

**ALTIN CEVHERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN  
YOĞUNLUĞA DAYALI ZENGİNLEŞTİRME  
YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**


**Öznur ÖNEL**

**Ekim, 2011**

**İZMİR**

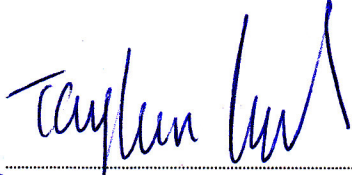
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZNUR ÖNEL, tarafından DOÇ. DR. MEHMET TANRIVERDİ yönetiminde hazırlanan “ALTIN CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN YOĞUNLUĞA DAYALI ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi kabul edilmiştir.



DOÇ. DR. MEHMET TANRIVERDİ

Yönetici



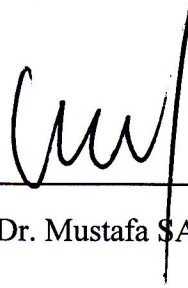
Doç. Dr. Zeynep GÜNEŞ

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Haban CENGİLLER

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamı yaptığım süre boyunca bana her zaman destek olan mesleki gelişimime katkı sağlayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet TANRIVERDİ' ye en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans tezimi yazma aşamasında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan manevi desteğiyle bana yardımcı olan Sayın Araş. Gör. Dr. Sezai ŞEN' e teşekkür ederim.

Analizlerim sırasında bana her türlü yardım ve kolaylığı sağlayan değerlendirmem konusunda bana yol gösteren Sayın Kim. Tek. Fatih TURAN' a ve Kimya Labratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimi yazma aşamasında teknik çevirilerde benden yardımını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Çağatay PAMUKÇU'ya, kuzenim ve Sevgili Dostum Seda YAZICI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım aşamasında benden yardımını esirgemeyen Sevgili Arkadaşım Enes ÖZTORUN'a ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan Sevgili Dostum Neslihan ERDOĞANOĞLU'na ayrıca her zaman destekleriyle yanımda olan sevgili arkadaşlarım Sezgin ÜNAL ve Ali Kemal EYÜBOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmam sırasında bana sabır gösteren, bana olan inaçları ile daima yanımda olan, maddi, manevi destekleri için özellikle Sevgili Annem Nebahat ÖNEL'e, Sevgili Babam D. Ali ÖNEL'e ve Ağabeyim Önder ÖNEL'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Öznur ÖNEL

# ALTIN CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN YOĞUNLUĞA DAYALI ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

## ÖZ

Altın kendi özelliklerinden hiçbir şey kaybetmeden korunan ölümsüz bir saf metaldir. Altın çok eski çağlardan beri sahip olduğu temel özellikleri ile en gözde metallerden birisi olmuştur.

Ülkemizde 1980’li yıllardan sonra altın arama ve zenginleştirmede önemli adımlar atılmıştır. Altın fiyatlarının hızla yükselmesi altın veriminin artırılmasını daha önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmada, Gümüşhane Mastra altın cevherinden gravimetrik yöntemler ile altın ön konsantre olarak kazanılması deneysel olarak araştırılmıştır.

Araştırmalarda laboratuvar tipi Knelson ve Falcon konsantratör cihazları kullanılmış ve en yüksek altın veriminin uygun bir altın tenörü ile kazanılması için cihazların optimal çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Deneylein son bölümünde Knelson ve Falcon konsantratörlerinde Andre R. Laplante’ın yayınlamış olduğu Gravity Recovery Gold ( gravite yöntemi ile kazanılabilir altın, ing: GRG) test prosedürünü içeren yayınından yola çıkarak cevherin karakteristik özelliklerine uygun GRG testleri uygulanmış ve cevherin toplam GRG miktarının knelson konsantratörde yüzde 24.27 falcon konsantratör de ise GRG miktarı yüzde 47.06 olarak tesbit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** altın, gravimetrik zenginleştirme, knelson , falcon

# GRAVITY-BASED PROCESSING METHODS USED IN THE ENRICHMENT OF GOLD ORE AND A CASE STUDY

## ABSTRACT

Gold can be defined as an immortal pure metal which can be preserved without losing any value from its own properties. Gold has become one of the most favorite metals since ancient times due to its basic specific features.

In our country, important steps were taken beginning from the decade 1980's in the fields of gold prospecting and enrichment. The drastic rise in the price of gold makes the attempts to increase gold efficiency more important in our day.

In this study, the extraction of gold as pre-concentrate from Gümüşhane Mastra gold deposit through gravimetric methods were experimentally investigated.

In the research part of the study, laboratory type Knelson and Falcon concentrators were used and the optimal operation parameters of these devices were determined at the highest gold efficiency and at a suitable gold grade.

In the final part of the tests, GRG tests were carried out on the samples suitable for the characteristics of the ore in accordance with the test procedure depicted in the recent publication of Andre R. Laplante which is entitled "Gravity Recovery Gold, GRG". As a consequence of these tests, the total GRG amount was determined as percent 24.27 and percent 47.06 in knelson and falcon concentrators, respectively.

**Keywords:** gold, gravity enrichment, knelson , falcon

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TESEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v

## **BÖLÜM BİR-GİRİŞ..... 1**

1.1 Genel Bilgiler .....	1
1.2 Altının Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri .....	2
1.2.1 Altın Cevheri Ve Özellikleri.....	2
1.2.1.1 Altının Özel Nitelikleri .....	3
1.2.1.1.1 Korozyona Dayanıklılık .....	3
1.2.1.1.2 Elektrik İletkenliği .....	3
1.2.1.1.3 Altının İşlenebilirliği .....	4
1.2.1.1.4 Isıyı Yansıtma .....	4
1.2.1.1.5 Termal İletkenlik .....	4
1.2.2 Altının Kullanım Alanları.....	4
1.2.2.1 Para Ve Yatırım Aracı Olarak Kullanımı .....	4
1.2.2.2 Elektronik Ve Telekomünikasyon .....	4
1.2.2.2.1 Bilgisayar Ve Yarı İletkenler .....	4
1.2.2.2.2 Elektronik Sandalyeler .....	5
1.2.2.2.3 Uzay Aracı .....	5
1.2.2.2.4 Telefonlar .....	5
1.2.2.2.5 Televizyonlar Ve Antenler .....	6
1.2.2.3 Lazer ve Optik.....	6
1.2.2.3.1 Astronomi.....	6
1.2.2.3.2 Kopyalama Cihazı .....	6
1.2.2.3.3 Fotograf Cd'leri.....	6
1.2.2.3.4 Uydu .....	6
1.2.2.4 İlaç Ve Sağlık.....	7

1.2.2.4.1 Dişçilik .....	7
1.2.2.4.2 Lazer .....	7
1.2.2.4.3 Termometreler .....	7
1.2.2.4.4 Araştırma .....	7
1.2.2.5 Sanayi ve Havacılık .....	8
1.2.2.5.1 Hava Yastıkları .....	8
1.2.2.5.2 Uçak Motorları .....	8
1.2.2.5.3 Uçak Camları .....	8
1.2.2.5.4 Hava Kirliliğini Ortadan Kaldırma Çalışmaları .....	8
1.2.2.5.5 Motor Sistemleri .....	9
1.2.2.5.6 Yangına Dayanıklı Kıyafet .....	9
1.2.2.5.7 Yiyecek Koruyucu Sensörler .....	9
1.2.3 Altının Doğada Bulunuş Şekli .....	9
1.2.3.1 Damar Tipi Yataklar .....	9
1.2.3.2 Epitermal Yataklar .....	10
1.3 Altın Madenciliği .....	10
1.3.1 Dünyada Altın Madenciliği .....	10
1.3.2 Anadolu Tarihinde Altın .....	13
1.3.3 Türkiye’de Altın Madenciliği .....	15
1.3.3.1 Türkiye’nin Jeolojisi .....	17
1.3.3.2 Gümüşhane-Mastra Altın Madeni .....	19
1.3.3.2.1 Gümüşhane İli Bölgesel Jeolojisi .....	19
1.3.3.2.2 Mastra Altın Madeni Jeolojisi .....	21

## **BÖLÜM İKİ-ALTIN CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....** 23

2.1 Altın Cevherinin Zenginleştirilmesi .....	23
2.1.1 Serbest Öğütme Cevherleri .....	24
2.1.2 Kompleks Cevherler .....	24
2.1.3 Refrakter Altın Cevherleri .....	24
2.2 Altın Cevheri Zenginleştirilmesi .....	27
2.2.1 Otomatik Tavuklama İle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi .....	27

2.2.2 Amalgamasyonla Altın Cevheri Zenginleştirilmesi .....	27
2.2.3 Flotasyonla Altın Cevheri Zenginleştirilmesi.....	28
2.2.4 Liç İşlemleriyle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi.....	29
2.2.4.1 Siyanür Liçi İle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi .....	30
2.2.5 Gravimetrik Yöntemlerle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi.....	32
2.2.5.1 Falcon Konsantratör İle Zenginleştirme .....	35
2.2.5.1.1 Falcon Konsantratör Tipleri .....	36
2.2.5.1.1.1 Otomatik Olarak Kesikli İşlem Yapan ‘SB’ Modeli .....	36
2.2.5.1.1.2 Sürekli İşlem Yapabilen ‘C’ Modeli .....	37
2.2.5.1.1.3 Falcon UF Serisi Konsantratörler.....	38
2.2.5.1.1.4 Falcon Süper Bowl Altın Konsantratörü .....	39
2.2.5.2 Sallantılı Masalarla Zenginleştirme .....	41
2.2.5.2.1 Besleme Malı .....	42
2.2.5.2.2 Özgül Ağırlık .....	42
2.2.5.2.3 Eşik Konumu.....	42
2.2.5.2.4 Kapasite .....	42
2.2.5.2.5 Hız Ve Genlik .....	42
2.2.5.2.6 Masa Eğimi .....	43
2.2.5.2.7 Su Sarfiyatı.....	43
2.2.5.2.8 Bakım .....	43
2.2.5.3 Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) İle Zenginleştirme.....	43
2.2.5.4 Knelson Konsantratör İle Zenginleştirme.....	47
2.2.5.4.1 Knelson Konsantratör Tipleri.....	51
2.2.5.4.1.1 Laboratuar Tipi Knelson Seperatör .....	51
2.2.5.4.1.2 Kesikli Çalışan (Batch) Tip Knelson Konsantratörler.....	52
2.2.5.4.1.3 Sürekli Çalışabilen (CVD) Knelson Konsantratörler .....	54
2.2.5.5 Gravity Recoverable Gold (GRG) .....	56

## **BÖLÜM ÜÇ-DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR..... 57**

3.1 Yöntem .....	57
3.2 Numune Hazırlama.....	58



3.3 Elek ve Kimyasal Analiz Çalışmaları .....	58
3.3.1 Elek Analizi .....	58
3.3.2 XRD, Kimyasal Analiz Ve Metal Değerlerinin Belirlenmesi .....	60
3.4 Öğütme Testleri .....	65
3.4.1 Bond Testleri .....	65
3.4.2 Öğütme Testleri (Bilyalı Değirmen).....	69
3.5 Knelson Konsantratör İle Zenginleştirme .....	71
3.6 Falcon Konsantratör İle Zenginleştirme.....	76
3.7 Gravity Recoverable Gold (GRG).....	81
3.7.1 Knelson Konsantratör Kullanılarak GRG Test Uygulaması .....	84
3.7.2 Falcon Konsantratör Kullanılarak GRG Test Uygulaması .....	97
<b>BÖLÜM DÖRT-SONUÇLAR .....</b>	<b>112</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>115</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgiler

Altın, çok eski çağlardan bu yana sahip olduğu temel işlevleriyle en gözde metallerden birisi olmuştur. Altının bu önemli işlevlerini, ziynet eşyası olarak kullanımı, servet biriktirme ve değişim aracı oluşu, kolay işlenebilme özelliği, dayanıklılığı ve pek çok endüstri dalında (elektronik, uzay ve havacılık teknolojisi, tıp, dişçilik, dekorasyon ve mühendislik sektörlerinde) yaygın kullanımı teşkil etmektedir. Dünyada üretilen altının %60'ı mücevher, %15'i altın para, %11'i elektronik, %5 dişçilik, %3 madalya ve %6'sı da diğer sanayilerde kullanılmaktadır (MTA Genel Müd, 2010).

1970'li yıllardan itibaren, altın fiyatlarının hızla yükselmesiyle birlikte altınlı cevherin işlenmesi teknolojisindeki yeni gelişmelerin de etkisiyle Dünya altın madenciliği dikkati çeken bir büyüme süreci içine girmiştir. Böylece, yeni bir "Altına Hücum" dönemi yaşanmaya başlamıştır. Dünya madenciliğini egemenliği altına alan bu gelişim, ülkemizi de etkilemekte gecikmemiş ve özellikle Batı Anadolu ve Doğu Karadeniz 'de yoğun arama çalışmalarına başlanmıştır. Ancak, bulunan yatakların üretime açılabilmesi için, altın madenciliğinin çevreyi nasıl etkileyeceği konusundaki tartışmaların çözümlenmesi gerekmektedir (MTA Genel Müd., 2010).

Altın diğer elementlerle (gümüş, kurşun, bakır, demir, platin) doğal alaşımlar şeklinde bulunduğu gibi saf altın filizi yatakları şeklinde de bulunur (Doğanay, 2002). Açılma tektoniğinin egemen olduğu, jeotermal sistemler bakımından zengin ve epitermal altın cevherleşmelerinin parmak izi olarak kabul edilen Hg-As-Sb cevherleşmelerinin fazlaca görüldüğü Batı Anadolu ile altın cevherleşmeleri açısından önem taşıyan masif sülfid ve porfiri tip maden yataklarının bol bulunduğu Doğu Karadeniz altın cevherleşmeleri için jeolojik ve metalojenik açılardan Türkiye'nin potansiyel bölgeleridir (MTA Genel Müd., 2010).

Dünya’da altın üretiminin %84’ü siyanürleme, %10’u gravite ve %4’ü flotasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde iri taneli altın içeren cevherler için gravite, amalgamasyon ve aglomerasyon yöntemleri kullanılırken ince taneli ve düşük tenörlü cevherler için flotasyon ve hidrometalurjik yöntemler kullanılabilir (Roshan, 1990). Nispeten ince ve serbest taneli altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde santrifüjlü gravite ayırıcıları kullanılırken, ince taneli cevherler için yaygın olarak siyanür liçi uygulanmaktadır (Linge, 1997).

Bu çalışmada Gümüşhane Mastra altın cevheri üzerinde araştırma yapılmış olup, cevherin Knelson ve Falcon santrifüj gravite ayırıcısı ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Optimum zenginleştirme şartları baz alınarak GRG (Gravity Recoverable Gold)’leri hesaplanmıştır.

## 1.2 Altının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

### 1.2.1 Altın Cevheri ve Özellikleri

Atomik sembolü	: Au
Atom numarası	: 97
Atom ağırlığı	: 197
Ergime noktası	: 1063 °C
Kaynama sıcaklığı	: 2700 °C
Yoğunluğu	: 19,33 gr/cm <sup>3</sup>
Sertliği	: 2,5-3
Kristal şekli	: Kübik
İyonlaşma enerjisi	: 890,1 kJ/mol
Isıl iletkenlik	: 318 W/(m·K)
Isıl genleşme	: 14,2 µm/(m·K) (25°C' de)

Altın macun kadar yumuşak bir madendir. 31 gram ağırlığındaki altını çekerek 80 km uzunluğunda tel haline getirebilirsiniz, ya da 10 gram ağırlığındaki bir altını döverek 12 m<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayacak büyüklükte bir levha haline getirebilirsiniz.

1B grubu soy metallerinden olan altının özellikleri arasında, korozyon direnci sülfürlenmeye ve oksitlenmeye karşı direnç, iyonlaşma serbestisi, diğer metallerle kolay alaşım yapabilme, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği sağlayabilir (AMD, 2008).

Altın kimyasal olarak nötr elementlerden birisidir. Saf ve katı altının denge sıcaklığı 1063 °C'dir. Aynı şartlardaki altının öz direnci 0 °C' de 2,055-2,060 mikro ohm/km<sup>3</sup> tür. Kimyasal olarak zor tepkimeye giren altın, yüksek sıcaklıkta çalışan aygıtlarda kullanılmaktadır. Altın bütün asitlere karşı dayanıklıdır. Fakat kral suyu olarak adlandırılan 1 mol HNO<sub>3</sub> , 3 mol HCL karışımına dayanıklı değildir. Altın suyu (veya kral suyu), kimyasal çözme işlemlerinde bazı demir cevherlerini, fosfatlı kayaçları, curufları, nikel-krom alaşımlarını, antimuan, selenyum ve civa, arsenik, kurşun ve kobalt sülfürleri, çözünürlüğü az olan sülfürleri çözmek için kullanılır. Ferrik klorür sıcak solüsyonu tarafından çözünür. Rutubetli klor gazı ise altını AuCl<sub>3</sub>'e çevirir. İyice öğütülmüş altın, ortamda oksijen varsa alkali siyanür çözeltilerinde kolayca çözünür. Bu tepkime Güney Afrika'da altın cevheri elde edilmesinde esas yöntem olarak kullanılmaktadır. Az miktarda kurşun (%1'den az) altını bilhassa sıcakken kırılğan yapar. Bütün bu özelliklerinin yanı sıra altının yer kabuğunda çok az bulunan bir metal olması onu daha değerli kılmaktadır (AMD, 2008).

#### 1.2.1.1 Altının Özel Nitelikleri

1.2.1.1.1 *Korozyona Dayanıklılık.* Altın bütün metallerin içinde en az tepkimeye giren metaldir. Bütün doğal ve endüstriyel çevrede en tehlikesiz olandır. Altın en aktif elementlerden biri olan oksijenle asla tepkimeye girmez. Bu da paslanmayacağı ya da kararmayacağı anlamına gelir (Şen, 2002).

1.2.1.1.2 *Elektirik İletkenliği.* Altın bütün metaller içerisinde elektriği en çok ileten metallere dendir. Elektrik akımındaki şarjlı parçaların akışında temel olduğu için iletken olan metaller bu akımın engellenmeden akışını sağlar. Altın -55 °C'den +200 °C'ye kadar değişen ısılarda en küçük elektrik akımını bile iletir (Şen, 2002).

*1.2.1.1.3 Altının İşlenebilirliği.* Altın bütün metaller arasında kırılmadan küçük bir tel ya da lif haline getirilebilmesi mümkün olan tek metaldir. Sonuç olarak bir altın zerresi 5 mil uzunluğunda bir tel haline gelebilir. Altının işlenebilirliği aynı zamanda eşsizdir. Aşırı derecede ince levha haline gelecek şekilde şekillendirilebilip genişletilebilir. Örneğin 1 ons altın 3 m<sup>2</sup> levhaya çevrilebilir (Şen, 2002).

*1.2.1.1.4 Isıyı Yansıtma.* Altın kızılötesi ( ya da ısı enerjisini) en çok yansıtan ve en az emen maddedir. Yüksek saflıktaki altın % 99 kızıl ötesi ışına kadar yansıtır (Şen, 2002).

*1.2.1.1.5 Termal İletkenlik.* Altın aynı zamanda mükemmel bir termal enerji ve ısı iletkenidir. Birçok elektronik proses ısı açığa çıkardığından altın hassas aletlerde ısıyı transfer etmek için gereklidir. Örneğin ısının 3300 °C'ye ulaşabildiği uzay mekiğinin ana motorunun ağzında %35'lik altın alaşımı kullanılmaktadır. Altın alaşımı bu yüksek ısıların korunması için en dirençli ve dayanıklı mevcut maddedir (Şen, 2002).

## **1.2.2 Altının Kullanım Alanları**

### *1.2.2.1 Para ve Yatırım Aracı Olarak Kullanımı*

Altın M.Ö. 1091 yılında Çin de ipeğe alternatif olarak para yerine kullanılmak üzere yasallaştırıldı. Altın hala evrensel olarak kabul edilen tek takas aracıdır. Dünya üzerindeki milyonlarca insan altını enflasyona karşı bir koruma ve ekonomik belirsizliklerin, politik problemlerin var olduğu zamanlarda güvenilir bir değer deposu ve de temel yatırım formu olarak kullanmaktadır (Şen, 2002).

### *1.2.2.2 Elektronik ve Telekomünikasyon*

*1.2.2.2.1 Bilgisayar ve Yarı İletkenler.* Dünya etrafında her yıl yaklaşık olarak 40 milyon kişisel bilgisayar üretilmektedir ve altın bunların birçok parçasında aktif rol oynamaktadır. Altının en önemli işlevi elektrik devrelerini yarı iletkenlere ya da bilgisayarın beynine bağlayan saf tel olarak kullanımınıdır. Bu tel özel olarak

artılmıştır (%99.999'a kadar) ve milimetrenin %1 inin ortalama çapına sahiptir yani bir insan saçının çapından daha küçüktür. Diğer alanlarda bilgisayar klavyesindeki her anahtar bilgiyi mikro işleyicilere ileten altın devrelerini bulur. Bilgisayarın kenarındaki sıklıkla kullanılan bağlantı noktalarında temiz sinyali sağlamak için altın kaplama kullanılır. Altın elektrik iletkenliğinden dolayı ve zamanla özelliğini yitirmediği için bilgisayar devrelerinde hayati önem taşır (Şen, 2002).

*1.2.2.2 Elektronik Sandalyeler.* Bilgisayarlı tekerlekli sandalyeler engelli hastaların daha rahat hareket etmelerini ve özgür hissetmelerini sağlar. Yine bu bilgisayarla kontrol edilen makinenin kalbinde altın tel ve altın kaplı bağlantılarla tekerlekli sandalyenin kontrol edilmesini sağlayan küçük ama güçlü Motorola mikro işlemci vardır. Şu an Amerika'da ortalama 100 bin bilgisayarlı tekerlekli sandalye kullanılmaktadır. Altın bu uygulamada yüksek elektrik iletkenliği ve korozyona dayanımından dolayı kullanılmaktadır. Birçok iklim ve ısıya maruz kalan bu sandalyeler altın parçaları olmaksızın tam olarak çalışamaz (ŞEN,2002).

*1.2.2.3 Uzay Aracı.* Galileo uzay mekiğindeki bilgisayarları ağır bombardıman sonucu kısa devrelerden korumak için NASA yoğun iyon karşılayıcı (HIC) geliştirdi. HIC yarı iletken levhaları geçmeye çalışan ağır iyonları tutan altın elektrotlardan silikon yarı iletken levhalar yapılmıştır. HIC'nin kullanımı NASA mühendislerine araçtaki bilgisayarların fonksiyonlarını izleme ve gerektiğinde düzenleme yapmalarına imkan sağlar. NASA yol bulucu diye adlandırılan bir uzay robotu icat etmiştir, bu robot marstaki toprak ve kayaların fotoğraflarını yakın olarak çekip, iniş ve hareketleri yönlendiren karmaşık elektroniklere güvenerek gezegenin kimyasal yapısını analiz eder. Ek olarak yol bulucuda bulunan karmaşık altın devreleri yeni bilgisayar teknolojisi sayesinde toplanan bilginin dünyaya gönderilmesine imkan sağlar (Şen, 2002).

*1.2.2.4 Telefonlar.* Telefon ahizesinin arkasındaki minyatür vericide ana bileşenlerden biri olan altın bulunmaktadır. Altın bu uygulamada özellikle dışarıdaki hava şartlarına maruz kalan ev telefonlarında elektrik akımının sürekliliği için kullanılır (Şen, 2002).

*1.2.2.2.5 Televizyonlar ve Antenler.* Televizyonlardaki mikro devreler beş sıra altın devreden oluşur. Bu altın devreler sinyalleri televizyona aktaran mikro elektronik devre çiplerine saç inceliğindeki altın tellerle bağlıdır. Televizyonları videokaset kaydedicilere bağlayan kablolar televizyon sinyallerinin netliğini kesinleştirmek için altın kaplamadır (Şen, 2002).

### *1.2.2.3 Lazer ve Optik*

*1.2.2.3.1 Astronomi.* Dünyanın en büyük teleskoplarının bulunduğu Keck gözlem evinin çalışmalarında altın kullanılmaktadır. Gözlem evinde ikiz teleskoplar bulunmaktadır ve her birinin içinde %99,9 saflıkta altınla kaplı 21 inçlik ikincil aynalar bulunmaktadır. Altın kızıl ötesi ışığı yüksek oranda yansıtmasından dolayı teleskopun ikincil aynalarını kaplamak için kullanılmıştır. Epner teknolojisi tarafından geliştirilen altın kaplama işlemi lazer altın olarak bilinmektedir. Lazer altın ulusal standartlar ve teknoloji enstitüsü tarafından standart referans materyali olarak kabul edilmiştir (Şen, 2002).

*1.2.2.3.2 Kopyalama Cihazı.* Kopya cihazları kağıda resmi yerleştirmek için yüksek ısı kullanır. Bu makineler ısıyı verimli şekilde yansıtmak için altın kaplama aynalar kullanırlar (Şen, 2002).

*1.2.2.3.3 Fotograf Cd'leri.* Kodak şirketi yansıtıcı yüzey olarak altını kullanan bir fotoğraf cd sistemi geliştirmiştir. Bu sistem 35 mm'lik negatifleri ya da slaytları 100 resme kadar alabilen cdlere dijital formatta transfer edebilir. Diske yüklendiğinde bu resimler televizyon ya da bilgisayar ekranında görüntülenebilir (Şen, 2002).

*1.2.2.3.4 Uydu.* Altın yansıtma, iletkenlik ve korozyona dayanıklılık özelliklerinden dolayı uyduların vazgeçilmez parçalarından biridir. Örneğin elektronik devre kutuları, elektronik cihazları kozmik ışınların etkisini azaltılması ve güneş patlamalarından korumak için altınla kaplanmıştır (Şen, 2002).

#### 1.2.2.4 İlaç ve Sağlık

Altın modern tıp için değerlidir. Zehirli değildir. Biyolojik olarak tehlikesizdir. En yararlı elektrik iletkenlerinden biridir ve altının yoğun olması elektron mikroskoplarının altında görünmesini sağlar. Altın dayanıklı olmasına ve zarar görmemesine rağmen yumuşak bir metaldir ve şekillendirmesi ve düzeltmesi ve mikroskobik tellerden çekilmesi kolaydır (Şen, 2002).

*1.2.2.4.1 Dişçilik.* Dişçilikte kullanılan altının çoğu altın ve platin, palladium, gümüş, bakır ve çinko gibi metallerin karışımından oluşan alaşımlardır. Örneğin bugün Amerika'da 150 binden fazla dişçi kaplama, köprü kakma ve takma dişlerde ortalama 13 ton altın kullanır. Tipik bir kaplama %62 ile %72 arası altın içerir (Şen, 2002).

*1.2.2.4.2 Lazer.* En çok gelecek vadeden medikal uygulamalardan birisi iyon lazerlerin kontrolüdür ki bu iyon lazerlerin iç yüzeyi ışına odaklanmayı kontrol eden altınla kaplıdır. Bir diğer çalışmada altın buhar lazerleri gerekli dalga uzunluğu ile yüksek yoğunlukta kırmızı ışık yaratır ve bu kanserli hücreleri sağlıklı olanlara zarar vermeden bulup yok etmeye yardımcı olur (Şen, 2002).

*1.2.2.4.3 Termometreler.* Yeni bir tür altın içeren termometre geliştirilmiştir. Bu termometre dış kulağa tutulduğunda 2 sn içerisinde vücut ısısını ölçmektedir. Bu ölçümler kesin ve doğrudur çünkü kulak zarı hipotalamus olan vücut ısısını kontrol eden organla aynı kan damarını paylaşır. İlk ısı dahisi olarak bilinen bu termometre dalga rehberi adı verilen bir altın kaplama tüp içerir ve bu ısıyı kulaktan alıp cihazdaki ısıyı hisseden elemente yönlendirir (Şen, 2002).

*1.2.2.4.4 Araştırma.* Küçük altın parçalarını DNA ile birleştiren laboratuvarlar yeni mikroskobik yapılar üretmişlerdir. Bu yapılar biyokimya genetik ve tıp gibi alanlarda geniş araştırma uygulama ve teşhis imkanları yaratmaktadır (Şen, 2002).



### 1.2.2.5 Sanayi ve Havacılık

1.2.2.5.1 *Hava Yastıkları.* Altın otomobil hava yastığı geliştirme sistemlerinde kullanılır. Bu sistemde ön tamponun yanında arabanın içine bir sensör cihazı yerleştirilir. Bu sensör aktifleştirildiğinde hava yastığına konuşlanmak için sinyal gönderen, altın levhalı elektrik kontakları içerir (Şen, 2002).

1.2.2.5.2 *Uçak Motorları.* Altın, Boeing 777 gibi uçakların motorlarında hayati önem taşır. Altın, alaşımların en büyük bileşenidir (Şen, 2002).

1.2.2.5.3 *Uçak Camları.* Uçakların kokpitleri altın kaplama akrilik camlarla kaplıdır. Bu camlar elektrik akımı taşıdığı için kötü hava şartlarında görüşün azalmasını engeller. Sıcak hava şartlarında da altının yansıtma özelliği kullanılarak kokpitin serin kalması sağlanır (Şen, 2002).

1.2.2.5.4 *Hava Kirliliğini Ortadan Kaldırma Çalışmaları.* Araştırmacılar karbon monoksit ve nitrik oksit gibi zararlı gazların zararsız hale gelmesinde altın zerrecilerinin faydalı bir katalist olduğunu bulmuştur. Karbon monoksit, gaz yakıtı kullanılan ısıtıcı, duman ya da ateş gibi maddelerden ortaya çıkar, diğer bir kirleticisi nitrik oksit ise araba ya da kamyon motorlarından oluşur. Havayla karıştığında nitrik oksit sanayi sisi adı verilen ozon ve diğer kirleticilerin oluşumunda anahtar rol oynar. Altın hedef cihazlara metal oksitle birlikte koyulduğunda karbon monoksitin karbondioksite dönüşümündeki faydada gözle görülür bir artışa neden olur. Altın zerrecileri alüminyum oksidi kapladığında nitrik oksidin zararsız nitrojene dönüşümündeki artışta %40'lık bir etki yaratır. Altının özellikleri özellikle de reaktif olmaması havayı kirleten diğer bileşimleri kontrol eden katalitik işlemlerle bağlantılıdır. Altın diğer ticari katalizörlere göre avantajlıdır. Örneğin bakır oksitleri ve manganez nemli çevrede çok iyi çalışmaz ve diğer değerli metaller neme dayanıklı olsa da düşük ısılarda katalizör olarak daha az faydalıdır. Bunun aksine altın ile katalizör aktivitesi su buharında çoğalır ve oda sıcaklığında yararlıdır (Şen, 2002).

*1.2.2.5.5 Motor Sistemleri.* Tutuşma ve egzoz gözlemlene için sensörlerde bulunan altın levha bağlayıcılar motorun işleyişinin uzun dönem yıpranmamasını sağlar. Altın arabanın iyi çalışmasını sağlamada gereklidir (Şen, 2002).

*1.2.2.5.6 Yangına Dayanıklı Kıyafet.* Her hangi bir uçak kazası ya da kimyasal yangın gibi bir felaket meydana geldiğinde yangına müdahale edebilmek için itfaiyeciler koruyucu kıyafet giymelidirler. Yoğun ateşe yakın mesafede duran itfaiyeciler yangın alanını net görebilmek için gözlerini korumak zorundadırlar. Bu kıyafetin baş kısmı ince bir altın tabaka ile kaplanmış koruyucu yüz ısı kalkanına sahiptir çünkü altın ısıyı yansıtmaktadır (Şen, 2002).

*1.2.2.5.7 Yiyecek Koruyucu Sensörler.* Altın kaplama sensörler meyve ve sebzelerin bozulmasını önlemede gerekli olan karbondioksit gazını ölçmek için üretilen bir sistemle yemek endüstrisine katkıda bulunmaktadır. Altın sensörler aynı zamanda paketlenen ya da saklanan yiyeceklerin raf ömrünü uzatmakta gerekli olan karbondioksit seviyesini korumada önemli bir etmendir. Altın içeren sensörler yüksek nemden etkilenmezler (Şen, 2002).

### ***1.2.3 Altının Doğada Bulunuş Şekli***

Yer küre yaklaşık olarak 0,0035 gr/ton altın içermektedir. Bu derişim ile altın nadir bulunan elementlerden biridir. Altın doğada genellikle saf veya gümüş ile alaşım ve tellüritler halinde bulunur. Bu nedenle altın-gümüş üretimi çoğu zaman beraber gerçekleştirilmektedir. Doğada bulunan altın-gümüş alaşımına elektrik adı verilir. Ancak doğada altın ve gümüşün birlikte bulunmadığı rezervlerde mevcuttur. Altın, diğer minerallerin kristal kafeslerinde, özellikle pirit, arsenopirit, kalkopirit, stibnit, orpiment gibi sülfürlü minerallerin içinde kapanımlar halinde yer almaktadır. Altın yatakları doğada genellikle iki şekilde bulunmaktadır (Yıldız, 2007).

#### ***1.2.3.1 Damar Tipi Yataklar***

Kayaların içinde oluşmuş çatlakları dolduran damarlar şeklinde, bir başka kaya veya mineral topluluğunun içinde yoğunlaşmış altın yataklarıdır. Dünya'da antik

çağlardan beri üretim yapılan yatakların önemli bir kısmı bu gruba girmektedir (Yıldız, 2007).

### *1.2.3.2 Epitermal Yataklar*

Belirli tipteki volkanik kayalar içinde, termal su dolaşımı ile saçılmış olarak bulunan yataklardır. Bu tip yataklarda altın içeriği düşük, buna karşın rezervler büyüktür (Yıldız, 2007).

## **1.3 Altın Madenciliği**

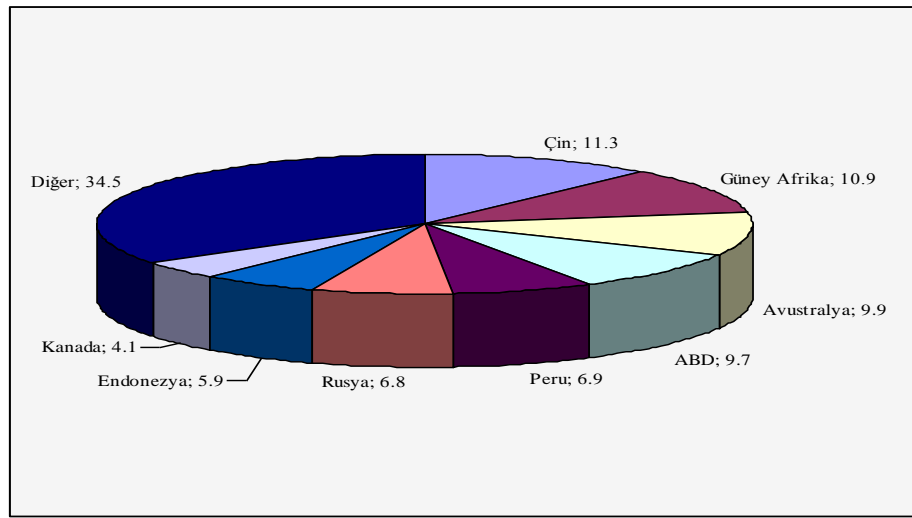
### *1.3.1 Dünyada Altın Madenciliği*

Dünya altın madenciliği 1970'lerin sonlarından itibaren baş döndürücü bir gelişim yaşamaya başlamıştır. Birçok sanayileşmiş ülkede altın cevheri üretimi hızla artmaya başlamıştır.

Bu olağan dışı gelişim sonucunda, G.Afrika ve Rusya gibi geleneksel altın üreticisi ülkelerin dünya altın üretimindeki payları düşerken, diğerlerinininki hızla artmıştır.

Dünya üretimine bakıldığında en dikkati çeken nokta, geleneksel altın üreticisi G. Afrika'nın payı hızla düşerken, 1980 yılına göre üretim artışı ABD'de 13 kat, Avustralya'da 18 kat ve Kanada'da 3,5 kat olmuştur. Öte yandan, 10 yıl önce adı hiç geçmeyen Çin, Brezilya, Endonezya ve Papua Yeni Gine, SSCB'nin dağılmasına bağlı olarak Orta Asya Türki Cumhuriyetleriyle birlikte dünya altın üretiminde en üst sıraları paylaşmışlardır (Şekil 1.1). ABD 1998 yılı üretimini 1997'ye göre %3 ve Kanada %1 artırırken, Endonezya'nın altın üretim artışı %23 olmuştur. Yıllık altın üretimi 24 ton olan Avrupa'nın dünya üretimindeki payı %1'dir (Şekil 1.2). Toplam nakit üretim maliyeti %18 azalarak ortalama 206 ABD Dolar/ons seviyesine düşmüştür. Toplam maliyetler de 261 ABD Dolar/ons seviyesine düşmüştür.

Avrupa altın üretimi 1988’de %2 artarak 34 tona ulaşmıştır. İspanya, Finlandiya ve İtalya’da üretim artışı kaydedilirken, Fransa ve İsveç’te üretim düşmüştür. 1998 yılında İspanya’da El Valle ve İtalya, Sardunya Adası’nda Furtei madenleri işletmeye açılmıştır. İtalya’da Osilo projesi üretime hazırlanmıştır. Yunanistan’da çok sayıda proje yürütülmektedir. Kassandra’daki Olympias madeni 2001’de işletilmeye başlanmıştır. Bunu Skouries madeni izlemiştir. Perama ve Sappes madenlerinde fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Milos adasında aramalar sürdürülmektedir.



Şekil 1.1 Dünya Altın Üretim Dağılımı [GFMS Gold Survey,2008]

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Türkiye					1.4	4.3	5.4	5	5	8
İsveç	7.1	6.1	4.4	3.6	4.8	5.4	5.6	6.6	6.1	6.7
Bulgaristan	2.8	2.7	2.5	2.1	2.3	2.1	1.7	1.7	2.3	2.8
İspanya	2	3.8	5.1	4.8	4.2	5.9	5.7	4	2.4	1.7
Eski Yugoslavya	4.7	3.4	2	1.9	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
Finlandiya	2.4	3.3	2.7	1.6	1.7	1.5	1.7	1.3	1.2	1.1
Romanya	2	2	1.8	1.2	1.6	1.3	1.3	1.2	1.1	0.7
Diğer Ülkeler	6.2	6	5.8	4.3	3.8	2.9	2.1	3.7	4.6	5.3
Avrupa Toplamı	27.2	27.3	24.3	19.5	21.2	24,7	24.7	24.7	23.9	27.5

Şekil 1.2 Avrupa’da Altın Üretimi [Altın Madencileri Derneği 2007]

Kuşkusuz, bu gelişmeyi bir rastlantısal olay olarak görmemiz doğru değildir. 1960'lı yıllara gelindiğinde, altın fiyatlarının maliyetlerin altında kalması nedeniyle altın madenleri kapanmaya başlamıştır. Bunun üzerine 1968'de altın fiyatları serbest bırakılarak bir serbest piyasa konumunu almıştır. Daha sonra, 1975 yılında önce ABD, ardından İsviçre hükümetleri kendi vatandaşları üzerindeki külçe altın satın alma yasağını kaldırdılar. Böylece ilk çağdaş altın madeninin işletmeye açıldığı 1820'lerden beri neredeyse duranlı kalmış olan altın kurları çok hızla yükselmiştir.

Kurlardaki bu yükselme, cevhere olan talebi de beraberinde getirmiştir. Bu olumlu koşullar, altın madenciliğinde yeni bir çağın açılmasına neden oldu. Düşük tenörlü, buna karşın yüksek rezervli cevherlerin işletilmesine olanak veren siyanürleme yöntemi uygulanmaya başlandı. 1867'de patenti alınan yöntem, 1891'de G, Afrika'da uygulandıktan sonra yüksek maliyeti nedeniyle bir kenara bırakıldı. Son yıllarda, sanayideki iki gelişme sonucunda madencilik teknolojisinde devrim yaratan bu teknik yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır.

1. Geçirimsizliği sağlamak için havuz ve yığınların tabanına yayılan plastik örtüler (geomembrane) artık çok ucuza ve kolayca temin edilebilmektedir.
2. Klasik çinko ile çökertme yöntemi yerine, metalin çözüldüğüden ucuza ve kısa zamanda alınmasını sağlayan aktif karbon absorpsiyonu tekniği günümüzde mükemmelleşmiştir.

Altın yatakları birçok jeolojik ortamda ve çok çeşitli kaya tiplerinde görülür. Bu güne kadar farklı ölçütlere dayandırılmış çeşitli sınıflandırmalarla altın oluşumları açıklanmıştır. En genel anlamda altın yatakları şu şekilde gruplandırılabilir:

1. Makaslama zonlarında yer alan, yüksek sıcaklıkta oluşmuş (mezotermal) altınlı kuvars damarları,

2. Jeotermal sistemlerle ilişkili düşük sıcaklıkta oluşmuş (epitermal) altın yatakları,

3. Bünyesinde altın da bulunduran, mağmatik etkinlikle doğrudan ilişkili masif sülfid, porfiri bakır ve skarn yatakları,

4. Bu birincil cevherlerden türemiş plaserler (Yıldız, 2007).

Tablo 1.1 Dünyada Altın üretimi (ton) (Kaynak GFMS 2010)

Ülkeler	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003
G. Afrika	210	213	272	292	296	344	376
ABD	210	233	255	252	262	247	285
Avustralya	220	215	251	245	263	242	284
Çin	300	285	276	247	224	210	213
Rusya	185	176	132	173	175	180	182
Kanada	100	95	93	104	118	171	141
Peru	180	180	167	203	208	160	172
Endonezya	100	60	171	114	166	120	163
Diğerleri	807	840	804	841	1047	800	780
Dünya Toplamı	2412	2297	2444	2471	2759	2474	2596

Dünya toplam işletilebilir altın rezervi 49000 tondur. Rezervin yüzde 65'i dünya altın üretiminde ilk sıralarda yer alan Çin, G. Afrika, ABD, Avustralya ve Endonezya arasında paylaşılmaktadır. Dünya altın üretimi 2500 ton civarında olup, bu üretimin %46'sı bu beş ülkede yapılmaktadır.

### ***1.3.2 Anadolu Tarihinde Altın***

Altının Anadolu topraklarında bulunuşunun hikayesi M.Ö. 4000 yıllarının sonu ve 3000 yıllarının başlarında, Eski Tunç Çağı dönemine uzanmaktadır. Bu dönemin en büyük özelliklerinden biri altın, gümüş, bakır, tunç, demir, elektrik (doğal altın-gümüş karışımı) gibi madenlerin çıkarılması ve işlenmesi ile ilgili tekniklerin bulunup keşfedilmesidir. Yapılan kazı çalışmalarında M.Ö.2600-2000 yılları arasına ait Orta Anadolu'da Alacahöyük, Kültepe, Alishar, Batı Anadolu'da Truva,

Beycesultan, Semayük, Doğu Anadolu’da Karaz, Göller Bölgesinde Kusura, Demircihöyük, Polatlı, Karaoğlan, Konya civarında Karahöyük, Malatya’da Aslantepeler, Çukurova bölgesinde Tarsus, İslahiye bölgesinde Tilmenhöyük, ve Gedikli, Güneydoğu Anadolu’da Pulur, Norşuntepe ve Tepecik buluntuları ve antik merkezlerinde çıkarılan eserler Anadolu’daki altın madeninin varlığı ve altın işleme tekniklerinin hangi düzeylerde olduğu hakkında bize bilgi vermektedir.

Hititler döneminde çalıştırıldığı bilinen Bolkar, Çanakkale-Astyra ve Şahinli, Bilecik-Söğüt Korudanlık, Balıkesir-Havran ve Beyköy, Bergama-Ovacık ve Manisa-Sart altın madenleri antik dönemlerden günümüze kadar gelmiş altın madenlerinden birkaçıdır. Anadolu’da altın kullanımı ilk yıllardan Lidyalılara kadar olan dönem içerisinde sadece takı amaçlı iken Lidyalılar tarafından doğal altın-gümüş karışımından yapılmış ve üzerinde kraliyet armasının bulunduğu ‘Aslanbaşı’ sikkelerin basılmasıyla (Şekil 1.3) dünya ekonomisinin boyutları bir daha geri dönülemez bir biçimde değişmiştir. O güne kadar ticaretteki değiş-tokuş ekonomisi değer ekonomisine dönüşmüştür. Bu sadece altın adına değil dünya ekonomisi adına bir milattır. Kral Kresus (M.Ö.560-547) döneminde doğal altın-gümüş karışımı sikkelerin daha iyi duruma gelmesi için ilk rafine yöntemi kullanılarak altın gümüşten ayrılmıştır. Bu anlamda, Lidyalılar ilk rafineriyi kurarak maden ve metallurji alanında da bir çağ açmıştır. Daha sonraki dönemlerden günümüze kadar Persler, Helenler, Romalılar, Bizanslılar, ve daha sonra Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde altın zaman zaman Anadolu topraklarında hem üretilip ihraç edilmiş hem de ithal edilmiştir.

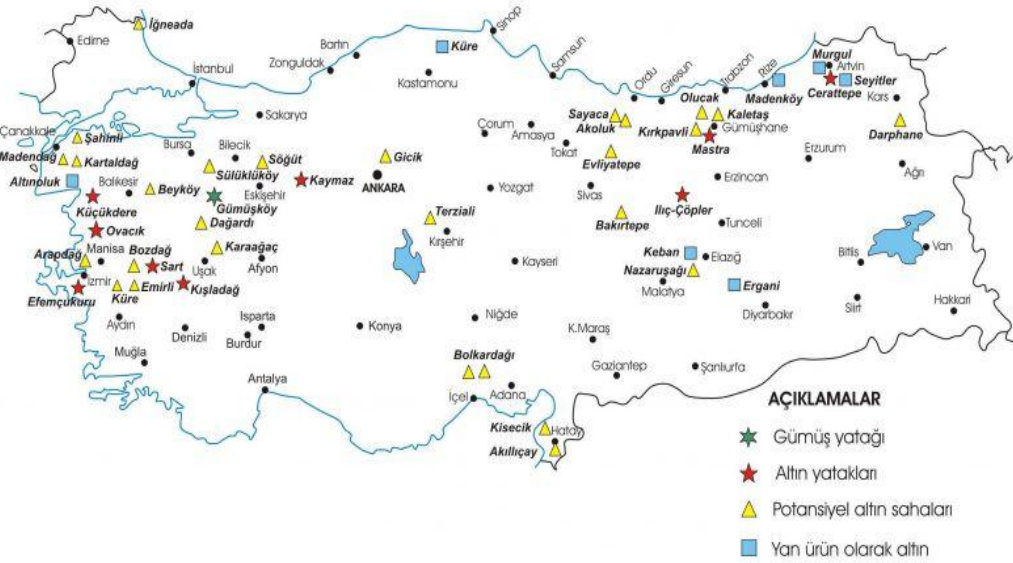


Şekil 1.3 Altından yapılmış Lidya Aslanı dünyanın ilk altın parasıdır (AMD,2008)

### 1.3.3 Türkiye’de Altın Madenciliği

Ülkemizde özellikle 1980’li yıllardan sonra altın arama ve işleme konularında önemli adımlar atılmıştır. Bu bağlamda yapılan fizibilite çalışmalarının sonucunda toplam yedi adet altın madeni yatağı bulunduğu tespit edilmiştir (Doğanay, 2002).

Ülkemizde bilinen ve arama çalışmaları süren altın yatakları Ege, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Halen üretime hazır olan altın yataklarımızda 1 tonda 1,2 gr ile 12,65 gr arasında değişen miktarlarda altın bulunmaktadır. Buna göre işletilebilir altın rezervimiz toplam 700 tondur. Jeolojik yapısı ve dünyadaki altın oluşum modellerine dayanılarak yapılan hesaplama göre Türkiye altın potansiyelinin 6500 ton olduğu ve bu rezervle de dünyanın ikinci ülkesi haline gelebileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 1.4 Türkiye’nin altın haritası (www.haritaburada.com , 2010)

Halen ülkemizde, İzmir ili, Bergama ilçesindeki Ovacık Altın İşletmesi, Balıkesir-Havran, Gümüşhane/Mastra Altın İşletmeleri ile Uşak/Eşme’deki Altın İşletmelerinde altın üretimi yapılmaktadır.



Tablo 1.2 Türkiye'nin Altın Üretimi (Kaynak GFMS 2010)

YIL	TOPLAM(TON)
2000	0
2001	1,4
2002	4,3
2003	5,4
2004	5,0
2005	5,0
2006	8,0
2007	10,0
2008	11,0
2009*	16,0
2011*	38,0

(\*Tahmin Edilen Değerler)

Ülkemiz dünya altın talebinde beşinci sırada yer almaktadır. Yılda 200 tondan fazla altın ithal edilmekte, bunun tahmini olarak yarısına yakın bir kısmı işlendikten sonra mücevherat biçiminde ihraç edilmektedir. Ülkemiz, altın takı üretiminde Hindistan'ın ardından ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'nin 2007 yılında ithal edilen yaklaşık 231 ton işlenmemiş altına ödediği 5,14 milyar dolar ve 2008 yılında yaklaşık 166 ton işlenmemiş altın ithalatına ödediği 4,64 milyar dolar dikkate alınırsa yerli üretimin önemi ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizin içinde bulunduğu duruma baktığımızda ise, son dönemlerde, sosyolojik ve ekonomik sorunların yanı sıra üretim toplumu olma yerine tüketim toplumu olma eğilimi hızla artmıştır. Maden alanında yapılacak üretime dönük yatırım projelerinin hayata geçirilmesi ülke sorunlarının aşılmasında katkı sağlayacaktır. Yapılan bu yatırım harcamaları yurt içinde kısmi bir gelir artışı sağlayacaktır. Bu sektörün açılmasıyla birçok insana iş olanakları sunulacak, toplumun gelir düzeyi yükselecektir. Ayrıca devletin maden işletmeciliğinden alacağı %10'luk vergi payı ile hazine bütçesi genişleyecektir.

Sanayileşmemizi sağlayabilmemiz için, yer altı kaynaklarımızdan maksimum düzeyde yararlanmak zorundayız. Ülkemizde altın madeni varlığı yıllardan beri bilinmektedir ve yine ülkemizde bulunan yatakların çoğunluğu epitermal yataklardır.

Dünyada bu tip altın yataklarından ekonomik olarak altın üretimi, ancak siyanür kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Siyanürlü altın yöntemi yeni bir yöntem olmayıp çok eskiden beri kullanılmaktadır.

Kamuoyunda altın arama ve işletme faaliyetlerine karşı, özellikle siyanür kullanımına ilişkin haklı gerekçelere dayanmayan bir hassasiyet bulunmaktadır. Günümüzde altın madenciliğinde siyanür, arama aşamalarının hiçbir kademesinde kullanılmamaktadır. Kömür, bakır, demir, bor, v.s. madenler nasıl aranıyorsa altın da benzer yöntemlerle aranmaktadır. Altın madenciliğinde siyanür, ocaktan çıkartılan tüvenan cevherden metal altının kazanımı için, ÇED izinleri kapsamında her türlü güvenlik tedbirleri alınarak yapılmış olan kapalı tesislerde kullanılmaktadır. Bu nedenle kullanılan siyanürün doğa ve insanla teması olmamaktadır. Bu güne kadar altın madeni işletmeciliğinde insan ve canlı varlığı açısından tehlikeli bir durumla karşılaşılmamıştır.

Dünyada yılda yaklaşık 1,5 milyon ton siyanür tüketilmektedir. Bunun %18'i (270000 ton) madencilik sektöründe, geri kalan %82'si ise tekstil, sentetik kumaş, naylon, kauçuk, oto lastiği, metal işleme-çelik sertleştirme elektro kaplama, galvanizleme, kuyumculuk ve mücevherat, ilaç sanayi, haşere ve böcek zararlıları ile mücadelede, çivit imali, optik parlaticılar ve fotoğrafçılıkta kullanılmaktadır. Dünyadaki altın üretiminin %85'i de siyanürlü yöntem ile yapılmaktadır. Türkiye'de ise yılda 300000 ton siyanür sanayide kullanılmakta olup bunun sadece %1'lik kısmı altın madenciliğinde kullanılmaktadır.

### *1.3.3.1 Türkiye'nin Jeolojisi*

Türkiye'nin jeolojisi ve metalojenisi çok karmaşıktır. Birbirinden farklı jeolojik ortamlarda oluşmuş çok çeşitli kayaçlar görülebilmektedir. Değişik oluşumlu ve çok sayıda maden yatağının oluşturduğu bir metalojenik çeşitlilik vardır. Batı Anadolu'da neojenden beri bir genişleme tektoniği egemendir. Bunun sonucunda bölgede çok sayıda graben oluşmuştur ve bu yöreler, epitermal cevherleşmeler açısından önem taşıyan jeotermal sistemler bakımından da zengindir. Bu

özellikleriyle Batı Anadolu, ABD’de epitermal altın yataklarının bulunduğu Bassin and Radge bölgesiyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Ayrıca, epitermal altın yataklarının iz elementi olarak önem taşıyan Sb ve Hg cevherleşmeleri Batı Anadolu’da çok sayıdadır.

Doğu Karadeniz Bölgesinde ise, altın yatakları açısından önemli olan masif sülfid ve porfiri yataklarını oluşturmuş bir yitim zonu manyetizması zonu etkin olmuştur. Bu bölgemiz, bugün önemli altın yataklarına sahip Güneydoğu Asya ve Okyanusya ile aynı tektonik kuşaktadır ve benzer jeolojik ortamlar görülmektedir.

İç Batı Anadolu bölgesindeki yataklanma çeşidi ise K. Amerika, Orta Avrupa ve Avustralya’da görülen makaslama zonlarındaki mezotermal kuvars damarlarıyla benzerlik göstermektedir. Bu bölgede çok eski yıllarda yapılmış çalışmalarda özellikle Orta Avrupa’dakine benzer bir mineralojik parajenez mevcuttur. İşletilebilirliği söz konusu olan altın yatakları ve rezervleri Tablo 1.3’de verilmiştir.

Tablo 1.3 İşletilebilirliği Söz Konusu Olan Altın Yataklarının Rezervleri (Şubat 2000)

YATAK	TENÖR (gr/ton)		REZERV (ton)	METAL İÇERİĞİ (ton)	
	Au	Ag		Au	Ag
İzmir-Bergama Ovacık	9	11	2980000	26,82	32,78
İzmir-Seferihisar Efem Çukuru	12,65	-	2500000	31,62	-
Uşak-Eşme Kışladağ	1,43	-	74000000	105,8	-
Balıkesir-Havran Küçükdere	6,43	11,8	1410000	9,07	16,64
Eskişehir-Sivrihisar Kaymaz	6,04	5,3	974000	5,88	5,17
Gümüşhane-Mescitli Mastra	12	-	1000000	12	-
Çanakkale ,Kıralı Akbaba	1,25	-	8000000	10	-
Artvin-Cerrattepe	4	140	8200000	32,8	1148
Demirşapka	1,2	25	3900000	4,68	97,5
<b>TOPLAM</b>				<b>240</b>	<b>1300</b>

### 1.3.3.2 Gümüşhane-Mastra Altın Madeni

1.3.3.2.1 *Gümüşhane İli Bölgesel Jeolojisi.* Gümüşhane Bölgesi'ndeki ana cevherleşmeler skarn, damar ve saçınım tipte görülürler. Esas cevher türü olarak demir, bakır, altın, gümüş, kurşun, çinko, molibden, demir sülfürler ve barit sayılabilir. Skarn cevherleşmeleri Zigana Formasyonu ve kireçtaşlarıyla ilgilidir. Demirdere mevkiinde demir mineralleri çoğu durumlarda daha baskın olmasına karşın bazı yerlerde örneğin Kürtün civarındaki Belen Tepe'de Cu-Pb-Zn demire eşlik ederler.

Damar tip (çatlak dolgusu) cevherleşmeler Gümüşhane Graniti ile Zimonköy (Hamurkesen) Formasyonu ve esas bileşimini andezitik lav ve andezit piroklastlarının oluşturduğu Ali Baba (Venk Yayla) Formasyonu arasında görülür. Bu damar tip yataklar küçük fakat yüksek tenörlüdürler. Ana cevherleri, Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Sb ve barittir. Bu damarların genel doğrultuları D-B veya KB-GD'dur. Köstere Cu-Pb-Zn madeni, Mastra altın ve gümüş madeni ve Midi (Karamustafa) sfalerit madenidir. Karadağdere ve Gümüştuğ (Avliyana)'da bulunan antimuan (Stibnite) damarları ise altın ve gümüş içermezler (Tüysüz ve Özdoğan, 1994).

Gümüşhane Graniti içinde yüksek tenörlü sadece baritten oluşan damarlar mevcuttur, ancak bunlar göreceli olarak küçük ölçektir. Barit damarları yakın zamana kadar işletilmiş, halen de aralıklı olarak işletilmektedir. Saçınım halindeki cevherleşmeler Tersiyer yaşlı granodiyorit ile ilişkilidirler. Cevherleşme granodiyorit stokları içinde, Zigana Formasyonu yakınlarında ve kontaklarda oluşur. Gümüşhane ilinde bulunan mevcut bazı metalik madenlerin tenör ve rezervleri Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4 Gümüşhane İlindeki Bazı Metalik Madenlere Ait Tenör ve Rezerv Değerleri (MTA raporları:1983-2005); (Türk-Japon ekibi,1985); (Tüysüz ve Özdoğan, 1994); (Güner ve diğerleri,1995)

Bölge	Madenin Adı	Cevher Türü	Cevherleşme Tipi	Tenör	Rezerv (ton)
Eski Gümüşhane	Hazine Mağara	Ag, Pb, Au, Pb, Zn	Dolgu tip- ornatım	2,55 g/t Au 89 g/t Ag	150.000 muh. 45.000 gör.
	Kırkpavli Madeni	Au, Ag, Pb, Zn	Damar tip	4,9 g/t Au 22,5 g/t Ag	934.000 toplam.
	Dere madeni	Au, Ag, Pb, Zn, Py	Damar tip	580,6 g/t Ag	Bilinmiyor
Mescitli- Mastra	Mastra Madeni	Au, Ag, Pb, Zn	Epitermal, damar tip	12 g/t Au 20 g/t Ag	1.000.000 gör. 12 ton metal Au 20 ton metal Ag
Midi- K.Mustafa	Midi Madeni	Zn,Pb cevheri	Damar tip, ornatım	%26 Zn	500. 000 gör.+muh
Torul-Kalkanlı Bölgesi	Köstere Madeni	Cu,Pb,Zn	Hidrotermal damar tip	% 2,3-15,4 Cu % 1,4-15,2 Pb %5,0-18,75 Zn	450. 000 muh. 2 750 000 müm.
	Istala Madeni	Cu, Zn, Ba, Au	Stratiform -masif sülfür	% 2,27 Cu	140.000(müm.+ muh.)
	Eskiköy Madeni	Pb, Zn, Cu	Hidrotermal, damar tip	% 20,96 Pb % 8,45 Zn %1,25 Cu	Bilinmiyor
Kürtün Bölgesi	Belen Tepe	Cu,Pb,Zn	Skarn tip	% 7,8 Cu, % 1,38 Pb, % 18,57 Zn	Bilinmiyor
	Melek Madeni	Cu, Fe	Skarn tip	% 2 Cu	Bilinmiyor
	Düzköy Madeni	Cu, Pb, Fe	Porfiri tip	----- -	Bilinmiyor
Torul-Karadağ Bölgesi	Karadağ Madeni	Cu, Pb, Fe	Porfiri tip		1.000.000 potansiyel
	Havliyana- Mezra	Barit (BaSO <sub>4</sub> )	Damar tip	%85 BaSO <sub>4</sub>	>10.000 (1984)
	Avliyana Madeni (Gümüştüğ)	Antimuan (Sb)	Epitermal, damar tip	% 60 Sb	-----
Arzular-Kaletaş- Olucak Bölgesi	Arzular (Sobran)	Au, Ag	Epitermal, damar tip	1,0-64 g/t Au 16,6150g/tAg	-----
	Kaletaş Madeni	Au,Ag	Epitermal, damar tip	3,3-10 g/t Au	750.000 gör. +muh.5 ton metal Au
	Olucak Madeni	Au, Ag,	Epitermal, damar tip	1,43 g/t Au	14.425 gör.+muh.

*1.3.3.2.2 Mastra Altın Madeni Jeolojisi.* Mastra altın madeni Torul'un 10 km güneyinde Aktaş Dağının yaklaşık 1-2 km KB'sındaki dik kuzey yamaçta yer alır. Madene Torul-Gümüşhane yolundan ayrılan yol boyunca yaklaşık 6 km ilerde Mastra (Demirkaynak) Köyü'nden ulaşılır. Yakın zamanda (son 20 yıl içinde) keşfedilen yatak, Eosen yaşlı Venk Yayla Formasyonunun (Ali Baba Formasyonu) hornblendli andezit lavları ve piroklastları içinde damar ve ağsal tipte gelişmiştir.

Mastra epitermal altın yatağı, K50-70°B doğrultulu ve 65-80°KD'ye eğimli bir fay zonu içinde yer alan birçok silis kafalarından oluşmuştur. Bu silisleşmiş damarlar sistemi, 10-120 m genişliklerde ve doğrultu boyuna yaklaşık 2,5 km uzunluktadır. Damar sisteminin 13 km'si altınlı kuvars damarcıklarından oluşur. Damarlar etrafında yoğun hidrotermal alterasyon gelişmiştir. Cevherli kısımla birlikte en fazla görülen alterasyon tipi, silisleşme ve adularya damarcıklarının oluşumudur. Gri renkli ve kalsedon içeren silisleşme, altın mineralizasyonu ile yakından ilgilidir. Gri renkli kuvars içerenler en yüksek altın değerine sahiptirler. Silisleşmiş zonlar arjilik ve serizitik alterasyonlarla çevrelenirler.

En dışta klorit ve epidotun yaygın olduğu propilitik alterasyon izlenir (Tüysüz ve diğer., 1995). Mastra'da altın cevherleşmesi hem cevher filizleri hem de ağsal damarlarla birlikte bulunur. Cevher filizleri daha fazla altın içerirler. Cevher filizlerini içeren silis kafaları, genelde merceksi ve düz şekillerde olup derine doğru daralan huni şekilli bir yapıya dönüşürler. Bol gözenekli silis kafalarında izlenen kuvars, masif ve kompakt yapıdadır. Yatakta yersel olarak hidrotermal breşler görülür. Esas cevher mineralleri altın, gümüş, kalkopirit ve sfalerit olup pirit bunlara eşlik eder. Altın, kuvars içinde serbest ve düzensiz taneler şeklindedir.

Madende cevherleşmenin kökeni ve mineralojisi hakkında yapılan çalışmalara göre, altın ve gümüşle birlikte galen (kurşun), sfalerit (çinko) ve daha az miktarlarda da kalkopirit, arsenopirit, pirit, dijenit, kovelin gibi cevher mineralleri bulunmaktadır. Gang mineralleri olarak kuvars, kalsit, ankerit, jips, illit, klorit, limonit, jarosit, alunit ve adularya bulunur (Tüysüz ve diğer., 1995). Ağsal damarlar önemli miktarlarda altın ve gümüş içerirler. Altın taneleri 10-200 µm boyutu

arasında değişir ve çoğunlukla kuvars içinde kapanlanmıştır. Madende sülfid mineralizasyonunun baskın olduğu yerlerde altın konsantrasyonu da yüksektir.

Madende cevher üretimi, kapalı ve açık ocak işletmeleri şeklinde yapılmaktadır. Kapalı işletme tekniği olarak, geleneksel kes-doldur yöntemi seçilmiştir. Cevher yukarı doğru alınarak üretim yapılacaktır. Maden ömrünün altı yıl sürmesi beklenmektedir ve bu süre zarfında yapılacak olan madencilik faaliyetleri neticesinde 17,3 ton altın ve 7,8 ton gümüş cevheri elde edilmesi planlanmaktadır.

Mastra Yeraltı İşletmesi'nde Temmuz 2008'den bugüne kadar 1058 m ana nakliye yolu ve 1716 m üretim galerisi sürülmüş olup bugüne kadar toplam 65000 ton cevher üretimi gerçekleştirilmiştir. Açık ocak işletmesinde Mayıs 2007 den bugüne kadar 316000 ton cevher üretilmiş ve 5300000 m<sup>3</sup> pasa kazısı yapılmıştır.

Maden ocağından çıkarılan cevher, maden yakınında kurulmuş olan tesiste işlenerek, altın ve gümüş karışımından oluşan "Dore" külçeler halinde dökülmektedir. Cevher işleme sırasında kullanılan yöntemin seçimi isteğe bağlı değildir. Yöntem, cevherin yapısına göre değişir. Laboratuvar testlerinin sonuçlarına göre hangi yöntemin kullanılacağına karar verilir.

Mastra cevherindeki altın çok ince taneli (ortalama 0,005 milimetre) olduğundan, dünyadaki bu tür altın tesislerinde olduğu gibi Mastra'da da siyanürleme yöntemi uygulanmaktadır. Bu tür altını cevher içerisinden almanın bilimsel ve teknik tek yolu siyanürleme işlemidir.

Siyanürleme işlemi, çelik tanklar içerisinde çevreye kapalı bir sistemde uygulanmaktadır. Siyanürün, kontrolsüz ve çevreyi etkileyecek bir biçimde açıkta kullanılması söz konusu değildir. Tesisten çıkan atıklar arıtmadan geçirilerek insan sağlığı ve çevre güvenliği açısından zararsız hale getirilmektedir. (www.kozaaltın.com , 2010).

## **BÖLÜM İKİ**

### **ALTIN CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

#### **2.1 Altın Cevherinin Zenginleştirilmesi**

Altın yer kabuğunda ortalama olarak tonda 0,0035 gram (3,5 ppm) oranında bulunur. Oysa günümüzde kârla 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 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 ( $\text{FeS}_2$ ), arsenopirit ( $\text{FeAsS}$ ), kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), stibnit ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) ve realgar ( $\text{AsS}$ ) 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.

Günümüzde cevher içerisinde gözle görülemeyecek kadar çok ince taneli dağılmış bulunan altın taneciklerini kazanmak amacıyla kullanılan geleneksel yöntem, siyanürle altının zenginleştirilmesi yöntemidir. Siyanür prosesinin dünya çapında kabul görmesinin nedeni, yöntemin son derece basit ve kendini kanıtlamış oluşudur. Bununla birlikte cevher içerisindeki iri taneli altının kazanımında çeşitli gravite yöntemleri sıklıkla uygulanmaktadır.

Altın cevherleri genel olarak serbest öğütme (free milling), kompleks ve refrakter cevherler olarak sınıflandırılabilir (La Brooy vd, 1994). 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 (Deschenes vd., 2005). Geleneksel siyanür liçi ile ekonomik altın eldesi sağlanamayan cevherler refrakter altın cevherleri olarak adlandırılmaktadır. Daha yüksek siyanür ve oksijen ilavesiyle ekonomik olarak kazanılabilen cevherler ise "kompleks" cevher olarak



tanımlanmaktadır (Pyke, 1999). Cevher refrakterliğinin sınıflandırılması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Cevher refrakterliğinin sınıflandırılması (La Brooy vd, 1994)

Altın Kazanımı: <%50	Yüksek refrakter
Altın Kazanımı: %50-80	Orta refrakter
Altın Kazanımı: %80-90	Hafif refrakter
Altın Kazanımı: %90-100	Refrakter olmayan (serbest öğütme cevherleri)

### ***2.1.1 Serbest Öğütme Cevherleri***

Plaser cevherler ön hazırlama gerektirmeyen cevherlerdir. Geleneksel olarak bu cevherler gravite zenginleştirilmesi gibi fiziksel metotlar ile zenginleştirilirler. Modern gravite zenginleştirme cihazları olan Knelson ve Falcon konsantratörlerinde gravite kuvvetine ilave olarak santrifüj kuvvetten de yararlanıldığı için, çok ince taneli altın partikülleri kazanılabilmektedir. Tasarlanan diğer bir fiziksel proses, kömür-yağ aglomerasyonudur. Bu yöntem alivüal cevherler ve diğer serbest altın cevherleri için önerilmektedir.

### ***2.1.2 Kompleks Cevherler***

Kompleks cevherler yüksek siyanür, oksijen tüketen ve altın adsorbe eden cevherler olarak sınıflandırılabilir.

### ***2.1.3 Refrakter Altın Cevherleri***

Refrakter cevherlerde arsenopirit, pirit ve kalkopirit başlıca altın kilitleyen sülfür mineralleridir. Refrakter sülfidik altın cevherler için üretim yöntemi tercihi komplekstir ve büyük ölçüde mineraloji ve altının yerleşimine bağlıdır. Refrakter altın cevherlerinin ön hazırlığında kullanılan iyileştirme işlemleri termal işlemler, fiziksel işlemler, biyolojik işlemler, siyanür liçi, nötralizasyon gibi işlemlerdir (Çilingir, 1996).

Siyanür liçi altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Zenginleştirme ön işlemleri olarak flotasyon, gravimetrik zenginleştirme, oksitleme kavurması, klorlama, aglomerasyon uygulanır. Bu işlemlerden hangilerinin uygulanacağı cevher tipine göre değişir. Cevher tiplerine göre zenginleştirme yöntemleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Cevher tiplerine göre altına uygulanan zenginleştirme yöntemleri (Çilingir, 1996)

<b>Cevher Tipi</b>	<b>Zenginleştirme Yöntemi</b>
Alüvyal altın	- Gravimetrik zenginleştirme - Amalgamasyon
İnce taneli serbest damar tipi cevherler	- Gravimetrik zenginleştirme - Amalgamasyon - Direk siyanürleme-Aktif karbon in pulp
İnce taneli serbest sedimanter cevherler	- Direkt siyanürleme - Refrakter karbon muamelesi-Siyanürleme
Altın tellüridler	- Kolliktif flotasyon-Kavurma-Siyanürleme - Flotasyon-Siyanürleme-Siyanürleme artığının kavrulması-Tekrar siyanürleme
Pirit ve markasitli altın cevherleri	- Flotasyon-Konsantrenin ergitilmesi - Flotasyon-Siyanürleme
Pirotinli altın cevherleri	- Düşük alkali ortamda havalandırılarak siyanürleme - Direkt siyanürleme-Siyanürleme artığının flotasyonu - -Flotasyon konsantresinin tekrar siyanürlenmesi veya Kavurma ve tekrar siyanürleme
Arsenopiritli altın cevherleri	- Direkt siyanürleme - Flotasyon-Kavurma_siyanürleme - Bakteri liçi-Siyanürleme
Bakırlı altın cevherleri	- Flotasyon-Elektrolitik rafinasyon-Anot şlamı - Flotasyon-Molibden konsantrelerinin siyanürlenmesi
Refrakter karbonatlı altın cevherleri	- Kavurma-Siyanürleme - Klorlama-Siyanürleme - Grafit flotasyonu-Artığın siyanürlenmesi
Kurşun-çinkolu altın cevherleri	- Flotasyon-Kavurma-İzabe

## 2.2 Altın Cevheri Zenginleştirilmesi

### 2.2.1 Otomatik Tavuklama İle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi

Altın cevheri 75-30 mm arasında kırıldığında altınsız serbest gang mineralleri bulunuyorsa ve bu gang minerallerinin atımı, takip edecek işlemleri kolaylaştırıcaksa, otomatik tavuklama ile ön zenginleştirme yapılır. Bu zenginleştiriciler altınlı tanelerin renk veya radyoaktif özelliklerinden yararlanarak ayırma yaparlar. Cevherde, steril gang ile altınlı parçaların arasındaki yansıtma farkını azaltan tozlanma varsa, cevher yıkandıktan sonra ön zenginleştirilir. -75 + 32 mm tane boyutlarında ufalanmış cevherlere uygulanan bu yöntemin zenginleştirme verimi %95'in üzerindedir (Çilingir, 1996).

### 2.2.2 Amalgamasyonla Altın Cevheri Zenginleştirilmesi

Amalgamasyon ile altın zenginleştirilmesi eski çağlardan beri uygulanan bir yöntemdir. Civa zehirli olduğu, dolayısı ile işçi ve çevre sağlığını olumsuz etkilediği için amalgamasyon ile civa zenginleştirilmesi zamanla azalmaktadır. Altının ve gümüşün civa ile ara yüzey gerilimi bu iki asil metalin su ile ara yüzey geriliminden çok düşüktür. Nabit altın ve nabit gümüş yüzeyleri pulp içinde civa ile temas edince yüzeyleri civa ile tamamen kaplanarak  $AuHg_2$ ,  $Au_8Hg$  gibi civa-altın, civa-gümüş bileşikleri yaparlar. Dış yüzeyi bu civa ile kaplı nabit altın, nabit gümüş parçacıkları civa içerisinde hapsedilirler. Nabit altın ve elektrik dışındaki altın mineralleri yüzey gerilimlerinin uygun olmaması nedeniyle amalgam yapamazlar. 400 mikrondan ince nabit altın tanelerinin amalgamasyonu güç olmaktadır. Ayrıca ortamda demir oksitlerin, demir sülfürlerin, tellüridlerin, arsenik, antimuan ve bizmutun varlığı amalgamasyonu güçleştirir civa sarfiyatını artırır. Bu yan elementlerden dolayı altın gümüş kazanma verimi düşük olduğundan, amalgamasyon artıklarına siyanür liçi uygulanarak, kayıplar geri kazanılır. Arsenik ve antimuanın amalgamasyona olumsuz etkisini gidermek için arsenikli, antimuanlı altın kavrulup arsenik ve antimuan uzaklaştırılır (Çilingir, 1996).

Pulp içerisindeki gang civadan etkilenmez. Bu nedenle nabit altın ve gümüş içeren cevherler amalgamasyon masalarında, amalgamasyon tavalarda, amalgamasyon tamburlarında civa ile temas ettirilirlir. Belli bir miktar civa işlendikten sonra, konsantratördeki altın-gümüşlü civa gangtan kolaylıkla ayrılır. Au-Ag içeren civa preslenerek veya destile edilerek içerisindeki altın ve gümüş kazanılır. Preslenmiş amalgam civasında ise %0,13 Au kalmaktadır. Bu sırada destilasyon işlemi ile civa geri kazanıldığında destilasyondan gelen civada %0,1 Au bulunur.

Bu yöntem sadece belirli tip cevherlere uygulanabilmektedir. Bu nedenle amalgamasyon yoluyla altın üretimi giderek ortadan kalkmaktadır.

### ***2.2.3 Flotasyonla Altın Cevheri Zenginleştirilmesi***

Altın ve gümüş cevherleri; pirotin, Cu, As, Sb, içeren mineraller gibi siyanidleri ve bütümlü karbon ile grafit içeriyorsa; bu elementler siyanür liçi işleminde güçlük çıkarırlar. Zira bunlar altın liçi için gerekli oksijeni ve siyanürü harcarlar. Arsenik ve antimuan, çözülmüş altın ve gümüş bileşiklerindeki altının yerine geçen bileşikler oluştururlar. Bütümlü karbon ve grafit ise altınlı çözeltilerdeki altın, gümüş iyonlarını adsorbe ederek liç verimini düşürürler. Ayrıca altın gümüş cevherlerindeki tellurid minerallerinin siyanür liçi ile çözündürme verimleri oldukça azdır. Bu nedenlerden;

- a) Siyanürlenecek cevherdeki zararlı elementleri uzaklaştırmak,
- b) Siyanürlemede çözünmeyen telluridleri kazanmak,
- c) Gravite zenginleştirilmesi ve amalgamasyon işlemlerinin artıklarındaki altın gümüş kaçaklarını geri kazanmak,
- d) Yüksek tenörlü altın ön konsantreleri üretmek için altın, gümüş cevherleri flotasyonla zenginleştirilir.

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

verimliliği, tane büyüklüğü ve tane şekillerine göre değişmektedir. İri altın tanelerinin (+200 µm) yüzdürülmesi çok zor ve zor olduğu için de maliyetlidir.

Flotasyon yöntemi sayesinde, cevherdeki ağır metaller uzaklaştırılır, tellürlü bileşimler kazanılır, gravimetrik zenginleştirme ve amalgamasyon sonucu oluşan artıklar kazanılır. Altının sülfürlü minerallerde bulunması halinde toplayıcı olarak ksantatlar, ditiyosülfatlar, köpürtücü olarak krezelik asit, çam yağı ve alkoller kullanılır.

Bu yöntemin çok zengin bir konsantre elde etmek gibi bir avantajı olmasına karşın, bu tip konsantrelerden siyanürleme yöntemiyle Ekstraksiyon zordur. Bunun nedeni, altın veya sülfür minerallerinin yüzeylerine soğurulmuş toplayıcıların bu yüzeyleri pasifleştirmesidir.

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

#### ***2.2.4 Liç İşlemleriyle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi***

1970'li yıllardan itibaren değerlendirilmeye başlanan düşük tenörlü altın cevherlerine de uyum sağlayan liç yöntemleri; altın, gümüş cevherleri zenginleştirilmesinde küçük, orta ve büyük boy tesislerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Çözündürme yöntemleri olarak çok fakir cevherlere yığın, fakir ve zengin cevherlere karıştırma liçi uygulanır. Çözündürücüler dikkate alındığında siyanür liçi, thiourea liçi, thiosülfat liçi, bromin liçi, klorin liçi, iodin liçi söz konusudur. Altın, gümüş ekstraksiyonunda thiourea liçi kullanılmakla beraber en yaygın olarak kullanılan yöntem siyanür liçidir (Çilindir, 1996).

Son zamanlarda oldukça dikkat çeken thiourea (tiyoüre) ( $\text{NH}_2\text{-CS-NH}_2$ ) özellikle refrakter cevherlerde altın çözücü olarak önem kazanmaktadır. Çünkü bu tipteki

cevherler direkt olarak siyanür içinde çözünmemekte ve siyanürizasyon öncesi yoğun bir işlemler dizisine gerek duyulmaktadır.

Siyanüre göre en önemli avantajı zehirli olmayışıdır. Altının tiyoüre içinde çözünme kinetiği serbest altın cevherleri dışında siyanürden daha hızlıdır. Ayrıca tiyoüre çözünme sırasında ortamdaki yabancı metal iyonlarına siyanür kadar duyarlı değildir. Özellikle demir mineralleri altının tiyoüre içindeki çözünme reaksiyonları için gerekli olan oksitleyici ferrik iyonları sağlamaktadır. Bu özellikler tiyoüreyi direkt olarak siyanürlenmeye müsait olmayan belirli tip cevher ve konsantreler için cazip hale getirmektedir. Ancak bunun yanı sıra bazı dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Çok düşük ve dar pH (1,4-1,6) aralığında çalışmayı zorunlu kılmaktadır. Bu dar aralıkta pH'ı sabit tutmak zor olduğundan sürekli asidik ortam oluşmaktadır.
- Asidik ortamda çözülecek olan ağır metaller çözeltiliye geçerek çevre açısından problem teşkil etmektedir.
- Liç ortamda tiyoürenin oksitlenmesini engellemek için yardımcı kimyasal maddelere gerek vardır.
- Nitrite dönüşümü mümkün olduğundan kanserojen olma riski vardır.

#### *2.2.4.1 Siyanür Liçi ile Altın Cevheri Zenginleştirilmesi*

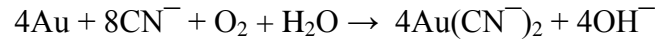
Siyanür işlemiyle altının elde edilmesi 1890 yılından başlayıp günümüze kadar devam etmektedir. Bu işlemin metal kazanma veriminin çok yüksek olması ve işlem sonunda her yere kolayca taşınabilen küçük bir altın külçesinin elde edilebilmesi nedeniyle siyanür liçi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Cevher içerisinde bulunan, özellikle bakır, arsenik, antimuan ve pirotin gibi mineraller siyanürü anormal derecede harcayan, altın ve gümüşün çözeltiliye geçmesini zorlaştıran maddelerdir. Söz konusu bu zararlı mineraller siyanisid adı ile bilinmekte olup, etkilerini azaltmak ve koruyucu bir alkalilik oluşturmak için sisteme kireç eklenir. Kirecin diğer bir önemli görevi de, çözeltideki gangin çökenmesini kolaylaştırmaktır.

Cevher siyanür liçi öncesinde boyut küçültme, sınıflandırma işlemlerinden geçirilmektedir. Bazen zararlı minerallerin uzaklaştırılması amacıyla ön zenginleştirme yapılır. Boyut küçültme, cevher özelliğine bağlı olarak gerekli tane büyüklüğünü (-0.075 mm ) sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Eğer cevher herhangi bir ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmayacaksa, öğütme sırasında değirmene siyanür çözücüsü beslenir. Bu ön işlemlerden sonra siyanürleme ile altın kazanılması için konsantre veya cevher;

1. Altının alkali siyanürle çözündürülmesi,
2. Çözeltinin artıklarından ayrılması ve artıkların yıkanması,
3. Çözeltiden altının çökeltilmesi-kazanılması,
4. Konsantrenin rafine edilmesi ve ergitilip külçe olarak dökülmesi işlemlerinden geçirilir (Çilindir, 1996).

Altının serbestleşebildiği veya siyanür anyonunun katı fazdaki altına ulaşip reaksiyon verebileceği en uygun tane iriliğine öğütülen pülp içindeki cevher, içinde oksijenin de bulunduğu bazik ortamda,



reaksiyonuna girerek, altın siyanür kompleksi halinde sıvı faza geçmektedir. Siyanürleme pH değerinin 10-11 dolayında tutulması, ortamdaki  $\text{CN}^-$ 'nin hidroliz yoluyla HCN gazına dönüşmesinin engellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ortamın pH kontrolü sönmüş kireç ilave edilerek yapılmaktadır.

Pirit ve arsenopiritli kompleks cevherler dışında, fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin yetersiz kaldığı düşük tenörlü ve çok ince taneli tüm altın cevherlerinin ekonomik koşullarda değerlendirilmesine olanak sağlayan siyanürleme yöntemi, günümüzde altın üretiminde tek seçenek olarak uygulanmaktadır. Pirit ve arsenopiritli altın cevherlerinin flotasyon ile zenginleştirilip kavruktan sonra siyanürlenmesi, siyanür tüketimini azaltmaktadır (Yıldız, 2007).



### 2.2.5 Gravimetrik Yöntemlerle Altın Cevheri Zenginleştirilmesi

Altının sahip olduğu yüksek özgül ağırlığı onun cevher içinde birlikte bulunduğu minerallerden yoğunluk farkına göre zenginleştirilebilmesini sağlar. İki ana tip yoğunluk farkına göre zenginleştirme yöntemi vardır.

Bunların ilki sıvı akımda zenginleştirilmedir. Burada genellikle su kullanılır. Sıvı akımda zenginleştirmede; düşey hareketli akışkan ortamda (jig) veya tabaka halinde akan akışkan ortamda (masalar, vanerler, oluklar vs.) çalışılır. Her ikisinde de ayırma sadece özgül ağırlık farkına göre değil, kütle, şekil, pülp yoğunluğu ve akışkan hızına bağlıdır. Bu konuda pek çok zenginleştirme cihazı bulunmaktadır. Şu anda en çok kullanılanları; jigler, düz masalar ve sallantılı masalardır.

İkinci tip yoğunluk farkına göre zenginleştirme, ağır ortamda ayırmadır. İnce ferrosilikonun su ile karıştırılmasıyla yüksek yoğunlukta bir ortam elde edilir (ortalama olarak 2,9 gr/ℓ). Düşük özgül ağırlığa sahip partiküller bu sıvı içinde yüzerken yüksek özgül ağırlıkta olanlar batar. Bu ayırım yerçekimine bağlı olarak tamburlarda (statik) veya santrifüj kuvvete bağlı olarak siklon (dinamik) gibi ekipmanlarda yapılmaktadır. Bu sınıflandırıcıların ürünleri bir sonraki ayırma işlemi olarak eleme ve yıkamaya tabi tutulmaktadır. Ortamın viskozitesi dolayısıyla statik ağır ortam ayırıcıları için ayırma sınırı 6 mm, dinamik ağır ortam ayırıcıları ise 0,3 mm'dir. Altının bu tane boyutunda çok nadir bulunmasından ötürü bu yöntem altında fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Gravite yönteminin seçiminde ve verimli olarak uygulanabilmesinde minimum tane boyutunun belirlenmesi için 'taggart konsantrasyon kriteri' kullanılmaktadır.

$$K = (d_a - d_s) / (d_h - d_s)$$

K :Konsantrasyon kriteri

$d_a$  :Ağır mineral yoğunluğu, gr.cm-1

$d_h$  :Hafif mineral yoğunluğu, gr.cm-1

$d_s$  :Sıvı ortamın özgül ağırlığı, gr.cm-1

Burada;  $K > 2,5$  ise çok küçük boyutlara kadar serbestlesme derecesi bagli olarak bütün gravite yöntemleri kolayca uygulanabilir (Wills, 1997). Gravite ile ayırmanın etkinligi tane boyutunun azalmasıyla azalır. Buna ragmen yeni gelistirilen santrifüjli ayırıcılar ile ince taneli cevherler etkin bir sekilde zenginlestirilebilmektedir (Ling, 1994). Pratikte 40  $\mu\text{m}$  - 2 mm arasındaki taneler iri tanelerdir. Altın taneleri için tercih edilen cevherin serbestlesmis olması gerekir ve daha çok plaser yataklardan altın kazanımı gravite yöntemleriyle yapılmaktadır (Laplante vd., 1995).

Gravite ile zenginleştirmede altın taneleri tercihen serbest ve iri olmalıdır. Serbestleşen altının hemen devreden alınmasında yarar vardır. Ön zenginleştirme işlemi olarak gravite zenginleştirmenin kullanımı şu avantajları sağlamaktadır (Adams, 2005).

➤ İri altın tanelerinin siyanür çözeltilerinde tamamen çözünmesi uzun zaman alır. Örneğin 150  $\mu\text{m}$  boyutunda saf altın tanesi için teorik çözünme süresi 44 saattir. Gravite yöntemler ile büyük tanelerin önceden ayrılması liç işlemlerinin süresini kısaltmaktadır. Ayrıca liç işlemlerinde harcanacak reaktif miktarının azalmasının yanında, çözeltiden altının kazanılması sırasında daha düşük aktif karbon maliyetleri oluşacaktır.

➤ Altın tanelerinin yüzeyleri siyanürle çözünmeyi engelleyecek düzeyde özellikle demir oksit ya da organik bileşiklerle kaplanmış olabilir. Bu tip konsantrelerde altın yüzeylerinin ek bir işlemle temizlenmesi gerekir. Gravite yöntem ile alınan konsantre miktarı toplam cevher kütlesinin küçük bir bölümü olacağından bu tür ikincil işlemlerin uygulanmasını ekonomik açıdan engellemez.

➤ Altının özgül ağırlığının çok yüksek olması nedeniyle kapalı öğütme devrelerinde devreden yükün gravite ile zenginleştirmeye tabi tutulması gerekir. Gravite yöntem ile elde edilen konsantreler doğrudan izabe edilemeyecek nitelikte ise amalgamlanır ve atıklarına siyanür liçi yapılır (Vincent, 1997).

Gravite zenginleştirmesi çevresel ve insan sağlığı açısından daha az risk oluşturmasının yanında reaktif kullanımının olmaması nedeniyle liç yöntemlerine göre daha ekonomik yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen temiz konsantre

direk izabeye gönderilerek metal daha ucuza ve daha kısa sürede elde edilebilmektedir. Elde edilen düşük tenörlü atıklar ise liç ile tekrar değerlendirilebilmektedir.

Gravite sonrası elde edilen yüksek tenörlü ve düşük kütleyle sahip konsantreler yoğun siyanür liçi (%2 CN) kullanarak yüksek Au verimleriyle (>%98 Au) kazanılmaktadır. Elde edilen yüksek konsantrasyona sahip olan çözelti katı sıvı ayırımından sonra ya doğrudan elektrolize ya da karbon adsorpsiyonu devresine gönderilmekte ve yüksek saflıkta altın elde edilmektedir. Çevresel açıdan problem yaratan kalsinasyon ve ergitme gibi işlemlere ihtiyaç duymadan gerçekleştirilen bu proseslerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşük olmaktadır (Longley vd., 2003).

Son yıllarda ince veya çok ince taneli ağır minerallerin kazanımında santrifüj kuvvetin uygulanması etkin bir teknoloji getirmiştir. Tane üzerine etkiyen santrifüj kuvvet gravite kuvvetin 50 katıdır. Uygulanan santrifüj kuvvetin şiddeti arttıkça kazanılacak tanelerin boyutu daha ince olmaktadır. Santrifüj ayırıcısında oluşturulan santrifüj kuvvet ( $F_c$ ) şu şekilde ifade edilmektedir (Magumbe, 2002).

$$F_c = \left(\frac{\pi}{6}\right)(d_p)^3 \cdot (\delta_s - \delta_l) \cdot r \cdot w$$

$F_c$ : Santrifüj kuvvet,  $gr/cm^2$

$r$  : Tanenin bulunduğu yer arasındaki değişme mesafesi

$d_p$  : Tanenin çapı,  $cm$

$\delta_s$ : Tanenin yoğunluğu,  $g/cm^3$

$\delta_l$ : Ortamın yoğunluğu,  $g/cm^3$

$w$ : Tanenin açısal hızı,  $radyan/sn$

Merkezkaç kuvvetiyle etkilenen tane boyutu oluşturulan santrifüj kuvvete bağlıdır. Santrifüj film tabakasında askıda kalan kritik tane boyutu aşağıda verilmektedir (Xiao, 1998).

$$d_{cr} = k_0^4 \sqrt{\frac{g}{w^2 \cdot r}}$$

$d_{cr}$ : Kritik tane boyutu, cm

$k_0$ : Oransal sabit

$g$ : Gravite kuvveti

$w$ : Tanenin açısal hızı, radyan/sn

$r$ : Tanenin bulunduğu yer arasındaki değişme mesafesi

Günümüzde modern gravite cihazları olan Knelson, MGS ve Falcon kullanılmaktadır. Bu cihazlar sayesinde klasik yöntemlere nazaran daha ince partiküller zenginleştirilebilmektedir. 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).

#### 2.2.5.1 Falcon Konsantratör İle Zenginleştirme

Falcon Konsantratör aralarında özgül ağırlık farkı olan mineralleri birbirinden yüksek şiddetli bir santrifüj ortamda ayırır. Malzeme, yüksek hızda dönen rotor mekanizmasına pulp olarak beslenir. Besleme malı, kazanılmak istenen yüksek yoğunluklu konsantrenin toplandığı yer olan konsantrasyon zonuna gelir. Bu zonda ağır mineraller toplanırken, hafif olanlar suyla birlikte rotorun dışına taşınır. Rotor cidarına yapışan konsantre belirli aralıklarla manuel yada otomatik cihaz durdurulduktan sonra dışarı alınır.



Şekil2.1 Falcon konsantratör

Patentli dizaynı oldukça basit olup, hareketli bölümleri az, bakımı kolay ve aşınmaya maruz kalan kısımları kauçuk ile kaplanmıştır. Falcon Konsantrator 300 G'ye kadar santrifüj kuvvet oluşturmaktadır.

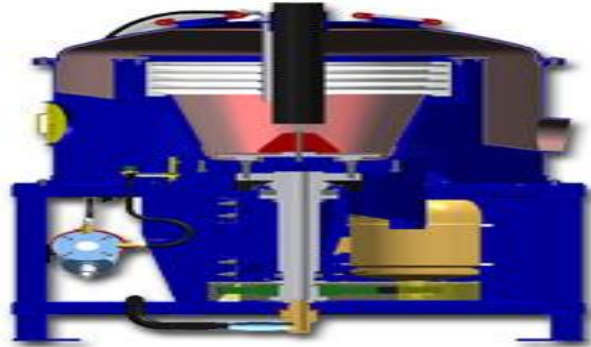
#### 2.2.5.1.1 Falcon Konsantrator Tipleri

- Falcon SB Serisi
- Falcon C Serisi
- Falcon UF Serisi

2.2.5.1.1.1 Otomatik Olarak Kesikli İşlem Yapan 'SB' Modeli. Kesikli işlem yapan konsantratörlerdir. Bu seri konsantratörlere bulamaç halinde beslenen malzeme içindeki en yoğun taneleri zenginleştirmek için yapılmışlardır. Bu nedenle beslenen malzemenin çok az bir kısmını çok yüksek tenörlü konsantre miktarı olarak vermektedir. Alınan bu değerli konsantre besleme malının yaklaşık %1'ne denk gelmektedir.

Elde edilen metal konsantrelerinin tenörleri çok yüksektir ancak miktarları çok düşüktür. Kesikli olarak çalışan Falcon SB serisi konsantratörü başarılı bir şekilde doğal olarak bulunan altın gümüş zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca sıvılaştırma suyunun etkisi ile SB serisi konsantratörler besleme malı içinde bulunan kaba taneleri de kazanabilirler.

6 mm boyuta kadar kaba taneleri zenginleştirebilir ancak besleme malı 6 mm ye ayarlı bir elekten geçirilmelidir. 200 G santrifüj kuvveti üretebilmektedir.



Şekil 2.2 Otomatik olarak kesikli işlem yapan 'SB' modeli

Besleme ortada bulunan borudan konsantratörün dip kısmına yapılır. İç kısımda bulunan dağıtıcı tarafından dağıtılan malzeme düz ve eğimli rotor koniğinin alt kısmına doğru itilir. Rotor koniğinin alt kısmında yüksek G kuvveti ile taneler tabakalaşmaya ve konik boyunca yükselmeye başlar daha sonra koniğin üst tarafında bulunan kanallara malzeme birbirine bağlı kanallar ve santrifüj kuvvetinin etkisi ile doldurulmaya ve koniğin iç duvarları boyunca yükselmeye başlar. Her kanalın dolması ile bir konsantrasyon yatağı teşkil edilmiş olur.

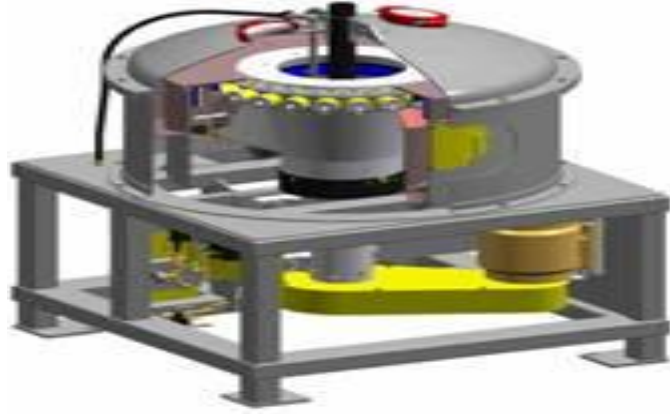
Konsantre yatağı oluşmuşken aynı zamanda konik kanallarının dibinde bulunan sıvılaştırma suyu kanallarından su verilmeye devam etmektedir ve bu sıvılaştırma suyunun kuvveti malzemenin tamamen katı ve kompakt hale gelmesini engeller. Bulamaç ve sıvı haldeki malzemenin içindeki taneleri bu sayede yer değiştirebilir. Santrifüj kuvvetinin etkisi altındaki tanelerden ağır olanları hafif taneler ile yer değiştirir ve koniğin halkalarında birikmeye başlar. Ağır taneler konik halkalarında birikirken hafif taneler koniğin üst kısmından taşarak uzaklaşır. Konsantre yani ağır taneler, konik halkalarının kapasitesini tamamen doldurunca, konsantrasyon döngüsü tamamlanmış olur.

Konsantrasyon döngüsü tamamlandıktan sonra önce sıvılaştırma suyu kesilir. Konsantratör yavaşlatılır, koniğin konsantrasyon halkaları yıkanır ve konsantrenin dip kısmında bulunan karıştırıcının boşaltma deliklerinden alınması sağlanır.

*2.2.5.1.1.2 Sürekli İşlem Yapabilen 'C' Modeli.* 300 G kuvvetine kadar çıkan santrifüj kuvvetlerinde çalışırlar. Falcon C serisi konsantratörler sürekli çalışan tipte konsantratörlerdir. Sürekli devreye konsantre akışı sağlarlar, operasyon değişkenlerine bağlı olarak beslenen malzemenin kütlesinin %40'ına kadar konsantre akışı sağlamaktadırlar. Sıvılaştırma suyu olmadan çalışan Falcon C serisi konsantratörler, ince tane sınıfında beslenen pulp halindeki malzemeyi yoğunluk farkına göre, yüksek yoğunluk ve düşük yoğunluklu ürünler olarak ayırmaktadır. Beslenen malzeme diğer konsantratörlerdeki gibi sıvılaştırma suyuna ihtiyaç duyulmadan yüksek verimlikte zenginleştirilmektedir.

Falcon C serisi konsantratörlerinde kanallara bağlı basınçlı hava ile çalışan boşaltma nozılları vardır. Operasyon kriterlerine göre bu nozıllardan yoğun taneler belirli aralıklarla emilir ve kanallara gelecek malzeme için sürekli yere açılır. Bu nozıl kapakçıkları basınçlı hava ile çalışmaktadır.

Yoğun taneler bu basınçlı hava ile çalışan nozıllardan konsantre boşaltma kanallarına aktarılır ve konsantratör bu sayede sürekli olarak konsantre üretir.



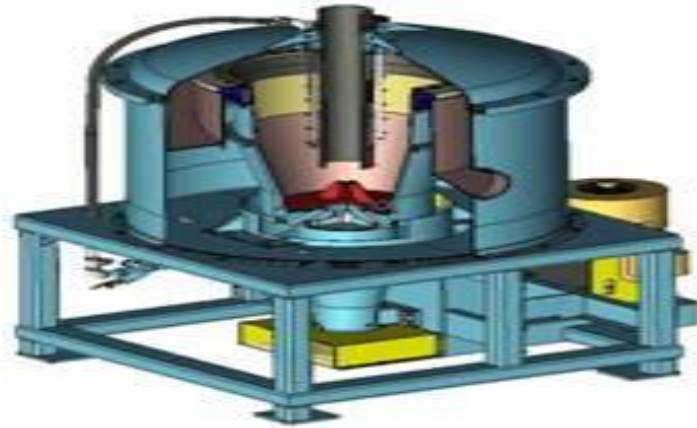
Şekil 2.3 Sürekli işlem yapabilen 'C' modeli

*2.2.5.1.1.3 Falcon UF Serisi Konsantratörler.* 350 G ye kadar santrifüj kuvveti oluşturmaktadır. Bu sayede hareketlendirme suyu olmadan çalışırlar. Kesikli tip çalışan konsantratörlerdir, çok ince tane boyutunda serbest metalleri zenginleştirmek için yapılmıştır. Çok yüksek tenörlü konsantre üretirler ancak besleme malının boyutunun 1 mm'den az olması gerekmektedir. Daha verimli bir zenginleştirme için 1 mm'den de daha ince tane sınıfında malzeme konsantratöre beslenmelidir.

Falcon UF konsantratörü kesikli çalışan bir ekipmandır, besleme yapıldıktan sonra konsantrenin alınması için makinenin durdurulması ve konsantrenin yıkanması gerekir.

Besleme ortada bulunan borudan konsantratörün dip kısmına yapılır. İç kısımda bulunan dağıtıcı tarafından dağıtılan malzeme düz ve eğimli rotor koniğinin alt kısmına doğru itilir. Rotor koniğinin alt kısmında yüksek G kuvveti ile taneler tabakalaşmaya ve konik boyunca yükselmeye başlar daha sonra koniğin üst tarafında

bulunan kanallara ağır yoğunluklu taneler birikmeye başlar. Yoğunluğu düşük taneler ise bu konsantrasyon yatağının üstünden geçerek ince tane alım teknesine taşarlar ve oradan alınır. Konsantre yani ağır taneler, konik halkalarının kapasitesini tamamen doldurunca, konsantrasyon döngüsü tamamlanmış olur. Konsantratör yavaşlatılır besleme kesilir ve koniğin konsantrasyon halkaları yıkanır. Konsantrenin dip kısmında bulunan karıştırıcının altındaki boşaltma deliklerinden alınması sağlanır.



Şekil 2.4 Falcon UF serisi konsantratörler

*2.2.5.1.1.4 Falcon Süper Bowl Altın Konsantratörü.* Falcon süper bowl altın konsantratöründe besleme malı cihazın üst tarafındaki merkezi borudan pülüp olarak verilir ve bir karıştırıcı tarafından ivmelendirilir. Santrifüj kuvvet alanının etkisi altında, kauçuk ile kaplı rotor duvarı boyunca özgül ağırlığa göre bir tabakalaşma meydana gelir. Bu zonda ilave suya ihtiyaç yoktur.

Taraklı tutma zonunda, yüksek yoğunluğa sahip altın partikülleri bu tarakların arasına girer ve cihaz durdurulup konsantre dışarı alınmaya kadar burada tutulur. Konsantrenin boşaltılması standart AutoPAC sistemi ile 30 sn'den az bir zamanda otomatik olarak yapılır.

Falcon konsantratör ilk olarak plaserlerden ve değirmen devrelerinden ince altının kazanımında kullanım olanağı bulmuştur. Son olarak; süpürme, birinci veya ikinci devresi olarak çoğu gravite uygulamasında etkin olarak kullanılmaktadır.



Falcon konsantratör kullanım alanlarından bazıları şu şekildedir;

#### ALTIN

- Ana olarak kazanım ve ergitme düzeyine getirmek için temizleme
- Ergitme seviyesine getirmek için ikinci temizleme
- Artık süpürme
- Sülfür süpürme

#### BASE METALLER

- Öğütme işleminden sonra serbest altının kazanımı
- Ergitme seviyesine getirmek için altın konsantrasyonunun tenörünü yükseltme
- Artık ve orta ürünlerin süpürme işlemi ve tenör yükseltme
- Artıklardan altın süpürme

#### DİĞER MİNERALLER

- Ana kazanım ve temizleme
- Artık ve orta ürünlerin süpürme işlemi ve tenör yükseltme
- Kalay
- Demir
- Titanyum
- İnce elmas

#### ATIK İŞLEME

- Tehlikeli atıkların kazanımı ve konsantrasyonu
- Toprak temizleme
- Belediye atıklarından metal kazanımı

#### DİĞER UYGULAMALAR

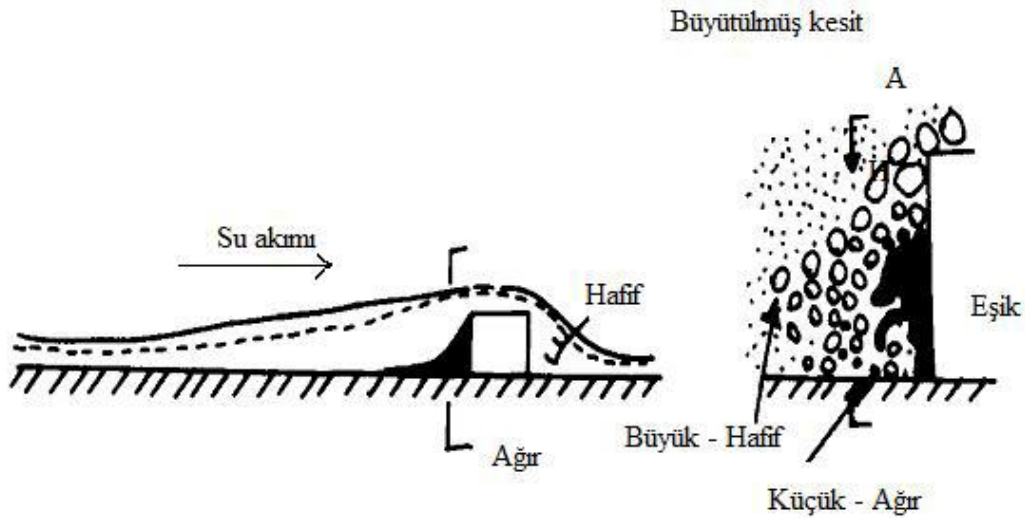
- İnce kömürden sülfürün giderilmesi
- Yağ kumları metal süpürme ve atımı

### 2.2.5.2 Sallantılı Masalarla Zenginleştirme

Tabaka halinde akışkan ortamda ayırma yapan ve ayırıcı yüzeyi hareketli olan bir cihazdır. Sallantılı masa esas olarak üzerinde tabaka halinde akışkan akışı olan dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzeydir. Uygun bir mekanizma ile masanın uzun eksenini doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri – geri hareket ettirilir (Gence, 1985).

Sallantılı masa yüzeyindeki ayırmanın etkinliğini arttırmak için masa yüzeyi eşiklerle kaplanır. Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından konsantre kenarına doğru azalarak konsantre kenarında sıfır olmaktadır (Aydın, 2001).

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazen de eşiksizdir. Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur. Bunun sonucunda hem etkili bir ayırma yapılabilir hem de masa kapasitesi artar (Önal, 1985).



Şekil 2.5 Akan su tabakasında katı hareketi üzerindeki eşik etkisi (Bayat, 2009)

Sallantılı masalarda maksimum performansa ulaşmak için dikkat edilmesi gereken faktörler;

*2.2.5.2.1 Besleme Mali.* Masalarda hem boyut hem de yoğunluğa göre bir ayırım söz konusu olduğundan besleme malının önceden bir tane sınıflandırmasına tabii tutmak sallantılı masanın kapasitesini ve verimini artıracaktır. En büyük tane iriliği kömür için yaklaşık 18 mm ve cevher için 1.7 mm olan malzeme sallantılı masalarda işleme tabi tutulabilir. Alt boyut ise yüksek özgür ağırlığa sahip cevherlerin bazı uygulamalarında 0.025 mm ye kadar inmektedir.

*2.2.5.2.2 Özgül Ağırlık.* Sallantılı masalar pulp halinde aralarında yeterli özgül ağırlık farkı bulunan mineralleri birbirinden ayırabilir. Zenginleştirme kriteri 1,25'in üzerinde olan herhangi iki mineral birbirinden başarılı bir şekilde ayrılabilir. Ancak mineraller arasında şekil farkı mevcutsa, zenginleştirme kriteri 1,0 civarında olsa bile ayırma yapılabilir.

*2.2.5.2.3 Eşik Konumu.* Masalar genelde iki tiptir;

(a) derinlik ve yoğun eşik yapı sistemi ile tanımlanan ve iri tanelerin zenginleştirildiği kum masaları,

(b) çok ince taneli ve az yoğunluklu malzemenin eşikler üzerinde kayarak uzaklaştırılmasının amaçlandığı çok az derinliğe sahip şlam masaları.

Eşikler arası mesafe en büyük tanenin boyutunun en az 3 katı olmalıdır.

*2.2.5.2.4 Kapasite.* Sallantılı masanın kapasitesi beslenecek malzemenin tane boyutu ve özgül ağırlığı ile işlemin (kaba zenginleştirme veya temizleme) cinsine bağlıdır. 1,7-1,2 mm boyutlarındaki cevherin zenginleştirilmesinde normal boyutlardaki bir masanın kapasitesi 2 t/sa.'dir. Şlam masalarında ise 0,1 ton/sa.'e kadar kapasite inmektedir.

*2.2.5.2.5 Hız ve Genlik.* Ortalama hareket iri malzeme için hızı dakikada 230-285 gidip-gelme ince malzeme için ise 285-325 arasındadır. Ortalama hareket genliği 19 mm olup 25 mm'ye kadar çıkabilir. İri taneli malzeme için uzun genlik- düşük hız,

ince malzeme için ise kısa genlik-yüksek hız kullanılır. Kaba ayırmada uzun genlik düşük hız, temizlemede ise kısa genlik- yüksek hız kullanılır.

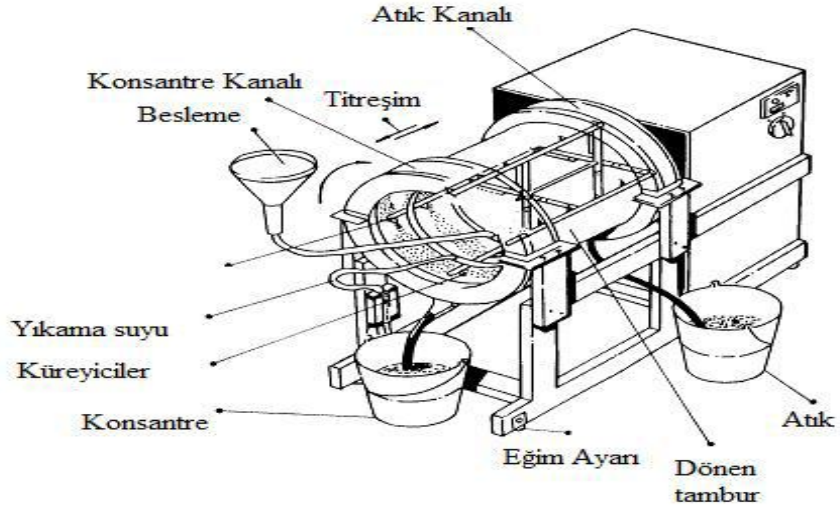
*2.2.5.2.6 Masa Eğimi.* Sallantılı masaların eğimi, cevher boyutuna, ayrılacak minerallerin özgül ağırlığına, ayırma cinsine ve yıkama su miktarına göre değişir. İnce cevherler için 1/48 - 1/24, iri cevherler için 3/48 - 1/12 ve kaba zenginleştirmede 1/6'ya kadar eğim kullanılır.

*2.2.5.2.7 Su Sarfıyatı.* Sallantılı masalarda su sarfıyatı beslenen malzemenin tane iriliğine ve işlemin cinsine (kaba veya temizleme) göre değişir. Kaba zenginleştirmede 1,4 ton su/ton cevher, temizlemede ise 1,2 ton su/ton cevher kullanılır. Şlam masalarında ise 10 ton su/ton cevhere kadar su harcaması çıkmaktadır. Masalarda ilave verilen su miktarı yaklaşık tüm su sarfıyatının %25'i kadardır.

*2.2.5.2.8 Bakım.* İşlemin durmasına yol açan en büyük neden masa eşiklerinin ve kaplamanın değiştirilmesidir. Günümüzde kullanılan modern masaların yüzeyi kauçuk veya maun ile kaplandığından ömürleri en az 10 yıl olmaktadır (Bayat, 2009).

### *2.2.5.3 Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) ile Zenginleştirme*

İngiliz Teknoloji Grubu desteğinde Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiş ve endüstriyel ölçekte kullanımı gerçekleştirilen bir gravite ayırıcısı olan multigravite cihazı, sallantılı masa düzeninin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir. Bu tamburun belirli hızla döndürülmesiyle mineral tanelerine karşı etkin olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yan katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.6 MGS ünitesi şematik gösterimi (Chan ve ark, 1994)

Cihaz (Şekil 2.6) bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda 0,5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6-24 G değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşturacak şekilde 150-300 dev/dk hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda aksel doğrultuda 4-5,7 cm.sn-1 frekansla 10-20 mm arasında değişen sinüsoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir.

Tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler kat taneleri tamburun dar, açık dış ağzına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS ünitesi %20 katı oranında 0,2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir.

MGS ünitesindeki ayırma işlemi için uygun katı oranındaki pül, belirli bir basınçla hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye beslenir. Bir anlamda besleme sırasında oluşacak türbülans etkisi azaltılmaktadır. Yıkama suyu ise tamburun üst çıkış ucuna yakın bir noktadan verilir. Ağır veya yüksek özgül ağırlıklı mineraller akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle adeta katı halde tabaka oluşturmaktadır. Akışkan tabakanın üst yüzeyleri ise büyük oranda katı taneler içermeyen sulu durumda hafif mineralleri kapsar (Yıldırım ve ark. 1995).

Gövdeye verilen titreşim hareketiyle; akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır, özel olarak dizayn edilmiş küreyicilerse tambur yüzeyinde hareket ederlerken tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınır. MGS, dört yıllık bir süreç içinde geliştirilmiş ve bu süreç içinde değişik parametrelerin incelendiği beş prototip makine yapılmıştır.

Bu prototiplerde;

- Dikey, yatay, silindirik ve gittikçe daralan konik gövdeler
- Kesikli ve sürekli işlem
- Dairesel ve aksenal titreşim, asimetrik hareket
- Küreyici dizaynı, yıkama suyu gibi parametreler denenmiştir.

MGS ünitesi yukarıda sözü edilen prototipin üstün özelliklerini bir arada toplamıştır. Bunlar;

- Hafif konik yatay tambur,
- Sürekli işlem,
- Aksenal Titreşim
- Tek bir küreyici sistem (Chan ve ark., 1994).

C900 tipi Mozley firmasının ürettiği Multi Gravity Separator cihazının çalışma parametreleri şu şekildedir;

- Tambur dönme hızı : 100 – 300 dev/dk
- Tambur salınım frekansı : 4/4,8/5,7 dev/sn
- Tambur salınım genliği : 10/15/20 mm
- Tambur eğim açısı : 0-90
- Yıkama suyu miktarı : 0 – 10 l/dk
- Besleme kapasitesi : maksimum 200 kg/s (kuru)



Şekil 2.7 C 900 Laboratuvar tipi Mozley MGS ayırıcı

Laboratuvar Tipi MGS (Şekil 2.7) hafif konik, açık çıkışlı, 0,5 m çap 0,6 m uzunluktaki bir tamburdan ibarettir. Tambur yüzeyinde meydana getirilen 6 ile 24 G yerçekimsel çekime eşit, merkezkaç, kuvvet ile saat istikamet yönünde 150 ile 300 dev/dk arasında değişen hızla döndürülür. Tambur içine bir küreyici monte edilmiştir. Bu, tamburla aynı istikamette fakat biraz daha hızlı döner.



Şekil 2.8 Endüstriyel çapta Mozley multi gravite ayırıcı (Pınar Madencilik, 2010)

Endüstriyel çapta MGS, pilot çaptakinin genişletilmiş bir şeklidir (Şekil 2.8). Tek bir krank mili ile titreşim mekanizmasının sağlanabilmesi için sırt sırta monte edilmişlerdir. Bir tambur tarafından açığa çıkarılan titreşim diğerinden açığa çıkan titreşim ile dengelenir. 2 t/h kapasiteye kadar dizayn edilirler.

#### 2.2.5.4 Knelson Konsantratör İle Zenginleştirme

Knelson ayırıcısı (KC) Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada’ da patenti alınmış, dünyada damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür. Standart Knelson ayırıcısı, 6 mm ya da daha az üst besleme boyutuyla çalışabilmektedir (Patchejieff vd., 1995). Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranına sahip olması Knelson konsantratörlerinin en büyük avantajlarını oluşturmaktadır (Alp ve ark., 2004 ; Celep ve ark., 2005).

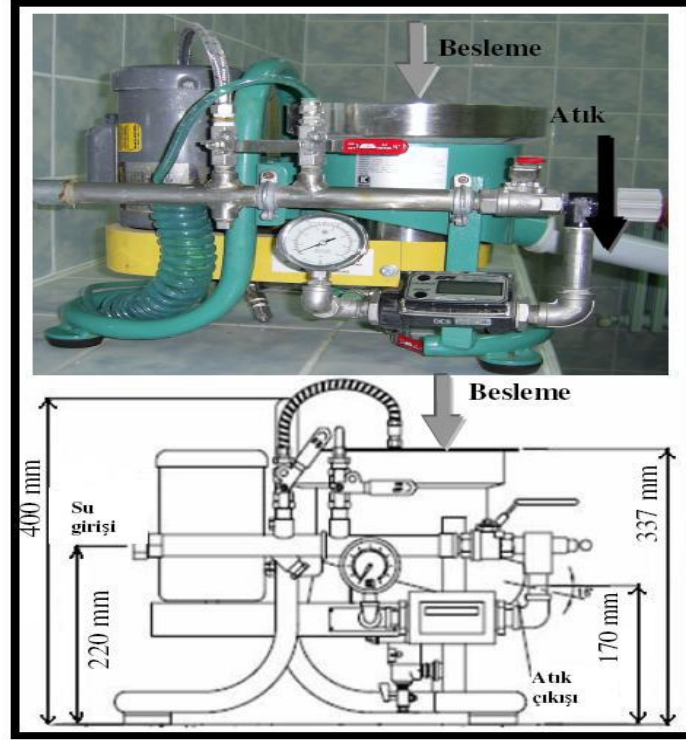
Knelson konsantratörleri altın cevherlerin için ön zenginleştirici olarak dizayn edilmiştir. Metalürjik atıklardan, nehir kumlarından ve farklı cevherlerden değerli metallerin kazanımı için endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca plaser ya da cevherdeki serbest altın tanelerinin kazanımında öğütme işlemi sonunda serbest altının kazanılmasında, birincil, ikincil veya üçüncül zenginleştirme aşamalarında kullanılabilindiği gibi temizleme ve süpürme işlemlerinde de kullanılabilir.

Knelson konsantratör santrifuj kuvvetinin esas olduğu çanak tipli bir cihaz olup, yüksek hızla dönen oluklu bir konik kısımdan oluşmaktadır. %0-70 katı oranında cevher cihazın üst kısmından beslenmektedir. Artık cihazın çıkış kısmından suyla beraber sürekli olarak atılırken, Batch tipi konsantratörlerde; konsantre temizleme işlemine kadar konik kısmında birikmekte, sürekli çalışan modelde ise belli aralıklarla otomatik olarak cihaz dışına alınmaktadır.

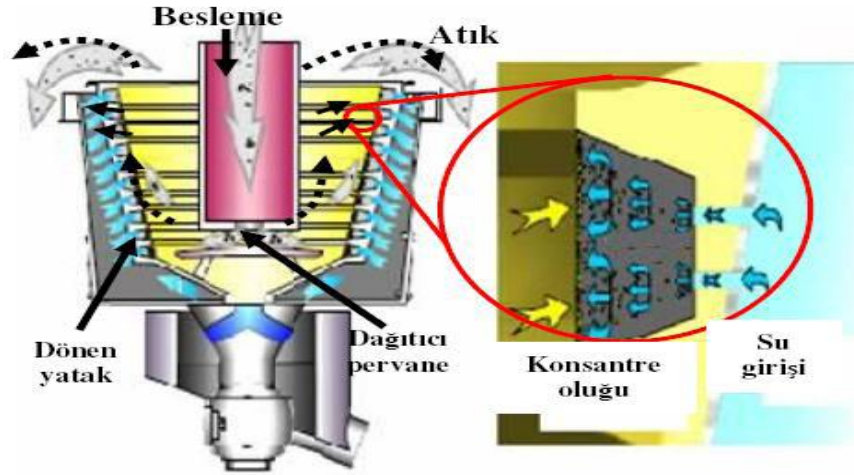
Knelson konsantratörlerde bir santrifuj alan kuvveti içinde engelli çökme klasifikasyonu geçerli olmaktadır. Yüksek dönüş hızlarında çalışan cihazda yer



çekimi ivmesinin 50-60 katı civarında yer çekimi kuvveti üretilebilmektedir. Çanak kısmı, bir dış duvar ve sadece su jetlerinin geçişine izin veren bir geçirgen iç duvardan oluşmaktadır. Dönüş eksenini bu duvar arasına su geçişine izin verecek şekilde içi boş olarak dizayn edilmiştir. Bu duvarın iç yüzeyine altın taneciklerinin toplanması için yiv şeklinde oyuklar açılmıştır.



Şekil 2.9 Laboratuvar tipi Knelson separatörünün şematik gösterimi (Celep,2004)



Şekil 2.10 Knelson ayırıcısının düşey kesiti (Ling, 1998)

Katı-sıvı karışımı pulp konik çanak içerisine verildiğinde çanağın yüksek hızlarda dönmesi ile elde edilen santrifüj kuvvet katı taneleri çanak duvarına doğru yapıştırır. Konik kısmın çevresi basınçlı su ceketini ile çevrelidir. Pulp çanak yüzeyindeki oyukları doldurur, santrifüj kuvvetin tersi yönde oyuklar içerisinden verilen su sayesinde çanak duvarına doğru savrulan katı taneler bu oyuklar içerisinde bir akışkan yatak oluşumuna sebep olur. Hafif partiküller akan su ile dışarı taşınırken, ağır olanlar oluşan santrifüj kuvvetin etkisiyle koninin çeperine yapışmakta ve oluklar arasında tutulmaktadır. Suyun meydana getirdiği bu güç dönen koninin oluşturduğu santrifüj kuvvete karşı bir kuvvettir. Konik çanak içerisindeki terminal hız çok düşüktür, hafif taneler akışkan yatak dışında kalarak kullanılan suya kapılıp cihazı terk ederler. Üretilen bu akışkan ortam sayesinde aynı zamanda konsantrasyonun olduğu bu yatağın kompakt bir yapı oluşturması da engellenmiş olur. Bu sayede oyuklar içerisinden su verilmesini sağlayan deliklerin tıkanması da önlenmektedir.

Gravite kuvvetlerinin etkisi ile en ağır taneler koni şeklindeki çanağın dibine doğru hareket ederek orada birikirler. Hafif taneler ise çanak içerisindeki oyuklarda oluşan akışkan yatağın içerisine giremedikleri için cihazı terkeden su ile beraber dışarı sürüklenirler. Ağır minerallerin etkili olarak kazanılabilmesi için onları konik çanak içerisinde tutabilecek derecede güçlü bir santrifüj alanının oluşturulması son derece önemlidir ([www.knelson.com](http://www.knelson.com)).

Knelson konsantratör plaserlerden ince taneli altın kazanılmasında, öğütme işlemi sonucunda serbestleşen altının kazanılmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Knelson konsantratörler kullanılarak ön konsantreler üretilbildiği gibi, üretilmiş konsantrelerin temizlenmesi veya artıkların süpürülmesi amacı içinde kullanılabilirler.

Tablo 2.3 Knelson ayırıcısının modelleri

<b>Model (çap;cm)</b>	<b>Kapasite (t/h)</b>	<b>Su giriş (lt/dk)</b>	<b>Konsantre Ağırlığı ( kg)</b>
7,62	0,065	2	0,08-0,11
19,8	0,25	20	2-3
30,48	3-4	120	10-20
52,8	12-15	400	30-40
76,2	30-40	1200	60-70

Knelson Konsantratörün altın cevherlerinin zenginleştirilmesi amacı ile kullanıldığı başlıca alanlar;

- Plaser altın
- Öğütme devrelerinde altının kazanılması (Hard rock-Free milling)
- Altın sülfürlerin zenginleştirilmesi
- Düşük tenörlü altın ön-konsantrelerinin tenörünün yükseltilmesi
- Küçük çaplı madencilik faaliyetleri (small scale mining)
- Tesis artıklarındaki altının kazanılmasıdır.

Knelson Santrifüj Separatörün Sağladığı Avantajlar;

- Sağlam ve dayanıklıdır. Özellikle XD serisi Knelson seperatörler zor şartlarda çalışmak üzere dizayn edilmişlerdir.
- Taşınması, montajı ve kullanımı basittir
- Üretilen nabit altının üretiminden cihazdan boşaltımına varıncaya değin güvenli bir şekilde muhafazasını sağlar.
- İşletme ve bakım maliyeti çok düşük olup, yatırımın çok kısa sürede geri dönmesini sağlar.
- Çevresel açıdan herhangi bir sorun yaratmaz.
- Kompak cevherlerin aşırı beslenmesi hariç, besleme hızı değişimlerinden etkilenmez.
- %0-70 katı oranı aralığında rahatlıkla çalışabilir ve tipik olarak 10,000/1 veya daha fazla konsantrasyon oranı sağlayabilmektedir.

Dünyada pek çok altın üretimi yapan şirket, gerek öğütme devrelerine gerekse yoğunluğa dayalı zenginleştirme devrelerine Knelson Konsantratör sistemini entegre etmiş durumdadırlar. Tesislerde flotasyon öncesi iri altın tanelerinin kazanılması veya artık içerisinde kalmış olan tanelerin kazanımı Knelson santrifüj seperatörün bu alanlarda da kullanımına olanak sağlamaktadır.

➤ Knelson esaslı gravite devrelerinde serbest altın kazanımı yüksek kapasite ve verimle gerçekleştirilebilmektedir. Altın kazanımı hızlı, verimli ve düşük maliyetli olmaktadır.

➤ Öğütme devrelerinde Knelson kullanımı öğütme ile boyutu küçültülemeyen altın tanelerinin devrede birikmesini önlemekte, bu tanelerin kazanılmasını takiben nakite çevirebilme imkanını sağlamaktadır.

➤ Altın tane boyutundan etkilenmeyen seperatör bu özelliği ile diğer gravimetrik ayırıcılara karşı açık bir üstünlük sağlamaktadır.

➤ Flotasyon ve Liç devreleri öncesi Knelson kullanımı ile iri altın tanelerinin bu proseslerde yaratabileceği verim kaybı problemleri önlenebilmekte ve bununla ötesinde tesise hızlı nakit akışı sağlanabilmektedir.

#### *2.2.5.4.1 Knelson Konsantratör Tipleri*

*2.2.5.4.1.1 Laboratuar Tipi Knelson Seperatör.* Laboratuar çapta yapılan araştırmalar genelde endüstriyel uygulamaların yolunu açmaktadır. Knelson laboratuar çap santrifüj seperatörler bu alanda oldukça etkili ve doğru projelendirme olanağı sağlamaktadır. 3 farklı model olarak üretilmektedirler.



Şekil 2.11 KC-MD3 : 0-100 kg/h

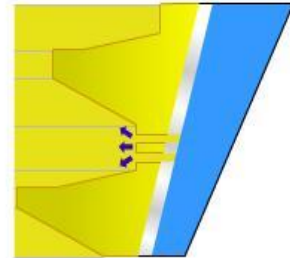
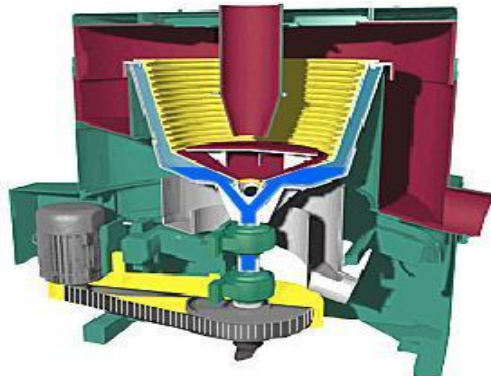


Şekil 2.12 KC-MD 4.5 : 0-605 kg/h



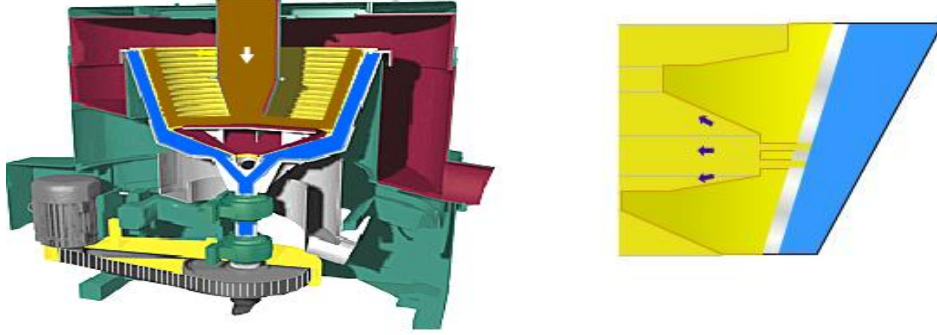
Şekil 2.13 KC-MD 7.5 : 0-1500 kg/h

#### 2.2.5.4.1.2 Kesikli Çalışan (Batch) Tip Knelson Konsantratörler



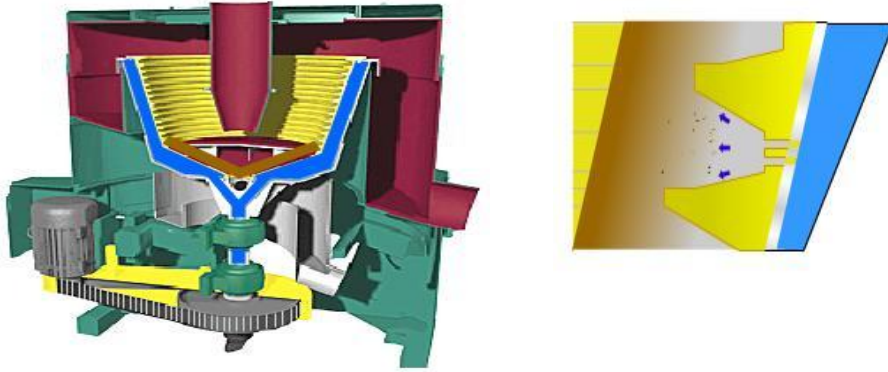
Şekil 2.14 Bacth tip knelson konsantratörler çalışma biçimi kesit görüntüsü

Cihaza verilen su konik çanak içerisine yerleştirilmiş olan oyuklardan içeri dolar.



Şekil 2.15 Baeth tip knelson konsantratörler besleme kesit görüntüsü

Cihaza katı-sıvı karışımı beslenir. Pülp koni dibine ulaştığında santrifüj kuvvet etkisiyle koni duvarına doğru savrulur. Konik çanak içerisine verilen pülp içerisindeki katı taneler oyukları doldurur. Santrifüj kuvvet tersi yönünde oyuklar içerisinden verilen suyun etkisi ile katı taneler oyuklar içerisinde bir akışkan yatak oluşturur.

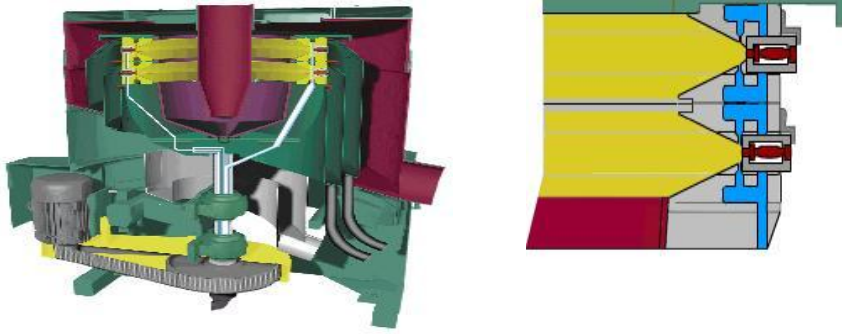


Şekil 2.16 Baeth tip knelson konsantratörler konsatre yataklanma kesit görüntüsü

Ağır katı taneler oyuk dibine yerleşirler. Hafif mineraller akışkan yatak dışında kalarak su tarafından sürüklenip cihazı terk ederler. Belirli bir çalışma süresi sonunda cihaza yeni malzeme ilavesi durdurulur ve konik çanak dibinde birikmiş olan ağır taneler cihaz dışına alınır.

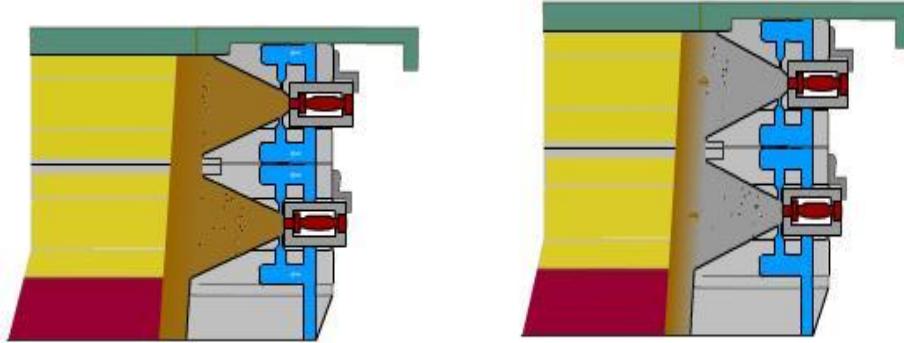
Özellikle altın, platin, gümüş, civa ve nabit bakır zenginleştirilmesinde kullanılabilirler.

#### 2.2.5.4.1.3 Sürekli Çalışabilen (CVD) Knelson Konsantratörler.



Şekil 2.17 Sürekli çalışabilen (CVD) knelson konsantratörler kesit görüntüsü

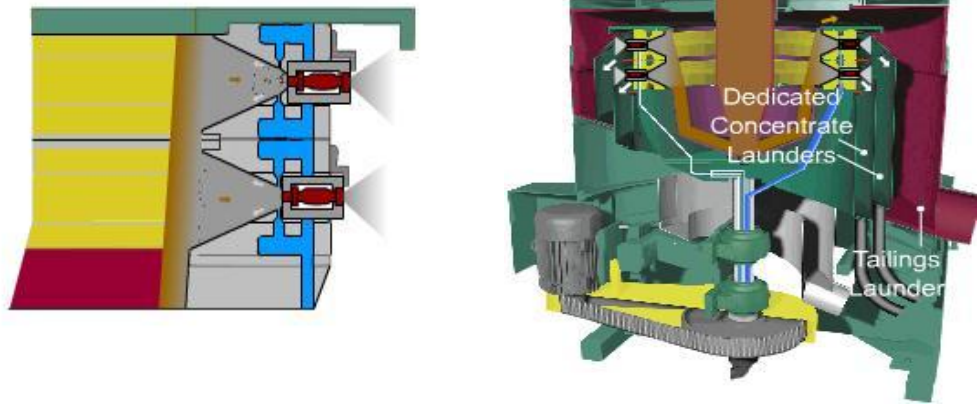
Cihaza verilen su çanak içerisine yerleştirilmiş olan oyuklardan içeri dolar ve cihaza katı-sıvı karışımı beslenir.



Şekil 2.18 Sürekli çalışabilen (CVD) knelson konsantratörler besleme kesit görüntüsü

Pülp koni dibine ulaştığında santrifüj kuvvet etkisi ile koni duvarına doğru savrulur. Konik çanak içerisine verilen pülp içerisindeki katı taneler oyukları doldurur. Santrifüj kuvvet tersi yönde oyuklar içerisinden verilen suyun etkisi ile katı taneler oyuklar içerisinde bir akışkan yatak oluşturur.





Şekil 2.19 Sürekli çalışabilen (CVD) knelson konsantratörler konsantre kesit görüntüsü

Oyuklar içerisine yerleştirilmiş olan valfler kontrollü olarak açılıp kapanarak oyuk diplerine yerleşmiş olan ağır minerallerin koni dışına alınmasını sağlar. Konik çanağı terk eden ağır mineraller ağır mineral tahliye kanalından cihazı terk ederler. Hafif mineraller akışkan yatak dışında kalarak su tarafından sürüklenip cihazı terk ederler.



Şekil 2.20 Sürekli çalışan Knelson seperatörlerin konik çanakları

Sürekli çalışan Knelson santrifüj seperatörler endüstride yaygın olarak aşağıda verilen amaçlar için kullanılmaktadırlar;

- Demir (Talk içerisinde uzaklaştırılması)
- Kasiterit
- Kömür (İnce kömür kazanımı)
- Kromit



- Altın Sülfürler
- Endüstriyel minerallerin geri kazanımı
- Ağır mineral ayırımı

Potansiyel kullanım alanları ise aşağıda verildiği şekilde sıralanabilir;

- Tantalite
- Ilmenit/Rutil
- Demirli alaşımlar
- Mineral kumlarının ön-konsantrasyonu
- Ağır minerallerin ön-konsantrasyonu ve şlam atma (www.knelson.com, 2007)

#### 2.2.5.5 Gravity Recoverable Gold (GRG)

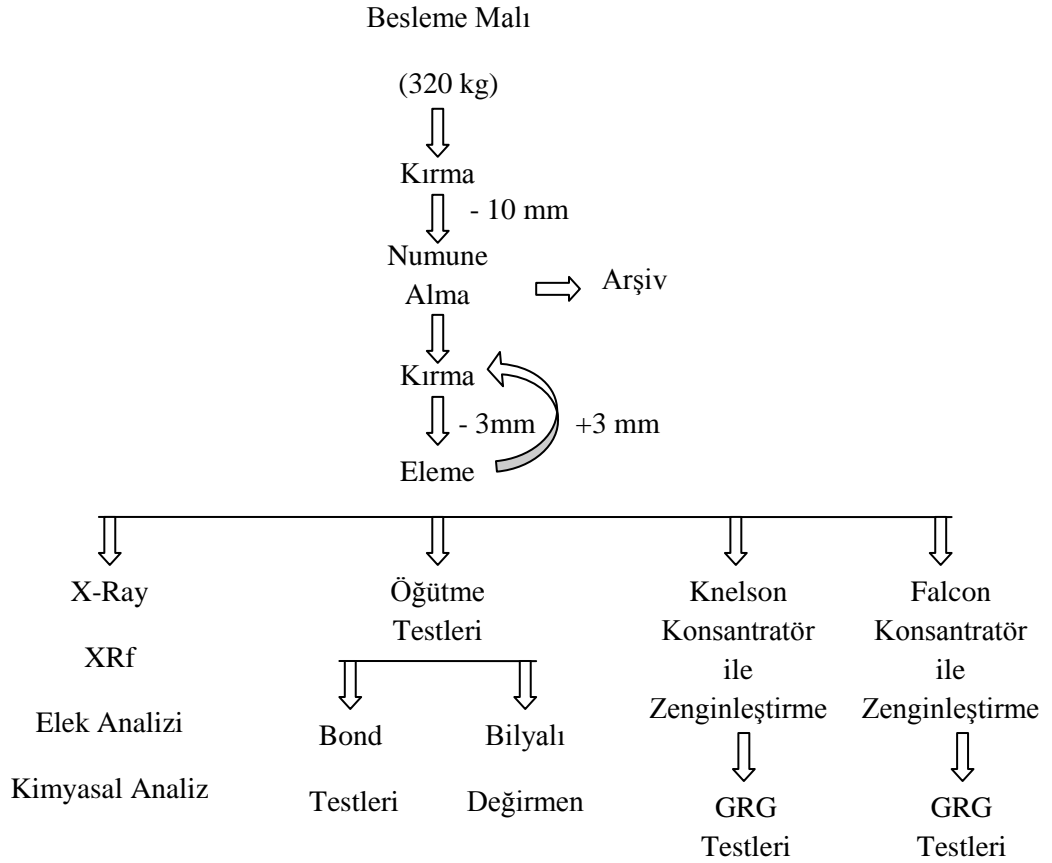
Bu çalışmada Andre R. Lablante'nin altın kazanma verim hesaplamasında kullanılan GRG (Gravity Recoverable Gold) testleri yapılmıştır. Test uygun gravite verimini belirlemek için uygulanmaktadır. Altın endüstrisinde gravite yöntemi ile altın zenginleştirme, flotasyon ve siyanürleme yöntemlerine geçişte by-pass olarak kullanılmaktadır.

Andre R. Laplante'nin 38 farklı cevher üzerinde yapmış olduğu GRG testleri sonucunda en yüksek GRG değerini 297 mikronda %94, en düşük GRG değerini ise 20 mikron tane boyutunda %25 olarak elde etmiştir. Ortama GRG değerini %19'luk standart sapma ile %63 olarak belirlemiştir. (Laplante,Canada)

## BÖLÜM ÜÇ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

### 3.1 Yöntem

Bu çalışmada Gümüşhane (Mastra) altın cevherinin gravimetrik yöntemlerden Knelson ve Falcon gravimetrik separatörle optimal zenginleştirme parametreleri tespit edilerek cevherin GRG (Gravity Recoverable Gold) değerleri Laplante'ın geliştirdiği yöntemle tesbit edilmiştir. Bu amaçla Gümüşhane Mastra Altın İşletmesinden yaklaşık 400 kg numune temin edilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların genel akım şeması Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1 Gümüşhane (Mastra) altın cevheri laboratuvar çalışmaları akım şeması

### 3.2 Numune Hazırlama

320 kg besleme malı ilk olarak laboratuvar tipi çeneli ve merdaneli kırıcılardan geçirilerek – 10 mm tane boyutuna indirilmiştir. Numune alma işlemi (dörtleme) yapıp malzeme azaltılmış ve deneylerde kullanılacak 300 kg malzeme ayrılmıştır. Ayrıca yaklaşık 20 kg kadar cevher arşive ayrılmıştır. Azaltılan numune tekrar çeneli kırıcı ile kırma işlemine tabi tutulup kontrollü bir şekilde -3 mm tane boyutuna indirilmiştir. Daha sonra cevherin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

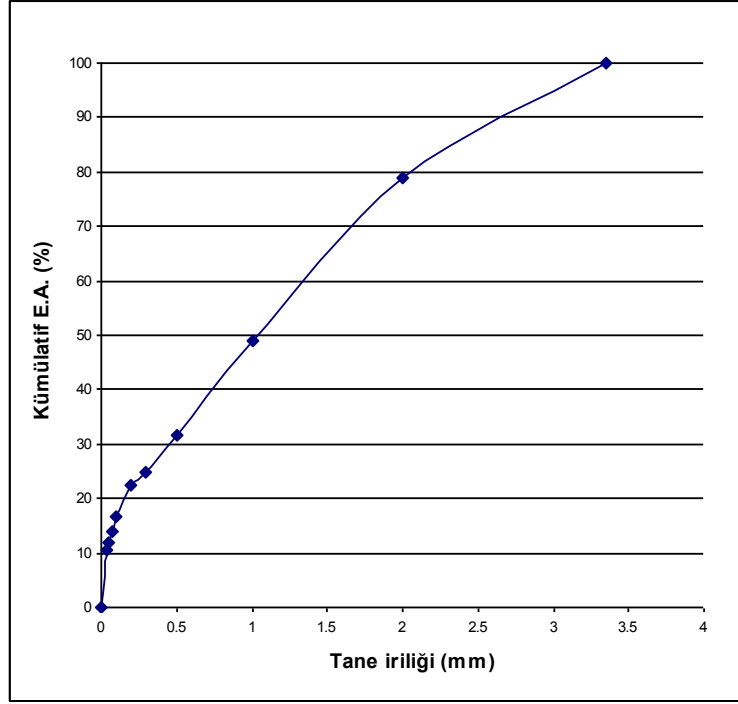
### 3.3 Elek ve Kimyasal Analiz Çalışmaları

#### 3.3.1 Elek Analizi

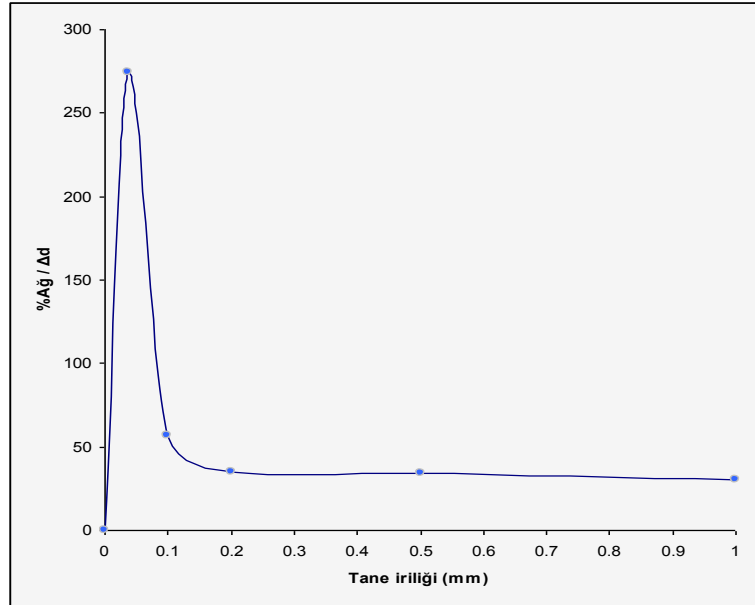
- 3 mm boyutuna getirilen cevherin tane boyut dağılımı için yapılan elek analizleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.2’de elek altı eğrisi ve Şekil 3.3’de cevhere ait normal dağılım eğrisi verilmiştir.

Tablo 3.1 Besleme malı elek analizi

Tane Boyutları (mm)	Ağ (gr)	Ağ (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
3-2	125,6	21,07	100,00
2-1	179,02	30,03	78,93
1-0,5	102,46	17,19	48,90
0,5-0,3	41,95	7,04	31,72
0,3-0,2	13,53	2,27	24,68
0,2-0,1	33,84	5,68	22,41
0,1-0,075	17,31	2,90	16,73
0,075-0,053	11,64	1,95	13,83
0,053-0,038	8,56	1,44	11,88
0,038-0	62,21	10,44	10,44
<b>Toplam</b>	596,12	100,00	



Şekil 3.2 Besleme malı kümülatif elek altı eğrisi



Şekil 3.3 Besleme malı normal dağılım eğrisi

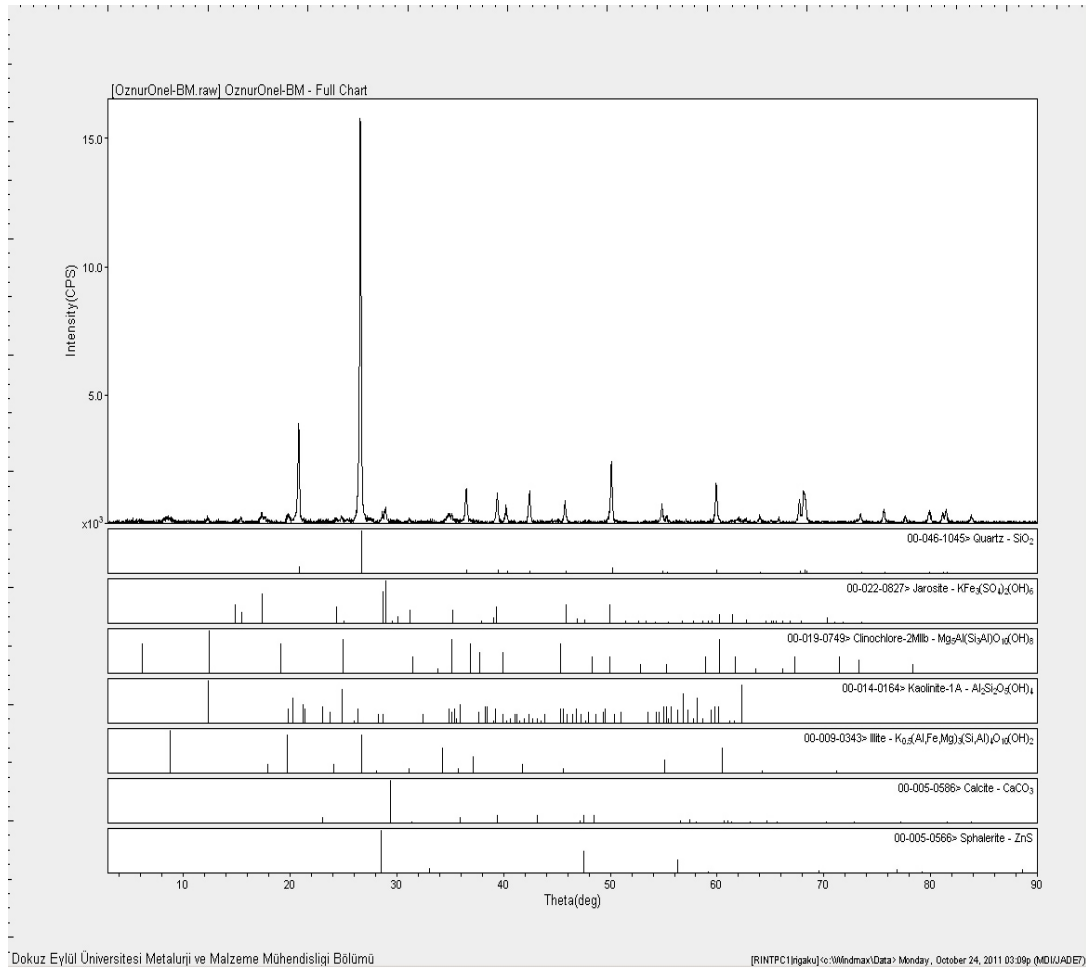
Şekil 3.2'den de görüleceği üzere -3 mm tane boyutuna getirilen cevherin %80'inin geçtiği tane boyutu – 2 mm olarak görülmektedir. Genel olarak cevherin %70'inin 0,5 mm'nin üzerinde olduğu % 10'luk kısmın 38 mikron tane boyutunun

altında olduğu geri kalan %20'lik dilimin ise diğer ara fraksiyonlara dağılım gösterdiği görülmektedir.

### 3.3.2 XRD, Kimyasal Analiz ve Metal Değerlerinin Belirlenmesi

Cevherin XRD (X-ray diffraction) ile mineraloji analizleri yapılmış olup, XRD incelemelerinde bu formasyona ait kayaçların büyük oranda kuvarstan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3.4).

Çalışmada kullanılan altın numunesinin XRD analizi sonucunda belirlenen başlıca mineraller; kuvars, jarosite, kaolinite, illit, kalsit, sifelarit olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4 XRD analiz sonuçları

Besleme malının elek analizi yapıp, tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan numune, kimyasal analize tabi tutularak bünyesindeki metaller ve değerleri belirlenmiştir.

Numunenin bünyesindeki metalleri ve miktarlarını öğrenmek için yapılan kimyasal analiz, kral suyu adı verilen, asitlerin az etki ettiği ya da etki etmediği altın ve platin gibi metallerle tepkimeye girebilen kuvvetli bir asit çözeltisi ile yapılır.

Kimyasal analiz işlemi şu basamaklardan oluşmaktadır;

✓ 10 gr nemi alınmış numune 400 ml'lik behere koyulur. Saat camı ve baget hazırlanır.

✓ 25 ml %37'lik HCl behere konmuş numuneye eklenir. 15-20 dakika kum banyosunda ısı ile yumuşatılır.

✓ Yumuşatılmış numuneye ardından 15 ml %65'lik nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) eklenir. 15-20 dakika kum banyosunda ısı ile yumuşatılır.

✓ Ocaktan alınan numunemize tekrar 25 ml HCl eklendikten sonra 25 ml saf su eklenir ve kaynayana kadar kum ocağında tutulur.

✓ Kaynadıktan sonra saat camı kaldırılarak gaz çıkışı sağlanır ve soğuması beklenir.

✓ 305 no'lu siyah Whatman filtre kâğıdı huniye yerleştirilir ( mavi filtre kâğıdı da kullanılabilir fakat süzme işi uzun süreceği için siyah tercih edilir). 250 ml'lik balon joje huninin altına yerleştirilir. Soğuyan beher içindeki malzeme filtreli huniye dökülür. Süzülmesi için beklenir.

✓ 250 ml'lik joje içindeki numunemize 250 ml çizgisine kadar saf su ile doldurulur. ( Eğer altından başka metalde okunacaksa bu şarttır.)

✓ Jojedeki sıvı ayırma hunisine alınır.

✓ Diğer metaller okunacaksa ayırma hunisinden 50 ml'lik sıvı, jojeye alınır. Bu 50 ml'lik sıvı AAS'de direk okunabilir.

✓ Kalan sıvıya 15 ml keton eklenir. Ayırma hunisi iyice çalkalanarak 5 dakika kadar faz oluşumu görülene dek beklenir.

✓ Alt faz behere alınır ve atılır. Kalan sıvıya 35 – 40 ml %10'luk (seyreltilmiş) HCl ilavesi yapılır ve faz oluşumu beklenir. Buradaki amaç

ketonlanmış sıvı içinde beraber bulunan Fe ve Au'yu ayırmaktır. Fe ayrılarak alt faza geçer. Au ketonla üst fazda kalır. Alt faz atılır. Bu işlem en az 2 kere tekrarlanır.

✓ Kalan sıvı 25 ml'lik balon jöjeye alınarak, 25 ml seviyesine kadar keton ile doldurulur. İyice çalkalanıp AAS de okuma yapılır.

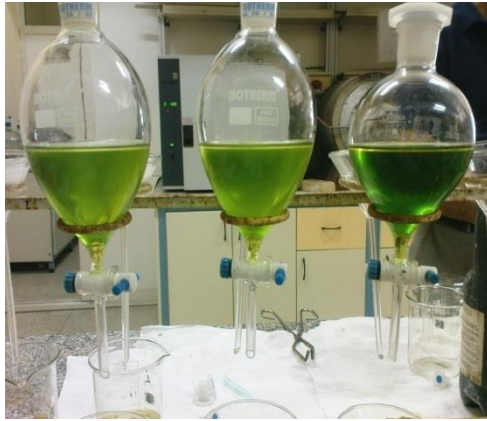
✓ AAS den okunan değer % elementtir.

$$\frac{AAS' \text{ den okunan değer} \times \text{seyreltme faktörü} \times \text{balon jöje hacmi}}{\text{numune miktarı (gr)}} = \% \text{ Element}$$

$$\% \text{ Element} \times 10000 = (\_) \text{ ppm}$$

✓ Seyreltme faktörünün altın için değeri 1'dir. Çünkü herhangi bir işlem yapmaksızın direk cihazdan okuma yapılır. Diğer metalleri okumak için ise 50 ml'lik balon jöjeye ayırdığımız numuneden yararlanılarak seyreltme yapılır ve cihazdan okunur. Bunun için formülün başına '250/200' çarpanı eklenmelidir.

✓ Diğer metaller içinde aynı formül uygulanır fakat balon jöje hacmine bağlı olarak seyreltme faktörü değiştirilir. Başına herhangi bir çarpan gelmez. Direk olarak % element olarak elde edilir. Yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.



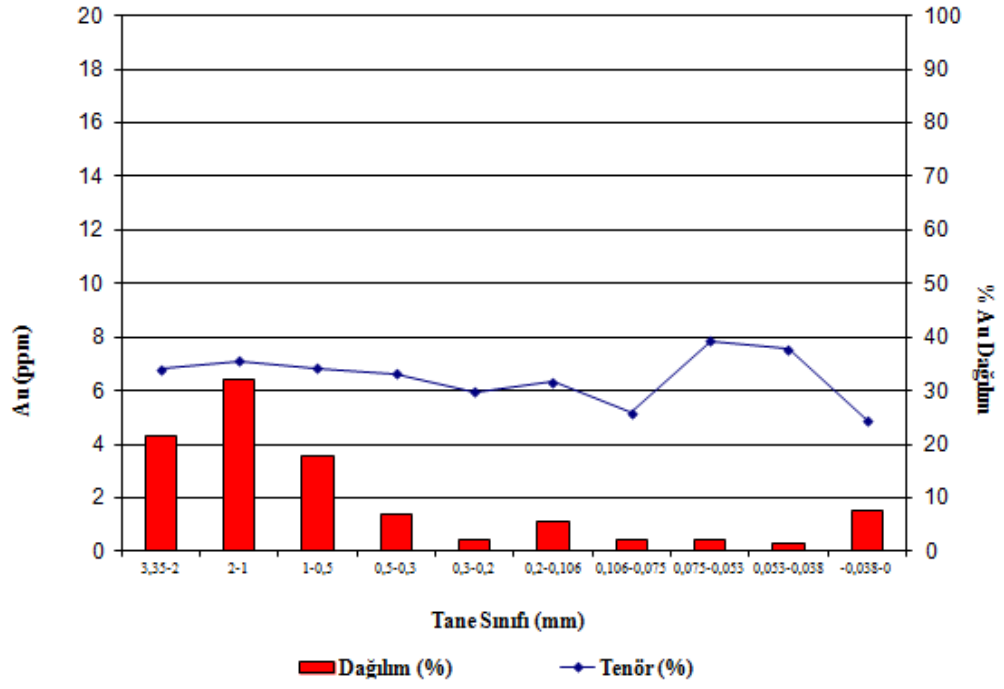
Şekil 3.5 Kimyasal analiz fotoğrafları

Tablo 3.2 Elek - Metal Analiz Değerleri

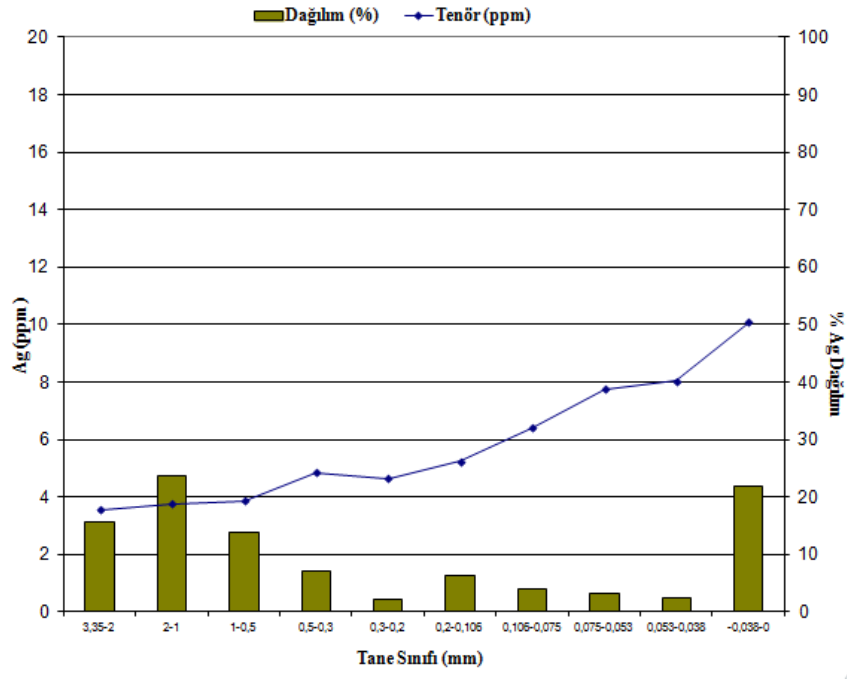
Tane Sınıfı	Ağırlık			Tenör			Kümülatif Elek Altı Tenör			Kümülatif Elek Altı Dağılım		
	gram	%	Küm. E.A %	Au (ppm)	Ag(ppm)	Pb %	Au %	Ag %	Pb %	Au %	Ag %	Pb %
3,35-2	125,60	21,07	100,00	6,82	3,54	0,13	6,63	4,78	0,25	100,00	100,00	100,00
2-1	179,02	30,03	78,93	7,12	3,76	0,17	6,58	5,11	0,28	78,34	84,40	88,54
1-0,5	102,46	17,19	48,90	6,83	3,85	0,18	6,26	5,94	0,34	46,12	60,79	67,18
0,5-0,3	41,95	7,04	31,71	6,65	4,83	0,26	5,94	7,08	0,42	28,41	46,95	54,40
0,3-0,2	13,53	2,27	24,67	5,95	4,63	0,31	5,74	7,72	0,47	21,36	39,84	46,86
0,2-0,106	33,84	5,68	22,40	6,34	5,23	0,37	5,72	8,03	0,49	19,32	37,65	44,05
0,106-0,075	17,31	2,90	16,73	5,16	6,41	0,4	5,51	8,99	0,53	13,90	31,44	35,51
0,075-0,053	11,64	1,95	13,82	7,86	7,73	0,42	5,58	9,53	0,55	11,64	27,54	30,76
0,053-0,038	8,56	1,44	11,87	7,54	8,03	0,46	5,21	9,82	0,57	9,32	24,39	27,40
-0,038-0	62,21	10,44	10,44	4,89	10,07	0,58	4,89	10,07	0,59	7,69	21,98	24,70
Toplam	596,12	100,00		6,63	4,78	0,25						

Tablo 3.2 incelendiğinde besleme malında 6,63 ppm Au , 4,78 ppm Ag ve %0,25 Pb olduğu görülmektedir.





Şekil 3.6 Besleme malı Au tenör-%dağılım eğrisi



Şekil 3.7 Besleme malı Ag tenör- % dağılım eğrisi

### 3.4 Öğütme Testleri

#### 3.4.1 Bond Testleri

Bond öğütülebilirlik test prosedürü, iş indeksini belirlemek amacı ile oldukça yaygın olarak kullanılır. İş indeksi ( $W_i$ ), Bond bilyalı değirmeninde %250'lik bir devreden yük oluşuncaya kadar, kapalı devre kuru öğütme işleminin simülasyonu ile belirlenmektedir. Bu amaçla, 3 mm altına indirilmiş 700 cm<sup>3</sup> hacimli numune kullanılmaktadır. Bu numune standart bilya dağılımında boyut ve devir sayısına sahip Bond bilyalı değirmenine konularak ilk öğütme evresinde gelişigüzel seçilen bir dönüş sayısı kadar öğütülür. Her bir öğütme evresi sonunda bütün ürün boşaltılıp test eleğinden elenir. Elek üstüne yeni malzeme ilave edilerek toplam ağırlık başlangıçtaki ağırlığa eşitlenir ve tekrar beslenir. İkinci öğütme evresi için dönüş sayısı %250 devreden yüke yavaş yavaş ulaşılacak şekilde hesaplanır. İkinci devreden sonra aynı eleme ve öğütme işlemi her bir devir sayısında üretilen test eleği, elek altı miktarı son 3 öğütme evresinde sabit oluncaya kadar devam eder. Bu durumda %250 devreden yüke ulaşılır (Özer&Çabuk, 2006).

Bond iş indeksi formülü;

$$W_i = \frac{44,5}{P_c^{0,23} \times G^{0,82} \times \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)}$$

$W_i$  : Bond iş indeksi (kWs/st)

$P_c$  : Test eleği elek açıklığı ( $\mu\text{m}$ )

$G$  : Bond öğütülebilirlik kat sayısı, değirmenin her dönüşünde öğüttüğü net ağırlık (gr/dev)

$F$  : Beslemenin %80'ini geçtiği elek açıklığı ( $\mu\text{m}$ )

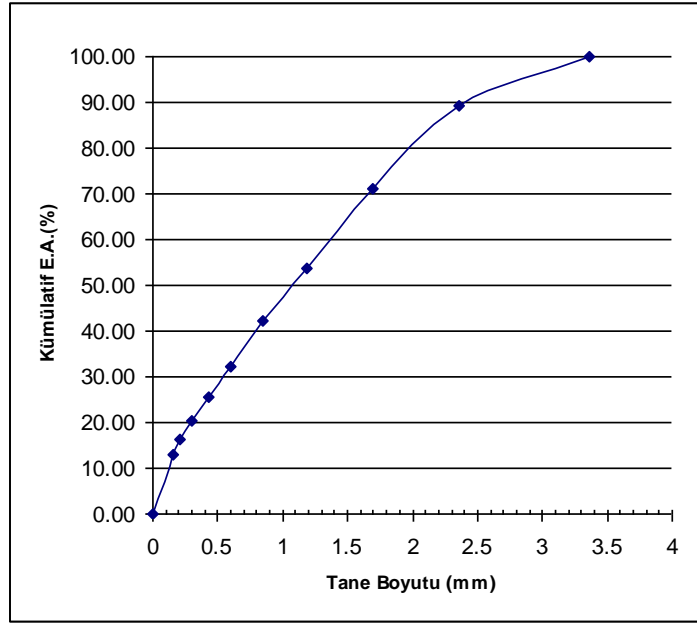
$P$  : Ürünün %80'ini geçtiği elek açıklığı ( $\mu\text{m}$ )

Tartımı alınan malzemenin hacmi ve ağırlığı bilindiğinden kaba yoğunluğu hesaplanır. Besleme malı ağırlığımız 1171,52 gr olup numunemizin kaba yoğunluğu 1,6736 gr/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Test kontrol eleğimiz 150 µm olarak alınmıştır.

İlk olarak Bond testi besleme malına elek analizi yapılmış olup sonuçları Tablo 3.3'te, besleme malı elek analizi eğrisi de Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Bond testi besleme malı elek analizi

Tane İriliği (mm)	Ağırlık		Kümülatif EA
	(gr)	(%)	(%)
3,35 - 2,36	157,28	10,60	100,00
2,36 - 1,70	273,88	18,45	89,40
1,70 - 1,18	256,28	17,27	70,95
1,18 - 0,85	170,54	11,49	53,68
0,85 - 0,60	147,33	9,93	42,19
0,60 - 0,425	99,09	6,68	32,27
0,425 - 0,300	75,21	5,07	25,59
0,300 - 0,212	62,87	4,24	20,52
0,212 - 0,150	51,08	3,44	16,29
0,150 - 0,00	190,68	12,85	12,85
Toplam	1484,24	100,00	



Şekil 3.8 Bond testi besleme malı kümülatif elek altı eğrisi

Şekil 3.8'de sunulmuş olan verilerden yararlanarak besleme malının %80'inin geçtiği tane boyutu ( $F_{80}$ ) 2 mm olarak bulunmuştur.

İlk öğütme analizinde elde edilen değerler doğrultusunda dönüş sayısı hesaplanmış olup devreden yük %250'ye ulaşıncaya kadar bu işlemler tekrarlanmıştır. Tablo 3.4'te öğütülebilirlik testi sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 3.4 Bond öğütülebilirlik testi sonuçları

No	Yeni Besleme (gr)	-150 mikron (gr)	-150 mikron İstenen (gr)	Devir	-150 mikron Çıkan (gr)	Üretilen $\sum EA$ Ürünü (gr)	Devir Başına Üretilen $\sum EA$ Ürünü (gr)	Geri Dönüş Yüğü (%)
1	1171,52	150,50	184,22	150,00	327,15	176,65	1,177634	258,10
2	327,15	42,03	292,69	248,54	293,27	251,24	1,010861	299,47
3	293,27	37,68	297,04	293,85	354,27	316,59	1,077391	230,69
4	354,27	45,51	289,21	268,43	383,82	338,31	1,260305	205,23
5	383,82	49,31	285,41	226,46	332,61	283,30	1,250987	252,22
6	332,61	42,73	291,99	233,41	331,43	288,70	1,236892	253,47
7	331,43	42,58	292,14	236,19	333,47	290,89	1,231600	251,31

Her bir öğütme evresi sonunda bütün ürün boşaltılıp -150  $\mu\text{m}$ 'lik test eleğinden elenmiştir. Elek üstüne Tablo 3.5'teki miktarlar kadar yeni malzeme ilave edilerek toplam ağırlık başlangıçtaki ağırlığa eşitlenmiştir.

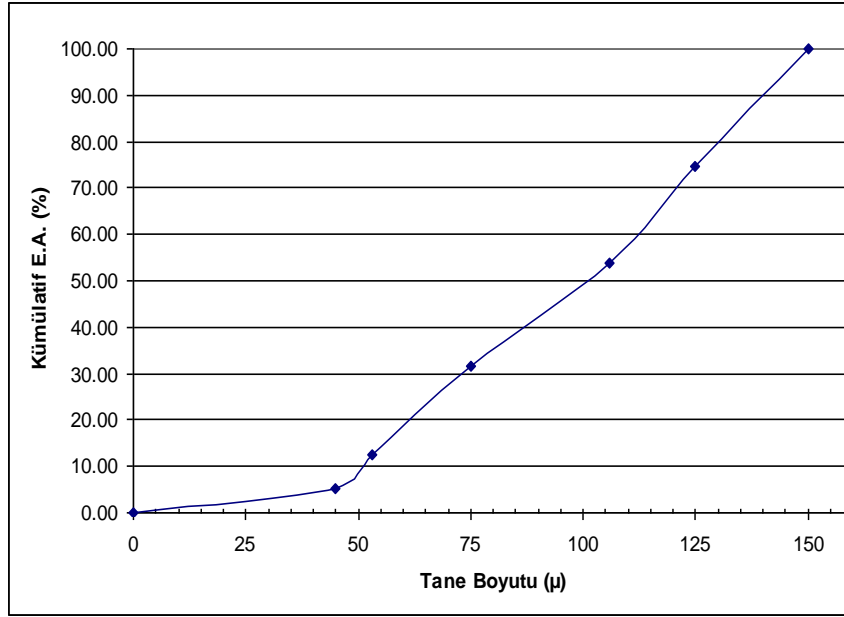
Tablo 3.5 Her bir öğütme evresi sonucu geri beslenen malzeme miktarları

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlık		1. tur	2. tur	3. tur	4. tur	5. tur	6. tur	7. tur
	gr	%							
3,35-2	1702,56	21,58	252,76	70,58	63,28	76,44	82,81	71,76	71,51
2-1	2444,95	30,98	362,98	101,36	90,87	109,77	118,92	103,05	102,69
-1	3743,58	47,44	555,78	155,20	139,13	168,07	182,09	157,79	157,23
<b>Toplam</b>	7891,09	100,00	1171,52	327,15	293,27	354,27	383,82	332,61	331,43

Geri dönüş yükü %250'ye yaklaşmış sabitlendikten sonra ürüne 150  $\mu\text{m}$  altı elek analizi yapılmıştır. Ürün elek analizi değerleri Tablo 3.6'da, ürün elek analizi eğrisi Şekil 3.9'de verilmiştir.

Tablo 3.6 Bond testi ürün elek analizi

Tane İriliği ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık		Kümülatif E.A. (%)
	(gr)	(%)	
150-125	83,16	25,39	100,00
125-106	68,10	20,79	74,61
106-75	72,61	22,17	53,82
75-53	63,14	19,28	31,66
53-45	22,93	7,00	12,38
45-0	17,62	5,38	5,38
Toplam	327,56	100,00	



Şekil 3.9 Bond testi ürün elek analizi eğrisi

Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi Bond testi sonucu elde edilen -150 mikron malzemenin % 80'inin geçtiği elek açıklığı ( $P_{80}$ ) 130 mikron olarak belirlenmiştir.

Elde ettiğimiz değerler ışığında iş indeksi;

$$W_i = \frac{44,5}{P_c^{0,23} \times G^{0,82} \times \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)} = \frac{44,5}{150^{0,23} \times 1,239826^{0,82} \times \left( \frac{10}{\sqrt{130}} - \frac{10}{\sqrt{2000}} \right)}$$

$$\underline{\underline{W_i = 18,0339159 \text{ kW/s/st}}}$$

olarak bulunmuştur.

### 3.4.2 Öğütme Testleri (Bilyalı Değirmen)

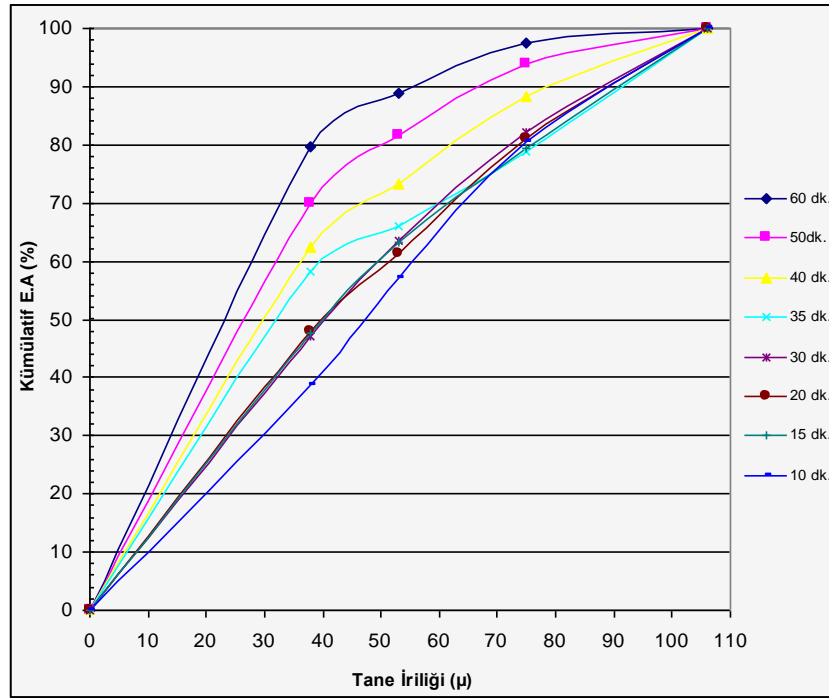
Öğütme testleri öncesinde, tüm malzeme çeneli kırıcı ile 3 mm tane boyutu altına kırılarak hazırlanmıştır. Testlerde laboratuvar tipi bir bilyalı değirmen 80 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak farklı öğütme sürelerinde testler yapılmıştır.

Öğütme testleri sonucunda cevherin serbestleşme tane iriliği olan 75 mikron altına öğütülmesi için gerekli olan sürenin ve bu süre ile öğütme sonrasında elde edilecek olan öğütülmüş malzemenin boyut dağılımının belirlenmesine çalışılmıştır.

10, 15, 20, 30, 35, 40, 50 ve 60 dakikalık öğütmeler sonrasında yapılan tane boyut dağılımı analiz sonuçları Tablo 3.7’de, elek altı eğrileri ise Şekil 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.7 Öğütme testi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Kümülatif Elek Altı (%)							
	10 dk	15 dk	20 dk	30 dk	35dk	40 dk	50 dk	60 dk
3,35-2	100,00	100,00	100,00	100,00	-	-	-	-
2-1	93,28	94,50	96,71	99,27	-	-	-	-
1-0,5	80,66	84,91	91,00	97,62	-	-	-	-
0,5-0,3	70,05	77,97	86,77	96,49	-	-	-	-
0,3-0,18	61,94	72,20	83,42	95,78	-	-	-	-
0,18-0,106	53,68	65,10	78,60	94,74	-	-	-	-
0,106-0,075	39,53	50,37	61,85	83,88	100,00	100,00	100,00	100,00
0,075-0,053	31,78	40,00	50,11	68,86	78,81	88,18	93,84	97,53
0,053-0,038	22,61	31,90	37,96	53,24	65,99	73,15	81,65	88,90
0,038-0	15,35	23,95	29,59	39,41	58,33	62,41	69,94	79,58



Şekil 3.10 Öğütme testi kümülatif elek altı eğrisi

Elde edilen öğütme testi sonuçlarına göre malzemenin yaklaşık % 80'i, 37 dakikalık bir öğütme sonunda 0,075 mm boyutu altına geçmektedir.

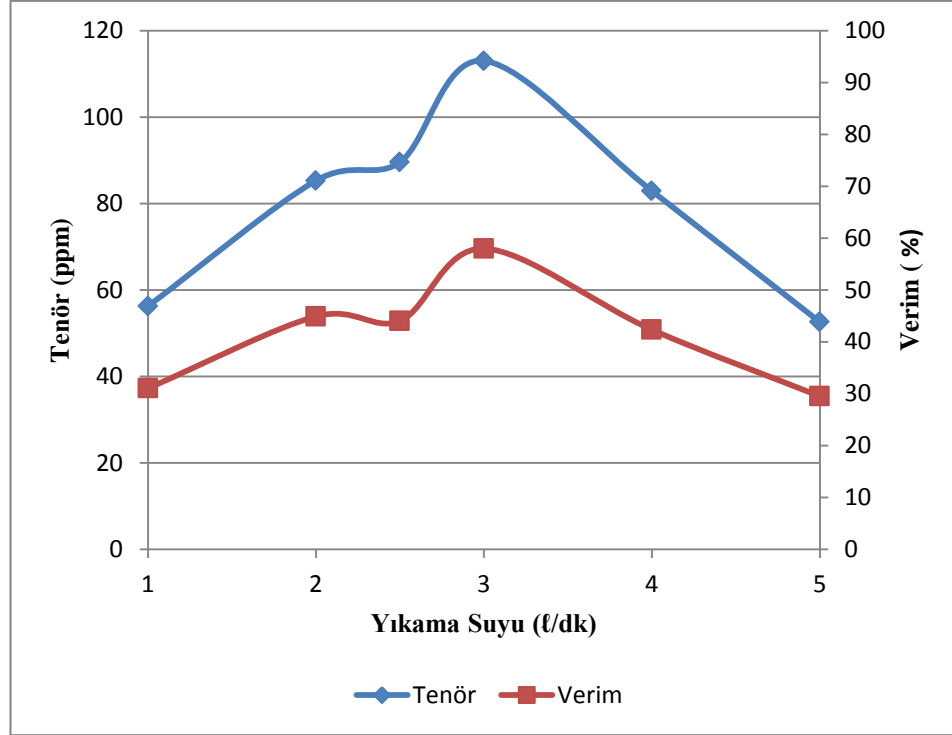
### 3.5 Knelson Konsantratör İle Zenginleştirme

Knelson konsantratör ile yapılan çalışmalarda 2 kg'lık besleme malı numunesi bilyalı değirmende öğütülerek %80'i 75 mikron altında olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyde ilk önce 60 G santrifüj kuvvet değeri sabit tutularak 1-2-2,5-3-4 ve 5 l/dk yıkama su miktarlarında tenör verim ilişkisi irdelenmiştir.



Tablo 3.8 60 G Knelson test sonuçları

Numune	Ürün	Ağırlık		Tenör (ppm)	Verim
		gram	%Ağ		
1 l/dk	Kons.	81,02	4,26	56,29	31,09
	Artık	1818,98	95,74	5,56	68,91
	B.M.	1900,00	100,00	7,72	100,00
2 l/dk	Kons.	68,05	3,58	85,30	44,92
	Artık	1834,95	96,42	3,88	55,08
	B.M.	1903,00	100,00	6,79	100,00
2,5 l/dk	Kons.	60,48	3,20	89,58	44,05
	Artık	1831,52	96,80	3,76	55,95
	B.M.	1892,00	100,00	6,50	100,00
3 l/dk	Kons.	68,04	3,402	113	57,98
	Artık	1931,96	96,59	2,88	42,02
	B.M.	2000,00	100	6,63	100,00
4 l/dk	Kons.	61,02	3,23	82,92	42,36
	Artık	1828,98	96,77	3,76	57,64
	B.M.	1890,00	100,00	6,32	100,00
5 l/dk	Kons.	76,72	3,84	52,60	29,54
	Artık	1923,38	96,16	5,00	70,46
	B.M.	2000,10	100,00	6,83	100,00



Şekil 3.11 60G kuvvetinde tenör-verim değerleri

Şekil 3.11'den de görüldüğü gibi 60 G ve 1 l/dk'da konsantre verimimiz %31,09 da kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %68,91 olarak görülmektedir. Anlaşılacağı gibi altın taneleri artığa kaçmış verimi düşürmüştür.

60 G ve 2 l/dk'da konsantre verimimiz %44,92'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %55,08 olarak görülmektedir. 1 l/dk'da yapılan çalışmaya oranla daha iyi bir zenginleştirme gerçekleşmesine karşın artığa karışan altın taneleri istenilenin altında bir verim elde etmemizi sağlamıştır.

60 G ve 2,5 l /dk'da konsantre verimimiz %44,05'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %55,95 olarak görülmektedir.

60 G ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %57,98'e çıkmıştır. En verimli zenginleştirmenin bu aşamada gerçekleştiği gözlenmiştir. Konsantre tenör ve verim değerleri oldukça yüksektir.

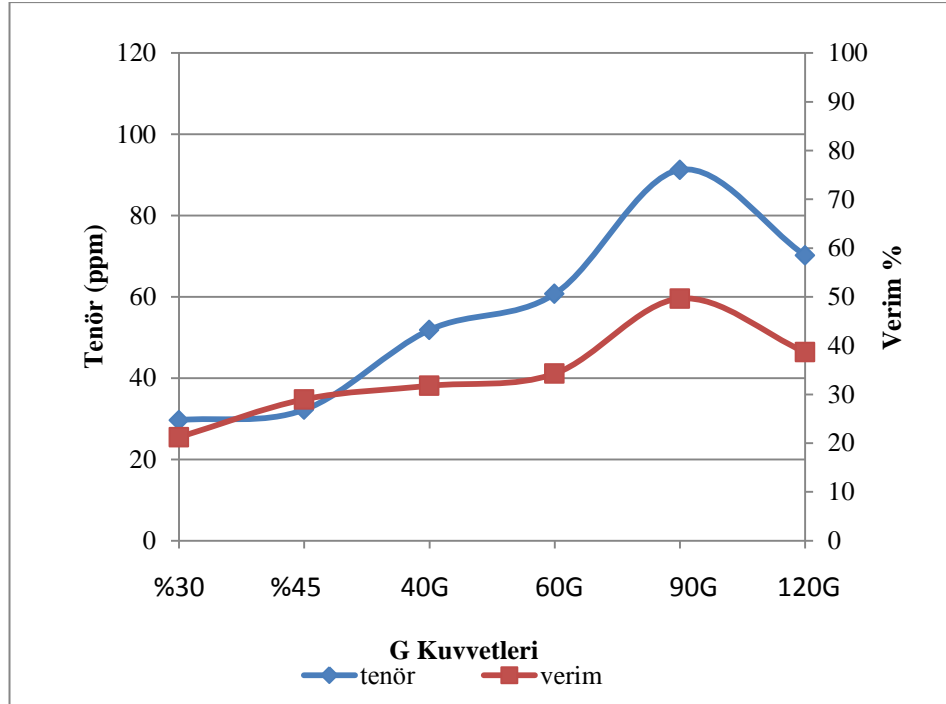
60 G ve yıkama suyu 4 l/dk ve 5 l/dk'da iri gang taneleri koni içerisinde kalırken, özellikle ince altın tanelerinin artığa kaçmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak konsantre tenör ve verim değerleri gittikçe düşmektedir.

60 G santrifüj kuvveti için yıkama suyu miktarı 3 l/dk olarak belirlenmiştir.

Deneylerin bundan sonraki aşamasında 3 l/dk yıkama suyu miktarı sabit tutularak G kuvvetleri %30-%45-40 G-60 G-90 G ve 120 G olarak testler yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları Tablo 3.9'da ve bunun grafiksel gösterimi Şekil 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.9 3 l/dk Knelson test sonuçları

Numune	Ürün	Ağırlık		Tenör	Verim
		gram	%ağ		
30%	Kons.	92,61	4,88	29,66	21,21
	Artık	1803,41	95,12	5,66	78,79
	B.M.	1896,02	100,00	6,83	100,00
45%	Kons.	115,05	6,14	32,22	28,98
	Artık	1757,46	93,86	5,17	71,02
	B.M.	1872,51	100,00	6,83	100,00
40 G	Kons.	83,99	4,18	51,85	31,75
	Artık	1924,01	95,82	4,86	68,25
	B.M.	2008,00	100,00	6,83	100,00
60 G	Kons.	77,31	3,85	60,72	34,25
	Artık	1929,69	96,15	4,67	65,75
	B.M.	2007,00	100,00	6,83	100,00
90 G	Kons.	74,36	3,72	91,26	49,64
	Artık	1927,14	96,28	3,57	50,36
	B.M.	2001,50	100,00	6,83	100,00
120 G	Kons.	75,24	3,76	70,18	38,66
	Artık	1924,76	96,24	4,35	61,34
	B.M.	2000,00	100,00	6,83	100,00



Şekil 3.12 3 l/dk debi değerinde tenör-verim değerleri

Şekil 3.12'den de görüldüğü gibi %30 ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %21,21'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %78,79 olarak görülmektedir. Yüksek debi de santrifüj kuvveti yenip artığa süpürülen altın taneleri istenilenin altında konsantre verimi elde etmemize neden olmuştur.

%45 ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %28,98'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %71,02 olarak görülmektedir. Yüksek debi de santrifüj kuvveti yenip artığa süpürülen altın taneleri istenilenin altında konsantre verimi elde etmemize neden olmuştur.

40 G ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %31,75'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %68,25 olarak görülmektedir. Yüksek debi de santrifüj kuvveti yenip artığa süpürülen altın taneleri istenilenin altında konsantre verimi elde etmemize neden olmuştur.

60 G ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %34,25'de kalmıştır. Bunun yanında artık verimi %65,75 olarak görülmektedir. Yüksek debi de santrifüj kuvveti yeni artığa süpürülen altın taneleri istenilenin altında konsantre verimi elde etmemize neden olmuştur.

90 G ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %49,64'e çıkmıştır. Bunun yanında artık verimi %50,36 olarak görülmektedir. En verimli zenginleştirilenin bu aşamada gerçekleştiği konsantre veriminin artık verimine en yakın değerde bulunması altın tanelerinin diğer aşamalara kıyasla konsantratörün içinde tutulduğunu ve artığa kaçmadığını göstermektedir.

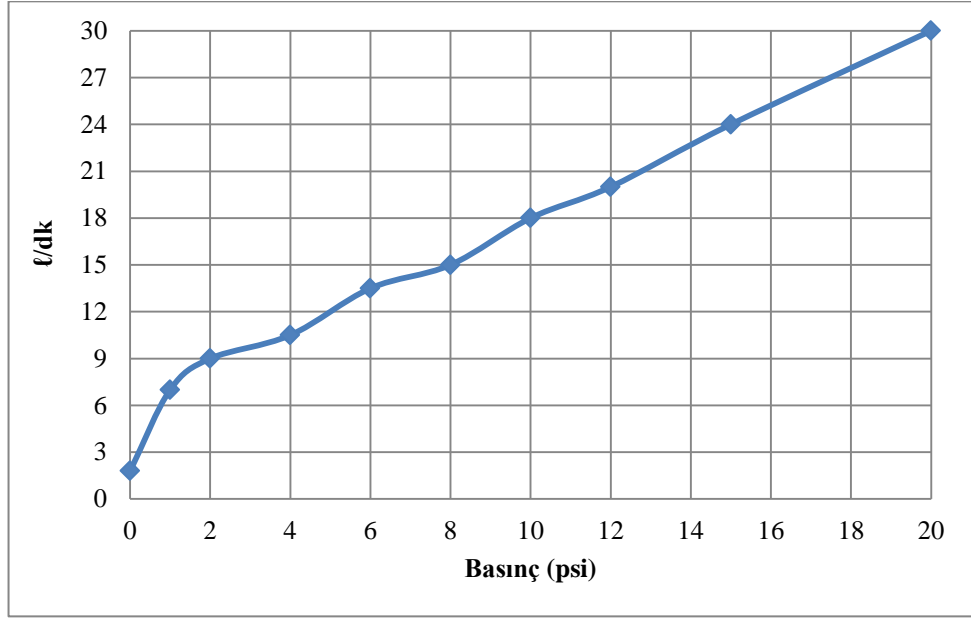
120 G ve 3 l/dk'da konsantre verimimiz %38,66'de kalmıştır. Yüksek santrifüj kuvveti etkisi ile koni içerisinde tutulan malzeme miktarı artmaktadır. Koni içerisinde kalan malzeme miktarının artması ise belli bir aşamadan sonra çok ince altın tanelerinin yerlerini alan iri gang taneleri tarafından koni dışarısına itilmelerine neden olmaktadır. Böylece artığa karışan tanecikler istenilen konsantre veriminin elde edilememesine neden olmuştur.

Knelson konantratörün 3 l/dk sabit debide en verimli olduğu G kuvveti 90 G olarak belirlenmiştir. GRG testleri için yapılacak olan deneylerde 60 G ve 3,5 l/dk optimum değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

### **3.6 Falcon Konsantratör İle Zenginleştirme**

Çalışmanın bu aşamasında Gümüşhane (Mastra) altın cevherinin Falcon Gravimetrik Separatörle zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Falcon konsantratör ile yapılan çalışmalarda 1kg'lık besleme malı numunesi çubuklu değirmende cevherin serbestleşme tane boyutu olan 75 mikronun altına öğütülerek hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalarda santrifüj etki ve yıkama suyu miktarı (basınç miktarı) parametreleri denenmiştir. Öncelikle Santrifüj kuvvet değeri 78 G (40 Hz) sabit tutularak 4 (~10 l/dk), 6 (13 l/dk.), ve 8 (15 l/dk) psi basınç değişimlerinde testler yapılmıştır. Bu basınç değerlerinin Su miktarı olarak karşılığı Şekil 3.13'de verilmiştir.

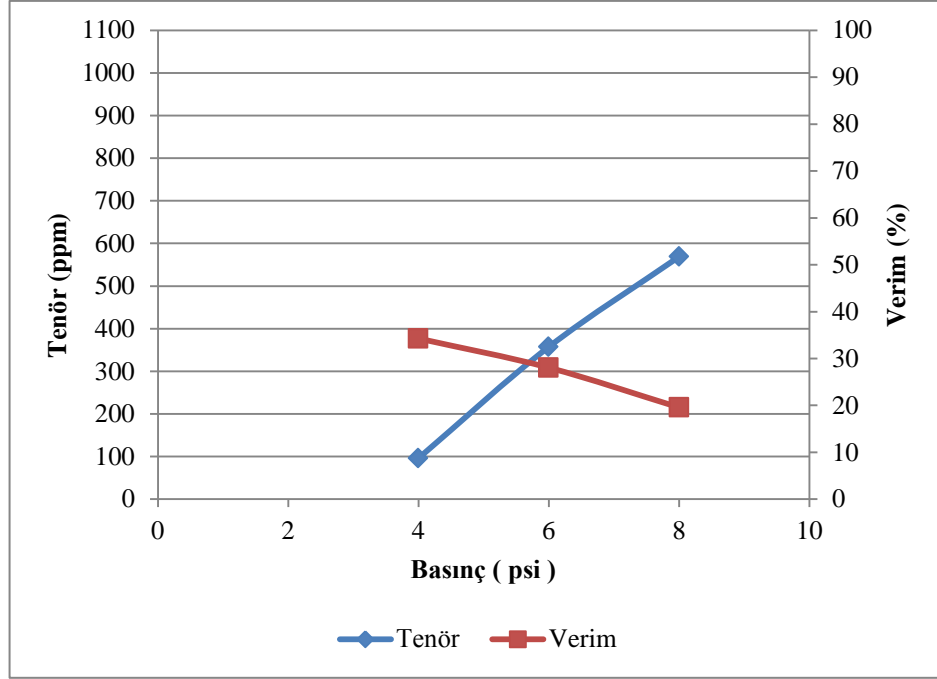
Yapılan bu testlerin sonuçları Tablo 3,10 ve Şekil 3.14 de verilmiştir.



Şekil 3.13 psi- l/dak bağıntısı

Tablo 3.10 78 G (40 Hz) sabit tutularak elde edilen tenör- verim değerleri

78 G	Ürün	Ağırlık(gr)	%Ağ	Au (ppm)	Verim %
4 psi	Kons.	23,36	2,43	96,28	34,27
	Artık	937,55	97,57	4,60	65,73
	B.M.	960,91	100,00	6,83	100,00
6 psi	Kons.	5,09	0,54	357,47	28,05
	Artık	944,80	99,46	4,94	71,95
	B.M.	949,89	100,00	6,83	100,00
8 psi	Kons.	2,27	0,23	569,00	19,56
	Artık	964,71	99,77	5,51	80,44
	B.M.	966,98	100,00	6,83	100,00



Şekil 3.14 78 G (40 Hz) tenör-verim eğrisi

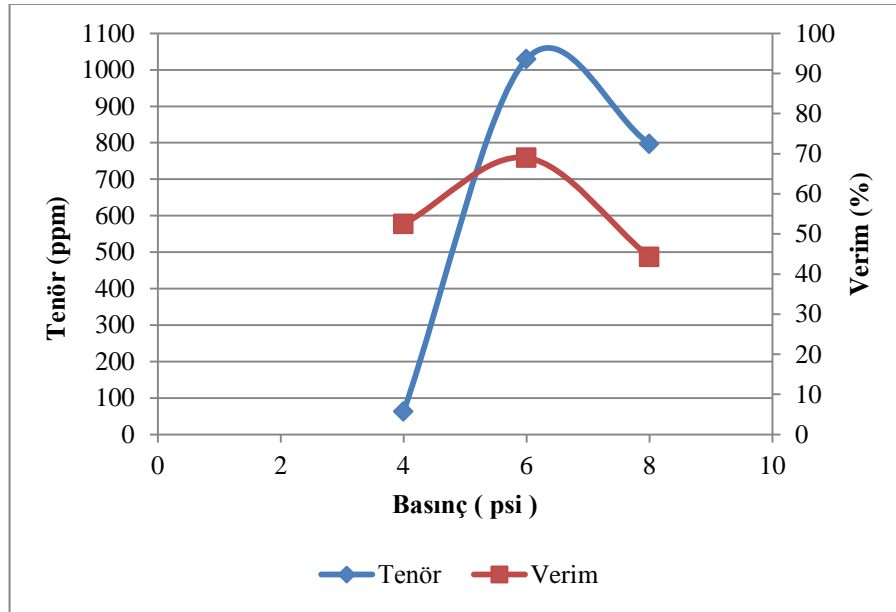
Şekil 3.14 incelendiğinde 78 G kuvvetinde konsantre verimi 4 psi (10,5 l/dk)'da %34,27, 6 psi (13,5 l/dk)'da %28,05 ve 8 psi (15 l/dk)'da %19,56 olarak hesaplanmıştır. Yıkama suyu basınç (psi) değeri arttıkça ağır altın taneleri G kuvveti etkisinden çıkarak akışkan yatağı terk ederek artığa karışmıştır. Bu durum konsantre veriminin düşmesine neden olmuştur.

Daha sonra ki çalışmada 123 G (50 Hz) değeri sabit tutularak 4,6,8 psi değerleri tek tek denenmiştir.

Tablo 3.11 123 G (50 Hz ) sabit tutularak elde edilen tenör-verim değerleri

123 G	Ürün(Au)	Ağırlık(g)	%Ağ	Tenör(ppm)	Verim
4 psi	Kons.	55,67	5,69	62,92	52,46
	Artık	921,91	94,31	3,44	47,54
	B.M.	977,58	100,00	6,83	100,00
6 psi	Kons.	4,32	0,46	1029,37	68,97
	Artık	939,64	99,54	2,13	31,03
	B.M.	943,96	100,00	6,83	100,00
8 psi	Kons.	3,57	0,38	796,82	44,23
	Artık	937,98	99,62	3,82	55,77
	B.M.	941,55	100,00	6,83	100,00

Şekil 3.15 incelendiğinde 123G kuvvetinde konsantre verimi 4 psi (10,5 l/dk)'da %52,46, 6 psi (13,5 l/dk)'da %68,97 ve 8 psi (15 l/dk )'da %44,23 olarak hesaplanmıştır.



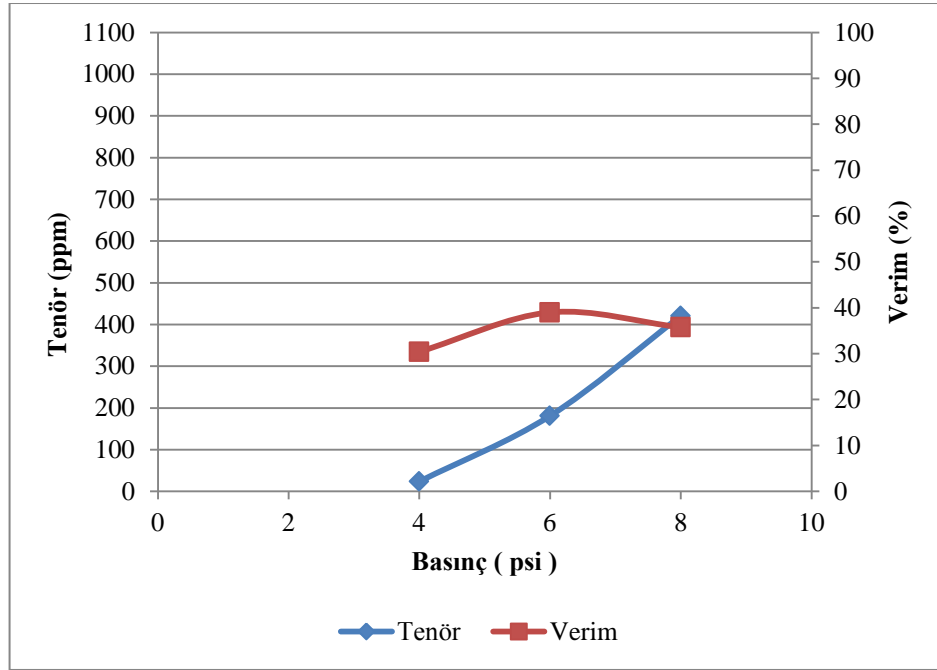
Şekil 3.15 123 G (50Hz) tenör-verim eğrisi

Son olarak yapılan çalışmada 176 G (60 Hz) değeri sabit tutularak 4,6,8 psi değerleri tek tek denenmiştir.



Tablo 3.12 176 G (60 Hz) sabit tutularak elde edilen tenör-verim değerleri

176 G	Ürün(Au)	Ağırlık(g)	%Ağ	Au (ppm)	Verim %
4 psi	Kons.	86,33	8,81	23,58	30,42
	Artık	893,55	91,19	5,21	69,58
	B.M.	979,88	100,00	6,83	100,00
6 psi	Kons.	14,06	1,47	181,03	39,00
	Artık	941,38	98,53	4,23	61,00
	B.M.	955,44	100,00	6,83	100,00
8 psi	Kons.	5,46	0,58	420,63	35,74
	Artık	935,45	99,42	4,41	64,26
	B.M.	940,91	100,00	6,83	100,00



Şekil 3.16 176 G (60 Hz) tenör-verim eğrisi

Şekil 3.16 incelendiğinde 176 G kuvvetinde konsantre verimi 4 psi (10,5 l /dk)'da %30,42 , 6 psi (13,5 l/dk)'da %39,00 ve 8 psi (15 l/dk )'da %35,74 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.14 , 3.15 ve 3.16'de görüldüğü gibi Gümüşhane Mastra altın cevheri numunesi için Falcon konsantretörle yapılan zenginleştirme çalışmalarında en verimli değerler 123 G (50 Hz) ve 6 psi (13,5 l/dk)'da elde edilmiş olup konsantre verimi %68,97 olarak bulunmuştur.

Elde edilen bu veriler doğrultusunda Laplante'ın Knelson konsantratör kullanarak yapmış olduğu GRG testleri Falcon konsantratöre uygulanmıştır ve optimal değer olarak 123 G (50 Hz) , 6 psi (13,5 l/dk) deneylerde kullanılmıştır.

### **3.7 Gravity Recoverable Gold (GRG)**

GRG testi, birbirini izleyen 3 aşamalı bir serbestleştirme ve zenginleştirme aşamalarından oluşmaktadır. GRG testleri, ince taneleri kazanmak için aşamalı olarak azalan besleme oranı ve su basıncı ile yapılır. 50-75 kg. arasındaki cevher numunesinin laboratuvar tipi yoğunluğa dayalı ayırım yapan Knelson/Falcon tipi cihazlar kullanılarak 3 aşamada gerçekleştirilen bir yöntemdir. Deneysel çalışmaların bu aşamasında GRG testleri hem Knelson Tipi KC-MD3 Laboratuva tipi ayırıcıda hemde Falkon tipi L40 Laboratuvar tipi ayırıcı kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Testin aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir.

İlk aşamada kırma-eleme ile %100'ü 800 mikron altına indirilen cevher, Gravimetrik ayırıcılardan (KC-MD3 tipi Knelson veya L40 Falcon) cihazların belirlenen ayırma şartlarında geçirililerek konsante ve atık olarak elde edilir.

1. aşamada Knelson konsantretör için 800 mikron altına indirilen 50 kg altın cevheri numunesi 1000 g/dk besleme oranı ve 25 kpa su basıncı ile 60 G ve 8 l/dk'da ayırıcıya pülp halinde beslenir. Falcon konsantretör için de -800 mikron tane boyutuna indirilen 50 kg altın cevheri numunesi 1000 g/dk besleme oranı ile 123 G ve 15 l/dk'da cihaza pülp halinde beslenir. Her iki cihazın zenginleştirme işlemi sonucunda elde edilen konsantre ve artık dekante edilerek 105°C'ye ayarlanmış etüvde kurutulur. Konsantrenin tamamı ve artıktan alınan 600 gr numune 25 mikron-600 mikron tane boyut aralığında yaş elek analizine tabi tutulur. Her bir fraksiyon

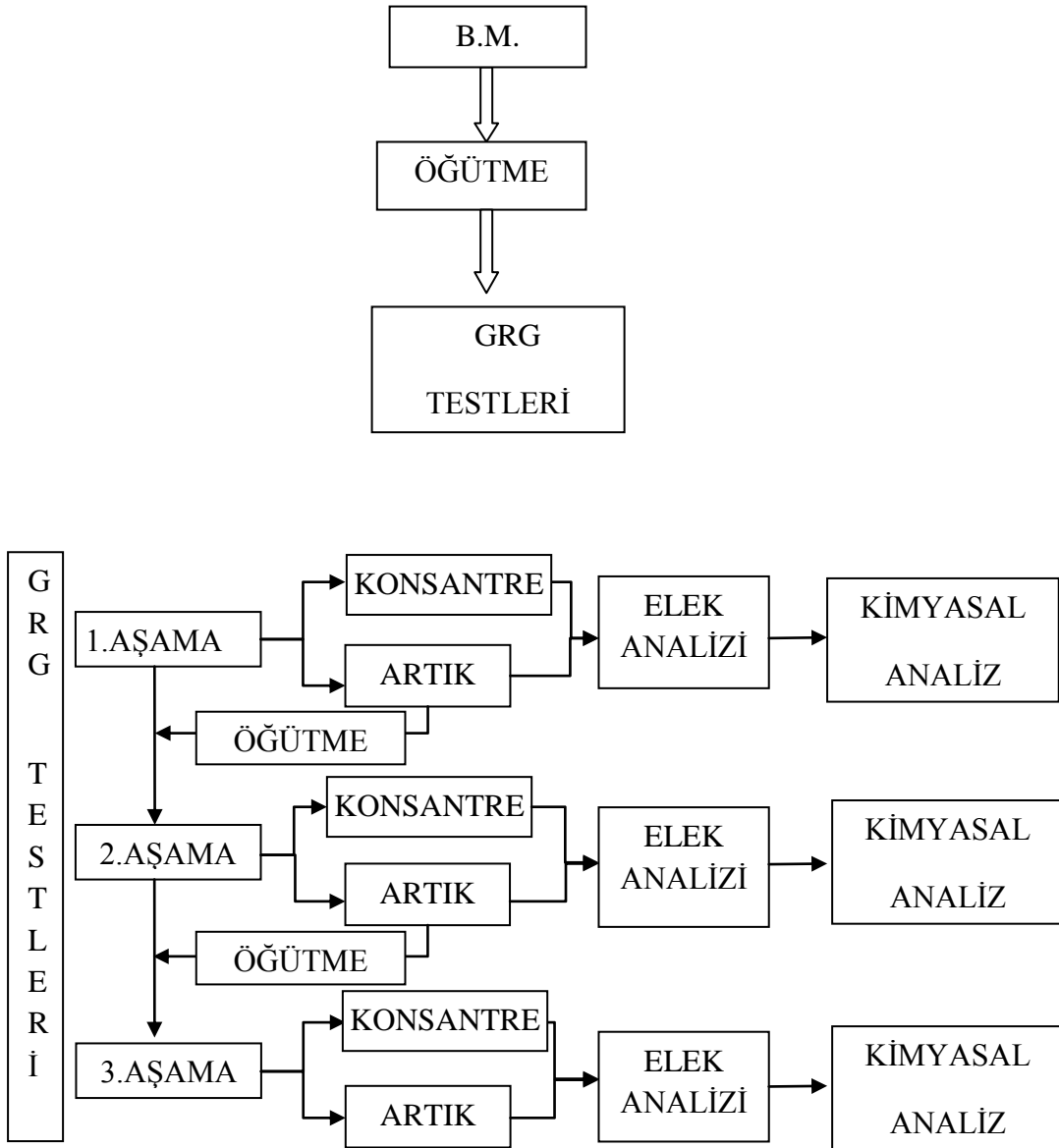
kurutulduktan sonra 105 mikron üzeri fraksiyonlar analiz öncesi ileri öğütmeye tabi tutulur ve kimyasal analiz işlemi uygulanır. Böylece her bir fraksiyondaki altın oranı tespit edilir.

İkinci aşamada ise 1. Aşama sonucu elde edilen artığın yarısı dörtleme yapılarak ayrılır. 24 kg altın cevheri numunesi %55'i 75 mikron altı olacak şekilde çubuklu değirmende öğütülür. Knelson konsantretör için 500 gr /dk besleme oranı ve 12 kpa su basıncı ile 60 G 3,5 l/dk'da yeniden ayırıcıya beslenir. Falcon konsantretör içinde 24 kg altın cevheri numunesi %55'i 75 mikron altı olacak şekilde çubuklu değirmende öğütüldükten sonra 500 gr/dk besleme oranı ile 123 G 13,5 l/dk'da cihaza pülp halinde beslenir. Her iki cihazın zenginleştirme işlemi sonucunda ikinci konsantre ve artık elde edilir. İkinci konsantre ve artık dekante edilerek 105°C'ye ayarlanmış etüvde kurutulur. Konsantrenin tamamı ve artıktan alınan 600 gr numune 25 mikron-600 mikron tane boyut aralığında yaş elek analizine tabi tutulur. Her bir fraksiyon kurutulduktan sonra 105 mikron üzeri fraksiyonlar analiz öncesi ileri öğütmeye tabi tutulur ve kimyasal analiz işlemi uygulanır. Böylece her bir fraksiyondaki altın oranı tespit edilir.

Üçüncü ve son aşamada ikinci aşama sonucu elde edilen artığın tamamı , %80'i 75 mikron altı olacak şekilde çubuklu değirmende öğütülür. Knelson konsantretör için 400 gr /dk besleme oranı ve 12 kpa su basıncı ile 60 G 3 l/dk'da yeniden ayırıcıya beslenir. Falcon konsantretör için de 2. Aşama sonucu elde edilen artığın tamamı %55'i 75 mikron altı olacak şekilde çubuklu değirmende öğütüldükten sonra 400 gr/dk besleme oranı ile 123 G 10,5 l/dk'da cihaza pülp halinde beslenir. Her iki cihazın zenginleştirme işlemi sonucunda üçüncü konsantre ve artık elde edilir. Üçüncü konsantre ve artık dekante edilerek 105°C'ye ayarlanmış etüvde kurutulur. Konsantrenin tamamı ve artıktan alınan 600 gr numune 25 mikron-600 mikron tane boyut aralığında yaş elek analizine tabi tutulur. Her bir fraksiyon kurutulduktan sonra 105 mikron üzeri fraksiyonlar analiz öncesi ileri öğütmeye tabi tutulur ve kimyasal analiz işlemi uygulanır. Böylece her bir fraksiyondaki altın oranı tespit edilir.

Aşama verimleri, her bir aşamanın konsantre ve artık analizlerine dayanır. Sonuçlar genellikle her aşama için fraksiyon verimleri ve genel verim olarak sunulur.

Gümüşhane Mastra altın cevheri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda Knelson ve Falcon gravimetrik separatör kullanarak GRG testleri Gümüşhane Mastra altın cevherine uygulanmıştır. Bu amaçla Gümüşhane Mastra Altın İşletmesinden alınan 50 kg numune üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Uygulanan GRG Testlerinin genel olarak akım şeması Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 Uygulanan GRG testlerinin genel akım şeması

### 3.7.1 Knelson Konsantratör Kullanılarak GRG Test Uygulaması

#### 1.Aşama

Öğütme işleminde laboratuvar tipi bir çubuklu değirmen kullanılarak (Şekil 3.18,3.19) 80 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %100'ünün -800  $\mu\text{m}$  serbestleşme boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %100'ünün 800  $\mu\text{m}$  altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 25 dk'da %100'ünün 800  $\mu\text{m}$  altına indiği saptanmıştır.



Şekil 3.18 Laboratuvar tipi değirmen (çubuklu ve bilyalı)



Şekil 3.19 Değirmen içindeki bilya ve çubukların görünümü

-800  $\mu\text{m}$  tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Knelson cihazı ile GRG testlerinin 1.aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Knelson cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 50 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -800  $\mu\text{m}$
3. Besleme Hızı: 1000 g/dk
4. Su Miktarı: 8  $\ell$ /dk
5. G kuvveti: 60 G
6. Cihazın Çalışma Aralığı: 24-30 KPa



Şekil 3.20 Knelson konsantratörde zenginleştirme işlemi



Şekil 3.21 Zenginleştirme işlemi sonunda elde edilen artık kısım

1.aşama GRG testi sonucunda elde edilen konsantre ve artık (Şekil 3.21) dekante edildikten sonra 105°C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Malzemenin kurutulduktan sonraki görüntüsü

Bu işlemler sonunda 87,16 g konsantre ve 47840 g artık elde edildi.47840 g artık dörtleme işlemine tabi tutularak 150 g'ı elek analizi için, 24000 g'ı ise 2.aşama için kullanılmıştır.

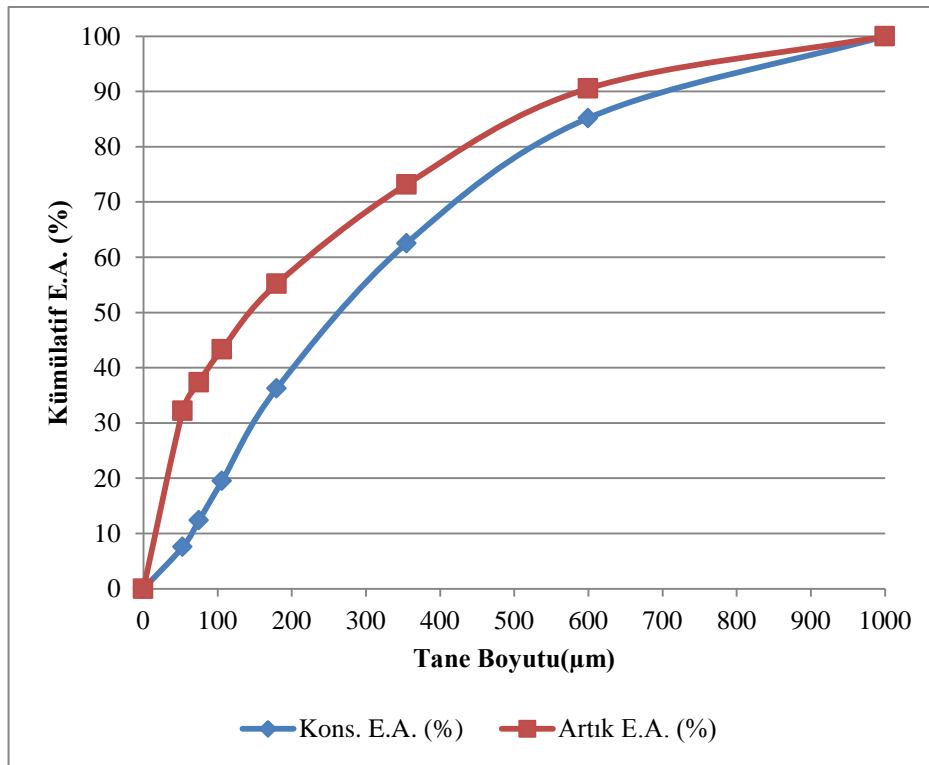
87,16 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki Tablo 3.13, 3.14 ve Şekil 3.23'de verilmiştir.

Tablo 3.13 1.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Ağırlık(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	12,90	14,80	100
600-355	19,75	22,66	85,20
355-180	22,88	26,25	62,54
180-106	14,61	16,76	36,29
106-75	6,23	7,15	19,53
75-53	4,18	4,80	12,38
-53	6,61	7,58	7,58

Tablo 3.14 1.Aşama artığın elek analizi sonuçları

Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık (g)	Ağırlık(%)	Kümülatif Elek Altı (%)
1000-600	13,41	9,45	100
600-355	24,61	17,35	90,55
355-180	25,53	18,00	73,2
180-106	16,81	11,85	55,2
106-75	8,45	5,96	43,35
75-53	7,34	5,17	37,39
-53	45,72	32,22	32,22



Şekil 3.23 1.Aşama konsantre ve artığın tane boyutu-elek altı grafiği

Şekil 3.23'den de görüldüğü üzere zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede daha iri ve homojen tanelerin olduğu, artıktaki ise daha heterojen bir yapının olduğu gözlenmektedir.



Elek analizi yapıp, tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numuneleri, kimyasal analize tabi tutularak bünyesindeki metaller ve değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.15 1.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Konsantre			Au (mg)			Au
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Konsantre	Atık	Besleme Malı	Verim (%)
1000 -600	12,90	14,80	19,14	0,25	57,79	58,04	0,43
600-355	19,75	22,66	63,15	1,25	76,96	78,20	1,59
355-180	22,88	26,25	57,42	1,31	59,49	60,81	2,16
180-106	14,61	16,76	174,33	2,55	28,31	30,85	8,25
106-75	6,23	7,15	388,44	2,42	19,31	21,73	11,14
75-53	4,18	4,80	823,14	3,44	7,22	10,66	32,28
-53	6,61	7,58	3514,53	23,23	162,54	185,77	12,51
Toplam	87,16	100,00		34,45	411,61	446,06	7,72

Tablo 3.16 1.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au(mg)	Toplam Ağırlık (kg)
1000-600	13,41	9,45	12,23	57,79	4,73
600-355	24,61	17,35	8,87	76,96	8,67
355-180	25,53	18,00	6,61	59,49	9,00
180-106	16,81	11,85	4,78	28,31	5,92
106-75	8,45	5,96	6,48	19,31	2,98
75-53	7,34	5,17	2,79	7,22	2,59
-53	45,72	32,23	10,09	162,54	16,11
Toplam	141,87	100,00		411,61	50,00

1.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda altının büyük bir bölümü artık kısımda kaldığı görülmektedir. Tablo 3.15'i incelediğimizde tane boyutu azaldıkça Au oranının arttığı görülmektedir. Buradan da 800 µm tane boyutunda altının yeterince serbest olmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla altın kazanma verimi %7,72 civarında kalmıştır.

## 2.Aşama

2.aşamada öğütme işlemi için laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılarak 80 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %40-50'sinin 75 µm tane boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %40-50'sinin 75 µm altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 20dk sürede %40-50'si 75 µm altına indiği saptanmıştır.

%40-50'si 75 µm tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Knelson cihazı ile GRG testlerinin 2.aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Knelson cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 24 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -75 µm
3. Besleme Hızı: 500 g/dk
4. Su Miktarı: 3,5 l/dk
5. G kuvveti: 60 G
6. Cihazın Çalışma Aralığı: 11-16 Kpa

2.aşama GRG testi sonucunda 80,28 g konsantre ve 23760 g artık elde edilmiştir.23760 g artığın 150 g'ı elek analizi için 20000 g'ı ise 3. Aşama için ayrılmıştır.

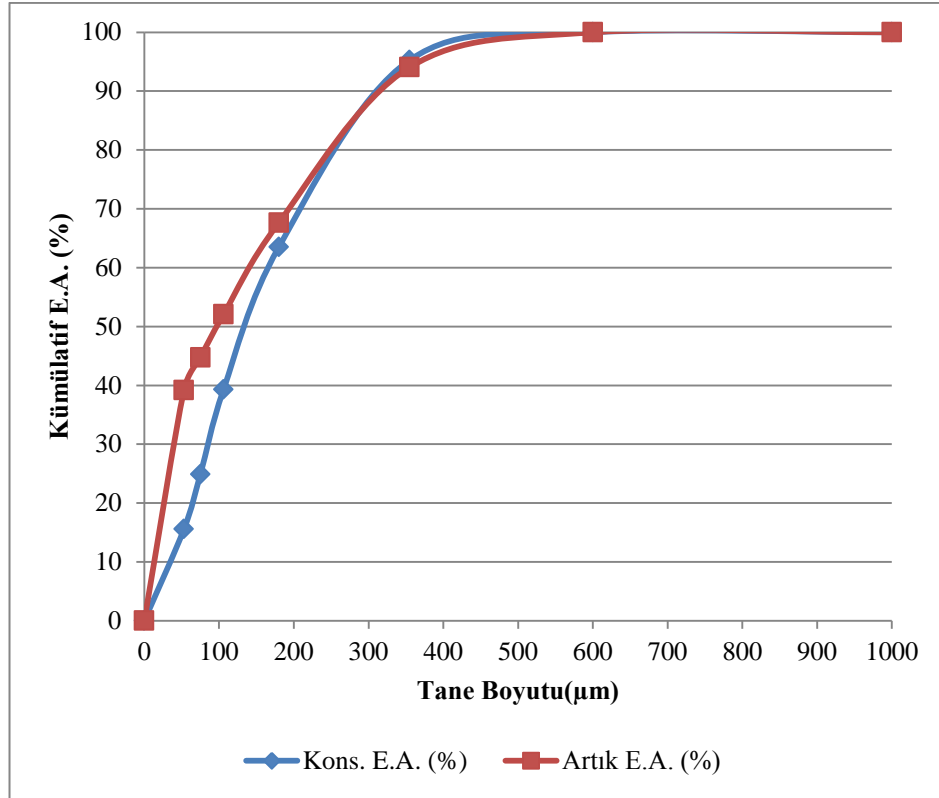
80,28 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki Tablo 3.17, 3.18 ve Şekil 3.24'de verilmiştir.

Tablo 3.17 2.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Ağılık(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0	0,00	100
600-355	3,81	4,73	100
355-180	25,58	31,76	95,27
180-106	19,51	24,22	63,51
106-75	11,60	14,40	39,29
75-53	7,50	9,31	24,89
-53	12,54	15,57	15,57

Tablo 3.18 2.Aşama artığın elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Ağılık(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0	0	100
600-355	8,58	5,93	100
355-180	38,26	26,42	94,07
180-106	22,58	15,59	67,65
106-75	10,60	7,32	52,06
75-53	8,08	5,58	44,74
-53	56,71	39,16	39,16



Şekil 3.24 2.Aşama konsantre ve artığın tane boyutu-elek altı grafiği

Şekil 3.24'den de görüldüğü üzere 1.aşamada olduğu gibi 2. Aşamada da zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede daha iri ve homojen tanelerin olduğu, artıktaki ise daha heterojen bir yapının olduğu gözlenmektedir.

Tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.19 2.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Konsantre			Au (mg)			Au Verim (%)
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au(ppm)	Konsantre	Artık	Besleme Malı	
1000-600	0	0,00	0	0,00	0,0	0,0	0,0
600-355	3,81	4,73	10,45	0,04	18,1	18,14	0,22
355-180	25,58	31,76	23,87	0,61	36,6	37,21	0,02
180-106	19,51	24,22	42,58	0,83	23,2	24,03	3,45
106-75	11,60	14,40	66,34	0,77	8,9	9,67	7,96
75-53	7,50	9,31	114,72	0,86	4,6	5,46	15,75
-53	12,54	15,57	167,53	2,10	19,9	22,0	9,54
Toplam		100		5,21	111,3	116,51	4,47

Tablo 3.20 2.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu(µm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au(ppm)	Au (mg)	Toplam Ağırlık (kg)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	8,58	5,93	12,85	18,09	1,41
355-180	38,26	26,42	5,83	36,61	6,28
180-106	22,58	15,59	6,27	23,23	3,70
106-75	10,60	7,32	5,11	8,90	1,74
75-53	8,08	5,58	3,49	4,63	1,33
-53	56,71	39,16	2,14	19,94	9,30
Toplam	144,81	100,00		111,39	23,76

2.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda 1.aşamada olduğu gibi altının büyük bölümü artığın içinde bulunmaktadır. Tablo 3.19'u incelediğimizde tane boyutu azaldıkça Au oranının arttığı, Tablo 3.20'de ise tam tersi bir durum olan tane boyutunun azaldığında Au oranının azaldığı gözlenmektedir. Buradan da iri tane boyutunda serbestleşmemiş altının olduğu anlaşılmaktadır. Bu aşamda altın kazanma verimimiz %4,47 civarında kalmıştır.

### 3.Aşama

3.aşamada öğütme işlemi laboratuvar tipi çubuklu değirmen kullanılarak 80 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %80'inin -75 µm boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %80'inin 75 µm altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 5dk sürede %80'i 75 µm altına indiği saptanmıştır.

-75 µm tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Knelson cihazı ile GRG testlerinin 3.aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Knelson cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 20 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -75 µm
3. Besleme Hızı: 400 g/dk
4. Su Miktarı: 3 l/dk
5. G kuvveti: 60 G
6. Cihazın Çalışma Aralığı: 12-16 Kpa

3.aşama Lablant testi sonucunda 68,81 g konsantre ve 19940 g artık elde edilmiştir.19940 g artığın 150 g'ı elek analizi için ayrılmıştır.

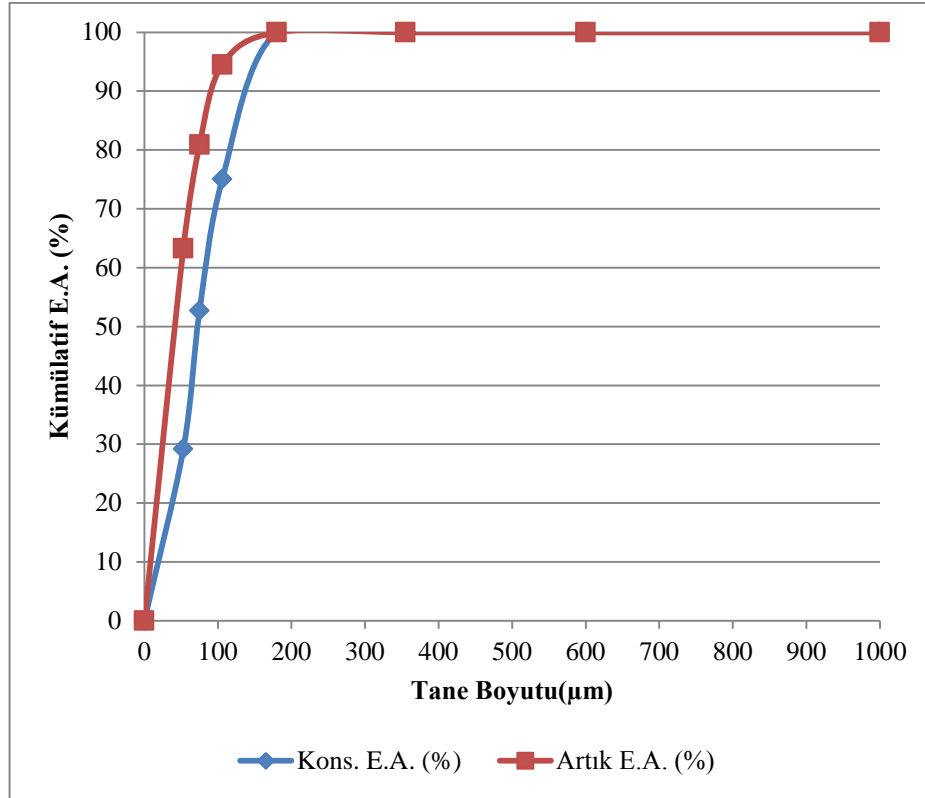
68,81 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki (Tablo 3.21, 3.22) ve (Şekil 3.25)'de verilmiştir.

Tablo 3.21 3.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Ağırlık(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0	0,00	100
600-355	0	0,00	100
355-180	0	0,00	100
180-106	17,17	24,95	100
106-75	15,39	22,37	75,05
75-53	16,16	23,48	52,68
-53	20,09	29,20	29,20

Tablo 3.22 3.Aşama artığın elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Ağırlık(%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0	0,00	100
600-355	0	0,00	100
355-180	0	0,00	100
180-106	7,76	5,47	100
106-75	19,31	13,61	94,53
75-53	25,04	17,64	80,92
-53	89,8	63,28	63,28



Şekil 3.25 3.Aşama konsantre ve artığın tane boyutu-elek altı grafiği

Şekil 3.25'e baktığımızda zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede daha iri ve homojen tanelerin olduğu, artıktaki ise heterojen bir yapının olduğu gözlenmektedir.

Tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.23'de belirtilmiştir.



Tablo 3.23 3.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Konsantre			Au (mg)			Au
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Konsantr e	Atık	Besleme Malı	Verim (%)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180-106	17,17	24,95	22,20	0,38	8,24	8,62	4,42
106-75	15,39	22,37	761,55	11,72	15,19	26,91	43,55
75-53	16,16	23,48	78,56	1,27	15,00	16,27	7,80
-53	20,09	29,20	64,63	1,30	68,39	69,69	1,86
Toplam	68,81	100,00		14,67	106,82	121,49	12,07

Tablo 3.24 3.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au (mg)	Toplam Ağırlık (kg)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180-106	7,76	5,47	7,55	8,24	1,09
106-75	19,31	13,61	5,60	15,19	2,71
75-53	25,04	17,64	4,26	15,00	3,52
-53	89,80	63,28	5,42	68,39	12,62
Toplam	141,91	100,00		106,82	19,94

3.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda diğer aşamalarda olduğu gibi altının büyük bir bölümü artığın içinde bulunmaktadır. Ancak diğer aşamalara göre bu aşamada altın kazanma verimi daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Tablo 3.23' ü incelediğimizde özellikle 106-75  $\mu\text{m}$  tane sınıfı aralığında verimimiz oldukça yüksektir. Ortalama konsantre verimi ise %12,07 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.25 GRG testi aşamalarının deney verileri

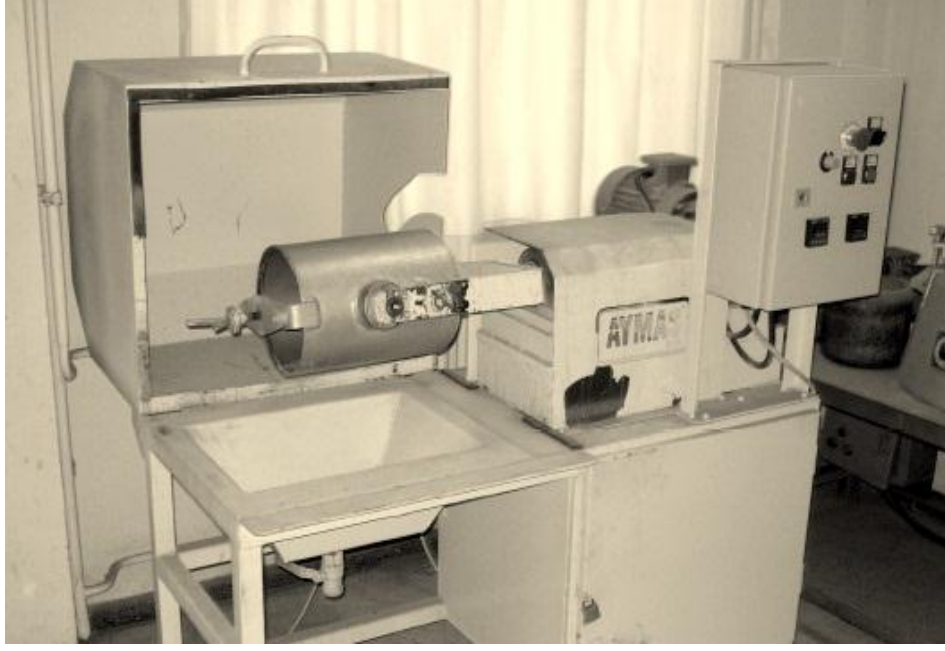
	Besleme Miktarı (kg)	Malzeme Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Konsantre Miktarı (g)	Artık Miktarı (kg)	Konsantre Verimleri
1.Aşama	50	-800	87,16	47,840	7,72
2.Aşama	24	-75	80,28	23,760	4,47
3.Aşama	20	-75	68,13	19,940	12,08
Toplam gravite ile kazanılabilir altın (GRG)					24,27

Cevher üzerinde Knelson separator kullanılarak yapılan gravite ile kazanılabilir altın (GRG) testleri sonucunda cevher altın içeriğinin %24.27'sinin gravimetrik metodlar uygulanarak kazanılabilir özellik taşıdığı bulunmuştur.

### **3.7.2 Falcon Konsantratör Kullanılarak GRG Test Uygulaması**

#### **1.Aşama**

Öğütme işleminde laboratuvar tipi bir çubuklu değirmen kullanılarak (Şekil 3.26) 83 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %100'ünün -800  $\mu\text{m}$  serbestleşme boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %100'ünün -800  $\mu\text{m}$  altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 12 dk'da %100' ünün -800  $\mu\text{m}$  altına indiği saptanmıştır.



Şekil 3.26 Laboratuvar tipi çubuklu değirmen

-800  $\mu\text{m}$  tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Falcon cihazı ile GRG testlerinin 1. aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Falcon cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 50 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -800  $\mu\text{m}$
3. Besleme Hızı: 1000 g/dk
4. Su Miktarı: 8 psi (15  $\ell$ /dk )
5. G kuvveti: 123 G (50 Hz )



Şekil 3.27 Falcon konsantratörde zenginleştirme işlemi



Şekil 3.28 Falcon konsantratörde zenginleştirme İşlemi

1.aşama GRG testi sonucunda elde edilen konsantre ve artık dekante edildikten sonra 105°C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur.

Bu işlemler sonunda 172,4 g konsantre ve 50000 g artık elde edildi. 50000 g artık dörtleme işlemine tabi tutularak 150 g'ı elek analizi için, 24000 g'ı ise 2.aşama için kullanıldı.

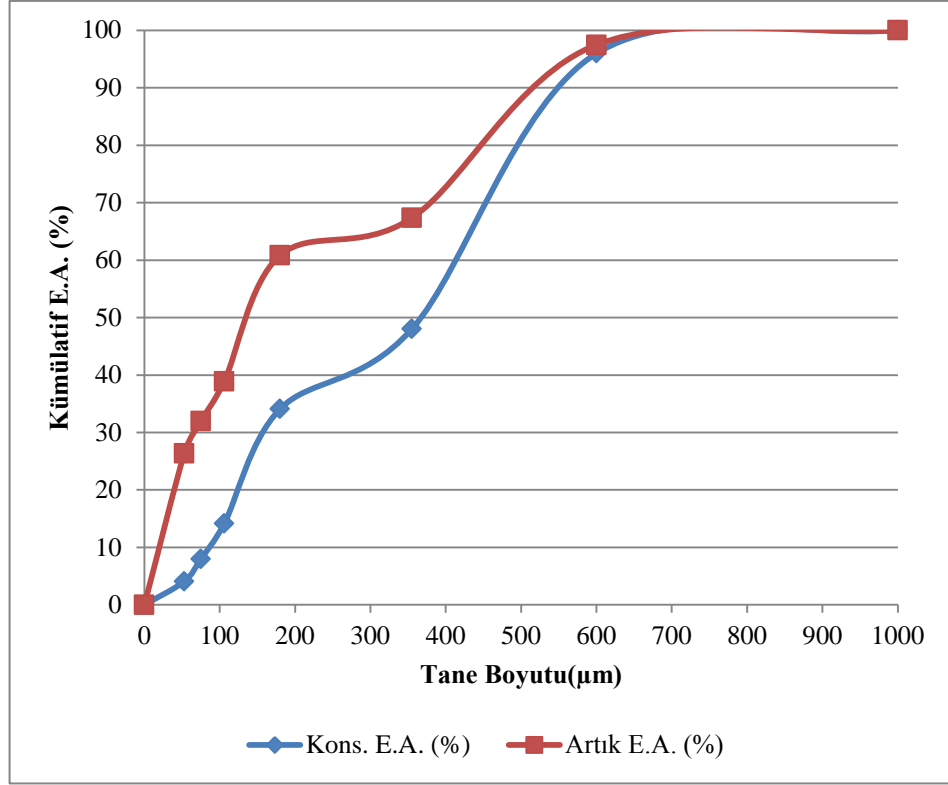
172,4 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki Tablo 3.26,3.27 ve Şekil 3.29'de verilmiştir.

Tablo 3.26 1.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

Tane boyutu( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık		Kümülatif elek altı (%)
	(gr)	(%)	
1000-600	6,95	4,03	100,00
600-355	82,69	47,96	95,97
355-180	24	13,92	48,00
180-106	34,4	19,95	34,08
106-75	10,58	6,14	14,13
75-53	6,73	3,90	7,99
-53	7,05	4,09	4,09

Tablo 3.27 1.Aşama artığın elek analizi sonuçları

Tane Boyutu( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
1000-600	3,88	2,53	100,00
600-355	46,11	30,13	97,47
355-180	9,97	6,51	67,34
180-106	33,60	21,95	60,83
106-75	10,56	6,90	38,88
75-53	8,63	5,64	31,98
-53	40,31	26,34	26,34



Şekil 3.29 1.Aşama konsantre ve artığın tane iriliği-elek altı grafiği

Şekil 3.29'da da görüldüğü üzere zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede 75 mikron üzerinde homojen bir dağılım görülürken artıktaki 106 mikron üzerinde heterojen bir yapının olduğu gözlenmektedir.

Elek analizi yapıp, tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numuneleri, kimyasal analize tabi tutularak bünyesindeki metaller ve değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.28 1.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu( $\mu\text{m}$ )	Konsantre			Au (mg)			Au
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Konsantre	Artık	Besleme Malı	Verim (%)
1000-600	6,95	4,03	23,38	0,16	18,08	18,24	0,89
600-355	82,69	47,96	19,75	1,63	122,94	124,58	1,31
355-180	24,00	13,92	11,74	0,28	27,78	28,06	1,00
180-106	34,40	19,95	30,63	1,05	66,06	67,11	1,57
106-75	10,58	6,14	219,38	2,32	18,00	20,32	11,42
75-53	6,73	3,90	576,49	3,88	12,92	16,80	23,09
-53	7,05	4,09	4505,20	31,76	68,43	100,19	31,70
Toplam	172,40	100,00	395,21	41,09	334,20	375,30	10,95

Tablo 3.29 1.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au (mg)	Toplam Ağırlık (kg)
1000-600	3,88	2,53	14,26	18,08	1,27
600-355	46,11	30,13	8,16	122,94	15,06
355-180	9,97	6,51	8,53	27,78	3,26
180-106	33,60	21,95	6,02	66,06	10,98
106-75	10,56	6,90	5,22	18,00	3,45
75-53	8,63	5,64	4,58	12,92	2,82
-53	40,31	26,34	5,20	68,43	13,17
Toplam	153,06	100,00	8,23	334,20	50,00

1.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda altının büyük bir bölümü artık kısımda kaldığı görülmektedir. Tablo 3.28'i incelediğimizde tane boyutu azaldıkça Au oranının arttığı görülmektedir. Buradan da 800  $\mu\text{m}$  tane boyutunda altının yeterince serbest olmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla altın kazanma verimi %10,95 civarında kalmıştır.

## 2.Aşama

2.aşamada öğütme işlemi için laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılarak 83 dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %40-50'sinin 75 µm tane boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %40-50'sinin 75 µm altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 7 dk sürede %40-50'si 75 µm altına indiği saptanmıştır.

%40-50'si 75 µm tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Falcon konsantratör ile GRG testlerinin 2.aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Falcon konsantratör çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 24 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -75 µm
3. Besleme Hızı: 500 g/dk
4. Su Miktarı: 6 psi (13,5 l/dk )
5. G kuvveti: 123 G ( 50 Hz )

2.aşama Lablant testi sonucunda 60,32 g konsantre ve 24133 g artık elde edilmiştir. 24133 g artığın 150 g'ı elek analizi için 20000 g'ı ise 3. Aşama için ayrılmıştır.

60,32 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki Tablo 3.30, 3.31 ve Şekil 3.30'da verilmiştir.

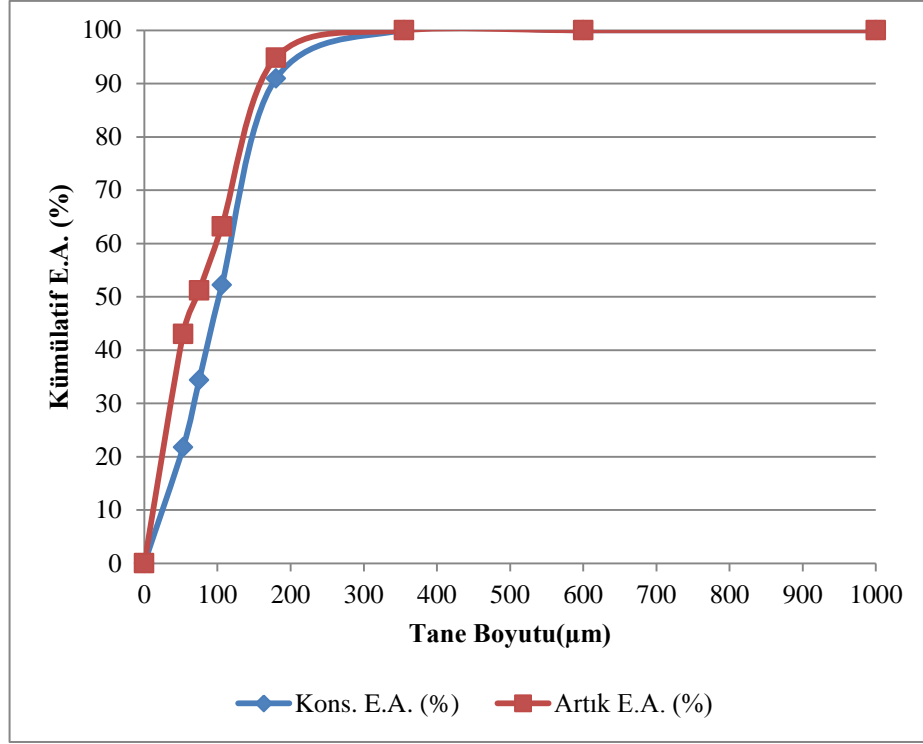


Tablo 3.30 2.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0,00	0,00	100,00
600-355	0,00	0,00	100,00
355-180	5,46	9,05	100,00
180-106	23,37	38,74	90,95
106-75	10,77	17,85	52,20
75-53	7,60	12,60	34,35
-53	13,12	21,75	21,75

Tablo 3.31 2.Aşama artığın elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0,00	0,00	100,00
600-355	0,00	0,00	100,00
355-180	7,77	5,13	100,00
180-106	47,97	31,65	94,87
106-75	18,28	12,06	63,22
75-53	12,38	8,17	51,16
-53	65,15	42,99	42,99



Şekil 3.30 2. Aşama konsantre ve artığın tane iriliği-elek altı grafiği

Şekil 3.30'dan da görüldüğü üzere 2. Aşamada da zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede homojen yapı gözlenirken artılda 106-75 mikron ve -53 mikron tane boyutunda cevherin toplandığı heterojen bir yapı gözlenmektedir.

Tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.32'de belirtilmiştir.

Tablo 3.32 2.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Konsantre			Au(mg)			Au
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Konsantre	Atık	Besleme Malı	Verim (%)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	5,46	9,05	74,94	0,41	14,41	14,82	2,76
180-106	23,37	38,74	61,29	1,43	57,79	59,22	2,42
106-75	10,77	17,85	113,83	1,23	17,26	18,48	6,63
75-53	7,60	12,60	206,21	1,57	4,14	5,70	27,47
-53	13,12	21,75	3304,57	43,36	43,77	87,13	49,76
Toplam	60,32	100,00		47,99	137,36	185,35	25,89

Tablo 3.33 2.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Ağırlık %	Au (ppm)	Au(mg)	Ağırlık (kg)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	7,77	5,13	11,65	14,41	1,24
180-106	47,97	31,65	7,57	57,79	7,64
106-75	18,28	12,06	5,93	17,26	2,91
75-53	12,38	8,17	2,10	4,14	1,97
-53	65,15	42,99	4,22	43,77	10,37
Toplam	151,55	100,00		137,36	24,13

2.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda 1.aşamada olduğu gibi altının büyük bölümü artığın içinde bulunmaktadır. Ancak diğer aşamalara göre bu aşamada altın kazanma verimi daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Tablo 3.32 ve 3.33'ü incelediğimizde tane boyutu azaldıkça Au oranının arttığı gözlenmektedir. Buradan da iri tane boyutunda serbestleşmemiş altının oranının azaldığı anlaşılmaktadır. Bu aşamada altın kazanma verimimiz %25,89 olarak belirlenmiştir.

### 3.Aşama

3.aşamada oğütme işlemi laboratuvar tipi çubuklu değirmen kullanılarak 83dev/dk dönüş hızında çalıştırılarak malzemenin %80'inin -75 µm boyutuna getirilmesi amaçlanmaktadır. Malzemenin %80'inin -75 µm altına inebilmesi için öncelikle zaman etütleri yapılmıştır ve 4 dk sürede %80'i -75 µm altına indiği saptanmıştır.

-75 µm tane boyutuna getirilen altın numunelerimiz Falcon cihazı ile GRG testlerinin 3.aşaması yapılmıştır. Bu aşamada Falcon cihazının çalışma parametreleri aşağıdaki gibidir;

1. Numune Miktarı: 20 kg
2. Malzeme Tane Boyutu: -75 µm
3. Besleme Hızı: 400 g/dk
4. Su Miktarı: 4 psi (10,5 l/dk )
5. G kuvveti: 123 G (50Hz)

3.aşama GRG testi sonucunda 50,51 g konsantre ve 19480 g artık elde edilmiştir. 19480 g artığın 150 g'ı elek analizi için ayrılmıştır.

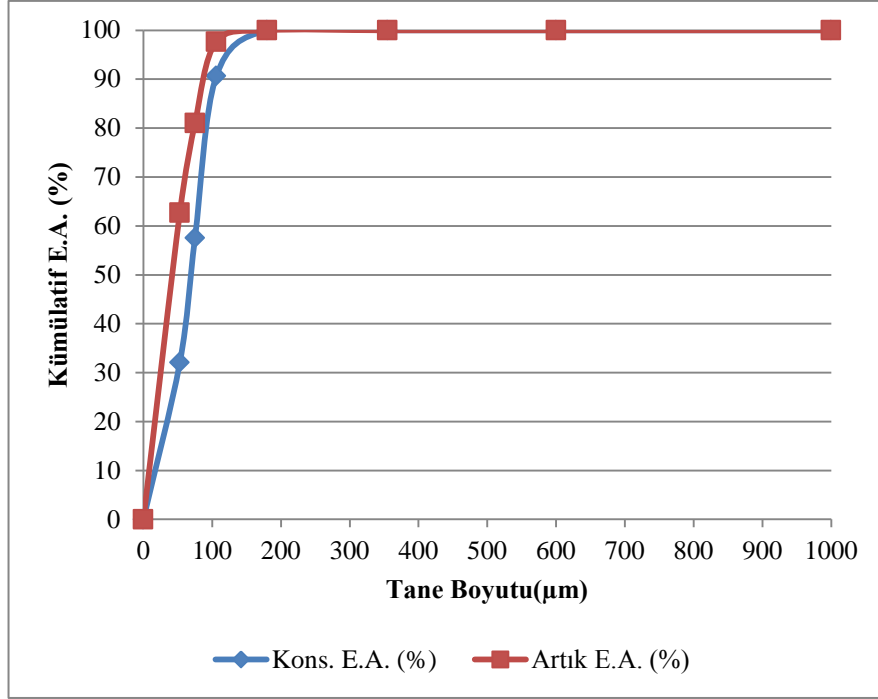
50,51 g konsantre ve 150 g artığın üzerinde yapılan elek analizi sonuçları aşağıdaki (Tablo 3.34, 3.35) ve (şekil 3.31)'da verilmiştir.

Tablo 3.34 3.Aşama konsantrenin elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0,00	0,00	100,00
600-355	0,00	0,00	100,00
355-180	0,00	0,00	100,00
180-106	4,73	9,36	100,00
106-75	16,71	33,08	90,63
75-53	12,87	25,48	57,55
-53	16,20	32,07	32,07

Tablo 3.35 3.Aşama artığın elek analizi sonuçları

<b>Tane Boyutu(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kümülatif Elek Altı (%)</b>
1000-600	0,00	0,00	100,00
600-355	0,00	0,00	100,00
355-180	0,00	0,00	100,00
180-106	3,56	2,32	100,00
106-75	25,60	16,68	97,68
75-53	28,12	18,32	81,01
-53	96,24	62,69	62,69



Şekil 3.31 3.Aşama konsantre ve artığın tane iriliği-elek altı grafiği

Şekil 3.31'e baktığımızda zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede homojen tanelerin olduğu, artıktaki ise heterojen bir yapının olduğu cevherin büyük bir kısmının  $-53 \mu\text{m}$  tane boyutunda bulunduğu gözlenmektedir.

Tane boyutlarına göre sınıflandırılmış olan konsantre ve artık numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.36'da belirtilmiştir.

Tablo 3.36 3.Aşama konsantrenin kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Konsantre			Au (mg)			Au
	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Konsantre	Atık	Besleme Malı	Verim (%)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180-106	4,73	9,36	23,41	0,11	5,15	5,26	2,11
106-75	16,71	33,08	49,25	0,82	23,46	24,28	3,39
75-53	12,87	25,48	42,69	0,55	19,31	19,86	2,77
-53	16,20	32,07	1357,59	21,99	158,27	180,27	12,20
Toplam	50,51	100,00		23,48	206,19	229,66	10,22

Tablo 3.37 3.Aşama artığın kimyasal analiz deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au (mg)	Toplam Ağırlık (kg)
1000-600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600-355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355-180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180-106	3,56	2,32	11,39	5,15	0,45
106-75	25,60	16,68	7,22	23,46	3,25
75-53	28,12	18,32	5,41	19,31	3,57
-53	96,24	62,69	12,96	158,27	12,21
Toplam	153,52	100,00		206,19	19,48

3.Aşama analiz sonuçlarına baktığımızda diğer aşamalarda olduğu gibi altının büyük bir bölümü artığın içinde bulunmaktadır. Tablo 3.36'yı incelediğimizde özellikle -53 µm tane sınıfında verimimiz oldukça yüksektir. Ortalama konsantre verimi ise %10,22 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.38 GRG testi aşamalarının deney verileri

	Besleme Miktarı (kg)	Malzeme Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Konsantre Miktarı (g)	Artık Miktarı (kg)	Konsantre Verimleri
1.Aşama	50,1724	-800	172,4	50,000	10,95
2.Aşama	24,193	-75	60,32	24,133	25,89
3.Aşama	19,530	-75	50,51	19,480	10,22
Toplam gravite ile kazanılabilir altın (GRG)					47,06

Cevher üzerinde Falcon konsantratör kullanılarak yapılan gravite ile kazanılabilir altın (GRG) miktarı belirleme testleri sonucunda cevher altın içeriğinin %47,06'sının gravimetrik metodlar uygulanarak kazanılabilir özellik taşıdığı bulunmuştur.



## BÖLÜM DÖRT SONUÇLAR

Gümüşhane Mastra altın cevheri üzerinde yapılan zenginleştirme çalışmalarında gravimetrik yöntemle altın kazanımı araştırılmış ve geleneksel yöntemlerden siyanürle altın kazanımına oranla çevresel ve insan sağlığı açısından daha az risk oluşturması yöntemi avantajlı kılmalıdır. Gravimetrik yöntemlerle büyük tanelerin önceden ayrılması liç işlemlerinin süresini kısaltmaktadır. Ayrıca liç işlemlerinde harcanacak reaktif miktarının azalmasının yanında, çözültiden altının kazanılması sırasında daha düşük aktif karbon maliyetleri oluşmaktadır. Gravimetrik yöntemde reaktif kullanımının olmaması nedeniyle liç yöntemlerine göre daha ekonomik yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen temiz konsantre direk izabeye gönderilerek metal daha ucuza ve daha kısa sürede elde edilebilmektedir.

Gümüşhane mastra altın cevheri üzerinde yapılan fiziksel incelemeler sonucunda altın cevheri 0,075 mm tane boyutu altında serbestleşme göstermektedir. Buna bağlı olarak yapılan öğütme testi sonuçlarına göre malzemenin yaklaşık % 80'i, 37 dakikalık bir öğütme sonunda 0,075 mm boyutu altına geçmektedir. Besleme malı elek metal değerleri incelendiğinde, besleme malında, 6,63ppm Au 4,48 ppm Ag ve %0,25 Pb olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Au ve Pb'da yapısal bir zenginleştirme görülmezken Ag'de tane boyutu azaldıkça tenör değerleri artmaktadır. Bu da Ag'nin yapısal olarak zenginleştiğini göstermektedir. Cevherin hem Au hem de Ag açısından işlenebilir değerlerin üzerinde olduğu açıkça görülmektedir.

XRD ile minerolojik analizler sonucunda altın cevherine ait kayaçların büyük oranda kuvarstan oluştuğu ve yapısında sifelarit, kalsit, illit, kaolinite, jarosit minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir. Altın kuvars içinde serbest ve düzensiz taneler şeklindedir.

İş indeksini belirlemek amacıyla Gümüşhane Mastra altın cevherine uygulanan Bond öğütülebilirlik testi sonucunda iş indeksi 18,03 kWs/st olarak hesaplanmıştır.

Yapılan zenginleştirme çalışmalarından Knelson konsantrötör ile zenginleştirmede yüksek G kuvveti düşük yıkama suyunda altın tanelerinin koni içerisinde gözenekleri tıkanması ve akışkan yatağın bozulması sonucu ağır altın taneleri artığa süpürülmüş ve verimi düşürmüştür. %30, %45, 40 G, 60 G, 90 G ve 120 G kuvvetlerinde 2-2,5-3-4 ve 5 l/dak yıkama suyu değerleri incelenmiştir. Knelson konsantrötör için optimum çalışma parametresi 60 G 3 l /dk'da elde edilmiştir. 60 G 3 l/dk'da konsantre verimi %57,98 113 ppm tenör değeri ile kazanılabileceği belirlenmiştir.

GRG testleri için yapılacak olan deneylerde Knelson Konsantrötör deney sonuçları incelenmesi sonucu 60 G ve 3,5 l/dk optimal parametreleri göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan zenginleştirme çalışmalarından Falcon konsantrötör ile zenginleştirmede 78 G, 123 G ve 176 G kuvvetlerinde 4,6,8 psi su basıncı değerleri incelenmiştir. Falcon konsantrötör için optimum çalışma parametresi 123 G de 6 psi olarak belirlenmiştir. 123 G ve 6 psi'da konsantre verimi %68,97 1029,37 ppm tenör değeri ile kazanılabileceği hesaplanmıştır.

GRG testleri için yapılacak olan deneylerde Falcon Konsantrötör parametreleri deney sonuçları incelenmesi sonucu 123 G (50 Hz) ve 6 psi (13,5 l/dak) optimal değeri göz önünde bulundurulmuştur.

Knelson Konsantrötör kullanılarak yapılan GRG testlerinin ilk aşamasında zenginleştirme sonrası elde edilen konsantrede daha iri ve homojen tanelerin olduğu, artıktaki ise daha heterojen bir yapının olduğu gözlenmektedir. Altının büyük bir bölümünün artık kısımda kaldığı belirlenmiştir. 1. aşama GRG değeri %7,72 olarak hesaplanmıştır. 2. Aşamada GRG değeri %4,47, 3. Aşamada ise %12,08 olarak hesaplanmıştır. Toplam GRG miktarı %24,27 olarak bulunmuştur.

Falcon Konsantrötör kullanılarak yapılan GRG testlerinde ilk aşamada GRG değeri %10,95 olarak hesaplanmıştır. 2. Aşamada GRG değeri %25,89, 3. Aşamada

ise %10,22 olarak belirlenmiştir. Bu testler sonucu, toplam GRG miktarı %47,06 olarak bulunmuştur.

Uygulanan GRG testleri sonrası en yüksek GRG değerine Falcon Konsantretör 2. Aşama da ulaşılmış olup %25,89 GRG değeri elde edilmiştir. Knelson konsantretöre oranla daha yüksek oranda GRG değeri sağlamasına karşın Falcon konsantretörde kullanılan yıkama su miktarı Knelson konsantretöre göre oldukça fazladır. Bu durum yüksek su sarfiyatı oluşturur.

Knelson ve Falcon konsantretörlerle yapılan zenginleştirme ve GRG değerleri incelendiğinde cihazlardan elde edilen konsantre verimleri %20-60 arasında kalmaktadır. Cihazların kullanımı siyanürleme veya liç işlemlerine geçişte by-pass olarak ön zenginleştirme için uygun olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adams, M.D., (2005). *Advances in Gold Ore Processing*, Developments in Mineral Processing 15, Elsevier.
- Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E. (2004). *Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator*, SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, (259- 266).
- AMD, (2008). *Madencilik Sektörü ve Türkiye’de Altın Madenciliği*, (10-19).
- Aydın, R. (2008). *Altın Zenginleştirme İşlemleri*. Bitirme Projesi, İzmir
- Aydın, M.E. ve Kahraman F. (2001). *Evaluation Of Chromite Tailings Of Etibank – Kef Concentration Plant*, IX. Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul
- Bayat, O., (2009). *Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor)*, Çukurova Üniversitesi, (1-2).
- Bayat, O., (Şubat 2009). *Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor)*, Çukurova Üniversitesi, (12 – 13).
- Bayraktar, İ. ve Yarar, B. *Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesi ve Altının Ekstraksiyonu*, Ankara.
- Bernstein K. ve Peter L. ,(2008). *Altının Günü*. Scala Yayıncılık
- Gee B. ve Holtham P., *Recovery of fine gold particles using a Falcon ‘B’ separator*, Australia.

- Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M. ve Yazıcı, E.( 2004). Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators. *10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (27-33).
- Chan Billy, S. K., Mozley, R. H. ve Childs, G. J. C. (1994). (A.E.Yüce, Çev.). Multi Gravite Ayırıcı, *Madencilik Dergisi* ,Cilt 34, Sayı 1, (33 – 41).
- Çağlar, D. (2002). *Türkiye’de Altın Madenciliği ve Potansiyelinin Belirlenmesi*. Bitirme Projesi, İzmir
- Çilingir, Y. (1996) . *Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri*. İzmir
- Deschenes, G., McMullen, J., Ellis, S., Fulton, M. ve Atkin, A.(2005). Investigation on the Cyanide Leaching Optim,zation fot the Treatment of KCGM Gold Flotation Concentrate-phase 1, *Minerals Engineering*, 18, (832-838).
- Doğanay, H. (2002). *Ekonomik Coğrafya I Doğal Kaynaklar*, Erzurum, (233)
- Gence, N., (1985). *Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Gümüşhane Çevre Durum Raporu*, (b.t.) 2009, [http://gumushane.cevreorman.gov.tr/Gumushane/New%20folder%20\(1\)/G%C3%BCm%C3%BC%C5%9Fhane%20%C4%B0li%20%C3%87evre%20Durum%20Raporu.pdf](http://gumushane.cevreorman.gov.tr/Gumushane/New%20folder%20(1)/G%C3%BCm%C3%BC%C5%9Fhane%20%C4%B0li%20%C3%87evre%20Durum%20Raporu.pdf)
- Gosselin, A. & Blackburn, D. ve Bergeron, M. (1999). *Assessment Protocol of the Applicability of Ore-Processing Technology to Treat Contaminated Soils,Sediments and sludges*. Sainte-Foy.
- GFMS, (b.t.) 2010, <http://www.gfms.co.uk/>

Honaker, R.Q., Wang, D. and Ho, K., (1996). *Application of the Falcon Concentrator for Fine Coal Cleaning* (1144-1146)

*Knelson centrifugal concentrators*, (b.t.) 2011,  
<http://www.knelsongravitysolutions.com/page344.htm>

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

*Koza Altın İşletmeleri*, (b.t.) 2011,  
<http://www.kozaaltin.com.tr/index.php?Maden=MadenIsletmeleri&Kategori=Mastra&AltKategori=MastraGenelBilgi>

La Brooy, S.R., Linge, H.G. ve Walker, G.S. (1994). Review of Gold Extraction from Ores, *Minerals Engineering*, 7, 10, (1213-1241).

Laplante, A.R. ,(b.t). *A Standardized Test To Determine Gravity Recoverable Gold Canada*

Laplante, A.R., Woodcock, F. ve Noaparast, M. (1995). Predicting Gravity Separation Gold Recoveries, *Minerals and Metallurgical Processing*, 5,(74-79).

Lehne, R. W. (2003). *Treatment and Microscopy of Gold and Base Metal Ores*.

Ling, P., (1994). *A Kinetic Study of Gold Ore by Cyanidation*, Yüksek Lisans Tezi, University of Toronto.

Linge, H.G. ve Welham, N.J. (1997). Gold Recovery from a Refractory Arsenopyrite (FeAsS) Concentrate by In-Situ Slurry Oxidation, *Mineral Engineering*, 10,6, (557-566).

Ling, J. (1998). *A study of a variable speed 3-in Knelson Concentrator*, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.

Longley, R.J., McCallum ve Katsikaros N. (2003). Intensive Cyanidation: Onsite Application of the Inline Leach Reactor to Gravity Gold Concentrates, *Minerals Engineering*, 16, (411-419).

*Madenlerin Günlük Yaşamımızdaki Önemi*, (b.t) 2008.  
<http://www.altinmadencileri.org.tr/userfiles/file/maden%20web-24-10-08.pdf>

Madencilik ÖİK Raporu, (2001) *Metal Madenler Alt Komisyonu Değerli Metaller Çalışma Grubu Raporu*. Ankara.

Magumbe, L., (2002). *Process Desing for Gold Recovery from The Chester Deposit*, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.

Mc Quiston,F.W., (1985). Properties of Gold and Recovery Methods, *SME Mineral Processing Handbook*, (18-8)-(18-36)

McAlister, S. and Armstrong, K.C. (1998). Development of the Falcon concentrators, *Society For Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Annual Meeting*, Orlando.

*Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü.*, (b.t.) 2010.  
[http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/metalik\\_madenler/webaltin.pdf](http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/metalik_madenler/webaltin.pdf)

Önal, G., (1985). *Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

Özer, Ü. ve Çabuk, E. (2006). *Bond İş İndeksi ve Kaya Parametreleri Arasındaki İlişki*. İstanbul

Patchejieff, B., Gaidarjiev, S. ve Lazarov, D. (1995). Opportunities for Fine Gold Recovery from a Copper Flotation Circuit using a Knelson Concentrator, *Minerals Engineering*, 7,2/3, (405- 409)

Pyke, B.L., Johnston, R.F. ve Brooks, P., (1999). The Charecterisation and Behaviour of Carbonaceous Material in a Refractory Gold Bearing Ore, *Minerals Engineering*, 12,8,(851-862).

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

Şen, S. , (2000) *An Investigation on the Beneficiation of Gold Ores by Flotation and Coal Oil- Gold Agglomerate Flotation*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir

*Türkiye Altın-Gümüş Yatakları*, (b.t.) 2010, [www.haritaburada.com](http://www.haritaburada.com)

Tüysüz, N., Özdoğan. K .,Er. M., Yılmaz. Z . ve Ağan. A . (1994). Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. 37. (41-46).

Tüysüz, N., Er. M., Yılmaz. Z. ve Akıncı. S. (1995). *Geology Mineralogy and Alterai in ore the Mastra Gold-Silver Deposit*. Gümüşhane. J Of Earth Sciences. 4. Tubitak. (11-21).

Vincent, F., (1997). *A Comparison of Knelson Concentrator and Jig Performance for Gold Recovery*, Yüksek Lisans Tezi, McGill Üniversitesi, Montreal.

Wills, B.A., (1997). *Mineral Processing Technology*, Butterworth-Heinemann Press, Londra.



Xiao, J., (1998). *Testing a New Gold Centrifugal Concentrator*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal, Kanada.

Yıldız, N. (2007). *Cevher Hazırlama*. Ankara

Yıldırım. İ., Ateşok, G. ve Çelik, M., (1995). Laboratuvar - Pilot Tip Multi Gravite Cihazı İle Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi, *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, ISBN (975-395-150-7), (443 – 448).