



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



BANDIRMA SÜLFÜRİK ASİT TESİSİ PİRİT
KÜLLERİNİN
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Ömer KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ömer KILIÇ tarafından hazırlanan “**Bandırma Sülfürik Asit Tesisi Pirit Küllerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 30/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Alper ÖZKAN

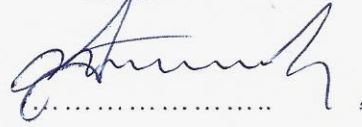
Danışman

Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

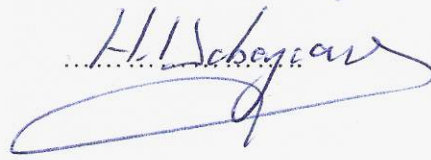
Üye

Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
LEE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


İmza

Ömer KILIÇ

Tarih: 18.12.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BANDIRMA SÜLFÜRİK ASİT TESİSİ PİRİT KÜLLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer KILIÇ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

2018, 45 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Salih AYDOĞAN
Prof.Dr. Alper ÖZKAN
Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Bu tezin konusu olan MGS ile pirit külü zenginleştirme çalışmalarında tambur dönüş hızı, genlik, yıkama suyu debisi ve tambur eğimi gibi parametrelerin pirit külünden SiO_2 giderimine olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda; tambur dönüş hızı arttıkça konsantrenin Fe tenörleri azalmakta, Fe kazanım verimi artmakta ve aynı zamanda doğal olarak SiO_2 giderim verimi de azalmaktadır. Yıkama suyu debisinin SiO_2 giderimine olan etkisi çalışmalarında; yıkama suyu miktarı arttıkça konsantelerin Fe tenörü artarken Fe kazanım verimlerinde düşüş ve aynı zamanda SiO_2 giderim verimi de artmaktadır. Genlik miktarının/uzunluğunun SiO_2 giderimine etkisi çalışmalarında; genlik uzunluğunun Fe tenör ve Fe kazanım verimlerine çok az etkili olduğu ve aynı zamanda SiO_2 giderim verimlerinde de fazla bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Tambur eğiminin SiO_2 giderimine etkisi çalışmalarında; tambur eğimi arttıkça Fe tenörlerinde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Eğimin etkisinden dolayı eğim arttıkça konsantre miktarı azalmış ve buna karşılık dolayısıyla Fe kazanım verimleri de azalmıştır. Elde edilen optimum parametreler kullanılarak yapılan deneyde ise artıktaki SiO_2 giderim verimi ve tenörü sırasıyla %53,11 ve %8,72 SiO_2 olarak gerçekleşmiştir. Konsantre Fe tenörü %68,14 olurken Fe kazanım verimi ise yaklaşık %83 olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen konsantrenin SiO_2 tenörü %2.17 olarak gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gravite zenginleştirme, MGS, pirit, pirit külü.

ABSTRACT

MS/Ph.D THESIS

INVESTIGATION OF ENRICHMENT OF BANDIRMA SULPHURIC ACIDE PLANT PYRITE ASHES

Ömer KILIÇ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining**

Advisor: Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

2018, 45 pages

November

Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

Prof.Dr. Alper ÖZKAN

Assoc. Prof.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

In this study, the effects of parameters such as drum rotation speed, amplitude, wash water flow rate and drum slope on the removal of SiO₂ from pyrite ash removal were investigated. As a result of the studies; as the drum rotation speed increases, the Fe grades of the concentrate decrease, the Fe recovery increases, and the efficiency of SiO₂ removal also reduces naturally. In the studies carried out on the effect of washing water flow on SiO₂ removal; as the amount of washing water increases, the Fe grade of the concentrates increases, while Fe recovery decreases and the efficiency of SiO₂ removal is also increased. The effects of amplitude / length on SiO₂ removal were found in; it was observed that the amplitude length had little effect on Fe grade and Fe recoveries and also was no effect on the SiO₂ removal efficiency. Effects of drum slope on SiO₂ removal; no significant change was observed in Fe grades as the slope of the drum increased. Due to the effect of the slope, the amount of concentrate decreased as the slope increased, and therefore Fe recovery decreased. In the experiment performed using the optimum parameters, the SiO₂ removal efficiency and grade in the tailing was 53.11% and 8.72% SiO₂, respectively. The Fe grade of the concentrate was 68.14% and the recovery was about 83%. The SiO₂ grade of the obtained concentrate was also 2.17%.

Keywords: Gravity separation, MGS, pyrite, pyrite ash.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bana yapıcı ilgi ve desteğini esirgemeyen, değerli önerileri ve yorumlarıyla beni yönlendiren danışman hocam Prof.Dr. Salih AYDOĞAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez aşamalarında yardımını esirgemeyen Maden Mühendisliği Bölümünün değerli akademisyenleri ve laboratuvar teknisyeni İbrahim KÜÇÜK beye teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte her zaman arkamda olan, maddi manevi katkılarını esirgemeyen sevgili kardeşim Onur KILIÇ'a, değerli eşime ve kızıma, bende çok emeği olan anneme, babama ve ablama sonsuz teşekkürler ederim.

Ömer KILIÇ

KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
Şekiller Dizini	viii
Çizelgeler Dizini	ix
1. GİRİŞ: TARİHSEL GELİŞİMİ.....	1
2. ÖZGÜL AĞIRLIK YÖNTEMLERİYLE ZENGİNLEŞTİRMEDEKİ KRİTERLER.....	3
2.1.Mineral Tanelerinin Akışkan Ortamdaki Hareketleri.....	4
2.1.1. Düşey akışkan ortam.....	5
2.1.2. Tabaka halinde akan akışkan ortam.....	9
2.1.3. Akışkanın hacimsel akış oranı (debisi).....	10
2.1.4. Tanenin yuvarlanma hareketi ve terminal (son) hızı.....	12
2.1.5. Akan film konsantrasyonu.....	13
3. MULTI-GRAVITE SEPARATÖR (M.G.S.).....	14
3.1. MGS' in Gelişimi.....	14
3.2. Laboratuvar/Pilot Ölçekli MGS Ünitesi.....	15
3.3. Endüstriyel Ölçekli MGS.....	16
3.4. İşletim Prensipleri.....	16
3.5. Dizayn Özellikleri.....	17
4. MATERYAL METHOD.....	22
4.1. Materyal.....	22
4.2. Metot	24
5. BULGULAR.....	25
5.1. Tambur Dönüş Hızının Etkisi.....	25
5.2. Yıkama suyu miktarının etkisi.....	26
5.3. Genlik miktarının etkisi.....	28
5.4. Tambur eğiminin etkisi.....	28
5.5. Elde edilen optimum şartlarda yapılan deney sonuçları.....	29
6. SONUÇLAR.....	31
7. ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Akışkan bir ortam içinde taneye etkiyen kuvvetler.....	5
Şekil 2.	Ara boşluklardan sızma	9
Şekil 3.	Tanelerin dizilişi.....	10
Şekil 4.	Akış hızının derinliğe bağlı olarak değişimi.....	11
Şekil 5.	Çeşitli prizmatik biçimli tanelere etkiyen kuvvetlerin, etki merkezine göre kayma ve yuvarlanma hareketlerinin olabilmesi için kritik sürtünme katsayıları.....	12
Şekil 6.	Laboratuvar/pilot ölçekli MGS.....	15
Şekil 7.	Endüstriyel ölçekli ikiz tamburlu MGS.....	16
Şekil 8.	Tambur içinde ayırma mekanizmasının şematik görünümü.....	17
Şekil 9.	C-900 Tipi laboratuvar/pilot ölçekli MGS'nin genel görünümü.....	21

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.	Zenginleştirme Kriterlerine bağlı olarak ayırmanın zorluk derecesi ve ayırma alt sınırı tane boyutu.....	3
Çizelge 2.	± 0.1 gr/cm ³ Malzeme miktarına göre beklenen zorluk derecesi ve sürecin uygulanabilirliği.....	4
Çizelge 3.	Pirit külünün kimyasal analizi.....	22
Çizelge 4.	Pirit külünün XRD sonuçları.....	23
Çizelge 5.	Tambur dönüş hızının SiO ₂ giderimine etkisi sonuçları.....	25
Çizelge 6.	Yıkama suyu miktarının/debisinin SiO ₂ giderimine etkisi sonuçları.....	27
Çizelge 7.	Genlik miktarının SiO ₂ giderimine etkisi sonuçları.....	28
Çizelge 8.	Tambur eğiminin SiO ₂ giderimine etkisi sonuçları.....	29
Çizelge 9.	Optimum şartlarda yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar.....	30

SİMGELER DİZİNİ

- k : zenginleştirme kriteri
- p_H : ağır mineral özgül ağırlığı
- p_L : hafif mineral özgül ağırlığı
- P_o : akışkan ortamın özgül ağırlığı
- Re : Reynold sayısı
- V_t : tanenin terminal hızı
- d : tanenin çapı
- η : akışkan ortam viskozitesi
- m : tanenin kütlesi
- g : yerçekimi ivmesi
- p : tanenin özgül ağırlığı
- C_D : direnç katsayısı
- R_r : serbest çökelme oranı
- n : sabit sayı
- x : film kalınlığı
- α : yüzeyin yatayla yaptığı açı
- F : kuvvet
- R : tane yarıçapı
- w : açısal hız
- l : titreşim genliği

1. GİRİŞ: TARİHSEL GELİŞİMİ

Gravite zenginleştirmesi farklı özgül ağırlıklardaki minerallerin yerçekimi kuvveti etkisi altında akışkan bir ortam (hava, su, ağır ortam) içerisinde birbirlerinden ayrılması şeklinde tanımlanabilir. Bu yöntem eski çağlardan beri tarım alanında saman ve tanenin birbirinden ayrılmasıyla başladığı sanılan ve daha sonraki süreçlerde minerallerin zenginleştirilmesine uygulanan önemli bir yöntemdir.

Son yüzyılda flotasyon yöntemi olarak bilinen minerallerin yüzey ve ara yüzey özellik farklılıklarına dayanan fizikokimyasal bir zenginleştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ince taneli cevherlerde (tane serbestleşmesi küçük olan cevherler) için uygun olsada iri boyutta serbestleşen cevherler için hala gravite yöntemi önemini korumaktadır. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi maliyetli ve sorunlu olan kromit, wolframit, şelit gibi minerallerin yanı sıra kömür zenginleştirme işlemlerinde de gravite yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gravite zenginleştirmesinde yaygın olarak kullanılan sarsıntılı masalar, spiraller ve benzeri zenginleştirme aygıtlarında etkin bir ayırma yapılabilirken kapasite düşüklükleri kapladığı alanlar ve enerji giderleri tesislerin işleyişlerinde sıkıntılar meydana getirmiştir. Spiraller oluklar ve Reichert konileri gibi sabit (hareketsiz) cihazlar pompa dışında enerji giderleri bulunmadıklarından düşük maliyet gibi önemli avantajlara sahipken bunların daha çok ön zenginleştirme işlemlerinde kullanıldıkları göz ardı edilmemelidir.

Gravite ayırması; iri boyutlarda serbestleşen cevherlerde, zengin cevherlerde ve diğer zenginleştirme yöntemlerinin ekonomik olarak bir değeri olmayan durumlarında plaser cevherlerde ve ön zenginleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük boyutlarda serbestleşen cevherlerin ve boyut küçültme işlemleri sırasında oluşan ince tanelerin bu yöntemle kazanılması genellikle sıkıntılı olmuştur.

MGS (Multi Gravite Seperator) eski cihazlara nazaran daha geliştirilmiş yeni uygulamaları olan bir cihazdır ve yöntemler için uygulayıcıya tasarılma ya da işletme sırasında ayırma hızı ve verimini arttırmaya yönelik bir kavram ve hesaplama yöntemi henüz sunulmamıştır. Bu kavramsal eksiklik en yeni cihazlarda bile daha gelişmiş ortaya konulmadığından Gaudin'in 1939'larda ortaya koyduğu analitik yaklaşımına dayanarak doldurulmaya çalışılmaktadır.

Gravite ayırmasında kullanılan yeni cihazlar ve özellikle ince boyutlu zenginleştirmede kullanılan MGS maksimum çalışma parametrelerinin pirit külü zenginleştirme için belirlenmesine yönelik laboratuvar araştırmaları ve sonuçların değerlendirilmesi bu tezin konusunu oluşturmaktadır.



2. ÖZGÜL AĞIRLIK YÖNTEMLERİYLE ZENGİNLEŞTİRMEDEKİ KRİTERLER

İri boyutlarda serbestleşebilen zengin cevherlerde, diğer zenginleştirme yöntemlerinin ekonomik olmadığı durumlarda, plaser cevherlerde ve ağır minerallerin zenginleştirme işlemlerinde genellikle gravite ile ayırma yöntemi uygulanmaktadır.

Aynı anda yüksek tenör ve yüksek verim elde etmek gravite ile zenginleştirmede pek mümkün değildir. Bu sebeple, bir cihazla yüksek verime ulaşırken diğer bir cihazla yüksek tenörlü konsantre elde edilmesi genellikle yapılan bir uygulamadır.

Taggart'ın 1945'de ortaya koyduğu zenginleştirme kriteriyle gravite yöntemlerinin, farklı özgül ağırlıklı bir mineral çiftine uygulanabilirliği ve zenginleştirilebilecek yaklaşık tane boyutu aralığı tahmin edilebilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Zenginleştirme Kriterlerine bağlı olarak ayırmanın zorluk derecesi ve ayırma alt sınırı tane boyutu (Taggart, 1945; Wills ve Finch, 2015).

Zenginleştirme Kriteri (k)	Ayırmanın zorluk derecesi ve tane boyutu
k> 2.5	→ Ayırma 0.075 mm'ye kadar kolay
k= 2.5-1.75	→ Ayırma 0.150 mm'ye kadar etkin
k= 1.75-1.50	→ Ayırma 2 mm'ye kadar mümkün, ancak zor
k= 1.50-1.25	→ Ayırma 6,3 mm'ye kadar mümkün, ancak zor
k< 1.25	→ Ağır ortam ayırması 3 mm'ye kadar mümkündür, diğer yöntemlerle ayırma mümkün değildir.

Taggart Zenginleştirme Kriterini

$$\text{Zenginleştirme Kriteri} = k = \frac{d_A - d_0}{d_H - d_0} \quad (2.1)$$

olarak vermiştir.

Burada;

d_0 = Akışkan ortamın özgül ağırlığı

d_H = Hafif minerallerin özgül ağırlığı

d_A = Ağır minerallerin özgül ağırlığı

k = Zenginleştirme kriteri

Yukarıda görüldüğü üzere zenginleştirme kriteri arttıkça ayırma işlemi yapılabileceği minimum tane boyutu küçülüp ayırma işlemi kolaylaşmaktadır.

Zenginleştirme kriteri 1.25'den küçük olduğunda gravite ile ayırma sadece akışkan ortamın yoğunluğunun artırılmasıyla mümkün olabilmektedir. Bunun yanı sıra bir cevher için çeşitli yoğunluklarda gerçekleştirilen ağır-ortam deneyleri sonucu elde edilen değerlerden hareketle bir cevherin, özellikle kömürlerin, gravite ayırması ile zenginleştirilmesinin zorluğu ve bu değerlere göre hangi zenginleştirme aygıtında zenginleştirilmesinin uygun olacağı ile ilgili kriterler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. $\pm 0.1 \text{ gr/cm}^3$ Malzeme miktarına göre beklenen zorluk derecesi ve sürecin uygulanabilirliği (Wills ve Finch, 2015)

$\pm 0.1 \text{ gr/cm}^3$ Malzeme miktarı %	Zorluk derecesi	Önerilecek süreç	Önerilecek cihaz
0-7	Kolay	Tüm süreçler yüksek tonajlar	Oluklar Jigler
7-10	Kısmen Kolay	Etkin süreçler yüksek tonajlar	Koniler
10-15	Orta Zorlukta	Etkin süreçler Orta tonajlar	Masalar, Spiraller Ağır ortam
15-20	Zor	Etkin süreçler Orta tonajlar	Ağır ortam
20-25	Çok Zor	Etkin süreçler Orta tonajlar	Ağır ortam
>25	Çok çok zor	Çok etkin süreçler düşük tonajlar	Kesin yoğunluk Kontrolü yapılan ağır ortam

2.1. Mineral Tanelerinin Akışkan Ortamdaki Hareketleri

Akışkan bir ortamda mineral tanelerinin hareketleri zenginleştirme olayını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Mineral tanelerine akışkan ortamda etki eden üç kuvvet bulunmaktadır (Gaudin, 1939). Bunlar yerçekimi veya merkezkaç kuvveti, akışkanın kaldırma kuvveti ve direnç kuvvetidir. Mineral tanelerinin sabit bir hızla çökmesi bu üç kuvvetin dengeye ulaşması ile mümkündür. Buna terminal hız denir.

Akışkan bir ortam içerisinde hareket eden mineral tanelerinin hızı arttıkça akışkanın gösterdiği direnç de artar. Akışkan içinde hareket eden mineral tanelerinin neden olduğu türbülansın şiddeti boyutsuz bir sayı olan Reynold Sayısı (Re) ile belirlenir.

$$Re = \frac{PO.Vt.d}{\eta} \text{ Hız x tane çapı x tanenin yoğunluk/ viskozite} \quad (2.2)$$

Re= Reynold Sayısı

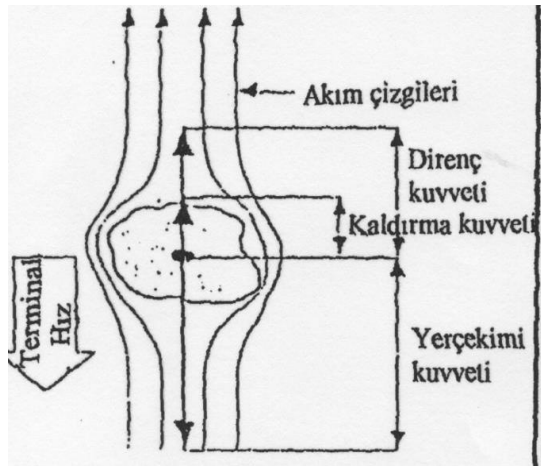
Vt= Tanenin terminal hızı

d = Tane çapı

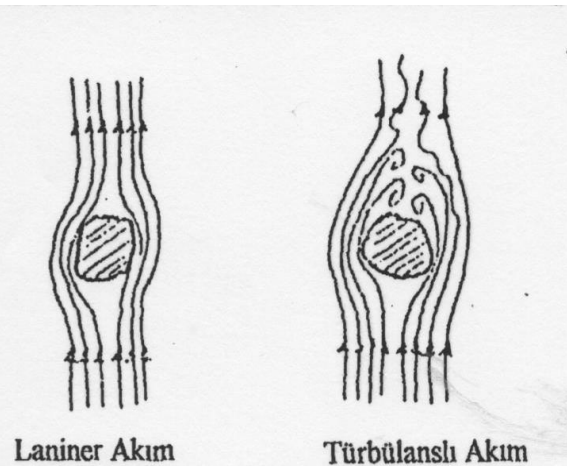
η = Akışkanın viskozitesi

P_o = tanenin yoğunluğu

Eşitlik (1)'de görüleceği gibi Re ; terminal hız, tane yarıçapı ve tanelerin özgül ağırlığı ile doğru orantılı iken akışkan viskozitesi ile ters orantılıdır.



Şekil 2.1. Akışkan bir ortam içinde taneye etkiyen kuvvetler



Şekil 2.2. Şematik Laminer ve türbülanslı akım çizgileri

2.1.1. Düşey akışkan ortam

Mineral tanelerinin akışkan ortamda zenginleştirilmesi iki başlık altında incelenebilir. Bunlar düşey hareketli akışkan ortam ve tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme olarak verilebilir. Mineral tanelerin tabakalaşmasına düşey akışkan ortam içinde sebep olan unsurlar engelli çökme, hareket başlangıcındaki ivme farklılığı, ara boşluklardan sızma ve minimum potansiyel enerjiye ulaşma eğilimidir.

Düşey akışkan ortamda mineral tanelerinin serbest ve engelli çökme şartlarında hareketleri gravite zenginleştirmeyi belirleyen en önemli unsurlardandır.

Serbest Çökme

Sabit (hareketsiz) bir akışkan ortamda taneler boyutlarına, yoğunluklarına ve şekillerine göre, Stokes ve Newton kanunlarıyla ortaya konan aşağıdaki bağıntılarına göre hareket etmektedirler (Gaudin, 1939; Burt, 1984).

2 mm'den daha büyük tanelerin çökme hızları Newton yasasına göre terminal hızları;

$$V_t = \left[\frac{4(p - p_0)d \cdot g}{3C_D \cdot PO} \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

V_t = Tanenin terminal hızı

p = Tanenin özgül ağırlığı

p_0 =akışkanın özgül ağırlığı

d = Tanenin Çapı

g = Yer Çekimi ivmesi

C_D =Direnç katsayısı (küresel taneler için)

Yine benzer olarak yaklaşık 0.1 mm'de küçük taneler için Stokes eşitliği yazılabilir.

$$V_t = \frac{(p - p_0) \cdot d^2 \cdot g}{18\eta} \quad (2.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde (Eşitlik 2.4) terminal hız ister Newton isterse Stokes akış rejiminde olsun, tanelerin yoğunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. Eğer çökelen iki tane aynı yoğunlukta ise daha iri olan tane daha yüksek bir nihai hıza sahip olacaktır. Tersine iki tane aynı boyutta ise daha yoğun olan daha yüksek bir nihai hızla çökecektir.

Farklı yoğunluklara sahip iki mineral tanesinin tane boyu oranı aşağıdaki gibi olup buna tane boyu oranı denir.

$$R_f = \frac{da}{db} = \left(\frac{Pb - 1}{Pa - 1} \right)^n \quad (2.5)$$

Burada n: bir katsayı olup Newton akış rejimi'ndeki çökme için n: 1, Stokes akış rejiminde çökme için ise n= 0.5 'dir.

Engelli Çökme

Buraya kadar açıklanan çökme olaylarında bir taneciğin herhangi bir akışkan ortam içinde serbestçe çöklediği kabul edilmiştir. Ancak cevher hazırlamada genellikle taneler bir ortam içerisinde pülp halinde bulunurlar. Bu pülpün katı hacim oranı %1'den küçük olduğunda taneler arasındaki mesafeler yeterince fazladır ve tanelerin birbirine etkisi önemsizdir. Bu şartlarda serbest çökme şartları geçerlidir. Daha büyük katı oranlarında ise pek çok tanecik bir arada beraber çöklerken şartlar değişmekte ve özellikle çökelen taneler ile yer değiştiren sıvının yukarı doğru olan hızı çökme şartlarını etkilemektedir. Bu tür çökmeye ise engelli çökme denir. Genellikle tek bir tanenin çökme hızı bir pülpün çökme hızından daha az olmaktadır. Bunun ana nedenleri aşağıda belirtilmiştir (Cheng, 1997; Svarovsky, 2000)

-Taneler civarındaki sıvı içindeki hız dağılımı artmaktadır.

-Bir pülp içerisindeki katı oranı fazla olan taneler birbirlerine daha yakın olduklarında küçük tanelerin etkin boyutları büyümekte ve flokülasyon etkisi artmaktadır.

-İri tanelerin hareketleri nedeniyle ince tanelerin ivmeleri artmakta ve aşağı doğru sürüklenmektedir.

-Katı oranı fazla olan bir pülp içinde çöken katı taneler ile yer değiştiren sıvının yukarı doğru olan hızı daha fazla olmakta ve dolayısıyla pülpün sıvıya göre olan izafi çökme hızı azalmaktadır.

Akışkanın etkin viskozitesi ve yoğunluğu, pülp içerisindeki iri partiküller daha küçük olanların içerisinde hareket ettiklerinden artmaktadır. Genellikle serbest çökme şartlarında iri taneler daha hızlı çökerler. Engelli çökmede ise büyük tanelerin çökme hızları geciktirilir, İnce tanelerinki hızlandırılır. Dar tane sınıflı ince partiküllerden oluşan pülpün çökme hızını hesaplayabilmek için;

$$V_p = \frac{k \cdot d^2 (p - p_p) \cdot g}{\Omega_p} \quad (2.6)$$

Bu eşitlik Stokes kanununun bir modifikasyonudur. Burada;

Ω_p : Pülpün viskozitesi

V_p =Pülpün çökelme hızı

p = Katının yoğunluğu

p_p = Pülpün yoğunluğu

k = Sabit bir sayıdır.

Katı oranı yüksek bir pülpün çökelme hızı için formül (Richardson ve Zaki, 1954; Mayer, 1964), (Cheng, 1997);

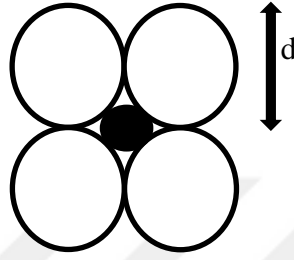
$$V_r = V_{p/e} = \frac{d^2(p - p_p)}{18\eta p} \cdot g \quad (2.7)$$

Burada pülp içindeki tanelerin düzenli bir diziliş içinde olduğu ve yer değiştiren sıvının akışkana minimum direnç gösterdikleri varsayılmıştır. Diğer araştırmacıların, tanecik üzerine etkileyen kaldırma kuvvetinin pülpün katı yoğunluğu ile ilgili olduğu görüşüne Richardson ve Zaki 1954 yılında yaptıkları çalışmayla karşı çıkmışlar ve birbirine yakın ebattaki tanelerden oluşan bir pülpde çökelme esnasında her tanenin kendi hacmine eşit hacimdeki sıvı ile yer değiştireceğini ve süspansiyonun aynı hızla çökeleceğini iddia etmişlerdir. Aynı şekilde hesaplamalarda pülpün viskozitesinin de kullanılmayacağını, efektif viskozitenin sadece büyük bir partikülün ince partiküllerden oluşan bir pülp içinde çökmesi halinde söz konusu olabileceğini savunmuşlardır.

Taneler cevher hazırlamada akışkan ortamda toplu olarak hareket ettiklerinden birbirlerinin çökelme hızlarını, çarpışma, v.b. olaylar nedeniyle etkilerler ki bu koşullara engelli çökme denilmektedir. Engelli çökmede, çöken tanelerin toplam hacimlerinin büyük olması, akışkan ortamla yer değiştirilen hacminin de büyük olmasına yol açar ve bu yer değiştirme anında zıt yönde bir akım oluşur. Genellikle hacimce %1'den fazla katı oranında engelli çökme koşullarından söz edilebilir.

Düşey hareketli ortam içerisinde taneler hareket başlangıcındaki çöküş ivme farklılığı oluşturma ve küçük tanelerin büyük taneler arasındaki ara boşluklardan sızma eğilimindedir. Bu durum özellikle “jig” ile yapılan zenginleştirmede gözlemlenmektedir. Taneler, jigleme devresinin yukarı doğru olan evresi sırasında hızları sıfır oluncaya kadar hareket ederler. Bu noktadan itibaren tanelerin başlangıç ivmesi ile düşmeye başladıkları kabul edilir. Başlangıçtaki bu hızlar tanelerin yoğunluklarına bağlı olup, boyutlarından bağımsızdır (Gaudin, 1939; Burt, 1984). Ara

boşluklardan sızma ise; özgül ağırlıkları ve boyutları farklı olan taneler çökme süresince aynı yolu almazlar, bu nedenle de farklı sürelerde çökelmelerini tamamlarlar. İnce taneler iri tanelere göre çok daha uzun süre için askıda kalacaklardır. Bunun sonucunda iri taneler köprüler oluşturacak şekilde çökerken, ince taneler iri taneler arasındaki boşluklardan sızarak çökmeye devam ederler. Bu olaya ara boşluklardan sızma veya sıkılanma adı verilmekte olup, Şekil 2.3’de gösterilmiştir (Burt, 1984).



Şekil 2.3. Ara boşluklardan sızma (Burt,1984)

Taneler minimum potansiyel enerjiye ulaşma eğilimindedir. Karışık tanelerden oluşan bir tabaka, bir potansiyel enerjiye sahiptir (Mayer, 1964). Karışık minerallerden oluşan bu tabaka gevşetildiğinde farklı özgül ağırlıklarda olan taneler sisteme minimum enerji düzeyi sağlamak için uygun konumlar almak üzere yarış halinde olurlar.

2.1.2. Tabaka halinde akan akışkan ortam

Gaudin’in bu konudaki analitik yaklaşımı halen geçerliliğini korumakta ve bütün çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Tabaka halinde akan akışkan ortamda birbirinden farklı iki durum vardır Burt’a göre (1984) bunlardan birincisi ince film konsantrasyonu diğeri ise kesme kuvvetlerinin daha fazla olduğu kalın tabakalarda oluşmaktadır. Bahse konu kesme kuvvetleri ya dış kuvvet olarak uygulanır ya da doğal olarak oluşur.

İnce film konsantrasyonunda bir su filmi düzgün ve eğimli bir yüzeyden laminar akış koşullarında aşağı doğru akarken, derinliğe göre hız dağılımı paraboliktir. Yani hız tabanda “sıfır” olup, en üst noktada ise maksimumdur. Bu konuyla ilgili olarak yapılan matematiksel çalışmalar Gaudin’e (1939) dayanmaktadır.

Bu durum, $Re < 500$ olması durumunda ortaya çıkar.

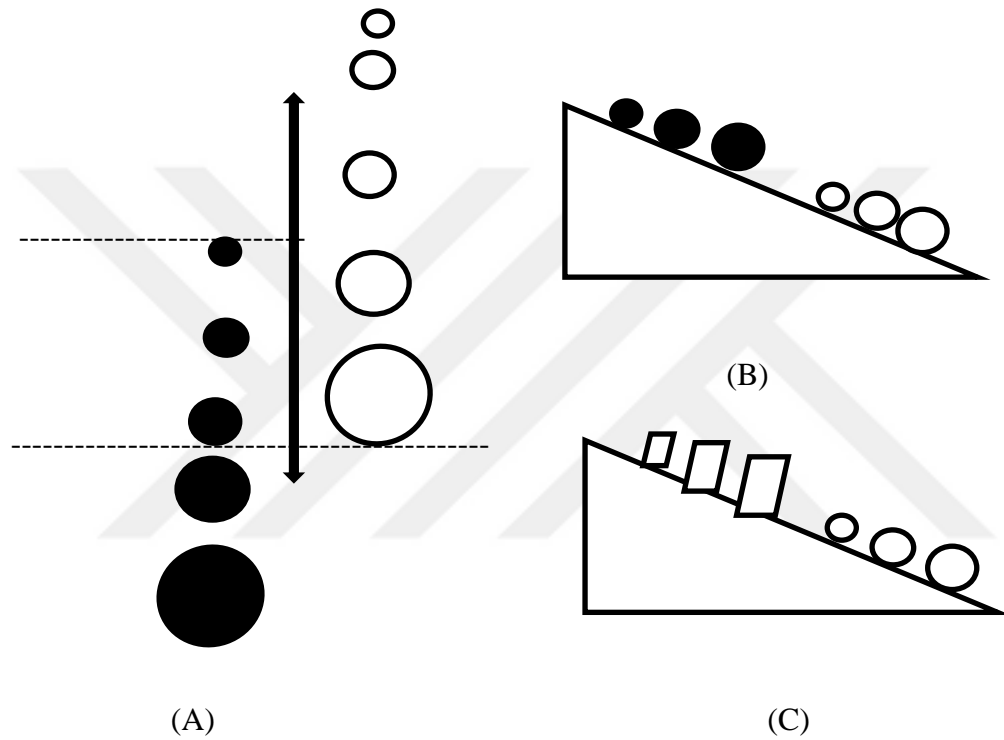
$$Re = P_o v x / D \quad (2.8)$$

Taneler, böyle laminar akan ince film tabakasına bırakıldığında, yukarıdan aşağıya doğru şöyle sıralanırlar (Gaudin, 1939; Burt, 1984).

İri hafifler

İnce ağırlar

İri ağır ve ince hafifler



Şekil 2.4. Tanelerin dizilişi (Burt, 1984)

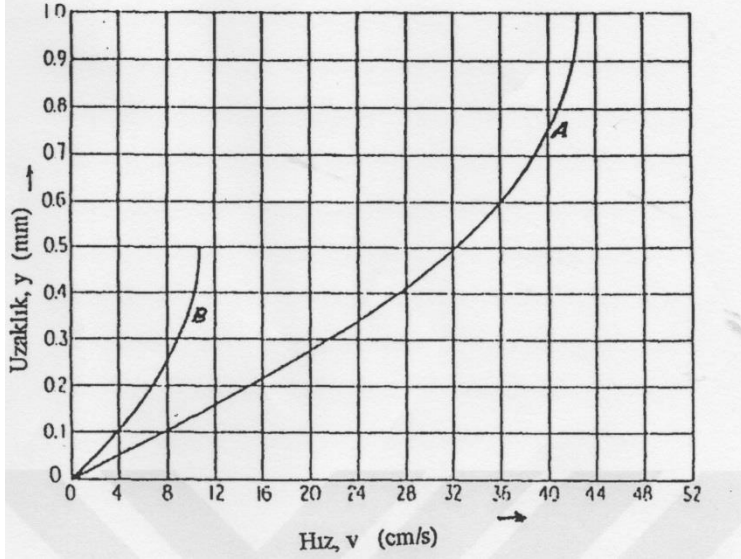
Şekil 2.4’de

- A- Hidrolik klasifikasyon
- B- Farklı boyut ve yoğunluktaki taneler
- C- Farklı boyut ve şekildeki taneler

2.1.3. Akışkanın hacimsel akış oranı (debisi)

Aşağıdaki akış hızı eşitliğinden giderek yüzeyin akış yönüne dik birim kenar uzunluğu için W hacimsel akış debisi bulunabilir (Gaudin, 1939). Akışkanın hızı eğik bir

düzlemde altta sıfır, en üstte ise maksimumdur. Akışkanın akış hızı derinlikle üniform şekilde değişmez, fakat aşağı doğru sürekli azaldığı bir gerçektir. Bu durum ise akışın “laminer akış” olduğu varsayımıyla doğrudur.



Şekil 2.5. Akış hızının derinliğe bağlı olarak değişimi (Gaudin, 1939)

20 °C sıcaklık ve 5 derece eğimde v akış hızının x film kalınlığına göre değişimi Şekil 2.5’deki gibidir. Eğimli bir yüzeyde ince bir su filmi aktığında, Gaudin’e (1939) göre bir tane üzerine yerçekimi kuvveti, tane ile yüzey arasındaki sürtünme kuvveti ve akışkanın direnç kuvveti olmak üzere 3 kuvvet etki eder. Tanenin üzerine etki eden bütün kuvvetlerin toplanmasıyla Analitik çözüm belirlenebilir. Bu da küresel bir tanecik için, akış rejiminin bütün bölgelerde aynı olduğu düşünülerek bulunabilir. Newton’un ikinci kanununun uygulanmasıyla tanenin hareket denklemi bulunabilir. Taneyi etkileyen net kuvvet F_N ;

$$F_N = F_1 + F_2 + F_3 \text{’dür.}$$







$\sin \alpha$ değeri eğim açısına bağlı olarak artarken $\cos \alpha$ değeri ise giderek azalacaktır. Ayrıca kaymanın olup olmamasına bağlı olarak sürtünme katsayısı farklı değerler alacaktır.

Bir tanenin alt tarafına eğik bir yüzey üzerinde kayma ile ters yönde bir sürtünme kuvveti, üst tarafına ise akışkanın sürüklenme kuvveti etkimektedir. Eğik yüzeyle tane arasında bir sürtünme kuvvetinin olmaması durumunda bile, akışkanın içindeki hız

değişiminden dolayı, tanenin alt ve üst taraflarına etkiyen akışkanın itme kuvveti farklı olduğundan bir makaslama (kesme) kuvveti oluşur (Gaudin, 1939).

2.1.4. Tanenin yuvarlanma hareketi ve terminal (son) hızı

Eğimli akışkan tabakası içinde bulunan taneye etkiyen kesme kuvvetinin oluşturduğu moment nedeniyle kaymadan önce yuvarlanma olabilir. Bunun olabilmesi için tane şeklinin ve sürtünme katsayısının uygun olması gerekir (Gaudin, 1939; Burt, 1984). Tabanı çokgen prizma olarak ele alınan tane biçimlerine göre sürtünme katsayısını aşması gereken değerler kuvvetlerin tamamının tanenin merkezine etkileyecekleri yada Gaudin'in moment hesabından giderek gösterdiği gibi tanenin tabanından yukarı doğru $\frac{3}{4}$ çap yüksekliğine etkileyecekleri varsayımına göre $1-\mu$ cota terimini 0 yapacak şekilde hesaplanarak Şekil 2.6'da verilmiştir. (Burt, 1984). Eğer sürtünme katsayısı μ_s şekilde gösterilen değerleri aşarsa kaymadan önce yuvarlanma olacaktır. Ayrıca uygulamada karşılaşılan μ_s değerleri genellikle 0.2 ila 0.5 arasında değiştiğinden ele alınan bu geometrik biçimli tanelerin nasıl davranacakları yine Şekil 2.6'da ayrıca gösterilmektedir.

Kuvvetin tanenin merkezine uygulanması durumunda	Hareket Türü	kayma			kayma veya yuvarlanma		yuvarlanma
	μ_s	1.732	1.0	0.577	0.414	0.268	0.157
Kuvvetin tanenin $\frac{3}{4}$ 'üne uygulanması durumunda	Tane Şekli						
		3	4	6	8	12	20
	μ_s	1.20	0.69	0.40	0.29	0.185	0.110
	Hareket Türü	kayma			kayma veya yuvarlanma		yuvarlanma

Şekil 2.6. Çeşitli prizmatik biçimli tanelere etkiyen kuvvetlerin, etki merkezine göre kayma ve yuvarlanma hareketlerinin olabilmesi için kritik sürtünme katsayıları (Burt, 1984)

Şekil 2.6'da görüleceği üzere, μ_s 'in yaygın değerleri 0.2-0.5 değerleri için aşağıdaki durumlar söz konusudur.

Kuvvetin tanenin $\frac{3}{4}$ 'ünden uygulandığı düşünüldüğünde;

-Üçgen ve dörtgen şekiller kayacak

- Yirmigen ve onikigen şekiller yuvarlanacak
- Altıgen ve sekizgenler ise kayacak ve yuvarlanacaktır.

Kuvvetin tanenin merkezine uygulandığı düşünüldüğünde ise; üçgen kare ve altıgen şekiller kayacak, yirmigen şekiller yuvarlanacak, altıgen ve onikigen ise kayacak ve yuvarlanacaktır.

İnce akan bir film tabakasının altındaki bir tanenin davranışını aşağıdaki olayların etkilediği iddia (ifade) edilmiştir(Gaudin, 1939; Burt, 1984)

- Eğik düzlemin açısı
- Akışkanın viskozitesi
- Tane şekli
- Tane özgül ağırlığı
- Akış yüzeyinin pürüzlülüğü
- Film kalınlığı (veya akış oranı)
- Yüzey ile tane arasındaki sürtünme katsayısı

Yüzeye eğim verilmesiyle tane hareketi olur. Akış yüzeyi yataysa ($\alpha=0$ ise) tane hareketi yoktur. Kayma hareketi olması durumunda ağır tanelerin hareketi hafif tanelere göre daha yavaştır. Fakat bu durum doğru orantılı olarak değişmez. Diğer şartlar eşit olduğunda, tane hızı film kalınlığının karesiyle doğru orantılı, akışkanın viskozitesi ile ters orantılıdır. Eğim arttıkça hız artar. Fakat burada hız artışı doğru orantılı değildir.

2.1.5. Akan film konsantrasyonu

Tanelerden oluşan süspansiyon sürekli kesme kuvvetlerine tabii tutulursa, kesme düzlemi boyunca ve kesme düzlemine dik olarak bir basınç oluşur. Bu olay ilk olarak Bagnold (1954) tarafından açıklanmıştır. Bu kesme kuvvetleri eğimli bir yüzey üzerinde hareket eden pülün doğal bir sonucudur. veya pülün aktığı yüzeyin hareketi sonucu meydana gelebilir. Bu iki faktörde bazen bir arada bulunabilir. Bu etkiden dolayı tane üzerinde oluşan net kuvvet tane çapının karesi ile ve kesme kuvvetiyle orantılıdır.

3. MULTI-GRAVITE SEPARATÖR (M.G.S.)

Ayırma sırasında merkezkaç kuvvetten yararlanılan MGS ünitesinin, sözü edilen klasik ayırıcılara göre bazı önemli farklılıkları bulunmaktadır;

- a) Ayırma yüzeyinde ince bir akışkan tabakanın oluşması,
- b) Tane hareketini arttırıcı ek titreşim,
- c) Özel küreyici dizaynı ile tekrar tekrar ayırma yüzeyine taşıma ve yıkama,
- d) Nispeten düşük hızlı tambur hareketi,
- e) Ayarlanabilen tambur eğim açısı.

3.1. MGS' in Gelişimi

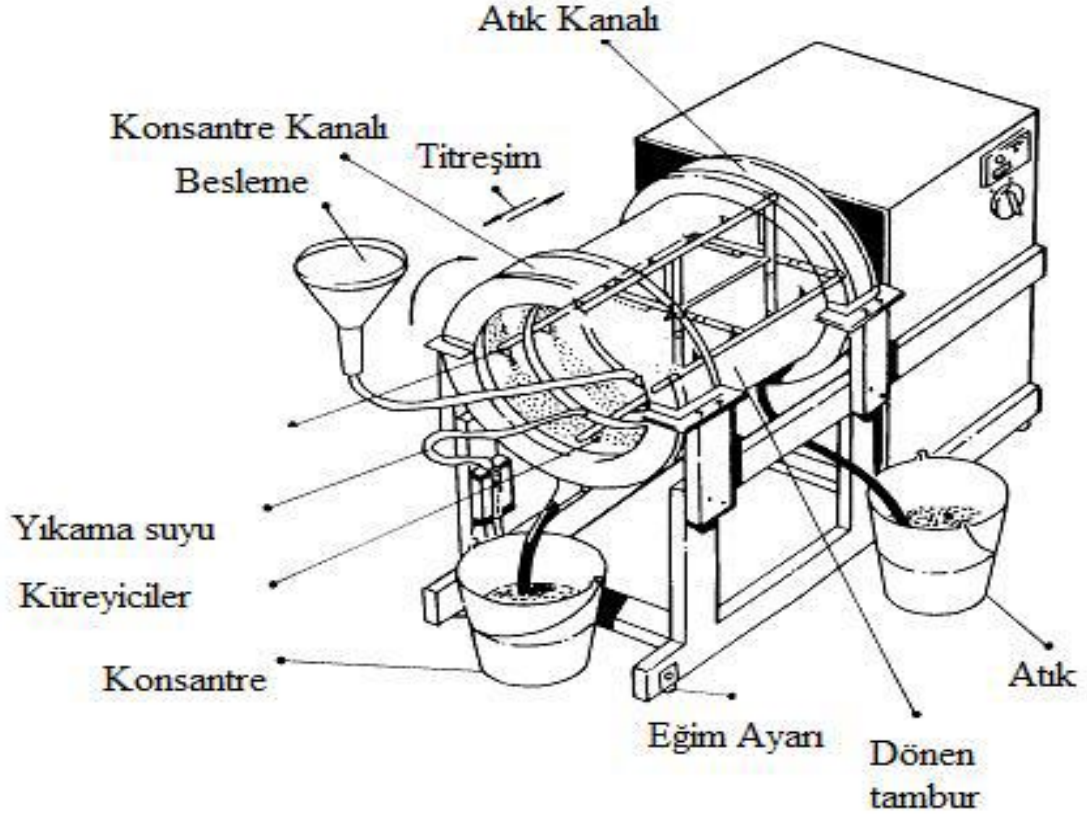
MGS dört yıllık bir süreç içinde geliştirilmiş ve bu süreçte değişik parametrelerin incelendiği beş prototip makina yapılmıştır. Bu prototiplerde:

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

MGS ünitesi yukarıda sözü edilen beş prototip'in üstün özelliklerini bir arada toplamıştır;

- Küreyici (Skayper) kollar.
- Giderek daralan yatay tambur,
- Sürekli işlem
- Basit sinuzoidal dalga hareketi şeklinde eksenel titreşim,

MGS Ünitesi laboratuvar/pilot ölçekli (Şekil 3.1) ve endüstriyel ölçekli olarak cevher hazırlamanın teknolojik gelişimi içerisinde yerini almıştır.



Şekil 3.1. MGS ünitesi şematik gösterimi (Chan ve ark., 1991).

Spesifik Özellikleri

İşletme Parametreleri:

Tambur Hızı: 100-280 devir/dak

Frekans: 4.0/4.8/5.7 sn sn-1

Genlik : 10/15/20 mm

Eğim Açısı: 0-9 derece

Yıkama Suyu Miktarı : 0-10 l/dk

Net ağırlık: 350 kg

Boyutları: 162x71x109 cm

Motor gücü: 1x 0.37 kw Elektrik motoru 1x 0.55 kw Elektrik motoru

Kapasite: 0.2 ton/saat (kuru)

Besleme tane boyutu: 1µm-500 µm

Katı oranı: %10-%50

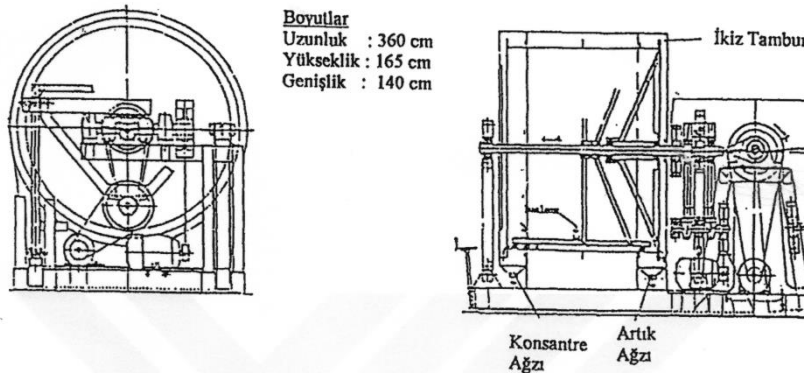
3.2. Laboratuvar/Pilot Ölçekli MGS Ünitesi

Tambur iç yüzeyi üzerinde 6 ile 24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşacak şekilde 150-300 dev/dak hızla saat yönünde dönmektedir. Bir yanı açık uçlu 0.6 m uzunluğunda 0.5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye

sahiptir. Aynı anda eksenel doğrultuda 4-6 cm.sn-1 frekansla, 10- 20 mm arasında değişen sinuzoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir. Tambur hareketini sağlayan konsantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite bulunmaktadır. Çalışma sırasında küreyiciler, katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına doğru hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS Ünitesi; % 20-50 katı oranında 0.2 ton/saat kapasite ile çalışabilmektedir.

3.3. Endüstriyel Ölçekli MGS

Pilot modelin büyük ölçekte dizayn edilmiş bir versiyonudur. Farkı tek tambur yerine iki tamburun kullanılmasıdır. Tamburların her biri 0.9 m uzunluk ve 1.2 m çapta, tek bir krank mille titreşimi sağlayacak şekilde sırt sırta yerleştirilmiştir. Çalışma sırasında serbest titreşimden dolayı ortaya çıkabilecek stabilite sorunları, tamburların hareketlerinin birbirini dengede tutması nedeniyle minimize edilmiştir. Endüstriyel ölçekli MGS ünitesinin kapasitesi ise 2 ton/saat olmaktadır.



Şekil 3.2. Endüstriyel ölçekli ikiz tamburlu MGS Ünitesi (Chan ve Mozley, 1991)

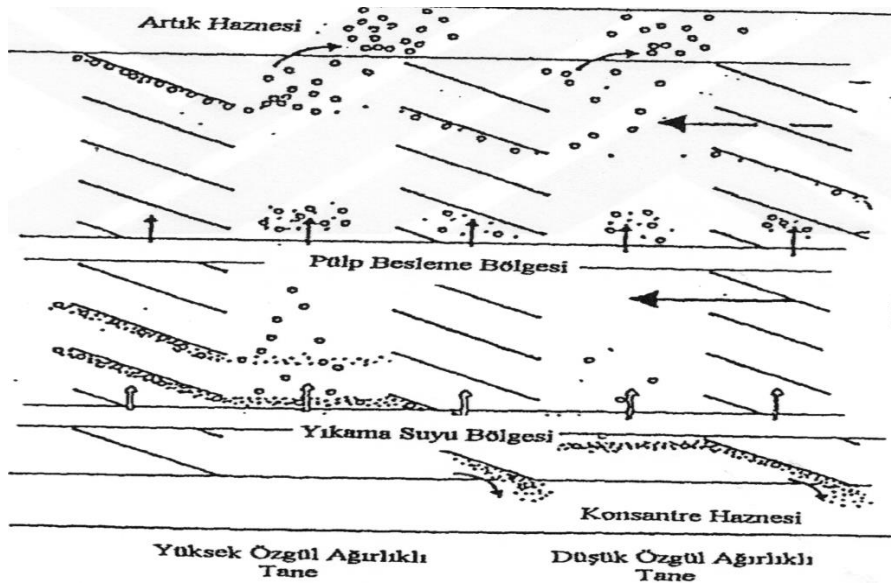
3.4. İşletim Prensipleri

Uygun katı oranında hazırlanan pülp, 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. Gözlemlerde; pülpün tambur yüzeyinde spiral şeklinde aktığı görülmüştür.

Ağır veya yüksek özgül ağırlıklı mineraller, akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetin etkisi ile adeta yarı katı formda bir tabaka oluşturmaktadır. Bu tabakanın hemen üzerinde küçük tabaka

oluşmaktadır. Akışkan tabakanın üst yüzeyleri ise büyük oranda katı taneler içermeyen su tabakası formundadır.

Gövdeye verilen titreşim hareketi ile akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır. Özel olarak dizayn edilmiş küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederken taneciklerden oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşmaya olanak sağlamaktadır. Tamburun iç yüzeylerine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınırlar.



Şekil 3.3. Tambur içinde ayırma mekanizmasının şematik görünümü (Mozley,1991)

3.5. Dizayn Özellikleri

Tambur

Bir ucu kapatılmış paslanmaz çelikten oluşan silindirik gövde iç yüzeyi poliüretan ile astarlanmıştır. Astar açık dış uca doğru daralarak konik bir yapı oluşturur. Aşınmaya karşı daha dayanımlı olan poliüretan kaplama, aynı zamanda tamamen pürüzsüz bir yüzey sağlamaktadır.

Küreyiciler (Skrayperler)

Klasik gravite ayırması yapan ünitelerden MGS'yi ayıran önemli unsurlardan birisi küreyicilerdir. Tambur içinde tambur eksenine paralel ve birbirleri ile 90° açılı olacak şekilde yerleştirilmiş 4 adet küreyici kolu bulunmaktadır. Bu kolların herbiri üzerinde ise eşit aralıklarla yerleştirilmiş 65 cm uzunluğunda 8-9 adet küreyici bulunmaktadır. Tambur eksenini ile 60°lik açı yapacak şekilde konumlandırılan küreyiciler tambur yüzeyine "hemen hemen" temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Küreyici yüzeyleri de tambur astarı gibi poliüretan ile kaplanmıştır. Küreyicilerin bağlı olduğu kol tamburdan % 2.5 oranında daha hızlı dönmektedir. Küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederken, pülp tabakasının içinden geçer, böylece taneleri tamburun açık üst ucuna doğru küreyerek taşımaktadır. Bu küreme işleminde her bir küreyici mineral tanelerini 35 mm meyil yukarı hareket ettirir. Tamburun üst çıkış ağzına yakın bir noktadan verilen yıkama suyu ise tabakayı yıkayarak hafif mineralleri alt çıkışa doğru taşımaktadır. Sözü edilen küreyici kollar uygun ölçülerde endüstriyel ölçekli ünite de bulunmaktadır.

Hareket Mekanizması

Hareket mekanizması mümkün olduğunca basit tutulmuştur. Elektronik ve mikroprosesörlerden kaçınılmıştır. Pilot ölçekli MGS ünitesinde 0.5 kW lık 2 adet elektrik motoru kullanılmıştır. Bu motorlardan birisi basit bir eksantrik ile titreşim hareketini, diğeri ise dişli-zincir sistemi ile tambur ve küreyicinin dönüşünü sağlamaktadır. Endüstriyel ölçekli MGS ünitesinde, 2.2 kW lık bir motorla iki tamburun titreşim hareketi, 2 adet 1.1 kw'lık motorla ise tamburların ve küreyicilerin dönüşü sağlanmaktadır.

Tambur Dönüş Hızı

Tambur dönüş hızı, ayırma işlemini iki yönden etkiler. İlk olarak, pülp akışını eksenel doğrultuda tamburun alt çıkış ucuna doğru hızlandırır, ikinci olarak da tanelerin atalet kütlelerini arttırarak tambur yüzeyine yapışmasını ve adeta katı yüzey oluşmasını sağlar. Silindirik gövde içinde hareket eden bir taneye etkiyen merkezkaç kuvveti (9), ve (10) nolu eşitliklerde verilmektedir.

$$F = m r \omega^2 \quad (3.1)$$

$$\omega = \pi \times n / 30 \quad (3.2)$$

Burada;

n : Tambur dönüş hızı

F : Taneye etkiyen merkezkaç kuvveti

m: Tane kütlesi

r : Tanenin tambur merkezine uzaklığı (Tambur Yarıçapı)

w: Açısal hız

Bir sıvı içindeki tanenin çöküş hızı boyutunun bir fonksiyonu olarak çok bilinen Stokes Yasası gereği formülde verildiği gibidir.

$$d = (18 \mu v / \Delta \rho g)^{1/2}$$

d: Tane çapı

μ : Sıvı viskozitesi

v: Tane çöküş hızı

ρ : Katı sıvı arasındaki yoğunluk farkı

$\Delta \rho$: katı sıvı arasındaki yoğunluk farkı

g: Yerçekimi kuvveti

Yukarıda verilen eşitlikten yararlanılarak; 300 dev/dak hızla dönen tambur içindeki bir taneye etkiyen merkezkaç kuvveti 24 g kadar arttırılmakta, buna karşın tane büyüklüğü (d), 5 kez küçültülmüş olmaktadır. Başka bir deyişle; MGS ünitesinde diğer klasik gravite ayırması yapan ünitelere göre 5 kez daha küçük boyutlu tanelerin ayrılması mümkün olmaktadır. Tamburun dönüş hızının arttırılması ile (diğer parametreler sabit) ağır mineral miktarı artarken, tenör düşmektedir. Mineraller arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğunda düşük, yoğunluk farkı küçük olduğunda ise yüksek "g" kuvvetinde ayırma uygun olmaktadır.

Titreşim Yoğunluğu

Titreşim frekansı 3 - 6 d/sn, titreşim genliği ise 3.8 - 12.5 cm arasında değiştirilebilmektedir. Titreşim sinuzoidal dalga formunda eksen doğrultusunda olmaktadır. Denemelerde düşük frekans, yüksek genlik ya da yüksek frekans, düşük genlikte çalışmanın iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Titreşim yoğunluğunun ifadesinde aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$1 = n^{3/2} \cdot 1 \quad (3.3)$$

n: Titreşim frekansı

1 : Titreşim genliği

Titreşim hareketi sonucunda ayırma sırasında taneler üzerine ek kesme (koparma) kuvveti uygulanmış olmaktadır. Titreşim yoğunluğunun arttırılması (diğer parametreler sabit) halinde ise verim düşerken, mineral içerikleri yükselmektedir.

Yıkama Suyu Miktarı

Akış hızı ve yıkama suyu miktarı ayırmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Yıkama suyu tamburun üst çıkış ağzına yakın bir noktadan verilmektedir. Yıkama suyu miktarı aynı zamanda pülp yoğunluğuna da bağlı olmaktadır.

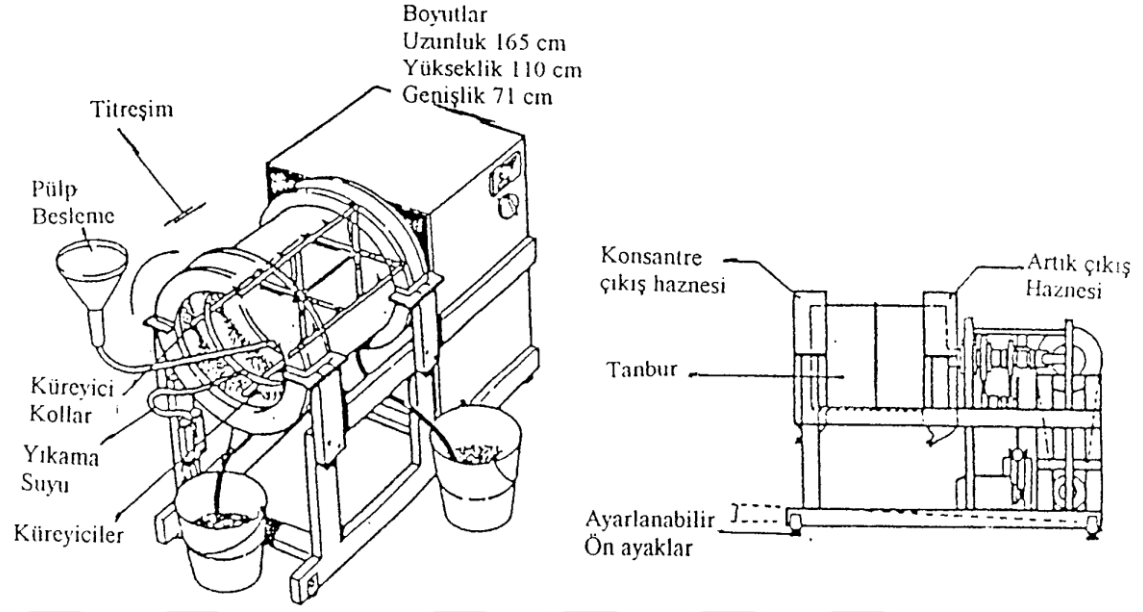
Tambur Eğim Açısı

İnce boyutlu ve düşük yoğunluklu mineraller için küçük; iri boyutlu ve yüksek yoğunluklu mineraller için ise büyük eğim açılarında çalışılmalıdır Tambur eksenini ile yatay arasındaki eğim açısı, malzemenin özelliğine bağlı olarak 0-5 (derece) arasında değişmektedir.

Pülp Yoğunluğu, Besleme Hızı

Ayırma kapasitesi tambur çapı ile bağlantılıdır. Pilot ölçekli MGS ünitesinde 0.2 ton/saat; endüstriyel ölçekli iki tamburlu MGS ünitesinde ise 2 ton/saat kapasiteye ulaşılmaktadır. Beslenecek malzemenin pülp yoğunluğu % 10 - 50 arasında değişmektedir. Daha yüksek yoğunluklarda ise yıkama suyu miktarları ile pülp yoğunluğu ayarlanabilmektedir. Aynı miktardaki malzemenin klasik sarsıntılı masada ayrılması için MGS'nin yüzeyinden 6 kat fazla bir ayırma yüzeyine sahip olması gerekmektedir (Chan ve ark., 1989).

.



Şekil 3.4. C-900 Tipi laboratuvar/pilot ölçekli MGS'nin genel görünümü

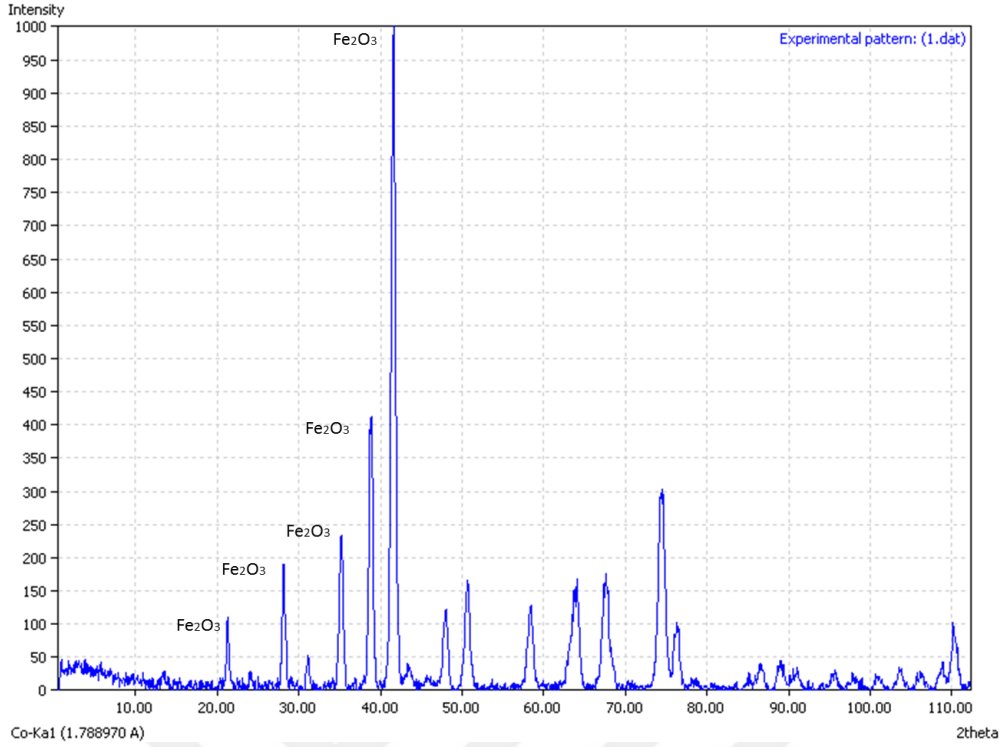
4. MATERYAL VE METHOD

4.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, Eti Maden Bandırma Sülfürik Asit Fabrikasından alınan pirit külü kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 120 kg temsili numune Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Getirilen numune homojen olarak karıştırılmış ve her bir deney için 10 kg numune bölünerek ayrılmıştır. Toplam 11 deney yapılmıştır. Tane boyutu analizi yapılmak üzere 10 kg numune yaş olarak elenmiş ancak tanelerin %95'i -38µm altında olduğu görülmüştür. Kimyasal analizler Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan XRF cihazında, mineralojik analizler ise XRD cihazında yapılmıştır. Kullanılan pirit külü ile ilgili kimyasal analiz değerleri Çizelge 4.1'de ve mineralojik analiz sonuçları ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, pirit külü numunesi çoğunlukla Fe ve SiO₂'den oluşmakta olup yaklaşık Fe ve SiO₂ oranı sırasıyla %64.96 ve %3.83 olduğu yine aynı analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Yine analiz sonuçlarından anlaşılabacağı üzere Pirit külü numunesinin gang minerali SiO₂ olarak düşünülmüş ve çalışmalarda pirit külünden SiO₂'nin giderimi üzerinde MGS cihazı kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

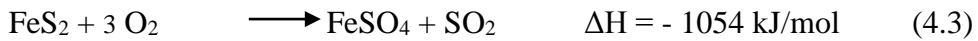
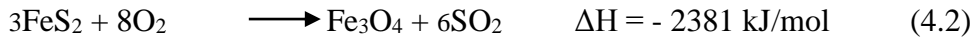
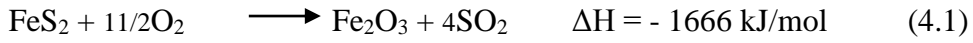
Çizelge 4.1. Pirit külünün kimyasal analizi

Element/Bileşik	Tenör (%)
Fe	64,96
SiO ₂	3,83
K ₂ O	0,28
S	0,17
CaO	0,05



Şekil 4.1. Pirit Külünün XRD Sonuçları

Piritin yüksek oksidasyon şartlarında aşağıdaki reaksiyonları verdiği Runkel ve Sturm tarafından rapor edilmiştir (Runkel ve Sturm, 2009).



Akışkan yatak prosesi ile oksidasyona tabi tutulan pirit havanın oksijeni ile oksitlendirilmektedir. Yukarıda verilen eşitliklerden anlaşıldığı üzere; pirit külü/kalsine pirit olarak tabir edilen ürünler hematit, manyetit ve demir(II) sülfat olabilmektedir. Gaz olarak elde edilen SO_2 ise sülfürik asit üretiminde kullanılmaktadır. Demir(II) sülfat sulu ortamda yüksek çözünürlüğe sahip olduğu için atmosferik şartlar altında pirit külü yığınlarından çözünüp ayrılma eğilimindedirler. Geriye daha çok hematit ve/veya manyetit yapılar kalmaktadır.

Şekil 4.1’de görüleceği üzere deneysel çalışmalarda kullanılan pirit külü daha çok manyetitten oluşmaktadır.

4.2. Metot

Çalışmalarda Mozley marka C-900 tipi labaratuvar ölçekli Multi Gravite Seperatör (MGS) kullanılmıştır. C-900 tipi MGS cihazı 60 cm uzunluğunda silindirik bir tambur gövdeye sahip olup, tambur çapı 50 cm'dir. Tambura besleme yönünden bakıldığında saat yönünde dönmekte ve dönme eksenine dik bir titreşim hareketi meydana getirmektedir. MGS cihazı tambur dönüş hızı 0-300 dev/dk, titreşim genliği 1-1,5- 2 cm olarak ayarlanabilmektedir. Tambur eğim açısı 0-10 derece, titreşim frekansı saniyede 4- 4,8- 5,7 d/sn yıkama suyu miktarı 0-9 l/dk ve katı oranı %10-%50 arasında çalışabilmektedir. Bilindiği üzere MGS 5 mikrometre tane boyutuna kadar ayırım yapabilmektedir.

5. BULGULAR

Çalışmada tambur dönüş hızı, yıkama suyu miktarı, tambur eğimi, genlik, katı oranı gibi parametrelerin pirit külünden SiO₂ giderimine etkisi incelenmiştir.

5.1. Tambur Dönüş Hızının Etkisi

Çalışmalarda tambur dönüş hızının pirit külünden SiO₂'nin giderilmesine etkisini araştırmak amacıyla 170-200-240-280 dev/dak dönüş hızında deneyler yapılmıştır. -38 mikrometre tane boyutunda, %30 katı oranı, 3,7 derece tambur eğimi, 1 cm genlik ve 3,5 l/dk yıkama suyu şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge.5.1.'de verilmiştir.

Çizelge.5.1. Tambur dönüş hızının SiO₂ giderimine etkisi

Tambur Dönüş Hızı dev/dk	Ürünler	Miktar %	Tenör %		Verim %	
			Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
170	Konsantre	81,60	67,42	2,89	84,69	61,66
	Artık	18,40	54,05	7,99	15,31	38,34
	Toplam	100,00	64,96	3,83	100,00	100,00
200	Konsantre	91,84	66,02	3,47	93,34	84,20
	Artık	8,16	52,54	7,39	6,66	15,80
	Toplam	100,00	64,92	3,79	100,00	100,00
240	Konsantre	93,80	65,79	3,64	95,00	87,75
	Artık	6,20	46,92	7,67	5,00	12,25
	Toplam	100,00	64,62	3,89	100,00	100,00
280	Konsantre	98,24	65,47	3,65	99,01	94,14
	Artık	1,76	46,72	12,74	0,99	5,86
	Toplam	100,00	65,14	3,81	100,00	100,00

Çizelge 5.1.'de görüleceği üzere, tambur dönüş hızı arttıkça Fe tenörü azalmakta ve buna karşılık Fe kazanım verimi artmaktadır. Örneğin 170 dev/dk tambur dönüş hızında Fe tenörü %67,42 iken 280 dev/dk dönüş hızında ise %65,47 olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde Fe kazanım verimleri sırasıyla %84,69 ve %99,01 olduğu görülmektedir. Tambur dönüş hızı arttıkça Fe tenürünün aksine SiO₂ tenörleri ve verimleri artmaktadır. Örneğin 170 devir/dk tambur dönüş hızında SiO₂ tenörleri %2,89 iken 280 dev/dk.'da %3,65'e ulaşmakta olup SiO₂ kazanım verimleri sırasıyla %61,66 ve %94,14'larda olduğu görülmektedir. Bu sonuçların ışığında yıkama suyu miktarının etkisinin incelendiği deneylerde tambur dönüş hızı 170 dev/dk seçilmiştir.

5.2. Yıkama suyu miktarının etkisi

Yıkama suyu miktarını pirit külünden SiO₂'nin giderilmesine etkisini araştırmak amacıyla 2- 3,5 -5- 7 l/dk debide yıkama suyu kullanılarak deneyler yapılmıştır. -38 mikrometre tane boyutunda , %30 katı oranı, 3,7 derece tambur eğimi, 1 cm genlik ve 170 devir/dk tambur dönüş hızı şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yıkama suyu miktarının/debisinin SiO₂ giderimine etkisi

Yıkama suyu miktarı L/dk	Ürünler	Miktar %	Tenör %		Verim %	
			Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
2	Konsantre	84,22	66,54	3,04	85,98	65,82
	Artık	15,78	57,92	8,43	14,02	35,18
	Toplam	100,00	65,18	3,89	100,00	100,00
3.5	Konsantre	81,60	67,42	2,89	84,69	61,66
	Artık	18,40	54,05	7,99	15,31	38,34
	Toplam	100,00	64,96	3,83	100,00	100,00
5	Konsantre	77,41	68,58	2,26	82,63	46,53
	Artık	22,59	49,41	8,90	17,37	53,47
	Toplam	100,00	64,25	3,76	100,00	100,00
7	Konsantre	74,35	68,67	2,09	82,01	42,23
	Artık	25,65	52,41	8,29	17,99	57,77
	Toplam	100,00	64,50	3,68	100,00	100,00

Çizelge 5.2.'den görüleceği gibi yıkama suyu miktarı/debisi arttıkça Fe kazanım verimi azalmakta buna karşılık SiO₂ giderim verimi artmaktadır. 2 ve 7 l/dk yıkama suyu debisinde konsantrelerin Fe tenörü %66'dan %68'e yükselmiş, Fe kazanım verimleri sırasıyla yaklaşık %85 ve %82 iken buna karşılık SiO₂ giderim verimi sırasıyla %35,15 ve %57,77 olarak gerçekleşmiştir. 5 ve 7 L/dk yıkama suyu debisinde yapılan deneylerden elde edilen konsantrelerin Fe tenörlerinde kayda değer bir değişim olmamış, değerler hemen hemen aynı kalmıştır. Yine aynı şartlarda yapılan deneylerde SiO₂ tenörleri de %2,26 ve %2,09 olarak gerçekleşmiştir. Genlik miktarının SiO₂ giderimine olan etkisi deneylerinde yıkama suyu miktarı/debisi 5 L/dk olarak seçilmiştir.

5.3. Genlik miktarının etkisi

Genlik miktarı pirit külünden SiO₂'nin giderilmesine etkisini araştırmak amacıyla 1- 1.5- 1.8 cm genliğinde deneyler yapılmıştır. -38 mikrometre tane boyutunda , %30 katı oranı, 3.7 derece tambur eğimi, 5 L/dk yıkama suyu debisinde ve 170 devir/dk. tambur dönüş hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Genlik miktarının SiO₂ giderimine etkisi

Genlik (cm)	Ürünler	Miktar %	Tenör %		Verim %	
			Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
1	Konsantre	77,41	68,58	2,26	82,63	46,53
	Artık	22,59	49,41	8,90	17,37	53,47
	Toplam	100,00	64,25	3,76	100,00	100,00
1.5	Konsantre	78,82	68,05	2,32	83,20	47,66
	Artık	21,17	51,45	8,93	16,80	52,34
	Toplam	100,00	64,53	3,72	100,00	100,00
1.8	Konsantre	78,04	68,94	2,33	81,69	49,82
	Artık	21,96	54,91	8,34	18,31	50,18
	Toplam	100,00	65,86	3,65	100,00	100,00

Çizelge 5.3'den görüleceği üzere genlik miktarının artması Fe tenörü ve Fe kazanım verimlerinde kayda değer değişiklik gözlemlenmemiştir. Yine aynı şekilde SiO₂ giderim verimleri yaklaşık %50 ile %53 aralığında gerçekleşmiştir. Tambur eğiminin SiO₂ giderimine olan etkisi çalışmaları için genlik miktarı 1 cm olarak seçilmiştir.

5.4. Tambur eğiminin etkisi

Tambur eğimi pirit külünden SiO₂'nin giderilmesine etkisini araştırmak amacıyla 3,7- 5,3- 7,2 eğiminde deneyler yapılmıştır. -38 mikrometre tane boyutunda , %30 katı oranı, 1 cm genlik, 5 L/dk yıkama suyu debisinde ve 170 devir/dk tambur dönüş hızı şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4.'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Tambur eğiminin SiO₂ giderimine etkisi

Tambur Eğimi (derece)	Ürünler	Miktar %	Tenör %		Verim %	
			Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
3.7	Konsantre	77,41	68,58	2,26	82,63	46,53
	Artık	22,59	49,41	8,90	17,37	53,47
	Toplam	100,00	64,25	3,76	100,00	100,00
5.3	Konsantre	70,10	68,63	2,19	74,11	40,29
	Artık	29,90	56,19	7,61	25,89	59,71
	Toplam	100,00	64,91	3,81	100,00	100,00
7.2	Konsantre	65,62	68,86	2,13	70,12	36,88
	Artık	34,39	55,99	6,96	29,88	63,12
	Toplam	100,00	64,44	3,79	100,00	100,00

Çizelge 5.4'den görüleceği üzere tambur eğimi arttıkça konsantredeki Fe tenörlerinin hemen hemen değişmediği neredeyse aynı kaldığı ve buna karşılık konsantre miktarlarının azalması sonucu Fe kazanım verimlerinde azalma olduğu görülmektedir. Tambur eğimi arttıkça SiO₂ giderim verimi artmaktadır. Yukarıdaki veriler ışığında optimum tambur eğimi olarak 3,7 derece olarak belirlenmiştir. Bu tespit Fe kazanım verimlerinin tambur eğimi arttıkça azalması sonuçları etkili olmuştur.

5.5. Elde edilen optimum şartlarda yapılan deney sonuçları

Yapılan çalışmalarda elde edilen optimum sonuçlarda bir adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.5'de ve deney şartları aşağıda verilmiştir;

Tane boyutu: -38 µm

Katı oranı: %30

Tambur dönüş hızı: 170 dev/dk

Tambur eğimi: 3.7 derece

Yıkama suyu debisi: 5 L/dk

Çizelge 5.5. Optimum şartlarda yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar

Ürünler	Miktar %	Tenör %		Verim %	
		Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
Konsantre	78,01	68,14	2,17	83,02	46,89
Artık	21,99	51,56	8,72	16,98	53,11
Toplam	100,00	64,03	3,61	100,00	100,00

Çizelge 5.5’de optimum şartlarda yapılan deneyler sonucu elde edilen değerler görülmektedir. Bu sonuçlardan anlaşılabileceği üzere; pirit külü %83 Fe verimi ve %68,14 Fe tenörüyle kazanılabilmektedir. Aynı şekilde %53 civarında SiO₂ giderimi sağlanabilmektedir. Elde edilen konsantrenin SiO₂ tenörü ise %2,17 olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Son yıllarda tenörü yüksek maden yataklarının azalması düşük tenörlü yatakların işletilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bunun bir sonucu olarak satılabilir tenörde konsantre üretmek için düşük tenörlü cevherlerin işletilmesinde daha büyük tonajlarda cevherin üretilmesi, boyut küçültülmesi ve cevher hazırlama tesislerinde zenginleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu durum yatırım ve işletme maliyetlerini yükseltmekte olduğu için, en azından cevher çıkarmakta kullanılan masrafları minimuma indirecek işletilebilir tesis artıklarının kullanılabilmesi arayışına yatırımcıları itmiştir.

Pirit (FeS_2) bilindiği gibi yüksek kükürt içeriği nedeniyle metalik demir üretiminde kullanılmazlar. Doğal olarak kendi basına cevherleşebildiği gibi diğer sülfürlü minerallerle beraber bulunabilmektedir. Pirit üretimi genellikle sülfürlü kompleks cevherlerin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi esnasında tesis artığı olarak depolanması/atılması şeklinde olmaktadır.

Sülfürik asit sanayinin birçok dalında daha çok kimyasal işlemlerde hem ucuz olması hem de ortalama saflığı %98 H_2SO_4 olması nedeniyle diğer kuvvetli asitlerden ayrılan avantajları olduğu bilinmektedir. Sülfürik asit genellikle sülfürlü cevherlerden pirometalurjik yöntemlerle metal üretimi sırasında meydana gelen SO_2 gazından üretilmekle beraber piyasanın sülfürik asit ihtiyacı bazen pirit mineralinin oksidasyonu ile gerçekleşmektedir. Bu oksidasyon reaksiyonları sonucu çeşitli demir oksitler (Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4 vs.) meydana gelmektedir. Pirit, kükürt içeriği yüksek olması nedeniyle demir cevheri olarak nitelenmezken demir oksitler demir izabe tesislerinin vazgeçilmez mineralleridir.

Pirit külü olarak adlandırılan bu ürünlerin demir üretiminde kullanılabilirliğini artırılması önem taşımaktadır. Bu amaçla yapılan ve bu tezin konusu olan MGS ile pirit külü zenginleştirme çalışmalarında tambur dönüş hızı, genlik, yıkama suyu debisi ve tambur eğimi gibi parametrelerin pirit külünden SiO_2 giderimine olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda; tambur dönüş hızı arttıkça merkez kaç kuvvetinin artması sonucu demir oksitler ve SiO_2 daha fazla G kuvveti ile tambur çeperine baskı yaptığı için konsantre Fe tenörleri azalmakta, Fe kazanım verimi artmakta ve aynı zamanda doğal olarak SiO_2 giderim verimi de azalmaktadır.

Yıkama suyu debisinin SiO₂ giderimine olan etkisi çalışmalarında; yıkama suyu miktarı arttıkça suyun eğim aşağı etki eden sürüklenme kuvveti de artmaktadır. Dolayısıyla konsantelerin Fe tenörü artarken Fe kazanım verimlerinde düşüş ve aynı zamanda SiO₂ giderim verimi de artmaktadır.

Genlik miktarının/uzunluğunun SiO₂ giderimine etkisi çalışmalarında; genlik uzunluğunun Fe tenör ve Fe kazanım verimlerine çok az etkili olduğu ve aynı zamanda SiO₂ giderim verimlerinde ise fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

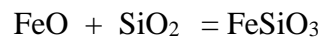
Tambur eğiminin SiO₂ giderimine etkisi çalışmalarında; tambur eğimi arttıkça Fe tenörlerinde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Eğimin etkisinden dolayı eğim arttıkça konsantre miktarı azalmış ve buna karşılık dolayısıyla Fe kazanım verimleri de azalmıştır. Yine tambur eğimi arttıkça artık kısımdan alınan ürün miktarı da arttığından SiO₂ giderim verimi de artmaktadır.

Yapılan deneyler sonucu optimum şartlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Tambur dönüş hızı: 170 dev/dk
- Tambur eğimi: 3,7 derece
- Yıkama suyu debisi: 5 L/dk
- Genlik: 1 cm

Elde edilen optimum parametreler kullanılarak yapılan deneyde ise SiO₂ giderim verimi ve tenörü sırasıyla %53,11 ve %8,72 SiO₂ olarak gerçekleşmiştir. Konsantre Fe tenörü %68,14 olurken Fe kazanım verimi ise yaklaşık %83 olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen konsantrenin SiO₂ tenörü %2.17 olarak gerçekleşmiştir.

SiO₂ giderim veriminin %53 gibi bir değerde düşük kalması, SiO₂'nin demir oksitlerle beraber hareket ettiği düşüncesini akla getirmektedir. Flotasyon şartlarında FeS₂-SiO₂ kenetli tane olma ihtimali olabilmekle beraber asit-baz reaksiyonunda gerçekleşmiş olma ihtimali de göz ardı edilmemelidir. Çünkü demir oksitler bazik, SiO₂ ise asidik katılar olarak bilinmektedir. Yüksek sıcaklık şartlarında kısmen aşağıdaki klasik katı hal asit-baz reaksiyonunun gerçekleştiği tahmin edilmektedir;



Bu nedenlerle SiO₂ giderim verimi düşük kaldığı tahmin edilmektedir.

7. ÖNERİLER

Çalışmalarda kullanılan pirit külünün yapılan XRD analizleri sonucunda manyetitten (Fe_3O_4) oluştuğu görülmektedir. Bilindiği gibi manyetit diğer demir içeren minerallere göre manyetik duyarlılığı fazladır. SiO_2 giderim çalışmaları düşük alan şiddetli yaşı manyetik ayırıcılarla bir seri çalışma yapılabilir. Bu çalışmalar sonucu elde edilecek sonuçlar ile MGS sonuçları karşılaştırılabilir.

Piyananın ihtiyacı olan FeSO_4 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, FeCl_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ vb. ürünleri üretmek amacı ile çeşitli mineral asit şartlarında liçing şartları belirlenebilir.



KAYNAKLAR

- Bagnold, R.A., "Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear" The Royal Society, vol. 225, Issue 1160, pp. 4963.
- Burt, R.O., 1984 "Gravity Concentration Technology", Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Chan, B.S.K. ; Mozley, R.H. ; and Childs, G.J.C., 1989, "The Multi-Gravity Separator (MGS)- a Mine Scale Machine", *Mineral Processing in the United Kingdom*, pp. 107-123.
- Chan, B.S.K. ; Mozley, R.H. ; and Childs, G.J.C., 1991, "Extended Trials With the High Tonnage Multi Gravity Separator", *Minerals Engineering*, Vol. 4, No. 3-4, pp. 489-496.
- Cheng, N.S.; 1997, "Effect of Concentration on Settling Velocity of Sediment Particles", *Journal of Hydraulic Engineering*, 123 (8) (1997), pp. 728-731.
- Gaudin, A.M.; 1939, Principles Of Mineral Dressing, *McGraw-Hill Book Company*, New York and London.
- Mayer, F.W., 1964, Fundamentals of a Potential Theory of the Jigging Process, Part Two, *Gravity and Dense Media Separation*, pp. 75-85.
- Mozley, 1991, Multi Gravity Separator (M.G.S) Applications, Fact Sheet Of Some Of the Testwork on Various Minerals and Materials Which Have Been Conducted on the Mozley M.G.S.
- Wills, B.A.; Finch, C.H., 2015., "Mineral processing Technology" Elsevier LTD, Eighth Edition, ISBN: 978-0-08-097053-0.
- Richardson, J.F.; Zaki, W.N., 1954, "The sedimentation of a Suspension of Uniform spheres Under Conditions of Viscous Flow", *Chemical Engineering Journal*, vol. 3, Issue 2, pp. 65-73.
- Runkel, M., and Sturm, P., 2009, Sulphur and Sulphuric Acid Conference 2009, Pyrite Roasting, An Alternative To Sulphur Burning, *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Svarovsky, L.; 2000, Solid-Liquid Separation, A Division of Reed Educational and Professional Publishing LTD, Fourth Edition, ISBN: 0 7506 45687.
- Taggart, A.F., 1945, Handbook of Ore Dressing, John Wiley and Sons, New York.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer KILIÇ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırşehir-13.01.1985
Telefon : 0553 504 9340
Faks :
E-Posta : omer_gamze8589@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kırşehir Lisesi, Merkez, Kırşehir	2002
Üniversite	: Cumhuriyet Üniversitesi, Merkez, Sivas	2009
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Karatay, Konya	-----
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Özel Şirket	Maden Mühendisi
2011-	Kırşehir İl Özel İdaresi	Maden Mühendisi

UZMANLIK ALANI:

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR