



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MEKANİK AKTİVASYON ESASLI ÖĞÜTMENİN
ALTIN ZENGİNLEŞTİRME VERİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ONUR BİROL

Şubat 2015

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MEKANİK AKTİVASYON ESASLI ÖĞÜTMENİN
ALTIN ZENGİNLEŞTİRME VERİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ONUR BİROL

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Metin UÇURUM

Şubat 2015

Onur BİROL tarafından **Doç.Dr. Metin UÇURUM** danışmanlığında hazırlanan “**Mekanik Aktivasyon Esaslı Öğütmenin Altın Zenginleştirme Verimine Etkisinin Araştırılması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç.Dr. Metin UÇURUM (Niğde Üniversitesi)



Üye : Doç.Dr. Ö. Yusuf TORAMAN (Niğde Üniversitesi)



Üye : Yrd. Doç.Dr. Necmettin ERDOĞAN (Aksaray Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Onur BIROL

ÖZET

MEKANİK AKTİVASYON ESASLI ÖĞÜTMENİN ALTIN ZENGİNLEŞTİRME VERİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

BİROL, Onur

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Metin UÇURUM

Şubat 2015, 77 Sayfa

Bu tez çalışması, Bolkardağ (Ulukışla, Niğde) yeraltı maden işletmesinde üretilen tüvanan altın cevherinden alınan temsili numune üzerinde gerçekleştirilen çalışmaları içermektedir. Deneysel çalışmalara geçilmeden önce cevher üzerinde XRF, XRD ve ince kesit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Cevher, daha sonra çeneli ve konik kırıcıda boyut küçültme işlemine tabi tutularak titreşimli elekten geçirilmiş ve elek altı halkalı değirmende d_{80} bazında $75 \mu\text{m}$ 'ye öğütülmüştür. Elde edilen ürün tekrar dik karıştırılmalı bilyeli değirmende yaş öğütme işlemine tabi tutularak d_{80} değeri yaklaşık $20 \mu\text{m}$, d_{50} değeri ise $6,02 \mu\text{m}$ olan liç besleme malı elde edilmiştir. Liç çalışmalarında sönmemiş kireç miktarı, katı oranı, sıcaklık, siyanür miktarı ve liç süresi parametreleri optimize edilmiştir. Optimum şartlarda yapılan nihai deneylerde ise %91,92 Au ve %82,15 Ag metal kazanma verimlerine ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Altın cevheri, Dik karıştırılmalı bilyeli değirmen, Mekanik aktivasyon, Metal kazanma verimi.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION GRINDING ON GOLD ENRICHMENT YIELD

BIROL, Onur

Niğde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor : Associate Prof. Dr. Metin UÇURUM

February 2015, 77 pages

This thesis includes the study about gold ore obtained from Bolkardag (Ulukışla, Niğde) underground mine. Firstly, XRF, XRD and Thin-Section studies were performed on representative sample. Then, the ore was crushed and ground by jaw, cone crushers and ring mill, respectively. Particle size of the product was 75 μm based d_{80} . Again, the product was subjected to grinding process by vertical wet stirred ball mill and final ground product was used as leach feed material. The leach feed material has about $d_{80}=20 \mu\text{m}$ and $d_{50}=6.02 \mu\text{m}$ particle size. Leaching study was performed by using quicklime quantity, solid ratio, temperature, cyanide concentration and leaching time parameters. The final experiments show that the recovery of Au and Ag was 91.92% and 82.15% under optimum leach conditions.

Key Words: Gold ore, Vertical stirred ball mill, Mechanical activation, Recovery.

ÖNSÖZ

Sunulan bu yüksek lisans tezinde, altın cevherleri ve zenginleştirilmesi ile mekanik aktivasyon hakkında bilgi verildikten sonra dik karıştırılmalı bilyeli değirmen kullanılarak mekanik aktivasyon esaslı öğütmenin altın zenginleştirme verimine etkisinin araştırılması amacı ile laboratuvar ölçeğinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda bana her zaman yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Metin UÇURUM' a teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışmalarımda yardımlarını ve esirgemeyen Gümüştaş Madencilik A.Ş Tepeköy işletme tesisi tüm çalışanlarına ve her zaman bana destek olan eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II ALTIN.....	3
BÖLÜM III ALTIN CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ.....	9
3.1 Triyaj ile Zenginleştirilme.....	12
3.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme.....	14
3.3 Flotasyon ile Zenginleştirilme.....	16
3.4 Amalgamasyon ile Zenginleştirme.....	18
3.5 Kimyasal Zenginleştirme (Liç).....	20
3.5.1 Siyanür liçini etkileyen faktörler.....	26
3.5.2 Yüklü çözeltilerden altının kazanılması.....	32
BÖLÜM IV MEKANİK AKTİVASYON.....	34
4.1 Karıştırılmalı Bilyeli Değirmenler.....	38
4.1.1 Karıştırılmalı değirmen türleri.....	42
BÖLÜM V ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	47
BÖLÜM VI MATERYAL VE METOD.....	51
6.1 Materyal.....	51
6.2 Metod.....	53
BÖLÜM VII ARAŞTIRMA BULGULARI.....	59
7.1 Sönmemiş Kireç Etkisi.....	59
7.2 Katı Oranın Etkisi.....	60
7.3 Sıcaklığın Etkisi.....	62
7.4 Siyanür Miktarının Etkisi.....	63
7.5 Liç Süresinin Etkisi.....	64

BÖLÜM VIII SONUÇLAR.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Altın metalinin genel özellikleri.....	3
Çizelge 2.2. Bazıları önemli altın içeren mineraller.....	4
Çizelge 3.1. Altın kazanım proseslerinin sınıflandırılması.....	9
Çizelge 3.2. Altın kazanım prosesleri.....	11
Çizelge 3.3. Önemli metal-siyanür kompleksleri.....	22
Çizelge 6.1. Deney numunesi kimyasal analiz sonucu.....	51
Çizelge 6.2. Deney numunesi XRF sonuçları.....	52
Çizelge 6.3. Dik karıştırılmalı değirmen öğütme şartları.....	53
Çizelge 6.4. Liç çalışma parametreleri ve değerleri.....	56
Çizelge 6.5. Mekanik aktivasyona yapılmamış cevherin liç şartları.....	58
Çizelge 6.6. Mekanik aktivasyona yapılmamış cevherden elde edilen metal kazanımı.....	58
Çizelge 7.1 Liç verimine sönmemiş kireç miktarının etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri.....	59
Çizelge 7.2 Süspansiyon pH değerleri	60
Çizelge 7.3 Liç verimine katı oranın etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri.....	61
Çizelge 7.4 Liç verimine sıcaklığın etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri.....	62
Çizelge 7.5 Liç verimine siyanür miktarının etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri.....	63
Çizelge 7.6 Liç verimine liç süresinin etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Altın cevherlerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2 Dünya genelinde işletmeye hazır altın rezervleri.....	6
Şekil 2.3 Dünya geneli toplam arama bütçesi.....	7
Şekil 2.4 Türkiye altın yatakları haritası.....	7
Şekil 3.1 Optik ayırmanın genel görünümü.....	14
Şekil 3.2 Knalson ayırıcısı ve şematik görünümü.....	15
Şekil 3.3 Altın üretimi.....	21
Şekil 3.4 Karıştırma liç prosesi.....	25
Şekil 3.5 Hava ile doyurulmuş çözeltilerde, altın ve gümüşün çözünmesi hızına siyanür konsantrasyonunun etkisi.....	26
Şekil 3.6 pH' nın bir fonksiyonu olarak siyanür çözeltisinde bulunan türler.....	28
Şekil 3.7 Siyanür çözeltisindeki altın ve gümüşün çözünme hızı üzerine yüksek pH'nın etkisi.....	28
Şekil 3.8 Yüksek pH' da kalsiyum iyonlarının geciktirici etkisi.....	29
Şekil 3.9 Siyanür pH dengesi.....	31
Şekil 4.1 Çarpışan taneler için Magma-Plazma modeli.....	35
Şekil 4.2 Değirmenlerdeki temel gerilim tipleri, R1-sıkıştırma, R2-kesme, R3-çarpma, R4-çarpışma.....	37
Şekil 4.3 Mekanik aktivasyon için kullanılan değirmen tipleri.....	37
Şekil 4.4 Karıştırmalı ve bilyeli değirmenlerde tane boyu ile enerji tüketimi.....	40
Şekil 4.5 Farklı karıştırıcı ve öğütme odası geometrileri.....	41
Şekil 4.6 Dik karıştırmalı bilyeli değirmen genel görünüşü.....	41
Şekil 4.7 Sala agitated mill (SAM).....	42
Şekil 4.8 ATR Mill.....	43
Şekil 4.9 MaxxMill değirmeni genel tasarımı.....	44
Şekil 4.10 Tower/vertimil.....	45
Şekil 4.11 IsaMill.....	46
Şekil 4.12 Detritor Mill gösterimi.....	46
Şekil 6.1 Deney numunesinin XRD sonuçları	52
Şekil 6.2. Numune parlak kesit örnekleri	53

Şekil 6.3 Tez çalışması akım şeması.....	54
Şekil 6.4 Dik karıştırılmalı bilyeli değirmende öğütülen cevherin boyut dağılımı.....	55
Şekil 7.1 Sönmemiş kireç ilavesinin metal kazanım verimine etkisi.....	60
Şekil 7.2 Katı oranının metal kazanım verimi etkisi	61
Şekil 7.3 Sıcaklığın metal kazanım verimi etkisi.....	62
Şekil 7.4 Siyanür miktarının metal kazanım verimi etkisi.....	63
Şekil 7.5 Liç süresinin metal kazanım verimi etkisi.....	65

FOTOĞRAF DİZİNİ

Fotoğraf 6.1 Öğütme işleminin yapıldığı dik karıştırılmalı bilyeli değirmen.....	54
Fotoğraf 6.2 Dik karıştırılmalı bilyeli değirmende kullanılan zirkonyum bilyeler....	55
Fotoğraf 6.3 Laboratuar tipi liç tankları.....	56
Fotoğraf 6.4 Döküm potası vasıtasıyla ergitme işlemi.....	57
Fotoğraf 6.5 Deneyleerde kullanılan atomik absorpsiyon cihazı.....	58

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

Au	Altın
Ag	Gümüş
μm	Mikron metre
d_{80}	Tane boyutunun %80'nin geçtiği elek açıklığı
d_{50}	Tane boyutunun %50'sinin geçtiği elek açıklığı
ppm	Milyonda bir
gr/t	Gram/Ton
kg	Kilogram
dak.	Dakika
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece

Kısaltmalar

Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Liç	Kimyasal Çözünme
INCO	SO ₂ /Hava prosesi
M.Ö.	Milattan Önce

BÖLÜM I

GİRİŞ

Yüzyıllardır insanoğlunun altına olan bitmez tükenmez talebi nedeniyle dünya çapında bu element ile ilgili yoğun araştırmalar günümüze kadar hız kesmeden devam etmiştir. Bu çalışmaların odağında ise altının zenginleştirilmesi yer almaktadır. Dünyada üretilen altının yaklaşık %85'ine yakın bir oranı siyanür liçi ile elde edilmektedir. Altın üretiminde düşük tenörlü ve çok ince tane boyutlarında serbestleşen cevherler için siyanür liçi en ekonomik zenginleştirme yöntemi olarak yerini yüzyıldan fazla bir zamandır korumaktadır.

Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde elde edilecek nihai verim, uygulanan ön işlemlere ve liç prosesine bağlıdır. Altın zenginleştirme proseslerinde uygulanması kaçınılmaz en önemli ön işlemler ise kırma+öğütme+sınıflandırmadır. Günümüz altın tesislerinde öğütme işlemleri genellikle konvansiyonel bilyeli değirmenlerde yaş olarak gerçekleştirildikten sonra klasifikatörlerde/hidrosiklonlarda sınıflandırılarak liç işlemlerine tabi tutulmaktadır. Altın zenginleştirme çalışmalarında kullanılan konvansiyonel bilyeli değirmenler ile cevherin ince/çok ince boyutlara öğütülmesi, ekonomik ve fiziksel olarak çok mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, Dünya'da ve ülkemizde söz konusu zenginleştirme tesislerinde karıştırmalı bilyeli değirmenler kullanılmaya başlanmış durumdadır. Karıştırmalı bilyeli değirmenler cevherin çok daha ince boyutlara öğütülmesini daha ekonomik olmasını sağlarken mineraller üzerinde mekanik aktivasyon etkisi de meydana getirmektedirler. Bu etki, özellikleri değişmeden kalan minerallerin reaksiyona girme yeteneklerinde özgül yüzey alanında artış ve yapısal bozulmaların oluşması nedeniyle meydana gelmektedir. Mekanik aktivasyonun metalürjik proseslerde önemli bir ön işlem konumuna geldiği yapılan akademik çalışmalar göstermektedir.

Bu tez çalışması, Bolkardağ (Ulukışla, Niğde) yer altı maden işletmesinde üretilen tüvenan altın cevherinden alınan temsili numune üzerinde gerçekleştirilen çalışmaları içermektedir. Deneysel çalışmalara geçilmeden önce cevherden alınan temsili numune

üzerinde XRF, XRD ve ince kesit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Cevher çeneli ve konik kırıcıda boyut küçültme işlemine tabi tutularak titreşimli elekten geçirilmiş ve elek altı halkalı değirmende d_{80} bazında $75 \mu\text{m}$ 'ye öğütülmüştür. Daha sonra dik karıştırmalı bilyeli değirmende tekrar yaş öğütme işlemine tabi tutularak d_{80} değeri yaklaşık $20 \mu\text{m}$, d_{50} değeri ise $6,02 \mu\text{m}$ olan liç besleme malı elde edilmiştir. Liç çalışmalarında sönmemiş kireç miktarı, katı oranı, sıcaklık, siyanür miktarı ve liç süresi parametreleri optimize edilmiştir. Optimum şartlarda yapılan nihai testlerde ise %91,92 Au ve %82,15 Ag metal kazanma verimlerine ulaşılmıştır.

BÖLÜM II

ALTIN

Altın ilk işlenen metal olup, en eski uygarlıklarda güç, zenginlik simgesi olarak değerli sayılmıştır. Tarihte bilinen kayıtlara göre Mısır hükümdarları zamanında M.Ö. 3200 yıllarında, altın darphanelerde eşit boyda çubuklar halinde çekilerek para olarak kullanılmıştır. Altın Latince Aurum kelimesinden gelmektedir. Tabiatta saf halinde bulunan doğal altın, M.Ö.3000 yılından önce süs eşyası yapımında kullanılmıştır. Altın doğada çok nadiren saf olarak bulunmaktadır. Daima gümüş ve bazen de diğer metalleri ihtiva eder (Megeb, 2007). Altın metalinin genel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Altın metalinin genel özellikleri (Megeb, 2007).

Simgesi	Au
Atom ağırlığı	197,2 g/mol
Atom numarası	79
Yoğunluğu	19,3 g/cm ³
Kütle özelliği	20°C de 19,32 gr/cm ³
Elektrik akımını iletmesi	%65,46
Isıyı iletmesi	%53,2
Ergime derecesi	1064.18 °C
Kaynama noktası	2856 °C
Özgül ısısı	131 j/kg.k.
Tavlama ısısı	300 °C
Döküm sıcaklığı	1100-1300 °C

Altın yer kabuğunda ortalama olarak tonda 0,0035 gram (0,0035 ppm) oranında bulunur. Oysa günümüzde kârlı olarak işletilebilen altın cevherlerinde en düşük tenör yaklaşık 1 gram/ton' dur. Bu durumda, işletilebilir bir altın yatağının yer kabuğu ortalamasının en

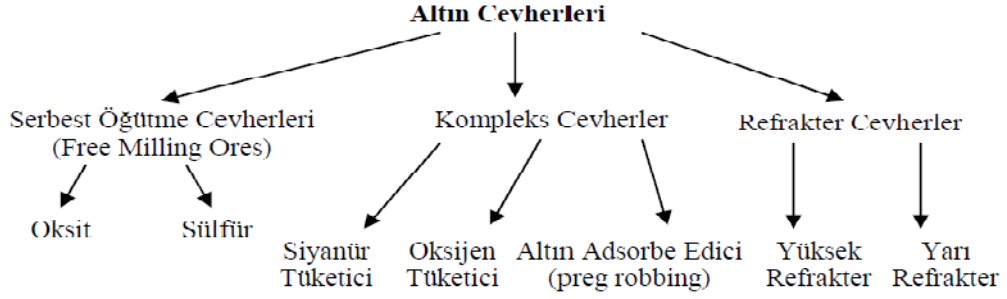
az 300 katı kadar altın içermesi gerekir. Altın doğada genellikle saf veya elektrik denilen altın-gümüş alaşımı olarak, bazen de tellüridler halinde bulunur.

Minerallerin kristal kafeslerinde kendisine kimyasal olarak benzeyen elementlerle, örneğin, bakır, gümüş ile yer değiştirebilir veya pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS), kalkopirit (CuFeS_2), stibnit (Sb_2S_3), orpiment (As_2S_3) ve realgar (AsS) gibi minerallerde küçük kapanımlar halinde de gözlenir. Altın cevherinin mineralojik özellikleri, bu soy metalin kazanılması için uygulanacak birim yöntemleri belirler. Bu nedenle cevher mineralojisinin önce ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekir (Bayraktar ve Yarar, 1985). Mineralojik araştırması yapılmış olan altın yataklarında incelenmesi gerekli olan en önemli faktörler, serbestleşme tane boyutu ve altın içeren cevherin karmaşık bir oluşum içinde bulunup bulunmadığıdır. Daha sonra yapılacak araştırmalara yol göstermesi amacıyla altın ve diğer minerallerin tenör dağılımları ve bileşimleri araştırılmalıdır. Mineralojik olarak incelenen bu tip altın yataklarında, yaklaşık olarak 30 kadar altın içeren mineral mevcuttur. Ancak bu kadar çok mineral içinde sadece bazıları ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir (Çizelge 2.2) (Güneş ve Akçıl, 1997).

Çizelge 2.2 Bazı önemli altın içeren mineraller (Akçıl,1995)

Mineral Adı	Kimyasal Formülü
Elektrum	Au-Ag
Kuproaurit	Au-Cu
Aurikuprit	AuCu_3
Platinli Altın	Au-Pt
Uytenbogaardit	Ag_3AuS_2
Kalaverit	AuTe_2
Krennerit (Petzit)	$(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$
Montbrayit	$(\text{Au,Sb})\text{Te}_2$
Silvenit	$(\text{Au,Ag})\text{Te}_4$
Kostovit	AuCuTe_4
Aurostibit	AuSb_2
Fişesserit	Ag_3AuSe_2

Altın cevherleri genel olarak serbest öğütme (free milling), kompleks ve refrakter cevherler olarak sınıflandırılabilir (Sekil 2.1) (Çelik, 2004).



Şekil 2. 1 Altın cevherlerinin sınıflandırılması (LaBrooy vd, 1994)

Dünyanın çeşitli yerlerinde ve tarihin farklı dönemlerinde altın üretilmesine karşın, en eski altın bulgularına Anadolu topraklarında rastlanmaktadır. Antik dönemlerde Hititler ve Lidyalılar, daha ileriki dönemlerde Romalılar gibi pek çok topluluk altını çıkarıp işlemiştir. 15. yüzyılın sonrasında Afrika ve Amerika kıtalarında altın yataklarının bulunmasıyla altın üretimi artmıştır. Altın, bulunduğu ilk dönemlerden Lidyalıların ilk sikkeyi basmalarına kadar geçen süre içerisinde sadece takı ve süsleme sanatı amaçlı iken, Lidyalıların sikkeyi basmalarıyla bir ekonomik değer haline almış ve dünya ekonomisi geri dönülemeyecek bir biçimde değişmiştir. Bu tarihten sonra hem saflığın, güzelliğin ve asaletin hem de gücün, ihtişamın ve zenginliğin simgesi olmuştur. Lidya kralı Kroisos M.Ö (560–547) yılları arasında altın-gümüş karışımı sikkelerin daha saf hale gelmesi için altını gümüşten ayırmış ve böylece ilk rafine işlemi uygulanarak maden ve metalürji alanında yeni bir çağ açılmıştır. Daha sonra günümüze kadar birçok devlet benzer teknikleri kullanarak altın üretip hem ihraç hem de ithal etmiştir (Altın Madencileri Derneği, 2008).

Türkiye altın, gümüş oluşumları, kabul edilen bir sınıflamaya göre dört başlıkta sıralanabilir:

- *Au-Ag İçeren Baz Metal Cevherleşmeleri:*

Kalkopirit, pirit, yanında Linneit, Bravoit (Kobalt Min.) ve nabit altın içerir. Küre Ergani bakırlı pirit yatakları örnek olarak sayılabilir.

- *Genç Volkanik Altınlı Cevherleşmeler:*

Au tellürler, galen, kalkopirit, nabit gümüş ana mineralleridir. Arpadağ, Karşıyaka İzmir; Çanakkale; Trabzon Yöresi (Pontit Altını) bu oluşuma örneklerdir.

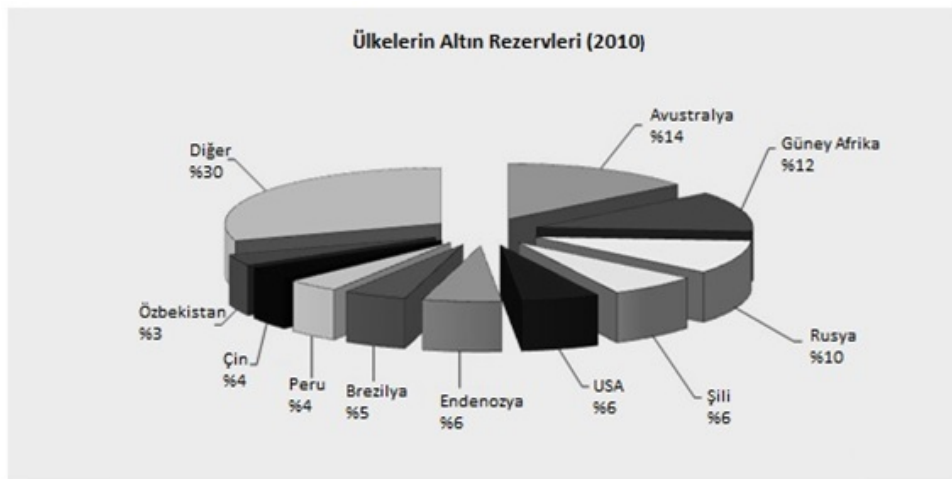
- *Plaser Oluşumlu Cevherleşmeler:*

Akarsu tipi plaserler olarak; Salihli-Manisa, Sart Çayı, Gediz Nehri, Söğüt-Bilecik civarı, Akıllıçay-Hatay, Ödemiş, Tire, Bayındır ve Karstik Mağara dolgu tipi plaseri olarak Bolkardağı-Niğde bu oluşuma örneklerdir.

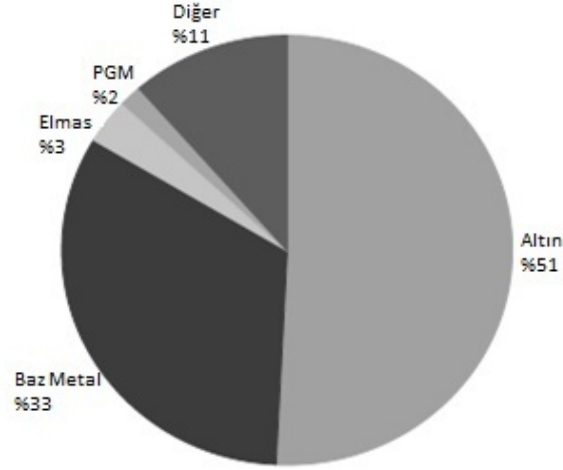
- *Epitermal Cevherleşmeler:*

Siyenitik, granitik, granodiyoritik ve diyoritik intrüzyonlar içinde oluşmuş Ovacık Bergama-İzmir, Cerattepe-Artvin, Kiseçikköy-Hatay (mezotermal) ve Kaymaz-Eskişehir (Lisvenitler) oluşumları bu türün örnekleridir” (Yüce, 1997).

Dünya altın potansiyeli yaklaşık 90000 ton olmasına rağmen toplam işletilebilir altın rezervinin %42’si Güney Afrika, Avustralya, ABD, Çin ve Rusya gibi dünya altın üretiminde ilk sıralarda yer alan ülkelere aittir. Şekil 2.2’de dünya genelinde işletmeye hazır olan rezerv miktarları görülmektedir. Madencilik faaliyetlerinin gerçekleşmesi için yapılan arama çalışmalarına ait genel bütçe verilerine bakıldığında, altın dünya genelinde %51 ile en büyük pay sahibidir. İlgili grafik Şekil 2.3’de verilmiştir (<http://gold.infomine.com>).

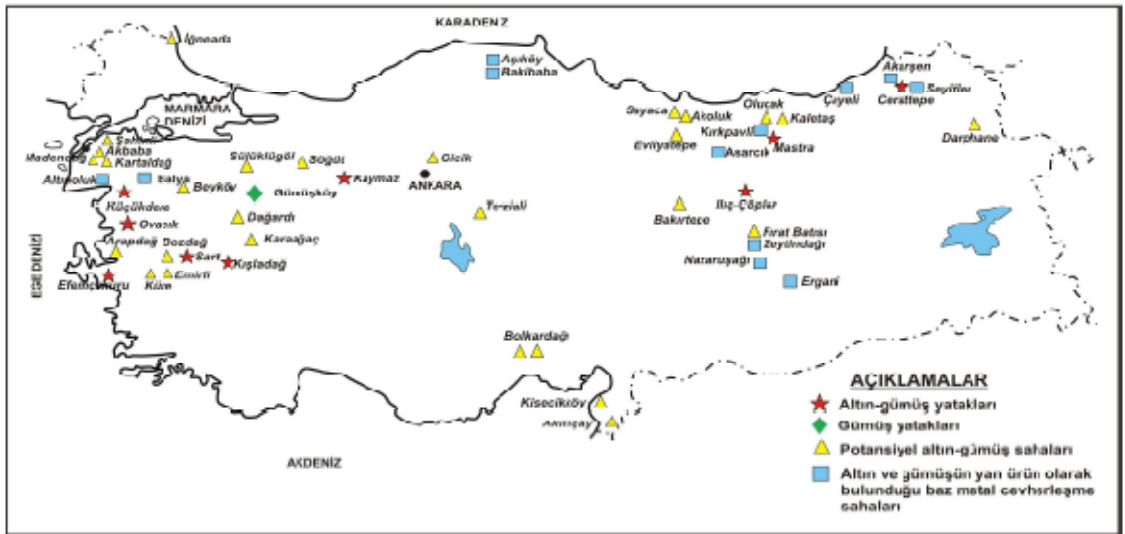


Şekil 2.2 Dünya genelinde işletmeye hazır altın rezervleri (<http://gold.infomine.com>)



Şekil 2.3 Dünya geneli toplam arama bütçesi (<http://gold.infomine.com>)

Dünya altın yataklarının önemli bir bölümünün bulunduğu Kuzey Amerika, Orta Avrupa ve Avustralya'da makaslama zonlarındaki mezotermal kuvars damarları mevcut olup, İç-Batı Anadolu Bölgesi'nde benzer bir jeolojik ortam görülmektedir. Bu bölgede çok eski yıllarda yapılmış çalışmalarda, özellikle Orta Avrupa'dakine benzer bir mineralojik parajenezin var olduğu anlaşılmıştır (Oygür, 1995). Türkiye'nin altın potansiyelinin 6500 ton olduğu ve son 17 yıldır devam eden çalışmalar sonucunda bu potansiyelin 700 tonunun üretime hazır rezerv konumunda olduğu saptanmıştır. Maden arama çalışmaları devam ettikçe yeni yataklar keşfedilmekte ve rezerv artmaktadır (www.gold.org). Türkiye altın yatakları haritası ise Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 Türkiye altın yatakları haritası (Logsdon ve ark., ...)

Tarih boyunca ülkelerin elde etmek için birçok zorluğu göze aldığı altın, ilk bulunuşundan bu yana hâlâ en güvenilir yatırım aracı olarak kabul edilmektedir. Devletlerin merkez bankalarında teminat olarak altın stoklamasının yanında sanayideki geniş çaplı kullanım alanları da düşünüldüğünde, altın madenciliğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Altın madenciliğindeki konumu giderek yükselen ülkemizde işletilen altın madenleri mevcut olup, yenilerinin açılması için çalışmalar yürütülmektedir. Mevcut ve artması muhtemel altın rezervleri ile ülkemizde, altın üretiminin artmasıyla birlikte, ihracat ve ithalat rakamları arasındaki farkın değişeceği kaçınılmaz bir gerçektir (Baştürkçü, 2012). Altının kullanıldığı alanlar; kuyumculuk, altın kaplama ve süsleme, elektrik-elektronik, diş hekimliği, dekoratif kullanım, madalya yapımı, resmi para, külçe stoklarıdır. Ayrıca gümüş, platin ve paladyum gibi metallerle alaşım halinde uzay endüstrisinde, tekstil sanayinde altın tel ve iplik yapımında ve kimya endüstrisinde paslanmaya dayanıklı alet yapımında kullanılmaktadır (www.gold.org).

BÖLÜM III

ALTIN CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere, altın cevherlerinin yataklanma tipleri ile zenginleştirme yöntem seçimi arasında çok önemli bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkinin cevher hazırlama ve zenginleştirme teknolojik gelişmelerden de bahsetmek gerekir. Çoğu altın kazanım tesislerinde ilk fizibilite çalışmalarına paralel olarak incelenmesi gerekli en önemli özellikler şunlardır (Akçıl, 1997);

- Altın ve gang minerallerinin mineralojik yapıları (primer ve sekonder yataklanma),
- Minerallerin serbestleşme tane boyutları ile kenetli bir mineralleşmeye sahip olup olmadığı,
- Altın ve diğer minerallerin tenör dağılımları,
- Altın ve değerli mineraller için gerekli rezerv ve proses araştırmasının yapılması,

Bütün bu elde edilen veriler doğrultusunda kurulacak tesisin hangi prosesleri içereceği ve bu proseslerin ekonomikliği ise ayrı bir araştırma konusudur.

Çizelge 3.1 Altın kazanım proseslerinin sınıflandırılması (Andrew, 1984; McQuiston and Shomemaker, 1981)

Yataklanma Tipi	Proses
Nabit altın içeren serbest halde ufalanmış damar şeklindeki cevherler	Gravite Zeng. + Amalgamasyon + Direkt Siyanür + CIP
*Nabit Altın İçeren Diğer Cevherler	Gravite Zeng. + Amalgamasyon Flotasyon + Siyanürasyon
*Serbest Halde Ufalanmış Cevherler	Direkt Siyanürasyon
*Tellüridli Altın Cevherleri	Toplu Flot. (Te-Cu) + Kim. Oksidas. (Kons.) + Siyanürasyon Toplu Flot. + Siyanür. + Kavurma + Siyanür.
*Piritli Altın Cevherleri	Toplu Flot. + Ergitme + Siyanür. Siyanür. + Flot. + Kavur.+ Siyanür Flot. + Tekrar Öğütme (Kons.) + Siyanürasyon
*Pirotinli Altın Cevherleri	Flot. (Kavrulmuş Konsantreye) + Artık ve Kalsinenin Siyanürasyon ile Ayrımı Flot. (Kavrulmuş Konsantreye)+Kalsine Öğüt.+ Siyanür
*Bakırlı Altın-Kompleks Cevherleri	Flot. (Cu-Kons.) + Siyanürasyon Toplu Flot. + Amal.(Cu-Kons.) + Siyanür.
*Karbonlu Altın Cevherleri	Kim. Oksi. + Direkt Siyanürasyon Kerosenle Grafiti Uzaklaştırma + Siyanürasyon

*CIP:Pulpte karbon

Altın kazanımında klasik yöntemlere alternatif olarak, kimyasal proseslerin uygulanması ile teknolojik anlamda hem tenör hem de verim açısından önemli gelişmeler gözlenmektedir. Bu prosesler, ekonomiklik ve kolay uygulanabilmesi gibi avantajlar nedeniyle de çoğu yöntemin yerini almış durumdadır. Genellikle altın kazanımında ön hazırlama ve zenginleştirme işlemleri olarak uygulanan biyolojik proseslerde son yıllarda uygulama alanı bulmaktadır. Tüm bu araştırma ve incelemeler sonucunda elde edilen veriler, bize en ekonomik ve yöntem olarak en uygun prosesin seçilmesinde alternatifler sunabilecektir. Altın cevherlerinin kazanımında metalurjik olarak uygulanacak metodun, daha verimli ve ekonomik olması amacıyla bir çok proses geliştirilmiştir. Buna rağmen altın cevherleri, uygulanacak proseslere kolaylık sağlaması amacıyla, plaser cevherler, serbest halde ufalanmış cevherler ve kompleks cevherler olarak üç ayrı şekilde incelenmektedir:

- Plaser şekilde yataklanmış altın cevherleri, ufalama gerektirmeyen ve genellikle sekonder yatakların kayalar yardımıyla ufalanması sonucu oluşan kum şeklindeki oluşumlardır. Bu tip cevherleşmeler için, basit bir yıkama ünitesi ve buna ilaveten gravite zenginleştirme ya da amalgamasyon yöntemleri uygulanmaktadır.
- Serbest halde ufalanmış altın cevherleri ise, genellikle okside olmuş, primer yataklanma sonucu meydana gelen oluşumlardır. Bu yataklanma sonucu, altın cevherleri iri boyutta ve girişim elementleri içermeyen bir yapıdadır. Bu tip yataklanmalar için gravite zenginleştirme ve amalgamasyon prosesleri uygulanmaktadır.
- Kompleks altın cevherleri, genelde birincil ve ikincil yataklanmalar sonucu oluşmuşlardır. Diğer altın oluşumlarına göre, daha ince boyutta olup, girişim elementleri içermektedirler. Uygulanacak yöntemler ise, amalgamasyon, liç ve flotasyon prosesleridir. Altın kazanım proseslerinin cevherleşmeye göre uygulanması bir çok proses geliştirilmesine neden olmuştur. Bu nedenle, Dünya’da uygulama alanı bulan bazı altın kazanım yöntemleri Çizelge 3.2’de verilmektedir (Akçıl, 1997).

Çizelge 3.2 Altın kazanım prosesleri-tüvenan cevherden (Akçıl, 1997)

Proses	Metot ve Cihaz
*Öğütme ve Sınıflandırma	Kırıcılar, Öğütücüler, Elekler ve Sınıflandırıcılar
*Katı ve Sıvı Ayırımı	Tikinerler ve Filtreler
*Ayıklanma (Elle ve Otomatik)	Fotometrik, Radyometrik, Atomik Emisyon, Spetroskop, Yüksek Yoğunluk, Manyetik Ayırıcı
*Gravite ve Yoğunluk ile Zenginleştirme	Jigler, Masalar, Koniler, Oluklar, Spiraller, Siklonlar, Santrifüjlü Jigler
*Amalgamasyon (> 25mikron)	Tabaklar, Oluklar, Masalar ve Silindirik Ayırıcılar
Liç (< 60 mikron)	Karıştırma Tankı, Yığın Liçi, Yerinde Liç, CIL
*Altın Çözücüleri (Altın Kompleksi)	Siyanürasyon (Tioüre, Tiosül, Klorin Bromin, Organik Nitriller)
*Flotasyon (5-200 mikron)	Mekanik Cihazlar (Pnömatik Selüller)
*Oksidasyon (Refrakter cevherleri)	Kavurma, Havalandırma Eksraksiyon, Sementasyon, Çinko tozu, CIP, Adsopsiyon

* CIL: Liçte karbon

Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere, tüvenan cevherden altın kazanmak amacıyla birçok proses ve cihaz kullanılması gerekmektedir. Ancak altın kazanımında birçok prosesin geliştirilmiş olması, altın yataklarının çok çeşitli ve ayrı özelliklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yapılmış araştırmaların ilk aşamalarında fiziksel zenginleştirme, fiziksel-kimyasal zenginleştirme prosesleri üzerinde olmuştur. Dünya altın yataklarındaki çeşitlilik, teknolojik olarak kazanılması mümkün olmayan altının günümüzde kimyasal-biyolojik proseslerle kazanımını mümkün kılmaktadır. İnce boyutta serbestleşen altın cevherlerinin kazanımında, biyolojik liç prosesleri ile oksidasyon ve kavurma işlemleri uygulanmaktadır. Siyanürleme ile uygulanan liç proseslerinde yaklaşık olarak 70 mikronun altındaki boyutlarda zenginleştirme işlemi yapılmaktadır. Siyanürleme işlemi, cevherin ve gang minerallerinin serbestleşmesine de bağlı olarak bir ön işlem (öğütme) geçirilerek uygulanabilmektedir (Güneş ve Akçıl, 1997).

Ekstraksiyon yöntemleri zengin cevherlere uygulanan doğrudan izabe ya da düşük tenörlü oluşumlara uygulanan hidrometalurji şeklinde iki grupta toplanabilir.

Bununla beraber, cevherler aşağıdaki nedenlerle zenginleştirme ve kavurma gibi bazı ön işlemlere tabi tutulurlar.

Zenginleştirme işlemleri aşağıda özetlenen ana nedenlerle uygulanır:

- a) Ekstraksiyon devresinin yükünü azaltmak amacı ile gang minerallerinin atılması.
- b) Kimyasal madde harcanmasına yolaçan, ya da ekstraksiyon olayını engelleyen bileşiklerin atılması.
- c) Ekstraksiyon prosesi veriminin artırılması.
- d) Doğrudan izabe edilebilir konsantrelerin elde edilmesine yol açması (Güneş ve Akçıl, 1997).

Altın cevherlerinde genellikle bir ön zenginleştirmeye gidilebilmektedir. Bu amaçlı gerçekleştirilen zenginleştirme yöntemlerinden en fazla kullanılan triyaj, gravite ve flotasyon ve kimyasal zenginleştirme (liç) aşağıda verilmiştir.

3.1 Triyaj ile Zenginleştirilme

Ayıklama veya yabancı literatürden Türkçeye geçmiş deyimini ile Triyaj madenciliğinin ilk uygulamalarındandır. Ayıklama ister insan gücü ile elle olsun ister otomatik cihazlarla el değmeden olsun minerallerin bu ayırımı için bazı fiziksel özelliklerinden yararlanmak gerekmektedir. Bu fiziksel özellikler minerallerin şekil ve renkleri gibi özellikleridir. Ayıklama nispeten iri mineral parçaları üzerinde uygulanır. Bilhassa elle ayıklamanın ekonomik olması bakımından büyük parçalar halinde değerli ve değersiz cevher parçalarının birbirinden ayrılabilmesi gerekir (Önal ve Ateşok,1994).

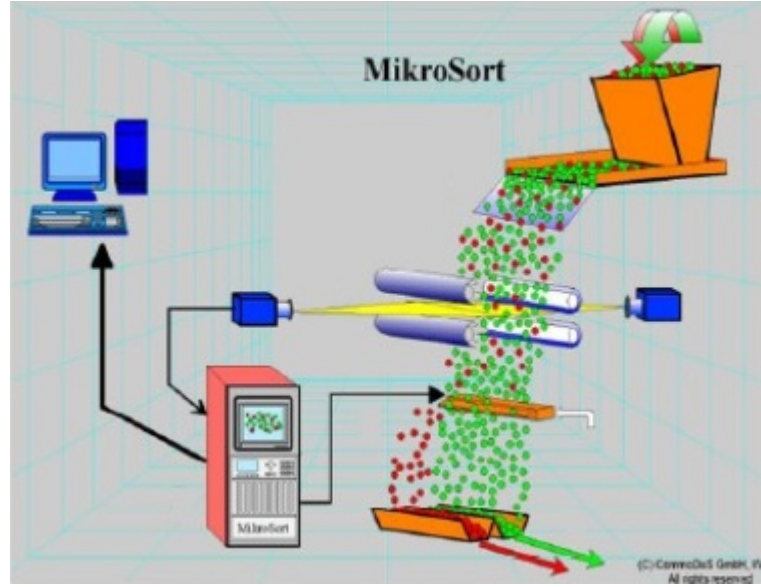
Minerallerin renk, parlaklık, flüoresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak, elle seçilerek birbirinden ayrılmasına, elle ile zenginleştirme denilmektedir. Ülkemizde cevherlere uygulanan elle ayıklamaya "triyaj ve tavuklama" kömüre uygulanana da "kriblaj" adı verilmektedir. Madenciliğinin ilk uygulamasından beri kullanılan ve en eski cevher hazırlama yöntemi olarak bilinen elle ayıklama, çağdaş teknolojiye de yer almaktadır. İşçiliğinin ucuz olduğu yerlerde küçük maden işletmelerinde, nihai zenginleştirme işlemi olarak, zenginleştirme tesisleri öncesinde de iri boyutta konsantr üretilmesi veya artık atmak amacıyla uygulanmaktadır. Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde aranılan özellikleri şunlardır:

- Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde, birbirinden ayrılması arzulanan mineraller arasında belirgin renk, parlaklık, şekil veya ağırlık farkı bulunmalıdır

- Elle ayıklanacak cevherdeki tane boyutu 3-30 cm arasında olmalı ve birbirine yakın boyutlarda gruplandırılarak ayrı ayrı ayıklamaya tabi tutulmalıdır
- Tanelerin iyi tanınması için, tane yüzeylerini kaplayan toz ve pislikleri uzaklaştırmak için ayıklama öncesinde cevheri yıkamak gerekir (Önal, 1978).

Yer kabuğundaki maden rezervlerinin sınırlı ve tükenebilir olması sebebiyle birincil ve ikincil hammadde kaynaklarının verimli bir şekilde çıkarılması, kullanılması ve geri kazanımı önem taşımaktadır. Bu noktada sensör temelli ayırım sistemlerinin endüstride yaygınlaşması konusu önem kazanmaktadır. Sensör temelli ayırıcılar sayesinde malzemenin yüzey ve mineralojik özelliklerine dayalı olarak yapılacak otomatik uygulamalar, birincil ve ikincil kaynakların daha yüksek verim ve saflıkla değerlendirilmesine imkan sağlayacaktır. Sensör temelli ayırıcılar madencilikte beslemeden ön konsantre kazanımı ve takip eden devrelerde kapasite artışı, ara ürün elde etme, nihai ürün eldesi gibi amaçlarla kullanılabilirler. Bir yığın içinde bulunan farklı özelliklerdeki tanelerin sensörler aracılığıyla analiz edilip, kullanılan sensörün algıladığı özellikler açısından seçilen tanelerin mekanik yolla veya basınçlı hava ile yığın içinden uzaklaştırılması işlemine sensör temelli ayırma denir. Sensör temelli ayırma, bir yığını oluşturan tanelerin görüntülerindeki göz ile ayırt edilebilen veya edilemeyen farklılıklara bağlı olarak birbirlerinden ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kullanılan sensöre bağlı olarak algılanan farklılıklar da değişmektedir. Elle ayıklama yerine kullanılan bir yöntem olup, insan faktörünü ortadan kaldırması, çok geniş bir tane aralığında kullanılması, besleme malzemesinin yaş ya da kuru olmasından etkilenmemesi, ilk aşamada yaş bir yöntem uygulanmıyorsa suyundan ayrılması gereken ürün üretmemesi, şlam oluşturan atık çıkmasına neden olmaması, besleme boyuna bağlı olarak tekbirimin çok yüksek kapasitelere ulaşabilmesi, farklı algılama sistemlerinin (sensör) kullanılmasına uygun olması, kullanım alanının buna bağlı olarak genişleyebilmesi, gözle görülebilir farklılıkların dışındaki farklılıklara bağlı olarak ayırım yapabilmesi, uygulamaya ve işlenecek cevhere bağlı olarak çok yüksek ayırım performansına sahip olması ve birden çok farklı sensör kullanılarak aynı anda farklı özelliklere göre ayırım yapabilmesi sensör temelli ayırımının avantajlarından (Gülcan ve Gülsoy 2013).

Otomatik tavuklama ile altın cevherlerinin zenginleştirilmesi, ön zenginleştirme amacı ile kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanılması için, altın cevheri kırıldığı zaman 75-30 mm arasında serbest gang içeriyorsa ve bu gangin uzaklaştırılması uygulanacak zenginleştirme işlemini kolaylaştırıyorsa uygulanmaktadır. Otomatik tavuklama, altınlı tanelerin renk veya radyoaktif özelliklerinden faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Cevherde, altınlı taneciklerin parlama, yansıtma ve renk özelliklerini engelleyecek kirlilik mevcutsa, cevhere yıkama işlemi uygulanmaktadır. 75-32 mm aralığındaki ufalanmış cevherlere uygulanan bu yöntemin zenginleştirme verimi %95'in üzerindedir (Bayraktar ve Yarar, 1985). Optik ayırmanın genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.

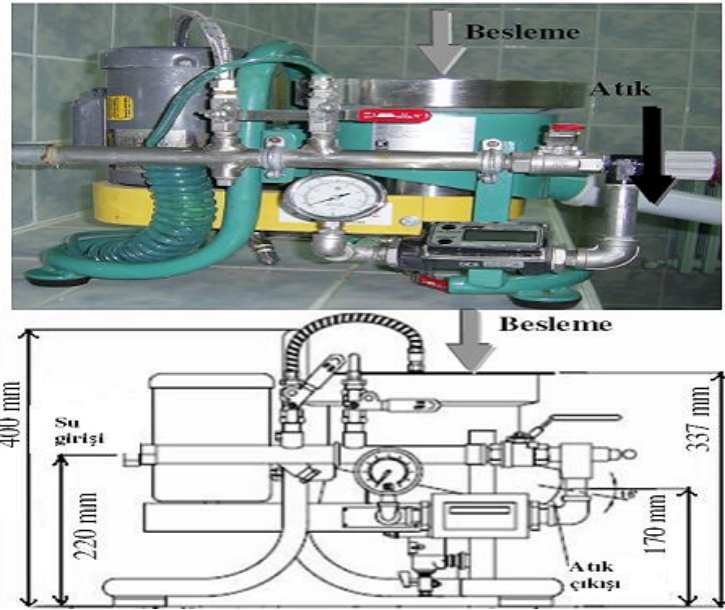


Şekil 3.1 Optik ayırmanın genel görünümü (Bergmann, 2009)

3.2 Yoğunluk Farkına Dayalı Zenginleştirme

Bu yöntem plaser tipi cevherleşme dediğimiz altın içeren kayaların zamanla atmosferik koşullarda ufalanıp bazılarının su ile taşınarak suyun hızını kaybettiği yerlerde (menderesler, deltalar, dere kıvrımları vb) sedimanların çökeltmeleri sonucunda oluşmuş gözle görülebilen irilikteki nabit altın taneleri bate, jig, humpry spiralleri, sallantılı masa, knelson ve falcon konsantratörleri gibi gravimetrik zenginleştirme yöntemleri

yardımıyla ayrıştırılabilir. Bu tür cevherlerden altının kazanılması oldukça basit ve ucuzdur. Dünya altın üretiminin yaklaşık %3'ü bu tür yataklardan elde edilmektedir. Ülkemizde de Manisa-Salihli- Sart'ta Pomzaexport A.Ş tarafından plaser tip altın yatağından gravimetrik yöntemler (humpry spiralleri, sallantılı masa, knelson) yardımıyla nabit altın üretimi gerçekleştirilmektedir (www.altinmadencileri.org.tr). Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Bunlar <30 µm boyutunda çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler (Ren vd., 1994). KC dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üstten beslenen pülpten santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır taneler konsantre olarak yatağın oluklarına takılır. Gang mineralleri ise atık olarak pülpün üst akışıyla birlikte atılır. Besleme, standart model Knelson konsantratörün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla yapılmaktadır. Besleme %0-70 pülp yoğunluğunda yapılabilir. Konsantratör haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur (Knelson ve Jones, 1993). KC'nin ana operasyon değişkenleri; yıkama suyu hızı, besleme pülp yoğunluğu ve alıkonma süresidir. Knelson ayırıcısı altın cevherleri için ön zenginleştirici olarak dizayn edilmiştir ve yerçekimi ivmesinin ortalama 60 katı kadar bir santrifüj kuvveti oluşturabilmektedir (Huang, 1996). Şekil 3.2'de laboratuvar tipi Knelson ayırıcısı ve şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.2 Knelson ayırıcısı ve şematik görünüşü (laboratuvar tipi) (Alp ve ark., 2004; Celep ve ark., 2004)

3.3 Flotasyon ile Zenginleştirilme

Altın ve gümüş cevherleri, pirotin, Cu, As, Sb gibi çeşitli mineral veya elementleri içeren siyanisidler ve bitümlü karbonla grafit içerebilmektedir. Bu elementler, altın liçi için gerekli olan oksijeni ve siyanürü tüketerek liç işleminde sorunlar çıkarmaktadır. Arsenik ve antimuan, çözünmüş altın ve gümüş bileşiklerinde altının yerine geçen bileşikler oluşturmaktadır. Bitümlü karbon ve grafit ise liç verimini altınlı çözeltilerdeki altın ve gümüş iyonlarını adsorblayarak düşürmektedir. Altın-gümüş cevherlerindeki tellürid minerallerini siyanür liçi uygulayarak çözündürme işleminde altın kazanma verimi çok düşük olmaktadır. Burada bahsedilen nedenler ve siyanürlenecek cevherde var olan ve zarar verecek elementlerin uzaklaştırılması, siyanürleme ile çözünmeyen telluridlerin kazanılması, gravite zenginleştirilmesi ve amalgamasyon işlemlerinin artıklarında olan altın-gümüş kaçaklarının kazanılması, yüksek tenörlü ön altın konsantrelerinin üretilmesi amacı ile flotasyon ile altın-gümüş cevherleri zenginleştirilmektedir. Köpürtücü ve sadece grafitte karşı aktif olan toplayıcı kullanılarak, grafit ve bitümlü karbon içeren altın-gümüş cevherinde öncelikle grafit ve karbon yüzdürülür. Sonrasında nabit altın, gümüş ve bu metallerin sülfürleri flotasyon yöntemiyle konsantre edilmektedir. Altın içeren pirit cevherleri, kolektif flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Altın içeren Cu, Pb, Zn, As, Sb cevherleri ise selektif flotasyon veya kolektif-selektif flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Tellürid içeren cevherlerden siyanür liçi yöntemiyle altın ve gümüş alındıktan sonra, liç artıklarındaki tellüridler flotasyon ile yüzdürülmekte ve konsantre edilmektedir (Çilingir, 1996).

Nabit altın ve gümüşün tane büyüklüğü ve tane şekilleri flotasyonu etkileyen özelliklerdir. Pulsu tanelerin yüzebilirliği küresel tanelere göre daha kolaydır. Tane büyüklüğü 200 mikron üzerinde olan nabit altın ve gümüş tanelerini flotasyonda yüzdürmek mümkün değildir. Cevherde 200 mikrondan daha büyük nabit altın ve gümüş taneciklerinin olması durumunda, öncelikle cevher gravite yöntemleri veya amalgamasyon yöntemiyle zenginleştirilmektedir. Bu işlemlerden sonra, gerektiği takdirde artıklara flotasyon uygulanmaktadır. Amalgamasyon ile cevherden altın ve gümüşün %60-70'i kazanılmaktadır fakat artıklara flotasyon işlemi uygulanırsa genel verim %10-30 arasında artmaktadır. Flotasyon işlemi ile üretilmiş konsantrelerdeki altın ve gümüş taneciklerinin yüzeyleri ksantojenat filmi ile kaplanmaktadır ve bu

durum siyanürleme işlemini zorlaştırmakta ve verimini düşürmektedir. Bundan dolayı pirometalürjik işlemler, flotasyon konsantrelerini değerlendirmek için uygulanmaktadır. Nabit altın, gümüş ve altınlı-gümüşlü sülfür minerallerinin birlikte bulunduğu cevherlerin flotasyon ile yüzdürülmesinde; sülfidril toplayıcılar (ksantatlar, ditiyofosfatlar) ve köpürtücüler (çamyacı) kullanılmaktadır. Nabit altın, gümüş ve sülfürlü mineraller, su ve hava ile hafif temas ettikten sonra yüzeyleri toplayıcı reaktifler ile kolay bir şekilde bağ kurmaktadır. Metallerin kimyasal aktivitelerinin etkisiyle altın-gümüş iyonları içeren pulptaki oksijen, ağır metaller tarafından indirgenmektedir ve hidrojen peroksit dolayısıyla aktif oksijen oluşturmaktadır. Altın, gümüş ve sülfür taneleri, aktif oksijenin yüzeylerini etkilemesi ile toplayıcıların bu yüzeylere bağlanmasını sağlamaktadır. Ortamda yeterli oksijen var ise nabit altın, gümüş, tellüridler ve sülfürler ksantat ile yüzeyleri kolaylıkla kaplanabilmektedir. Nabit altın-gümüşün yanısıra ortamda bakır ve demir sülfür minerallerinin mevcudiyeti durumunda nabit altın ve gümüş kollektörlere bağlanamazlar çünkü bakır ve demir sülfür mineralleri kolay okside olabildikleri için ortamdaki oksijeni tüketmektedirler. Bu durumun önüne geçmek için pulpa, uzun süreli ve ilave basınçlı hava verilerek kondüsyonlanır (Glembotski vd., 1972).

Cevherde fazla kil olması durumunda dispersiyonu sağlamak için ortam pH' sı çok önemlidir. Maksimum dispersiyon, zayıf alkali ortamda sağlanmaktadır. Killerin bastırılması için Na_2SiO_3 ile soda kullanılmaktadır, bazen ise Na_2S kullanıldığı olmaktadır. Altın-gümüş ve sülfürlü cevherlerinin flotasyonunda, uzun zincirli ve kısa zincirli ksantatlar karıştırılarak kullanılmaktadır. Bu sayede, köpük gelimi arttırılır, flotasyon hızlandırılmış olur, selektivite arttırılır ve toplayıcı sarfiyatı azaltılmış olur. Mineral yüzeylerinde gerçekleşen farklı oksidasyonlar, toplayıcılarla bağlanma eğilimindeki farklılık, karıştırılmış toplayıcılarla çalışmadaki başarıyı arttırır. Kuvarlı altın cevherlerinde, hafif alkali ortamda (soda pH 7-9), ksantatlar, ditiyofosfatlar ve köpürtücü olarak krezelik asit kullanılarak kolaylıkla yüzdürülebilmektedir. Az miktarda cam suyu ile gang bastırılır. Bu işlemle altın tenörü yüksek konsantreler üretilebilmektedir ama bu yöntem, bu tip cevherlerin zenginleştirilmesinde tercih edilmemektedir. Flotasyonla altın kazanma verimi, liç ile kazanma veriminden daha düşük olmaktadır. Flotasyon konsantreleri direk liç edilemediklerinden dolayı liçten önce ısı işlemlerden geçirilir veya pirometalürjik olarak değerlendirilmektedir. Küçük

kapasiteli işletmelerde, flotasyon uygulama olanağı buna rağmen doğmuştur. Altınlı pirit, altınlı arsenopirit içeren cevherler hafif asidik ortamda, canlandırıcı eklenerek (CuSO_4) ve ksantatlar kullanılarak kollektif olarak flotasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Üretilen konsantre pirometalürjik yöntemle değerlendirilmektedir. Bu cevherlerden farklı kalitelere altın konsantreleri üretmek mümkündür. Bu doğrultuda yapılacak selektif flotasyonda, öncelikle kalsiyum soda (pH 8-9) ve permanganatlarla pirit, arsenopirit bastırılmaktadır. Ditiyofosfatlar ve krezelik asit veya çamyacı kullanılarak nabit altın-gümüş yüzdürülmektedir. Pirit yüzdürülmeden önce hafif asidik ortamda pirit yüzeylerindeki oksit filmi tahrip edilmektedir. İkinci bir kondüsyoner kullanılarak ortam pH'sı soda ile hafif bazik olarak ayarlanır ve permanganat ile arsenopirit bastırılmaktadır. Soda, HCO_3^- iyonlarının etkisi ile piriti canlandırmaktadır ve ksantatlarla yüzdürülerek altınlı pirit konsantresi üretilmektedir. Bastırılan arsenopirit içerisindeki altın geri kazanılmaktadır. Bunun için, asidik ortamda (H_2SO_4 , pH 5-6) arsenopirit canlandırılarak ksantatlarla yüzdürülmekte ve gangtan ayrılmaktadır. Bu sayede, iyi kaliteli nabit altın konsantresi, altınlı pirit konsantresi ve altınlı arsenopirit konsantresi üretilmiş olur. Altınlı arsenopirit cevherinde piritte bağlı altın pek fazla değilse, altınlı pirit yüzdürme işlemi yapılmaz ve nabit altın ile altınlı arsenopirit ayrı ayrı yüzdürülür. Antimonit, arsenopirit, pirit, nabit altın içeren cevherlerde, öncelikle antimonit yüzdürülmektedir. Antimoniti canlandırmak için PbNO_3 kullanılmaktadır. Arsenopirit ve piriti bastırmak için kondüsyonere basınçlı hava verilerek uzun süre kondüsyonlanmaktadır. Toplayıcı ve köpürtücü ilave edilerek yüzdürme işlemi gerçekleştirilir. Asidik ortamda (H_2SO_4 , pH 5-6) arsenopirit ve pirit, bakır sülfatla canlandırılarak flote edilmektedir. Nabit altın, nabit gümüş, altınlı sülfür minerallerinin selektif, kollektif flotasyonunda ksantatlar, ditiyofosfatlar, diksantojenatlar, Aeroflot 208, Aero 3477, Aerofloat 25, Aerofloat 31, Aeroprometer 404, Aeroprometer 407, Aeroprometer 412 toplayıcı olarak kullanılmaktadır. Flotasyonda köpürtücü olarak çamyacı, Dowfroth 250, krezelik asit ve eşdeğerli reaktifler kullanılmaktadır (Çilingir, 1996).

3.4 Amalgamasyon ile Zenginleştirme

Amalgamasyon yöntemi, altın zenginleştirmesinde eski çağlardan günümüze kadar kullanılmakta olan bir yöntem olmuştur. Civanın, işçi sağlığı ve çevre için zararlı

oluşundan dolayı amalgamasyon ile civa zenginleştirilmesi günümüzde kullanımı azalmaktadır. Civanın, altın ve gümüşle ara yüzey gerilimi, suyun ara yüzey gerilimden çok daha düşüktür. Nabit altın ve gümüş taneciklerinin yüzeyleri, pulp içerisinde civa ile temas ettikleri zaman yüzeyleri civayla tamamen kaplanarak $AuHg_2$ ve Ag_8Hg gibi altın-civa ve gümüş-civa bileşiklerini oluştururlar. Böylece nabit altın ve gümüş civayla kaplanarak civa içerisine hapsedilir. Nabit altın, elektrik dışındaki altın mineralleri yüzey gerilimlerinin uygun olmamasından ötürü amalgam olmazlar. Aynı zamanda 400 mikrondan ince nabit altının amalgamasyonu zor olmaktadır. Ortamda bulunabilecek demir oksit, demir sülfür, tellüridler, arsenik, antimuan ve bizmut amalgamasyonu zorlaştırmaktadır ve civa kullanımını arttırmaktadır. Bu yan elementlerden ötürü zenginleştirmede kazanma verimi düşüktür. Bu yüzden, amalgamasyon artığına siyanür liçi uygulanır ve artıktaki altın kazanılır. Arsenik ve antimuan varlığı durumunda ise kavru olarak arsenik ve antimuan $As_2O_3-Sb_2O_3$ şeklinde uzaklaştırılır. Pulp içerisindeki gang, civadan etkilenmez ve bu sayede nabit altın ve gümüş civa ile temas eder. Belli miktarda civa işlendikten sonra, altın-gümüşlü civa gangtan kolay bir şekilde ayrılabilir hale gelir. Au-Ag içeren civadan altın ve gümüş, preslenerek ve destile edilerek kazanılır. Preslenmiş amalgam civada %0,13 Au kalmaktadır. Destilasyon işlemiyle civa geri kazanılır ve destilasyondan gelen civa %0,1 Au içerir (Çilingir,1996).

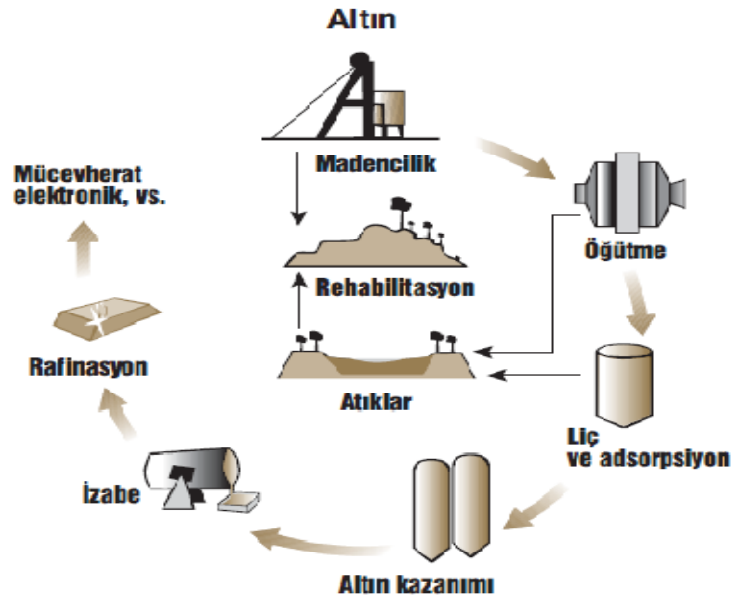
Nabit altın ve gümüş içeren cevherler; amalgamasyon tavalarında, amalgamasyon tamburlarında ve amalgamasyon masalarında civa ile temas ettirilerek amalgam oluşturulur ve konsantre gangtan ayrılır. Amalgamasyon tavasında yapılan işlem, civa ön konsantre içinde işlenir. Amalgamasyon tavası, dairesel kesitli ve 20-30° meyille monte edilmiş bir kaptır ve ön konsantre bu amalgamasyon tavası içerisinde öğütülür. Öğütücü ortam olarak bilye kullanılır. Amalgamasyon tavasında işlenen ön konsantre, amalgamasyon tutucusuna boşaltılır ve altın ve gümüş içeren amalgam gangtan ayrılır. Amalgamasyon tamburu şekil olarak, dökme demirden yapılmış silindir şeklinde bir boru değirmene benzemektedir. Cevher, civa ve amalgam silindir yüzeyindeki kapalı bir delikten doldurulup boşaltılabilmektedir. Öğütücü ortam ve karıştırıcı olarak bilyeler ve çubuklar kullanılabilir. İki üç saatlik amalgam süreleri mevcuttur. Amalgam işleminden sonra tambur içerisindeki Au-Ag'li civa ve gang boşaltılmakta ve amalgam tutucusuna boşaltılarak burada Au-Ag'li amalgam, gangtan ayrılır ve gang destile edilir. Amalgamasyon masası, eğimi 10°'ye kadar çıkabilen dar ve uzun bir masa yüzeyi

şeklinde dir. Bakır bir plaka ile masanın üst yüzeyi kaplanmıştır. Bu bakır plakanın üzeri belli zaman dilimleri içerisinde civa sürülerek yüzeyin sürekli civa kaplı olarak kalması sağlanır. Öğütülmüş olan Au-Ag içerikli pulp, bu plaka yüzeyine beslenmektedir. Bu sayede pulp masa üzerinde akarken, Au-Ag amalgamlar oluşmaktadır. Akmakta olan pulp, amalgam tutucusundan geçirilerek amalgam gangtan ayrılmaktadır. Bu işlem sırasında oluşan amalgamlardan bir miktarı masaya yapışık vaziyette kalmaktadır. Masaya yapışan amalgamlar ise, çalışmanın belli aralıklar ile durdurularak plaka yüzeyinin sıyırılmasıyla alınmaktadır. Amalgam tutucusu, içerisinde bir karıştırma düzeneği var olan koni şeklinde bir kaptır. Karıştırıcının karıştırma hızı düşük olmaktadır. Üst kısımdan civasız ve amalgamsız gang atılmaktadır ve alt kısımdan toplanan Au-Ag amalgamı belli zaman aralıklarında alınarak destile edilmektedir (Habashi, 1967).

3.5 Kimyasal Zenginleştirme (Liç)

Siyanür, karbon ve azot ihtiva eden bir grup kimyasal maddeye verilen genel bir isimdir. Siyanür bileşikleri hem doğal olarak bulunan hem de insanlar tarafından üretilen (antropojenik) kimyasallardan oluşur. Eklem bacaklılar, böcekler, bakteriler, yosunlar, mantarlar ve daha üst yapıdaki bitkilerin çeşitli türleri dahil siyanürün iki binden fazla doğal kaynağı bulunmaktadır. Gaz halindeki hidrojen siyanür ile katı haldeki sodyum ve potasyum siyanür insanlar tarafından üretilen siyanürün başlıca biçimleridir. Kendine özgü özellikleri nedeniyle siyanür, metal parçalar ile plastikler, sentetik kumaşlar, gübreler, bitki zararlıları için ilaçlar, boyalar ve ilaçlar gibi çok sayıdaki genel organik ürünlerin imalinde kullanılır. Siyanürün sanayide kullanımı hakkında halkın haklı bir endişesi bulunmaktadır. Siyanür toksik bir maddedir ve belirli miktarlarda yutulması veya solunması halinde ölümcül olabilir. Bu durum, benzin ve evlerde kullanılan temizlik malzemeleri gibi pek çok diğer kimyasal madde için de geçerlidir. Çağdaş sanayi süreçlerinde kullanılan binlerce diğer kimyasal madde için geçerli olduğu gibi, uygun yükleme boşaltma ve nakliye işlemleri ve sorumlu yaklaşım, siyanürün güvenli ve faydalı olarak kullanımı için esastır. Önemli miktarda siyanür kullanan sanayi faaliyetlerinden birisi madenciliktir (dünya toplam üretiminin %18'i kadar). 1887'den beri, başka yöntemlerle işletilemeyen cevherlerden özellikle altın ve gümüşün eldesinde siyanür çözeltileri kullanıla gelmiştir. Ayrıca, siyanürün düşük

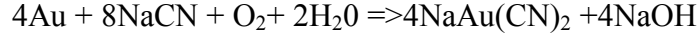
konsantrasyonlu çözeltileri, kurşun, bakır ve çinko gibi demir dışı metallerin kazanılmasında yardımcı flotasyon kimyasalı olarak kullanılır. Altına yüksek değer verilmesinin nedenlerinden birisi, kimyasalların hemen tamamının etkisine olan direncidir. İstisnalardan birisi, kıymetli metali çözüdüren siyanür veya daha doğru bir ifade ile siyanür içeren çözeltilerdir. Siyanür, madencilikte, kırma ve gravite ile ayırma gibi basit fiziksel süreçlerde kolayca zenginleştirilemeyen ve özellikle düşük tenörlü cevherlerden altını (ve gümüşü) elde etmede kullanılır (Logsdon ve ark., 2001). Altın üretiminin genel akım şeması Şekil 3.3’de özetlenmiştir.



Şekil 3.3 Altın üretimi (Logsdon ve ark., 2001).

Altın ve gümüş üretiminde bugün dünyada en yaygın şekilde kullanılan yöntem siyanür liç yöntemidir. Altın ve gümüş bileşiklerinin siyanürde çözünmeleri farklıdır. Gümüş alkali siyanür çözeltisinde altından daha yavaş çözünür. Halojenürler kolay, sülfürler daha zor çözünür. Bu nedenle sülfür mineralleri klorürleştirici veya oksitleyici bir kavurmadan sonra işlenirler. Sodyum siyanür ağırlığının 1.1 katı kadar gümüş ve 2 katı kadar altın çözer. Çözeltiden çinko ağırlığının 3.3 katı kadar gümüş ve 6 katı kadar altın çöktürür. Aynı bileşik halinde olan gümüşün üretiminde altına nazaran daha fazla reaktif kullanılır. Gümüş minerallerinin altına göre daha ince öğütülmesi ve tepkime süresinin uzatılması gereklidir. Aynı yapıdaki gümüş bileşiklerinin çözünme hızı altıninkinin yarısı kadardır. Gümüşte daha iyi havalandırmaya ve daha derişik çözeltilere ihtiyaç vardır (Sivrioğlu, 1990). Altının alkali siyanür çözeltilerindeki

davranışı ilk olarak 1846 yılında Eisner tarafından incelenmiştir. Eisner atmosferik oksijenin altının siyanürlü çözeltilerde çözünmesi için gerekli olduğunu ortaya koymuş aşağıda verilmiş olan kimyasal tepkimeyi öne sürmüştür. Önemli metal-siyanür kompleksleri Çizelge 3.3’de verilmiştir (Girgin, 2010).



Çizelge 3.3 Önemli metal-siyanür kompleksleri (Staunton, 1991)

Serbest Siyanür	HCN, CN
Basit Bileşikler	NaCN, KCN, Ca(CN) ₂ , Hg(CN) ₂ , NH ₄ CN
a- Kolay Çözünür	Zn(CN) ₂ , CuCN, Ni(CN) ₂ , AgCN, AuCN
b-Nisbeten Çözünmez	Fe ₂ Fe(CN) ₆ , Cu ₂ Fe(CN) ₆
Zayıf Kompleksler	Zn(CN) ₄ ²⁻ , Cd(CN) ₃ ⁻ , Cd(CN) ₄ ²⁻ , Zn(CN) ₂ (OH) ₂ ²⁻
Orta Kuvvetli Komp.	Cu(CN) ₂ ⁻ , Cu(CN) ₃ ²⁻ , Cu(CN) ₄ ³⁻ , Ni(CN) ₄ ²⁻ , Ag(CN) ₂ ⁻
Kuvvetli Kompleksler	Fe(CN) ₆ ⁴⁻ , Fe(CN) ₆ ³⁻ , Co(CN) ₆ ⁴⁻ , Au(CN) ₇ ⁻ , Hg(CN) ₄ ²⁻
Diğer Reaksiyon Ürünleri	SCN ⁻ , CNO ⁻

Uygun kimyasal reaktifler kullanarak bir cevherin içerdiği kıymetli metal ya da minerallerin kimyasal yapılarını değiştirmek suretiyle zenginleştirme işlemine kimyasal zenginleştirme denir. Kimyasal zenginleştirmelerin büyük çoğunluğunda kimyasal çözünürlük farkından yararlanır. Liç adı verilen bu yöntemde göre, uygun bir çözücü aracılığıyla, kıymetli metal ya da metallerin seçimli olarak çözeltiye alınması sağlanmakta ve bir sonraki aşamada da bu yüklü çözeltilerden seçimli olarak kazanılabilmektedir. Kıymetli metal içeriği yüksek olan cevherlerin gittikçe tükenmesi sonucunda 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, düşük tenörlü ve ince dağılımlı kıymetli mineral içeren cevherlerin değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Pirometalürjik yöntemler ve fiziksel zenginleştirme ile kazanımın teknik açıdan zorluklar çıkarması ve maliyetleri yükseltmesi sebebiyle kimyasal zenginleştirme, endüstride daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bunun yanı sıra cevherlerden alüminyum, uranyum,

titanyum, sodyum, potasyum, altın, nikel, gümüş ve kobaltın kazanılmasında büyük oranda liç yönteminden yararlanılmaktadır (Acarkan, 1997).

Cevherden altın kazanılmasında kullanılan siyanür liçi üç aşamada incelenebilir:

- Çözündürme öncesi hazırlık
- Çözündürme
- Yüklü çözeltiden altının tekrar kazanılması

Ön işlemler; cevherdeki altını maksimum çözünme verimiyle sıvı faza almak için liç öncesi yapılan işlemlerdir. Bunlar;

- Boyut küçültme (kıрма, öğütme)
- Boyuta göre sınıflandırma (eleme, klasifikasyon)
- Zenginleştirme
- Cevher ya da ürünün oksidasyonu

Boyut küçültme işlemleri ile tane serbestleşmesi sağlanan altın tanecikleri, sıvı fazdaki serbest siyanür (CN)⁻ iyonları ile temas ettiğinde, altın-siyanür bileşiği sıvı faza Au(CN)₂ halinde alınabilir. Cevherdeki altın taneciklerinin sıvı faza alınması, yani çözündürülmesi, yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Liç işleminde temel amaç; mümkün olduğunca, cevher ya da ürünün optimum miktarda çözücü (siyanür) ile temas ettirilerek çözeltilmesi alınmasıdır. Cevherin mineralojik yapısı ve altının diğer minerallerle ilişkisi göz önünde bulundurularak, zenginleştirme işlemleri ile, altın içermeyen minerallerin uzaklaştırılmasına çalışılır. Böylelikle altın içermeyen minerallerin daha sonraki işlemlerde yer almaları önlenir. Ürünlerin oksidasyonu aşaması, genellikle pirit, arsenopirit, pirotin, antimonit gibi sülfür mineralleri ve karbon içeren refrakter tip cevherler içindir. Bu tip cevherlerde altın, çoğunlukla mikroskobik (3–5 mikron) boyutlarda bulunmakta ve altının siyanürlü faza alınabilmesi için sülfürlü mineralin çözünmeye karşı direnç gösteren mineralojik yapısının bozundurulması gerekmektedir. Bunun için de çözünürlüğü kolay ve daha az siyanür tüketen bir form kazandırılır. Sülfürlü minerallerin oksitlenmesi için de su prosesler uygulanır:

- Isıl işlemler ile oksidasyonu (kavurma)
- Basınç altında oksidasyonu
- Kimyasal oksidasyonu
- Biyolojik oksidasyonu (Yüce, 1997).

Ön işlemler sonrasında elde edilen ürünler, aşağıda verilen yöntemlerle seyreltik siyanürlü çözeltilerle temas ettirilir.

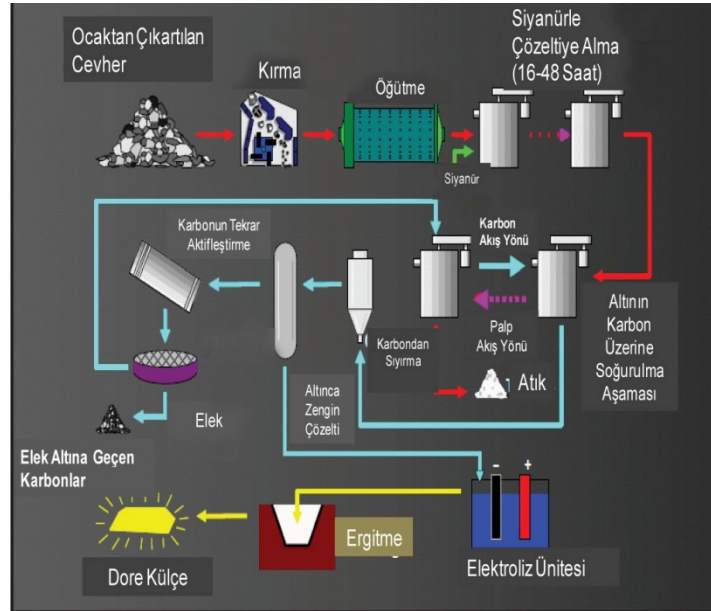
- Yığın liçi (Heap leaching)
- Tekne liçi (Vat leaching)
- Karıştırmalı liç (Agitation leaching)
- Yerinde liç (In-situ leaching)

Yığın ve tekne liçi, katının sabit konumda olup, siyanürlü çözeltilerin tanecikler arasındaki boşluklardan süzülmesi temeline dayanır. Bu işlemlerden yığın liçi en çok tercih edilen yöntemdir. Tekne liçi ise günümüzde terk edilme aşamasındadır (Yüce, 1997; Madsen, 2006). Yığın liçinde cevher boyutu, genellikle, 10 cm altına indirilir ve sınıflandırma ile ufak boyutlu kısım, iri kısmından uzaklaştırılır. Yığın liçinde siyanürlü çözeltilerin, taneler arasından kolaylıkla süzülmesini engelleyebilecek küçük boyutlu malzemenin, özellikle, kil minerallerinin yığında belirli bir orandan fazla bulunması istenmez. Uyun boyuta getirilen cevher “pad” adı verilen sızdırmaz bir tabakanın üzerine yığılır. Yığından süzülecek çözeltilerin birikeceği sızdırmaz taban; asfalt, kil özel beton ve “jeomembran” adı verilen, plastik kökenli astarlardan biriyle veya birkaçıyla birlikte oluşturulur. Astar tabakanın üzeri, işleme kapasitesine bağlı olarak, 5-12 m yüksekliğinde ve 300.000 tona varan miktarlarda cevher yığınları ile kaplanır Siyanürlü çözeltiler, oluşturulan özel püskürtme sistemi aracılığıyla yığın üzerine bırakılır. Süzülen çözeltiler, temas ettiği altın taneciklerinin sıvı faza geçmesini sağlar. Yığın tabanında toplanan altın yüklü çözeltiler, sızdırmaz toplama havuzunda toplanır ve çözeltilerin içerdiği altın, kazanılmak için bir sonraki aşamaya geçilir (Madsen, 2006).

İş makinelerinin gelişmesi ile birlikte daha büyük tonajlarda ve yaygın olarak kullanılmaya başlanan yığın liçinin yatırım ve işletme maliyetinin, karıştırmalı liçe göre daha düşük olması, bu yöntemi cazip kılmaktadır. Günümüzde 3 gr/t’den daha az altın içeren cevherlere yaygın olarak uygulanmaktadır. Yatırım ve işletme maliyetinin düşük

olması ve çözündürme sonrası katı-sıvı ayırımına gerek kalmaması, bu yöntemin bir avantajı olmasına rağmen, altın çözünme veriminin düşük olması ve siyanür ile temas süresinin uzun olması en büyük dezavantajını oluşturmaktadır. Temas süresi, genellikle 30–60 gün arasında değişmekte olup, altının çözünme verimi de, iri boyutlu cevherler için %40–60, küçük boyutlu (-2 cm) cevherler ve aglomera edilmiş cevherler için %60–80 düzeylerinde gerçekleşmektedir. Çoğunlukla, boyutu 0,3 mm’ nin altında olan cevherin siyanür çözeltisi ile silindirik bir tank içinde karıştırılması esasına dayanan karıştırılmalı liç yönteminde karıştırma işlemi, pervane ya da hava ile yapılabilmektedir. %80’in üzerinde altın çözünme verimine ulaşılabilen bu yöntemde küçük boyutlu cevher, siyanür çözeltisi ile devamlı temas halinde olduğundan, altın için liç süresi 16–48 saat arasında (ortalama 24 saat) değişmektedir (Yüce, 1997; Madsen, 2006).

Genellikle yüksek tenörlü fakat ince taneli altın cevherlerinde yaygın bir şekilde kullanılan yöntem ise tank liçi (Agitated leach)’dir. Cevher kırma eleme ünitelerinde boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra değirmenlerde öğütülerek liç tanklarına karıştırılmaktadır. Karışmakta olan cevher içerisine oksijen ve siyanür ilavesi ile çözündürme işlemi yapılmaktadır. Genel akım şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.

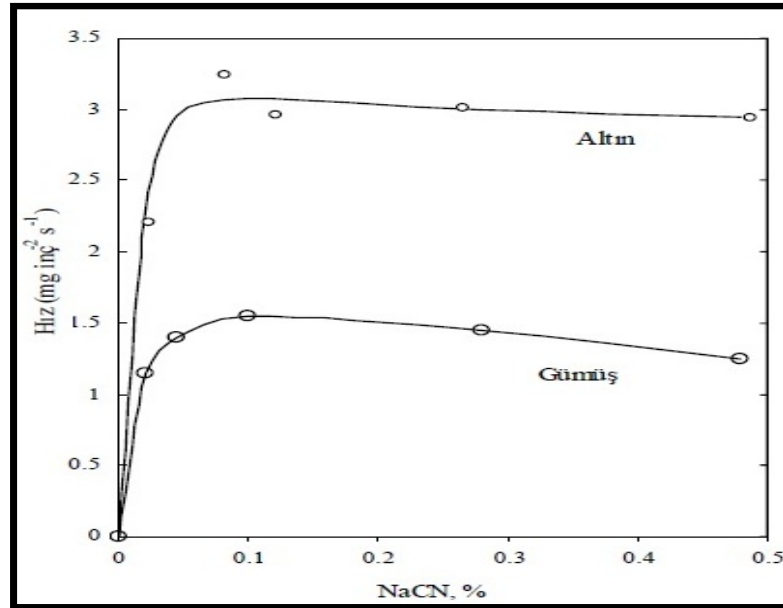


Şekil 3.4 Karıştırma liç prosesi (www.altinmadencileri.org.tr)

3.5.1 Siyanür liçini etkileyen faktörler

a) Oksijen

Hedley ve Tabachnick (1968) tarafından yapılan çalışmada, oksijenin ve oksitleyici başka bir maddenin kullanılması, siyanürlemenin normal şartlarında altının/gümüşün çözünmesi için zorunlu olduğunu belirtilmiştir. Normal şartlar altında uygun havalandırma, kimyasal oksitlenme için iyi sonuçlar vermektedir. Altın/gümüş çözünme hızının, doğrudan doğruya kullanılan gaz içindeki oksijenin oranına bağlı olarak arttığı deneysel olarak ispatlanmıştır. Çözme esnasında oksijenin oranını arttırmak için H_2O_2 ilavesinin başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Ersin, 1990). Şekil 3.5’de hava ile doyurulmuş çözeltilerde, altın ve gümüşün çözünmesi hızına siyanür konsantrasyonunun etkisi verilmiştir.



Şekil 3.5 Hava ile doyurulmuş çözeltilerde, altın ve gümüşün çözünmesi hızına siyanür konsantrasyonunun etkisi (Habashi, 1999).

2.4.1.2 Tane Boyutu

Cevherler içinde iri ve serbest altın taneleri var ise bu taneleri siyanürleme öncesi jigler vb. yöntemlerle uzaklaştırmak gerekir. Daha ince boyutta bulunan altın ve gümüş parçacıklarına siyanür iyonlarının ve çözülmüş oksijenin nüfuz etmesi için cevherin

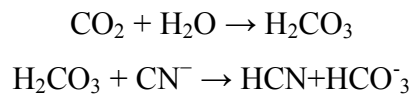
daha ince boyutlara öğütülmesi gerekir. Ancak tane boyutunun küçültülmesi, öğütme ve filtrasyon maliyetini artırdığından, optimum bir tane boyutunun seçilmesi gereklidir (Ersin, 1990).

b) Siyanür Konsantrasyonu

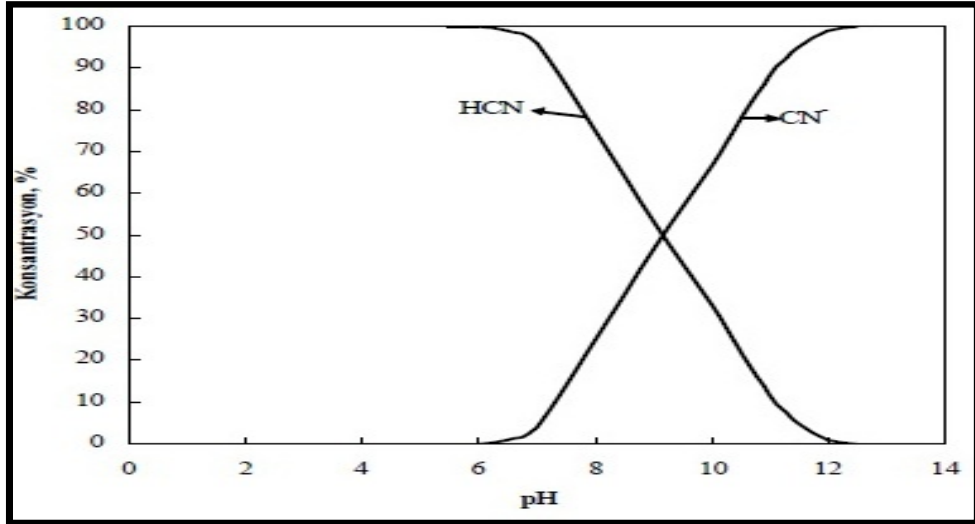
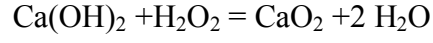
NaCN %0.10' luk çözeltisinde altın ve gümüş çözünme hızının hızla yükseldiğini bulmuşlardır. White, 1919'da ise %0.020' lik NaCN konsantrasyonunda maksimum çözünme hızını ölçmüştür (Habashi, 1967; Ersin, 1990). Habashi (1967) bu durumu şu şekilde açıklamıştır: farklı araştırmacılar tarafından bulunan bu değişik değerlerin sebebi, muhtemelen farklı şekiller ve tekniklerden dolayıdır. Bunlar, sulu çözelti hacminin yüzey oranı, karıştırma hızı ve hava miktarıdır. Büyük hacimde siyanür çözeltisi kullanılmış ise, küçük gümüş yüzeyleri siyanür çözeltisi ile etkileşmiş ise ve karıştırma, oluşan tepkime ürünlerini altın yüzeyinden uzaklaştırmak için yeterince şiddetli ise; bu durumda kontrol faktörü altın ile temas halindeki oksijenin konsantrasyonuna bağlıdır (Ersin, 1990).

c) pH

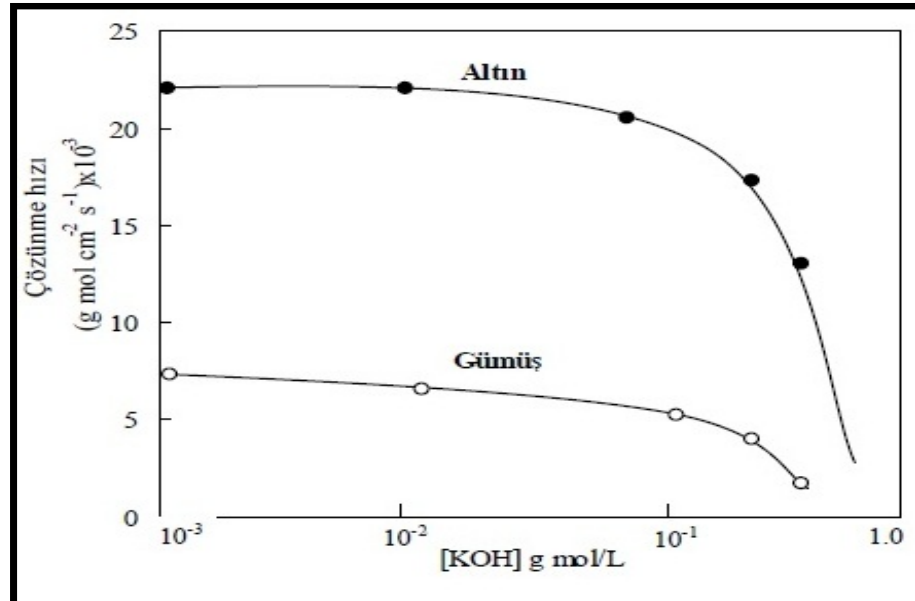
Oldukça zehirli bir gaz olan HCN oluşumunu önlemek için siyanür çözeltisini liç boyunca bazik tutmak gerekmektedir. Hidrojen siyanür, atmosferik CO₂ absorpsiyonunun bir sonucu olarak oluşabilmektedir. Yüksek pH, ancak Şekil 3.6' de gösterildiği gibi çözünürlük oranını düşürmektedir. %0.1' lik KCN çözeltisinin pH' sı hidrolizden dolayı 10,5'tir. Siyanür çözeltilerinin pH' sı, yüksek Au/Ag çözünürlükleri elde etmek için dikkatli bir şekilde kontrol etmek gerekmektedir. Uygulamada, pH genellikle 11 ile 12 arasında tutulmalıdır (Habashi, 1999). Şekil 3.7'de siyanür çözeltisindeki altın ve gümüşün çözünme hızı üzerine yüksek pH'nın etkisi ve ise Şekil 3.8 yüksek pH' da kalsiyum iyonlarının geciktirici etkisi verilmiştir.



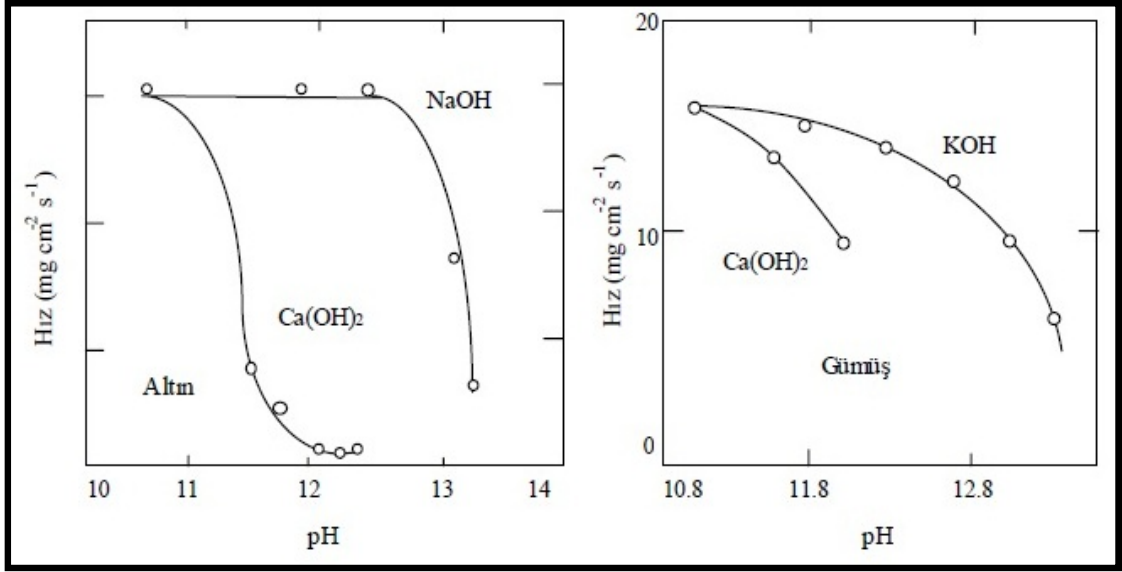
Pulp içerisindeki pH keskin bir yükseliş gerçekleştirirse (pH=12-13) tane yüzeylerinde kalsiyum peroksit (CaO_2) ile kaplanması muhtemeldir ve bununla ilgili reaksiyon aşağıda verilmiştir (Girgin, 2010).



Şekil 3.6 pH' nın bir fonksiyonu olarak siyanür çözeltisinde bulunan türler (Habashi, 1999)



Şekil 3.7 Siyanür çözeltisindeki altın ve gümüşün çözünme hızı üzerine yüksek pH'nın etkisi (Habashi, 1999)



Şekil 3.8 Yüksek pH' da kalsiyum iyonlarının geciktirici etkisi (Habashi, 1999)

d) Sıcaklık

Hedley ve Tabachnick (1968) sıcaklığın yükselmesinin çözünme tepkime hızını arttırdığını, fakat çözeltilerdeki oksijen içeriğini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bundan dolayı altın ve gümüşün maksimum çözünme hızı için optimum bir sıcaklık gerekmektedir. Pratikte bir cevherden altının kazanımı için sıcak çözelti kullanılmasının birçok dezavantajı vardır. Bu dezavantajlar, cevheri ve çözeltiyi ısıtma masrafları, ısıtma esnasında siyanür bozunumunun artması ve cevher içindeki demir, bakır vb, sülfürler gibi siyanür tüketiciler (siyanisit) ile siyanür tepkimesinin hızlanması olarak sayılabilmektedir (Ersin, 1990).

Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş Tepeköy cevher zenginleştirme tesisinde liç işlemi uygulanmadan önce pulp 85 °C kadar ısıtılarak polombo jarosit mineralinin formunun bozunması sağlanmaktadır. Böylece, altın ve gümüş cevherinin metal kazanım randımanı artmaktadır. Bu nedenle proste kapalı devre çalışan kızgın yağ kazanı sistemi bulunmaktadır.

e) Yabancı İyonların Etkisi

Siyanürlemede kullanılan suyun süreçte önemli bir yer tuttuğunu belirtmiştir. Bikarbonatlar, magnezyum sülfat, organik maddeler, ağır metal tuzları, klorürler ve diğer bileşikler var ise bunlar uzaklaştırılmalıdır. Aksi halde az veya çok siyanür çözeltisini etkileyebilmektedir. Saf metal olarak altın, daha çok değişik miktarlardaki gümüş ile alaşım halinde bulunur. Belli mineraller karakteristik olarak altın ile birlikte bulunur. Bunların en önemlileri pirit, galen, çinko blend, arsenopirit, stibnit, pirolit ve kalkopirittir. Değişik selenyum mineralleri ve manyetit de bulunabilmektedir. Her ne kadar siyanür liç analizi daha çok altın ve gümüş cevherlerine uygulanmakta ise de diğer metalik minerallerin bu ortamdaki davranışları konusunda çalışmalar yapılmıştır (Ersin, 1990).

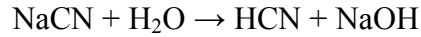
Siyanürlü çözeltilerde K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} gibi altın ve gümüşün çözünme hızında etkisi olmayan birkaç iyon dışındakiler, çözelti içindeki konsantrasyonuna bağlı olarak çözünmeyi hızlandırmaya ve geciktirmeye sebep olabilmektedirler. Kurşun (II) iyonları çözeltideki konsantrasyonuna bağlı olarak ya hızlandırıcı etki ya da geciktirici etki yapmaktadır. Siyanür liçinde bu yabancı iyonların etkisi üzerine yapılan çalışmalar oldukça karmaşıktır çünkü çözünme süreci iki eş zamanlı tepkimeden oluşmaktadır: auro veya argento siyanür iyon olumunu içeren oksidasyonu tepkimesi ve oksijen indirgenmesidir. Diğer bir yaklaşım ise, ayrı ayrı katodik ve anodik tepkimeler üzerinde yabancı iyonların etkisidir. İki ayrı deneyde gümüş veya altın elektrodun karakteristik potansiyel- akım yoğunluğundaki değişim incelenmiş ve aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir:

- Altın elektrot + $[Au(CN)_2]^-$ + CN^- + yabancı iyon, sistem dışında bırakılan oksijen.
- Altın elektrot + O_2 + H_2O + yabancı iyon, siyanür iyonu yokluğunda.

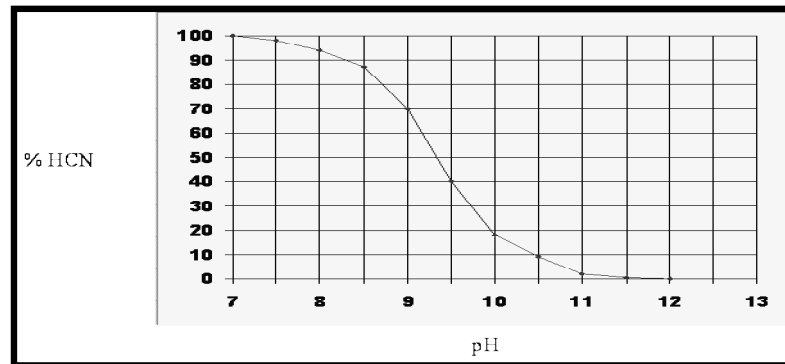
İlk deneyde, altın yüzeyindeki oksijen indirgenmesinde, yabancı iyonların etkisi ve ikinci deneyde aynı iyonların siyanürdeki altın çözünürlüğünün anodik tepkime üzerine etkisi çalışılmıştır. Bu şartlar altında oksijen H_2O_2 ' e değil OH^- 'e indirgenmektedir (Habashi, 1999).

f) Karıştırma Hızı

Birçok araştırmacılar altın ve gümüşün çözeltilerindeki çözünme hızının, karıştırma hızı ile arttığını gözlemişlerdir. Siyanür çözeltisi içerisinde döndürülen bakır ve gümüş diskte çözünme hızını, karıştırma hızı ile lineer olarak arttığını gözlemişlerdir. Altın için ise, çözünme hızının belli bir karıştırma hızında (150 d/dk) maksimuma ulaştığını, devir hızı arttıkça düşmeye başladığını ve sabit bir değere yaklaştığını belirtmişlerdir (Ersin, 1990). Siyanür, karbon ve azot ihtiva eden bir grup kimyasal maddeye verilen genel bir isimdir. Siyanür bileşikleri hem doğal olarak bulunan hem de insanlar tarafından üretilen (antropojenik) kimyasallardan oluşur. Gaz halindeki hidrojen siyanür ile katı haldeki sodyum ve potasyum siyanür insanlar tarafından üretilen siyanürün başlıca biçimleridir (Logsdon vd., 2001). Siyanürlü çözeltiler ile yapılan bütün çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli konu ortamın pH değeridir. Çünkü bir alkali siyanür suda çözünerek aşağıdaki şekilde hidrolize olur (Hedley ve Tabanhnick, 1968).



Hidrolizin mertebesi, öncelikle siyanürdeki alkali miktarına bağlıdır. pH yüksek tutulursa siyanürün bozunması önemsiz olabilir. Serbest alkalinin yokluğunda, hidroliz olayı kireç ilavesi ile geciktirilebilir. Pratikte kirecin siyanür pulpına ilavesi, sadece siyanür tüketimini önlemek değil cevherdeki asit yapılarını nötralize etmek içinde gereklidir. Zira asidik ortamda hidrosiyanik asit (HCN) açığa çıkar ve ölüm tehlikesi oluşturur. Değişik pH değerlerinde seyreltik sulu çözeltilerdeki HCN oranları aşağıdaki Şekil 3.9'da verilmiştir (Logsdon ark., 2001).

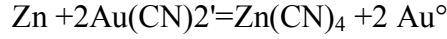


Şekil 3.9 Siyanür pH dengesi (Logsdon ark., 2001)

3.5.2 Yüklü çözeltilerden altının kazanılması

3.5.2.1 Çinko ile çöktürme (M.Crowe)

Altın yüklü siyanür çözeltilerine çinko tozu ya da talaşı ilave edilerek aşağıda verilen tepkime gereği altın indirgenerek çökeler; çinko çözeltiliye geçer.



Etkin bir altın çöktürme için çözeltinin önce filtre edilerek temizlenmesi sonra da vakumda (~0,3 atm) oksijenin alınması gereklidir. Aksi takdirde çökelen altın, yeterli oksijen varlığında serbest siyanür ile tepkimeye girerek tekrar çözünecektir. Çökeltme işleminin tamamlanmasından sonra süspansiyon filtre edilerek, çinko ve çinkodan daha elektropozitif metalleri de (Cu, Pb, vb.) içeren altın keki ayrılır. Altın kekinin bileşimine bağlı olarak kek, ya uygun bir asitle liç edilir ya da doğrudan ergitme işlemi ile safsızlıklar oksitlenerek cürufa geçilir (Cankut,1972).

3.5.2.2 Aktif karbon yüzeylerine soğurulması ve karbondan geri kazanılması

Bu yeni yöntem, aktif karbonun soy metallerin siyanür çözeltilerindeki iyonlarını yüzeyine soğurabilme özelliğinden yararlanır. Ancak, aktif karbonun altını yüzey soğurmasının mekanizması henüz yeterince anlaşılmış değildir (Mcdougall ve Hangcoc, 1980). Altının bu yolla çözeltilerden kazanılması, çinko ile çöktürmeye göre bazı avantajlara sahiptir. Bunların en önemlileri kısaca şunlardır:

- Çinko ile çöktürmede kritik noktalar olan aşırı alkalilik, serbest siyanür iyonu derişimi ve bakır, arsenik, antimuan, nikel gibi metallerin kompleksleri karbon soğurumunda kritik noktalar değildir.
- Pahalı işlemler olan filtrasyon, çözelti temizlenmesi gibi işlemlere gerek yoktur.
- Çözeltideki oksijen derişiminin azaltılması gerekmez.
- Çözeltide kalan altın nedeniyle oluşan kayıplar daha azdır.
- Yatırım ve işletme maliyeti daha düşüktür.

Bu yöntem, yukarıdaki nedenlerle özellikle 1970'lerden sonra çinko ile çöktürmenin yerini almaktadır. Aktif karbon, hindistan cevizi kabuklarından, şeftali, erik gibi meyvaların çekirdeklerinden, taşkömüründen ve bazı ağaçların odunlarından elde edilmektedir. Tane boyu 3,5 ile 1,2 mm arasındadır. Tanelerin sahip olması gereken en önemli özellik aşınmaya karşı dirençli olmasıdır. Aksi takdirde soğurulmuş altının kömür şamlarından kazanılmasının güçlüğü nedeniyle altın kaybı artar (Mcquiston ve ark., 1981).

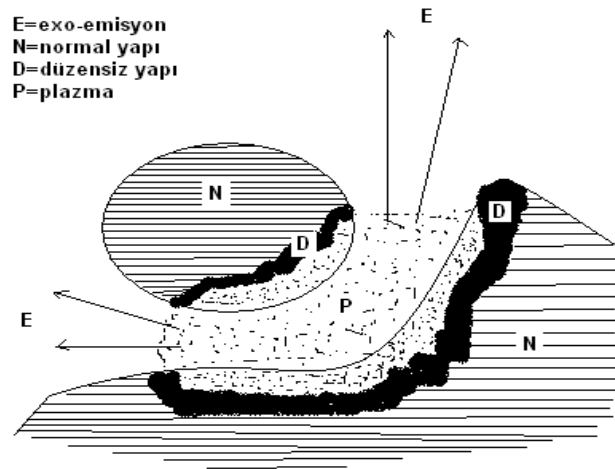
BÖLÜM IV

MEKANİK AKTİVASYON

Katı maddelerin mekanik aktivasyonu, mekanokimya proseslerinden biridir. Günümüzde mekanokimya, geniş bir potansiyel uygulama alanına sahip bir bilim olmuştur. Ticari kullanım alanları arasında; yapı malzemelerinin özelliklerinin modifikasyonu, katalistlerin zenginleştirilmesi ve rejenerasyonu gibi birçok malzemenin üretimi sayılabilir. Mekanik aktivasyon işlemi, ekstraktif metalürjide özel bir öneme sahiptir (Celep, 2008). Mekanik aktivasyon terimi, değişmeden kalan bir katının reaksiyona girme yeteneğinde bir artış sağlayan bir proses olarak ifade edilmektedir. Meko-kimya terimi ilk defa Wilhelm Oswald tarafından kullanılmıştır. Oswald'ın tanımlamasına göre, Meko-kimya malzemelerin şekil, yüzey ve hacimlerindeki değişikliklere neden olan enerjilerin etkilediği kimyasal dönüşümlerin incelenmesidir. Mekanik aktivasyon terimi ise ilk olarak Smekal tarafından, mekanik enerji ile etkilenmiş ve kimyasal bileşimi değişmeksizin sistemin kimyasal reaktivitesinde bir artış sağlanmış prosesleri tanımlama için kullanılmıştır. Mekanokimyasal liç ise öğütme ile liç işlemlerinin bir arada yapılmasıdır. Mekanik aktivasyonun etkisi altında iki grup proses oluşur. Katı tanelerin iç ve yüzey enerjisinin artışı, yüzey alanının artışı, katıların bağ enerjilerinde azalma gibi birinci grup prosesler minerallerin reaktivitesini artırır. Agregasyon, adsorpsiyon ve yeniden kristalleşme gibi ikinci grup prosesler aktif bir sistemde eşzamanlı olarak ve öğütmeden sonra ya da öğütme esnasında oluşurlar. Mekanik enerjinin etkisine maruz kalan katıların davranışını yapısal düzensizlik, yapısal gevşeme ve yapısal hareket olmak üzere üç temel açıdan değerlendirmiştir. Gerçek şartları altında bu üç faktör eş zamanlı olarak katıların reaktivitesinde rol oynarlar. Bununla birlikte mekaniksel yolla artan çözünmenin başlıca sebepleri olarak; yapısal düzensizlik, mineral tanelerinin amorflaşması, seçimli çözünmeye uygun kristal alanlarının ortaya çıkması ve aşırı öğütme esnasında minerallerin yüzey oksidasyonu olarak gösterilmiştir. Mineraller fazla öğütmeye maruz bırakıldıklarında özgül yüzey alanının artışının yanında oluşan mekanik aktivasyondan dolayı sonraki liç prosesini etkileyecek olan kimyasal ya da fizikokimyasal dönüşümlere maruz kalırlar. Örneğin; piritin öğütülmesi sonucunda demir sülfatın oluşması ile demirin çözünebilirliği artmaktadır. Bu durum sonucunda refrakter tip cevherlerde kapanım haldeki altının

kazanımı mümkün olabilmektedir. Kavurma gibi proseslerdeki SO₂ gaz problemi mekanik aktivasyon işleminde yaşanmamaktadır. İnce öğütülmüş minerallerin çözünmesi üzerine mekanik aktivasyonun etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Son yıllarda geliştirilen karıştırmalı değirmenler ile cevher ya da konsantrelerin mekanik aktivasyon çalışmaları yapılmaktadır. Düşük reaksiyon sıcaklıkları, çözünme hızındaki artışlar suda çözünebilir bileşiklerin oluşması, daha basit ve ucuz reaktör gereksinimini ve reaksiyon sürelerinin kısalması mekanik aktivasyonun temel avantajlarıdır (Balaz, 2000; Balaz, 2003).

Mekano-kimyada ilk model Thiessen isimli bir araştırmacı tarafından altmışlı yıllarda “Magma-Plazma Modeli” olarak ortaya konmuştur. Bu modele göre, birbirleriyle çarpışan partiküllerin temas noktalarında büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji, katı maddenin bir üst enerji seviyesine çıkmış kısımlarının, elektron ve fotonların emisyonuyla (yayılmasıyla) karakterize edilen özel bir plazmatik hal oluşumu için yeterli olmaktadır (Şekil 4.1). Temas eden partiküllerin yüzeyi oldukça düzensiz yapıda olup bölgesel sıcaklıklar 1000°C’ nin üzerine çıkabilmektedir. Thiessen, enerji seviyesinin arttığı hal esnasında veya işlem tamamlanır tamamlanmaz partiküllerin yüzeyinde meydana gelen reaksiyonların sonucu olarak ortaya çıkan plazma reaksiyonlarını fark etmiştir. Bu gözlemler tek bir mekanizmaya uymayan mekaniksel aktive edilmiş reaksiyonlar için önemli sonuçlar ortaya koymuştur.



Şekil 4.1 Çarpışan taneler için Magma-Plazma modeli (Alp ve ark., 2008; Balaz, 2000)

Cevherler üzerine uygulandığında aşırı ince öğütmenin üç farklı mekanizmasından bahsetmek mümkündür. Bunlar;

- Serbestleşme etkisi (yeterince yüzey alanı oluşturmak ve kapanım halindeki altını açığa çıkarmak.)
- Taneler üzerinde oluşacak olan pasifleştirici film tabakasını uzaklaştırılması.
- Mekanik aktivasyon etkisidir (Balaz, 2003).

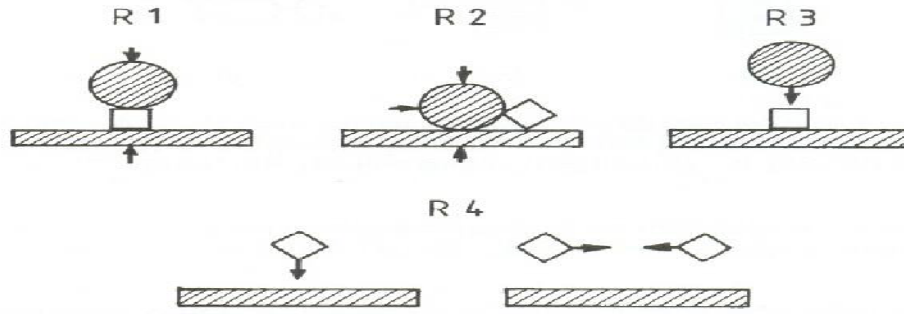
Cevher hazırlama işlemlerinde geleneksel çubuklu ve bilyeli değirmenlerde harcanan enerjinin (toplam maliyetin %70' i) bir kısmı öğütmede harcanırken büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek harcanmaktadır (Gao ve Anderson, 2002). Ayrıca d80:75 μm 'nin altındaki öğütmelerde tambur değirmenlerin verimi çok azalmakta ve öğütme ekonomik olmamaktadır. İnce öğütme için bilyeli değirmenlerde temel problem değirmenin kritik hızın üzerindeki hızlarda santrifüjün oluşması nedeniyle ince öğütmenin gerçekleşmemesidir. Ayrıca bilyeli değirmenlerde 200 mm'den daha büyük bilye kullanıldığı için 20 μm 'den daha ince öğütme gerçekleşmemektedir. Ancak karıştırmalı değirmenlerde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle 10 μm 'nin altında bile ekonomik öğütmeler yapmak mümkündür (Dikmen ve Ergün, 2004).

Temel tasarımları 1920'li yıllara uzanan karıştırmalı değirmenler ilk kez 1960'lı yıllarda kaolinin öğütülmesi için kullanılmıştır. Karıştırmalı değirmen temelde sabit bir silindir ve eksenini üzerinde dönen rotordan oluşmaktadır. Zamanla çeşitli ekipmanları değiştirilerek farklı tiplerde değirmen tasarımları yapılmıştır. Bunlar; Tower mill, Verti mill, Isa mill, Svedala detritör, Sala agitated mill ve ANI-Metsoprotech SVM değirmenlerdir. Maxmill olarak adlandırılan değirmen tipinde ise gövde dönmekte ve gövde içinde bulunan bir plaka yardımıyla içerisindeki ortam karıştırılmaktadır (Hacıfazlıoğlu vd., 2007; Wang ve Forssberg, 2008).

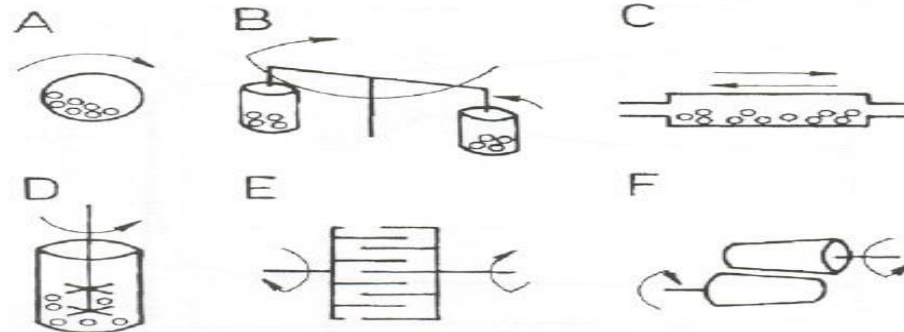
Mekanik aktivasyon terimi, Smekal adlı bir bilim adamı tarafından ortaya konmuş olup, değişmeden kalan bir katının reaksiyona girme yeteneğinde bir artış sağlayan proses olarak ifade edilmektedir. Yapı ya da kompozisyonda bir değişim mevcutsa bu mekanokimyasal bir prosestir. Bu durumda mekanik aktivasyon, reaksiyonu

ilerletmekte ancak reaksiyonun oluşumu esnasında etki etmemektedir. Mekanik aktivasyonu çok kademeli karakteri, farklı çalışma rejimlerine sahip teçhizat (genellikle değirmen olarak adlandırılır) uygulamalarına ihtiyaç duymaktadır. Aktivasyonla gerçekleştirilen temel gerilim tipleri; sıkıştırma, kesme (atrisyon-sürtünme, aşınma), çarpma (darbe, vurma) ve çarpışmadır (Şekil 4.2). Mekanik aktivasyon işlemi, farklı çalışma prensiplerine sahip değirmenler sayesinde gerçekleştirilir. Bu işlemlerde öğütme prosesine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Kullanılan farklı değirmen tipleri Şekil 4.3’de verilmiştir (Alp ve ark., 2008; Balaz, 2000).

- R-1:Sıkıştırma
- R-2:Kesme
- R-3:Çarpma
- R-4:Çarpışma



Şekil 4.2 Değirmenlerdeki temel gerilim tipleri, R1-sıkıştırma, R2-kesme, R3-çarpma, R4-çarpışma (Alp ve ark., 2008; Balaz, 2000)



Şekil 4.3 Mekanik aktivasyon için kullanılan değirmen tipleri, A-Bilyeli değirmen, B-Gezegensel değirmen, C-Titreşimli değirmen, D-Karıştırmalı bilyeli değirmen (atritör), E-Mil değirmeni ve F-Haddeli değirmen (Alp ve ark., 2008; Balaz, 2000)

Mekanik aktivasyonda öğütme prosesine etki eden çeşitli faktörler vardır (Alp ve ark., 2008; Balaz, 2000). Bunlar;

- Değirmen tipi
- Öğütme ortamı tipi (bilye)
- Öğütme malzemesi (paslanmaz çelik, tungsten karbür, alümina vd.)
- Öğütme atmosferi (hava, inert gaz, redükleyici gaz)
- Öğütme türü (kuru veya yaş)
- Bilye/aktive olacak malzeme boyut oranı
- Bilye/aktive olacak malzeme ağırlık oranı
- Öğütme sıcaklığı
- Değirmen hızı
- Öğütme zamanı

4.1 Karıştırmalı Bilyeli Değirmenler

Öğütme boyut küçültme işleminin son aşamasıdır. Partiküller darbe (impact), aşındırma (abrasion) ve kopma (chipping) müşterek etkisi ile yaş veya kuru ortamda ufalanırlar. Bu işlem aktarılan ortam değirmenleri denen dönen silindirik çelik gövdeli haznelerde gerçekleştirilir (tumbling mill). Aktarılan ortam, gövdenin dönmesi ile karışır, dökülür ve sürtünme veya çarpma ile içine konulan malzemeyi öğütür. Öğütme cevher hazırlama tesislerinde en fazla enerji harcayan proses olup Bond eşitliğinden $\sqrt{2}$ elek serisinde malzemenin bir alttaki ince elekten geçecek şekilde öğütülmesi için fazladan %19 enerji gerektiğini hesaplanmıştır. Değirmen içinde öğütme, aktarılan ortamın boyutu, miktarı, hareket çeşidi ve aralarındaki boşluk gibi faktörlere bağlıdır ve kırmanın aksine öğütme olasılık kanunlarına bağlı bir işlemdir. Bilyeli değirmenler ufalamanın en son aşamasıdır. Bilyelerin toplam yüzey alanları çubuklardan çok fazla olduğu için ince öğütme için uygundur. Bunlarda uzunluk çap oranları 1–1,5 arasındadır. Bu oranı 3–5 arasında olursa tüp değirmen adını alır. Bunlar bazen farklı öğütme şarjlarını içeren birkaç kompartımandan oluşurlar. Bunlar genellikle çimento, fosfat, jips gibi malzemeler için kuru olarak çalıştırılırlar. Güç sarfiyatı öğütücü ortam ağırlığı ile ilintili olduğundan çakıllı değirmen kapasitesi ve güç sarfiyatı bilyeliye göre

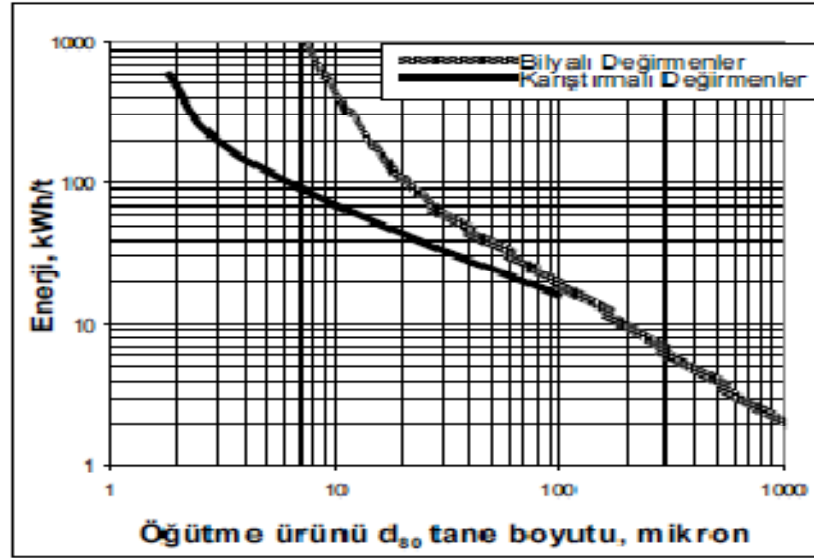
daha düşüktür. Bilyeli değirmenler kapasiteden ziyade güç yönünden ele alınırlar (İpekoğlu, 1993).

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber plastik, seramik, boya, gıda ve kozmetik gibi farklı endüstri kollarında ince ($<100 \mu\text{m}$), çok ince ($<10 \mu\text{m}$) veya süper ince ($<1 \mu\text{m}$) olarak adlandırılan boyutlardaki malzemeye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Madencilik sektöründe ise, yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesi sonucu serbestleşme tane boyutu çok ince olan düşük tenörlü cevher yatakları ve hatta tesis atıkları ekonomik değer kazanmaya başlamıştır. Her iki durum da malzemelerin çok ince boyutlara kadar öğütülmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Buna karşın öğütme, enerjinin en yoğun ve verimsiz olarak tüketildiği birim işlemdir. Özellikle, tane boyutu incelidikçe tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artması öğütme için harcanması gereken enerji miktarını artırmaktadır. Bu durum, tesis çalışanlarını ve araştırmacıları malzemeleri istenen boyutlara öğütme kapasitesine sahip alternatif boyut küçültme ekipmanları üzerinde düşünmeye zorlamaktadır. Tesislerde kullanılan mevcut ekipmanlarla (bilyeli değirmenler) malzemeleri ekonomik olarak çok ince boyutlara öğütmenin fiziksel olarak mümkün olmaması nedeniyle bazı tesisler ara ürün öğütme devrelerinde karıştırmalı ve titreşimli bilyeli değirmenlerden yararlanırken (Harbort vd., 1999; Young ve Gao, 2000) karıştırmalı bilyeli, jet veya yörüngesel (planetary) tip değirmenler boya, plastik, seramik vb. tesislerinde belirli boyutta malzeme üretmek için kullanılmaktadır. Bu ekipmanların her biri kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla beraber, son yıllarda madencilik sektöründe karıştırmalı bilyeli değirmenler üzerinde önemle durulmaktadır. Bunun arkasında yatan temel neden, karıştırmalı bilyeli değirmen içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle bu tip ekipmanlarda özgül enerji tüketiminin tumburlu ve titreşimli bilyeli değirmenlerle karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyede kalmasıdır. Bu nedenle, karıştırmalı bilyeli değirmenler son yıllarda araştırma çevreleri tarafından artan bir ilgiyle incelenmektedir (Dikmen ve Ergün, 2004).

Cevher hazırlama işlemlerinde kullanılan mevcut değirmenler ile malzemeleri çok ince boyutlara öğütmek, ekonomik ve fiziksel olarak mümkün olmamaktadır. Bu amaçla karıştırmalı ve titreşimli bilyeli değirmenler kullanılmaktadır. Bu ekipmanların her biri kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla beraber, son yıllarda madencilik

sektöründe karıştırmalı bilyeli değirmenler üzerinde önemle durulmaktadır (Celep ve Alp, 2008).

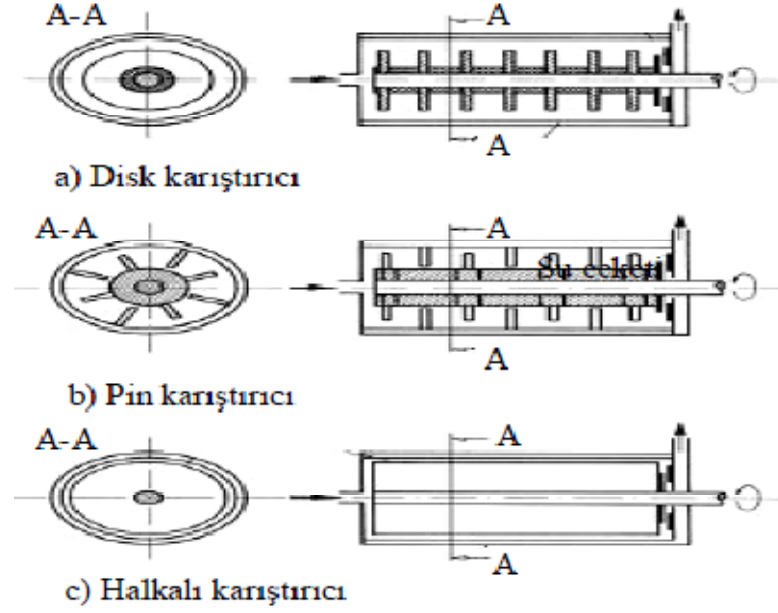
Karıştırmalı bilyeli değirmen içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle bu tip ekipmanlarda özgül enerji tüketimi, tamburlu ve titreşimli bilyeli değirmenlerle karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bununla birlikte artan enerji tüketimiyle birlikte bilyeli değirmenlerde elde edilen tane boyutu $>10 \mu\text{m}$ iken karıştırmalı değirmenler $<10 \mu\text{m}$ ürün boyutuna ulaşabilmektedir (Celep ve ark., 2008). Şekil 4.4’de karıştırmalı ve bilyeli değirmenlerde tane boyutu ile enerji tüketimi değişimi verilmiştir.



Şekil 4.4 Karıştırmalı ve bilyeli değirmenlerde tane boyu ile enerji tüketimi değişimi (Jankovic, 2003).

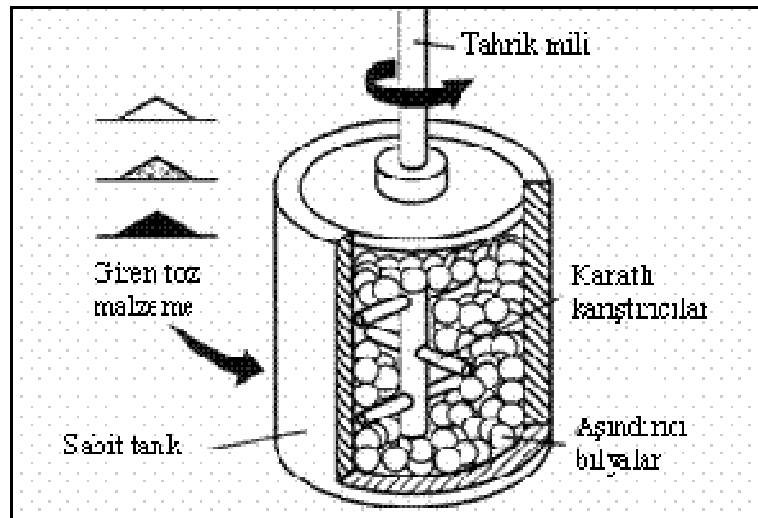
Tasarım değişkenleri grubunda değirmenin boy/çap oranı, karıştırıcı tipi, konumu ve sayısı, karıştırıcı şaft üzerinde bulunan disk veya çubukların boyutları ve şaft üzerindeki konumları gibi değişkenler bulunmaktadır. Tasarımlardaki bu değişiklikler değirmen içindeki akış karakterini değiştirmekte ve böylece bilye hareketini düzenlemektedir. Karıştırmalı değirmenlerin öğütme odası ve karıştırıcı geometrisine göre disk karıştırıcılı değirmen, pin karıştırıcılı değirmen ve halkalı karıştırıcılı değirmen olmak üzere üç farklı tasarımı vardır (Kwade, 1999) (Şekil 4.5). Bunlardan en basit karıştırıcı geometrisi disk karıştırıcılıdır. Bunlarda enerji karıştırıcıdan öğütücü ortama ya da ürün

üzerine diskli ve halkalı karıştırıcılarda çekme kuvveti (adhezyon) ile, pinli karıştırıcıda ise yer değiştirme kuvvetleri ile aktarılır. Pinli karıştırıcıda oluşan güç yoğunluğu disk karıştırıcıdan daha fazla iken en büyük güç yoğunluğu halkalı karıştırıcıda elde edilmektedir (Celep ve ark., 2007).



Şekil 4.5 Farklı karıştırıcı ve öğütme odası geometrileri (Celep ve ark., 2007).

Karıştırmalı bilyeli değirmenler yatay ve dikey (Şekil 4.6) olmak üzere iki tipe sahip olup yaş veya kuru ortamda çalıştırılabilmektedirler. Altın cevherlerinin çok ince boyutlara öğütülmesinde genel olarak yaş ortamda öğütme yapan dik karıştırmalı bilyeli değirmenler kullanılmaktadır.

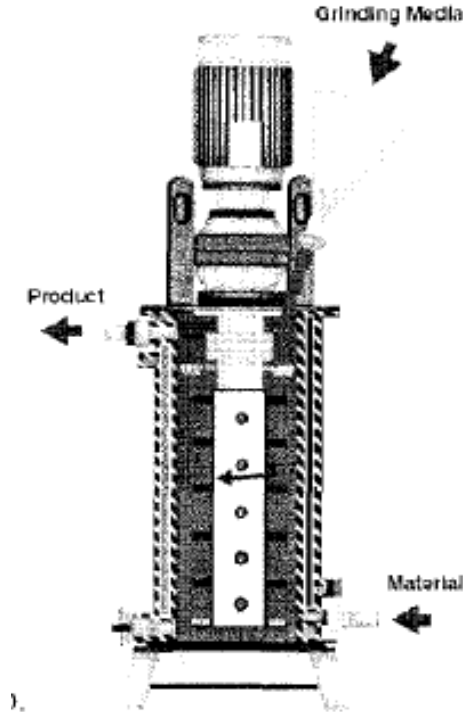


Şekil 4.6 Dik karıştırmalı bilyeli değirmen genel görünüşü (www.rahmiunal.net)

4.1.1 Karıştırılmalı Değirmen Türleri

1) Sala agitated mill (SAM)

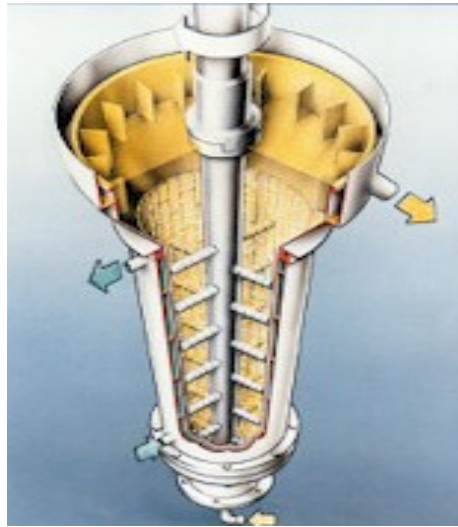
Özellikle son yıllarda çeşitli karıştırılmalı bilyeli değirmen türleri geliştirilmekte ve dünya genelinde uygulama alanı bulmaktadır. Bunlardan birisi de *SALA Int. AB (İsveç)* tarafından geliştirilen ve günümüzde *Metso Group (İngiltere)* tarafından üretilen SAM tipi dikey pinli değirmenlerdir (Şekil 4.7). Kendisine yakın olan öğütücü ortamın yeterli bir hızda hareket halinde tutulabilmesini sağlayan kalın bir şaft ve bu şafta dik açıda monte edilmiş volfram karbidten yapılmış çubuklar öğütme ortamının ajitasyonunu sağlamaktadır. Bu sayede değirmen içinde çevresel hızın az olduğu şaftın aksına yakın olan merkezi ölü bölge ortadan kalkmaktadır (Kemal ve Çiçek, 1996). Gerek yaş gerekse kuru ince öğütme işlemleri için tasarlanan bu değirmenlerde klasik öğütmeye göre özellikle özgül enerji tüketiminde belirgin azalmalar (%20–50) sağlamaktadır (Marmor, 1993) .



Şekil 4.7 Sala agitated mill (SAM) (Jankovic, 2001)

2) Alpine ATR mill

Hosokawa Alpine AG & Co. (Almanya) tarafından geliştirilen karıştırıcı bilyeli değirmendir. Mineral endüstrisinde 10 µm altı çok ince “kuru” öğütmeye son derece uygundur. Yüksek özgül yüzey alanına sahip %70-80'i <2 µm tane boyut inceliğinde ürün elde edilebilir. Bu değirmen genellikle ALPINE (*Hosokawa Alpine Turboplex*) klasifikatörleriyle kapalı devre olarak çalıştırılır. Öğütme hareketi, öğütücü ortam (bilye) ve ürün arasındaki ajitasyon sonucunda aşınma kuvvetinin etkisi ile gerçekleşmektedir (Şekil 4.8). Burada malzeme yukarıdan beslenir ve değirmende kalma süresi boşaltma kısmındaki vidanın hızı ayarlanarak düzenlenir. Çift duvarlı değirmen gövdesi su ile soğutmaya imkân sağlar. Bu tip değirmenler genellikle kireçtaşı, kuvars ve talk vb. mineral dolgu maddeleri ile titanyum dioksitin ince öğütülmesi için uygulanmaktadır (Wang ve Forssberg, 2007).

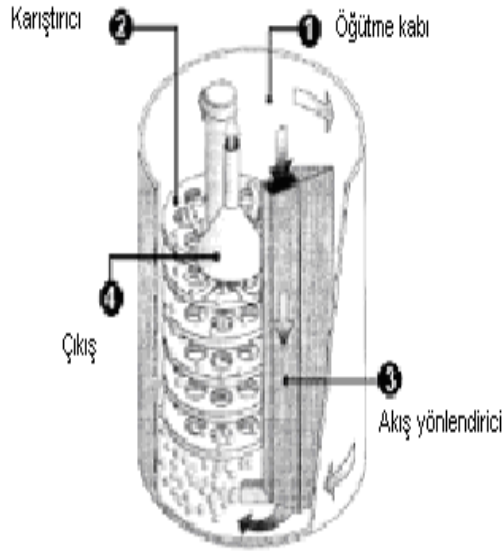


Şekil 4.8 ATR Mill (www.hmicronpowder.com)

3) MaxxMill

Karıştırıcı eksantrik bir tamburun ortasına yine eksantrik olarak yerleştirilmektedir. Öğütme ünitesi %80'i 3–10 mm boyutlarındaki öğütücü ortamla (çelik, cam veya seramik bilye) doldurulur. İri malzeme boru içerisinden makineye beslenir. Malzeme öğütücü bilyelerle etkin bir şekilde karıştırılacak bu ise ürünün pulverize olmasını sağlayacaktır. İnce ürün, ürün çıkışı doğru bilyelerin üst kısmından emilecektir.

Öğütücü bilyeler ağırlıkları dolayısıyla değirmeni terk etmez. Ancak, yüksek viskoziteli bir pulp için bilyeleri tutmak amacıyla bir elek gerekir. Bu değirmenler (Şekil 4.9) özellikle 5 mm'ye kadar besleme boyutunda çok etkilidir. Bu durumda, 150–30 µm'lik nihai ürün elde edilebilmektedir. Değirmen kapasitesine göre 20–100 ton/saat'lik ürün alınabilmektedir. Değirmen besleme boyutuna göre 3 µm incelikte ürün elde edilebilmektedir. Bu değirmen seramik hammaddelerinin yaş öğütülmesinde ve mineral endüstrisinde kireçtaşı, kaolin ve kuvars gibi minerallerin kuru öğütülmesinde kullanılır (Wang, 2007).

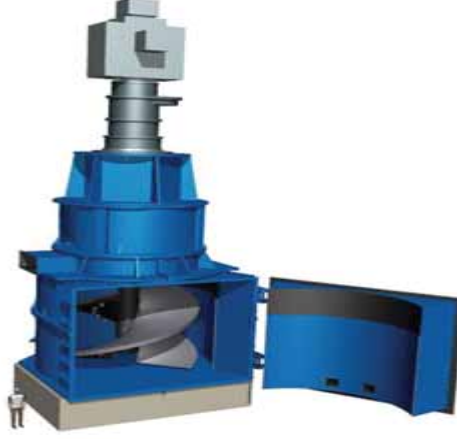


Şekil 4.9 MaxxMill değirmeni genel tasarımı

4) Kule değirmenler (Tower mills)

Bu değirmenler *Kubota Tower Mill Corp. (Japonya)* tarafından mineral endüstrisinde ince öğütme için imal edilmiştir. Bu teknoloji şu anda VertiMill ismi altında *Metso Minerals* tarafından temin edilmektedir. Özellikle metal ve altın madeni öğütme işlemlerinde geniş bir kullanımı vardır. Kapasiteleri 50 ton/saat'in üzerinde olan bu değirmenlerde 70 µm altı ürün elde etmek mümkündür. Değirmen genellikle 12 mm'lik çelik bilyelerin (seramik bilye ve çakıl veya mineral kökenli abrasif bir malzemeden yapılmış granüller de kullanılabilir) kullanıldığı öğütücü ortamı karıştırmak için spiral bir karıştırıcıyla donatılmış dikey bir ünitelerden oluşmaktadır (Şekil 4.10). Spiral 3 m/sn'lik hızla dönmektedir. Öğütme genellikle yaş olarak yapılmaktadır. Pulp değirmenin yukarisından beslenmekte, incelmış pulpın yukarıya doğru hareketi bir

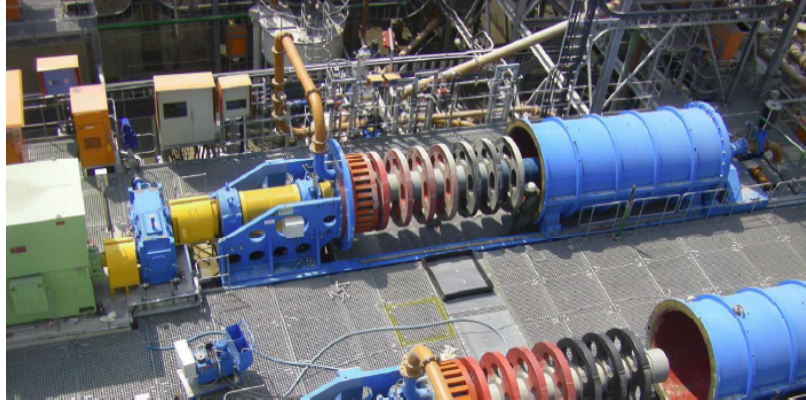
pompa vasıtasıyla sağlanmaktadır. Öğütme süresince küçük taneler yukarı doğru çıkarken, iri taneler öğütücü ortamın içine düşer. Öğütücü ortam spiral kanatları ile yükselir ve spiral ile değirmen gövdesinden aşağı düşer. Öğütme sırasında değirmen gövdesinin aşağı kısımları öğütücü ortam tarafından tamamen doldurulmuştur (Jankovic ve ark., 2003).



Şekil 4.10 Tower/vertimill (www.womp-int.com)

5) IsaMill

IsaMill mineral endüstrisinde tek yüksek hızlı karıştırırmalı değirmendir. En büyük avantajları yüksek kapasiteye sahip olması (10 t/saat), çok düşük ürün boyutu elde etmesi ($d_{80}:7 \mu\text{m}$), düşük maliyetli doğal öğütme ortamı kullanımı ve yüksek enerji etkinliği sağlamasıdır. Yatay bir shaft üzerine monteli diskli shaftın dönüşü ile karıştırma yapan bir değirmendir (Şekil 4.11). Bu diskler 20 m/sn gibi yüksek bir hızda dönerek küçük öğütme ortamı kullanılarak etkin bir dönme hızına ulaşırlar. IsaMill de ayrıca elek kullanmadan, değirmen çıkışındaki oluşan yüksek santrifüjün etkisiyle ortam ve ürünün ayrılmasından dolayı ince öğütme ortamının değirmen içinde kalması sağlanır. En büyük IsaMill 2600 kW motor gücünde olup değirmende 1-8 mm arasında ortam kullanılır. Ortam boyutunu optimize etmek için besleme d_{80} boyutu 30-300 μm arasında olmalıdır. Yapılan çalışmalarda IsaMill'in bilyeli değirmenlere göre %75'den daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir (Celep ve ark., 2008).



Şekil 4.11 IsaMill (www.en.wikipedia.org)

6) Detritor mill

Bu değirmenler *Metso Minerals Ltd.* tarafından geliştirilmiştir. Bu teknoloji pigment endüstrisinde kullanılan kum değirmenlerinden aktarılmış olup, ilk olarak *ECC International* tarafından 1960'larda geliştirilmiş ve günümüzde kaolin, kalsiyum karbonat, kurşun-çinko vb. tesislerde dünya genelinde yaklaşık 200 değirmen tesis edilerek çalıştırılmaktadır. Dikey karıştırmalı bir değirmendir (Şekil 4.12). Değirmen ünitesinin yükseklik ve çap oranı 1:1'dir. Değirmende 11 m/sn'lik hızda dönerek karıştırıcı gibi hareket eden merkezi bir şaft üzerinde uzun pinler vardır. Avustralya'daki *Zinifex Century Zinc Mine 6'sı* yeniden öğütme 15'i çok ince öğütme için olmak üzere toplam 21 adet Detritor değirmen kullanılmaktadır (Gao, ve Anderson 2002).



Şekil 4.12 Detritor Mill gösterimi (Gao ve Anderson, 2002).

BÖLÜM V

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Heinen (1978) ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada altın zenginleştirme ile ilgili son gelişmeleri gözden geçirilerek seyreltik siyanür çözeltilerinin Liç yönteminde altın kazanımının karbon-adsorpsiyon ile bir uygulamasını ortaya koymuşlardır.

Önal ve ark.(1994) tarafından yapılan çalışmada Bolkardağ maden yatağından alınan 14,5 gr/ton Au, 415 gr/ton Ag ve % 7,03 Pb içerikli cevherden, altın, gümüş ve kurşunun zenginleştirme olanakları araştırılmıştır. Cevherin mineralojik ve kimyasal özellikleri saptandıktan sonra, boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme, özgül ağırlık farklılığına göre zenginleştirme ve siyanür ile çözüldürme uygulanmıştır. Cevher 0,5 mm altında sarsıntılı masa ile zenginleştirilerek altın ve gümüşçe zengin kurşun konsantresi elde edilmiş, masa artığına siyanür çözüldürmesi uygulanarak cevherdeki altının % 91,2'sinin, gümüşün % 69,6'sının, kurşunun da % 36,7'sinin kazanılabileceği anlaşılmıştır.

Güneş ve Akçıl (1997) tarafından yapılan çalışmada günümüzde altın içeren cevher yataklanma tiplerinin, altın ve diğer değerli minerallerin kazanımında cevher hazırlama ve zenginleştirme yönünden çok önemli rol oynadığı yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Son yıllarda, özellikle ülkemizde altın kazanımında gözlenen gelişim, diğer metallerin üretimine yönelik yeni teknolojik gelişime paralel olarak ilerlemektedir. Altın kazanım proseslerinin %15-20'ye yakınının fiziksel olarak (gravite zenginleştirme vb.), %80-85'inin ise kimyasal ve biyolojik prosesler şeklinde uygulandığı son yıllarda yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Yazarlar günümüzde altın kazanımında özellikle kimyasal ve azda olsa biyolojik proseslerin tercih edilmesinin nedeni ise, uygulamasının kolaylığı ve ekonomik olmasından kaynaklanmaktadır yorumunu getirmektedir.

Balaz (2000)' de yapmış olduğu çalışmada şu bilgileri vermiştir. Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde mekanik aktivasyon uygulamasının olduğu proseslerden bazıları aşağıda sırasıyla anlatılmıştır. Irigetmet Prosesi; Mekanik aktivasyon ile altın içeren

sülfür konsantrelerin siyanürle çözündürme verimine etkisi eski Sovyetler Birliği'ndeki Irigetmet'de geniş olarak incelenmiştir. Optimum mekanik aktivasyon sonrası siyanür liç süresinin azaldığı ve sülfürlü minerallerin mekano-kimyasal bozunmadan dolayı reaktivitelerinin artmasıyla siyanür tüketiminin arttığı bulunmuştur. Malzemenin tane boyutunun % 95'inin 20–40 mikron olduğu öğütme sistemi optimum şart olarak tespit edilmiştir. Sürekli çalışan dikey bir değirmende yapılan değirmenlerde siyanürle çözündürme süresi 3 kat azalırken, altın kazanma verimi % 11 artmıştır. Aktivox Prosesi; kavurma ve bakteri liçi ile sülfürlü konsantrelerin ön oksidasyon işlemine alternatif olarak Avustralya'da geliştirilmiştir. Proses, flotasyon konsantrelerinin ve kavurma ürünlerinin karıştırmalı değirmende aşırı ince öğütme ($d_{80}:5-15\mu\text{m}$) ile mekanik aktivasyonunu takiben otoklav içerisinde basınç altında (100 kPa, 98-100°C) çözündürülme işleminden oluşmaktadır. Proses pentlandit konsantresinden nikel, kalkopirit konsantrelerinden bakır ve refrakter altın cevher konsantrelerinden altın kazanımı için uygulanmaktadır. Daha düşük basınç ve sıcaklığın yeterli olması nedeniyle geleneksel basınç oksidasyonuna göre daha basit ve daha ucuz bir prosestir.

Balaz (2003)' de yaptığı bir çalışmada; katı maddelerin mekanik aktivasyonu mekanokimya biliminin bir dalıdır demektedir. Mekanokimya geniş bir alanda pratik uygulamalarının bulunduğu sağlam bir teorik temele sahip bir bilim olarak ifade edilmektedir. Mekanik aktivasyon cevher hazırlama ve ekstraktif metalürji de büyük öneme sahiptir. Mineraller aşırı öğütmeye maruz bırakıldıklarında özgül yüzey alanının artışının yanında oluşan mekanik aktivasyondan dolayı sonraki liç prosesini etkileyecek olan kimyasal ya da fizikokimyasal dönüşümlere maruz kalırlar. Örneğin piritin öğütülmesi sonucunda demir sülfatın oluşması ile demirin çözülebilirliği artmaktadır. Bu durum sonucunda refrakter tip cevherlerde kapanım haldeki altının kazanımı mümkün olabilmektedir.

Çelik (2004)'de yaptığı bir çalışmada; altın cevherlerini genel olarak serbest öğütme (free milling), kompleks ve refrakter cevherler olarak sınıflandırılabilir olduğunu göstermiştir. Serbest öğütme cevherleri (%80, $<75\ \mu\text{m}$) 20-30 saatlik konvansiyonel siyanür liçi ile yeterli siyanür konsantrasyonu ve $\text{pH}=10$ 'da %90'dan fazla altın eldesi vermektedir. Geleneksel siyanür liçi ile ekonomik altın eldesi sağlanamayan cevherler refrakter altın cevherleri olarak adlandırılmaktadır.

Dikmen ve Ergün (2004)' de yaptıkları bir çalışmada; gelişen teknoloji ile beraber plastik, seramik, boya, gıda ve kozmetik gibi farklı endüstri kollarında ince ($<100\mu\text{m}$), çok ince ($<10\mu\text{m}$) veya süper ince ($<1\mu\text{m}$) olarak adlandırılan malzemeye olan ihtiyaç giderek artmaktadır yorumunu yapmaktadır. Madencilik sektöründe ise, yüksek tenörlü cevherin tükenmesiyle birlikte tane boyutu çok ince olan düşük tenörlü cevherler ve tesis atıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi önem kazanmaya başlamıştır. Her iki durumda malzemelerin çok ince boyutlara kadar öğütülmesi ihtiyacını doğurduğunu tespit etmişlerdir.

Marinkovic vd. (2005)' de yaptığı bir çalışmada; mekanik aktivasyon disperse malzemelerin fiziko-kimyasal özelliklerinde modifiye edici etkiye sahip olup toz teknolojisinde sıkça kullanılmakta olduğunu vurgulamıştır. Yüksek enerjili öğütmeyle sağlanan işlem, bir araya gelmiş bir prosesler bütünü olup; başlıca malzemenin tahribatı, tahrip olan malzemede yeni yüzey oluşumu, ince öğütme ve tamamen farklı bir yapıya sahip yeni bir malzemeye dönüşüm olmak üzere dört kademe içermektedir bilgisini vermektedir.

Jankovic (2008)' de yaptığı bir çalışmada; karıştırmalı değirmenler, karıştırıcı (stirrer) tipine göre sınıflandırılmaktadır. Karıştırıcılar; diskli, pinli ve halkalı olmak üzere üç şekilde adlandırılır. Bu değirmenler yatay veya dikey olarak ve yaş veya kuru olarak uygulanmaktadırlar.

Celep vd. (2008)' de yaptıkları çalışmada;, aşırı ince öğütme geleneksel öğütme ekipmanlarının daha iri öğütücü ortam kullanımından dolayı gerçekleşemezken son yıllarda geliştirilen karıştırmalı değirmenlerde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle $10\mu\text{m}$ ' nin altında bile ekonomik öğütmeler yapmak mümkün hale gelmiştir bilgisini vermektedir. Endüstride çok ince boyutundaki malzemeye olan ihtiyacın gelecekte daha daralacağı düşünülürse, karıştırmalı değirmenlerin geleneksel değirmenlerle karşılaştırıldığında daha düşük enerji tüketimi olması nedeni ile kullanımlarının daha da artacağı görülmektedir. Bununla beraber, kullanılan karıştırmalı değirmenlerin büyük ölçekte yapılması, ortam aşınmasının fazla olması ve işlem sırasında bilyelerin çıkış ızgarasını tıkaması gibi problemlerin çözümü veya öğütme yardımcılarının etkisi de gelecekte araştırma

konularını oluşturacaktır. Aşırı ince öğütmenin refrakter altın cevherlerinin değerlendirilmesinde kullanımı ile mineral matriksi içerisinde kapanım halinde bulunan altının açığa çıkarılması mümkün olabilmektedir. Uygulanan yöntem kavurma işlemine göre daha çevreci ve ekonomik bir proses olarak önem kazanmaktadır. Altının serbestleşmesinin yanında minerallerinin kimyasal ve fizikokimyasal dönüşümlerine neden olan mekanik aktivasyon gibi farklı mekanizmaların oluşumuyla da prosesin etkinliği artmaktadır yorumunu getirmektedir.

Göktaş ve Erdemoğlu (2014)'de yaptıkları çalışmada ise; cevherler üzerinde aşırı ince öğütme ile, ince tane sayısı artmakta, böylece daha önce ortaya çıkmamış taze yüzeyler oluşturmaktadır demektedir. Bunun sonucunda yarı-kararlı türler oluşur. Bu durum öğütülmekte olan mineralin reaktifliğinde değişime yol açtığı için mekanik aktivasyon olarak adlandırılır. Mekanik aktivasyon, kavurma ya da çözünme (liçing) gibi temel bir metalurjik süreç öncesinde mineralin bu süreçlerdeki durum değişimleri sırasındaki reaktifliğini arttırmak üzere uygulanan bir ön işlemdir.


BÖLÜM VI

MATERYAL VE METOD

6.1 Materyal

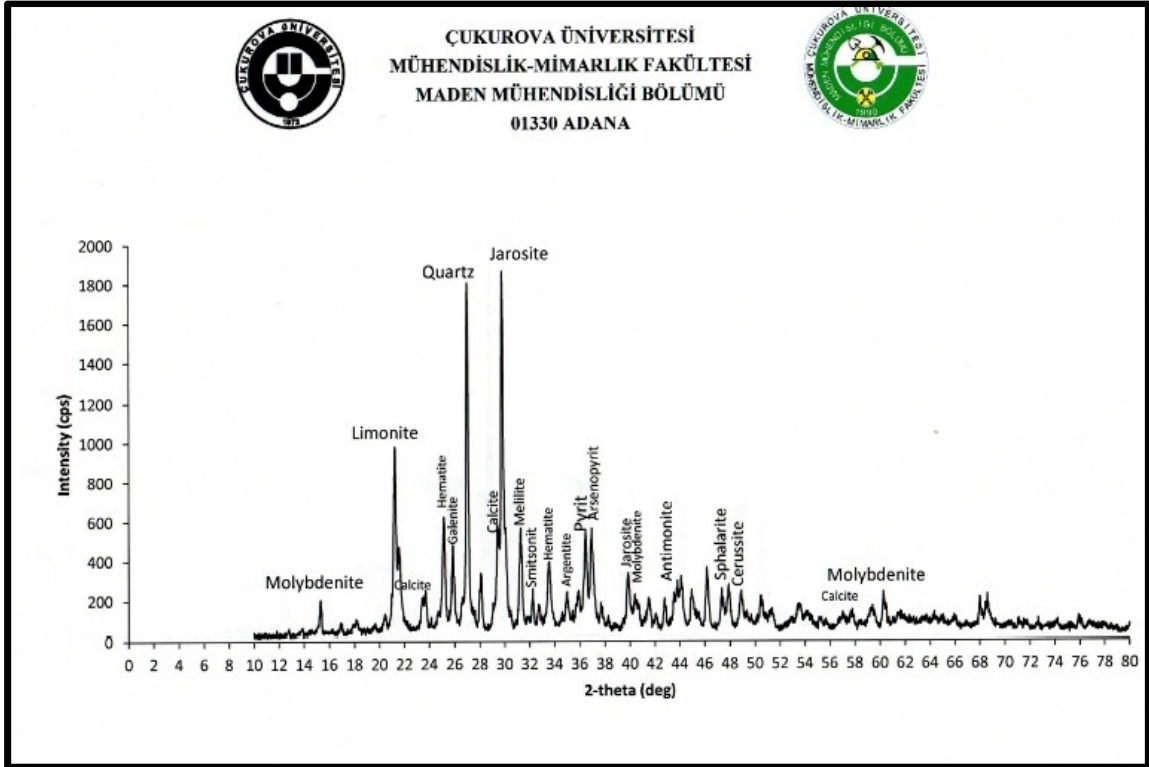
Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş firmasına ait Niğde ili, Ulukışla ilçesinde bulunan Bolkardağ maden yatağından nakledilen tüvanan cevherden standart numune alma metoduyla alınan (yaklaşık iki yüz kg) cevher deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Gümüştaş Madencilik A.Ş. liç tesisi Ar-Ge laboratuvarına getirilmiştir. Söz konusu temsili cevherden alınan numune üzerinde Gümüştaş Madencilik A.Ş merkez laboratuvarında altın ve gümüş analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda cevher içerisinde Altın (Au): 9,85 gr/t, Gümüş (Ag): 217,1 gr/t olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.1). Bununla birlikte numunenin XRF ve XRD çalışmaları Ç.Ü Mühendislik Fakültesinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.2 ve Şekil 6.1’de verilmiştir. Numunenin XRD sonuçlarına göre cevherde, Jarosit ($KFe^{+3}(OH)_6(SO_4)_2$), Kuvars (SiO_2), Limonit ($FeO(OH).n(H_2O)$), Kalsit ($CaCO_3$), Hematit (Fe_2O_3), Galenit (PbS), Pirit (FeS_2), Sfalerit (ZnS), Molibdenit (MoS_2), Arsenopirit ($FeAsS$), Arjantit (Ag_2S_2), Antimonit (Sb_2S_3), Serüzit ($PbCO_3$), Mellitte ($(Ca,Na)_2(Al,Mg,Fe^{+2})[(Al,Si)SiO_7]$) minerallerinin olduğu tespit edilmiştir. XRD yarı sayısal verilerine göre, numunede baskın olan mineraller ise Jarosit, Kuvars, Limonit, Hematit, Galen’dir. Numunelerden elde edilen parlak kesitlerde Şekil 6.2’de verilmiştir. Yapılan çalışmalar, altın ve gümüş elementlerinin çoğunlukla jarosit minerali ile bağlı ve kapanım halinde olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6.1 Deney numunesi kimyasal analiz sonucu

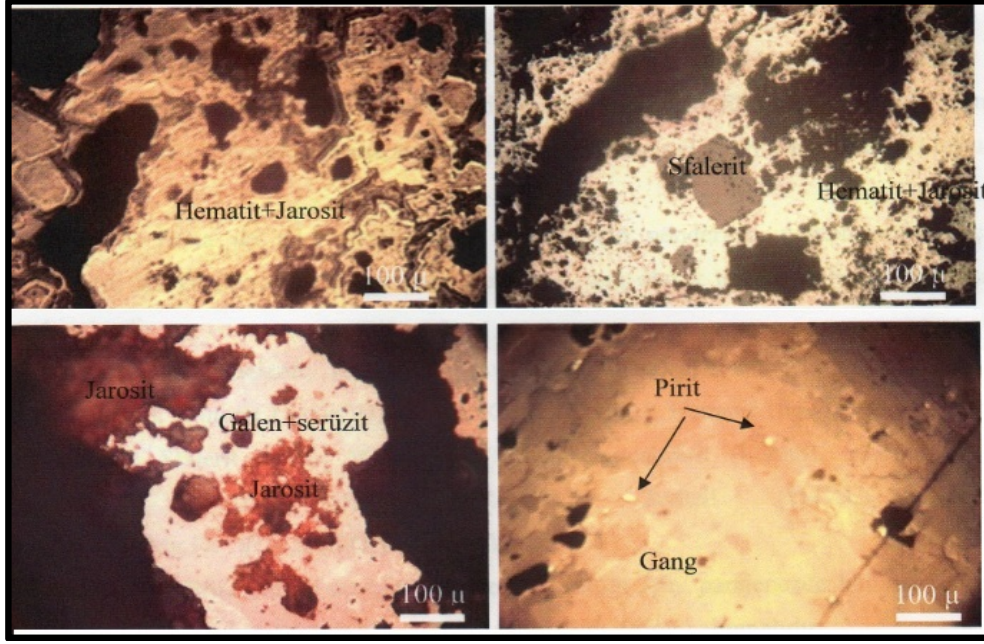
 Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş Tepeköy Cevher Zenginleştirme Tesisi Merkez Laboratuvar Analiz Sonucu						
Metot	GML-FA	GML-AAS	GML-AAS	GML-AAS	GML-AAS	GML-AAS
Analit	Au	Ag	Zn	Pb	Fe	Cu
Birim	ppm	ppm	%	%	%	ppm
Alt Limit	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01	1
NUMUNELER						
Tez Çalışması (17.05.2014)	9,85	217,1	4,33	4,21	21,53	1278

Çizelge 6.2 Deney numunesi XRF sonuçları

	% Tenör		% Tenör
Na ₂ O	1,01	Cr ₂ O ₃	0,052
MgO	1,04	MnO	0,489
Al ₂ O ₃	1,20	Fe ₂ O ₃	27,89
SiO ₂	16,30	Co ₃ O ₄	0,22
SO ₃	2,40	NiO	0,007
K ₂ O	0,18	Re ₂ O ₇	0,19
IrO ₂	0,09	CuO	0,054
CaO	20,40	ZnO	2,51
GeO ₂	0,031	As ₂ O ₃	1,48
MoO ₃	10,4	Ag ₂ O	1,6
PtO ₂	0,02	SnO ₂	0,04
Sb ₂ O ₃	0,85	BaO	0,15
PbO	11,29	Diğerleri	0,11



Şekil 6.1 Deney numunesinin XRD sonuçları



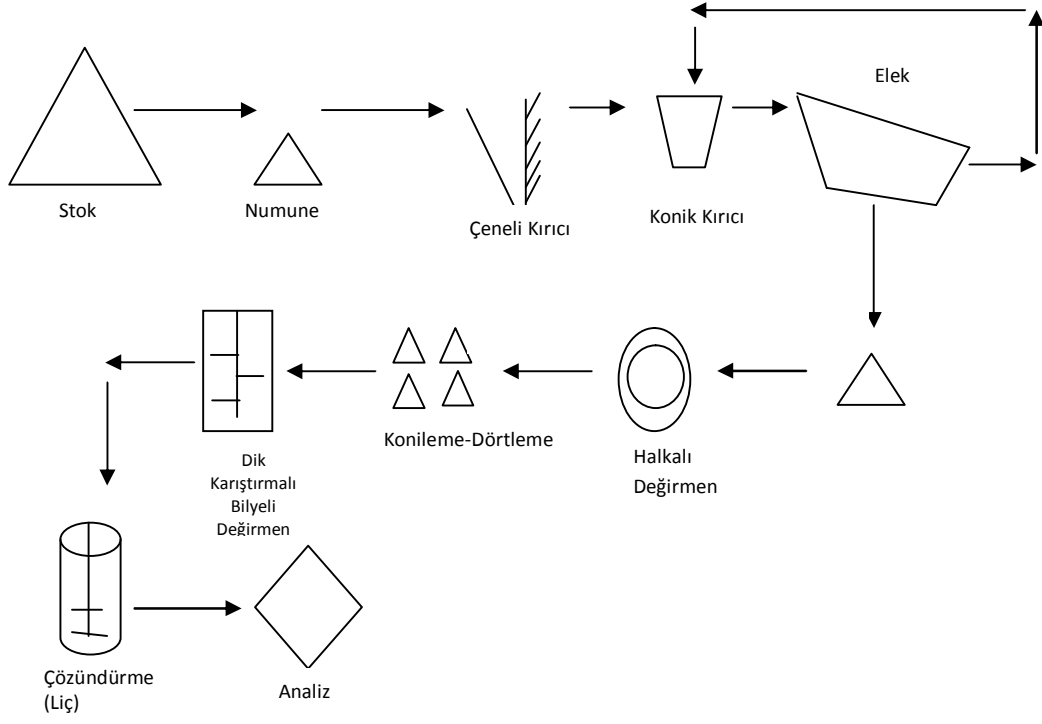
Şekil 6.2 Numune parlak kesit örnekleri

6.2 Metod

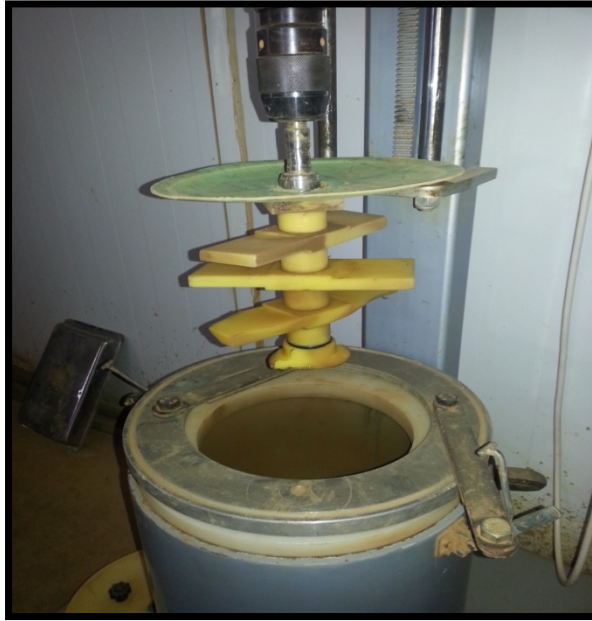
Tez kapsamında yapılan çalışmalar Şekil 6.3’de özetlenmiştir. Karakterizasyon çalışmaları sonrasında cevher çeneli ve konik kırıcıda boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra titreşimli eleğe beslenmiş ve elek altı halkalı değirmende -75 µm boyutuna indirilmiştir. Öğütülen numuneler ortamda dik karıştırmalı bilyeli değirmende (Fotoğraf 6.1) farklı boyuttaki zirkonyum bilyeler (Fotoğraf 6.2) ile Çizelge 6.3’de verilen şartlarda 15 dakika süre ile tekrar yaş olarak öğütülerek d_{80} değeri yaklaşık 20 mikron d_{50} değeri ise 6,02 mikron olan (Şekil 6.4) liç besleme malı elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 Dik karıştırmalı bilyeli değirmen öğütme şartları

Parametre	Miktar
Numune miktarı	4 kg
Katı oranı	%50
Değirmen hızı	1000 devir/dk
Bilye miktar (2-3-4 mm)	10 kg
Bilye tipi	Zirkonyum
Öğütme süresi	15 dak.



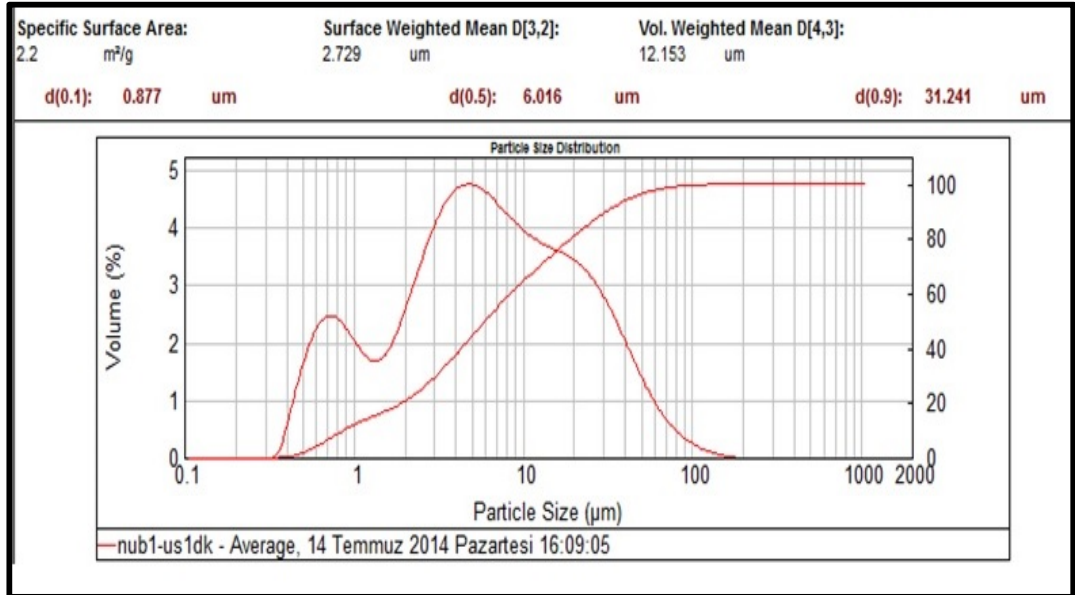
Şekil 6.3 Tez çalışması akım şeması



Fotoğraf 6.1 Öğütme işleminin yapıldığı dik karıştırmalı bilyeli değirmen



Fotoğraf 6.2 Dik karıştırılmalı bilyeli değirmende kullanılan zirkonyum bilyeler



Şekil 6.4 Dik karıştırılmalı bilyeli değirmende öğütülen cevherin boyut dağılımı

Liç deneyleri, d_{50} değeri yaklaşık 6 μ m olan cevher kullanılarak Gümüştaş Madencilik A.Ş Ar-Ge laboratuvarında bulunan 3 litre hacme sahip içerisinde havalandırma sistemi ve dalgakıranlar bulunan, üzerinde karıştırma sistemine sahip laboratuvar tipi liç tanklarında yapılmıştır (Fotoğraf 6.3). Deneysel çalışmalarda Çizelge 6.4' de verilen parametreler çalışılmıştır.



Fotoğraf 6.3 Laboratuvar tipi liç tankları

Çizelge 6.4 Liç çalışma parametreleri ve değerleri

Parametreler	Birim	Değerler					
Sönmemiş kireç miktarı	(kg/t)	30	50	100	150	200	-
Katı oranı	%	20	25	30	40	45-50	50
Sıcaklık	°C	25	50	70	85	-	-
Siyanür miktarı CN(F)	gr/t	500	1000	1500	2000	3000	-
Liç süresi	saat	12	24	48	60	90	120

Liç işlemlerinin tamamlanmasından sonra numuneler alınarak etüvde (kurutma fırını) kurutulmuştur. Nemi uzaklaştırılan numune döküm testi yapılmak üzere döküm potasında hazırlanmıştır. Döküm potası içerisine fluks (ergitmeyi kolaylaştırıcı) kimyasallar (potasyum nitrat, silis kumu, boraks) ile homojen şekilde karıştırılmaktadır. Döküm potası 1 saat boyunca 1050°C yüksek dereceli fırınlarda ergitilmekte ve ergitme sonrası kalıplara dökülmektedir (Fotoğraf 6.4).

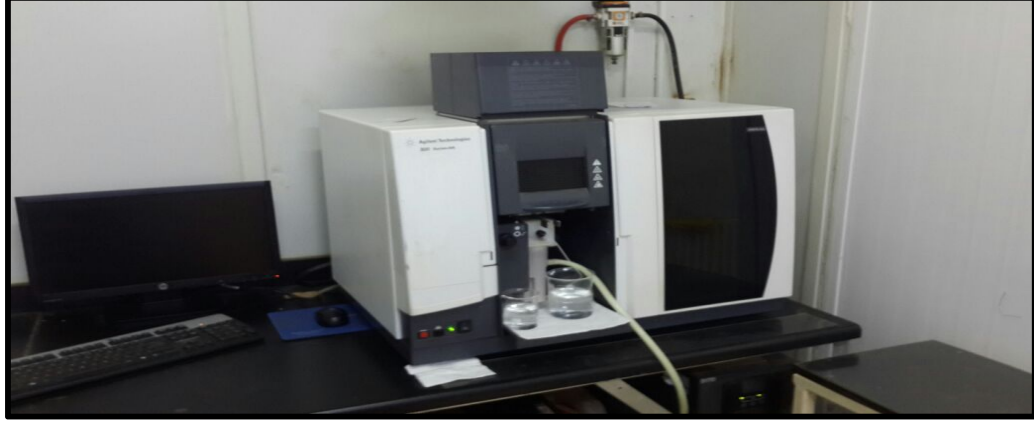


Fotoğraf 6.4 Döküm potası vasıtasıyla ergitme işlemi

Kalıplar içerisinde altın ve gümüş kurşun ile birleşik yaparak kalıbın dibinde çökmektedir. Hazırlanan numune soğuma işlemine bırakılarak dövme işlemine tabi tutularak üzerindeki cüruf temizlenir ve silindir şekline getirilir. İçerisinde kurşun gümüş ve altın bulunan şekillendirilmiş metalden kurşunun uzaklaştırılması amacıyla numune küpellerine alınarak 950°C 'de 1,5 saat yüksek dereceli fırınlarda bekletilmektedir. Fırınlanma süresince numune içerisindeki kurşunun bir kısmı gaz, bir kısmı da küpel tarafından emilmektedir. Küpelasyon işleminin ardından küpel içerisinde altın ve gümüş incisi kalmaktadır. İnci yüzeylerinin temizlenmesi için asetik asit (CH_3COOH) içerisinde belirli bir süre bekletilmektedir. Bu işlemin ardından saf su ile yıkanan inci taneleri, hassas terazi ile tartılmaktadır. Saf su ile yıkanan inci tanelerin hassas tartımı alınmaktadır. Temizlenmiş olan inci tüp içerisine alınarak 1ml 1/1 (125 ml saf su+ 125 ml HNO_3) lik Nitrik Asit (HNO_3) ilave edilerek gümüşün çözünmesi sağlanır. Hazırlanan tüpler 15 dk 85°C saf suda bekletilerek reaksiyonun tamamlanması beklenmektedir.

Reaksiyonun sonra ermesinin ardından tüpe 1ml HCl ve 8 ml saf su eklenerek Kral suyu oluşturularak Au' nun çözeltiye geçmesi sağlanmaktadır. Tüp içerisinde AgCl olarak çökelek oluşturan gümüş, santrifüjlenerek tüp dibine çöktürülmektedir. Tüm bu işlemlerin ardından tüp içerisinde altın çözeltisinden 0,5 ml alınarak 19,5 ml saf su ile seyreltilmekte ve Atomik Adsorpsiyon cihazı yardımı (Fotoğraf 6.5) ile çözelti

içerisindeki Altın içeriği ölçülmektedir. Gümüş ise, tekrar hassas terazide tartılarak gravitasyon yöntemiyle tespit edilir.



Fotoğraf 6.5 Deneyleerde kullanılan atomik absorpsiyon (AAS) cihazı

Liç çalışmalarında öncelikli olarak tesis (Gümüştaş Madencilik A.Ş) öğütme prosesinden hidrosiklon üst akımdan alınan (-75 μm) cevher numunesi ile liç tesisi çalışma şartlarında (Çizelge 6.5) laboratuvar ortamında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6'da verilmiştir. Bu sayede tez kapsamında yapılan çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi imkânı bulunmuştur.

Çizelge 6.5 Mekanik aktivasyona yapılmamış cevherin liç şartları

Parametre	Değer
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	40
Katı oranı (%)	40
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	85
Siyanür miktarı (gr/t)	1500
Liç süresi (saat)	55

Çizelge 6.6 Mekanik aktivasyona yapılmamış cevherden elde edilen metal kazanımı

Numune	Test Başlangıç Değerleri		Au (% Metal kazanma verimi)	Ag (% Metal kazanma verimi)
	Au (ppm)	Ag (ppm)		
Hidrosiklon üst akımı	9,85	217,1	83,72	60,27

BÖLÜM VII

ARAŞTIRMA BULGULARI

7.1 Sönmemiş Kireç Etkisi

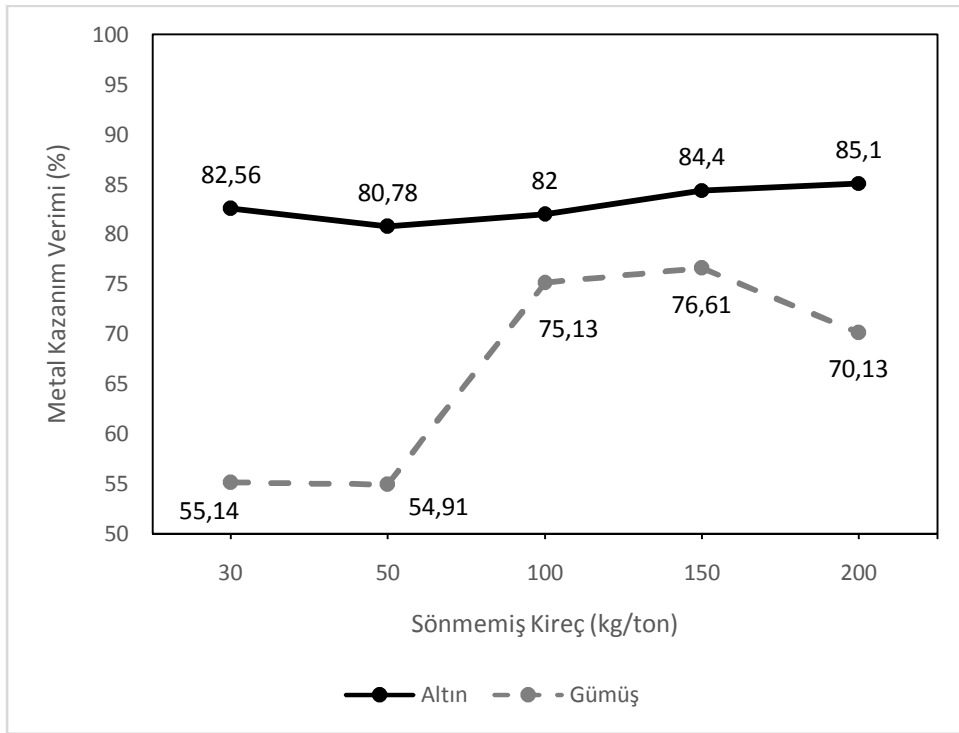
Bu parametrenin deneyleri Çizelge 7.1’de verilen liç şartları altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda 30, 50, 100, 150 ve 200 kg/ton sönmemiş kireç miktarı kullanılmıştır. Bu kireç miktarında ölçülen süspansiyon pH değerleri Çizelge 7.2’de, elde edilen deney sonuçları ise Şekil 7.1’de sunulmuştur. Bu şekil incelendiğinde 150 kg/t sönmemiş kireç oranında %84,40 Au ve %76,61 Ag metal kazanma verimlerine ulaşılmıştır. Yapılan testlerde görüldüğü üzere sönmemiş kireç miktarının 150 kg/t’ un üzerinde (200 kg/t) kullanılması ile altın kazanma veriminin %85,10’a yükseldiği ancak gümüş kazanım veriminin keskin bir düşüş ile %70,13’e gerilediği gözlenmiştir. Ayrıca, sisteme ilave edilen sönmemiş kireç doyumunun artması, kalsiyum ve sülfat tuzlarının reaksiyona girmeleri neticesinde işletme boru hatlarında ve geçiş noktalarında tıkanmalara neden olmaktadır. Bu durum da göz önünde bulundurularak söz konusu parametre için optimum değer olarak 150 kg/t sönmemiş kireç oranı alınmıştır.

Çizelge 7.1 Liç verimine sönmemiş kirecin etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	30, 50, 100, 150, 200
Katı oranı (%)	40
Sıcaklık (°C)	50
Siyanür miktarı (gr/t)	1500
Liç süresi (saat)	48

Çizelge 7.2 Süspansiyon pH değerleri

Sönmemiş kireç oranı (kg/t)	pH
30	10,90
50	11,10
100	11,85
150	12,20
200	12,80



Şekil 7.1 Sönmemiş kireç miktarının metal kazanım verimine etkisi

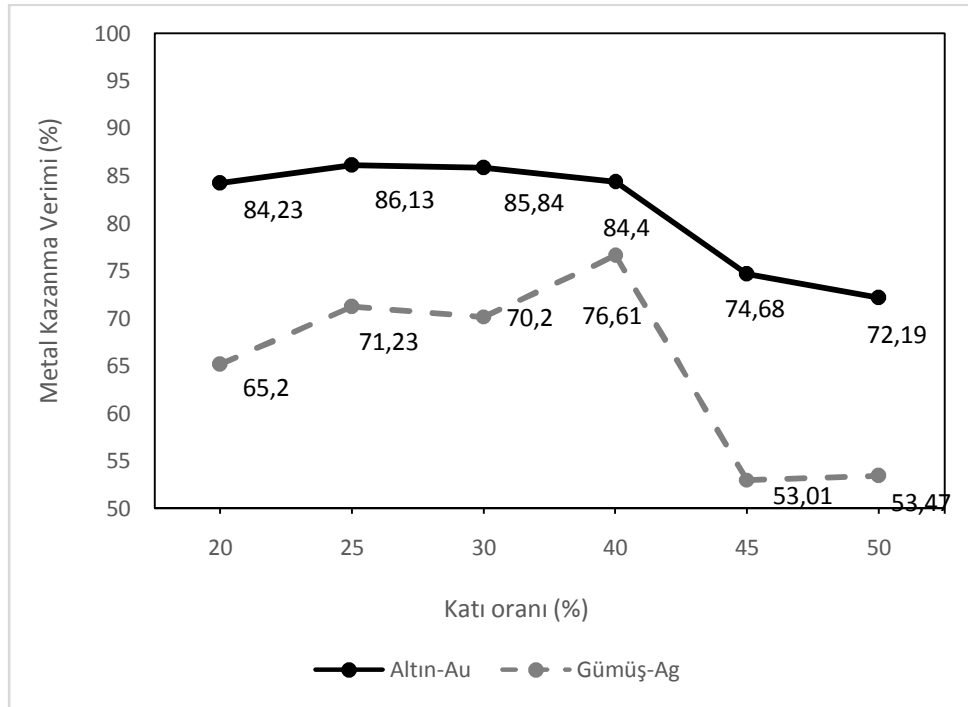
7.2 Katı Oranın Etkisi

Katı oranın metal kazanımına etkisinin araştırılması için yapılan deneysel çalışmalar Çizelge 7.3’de verilen şartlar kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada %50 katı oranına kadar çıkılmıştır. Elde edilen deney sonuçları ise Şekil 7.2’ de altın ve gümüş için verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere, altın için en iyi sonucun %86,13 Au kazanma verimi ile %25 katı oranında gümüş için ise en iyi sonucun %76,61 Ag ile %40 katı

oranında elde edildiği görülmektedir. Çalışmada esas olarak altın baz alındığı için ve %40 katı oranında altın kazanma verimi ile %25 katı oranında ki altın kazanma verimleri arasında yaklaşık %2'lik bir farkın bulunması sebebiyle optimum değer olarak %25 tercih edilmiştir.

Çizelge 7.3 Liç verimine katı oranın etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Parametre	
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	150
Katı oranı (%)	20, 25, 30, 40, 45, 50
Sıcaklık (°C)	50
Siyanür miktarı (gr/t)	1500
Liç süresi (saat)	48



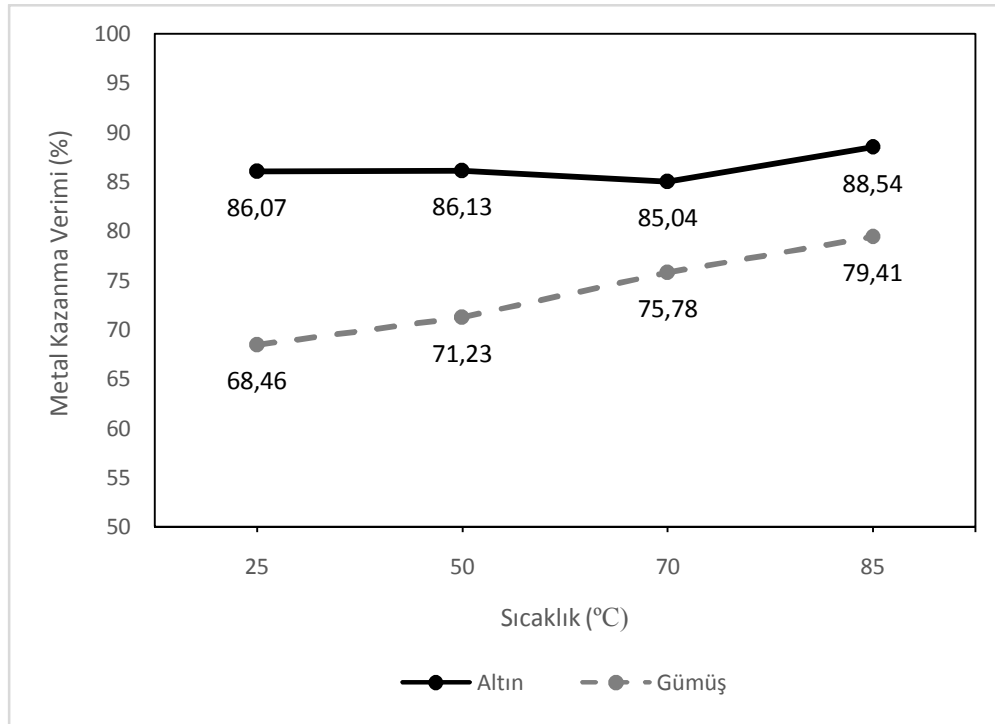
Şekil 7.2 Katı oranının metal kazanım verimi etkisi

7.3 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın metal kazanma verimine etkisinin tespit edilmesi amacı ile Çizelge 7.4' de verilen çalışma şartları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 25, 50, 70 ve 85 °C sıcaklıklar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.3 'de altın ve gümüş metali için verilmiştir. Söz konusu şekil irdelendiğinde sıcaklığın metal kazanımında önemli rol oynadığı görülmektedir. Bu parametre için en iyi sonucun %88,54 Au ve %79,41 Ag metal kazanma verimleri ile 85°C olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.4 Liç verimine sıcaklığın etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	150
Katı oranı (%)	25
Sıcaklık (°C)	25, 50, 70, 85
Siyanür miktarı (gr/t)	1500
Liç süresi (saat)	48



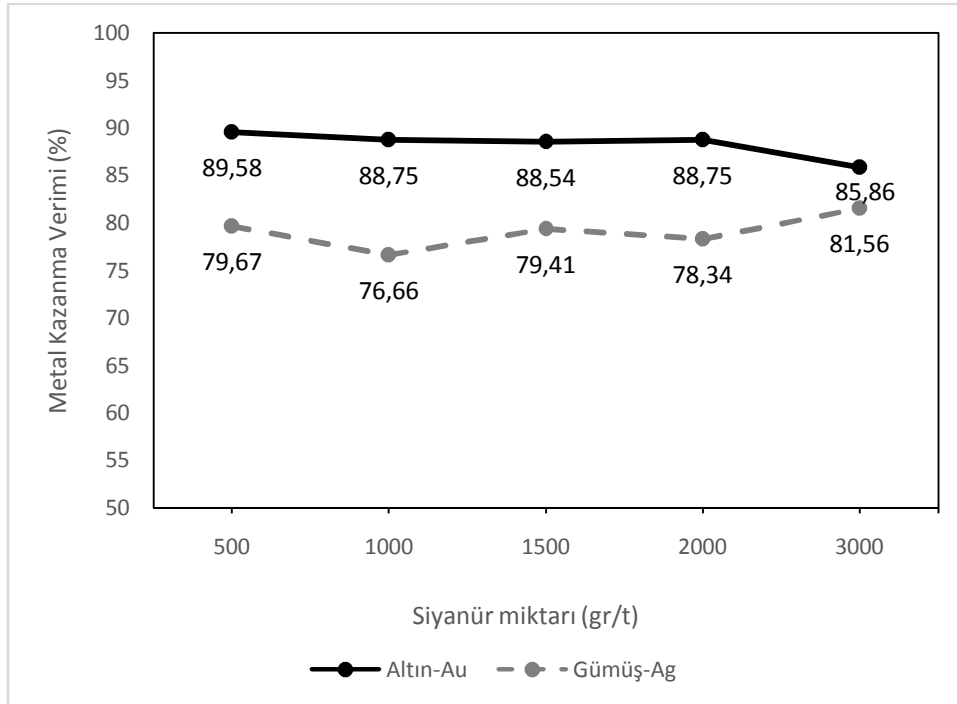
Şekil 7.3 Sıcaklığın metal kazanım verimi etkisi

7.4 Siyanür Miktarının Etkisi

Siyanür miktarının liç işlemini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sistemde optimum siyanür miktarının ayarlanması, hem maliyet açısından hemde istenmeyen diğer metallerin çözündürülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Siyanür konsantrasyonunun etkisi Çizelge 7.5'te verilen şartlar kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar ise Şekil 7.4' de verilmiştir. Bu parametre için en iyi sonucun %89,58 Au ve %79,67 Ag metal kazanma verimleri ile 500 gr/t siyanür konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 7.5 Liç verimine siyanür miktarının etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	150
Katı oranı (%)	25
Sıcaklık (°C)	85
Siyanür miktarı (gr/t)	500, 1000, 1500, 2000, 3000
Liç süresi (saat)	48



Şekil 7.4 Siyanür miktarının metal kazanım verimi etkisi

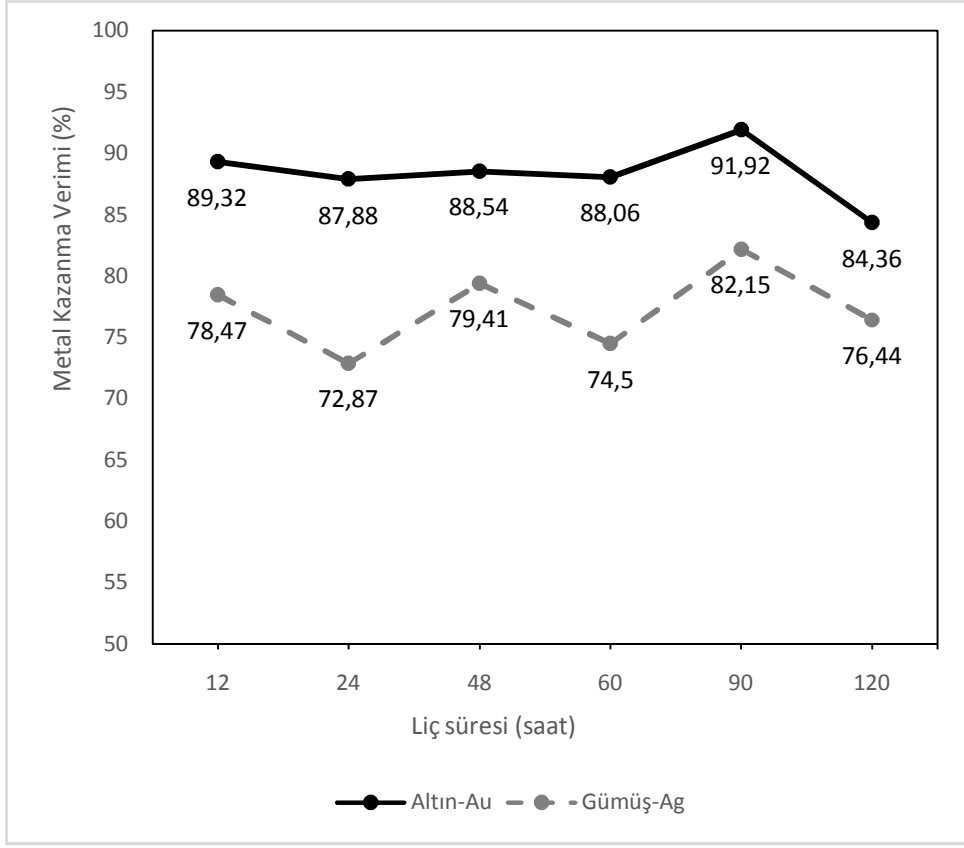
Altının elektrüm içinde bulunması liç kinetiğini yavaşlatıp, siyanür tüketimini yükseltebilmektedir. Daha ciddi siyanür tüketimi ise bazı oksit ve sülfürlerin reaksiyonları ile oluşabilmektedir. Bu yan reaksiyonlar aşırı reaktif tüketimine sebep olup üretim maliyetini yükselttiği gibi, altın kazanım oranını da düşürmektedir. Kompleks cevherler genellikle pirotit ($Fe(1-x)S$), markasit (FeS_2), kovallit (CuS), digenit ($Cu_{1.8}S$), kalkosit (Cu_2S), arsenik ve antimuan sülfürler ve çinko sülfürler gibi sülfür mineralleri içerirler. Altın cevherinde %1 den fazla bakır sülfür mineralleri bulunduğu siyanür liçi ile altın kazanımı genellikle ekonomik olmaz ve bakırın uzaklaştırılması için kimyasal ön iyileştirme veya flotasyon uygulanabilir (LaBrooy vd, 1994). Araştırmalarda da belirlendiği üzere çözündürme işlemi yapılan cevher içerisinde bakır miktarının yüksek olması durumunda, siyanür tüketiminin fazla olmasına ve altın kazanımını da düşmesine neden olmaktadır. Üzerinde çalışılan cevherde yapılan metal analizlerinde bakır (Cu) oranının 1278 ppm (%0.1278) olduğu tespit edilmiştir. Optimum siyanür konsantrasyonu parametre çalışmasında, her iki metal için en iyi sonucun 500 gr/t'da elde edilmesinin nedeninin çalışılan altın cevher numunesi içerisinde en önemli siyanisidlerden birisi olan bakır elementi oranının çok az olması olduğu düşünülmektedir.

7.5 Liç Süresinin Etkisi

Bu parametrenin çalışılmasında yukarıda verilen ve optimize edilen dört parametre değerleri (Çizelge 7.6) kullanılmıştır. Bu kapsamda liç süresi olarak sırasıyla 12, 24, 48, 60, 90 ve 120 saat kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise Şekil 7.5' de verilmiştir. Söz konusu şekil irdelendiğinde altın ve gümüş metali kazanma bazında en iyi sonuçlar %91,92 Au ve %82,15 Ag kazanma verimleri ile 90 saat liç süresinde elde edilmiştir.

Çizelge 7.6 Liç süresinin liç verimine etkisinin araştırılmasında kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer
Sönmemiş kireç miktarı (kg/ton)	150
Katı oranı (%)	25
Sıcaklık (°C)	85
Siyanür miktarı (gr/t)	500
Liç süresi (saat)	12, 24,48, 60, 90, 120



Şekil 7.5 Liç süresinin metal kazanım verimi etkisi

BÖLÜM VIII

SONUÇLAR

Günümüzde altın madenciliği Dünyada ve ülkemizde giderek yükselen bir trend yakalamış durumdadır. Bu kapsamda özellikle ülkemizde mevcut rezervlerin işletilmesi ve yeni rezervlerin bulunması için yoğun bir çalışma ortaya konulmaktadır. Altın cevher yataklarının işletilmesi sonrası zenginleştirilmesinde siyanür ile liç teknolojisinin kullanımı birçok çevresel baskılara rağmen artarak devam etmektedir. Liç proseslerinde çözünme işleminin hızlanması, metal kazanma veriminin artması ve reaktif tüketimlerinin düşürülmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında ise altın cevherlerine uygulanacak ön işlemler gelmektedir. Son yıllarda mekanik aktivasyon esaslı öğütme işlemleri ise altın zenginleştirme proseslerine girmiş durumdadır. Bu amaçla, cevherin çok ince boyutlara ($-10 \mu\text{m}$) öğütülmesi ve mekanik aktivasyon etkisinden yararlanmak için günümüzde çoğunlukla karıştırımalı bilyeli değirmenler tercih edilmektedir.

Bu tez çalışması, Bolkardağ (Ulukışla, Niğde) yeraltı maden işletmesinde üretilen tüvanan altın cevherinden alınan temsili numune üzerinde gerçekleştirilen liç çalışmalarını kapsamaktadır. Deneysel çalışmalara geçilmeden önce cevherden alınan temsili numune üzerinde XRF, XRD ve ince kesit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda üzerinde çalışılan cevherin 9,85 gr/t Au ve 217,1 gr/t Ag içerdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte numunenin XRD çalışmaları neticesinde cevherde, Jarosit, Kuvars, Limonit, Hematit, Galen minerallerinin ağırlıkta olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar, altın ve gümüş elementlerinin çoğunlukla jarosit minerali ile bağlı ve kapanım halinde olduğunu göstermiştir.

Karakterizasyon çalışmalarından sonra cevher çeneli ve konik kırıcıda boyut küçültme işlemine tabi tutularak titreşimli elekten geçirilmiş ve elek altı halkalı değirmende d_{80} bazında $75 \mu\text{m}$ 'ye öğütülmüştür. Daha sonra dik karıştırımalı bilyeli değirmende tekrar öğütme işlemine tabi tutularak d_{80} değeri yaklaşık $20 \mu\text{m}$, d_{50} değeri ise $6,02 \mu\text{m}$ olan liç besleme malı elde edilmiştir. Liç çalışmaları sonrasında ise 150 kg/t sönmemiş kireç miktarı, %25 katı oranı, 85°C sıcaklık, 500 gr/t siyanür miktarı ve 90 saat liç süresi optimum değerler olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu optimum şartlar altında

yapılan nihai liç deneyleri sonrasında %91,92 Au ve %82,15 Ag metal kazanma verimlerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, mekanik aktivasyon esaslı öğütmenin yapılmadığı yani -75µm cevher ile yapılan liç deney sonuçları ile karşılaştırıldığında (%83,72 Au ve %60,27 Ag metal kazanma verimi) her iki metal kazanım verimi içinde büyük farkların meydana geldiği görülmektedir.

Altın cevherlerinin öğütülmesinde kullanılan konvansiyonel bilyeli değirmenler ile çok ince boyutlara öğütme yapmak, ekonomik ve fiziksel olarak mümkün olmamaktadır. Bu amaçla daha önce belirtildiği gibi karıştırmalı bilyeli değirmenler kullanılmaktadır. Bu değirmenler mineraller üzerinde mekanik aktivasyon etkisi de meydana getirmektedirler. Bu etki, özellikleri değişmeden kalan minerallerin reaksiyona girme yeteneklerinde bir artış sağlamaktadır. Tez kapsamında elde edilen sonuçların da bunu destekler nitelikte olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., Altın-gümüş üretiminde modern yöntem: Siyanür prosesi. Altın Madenciliği ve Çevre. Editörler (A. E. Yüce, G. Önal) Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul, s. 61- 77, 1997.

Akçıl, A. Effects of Gold Deposition Types on Concentration Method Selection, Dokuz Eylül University, **Graduate School of Natural and Applied Sciences**, Ph. D. Seminar, İzmir, 1995.

Akçıl, A. “Effects of gold deposition types on concentration method selection, **Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**, Ph. Dr., İzmir, 1997.

Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E., Processing Of Gold From Mastra (Gümüşhane-Turkey) Ore By Knelson Gravity Concentrator, **SGEM 2004**, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266, 2004

Alp, A., Yıldız, K., Taşkın, E., Cebeci, A., Aydın, S., “Diasporitik boksitlerden alumina üretiminde mekanik aktivasyonun etkisinin araştırılması”, Sakarya Üniv. Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Bl., **TÜBİTAK MAG Proje 106M121**, s.1-129, 2008.

Altın Madencileri Derneği, Madencilik Sektörü ve Türkiye’de Altın Madenciliği, Temmuz, 2008

Andrew, L. S. Gold ore processing today-Part 1 and Part 2, **International Mining Magazine**, 1984.

Balaz, P., “Extractive metallurgy of activated minerals”, **Elsevier Science B.V.**, 2000.

Balaz, P., “Mechanical activation in hydrometallurgy”, 72, s. 341-354, 2003.

Balaz, P., “Mechanochemistry in nanoscience and minerals engineering, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2008.

Bergmann, C., “Developments in Ore Sorting Technologies”, *Councilfor Mineral Technology*, 75 Mintek, 2009.

Bayraktar, İ., Yarar, B. “Altın cevherlerinin zenginleştirilmesi ve altının ekstraksiyonu” Ankara, 1985.

Bayraktar, İ. ve Yarar, B. Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altın Ekstraksiyonu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, Ankara, 1985.

Baştürkcü, H., “Altın Madenciliği ve Siyanür”, seminer notu, 2012 (Basılmamış).

Cankut, S., Ekstraktif Metalürji, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1972.

Celep, O., Alp, İ., “Karıştırmalı değirmenler ile ince öğütmenin refrakter altın cevherlerine uygulanabilirliğinin incelenmesi”, *Madencilik*, Cilt 47, s.3, 15-26, 2008.

Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M. Ve Yazıcı, E., , Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators, 10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 27-33, 2004.

Celep, O., Alp, İ., Türk, T., “İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları”, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 21, s.2, 61-73, 2008.

Çelik, H. “Cevher mineralojisine göre altın üretim yönteminin tayini, *C.B.Ü Soma Meslek Yüksekokulu, Teknik Bilimler Dergisi*, No:1304, 2004.

Çilingir, Y., Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri ders kitabı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 1996.

Clifford, D., “Reducing the cost of comminution, *Mining Magazine*, Feb., 112-119, 1998.

Dikmen, S., Ergün, Ş..L. “Karıştırmalı bilyeli değirmenler” *Madencilik*, Cilt 43, Sayı 4, s. 3-15, Aralık 2004.

Ersin, H., Siyanürleme, 100. Yıl Gümüş madeni işletmeleri müessesesi müdürlüğü raporu, 38, Kütahya 1990.

Extractive Metallurgy of Activated Minerals, Mechanical activation in technology Process Metallurgy, Volume 10, 2000, Pages 213–263

Extractive Metallurgy of Activated Minerals, Chemical leaching of mechanically activated minerals, **Process Metallurgy** Volume 10, 2000, Pages 143–193

Gao, M., Anderson, W., “The latest success of the Isa Mill in ultra fine grinding”, *II. Crushing and Grinding Symposium*, Oct. 30—Nov. 1, Kalgoorlie, Australia, 2002.

Gao, M., Reemeyer, L., Obeng, D., Holmes, R., “Efficiency of the Detritor Mills at Zinifex Century Mine”, *Ninth Mill Operators Conference, 19-21 March, Fremantle, Western Australia*, 2007.

Girgin, İ., Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Ders Notu, 2010 (Basılmamış).

Glembotski, V.A., Klassen, V.I., and Plaksin, I.N.,. Flotation. Primary Sources, New York, 1972.

Göktaş, M., Erdemoğlu, M., “Aşırı Öğütmeyle Mekanik Olarak Aktifleştirilmiş Atık Mermer Tozları Kullanılarak Yapay Vollastonit Üretimi ve Kullanımı, *Madencilik Dergisi*, Cilt3, 2014.

Gülcan, E., Gülsoy, Ö.Y., “Sensör Temelli Ayırma Sistemleri-Optik Ayırma *Madencilik-Türkiye*, s.84-92, 2013.

Güneş, N. ve Akçıl, A. “Altın kazanımında kimyasal proseslerin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Cilt 3, Sayı 2, s.389-392, 1997.

Habashi, F., Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution. **Montano College of Mineral Science and Technology**, Butte, Montana, April Bulletin 59, 1967.

Habashi, F., ‘A Textbook of hydrometallurgy’, ISBN 2- 980- 3247- 7- 9, Metallurgie Extractive Quebec Publications, Canada, 203- 240, 1999.

Hacıfazlıoğlu, H, Pilevneli, C.C. ve Toroğlu,İ., “Dikey Pinli Karıştırıcı Değirmende Armutçuk Komurunun Kuru Öğütülmesi ve Bilye Boyutunun Urun İnceliğine Etkisi”, *Madencilik Dergisi*, (46)1, 33-41, 2007.

Harbort, G., Murphy, A., Vargas, A. and Young, M., "The Introduction of the IsaMill for Ultrafine Grinding in the Mt Isa Lead/Zinc Concentrator", *Extemin99*, Arequipa, Peru, 1999.

Hedley, N., Tabachnick, H., “Chemistry of cyanidation, mineral dressing notes 23, *American Cyanamid Company*”, New York, 1968.

Heinen, H. J. , Peterson, D. G. and Lindstrom, R. E. “Processing gold ores using heap leach-carbon adsorption methods”, *United States Department Of The Interior Cecil D. Andrus*, Secretary, 1978.

Huang, L., Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator, *Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University*, Montreal. 1996,

<http://www.hmicronpowder.com/products/size-reduction/alpine-anr>

<http://www.womp-int.com/story/2008vol9/story025b.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/IsaMill>

<http://gold.infomine.com>

<http://www.gold.org/>, World Gold Council, Gold Marketknowledge.

http://www.gold.org/investment/why_how_and_where/why_invest/demand_and_supply

<http://www.altinmadencileri.org.tr/index.php?secim=9&mid=94>

<http://www.rahmiunal.net>

<http://www.hmicronpowder.com>

<http://www.womp-int.com>

<http://www.en.wikipedia.org>

İpekoğlu, Ü., Mordođan, H. “Altın üretim tesislerindeki siyanürün türleri, toksik etkileri ve atık barajındaki davranışı, *Madencilik Dergisi*. 1993.

Jankovic, A., “Media stress intensity analysis for vertical stirred mills, *Minerals Engineering*, Vol. 14, No. 10, Pp. 1177-1186, 2001.

Jankovic, A., “Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills”, *Minerals Engineering*, 16, 337-345, 2003.

Jankovic, A., Valery, W., Rosa D.L., “Fine grinding in the Australian Mining Industry, *3rd Int. Conference on Recent Advances in Materials, Minerals & Environment (RAMM)*, Malaysia, 2008.

Kwade, A., “Wet Comminution in Stirred Media Mills – Research and Its Practical Application”, *Powder Technology*, **105**, 14-20, 1999.

Kemal, M., Çiçek, T., “İnce ve çok ince öğütme”, 21. **Yüzyıla Girerken Türkiye Madenciliği Sempozyumu**, 20-22 Haziran, Sivas, Bildiri Kitabı, 97-111, 1996.

Knelson, B. Ve Jones, R., A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line, **Mineral Engineering**, 7,201-207, 1993.

LaBrooy, S.R., Linge, H.G. ve Walker, G.S. “Review of gold extraction from ores”, **Min. Engineering**, Vol.7 No.10 pp 1213-1241, 1994.

Logsdon, M.J., Hagelstem. K. and Terry I.M., “International Council On Metals And The Environment, Altın Üretiminde Siyanür Yöntemi.

Logsdon, M.J., Hagelstein, K., Mudder, T.I., Altın üretiminde siyanür yönetimi, International council on metals and the environment, Kanada, 1- 37, 2001.

Madsen J.O., ”Overview of gold processing techniques around the world”, **Minerals & Metallurgical Processing**. August, 23(3):121-124. 2006.

Mark J.L., Karen H., Terry, I.M., Altın üretiminde siyanür yönetimi, **International Council On Metals And The Environment**,

Marmor, F., “Energy-saving fine grinding using the SAM”, **Aufbereitungs-Technik**, 34(10), 506-511, 1993.

Marinkovic, Z. V., Mancic, L., Vulic, P., Milosevic, O., Microstructural Characterization of Mechanically Activated ZnO-Cr₂O₃ System”*Journal of EuropeanCeramicsSociety*, Vol.25, 2005.

Mcdougall, G.J., and Hancock, R.R., Activated Carbons and Gold-A Literature Survey, *Minerals Sci. Engng.*, Vol. 12, No: 2, April, 1980.

Mc Quiston, F. W., Shoemaker, R. S.. Gold and silver cyanidation. Vol. I and Vol. II, **Society of Mining Engineers**, New York, A. B. D, 1981.

Megep, (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) **Kuyumculuk teknolojisi, alaşım metalleri ve kimyasallar**, Ankara, 2007

Önal, G. “Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri”; **İTÜ Basımevi**, 1978.

Önal, G., Ateşok G., Cevher Hazırlama El Kitabı, 1994.

Önal, G., Acarkan, N., ve Acarkan S., “Bolkardağ Madenine Ait Altın-Gümüş-Kurşun Cevherini Zenginleştirme Olanakları”, **İTÜ Kimya/Metalürji Fakültesi** 80626 Maslak/İSTANBUL; İTÜ Maden Fakültesi 80626 Maslak/İSTANBUL

Oygür, V. “Türkiye’de Altın Madenciliği”, 1995.

Ren, X., Li, Q., Zhang, Y. Ve Liu, D., , A New Centrifugal Separator for Recovering Minerals from Fine and Ultrafine Sizes, *Innovations in Minerals Processing*, **Sudbury**, 349-355, 1994.

Sivrioğlu, İ., “Altın ve gümüş cevherinin işlenmesi. 100. Yıl Gümüş madeni işletmeleri müessesesi müdürlüğü raporu”, 18, Kütahya, 1990.

Smith, A., Mudder, T., “The chemistry and treatment of cyanidation wastes”. Mining Journal Books Ltd., 60 Worship Street, London, EC2A 2HD, England, 1991.

Staunton W., 'Treatment of gold mine waste containing cyanide' 'Fate of cyanide in the environment near mine tailings'. Australian Mineral Industries Research Association Limited (AMIRA), Kasım, 227, 1991.

Wang, Y., Forssberg, E., “Enhancement of energy efficiency for mechanical production of fine and ultra-fine particles in comminution”, **China Particuology**, 5, 193-201, 2007.

Wang, Y. ve Forssberg, E., “International Overview and Outlook on Comminution technology”, <http://pure.ltu.se>, 2007.

Wang, Y., Forssberg, E., Sachweh, J., "Dry fine comminution in a stirred media mill- MaxMill", *Int.J.Miner.Process.*, 74,65-74, 2004.

White, H.A., "The solubility of gold in cyanide solutions". J. Chem. Metal. Min.Soc., S. Africa, 20, 1- 8, 1919.

Vallery, W., Jankovic, A., "The Future of comminution", **34th IOC on Mining and Metallurgy**, 30 Sept.-3 Oct., Bor Lake, Yugoslavia, 2002.

Yiğit, E., Özkan, Ş.G., "*Flotasyon yöntemi ve uygulamaları*", İ.Ü., Avcılar-İstanbul, 2006.

Young, M.F. and Gao, M., "Performance of the IsaMills in the George Fisher Flowsheet", *AusIMM Seventh Mill Operators Conference*, Australia, 2000.

Yıldız, K Alp, A. "Metalurjik proseslerde mekanik aktivasyon", **Metal Dünyası**, 146, 119-121, 2005.

Yüce E., "Çevresel etkileri ve doğrularıyla altın madenciliği", TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *İstanbul Şubesi Çalışma Raporu*, No:7, İstanbul, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

20 Nisan 1984 Kırklareli doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimimi Lüleburgaz'da tamamladı. 2003-2008 yılları arasında Konya Selçuk Üniversitesi'nde Jeoloji Mühendisliği bölümünü okudu. Bölümümü 3. lükle tamamladı. Aynı zamanda AÖF işletme bölümünde halen ikinci sınıf öğrencisidir. Üniversite öğrenimimden sonra askerlik görevimi Ankara'da tamamladı. İş yaşamıma Ankara-Konya Hızlı Tren Projesi'nde kalite kontrol mühendisi olarak başladı. Bir yıl süre ile görev yaptığı bu projeden sonra Gümüştaş Madencilik A.Ş. de çalışma hayatıma devam etti. Bu işletmede bir buçuk yıl proses mühendisi iki buçuk yıl da tesis işletme şefi olarak toplam dört yıl çalıştı. Çalıştığı bu süre içinde aynı zamanda Niğde Üniversitesi Maden Mühendisliği ABD' de yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılı Aralık ayında başladığı Meta Nikel Kobalt Madencilik A.Ş.'de proses mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

