm boyutlu curuftaki serbest altın taneleri [x50].....	37
Şekil 6.4 : -53 µm Knelson gravite zenginleştirme artık ürününde parlak kesit çalışmasında tespit edilen altın taneciği [x50].....	40
Şekil 6.5 : -106 µm Knelson gravite zenginleştirme artık ürününde parlak kesit çalışmasında tespit edilen altın taneciği [x50].....	40
Şekil 6.6 : Altın ve bakıra ait tane boyutu- konsantre tenörü ilişkisi [% 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].....	41
Şekil 6.7 : Akışkanlaştırma suyu basıncı ve konsantre tenörü ilişkisi [% 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].....	43
Şekil 6.8 : Zenginleştirme kademesinin konsantre tenörüne etkisi [% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].....	44
Şekil 6.9 : Zenginleştirme kademesinin konsantre tenörüne etkisi [% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].....	45
Şekil 6.10 : Santrifüj kuvvetinin konsantre tenörüne etkisi.....	46
Şekil 6.11 : Toplayıcı reaktif miktarının tenöre etkisi [50, 100, 150 g/t Aerofloat 208- Aerophine 3418A].....	50
Şekil 6.12 : Toplayıcı reaktif miktarının tenöre etkisi [50, 100, 150 g/t Aero 8761].	52
Şekil 6.13 : Toplayıcı reaktif çeşidinin konsantre tenörüne etkisi [50 g/t].....	53

SEMBOLLER

k	: Taggart Konsantrasyon Kriteri
σ_A	: Ağır Mineralin Yoğunluğu
σ_H	: Hafif mineralin yoğunluğu
ρ	: Ayırma Ortamının Yoğunluğu
θ	: Temas Açısı
γ_{MH}	: Mineral- Hava Yüzey Gerilimi
γ_{SM}	: Sıvı- Mineral Yüzey Gerilimi
γ_{HS}	: Hava-Sıvı Yüzey Gerilimi

KUYUMCULUK KÖKENLİ CURUFLARDAN FİZİKSEL ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ İLE ALTIN GERİ KAZANIMI

ÖZET

Ülkemizde, kuyumculuk işlemleri sonucunda oluşan curuflardan, altın geri kazanımının yapılabileceği rafineri ve/veya geri kazanım tesisimiz bulunmamaktadır. Bu nedenle; klasik altın geri kazanımında uygulanan pirometalurjik ergitme işlemlerini uygulamaya olanak veren teknoloji ve yüksek sıcaklık sağlayan özel dizayn fırınların kullanımı da mevcut değildir. Türkiye’de altın geri kazanım işlemleri küçük ölçekli işletmelerde uygulanmaktadır. Bu tez çalışması; kuyumculuk işlemleri neticesinde ortaya çıkan curufun yapısında metalik halde bulunan ve bilinen tüm geri kazanım yöntemlerinden sonra dahi curufta kalan altının, ekonomik olarak geri kazanımını sağlayacak fiziksel zenginleştirme yöntemlerinin uygulanabilirliği, endüstriyel alanda uygulanabilir optimal koşulların tespitini ve çalışma koşullarının belirlenmesini kapsamaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan ham madde Onsa Rafineri işletmesinden temin edilerek, numune alma ve hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir. Curufa uygulanan kaba öğütme işlemi ardından elek analizi ile tane boyut dağılımı tespit edilmiştir. Curufun yapısındaki metallerin boyutsal dağılımı incelenmiş ve metalik tanelerin $-38\ \mu\text{m}$ ’ de serbestleştiği belirlenmiştir. Metalik tanelerin $-38\ \mu\text{m}$ ’da serbestleştiği göz önüne alınarak; kaba öğütülmüş curufa ince öğütme işlemi uygulanmıştır. Öğütme işleminin ardından boyuta göre sınıflandırma (eleme) işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyuta göre sınıflandırılmada (elemede) curufta zor öğünen ve elek altına geçirilmede güçlük çıkaran, manyetik özelliğe sahip metalik yapı ve $-0.150 +0.106\ \text{mm}$ boyut aralığında da elek üstünde metalik altın alaşımı gözlenmiştir.

Deneylerde kullanılan curufa ait bazı fiziksel özellikler belirlenmiş ve curuf analiz edilerek genel kimyasal içeriği tespit edilmiştir. Curuf sertliğinin 6.5 Mohs ve yoğunluğunun $2.83\ \text{g/cm}^3$ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, curufun genel kimyasal içeriğinde Cu/Au oranının 100 kat olduğu görülmüştür.

Metalik tane serbestleşme boyutuna bağlı olarak boyuta göre sınıflandırma (eleme), gravite zenginleştirme ve flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boyuta göre sınıflandırılmada (eleme) curufta zor öğünen ve elek altına geçirilmede güçlük çıkaran, manyetik özelliğe sahip metalik yapı ve $-0.150 +0.106\ \text{mm}$ boyut aralığında da elek üstünde metalik altın alaşımı gözlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında uygulanan fiziksel zenginleştirme işlemleri; eleme, gravite zenginleştirilmesi ve flotasyon olarak sınıflandırılmıştır. Gravite zenginleştirilmesi deneyleri farklı tane boyutuna sahip curuf numunesi ile Knelson ve Falcon santrifüjlü gravite ayırıcıları kullanılarak yapılmıştır.

Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısı kullanılarak -106, -53 ve -38 μm boyutlarında ve 7, 10, 15, 25 KPa akışkanlaştırma suyu basınçlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle zenginleşmenin etkin yapılacağı tane boyutunun iri boyut (-106 veya -53 μm) olduğu belirlenmiştir. Ardından -106 μm boyutlu malzemeye farklı akışkanlaştırma suyu basınçları uygulanarak (7, 15, 25 KPa) zenginleştirme yapılmıştır. 15 KPa akışkanlaştırma suyu basıncında konsantrede 131 g/t, 25 KPa akışkanlaştırma suyu basıncında ise 109 g/t Au geri kazanılmıştır. Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısı ile yapılan zenginleştirmenin - 106 μm boyutunda % 50 PKO'da ve 15-25 KPa akışkanlaştırma suyu basıncı aralığında etkili olduğu görülmüştür.

Gravite zenginleştirilmesi deneylerinde kullanılan diğer bir cihaz Falcon santrifüjlü gravite ayırıcısıdır. Bu cihaz ile yapılan deneylerde farklı santrifüj kuvvetlerinin (200g ve 300g) -106 μm boyutlu malzemeyi zenginleştirmedeki etkisi araştırılmıştır. -106 μm boyutunda ve % 25 PKO'da 2 numuneyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Zenginleştirme sonrası I. ve II. numunelerin konsantre tenörlerinin düşük olduğu görüldünc; I. ve II. numunelerin konsantreleri ikinci kez aynı koşullarda zenginleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. I. numuneye 200g santrifüj kuvveti uygulanarak 40 g/t Au, II. numuneye 300g. santrifüj kuvveti uygulanarak 37 g/t Au elde edilmiştir.

Curuftaki altını gravite ile zenginleştirmede kullanılan, Knelson ve Falcon santrifüjlü gravite ayırıcılarının çalışma mekanizmaları ve konsantre tutma haznelerindeki etkin kazanım alanlarının farklılığı sebebiyle; -106 μm boyutlu malzemenin zenginleştirilmesinde Knelson cihazının Falcon'a göre daha etkin çalıştığı görülmüştür. Deneyler sonucunda gravite zenginleştirmesinin curuftaki altını kazanmada uygulanabilecek bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, gravite zenginleştirilmesi deneylerinde tane boyutuna bağlı olarak konsantrede ulaşılan altın zenginleştirme, oransal olarak tatmin edici seviyede kabul edilse bile, beslenen malzeme içinden kazanılan altın miktarı düşük kalmaktadır. Deneylerde artık olarak alınan ürünlerin yapıları incelendiğinde camsı fazda hapsolmuş altın taneciklerinin kazanılamayıp, artığa kaçtığı tespit edilmiştir.

Curuf yapısındaki metalik yapıların -38 μm boyutunda serbestleştiği gerçeğinden yola çıkılarak, flotasyon deneyleri -38 μm 'da gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneylerinde; pülpün pH değeri, toplayıcı reaktif miktarı ve toplayıcı reaktif çeşidi parametrelerinin etkisi irdelenmiştir.

Pülpün pH değerinin altın kazanımına etkisini belirlemek üzere asidik ve bazik pH koşullarında deneyler yapılmıştır. Deneylerde 5 kademe kaba devre ve 2 kademe temizleme devresi uygulanmıştır. Pülpün asidik ve bazik pH değerine sahip olduğu deneylerde Aerofloat 208-Aerophine 3418A reaktif çiftinden 50 g/t, Oreprep F-523 köpürtücü reaktifinden 10 g/t kullanılmıştır. Asidik pH koşulunda pH değeri 4.82-5.60 arasında değişmiştir. Bu şartlarda konsantrede 322 g/t Au % 12.03 verimle

kazanılmıştır. Bazik pH koşulunda pH değeri 10.28-10.71 arasında değişmiştir. Pülpün bazik pH değerinde konsantrede 296 g/t Au % 33.33 verimle elde edilmiştir. Fakat asidik pH değerinde elde edilen Au kazanım veriminin bazik koşullarda yapılan çalışmadan düşük olması ve curufun yapısı gereği de bazik oluşu göz önüne alınarak; yapılacak olan diğer flotasyon deneylerinin, 296 g/t Au eldesini % 33.33 verimle sağlayan bazik pülp pH değerlerinde gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Flotasyon ile zenginleştirme yönteminde incelenen diğer bir parametre olan toplayıcı reaktif miktarının etkisini belirlemek amacıyla; Aerofloat 208 - Aerophine 3418A ve Aero 8761 toplayıcı reaktif çiftleri 50, 100 ve 150 g/t miktarlarında kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Köpürtücü reaktif olarak 10 g/t Oreprep F-523 kullanılmıştır. Deneyler, 5 kademe kaba devre ve 2 kademe temzileme devresi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Aerofloat 208-Aerophine 3418A reaktif çiftinden 150 g/t kullanılarak yapılan deneyde konsantrede % 32.25 verimle 564 g/t Au kazanılmıştır. Aero 8761 reaktifinden 150 g/t kullanılınca; konsantrede % 36.24 verimle 195 g/t Au elde edilmiştir. Toplayıcı reaktif miktarının arttırılmasının konsantre tenörünü iyileştirdiği ve her reaktifin yüksek miktarının (150 g/t) konsantredeki Au kazanımını yükselttiği görülmüştür. Bu parametrenin incelenmesi sonucunda en etkili netice Aerofloat 208-Aerophine 3418A reaktif çiftinden 150 g/t kullanılarak elde edilmiştir.

Flotasyon deneylerinde incelenen son parametre toplayıcı reaktif çeşidinin altın geri kazanımına etkisi olmuştur. Aerofloat 208-Aerophine 3418A, Aero 8761-Aerophine 3418A reaktif çiftleri ve Aero Mx 980 reaktif ile çalışılmıştır. Köpürtücü reaktif olarak 10 g/t Oreprep F-523 kullanılmıştır. Deneylerde 5 kademe kaba devre ve 2 kademe temizleme devresi uygulanmıştır. Kaba devrede ve I. temizleme kademesinde 50 g/t, II. temizleme kademesinde 75 g/t toplayıcı reaktif kullanılmıştır. Aerofloat 208-Aerophine 3418A reaktif çifti ile konsantrede 318 g/t Au % 37.06 verimle kazanılmıştır. Aero 8761- Aerophine 3418A reaktif çifti kullanılarak yapılan deneyde konsantrede 293 g/t Au % 32.66 verimle elde edilmiştir. Aero Mx 980 reaktifi ile yapılan çalışmada 277 g/t Au % 38.38 verimle kazanılmıştır. Konsantredeki kazanımlara bakıldığında 318 g/t Au % 37.06 verimle Aerofloat 208-Aerophine 3418A toplayıcı reaktif çiftinin en yüksek kazanım değerine sahip olduğu görülmüştür. Aerofloat 208'in I. ve II. temizleme kademelerinde artan miktarlarla eklenmesinin konsantre tenörünü iyileştirdiği tespit edilmiştir. Au kazanma verimi açısından kıyaslama yapıldığında ise; Aero Mx 980 reaktifinin % 38.38 verimle en iyi kazanımı gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Aero Mx 980 reaktifi yalnız başına kullanılmasına rağmen diğer reaktif çiftleriyle rekabet edecek seviyede altın kazanımı gerçekleştirdiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında; kuyumculuk kökenli curuflardan fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle altın geri kazanımında gravite zenginleştirmesi ve flotasyon yöntemlerinin umut vaad eden sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

RECOVERY OF GOLD FROM JEWELLERY BASED SLAGS BY PHYSICAL BENEFICIATION PROCESSES

SUMMARY

In our country, due to not possessing any refinery and/or recovery plant to recover gold from secondary resources, technology that enables recovery of gold by classical pyrometallurgical process and the application of special design furnaces for elevated temperatures are not available. The metallic gold grains cannot be retrieved by classical recovery methods and the aim of this study is the recovery of metallic gold grains economically by physical beneficiation methods from the structure of slag and also the optimization of process conditions for industrial applications.

The slags are ensured from the firm named as Onsa Rafineri and processed with sampling and preparing stages. After coarse grinding operation, grain size distribution of slag is defined by screen analysis. The size distribution of metals in the structure of slag is examined and the liberalization size of metallic grains in the slag structure is determined as $-38\text{ }\mu\text{m}$. As a result of liberalization size of metallic grains, fine grinding procedure is applied to coarse grinded slag. After grinding process, dimensional classification (sieving) is performed. It is observed that magnetic metallic phase has difficulty in grinding and also metallic gold alloy is determined as oversize in the particle size range of $-0.150 +0.106\text{ mm}$ during dimensional classification process.

Some physical properties and also the chemical content of slag are determined. The hardness value and the density of slag are specified as 6.5 Mohs and 2.83 g/cm^3 , respectively. Also, Au / Cu ratio is detected as 100 in the general chemical content of slag.

In this study, the physical enrichment methods are classified into three groups namely; sieving, gravity concentration and flotation.

Gravity concentration experiments are performed with Knelson and Falcon centrifugal gravity separators. The effects of different particle sizes (-106 , -53 and $-38\text{ }\mu\text{m}$) and fluidization water pressures (7, 15, 25 KPa) are investigated by Knelson separator. First of all, coarse particle size (-106 or $-53\text{ }\mu\text{m}$) is identified as operative particle size for beneficiation. After that, with the aim of concentrating $-106\text{ }\mu\text{m}$ particle size slag, the application of various fluidization water pressures (7, 15, 25 KPa) is carried out. The concentrate comprises recovered Au with the amounts of 131 g/t and 109 g/t under the conditions of 15 KPa and 25 KPa fluidization water pressures, respectively. The fluidization water pressures, between 15-25 KPa, is

obtained as appropriate pressure values for -106 μm sized particle consisting of 50 % solid-water ratio in the pulp for Knelson separator experiments.

Falcon centrifugal gravity separator is the other equipment used for gravity concentration experiments and the impact of various centrifugal forces (200g and 300g) is investigated. The experiments are carried out with two samples having -106 μm particle size and 25 % solid-water ratio in the pulp. After first concentration stage, by the reason of achieving low grade of Au in the concentrate, the concentrates of I. and II. samples are re-concentrated for the second time under same experimental conditions. The recovery of Au is 40 g/t under the 200g of centrifugal force condition for the I. sample and for the II. sample, the recovery of Au is 37 g/t under 300g centrifugal force condition.

Therefore, Knelson centrifugal gravity separator is more efficient than Falcon separator for – 106 μm particle size range, owing to fact of distinctness between their working principles and capture area in the concentrate cones.

According to the experimental results, gravity concentration is a feasible method for the recovery of gold in the slag. Generally, although the Au grade in the concentrate is accepted as a satisfying result depending on the particle size, the amount of recovered gold from feeding material remains low. When the tailing structure is analyzed, it is determined that trapped gold grains in the amorphous phase cannot be recovered and becomes tailing.

Flotation experiments are performed by using – 38 μm sized materials with reference to the liberalization size of metallic grains in the slag structure. The effects of pH value, collector reagent amount and collector reagent type are investigated in flotation experiments.

The experiments are carried out under acidic and alkaline pH conditions in order to investigate the effect of pH value in the pulp for gold recovery. In the experiments, 5 steps rough and 2 steps cleaning stages are performed. 50 g/t of Aerofloat 208-Aerophine 3418A reagent couple and 10 g/t of Oreprep F-523 frother reagent are used in both acidic and alkaline pH values for the experiments. The pH value changes in the range of 4.82-5.60 for the acidic pH conditions. Consequently, 322 g/t Au is recovered with the efficiency of 12.03 %. In alkaline condition, pH value range changes between 10.28-10.71. This condition has demonstrated that the concentrate consists of 296 g/t recovered Au with the 33.33 % efficiency. Taking into consideration both the results achieved in acidic and alkaline pH conditions and also the alkaline characteristics of slags, it is decided to study with natural pH value.

The other parameter for flotation experiments is the collector reagent amount and its effect on gold recovery is investigated with the usage of Aerofloat 208 - Aerophine 3418A and Aero 8761 collector reagents with dosages of 50, 100 and 150 g/t, respectively. Also 10 g/t of Oreprep F-523 frother reagent is used during the experiments. 5 steps rough and 2 steps cleaning stages are performed in the studies. The recovery of 564 g/t Au with 32.25 % efficiency is achieved by the addition of 150 g/t of Aerofloat 208- Aerophine 3418A reagent couple. The usage of 150 g/t of Aero 8761 reagent provide the recovery of 195 g/t of Au with 36.24 % efficiency.

The increase in the collector reagent dosages (150 g/t) has a positive impact on the grade of concentrates. As a result of investigation of this parameter, Aerofloat 208- Aerophine 3418A is decided as an efficient collector reagent couple at 150 g/t dosages.

The last investigated parameter is the influence of collector reagent type on the gold recovery. Aerofloat 208- Aerophine 3418A, Aero 8761- Aerophine 3418A and Aero Mx 980 are used as collector reagents and Orepreg F-523 is used as frother reagent. In the studies, 5 steps of rough stages and 2 steps of cleaning stages are applied. In the rough and I. cleaning stages, the amount of used collector reagent is 50 g/t. On the other hand, in the II. cleaning stage, 75 g/t collector reagent is used. The concentrate comprises the amount of recovered gold with Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reagent couple as 318 g/t with 37.06 % efficiency; with Aero 8761- Aerophine 3418A reagent couple as 293 g/t with 32.66 % efficiency and with Aero Mx 980 as 277 g/t with 38.38 % efficiency. The most effective result according to grade of concentrates is obtained with Aerofloat 208- Aerophine 3418A collector reagent couple at 50 g/t dosage and the amount of recovered Au is 318 g/t. Concentrate grade is enhanced with the addition of increasing amounts of Aerofloat 208 in the I. and II. cleaning stages. The comparison of collector reagent type with reference to efficiency has indicated that Aero Mx 980 has provided 38.38 % gold recovery in the concentrate. As a result, Aero Mx 980 can compete with other collector reagents even if it is used as separately.

In this thesis, it is determined that within the scope of recovery of gold from jewellery based slags by physical enrichment processes, promising results are achieved with the gravity concentration and flotation methods.

1. GİRİŞ

Kuyumculuk işlemleri gerçekleştirilirken, farklı üretim aşamalarında değişik nitelikte soy metal içeren atıklar oluşmaktadır. Kuyumculuk üretimi esnasında kaybedilen soy metaller, hem elde edilen ürünün maliyetini hem de piyasadaki rekabet gücünü ciddi anlamda etkilemektedir [1].

Takı üretim işlemleri sonucu oluşan düşük altın içerikli işletme atıkları hidrometalurjik ve pirometalurjik işlemlerle geri kazanılabilmektedir. Geri kazanım için uygulanan pirometalurjik işlemler sonucu soda-boraks esaslı curuf oluşturulmakta ve altın zerrecikleri curuf yapısına hapsolmaktadırlar. Bu curuf yapısında kalan altın miktarı işletmeden işletmeye değişkenlik göstererek, uygulanan ergitme sıcaklığı ve süreye bağlı olmak üzere 1200 g/t seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında, soda-boraks esaslı curuftan altının geri kazanımına yönelik olarak fiziksel zenginleştirme işlemleri ile curuf yapısında kalan altının zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Boyuta göre sınıflandırma (eleme), gravite zenginleştirme ve flotasyon yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları doğrultusunda kazanma verimi yüksek olan yöntem/yöntemler ve endüstriyel uygulanabilir optimal koşullar tespit edilerek, çalışma koşulları belirlenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Soy metaller sahip oldukları kimyasal kararlılıkları nedeniyle diğer metallerden farklı bir yere sahiptirler. Ekonomik değerleri yüksek olan bu metallerin geri kazanımı büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde takı üretim işlemleri esnasında ortaya çıkan atıkların bir kısmı pirometalurjik işlemlerle geri kazanılabilmektedir. Fakat pirometalurjik işlem sonucu oluşan curufun yapısında kalan çok küçük altın taneciklerinin standart yöntemlerle geri kazanılamayacağı düşünülmektedir. Bu tez kapsamında; kuyumculuk işlemleri sonucunda oluşan curuflar içerisinde metalik formda bulunan ve bilinen tüm geri kazanım yöntemlerinden sonra dahi curuflarda

kalan altının, ekonomik olarak geri kazanımını mümkün kılacak, fiziksel prensipli zenginleştirme yöntemlerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Altının Tarihçesi

Parlaklığı ve rengi nedeniyle insanoğlunun ilk fark ettiği metallerden biri olan altının, M.Ö 4000 yılında Orta ve Doğu Avrupa'nın bir kısmında kullanıldığı bilinmektedir [2,3]. Mısırlılar M.Ö 3000 yıllarında altını döverek varak haline getirme sanatı ile farklı sertlik ve renge sahip altın elde etmek için, çeşitli alaşımlarını yapmışlardır. Günümüzde hala kullanılan eriyen balmumu tekniği ile altını kalıplara dökme işlemini bu dönemlerde Mısırlılar geliştirmişlerdir. Mısır'ın zengin bir ülke haline gelmesi; M.Ö 1500'lü yıllarda altının uluslararası ticarete araç olarak kullanılmasıyla gerçekleşmiştir [3].

Altın ilk çağlarda Mısır'da olduğu kadar Anadolu ve Orta Asya'da da kullanılmıştır. Yunanlı tarihçi Heredot, (M.Ö 500) “Heredot Tarihi'nde” Anadolu'da altının çıkarılışından ve işlenişinden bahsetmiştir [4]. Antik dönemin kentlerinden olan Lidya'da saf altından yapılmış ilk paralar M.Ö 560 yılında basılmıştır. Romanlılar ise M.Ö 50 yılında Auerus adını verdikleri ilk altın parayı basmışlardır [2,3].

Bizans İmparatorluğu M.S. 600–699 yılları arasında Orta Avrupa'daki bir altın madenini ele geçirmiştir. Bu dönemde sanatçılar altından ikonalar ve sanat eserleri ortaya çıkarmışlardır.

Günümüze daha yakın dönemlere gelindiğinde; 18. yüzyılda altın üretiminde lider olan Rusya'nın yerini 1848 yılında, Kaliforniya'da “Altına Hücum” döneminin yaşanması ile A.B.D almıştır. 1873 yılında Güney Afrika'nın Doğu Transual Bölgesi'nde ulaşılan altın madeni yatakları ile dünya altın madenciliğinin en önemli halkasından birine daha ulaşılmıştır [3].

Tarihin her döneminde altın toplumları canlandırmış, kral ve hükümdarların kaderlerini belirlemiş, sanat eserlerine ilham vermiş, insanlara zengin olma umudu vererek zorlu koşullara dayanmalarını sağlamıştır [4].

2.2 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

2.2.1 Altının fiziksel özellikleri

Kimyasal simgesi “Au” olan altın; tan vaktini belirten ışıklar anlamına gelen “Aurora” (seher) kelimesinden türetilmiştir [4]. Doğada tek başına da bulunabilen metalik altın, parlak sarı renge sahiptir. Periyodik tabloda 1B grubu soy metalleri arasında yer almaktadır. Bu gruptaki diğer ağır metallerin sahip olduğu; oksitlenme, sülfürlenme ve korozyon direnci, ayrıca yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, diğer metallerle kolay alaşım yapabilme gibi özelliklere sahiptir [5,6].

Altının en önemli özelliklerinden biri yumuşak olması ve kolay şekil alabilmesidir. Bu özelliği sayesinde çok ince tellerin ve levhaların parçalanmadan çekilmesini sağlamaktadır. Altının bu özelliğine tarihten ilginç bir örnek ise; yıldızlama yöntemiyle Venedik’te camların üzerine işlenen altının çekiçe dövülerek, bir inç’in beş milyonda biri kadar inceltilebilmiş olmasıdır [3,4]. Altın, aynı zamanda yüksek parlatılabilirliğe sahiptir ve parlaklığını içerisinde bulunan alaşım elementlerinin miktarı az çok etkileyebilmektedir [5].

Altının doğal olarak oluşan izotopu ^{197}Au , tıp alanında kullanılan en önemli izotopu ^{195}Au ; α ve γ ısınları yaymaktadır. Yarılanma ömrü ise 183 gündür. Altının elektronik konfigürasyonu $[\text{Xe}] 4f^{14}5d^{10}6s^1$ şeklindedir [5].

Altının doğada bulunduğu haliyle kristalin bir görüntüye sahip değildir. Kübik, oktahedral ve dodekahedral görülebilen yüzeyler üzerinde ipliğimsi, yaprağımsı ve küresel şekiller sergileyebilmektedir [6]. Altının sahip olduğu diğer fiziksel özellikler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

2.2.2 Altının kimyasal özellikleri

Altın, kimyasal kararlılığı sayesinde yüzyıllarca değişime uğramadan varlığını koruyabilmektedir. Altın, normal koşullarda kuru veya nemli hava, oksijen (yüksek sıcaklıklar da dahil), ozon, hidrojen, azot, flor, iyot, kükürt ve hidrojen sülfür ile tepkime vermemektedir. Sülfürik asit, hidroklorik asit, fosforik asit, halojensiz nitrik asit (çok yüksek konsantrasyonlar hariç), tüm organik çözeltilerin seyreltik veya derişik çözeltileri kaynama sıcaklığında olsalar bile, altına etki etmemektedirler. Hidrohalojenik asit, nitrik asit, hidrojen peroksit ve kromik asit, serbest halojen gibi

bir oksidan ile birleştirildiğinde oluşan çözelti içinde altın çözünmektedir. Ayrıca altın, su-halojen karışımlarında ve selenik asitte çözünmektedir [5].

Metal hidroksitlerin, alkali metal tuzlarının, mineral asitlerinin ve alkali metal sülfürlerin sulu çözeltileri de altını etkilememektedir. Bununla beraber, oksijen ya da siyanojen bromür; nitrobenzoik asit, 3-nitrobenzenosülfonik asit, 4-nitrobenzoik asit gibi oksidanların varlığında; ayrıca sodyum tiyosülfat çözeltisi de oksijen varlığında altını çözmemektedir [6].

Çizelge 2.1 : Altının fiziksel özellikleri [6].

Özellik	Birim	Değer
Atom numarası		79
Atom ağırlığı	[g]	196,9665
Atom yarıçapı	[nm]	0,1422
Kristal yapısı		YMK
Latis sabiti	[nm]	0,407
Atomlararası mesafe	[nm]	0,2878
Yoğunluk, 273 ⁰ K	[g/cm ³]	19,32
Erime sıcaklığı	[⁰ C]	1064,43
Kaynama sıcaklığı	[⁰ C]	2808
Buharlaştırma ısısı, 289 ⁰ K	[J/mol]	3,653x10 ⁵
Buhar basıncı	1000 ⁰ K 1500 ⁰ K 2500 ⁰ K 3000 ⁰ K	5,5x10 ⁻⁸ 8,5x10 ⁻² 4,9x10 ³ 7,1x10 ⁵
Brinell sertliği	[kgf/mm ²]	25
Elastik modülü, 293 ⁰ K		7,747x10 ⁴
Poisson oranı		0,42
Uzama	[%]	39-45

2.3 Altının Kullanım Alanları

Tarihe bakıldığında bilinen ilk çağlardan bu yana altın süs eşyası ve para olarak kullanılmıştır. Halen dünyada üretilen altının % 86 gibi büyük bir miktarı süs ve ziynet eşyası yapımı için kuyumculuk sektöründe kullanılmaktadır [7,8].

Altının para olarak kullanılması uluslararası ticaretin başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Ülkelerarası ticaret hacmindeki artış ve I. Dünya Savaşı'nda harcamaların artması nedeniyle yeterli altının bulunamaması altının para olarak kullanımı ortadan kaldırmıştır. Koleksiyon amaçlı para ve madalya yapımında, yatırım amaçlı külçe üretiminde kullanılan miktar, altın üretiminin % 4'lük kısmını oluşturmaktadır [7,8].

Altın; korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ve düşük sertliği gibi özellikleri nedeniyle endüstrideki kullanım alanlarını genişletmektedir. Tıp, ilaç, elektronik, iletişim, lazer, optik, havacılık ve otomotiv sanayinde kullanımı artmaktadır [8].

Altının sağlıkta en yaygın kullanıldığı yer dişçiliktir. Dişçilik alaşımlarının üretiminde kullanılan altın miktarı % 2 civarındadır [7,8]. Tıpta göz kapaklarını kontrol eden kasların onarımında da kullanılmaktadır. İlaç sanayinde; eklemlerdeki romatizma hastalığının tedavisinde ve DNA üzerinde yapılan laboratuvar araştırmalarında kullanılmaktadır [8].

Elektronik endüstrisinde; bilgisayar, cep telefonu gibi teknolojik cihazların devrelerinde, iletişim endüstrisinde ise; televizyon yayın sinyallerini resme dönüştüren mikro devrelerin bağlantılarında ve televizyonları video alıcılarına bağlayan kablolarda altın kullanılmaktadır [8].

Altın gözle görülmesi mümkün olmayan kızılötesi ışınları iyi yansıttığı için teleskoplardaki ikincil aynaları kaplamada da kullanılmaktadır. Ayrıca uzay araçlarının dış cepheleri ve uydulardaki elektronik devre kutuları da altın ile kaplanmaktadır [8].

Otomotiv sanayinde; motorlarda yüksek ısı ve aşınmanın olduğu yerlerde kaplama olarak, egzozlarda katalitik konvertör olarak kullanım yeri bulmaktadır. Havacılık endüstrisinde ise; jet uçaklarındaki yakıtların yanmasını sağlayan statör ve tüplerin üretiminde kullanımı mevcuttur. Bunun yanı sıra; uçağın pilot kabinindeki camların donmasını engellemek amacıyla akrilik camların kaplanması da altından yararlanılmaktadır [8].

2.4 Türkiye’de Altın Sektörü

Eski Türk devletleri var oldukları dönemlerde madencilikle yakından ilgilenmiş, zengin altın, bakır ve demir madenlerine sahip olarak bunları hem güç simgesi olarak kullanmışlar hem de hayranlık uyandıracak sanat eserleri ortaya çıkarmışlardır [2]. Savaş malzemelerinde, süs eşyalarında, bayraklarda ve sikke basımında da altını kullanmışlardır [3].

Anadolu’da hüküm sürmüş medeniyetler kendi takı tarzlarını oluşturmuşlardır. Bunlar arasında en önemli stili, Anadolu’ya getiren Selçuklular olmuştur [11].

Selçuklular, XI. yüzyılda ortaya çıkan gümüş kıtlığı nedeni ile altın ve gümüş sadece ziynet eşyası yapımında kullanılmış, daha çok tunç ağırlıklı eserler yapılmıştır.

İstanbul'un fethinin ardından Ermenistan'dan gelen Ermenilerin şehre yerleşmesi ile Osmanlıda takı üretimi hız kazanmıştır. Osmanlı'da altın işlemeciliğinde en ünlü merkez Kapalıçarşı ve etrafı olmuştur. Kanuni Sultan Süleyman'ın şehzade iken aldığı kuyumculuk eğitimi, kuyumculuğa önem vermesini sağlamış ve kendi hükümdarlığı zamanı, Türk Kuyumculuğunun gelişmesi açısından çok önemli bir dönem olmuştur [7].

1980'li yıllara gelindiğinde kuyumculuğu ihracata yönelmesiyle Kapalıçarşı'ya döviz girişi başlamıştır. Bu yıllarda ekonominin liberalleşmesiyle, döviz taşıma ve kıymetli madenlerin alımına serbestlik getirilmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak altının örgütlü bir piyasada işlem görmesi için İstanbul Altın Borsası kurulmuştur [2,3].

Altın sektöründe 6500 kuyumcu atölyesi, 20 büyük mücevher üretim kompleksi, 100 toptan mücevher satış mağazası, 30.000'in üzerinde kuyumcu dükkânı var olup ve sektörde 250.000 çalışan mevcuttur. Sektördeki işletmelerin büyümesi ve ihracata yönelik üretimin artması sebebiyle el emeği yoğun işçilikten uzaklaşıp, teknoloji ağırlıklı üretime geçiş söz konusudur. Bunun yanı sıra; batıdan gelen turistlerin daha çok 14 ve 18 ayar altına ilgi göstermeleri de üreticiyi teknoloji ağırlıklı takı imalatına yöneltmektedir [2].

Türkiye, dünyada altın pazarı büyüklüğü açısından Çin, Hindistan, ABD ve Rusya ile birlikte büyük ilk beş pazar arasında yer almaktadır. Üretimde ise Hindistan ve İtalya ile birlikte ilk üçe girmektedir. Yıllık altın işleme kapasitemiz 400 tondur, fakat her sene 250-300 tonluk altın mücevherat imal edilmektedir. Üretilen altın mücevheratın % 30-40'ı ihraç edilmektedir. % 40'ı turistlere ve bavul ticareti yapanlara, geri kalanı ise yerli tüketiciye satılmaktadır. 2011 yılı verilerine göre Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı 1,847 milyon dolar seviyesine ulaşmıştır [11].

2.5 Altının Doğada Bulunuş Şekli

Altının yer kabuğunda bulunma miktarı ortalama 0,004 ppm civarındadır. Başlıca silisli magmatik kayalar ile köken ilişkisi olan damarlarda ve genellikle doğal element (nabit) halde bulunmaktadır. Altının başlıca kaynağı pirit ve diğer sülfürlerle bir arada bulunduğu hidrotermal kuvars damarlarıdır [9]. Altının gümüş ile alaşım

halinde bulunması halinde gümüş oranı % 20'nin üzerine çıkar ve oluşan bu alaşım elektrom adını alır. Benzer şekilde, bakır veya daha nadir olarak bizmut, antimon, platin, paladyum, renyum ya da iridyumla da alaşım oluşturur [10]. Altının bulunduğu kayaç tipleri Çizelge 2.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Altın içeren kayaçlar [10].

Kayaç Tipi	Bulunuş Şekli
Magmatik Kayaçlar	Altın az miktarda ve bakır, nikel, PGM ile alaşım halinde bulunur.
Mekanik Tortul Kayaçlar	Plaser yataklar; kuvars, serüzit, klorit, turmalin ve bazen de rutil ve grafit içerirler. Altın iri halde bulunabilir. Bazı yataklar % 3'e kadar pirit içerebilirler. Pirit içinde bulunan altının boyutu 0.01 ile 0.07 μm arasındadır.
Hidrotermal Kayaçlar	Çeşitli cevherleri içerir. Bunlar; altın-pirit, altın-bakır, altın-oksit cevherleri ve altın-polimetallik cevherler olarak sıralanabilir. Cevherdeki pirit içeriği % 3 ile % 90 arasında değişmektedir. Gang mineraller; kuvars, alüminasilikatlar ve dolomittir.
Skarn Kayaçlar	Kompleks ve refrakter altın cevherleridir. Cevherler; kuvars, serüzit, klorit, kalsit ve magnetitten oluşur. Bazen volframit ve selit de içerebilirler.

2.6 Kuyumculuk Atıkları, Kuyumculuk Ara Ürünlerinden Altın Geri Kazanımı ve Altın İçeren Curufların Oluşumu

Altın birincil üretim kaynağı cevherlerdir. Bakır ve gümüş rafinasyonu sonucu oluşan anot çamuru, kurşun rafinasyonundan gelen zengin köpük altının üretildiği birincil kaynaklara bağlı diğer kaynaklardır. Bu kaynaklardan gelen ara ürünlerden altın üretimi genellikle hidrometalurjik esaslı başlangıç adımlarına sahiptir ve nihai olarak dore eldesi aşamasında pirometalurjik işlem uygulanır. Bu aşamada oluşan curuflardan geri kazanım da aşağıda ele alınacak olan ikincil kaynaklardan altın geri kazanımı ile benzerdir.

Altın, başta kuyumculuk olmak üzere tıp, havacılık, otomotiv, elektronik ve iletişim sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu kullanım sektörlerinde oluşan soy metal içerikli katı ve sıvı atıklar ve hurdaya çıkmış altın içerikli ürünler ikincil üretim kaynaklarını oluşturmaktadır [7].

İkincil kaynaklar kendi arasında metalik ve metalik olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Metalik kaynaklar; kuyumculuk, dişçilik ve elektronik hurdaları, gözlük çerçeveleri, saat kayışları ve mahfazaları, saat pilleri v.b. içermektedirler. Kuyumculuk ve soy metal işleyen fabrikaların çalışmaları sırasında, farklı kademelerde değişik özelliklere sahip altın içeren atıklar (yolluklar, besleyiciler, döküm çapakları, askı telleri, kesim ve pres artıkları) oluşmaktadır. Ayrıca kuyumculara satılan, kullanılmış ziynet eşyaları da kuyumculuk sektörünün hurda niteliğinde ikincil kaynaklarındandır [6]. Çizelge 2.3 'de çeşitli atıklar içindeki altın oranları gösterilmektedir.

Metalik olmayan ikincil kaynakların başında, değerli metal içeren kompleks yapıdaki tozlar, curuflar ve izabe artıkları (ramatlar) gelmektedir [6].

Çizelge 2.3 : Çeşitli atıklar içindeki altın oranları [6, 25].

Malzemeler	Altın İçeriği, [%] Ağırlık
Eski takılar	39-73
Dişçilikten gelen hurdalar	6
Kuyumcu tezgah hurdaları	19-52
Lavabo çamurları	6-8
Halılar ve ahşap yer kaplamaları	0,1-9
Eski ergitme potaları	0.8-5
Cila ve yer ramatı	0.5-5
Saat kayışları çeşitli altın kaplı hurdalar	0.25-5
Gözlük çerçeveleri	2,4
Zımpara kağıtları, yer çöpleri, fırçalar ve diğer atölye çöpleri	0.1-4
Seçilmiş elektronik metalleri, iğneler, bağlayıcılar v.b.	1
Elektronik panolar v.b.	0.007-0.03

İkincil kaynaklardan gelen hurda altınlar rafinasyon işlemi öncesinde ergitilerek, hidrometalurjik işlemler için toz halinde dökülmektedirler. Rafinasyon işlemindeki ilk curuf bu aşamada oluşmaktadır.

Diğer taraftan standart takı üretim aşamalarında oluşan hurdalar da ergitilerek takoz haline getirilirken, kirlilik ve istenmeyen fazlar, oluşturulan curuf tabakasında toplanırlar. Tüm bu işlemler sonucu oluşan curuflar ikinci bir ergitmeye tabi tutularak, içlerinde hapis kalmış ve güverseler halinde bulunan altınlar geri kazanılır. Oluşan ikinci curuf; bu tezin çalışma konusunu da oluşturan fakir altın içerikli curufların ilkinin oluşturmaktadır.

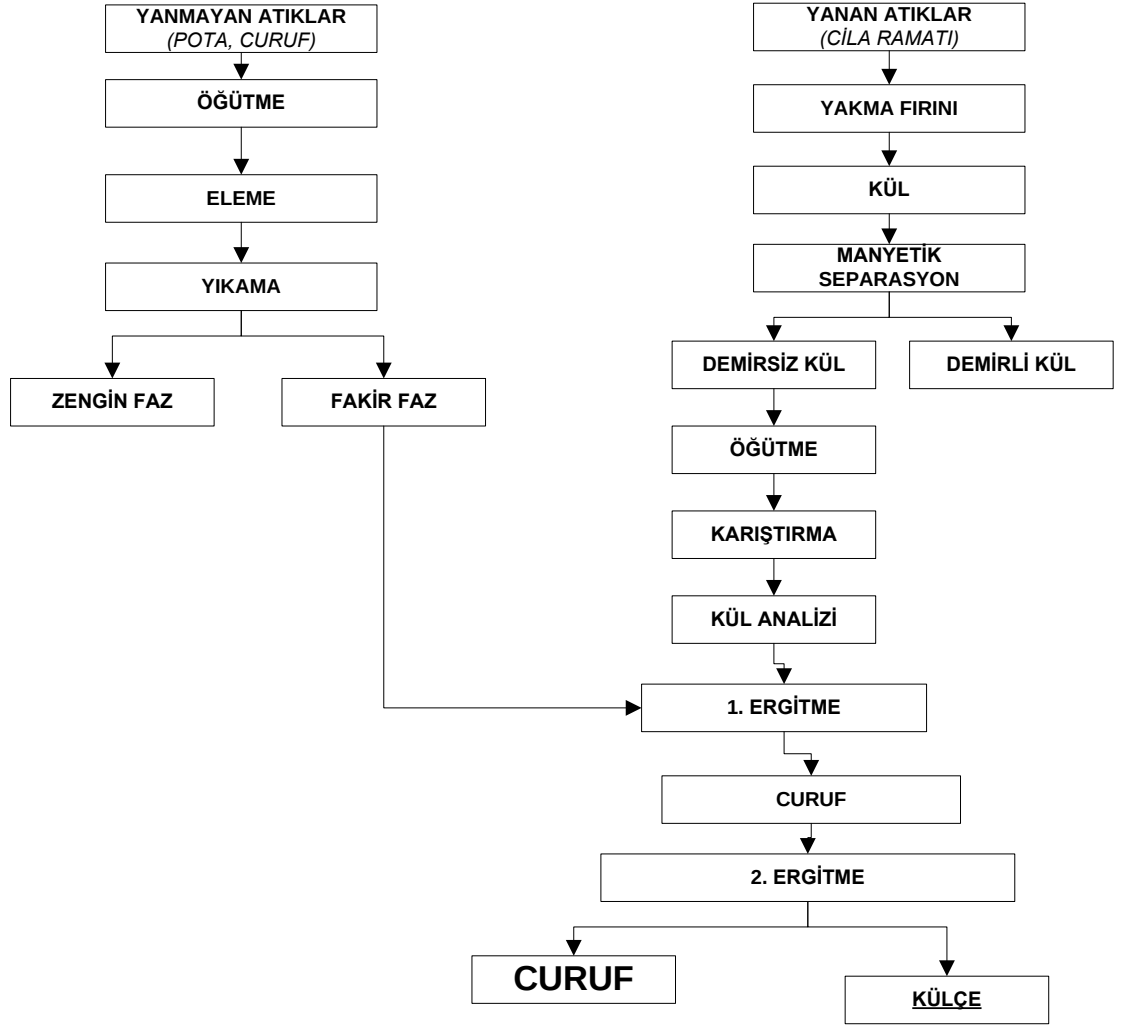
Kuyumculuk işlemlerinin üretim süreçlerinde ramat olarak adlandırılan çöpler, el bezleri, lavabo suları, havalandırma kanallarında toplanan tozlar, paspaslar, fırçalar v.b. üzerinde kalan altını geri kazanmak üzere bu malzemeler yakılarak kül haline getirilir. Küllerden pirometalurjik ergitme yoluyla altın geri kazanımı gerçekleştirilir. Bu işlemlere ait genel işlem akış şeması Şekil 2.2 de verilmiştir. Geri kazanım işlemleri sonucu oluşan I. curuflar tekrar ergitilerek altın geri kazanımı yapılır ve bu işlem sonunda II. curuf oluşturulur. II. curuf; artık, standart yöntemlerle geri kazanılamayan altını içeren yapıdır. Bu curuflar, yapılan tez çalışması kapsamında kullanılan curufları (bakınız Şekil 2.1) oluşturan diğer kaynaktır.



Şekil 2.1 : Tipik bir soda-boraks esaslı curufun görüntüsü.

Altın kazanımının maksimum seviyede olmasına özen gösterildiğinden pirometalurjik işlemlerden gelen curuflar normal koşullarda tekrar ergitilir. Kullanılan soda-boraks esaslı curufların düşük vizkositesine karşın uygulanan ergitmede ulaşılabilen sıcaklık değerinin nispeten daha düşük kalmasından ötürü, dağılmış olan altın tanecikleri yine de curuf yapısında kalırlar.

Bazı işletmeler tarafından bu curuflar kurşun ilavesi ile tekrar ergitilerek altın geri kazanımı işlemi uygulanmasına rağmen, AB ülkelerinde uygulanan çevresel normlar bunu imkansız kılmaktadır. Ülkemizde de halen uygulanmaya devam eden bu yöntemin çok uzun zaman sürdürülmesi söz konusu olamayacaktır. İşte bu nedenle, tez çalışmasının konusunu oluşturan, curuflardan farklı zenginleştirme yöntemleri ile geri kazanım önem kazanmaktadır.



Şekil 2.2 : Altın içeren ara ürün ve atıkların geri kazanım prosesi.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İTÜ kütüphane olanaklarında yer alan elektronik kaynaklar, internet üzerinden erişilenbilir açık veri tabanları, mevcut kütüphane kaynakları ve patentler de dahil olmak üzere gerçekleştirilen araştırmalarda, kuyumculuk kökenli ikincil bir kaynak olan curuftan altın geri kazanımı ile ilgili birebir çalışmaya rastlanmamıştır. Buna karşın nabit altının, cevherden flotasyon ve gravitasyon ile kazanımı hakkında gerçekleştirilmiş araştırma bulguları mevcuttur. Nihai olarak metalik altının kazanımı özellikleri açısından benzerlik gösteren bu yöntemler incelenmiş ve genel olarak değerlendirilerek aşağıda ele alınmıştır.

Altın içeren cevherlerden ve baz metallere (bakır, nikel kurşun vb), nabit altın ve elektrumun kazanımı, endüstriyel deneyim açısından büyük önem arz etmektedir. Cevherden, nabit altın ve elektrum kazanımından kullanılan yöntemler; gravite ayrımı, siyanürleme ve flotasyondur. Bu yöntemler tek başlarına veya birleştirilmiş şekilde uygulanmaktadırlar [21]. Literatürde yer alan bilgilere göre; nabit altın doğal hidrofob ise toplayıcı reaktif kullanmadan sadece köpürtücü ile flotasyon yapmak mümkündür. Heyes ve Trahar (1977) kalkopiritten kollektör kullanmadan altın flotasyonu yapmışlardır. Bu çeşit bir prosesin, dikkatlice geri kazanım sisteminde oluşacak Eh ve sistemde uygun bir pH değeri ayarlamasına bağlı olduğunu açıklamışlardır. Diğer bir seçimli altın flotasyonu örneğine Yan ve Hariyasa (1997) çalışmalarında rastlanmaktadır. Çalışmalarında, piritten altın tellürleri ayırmak için farklı türlerde kolektörlerin etkilerini araştırmışlardır. Tellürlerin doğal pH'da kolayca yüzebildiklerini tespit etmişlerdir [23]. Ayrıca, Aksoy ve Yazar (1989) Meksika'da bulunan plaser yataktan alınan ve pul şekline sahip nabit altının, doğal hidrofob olduğunu göstermişlerdir [21]. Nabit altın ve altın alaşımları, yüzey kirliliği taşıyorsa, ksantat tipi kollektörlerle kolayca yüzdürülebilmektedir. İçinde altın bulunan platin grubu metallerin flotasyon davranışı platin grubu minerallerinkine (PGM) benzemektedir. Bu nedenle, PGM flotasyonu için kullanılan reaktifler, altın kazanmaya da uygundur. İçinde altın bulunan platin grubu metallerin flotasyonunda genellikle, ksantat ve dithiyofosfat tipi kollektörlerin karışımı kullanılmaktadır. Gang

mineralleri bastırmak için de guar zmkı, dekstrin veya modifiye edilmiş selüloz tercih edilmektedir. Güney Afrika'daki PGM operasyonlarında, PGM konsantrelerinden altın kazanım oranı % 75 ile % 80 arasındadır. Öğütme sırasında altın tanelerinin alacağı şekiller (plaka, damar, pul v.b.) nabit altın ve altın alaşımlarının flotasyonunda güçlük çıkarmaktadır. Keskin kenarlara sahip partiküller, hava kabarcığından kolayca ayrılma eğilimi göstermektedirler. Bu olay, altın kaybına yol açmaktadır. Şekil faktörü gravite ayırımında da etkili olmaktadır [22].

Acarkan ve arkadaşları (2010) tarafından Bolkardağ cevherinden, altın-gümüş konsantresi üretmeye yönelik flotasyon çalışmaları yapılmıştır. Tüvenan cevher 12.2 g/t Au ve 256 g/t Ag içermektedir. Kompleks kurşun-çinko cevheri kullanılarak yapılan çalışmalarda cevher; 100, 53 ve 38 µm altına öğütülmüştür. Flotasyonda; Aerophine 3418A ve Aerofloat 208 kollektörleri birlikte kullanılmıştır. Bastırıcı olarak da Na₂SiO₃, köpürtücü olarak metil izobütil karbinol (MIBC) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda % 54.1 verimle 920 g/t Au içeren konsantre ve 10.100 g/t Ag içeren konsantre de % 31.1 verimle kazanılmıştır [23].

Celep ve arkadaşları (2006) Mastra (Gümüşhane) altın cevherinin minerolojik incelemelerini gerçekleştirdikten sonra, Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısı ile altın kazanımı araştırmışlardır. Cevherin içinde altının ortalama tane boyutunun 30 µm olması nedeniyle, siyanürleme öncesi gravite ayırımı yapılmıştır. Mastra cevherinin % 80'i 75 µm olacak şekilde öğütülmüştür. Beslenen cevherdeki altının % 47.2'si 771.95 g/t Au tenörlü konsantre olarak alınmıştır. Beslenen cevherin % 98.4'ü 13.96 g/t Au tenörlü nihai artık olarak elde edilmiştir [14].

Delfini, Manni ve Massacci (1999) kuyumculuk atölyelerinin çalışmaları esnasında, işçilerin ellerini yıkamaları ve kıyafetlerinin temizlenmesi ile oluşan sulardan altının Knelson konsantratörü ile ayrılmasına yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan yıkama suyu atıklarının % 5' lik kısmını oluşturan miktardaki altının -38 µm boyutunda ve altın içeriğinin % 8 olduğu kaydedilmiştir. Arıtılmamış deney malzemesi içinde bulunan altının yüzeyini aktif hale getiren içerikler nedeniyle bu boyuttaki altın gravite zenginleştirmesi sonucu kazanılamamıştır [24].

4. İKİNCİL KAYNAKLARDAN ALTIN GERİ KAZANIMI VE ALTIN RAFİNASYONU

4.1 İkincil Üretim Kaynaklarından Altın Geri Kazanımında Kullanılan Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

İkincil üretim kaynaklarından altın geri kazanımında kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri; boyuta göre sınıflandırma (eleme), gravite zenginleştirme ve flotasyon olarak sınıflandırılmıştır.

4.1.1 Boyuta göre sınıflandırma (eleme)

Boyuta göre ayırma; malzemeyi oluşturan farklı büyüklüğe sahip taneleri birbirinden ayırma işlemidir. Bu işlem, eleme yöntemi ile yapılabilmektedir. Eleme; tanelerin belli açıklığa veya büyüklüğe sahip deliklerden geçebilme yahut geçememe özelliğinden yararlanılarak gerçekleştirilen bir boyuta göre ayırma işlemidir. Eleme için elek adı verilen araçlar kullanılmaktadır [13].

Laboratuvar elemesinde amaç; farklı büyüklüğe sahip tanelerde oluşan malzemenin tane boyut dağılımını belirleyebilmektir. Bu sebeple farklı elek açıklıkları olan bir dizi standart elekler kullanılmaktadır. Eleme işlemi, en iri elek açıklığına sahip elekten başlanarak ulaşılmak istenen en ince elek açıklığına kadar sürdürülmektedir. Eleme işlemi, elle veya otomatik olarak yapılabilmektedir. Elle eleme; 0.038 mm'den daha iri tanelere uygulanmaktadır. Elekler teker teker kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmektedir. Otomatik eleme işlemi ise; genellikle 6 mm - 0.038 mm arasındaki tane boyutlarına uygulanmaktadır. Genelde altı elekten oluşan bir elek dizisi kullanılmaktadır ve eleme süresi 5-20 dakika arasında tutulmaktadır. Otomatik eleme işlemi elek sarsma cihazı yardımıyla yapılabilmektedir. Elekler cihaza en iri elek açıklığından en ince elek açıklığına doğru üst üste dizilerek yerleştirilmektedir. En alta da elek toplama tavası konularak elek seti cihaza yerleştirilmektedir. Elek sarsma cihazının verdiği titreşim, darbe ve eliptik dönüş sayesinde numuneyi oluşturan taneler iri elek açıklığından geçerek bir alttaki eleğe inmektedir. Belli bir

süre sonunda tamamlanan eleme işleminde her bir eleğin üzerinde yalnızca o eleğin açıklığından büyük, bir üst elek açıklığında ise küçük olan taneler kalmaktadır. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra cihazdan çıkarılan eleklerin üzerinde kalan malzeme miktarları terazi ile tartılarak, hangi tane boyut aralığında ne kadar malzemenin bulunduğu tespit edilmektedir. Gerçekleştirilen bu işlem elek analizi olarak adlandırılmaktadır [13].

Laboratuvar elemesi yaş veya kuru olarak gerçekleştirilebilmektedir. Kuru eleminin uygulanabilmesi için tanelerarası topaklanma ve yapışmanın olmadığı numune ile çalışmak gerekmektedir. Yaş eleme ise; genellikle kuru elemeye uygun olmayan killi, yapışkan ve çok küçük boyutlu malzemelere uygulanmaktadır. Eğer malzemenin % 25'inden fazlası 0.074 mm altında ise yaş eleme önerilmektedir [13].

Elek analizi yapılacak eleklerin seçiminde Amerikan A.S.T.M sistemine göre $\sqrt[4]{2}=1.189$, Amerikan TYLER sistemine göre de $\sqrt{2}=1.4142$ kullanılmaktadır. Her iki sistemde de başlangıç noktası olarak 200 meş (0.074 mm) 'lik bir elek açıklığı kabul edilmektedir. Kullanılacak olan elek dizisi $\sqrt[4]{2}$ veya $\sqrt{2}$ 'nin katları yahut askatları şeklinde seçilmektedir. Elek analizlerinde kullanılacak elek açıklıkları meş, milimetre veya mikron cinsinden ifade edilmektedir [13].

4.1.2 Gravite zenginleştirilmesi

Değişik özgül ağırlıkları olan minerallerin, akışkan ortam içerisinde gösterdikleri hareket farklılıklarından yararlanılarak yapılan zenginleştirme işlemine özgül ağırlık farkına göre ayırma denir [26]. Minerallerin akışkan ortamdaki hareketini etkileyen faktörler; tanenin, akışkan ortamın ve kullanılan cihazın özelliklerine ve yapısına göre değişmektedir. Bu faktörler:

- Tanenin özgül ağırlığı
- Tanenin şekli ve büyüklüğü
- Akışkan ortamın viskozitesi ve özgül ağırlığı
- Akışkan ortamın akış rejimi

olarak sıralanabilirler [12].

Gravite ayırımının zenginleştirme yöntemi olarak verimli uygulanabileceği tane boyutunu seçmek için Taggart konsantrasyon kriteri kullanılmaktadır. Çıkan sonuca

göre irdeleme yapıp, hangi boyut grubunda verimli ayırma yapılacağına karar verilmektedir [26]. Çizelge 4.1’de konsantrasyon kriterine bağlı olarak çalışılabilecek verimli tane boyutu bilgileri yer almaktadır.

$$k = (\sigma_A - \rho) / (\sigma_H - \rho) \quad (4.1)$$

k = Taggart konsantrasyon kriteri

σ_A = Ağır mineralin yoğunluğu

σ_H = Hafif mineralin yoğunluğu

ρ = Ayırma ortamının yoğunluğu

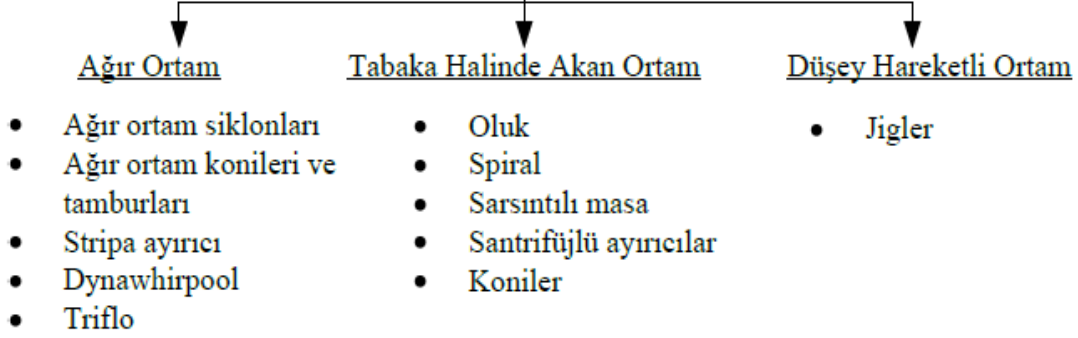
Taggart konsantrasyon kriterini, denklem 4.1 ifade etmektedir [12].

Çizelge 4.1 : Konsantrasyon kriterine bağlı verimli tane boyutu [26].

Taggart Konsantrasyon Kriteri	Verimli Tane Boyutu
$k = -$ veya $k > 2.5$	Ayırma 200 meş’e kadar kolayca yapılabilmektedir.
$1.75 < k < 2.5$	65 yahut 100 meş’e kadar ayırma mümkün olmaktadır.
$1.50 < k < 1.75$	Ayırma güçleşmektedir. Alt uygulama boyutu 10 meş’e kadardır.
$1.25 < k < 1.50$	Ayırma zor hale gelmektedir. Çakıl büyüklüğüne uygulanabilmektedir.
$k < 1.25$	Ekonomik bir ayırma yapmak mümkün değildir.

Gravite ayırması yöntemini için farklı ortamlarda ayırım yapabilen cihazlar kullanılmaktadır (Şekil 4.1). Son yıllarda ince taneli ve ağır mineralleri ayırmak için kullanılan santrifüjlü gravite ayırıcıları etkin bir zenginleştirme sağlamaktadır. Santrifüj ile yapılan konsantrasyon işleminde; tane üzerine etki eden santrifüj kuvveti, yer çekimi ivmesinde daha büyük olmaktadır. Buna bağlı olarak tanelerin çökme hızı fazlasıyla yükselmektedir. Böylece ince taneli ve ağır olan mineraller kazanılmış olmaktadır [15]. Santrifüjlü ayırıcılar $< 30 \mu\text{m}$ boyutlu tanelerin ayırımında etkili olmaktadır [14].

Gravite Ayırımında Kullanılan Ortamlar ve Cihazlar

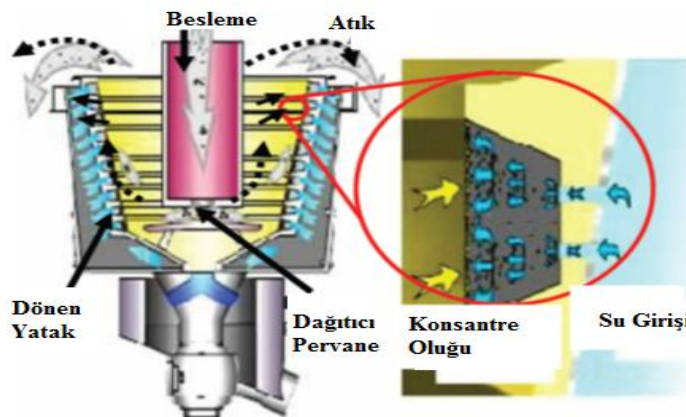


Şekil 4.1 : Gravite ayırımı yapan cihazlar ve kullanılan ayırma ortamları [12].

Knelson ayırıcısı (**KC**), Byron Knelson tarafından Kanada’da patenti 1988 yılında alınmış bir cihazdır. Cihazın geniş kullanıma sahip olduğu alan, damar tipi ve alüvyal altın üretimidir. KC’nin sahip olduğu yüksek kapasite, geniş boyut aralığında çalışabilmesi, yüksek zenginleştirme oranı ve basit yapısı avantaj sağlamaktadır [14]. KC ait düşey kesit Şekil 4.2’de görülmektedir.

KC’de dönme ünitesine oturtulan, yüksek hızla dönen bir konsantre toplama haznesi mevcuttur. Konsantre haznesinin dibinde bulunan pervane pülpü dağıtma görevi görmektedir. Besleme cihazın konsantre toplama haznesine düşey bir tüp aracılığıyla yapılmaktadır. Besleme % 0-70 PKO ile gerçekleştirilebilmektedir. Cihazın tane üzerine uyguladığı santrifüj kuvveti yer çekimi ivmesinin 60 katı (60g) kadardır [14].

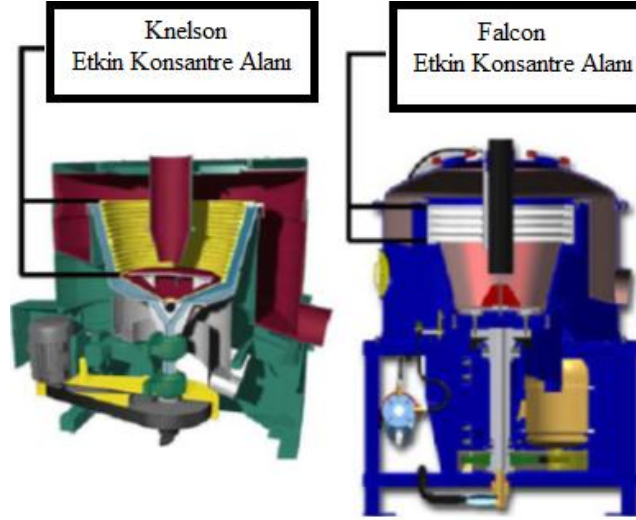
Cihaza üstten beslenen pülpe etki eden santrifüj kuvveti sonucunda ağır taneler oluklarda birikmektedir. Gang mineraller ise pülpün üst akışından dışarı atık olarak alınmaktadır. Cihazın modeline göre, konsantrenin boşaltılması işlemi kesikli ya da sürekli boşaltma olmak üzere değişkenlik göstermektedir [14,15].



Şekil 4.2 : Knelson ayırıcısının düşey kesiti [14].

KC'yi benzeri cihazlardan ayıran yanı; konsantre haznesinin oluk yapısı ve akışkanlığı sağlayan suyun konsantre haznesine teğetsel girişidir. Ayrıca şlam uzaklaştırmaya gerek kalmadan ayırım yapabilmektedir [15].

Knelson gibi santrifüjlü gravite ayırması yapan diğer bir cihaz da Falcon konsantratörüdür. Falcon'nun kazanım mekanizması Knelson'dan farklılık göstermektedir (Şekil 4.3).

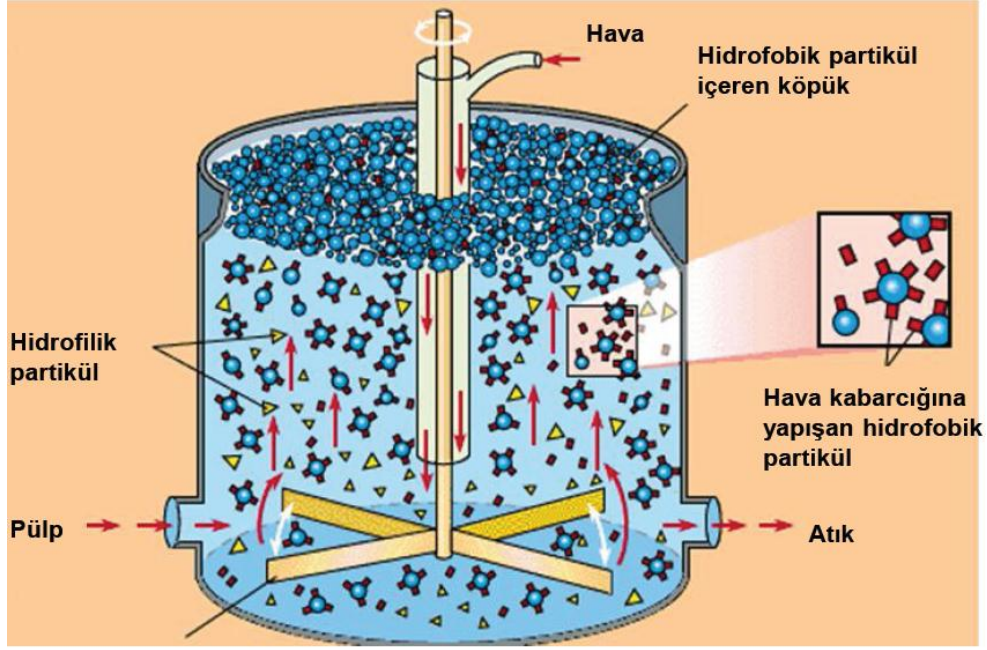


Şekil 4.3 : Falcon ve Knelson ayırıcılarının konsantre hazneleri [18].

Konsantre toplama haznesi oluk ve oluksuz yüzeylerden oluşmaktadır. Besleme cihaza pülp halinde yapılmaktadır. Düşey bir tüp yardımıyla toplama haznesinin içine beslenen pülp, santrifüj kuvvetinin etkisi ile konsantre haznesi yüzeyinde sınıflanarak toplanmaya başlamaktadır. Gang mineraller üst akımdan dışarı atık olarak alınmaktadır [16,17].

4.1.3 Flotasyon

Minerallerin yüzey/ara yüzey özelliklerinden yararlanılarak, değerli mineralin hava kabarcığına yapışarak yüzmesini sağlayıp, değersiz mineralin yüzmesini engelleme esasına dayanan zenginleştirme yöntemine flotasyon denmektedir. Flotasyondaki hedef; kazanılmak istenen değerli mineralin yüzeyini hidrofor (su sevmez) hale getirmektir. Bunun için mineralin yüzey gerilimini düşürmeye yarayan yüzey aktif maddelerinden yararlanılmaktadır. Gang mineral de hidrofil (su sever) hale getirilmeye çalışılarak, ıslatılmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Flotasyon hücresi [20].

Flotasyon esnasında oluşan köpüğe mineral parçacıklarının takılması, yüzey gerilimlerine bağlıdır. Yüzey gerilimi Young eşitliği (4.2) ile ifade edilmektedir.

$$\cos \theta = (\gamma_{MH} - \gamma_{SM}) / (\gamma_{HS}) \quad (4.2)$$

θ : Temas açısı

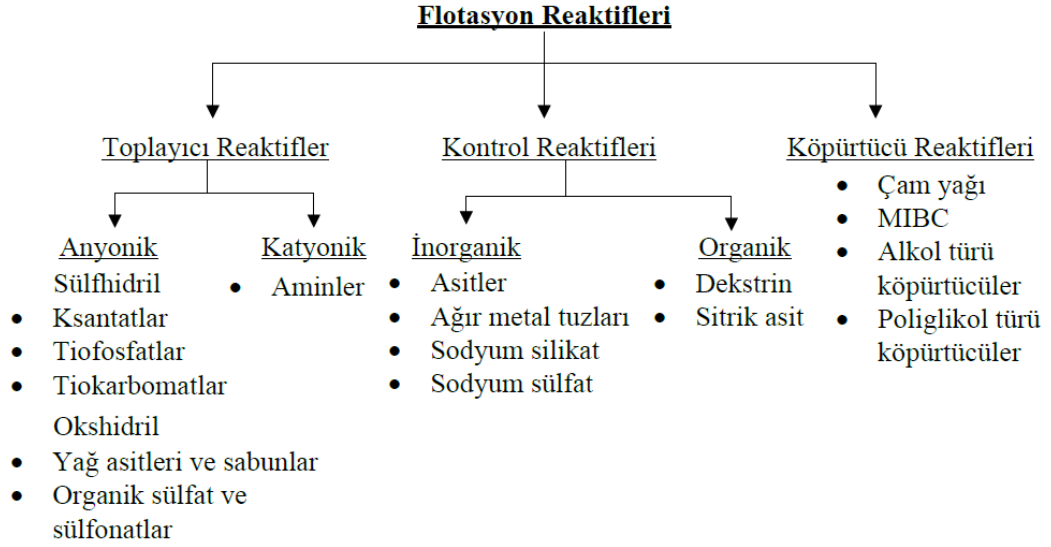
γ_{MH} : Mineral- hava yüzey gerilimi

γ_{SM} : Sıvı- mineral yüzey gerilimi

γ_{HS} : Hava-sıvı yüzey gerilimi

Flotasyon işlemi için çeşitli yüzey aktif maddelerinden yararlanılmaktadır. Bu yüzey aktif maddeleri kazanılması hedeflenen mineralin yapısına göre çeşitlilik göstermektedirler. Şekil 4.5’da flotasyon için kullanılan yüzey aktif maddelerinin sınıflaması yapılmıştır.

Toplayıcı yüzey aktif maddeleri (kollektörler); organik kimyasalları içeren geniş bir gruptur. Kollektörlerin temel görevi; pülp içinde minerallerin yüzeyinde seçimli olarak hidrofobik bir tabaka oluşturmak ve böylece mineralin hava kabarcığına yapışıp köpükle birlikte flotasyon hücresinden ayrılmasını sağlamaktır [19].



Şekil 4.5 : Flotasyon reaktifleri sınıflaması [27].

İyonik kollektörler suda çözünme yeteneklerine göre anyonik ve katyonik olarak sınıflandırılmaktadır. İyonik kollektörler heteropolar, hidrofobik ve hidrofilik yapıyı aynı anda içeren, organik moleküller içermektedirler. Ortaya çıkan yüke göre iyonik kollektörler, anyonik veya katyonik özellik göstermektedirler. Anyonik kollektörlerin yüzey aktif kısmı negatif yüke sahiptir. Katyonik kollektörleri yüzey aktif kısmı pozitif yüke sahiptir [20]. Flotasyon esnasından kullanılan yüzey aktif maddelerden bir diğeri de köpürtücülerdir. Köpürtücüler; heteropolar yüzey aktif bileşenler içermektedirler. Suyun yüzey gerilimini düşürerek, mineral tanesinin su-hava ara yüzeyinde absorblanmasını sağlamaktadırlar [19].

Flotasyon işleminde kullanılan diğer reaktif grubu da kontrol reaktifleridir. Bunlar; mineralin köpüğe yapışmasını sağlayarak canlandırma, gang mineralin köpüğe yapışmasını önleyerek bastırma, pülpün pH değerini kontrol ederek ve zararlı olan iyonları çöktürerek kollektörü koruma gibi farklı görevler üstlenmektedirler [12].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların amacı; kuyumculuk kökenli curuflardan geri kazanılamayacağı düşünülen altının fiziksel yöntemlerle geri kazanılmasıdır. Bu çalışmada; altın üretimi esnasında gerçekleştirilen pirometalurjik işlemler sonucunda ortaya çıkan curufta, pirometalurjik kazanım işlemleri de uygulandıktan sonra geriye kalan atık curuf, ham madde olarak kullanılmıştır.

5.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler

Deneysel çalışmalar aşağıda belirtilen ana başlıklar halinde ele alınmıştır. Bunlar;

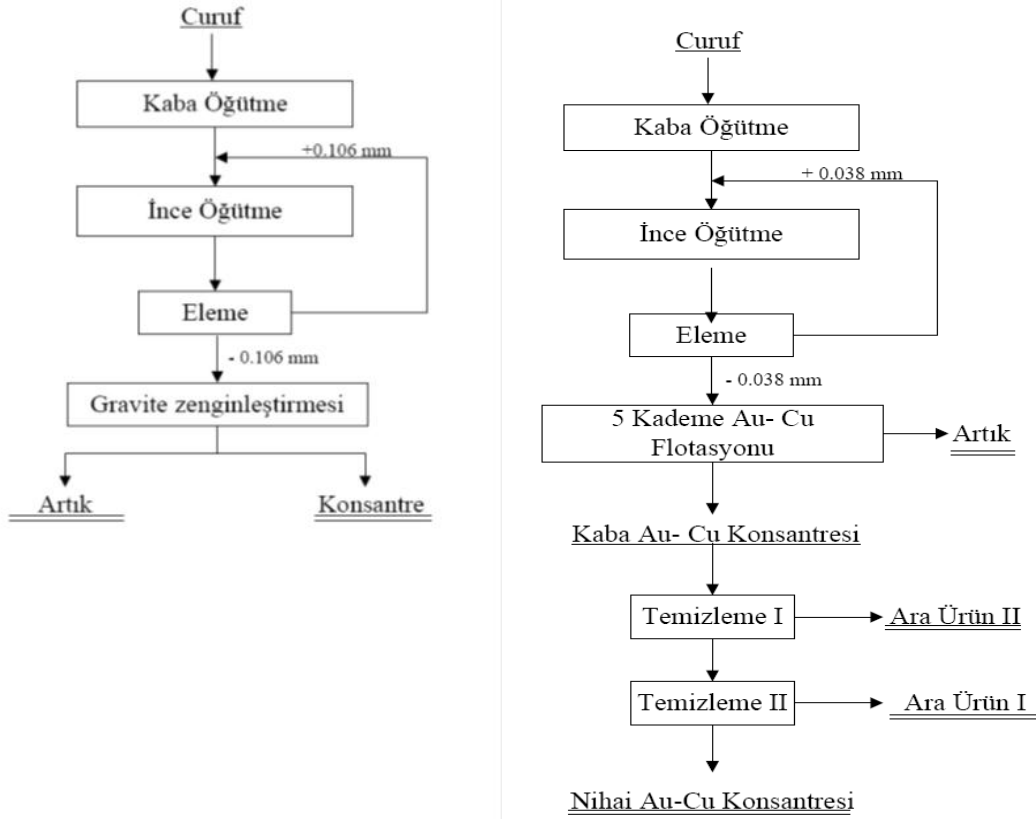
- numune alma standardizasyonu ve numune hazırlama,
- curufun yapısındaki metalik tanelerin serbestleşme boyutunu belirleme,
- fiziksel zenginleştirme,
- flotasyon aşamalarıdır.

Numune hazırlama işlem kademelerinden; ince öğütme işlemini gerçekleştirmek için bilyalı değirmen kullanılmıştır. Öğütülen numunenin tane boyut dağılımını saptamak veya diğer deneysel çalışmalara uygun tane boyutlu numune hazırlamak için laboratuvar test elekleri ve Retsch marka elek sarsma cihazı kullanılmıştır. Curufun yapısındaki metalik tanelerin serbestleşme boyutunun tayini için soğuk bakalite alınan numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri Presi Mecapol P230 parlatma cihazında yapılmıştır. Hazırlanan bu numunelerin görüntüleme işlemi için Olympus marka optik mikroskop kullanılmıştır. Fiziksel zenginleştirme işlemlerinden gravite zenginleştirme, Knelson firmasına ait KC-MD3 laboratuvar tipli santrifüjlü gravite ayırıcısı ve Falcon firmasına ait laboratuvar tipli santrifüjlü gravite ayırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda oluşan pülp halindeki konsantreleri, ara ürünleri ve artıkları toplamak için tava, varil, kova v.b. malzemeler kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinin yapımında; Humbolt Wedag laboratuvar tipi flotasyon makinesi, çeşitli hacimlerde flotasyon hücreleri, flotasyon reaktifleri (toplayıcı ve köpürtücü) hazırlamak için cam laboratuvar malzemeleri (balon joje,

çeşitli ölçülerde cam pipetler, beher, saat camı) kullanılmıştır. Flotasyon deneyleri esnasında pülpün pH değerlerinin ölçümü için ph metreden yararlanılmıştır. Gravite zenginleştirme ve flotasyon ve deneylerinde pülp halinde elde edilen ürünleri kurutmak için Test marka etüv, ayrıca malzeme tartımlarını gerçekleştirmek için de Kern marka terazi kullanılmıştır. Kimyasal analizler Perkin Elmer AAnalyst 800 atomik absorpsiyon spektrometresi cihazında yapılmıştır. Bazı örneklerde Thermo Scientific Niton XL3t X-Ray fraksiyon cihazından yararlanılarak ön analiz işlemi de gerçekleştirilmiştir, bu analiz yöntemi aynı zamanda bazı deney sonuçlarının doğrulanması amacıyla da kullanılmıştır.

5.2 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler

Deneyisel çalışmalarda uygulanan malzeme hazırlık aşamaları ve yöntemler akım şeması halinde Şekil 5.1 'de verilmektedir.



Şekil 5.1 : Flotasyon ve gravite ile zenginleştirme deneylerine ait akım şemaları.

5.3 Numune Alma ve Hazırlama

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan malzeme, numune alma ve çeşitli numune hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir.

5.3.1 Numune alma

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune, Onsa Rafineri'nin curuf stok sahasından homojen bir şekilde seçim yapılarak alınmıştır.

5.3.2 Kaba öğütme

Çalışmalarda kullanılan curuf, Onsa Rafineri'ye ait bilyalı değirmende kuru ortamda kaba öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

5.3.3 İnce öğütme

Kaba öğütme işleminden elde edilen +150 μm 'luk curuf bilyalı değirmende % 70 PKO'da yaş ortamda öğütülerek -38 μm boyutuna indirilmiştir.

5.3.4 Elek analizi

Kaba öğütme işlemi ardından curufun tane boyut dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde kullanılan boyut sıralaması şu şekildedir: 0.150 mm, 0.106 mm, 0.075 mm, 0.053 mm, 0.045 mm ve 0.038 mm. Tane boyutuna bağlı miktar dağılımı Çizelge 5.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Curufun tane boyut dağılımı analizi.

Tane Boyutu [mm]	Miktar [%]	Σ Elek Üstü [%]↓	Σ Elek Altı [%]↑
+0.150	25,4	25,4	100,0
-0.150+0.106	26,2	51,6	74,6
-0.106+0.075	27,9	79,4	48,4
-0.075+0.053	16,8	96,3	20,6
-0.053+0.045	2,7	98,9	3,7
-0.045+0.038	0,6	99,5	1,1
-0.038	0,5	100,0	0,5
Toplam	100,0		

5.4 Curufun Yapısı

Kuyumculuk işlemlerinde oluşan atıklardan altın geri kazanım amacıyla uygulanan pirometalurjik işlem adımlarında oluşan curuflardan bu tez çalışmasında kullanılan

curuf örneklerine uygulanan ön işlemler (pirometalurjik ve fiziksel) önceki bölümlerde Şekil 2.2 de verilen akış diyagramına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Curufa ait bazı fiziksel özellikler ve curufun genel kimyasal içeriği Çizelge 5.2 ve 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.2 : Curufun bazı fiziksel özellikleri.

Sertlik	[Mohs]	6.5
Yoğunluk	[g/cm ³]	2.83
Renk		Siyah
Görünüm		Camsı-homojen

Çizelge 5.3 : Curufun genel kimyasal bileşimi

Element	[%]
Na	17.95
Si	8.78
Al	8.01
Ca	5.63
B	5.09
Fe	4.83
K	1.86
Cu	0.32
Zn	0,29
Ni	0.02
Ag	0.005
Au	0.0033
O	47.21

Deneyisel çalışmalarda kullanılan curuflar, soda-boraks esaslı olup, yapılarında özellikle cila işlemlerinden ve yer tozlarından gelen Al₂O₃, SiO₂, CaO ve cila aşamalarında oluşan atıklardan, aşındırıcılardan ve fırça benzeri malzemelerden kaynaklanan FeO esaslı bileşimler içermektedirler. Curuflar ortalama olarak Mohs skalasında 6.4 – 6.7 sertlik değerlerine sahiptirler. Genel yapı itibari ile stabil karakterli olup, suda çözünen fraksiyon içermemektedir.

5.5 Curufun Yapısındaki Metalik Tanelerin Serbestleşme Boyutunu Belirleme

Fiziksel ayırma işlemleri ve flotasyon aşamasında en önemli faktörün curuf içinde kalan tanelerin serbestleşmesi olduğu gerçeğinden yola çıkılarak, curuf içinde mevcut metalik tanelerin serbestleşme boyutunun belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

5.6 Fiziksel Zenginleştirme Deneyleri

Tez kapsamında yapılacak olan fiziksel zenginleştirme işlemleri; eleme ve gravite zenginleştirilmesi olarak sıralanmıştır.

5.6.1 Boyuta göre sınıflandırma

Curufun boyutlandırılması için, 0.150 mm, 0.106 mm, 0.075 mm, 0.053 mm, 0.045 mm ve 0.038 mm boyutlu laboratuvar test elekleri kullanılmıştır. Elekler, tane boyutu en iri olandan en ince olana doğru üst üste sıralanmışlardır ve en alta da toplama haznesi yerleştirilmiştir. Hazırlanan elek seti, elek sarsma cihazına yerleştirilerek yüksek genlikte 15–30 dk. arasında değişen sürelerde eleme işlemine tabi tutulmuştur. Her eleğin üstünde kalan miktarın tartımı yapılmıştır. Son olarak elek altı toplama haznesinde kalan miktar da tartılmıştır.

5.6.2 Gravite zenginleştirilmesi deneyleri

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen gravite zenginleştirilmesi deneyleri kullanılan cihaz türünü bağlı olarak Knelson ve Falcon gravite zenginleştirilmesi deneyleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

5.6.2.1 Knelson gravite zenginleştirilmesi deneyleri

-0.106 mm, -0.053 mm ve -0.038 mm boyutlu malzemeler Knelson KC-MD3 laboratuvar tipi santrifüjlü gravite ayırıcısı ile zenginleştirilmişlerdir. Numuneler yaklaşık % 50 PKO olacak şekilde cihaza kesikli olarak beslenmiştir. -0.106 mm boyutunda 25 KPa, -0.053 mm boyutunda 15 KPa ve -0.038 mm boyutunda ise 10 KPa akışkanlaştırma suyu basıncı uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

-0.106 mm boyutlu malzeme ile farklı akışkanlaştırma suyu basınçlarında deneyler de gerçekleştirilmiştir. Numunelerin beslemesi PKO % 50 olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında akışkanlaştırma suyu basıncı 7 ve 15 KPa olarak ayarlanmıştır. Malzemelerin cihaza beslenmesi kesikli olarak yapılmıştır. Deney sonunda elde edilen ağır ürünler konsantre haznesinden temizlenerek, boşaltılmıştır. Hafif ürünler ise deney sırasında üstten taşma yoluyla pülp halinde, varillere toplanmıştır. Belli süre çökelmeleri için bekletilen ağır ve hafif ürünler, susuzlandırma işlemi ardından çelik tavalara alınarak etüvde kurumaya bırakılmışlardır.

5.6.2.2 Falcon gravite zenginleştirmesi deneyleri

Falcon santrifüjlü gravite ayırcısı ile -0.106 mm boyutunda elde edilebilecek Au konsantre tenörü araştırılmıştır. Bu nedenle değişik santrifüj kuvvetinde ve farklı geometrik şekle sahip konsantre tutma haznesi kullanılarak deneyler yapılmıştır.

-0.106 mm. boyutlu malzemeler % 25 P.K.O ve 0.5 lt/dak debi ile cihaza beslenmiştir. I. numune için 200g santrifüj kuvveti ve II. numune için ise 300g santrifüj kuvveti uygulanmıştır. I. ve II. deney numunelerine ait ağır ürünlerin düşük konsantre tenörüne sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenle; ağır ürünler II. zenginleştirme işlemi için tekrar aynı koşullarda cihaza beslenmiştir. Besleme haznesinde numune tükenince; cihazın konsantre haznesinde kalan ağır ürünler basınçlı su tabancası ile hazneden temizlenerek tavaya alınmıştır. Hafif ürünler ise; üstten taşma yoluyla cihazın çıkışında bulunan hortumdan kova içine toplanmıştır. Belli süre çökelmeleri için bekletilen ağır ve hafif ürünler, susuzlandırma işlemi ardından çelik tavalara alınarak etüvde kurumaya bırakılmışlardır.

5.7 Flotasyon Yöntemi ile Curuflardan Altın Kazanımı Deneyleri

Humboldt Wedag flotasyon makinesi kullanılarak -0.038 mm boyutlu 500g. numune ile pülpün doğal pH değerinde deneyler gerçekteştirilmiştir. Deneyler sırasında PKO % 17 olarak ayarlanmıştır. Deneylerde Cyctec firmasına ait Aerofloat 208, Aerophine 3418A, Aero 8761, Aero Mx 980 toplayıcı reaktifleri ve Oreprep F-523 köpürtücü reaktifi kullanılmıştır.

Aerofloat 208 ve Aero 8761; dithiofosfat türü ve Aerophine 3418A ise dialkali dithiofosfat türü toplayıcı reaktiflerdendir. Nabit altın, gümüş, bakır ve sülfürlü minerallerin flotasyonu için önerilmektedirler. Aero Mx 980 yapısında; alkoller, etherler ve aldehitler karışımı, karbamik asit, bütıl karbamat ve bütanol bulundurmaktadır. Platin grubu metallerin, nabit altının, bakırın ve gümüşün zenginleştirilmesinde önerilmektedir. Oreprep F- 523'ün yapısında alkol karışımları, ağır aldehitler, esterler ve poliglikoller yer almaktadır. Nabit altın, gümüş, bakır ve platin grubu metallerin flotasyonu için önerilmektedir.

Flotasyon deneyleri gerçekteştirilirken pülpün pH değerinin, toplayıcı reaktif miktarının ve toplayıcı reaktif çeşidinin etkisi incelenmiştir.

5.7.1 Pülp pH değerinin etkisi

Flotasyon deneylerinde kazanım oranına pülpün pH değerinin etkisini görmek amacıyla asidik ve bazik koşullara Aerofloat 208 ve Aerophine 3418A reaktifleri 50 g/t miktarlarında kullanılmıştır. Asidik pH değerine ulaşmak için flotasyon sırasında pülpe H₂SO₄ ilavesi yapılmıştır. Curuf, yapısı gereği bazik özellik taşıdığından, pülpün bazik pH değerine ulaşması için herhangi bir düzenleyici kullanmaya gerek duyulmamıştır. Deneyler 5 kademe kaba flotasyon ve 2 kademe temizleme devreleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.4 ve 5.5 'de deney koşulları görülmektedir.

Çizelge 5.4 : Asidik pH değeri deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	4.82-5.60
Aerofloat 208	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Aerophine 3418A	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.5 : Bazik pH değeri deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	10.28-10.71
Aerofloat 208	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Aerophine 3418A	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

5.7.2 Toplayıcı reaktif miktarının etkisi

Çalışmalar boyunca Cytotec firmasının ürettiği; Aerofloat 208, Aerophine 3418A, Aero 8761 ve Aero Mx 980 toplayıcı reaktifleri ve Oreprep F-523 köpürtücü reaktif kullanılmıştır. Aerofloat 208 ve Aerophine 3418A reaktiflerinden 50, 100 ve 150 g/t miktarlarında kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler; 5 kademe kaba flotasyon devresi ve 2 kademe temizleme devresinden oluşmaktadır. Çizelge 5.6, 5.7 ve 5.8 'de deneylere ait koşullar görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	10.28-10.71
Aerofloat 208	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Aerophine 3418A	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.7 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.80-10.75
Aerofloat 208	100+100+100+100+100+100+100 g/t
Aerophine 3418A	100+100+100+100+100+100+100 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.8 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.0-10.14
Aerofloat 208	150+150+150+150+150+150+150 g/t
Aerophine 3418A	150+150+150+150+150+150+150 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Aero 8761 reaktifinden 50, 100 ve 150 g/t miktarlarında kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler; 5 kademe kaba flotasyon devresi ve 2 kademe temizleme devresinden oluşmaktadır. Çizelge 5.9, 5.10 ve 5.11 'da deney koşulları gösterilmektedir.

Çizelge 5.9 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	10.10-10.70
Aero 8761	50+50+50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.10 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.90-10.54
Aero 8761	100+100+100+100+100+100+100 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.11 : Aero 8761 reaktifi deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.87-10.47
Aero 8761	150+150+150+150+150+150+150 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

5.7.3 Toplayıcı reaktif çeşidinin etkisi

Toplayıcı reaktifin etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda; Aero 8761-Aerophine 3418A, Aerofloat 208-Aerophine 3418A reaktifleri ikili şekilde, Aero Mx 980 reaktifi tek kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 5 kademe kaba flotasyon devresi ve 2 kademe temizleme devresi uygulanmıştır. Kaba flotasyon devresinde ve I.temizleme kademesinde 50 g/t toplayıcı reaktif, II. temizleme kademesinde ise 75 g/t toplayıcı reaktif kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.12, 5.13 ve 5.14 'de deney koşulları belirtilmiştir.

Çizelge 5.12 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.57-10.13
Aerofloat 208	50+50+50+50+50+50+75 g/t
Aerophine 3418A	50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.13 : Aero 8761 – Aerophine 3418A reaktifleri deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.52-10.18
Aero 8761	50+50+50+50+50+50+75 g/t
Aerophine 3418A	50+50+50+50+50 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

Çizelge 5.14 : Aero Mx 980 reaktifi deney koşulları.

Parametre	Miktar
Pülp pH Değeri	9.66-10.15
Aero Mx 980	50+50+50+50+50+50+75 g/t
Oreprep F-523	10+10+10+10+10+10+10 g/t
Kıvam süresi	5+3+3+3+3+3+3 dak.
Flotasyon süresi	5+4+3+3+3+6+5 dak.

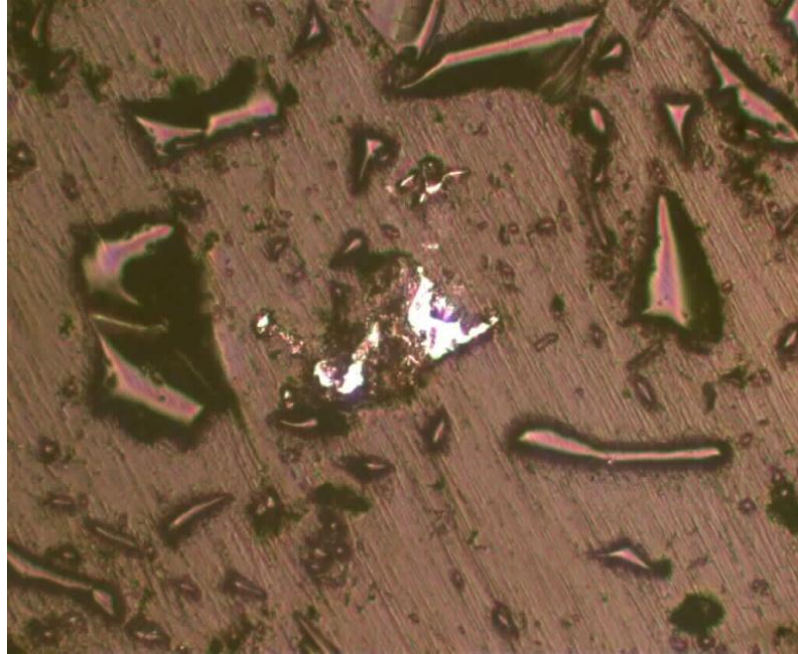
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Tez süresince yapılan deneysel çalışmalar; numune alma ve hazırlama, fiziksel zenginleştirme ve flotasyon deneyleri olarak sınıflandırılmıştır.

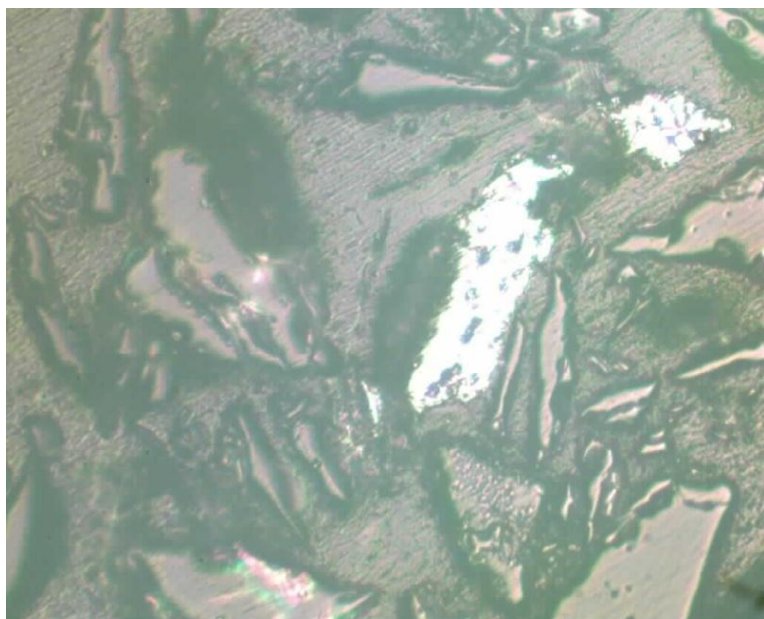
6.1 Elek Analizi Sonuçları

Curuf yapısında bulunan metalik altının tane boyut dağılımını tespit etmek üzere minerolojik karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

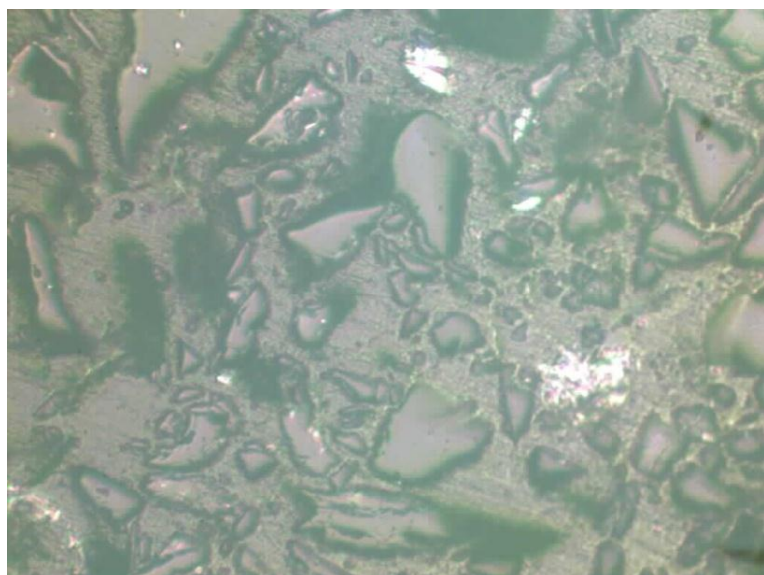
Kaba öğütme işlemi ardından elek analizi yapılan numunenin her boyut aralığı soğuk bakalite alındıktan sonra parlatma işleminden geçirilerek, optik mikroskop altında parlak kesit incelemesi gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop görüntülerinden metalik fazın $-38\ \mu\text{m}$ altında serbestleştiği tespit edilmiştir. Curufun yapısındaki metalik tane serbestleşme boyutuna ilişkin optik mikropkop görüntüleri Şekil 6.1’de görülmektedir.



(a)



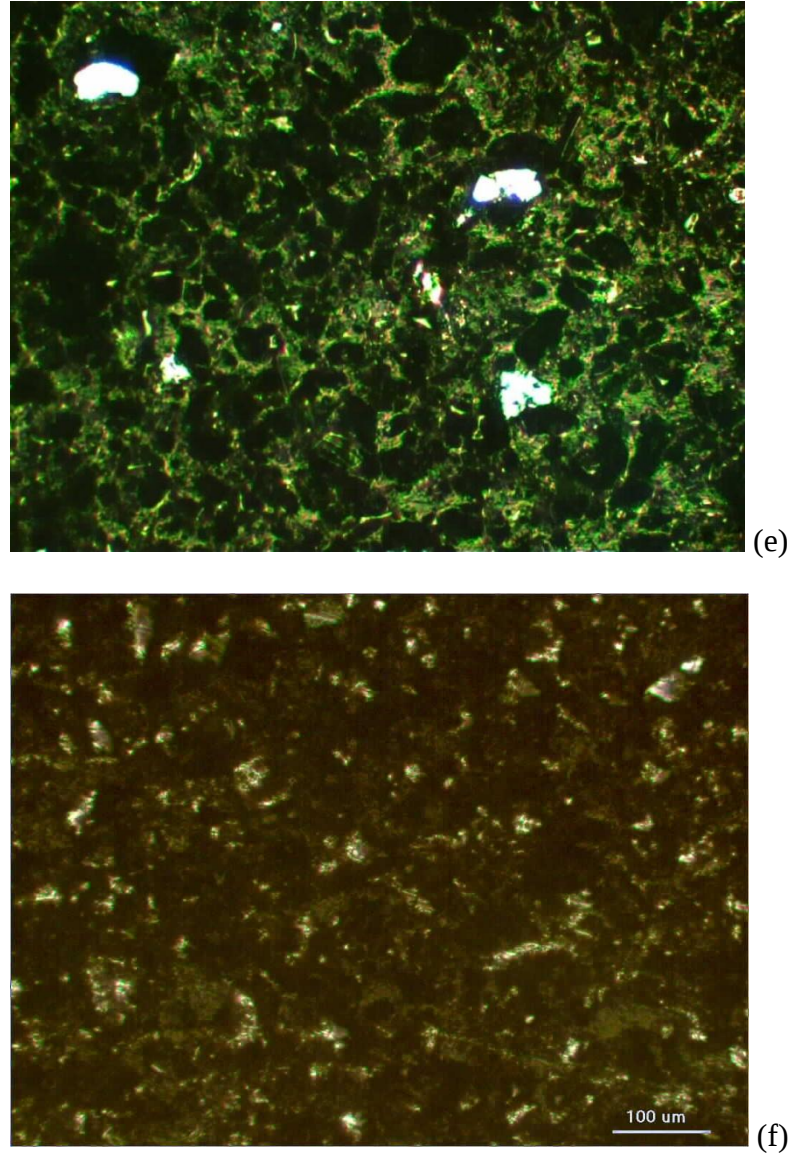
(b)



(c)

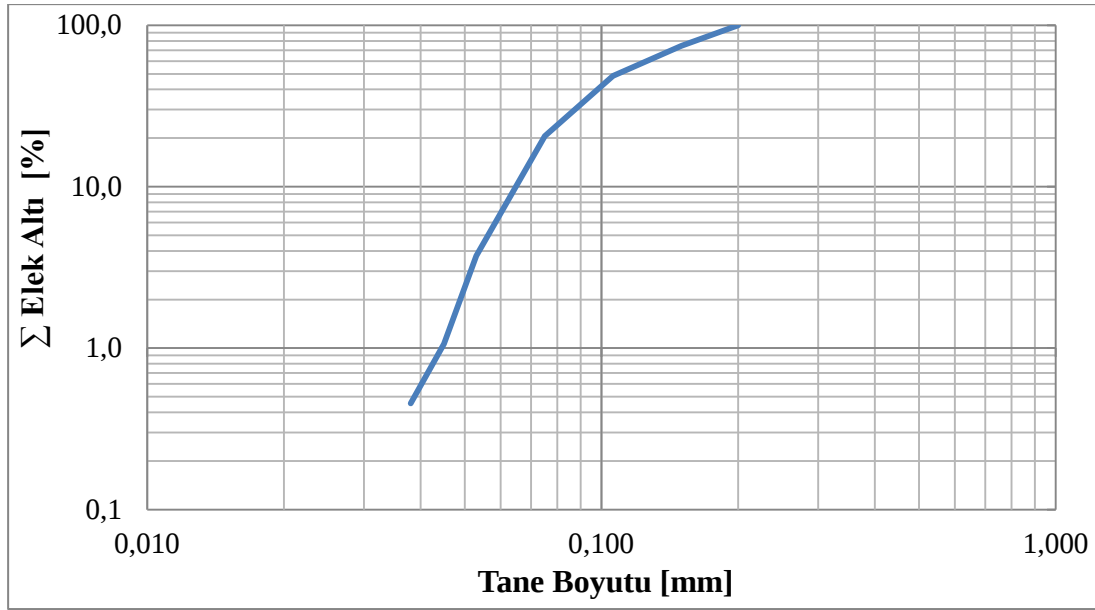


(d)



Şekil 6.1 : Farklı tane boyutu aralığına öğütülmüş curufun yapısındaki camsı faz ve metalik taneciklerin dağılımlarının parlak kesit görüntüleri: (a) $-150 + 106 \mu\text{m}$ [x10], (b) $-106 + 75 \mu\text{m}$ [x20], (c) $-75 + 53 \mu\text{m}$ [x20], (d) $-53 + 45 \mu\text{m}$ [x20], (e) $-45 + 38 \mu\text{m}$ [x10], (f) $-38 \mu\text{m}$ [x10].

Tane boyutuna bağlı olarak camsı faz ile altın içeren metalik yapıların dağılımı incelendiğinde tam anlamı ile tane serbestleşmesinin $-38 \mu\text{m}$ tane boyutunda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan kaba öğütülmüş curufun tane boyut dağılımı Şekil 6.2’de görülmektedir. Curufun % 80 ‘inin 0.160 mm altında, % 50’si ise 0.110 mm altında olduğu gözlenmiştir. Yapılan parlak kesit incelemesinde tespit edilen serbestleşme boyutuna ulaşmak ve -0.038 mm boyutlu malzeme elde etmek için ince öğütme işlemine karar verilmiştir.



Şekil 6.2 : Tane boyut dağılımı eğrisi.

6.2 Fiziksel Zenginleştirme Deneyleri Sonuçları

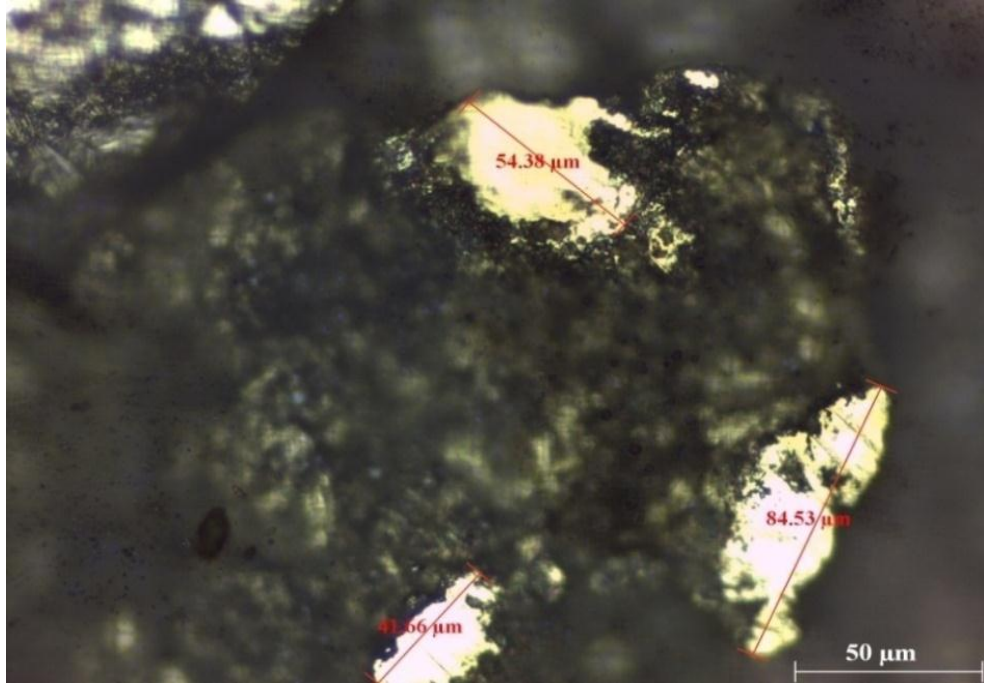
Fiziksel zenginleştirme deneylerinin sonuçları; eleme, gravite zenginleştirme ve flotasyon yöntemiyle curuflardan altın kazanımı deney sonuçları başlıklı kısımlarda verilmektedir.

6.2.1 Eleme sonuçları

Dünyadaki, curuflardan altın geri kazanımı amacıyla gerçekleştirilen uygulamalar dikkate alındığında; Outokumpu ve benzeri bakır üreten firmalarda; bakır üretim sistemlerinde bakırın bünyesinde toplamak suretiyle altın geri kazanılmaktadır. Rand Refinery (Güney Afrika) gibi büyük işletmelerde ise elektrik ark ocaklarında yüksek sıcaklıklarda yapılan ergitmeyle altının geri kazanımı gerçekleştirilmektedir. Ancak ülkemizde kuyumculuk atölyelerinde oluşan curufları işleyecek büyük bir rafinerimiz ve/veya geri dönüşüm işletmemiz bulunmamaktadır. Bu sebeple; klasik altın geri kazanımında uygulanan pirometalurjik ergitme işlemlerini uygulamaya olanak veren teknoloji ve yüksek sıcaklık sağlayan özel dizayn fırınların kullanımı da mevcut değildir. Türkiye 'de altın geri kazanımı işlemleri küçük ölçekli işletmelerde uygulanmaktadır. KOBİ özellikli işletmelerde; pota ocakları ve sadece sayılı işletmede; oksijenle zenginleştirilmiş hava kullanılması sebebiyle ulaşılan sıcaklık değerleri 1200°C civarında kalmaktadır. Diğer taraftan kullanılan potaların kapasiteleri ise yaklaşık 50-100 kg değerindedirler. Kullanılan bu ve diğer ilkel

uygulamalara bağılı olarak, curuf içinde bulunan altın taneciklerinin dibe ulaşabilmesi için gerekli süre ve düşük viskozite koşulları yaratılamamaktadır. Tüm bu etkenlere ilave olarak ergitme sonrası curufun dinlendirilmesi ve Stokes Yasası gereğince küçük tanelerin de dibe ulaşmasını beklemek, hem zaman yetersizliği hem de pota ömrünün kısılması nedeni ile gündeme dahi gelememektedir. Netice olarak; altın tanecikleri curuf içinde dağılmış halde kalmaktadırlar.

Çalışmanın bu bölümünde öğütme sonucunda yüzey alanı genişleyen metalik yapıları daha kırılğan olan curuf yapısından boyutsal olarak ayrılmasına ilişkin deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmalarda farklı tane boyutu aralıklarında değişken büyüklükte ve yapılarda altın içeren metalik yapılar tespit edilmiştir. Örneğin; eleme işlemleri esnasında curufun yapısında, zor öğünen ve elek altına geçirmede güçlük çıkaran, manyetik özelliğe sahip metalik yapı ve $-0.150 + 0.106$ mm boyut aralığında da elek üstünde metalik altın alaşımı gözlenmiştir. Optik mikroskop görüntüsü Şekil 6.3 'de görülmektedir.



Şekil 6.3 : $-0.150 + 0.106$ mm boyutlu curuftaki serbest altın taneleri [x50].

6.2.2 Gravite ile zenginleştirme deneyleri sonuçları

Gravite ile zenginleştirme deneyleri sonuçları; Knelson ve Falcon santrifüjlü gravite ayırıcılarıyla zenginleştirme deneyleri sonuçları olarak ayrılmıştır.

6.2.2.1 Knelson gravite zenginleştirme deneyleri sonuçları

Kuru ortamda öğütülen curuf örnekleri farklı tane boyutu aralıklarında tasnif edilerek gravite ile zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Önceki bölümlerde ele alındığı üzere tane boyutlu curufun yapısındaki altın tanecikleri tespit edilmesine karşın, etkin ayırım uygulanabilecek tane boyutu olarak -38 µm tespit edilmiştir (bakınız Şekil 6.1). Buna karşın, gravite ayırımında tam serbestleşme sağlanmadan da zenginleşmenin gerçekleşebileceği, dolayısıyla hem yüksek öğütme zamanı ve maliyetinden tasarruf edilebileceği hem de düşük tane boyutu aralığındaki sürüklenme problemi dikkate alınarak; -0.106 mm, -0.053 mm ve -0.038 mm tane boyutlu malzemelere, Knelson KC-MD3 laboratuvar tipi santrifüjlü gravite ayırıcısı ile gravite zenginleştirme uygulanmıştır. Deneylere ait sonuçlar Çizelge 6.1, 6.2 ve 6.3’de görülmektedir.

Çizelge 6.1 : -0.106 mm boyutunda gravite zenginleştirme
[25 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	D AĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	78,70	9,71	0,0109	0,0086	31,89	31,93	1,09
Artık	731,60	90,29	0,0025	0,0183	67,99		0,25
Beslenen	810,30	100,00	0,0032±%5	0,0269	99,88		0,32±%5

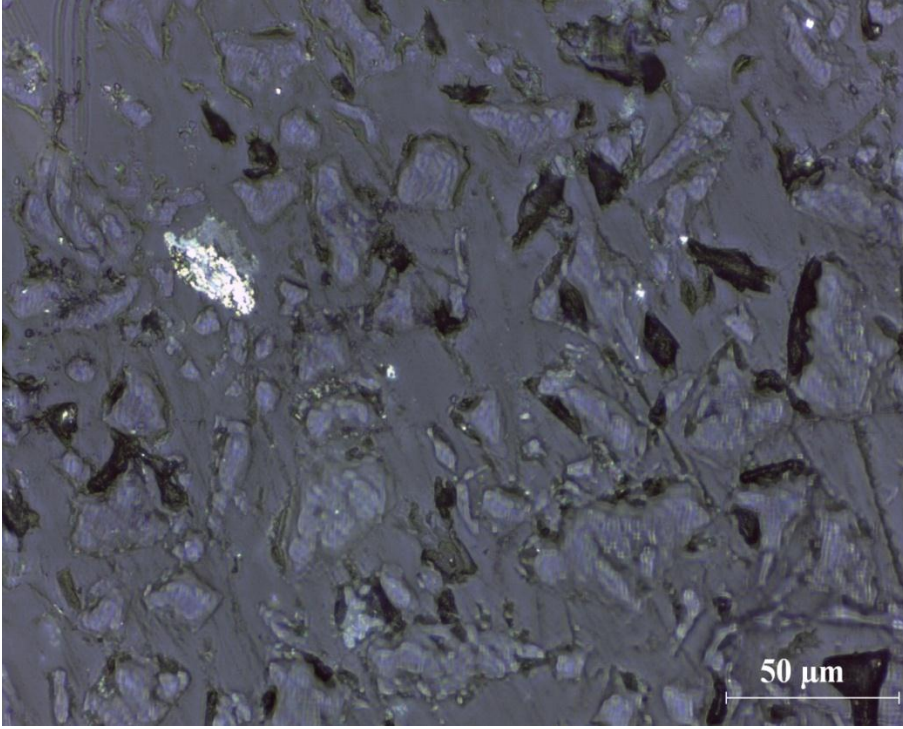
Çizelge 6.2 : -0.053 mm boyutunda gravite zenginleştirme
[15 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	17,70	4,03	0,0108	0,0019	11,49	11,52	1,08
Artık	421,00	95,97	0,0035	0,0147	88,23		0,35
Beslenen	438,70	100,00	0,0037±%1	0,0167	99,72		0,37±%1

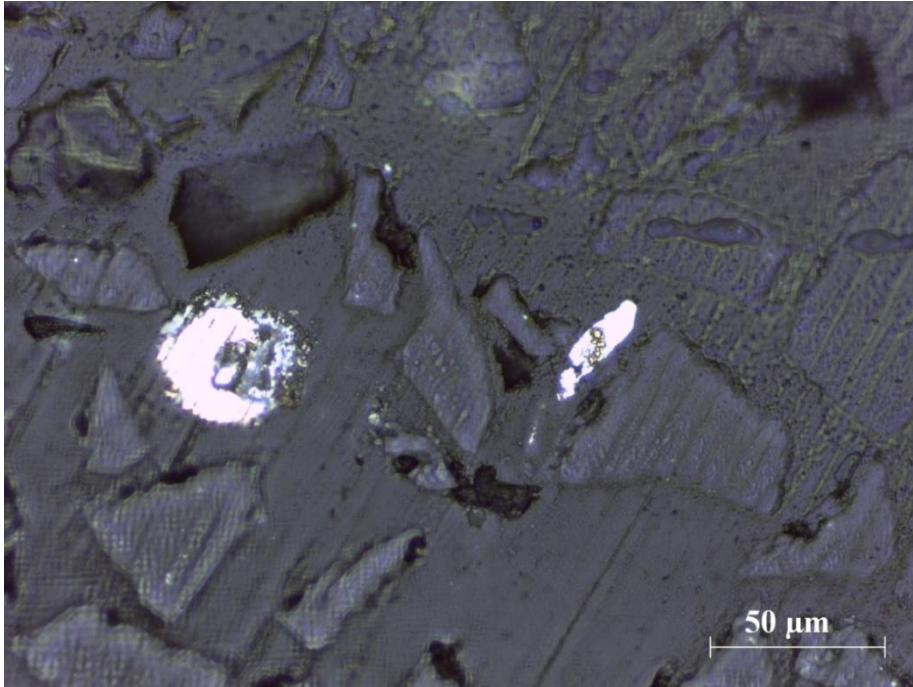
Çizelge 6.3 : -0.038 mm boyutunda gravite zenginleştirmesi
[10 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	30,60	8,69	0,0074	0,0023	14,33	14,36	0,74
Artık	321,50	91,31	0,0042	0,0135	85,46		0,42
Beslenen	352,10	100,00	0,0043±%5	0,0158	99,79		0,43±%5

Yapılan gravitasyon deneyleri sonucunda büyük tane boyutlu malzemelerin kullanılması ile elde edilen konsantrelerde altın konsantrasyonu % $0.0109 \pm \%1$ oranına ulaşabilmektedir. Buna karşın -38 μm malzeme ile elde edilen konsantre % 0.0074 seviyesinde kalmaktadır. -106 ve -53 μm tane boyutlu curuflarla yapılan gravite zenginleştirmesi deneylerinde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi besleme-konsantre ve artık bileşimlerinde elde edilen altın miktarları arasında yaşanan dengesizliktir. Bu etkinin nedeni Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’ te verilen Knelson gravite zenginleştirmesi artık ürünlerine ait parlak kesit incelemelerinden açıkça görülebilmektedir. Konsantre olarak elde edilen üründen kimyasal analiz için alınan numunelerde, bahsedilen iri metalik tanelerin bulunması durumunda hesaplamalarda çok yüksek altın oranlarına ulaşılmaktadır. Tez çalışması sürecinde kimyasal analizlerin tekrarlı olarak yaptırılmasına rağmen bu problem özellikle metalik altın içeren tanelerin deney numunesinde bulunması halinde altın içeren örneklemeler için aşılamamıştır. Bu nedenle curuf yapısında altın ve bakırın alaşım halinde bulunduğu ve buna bağlı olarak da genel yapı içinde Cu/Au oranının sabit olacağı yaklaşımı ile bakır analizleri ve bakır kazanım verimleri de incelenmiştir. Analiz değerlendirmelerine göre % dağılım sonuçlarında tekrarlılık problemi yaşanan deneylerde, bakır oranı baz alınarak sonuçlar altın için yaklaşımla yorumlanmıştır.

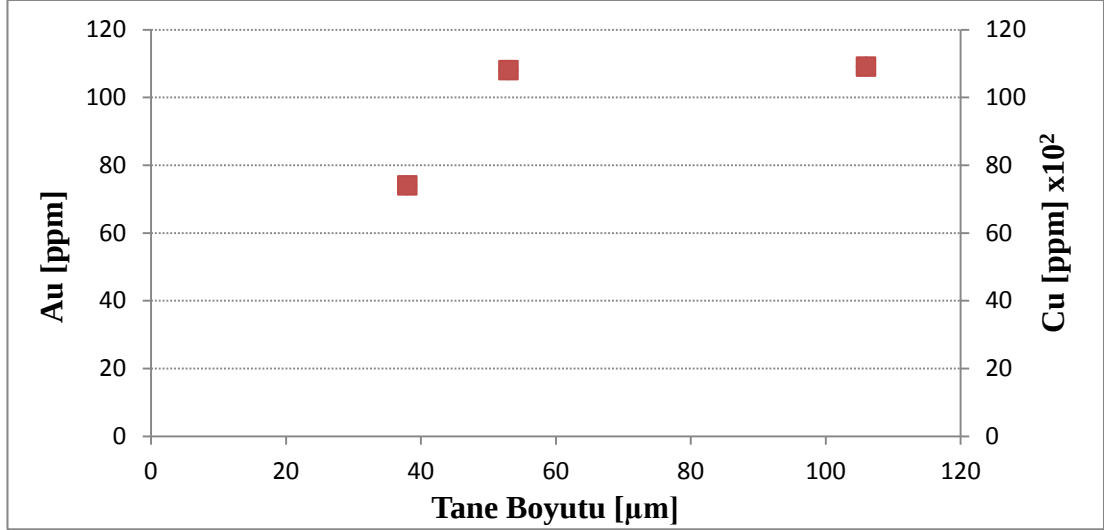


Şekil 6.4 : -53 µm Knelson gravite zenginleştirmesi artık ürününde parlak kesit çalışmasında tespit edilen altın taneciği [x50].



Şekil 6.5 : -106 µm Knelson gravite zenginleştirmesi artık ürününde parlak kesit çalışmasında tespit edilen altın taneciği [x50].

Her boyut için farklı akışkanlaştırma suyu basınçlarında yapılan zenginleştirmede, beslenen malzemenin Au tenörü göz önüne alındığında; konsantre tenöründe artış, artık tenöründe ise azalma gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda ulaşılan, tane boyutu ve konsantre tenörü arasındaki ilişki Şekil 6.6’de gösterilmektedir.



Şekil 6.6 : Altın ve bakıra ait tane boyutu- konsantre tenörü ilişkisi [% 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

Çizelge 6.1-6.3 ve Şekil 6.6’te verilen bakır kazanım oranları incelendiğinde altına benzer bir eğilimin bakır için de geçerli olduğunu söylemek mümkündür. İnce öğütülmüş malzemelerde gravite ayrımının başarı ile uygulanmadığı buna karşın daha büyük tanelerin kullanıldığı kaba öğütülmüş boyutlarda (-106 ve -53 μm) gravite ayrımının daha etkili çalıştığı görülmektedir. Deneyler esnasında geniş boyut aralığında beslenen malzemelerde şlam uzaklaştırma problemi yaşanmamıştır.

Genel olarak, gravite zenginleştirme deneylerinin tane boyutuna bağlı verimini yorumlamak gerekirse; gravite ile zenginleştirmede elde edilen konsantrede ulaşılan altın zenginleştirme oransal olarak tatmin edici seviyede kabul edilse bile, beslenen malzeme içinden kazanılan altın miktarı düşük kalmaktadır. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 ‘teki görüntüler incelendiğinde bağlı olarak camsı fazda hapsolmuş altın taneciklerinin kazanılamayıp, artığa kaçtığı görülmektedir. Bu veriler ışığında gravite zenginleştirme yöntemine yardımcı olarak ilave bir mekanizmanın kullanılmasının geri kazanım verimini artırabileceğini söylemek mümkündür.

Kaba öğütülmüş curuf ile yapılan gravite zenginleştirme deneylerinde uygulanan akışkanlaştırma suyu basınçları değiştirilerek -0.106 mm boyutunda yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.4, 6.5 ve 6.6’ da verilmiştir.

Çizelge 6.4 : -0.106 mm gravite zenginleştirme deneyi
[7 KPa basınç, % 50 PKO, 60 g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	71,20	10,81	0,0093	0,0066	29,46	29,46	0,93
Artık	587,20	89,19	0,0027	0,0159	70,54		0,27
Beslenen	658,40	100,00	0,0034±% 1	0,0225	100,00		0,34±%1

Çizelge 6.5 : -0.106 mm gravite zenginleştirme deneyi
[15 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	56,50	8,57	0,0131	0,0074	31,26	31,26	1,31
Artık	602,80	91,43	0,0027	0,0163	68,74		0,27
Beslenen	659,30	100,00	0,0034±%5	0,0237	100,00		0,34±%5

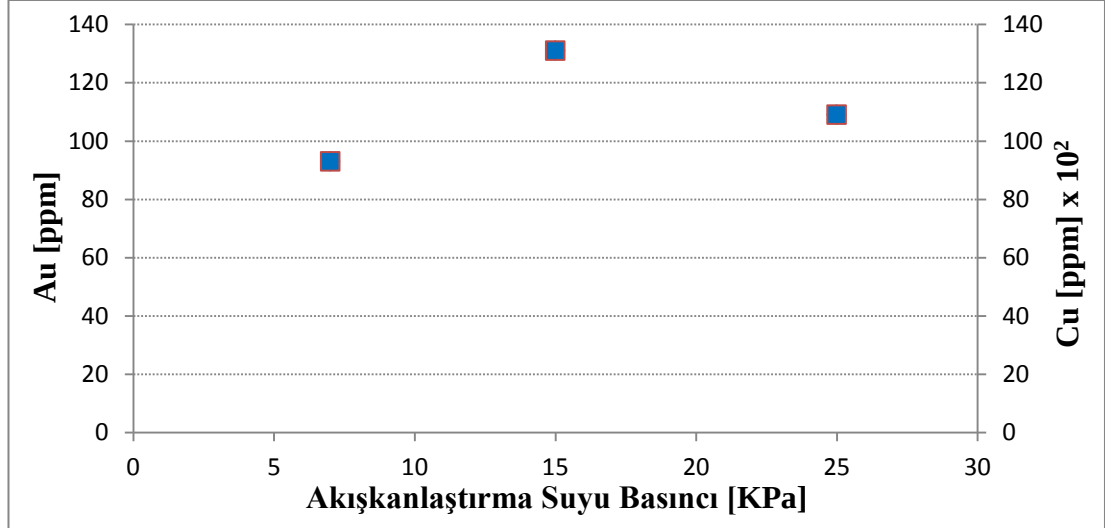
Çizelge 6.6 : -0.106 mm gravite zenginleştirme deneyi
[25 KPa basınç, % 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	78,70	9,71	0,0109	0,0086	31,89	31,93	1,09
Artık	731,60	90,29	0,0025	0,0183	67,99		0,25
Beslenen	810,30	100,00	0,0032±%5	0,0269	99,88		0,32±%5

-0.106 mm boyutunda farklı akışkanlaştırma suyu basınçlarında yapılan deneylerde 7 KPa ile 15 KPa basınçları arasında konsantre tenöründe artış gözlenmiştir. 25 KPa akışkanlaştırma suyu basıncında, 15 KPa’lık basınç değerinde yapılan deneye kıyasla konsantre tenöründe düşüş görülmüştür (Şekil 6.7).

PKO % 50 olan -106 µm. boyutlu malzeme ile yapılacak olan Knelson gravite zenginleştirmesinde uygun akışkanlaştırma suyu basıncının 15-25 KPa arasında olabileceği saptanmıştır.

Farklı akışkanlaştırma suyu basıncı uygulamasıyla elde edilen veriler incelendiğinde, konsantre içinde kazanılan altın miktarının 15-25 KPa aralığında değişim miktarının sabit olduğu ve prosesin bu basınç aralığında uygulanmanın endüstriyel olarak değişken koşullara rağmen çalışacağını ortaya koymaktadır.



Şekil 6.7 : Akışkanlaştırma suyu basıncı ve konsantre tenörü ilişkisi [% 50 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

Farklı basınç uygulamalarında elde edilen konsantrenin beslemeye oranı da bu tane boyutu aralığında sabit (% 10.0 ± 1.4) kalmaktadır. Konsantre edilebilen altın oransal olarak incelendiğinde ise beslemede mevcut altının 1/3'ünün kazanılabildiği görülmektedir. Bir önceki bölümde elde edilen sonuçlarla benzerlik gösteren bu oran, endüstriyel alanda çalışılması durumunda farklı bir uygulama gerekliliğini göstermektedir. Özellikle metalik tanelerin yassılaşmasına (yüzmeye neden olmaktadır) sebep olmayacak bir öğütme uygulaması ile geri kazanım oranının artırılabilirliğini söylemek mümkündür.

Altının analizinde yaşanan problemler nedeni ile doğrulama amaçlı olarak yapılan bakır analizlerinde elde edilen sonuçlar genel olarak altının davranışına benzer eğilim göstermektedirler.

6.2.2.2 Falcon gravite zenginleştirme deneyleri sonuçları

Falcon santrifüjlü gravite ayırıcısıyla I. numuneye uygulanan zenginleştirme deneylerinin sonuçları Çizelge 6.7 ve 6.8'de görülmektedir.

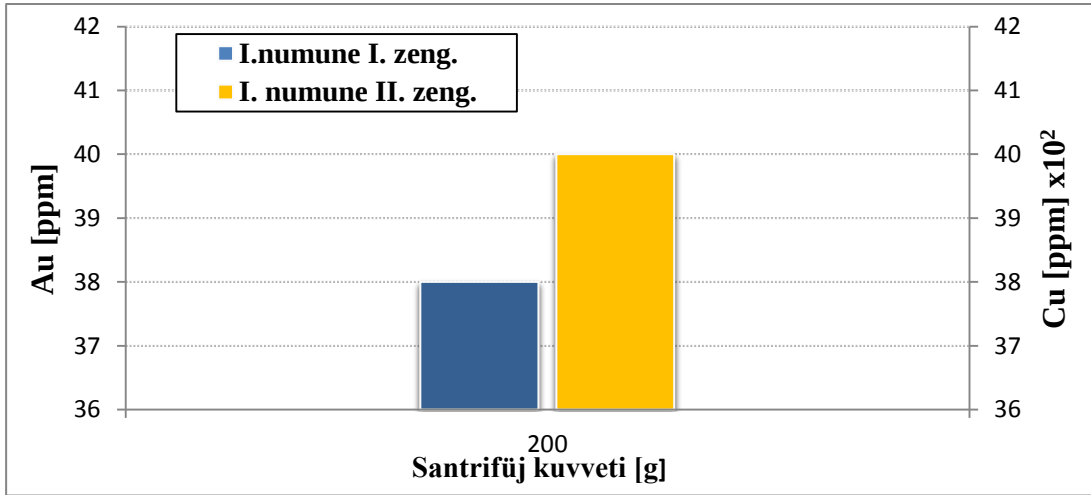
Çizelge 6.7 : I. numune I. zenginleştirme deney sonuçları
[% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	223,40	54,59	0,0038	0,0085	68,51	68,51	0,38
Artık	185,80	45,41	0,0021	0,0039	31,49		0,21
Beslenen	409,20	100,00	0,0030	0,0124	100,00		0,30

Çizelge 6.8 : I.numune II. zenginleştirme deney sonuçları
[% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	175,90	88,44	0,0040	0,0070	93,29	93,09	0,40
Artık	23,00	11,56	0,0022	0,0005	6,71		0,22
Beslenen	198,90	100,00	0,0038	0,0075	100,00		0,38

I. numunenin ilk zenginleştirmesinde elde edilen konsantre tenörünün besleme tenörünün % 26.7 fazlası olduğu tespit edilmiştir. I. zenginleştirme konsantresine II. zenginleştirme uygulandığında artış miktarının % 5.3 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, I.ve II. zenginleştirmede ulaşılan konsantre tenörleri Şekil 6.8’de belirtilmiştir.



Şekil 6.8 : Zenginleştirme kademesinin konsantre tenörüne etkisi
[% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].

Falcon santrifüjlü gravite ayırıcısıyla II. numuneye uygulanan zenginleştirme deneylerinin sonuçları Çizelge 6.9 ve 6.10’da görülmektedir.

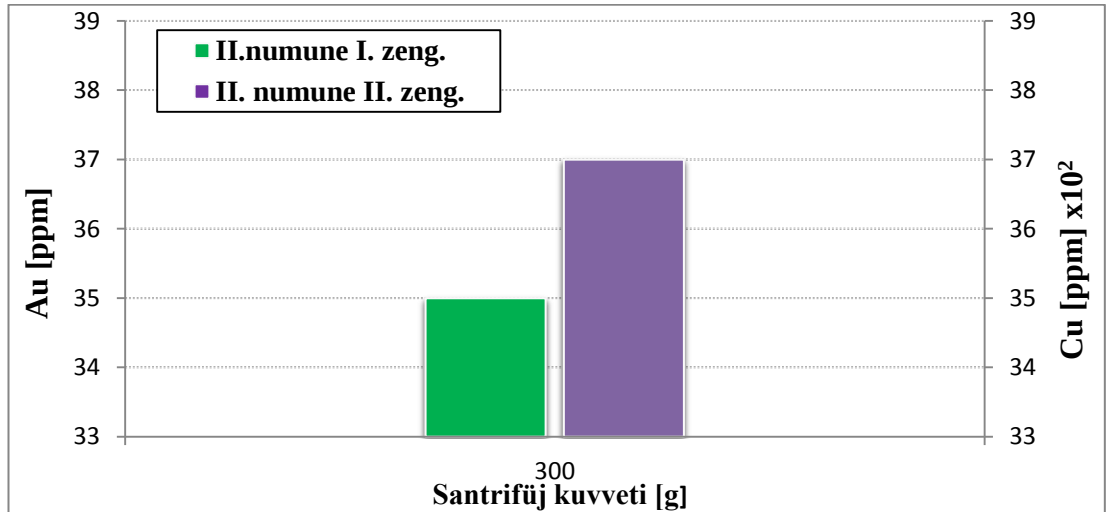
Çizelge 6.9 : II. numune I. zenginleştirme deney sonuçları
[% 25 PKO, 300g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	229,80	58,30	0,0035	0,0080	68,98	68,98	0,35
Artık	164,40	41,70	0,0022	0,0036	31,02		0,22
Beslenen	394,20	100,00	0,0030	0,0117	100,00		0,30

Çizelge 6.10 : II.numune II. zenginleştirme deney sonuçları
[% 25 PKO, 300g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	197,30	92,63	0,0037	0,0067	97,71	96,07	0,37
Artık	15,70	7,37	0,0019	0,0002	2,29		0,19
Beslenen	213,00	100,00	0,0036±%1	0,0069	100,00		0,36±%1

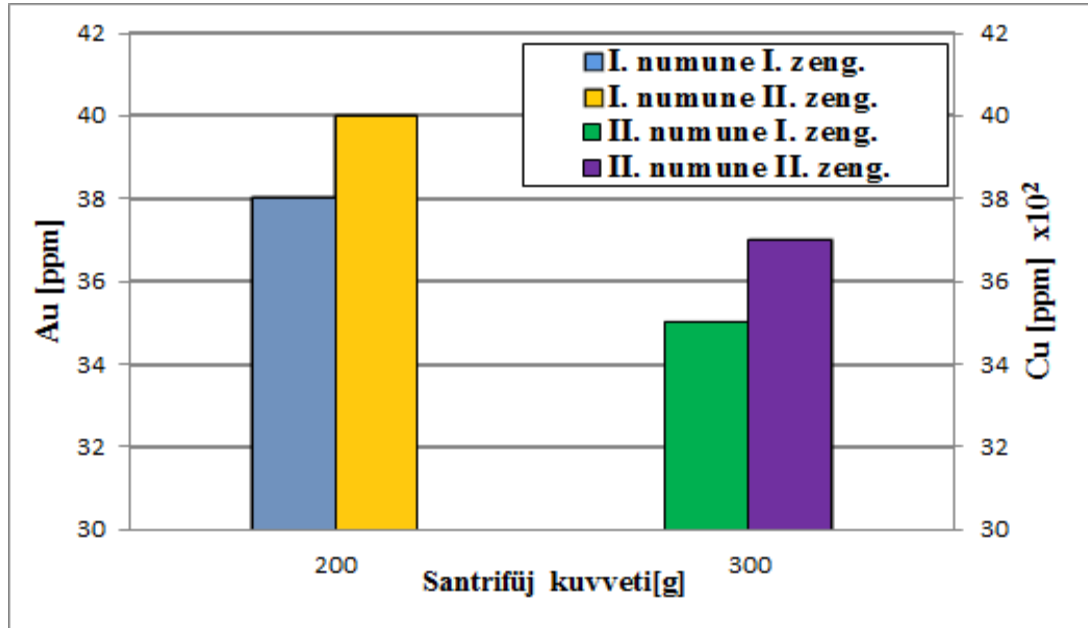
II. numuneye uygulanan I. zenginleştirmenin konsantre tenörüne bakıldığında besleme tenörünün % 16.7'si kadar fazla olduğu görülmüştür. I. zenginleştirme konsantresine uygulanan II. zenginleştirme de konsantre tenörünün % 5.7 kadar arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, I.ve II. zenginleştirmede ulaşılan konsantre tenörleri Şekil 6.9'te belirtilmiştir.



Şekil 6.9 : Zenginleştirme kademesinin konsantre tenörüne etkisi
[% 25 PKO, 200g santrifüj kuvveti].

I.ve II. numuneler aynı boyutta ve PKO'da olmasına rağmen uygulanan santrifüj kuvvetlerinin farklılığı nedeniyle; ağır ürünlerinin tenörlerinin aynı olmadığı

belirlenmiştir. Altının yoğunluğunun 19.63 g/cm^3 olduğunu göz önüne aldığımızda; santrifüj kuvvetinin artmasıyla kendinden hafif olan minerallerden daha etkin bir şekilde ayrılması beklenirken, konsantre tenöründe düşüş görülmüştür (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 : Santrifüj kuvvetinin konsantre tenörüne etkisi.

Falcon santrifüjlü gravite ayırıcısında gerçekleştirilen deney ile kıyaslamak amacıyla; kullanılan numune boyutu, miktarı ve PKO aynı tutularak, Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısında 5 KPa akışkanlaştırma suyu basıncı ve 60g santrifüj kuvveti kullanarak yapılan deneyin sonuçları Çizelge 6.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.11 : -0.106 mm gravite zenginleştirmesi deneyi sonuçları
[5 KPa, %25 PKO, 60g santrifüj kuvveti].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	74,80	18,68	0,0064	0,0048	36,12	36,12	0,64
Artık	325,70	81,32	0,0026	0,0085	63,88		0,26
Beslenen	400,50	100,00	0,0033	0,0133	100		0,33

Knelson ayırıcısı ile yapılan çalışmadan elde edilen konsantre tenörünün, Falcon ayırıcısıyla gerçekleştirilen deneyin konsantre tenöründen 1.6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Knelson ayırıcısının Falcon’a kıyasla daha iyi ayırım yapmasının nedeni; Knelson ayırıcısının sahip olduğu konik konsantre haznesine ve etkin konsantre alanının daha geniş olmasına bağlı olduğu görülmüştür.

Laplanter (1993), “A comparative study of two centrifugal concentrators” çalışmasında Knelson ve Falcon ayırıcılarının farklı kazanım mekanizmalarına sahip olduklarından ve bu nedenle de Knelson ayırıcısının -75 µm, geniş boyut aralığında, malzemelerden altın kazanım veriminin daha iyi olduğundan bahsetmektedir.

6.3 Flotasyon Yöntemi ile Curuflardan Altın Kazanımı

Bilindiği üzere, sülfürlü cevherlere uygulanan flotasyon tekniği son yıllarda özellikle nabit metallerin eldesine yönelik olarak öncü araştırmalar halinde sürdürülmektedir. [23]. Bu çalışmada zenginleştirmenin ikinci adımı olarak flotasyon yöntemi uygulanmıştır. Flotasyon deneylerinde; pülpün pH değerinin, toplayıcı reaktif miktarının ve toplayıcı reaktif çeşidinin altın kazanımına etkisi değerlendirilmiştir.

6.3.1 Pülpün pH değerinin etkisi

Flotasyonda kullanılan reaktiflerin yüzey ıslatma özelliklerinin ve sıfır yük (zero charge) potansiyellerinin çözelti pH değerine bağlı olarak değişmesinden ötürü pülpün, asidik ve bazik pH değerine sahip olduğu koşullarda flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 6.12 ve 6.13’de verilmektedir.

Çizelge 6.12 : Asidik pH değeri deneyi sonuçları [pH= 4.82-5.60].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	1,50	0,30	0,0322	0,0005	2,76	12,03	3,22
Ara Ürün	22,50	4,71	0,0096	0,0022	12,34		0,96
Artık	478,00	95,22	0,0031	0,0148	84,67		0,31
Beslenen	502,00	100,00	0,0035	0,0175	99,78		0,35

Asidik koşullarda yapılan flotasyonda, temizleme kademesine geçilecek miktarda konsantre eldesi sağlanamadığından konsantre ve ara ürün alınmıştır. Alınan konsantredeki zenginleşme oranı başlangıç konsantrasyonunun yaklaşık 10 katıdır.

Çizelge 6.13 : Bazik pH değeri deney sonuçları [pH= 10.28-10.71].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	19,60	3,94	0,0296	0,0058	30,06	33,33	2,96
II. Ara Ürün	73,50	18,82	0,0032	0,0024	12,19		0,32
I. Ara Ürün	14,40	2,89	0,0041	0,0006	3,06		0,41
Artık	390,50	78,41	0,0027	0,0105	54,63		0,27
Beslenen	498,00	100,00	0,0037±%5	0,0193	99,94		0,37±%5

Buna karşın elde edilen konsantre miktarı çok az olduğundan, altın geri kazanım verimi çok düşük kalmaktadır. Benzer durum bakır için de geçerlidir. Ara üründe kısmen bir zenginleşme (yaklaşık 4 kat) söz konusudur. Ara üründe gerçekleşen bu zenginleşme çok kademeli flotasyon işlemlerinde anlam taşımaya rağmen, endüstriyel uygulamada ara ürün içinde kalan altın miktarının toplam beslemede bulunan altın miktarına oranı çok da büyük değildir. Bu nedenle doğası gereği zaten bazik pülp oluşturan soda-boraks curuflarında, asidik koşullarda flotasyon uygulaması yetersiz görünmektedir. Asidik koşulların sağlanması için harcanan reaktiflerin yüksekliği, flotasyon sürecinde curufun kısmi de olsa çözünürlük gösterme davranışı ve curufların doğaları gereği (soda-boraks esaslı) bazik karaktere sahip olmaları nedeniyle, deneysel çalışmaların asidik koşullarda sürdürülmemesine karar verilmiştir.

Bazik pH değerinde yapılan deneylerde konsantre tenörü asidik pH değerinden düşük olmasına karşın, artık ve ara ürün tenörlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bazik koşullarda elde edilen I. konsantrede zenginleşme yaklaşık olarak 10 kattır. Elde edilen 2 farklı ara üründe sadece kısmi bir zenginleşme gerçekleşmektedir. Buna karşın altın kazanımı toplam tüm flotasyon kademeleri sonunda (5 kaba + 2 temizleme kademesi) % 33 seviyelerine ulaşabilmektedir. Curufun yapısı gereği de bazik oluşu göz önüne alınarak, deneylerin pülp doğal pH değerinde yapılmasına karar verilmiştir.

6.3.2 Toplayıcı reaktif miktarının etkisi

Aerofloat 208 ve Aerophine 3418A reaktiflerini birlikte farklı miktarlarda kullanarak yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.14, 6.15 ve 6.16' de gösterilmektedir.

Çizelge 6.14 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları
[50 g/t, 7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	19,60	3,94	0,0296	0,0058	30,06	33,33	2,96
II. Ara Ürün	73,50	18,82	0,0032	0,0024	12,19		0,32
I. Ara Ürün	14,40	2,89	0,0041	0,0006	3,06		0,41
Artık	390,50	78,41	0,0027	0,0105	54,63		0,27
Beslenen	498,00	100,00	0,0037±%5	0,0193	99,94		0,37±%5

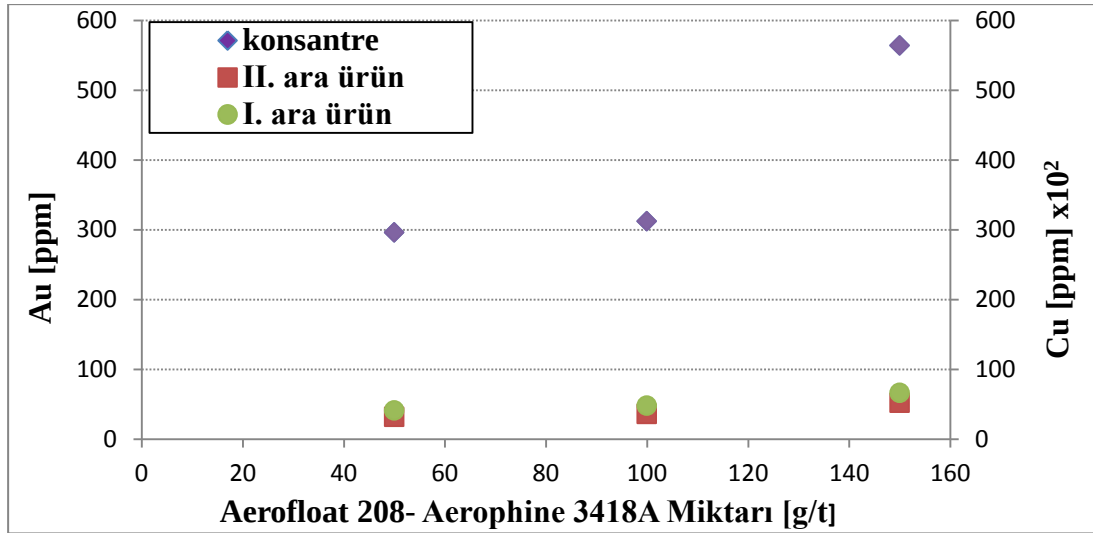
Çizelge 6.15 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları
[100 g/t, 7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	14,30	2,88	0,0312	0,0045	28,24	33,26	3,12
II.Ara Ürün	36,70	8,40	0,0036	0,0013	8,36		0,36
I.Ara Ürün	8,70	1,75	0,0048	0,0004	2,64		0,48
Artık	436,80	87,98	0,0022	0,0096	60,82		0,22
Beslenen	496,50	100,00	0,0033±%5	0,0158	100,06		0,33±%5

Çizelge 6.16 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları
[150 g/t, 7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%]	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	7,70	1,57	0,0564	0,0043	24,54	32,25	5,64
II. Ara Ürün	41,00	9,40	0,0052	0,0021	12,05		0,52
I. Ara Ürün	4,80	0,98	0,0066	0,0003	1,79		0,66
Artık	436,20	89,07	0,0025	0,0109	61,61		0,25
Beslenen	489,70	100,00	0,0036	0,0177	99,98		0,36

Reaktif miktarının artırılması ile birlikte konsantrenin Au ve orantılı olarak Cu tenöründe artış görülmüştür (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 : Toplayıcı reaktif miktarının tenöre etkisi
[50, 100, 150 g/t Aerofloat 208- Aerophine 3418A].

Toplayıcı reaktif miktarının 150 g/t olarak kullanıldığı deneyde konsantre tenörü % 0.0564'e kadar yükseltilmiştir. Beslenen malzemenin tenörü ile oranlandığında yaklaşık 16 kat bir zenginleştirme gerçekleşmiştir. Toplayıcı reaktif miktarı arttıkça kazanılan konsantrenin miktarı ve buna bağlı olarak konsantrenin bünyesindeki altının miktarsal dağılımının düştüğü gözlenmiştir.

Reaktif miktarının ara ürünler üzerindeki etkisine bakıldığında, genel olarak reaktif miktarının artışı ile elde edilen ara ürünlerin ağırlıklarında azalma gerçekleşirken, ara ürünlerde kalan altın miktarında artış (bakınız Şekil 6.11) olduğu gözlenmiştir. Temizleme kademelerinde eklenen reaktif miktarlarının kaba flotasyon kademeleri ile aynı olması sonucu olarak ara ürünlerde etkili bir temizleme yapılamadığı izlenimi oluşmuştur. Endüstriyel uygulamalarda kaba flotasyon devresindeki kademe sayısı artırılarak ve temizleme devrelerinde eklenecek toplayıcı reaktif miktarlarının da kademeli bir şekilde artışı sağlanırsa, daha iyi sonuçlar alınabileceği ön görülmektedir. Sonuç olarak; flotasyonun her kademesinde toplayıcı reaktif eklemesi uygulamasının konsantre tenörünü arttırmada etkisi olduğu gözlenmiştir.

Aero 8761 toplayıcı reaktifi ile yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 6.17, 6.18 ve 6.19' de gösterilmektedir.

Çizelge 6.17 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [50 g/t,7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	24,4	4,91	0,0139	0,0034	19,60	24,61	1,39
II. Ara Ürün	92,3	26,28	0,0033	0,0030	17,61		0,33
I. Ara Ürün	29,3	5,89	0,0036	0,0011	6,10		0,36
Artık	351,2	70,64	0,0028	0,0098	56,84		0,28
Beslenen	497,2	100,00	0,0035	0,0173	100,15		0,35

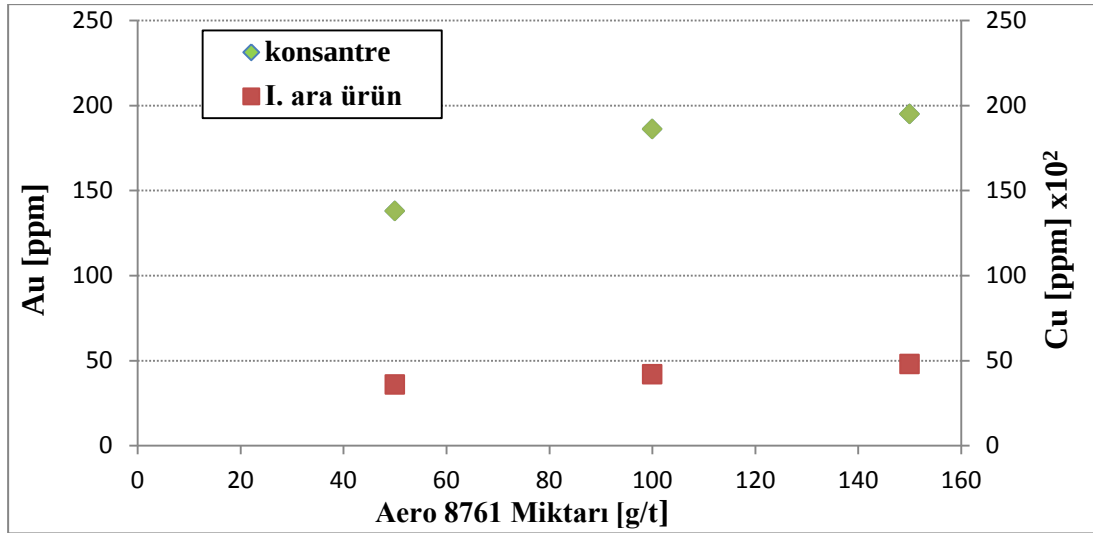
Çizelge 6.18 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [100 g/t,7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	18,5	3,79	0,0186	0,0034	19,22	24,46	1,86
II. Ara Ürün	90,3	25,99	0,0033	0,0030	16,65		0,33
I. Ara Ürün	32,4	6,63	0,0042	0,0014	7,60		0,42
Artık	347,5	71,11	0,0029	0,0101	56,30		0,29
Beslenen	488,7	100,00	0,0037	0,0179	99,77		0,37

Çizelge 6.19 : Aero 8761 reaktifi deney sonuçları [150 g/t,7 kademe flot.].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	21,7	4,42	0,0195	0,0042	24,32	36,54	1,95
II. Ara Ürün	153,6	52,91	0,0032	0,0049	28,25		0,32
I. Ara Ürün	25,9	5,27	0,0048	0,0012	7,14		0,48
Artık	290,3	59,06	0,0024	0,0070	40,04		0,24
Beslenen	491,5	100,00	0,0035	0,0174	99,75		0,35

Diğer reaktiflerle yapılan deneyler de olduğu gibi Aero 8761 reaktifinin de miktarını arttırdıkça konsantrenin Au ve orantılı olarak Cu tenöründe artış görülmüştür (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 : Toplayıcı reaktif miktarının tenöre etkisi
[50, 100, 150 g/t Aero 8761].

Toplayıcı reaktif miktarının 150 g/t olarak kullanıldığı deneyde en yüksek tenörlü konsantre eldesi sağlanmış ve tenör % 0.0195'e yükselmiştir. Deneyler boyunca elde edilen konsantre tenörleri beslemeye oranlandığında 4-6 kat arasında değişen zenginleştirme değerleri tespit edilmiştir. Reaktif miktarının artışına bağlı olarak I. ara ürünlerin tenöründeki artış; temizleme kademelerinde eklenen reaktif miktarlarının kaba flotasyon kademeleri ile aynı olmasının sonucu olarak ara ürünlerde etkili bir temizleme yapılamadığı izlenimini oluşturmuştur.

6.3.3 Toplayıcı reaktif çeşidinin etkisi

Aerofloat 208-Aerophine 3418A, Aero 8761-Aerophine 3418A ve Aero Mx 980 toplayıcı reaktifleri kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.20, 6.21 ve 6.22'de görülmektedir.

Çizelge 6.20 : Aerofloat 208 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları
[Kaba devre ve, I.temizleme 50 g/t, II.temizleme 75 g/t].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	15,1	3,04	0,0318	0,0048	27,60	37,06	3,18
II. Ara Ürün	63,5	15,82	0,0040	0,0025	14,60		0,40
I. Ara Ürün	15,8	3,19	0,0051	0,0008	4,63		0,51
Artık	401,5	80,96	0,0023	0,0092	53,07		0,23
Beslenen	495,9	100,00	0,0035	0,0174	99,90		0,35

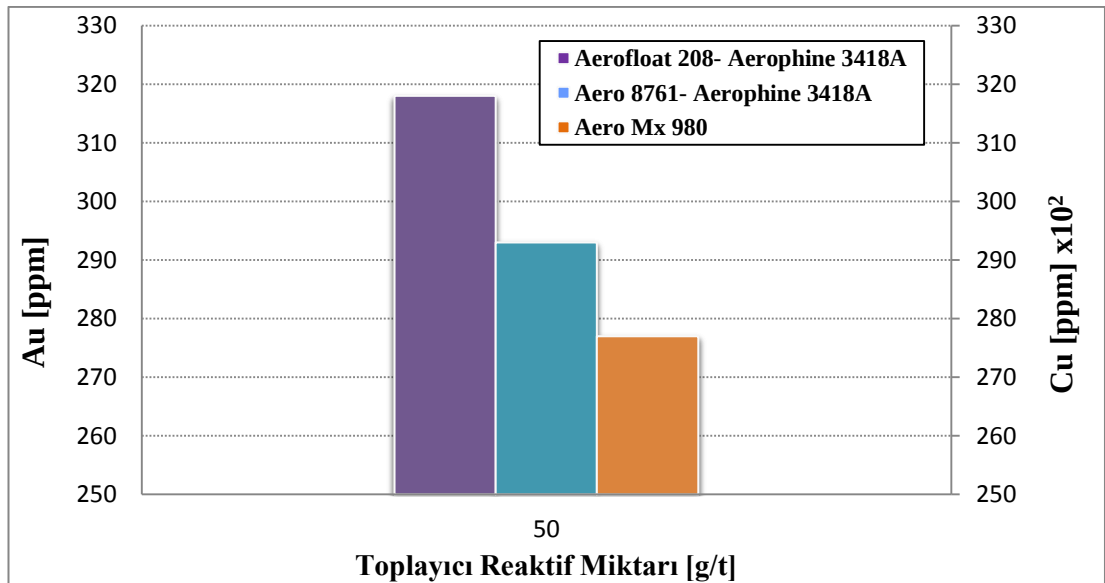
Çizelge 6.21 : Aero 8761 - Aerophine 3418A reaktifleri deney sonuçları
[Kaba devre ve I.temizleme 50 g/t, II.temizleme 75 g/t].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	16,5	3,31	0,0293	0,0048	27,31	32,66	2,93
II. Ara Ürün	41,5	9,65	0,0041	0,0017	9,61		0,41
I. Ara Ürün	9,8	1,97	0,0047	0,0005	2,60		0,47
Artık	430	86,38	0,0025	0,0108	60,73		0,25
Beslenen	497,8	100,00	0,0036	0,0177	100,26		0,36

Çizelge 6.22 : Aero Mx 980 reaktif deney sonuçları
[Kaba devre ve I.temizleme 50 g/t, II. temizleme 75 g/t].

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		Au [%]	DAĞILIM [Au]		VERİM [%] Au	Cu [%]
	[g]	[%]		[g]	[%]		
Konsantre	20,1	4,02	0,0277	0,0056	31,28	38,38	2,77
II. Ara Ürün	89,8	24,26	0,0031	0,0028	15,64		0,31
I. Ara Ürün	20,3	4,06	0,0044	0,0009	5,02		0,44
Artık	370,2	73,98	0,0023	0,0085	47,83		0,23
Beslenen	500,4	100,00	0,0035	0,0178	99,77		0,35

Aerofloat 208- Aerophine 3418A çifti ile Aero 8761 –Aero 3418A toplayıcı reaktif çifti ile yapılan deneyler kıyaslandığında hem konsantredeki Au tenör atışı, hem de artıktaki Au miktarının azalması bakımından, Aerofloat 208- Aerophine 3418A toplayıcı reaktif çifti ile yapılan deneyin daha etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 : Toplayıcı reaktif çeşidinin konsantre tenörüne etkisi [50 g/t].

Bu deneylerde göze çarpan bir nokta ise temizleme devresinde eklenen reaktif miktarının kademeli olarak arttırılmasına karşın ara ürünlerde beklenen Au düşüşünün sağlanamamış olmasıdır. Aerofloat 208 ve Aero 8761 reaktiflerinin kullanıldığı deney çiftlerindeki konsantre tenörleri arasında fark olmasına karşın konsantrelerdeki altın dağılımlarının yaklaşık aynı oranda olduğu saptanmıştır.

Yukarıda bahsedilen deneyler Aero Mx 980 reaktifi ile yapılan deneyle kıyaslanacak olursa; konsantredeki altın tenörü açısından ele alındığında diğer iki reaktif çiftine göre düşük seviyede görünmektedir. Au dağılımı açısından bakıldığında; en yüksek miktarsal dağılım değerine ulaşılan deney olarak Aero Mx 980 göze çarpmaktadır. Aynı zamanda ara ürünlerde ve artıktaki altın tenörlerinin bu deneyde düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Tüm bunlara bağlı olarak % 38.38 Au kazanma verimi ile de Aero Mx 980 ile çalışmanın benzer şartlarda yapılan deneylerden daha verimli olduğu görülmüştür.

Acarkan ve arkadaşlarının (2010), kompleks Pb-Zn cevherine flotasyon işlemi uygulayarak Au-Ag kazanımı araştırdıkları çalışmalarında; konsantrede 920 g/t Au % 54.1 verim ile elde ettiklerini açıklamışlardır [23]. Bu çalışma ışığında yapılan deneylerde elde ettiğimiz sonuçlara baktığımızda konsantrede 293 g/t Au % 37,06 verim ile kazanım gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan curufların camsı karakterleri ve yapılarındaki altının, nabit altın cevherlerine kıyasla her zaman serbest yüzeylerinin bulunmaması gerçeği de dikkate alındığında elde edilen kazanım veriminin umut vaad eden ve bu alanda çalışmaların devamının gerekliliğini ortaya koyan seviyede olduğunu söylemek mümkündür.

Aerofloat 208- Aerophine 3418A reaktiflerinin nabit Au-Cu flotasyonunda da etkili çalıştığı belirlenmiştir. Değişik toplayıcı reaktiflerle yapılan deneylerde reaktif çeşidinin altın flotasyonuna etkisi olduğu belirlenmiştir. Kullanılan Aerofloat 208- Aerophine 3418A ve Aero 8761- Aerophine 3418A reaktif çiftlerinin dithiyofosfat türü kollektörler olması sebebiyle nabit altın ve bakır flotasyonunu mümkün kıldığı belirlenmiştir. Aero Mx 980 reaktifinin yardımcı bir toplayıcı reaktife gereksinim duymadan kullanılabilir olması bakımından diğer toplayıcı reaktiflere alternatif oluşturabilecek durumda olduğu tespit edilmiştir.

7. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu tez çalışmasında kuyumculuk kökenli curuflardan altın geri kazanmak amacıyla gravite zenginleştirme (Knelson ve Falcon ayırıcısı) ve flotasyon yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Çalışmalarda 3 kez pirometalurjik işlem ile altın kazanım işlemi uygulanmış fakir curuf kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda yaşanan en önemli problem, kimyasal analiz sürecinde paralel numuneler arasında yaşanan farklılıklar olmuştur. Bu nedenle tez çalışmasında verilen analiz sonuçları en az 2 paralel analiz ($2 \times 2 = 4$) çalışmasının ortalamasıdır.

Gravite zenginleştirmesinde alınan sonuçlar ışığında curuf yapısında bulunan altının $-38 \mu\text{m}$ altında serbestleşebildiği tespit edilmiştir. Buna rağmen diğer tane boyutu aralıklarında da metalik tanelerin bulunduğu tespit edilmiştir.

İnce öğütülmüş malzemelerde gravite ayırımının başarı ile uygulanamadığı buna karşın daha büyük tanelerin kullanıldığı kaba öğütülmüş boyutlarda (-106 ve $-53 \mu\text{m}$) gravite ayırımının daha etkili çalıştığı görülmüştür.

Öğütülmüş curufların -0.106 mm boyutunda farklı akışkanlaştırma suyu basınçlarında yapılan deneylerde 7 KPa ile 15 KPa basınçları arasında konsantre tenöründe artış ve 25 KPa akışkanlaştırma suyu basıncında, konsantre tenöründe düşüş görülmüştür. PKO % 50 olan $-106 \mu\text{m}$ boyutlu malzemenin Knelson gravite zenginleştirmesinde uygun akışkanlaştırma suyu basıncının $15\text{-}25 \text{ KPa}$ arasında olabileceği saptanmıştır.

Gravite zenginleştirmesi farklı cihazlarla çalışma prensibi farklı 2 cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda gravite zenginleştirmesinin curuftaki altını kazanmada uygulanabilecek bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısının Falcon ayırıcısına göre $-106 \mu\text{m}$ boyutlu malzemenin zenginleştirilmesinde daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir.

Genel olarak, gravite zenginleştirmesi deneylerinde tane boyutuna bağlı olarak konsantride ulaşılan altın zenginleştirme, oransal olarak tatmin edici seviyede kabul

edilse bile, beslenen malzeme içinden kazanılan altın miktarı düşük kalmaktadır. Artık olarak elde edilen ürünlerin yapıları incelendiğinde camsı fazda hapsolmuş altın taneciklerinin kazanılamayıp, artığa kaçtığı tespit edilmiştir.

Knelson ayırıcısı ile yapılan çalışmalarda, malzemenin tane boyutu ve uygulanacak akışkanlaştırma suyu basıncının, Au kazanımı açısından etkin birer parametre oldukları tespit edilmiştir. Bu ayırıcı ile en iyi sonuca; -106 µm boyutlu numuneyle % 50 PKO ve 15 KPa akışkanlaştırma suyu basıncı koşullarında ulaşılmıştır. Konsantrede 131 g/t Au % 31.26 verimle elde edilmiştir.

Knelson ayırıcısı ile yapılan çalışmadan elde edilen konsantre tenörünün, Falcon ayırıcısıyla gerçekleştirilen deneyin konsantre tenöründen 1.6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Knelson ayırıcısının Falcon'a kıyasla daha iyi ayırım yapmasının nedeni; Knelson ayırıcısının sahip olduğu konik konsantre haznesine ve etkin konsantre alanının daha geniş olmasına bağlı olduğu görülmüştür.

Deneyisel çalışmalar sonucunda tane boyutu inceldikçe uygulanacak akışkanlaştırma suyu basıncının düşürülmesi ile altın kazanım veriminin arttığı tespit edilmiştir. Aksi durumda değerli metalin artığa kaçışının engellenemediği gözlenmiştir.

Asidik koşullarda yapılan flotasyonda, temizleme kademesine geçilecek miktarda konsantre eldesi sağlanamadığından konsantre ve ara ürün alınmıştır. Alınan konsantredeki zenginleşme oranı başlangıç konsantrasyonunun yaklaşık 10 katıdır.

Doğası gereği zaten bazik pülp oluşturan soda-boraks curuflarında, asidik koşullarda flotasyon uygulaması yetersiz sonuç vermiştir. Asidik koşulların sağlanması için harcanan reaktiflerin yüksekliği, flotasyon sürecinde curufun kısmi de olsa çözünürlük gösterme davranışı ve curufların doğaları gereği (soda-boraks esaslı) bazik karaktere sahip olmaları sebepleriyle, flotasyon uygulamasının asidik koşullarda sürdürülmemesine karar verilmiştir.

Flotasyon deneylerinde toplayıcı reaktif miktarının arttırılmasının konsantre tenörünü yükseltmede olumlu etkisi olduğu ve yüksek reaktif miktarı (150 g/t) uygulandığında her reaktif için konsantredeki Au kazanımının arttırıldığı görülmüştür.

Reaktif miktarının artışına bağlı olarak I. ara ürünlerin tenöründeki artış; temizleme kademelerinde eklenen reaktif miktarlarının kaba flotasyon kademeleri ile aynı olmasına bağlı olarak ara ürünlerde etkili bir temizleme yapılamadığı göstermiştir.

Birlikte eklenen toplayıcı reaktiflerden Aerofloat 208- Aerophine 3418A çiftinin en etkin çalışan reaktifler oldukları saptanmıştır. Geri kazanılan miktarlara bakıldığında Aerofloat 208- Aerophine 3418A reaktif çifti ile % 32.25 verimle 564 g/t Au, Aero 8761 reaktifi ile % 36.54 verimle 195 g/t Au elde edilmiştir.

Aerofloat 208- Aerophine 3418A toplayıcı reaktif çifti 50 g/t kullanıldığında % 37.06 verimle 318 g/t Au elde edilmiştir. I. ve II. temizleme kademelerinde artan miktarlarla eklenen Aerofloat 208 toplayıcı reaktifinin konsantre tenörünü iyileştirdiği görülmüştür.

8. ÖNERİLER

Geri kazanım oranlarının düşük seviyede olmasına en önemli etken curuf yapısında bulunan altın zerreciklerinin çok küçük olmasıdır. Bunun önlenmesine yönelik olarak, curufların, olduğu işletmelerde teknolojik eğitici bilgilendirme yapılarak mutlaka yavaş soğutulmanın sağlanması, ulusal kaynakların kaybolmasının önlenmesi açısından gereklidir.

Flotasyon deneylerine numune hazırlanması ve deneysel veri üretilmesi çok emek yoğun olduğundan (1 deneysel veri üretimi yaklaşık 15 gün) detaylandırılması gerekli deneysel çalışmalar eksik kalmıştır. Bu nedenle daha efektif öğütme-kurutma ve homojenizasyon sistemi için alt yapı oluşturularak deneysel çalışmaların sürdürülmesi faydalı olacaktır. Özellikle köpürtücü reaktif miktarının kazanıma olan etkisinin detaylı incelenmesi yararlı olacaktır. Diğer taraftan yeni piyasaya sürülen ve henüz efektifliği tam bilinmeyen Aero Mx 980 reaktifinin farklı miktarlarının incelenmesi bu alanda yeni bulgular eldesine yardımcı olma potansiyeli taşımaktadır. Tez çalışması sırasında bu reaktif ile çok fazla çalışma imkanı bulunamamıştır. Üretici firmanın verdiği bilgiler aynı görevi gören diğer reaktiflere oranla az miktarlarda kullanım ile yüksek performans sağlayacağı yönündedir. Ayrıca yardımcı toplayıcı reaktif görevi gördüğünden de bahsedilmektedir.

Gravite zenginleştirilmesi için;

- Farklı akışkanlaştırma suyu basınçlarında ve PKO'da denemeler yapılması
- Artık malzemenin uygun koşullarda cihaza tekrar beslenerek, zenginleştirme işlemine tabi tutulması
- Ayrıca işletmeden işletmeye curufta kalan altın miktarı ve içindeki diğer metallerin varlığı değiştiği için graviteyle zenginleştirilecek uygun boyutun saptanması endüstriyel uygulamalar açısından yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kaspin, S., Shaari, Z., M., Mohamad, N.** (2009). An investigation on the effectiveness of traditional gold recovery process for jewellery scrap. Alındığı tarih: 30.04.2012, adres: http://eprints.ptar.uitm.edu.my/3112/1/LP_SAADIAH_KASPIN_09_24.pdf
- [2] **Kaplan, K.** (2003). *Türkiye’de Kuyumculuk ve Altın*, İTO yayınları, İstanbul, Türkiye.
- [3] **Çıtak, S.** (2004). *Altın*, Destek yayınları, Ankara, Türkiye.
- [4] **Berstein, P., L.** (2008). *Altının Gücü*, Skala yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- [5] **Habashi, F.** (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, Wiley-VCH, Germany.
- [6] **Erdem, B.** (2006). *İkincil kaynaklardan altın geri kazanımı ve rafinasyon prosesinin optimizasyonu*, İTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi, (yüksek lisans tezi), İstanbul, Türkiye
- [7] **Oygür, V. ve Zanbak, C.** (2005). Altın madenciliğinin türk ekonomisine katkısı, Uluslararası Değerli Taşlar ve Metaller Sempozyumu, sf. 2, Yurt madenciliğini geliştirme vakfı yayınları, İstanbul, Nisan 2005.
- [8] **Gürdal, B.** (2008). *Cila ramatlarından altın geri kazanımı*, İTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi, (yüksek lisans tezi), İstanbul, Türkiye.
- [9] **Yeniyol, M.** (2004). *Mineroloji*, Dilek matbaa, İstanbul, Türkiye.
- [10] **Bulatovic, S., Wyslouzil, D.M.** (2000). Gold recovery: Flotation, *Encyclopedia of Separation Science*, Lakefield Research, Lakefield, Ontario, Canada, sf. 2965- 2975.
- [11] **Altın Mücevherat Sektörü** (2012). *T.C. Ekonomi Bakanlığı*, Alındığı tarih: 25.04.2012, Adres: http://www.ibp.gov.tr/pg/sektorpdf/sanayi/altin_mucevherat.pdf
- [12] **Önal, G., Acarkan, N.** (2007). Cevher hazırlama II ders notları.
- [13] **Kaytaz, Y.** (1994). Eleme. G. Önal ve G. Ateşok, eds. *Cevher hazırlama el kitabı*. İstanbul: Yurt madenciliğini geliştirme vakfı yayınları, sf. 73–76
- [14] **Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıcıl, M., Yılmaz, T.** (2006). Knelson santrifüj gravite ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 19, Sayı 2, sf. 175-182. Alındığı tarih: 3.11.2011, Adres: <http://uvf.ulakbim.gov.tr/>
- [15] **Huang, L.** (1997) *Upgrading of gold gravity concentrates: A study of Knelson concentrator*. Alındığı yer: ProQuest Digital Dissertations. (NQ 29960)

- [16] **Laplane, A., R.** (1993). A comparative study of two centrifugal concentrators. *Proc. 25th Ann. Meet. Canadian Minerals Conference*. Alındığı tarih: 3.08.2011, adres: <http://www.seprosystems.com/espanol/images/stories/falcon/pdf/compknelfalc.pdf>
- [17] **Özgen, C.** (2009). *Cleaning of Şırnak Karatepe asphaltites*, ODTÜ, Department of Mining Engineering, (yüksek lisans tezi), Ankara, Türkiye.
- [18] **Knelson gravity solutions: Cone logic technology.** (t.y). *Knelson Gravity Solutions*. Alındığı tarih: 4.11.2011, adres: <http://www.Knelsongravitiesolutions.com/KCbatch/marketing/CSA>.
- [19] **Bulatovic, S., M.** (2007). Classification of flotation reagents, *Handbook of flotation reagents*, sf. 1-3.
- [20] **Evcin, A.** (2011). Yüzey kimyası ve kolloidler ders notları. Alındığı tarih: 27.10.2011, Adres: <http://www2.aku.edu.tr/~evcin>
- [21] **Allan, G.C., Woodcock, J.T.** (2001). A review of flotation of gold and electrum. *Minerals Engineering*, Cilt.14, Sayı 9, Eylül 2001, sf. 931-962.
- [22] **Bulatovic, S., M.** (2010). Flotation of gold ores, *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*, sf. 1-17.
- [23] **Acarkan, N., Önal, G., Bulut, G., Gül A.** (2010). Au-Ag recovery from complex ore by flotation. *XXV. International Mineral Processing Congress (IMPC) Proceedings*, Brisbane, Qld, Australia, 6-10 Eylül 2010, sf. 1687-1693.
- [24] **Delfini, M., Manni, A., Massacci, P.** (2000). Gold recovery from jewellery waste. *Minerals Engineering*, Cilt.13, Sayı 6, Haziran 2000, sf. 663-666.
- [25] **Corti, C.,** (2002). Recovery and refining of gold jewellery scraps and wastes. *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology*, Mayıs 2002, sf. 1-21.
- [26] **Doğan, Z.,** (1994). Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme. G. Önal ve G. Ateşok, eds. *Cevher hazırlama el kitabı*. İstanbul: Yurt madenciliğini geliştirme vakfı yayınları, sf. 147-148.
- [27] **Atak, S., Tolun, R.** (1994). Flotasyon. G. Önal ve G. Ateşok, eds. *Cevher hazırlama el kitabı*. İstanbul: Yurt madenciliğini geliştirme vakfı yayınları, sf. 207-226.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cevahir DURMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Beyoğlu 18.06.1986

E-Posta: cvhr.drmz@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Mühendisliği