

# ALTIN CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE ALTININ EKSTRAKSİYONU

İrfan BAYRAKTAR(\*)  
Baki YARAR(\*\*)

## ÖZET

*1971 yılını izleyen altın fiyatlarındaki artış eğilimi, bu metalin aranılması ve kazanılması çabalarını Türkiye dışındaki ülkeler de hızlandırmıştır. Buna paralel olarak, altın cevherlerinin zenginleştirme ve ekstraksiyon yöntemleri geliştirilmiş aynı zamanda aglomerasyon, palp içinde karbon vb. gibi yenilikler de uygulamaya girmiştir.*

*Bu bildiriye, altın fiyatlarına ve dünya altın üretimine özgü bazı istatistiksel bilgiler verilerek ülkemizin altın içeren bölgeleri kısaca gözden geçirildikten sonra altın zenginleştirme ve ekstraksiyon yöntemleri altın cevherlerinin mineralojik yapıları dikkatle incelenmektedir.*

## ABSTRACT

*The increase in gold prices during 1970's generated interest abroad in exploring new deposits and processing of low grade ores. Accordingly, conventional processing techniques of gold production have been improved and several innovations such as agglomeration, carbon in pulp (C LP.) were introduced in the industry.*

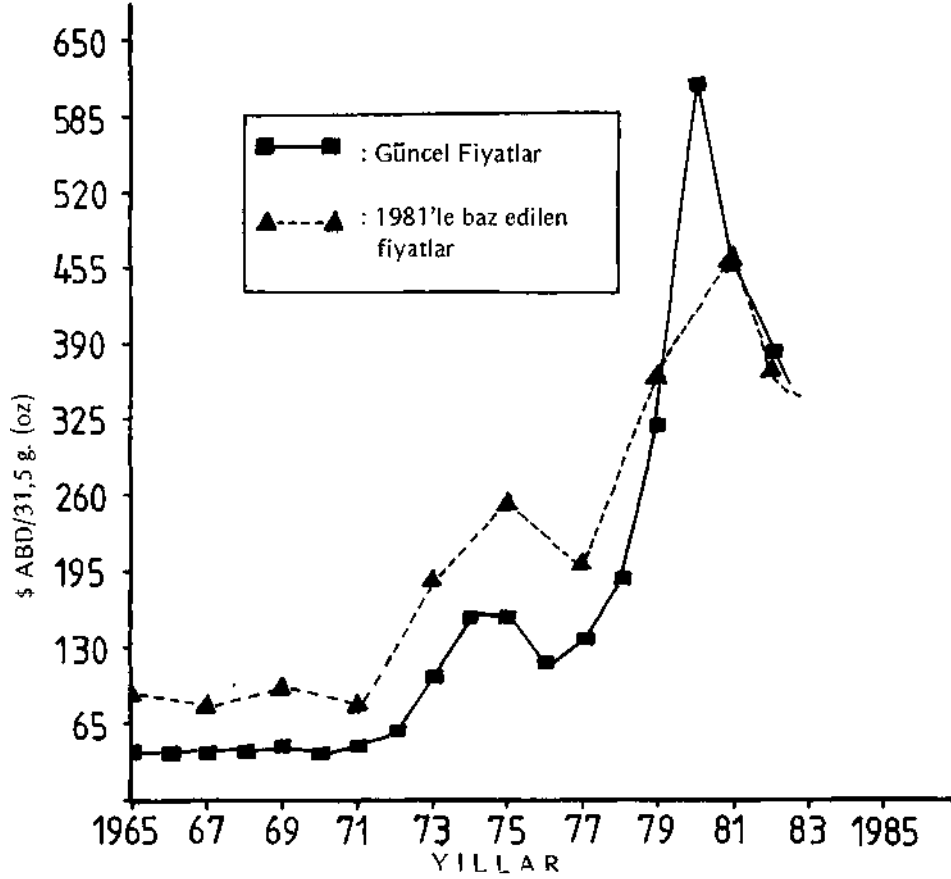
*In this paper\*, some figures regarding the trend of gold price and production of the world is outlined. Prospective gold areas in Turkey are briefly surveyed. Conventional and novel methods of processing for the extraction of gold from its ores are reviewed with special attention being paid to mineral associations and textures.*

(\*) Dr. Maden Yuk. Muh., MTA Teknoloji Dairesi, Cevher Zenginleştirme Servisi, ANKARA

(\*\*) Assoc. Prof. Dr., Colorado School of Mines, Dept. of Metallurgical Eng., Golden Colorado 80401 USA

## 1. GİRİŞ

1971 yılındaki altın fiyat artışını izleyerek, bu konudaki arama ve ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Şekil 1, son yıllardaki fiyat durumunu; Tablo 1, bu fiyat artışlarının yol açtığı üretime yönelik yatırımları yansıtmaktadır.



Şekil 1— Altın için Zaman-Fiyat ilişkisi(1)

Tablo 1'de görülen ortalama kapasite artışı Dünya için 10,9, ABD için ise 46,6'dır. Bu durum, işletilen cevher tenörlerinin giderek düşmesine karşın, fiyatların yüksekliği dolayısıyla mümkün olmaktadır. Tablo 2, ABD de işlenen altın cevherlerindeki sürekli tenor düşüşünü göstermektedir.

Ülkemizde eskilerden beri bilinen ve sözü edilen altın yatakları bulunmasına(2,3,6) karşın bu konudaki ilgi yukarıda sözü geçen fiyat artışlarından sonra bile yeterli hızda olmamıştır. MTA Teknoloji Dairesi'nde şu sıralarda bazı cevherlerden altın ekstraksiyonu çalışmaları bilinen birkaç örneği oluşturmaktadır(4).

Böyle bir faaliyetin ülkemizde hızlanması gereği Tablo 3 ve Tablo 4'de görülen rezerv ve zuhurlar'dolayısıyla açıktır.

Tablo 1— Başlıca altın üreticisi ülkelerin kapasiteleri, üretimleri ve kapasite artırımları(1)

Ü L K E	1981 Kapasite (Ton)	1981 Üretim (Ton)	% Üretim Payı	1985 Planlanmış Kapasite	1985'e göre % Kapasite Artışı
Güney Afrika	706,00	656,85	51,8	777,5	10,1
Sovyetler Birliği	277,00	262,00	20,6	290,0	4,7
Kanada	62,20	47,00	3,7	81,0	30,2
ABD	46,65	42,90	3,4	68,4	46,6
Brezilya	46,65	37,90	3,0	53,0	13,6
Diğerleri	264,40	221,70	17,5	286,0	8,1
Toplam	1 402,90	1 268,35	100,0	1 555,9	10,9

Tablo 2- ABD'de son 7 yılda işlenen altın cevheri tonajı ve ortalama tenörü(1)

Yıl	İşlenen Cevher (Milyon Ton)	Ortalama Tenor (Gram/Ton)	Kazanılan Altın (Gram/Ton)
1974	4,17	7,89	4,75
1975	5,17	5,05	3,79
1976	2,81	7,21	6,87
1977	5,26	4,00	3,62
1978	3,90	5,70	4,27
1979	6,35	3,89	2,49
1980	8,98	3,45	2,08

Tablo 3- Türkiye altın cevheri rezervleri(5)

BÖLGE	Tenor (g/t)		Diğer Elementler				Rezerv (Ton)		
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	S	Görünür	V. uhteme	Mümkün
Artvin-Borçka	2,3	35	2,78	-	-	39,6	—	—	4x10 <sup>6</sup>
Balıkesir-Edremit	5	25	-	82	6,7	-	5,4x10 <sup>4</sup>	5,4x10 <sup>4</sup>	1,3x10 <sup>5</sup>
Niğde-Bolkardağ I	10,4	33,5	-	5,4	4,7	-	1,1x10 <sup>5</sup>	1,7x10 <sup>5</sup>	—
Niğde-Bolkardağ II	3,2	140	-	2,3	1,0	-	1,5x10 <sup>5</sup>	—	—
İzmir-Arapdağ	3-10	48	-	-	-	-	1,5x10 <sup>5</sup>	-	—
Eiaziğ-Baskil	4,2	2,4	-	-	-	-	-	-	4 9x10 <sup>4</sup>

Tablo 4- Türkiye altın cevheri zuhurları(5,6 7)

BÖLGE	MİNERALOJİ/YATAK TİPİ	DİĞER BİLGİLER
Ödemiş-Tire	Arsenopiritli Damarlar	Geniş bir alana yayılmış
Aydın-Sabuncudağ		
Kula-Milas arası		
Niğde-Çamardı	Kompleks sülfür-oksit mineralleri	Limonitli şistler içerisinde W ve Sb de içeriyor
Bilecik-Söğüt	-	-
Sakarya-Geyve	Plaser	—
Antakya-Akılçay	"	-
Elazığ-Harput	"	-
Bingöl-Hamekçayı	"	-
Kars-Kağızman	"	Eskiden Ruslarca işletilmiş
İ stan bu I-Ki ly os Kumul		1-3 g/t

## 2. ALTININ CEVHERLERİNDEN KAZANILMASI

Altın yer kabuğunda ortalama olarak tonda 0,0035 gram (0,0035 ppm) oranında bulunur. Oysa, günümüzde kârla işletilebilen altın cevherlerinde en düşük tenor yaklaşık 1 gram/ton'dur(8). Bu durumda, işletilebilir bir altın yatağının yer kabuğu ortalamasının en az 300 katı kadar altın içermesi gerekir.

Altın doğada genellikle saf veya elektrüm 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(9-11). Altın yataklarının oluşumlarına göre sınıflandırılması ve bu yatakların jeolojisi literatürde ayrıntılı olarak bulunmaktadır.

Altın cevherinin mineralojik özellikleri, bu soy metalin kazanılması için uygulanacak birim yöntemleri belirler. Bu nedenle cevher mineralojisinin önce ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekir.

Aşağıdaki bölümler mineralojik yapı ile üretim yöntemi arasındaki ilişkileri kapsamaktadır(12-14).

### 2.1. Serbest Nabit Altın İçeren Damar Tipi Cevherler

Bu cevherlerde altın göreceli olarak iridir. Sülfürlü mineral içerikleri azdır; ayrıca arsenik, bizmut, antimuan, talk, kil ve karbon (grafit) içermezler. Bu tür cevherlere uygulanan zenginleştirme ve ekstraksiyon işlemleri Tablo 5'de özetlenmiştir.

**Tablo 5— Serbest nabit altın cevheri işletmeleri**

Madenin Adı ve Yer	Kapasitesi (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri
Homestake G.Dakota, ABD	2 130	2,7	G,A,ŞPİK,E,İTAD,Zn
Dome, Ontario Kanada	1 810	7,6	G,A,TAF,Zn
Telfer, Avustralya	1 450	7,1	G,A,TAD,Zn
Kalgoorlie, Avustralya	1 360	7,0	G,A,FI,TAD,Zn
Palidan, Filipinler	400	7,2	G,A,FI,TAD,Zn
Duvar Corp. Battle Mountain, Nevada, \BD	2 720	2,7	G,A,ŞPİK,Zn
Goosberry, Nevada, ABD	315	5,9 (232 g/t Ag)	G,FI,TAF,Zn
Manhattan, Nevada, ABD	590	2,5	G,FI,TAF,Zn

G	Gravimetrik Zenginleştirme
A	Amalgamasyon
Ş	Şlam
ŞPİK	Şamlar için palp içinde karbon
E	Elektrokazanma
I	Şlamı atılmış fraksiyon
İTAD	Şlamsız fraksiyon için Ters Akımlı Dekantasyon
TAD	Ters Akımlı Dekantasyon
Zn	Çinko ile çöktürme
TAF	Ters Akımlı Filtrasyon
FI	Flotasyon
YL	Yığın Liçi
C	Karbon soğurma
PİK	Palp içinde karbon
K	Kavurma

### 2.2. İnce Taneli Serbest Nabit Altın Cevherleri

Bu tip altın tanecikleri birkaç mikron ve mikrondan küçük boyutlardadır. Doğada karbonatlı silttaş tabakalarında bulunurlar. Bu oluşumlarda sülfürlü mineraller nadiren bulunur. Bulunanlar arasında galen, pirit, sfalerit, kalkopirit, stibnit, sinabr, orpiment ve realgar sayılabilir. Tablo 6 bu tür altın cevherlerine uygulanan yöntemleri özetlemektedir.

Tablo 6— İnce taneli serbest nabit altın cevheri işletmeleri

Madenin Adı ve Yeri	Kapasitesi (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri*
Carlin, Nevada, ABD	1 810	6,9	İnce öğütme, TAD, Zn
Pueblo Viejo Dominik Cumhuriyeti	7 250	4,0 (19g/tAg)	
Atlanta, Nevada, ABD		3,4 (58 g/t Ag)	
Jeritt Canyon, Elko, Nevada, ABD		6,8	''
Camflo, Quebec, Kanada		8,6	''
Cerro, Colorado, İspanya	4 800	2,4 (44 g/t Ag)	''
Pinson, Winnem., Nevada ABD	1 090	1,2	öğütme, PİK, E
Pinson, Golconda, Nevada ABD	1 350	3,7	Öğütme, TAD, C, E
Alligator Ridge, Nevada ABD	1 900	3,7	Kırma, Agglomerasyon YL, C, E
Ortiz, New Mexico, ABD	1 850	1,6	YL, C, E
Smoky Valley, Nevada, ABD	6 350	1,9	YL, C, E
Widfall, Nevada, ABD	570	0,9	YL, C, E
Masbate, Filipinler	3 500	2,4	öğütme, PİK, E

\* Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız

### 2.3. Pirit, Markazit, Pirotin ve Arsenopirit ile Birlikte Bulunan Altın Cevherleri

Bu cevherlerde altın serbest ya da sülfürlü mineraller içerisinde çok ince taneler halinde dağılmış olarak bulunur. Aslında pirit bir ölçüde dünyanın pek çok altın yatağında gözlenir. Ayrıca arsenopirit ve diğer arsenik minerallerini içeren yataklar da tek başına bir grup oluştururlar. Bunun nedeni arsenikli bileşiklerin çevre kirliliği problemi yaratmalarıdır. Bu tip cevherlerde diğer sülfür minerallerinden pirit, stibnit ve kalkopirit de bulunabilir.

Tablo 7 yukarıda sözü geçen cevherlere uygulanan yöntemleri özetlemektedir. Bu tabloda gösterilen son iki işletme arsenopiritli altın cevherleri ile ilgilidir.

**Tablo 7- Pirit, markazit, pirotin ve arsenopiritli altın cevheri işletmeleri**

Madenin Adı ve Yeri	Kapasite (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri*
Agnico-Eagle, Quebec Kanada	1 100	5,9	Fl,TAF,Zn
Kerr-Adisson, Ontario Kanada	1 270	15,5	Fl.K.Zn
Itagon, Filipinler	540	4,5	Fl,öğütme,TAD,Zn
Pamour, Ontario, Kanada	2 900	4,0	Fl,TAD,Zn
Frontino,Kolombiya	600	6,5 (18g/tAg)	Fl,TAD,Zn
Campbell Red Lake, Ontario, Kanada	750	22,7	Fl,K,TAF,Zn
Giant Yellowknife, Kanada	1 100	12,7	Fl,K,öğütme,TAF,Zn

\* **Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız.**

#### 2.4. Bakır Mineralleri ile Birlikte Bulunan Altın Cevherleri

Kalkopirite bağlı altın genellikle bakırın rafinasyonu sırasında oluşan anod çamurlarından kazanılmaktadır(15). Ancak bazı yataklarda altın, kalkopirite ve piritte bağlı olabilir. Bu durumda elde edilen pirit konsantresi yukarıda açıklanan yöntemlere göre işleme tabi tutulur. Tablo 8'de gösterilen işletmeler bu türün en tanınmış örnekleridir.

**Tablo 8- Bakır mineralleri ile birlikte bulunan altın cevherleri işletmeleri**

Madenin Adı ve Yeri	Kapasite (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri*
Magma, Arizona, ABD	10	15,9	Fl**,TAF,Zn
Benguet Filipinler	120	110 (22 g/t Ag)	Fl, Artıklar TAD.Zn
El Indio Şişi	1 250	19 (117g/tAg)	Fl.PiK.E
Palidan, Filipinler	450	7,2	Fl,A***,TAD,Zn

\* : Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız.

\*\* : Cu-Mo flotasyonu, Mo konsantresi siyanurlenir.

\*\*\* : Cu konsantresi amalgamlanır, artıklar siyanurlenir

## 2.5. Altın-tellür Cevherleri

İşlenişleri Tablo 9'da gösterilen altın tellüridler, nabit altından sonra en önemli altın mineralleridir. Bunlardan kalaverit ( $AuTe_2$ ) ve krennerit ( $Au_4AgTe_{10}$ ) %40, silvanit ( $AuAgTe_4$ ) ve petzit ( $Ag_3AuTe_2$ ) %25 altın içerirler. Bu minerallerle birlikte yatakta nabit altın ve altın içeren pirit de bulunabilir. Ancak kalkopirit, tetraedrit ve arsenopirite bağlı altına nadiren rastlanır. Pirit içindeki altın genellikle ince tanelidir. Bu tip yatakların değerlendirilmesinde pirit ile tellüridler aynı konsantrasyonda toplanırlar.

**Tablo 9- Altın-tellürid cevheri işletmeleri**

Madenin Adı ve Yeri	Kapasite (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri*
Emperor, Fiji	1 200	8,0 (12g/tAg)	Fl.TAD.Zn
Kalgoorlie, Avustralya	1350	7,0	Fl,TAF,Zn,K,TAF,Zn

\* Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız.

## 2.6. Karbon İçeren Altın Cevherleri

Bu tip cevherler, özellikle siyanürle ekstraksiyon yöntemi uygulandığı zaman sorunlar yaratırlar. Sözü edilen sorunlar, genellikle, grafit, aktif karbon ve polimer tipi bir yapıda olan hüms bileşiklerinin altın siyanür anyonunu tutmasından doğar. Bu nedenle, karbon içeren bileşiklerin altın tutma özelliklerinin önceden giderilerek, pasifleştirilmesi gerekir.

Tablo 10'da gösterilen klorlama veya yüzey kaplaması aslında böyle pasifleştirme yöntemi örnekleridir.

**Tablo 10 - Karbon içeren altın cevherleri işletmeleri**

Madenin Adı ve Yeri	Kapasite (t/gün)	Ortalama Tenor (g/t Au)	Uygulanan Zenginleştirme ve/veya Ekstraksiyon Yöntemleri*
Carlin, Nevada, ABD	500	3,9	Cl**,TAD,Zn
Kerr-Addison, Ontario Kanada	1 270	15,5	Gazyağı ile grafitin kaplanması ,TAD, Zn
Jeritt Canyon, Nevada.ABD	1250	7,2	Cl,PiK,Zn

\* Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız

\*\*Cl : Klorlama ile oksidasyon



### 3. ALTIN CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

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 yolaçması.

#### 3.1. Gravimetrik Yolla Zenginleştirme

Gravimetrik yöntemler eski çağlardan beri kullanılmaktadır(2). Bu yöntemlerin ilkesi altın içeren minerallerin nispeten yüksek yoğunlukta olmalarına dayanır. Yaygın kullanımı 1900'lerde siyanürlemenin bulunmasıyla azalmıştır.

Gravimetrik zenginleştirmede en çok kullanılan araçların başlıcaları, oluklar, düz veya çatalı masalar, silindirik Johnson separatörü, sonsuz belt konveyör, jig ve Reichert konileridir(16-19). Bunlara özgü ayrıntılı bilgi yer darlığı nedeniyle burada verilmemektedir.

Gravimetrik zenginleştirmenin uygulandığı cevherlerde (Tablo 5) altının serbest ve iri taneli olması gerekir. Bu değin zenginleştirme ile serbest olan ya da serbestleşen altının hemen devreden alınmasında yarar vardır. Bunların önemlileri şunlardır.

a) iri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman alır. örneğin, 150 mikronluk saf bir altın tanesi için teorik süre 44 saattir(21). Gravimetrik yöntemlerle böyle tanelerin önceden ayrılması uzun süreli liç işlemleri uygulaması gereğini ortadan kaldırır.

b) Altın tanelerinin yüzeyleri, siyanür ile çözünmeyi engelleyecek düzeyde kirli, kaplanmış -özellikle demir hidroksit ya da organik bileşiklerle- olabilir(21). Bu tip konsantrelerde altın yüzeylerinin ek bir işlemle temizlenmesi gerekir. Gravimetrik yöntemle alınan konsantre miktarı toplam cevher kütlesinin küçük bir bölümü olacağından bu tür ikincil işlemlerin uygulanmasını ekonomik açıdan engellemez.

ilke olarak altının gravimetrik yolla zenginleştirilmesi diğer cevherlere uygulanan gravimetrik zenginleştirmeye benzer. Ancak doğal altının özgül ağırlığının çok yüksek (15,5\*-19,3) olması nedeniyle kapalı öğütme devrelerinde devreden yükün mutlaka gravimetrik zenginleştirmeye tabi tutulması gerekir. Bu aşama kolaylıkla işlenir bir metal olan altının değirmen astarlarının kaplanmasından doğacak sorunları bir ölçüde önler.

Gravimetrik yöntemle elde edilen konsantreler doğrudan izabet edilemeyecek nitelikte ise amalgamlanır ve artıklar da siyanürlenir.

(\*) Altının gümüş ya da bakır içermesi durumunda özgül ağırlığında, alaşım oranına uygun olarak bu değer 15,5-19,3 arasında değişir.

### **3.2. Köpüklü Yüzdürme (Flotasyon)**

' Altın cevherlerinde köpüklü yüzdürme genellikle serbest, ince taneli altının ya da altın içeren sülfürlü, tellürlü minerallerin konsantrelerini elde etmek için uygulanır. Bazı özel durumlarda da köpüklü yüzdürme, antimuan ya da arsenikli süflürlerin siyanürlemeyi engellediklerinden, atılmaları için uygulanır.

Altın cevherlerinin köpüklü yüzdürmesi 22 ve 23 numaralı kaynaklarda ayrıntıları ile verilmektedir.

Bu yöntemin, çok zengin ve kütlesi küçük bir konsantre elde etmek gibi bir avantajına karşılık, bu konsantrelerden siyanürleme yöntemi ile ekstraksiyon zordur. Bunun nedeni, altın veya sülfür minerallerinin yüzeylerine soğurulmuş toplayıcıların bu yüzeyleri pasifleştirmesidir(24).

Ayrıca, eğer kullanılan toplayıcı ksantat ise tesiste devreden suda belirli bir düzeyde bulunan bu madde, amalgamasyon verimini de civa-ksantat tepkimesi nedeniyle olumsuz yönde etkiler.

özellikle Güney Afrika'da son yıllarda köpüklü yüzdürme, gravite konsantrelerine uygulanarak amalgamasyon terkedilmektedir(25,26). Köpüklü yüzdürme konsantrelerinin doğrudan izabesi yeğlenen bir yöntemdir.

### **3.3. Otomatik Tavuklama**

Bu yöntem, cevherin kırılması sırasında altın içeren tanelerle gangın nispeten kolaylıkla ayrıldığı iri parçalara uygulanır. Ayırma ilkesi, tanelerin renk ya da radyoaktivite farkı göstermelerine dayanır. Bu farkların varlığında gangın büyük bir bölümü henüz iri parçalar halinde iken atılarak cevher zenginleştirilmiş olur.

Bu tür ayırımlarda tane boyu -75 + 32 mm arasındadır. Ayırım verimi % 95'in üzerindedir^).

Cevherde tozlanma olması halinde optik ayırıcıya beslenecek fraksiyonun yıkanması gerekebilir(28). Yıkama, gang ile zengin parçalar arasındaki yansıtma farkını azaltan tozları uzaklaştırır.

## **4. EKSTRAKSİYON ÖNCESİ UYGULANAN DİĞER ÖN İŞLEMLER**

Bu işlemlerin amacı altın kazanma verimini, ya siyanür harcayan bileşiklerin etkisiz hale getirilmesi ya da siyanür iyonlarının yüzeye ulaşabilmesini sağlayarak arttırmaktadır.

Endüstriyel çapta uygulanan siyanürleme öncesi işlemler aşağıda verilmiştir.

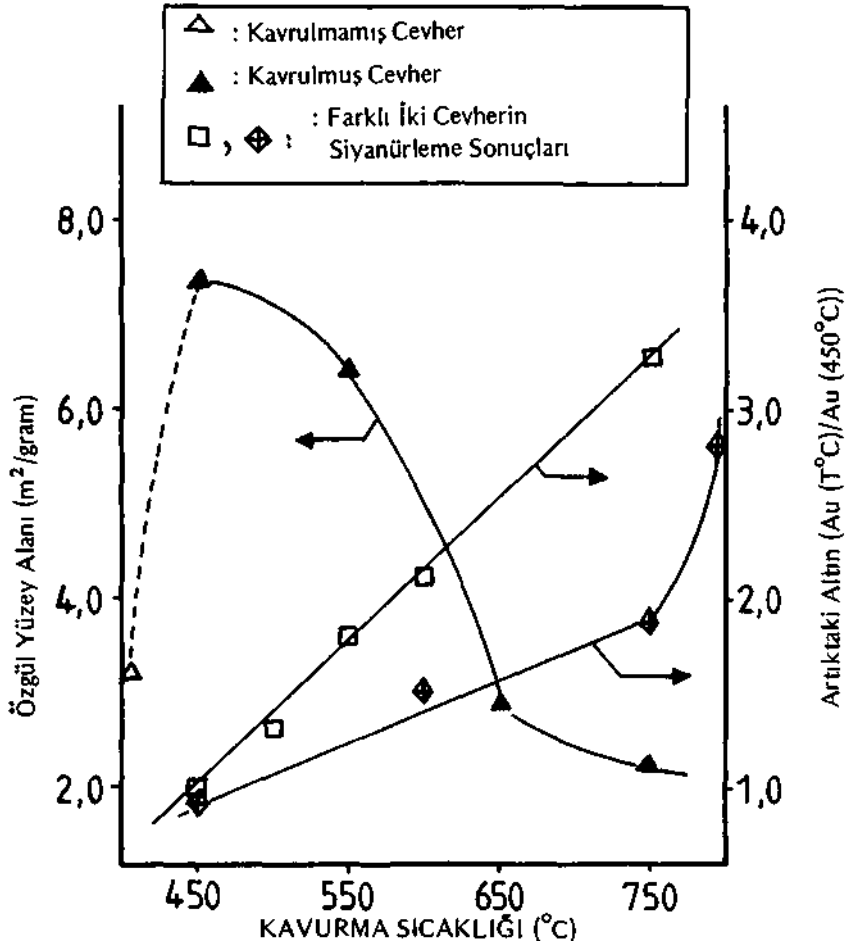
### **4.1. Kavurma Yoluyla Oksitleme**

Oksitleyici kavurma gerektiren cevher ve konsantreler genellikle arsenopirit, stibnit, pirotin ve pirit minerallerinin bir ya da birkaçını birlikte içerirler. Altın bu mineraller

içinde çok ince taneli olarak dağıldığından ince öğütme bile siyanürlemeyle yeterli oranda altın kazanılmasına yetmeyebilir. Gerek ekonomik ve çevre sağlığı ve gerekse teknik yönden zorluklar içeren oksitleyici kavurma uygulaması zengin refrakter cevherler için çözüm yollarından birini oluşturmaktadır.

Bu kavurma yönteminde sıcaklık genellikle 600°C'nin altındadır(29). Oksijen konsantrasyonunun yüksek olması  $As_2O_5$ ,  $Sb_2O_5$  gibi bileşiklerin oluşmasına yolaçar. Bunların ana mahsuru, siyanür harcamasını arttırarak verimi düşüren bileşikler oluşturmalarıdır(29,30,33).

Kavurma sonucu demir sülfür mineralleri hematite dönüşürler. Oluşan hematitin özgül yüzey alanı, bu maddenin gözenekli olması nedeniyle yüksek olur(32). Ancak sıcaklığın 500°C'den daha yüksek olması, kristal büyümesine ve sinterlemeye yolaçararak özgül yüzey alanını azaltır. Bu nedenle, siyanürün altın yüzeylerine ulaşması güçleşir ve verim Şekil 2'de görüldüğü gibi düşer.



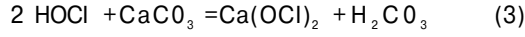
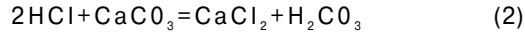
Şekil 2— Kavurma sıcaklığı, özgül yüzey alanı ve altın kaybı arasındaki ilişkiler(32)

Kavrulmuş cevher içerisinde sülfat gibi suda çözünür bileşiklerin oluşması durumunda da bunlar yıkanarak atılır ve böylece kireç ve siyanür tasarrufu sağlanır.

#### 4.2. **Klorlama**

Altın cevherlerinin karbon veya hümik asit gibi bileşenler içermesi durumunda doğrudan siyanürleme ile altın kurtarma verimi % 30'u geçmemektedir(34,35). Çözeltiyeye  $Au(CN)_2^-$  şeklinde geçen altın, karbonlu bileşikler tarafından soğurulduğundan, bunların oksitlenerek etkisiz hale sokulmaları gerekir.

Oksitleme işlemi,  $H_2O_2$ ,  $O_3$ , permanganat gibi birçok yükseltgeyici maddelerle gerçekleştirilebilir. Ancak ekonomik olan kimyasal oksitleme işlemi Tablo 10'da görüldüğü gibi palpa doğrudan klor gazı verilmesi şeklinde uygulanmaktadır(35). Palpa verilen tepkimeler sonucu hipoklorasit oluşturur. Ortamda kalsiyum karbonat varsa kalsiyum hipoklorür oluşur.



Hipoklorit bileşikleri karbonlu bileşenleri oksitleyerek etkisiz hale getirirler. Bu işlem sonucu altın kazanma verimi % 30 dolaylarından % 85'in üzerine çıkar(32). Yüksek verimler, palpa doğrudan NaOCl verilerek ya da palpa NaCl kattıktan sonra, karıştırma tankını bir elektroliz hücresine dönüştürüp, katotda üretilen oksiklorürü (OC)- kullanarak da elde edilebilmektedir(34). Yöntem seçimini ekonomik koşullar belirler.

Klor gazının kullanılmasıyla altın tellüridler de oksitlenerek daha yüksek siyanürleme verimleri elde edilebilir.

Ortamda sülfürlü bileşiklerin bulunması sülfürmonoklorür oluşturarak(37) klor kaybına yolaçar.

#### 4.3. **Palpa Havalandırılması**

Altın içeren piritin palpa içinde havalandırılarak oksitlenmesi, pahalı ve kontrolü zor bir ön işlem olan kavurmaya doğal olarak yeğlenir. Cevher içindeki piritin tamamen oksitlenmesi, sodyum karbonat içeren ısıtılmış (82 C) palpa hava verilip karıştırılarak gerçekleştirilir(38).

#### 4.4. **Yüzey Kaplama**

Karbon içeren cevherler için uygulanan bu yöntem, klorlama kadar etkin olmamasına karşın daha basit ve ucuz olduğundan kullanılmaktadır. Cevher içerisindeki kömür veya grafitik maddelerin yüzeyleri, genellikle öğütme devresine verilen gazyağı ya da mazot gibi petrol yağları ile kaplanarak pasifleştirilir(12,13,39).

#### 4.5. Aglomerasyon

Yığın liçi (Heap Leaching) öncesi uygulanan bir işlemdir. Son yıllarda düşük tenörlü (< 3 g/t), killi ya da şamlı altın cevherleri için geliştirilen aglomerasyon tekniği sayesinde, daha önce değerlendirilemeyen cevherler ekonomik olarak işletilmektedir(40,45).

Cevher, ince kırmadan sonra portland çimentosu ya da kireç ile uygun bir nemlilik oranında (~% 12 H<sub>2</sub>O) karıştırılır. Çimento tüketimi 2,5-5 kg/t cevher dolaylarındadır. Aglomerasyon işlemi, dönen bir tamburda ya da bant konveyörde yapıldıktan sonra cevher yığınları hazırlanır. Yaklaşık 8 saat kadar süren bir donma işleminden sonra liç işlemi başlatılır.

Aglomerasyon işleminin en büyük avantajı, yığılma sırasında oluşan tane boyu gruplarına göre ayrılmayı önlemesidir. Böylece liç çözeltisi kısa devreler yapmadan yığının her kesitinden yaklaşık aynı oranda akarak perkolasyon hızında çok büyük bir artış sağlanır(45). Dolayısıyla liç verimi bazı killi cevherlerde % 0'dan % 75'e yükselebilir(41,43).

### 5. EKSTRASİYON BİRİM İŞLEMLERİ

#### 5.1. Amalgamasyon

Eski çağlardan beri bilinen amalgamasyon(2), altının civa ile bileşik yapabilme özelliğine dayanan bir yöntemdir. Altın-civa arası yüzey gerilim, altın-su arası yüzey geriliminden çok daha düşük olduğundan, palp içinde altın yüzeyleri civa ile tercihan kaplanır. Henüz stokiometrisi tam olarak saptanamayan AuHg<sub>2</sub>, Au<sub>8</sub>Hg vb. bileşikler yapar(17,46). Elektrum (AuAg) dışında diğer altın mineralleri, civa ile yüzey gerilimlerinin yüksekliği nedeniyle amalgam yapmazlar.

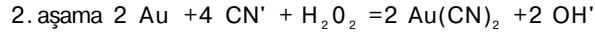
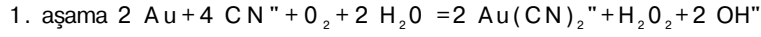
Bu yöntem, iri taneli nabit altın içeren cevherlerin genellikle gravimetrik yolla zenginleştirilmiş konsantrelerine uygulanır (Tablo 5). Amalgamasyon için altın yüzeylerinin temiz olması ön koşuldur. Ayrıca cevherde arsenik, antimon, bizmut ve sülfürlü mineraller de olmamalıdır. Bu maddeler civa ile tepkime yaparak amalgamasyonu olumsuz yönde etkiler( 17,24,47).

Amalgamasyonun uygulanmasına özgü ayrıntılar, eski bir yöntem olması dolayısıyla literatürde mevcuttur(16,17,21,46-48). Ancak civa ço% zehirleyici olduğundan, kullanımı, işçi sağlığı ve yarattığı çevre sorunları yüzünden sakıncalar taşır. Bu nedenle amalgamasyon yöntemiyle altın üretimi giderek azalmaktadır.

#### 5.2. Siyanürleme

Altın cevherlerinin siyanürlenmesi yaklaşık bir asırdan beri yapılmaktadır. Günümüzde siyanürleme hemen her altın cevheri işletmesinin ana prosesidir.

Altının alkali siyanür çözeltilerindeki *çözünme* tepkimesi değişik araştırmacılar tarafından farklı şekilde açıklanmıştır(20,49). Ancak bu açıklamalar arasında termodinamik açıdan mümkün olan Boadländer'in aşağıda verilen iki aşamalı tepkimesidir(50):



Altının çözünmesini sağlayan esas tepkime 1. aşama tepkimesidir.

Boadländer tepkimesini esas olarak yapılan tepkimenin kinetiği üzerine çalışmalar, çözünme hızının en yüksek olduğu durumun - Q — = 6 oranında olduğunu göstermiştir (49). Buradan çıkarılan pratik sonuç, ne aşırı CN<sup>-</sup> iyonu ve ne de aşırı O<sub>2</sub> derişimlerinin tek başına tepkime hızını arttıramayacağıdır.

Uygulamadaki sodyum siyanür çözeltisinin derişimi genellikle 0,25-0,5 kg/m<sup>3</sup> su (250-500 ppm) arasındadır. Siyanür iyonunun hidrolizini önlemek amacıyla çözeltiliye kireç ya da sodyum hidroksit verilerek pH 10-11 arasına ayarlanır. Gerekli oksijen, siyanür çözeltisindeki doğal oksijen çözünürlüğünden sağlanır.

Siyanürleme işleminin başarısını cevherin bileşenleri belirler. Bu konu siyanürleme literatürünün önemli ve büyük bir bölümünü oluşturur(20,21,33,52-54). Cevher bileşenlerinin olumsuz etkilerine aşağıda kısaca değinilmiştir.

**Demir Sülfür Mineralleri:** Pirit, siyanür çözeltilerinde kararlı olduğundan en az problem yaratan mineraldir. Pirotin, oksitlenerek ortamdaki oksijeni tüketip ve siyanürle tepkimeye girdiğinden eğer altın içermiyorsa flotasyonla atılır ya da siyanürleme önceki alkali ortamda palpin havalandırılmasıyla oksitlenerek olumsuz etkileri giderilmiş olur. Markazitin de davranışı pirotine benzemekle beraber pirotinden daha yavaş oksitlenir.

**Bakır Mineralleri:** Azurit (2 CuCO<sub>3</sub> . Cu(OH)<sub>2</sub>), kalkozin (Cu<sub>2</sub>S), küprit (Cu<sub>2</sub>O), malahit (CuCD<sub>3</sub> . Cu(OH)<sub>2</sub>) ve metalik bakır 23°C'deki siyanür çözeltilerinde kolayca ve tamamen çözündüklerinden aşırı siyanür tüketimine neden olurlar. Bornit (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>) yukarıda anılan minerallerden sonra en çok çözünenidir. Enarjit (3 CuS. As<sub>2</sub>S<sub>5</sub>) ve tetraedritin (4 Cu<sub>2</sub>S . Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) çözünürlükleri az olmasına karşın, ortama arsenik ve antimuan verdiklerinden çözeltiliyi kirleterek altın çözünmesini engellerler. İri taneli kalkopirit (CuFeS<sub>2</sub>) fazla çözünmemekle beraber çok ince öğütülmesi halinde siyanür tüketir.

Genel olarak bakır minerallerinin çözünmesi, eğer ortamda siyanür derişimi yeteri kadar yüksek ise altının çözünmesini çok fazla olumsuz yönde etkilemez. Bunun için

CN<sup>-</sup>

———— — 4 olmalıdır. Ancak bakırın cevher içinde fazla olması halinde siyanür tüketimi

**Cu**

ekonomik sınırların dışına çıkabilir. Bu durumda okside bakır mineralleri asit liçi ile uzaklaştırıldıktan sonra siyanürleme uygulanabilir. Sülfürlü bakır minerallerinin altın içermemesi durumunda flotasyonla bakır mineralleri ayrılır.

**Arsenopirit:** Bu mineral içinde altın genellikle çok ince taneler halinde dağıldığından altın yüzeyleri ancak cevherin kavruarak porozite kazanmasından sonra çözeltili ile temas

edebilir, öte yandan kavrulmamış cevherlerde arsenopirit siyanür çözeltilerinde çözünmekle beraber alkali ortamlarda yavaş da olsa oksitlendiğinden oksijen tüketimine neden olarak dolaylı yoldan altın çözünmesini engeller.

**Arsenik Mineralleri:** Orpiment ( $As_2S_3$ ) çözünürlüğünün oldukça yüksek, realgarın da (AsS) bir dereceye kadar çözünür olması ve bunların çözeltideki komplekslerinin altının çözünürlüğünü olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle siyanür liçinde hiç istenmeyen minerallerdir. Bu mineraller, siyanürleme öncesi cevherden ya flotasyonla ayrılırlar ya da kavrurma yoluyla cevherin arsenik ve kükürtü uzaklaştırılır.

**Stibnit ( $Sb_2S_3$ ):** Gerek siyanür tüketimi ve gerekse çözeltideki komplekslerinin altının çözünmesini engellemesi nedeniyle, en az yukarıda anılan arsenik mineralleri kadar zararlıdır.

**Karbon içeren Cevherler:** Karbon, altının çözünmesini etkilemez. Ancak çözünen altın yüzeylerine soğurduğu için liç verimini tek haneli rakamlara kadar düşürür. Bu nedenle karbon daha önce değinilen yöntemlerle pasifleştirilir.

Liç özeltisinde bulunan metal katyonlarının pek çoğu, örneğin  $Fe^{2*}$ ,  $Fe^{3*}$ ,  $Ni^{2*}$ ,  $Cu^{2*}$  ve  $Mn^{2*}$  altının çözünmesini yavaşlatır. Çözeltinin sülfür yada tiyosülfat ( $S_2O_3$ ) içermesi halinde ortama kurşun nitrat ( $PbNO_3$ ) ilavesi, bu iyonların istenmeyen etkilerini azaltır. Ancak ortamda ferrosiyaniürün bulunması durumunda, kurşun, çözünürlüğü kurşun sülfürden çok daha az olan kurşun ferrosiyaniür bileşiği yaparak kurşun nitrat ilavesini etkisiz kılar.

Siyanürleme, cevher tipine göre çok kolay ya da tam tersine çok karmaşık olabilen bir yöntemdir. Siyanür çok fazla zehirleyici olmasına karşın endüstriyel çaptaki uygulamalar için şu anda başka seçenek yoktur. Ancak son yıllarda tiyo-üre ( $NH_2-CS-NH_2$ ) altın çözücüsü olarak bir potansiyel olma durumundan bir seçenek olma yolundadır (55-57).

## 6. SİYANÜRLEME UYGULAMA BİÇİMLERİ

### 6.1. Yığın Liçi

Düşük tenörlü ( $< 3$  g/t Au) ve altının çok küçük tanecikler halinde dağıldığı oksitlenmiş, açık işletmeyle işletilebilecek cevherler için günümüz koşullarında ekonomik olabilen tek yöntemdir (8,12,36,40,41,58-60). Altın kurtarma veriminin düşük (% 50-75) olmasına karşın gerek yatırım ve gerekse işletme maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle yaygın bir uygulama alanı vardır.

Açık işletme yöntemiyle üretilen cevher, kil, asfalt ya da dayanıklı plastik ile geçirimsizleştirilmiş, hafifçe eğimli ( $3-8^\circ$ ) zemin üzerine yığılır. Yığın yükseklikleri yığının perkolasyon özelliğine göre 3 ile 15 m. arasında değişir. Yığındaki ortalama parça boyu, cevherin porozitesi ve siyanür çözeltisinin yığının her kesitinde eşakımlı olmasıyla sınırlıdır (41,42). Uygulamadaki en büyük parça boyu ocaktan gelen cevher parçaları büyüklüğünde (15-20 cm) olabildiği gibi kırılarak 1 cm'ye kadar indirgenmiş parça boyunda da olabilir.

Yığın üzerine alkali siyanür çözeltisi fıskiye sistemi ile verilerek çözeltinin yığının her tarafından geçmesi sağlanır. Cevherin, siyanür çözeltisinin eşakımını engelleyecek miktarda kil ya da şlam içermesi halinde daha önce açıklanan aglomerasyon ön işlemi uygulanır.

## 6.2. Karıştırmalı iç

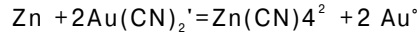
Genellikle yüksek tenörlü fakat ince taneli altın cevherlerine yaygınca uygulanan bir iç yöntemidir(12, 13). Altın kurtarma verimi yığın içine göre yüksektir (% 90-99).

Cevher en az —0,25 mm'ye öğütüldükten sonra siyanür çözeltisi içine hava verilerek karıştırılır. Karıştırma tankları olarak Pachuca tankları kullanıldığı gibi testlerle ekonomikliği saptanmış diğer tür karıştırma tankları da kullanılmaktadır(61).

## 7. ALTIN YÜKLÜ ÇÖZELTİLERDEN ALTININ KAZANILMASI

### 7.1. Çinko ile Çöktürme

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(47,53,61). Aksi taktirde çökelen altın, yeterli oksijen varlığında serbest siyanür ile tepkimeye girerek tekrar çözünecektir.

Çöktürme 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 iç edilir ya da doğrudan ergitme işlemi ile safsızlıklar oksitlenerek cürufa geçilir.

### 7.2. Altının 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 yüzesoğurmasının mekanizması henüz yeterince anlaşılmuş değildir(63).

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.



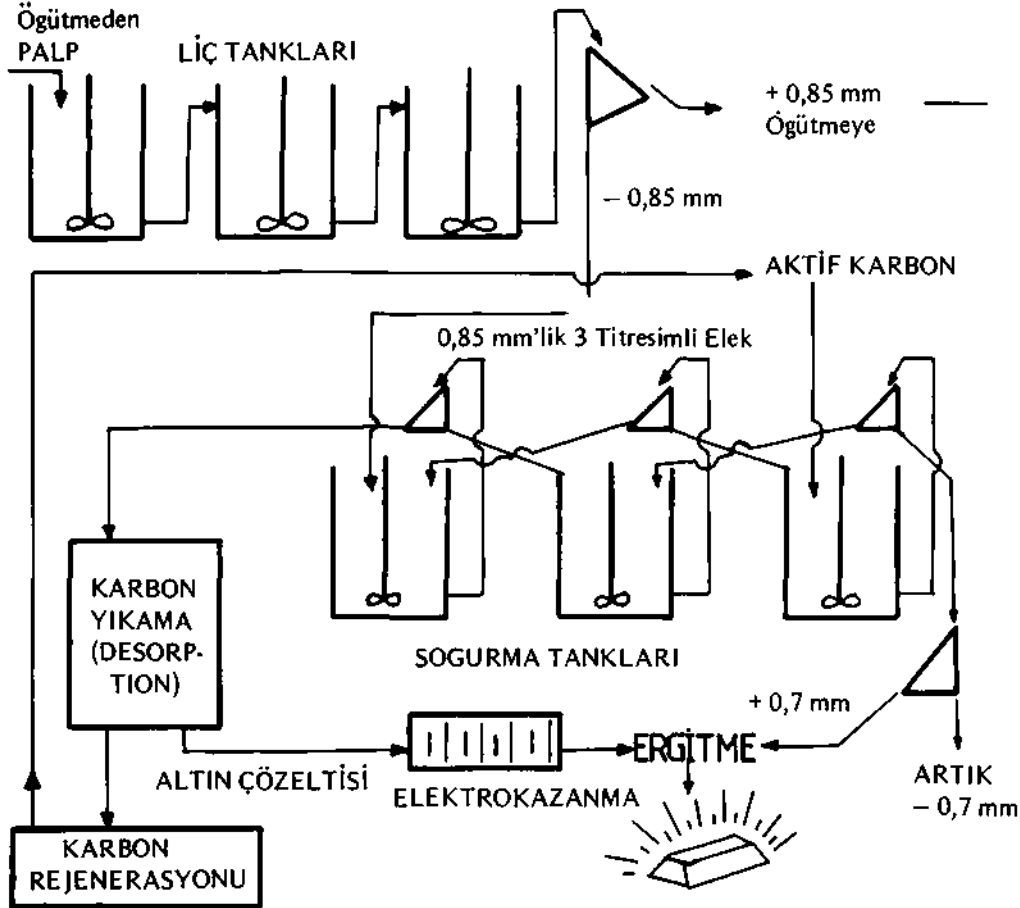
Bu yöntem, yukarıdaki nedenlerle özellikle 1970'lerden sonra çinko ile çöktürmenin yerini almaktadır.

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 şlamlarından kazanılmasının güçlüğü nedeniyle altın kaybı artar.

Altının yüklü çözeltilerden karbon üzerine soğurulması farklı iki şekilde uygulanır:

a) Yiğün liçinden elde edilen yüklü çözeltiler genellikle aktif karbon kolonlarından geçirilerek altın tutulur.

b) Tanklarda yapılan karıştırmalı üçten sonra aktif karbon, soğurma tanklarına ilave edilerek, çözünen altının aktif karbon taneleri üzerine yüklenmesi sağlanır. Bu proses,



Şekil 3— Tipik bir "Palp İçinde Karbon (P.İ.K)" prosesi akım şeması

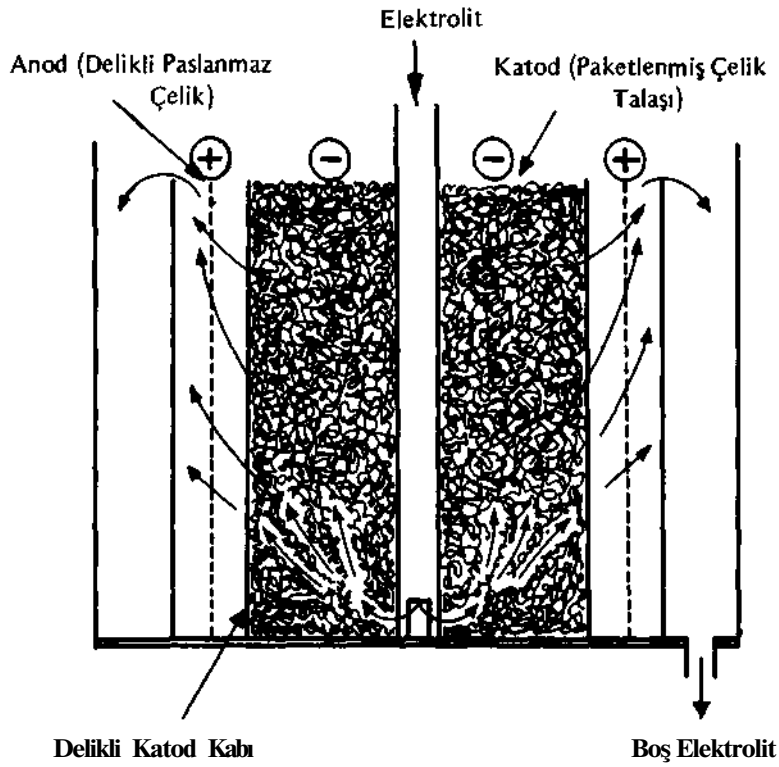
palp içinde karbon (P.İ.K.) olarak adlandırılır ve ince tanelerde serbestleşen altın cevherlerine uygulanır. Bazı örnekler Tablo 5, 6, 8 ve 10'da görülmektedir. P.İ.K. uygulamasının ayrıntıları literatürde mevcuttur(12-14,63,64,71,72). Prosesine özgü tipik bir P.İ.K. devresi Şekil 3'de görülmektedir.

Aktif karbon yüzeyleri üzerine soğurulan altının daha derişik bir biçimde geri kazanımı (desorption) aşağıda kısaca belirtilen tekniklerle yapılmaktadır.

a) Altın yüklü karbon, % 1 NaOH ve % 0,1 NaCN içeren sıcak (85-90°C) çözelti ile 24 saat ile 60 saat arası süreyle bir kapalı devrede yıkandığında altın bu çözeltiliye geçer(63,65,66).

b) Yukarıdaki çözeltiliye hacimsel olarak % 20 alkol ilavesiyle 80°C'de yapılan yıkama ile altın çözeltiliye alınır(67). Etil alkol en iyi sonucu vermektedir. Alkol ilavesi yukarıda sözü edilen yıkama süresini 5-6 saate düşürmesine karşın buharlaşma yoluyla alkol kaybının yüksek oluşu ve yangın olasılığının yüksekliği bu tekniğin dezavantajlarıdır.

c) Yüklü karbon, a sıkkındaki çözelti ile 160°C ve 360 kPa basınç altında yıkandığında yıkama süresi 2 ile 6 saat arasındadır(63,66). Bu tekniğin değişik bir şekli olan Anglo American prosesi de bir seçenek olarak mevcuttur(68,69,72).



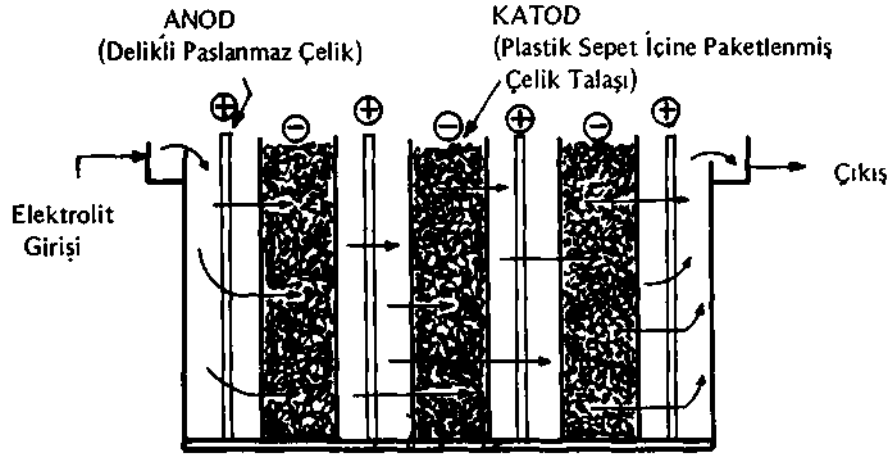
Şekil 4— Zadra tipi elektrokazanma selülü (silindirik)

### 7.3. Karbonun Tekrar Devreye Sokulması

Karbon belirli bir süre kullanıldıktan sonra organik ya da inorganik saf sızıtkırlardan arıtılması ve tekrar aktifleştirilmesi amacıyla 650-750°C arasında dıştan ısıtılan döner fırınlar da yaklaşık 30 dakika kadar tutulur(66,70,72). Bu işlem den sonra inceler elenerek, aktif karbon tekrar devreye sokulur.

### 7.4. Elektrokazanma

Yukarıda sözü edilen tekniklerle yıkanarak, altın derişik bir şekilde (~500 ppm) çözeltiliye alındıktan sonra silindirik Zadra(65) ya da dikdörtgen kesitli elektroliz hücrelerinde(66) çelik talaşından yapılmış katotlar üzerinde altın kazanılır. Sırasıyla Şekil 4 ve 5'te silindirik Zadra ve dikdörtgen elektroliz hücrelerinin kesitleri verilmektedir. Uygulanan voltaj ve amper değerleri tesisin özel koşullarına uygun olarak oldukça değişkendir (64,70,72).



Şekil 6— Dikdörtgen elektrokazanma selüü

Yükli katotlardan altın, katotların doğrudan ergitilmesi ya da önce HCl'de çözüldükten sonra geri kalan çözünmeyen bölümün ergitilmesi yoluyla kazanılır.

## 8. SONUÇLAR

i. Altın fiyatlarının 1970'lerden sonra yükselişi pek çok ülkede arama, araştırma ve üretim faaliyetlerini hızlandırmıştır. Benzeri faaliyetler, umutlu altın bölgeleri olmasına karşın, ülkemizde gözlenmemiştir. Ancak son yıllarda istenilenden uzak olmakla birlikte konuya olan ilgi artmış görünmektedir.

ii. Değişik tipteki altın cevherlerinden altının kazanılması yolları da oldukça değişiktir. Bu nedenle, cevher mineralojisinin öncelikle ve ayrıntılı biçimde saptanması zorunludur. Sadece cevherin altın içeriğinin bilinmesi yeterli değildir.

iii. Refrakter cevherler için geliştirilen, ekstraksiyon öncesi istemler, daha önceleri işlemlenemeyen yatakların ekonomik olarak işletilmelerine olanak sağlamıştır. Altın fiyatının artışının yanısıra yeni ekstraksiyon yöntemlerinin, yatırım ve işletme masraflarında önem fi tasarruflar sağlaması, işlenebilir tenörlerin düşmesine neden olmuştur.

## KAYNAKLAR

1. LUCAS, J.M., Gold, Mineral Commodity Profiles, 1983, U.S.Bureau of Mines.
2. AGRICOLA, G., De Re Metallica, Dover Pub., Inc., New York, 1950
3. EMMONS, W.H., Gold Deposits of The World, McGraw Hill Book Comp., Inc., New York, 1937
4. UZUN, M., Kişisel görüşme, MTA Teknoloji Dairesi, 1984
5. TOPKAYA, Y., Altın Genel Etüdü (Dünya ve Türkiye) Raporu, 1975, Ankara, YaVınlanmamış.
6. ALPAN, S., Türkiye'nin Yeraltı Serveti Potansiyeli, 1. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Maden Müh. Odası Yayını, Ankara, 1969.
7. ÖNAL, G., Kilyos Bölgesi Kumlarının Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 7. Kongresi Bildiriler Kitabı, Maden Müh. Odası, Ankara, 1981
8. DAYTON, S.H., Pegasus Gold, Engineering and Mining Journal, Dec. 1983, pp. 24-28
9. BOYLE, R.W., The Geochemistry of Gold and Its Deposits, Geological Survey Bulletin No: 280, 1979, Ottawa, Canada.
10. LEWIS, A., Gold Geology Basics, Engineering and Mining Journal, Feb. 1982. pp. 66-71
11. GASPARRINI, C., The Significance of Mineralogy Applied to Metal Extraction, Symposium Proceedings: Process Mineralogy, Ed. by Hausen, D.M. and Park, W.C., 1981, The Met. Soc. of AIME Warrendale, USA, pp. 33-49
12. MCQUISTON, F.W. and SHOEMAKER, R.S., Gold and Silver Cyanidation Plant Practice Vol. 1, 1975; Vol. II., 1981, SME/AIME, New York
13. ACTON, CF. and CHARLES, W.D., Current Gold and Silver Recovery Practice, 14<sup>th</sup> International Min. Proc. Engr., Toronto, Canada, 1982
14. LEWIS, A., Leaching and Precipitation Technology for Gold Ores, Engineering and Mining Journal, June 1983, pp. 48-55 -
15. BAYRAKTAR, I., Hydrometallurgical Processing of Secondary Copper Anode Slimes For Metals Recovery, Ph.D. Thesis, Dept. of Minerals Eng., Univ. of Birmingham, England, 1983
16. BATH, M.D., et al. Some Factors Influence Gold Recovery by Gravity Concentration, J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, 1973, pp. 363-384
17. TAGGART, A.F., Handbook of Mineral Dressing, John Wiley and Sons, New York, 1945
18. SPILLER, D.E., Application of Gravity Beneficiation In Gold Hydrometallurgical Systems, Min. and Met. Processing, Vo. 1, No: 2, 1984 pp. 118-120
19. PIZARRO, R.S. and SCHLITT, W.J., Innovative Technology for Improved Processing of Gold Ores, Min. Eng. Vol. 36, No: 11, 1984, pp. 1533-1536
20. HEDLEY, N. and TABACHNICK, H., Chemistry of Cyanidation, American Cyanamid Comp., Mineral Dressing Notes No: 23, 1958
21. FEATHER, CE. and KOEN, G.M., The Significance of Mineralogical and Surface Characteristics of Gold Grains In the Recovery Process, J.S.Afr. I.M.M., Vol. 73, 1973, pp. 223-234
22. GLEMBOTSKII, V.A., et al., Flotation, Primary Sources, New York, 1972, Part 6, Chapter 2
23. Mining Chemicals Handbook, Mineral Dressing Notes No: 26, American Cyanamid Company, USA
24. HENLEY, K.J., Gold-ore Mineralogy and Its Relation to Metallurgical Treatment, Min. Sei. and Engng., Vol. 7, 1975, 289-312
25. de KOK, S.K., Gold Concentration by Flotation, J.S. Afr. I.M.M., Vol. 76, 1975, pp. 139-141
26. MICHAELIS, H., Innovations In Gold and Silver Recovery, 14<sup>th</sup> International Min. Proc. Congress, 1982, Toronto, Canada
27. BARTON, P.J. and PEVERETT, N.F., Automated Sorting on a South African Gold Mine, J.S. Afr. I.M.M. March 1980, pp. 103-111
28. KEYS, N.J., et al, Photometric Sorting of Ore on a S.African Gold Mine, J.S. Afr. I.M.M. Vol. 75, 1974, pp. 13-21
29. von BERNEWITZ, M.W., Roasting Gold-Silver Sulphide Ores and Concentrates, Part I-IV, Canadian Mining Journal, April-October 1940
30. DJINGHEUZIAN, L.E., Roasting Theory and Practice of Gold Ores, CIM Trans., 1952, Vol. 55, pp. 120, 128, 326.
31. ARCHIBALD, F.R., et al, Roasting of Beattle Concentrate, The Canadian I.M.M. Transactions, Vol. 42, 1939, pp. 608-631
32. ARRIAGADA, F.J., and OSSEO-ASARE, K., Roasting of Auriferous Pyrite Concentrates, Process Mineralogy II, Ed. by Hagni, R.D., The Metallurgical Soc. of AIME, 1982, pp. 173-186
33. NAGY, I., et al, Chemical Treatment of Refractory Gold Ores Literature Survey., National Inst. For Metallurgy of S.Africa, Research Report No: 38, June 1966, p. 41

34. SCHEINER, B.J., et al, Oxidation Process for Improving Gold Recovery From Carbon-Bearing Gold Ores, U.S.B.M. Report of Investigations No: 7573, 1971, p. 14
35. SCHEINER, B.J., et al, Extraction of Gold From Carbeneous Ores: Pilot Plant Studies, U.S.B.M., Report of Investigations No: 7579, 1972, p. 20
36. PIZARRO, R., et al, Heap Leaching Practice At The Carlin Gold Mining Co., AIME Annual Meeting, Dallas, Feb. 1974, p. 15
37. BURKIN, A.R., The Chemistry of Hydrometallurgical Processes, E. and F.N. spon Ltd., 1966, London, pp. 74
38. GUAY, W.J., How Carlin Treats Gold Ore By Double Oxidation, World Mining, March 1980, pp. 47-49
39. WILSON, F.K., and DARNELL, B.F., A Lode Gold Mine In Colombia, Engineering and Mining, J., Vol. 143, May 1942, pp. 58-62
40. MCCLELLAND, G.E., et al, Agglomeration-Heap Leaching Operations In the Precious Metals Information Circular No: 8945, U.S.B.M., p. 15
41. MCCLELLAND, G.E., and HILL, S.D., Silver and Gold Recovery From Low-Grade Resources, Mining Congress Journal, May 1981, pp. 17-23
42. CHAMBERLIN, P.D., Heap Leaching and Pilot Testing of Gold and Silver Ores, Mining Congress Journal, April 1981, pp. 47-51
43. MCCLELLAND, G.E., and EISELE, U.A., Improvements In Heap Leaching to Recover Silver and Gold From Low-Grade Resources, U.S.B.M., Report of Investigations No: 8612, 1982, p. 26
44. STANFORD, W.D., Alligator Ridge: From a Lone Prospector's Discovery to an Operating Gold Mine, Mining Engineering, June 1984, pp. 593-598
45. HEINEN, H.J., et al, Enhancing Percolation Rates In Heap Leaching of Gold-Silver Ores, U.S.B.M. Report of Investigations No: 8388, 1979, p. 20
46. GAUDIN, A.M., Principles of Mineral Dressing, McGraw-Hill Pub. Comp. Ltd., New York, 1939
47. CANKUT, S., Ekstraktif Metalürji, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1972
48. PRYOR, E.J., Mineral Processing, 3rd Edition, Applied Sci. Pub. Ltd., London, 1974
49. HABASHI, F., Kinetics and Mechanism of Gold and Silver Dissolution In Cyanide Solution, Montana Bureau of Mines and Geology, Bulletin No: 59, April 1957, p. 42
50. BARSKY, G., et al, Dissolution of Gold and Silver In Cyanide Solutions, Trans. AIME, Vol. 112, 1935, pp. 660-667
51. THOMPSON, P.F., The Dissolution of Gold In Cyanide Solutions, Trans. Electrochem. Soc., Vol. 91, 1947, p. 41
52. HABASHI, F., Principles of Extractive Metallurgy, Vol 2, Gordon and Breach, London, 1970
53. DORR, J.V.N., and BOSQUI, F.L., Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores, McGraw-Hill Book Co., New York, 1950, pp. 246-260
54. DAY, E.L., Some Factors Influencing The Rate of Dissolution of Gold In Sodium Cyanide Solutions, Part II, Can. Min. J., Dec. 1967, pp. 49-54
55. GROENEWALD, T., The Dissolution of Gold In Acidic Solutions of Thiourea, Hydrometallurgy, Vol. 1, 1976, pp. 277-290
56. SCHULZE, R.G., New Aspects In Thiourea Leaching of Precious Metals, J. of Metals, June 1984, pp. 62-65
57. HISSHION, R.J., and WALLER, C.G., Recovering Gold with Thiourea, Mining Magazine, Sept. 1984, pp. 237-243
58. POTTER, G.M., Design Factors For Heap Leaching Operations, Min. Eng., March 1981, pp. 227-281
59. KAPPES, D.W., Leaching of Small Gold and Silver Deposits, The Future of Small-Scale Mining, Ed.: Meyer, R.F. and Carman, J.S., Unltar, 1980
60. CLEM, B.M., Heap Leaching Gold and Silver Ores, Engineering and Mining Journal, April 1982, pp. 68-76
61. THOBURN, W., et al. Some Process Design and Cost Considerations for Gold Mills, 14<sup>th</sup> I.M. P.C. Toronto, Canada, 1982
62. LEBLANC, R., Precipitation of Gold From Cyanide Solution by Zinc Dust, Can. Min. J., April pp. 213-219, May, pp. 297-306, June pp. 371-379, 1942
63. McDOUGALL, G.J., and HANCOCK, R.R., Activated Carbons and Gold-A Literature Survey, Minerals Sci. Engng., Vol. 12, No: 2, April 1980, pp. 85-99
64. ... : Carbon-In-Pulp Processing of Gold and Silver Ores, The Experts View the Problems, Part I and Part II, Mining Eng. Sept. 1981, pp. 1331-1335 and October 1981, pp. 1441-1444
65. ZADRA, J.B., et al, Process For Recovering Gold and Silver From Activated Carbon By Leaching and Electrolysis, U.S.B.M. Report of Investigations No 4843, 1952, p. 32
66. DAHYA, A.S. and KING, D.J., Developments In Carbon-In-Pulp Technology For Gold Recovery, CIM Bulletin, Sept. 1983, pp. 55-61
67. HEINEN, H.J., et al, Gold Desorption From Activated Carbon With Alkaline Alcohol Solutions, World Mining and Metals Technology, Vol. 1, New York, AIME, 1976, Pp. 551-564
68. DAVIDSON, R.J., and DUNCANSON, D., The Elution of Gold from Activated Carbon Using Water as the Eluant, J. of S.Afr. I.M.M. July 1977, pp. 254-261
69. DAVIDSON, R.J. and VERONESE, V., Further Studies on the Elution of Gold from Activated Carbon Using Water as the Eluant, J. of S.Afr. I.M.M., Oct. 1979, pp. 437-445

70. SMOLIK, T.J., et al, Golden Sunlight-A New Gold Mining Operation, Mining Eng., Nov. 1984, pp. 1557-1561
71. FLEMING, C.A. and NICOL, M.J., Alternative Processes to Filtration Carbon-In-Pulp and Resin-In-pulp In the Metallurgical Industry, Hydrometallurgy 81, Society of Chemical Industry, London, 1981, pp. C2/1-16
72. LAXEN, P.A., Carbon-in-Pulp Processes In South Africa, Hydrometallurgy, Vo. 13, Dec. 1984, pp. 169-192