

65212

SİVAS-ULAŞ YÖRESİ SELESTİT CEVHERİNİN
OPTİMUM ÖĞÜTME VE ZENGİNLEŞTİRİLME
KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

Alper ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
1996

SİVAS-ULAŞ YÖRESİ SELESTİT CEVHERİNİN OPTİMUM ÖĞÜTME VE
ZENGİNLEŞTİRİLME KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

Alper ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Mehmet CANBAZOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ünal AKDEMİR

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ


ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

23/07/1996

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Doç.Dr. Sezai ELAGÖZ



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan "Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Klavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa no</u>
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Stronsiyum Hakkında Genel Bilgiler	2
1.1.1. Stronsiyum minerallerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri	2
1.1.2. Selestit yataklarının oluşumu	3
1.1.3. Dünyada stronsiyum rezervi ve üretim; tüketim durumu	4
1.1.3.1. Rezerv	4
1.1.3.2. Üretim	4
1.1.3.3. Tüketim	5
1.1.3.4. Satış koşulları ve fiyat durumu	6
1.2. Selestit Cevherinin Zenginleştirilme Yöntemleri	8
1.2.1. Triyaj ile zenginleştirme	8
1.2.2. Yıkama-dağıtma ve sınıflandırma ile zenginleştirme	8
1.2.3. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme	9
1.2.3.1. Ağır ortam ile zenginleştirme	9
1.2.3.2. Jig ile zenginleştirme	10
1.2.3.3. Sarsıntılı masa ile zenginleştirme	10
1.2.3.4. Multi Gravite Separator ile zenginleştirme	11
1.2.4. Flotasyon ile zenginleştirme	12
1.2.5. Dünyada uygulanan selestit cevheri zenginleştirme yöntemleri	12

1.2.5.1. Barit Maden Türk A.Ş.'ne ait selestit işletmesi	13
1.2.5.2. Bristol Mineral Şirketine ait selestit işletmesi	13
1.2.5.3. Kali-Chemie Şirketine ait selestit işletmesi	16
1.2.5.4. Uygulanan diğer zenginleştirme yöntemleri	18
1.3. Stronsiyum Karbonat Üretim Yöntemleri	20
1.3.1. Siyah-kül yöntemi (Black-ash method)	20
1.3.2. Soda yöntemi	21
1.4. Stronsiyumun Kullanım Alanları	22
1.4.1. Elektrik-elektronik sanayii	22
1.4.2. Cam ve seramik sanayii	23
1.4.3. Boya sanayii	24
1.4.4. Metalurji sanayii	25
1.4.5. Piroteknik sanayii	25
1.4.6. Diğer kullanım alanları	25
2. MATERYAL VE METOT	29
2.1. Deneylerde Kullanılan Örnek	29
2.2. Deneysel Çalışmalar	30
2.2.1. Zenginleştirme çalışmaları	30
2.2.2. Öğütme çalışmaları	32
2.3. Analizler	32
2.4. Cevher Örneğinin Deneylere Hazırlanması	33
3. BULGULAR	35
3.1. Ön Hazırlıklar	35
3.1.1. Tüvenan cevherin boyut analizi ve boyuta göre SrSO ₄ içeriklerinin belirlenmesi	35
3.1.2. Serbestleşme derecesinin tayini ve zenginleştirme kriteri	36

3.2. Zenginleştirme Çalışmaları	37
3.2.1. Mevcut tane boyutunda zenginleştirme çalışmaları	37
3.2.1.1. -66 +30 mm tane boyutunda yapılan zenginleştirme deneyleri	37
3.2.1.2. -30 +18 mm ve -18 +10 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri	38
3.2.1.3. -10 +5.6 mm, -5.6 +1.7 mm ve -1.7 +1.0 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri	40
3.2.1.4. -1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri	41
3.2.2. Tamamı -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin zenginleştirilmesi	43
3.2.3. Tamamı -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin zenginleştirilmesi	46
3.3. Öğütme Koşullarının Optimize Edilmesi	48
3.3.1. Öğütme süresinin etkisi	49
3.3.2. Değirmen dönüş hızının etkisi	51
3.3.3. Katı oranının etkisi	52
3.3.4. Kuru öğütmenin etkisi	55
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
4.1. Sonuçlar	58
4.2. Öneriler	60
5. KAYNAKLAR	62
6. ÖZGEÇMİŞ	65

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIVAS-ULAŞ YÖRESİ SELESTİT CEVHERİNİN OPTİMUM ÖĞÜTME VE
ZENGİNLEŞTİRİLME KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

Alper ÖZKAN

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ

Dünya’da selestit cevherinin tüketimi hızla artmakta ve gelişen teknoloji ile birlikte stronsiyum bileşikleri yeni kullanım alanları bulmaktadır. Ancak selestit cevherlerinin toplam rezervi, yeni ve gelişen ihtiyaçları karşılayabilecek kadar değildir. Bu nedenle, mevcut rezervlerin daha verimli ve ekonomik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Barit Maden Türk A.Ş.’ne ait selestit işletmesi zenginleştirme tesisine beslenen cevherin, optimum öğütme ve zenginleştirilme koşulları belirlenmiştir. Sarsıntılı masaya besleme malı hazırlamak amacıyla çubuklu değirmende belirlenen optimum öğütme koşulları; yaş öğütme, katı oranı %30, öğütme süresi 1 dak. ve değirmen dönüş hızı 55 dev/dak. (kritik hızın %55’i) olarak bulunmuştur.

Tüvenan cevher ortalama %86.49 $SrSO_4$ içermektedir. Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda; tüvenan cevherin mevcut tane boyutunda zenginleştirilmesi (elle ayıklama, jig, yıkama, sarsıntılı masa ile zenginleştirme) ile %92.84 $SrSO_4$ tenörlü konsantre %90.24 verimle, tamamı -8.00 mm’ye kırılan cevherin jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesiyle %96.28 $SrSO_4$ tenörlü konsantre %91.18 verimle ve tamamı -2.00 mm’ye öğütülen cevherin sarsıntılı masa ve Multi Gravite Separator ile zenginleştirilmesiyle ise %94.91 $SrSO_4$ tenörlü konsantre %91.63 verimle kazanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Selestit, Stronsiyum, Jig, Sarsıntılı masa

SUMMARY

MSc Thesis

INVESTIGATION OF OPTIMUM GRINDING AND CONCENTRATION
CONDITIONS FOR SİVAS-ULAŞ CELESTITE ORE

Alper ÖZKAN

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ

The consumption of celestite ore is increasing rapidly worldwide and strontium compounds are finding new fields of use. However, the reserves of celestite ores are not enough to meet new and developing demands. For this reason, present reserves must be evaluated more efficiently and economically.

In this study, optimum grinding and concentration conditions for an ore belonging to 'Barit Maden Türk A.Ş.', have been discovered. Optimum conditions in rod mill grinding to prepare feed material for shaking table are as follows: Wet grinding, 30% solid, 1 minute grinding time and a mill speed of 55 rpm.

Run of mine ore contains on average of 86.49% SrSO_4 . Experimental work indicated that a 92.84% SrSO_4 concentrate with a recovery of 90.24% could be obtained without any size reduction (hand picking, jig, washing and shaking table). When the ore was crushed below 8.00 mm, a concentrate was obtained with a grade and recovery of 96.28% SrSO_4 and 91.18%, respectively by jigging and shaking table concentration. Finally, grinding the ore below 2.00 mm and shaking table and Multi Gravity Separator concentration yielded a concentrate assaying 94.91% SrSO_4 with a 91.63% recovery.

Key words: Celestite, Strontium, Jig, Shaking table

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm, eleştirileri ile beni yönlendiren Danışman Hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Yakup CEBECİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında, desteklerini esirgemeyen C.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı Sayın Prof.Dr. Mehmet CANBAZOĞLU'na, Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ'ye, Sayın Yrd.Doç.Dr. Meftuni YEKELER'e ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Ünal AKDEMİR'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı Sayın Arş.Gör. Salih AYDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilir, tüm Maden Mühendisliği personeline saygılar sunarım.

Bu çalışmada kullanılan cevher örneğinin teminindeki yardımlarından dolayı Barit Maden Türk A.Ş.'nin Sivas Selestit İşletmesi Müdürü Sayın Emin TEKE'ye teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
Şekil 1. Sivas selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması	14
Şekil 2. İngiltere selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması	15
Şekil 3. İspanya selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması	17
Şekil 4. İngiltere-Gloucestershire tesisinin basitleştirilmiş akım şeması ..	19
Şekil 5. Cevher numunesinin XRD sonuçları	29
Şekil 6. Cevher örneğinin deneylere hazırlanması	34
Şekil 7. Tüvenan cevherin boyut dağılım eğrisi	36
Şekil 8. Cevherin -1.70 mm tane boyutuna öğütülmesi	48
Şekil 9. Öğütme süresinin etkisi	50
Şekil 10. Değirmen dönüş hızının etkisi	52
Şekil 11. Katı oranının etkisi (Öğütme süresi 1.5 dk)	53
Şekil 12. Katı oranının etkisi (Öğütme süresi 1 dk)	54
Şekil 13. Kuru öğütmenin etkisi	56
Şekil 14. Sivas-Ulaş yöresi selestit cevheri için önerilen zenginleştirme akım şeması	61

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
Tablo 1. Dünya Stronsiyum Rezervi Dağılımı	4
Tablo 2. Dünya Selestit Üretimi	5
Tablo 3. Üretici ve Tüketici Ülkeler Arasındaki Ticaret	6
Tablo 4. Dünya Stronsiyum Karbonat Üretim Kapasitesi	21
Tablo 5.a. Stronsiyum Mineralleri, Kimyasal Bileşikleri ve Kullanım Alanları	27
Tablo 5.b. Stronsiyum Oksitten Üretilen Bileşikler ve Kullanım Alanları	28
Tablo 5.c. Stronsiyum Hidroksitten Üretilen Bileşikler ve Kullanım Alanları	28
Tablo 6. Tüvenan Cevherin Boyut Analizi, Boyuta Göre SrSO ₄ İçerikleri ve Serbestleşme Dereceleri	35
Tablo 7. Mevcut Tane Boyutunda Yapılan Zenginleştirme Deneyleri Sonuçları	39
Tablo 8. Mevcut Tane Boyutunda Yapılan Zenginleştirme Deneyleri Birleştirilmiş Sonuçları	42
Tablo 9. Tamamı -8.00 mm Tane Boyutuna Kırılan Cevherin Boyut Analizi ve Boyuta Göre SrSO ₄ İçerikleri	43
Tablo 10. Jig ve Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları	44
Tablo 11. Jig ve Sarsıntılı Masa Deneyi Birleştirilmiş Sonuçları	45
Tablo 12. Tamamı -2.00 mm Tane Boyutuna Öğütülen Cevherin Boyut Analizi ve Boyuta Göre SrSO ₄ İçerikleri	46
Tablo 13. Sarsıntılı Masa ve MGS Deneyi Sonuçları	47
Tablo 14. Sarsıntılı Masa ve MGS Deneyi Birleştirilmiş Sonuçları	47
Tablo 15. Öğütme Deneylerinde Kullanılan Malzemenin Boyut Analizi	49
Tablo 16. Öğütme Süresinin etkisi	50
Tablo 17. Değirmen Dönüş Hızının etkisi	51
Tablo 18. Katı Oranının Etkisi (Öğütme Süresi 1.5 dk)	53
Tablo 19. Katı Oranının Etkisi (Öğütme Süresi 1 dk)	54
Tablo 20. Kuru Öğütmenin Etkisi	56

SİMGELER DİZİNİ

- KEA : Kümülatif elek altı
KEÜ : Kümülatif elek üstü
Nk : Kritik hız
k : Zenginleştirme kriteri



1. GİRİŞ

Stronsiyum doğada serbest olarak bulunmayan gümüş beyazı bir metaldir. Dünyada stronsiyum elementi içeren yaklaşık 62 adet mineral olmasına rağmen, bu gün ekonomik değer taşıyanlar selestit (SrSO_4) ve stronsiyanit (SrCO_3) mineralleridir (Teke, 1990; Ober, 1995). Ancak bolluğu ve geniş yayılım göstermesi nedeniyle en önemli stronsiyum minerali selestittir. Stronsiyanit hemen her zaman kalsiyum içermesi nedeniyle yüksek saflıkta stronsiyum bileşikleri elde etmeye uygun değildir. Bu nedenle ticari önemini kaybetmektedir.

Adair Crawford uzun zaman baryum minerali olarak düşünülen stronsiyanitini yeni bir elementin minerali olduğunu 1790 yılında bulmuştur. Selestitin ticari üretimi 1875 yılında İngiltere'de başlamış ve I. Dünya Savaşı'na kadar Almanya'ya sevk edilmiştir. Almanya, selestiti piroteknik amaçlarla kullanmak üzere nitratlaştırmıştır. Stronsiyuma talep, şeker kamışı melasından şeker eldesinde stronsiyum hidroksit kullanımı işleminin başlaması ile artmıştır.

II. Dünya Savaşı'ndan önceki beş yıl içinde yıllık ortalama üretim 5.000 ton civarında olup, bunun %90'dan fazlası İngiltere'nin Güney Batısındaki yataklardan karşılanmaktaydı. II. Dünya Savaşı, diğer ülkelerde özellikle İspanya ve Meksika'da üretimin başlamasına hız vermiştir. Ancak, 1950-1960 yılları arasında satış sadece askeri amaçlarla stronsiyum bileşiklerinin kullanımı ile sınırlandırıldığından tüketim düşmüştür. I. Dünya Savaşı sırasında ABD'nin başlattığı az miktardaki selestit ve stronsiyanit üretimi zaman zaman aksamış ve 1947'de tamamen durmuştur. 1969 yılına kadar ki 22 seneyi aşkın sürede stronsiyum mineralleri tüketimi yılda 20.000 tonu geçmemiştir. Fakat, 1969 başlarında stronsiyum bileşiklerinin renkli televizyon ve seramik endüstrisi ile daimi miknatıs yapımında kullanılmaya başlamasıyla tüketim büyük bir artış göstermiştir. Dünya selestit üretimi 1955-1968 yılları arasında 10.000 ila 20.000 ton arasında iken, 1969'da 40.000 tona, 1971'de ise 111.400 tona ulaşmıştır.

Dünya selestit cevheri üretiminde ilk defa 1972 yılında yer alan Türkiye, 1977 yılında dünya üretiminde ikinci sırada yer almıştır (Karayazıcı ve Oral, 1980; Can, 1993).

1.1. Stronsiyum Hakkında Genel Bilgiler

1.1.1. Stronsiyum minerallerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri

Selestitin kimyasal formülü SrSO_4 olup, kimyasal bileşiminin %56.4'ünü SrO, %43.6'sını SO_3 oluşturur. Mohs cetveline göre sertliği 3-3.5, yoğunluğu $3.95-3.97 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Genelde renksiz, beyaz, soluk mavi nadiren de kırmızı renklidir. Saf haldeki rengi beyaz veya açık gök mavisidir. Çizgi rengi beyaz olup, alevi kırmızıya boyar (Can, 1993). Ortorombik sistemde kristalleşen selestit, masif, iri kristalli, iğnemsî ve ince kristalli olarak doğada bulunur. Daha çok yarı saydam halde bulunan selestit, camsı parlaklığa sahiptir. Son derece kırılmandır. Kırılma yüzeyleri düzensiz (kusurlu) konkoidaldir. Selestitin asitlerde ve suda çözünürlüğü çok azdır. Örneğin, $18 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 100 gr suda ancak 0.0114 gr selestit çözünebilir. Selestitin erime noktası $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Çoğu zaman bileşimine Ca ve Ba izomorf olarak katılır (Kırkoğlu, 1990; Cebeci ve Ark., 1993).

Stronsiyanit %70.19 SrO ve hemen her zaman kalsiyum içerir ve CaO oranı yaklaşık olarak %4.5'a kadar çıkabilir. Sertliği 3.5 olan stronsiyanit saf olanı için yoğunluğu $3.75-3.77 \text{ gr/cm}^3$ olduğu hesaplanmıştır. Stronsiyanit kristalleri ise genellikle kısa-uzun prizmatik iğne veya armut şeklindedir. Ayrıca kolon halinde, lifli ve tanelide olabilir. Stronsiyanit asitlerde çözünür ve genellikle selestit ile birlikte bulunur (Karayazıcı ve Oral, 1980).

Doğada bulunan stronsiyum mineralleri aşağıda verilmiştir:

Ancylite, balavinskite, boggi-ldite, brewsterite, burbankite, carbocernaite, celestite, crichtonite, delrioite, donnayite, goedkenite, goyazite, haradaite, jarlite, kalistrontite, kemmlitzite, kurgantaite, lamprophyllite, lusungite, metadelrioite,

nastrophite, nordite, olgite, palermoite, p-veatchite, slawsonite, stemonite, stronalsite, strontianite, strontioborite, strontiodresserite, strontioginorite, strontiojoaquinite, strontio-orthojo-aquinite, strontium-avatite, svanbergite, taosonite, tikhonenkovite, tunellite, umbozerite, veatchite, veatchite-A, weloganite.

1.1.2. Selestit yataklarının oluşumu

Selestit mineralini oluşturan ana element olan stronsiyum, yer kabuğunda %0.02 oranında ve deniz suyunda ise 13-13.5 mg/L civarında bulunur. Mağmatik kayaların ortalama stronsiyum içerikleri %0.034 olup, bu oran kurşun, çinko, bakır, flor, nikel ve lityum içeriklerinden daha yüksektir. Göreceli olarak bolluğuna rağmen stronsiyum, mağmatik kayalarda bağımsız bir mineral olarak oluşmaz. Genellikle kayacı oluşturan minerallerin küçük bir parçası olarak bulunur. Bununla beraber, bağımsız stronsiyum mineralleri genellikle jips, anhidrit veya kaya tuzu tabaka veya mercekleri ile ilgili tortul kayalarda veya onların yakınlarında, kireç taşı ve dolomitler içindeki damarlarda, şeyl, marn ve kalkerde saçılmış olarak bulunur. Ayrıca, kurşun-çinko yataklarında gang minerali olarak da yer alır. Ekonomik öneme sahip selestit yatakları jips, anhidrit veya kayatuzu seviyeleri içinde tabaka veya mercek şekilli evaporitik oluşumlardır. Evaporitik ortamlarda minerallerin çökelme sırası aşağıdaki gibidir:

- Kalsit-dolomit
- Jips-anhidrit
- Kayatuzu (halit)
- Potasyum ve magnezyum tuzları

Bunların yanı sıra ara ürünlerin de çökdikleri görülmektedir. Selestit de bunlardan biridir. Kurumakta olan denizel bir ortamda jips çökelişi sırasında, stronsiyum konsantrasyonunun bağıl olarak artması sonucu ara ürün olarak selestit çökelmektedir. Stronsiyum iyonlarının kaynağı şu şekilde verilebilir:

- Deniz suyunda bulunan stronsiyum
- Akarsular tarafından denizel ortama taşınan stronsiyum
- Deniz dibi ve karasal volkanizma
- Farklı bileşimdeki suların karışımı sonucu ortama sağlanan stronsiyum
(Kırkoğlu, 1990).

1.1.3. Dünyada stronsiyum rezervi ve üretim; tüketim durumu

1.1.3.1. Rezerv

Dünyadaki en büyük stronsiyum rezervleri Meksika'dadır. Meksika, İspanya, Türkiye, İngiltere, Kanada, İran ve Pakistan'daki stronsiyum varlığı, dünya stronsiyum rezervinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır.

Dünya stronsiyum rezervinin dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Dünya Stronsiyum Rezervi Dağılımı (x1000 ton Sr) (D.P.T., 1988)

Ülkeler	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv
A.B.D.	-	1.350
Meksika	450	2.800
Avrupa	3.600	4.500
Asya	2.700	3.200
Avustralya	-	90
Toplam	6.750	11.940

1.1.3.2. Üretim

Dünyada önde gelen selestit üreticileri Meksika, İspanya, Türkiye ve İran'dır. 1980 yılında selestit üretimine başlayan Çin'de 1993 yılı itibariyle üretim miktarı 30.000-40.000 tondur. Bağımsız Devletler Topluluğunda da önemli miktarlarda selestit üretilir, ancak hakkında yeterli bilgi mevcut değildir (Hong, 1993; Ober, 1995).

1985-1991 yılları itibariyle dünya selestit üretimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dünya Selestit Üretimi (ton/yıl)(World Mineral Statistics, 1985-1989; Can, 1993)

Ülkeler	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
İngiltere	23.039	14.739	22.655	25.553	20.885	24.734	2.000
İtalya	4.611	4.667	177	-	-	-	-
İspanya	39.100	31.740	26.558	45.631	35.134	80.352	80.000*
Türkiye	35.000	35.000	35.000	55.800	86.375	73.790	70.000
Cezayir	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400*
Meksika	32.320	24.042	47.739	38.794	37.841	40.130	100.000*
Arjantin	983	1.133	1.349	2.241	1.193	1.200	1.200*
Kıbrıs	1.400	7.365	6.300	-	-	-	-
İran	20.000	22.000	22.000	13.000	25.000	30.000	25.000
Pakistan	688	997	1.144	941	956	1.799	1.000*
Toplam	162.541	147.083	168.292	186.560	212.784	257.405	284.600

*Tahmini

1.1.3.3. Tüketim

Dünyada üretilen selestit mineralinin hemen hemen tümü stronsiyum karbonat olarak tüketilmektedir. Diğer stronsiyum bileşikleri ise stronsiyum karbonattan elde edilmektedir.

Dünyada stronsiyumun kullanıldığı sektörlere göre tüketim oranları şöyledir (Kırıkoğlu, 1990):

%40 televizyon tüpü imalatında

%25 elektronik sanayiinde

%25 pirometalurjide

%5 metal rafinasyonunda

%5 diğer alanlarda

Büyük tüketici ülkelerden A.B.D. selestit cevheri ihtiyacını Meksika'dan, Japonya İspanya'dan ve Almanya ise Türkiye'den karşılamaktadır. Ancak son yıllarda, Almanya İspanya'da zenginleştirme tesisi kurarak selstit ihtiyacını buradan karşılamaya başlamıştır.

1988 yılı verilerine göre üretici ve tüketici ülkeler arasındaki ticaret aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir.

Tablo 3. Üretici ve Tüketici Ülkeler Arasındaki Ticaret (D.P.T., 1990)

Üretici Ülkeler	İhracat Miktarı (ton)	Tüketici Ülkeler	İthalat Miktarı (ton)
Meksika	51.500	A.B.D.	38.000
		Japonya	5.000
		Batı Avrupa	8.500
İspanya	35.000	Japonya	30.000
		Batı Avrupa	5.000
İngiltere	22.000	Batı Avrupa	22.000
Türkiye	55.000	S.S.C.B. (B.D.T.)	16.000
		Batı Avrupa	39.000
İran	23.000	S.S.C.B. (B.D.T.)	21.000
		Batı Avrupa	2.000

Türkiye'de stronsiyum tüketimi son derece sınırlıdır. Sadece Çin-Kur tesislerinde yılda 20.000 ton selestit stronsiyum karbonata dönüştürülerek, elektrolitik çinko üretiminde kullanılmaktadır (Karayazıcı ve Oral, 1980).

1.1.3.4. Satış koşulları ve fiyat durumu

Selestit konsantrelerinin ticari olarak satılabilmesi için konsantrelerin aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir (Cebeci ve Ark., 1993):

SrSO ₄	en az	%92
BaSO ₄	en çok	%1
CaCO ₃	en çok	%0.5
SiO ₂	en çok	%0.5
Fe ₂ O ₃	en çok	%0.2
MgO	en çok	%0.1
Al ₂ O ₃	en çok	%0.03
CaSO ₄	en çok	%3

Ayrıca son yıllarda çevre kirlenmesine neden olan flour miktarında ton konsantride 300 ppm'den fazla olmaması istenir.

İngiltere'de pazarlanan selestit konsantrelerinde aranan özellikler şunlardır:

SrSO_4	en az	%95
BaSO_4	en çok	%2
SiO_2	en çok	%2
CaCO_3	en çok	%0.5
Fe_2O_3	en çok	%0.5

ABD ulusal stoklar satın alma şartnamesi ise şöyledir:

Selestit	en az	%96
Jips	en çok	%2
Nem	en çok	%2

Selestit konsantrelerine genellikle minimum bir SrSO_4 tenörü baz alınarak ödeme ve SrSO_4 'ün her %1 artışı için ek ödeme yapılır.

Minimum %92 SrSO_4 tenörlü Türk selestitinin FOB İskenderun Limanı fiyatı 1992 yılı itibariyle 80 \$/ton olup, her %1 SrSO_4 artışı için 6 \$/ton ilave edilir. Türk selestitinin 1994 Ekim fiyatı ise 98 \$/ton'dur.

1992 yılı itibariyle minimum %94 SrSO_4 tenörlü Meksika selestiti FOB gemi fiyatı 90 \$/ton ve İspanya selestiti FOB Motril Limanı fiyatı 85 \$/ton'dur.

Stronsiyum karbonat fiyatları ise çok değişkendir. Japonya'nın 1992 yılında belirlediği stronsiyum karbonat CIF fiyatı Alman malzemesi için 854 \$/ton, Meksika malzemesi için 824 \$/ton ve Çin malzemesi için 650 \$/ton'dur (Griffiths, 1992).

1.2. Selestit Cevherinin Zenginleştirilme Yöntemleri

1.2.1. Triyaj ile zenginleştirme

Triyaj, minerallerin renk, parlaklık, fluoresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak elle veya otomatik ayıklama makinaları ile yapılır. Elle ayıklanacak cevherin tane boyutu 30-3 cm, otomatik ayıklamaya tabi tutulacak cevherin ise 20-0.5 cm arasında olmalı ve birbirine yakın tane boyutlarında sınıflandırılarak ayrı ayrı ayıklamaya tabi tutulmalıdır. Ayıklama öncesinde cevherin yıkanarak, tane yüzeylerini kaplayan safsızlıkların uzaklaştırılması tanelerin iyi tanınmasını sağlamak için gerekebilir. Elle ayıklama işlemi sabit (sabit masa, sabit oluk ve ızgara) veya hareketli (lastik veya çelik konveyör, döner masa) zemin üzerinde yapılmaktadır. Otomatik ayıklayıcılar ise döner diskli ve bantlı olmak üzere başlıca iki tipte imal edilirler (Önal, 1985).

1.2.2. Yıkama-dağıtma ve sınıflandırma ile zenginleştirme

Yıkama-dağıtma ve sonrasında sınıflandırma işlemi genellikle bir ön zenginleştirme, bazen de nihai bir zenginleştirme işlemi olarak uygulanabilmektedir.

Yıkama-dağıtma ile zenginleştirmeye en uygun cevherler yumrulu (oolitik) oluşumlu, çimentolu ve tane yüzeyleri kil veya demir oksitlerle kaplanmış sedimanter ve plaser kökenli cevherlerdir. Bu tür cevherler, oluşumlarına ve içerdikleri minerallerin özelliklerine bağlı olarak yıkama-dağıtma ve sınıflandırma ile belirli ölçüde zenginleştirilebilirler.

Yönteme uygun özellikteki cevherlerin dağıtılmasında yararlanılan kuvvetler, parçaların kırılıp ufalanmasına neden olacak büyüklük ve özellikte olmamalıdır.

Yıkama ve dağıtma işlemi birlikte yapılacak şekilde geliştirilen cihazlar; karıştırma, aktarma ve basınçlı su ile dağıtanlar olmak üzere başlıca üç grupta toplanmaktadır. Karıştırma ile yıkama-dağıtma yapan cihazlar; el ile karıştırma

yapılan yalıklı yıkayıcı-dağıtıcılar, pervane ile karıştırma yapan yıkayıcı-dağıtıcılar (attrition scrubber) ve kütüklerle karıştırma yapan kütüklü yıkayıcı-dağıtıcılardır (Önal, 1985; Ergin ve Ark., 1993).

1.2.3. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme

Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme yöntemi, selestit cevherinin zenginleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Ekonomik olarak sedimanter oluşumlarda oluşan selestit minerali, kaya tuzu, kalsit, anhidrit, jips ve kil mineralleri ile birlikte bulunur. Selestit mineralinin yoğunluğu ($3,95-3,97 \text{ gr/cm}^3$) ile mevcut gang mineralleri içerisinde en yüksek yoğunluğa sahip olan anhidritle ($2,93 \text{ gr/cm}^3$) arasındaki bu fark sayesinde ve serbestleşme tane iriliğinin özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmeye uygun olması durumunda, bu yöntem başarıyla uygulanabilir (Kırıköglü, 1990; Can, 1993).

1.2.3.1. Ağır ortam ile zenginleştirme

İri boyutlarda (75-2 mm) serbestleşme derecesi yüksek olan cevherlere uygulanabilen bu yöntemde, kıymetli mineral ile gang mineralleri arasındaki özgül ağırlık farklılığından yararlanılarak, ağır bir akışkan ortam içerisinde yüzdürme-batırma yoluyla birbirinden ayrılması ile yapılan zenginleştirme işlemidir. Ağır ortam ile zenginleştirme yönteminin uygulanabilmesi için ayrılması istenilen mineraller arasında en az 0.1 gr/cm^3 yoğunluk farkı olması ve ayırmayı etkileyecek ölçüde cevherin gözenekli olmaması gerekir. Ağır ortam zenginleştirmesine tabi tutulacak cevher ağır ortamın özelliklerini (viskozite, özgül ağırlık gibi) değiştirecek ölçüde kolloidal madde, şlam ve küçük boyutlu tane içermemelidir. Bu yöntem kullanıldığında; minerallerin serbestleşmesi için öğütülmesi gereken cevher miktarında önemli azalma sağlanır. Ufalamanın pahalı bir işlem olması nedeniyle, öğütme aşamasından önce bulunabilecek kayaç parçalarının uzaklaştırılması faydalıdır.

Ağır ortam, tuzların sudaki çözeltilerinden, organik sıvılardan ve katıların su içindeki süspansiyonundan hazırlanır. Tuzların sudaki çözeltileri kömür zenginleştirmede, organik sıvılar pahalı olduklarından endüstriyel uygulamalardan çok laboratuvar çalışmalarında kullanılır. Endüstriyel çapta, cevherler için önceleri önemli derecede galen kullanılmasına karşın, günümüzde en çok kuvars, manyetit ve ferrosilikon kullanılmaktadır.

1.2.3.2. Jig ile zenginleştirme

Farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin, düşey (aşağı-yukarı) hareketli bir akışkan ortamdan yararlanılarak, tabakalar halinde ayrılması ile yapılan zenginleştirme işlemidir. Jiglerde akışkan ortam olarak su, hava ve nadiren de ağır bir sıvı kullanılmaktadır. Jig ile zenginleştirilecek cevherlerin içerdikleri mineraller arasında yeterli özgül ağırlık farkı olmalı ve mineraller iri boyutlarda serbest kalmalıdır. 25-1 mm tane boyutundaki cevherler jigle zenginleştirilebilir. Jig ile zenginleştirme işlemi ya cevherlerin ön zenginleştirilmesinde ya da iri boyutlarda yeterli düzeyde serbestleşen cevherlerin nihai zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Jig ile zenginleştirmenin tesisi, işletilmesi ve bakım giderlerinin düşük olması nedeniyle günümüzde de kullanımı caziptir (Önal, 1985; Picket ve Riley, 1985).

1.2.3.3. Sarsıntılı masa ile zenginleştirme

Sarsıntılı masalar, günümüzde gravite ile zenginleştirmede en çok kullanılan cihazlardır. Sarsıntılı masa, üzerinde tabaka halinde akışkan akışı olan, dikdörtgen, paralelkenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzeydir. Masanın uzun eksenini doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri-geri bir hareket mekanizmasına sahiptir. Sarsıntılı masa yüzeyindeki ayırmanın etkinliğini artırmak için masa yüzeyi eşiklerle kaplanır. Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından konsantre kenarına doğru azalarak sıfır olmaktadır. Eşikler

akış koşullarını değiştirmekte, eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olmakta ve buna bağlı olarak hem daha etkili bir ayırma yapabilmekte hem de masa kapasitesi artmaktadır (Önal, 1985). Sarsıntılı masalara beslenecek en iri cevher boyutu 2 mm'dir. Ayırmanın etkinliği ve hızı, masa beslenmesindeki tanelerin boyut ve şekli ile taneler arasındaki özgül ağırlık farkının büyüklüğüne bağlıdır. Sarsıntılı masalara iri boyutlu cevherler beslendiğinde uzun genlik-düşük hız, ince boyutlu cevherlerde ise kısa genlik-yüksek hız kullanılması uygundur. Sarsıntılı masalarda su tüketimi beslemenin boyutuna ve işlemin (kaba zenginleştirme veya temizleme) tipine bağlıdır. Temizleme işlemlerinde daha fazla su kullanılır. Sarsıntılı masalarda uygun bir eğimle, masa yüzeyi üzerinde malzemenin iyi bir dağılımını sağlamak mümkündür. Masa yüzeyindeki yatağın kalınlaştığı ya da ağır ilerlediği durumda eğimde artışa gitmek gereklidir. Eğimdeki artış, daha fazla malzemeyi masanın uzun kenarına doğru taşıyacaktır (Deurbrouck ve Agey, 1985).

Endüstride kullanılan sarsıntılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki genel gruba ayrılırlar; iri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli, bazende eşiksizdir.

1.2.3.4. Multi Gravite Separator (MGS) ile zenginleştirme

İngiliz Teknoloji Grubu desteğinde Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiştir (Yıldırım ve Ark., 1995). Sarsıntılı masa yüzeyinin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir. Bir ucu açık olan bu tamburun belirli hızla döndürülmesiyle; mineral tanelerine karşı etkili olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile ayrılmasını gerçekleştirmektedir. MGS ünitesinde; tambur dönüş hızı, titreşim büyüklüğü, tambur eğim açısı, yıkama suyu miktarı ve besleme katı oranı önemli işletme parametreleri olmaktadır. Ayrıca, besleme tane boyutu ve mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı da ayırmada etkilidir (Aslan ve Canbazoglu, 1995).

1.2.4. Flotasyon ile zenginleştirme

Gravite yöntemlerinin uygulanamadığı, serbestleşme tane iriliğinin 100 µm'un altında olduğu durumlarda, flotasyon yöntemi ikinci derecede selestit cevherinin zenginleştirilmesinde uygulanmaktadır (Cebeci ve Ark., 1993).

Selestit flotasyonunda en yaygın kullanılan toplayıcı reaktifler yağ asitleridir. Oleik asidin alkali tuzları (özellikle sodyum oleat) selestit flotasyonunda uzun zamandır kullanılmaktadır. Ancak sodyum oleatın kullanılmasındaki asıl problem, bu toplayıcının seçimliliğinin düşük olmasıdır (Zaman, 1985; Gonzalez-Cabellero ve Ark., 1989). Selestit flotasyonunda kullanılan diğer toplayıcı reaktifler sodyum alkil sülfat, sodyum taurate ve son araştırmalar alkil sülfonatların kullanılabileceğini göstermiştir (Houot ve Ark., 1993). Quebracho, sodyum silikat ve bakır sülfat flotasyonda seçimliliği artırmak için kullanılmaktadır (Zaman, 1985). Selestit cevherinde tuz tipi minerallerden kalsit veya baritin bulunması, yine bir tuz tipi mineral olan selestitin flotasyonla kazanılmasında en büyük sorun kaynağıdır. Tuz tipi minerallerin, oksitli ve silikatlı minerallerden ayrılması nispeten kolayken, tuz tipi minerallerin birbirinden ayrılması son derece zordur. Bunun nedeni, kalsit ve baritin de aynı reaktiflerle selestitle birlikte iyi derecede yüzmesidir (Zaman, 1985; Castro ve Ark., 1993).

1.2.5. Dünyada uygulanan selestit cevheri zenginleştirme yöntemleri

Triyaj, özgül ağırlık farkı ve flotasyon yöntemleri, stronsiyum karbonat üretimine uygun %90-95 SrSO₄ tenörlü selestit konsantrelerinin eldesinde başarıyla kullanılmaktadır. Genellikle %90 ve daha yüksek tenörlü SrSO₄ tenörlü cevherler triyaj ve kırma-eleme, düşük tenörlü cevherler ise özgül ağırlık farkı ve flotasyon yöntemleri ile zenginleştirilmektedir (Hong, 1993).

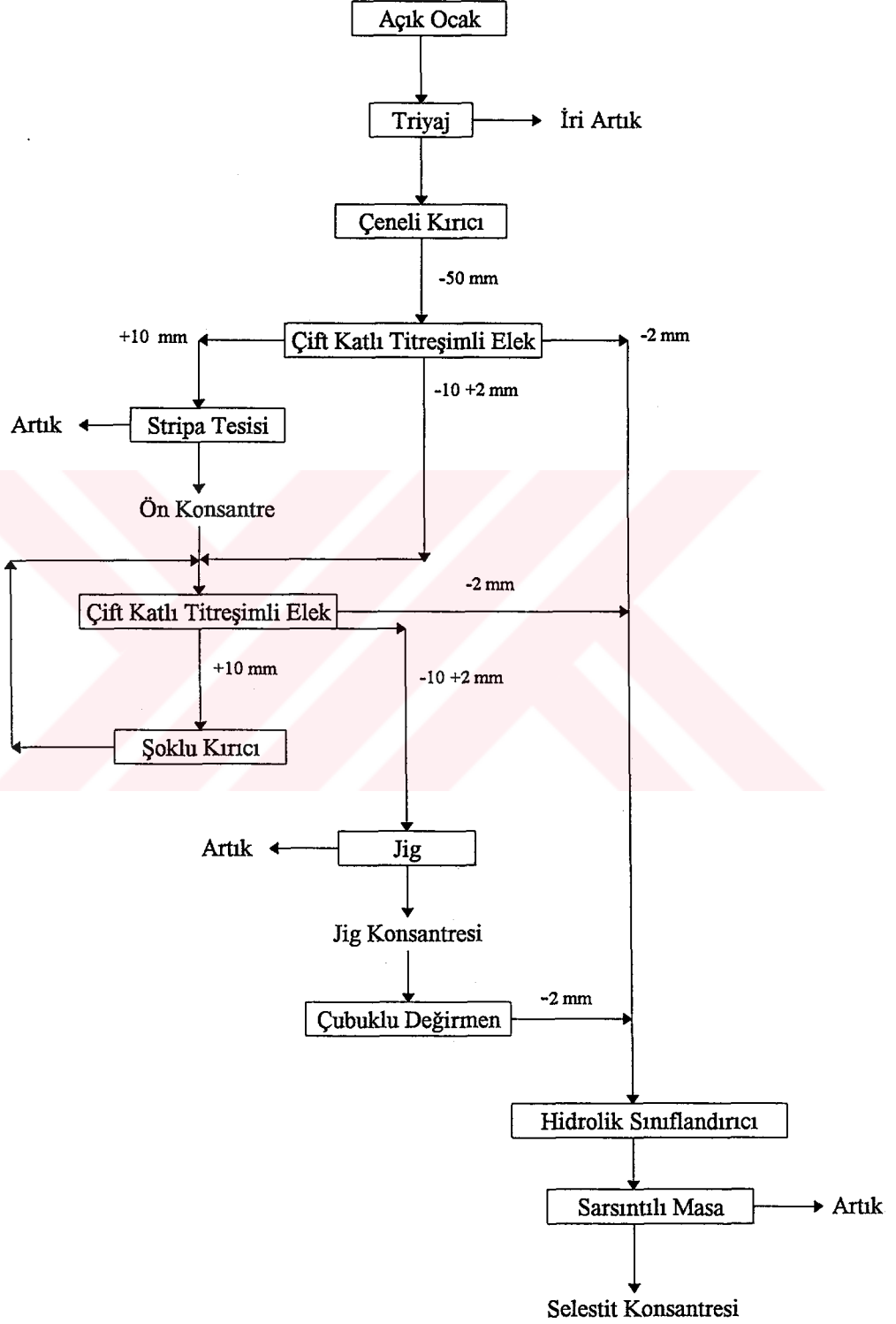
1.2.5.1. Barit Maden Türk A.Ş.'ne ait selestit işletmesi

Zenginleştirme tesisi Sivas'a 20 km uzaklıkta, Sivas-Kayseri yolu üzerinde bulunmaktadır. Tesis açık işletmeye 8 km uzaklıkta olup, kapasitesi 700 ton/gün'dür. Tesiste işlenen cevherin mineralojik bileşimi ise şu şekildedir: %65-70 selestit, %25-30 jips ve %5-10 kil mineralleri.

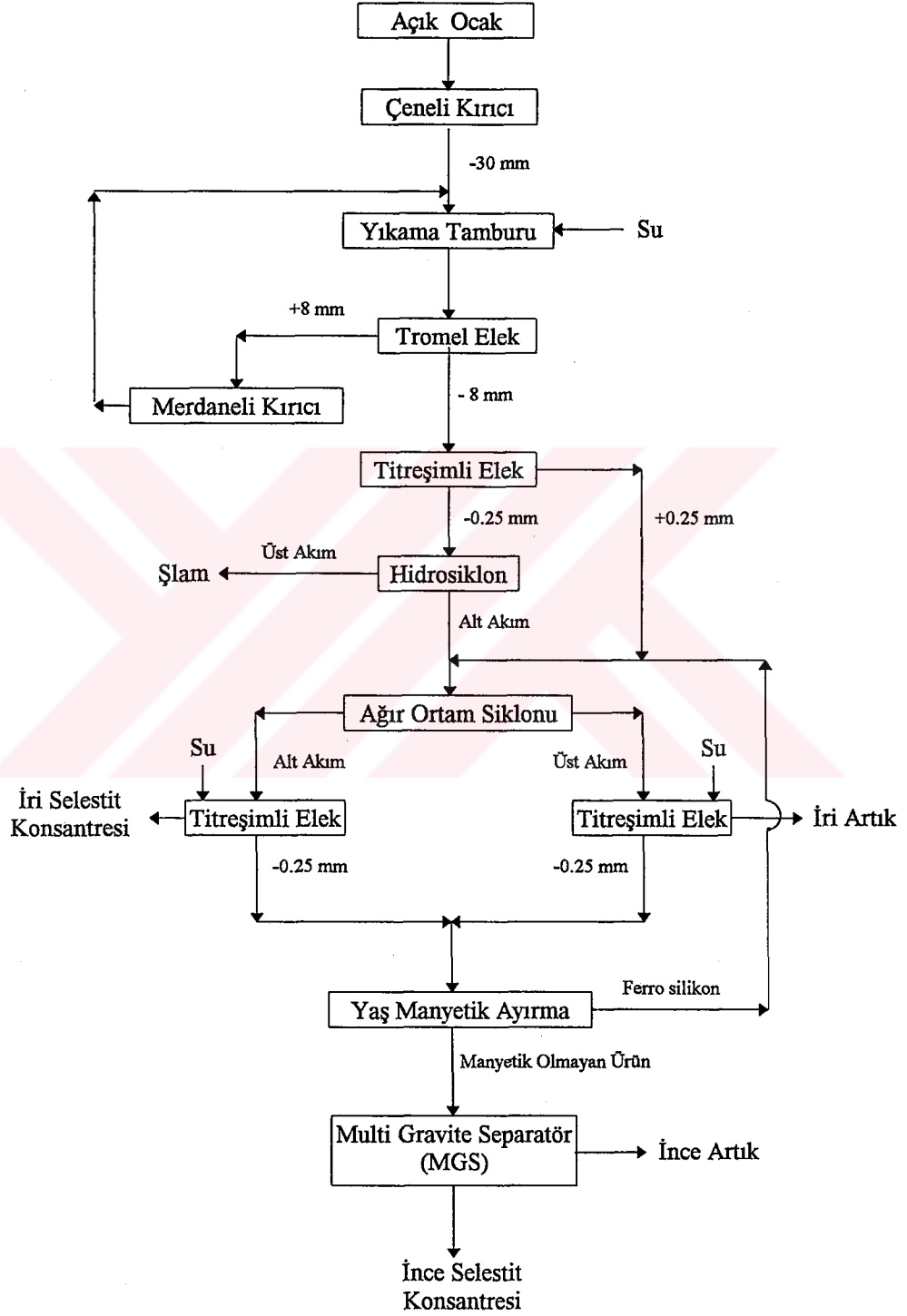
Zenginleştirme işlemi sonucunda en az %94 SrSO_4 tenörlü konsantre elde edilmektedir. Tesiste stripa, jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılmaktadır. Şekil 1'de zenginleştirme tesisine ait akım şeması verilmiştir.

1.2.5.2. Bristol Mineral Şirketine ait selestit işletmesi

Bristol stronsiyum işletmesi, Bristol yakınlarında bulunmaktadır. Selestit cevherleşmesi yüzeyden 4-5 metre derinlikte yeşil renkli killer içinde yumrular halinde bulunmaktadır. Ocaktan cevher, selestit yumrularının elle toplanması ile kazanılır. Açık ocaktan çıkarılan cevherde %70-75 selestit, %20-25 kalsit ve %5-10 kil mineralleri bulunmaktadır. Zenginleştirme işlemi sonucunda %95 SrSO_4 tenörlü konsantre elde edilmektedir. Tesise ait zenginleştirme akım şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Sivas selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması
(Cebeci ve Ark., 1993)



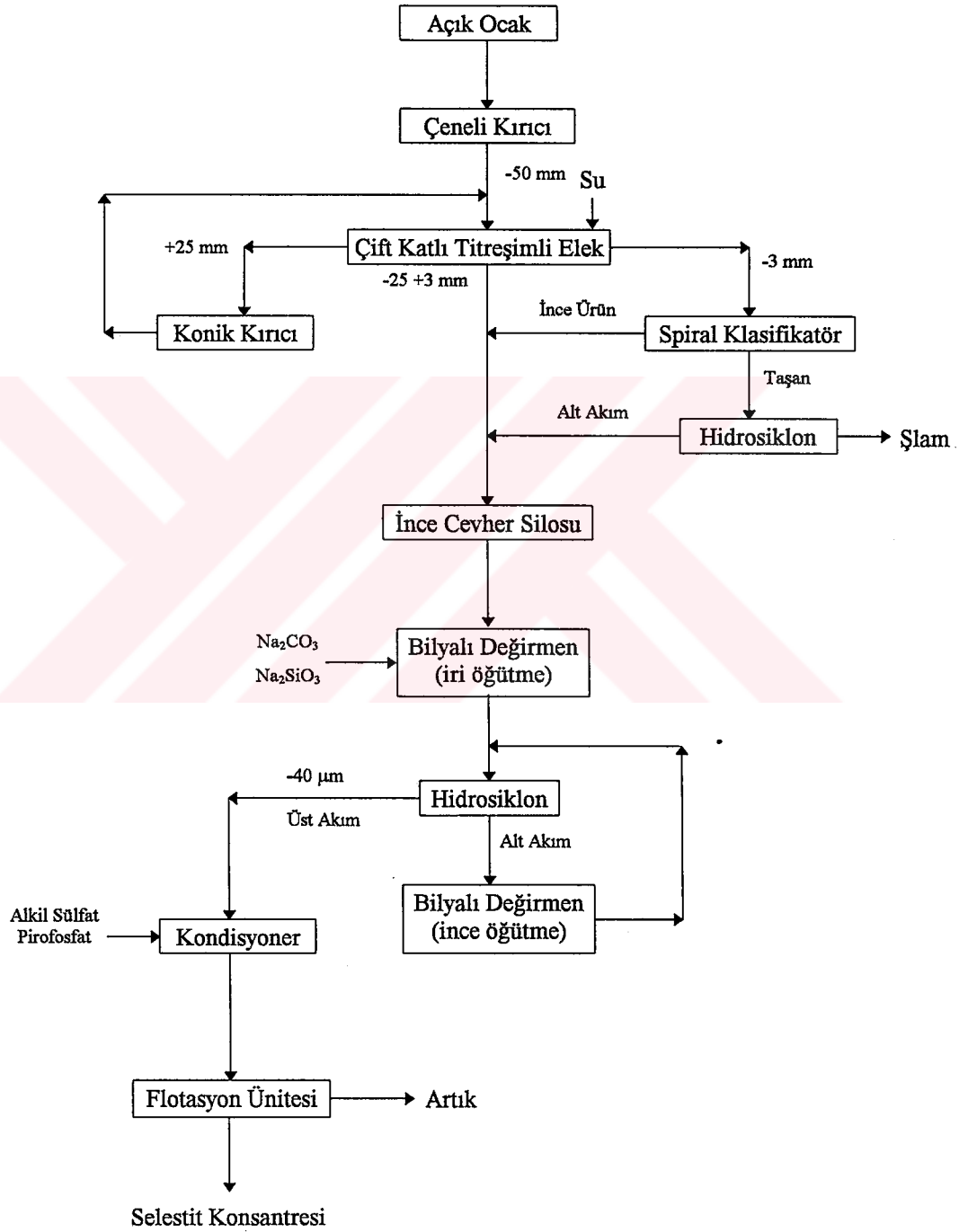
Şekil 2. İngiltere selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması
(Cebeci ve Ark., 1993)

1.2.5.3. Kali-Chemie Şirketine ait selestit işletmesi

Kali-Chemie Şirketine ait Escuzar stronsiyum flotasyon tesisi, İspanya'da Granada-Escuzar kasabası yakınında bulunmaktadır. Monte-Vive isimli yörede daha eski bir selestit işletmesi de faaliyet göstermektedir. Sahada selestit cevherleşmesi Oligo-Miyosen yaşlı olup, selestit taneleri 40-50 µm iriliğinde kalsit içinde dissemine bir şekilde bulunmaktadır. Ayrıca ortamda iri bloklar halinde jipsler de yer almaktadır. Cevherin mineralojik bileşimi ise şu şekildedir: %50 selestit, %45 kalsit ve %5 jips ve kil mineralleri.

Flotasyon işlemi sonucunda %93-94 SrSO_4 tenörlü konsantre üretilmektedir. Zenginleştirme tesisine ait akım şeması Şekil 3'te verilmiştir. Tesisin kapasitesi 400 ton/gün olup, flotasyon işlemi sırasında kullanılan reaktifler ve miktarları aşağıda verilmiştir:

- Alkil sülfat (toplayıcı olarak 700-1200 gr/ton)
- Sodyum silikat (kil minerallerini bastırıcı olarak 100-500 gr/ton)
- Sodyum karbonat (pH ayarlayıcı olarak ~4 kg/ton; pH 10-12 arasında olacak şekilde ayarlanır)
- Pirofosfat (dağıtıcı olarak bazen kullanılmaktadır)



Şekil 3. İspanya selestit cevheri zenginleştirme tesisi akım şeması
(Cebeci ve Ark., 1993)

1.2.5.4. Uygulanan diğer zenginleştirme yöntemleri

Meksika

Goah'da San Pedro ocağından Sales y Oxidas SA Őirketi yeraltı işletmeciliği ile yılda 17.000 ton %93-94 SrSO₄ tenörlü selestit konsantresini elle toplamayla üretmektedir.

Minera La Roja SA Őirketi, Coahuila'nın güneyinde La Ilusion madeninde 1990 yılında üretime başlanmıştır. Flotasyonla zenginleştirme yaparak %95 SrSO₄ tenörlü selestit konsantresi üretmektedir. Tesis kapasitesi 36.000 ton/yıl'dır.

Cia Minera La Valenciana Őirketi San Agustin'de yeraltı işletmeciliği ile üretim yapmaktadır. Őirket, Bandelari jigleri ve Wilfley masalarından oluşan bir zenginleştirme tesisine sahiptir (Griffiths, 1985).

İran

İran Strontium CO Őirketinin, Tahran'ın 200 km güneydoğusunda Molkabad'da %89-90 SrSO₄ tenörlü selestit yatakları vardır. Triyaj ile zenginleştirme yaparak %92-94 SrSO₄ tenörlü konsantre üretmektedir. 1992 yılı itibari ile üretim 25.000 ton seviyesindedir (Griffiths, 1985).

Cezayir

Beni Mansour yatağından ürün, triyaj ile %95-98 SrSO₄ derecesine kadar zenginleştirilmektedir. Üretim kapasitesi 5.400 ton/yıl'dır.

Fas

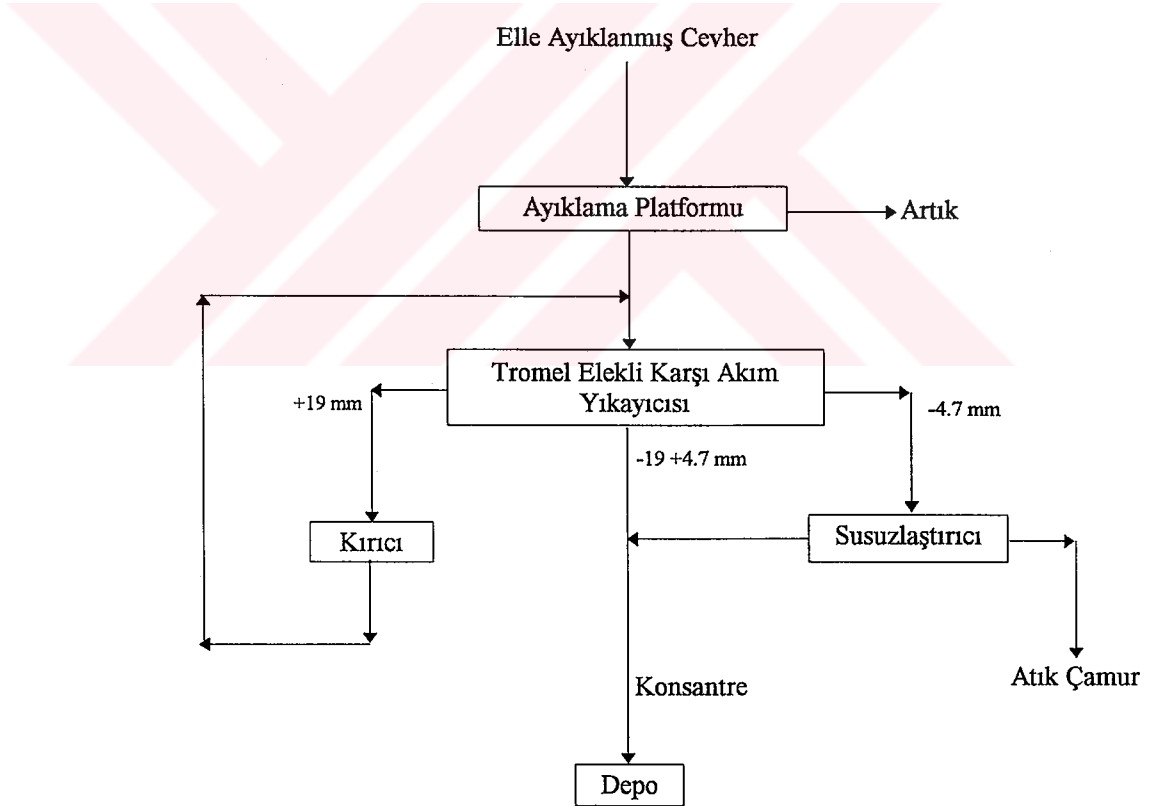
Sodebar SA Őirketi selestit cevherini ağırlık tasnifi ile zenginleştirilerek %94 SrSO₄ tenörlü konsantre üretmektedir.

İspanya

Bruno SA, Montevive yataklarını işletmektedir. Kırmayı takiben, elle ayıklama ile %92-94 SrSO_4 tenörlü konsantre üretmektedir.

İngiltere

Gloucestersire selestit işletmesinin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Gloucestersire selestit işletmesinin basitleştirilmiş akım şeması (Zaman, 1985)

1.3. Stronsiyum Karbonat Üretim Yöntemleri

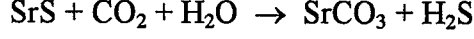
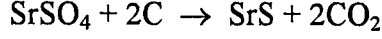
Stronsiyum minerallerinin doğrudan tüketildiği alanlar çok sınırlıdır. Dünyada üretilen selestitin hemen hemen tamamı, öncelikle SrCO_3 ya da $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 'e çevrilmekte ve diğer stronsiyum bileşikleri bundan elde edilmektedir. Selestitin stronsiyum karbonata dönüştürülmesinin nedeni, düşük maliyetle üretilen bir bileşik olması, diğer stronsiyum bileşiklerine kolayca dönüştürülebilmesi ve göreceli olarak atmosfer koşullarına uzun süre dayanabilmesidir. SrCO_3 ve $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ üretmek için selestit konsantrelerinde aranan özellikler şunlardır (Fulton, 1983):

	<u>SrCO_3 için</u>	<u>$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ için</u>
SrSO_4	en az %90	en az %95
CaSO_4	-	en çok %1.5
BaSO_4	en çok %2	en çok %2
Fe	en çok %0.1	-

Stronsiyumun en çok kullanılan bileşiği olan stronsiyum karbonat üretiminde iki yöntem kullanılmaktadır:

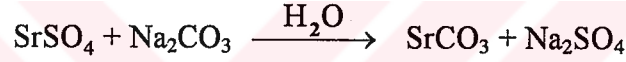
1.3.1. Siyah-kül yöntemi (Black-ash method)

İnce öğütülmüş kömür, selestit ile birlikte 1100-1300 °C'de kavrularak stronsiyum sülfür elde edilir. Stronsiyum sülfür suda çözünür ve oluşan çözelti filtre edilir. Sonra çözeltinin içinden karbondioksit gazı geçirilerek, stronsiyum stronsiyum karbonat olarak çöktürülür. Çökelen stronsiyum karbonat filtre ve kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra kazanılır. Yöntemde serbest kalan sülfür ya elementel sülfür olarak ya da sülfür bileşiklerinin diğer yan ürünleri olarak kazanılır (Ober, 1995). İşlem sırasında oluşan reaksiyonlar şunlardır (Griffiths, 1992):



1.3.2. Soda yöntemi

Selestit cevheri toz haline getirildikten sonra paslanmaz çelik tanklarda soda ve buharla karıştırılır. Bu karışım, reaksiyon tamamlanıncaya kadar 1-3 saat tankta tutulur. Bu işlem sırasında aşağıdaki reaksiyon oluşur:



Oluşan stronsiyum karbonat, suda çözülmüş olan sodyum sülfattan satrifüjle ayrılır.

Siyah kül yöntemi ile $\geq\%98$ SrCO₃ tenörlü ürün, soda yöntemi ile $\geq\%95$ SrCO₃ tenörlü ürün elde edilebilmektedir. Her ne kadar soda yöntemi daha basit olsa da, daha düşük tenörlü ürün vermesi nedeniyle, siyah-kül yöntemi stronsiyum karbonat üretiminde daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Griffiths, 1992; Ober, 1995).

Dünya stronsiyum karbonat üretim kapasitesi Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Dünya Stronsiyum Karbonat Üretim Kapasitesi (Ober, 1995)

Ülke	Üretim kapasitesi* (ton/yıl)
Çin	25.500
Almanya	70.000
Japonya	15.000
Kore	40.000
Meksika	95.000
A.B.D.	22.000
Toplam	267.500

* Tahmini

Stronsiyum karbonat Bağımsız Devletler Topluluğunda da üretilmektedir, ancak üretim kapasitesi hakkında bilgi edinilememiştir (Ober, 1995).

1.4. Stronsiyumun Kullanım Alanları

Stronsiyumun çeşitli sanayii kollarındaki kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

1.4.1. Elektrik-elektronik sanayii

Baryum karbonat düşük derecelerde erimiş camın akışkanlığı ile camın kırılma indisini artırarak, ekranın parlaklığını geliştirdiğinden ve röntgen ışınlarına karşı bir engel oluşturduğundan uzun zamandan beri siyah-beyaz televizyon tüpü yapımcıları tarafından kullanılmaktadır. 1960'ların sonunda renkli televizyon üretimi yüksek rakamlara ulaşmış ve kullanılan yüksek voltajın daha yüksek seviyede X-ışını yayılımına sebep olması, bunun nötralize edilmesini gerektirmiştir. Baryum ve stronsiyum elementlerinin atomik çapları geniş olduğundan yüksek oranda X-ışını emicidirler. Fakat araştırmacılar, hangisinin bu konuda diğerine üstün olduğunu tam olarak ispatlayamamıştır. Belirli bir frekansta yayınlanan X-ışınları için stronsiyumun daha koruyucu olduğu düşünülmektedir (Karayazıcı ve Oral, 1980).

Stronsiyum klorür, fluoresans ışıklandırma ve renkli televizyon camlarındaki aktive edilmiş kaplamalarda fosfor üretmek amacıyla kullanılmaktadır.

Seramik mıknatıs yapımında gerekli olan stronsiyum ferritlerin üretiminde stronsiyum karbonat kullanılmaktadır. Stronsiyum ferritler, stronsiyum karbonat, demir oksit ve kristal gelişmesini önleyicilerle birlikte 1000-1300 °C'de eritilir, sonuç malzeme öğütülür, karıştırılarak rijit, yarı-rijit ve esnek daimi mıknatıslar olarak preslenir. Bu tür seramik mıknatısların kullanım alanları DC motorları, cam silecekleri, hoparlörler, havalandırma tertibatları, telekomünikasyon cihazları ve bilgisayarlardır (Karayazıcı ve Oral, 1980; Ober, 1995).

Stronsiyum titanat, stronsiyum stannat ve stronsiyum zirkonat elektrik kondansatörlerinde seramik dielektrik malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kırıkoğlu, 1990).

Elektrik sanayiinde kullanılan stronsiyum karbonatın özellikleri şöyledir:

SrCO_3	: en az %96
BaCO_3	: en çok %1.5
CaCO_3	: -
Toplam S	: en çok %0.4

1.4.2. Cam ve seramik sanayii

Stronsiyum bileşikleri televizyon tüpleri plakalarının imalatında giderek artan miktarlarda kullanılmakla birlikte, özel optik camlar gibi bir çok cam çeşidinin üretiminde de kullanılmaktadır.

Cam ve seramik sanayiinde kullanılan stronsiyum karbonatın özellikleri şöyledir (Fulton, 1983):

	<u>Cam sanayii</u>	<u>Seramik sanayii</u>
SrCO_3	: en az %96	: en az %96
BaCO_3	: en çok %3	: en çok %1.5
CaCO_3	: en çok %0.5	: -
Toplam S	: en çok %0.4	: en çok %0.4
Fe_2O_3	: en çok %0.01	: -
Na_2CO_3	: en çok %1	: -

1.4.3. Boya sanayii

Selestit boya sanayiinde dolgu maddesi, parlatici ve beyazlatıcı olarak doğrudan kullanım alanı bulmaktadır.

Boya ve cilalardaki Pb ve Zn içeriğinin insan sağlığı üzerindeki toksik etkileri nedeniyle, özellikle gıda kutuları ve yemek takımlarında stronsiyum kökenli boya ve cilaların kullanımı artmıştır.

Stronsiyum kromat, düşük toksik etkisi, yüksek ısı dayanımı ve solmayan rengi ile sarı boyalar içinde üstün bir yere sahiptir (Kırıkoğlu, 1990). Ayrıca, stronsiyum kromat özellikle alüminyum alaşımlarda korozif olmayan boya maddesi olarak ve yüksek ısı dayanımına sahip olması özelliği ile de uçaklarda kullanım bulmaktadır. Boya sanayiinde kullanılan stronsiyum kromatta aranan özellikler aşağıda verilmiştir (Griffiths, 1985):

SrO olarak stronsiyum	: en az %48
CrO ₃ olarak kromat	: en az %46.5
NO ₃ olarak nitrat	: en çok %0.1
Cl olarak klorit	: en çok %0.1
Çözülebilir kromatlar	: 100 ml'de 0.05-0.1 gr

Stronsiyum tuzlarının boya sanayiinde kullanımının başlıca faydaları kolay alev almamaları ve asidik ortamda donmayışlarıdır. Dezavantajı ise alkali ve asite zayıf dayanıklılığıdır. Stronsiyum içeren cilalar 1940'larda bilhassa Rusya'da kurşun yetersizliği dolayısıyla yaygın olarak kullanılmıştır. Stronsiyum kullanımı, kurşuna olan üstünlüğünün daha sonra gıda zehirlenmelerinin öğrenilmesi ile artmıştır (Karayazıcı ve Oral, 1980).

Stronsiyum sülfür ise ışık veren boyalarda fosforesans bir katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

1.4.4. Metalurji sanayii

Yüksek saflığa sahip elektrolitik çinko üretiminde stronsiyum karbonat, kurşun entrüplerini uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Stronsiyum karbonat çözeltiye elektrolit olarak ilave edilir. Stronsiyum ve kurşunun iki değerli iyonlarının kimyasal afinitesinden dolayı, düşük çözülebilirlikli $\text{SrSO}_4/\text{PbSO}_4$ izomorfik tuz çiftleri çökelirler ve çözültiden uzaklaştırılırlar. Böylece katodik çinko levhasının kurşun içeriği azaltılmış olur. Katodik çinko üretiminde ton başına 0.5-2.0 kg arasında stronsiyum karbonat tüketilmektedir (Griffiths, 1985; 1991; Kırkoğlu, 1990; Ober, 1995).

Stronsiyum klorür, çelik sanayiinde karbürleme ve sertleştirme için kullanılan eriyik tuz banyolarının önemli bir bileşenidir.

Stronsiyum kromat ise özel tür krom kaplamalarında kullanılır.

1.4.5. Piroteknik sanayii

Stronsiyumun yaygın olarak kullanıldığı diğer bir önemli alan ise havai fişekler ve sinyal malzemeleri üretimidir. Aleve verdiği tipik koyu kırmızı renk nedeniyle, askeri sahalarda bu elementin en yaygın olarak nitrat, peroksit, karbonat, kromat, asetat, tartarat, perklorat ve oksalatları sinyalizasyonda taktik, imdat ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Kara ve demiryolu sinyallerinde de aynı özelliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmı vardır (Griffiths, 1985; 1992; Kırkoğlu, 1990).

1.4.6. Diğer kullanım alanları

-Stronsiyum yağları geniş sıcaklık aralıklarında viskozite ve sıvı olma özelliklerini korumaları, suyun çözücü etkisine dayanım göstermeleri ve yüksek ısılarda oksidasyona dayanıklı olmaları nedeniyle pas önleyici ve koruyucu olarak kullanılmaktadır.

-Stronsiyumun bromür, iyodür, asetat, fluorür, peroksit, nitrat ve salisilat bileşikleri ilaç sanayiinde kullanılmaktadır.

-Stronsiyum tuzları yapay ipek imalinde kullanılan kostik soda eriyiklerinden silis, demir ve manganezin çöktürülmesini mümkün kılmaktadır.

-Stronsiyum stearat ve stronsiyum naftenat, PVC plastiklerinin üretiminde zehirleyici etkileri olmayan dengeleyici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Karayazıcı ve Oral, 1980).

-İngiltere Atom Enerjisi Komisyonu 1965 yılına doğru, stronsiyum 90 (^{90}Sr) izotopunu kullanarak radyo izotoptan güç alan ilk jeneratörü geliştirmiştir. Sınırlı gücü olan bu tür jeneratörlerin hiç yakıt beslenmesine gerek kalmadan ve çok az bakım ile on yıl süre ile enerji verebileceği bildirilmiştir. ^{90}Sr izotopu, radyo terapide, ışık kaynağı olarak, levha kaplayıcı metallerin kalınlığını sürekli olarak ölçmede, ışık veren boyalarda ve değişik araştırma alanlarında da kullanılmaktadır.

-Stronsiyum-silikat yüksek kaliteli demir üretiminde kullanılır.

-Stronsiyanit yüksek kaliteli çelik üretiminde çeliğin fosfor (dephosphorising) ve kükürtten arındırılmasında (desulphurising) kullanılır.

-Stronsiyum klorür diş cilası olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, sert tuzların yumuşatılmasında, baryum klorür ve diğer katkı maddeleri yerine kullanılabilir (Karayazıcı ve Oral, 1980).

-Stronsiyum perklorat ($\text{Sr}(\text{ClO}_4)$) roket yakıtlarında kullanılmaktadır (Griffiths, 1985).

-Stronsiyum hidroksit ($\text{Sr}(\text{OH})_2$), ABD'de uzun yıllar şekerin melastan ayrılması işleminde kullanılmıştır.

-Stronsiyum hidrat ($\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) stronsiyum yağlarında ve sabunlarında kullanılmaktadır.

Stronsiyum mineralleri, kimyasal bileşikleri ve kullanım alanları Tablo 5.a, 5.b ve 5.c.'de özetlenmiştir.

Tablo 5.a. Stronsiyum Mineralleri, Kimyasal Bileşikleri ve Kullanım Alanları
(Griffiths, 1985; 1992; Can, 1993)

Mineral	Üretilen Bileşik	Kullanım Alanları	Stronsiyum Karbonattan Üretilen Bileşikler	Kullanım Alanları
Selestit Stronsiyanit	<u>Stronsiyum karbonat</u>	Piroteknik, Seramik, R. televizyon tüpü, Metaluji	Stronsiyum nitrat	Piroteknik, İlaç, İşaret fişegi, Kibrit
			Stronsiyum iyodür	İlaç, Gıda
			Stronsiyum bromür	İlaç
			Stronsiyum geblenit	Cam, Emaye
			Stronsiyum melilit	Emaye
			Stronsiyum magnezyum fosfat	Radyasyondan korunma
			Stronsiyum salisilat	İlaç
			<u>Stronsiyum oksit</u>	Piroteknik, İlaç, Kurutucu, Sabun, Pigment, Yağ
			Stronsiyum oksalat	Katalizör, İşaret fişegi
			Stronsiyum stearat	Yağ
			Stronsiyum tartarat	Piroteknik
			Stronsiyum asetat	İlaç
			Stronsiyum bromat	İşaret fişegi
			Stronsiyum laktat	İlaç
			Stronsiyum arsenit	İlaç
			Stronsiyum klorür	Piroteknik, İlaç, Elektronik
			Stronsiyum kromat	Piroteknik, Boya
Stronsiyum florür	İlaç, Optik, Elektronik, Yağ			
Stronsiyum titanat	Elektronik			

Tablo 5.b. Stronsiyum Oksitten Üretilen Bileşikler ve Kullanım Alanları
(Griffiths, 1985; 1992; Can, 1993)

Stronsiyum Oksitten Üretilen Bileşikler	Kullanım Alanları
Stronsiyum niobyum krom seskioksit	Elektrik
Stronsiyum molibdat	Elektronik, Optik, Piroteknik
Stronsiyum peroksit	İlaç, Ağartıcı, Piroteknik
<u>Stronsiyum hidroksit</u>	Stabilizatör, Yağ, Şeker
Stronsiyum tungstat	Katalizör

Tablo 5.c. Stronsiyum Hidroksitten Üretilen Bileşikler ve Kullanım Alanları
(Griffiths, 1985; 1992; Can, 1993,)

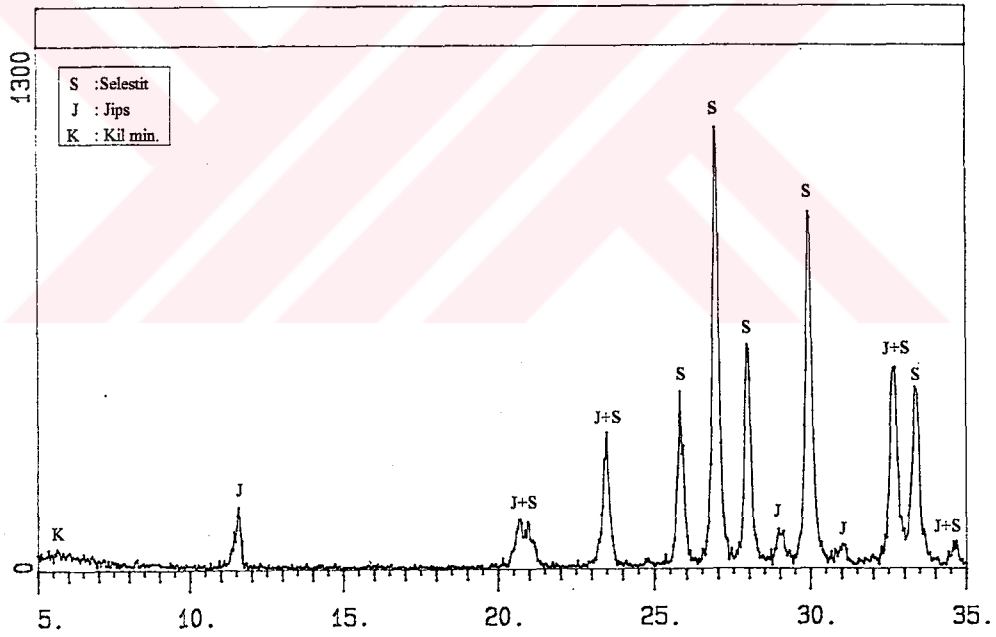
Stronsiyum Hidroksitten Üretilen Bileşikler	Kullanım Alanları
Stronsiyum klorat	Piroteknik, İşaret fişeği
Tiyokarboksilik asit	Kozmetik, Temizleme
Stronsiyum asetat	İlaç, Piroteknik

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deneyleerde Kullanılan Örnek

Deneysel çalışmalar, Barit Maden Türk A.Ş. Selestit İşletmesi zenginleştirme tesisine beslenen cevherden alınan numune üzerinde yürütülmüştür.

Deneyleerde kullanılan örnek üzerinde yapılan XRD sonuçlarına göre; başlıca mineral maddelerin selestit, jips ve kil mineralleri olduğu tesbit edilmiştir. Cevher numunesinin XRD sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Cevher numunesinin XRD sonuçları

2.2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar, zenginleştirme ve öğütme çalışmaları olmak üzere iki şekilde planlanmıştır.

2.2.1. Zenginleştirme çalışmaları

Selestit cevherinin zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar üç bölümde ele alınmıştır:

- i. Tüvenan cevherin mevcut tane boyutunda zenginleştirilmesi
- ii. Tamamı -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin zenginleştirilmesi
- iii. Tamamı -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin zenginleştirilmesi

Tüvenan cevherin mevcut tane boyutunda elle ayıklama, jig, yıkama, aşındırma-karıştırma ve sarsıntılı masa, tamamı -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin jig ve sarsıntılı masa ve tamamı -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin ise sarsıntılı masa ve Multi Gravite Separatör (MGS) ile zenginleştirilmesine çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan zenginleştirme cihazları Harz tipi mineral jig, üç kompartmanlı jig, Wilfley tipi sarsıntılı masa ve Multi Gravite Separatör'dür.

Jig deneyleri

-30 +18 mm ve -18 +10 mm tane boyutlarında yapılan jig deneylerinde çalışma ayarları uygun şekilde değiştirilerek üç kompartmanlı jig kullanılmıştır. Deneysel koşulları ise; pulsasyon hızı 320 dev/dak. ve su debisi 10 L/dak.'dır. Jig ile zenginleştirme deneyleri yaklaşık 2 kg'lık numunelerle yapılmıştır.

-10 +0.5 mm tane boyutu aralığında kullanılan jig ise Harz tipi mineral jigdir. Tek kompartmanlı olan bu jig besleme tane boyutu 2-10 mm arasında

değişmekte ve pülsasyon hızı ayarlanabilmektedir. Jig elek açıklığının en düşük 1.70 mm olması nedeniyle, -1.70 +1.00 mm ve -1.00 +0.50 mm tane boyutlarında yapılan deneylerde jig eleği üzerine bir perde gerilmiştir. Jig ile zenginleştirme deneylerinde yaklaşık 700 gr'lık numuneler kullanılmıştır. Jig deney koşulları ise tane boyutuna bağlı olarak, pülsasyon hızı 20-95 dev/dak. ve su debisi 1.30-5.20 L/dak. arasında değiştirilmiştir.

Aşındırma-karıştırma deneyleri

Aşındırma-karıştırma deneyleri flotasyon selülünde mekanik pervanenin etkisi ile suyun aşındırma etkisinden yararlanılarak yapılmıştır. Deneylerde 1 kg'lık numuneler kullanılmış olup, karıştırma sonrası malzeme 0.5 mm'lik elekte elenmiştir. Elek altı malzeme artık olarak atılırken, elek üstü malzeme konsantre olarak kazanılmıştır. Deneylerde karıştırma hızı 1000 dev/dak. ve karıştırma süresi 10 dak. olarak sabit tutulmuştur.

Sarsıntılı masa deneyleri

Deneylerde kullanılan sarsıntılı masa Willfley masası olup, 50-100 kg/h kapasiteli, genliği 6-14 mm, frekansı 300-450 dev/dak. ve eğimi ayarlanabilir özelliktedir. -2.00 +1.00 mm, -1.00 +0.50 mm ve -0.50 +0.25 mm tane boyutunda yapılan sarsıntılı masa deney koşulları; katı oranı %25, frekans 300 dev/dak., genlik 12 mm ve masa eğimi 6°'dir. -0.25 +0.038 mm tane boyutunda yapılan yapılan sarsıntılı masa deneyinde ise diğer koşullar aynı olmak üzere, masa eğimi 4°'ye ayarlanmıştır. Sarsıntılı masa deneyleri 1 kg'lık numunelerle yapılmıştır.

Multi Gravite Separator deneyleri

Multi Gravite Separator ile zenginleştirme deneyi, daha önce yapılan çalışmaların sonucunda belirlenen optimum koşullarda yapılmıştır (Aslan, 1996).

Deney koşulları şu şekildedir: Malzeme miktarı 1 kg, tane boyutu -0.038 mm, katı oranı %30, tambur dönüş hızı 160 dev/dak., tambur eğimi 4°, titreşim genliği 15 mm, yıkama suyu miktarı 2 L/dk ve pülp besleme hızı 1.52 L/dk.

2.2.2. Öğütme çalışmaları

Sarsıntılı masa ile zenginleştirmeye besleme malı hazırlamak amacıyla, çubuklu değirmende öğütme koşullarının optimize edilmesine çalışılmıştır.

Öğütme deneyleri, tamamı 8.00 mm'nin altına kırılan cevherin -8.00 +1.70 mm tane boyutundaki malzeme üzerinde yaş ve kuru olarak yapılmıştır. Öğütme deneylerinde 215 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda bir çubuklu değirmen kullanılmıştır. Kullanılan değirmenin iç hacmi 8860 cm³ olup, bunun %36.92'si 5 adet 30 mm çapında, 7 adet 25 mm çapında, 15 adet 20 mm çapında ve 280 mm uzunluğundaki çubuklarla doldurulmuştur. Çubuklar arası boşluk %14.77 olarak belirlenmiş ve değirmene bu boşluğun %90'ı kadar katı beslenmiştir. Değirmene beslenen katı miktarı 945 gr olup, bütün deneylerde sabit tutulmuştur. Değirmenin iç çapı 200 mm olup, kullanılan çubukların efektif çapı 23.15 mm olarak belirlenmiş ve buna göre değirmenin kritik hızı (Nk) 100.60 dev/dak. bulunmuştur.

Öğütülmüş ürünün, tane boyutu dağılımı yaş elek analizi ile belirlenmiştir. Elek analizinde kullanılan elek serisi şu şekildedir: 8 mesh (2360 µm), 10 mesh (1700 µm), 14 mesh (1180 µm), 20 mesh (850 µm), 30 mesh (600 µm), 40 mesh (425 µm), 50 mesh (300 µm), 70 mesh (212 µm), 100 mesh (150 µm), 140 mesh (106 µm), 200 mesh (75 µm), 270 mesh (53 µm), 400 mesh (38 µm).

2.3. Analizler

Tüvenan cevherin ve zenginleştirme deneyleri sonrası elde edilen ürünlerin SrSO₄ içeriği, yoğunluğa dayalı yöntem ve ağır sıvı testi ile belirlenmiştir.

Yoğunluğa dayalı yöntemle SrSO₄ tayini, iki bileşenli ürünlerde başarıyla uygulanabilmektedir. Cevherin mineralojik bileşiminde selestit, jips ve kil

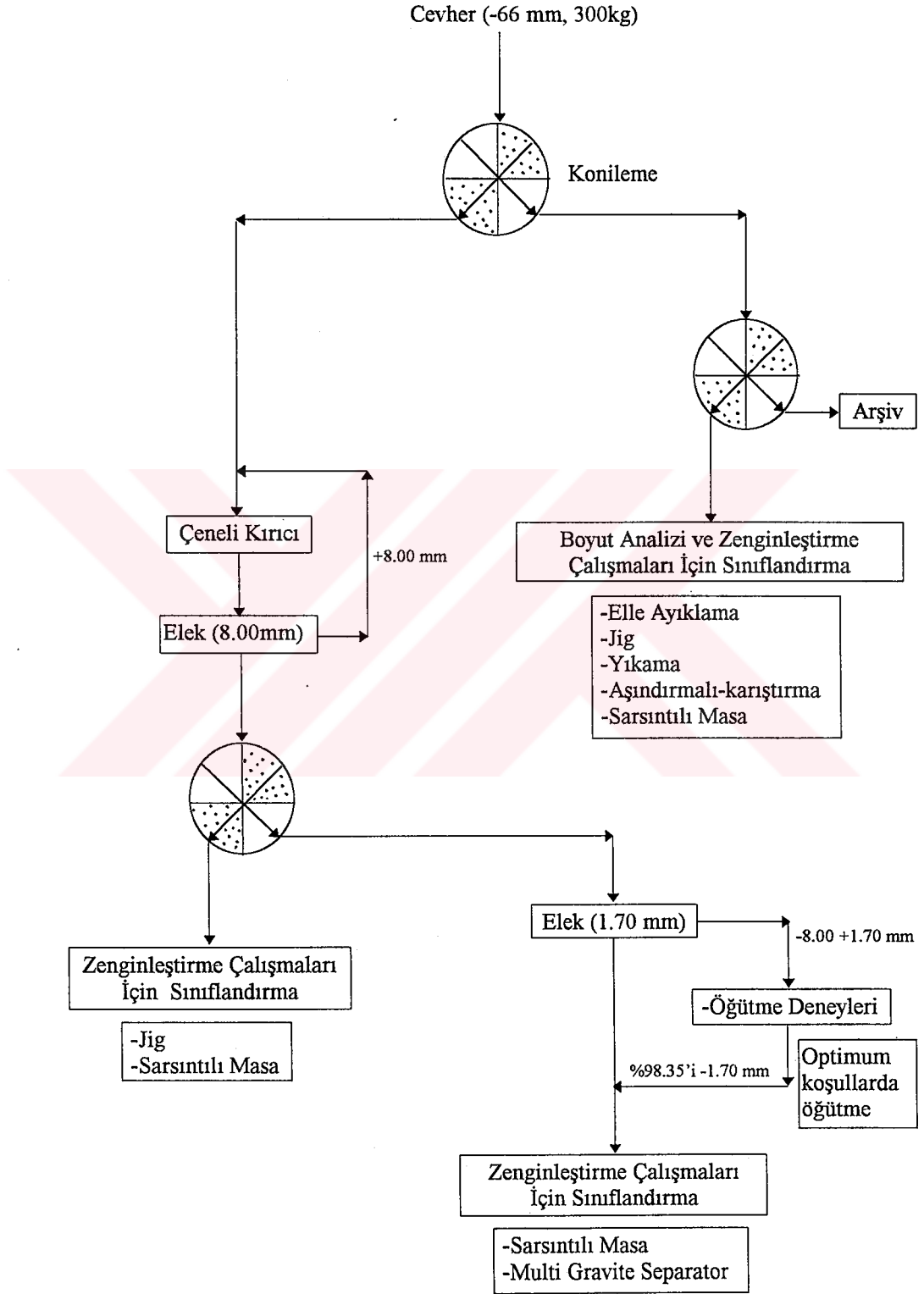
minerallerinin bulunması ve jips ile kil minerallerinin yoğunluğunun birbirine yakın olması yöntemin uygulanabilirliğini mümkün kılmıştır.

Ayrıca, tüvenan cevherin ve nihai ürünlerin SrSO_4 tayininde yoğunluğu 2.9 gr/cm^3 olan Bromoform sıvısı kullanılmıştır. Yöntemin esası; yoğunluğu 3.96 gr/cm^3 olan selestit mineralinin ağır sıvı içinde batması, yoğunluğu 2.32 gr/cm^3 olan jips ve kil minerallerinin yüzmesine dayanır.

Her iki analiz yöntemi de halkalı değirmende $-150 \mu\text{m}$ tane boyutuna öğütülen örnekler üzerinde yapılmıştır ve elde edilen değerler birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.

2.4. Cevher Örneğinin Deneylere Hazırlanması

Deneysel çalışmalar, Barit Maden Türk A.Ş.'den alınan yaklaşık 300 kg'lık cevher örneği üzerinde yapılmıştır. Şekil 6'da, deneysel çalışmalar için numune hazırlama akım şeması verilmiştir.



Şekil 6. Cevher örneğinin deneylere hazırlanması

3. BULGULAR

3.1. Ön Hazırlıklar

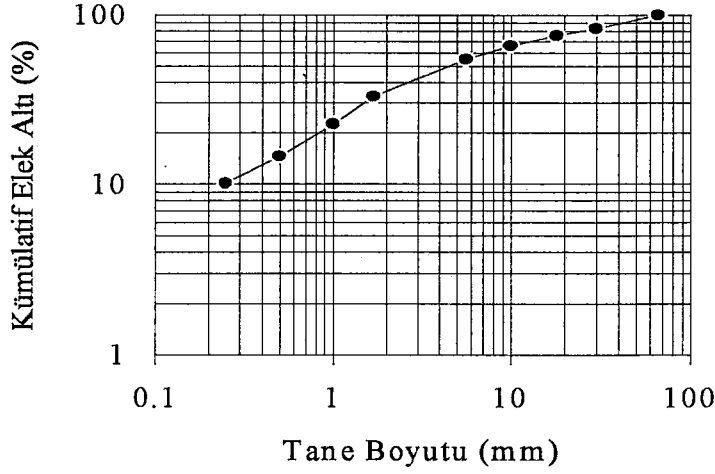
Zenginleştirme çalışmaları öncesi cevherin boyut analizi, boyuta göre SrSO₄ içerikleri, serbestleşme derecesi ve zenginleştirme kriteri belirlenmiştir.

3.1.1. Tüvenan cevherin boyut analizi ve boyuta göre SrSO₄ içeriklerinin belirlenmesi

Tüvenan cevherin boyut analizi ve boyuta göre SrSO₄ içerikleri Tablo 6'da verilmiştir. Şekil 7'de ise cevherin boyut dağılım eğrisi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, cevherin herhangi bir tane sınıfı satılabilir nitelikte bir ürün içermemektedir. Ancak, cevherin -10 +1.0 mm tane boyutları arasında %90'ın üzerinde SrSO₄ tenörüne sahip olması ve bu boyut aralığındaki malzeme miktarının cevherin %43.43'ünü oluşturması dikkate değerdir.

Tablo 6. Tüvenan Cevherin Boyut Analizi, Boyuta Göre SrSO₄ İçerikleri ve Serbestleşme Dereceleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	SrSO ₄ (%)	Dağılım (%)	KEA (%)	KEÜ (%)	Serbestleşme Derecesi (%)
-66 +30	16.64	83.43	16.05	100.00	16.64	Serbestleşme görülmedi
-30 +18	7.94	81.44	7.48	83.36	24.58	20.01
-18 +10	9.40	83.12	9.03	75.42	33.98	34.22
-10 +5.6	11.07	90.76	11.62	66.02	45.05	65.19
-5.6 +1.7	21.93	90.75	23.01	54.95	66.98	70.57
-1.7 +1.0	10.43	90.64	10.93	33.02	77.41	91.67
-1.0 +0.5	8.04	88.74	8.25	22.59	85.45	98.00
-0.5+ 0.25	4.42	85.41	4.36	14.55	89.87	Kenetli tane görülmedi
-0.25 +0.038	8.22	80.74	7.67	10.13	98.09	Kenetli tane görülmedi
-0.038	1.91	72.31	1.60	1.91	100.00	Kenetli tane görülmedi
Toplam	100.00	86.49	100.00			



Şekil 7. Tüvenan cevherin boyut dağılım eğrisi

3.1.2. Serbestleşme derecesinin tayini ve zenginleştirme kriteri

Cevherin serbestleşme derecesini belirlemek amacıyla; -66 +10 mm tane boyutunda çıplak gözle, -10 mm tane boyutunda ise mikroskopik tane sayımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'dan görüldüğü gibi, cevherin 30 mm'nin altında serbestleşmeye başladığı, tane boyutu küçüldükçe serbestleşme derecesinin arttığı ve 0.5 mm tane boyutunun altında mikroskopla kenetli tanenin görülemediği tesbit edilmiştir.

Cevherin özgül ağırlık farkı ile zenginleştirilebilirliğinin araştırılmasında zenginleştirme kriteri (k) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$k = (\rho_A - \rho_O) / (\rho_H - \rho_O)$$

ρ_A = Ağır mineralin (selestit) özgül ağırlığı

ρ_H = Hafif mineralin (jips) özgül ağırlığı

ρ_O = Ortamın (su) özgül ağırlığı

Değerler yerine konursa;

$$k = (3.96 - 1.00) / (2.32 - 1.00) = 2.24 \text{ bulunur.}$$

Bu zenginleştirme kriteri değerine göre; cevherin serbestleşme tane iriliğinin uygun olması durumunda bütün özgül ağırlık farkı yöntemleri uygulanabilir.

3.2. Zenginleştirme Çalışmaları

3.2.1. Mevcut tane boyutunda zenginleştirme çalışmaları

Bu çalışmalarda, Tablo 6'da verilen tane boyutlarında cevherin zenginleştirilmesi yapılmıştır.

3.2.1.1. -66 +30 mm tane boyutunda yapılan zenginleştirme deneyleri

-66 +30 mm tane boyutundaki malzeme miktarı cevherin ağırlık olarak %16.64'ü olup, %83.43 SrSO_4 tenörlüdür. Bu tane boyutundaki malzemenin genel görünüm ve yoğunluk farklılığından yararlanılarak elle ayıklama ile zenginleştirilmesine çalışılmıştır. Ancak, tane yüzeylerinin safsızlıklarla kaplı olması ayırmayı oldukça güçleştirmekte ve tanelerin tek tek yoğunluk farkına göre ayrılması özellikle tesis bazında güç ve zaman alıcı olması nedeniyle ön bir işlem olarak bu tane boyutundaki malzeme suyla yıkanmış ve 0.5 mm'lik elekte

elenmiştir. Elek altı malzeme artık olarak atılırken, yüzeyleri temizlenen elek üstü malzeme üzerinde elle ayıklama yapılmıştır. Tablo 7'den görüldüğü gibi %92.63 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.18 verimle kazanılmıştır.

3.2.1.2. -30 +18 mm ve -18 +10 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri

Bu tane boyutlarında cevherin jig ve elle ayıklama ile zenginleştirilmesi yapılmıştır.

Tablo 7'den görüldüğü gibi, -30 +18 mm tane boyutunda yapılan jig ile zenginleştirme sonucu %90.39 SrSO₄ tenörlü konsantre %69.70 verimle, -18 +10 mm tane boyutunda ise %92.62 SrSO₄ tenörlü konsantre %78.28 verimle kazanılmıştır. Bu tane boyutlarında selestit mineralinin serbestleşme derecesinin düşük olmasına karşın, jig içinde serbest jips minerallerinin üst tabakada toplanması ve suyla birlikte kil minerallerinin uzaklaşması sonucu jig ile zenginleştirme yapılabilmektedir. Jig cihazında özgül ağırlık farkına göre bir ayırma yapılması sonucu; selestit içeriği yüksek olan tanenin jig içinde serbest selestit minerali gibi davranarak alt tabakada, selestit içeriği düşük olan tanenin de serbest jips minerali gibi davranarak üst tabakada yer aldığı gözlenmiştir.

-30 +18 mm tane boyutundaki cevherin 0.5 mm'lik elek üzerinde yıkanarak yüzeyleri safsızlıklardan temizlendikten sonra yapılan elle ayıklama işlemi sonucunda ise %73.98 ağırlık oranıyla %90.79 SrSO₄ tenörlü konsantre %82.47 verimle kazanılmıştır. Bu tane boyutunda elle ayıklamanın tesis bazında mümkün olmamasına karşın, otomatik ayıklayıcıların kullanımı mümkün olabilir.

Tablo 7. Mevcut Tane Boyutunda Yapılan Zenginleştirme Deneyleri Sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Zenginleştirme Yöntemi	Ürünler	Ağ. (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)	Girdiye Göre	
						Ağ. (%)	Verim (%)
-66 +30	Elle ayıklama	Konsantre	82.12	92.63	91.18	13.66	14.63
		Artık	17.88	41.17	8.82	2.98	1.42
		Toplam	100.00	83.43	100.00	16.64	16.05
-30 + 18	Jig	Konsantre	62.80	90.39	69.70	4.99	5.21
		Artık	37.20	66.33	30.30	2.95	2.27
		Toplam	100.00	81.44	100.00	7.94	7.48
-18 +10	Jig	Konsantre	70.25	92.62	78.28	6.60	7.07
		Artık	29.75	60.69	21.72	2.80	1.96
		Toplam	100.00	83.12	100.00	9.40	9.03
-10 +5.6	Yıkama	Konsantre	96.73	91.95	98.00	10.71	11.39
		Artık	3.27	55.56	2.00	0.36	0.23
		Toplam	100.00	90.76	100.00	11.07	11.62
-5.6 +1.7	Yıkama	Konsantre	96.28	92.36	97.99	21.11	22.54
		Artık	3.72	49.08	2.01	0.82	0.47
		Toplam	100.00	90.75	100.00	21.93	23.01
-1.7 +1.0	Yıkama	Konsantre	96.16	92.45	98.08	10.03	10.72
		Artık	3.84	45.31	1.92	0.40	0.21
		Toplam	100.00	90.64	100.00	10.43	10.93
-1.0 +0.5	Sarsıntılı masa	Konsantre	86.70	95.54	93.34	6.97	7.70
		Artık	13.30	44.41	6.66	1.07	0.55
		Toplam	100.00	88.74	100.00	8.04	8.25
-0.5 +0.25	Sarsıntılı masa	Konsantre	82.31	95.02	91.57	3.64	4.00
		Artık	17.69	40.70	8.43	0.78	0.36
		Toplam	100.00	85.41	100.00	4.42	4.36
-0.25+0.038	Sarsıntılı masa	Konsantre	77.40	94.90	90.97	6.36	6.98
		Artık	22.60	32.25	9.03	1.86	0.69
		Toplam	100.00	80.74	100.00	8.22	7.67
-0.038		Şlam	100.00	72.31	100.00	1.91	1.60
Girdi				86.49		100.00	100.00

3.2.1.3. -10 +5.6 mm, -5.6 +1.7 mm ve -1.7 +1.0 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri

Tablo 6'dan görüldüğü gibi, -10 +5.6 mm, -5.6 +1.7 mm ve -1.7 +1.0 mm tane boyutlarında malzemenin SrSO₄ tenörleri sırasıyla %90.76, %90.75 ve %90.64'tür. Ayrıca, bu tane boyutlarındaki malzemenin toplamı cevherin %43.43'ünü oluşturmaktadır. Cevherin mineralojik bileşiminde kil minerallerinin bulunması ve bazı kil minerallerinin suda şişerek dağılma özelliğinin olması nedeniyle, bu tane boyutlarındaki malzemelerin suyla yıkanarak SrSO₄ tenörlerinin artırılmasına çalışılmıştır.

Bu tane boyutlarındaki malzemeler ayrı ayrı 0.5 mm'lik elek üzerinde suyla 10 dak. yıkanarak elek altı malzeme artık olarak atılmış, elek üstü malzeme ise konsantre olarak kazanılmıştır. Deneylerde yaklaşık 500 gr'lık numuneler kullanılmıştır. Zenginleştirme deneyleri sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 8'de verilen yıkama ile zenginleştirme birleştirilmiş sonuçlarından görüldüğü gibi, %92.28 SrSO₄ tenörlü konsantre %98.01 verimle kazanılmıştır.

Yıkama ile zenginleştirme deneylerinde, tane yüzeylerini kaplayan kil minerallerinin yıkama ile tamamının uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Bu nedenle, -10 +1.0 mm tane boyutunda aşındırma-karıştırma yapılarak, kil minerallerinin tane yüzeylerinden sıyrılarak uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Deney sonucunda, %94.65 ağırlık oranıyla %92.76 SrSO₄ tenörlü konsantre %96.77 verimle kazanılmıştır.

Ayrıca, -1.0 +0.5 mm tane boyutunda yıkama yapıldığında %90.39 ağırlık oranıyla %90.54 SrSO₄ tenörlü konsantre %92.22 verimle kazanılmıştır. -10 +0.5 mm tane boyutunda yapılan aşındırma-karıştırma deneyinde ise %90.92 ağırlık oranıyla %91.02 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.52 verimle kazanılmıştır. -1.0 +0.5 mm tane boyutunda yıkama veya aşındırma-karıştırma yapılması durumunda, kayıp artmakta ve elde edilen konsantre tenörü düşmektedir. Bunun

nedeni, deneyler sonrası yapılan 0.5 mm'lik elekte eleme sırasında, elek altına selestit mineralinin de geçmesidir.

3.2.1.4. -1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında yapılan zenginleştirme deneyleri

-1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri yapılmış olup, elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'den görüldüğü gibi -1.00 +0.50 mm tane boyutunda yapılan sarsıntılı masa deneyi sonucunda %95.54 SrSO₄ tenörlü konsantre %93.34 verimle, -0.50 +0.25 mm tane boyutunda %95.02 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.57 verimle ve -0.25 +0.038 mm tane boyutunda ise %94.90 SrSO₄ tenörlü konsantre %90.97 verimle kazanılmıştır.

Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda; cevherin -66 +30 mm tane boyutunda elle ayıklama, -30 +18 mm ve -18 +10 mm tane boyutlarında jig, -10 +5.6 mm, -5.6 +1.7 mm ve -1.7 +1.0 mm tane boyutlarında yıkama, -1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında ise sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılması uygun görülmüştür. Bu durumda elde edilen birleştirilmiş zenginleştirme sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Mevcut Tane Boyutunda Yapılan Zenginleştirme Deneyleri Birleştirilmiş Sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Zenginleştirme Yöntemi	Ürünler	Ağ. (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)	Girdiye Göre	
						Ağ. (%)	Verim (%)
-66 +30	Elle ayıklama	Konsantre	82.12	92.63	91.18	13.66	14.63
		Artık	17.88	41.17	8.82	2.98	1.42
		Toplam	100.00	83.43	100.00	16.64	16.05
-30 + 10	Jig	Konsantre	66.84	91.66	74.40	11.59	12.28
		Artık	33.16	63.58	25.60	5.75	4.23
		Toplam	100.00	82.35	100.00	17.34	16.51
-10 +1.0	Yıkama	Konsantre	96.36	92.28	98.01	41.85	44.65
		Artık	3.64	49.60	1.99	1.58	0.91
		Toplam	100.00	90.73	100.00	43.43	45.56
-1.0 +0.038	Sarsıntılı masa	Konsantre	82.06	95.19	92.06	16.97	18.68
		Artık	17.94	37.53	7.94	3.71	1.60
		Toplam	100.00	84.85	100.00	20.68	20.28
-0.038		Şlam	100.00	72.31	100.00	1.91	1.60
Girdi				86.49		100.00	100.00

Mevcut tane boyutunda yapılan zenginleştirme işlemleri sonucunda, %84.07 ağırlık oranıyla %92.84 SrSO₄ tenörlü konsantre %90.24 verimle kazanılmıştır.

3.2.2. Tamamı -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin zenginleştirilmesi

Cevherin serbestleşme derecesi yükseltilerek, özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme yöntemlerinin etkinliği artırmak ve bunun sonucunda yüksek tenörlü konsantre elde etmek amacıyla, cevherin tamamı çeneli kırıcıda 8.00 mm tane boyutunun altına kırılmıştır. Kırılan cevherin boyut analizi ve boyuta göre SrSO_4 içerikleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Tamamı -8.00 mm Tane Boyutuna Kırılan Cevherin Boyut Analizi ve Boyuta Göre SrSO_4 İçerikleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	SrSO_4 (%)	Dağılım (%)	KEA (%)	KEÜ (%)
-8.00 +6.30	13.13	86.50	13.13	100.00	13.13
-6.30 +4.70	13.38	89.44	13.84	86.87	26.51
-4.70 +3.35	7.18	88.34	7.33	73.49	33.69
-3.35 +1.70	22.01	91.09	23.18	66.31	55.70
-1.70 +1.00	13.67	90.54	14.31	44.30	69.37
-1.00 +0.50	10.98	85.62	10.87	30.63	80.35
-0.50 +0.25	5.63	81.28	5.29	19.65	85.98
-0.25 +0.038	11.74	78.14	10.61	14.02	97.72
-0.038	2.28	54.77	1.44	2.28	100.00
Toplam	100.00	86.49	100.00		

-8.00 +6.30 mm, -6.30 +4.70 mm, -4.70 +3.35 mm, -3.35 +1.70 mm, -1.70 +1.00 mm ve -1.00 +0.50 mm tane boyutlarında jig ile zenginleştirme, -1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında ise sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır.

-8.00 +6.30 mm, -6.30 +4.70 mm, -4.70 +3.35 mm tane boyutlarında yapılan jig deneylerinde ara ürün alınırken, -3.35 +1.70 mm ve -1.70 +1.00 mm tane boyutlarında ayırımın daha iyi olması nedeniyle ara ürün alınmamıştır.

Jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme deney sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Jig ve Sarsıntılı Masa Deney Sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Zenginleştirme Yöntemi	Ürünler	Ağ. (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)	Girdiye Göre	
						Ağ. (%)	Verim (%)
-8.00 +6.30	Jig	Konsantre	63.24	97.79	71.49	8.30	9.38
		Ara ürün	18.21	90.04	18.96	2.39	2.49
		Artık	18.55	44.54	9.55	2.44	1.26
		Toplam	100.00	86.50	100.00	13.13	13.13
-6.30 +4.70	Jig	Konsantre	68.77	98.50	75.74	9.20	10.48
		Ara ürün	15.83	90.97	16.10	2.12	2.23
		Artık	15.40	47.41	8.16	2.06	1.13
		Toplam	100.00	89.44	100.00	13.38	13.84
-4.70 +3.35	Jig	Konsantre	77.99	97.91	86.44	5.60	6.34
		Ara ürün	9.27	73.18	7.68	0.67	0.56
		Artık	12.74	40.79	5.88	0.91	0.43
		Toplam	100.00	88.34	100.00	7.18	7.33
-3.35 +1.70	Jig	Konsantre	87.89	97.53	94.10	19.34	21.81
		Artık	12.11	44.35	5.90	2.67	1.37
		Toplam	100.00	91.09	100.00	22.01	23.18
-1.70 +1.00	Jig	Konsantre	87.69	96.87	93.82	11.99	13.43
		Artık	12.31	45.45	6.18	1.68	0.88
		Toplam	100.00	90.54	100.00	13.67	14.31
-1.00 +0.50	Jig	Konsantre	77.02	92.49	83.20	8.46	9.05
		Artık	22.98	62.59	16.80	2.52	1.82
		Toplam	100.00	85.62	100.00	10.98	10.87
-1.00 +0.50	Sarsıntılı masa	Konsantre	83.25	94.91	92.28	9.14	10.03
		Artık	16.75	39.45	7.72	1.84	0.84
		Toplam	100.00	85.62	100.00	10.98	10.87
-0.50 +0.25	Sarsıntılı masa	Konsantre	79.10	95.61	93.04	4.45	4.92
		Artık	20.90	27.05	6.96	1.18	0.37
		Toplam	100.00	81.28	100.00	5.63	5.29
-0.25 +0.038	Sarsıntılı masa	Konsantre	74.19	94.45	89.68	8.71	9.51
		Artık	25.81	31.26	10.32	3.03	1.10
		Toplam	100.00	78.14	100.00	11.74	10.61
-0.038		Şlam	100.00	54.77	100.00	2.28	1.44
Girdi				86.49		100.00	100.00

Jig ara ürünlerinin doğrudan konsantreye katılması ve 1.00 mm tane boyutunun altında sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılması durumunda elde edilen birleştirilmiş sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Jig ve Sarsıntılı Masa Deneyi Birleştirilmiş Sonuçları

Ürünler	Ağırlık (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)
Jig konsantresi	59.61	96.81	66.72
Sarsıntılı masa konsantresi	22.30	94.87	24.46
Jig artığı	9.76	44.90	5.07
Sarsıntılı masa artığı	6.05	32.93	2.31
Şlam	2.28	54.77	1.44
Besleme malı	100.00	86.49	100.00

Cevherin, jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesi sonucunda, %81.91 ağırlık oranıyla %96.28 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.18 verimle kazanılmıştır.

3.2.3. Tamamı -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin zenginleştirilmesi

Sarsıntılı masa cihazının etkin çalıştığı tane boyutunda, öğütme sonrası malzeme miktarının yüksek olmasını sağlamak ve şlam miktarını azaltmak için öncelikle çubuklu değirmende öğütme koşullarının optimize edilmesine çalışılmıştır.

Bölüm 3.3.'de bulunan optimum öğütme koşullarında öğütülerek, tamamı -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin boyut analizi ve boyuta göre SrSO_4 içerikleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Tamamı -2.00 mm Tane Boyutuna Öğütülen Cevherin Boyut Analizi ve Boyuta Göre SrSO_4 İçerikleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	SrSO_4 (%)	Dağılım (%)	KEA (%)	KEÜ (%)
-2.00 +1.70	1.65	86.64	1.65	100.00	1.65
-1.70 +1.00	28.17	88.95	28.97	98.35	29.82
-1.00 +0.50	28.68	89.03	29.52	70.18	58.50
-0.50 +0.25	16.06	87.20	16.19	41.50	74.56
-0.25 +0.038	18.47	82.41	17.60	25.44	93.03
-0.038	6.97	75.28	6.07	6.97	100.00
Toplam	100.00	86.49	100.00		

Öğütme ürünü olarak gelen -2.00 +1.70 mm tane boyutu malzemenin, besleme malının %1.65'ini oluşturması nedeniyle, bu fraksiyon -1.70 +1.00 mm tane boyutu malzemeye birleştirilmiştir.

-2.00 +1.00 mm, -1.00 +0.50 mm, -0.50 +0.25 mm ve -0.25 +0.038 mm tane boyutlarında sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Tablo 12'den görüldüğü gibi, -0.038 mm tane boyutu malzemenin şlam olarak atılması durumunda %6.07 kaçak olmaktadır. Bu kaçığın azaltılması amacıyla da, -0.038 mm tane boyutunda Multi Gravite Separator (MGS) ile zenginleştirme deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Sarsıntılı Masa ve MGS Deneyi Sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Zenginleştirme yöntemi	Ürünler	Ağ. (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)	Girdiye Göre	
						Ağ. (%)	Verim (%)
-2.00 +1.00	Sarsıntılı masa	Konsantre	87.49	94.13	92.72	26.09	28.39
		Artık	12.51	51.68	7.28	3.73	2.23
		Toplam	100.00	88.82	100.00	29.82	30.62
-1.00 +0.50	Sarsıntılı masa	Konsantre	89.82	94.69	95.53	25.76	28.20
		Artık	10.18	39.13	4.47	2.92	1.32
		Toplam	100.00	89.03	100.00	28.68	29.52
-0.50 +0.25	Sarsıntılı masa	Konsantre	86.92	96.80	96.49	13.96	15.62
		Artık	13.08	23.41	3.51	2.10	0.57
		Toplam	100.00	87.20	100.00	16.06	16.19
-0.25 +0.038	Sarsıntılı masa	Konsantre	79.64	95.60	92.39	14.71	16.26
		Artık	20.36	30.82	7.61	3.76	1.34
		Toplam	100.00	82.41	100.00	18.47	17.60
-0.038	Multi Gravite Separator (MGS)	Konsantre	42.87	91.48	52.10	2.99	3.16
		Artık	57.13	63.13	47.91	3.98	2.91
		Toplam	100.00	75.28	100.00	6.97	6.07
Girdi				86.49	100.00	100.00	100.00

Tablo 14. Sarsıntılı Masa ve MGS Deneyi Birleştirilmiş Sonuçları

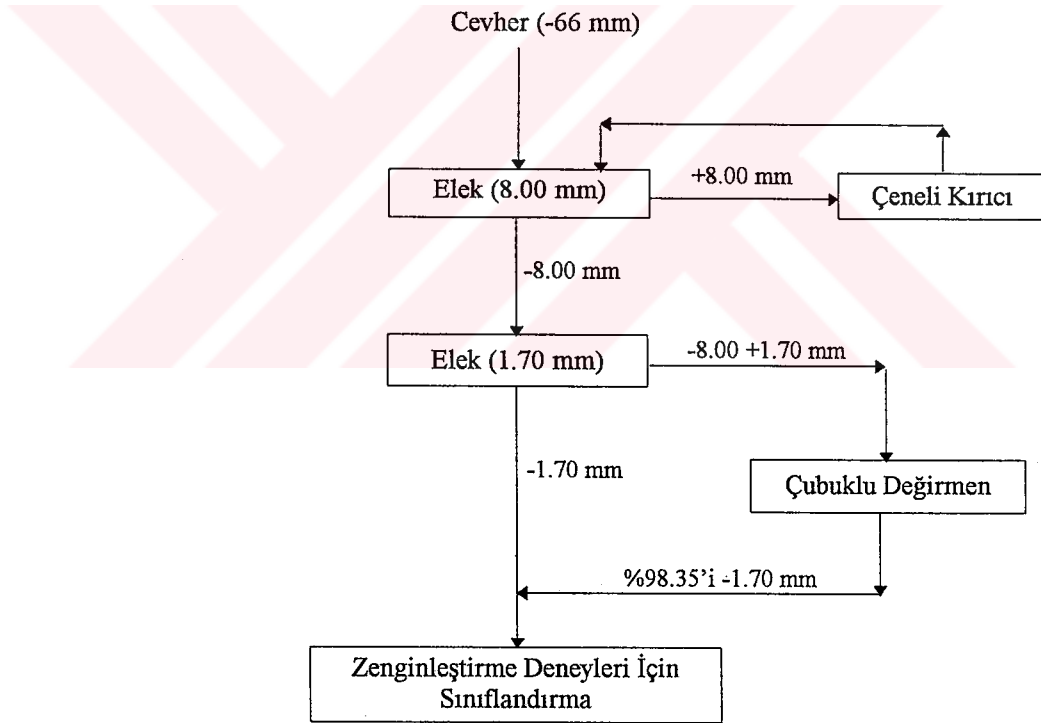
Ürünler	Ağırlık (%)	SrSO ₄ (%)	Verim (%)
Sarsıntılı masa konsantresi	80.52	95.04	88.47
MGS konsantresi	2.99	91.48	3.16
Sarsıntılı masa artığı	12.51	37.74	5.46
MGS artığı	3.98	63.13	2.91
Besleme malı	100.00	86.49	100.00

Cevherin sarsıntılı masa ve Multi Gravite Separator ile zenginleştirilmesi sonucunda, % 83.51 ağırlık oranıyla %94.91 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.63 verimle kazanılmıştır.

3.3. Öğütme Koşullarının Optimize Edilmesi

Cevherin -1.70 mm tane boyutuna öğütülmesinde izlenen akım şeması Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi, cevher -8.00 mm tane boyutuna çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, 1.70 mm'lik elekte elenmiş ve -8.00 +1.70 mm tane boyutundaki malzeme çubuklu değirmende -1.70 mm tane boyutuna öğütülmüştür. -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherde, -8.00 +1.70 mm tane boyutundaki malzeme miktarı %55.70'dir.



Şekil 8. Cevherin -1.70 mm tane boyutuna öğütülmesi

Öğütme deneylerinde kullanılan -8.00 +1.70 mm tane boyutundaki malzemenin boyut analizi Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Öğütme Deneylerinde Kullanılan Malzemenin Boyut Analizi

Tane boyutu (mm)	Ağırlık (%)	KEA (%)	KEÜ (%)
-8.00 +6.30	23.57	100.00	23.57
-6.30 +4.70	24.02	76.43	47.59
-4.70 +3.35	12.89	52.41	60.48
-3.35 +1.70	39.52	39.52	100.00
Toplam	100.00		

Öğütme deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, sarsıntılı masa cihazının etkin çalıştığı tane boyutu aralığının -2000 +50 μm olması (Önal, 1985) dikkate alınmıştır. Öğütme deneyleri sonrası malzemenin 1700 μm tane boyutu altına geçmesi hedeflenirken; +1700 μm tane boyutundaki malzemenin 2000 μm 'nin altı ve % miktarının düşük olması, kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Öğütme koşullarının optimize edilmesine yönelik çalışmalarda; öğütme süresi, değirmen dönüş hızı, yaş öğütmede katı oranı ve kuru öğütmenin etkisi araştırılmıştır.

Öğütme deneyleri sonrası elde edilen ürünler üzerinde, yaş elek analizi yapılarak tane boyutu dağılımı belirlenmiştir.

3.3.1. Öğütme süresinin etkisi

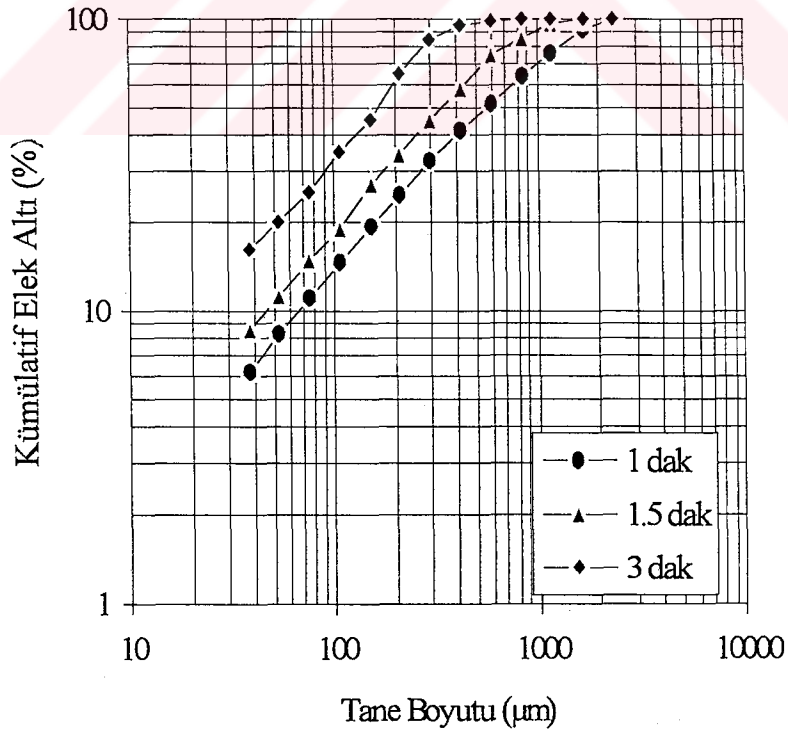
Öğütme süresinin etkisinin araştırıldığı deneylerde, hazırlanan numuneler 1, 1.5 ve 3 dak. süreyle öğütülmüştür. Deneylerde değirmen dönüş hızı 55 dev/dak. ve katı oranı ağırlıkça %50 olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 16 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 16 ve Şekil 9'da görüldüğü gibi 1 dak. öğütme süresinde, öğütülen malzemenin %92.55'i, 1.5 dak. öğütme süresinde %99.20'si -1700 μm tane boyutuna, 3 dak. öğütme süresinde ise %98.88'i -600 μm tane boyutuna

ufalanmaktadır. Sonuç olarak, malzemenin %99.20'sinin 1700 μm 'nin altına ufalandığı 1.5 dak. öğütme süresinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 16. Öğütme Süresinin Etkisi

Tane Boyutu (μm)	Öğütme Süresi (dak.)					
	1		1.5		3	
	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)
2360	7.45	100.00	0.80	100.00	-	100.00
1700	16.36	92.55	3.17	99.20	-	100.00
1180	12.17	76.19	9.49	96.03	-	100.00
850	12.42	64.02	11.57	86.54	1.12	100.00
600	10.49	51.60	16.92	74.97	3.74	98.88
425	8.60	41.11	12.80	58.05	10.46	95.14
300	7.37	32.51	10.83	45.25	20.35	84.68
212	5.73	25.14	7.20	34.42	19.20	64.33
150	4.81	19.41	7.99	27.22	10.30	45.13
106	3.58	14.60	4.37	19.23	9.23	34.83
75	2.67	11.02	3.64	14.86	5.41	25.60
53	2.19	8.35	2.61	11.22	4.04	20.19
38	6.16	6.16	8.61	8.61	16.15	16.15
Toplam	100.00		100.00		100.00	



Şekil 9. Öğütme süresinin etkisi

3.3.2. Değirmen dönüş hızının etkisi

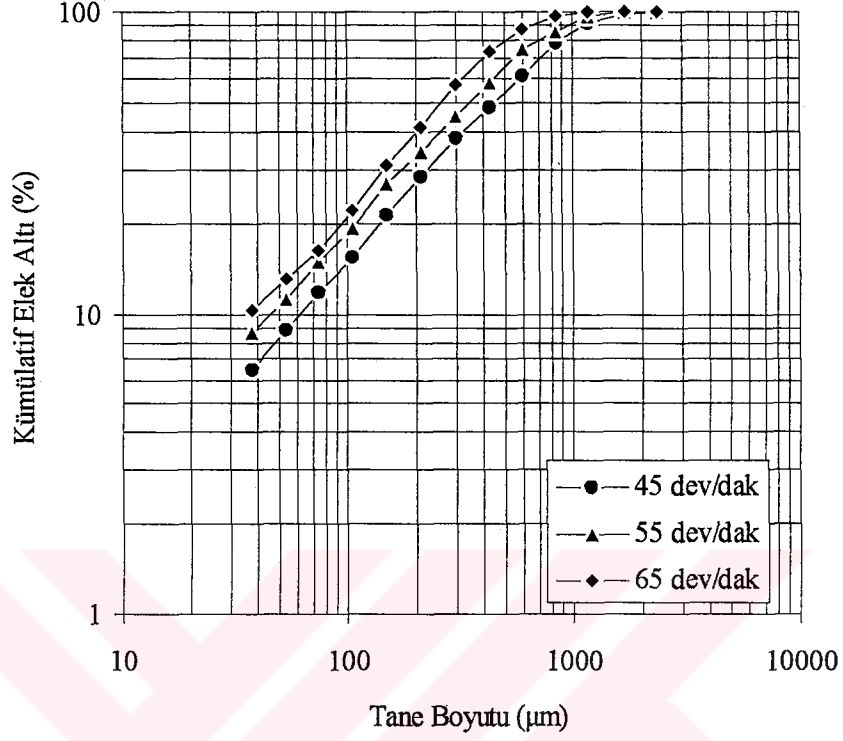
Bu grup deneylerde, katı oranı ağırlıkça %50 ve öğütme süresi 1.5 dak. olarak sabit tutulurken, değirmen dönüş hızı 45, 55 ve 65 dev/dak. olarak değiştirilmiştir. Deney bulguları Tablo 17 ve Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 17 ve Şekil 10'da görüldüğü gibi, değirmen dönüş hızının artmasıyla üretilen ince malzeme miktarı artmaktadır. 45 dev/dak.'da -1700 µm malzeme miktarı %97.49, 55 dev/dak.'da %99.20 ve 65 dev/dak.'da -1180 µm malzeme miktarı %99.89'dur.

Bu sonuçlara göre, değirmen dönüş hızının 55 dev/dak. seçilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 17. Değirmen Dönüş Hızının Etkisi

Tane Boyutu (µm)	Değirmen Dönüş Hızı (dev/dak.)					
	45		55		65	
	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)
2360	2.51	100.00	0.80	100.00	-	100.00
1700	5.38	97.49	3.17	99.20	0.11	100.00
1180	13.88	92.11	9.49	96.03	2.68	99.89
850	17.37	78.23	11.57	86.54	10.17	97.21
600	13.04	60.86	16.92	74.97	13.91	87.04
425	9.97	47.82	12.80	58.05	16.37	73.13
300	9.42	37.85	10.83	45.25	15.28	56.76
212	6.98	28.43	7.20	34.42	10.76	41.48
150	5.93	21.45	7.99	27.22	8.73	30.72
106	3.84	15.52	4.37	19.23	5.66	21.99
75	2.92	11.68	3.64	14.86	3.39	16.33
53	2.25	8.76	2.61	11.22	2.71	12.94
38	6.51	6.51	8.61	8.61	10.23	10.23
Toplam	100.00		100.00		100.00	



Şekil 10. Değirmen dönüş hızının etkisi

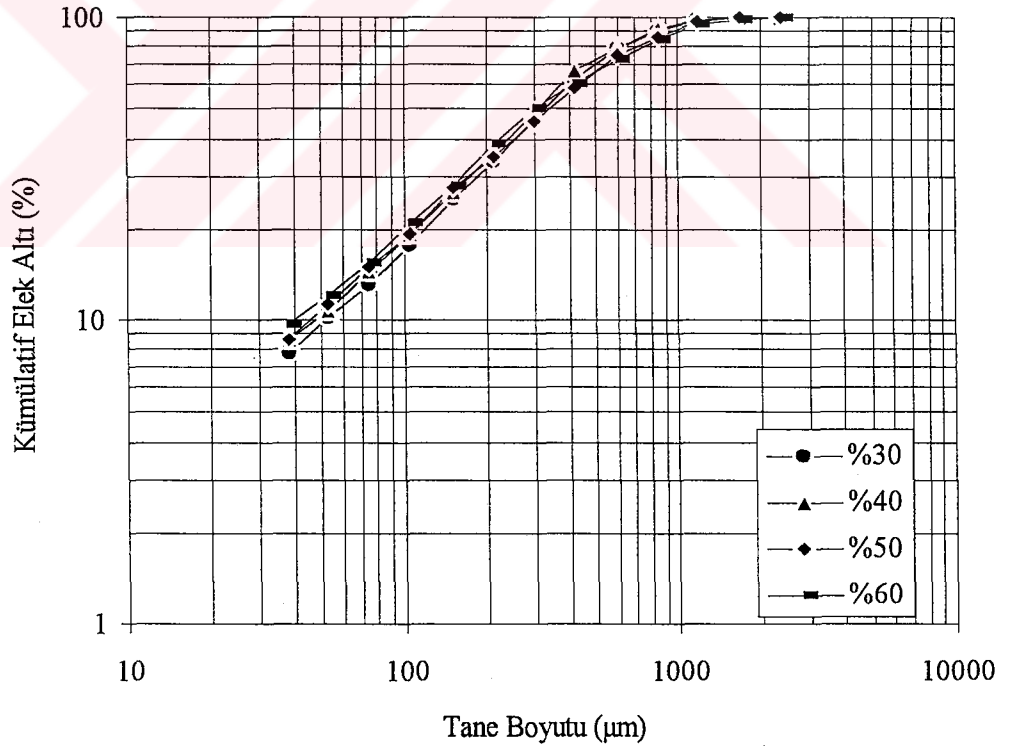
3.3.3. Katı oranının etkisi

Katı oranının öğütmeye olan etkisini incelemek amacıyla farklı katı oranlarında ve farklı sürelerde öğütme deneyleri yapılmıştır. Ağırlıkça %30, %40, %50 ve %60 katı içeren pülpün herbiri değirmende 1 ve 1.5 dak. sürelerle öğütülmüştür. Katı oranının etkisinin araştırıldığı öğütme deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 18, 19 ve Şekil 11, 12'de verilmiştir.

Deneyleerde değirmen dönüş hızı, 55 dev/dak. olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 18. Katı Oranının Etkisi (Öğütme süresi 1.5 dk)

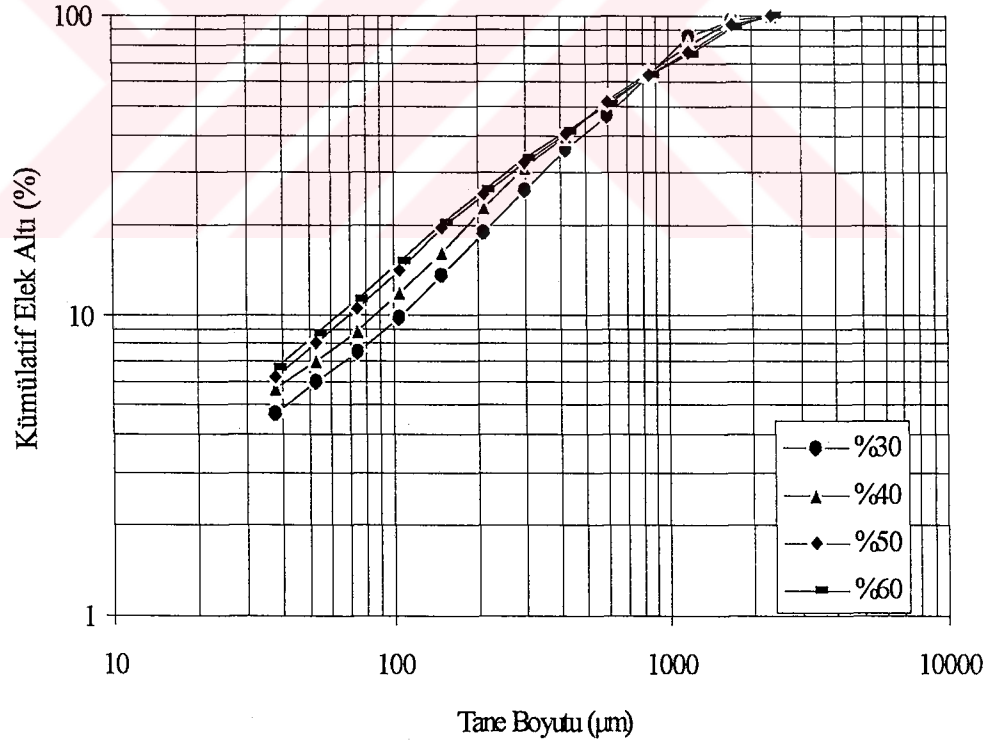
Tane Boyutu (μm)	Katı Oranı (%)							
	30		40		50		60	
	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)
2360	-	100.00	-	100.00	0.80	100.00	1.06	100.00
1700	1.35	100.00	0.95	100.00	3.17	99.20	3.98	98.94
1180	8.63	98.65	7.02	99.05	9.49	96.03	9.86	94.96
850	11.58	90.02	13.02	92.03	11.57	86.54	12.04	85.10
600	16.39	78.44	12.66	79.01	16.92	74.97	12.95	73.06
425	16.09	62.05	17.68	66.35	12.80	58.05	10.25	60.11
300	12.14	45.96	12.66	48.67	10.83	45.25	11.61	49.86
212	8.81	33.82	9.42	36.01	7.20	34.42	10.23	38.25
150	7.39	25.01	7.18	26.59	7.99	27.22	7.17	28.02
106	4.59	17.62	4.83	19.41	4.37	19.23	5.30	20.85
75	2.82	13.03	3.86	14.58	3.64	14.86	3.53	15.55
53	2.41	10.21	2.14	10.72	2.61	11.22	2.39	12.02
38	7.80	7.80	8.58	8.58	8.61	8.61	9.63	9.63
Toplam	100.00		100.00		100.00		100.00	



Şekil 11. Katı oranının etkisi (Öğütme süresi 1.5 dk)

Tablo 19. Katı Oranının Etkisi (Öğütme süresi 1 dk)

Tane Boyutu (μm)	Katı Oranı (%)							
	30		40		50		60	
	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)
2360	2.96	100.00	4.17	100.00	7.45	100.00	8.28	100.00
1700	11.34	97.04	15.78	95.83	16.36	92.55	17.22	91.72
1180	22.58	85.70	14.81	80.05	12.12	76.19	11.15	74.50
850	16.47	63.12	13.10	65.24	12.47	64.07	12.67	63.35
600	10.63	46.65	12.13	52.14	10.93	51.60	9.64	50.68
425	9.66	36.02	8.88	40.01	8.16	40.67	7.55	41.04
300	7.58	26.36	8.19	31.13	7.37	32.51	7.28	33.49
150	5.20	18.78	6.76	22.94	5.73	25.14	5.90	26.21
212	3.90	13.58	4.35	16.18	5.31	19.41	5.16	20.31
106	2.23	9.68	3.11	11.83	3.58	14.10	3.92	15.15
75	1.50	7.45	1.75	8.72	2.50	10.52	2.62	11.23
53	1.26	5.95	1.30	6.97	1.86	8.02	2.02	8.61
38	4.69	4.69	5.67	5.67	6.16	6.16	6.59	6.59
Toplam	100.00		100.00		100.00		100.00	



Şekil 12. Katı oranının etkisi (Öğütme süresi 1 dk)

Her iki öğütme süresinde de katı oranı arttıkça, +1700 μm ve -38 μm tane boyutundaki malzeme miktarı artmaktadır.

1 dak. öğütme süresinde, katı oranının etkisinin araştırıldığı deneylerde elde edilen öğütme ürünlerinde; -2380 +1700 μm tane boyutundaki malzeme miktarı artmakta iken, 425 μm , 300 μm , 212 μm , 150 μm , 106 μm , 75 μm , 53 μm ve 38 μm elek altı miktarları ise artan katı oranı ile artmaktadır. Benzer durum daha belirgin olmamakla beraber 1.5 dak. öğütme süresinde katı oranının etkisinin araştırıldığı deneylerde de gözlenmiştir.

Ayrıca, 1.5 dak. öğütme süresi sonrası elde edilen ürünlerdeki -1700 +53 μm malzeme miktarları, katı oranı %30, %40, %50 ve %60 için sırasıyla %89.79, %89.28, %87.98 ve %86.92 olmaktadır. 1 dak. öğütme süresinde ise -1700 +53 μm malzeme miktarları katı oranı %30, %40, %50 ve %60 için sırasıyla %91.09, %88.86, %84.53 ve %83.11'dir.

Bu sonuçlar, katı oranı azaldıkça öğütme işleminin iri taneler üzerinde toplandığını ve belirli bir boyuta öğütülen malzemenin ise çubuklar arasında ufalanmaya daha az maruz kalarak, düşük katı oranı sayesinde uzaklaştığını göstermektedir.

Sarsıntılı masaların etkin çalıştığı tane boyutu aralığının -2000 +50 μm olması (Önal, 1985), elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır. Buna göre en olumlu değerler katı oranı %30, öğütme süresi 1 dak.'da elde edilmiştir. Bu koşullarda -1700 +53 μm malzeme miktarı %91.09 ve şlam boyutu (-38 μm) malzeme miktarı %4.69 olmaktadır. Ayrıca, +1700 μm tane boyutundaki malzeme miktarı ise %2.96 olup, tamamına yakını 2000 μm 'un altındadır.

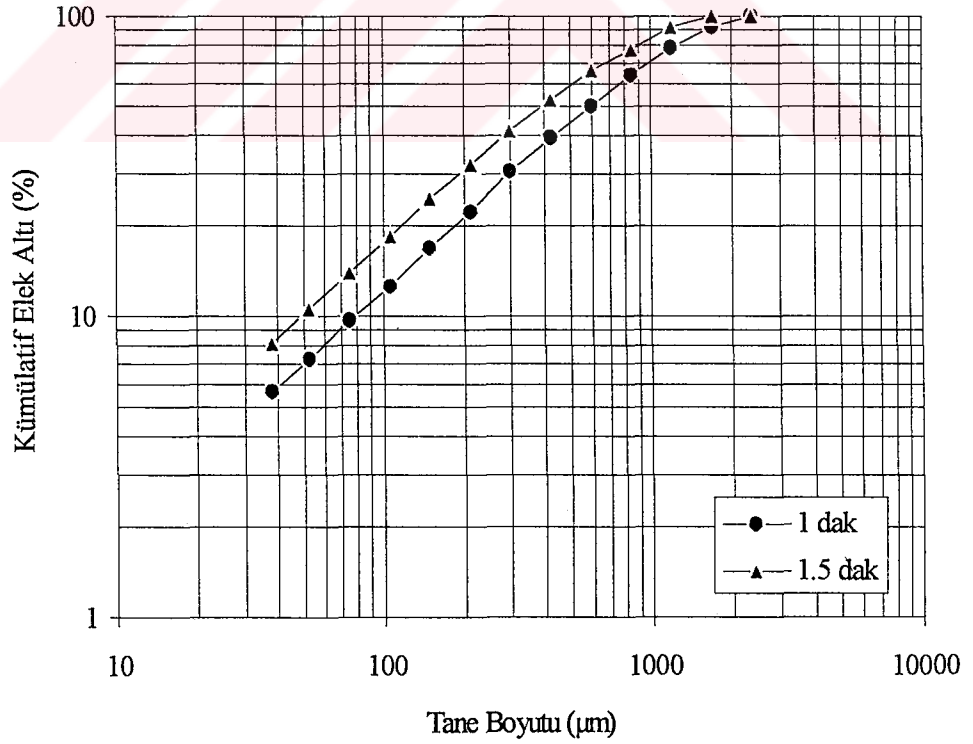
3.3.4. Kuru öğütmenin etkisi

Kuru öğütme deneyleri 55 dev/dak. değirmen dönüş hızında, 1 ve 1.5 dak. öğütme sürelerinde yapılmıştır. Yaş öğütme deneylerindeki gibi beslenen katı

miktarı 945 gr ve çubuk şarjı %36.92 olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçları Tablo 20 ve Şekil 13'de verilmiştir.

Tablo 20. Kuru Öğütmenin Etkisi

Tane Boyutu (μm)	Öğütme Süresi (dak.)			
	1		1.5	
	Ağ. (%)	KEA (%)	Ağ. (%)	KEA (%)
2360	8.93	100.00	0.86	100.00
1700	12.75	91.07	7.91	99.14
1180	14.23	78.32	14.02	91.23
850	14.29	64.09	11.46	77.21
600	10.83	49.80	12.80	65.75
425	8.85	38.97	11.61	52.95
300	8.08	30.12	9.23	41.34
212	5.34	22.04	7.52	32.11
150	4.18	16.70	6.26	24.59
106	2.94	12.52	4.44	18.33
75	2.37	9.58	3.30	13.89
53	1.60	7.21	2.52	10.59
38	5.61	5.61	8.07	8.07
Toplam	100.00		100.00	



Şekil 13. Kuru öğütmenin etkisi

Kuru öğütme deney sonuçları, yaş öğütme koşullarında optimum bulunan sonuçlarla karşılaştırıldığında (Öğütme süresi 1 dak., katı oranı %30 ve değirmen dönüş hızı 55 dev/dak.); 1 dak. kuru öğütme süresi sonrası -1700 μm tane boyutu malzeme miktarı %91.07 iken, yaş öğütme de bu değer %97.04'tür (Tablo 19). Ayrıca, 1.5 dak. kuru öğütme süresi sonrası -1700 μm tane boyutu malzeme miktarı %99.14 olurken, katı oranı %30 ve öğütme süresi 1.5 dak. yaş öğütme deneyinde malzemenin %98.65'i 1180 μm tane boyutunun altına ufalanmaktadır (Tablo 18).

Bu sonuçlar, istenilen tane boyutundaki ürünün (-1700 μm) yaş öğütme koşullarında daha kısa sürede elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, öğütülen ton cevher başına güç sarfının yaş öğütmede daha az olması ve yaş öğütmenin diğer bir çok avantajı (İpekoğlu, 1989) nedeniyle, cevherin yaş öğütülmesi daha uygun görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Barit Maden Türk A.Ş. Selestit İşletmesi zenginleştirme tesisine beslenen cevher üzerinde yapılan zenginleştirme ve öğütme araştırmaları aşağıdaki sonuçları ortaya koymaktadır:

- i) Tüvenan cevherin mevcut tane boyutunda zenginleştirilmesi (elle ayıklama, jig, yıkama ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme) sonucu, %92.84 SrSO₄ tenörlü konsantre %90.24 verimle kazanılabilir.
- ii) -66 +30 mm tane boyutundaki cevher üzerinde, elle ayıklama öncesi ön bir işlem olarak malzeme suyla yıkanmalı veya yaş eleme yapılarak tane yüzeyleri safsızlıklardan temizlenmelidir.
- iii) Tüvenan cevherin %43.43'ünün -10 +1.0 mm tane boyutunda ve %90.73 SrSO₄ tenörlü olması, bu tane boyutundaki malzemenin yıkamayla kil ve diğer safsızlıklardan arındırılması ile %92.28 SrSO₄ tenörlü konsantre eldesi, ekonomik bakımından önemlidir. Ayrıca, -10 +1.0 mm tane boyutundaki cevherin aşındırılmalı-karıştırmaya tabi tutulmasıyla konsantre tenöründe (%92.76 SrSO₄) önemli bir artış sağlanamamıştır. Bu nedenle, bu tane boyutundaki cevhere 0.5 mm'lik elekte yaş eleme yapılması uygun görülmüştür.
- iv) Yüksek tenörlü konsantre üretimi, cevherin -8.00 mm tane boyutuna kırılarak jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılması ile mümkündür. Bu uygulamayla, %96.87 SrSO₄ tenörlü konsantre %91.48 verimle kazanılabilir.

v) -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin, jig ile zenginleştirme yapılan tüm tane boyutlarında cevherin jigle zenginleştirilmesi mümkün olmuştur. -8.00 +6.30 mm, -6.30 +4.70 mm ve -4.70 +3.35 mm tane boyutlarında alınan ara ürünlerin doğrudan konsantreye katılması, konsantre tenöründe satılabilir tenörün altına düşmeye neden olmamaktadır.

vi) -8.00 mm tane boyutuna kırılan cevherin, -1.00 +0.50 mm tane boyutunda yapılan jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri karşılaştırıldığında, sarsıntılı masa ile daha yüksek tenör değerlerine daha yüksek verimle ulaşmak mümkün olmuştur. Bu nedenle, bu tane boyutunda sarsıntılı masa ile zenginleştirme yapılması daha uygun görülmüştür.

vii) -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin, sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesi sonucunda %95.04 SrSO₄ tenörlü konsantre %88.47 verimle kazanılabilir.

viii) -2.00 mm tane boyutuna öğütülen cevherin, şlam boyutu (-0.038 mm) malzemesi %75.28 SrSO₄ tenörlü olup, atılması durumunda %6.07 kayıp olmaktadır. Kaybın azaltılması için ince tane boyutlarında ayırma etkinliği olan Multi Gravite Separator (MGS) kullanılırsa, %91.48 SrSO₄ tenörlü konsantre %52.10 verimle kazanılabilir. Ancak, verim değerinin düşüklüğü öğütme sırasında oluşan şlam boyutu malzemenin minimum düzeyde tutulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç, öğütme araştırmalarında bulunan optimum koşulların önemini artırmaktadır.

ix) Öğütme süresinin, değirmen dönüş hızının, yaş öğütmede katı oranının ve kuru öğütmenin etkisinin araştırıldığı deneylerden, sarsıntılı masada cevherin zenginleştirilmesine malzeme hazırlamak için bulunan optimum öğütme koşulları aşağıdaki gibidir:

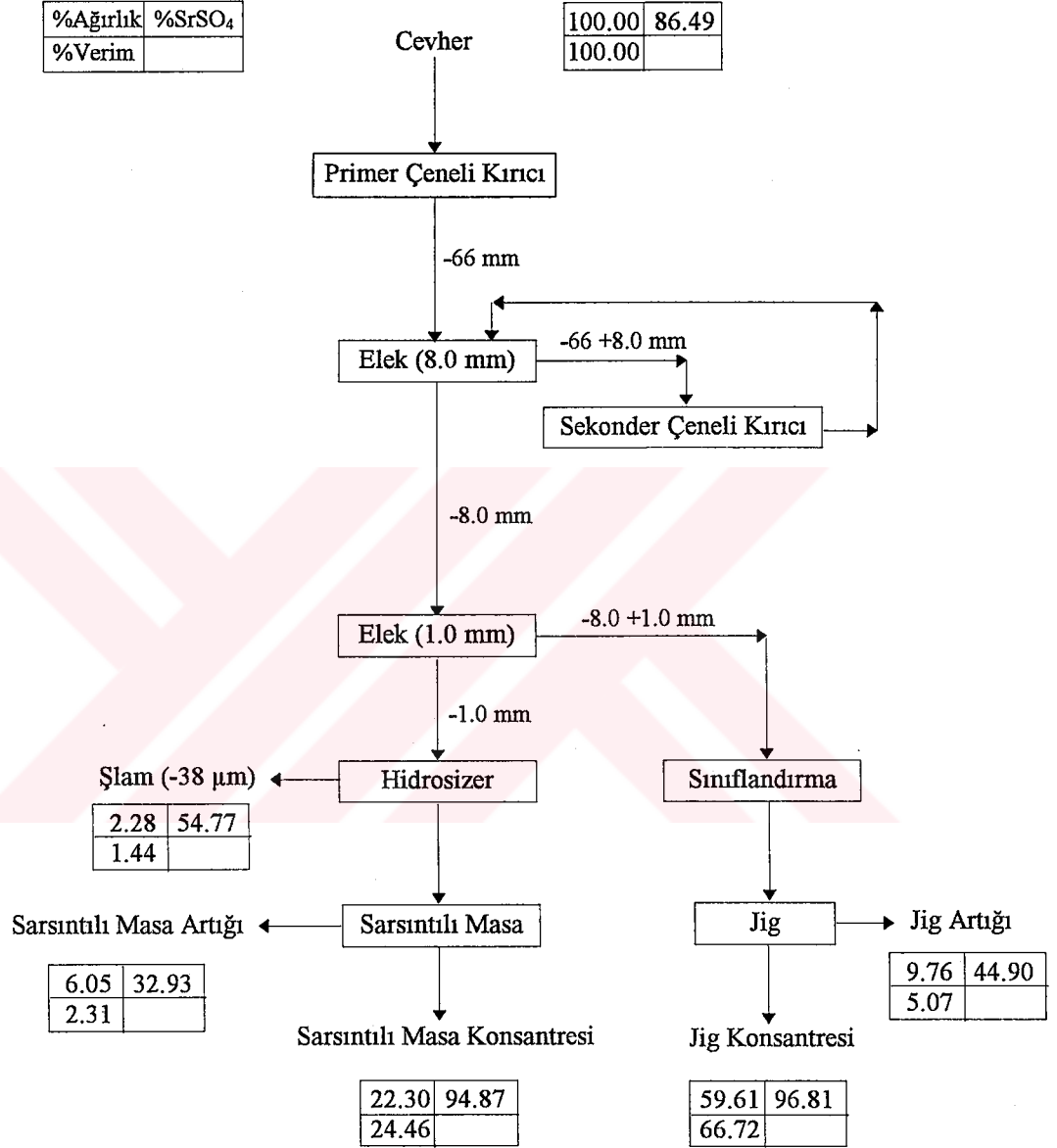
Öğütme şekli : Yaş öğütme
Öğütme süresi : 1 dak.
Değirmen dönüş hızı : 55 dev/dak. (%55xNk)
Katı oranı (ağırlıkça) : %30

Diğer koşul; çubuk şarjı: %36.92

Bu koşullarda öğütülen, -8.00 +1.70 mm tane boyutundaki malzemenin %97.04'ü -1.70 mm tane boyutuna ufalanmakta ve şlam boyutu (-0.038 mm) malzeme miktarı %4.69 olmaktadır. +1.70 mm tane boyutundaki malzeme miktarı ise %2.96 olup, tamamına yakını 2.00 mm'nin altındadır.

4.2. Öneriler

Zenginleştirme deney bulguları dikkate alınarak, bu cevherin zenginleştirilmesine yönelik akım şeması ekteki Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14. Sivas-Ulaş yöresi selestit cevheri için önerilen zenginleştirme akım şeması

5. KAYNAKLAR

- Aslan, N., Canbazoglu, M., 1995, İnce Boyutlu Krom Cevherlerinin Multi Gravite Separator ile Zenginleştirilmesi Araştırmaları: Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Ankara, s. 437-442.
- Aslan, N., 1996, Değişik Hammaddelerin Multi Gravite Separatorü ile Zenginleştirme Parametrelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Aytekin, Y., 1979, İnce Tane Ölçüm Yöntemleri, Ege Üniversitesi Makine Fak., Maden Müh. Böl., Yayın no:2, İzmir.
- Can, G., Ekim, 1993, Dünya'da ve Türkiye'de Stronsiyum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etüdüleri Dairesi, Ankara.
- Canbazoglu, M., Cebeci, Y., Aslan, N., 1992, Cevher Hazırlama-Zenginleştirme Problemleri ve Çözümleri, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No:50, Sivas.
- Cebeci, Y., Teke, E., Akar, A., Aslan, N., Canbazoglu, M., Aralık 1993, Selestit Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Stronsiyumun Kullanım Alanları: C.Ü. Mühendislik Fakültesi Madencilik Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sivas, Cilt 1, Sayı 1, s. 137-148.
- Deurbrouck, A.W., Agey, W.W., 1985, Wet Concentrating Tables, Gravity Concentration: SME Mineral Processing Handbook, Volume I, Section 4, New York, 32-36 pp.
- D.P.T., 1988, Bor Dışı Endüstriyel Hammaddeler.
- D.P.T., 1990, Kimyasal Madde Araştırması.
- Ergin, Z., Cöcen, İ., Semerkant, O., 1993, Cevher Zenginleştirme Laboratuvar Ders Notları, D.E.Ü., İzmir.
- Fidan, B., Arol, A.İ., Eylül 1990, Küre Cevherinin Öğütülme Özellikleri, Madencilik Dergisi, Cilt XXX, No: 3, s. 5-9.
- Fulton, R.B., 1983, Industrial Minerals and Rocks, 5th Edition, Volume 2, New York, 1229-1233 pp.
- Gonzalez-Caballero, F., Cabrerizo, M.A., Bruque, J.M., Delgado, A., 1989, Flotation Properties of Celestite in Aqueous Solutions of Ionic Surfactants: International Journal of Mineral Processing, Volume 26, 51-63 pp.

- Griffiths, J., November 1985, Celestite: New Production and Processing Developments: Industrial Minerals, 21-35 pp.
- Griffiths, J., October 1992, Celestite and Strontium Chemical Trade the Mexican Wave: Industrial Minerals, 21-33 pp.
- Hernainz Bermudez de Castro, F., Calero de Hoces, M., 1993, Influence of Quebracho and Sodium Silicate on Flotation of Celestite and Calcite with Sodium Oleate: International Journal of Mineral Processing, Vol. 37, 283-298 pp.
- Hong, W., June 1993, Celestite ant Strontianite of Ore Processing and Exploitation: Industrial Minerals, 55-58 pp.
- Houot, R., Joussemet, R., Fabre, F., May 1993, Celestite Ore Upgrading-From Laboratory to Mill: XVIII Int. Mineral Processing Congress, Sydney, Australia, 1053-1059 pp.
- İpekoğlu, Ü., 1989, Cevher Hazırlama, D.E.Ü., Müh.-Mim. Fak., İzmir.
- Karayazıcı, F.İ., Oral, İ., 1980, Stronsiyum, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. Kimya Sektör Araştırması, Ankara.
- Kelly, E.G., Spottiswood, D.J., 1982, Introduction to Mineral Processing, Canada.
- Kırıkoğlu, M.S., 1980, Endüstriyel Hammaddeler, İTÜ Matbaası, İstanbul, s. 132-139.
- Ober, J.A., June 1995, Strontium: American Ceramic Society Bulletin, Volume 74, No. 6, 155-157 pp.
- Ober, J.A., January 1991, Strontium: Mineral Commodity Summaries, U.S. Department of The Interior, Bureau of Mines, 158-159 pp.
- Önal, G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
- Pickett, D.E., Riley, G.W., 1985, Hindered Settling Concentration and Jigging, Gravity Concentration: SME Mineral Processing Handbook, Volume I, Section 4, New York, s. 27-32.
- Rowland, C.A., 1985, Rod Mills, Grinding: SME Mineral Processing Handbook, Volume I, Section 3C, New York, 44-56 pp.

Wills, B.A., 1981, Mineral Processing Technology, 2nd Edition Pergamon Press, New York..

World Mineral Statistics, 1985-1989.

Teke, E., 1990, Yayınlanmamış Yurt Dışı Teknik Gezi Raporu, Sivas.

Yıldırım, İ., Ateşok, G., Çelik, M., 1995, Laboratuvar-Pilot Tip Multi Gravite Cihazı ile Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi: Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Ankara, s. 443-448.

Zaman, S., 1985, Strontium: Nonmetallic Industrial Minerals, SME Mineral Processing Handbook, Volume II, Section 29, New York, 18-19 pp.



6. ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sivas Karşıyaka Okulu'nda, liseyi İstanbul Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi'nde tamamladı. 1990 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 1994 yılında maden mühendisi olarak mezun oldu. 1995 yılında aynı bölüme araştırma görevlisi oldu ve halen bu görevini sürdürmektedir.

