

Bursa-Güdecek Kromit Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması

Tattyenbyek Uldrik

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2019



Investigation of Assessment Possibility of Bursa-Gudecek Chromite Wastes

Tattyenbyek Uldrik

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mining Engineering

January 2019

Bursa-Güdecek Kromit Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması

Tattyenbyek Uldrik

Eskişehir Osmangazi Üniuersitesi

Fen Bilimler Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Ender Sönmez

Ocak 2019

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Tattyenbyek Uldrik'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı ‘‘Bursa-Güdecek Kromit Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması’’ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ender Sönmez

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Ender Sönmez

Üye: Prof. Dr. Hüseyin Koca

Üye: Prof. Dr. Yaşar Ubaş

Üye: Prof. Dr. Volkan Bozkurt

Üye: Prof. Dr. Halil İpek

Fen Bilimler Enstitüsü Yöntem Kurulu'nun.....tarihi ve.....
Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Ender Sönmez danışmanlığında hazırlamış olduğum “Bursa-Güdecek Kromit Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/01/2019

Tattyenbyek ULDRİK

İmza

ÖZET

Bu çalışmada Bursa-Güdecek kromit zenginleştirme tesisi atıklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır.

Atıkların stoklandığı sahalardan temsili numuneler alınarak önce tane boyut ve Cr_2O_3 dağılımları belirlenmiş, daha sonra zenginleştirme deneylerine geçilmiştir.

Zenginleştirme yöntemi olarak, kromit zenginleştirmede yaygın olarak kullanılan sallantılı masalar tercih edilmiştir. Laboratuvar ölçekli, Wilfley marka sallantılı masa kullanılmış, besleme suyu miktarı, pulp yoğunluğu, genlik ve frekans sabit tutularak, altı farklı fraksiyonda (+0,600, -0,600+0,425, -0,425+0,300, -0,300+0,212, -0,212+0,106, -0,106 mm), üç farklı eğimde (1^0 , 2^0 , 3^0) deneyler yapılmıştır.

Zenginleştirme çalışmaları sonucunda, ortalama % 5,8 Cr_2O_3 içerikli atıklardan, -0,212+0,106 mm tane iriliğinde yapılan deneylerde % 48,24 Cr_2O_3 tenörlü konsantre % 38,29 kazanma verimi ile, -0,106 mm tane iriliğinde yapılan deneylerde ise % 52,99 Cr_2O_3 tenörlü konsantre % 19,62 kazanma verimi ile elde edilmiştir. Kazanılan konsantreler satılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Kromit atıkları, cevher zenginleştirme, gravimetrik ayırma, atık değerlendirme

SUMMARY

The aim of this study is to investigate possible assessment of Bursa-Gudecek Chromite enrichment plant wastes.

Representative samples were collected from waste stockyard and their particle size distributions and related Cr_2O_3 contents were determined before initiating enrichment tests.

As an enrichment method, industrially widely used shaking tables were preferred. Tests were performed using Wilfley shaking table. Tests were carried out with six different fractions (+0.600, -0.600+0.425, -0.425+0.300, -0.300+0.212, -0.212+0.106, -0.106 mm) of waste samples at three different slopes (1° , 2° , 3°) while keeping the feed water amount, pulp density, amplitude and frequency constant.

As a result of enrichment tests, a concentrate containing 48.24 % Cr_2O_3 was obtained with 38.29 % recovery at -0.212+0.106 mm size fraction while obtaining a concentrate containing 52.99 % Cr_2O_3 with 19.62% recovery at -0.106 mm size fraction from the feed containing average of 5.8 % Cr_2O_3 . The obtained concentrates were at salable quality.

Keywords: Chromite wastes, mineral processing, gravity separation, waste assessment

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın seçiminde, planlanmasında, yurütulmesinde öneri ve desteğini esirgemededen beni yönlendiren, değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan, danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Ender SÖNMEZ'e,

Yardımlarını esirgemeyen MADKİM A.Ő. yöneticilerine, Bursa Orhaneli Güdecek Krom İşletmesi yetkililerine ve çalıőanlarına,

Maddi destek sağlayarak yüksek lisans eğitimimi yapabilmemi sağlayan "Yurtdıőı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı" na,

Sevgilerini, anlayıőlarını ve dualarını benden esirgemeyen sevgili anneme, yakınlarıma sonsuz sevgi ve en içten duygularıyla őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|------|
| ÖZET | vi |
| SUMMARY | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiii |
| 1. GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 2 |
| 2.1. Krom..... | 2 |
| 2.1.1. Krom mineralleri..... | 2 |
| 2.1.2. Kromitin yataşları | 5 |
| 2.2.Kromit Yataklarının Oluşumu..... | 6 |
| 2.2.1. Tabakalı (Stratiform) tip yataklanma | 7 |
| 2.2.2. Alpin tip yataklanma | 8 |
| 2.3. Kromit Kullanım Alanları..... | 8 |
| 2.3.1. Metalurjik amaçla kromitin kullanılması | 10 |
| 2.3.2. Refrakter amaçla kromitin kullanılması | 12 |
| 2.3.3. Kimyasal amaçla kromitin kullanılması | 12 |
| 2.3.4. Döküm kumu olarak kullanılması | 13 |
| 2.4. Zenginleştirme Yöntemleri | 14 |
| 2.4.1. Triyaj (el ile ayıklama, tavuklama)..... | 15 |
| 2.4.2. Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme | 16 |
| 2.4.2.1. <u>Jig ile zenginleştirme</u> | 18 |
| 2.4.2.2. <u>Sallantılı masalar ile zenginleştirme</u> | 18 |
| 2.4.2.3. <u>Multi gravite ayırıcı ile zenginleştirme (MGS)</u> | 21 |
| 2.4.3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme | 24 |
| 2.4.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme | 25 |
| 2.4.5. Flotasyon ile zenginleştirme..... | 25 |
| 2.5. Dünyada ve Türkiye'de Krom Madenciliği..... | 26 |
| 2.5.1. Dünyada krom madenciliği | 26 |
| 2.5.2. Dünya krom üretimi ve tüketimi | 26 |
| 2.5.3. Türkiye’de krom madenciliği | 27 |
| 2.5.3.1. <u>Türkiye krom yatakları ve rezervleri</u> | 28 |
| 2.5.4. Üretim yöntemi..... | 29 |
| 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 30 |
| 3.1. Kromit Atıklarının Değerlendirilmesi Amacıyla Yapılmış Bazı Çalışmalar..... | 30 |

İÇİNDELİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM | 34 |
| 4.1. Materyal..... | 39 |
| 4.2. Yöntem..... | 43 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 46 |
| 5.1. Sallantılı Masa İle Yapılan Zenginleştirme Çalışmaları..... | 47 |
| 5.1.1. +0,600 mm boyut grubunda yapılan deneyler | 48 |
| 5.1.2. -0,600+0,425 mm boyut grubunda yapılan deneyler..... | 49 |
| 5.1.3. -0,425+0,300 mm boyut grubunda yapılan deneyler..... | 50 |
| 5.1.4. -0,300+0,212 mm boyut grubunda yapılan deneyler..... | 51 |
| 5.1.5. -0,212+0,106 mm boyut grubunda yapılan deneyler..... | 52 |
| 5.1.6. - 0,106 mm boyut grubunda masa yapılan deneyler | 53 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 56 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 58 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1. İdeal ofiyolit dizilişinde kayaç gruplarının konumu..... | 7 |
| 2.2. 1950-2017 yılları arasında eriyik paslanmaz çelik üretimi..... | 11 |
| 2.3. Akan su tabakasında katı hareketi üzerindeki eşik etkisi..... | 19 |
| 2.4. Sallantılı masa..... | 20 |
| 2.5. Multi gravite seperator ünitesi şematik gösterimi..... | 23 |
| 2.6. Mozley multi gravite ayırıcı..... | 24 |
| 2.7. Türkiye krom rezervlerinin bölgelere göre dağılım oranları..... | 29 |
| 2.8. Türkiye krom yataklar haritası..... | 29 |
| 4.1. Bursa-Güdecek konsantre üretim tesisi..... | 35 |
| 4.2. Bursa-Güdecek tesis akım şeması..... | 36 |
| 4.3. Elek analiz sonuçlarına göre Cr ₂ O ₃ dağılımı (kum)..... | 40 |
| 4.4. Kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri (kum)..... | 41 |
| 4.5. Elek analiz sonuçlarına göre Cr ₂ O ₃ dağılımı (şlam)..... | 42 |
| 4.6. Kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri (şlam)..... | 42 |
| 4.7. Deneysel çalışmaların basit akım şeması..... | 43 |
| 4.8. On altı bölmeli numune bölücü..... | 44 |
| 4.9. Laboratuvar ölçekli merdaneli kırıcı..... | 44 |
| 4.10. Laboratuvar ölçekli titreşimli elek..... | 45 |
| 4.11. Wilfley Laboratuvar ölçekli sallantılı masa..... | 45 |
| 4.12. Wilfley laboratuvar ölçekli sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme deneyleri..... | 46 |
| 5.1. +0,600 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 48 |
| 5.2. -0,600+0,425 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 49 |
| 5.3. -0,425+0,300 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 50 |
| 5.4. -0,300+0,212 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 51 |
| 5.5. -0,212+0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 52 |
| 5.6. -0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deney sonuçları..... | 53 |
| 5.7. Zenginleştirme deneylerinde kullanılan numunelerin büyütülmüş makro fotoğrafları..... | 55 |
| 6.1. Önerilen basit akım şeması..... | 57 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1. Krom elementi içeren krom mineralleri ve özellikleri..... | 3 |
| 2.2. Kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, kılavuz ve gang mineralleri..... | 4 |
| 2.3. Kromitin genel özellikleri..... | 4 |
| 2.4. Kromitin yantaşları..... | 5 |
| 2.5. Podiform ve Stratiform tipteki kromit yataklarının çeşitli açılardan karşılaştırılması..... | 9 |
| 2.6. Krom cevherinin sınıflandırılması..... | 9 |
| 2.7. Kromitin kullanım alanları ve özellikleri..... | 10 |
| 2.8. Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık uygulama boyutları..... | 17 |
| 2.9. Dünya krom üreticisi ülkeler..... | 27 |
| 2.10. Dünya kromit üretimi ve rezervi..... | 27 |
| 2.11. Türkiye'de krom yatakları, tenör ve rezervleri | 29 |
| 4.1. Bursa-Güdecek Tesisi hidrosizerler tane dağılımı..... | 38 |
| 4.2. Bursa-Güdecek cevher ve konsantre kimyasal bileşimi..... | 39 |
| 4.3. Bursa-Güdecek Krom tesisi atık elek analizi ve Cr ₂ O ₃ dağılımı (kum)..... | 40 |
| 4.4. Bursa-Güdecek Krom tesisi atık elek analizi ve Cr ₂ O ₃ dağılımı (şlam)..... | 41 |
| 5.1. +0,600 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları..... | 48 |
| 5.2. -0,600+0,425 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları..... | 49 |
| 5.3. -0,425+0,300 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları | 50 |
| 5.4. -0,300+0,212 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları..... | 51 |
| 5.5. -0,212+0,106 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları..... | 52 |
| 5.6. -0,106 mm'de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları..... | 53 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u> |
|----------------------------------|-----------------------------|
| A ⁰ | Angström |
| % | Yüzde |
| ° | Derece |
| °C | Derece santigrat |
| ABD | Amerika Birleşik Devletleri |
| Al | Alüminyum |
| Al ₂ O ₃ | Alüminyum oksit |
| Ca | Kalsiyum |
| CaO | Kalsiyum oksit |
| cm | Santimetre |
| cps | Cycles per second |
| Cr | Krom |
| Cr ₂ O ₃ | Krom oksit |
| dk | Dakika |
| Fe | Demir |
| Fe ₂ O ₃ | Demir (III) oksit |
| FeCr ₂ O ₃ | Kromit |
| FeO | Demir oksit |
| g/cm ³ | Gram/Santimetre küp |
| K | Katı |
| kg | Kilogram |
| kg/mm ² | Kilogram/milimetre kare |
| km | Kilometre |
| lt/dk | Litre/dakika |
| Mg | Magnezyum |
| MgO | Magnezyum oksit |
| MGS | Multi gravite seperatör |
| m | metre |
| mm | milimetre |
| Ni | Nikel |
| PbCrO ₄ | Krokoit |
| Pm | Pikometre |
| S | Sülfür |
| SiO ₂ | Silisyum dioksit |

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Krom, ilk kimya profesörü Nicolas Louis Vauquelin tarafından 1797 yılında keşfedilen kimyasal bir elementtir. Endüstride önemli bir yere sahip olan krom; metalürji, refrakter ve kimya sanayinin önemli elementlerinden biridir. Günümüzde bakır, alüminyum ve demirden sonra en çok kullanılan metallerden biri olarak tanılmaktadır. Madenlerin önemi tarihsel olarak bakıldığında, endüstri devriminden sonra hızla gelişen dünyada, gittikçe artmış ve endüstri için çok önemli bir hammadde kaynağı olan metalik cevherlerin üretimi artmıştır. Kromit rezervleri coğrafi olarak bakıldığında, sınırlı olması sonucu, krom çok sayıda ülke tarafından önemli stratejik metal olarak kabul edilmektedir (Hacıoğlu, 2010).

Metalik cevherlerin aynı zamanda endüstriyel hammaddelerin üretimindeki artışlar, cevher hazırlama atıklarının da önemli oranda artışını ve çevresel problemleri de beraberinde getirmiştir. Günümüzde çevrenin ve doğal kaynakların korunması, ulusal/uluslararası seviyelerde çok önemli bir konu haline gelmiştir. Endüstriyel ülkeler başta olmak üzere çözümlenmeye çalışılan önemli konulardan birisi cevher zenginleştirme tesislerden çıkan atıkların en iyi bir şekilde, mümkün olabilecek kadarıyla az zararlı bertaraf edilmesidir.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler, tesis atıklarının yeniden değerlendirilip ekonomiye katılmasını gündeme getirmiştir. Birçok işletme atıkların değerlendirilmesine yönelmiş ve atık sahalarındaki bu kaynakları yeniden zenginleştirmeye başlamışlardır. Cevher hazırlama atıklarının değerlendirilmesine yönelik araştırmalar önem kazanmış, bu alanda yapılan araştırmaların ve çalışan araştırmacıların sayısı artmıştır.

Bu çalışmada Bursa-Güdecek kromit zenginleştirme tesisi atık sahasından alınan kromit atıklarının değerlendirilebilirliği araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Krom

Kromu 1797'de Fransız kimyacı Louis Nicolas Vauquelin Sibirya'da bulunan bir cevher örneğinin içinde bulmuştur. Ancak Birinci Dünya Savaşına kadar krom çok fazla kullanılmayan bir metaldı. 1913 yılında İngiliz bilim adamı Harry Brearley top namlusu dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde araştırma yaparken hurdalığındaki bütün çeliklerin bir kaçı dışında paslandığını görmüştür. Paslanmayan parçaları incelemiş ve içlerinde % 14 oranında krom bulunduğunu saptamıştır. Bu buluş kaşık, çatal, bıçak ve başka eşyaların yapımında kullanılan paslanmaz çeliklerin geliştirilmesine olarak kılmıştır (Kıdıman, 2009).

Krom sözcük anlamı, Yunanca'da renk anlamına gelen chrome'dan alınmıştır. Parlak, gümüşü renkli ve sert metale verilen isimdir. İngilizcede olduğu gibi Türkçede de otomobillerin parlak ve paslanmaz çelik aksamına, galat olarak "krom" denir. Türkçede krom sözcüğü, tabiatta oksit halinde bulunan kromite ve krom cevherine verilen bir isim olmuştur ve bu anlamda kullanılmıştır.

Krom, gümüş gibi parlak, mavimsi beyaz, periyodik cetvelde VI.A grubunda yer alan, kütle numarası 51,996, atom numarası 24, , yoğunluğu $7,19 \text{ gr/cm}^3$, kaynama sıcaklığı $2665 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ergime sıcaklığı $1875 \text{ }^\circ\text{C}$ olan metalik bir elementtir. Doğada genellikle kristal halde, lavın katılaşması sonucunda oluşmuş yoğun kayalarda bulunur. Kromun Cr^{+2} , Cr^{3+} ve Cr^{6+} olmak üzere 3 farklı değerlikli atomu vardır. Bunların içinde en kararlı olanı ve doğada en çok bulunan Cr^{3+} iyonudur. Krom doğada en çok ultramafik kayaların içerisinde bulunmaktadır.

2.1.1. Krom mineralleri

Tabiatta yaklaşık 25 çeşit krom mineralleri vardır. Yaygın ve en önemli olarak bulunan krom mineralleri olarak kromit, krokoit, dietzeit, bellit, uvarovit ve phoeniko khorit sayılmaktadır. Ekonomik değer taşıyan tek mineral ise kromittir.

Kromit minerali spinel grubundan 2 ve 3 değerlikli katyonlardan oluşan bir oksittir. Kübik oktaedral sistemde kristalleşir. Çoğunlukla kesip kütle, taneli agrega olarak rastlanır. İdeal kimyasal formülü $FeO.Cr_2O_3$ veya $FeCr_2O_4$ şeklindedir. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği % 68'dir. Aşağıdaki çizelgede bilinen krom mineralleri ve bunların özellikleri görülmektedir (Hacıoğlu, 2010).

Çizelge 2.1. Krom elementi içeren krom mineralleri ve özellikleri (Hacıoğlu, 2010)

| Mineraller | % Cr_2O_3 | Kristal Sistem | Renk | Çizgi Rengi | Sertliği | Özgül Ağırlığı (gr/cm^3) |
|-----------------|-------------|----------------|--------------|---------------|----------|------------------------------|
| Kromit | 68,00 | Kübik | Siyah | Koyu Kahve | 5,5 | 4,5 |
| Uvarovit | 30,60 | Kübik | Yeşil | Zeytin Yeşili | 7 | 3,2 |
| Krokoit | 30,10 | Monoklinal | Sarı-Kırmızı | Turuncu | 2,5 | 6 |
| Dietzeit | 15,30 | Monoklinal | Altın Sarısı | - | 3,4 | 3,7 |
| Phoeniko Khorit | 17,50 | Ortorombik | Sarı-Kırmızı | Tuğla Kırmızı | 3 | 5,7 |
| Bellit | 17,30 | Hegzagonal | Sarı-Turuncu | - | 2,5 | 5,5 |

Çizelge 2.2'de kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, kılavuz ve gang mineralleri, Çizelge 2.3.'de kromitin genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, kılavuz ve gang mineralleri (Hacıoğlu, 2010)

| Cevher Mineralleri | Gang Mineralleri | Klavuz Mineralleri |
|-----------------------|---|--------------------|
| Manyetit | Olivin grubu (fayalit ve forsterir) | Kemererit |
| Titanomaniyetit | Piroksen grubu (enstatit, hipersten, bronzit) | Uvarovit |
| Pirotin | Serpantin grubu (antigorit, lizardit, krizotil) | |
| Kalkopirit | Manyezit | |
| Pirit, ilmenit, rutil | Talk | |
| Platin grubu metaller | Klor | |

Çizelge 2.3. Kromitin genel özellikleri (Turgut, 1995)

| Parametreler | Özellikler |
|-------------------|--|
| Rengi | Siyaha yakın gri |
| Çizgi Rengi | Kahve rengi |
| Sertliği | 5,5 |
| Özgül Ağırlığı | 4,1-4,9 gr/cm ³ |
| Erime Sıcaklığı | 1930 °C |
| Kaynama Sıcaklığı | 2490 °C |
| Elastisite Modülü | 900 kg/mm ² |
| Isı Kapasitesi | 0,12 cal/°C |
| Isı İletkenliği | 0,165 cal.cm/sn. |
| Elektrik Direnci | 13,1 mikro-ohm |
| Kırılma Şekli | Düzensiz |
| Kafes Sabiti | 2,87 Å ⁰ |
| Çözünürlük | Suda ve asitte çözünmez |
| Diğer Özellikler | Ultrabazik kayalarda bulunur. Görünümü yarı metalik cilalı şeklindedir. Kübik sistemde kristalleşirler. Dilinimde yoktur. |

Kromitin fiziksel özellikleri; Kromit demir siyahı renklidir, parlaklığı metalikten yarı metaliğe kadar değişir. Çoğunlukla donuk ve yağimsı metal parıltılıdır. Parlaklığı, çizgi rengi ve rengi ile ayırte edilir. Çizgi rengi ise kahve rengidir. Kromit, mohs skalasına göre sertliği 5,5 tir. Yoğunluğu 4,1-4,9 gr/cm³ arasında değişmektedir.

Kromitin kimyasal özellikleri; FeCr₂O₄ ideal formülü ile gösterilen kromit, spinel grubuna dahildir. Kromitin saf bileşiminde % 68 Cr₂O₃, % 32 FeO vardır. Çoğunlukla formülündeki unsurlardan başka Mg ve Al, arasına Zn ve Mn bulunur. Genel kromit formülü (Mg, Fe⁺²)Cr, Al, Fe⁺³)₂O₄ olarak yazılabilir. Üfleçte erimez, kızdırıldıktan sonra mıknatis özelliği gösterir. Asitlerde zor çözülür. Boraks incisin redüksiyon alevinde yeşil renk verir.

2.1.2. Kromitin yantaşları

Kromit cevherlerindeki yan taşların oranı % 5-25 arasında değişir, kromit cevherinin ısıya dayanıklılığı, düşük (1650 °C) ısıda eriyen yan taşlarının türüne ve miktarına bağlıdır. Saf kromit (FeO.Cr₂O₃) oksidasyon ve redüklenmeden dolayı, genellikle ergimeden dekompoze olur. Çizelge 2.4’de kromit yanında en sık rastlanan yantaşlar verilmiştir (Ağaçayak, 2004).

Çizelge 2.4. Kromitin yantaşları (Ağaçayak, 2004)

| Kromit Yantaşları | Kimyasal Formülü | Sertlik (Mohs) | Yoğunluk (gr/cm ³) |
|-------------------|--|----------------|--------------------------------|
| Serpantin | 3MgO.2SiO ₂ .2H ₂ O | 3-4 | 2,6 |
| Olivin | 2(Mg,Fe)O.SiO ₂ | 7 | 3,2-4 |
| Enstatit | MgO.2SiO ₂ | - | - |
| Kloritler | 5(Mg,Fe)O.Al ₂ O ₃ .3SiO ₂ .4H ₂ O | - | - |
| Proksen Diopsit | CaO.MgO.2SiO ₂ | - | - |
| Feldspatlar | CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ | - | - |
| Bronzit | (Mg,Fe)O SiO ₂ | - | - |

2.2. Kromit Yataklarının Oluşumu

Kromit yatakları, mineralojik ve jeolojik özelliklerine göre podiform, stratiform ve eşmerkezli yataklar olarak üç tipe ayrılmaktadır. Ancak eşmerkezli yataklar ekonomik bir değer ifade etmediğinde genellikle podiform ve stratiform yataklardan bahsedilmektedir.

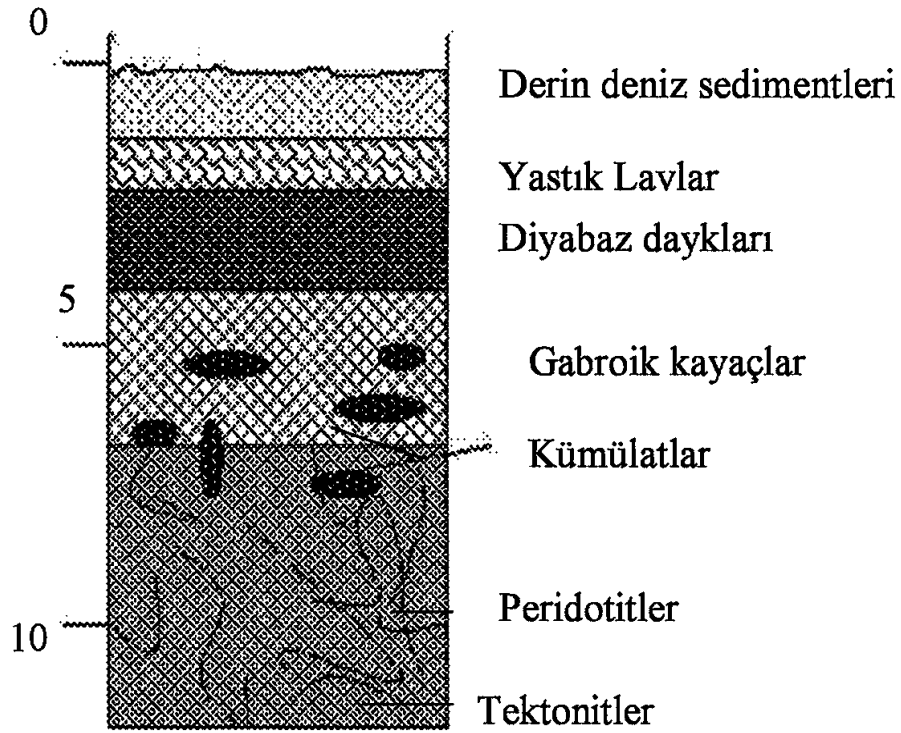
Tüm kromit yatakları, sadece erken magmatik evrede kristalleşme evresinde ortaya çıkarlar. Bütün kromit yatakları ofiyolit komplekslerindeki ultrabazik ve bazik kayalar içerisinde bulunurlar (Kıdıman, 2009).

Okyanusal kabuklar ve üst mantonun parçaları olarak düşünülen ofiyolitler, mafik ve ultramafik kayaların özel bir topluluğudur. İdeal ofiyolit dizilişi alttan üste doğru Şekil 2.1'deki birimlerden oluşmaktadır (Coleman, 1977).

Stratiform yataklardaki Cr_2O_3 tenörünün podiform tipi yataklara göre düşük olması sebebiyle, 1960'ın sonlarına kadar metalürji sanayinde tercih edilmiştir. Dolayısıyla FeO tenörü yüksek Cr_2O_3 tenörü düşük olan stratiform tipi yataklardan üretilen kromitler en çok kimya sanayiinde kullanılmıştır. 1970'de çelik üretim teknolojisi gelişmelerin ardından büyük rezervlere sahip olan stratiform yataklardaki yüksek demir içerikli cevherlerin metalürji sanayiinde kullanılabilme hale gelmiştir. Bu nedenle, dünya kromit rezervinin büyük kısmının oluşturan bu tip yataklardan kromit üretimi hızla artmaya başlamıştır.

Kromitin en çok bulunduğu litolojik oluşumlar, metamorfik derinlik kayalar ve magmatik derinlik kayaları olup, cevherleşmeler, bu kayaların oluşumuna bağlı olarak gelişmiştir (Bilici, 2018).

DERİNLİK (km)



Şekil 2.1. İdeal ofiyolit dizilişinde kayaç gruplarının konumu (Kıdıman, 2009)

Kromit rezervleri, yer yüzeyinin üstünde olduğu kadar derin kısımlarda da bulunur. Dolayısıyla hem açık işletme hem de yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedirler.

2.2.1. Stratiform tip yataklanma

Duraylı kıtasal bölgelerde bulunan krom yataklarıdır. Büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklardır. Dünya Kromit yataklarının % 90'ı stratiform tiptedir. Tabakamsı cevherleşmenin kalınlığı genelde birkaç metre ile birkaç santim arasındadır.

Stratiform tip yatakların bazı özellikleri:

- Alüminyum ve magnezyumca fakir
- Kromit kristalleri çok küçük olup deformasyon izleri gözlenmektedir
- Demir içerikleri yüksek (% 10-24) (Çınarlıdere, 2012).

2.2.2. Podiform tip yataklanma

Podiform tipi kromit yatakları, Türkiye'nin de içerisinde bulunduğu Alp Orojenez Kuşağı boyunca gözlenmekte bu nedenle Alpin tipi yataklar olarak da adlandırılmaktadır. Düzensiz şekilli, genelde karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen, küçük tane boyutlu yataklardır. Alpin tip kromit yataklarında kromit kristalleri, genelde büyük boyutlu olup kristal kümelerinde anti nodüler, nodüler, plastik deformasyon izleri ve orbiküler dokular ile magmatik akıntı olarak tanımlanabilecek lineasyon, foliasyon, dokuları ve kopma yapı gözlenmektedir. Bu tip yataklardaki kromitler, kimyasal bileşim bakımından MgO içerikleri yüksek, FeO içerikleri düşük (MgO/FeO oranı 1/1 ile 7/3 arasında), Cr₂O₃ ve Al₂O₃ içerikleri yüksek, Fe₂O₃ içeriklerinin düşük oluşu ile karakteristiktirler.

Bu tip kromit yataklarının okyanus ortası sırt bölgelerinde okyanusal kabuğun oluşumu sırasında oluştuğu, plaka hareketlerine bağlı olarak taşındıkları ve kıtasal plakalar üzerinde sürüklenerek, bugünkü konumunu aldıkları, dolayısıyla taşınmış oldukları ve taşınma sırasında ileri derecede deformasyon geçirdikleri söylenebilir (Çınarlıdere, 2012).

Stratiform ve podiform tip kromit yataklarının bazı genel özellikleri Çizelge 2.5'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2.3. Kromit Kullanım Alanları

Kromit, cevher ve konsantre ürün olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. Kromit minerali dört alanda hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu alanlar içinde en önemli olanı metalurji alanıdır.

Aşağıda kullanım alanları ve oranları verilmektedir.

- Metalurji % 85-90
- Refrakter % 5-8
- Kimya % 3-5
- Döküm Kumu % 1-2

Kromit kimyasal içeriklerine göre (Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Cr/Fe oranlarına göre) üç ana grupta toplanmaktadır. Çizelge 2.6’de krom cevherinin sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.7’de ayrıntılı bir şekilde kromitin kullanım alanları, bu alanlarda tüketim oranları, kullanımda kazandığı belli başlı özellikleri ve istenen cevher sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.5. Podiform ve stratiform tipteki kromit yataklarının çeşitli açılardan karşılaştırılması (Ağaçayak, 2004)

| Özellik | Stratiform | Podiform |
|--------------------------------|--|--|
| Cr_2O_3 Tenörü | Düşük | Yüksek |
| Endüstride Kullanım | Genellikle refrakter | Genellikle metalürjik |
| Yanal Uzanım | Kilometrelerce | Birkaç on metre ile sınırlı |
| Rezerv | Milyonlarca ton | En fazla birkaç milyon ton, genellikle 100.000 tandan az |
| Tektonizma | Ya hiç yok, ya da çok az | Fazla |
| Morfolojik Şekil | Kalınlıkları birkaç metreye kadar olan bantlar şeklinde | Mercek, yığın ve kese şeklinde |
| Kromitin Oluşum Yaşı | Prekambriyen | Prekambriyen Sonrası |
| Dünya Üzerindeki Dağılımı | Çok sınırlı. Sadece Güney Afrika, Zimbabve, Findandiya, ve Grönland’da | Ultramafik kayaların bulunduğu her yerde, Urallar, Türkiye, Yunanistan, Hindistan, Balkanlar, Pakistan |

Çizelge 2.6. Krom cevherinin sınıflandırılması (Aydın, 2001)

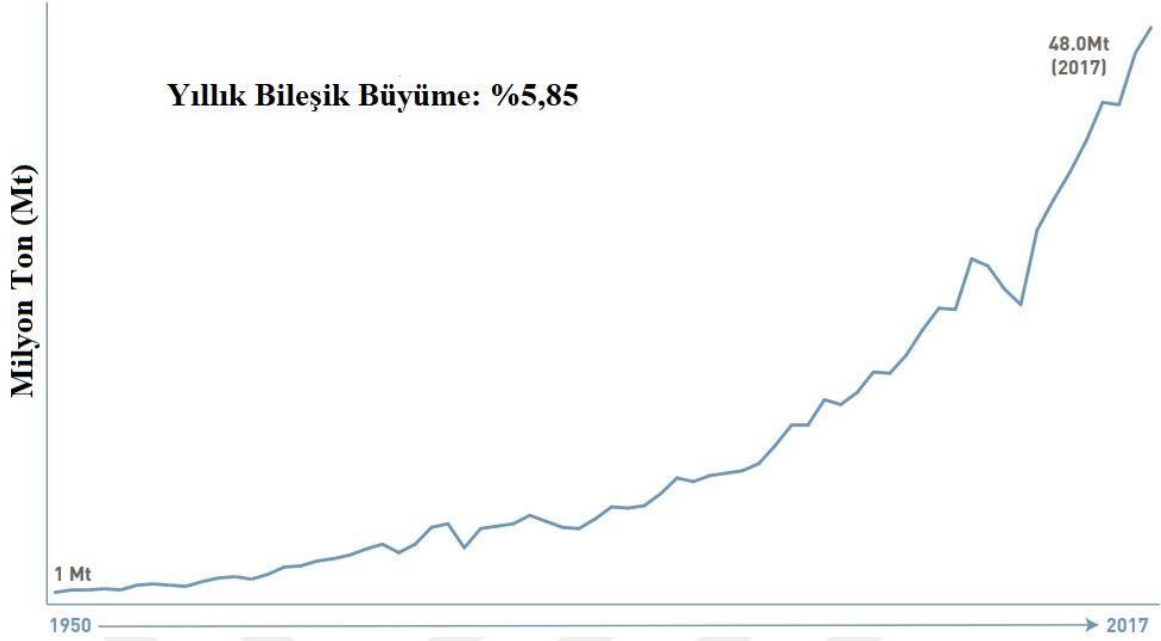
| Cevher Sınıfı | Jeolojik Yatak Türü | Kimyasal Yapı (ağırlık olarak)Cr/Fe | Esas Kullanım Alanı |
|------------------|---------------------|--|-------------------------|
| Yüksek-Krom | Podiform+Stratiform | % 46-55 Cr_2O_3 Cr/Fe : 2/1 | Metalürjik |
| Yüksek-Demir | Stratiform | % 40-46 Cr_2O_3 | Metalürjik, Kimyasal |
| Yüksek-Alüminyum | Podiform | % 33-38 Al_2O_3 | Refrakter |

Çizelge 2.7. Kromitin kullanım alanları ve özellikleri (Aydın, 2001)

| Kullanım Alanı | Tüketim oranı | Kazandırdığı Özellik | İstenen Cevher Sınır Şartları |
|---------------------------------------|---------------|---|--|
| Metalurji (Demir-Çelik Endüstrisi) | % 85-90 | Kırılmaya Darbeye Aşınmaya Paslanmaya Karşı Çelik Üretimi | Cr ₂ O ₃ : % 48 min Cr/Fe : 3/1 oranı Sert-parça cevher |
| Kimya Endüstrisi | % 5-8 | Sodyum Bikromat Sodyum Kromat Potasyum Kromat Kimyasal Madde Üretimi | Cr ₂ O ₃ : % 40-46 Cr/Fe : 1.5/1 Oranı İnce-toz cevher |
| Refrakter Endüstrisi | % 3-5 | Refrakter Tuğla Refrakter Sıvı | Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ >% 60 Al ₂ O ₃ > % 20 SiO ₂ < % 4 |
| Döküm Kumu | % 1-2 | - | Cr ₂ O ₃ > % 44 Fe ₂ O ₃ < % 26 SiO ₂ < % 4 CaO < % 0.5 |

2.3.1. Metalurjik amaçla kromitin kullanılması

Kromit cevheri günümüz sanayinin en önemli girdilerinden birisidir. Dünya kromit cevheri talebinin % 85-90'ı metalurji sanayinde (ferrokrom % 70 paslanmaz çelik, % 15-20 diğer çelik alaşımları, % 10-15 süper alaşımlı çelikler) kullanılmaktadır (Aydın, 2001). Paslanmaz çelik üretiminde kullanıldığından paslanmaz çelik üretimi arttıkça krom cevherlerine olan ihtiyaç da artacaktır. Bu nedenle paslanmaz çelik üretim miktarları krom cevherlerinin üretimini doğrudan etkilemektedir. 1 ton ferrokrom üretimi için yaklaşık 2,5 ton kromit kullanılmaktadır. Dünya eriyik paslanmaz çelik üretiminin 1950 yılından 2017 yılına kadar olan büyüme hızı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Ferrokrom, paslanmaz çelik üretiminin birincil bileşeni kabul edilmekte ve dünya genelinde üretilen tüm kromitin yaklaşık % 75'i ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır (Bilici, 2018).



Şekil 2.2. 1950-2017 yılları arasında eriyik paslanmaz çelik üretimi (Bilici, 2018)

Ferrokrom, krom ve demirden meydana gelmiş bir alaşım olup, az miktarda karbon ve silisyum gibi elementler de içermektedir. Teknikte ferrokrom içerdiği karbon miktarına göre 3 grupta toplanır (Kıdımın, 2009).

- % 4-8 C Yüksek karbonlu ferrokrom
- % 0,05-4 C Orta karbonlu ferrokrom
- % 0,02-0,5 C Düşük karbonlu ferrokrom

Bu kapsamdaki kromun çeşitli alaşımları gemi, denizaltı, uçak, mermi, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılmaktadır.

Krom elementi, metalurji sanayinde, sertleştirilebilme, darbelere dayanıklılık, aşınmaya, oksidasyona, akmaya, korozyona ve sürtünmeden doğan problemlerin karşılanmasına yönelik özelliklerin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik, krom elementinin kullanıldığı ana ürün olup, mikroyapı ve kimyasal yapı açısından oldukça çeşitlilik gösterir. Korozyona ve oksidasyona karşı gösterdiği üst düzeyde dayanıklılık ve mekanik özellikler bakımından da değişik kompozisyonlara sahip olarak üretilir (Altunkaynak, 2013).

2.3.2. Refrakter amaçla kromitin kullanılması

Kromitin ikinci önemli tüketim yeri refrakter sanayiidir. Kromit kimyasal bakımdan ergime noktası yüksek ve nötr bir mineraldir. Yüksek sıcaklıkta, bazik ve asidik ortamda mukavemetlidir. Bu özelliklerinden dolayı izabe fırınlarının iç yüzeylerinin örülmesinde kullanılan tuğla ve harç üretiminde kullanılır. Bu ürünler çelik, cam, kağıt endüstrilerinde, ateş çimentosu, ateş tuğlası ve ateş toprağı (kromitin önemli refrakter ürünleri) olarak kullanılırlar.

Refrakter kromit konsantrelerinde aranan özellikler şöyledir:

- Cr_2O_3 oranı en az % 30
- Al_2O_3 oranı en az % 20
- Cr_2O_3 ve Al_2O_3 oranı en az % 60
- Cr/Fe oranı 3/1'den küçük olmalıdır
- FeO oranı en az % 15
- CaO oranı en az % 2
- SiO_2 oranı en az % 5

Refrakter tuğla sanayinde daha çok krom-manyezit tuğlalarında kullanılan kromit konsantrelerinin Al_2O_3 ve MgO'ce zengin (çünkü bunlar kromitin ergime sıcaklığını artırır.) FeO'ce fakir (Fe sıcaklık değişimlerine çok hassastır) olması istenir (Turgut, 1995).

2.3.3. Kimyasal amaçla kromitin kullanılması

Kimyasal amaçla kullanılacak kromit konsantrelerinin ince taneli ve yüksek Cr_2O_3 tenörlü olması, SiO_2 ve Al_2O_3 içeriklerini çok az olması istenir. Çoğu krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir (Kıdıman, 2009).

Sodyum bikromat, kimya sanayinde kromitin kullanıldığı esas alandır. Belirli bir tane iriliğinin altına kadar öğütülen kromit cevheri soda ve MgO ile karıştırılır. Bir seri

kimyasal reaksiyonlardan sonra sodyum bikromat elde edilir. Kromit asit, bazik krom sülfat, renk verici bileşikler ve krom boya ları sodyum bikromattan elde edilir (Aydın, 2001).

Piyasada kullanılan krom bileşikleri:

- Sodyum kromat
- Demir kromat
- Potasyum kromat
- Baryum kromat
- Kalsiyum kromat
- Kromik asit
- Bazik krom sülfattır
- Amonyum kromat
- Amonyum bikromat
- Kurşun kromat

Krom kimyasalları, çeşitli renkte pigment, deri tabaklama, elde edilmesinde, korozyon önlemede, mumların, yağların ve sabunların ağartılmasında, organik maddelerin oksidasyonunda, yağların, tekstil ürünlerinin boyanmasında, yangın söndürücü imalatında, seramik endüstrisinde, fotoğrafçılıkta, analitik ayıraçlarda, emayede yaygın olarak kullanılmaktadır (Turgut, 1995).

2.3.4. Döküm kumu olarak kullanılması

Kromit, yüksek ısı direnci ve iletkenliği nedeni ile özel döküm kumu olarak kullanılmaktadır. Döküm kalıplarının iç çeperlerine değen yüksek ısılı ergimiş metal, kalıp teşkil eden malzeme ile reaksiyona geçerek defolu döküm alınmasına neden olur. Bunun için bu iç çeperler zirkonlu boya ile kaplanır. Ancak çok pahalı ve kıt olan zirkon yerine kromun ikame imkanları araştırılmaktadır (Turgut, 1995).

2.4. Zenginleştirme Yöntemleri

Kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanacak zenginleştirme yöntemlerini belirleyen faktörler şunlardır:

- Cevher serbestleşme tane boyutu,
- Gang mineralleri ile kromit mineralleri arasındaki fiziksel, fiziko-kimyasal özellik farkları (yoğunluk, manyetik duyarlılık, elektriksel çekim özellikleri, renk, kırılgenlik),
- Cevherden üretilecek konsantredeki Al_2O_3 , SiO_2 , FeO , Cr_2O_3 tenörleri ve Cr/Fe oranı (cevher kullanım kalitesi) (Ağaayak, 2004).

Kromitin ekonomik olarak değerlendirilebilmesi ve farklı endüstrilerde kullanılabilmesi için farklı tenöre ve safsızlık derecelerine sahip olması gerekir. Satılabilirlik için cevherin tenörü en önemli kriterdir. %32-34'ün üzerinde Cr_2O_3 içeren parça cevherler kullanım alanı bulabilmektedir. Tenör %32'nin altına düştüğünde, kromitin günümüz şartlarında zenginleştirilme işlemine tabi tutulmadan ekonomik olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu cevherin değerlendirilmesi ve kullanılacak endüstriye bağılı olarak istenilen bileşime getirilebilmesi için zenginleşmesi gerekmektedir (Aratoğlu, 2017).

Kromit zenginleştirme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

El ile ayıklama (tavuklama, triyaj)

Özgül ağılık farkına göre zenginleştirme

Ağır ortam

Jig

Sallantılı masa

Multi gravite ayırıcısı (MGS)

Oluklar

Spiral

Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Flotasyon ile zenginleştirme

- Jet flotasyonu
- Kolon flotasyonu
- Klasik flotasyon
- Yüksek sıcaklık flotasyonu
- Ultra flotasyon
- Elektro flotasyon
- Yağ flotasyonu
- Aglomerasyon flotasyonu
- Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme
- Kimyasal yöntemlerle zenginleştirme
 - Asit liç
 - Bazik liç
 - Ergitme yöntemi
 - Seçimli gazlı indirgeme yöntemi
 - Katı hal indirgeme yöntemi

Kromit, yoğunluğu yüksek olduğundan birlikte bulunduğu gang mineralinden gravimetrik zenginleştirme yöntemleri kullanılarak kolayca ayrılabilir. Fakat kromit cevherinin cevher karakterine, serbestleşme derecesine, gang minerallerinin cinsine bağlı olarak bu yöntemlerin biri ve birkaçının kombinasyonunu kullanmak gerekebilir.

2.4.1. Triyaj (el ile ayıklama, tavuklama)

Minerallerin; parlaklık, renk, radyoaktivite, fluoresans, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak, elle seçilerek birbirinden ayrılmasına “triyaj” denilmektedir.

Cevher zenginleştirmenin en basit yöntemidir. Bu yöntemle kromitin parlaklık, özgül ağırlık ve renk gibi özelliklerinin gang minerallerinden farklı olmasından yararlanır. El ile ayıklama işleminde Cr_2O_3 tenörü düşüktür. Kromitin gang minerallerinden iri boyutlarda serbest kalması ile gerçekleşebilir. Bazen tek başına bir zenginleştirme işlemi olarak nihai konsantre elde etmek, bazen de ön zenginleştirme yapmak amacıyla uygulanır (Kızıman, 2009).

Yüksek tenörlü ve serbest parçalı cevher veren krom madenlerinde uygulanan elle ayıklama yöntemi iri boyutta konsantre üretimi veya artık atmak amacıyla ön işlem olarak yapılır. Cevher 25 mm'lik eleklerden geçirilerek elek üstü triyaja tabi tutulur. Bu şekilde yapılan zenginleştirmede, artıklarda fazlaca kromit kaldığı için artıkları ileride zenginleştirmek üzere iyi bir şekilde saklanması gerekir (Turgut, 1995).

2.4.2. Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme

Mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamdaki hareket farklılığından yararlanılarak tanelerin birbirinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye “özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme” veya “gravite zenginleştirme” denir . Çizelge 2.8'de Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık uygulama boyutları verilmiştir.

İçerisinde gang mineral olarak yüksek oranda olivin (yoğunluğu 3,2-4 gr/cm³) ve peridotit kayaç parçaları içeren cevherin yoğunluğa göre zenginleştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Ancak cevherdeki olivin oranı az ise üretilen konsantre, manyetik ayırıcılar ile temizlenerek daha yüksek Cr₂O₃ tenörlü nihai konsantre üretilebilmektedir. Olivin mineralinin olmadığı durumlarda kromit ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkı oldukça fazla olduğundan manyetik zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirme tercih edilmektedir. Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmenin verimi konsantrasyon kriterine bağlıdır (Kıdımın, 2009).

İnce kromit atıklarında (-0.1 mm), kolon flotasyonu, jet flotasyonu, MGS (Multi Gravity Separator) ve yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırıcılar gibi yeni teknolojiler kullanılmaktadır. Multi gravite separator ile çok ince tane boyutlarında kromit zenginleştirme yapılabilmektedir (Samalı, 1998).

Çizelge 2.8. Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık uygulama boyutları (Kıdımın, 2009)

| Ayrırma Yöntemi ve Aygıtı | Etkin Tane Boyutu (mm) |
|-----------------------------|------------------------|
| <u>Ağır ortam</u> | |
| Dinamik tip | 0,3-20,0 |
| Statik tip | 2,0-50,0 |
| Yıkama Olukları | 0,2-2,0 |
| Jig | 0,1-20,0 |
| Sallantılı Masalar | 0,04-1,0 |
| GEC çift Yüzeyle Masa | 0,02-0,1 |
| Bartles Mozley Masası | 0,005-0,1 |
| Reicher/Vickers Spiralleri | 0,07-1,0 |
| <u>Santrifüj Ayırıcılar</u> | |
| Yatay Tip | 0,005-0,1 |
| Düşey Tip | -0,4 |

Katı tanelerinin akışkan ortam içerisinde hareketlerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar sonucunda, Taggart tarafından konsantrasyon kriteri olarak tanımlanan bir değer ortaya çıkartılmıştır. Konsantrasyon kriterinin değeri, özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmenin hangi boyutlarda ve hangi yöntemle uygulanabileceği hakkında genel bir fikir vermektedir (Er, 2011).

Buna göre:

$$k = (\rho_A - \rho) / (\rho_H - \rho) \quad (2.1.)$$

k = konsantrasyon kriteri
 ρ = Akışkan ortamın özgül ağırlığı
 ρ_A = Ağır mineralin özgül ağırlığı
 ρ_H = hafif mineralin özgül ağırlığı

$k > 2.5$ ise; ayırma çok küçük boyutlara kadar kolayca uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.

$2.5 > k > 1.75$ ise; ayırma yine kolaydır. Ancak 0,1 mm'ye kadar uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.

$1.75 > k > 1.50$ ise; ayırma güçleşir, alt uygulama boyutu 1 mm'dir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$1,5 > k > 1,25$ ise; ayırma oldukça güçtür. Ancak, çakıl büyüklüğündeki tanelere uygulanabilir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$k < 1,25$ ise; ekonomik bir ayırma mümkün değildir. Ancak akışkanın özgül ağırlığı artırılarak ayırma yapılabilir (Er, 2011).

2.4.2.1. Jig ile zenginleştirme

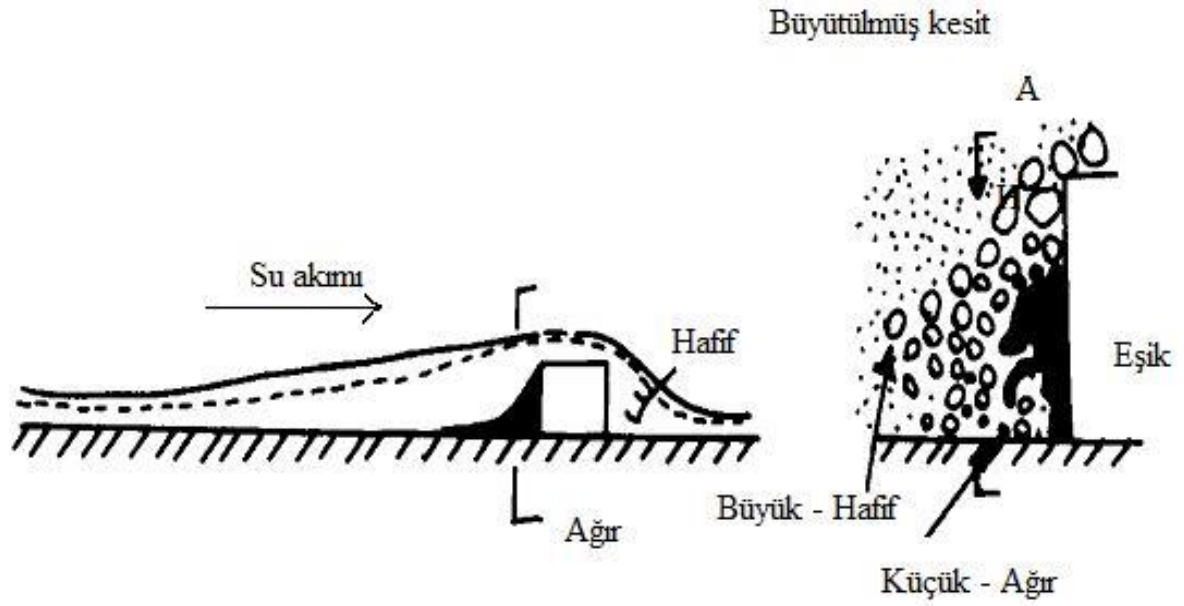
Jig ile zenginleştirme işlemi için kromitlerin iri boyutlarda serbest kalması gerekir. 1-25 mm arasında cevher hidrolik jiglerle zenginleştirilebilir. Havalı jiglerde ise alt boyut 0.1 mm'ya kadar inmektedir. Ayırmanın etkinliğini arttırmak için dar boyut gruplarına sınıflandırma yapılmaktadır (Kıdıman, 2009).

2.4.2.2. Sallantılı masalar ile zenginleştirme

Sallantılı masalar, özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmenin günümüzdeki uygulanmasında çok kullanılan aygıtlardır. Masalar, su akımı altında ve mineral tanelerinin yoğunluk farklarından yararlanarak ayırım yaparlar (Turgut, 1995).

Sallantılı masa, paralelkenar, hafif eğimli, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir tabladır. Masa yüzeyine eşik adı verilen çıtalara belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Çıtalara besleme tarafında maksimum yüksekliğe sahiptir ve sona gittikçe alçalmaktadır. Masa uygun bir mekanizme ile uzun eksen doğrultusunda ileri-geri hareket ettirilir. Bu ileri-geri hareket ve masa üzerindeki eşikler yardımıyla yoğunluğa göre bir ayırma işlemi yapabilmektedir.

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; ince cevher (şlam) ve iri cevher masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazende eşiksizdir. Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur. Bunun sonucunda hem masa kapasitesi artar hem de etkili bir ayırma yapılabilir (Kıdıman, 2009).



Şekil 2.3. Akan su tabakasında katı hareketi üzerindeki eşik etkisi (Kıdımın, 2009)

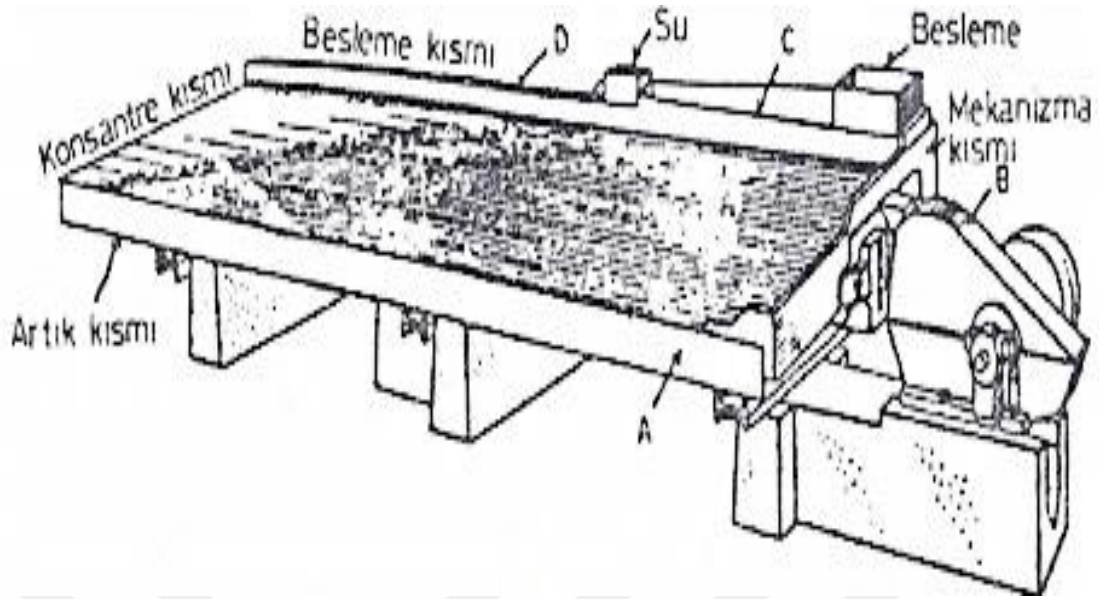
Sallantılı masa türleri

En çok kullanılan türleri;

1. Wilfley
2. Deister masalarıdır.

Günümüzde endüstride en çok kullanılan sallantılı masa Wilfley masası olup, İlk 1896 yılında piyasaya sürülmüştür. Endüstride en çok kullanılan ikinci tür masalar Deister tipi olmaktadır (Ersin, 2011).

Masaya beslenen malın özellikleri değiştiğinde masanın çalışma ayarları da değiştirilmelidir. Bu ayarlar zenginleştirmenin en iyi bir biçimde yapılabilmesi için gereklidir.



Şekil 2.4. Sallantılı masa (Ersin, 2011)

Operasyonu Etkileyen Faktörler

- Besleme miktarı
- Tane iriliği
- Pulp katı oranı
- Tane şekli
- Çıtaların düzeni
- Besleme suyu miktarı
- Masanın genliği ve frekansı
- Masanın eğimi

En önemlisi tane iriliğidir. Beslenen maldaki tane boyut aralığı çok fazla ise, bir başka deyişle masaya gönderilen malda tane irilikleri birbirine yakın değil ise (kötü sınıflandırılmış), masada tanelerin tabakalaşması, engelli çökme, tanelerin ayrılması gittikçe zorlaşır.

En iyi bir operasyonu için, masaya katıların beslenmesi ve suyun verilmesi düzenli olmalı, değişkenlik göstermemelidir.

Masalarda ayırmaya etki eden önemli faktörler

Sallantılı masaların performanslarını etkileyen beslenen cevher boyutu, hız ve genlik, besleme malındaki katı oranı ve eğim gibi parametreler ve bunlara bağlı kapasite sırasıyla incelenecektir.

Beslenen Cevher Boyutu: Sallantılı masalara beslenen cevherin boyutu 1-0,025 mm arasındadır. Ancak kömür zenginleştirme üst boyut 8 cm'ye kadar çıkmaktadır. İnce-ağır ve iri-hafif mineral taneleri masa yüzünde birlikte hareket ettiklerinden bu olumsuzluğu gidermek için masaya beslenecek cevher boyuta göre sınıflandırılmalıdır.

Hız ve genlik: Strok uzunluğu genellikle 10-25 mm arasında değişir, bazen daha fazla da olabilir. Hız ise dakikada 240 strok ve 325 strok arasında değişir. Genel olarak ince tanelerde, iri tanelere göre daha yüksek hız ve daha kısa strok gerekir. Kaba ayırmada uzun genlik-düşük hız, temizlemede kısa genlik-yüksek hız uygundur.

Katı oranı: Besleme pulpündeki su miktarları değişkenlikler göstermesine rağmen, genelde cevher masaları için ağırlıkça % 20-25 katı kullanılır. Masaya verilen su, yıkama ve besleme suyunun toplamından ibarettir.

Su sarfiyatı: Su sarfiyatı, ton cevher başına 1,2-1,4 m³ civarındadır.

Eğim: Sallantılı masaların eğimi, cevher boyutuna, ayrılacak minerallerin özgül ağırlıklarına, yıkama suyu miktarına ve ayırma cinsine bağlı olarak değişir. İri cevherler için 3/48-1/12 (3,5-4,5 derece, yani % 6-8), İnce cevherler için 1/48-1/24 (1.2.3 derece, yani % 2-4) arasındaki eğimler kullanılır. Kaba zenginleştirme işleminde 1/6'ya kadar (9,5 derece, yani % 16) eğimler kullanılabilir (Ersin, 2011).

2.4.2.3. Multi gravite ayırıcı ile zenginleştirme (MGS)

İngiliz teknoloji grubu desteğinde Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması için geliştirilmiştir. Endüstriyel ölçekte kullanımı gerçekleştirilen bir gravite ayırıcısı olan multigravite seperatör, sallantılı masa düzeninin

bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir. Bu tamburun belli bir hızla döndürülmesiyle mineral tanelerine karşı etkin olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi oluşturulmaktadır. Merkezkaç kuvvetin etkisiyle, tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturmakta ve yardımcı üniteler aracılığıyla zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir (Kıdıman, 2009).

Cihaz (Şekil 2.5) bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda 0,5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6-24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşturacak şekilde 150-300 d/dk hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda aksenal doğrultuda $4-5,7 \text{ cm.sn}^{-1}$ frekansla 10-20 mm arasında değişen sinüsoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir (Kıdıman, 2009).

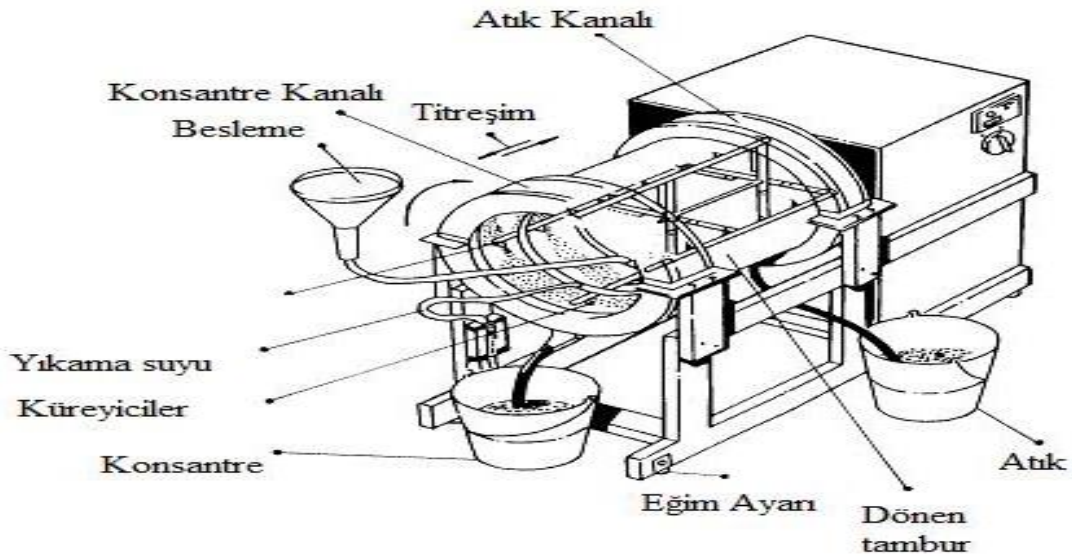
Gövdeye verilen titreşim hareketiyle akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmaktadır. Özel olarak dizayn edilmiş küreyicilerse tambur yüzeyinde hareket ederken tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunlukla taneler ise yıkama suyu ile taşınarak alt çıkıştan alınmaktadır (Kıdıman, 2009).

Multi gravite seperatörün endüstriyel kullanımı

Endüstriyel multi gravite seperatör, laboratuvar boyuttakinin genişletilmiş bir şeklidir (Şekil 2.6). Tek bir krank mili ile titreşim mekanizmasının sağlanabilmesi için sırt sırta monte edilmişlerdir. Bir tambur tarafından açığa çıkarılan titreşim diğerinden açığa çıkan titreşim ile dengelenir. Saatte 2 ton katı kapasitesine kadar dizayn edilebilirler (Kıdıman, 2009).

Multi gravite seperatörün çalışmasını etkileyen faktörler şu şekildedir.

- Tambur dönüş hızı
- Tambur eğim açısı
- Yıkama suyu miktarı
- Titreşim yoğunluğu
- Pulp yoğunluğu



Şekil 2.5. Multi gravite seperator ünitesi şematik gösterimi (Kıdıman, 2009)

Tambur Dönüş Hızı: Tambur dönüş hızı, multi gravite seperatörün çalışmasını iki şekilde etkiler. Öncelikle pulp akışını, tamburun alt çıkışına doğru hızlandırır. Bunun dışında, hız ile birlikte merkezkaç kuvveti artacağından, tanelerin tambur yüzeyine yapışmasını sağlar. Tamburun dönüş hızı 100-300 d/dak arasında değiştirilebilmektedir. Tambur hızı arttıkça verim artarken, tenör düşer.

Tambur Eğim Açısı: Bu açı, tamburun ekseninin yatayla yaptığı açı olarak tanımlanır. 0° - 9° arasında ayarlanabilmektedir. Malzemenin iri boyutlu ve yüksek yoğunlukta olması halinde büyük eğim açısı, ince boyutlu ve düşük yoğunlukta olması halinde ise küçük açı, tercih edilir.

Yıkama Suyu Miktarı: Yıkama suyu, tamburun üst çıkışına yakın bir noktadan verilir. Su miktarı temelde pulp yoğunluğuna bağlı olsa da 0-10 lt/dk seçilir.

Titreşim Yoğunluğu: Tamburun titreşim frekansı 4,0/4,8/5,7 d/sn., titreşim genliği ise 10/15/20 mm arasında seçilebilir. Bu titreşim hareketi, taneler üzerinde kesme kuvveti uygulamaktadır. Titreşim artırılması tenörü arttırmakta ancak verimi düşürmektedir.

Pulp Yoğunluğu: MGS'ye beslenen malzemenin pulp yoğunluğu % 10-50 arasında değişiklik gösterebilir. Eğer beslenecek pulpün yoğunluğu daha fazlaysa, yıkama suyu buna göre ayarlanabilir.



Şekil 2.6. Mozley Multi Gravite ayırıcı (Kıdıman, 2009)

2.4.3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Farklı manyetik duyarlılığa sahip olan kromit ve gang mineralleri (olivin, serpantin vd.) uygun bir manyetik alan içinde, manyetik kuvvet başta olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin bileşik etkileriyle birbirinden ayrılırlar. Genelde kromitin manyetik alan şiddeti 1,0-1,6 Tesla arasındadır. Ancak kromitin manyetit içermesi durumunda manyetik duyarlılığı artmaktadır. Manyetitin gang minerallerine bağlı olması durumunda ise gangın manyetik duyarlılığı artmakta ve kromitin gang mineralinden ayrılması güçleşmektedir (Kıdıman, 2009).

Kromit cevherlerinin manyetik alanda zenginleştirilmesine aşağıdaki iki durum neden olabilir. Bunlar:

- Cevherin çok ince tanelerde serbestleşmesi (-0,200 mm),
- Gang minerallerinden olivinin ağırlıklı olarak fazla bulunması ve olivinin kromite yakın yoğunluk göstermesinden dolayı gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilememesidir (Er, 2011).

Kromitlerin manyetik özgül duyarlılığı $650-2,000 \times 10^6 \text{ g/cm}^3$ ve manyetik duyarlılığı $3,000-7,500 \times 10^6$ civarında değişmektedir. Bu nedenler yapısal durumuna göre kromitler 6,000-15,000 Gauss şiddetindeki manyetik alanlarda çekilebilirler. Cevherin ince boyutlara öğütülmesi gerektiğinden yüksek alan şiddetli yaşı manyetik ayırıcılar tercih

edilirler. Cevher (-0,2 mm'den) iri boyutlarda serbestleşiyorsa kuru manyetik ayırma uygun olabilir (Kıdımın, 2009).

Manyetik ayırmada, verimin yüksek olabilmesi için, malzemenin birbirine yakın boyutlarda sınıflandırılmış olması gerekir. Ayrıca, kuru manyetik ayırma uygulanıyorsa nem içermemesi istenir. Manyetik ayırma yöntemi tek başına veya diğer yöntemlerde birlikte 3-0,1 mm arasındaki tanelere uygulanır (Ağaçayak, 2004).

2.4.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme

Minerallerin iletkenlik farkına dayanan ve mineral tanelerinin kuru olarak zenginleştirme için uygulanan yöntem, elektrostatik zenginleştirme adı verilmektedir (Er, 2011).

Krom cevherinde, genellikle sallantılı masa ile zenginleştirilmiş ürünlerden yüksek kalitede konsantr elde edilmiştir. Elektrostatik ayırıcılar ile zenginleştirmede kromit-iletken, olivin-yalıtkan olduğundan birbirinden ayrılabilir.

Elektrostatik ayırma ile zenginleştirmenin, kromit cevherine uygulanması pek yaygın değildir.

2.4.5. Flotasyon ile zenginleştirme

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellik farklılıklarından yararlanılarak bazı minerallerin su içinde bastırılması bazılarının da yüzdürülmesi ile gerçekleştirilen zenginleştirme işlemi flotasyon olarak isimlendirilir.

Flotasyon yöntemi ile gang oluşturan serpantin, olivin gibi minerallerin kromitten ayrılması için kullanılmaktadır. Bu zenginleştirme gang bastırma, kromiti yüzdürme şeklinde olabileceği gibi gangı yüzdürme kromiti bastırma şeklinde de olabilir. Kromiti bastırma için dextrin kullanılır (Kıdımın, 2009).

Kromit cevherlerinde gang mineralleri olarak bulunan kromit $pH=2-5$ 'de, olivinler $pH=5-7$ 'de, serpantinler ise $pH= 3-12$ ' de anyonik kollektörlerle yüzebilmektedir (Ağaçayak, 2004).

Kromit flotasyonunun geniş ölçüde uygulanmıyışı gang minerallerinin ayrılma güçlüğü kadar fiyat ve satış durumlarındaki dengesizliğe de bağlıdır. Çünkü flotasyon yöntemi diğer yöntemler göre daha pahalıdır (Turgut, 1995).

2.5. Dünyada ve Türkiye’de Krom Madenciliği

2.5.1. Dünyada krom madenciliği

2017 rakamlarıyla dünya krom cevher rezervleri; satılabilir derece cevher olarak (% 45 Cr_2O_3 içeren) rezerv olarak yaklaşık 510,000,000 ton olmak üzeri toplamda yaklaşık 12 milyar ton’dur. Krom metali (Cr) bazında, dünyada bilinen 3,5 milyar ton dolayındaki tanımlanmış rezervin % 95’i coğrafi olarak Güney Afrika ve Kazakistan’da toplanmıştır. Dünya kromit rezervleri Çizelge 2.10’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Dünya krom yataklarının büyük bir bölümü stratiform tipte yataklardır (USGS, 2018).

2.5.2. Dünya krom üretimi ve tüketimi

Dünyada ilk kez krom cevher üretimi 1797 yılında Urallarda yapılmıştır. Türkiyede ise krom cevherinin ilk 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Kromit yataklarının bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom üretiminde önemli bir yere sahip hale gelmiştir (Kıdıman, 2009).

Kazakistan, Güney Afrika, Hindistan ve Türkiye dünyada kromit üretimi açısından önde gelen ülkelerdir (Çizelge 2.10). Bunun yanı sıra, Madagaskar, Brezilya, Filipinler, Zimbabve, Finlandiya, Yunanistan kromit üreten ülkeler arasındadır. Dünya krom üretiminin Güney Afrika % 38’ini, Kazakistan % 10’unu, Rusya % 6’sını ve diğer ülkeler ise % 46’sını ihraç etmiştir. Yıllık krom üretimi % 5 oranında artmaktadır (USGS, 2018).

Çizelge 2.9. Dünya krom üreticisi ülkeler (Kıdımın, 2009)

| | |
|---------------|--|
| Avrupa | Makedonya, Finlandiya, Hırvatistan Yunanistan, Yugoslavya, Slovenya, |
| Afrika | Sudan, Güney Afrika, Mısır, Zimbabve, Madagaskar |
| Asya | Kıbrıs, Pakistan, Japonya, Tayland, Hindistan, Umman, Filipinler, İran |
| Okyanusya | Avustralya, Yeni Kaledonya |
| Amerika | Brezilya, Arjantin, Kolombiya |
| Diğer Ülkeler | Türkiye, Arnavutluk, Vietnam, Rusya, Kazakistan, Küba, |

Çizelge 2.10. Dünya kromit üretimi ve rezervi (USGS, 2018)

| Ülkeler | Maden Üretimi (x1000) ton | | Rezerv (2016) (x1000 ton) | Rezerv (2017) (x1000 ton) |
|---------------|---|--------|------------------------------|------------------------------|
| | 2016 | 2017 | | |
| | %45 Cr ₂ O ₃ içeren | | | |
| A.B.D | - | - | 620 | 620 |
| Hindistan | 3,200 | 3,200 | 54,000 | 54,000 |
| Kazakistan | 5,380 | 5,400 | 230,000 | 230,000 |
| Güney Afrika | 14,700 | 15,000 | 200,000 | 200,000 |
| Türkiye | 2,800 | 2,800 | 12,000 | 26,000 |
| Diğer Ülkeler | 4,160 | 4,200 | - | - |
| Dünya Toplamı | 30,200 | 31,000 | 500,000 | 510,000 |

2.5.3. Türkiye’de krom madenciliği

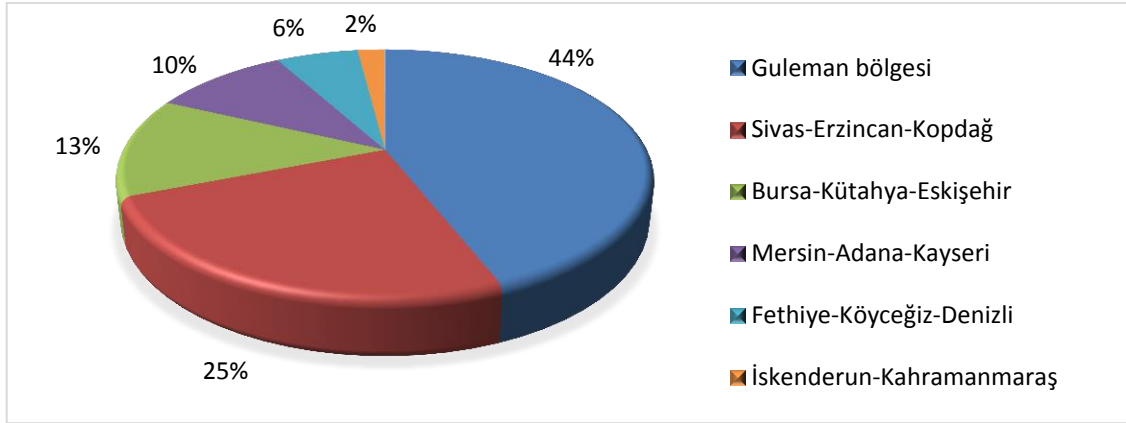
Türkiye yeraltı doğal kaynaklarca zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan birisi de Krom cevheridir. Türkiye’de krom cevherinin ilk 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Kromit yataklarının içerisinde bulunduğu ultrabazik kayalar, ofiyolit topluluğuna ait olup Alp orojen kuşağı boyunca yerleşmişlerdir. Türkiye’de geniş alanlar kaplayan ultrabazik kayalar ve bu kayaların içerisinde yer alan kromit yatakları, podiform tipi yatakları olarak sınıflandırılmıştır. Alpin tip yatakların en belirgin özellikleri, sergiledikleri karmaşık yapı ilişkileri, dokusal özellikleri ve küçük boyutlu oluşlarıdır. Stratiform tipi yataklara göre Cr₂O₃ tenörü daha geniş bir aralıkta değişen podiform tip yataklarda FeO (toplam demir) tenörü fazla bir değişiklik göstermemektedir. Türkiye’de bulunan kromit yatakları, peridotitler içerisinde ülke geneli yayılmış, ancak belirgin bir dağılım düzeni göstermemektedir. Alpin tip krom yatakları rezervlerinin boyutu yönüyle stratiform tip yataklardan çok küçüktürler (Til, 2015).

2.5.3.1. Türkiye krom yatakları ve rezervleri

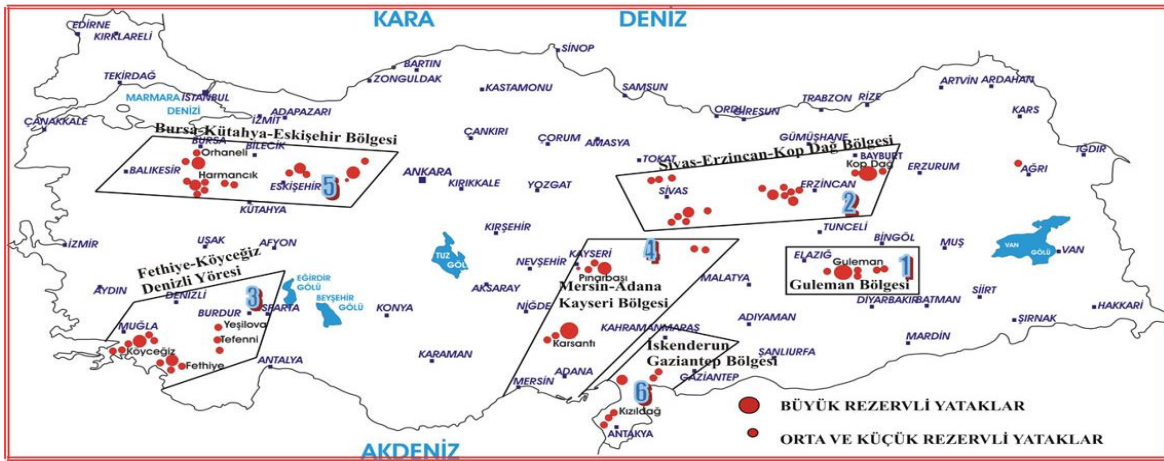
Krom yataklarının içinde bulunduğu peridotit genel ismiyle anılan ultrabazik kayalar, Türkiye’de geniş alanlar kaplarlar. Türkiye’de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin peridotitler içinde ülke genelin yayılmış durumdadır. Türkiye’de 1000 kadar tek veya grup halinde krom yatağı cevheri zuhuru bulunmaktadır. Coğrafik yönden krom yataklarının dağılımı 6 bölgede toplanabilir (Şekil 2.8). Bu bölgelerdeki bilinen önemli zuhurlar % Cr₂O₃ tenör değerleri ile aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.11) (Til, 2015). Şekil 2.7’de Türkiye krom rezervlerinin bölgelere göre dağılım oranları verilmiştir.

Çizelge 2.11. Türkiye’deki krom yatakları, tenör ve rezervleri (Til, 2015)

| Bölge | Yatak | Tenör % | Rezerv (bin ton) |
|--------------------------------|---------------------------|---------|------------------|
| Guleman (Elazığ) | Batı Kef | 33 | 6,800 |
| | Sori Ocakları | 42-48 | 2,500 |
| | Doğu Kef | 40-45 | 500 |
| | Kapın | 43-47 | 700 |
| Sivas Erzincan Kopdağ | Erzincan-Kopdağ | 38-54 | 3,600 |
| | Karadere | 43-44 | 55 |
| | Sivas-Kangal-Karanlıkdere | 5-15 | 2,300 |
| Bursa Kütahya Eskişehir | Harmancık-Başalan | 20 | 163 |
| | Miran-Hudut-Koca | 43 | 120 |
| | Ömeraltı-Kınalıbatak | 23 | 100 |
| | Orhaneli-Kırocak | 5-30 | 40 |
| | Kömürlük | 15-40 | 53 |
| | Eskişehir-Karaburhan | 22-26 | 1,800 |
| | Kavak | 30-45 | 1,000 |
| | Eskişehir-Karacaören | 15-45 | 35 |
| Mersin Adana Kayseri | Büyükorhan-Kırocak | 5-30 | 40 |
| | Adana-Aladağ | 5,6 | 198,000 |
| | Kayseri-Pınarbaşı-Dedeman | 10-30 | 790 |
| Fethiye Köyceğiz Denizli | Tarla-Ocak | 10-20 | 300,000 |
| | Üzümlü-Sazlı | 36 | 100 |
| | Karaismailler | 30-38 | 800 |
| | Kazandere | 37,5 | 236 |
| | Biticealen | 44-48 | 102 |
| İskenderun Kahramanmaraş | Kandak | 40-46 | 100 |
| | Hatay-Kızıldağ | 34-44 | 117 |



Şekil 2.7. Türkiye krom rezervlerinin bölgelere göre dağılım oranları (Til, 2015)



Şekil 2.8. Türkiye Krom yataklar haritası (MTA, 2018)

2.5.4. Üretim yöntemi

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna ve topoğrafyaya bağlı olarak yeraltı veya açık işletme yöntemleriyle işletilmektedirler. Dünyanın en büyük iki üreticisi Kazakistan ve Güney Afrika'dır. Kazakistan'daki yatakların çoğunlukla açık işletme yöntemleriyle işletildiği belirtilmektedir. Türkiyede krom madenciliği genelde açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır (Kıdımın, 2009).

Krom cevherleri için Türkiye'de ve Dünyada genellikle gravite zenginleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Kromitin yoğunluğu $4.1-4.9 \text{ gr/cm}^3$ ve gang mineralleri daha düşük yoğunlukta olduğu için belli bir boyutta yoğunluk farkından dolayı ayırma yapılabilir. Manyetik separasyon, ağır sıvı ve flotasyon yöntemleri de bazı işletmelerde kullanılan zenginleştirme yöntemleridir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Kromit atıklarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmış bazı çalışmalar

Bu bölümde, zenginleştirme esnasında artığa kaçan kromit atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesine ilişkin daha önce yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak MGS ve sallatılı masa kullanılmıştır.

- **“Kavak Yöresi Kromit Artıklarının MGS Cihazı Kullanılarak Zenginleştirilmesi”, Eskibalci, F., Çinku, K., Kurşun, İ., Özkan, Ş.Ü., 2002.**

Bu zenginleştirme çalışmaları Türkiye'deki özel bir şirkete ait Kavak Krom konsantratöründen getirilen tesis atıklarından alınan örnekler ile yapılmıştır. Yapılan kimyasal analizlerden numunenin % 13,75 Cr_2O_3 , -53 mikron tane boyu altındaki malzemenin (toplam miktarın % 32,20'si) % 18,73 Cr_2O_3 ve +53 mikron tane boyu üzerindeki malzemenin (toplam miktarın %67,80'i) % 11,39 Cr_2O_3 içerdiği tespit etmiştir.

Çalışmada MGS ile zenginleştirme yönteminden yararlanılmıştır. MGS deneylerinde kullanılan numune % 18,74 Cr_2O_3 içermektedir. Zenginleştirme testlerinde % 64,42 Cr_2O_3 kazanma verimi ile % 47 Cr_2O_3 tenörlü konsantre üretilmiştir. Yapılan testlerde tambur eğimi, tambur dönüş hızı, frekans ve genlik, pulpte katı oranı ile yıkama suyu miktarının ayırmaya etkisi araştırılmıştır.

- **“Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ile Değerlendirilmesi”, Onal, G., Gürkan, V., Acarkan, N., 2005.**

Fethiye-Üçköprü ve Kavak kromit zenginleştirme tesislerinin artıkları ile yapılan bir çalışmadır. Kavak ve Fethiye krom artıklarının elek analizleri yapılarak, her fraksiyondaki Cr_2O_3 tenörleri bulunmuştur. Yapılan çalışmalar her iki atıkta da Cr_2O_3 tenörünün boyut küçüldükçe arttığını, Fethiye atığının % 59,09'unun, Kavak artığının ise % 90,9'unun 0,1 mm altında olduğunu göstermiştir. 0,1 mm altındaki Cr_2O_3 tenörünün Fethiye'de % 25,5, Kavak'da % 16,37 Cr_2O_3 olduğu görülmüştür. Ayrıca, kromit tanelerinin 0,1 mm altında % 85-90 oranında serbest tanelerden oluştuğu saptanmıştır.

0,1 mm altındaki atıklar ile yapılan ön zenginleştirme deneyleri sonucunda, % 10 katı pulp yoğunluğu, 6 amper (23.000-24.000 gauss) manyetik alan şiddeti ve 250 cc/dakika besleme hızı ile Fethiye atığından, %32,73 Cr₂O₃ tenörlü ön konsantrenin % 89,84 verimle, Kavak artığından % 21,27 Cr₂O₃, tenörlü ön konsantrenin % 78,5 verimle elde edilebileceği anlaşılmıştır.

• **Etibank Güleman Kef Konsanratör Tesisi Kromit Artıklarının Değerlendirilmesi, Aydın, M.E., 2001.**

Güleman kef konsantratör tesisinin 10 yıllık bir sürede barajda stoklanan atıklarını değerlendirmek amacıyla temsili numuneler alınmıştır. Numune üzerinde yapılan elek analizi sonucunda malzemenin % 57,4'ünün 0,3 mm üzerinde ve % 20,98 Cr₂O₃ tenörlü, geri kalan % 42,6'sının 0,3 mm'nin altında ve % 21,21 Cr₂O₃ tenörlü olduğu belirlenmiştir. Serbestleşme boyutunu tesbit etmek amacıyla bir dizi deney yapılmış ve en uygun boyutun -0,3 mm olduğu tesbit edilmiştir. En uygun boyutta olan -0,3 mm üzerinde kromitin gang mineralleriyle yeterli yoğunluk farkı olduğu için sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesine karar verilmiştir.

Kef konsantratör tesisi atıkları üzerinde yapılan sarsıntılı masa çalışmaları sonucunda, % 57,06 oranında % 34,08 Cr₂O₃ tenörlü konsantre % 90'lık verimle elde edilmiştir. Daha yüksek tenörlü bir konsantre elde etmek için masa konsantresi manyetik ayırıcıyla temizlemeye tabi tutulmuştur. Manyetik zenginleştirme sonucunda % 41,8 oranında %45,21 Cr₂O₃ tenörlü konsantre % 87,46'lık verimle elde edilmiştir. Bu şekilde % 21,24 Cr₂O₃ içeren kef konsantratör atığı zenginleştirilerek % 45,21 Cr₂O₃ tenörlü temiz konsantre elde edilmiştir. Elde edilen konsantre metalurjik özellikte olup, biriket tesisinde işlenerek ferrokrom tesislerinde değerlendirme olanağı bulunmaktadır.

Kef konsantratör atığının sallatılı masa ile değerlendirilmeyen % 20'lik miktara sahip % 21,09 Cr₂O₃ içerikli -0,1 mm boyutundaki kısmının da yüksek alan şiddetli manyetik separator veya flotasyon ile değerlendirilmesi yönünde öneride bulunulmuştur.

- **“Kavak-Krom Artıklarının Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması”, Çetinkaya, F., 2004,**

Kavak-Krom konsantre tesisinin %13,76 Cr₂O₃ tenörlü atıklarının zenginleştirilme çalışmaları yapılmıştır. Gravite zenginleştirme yöntemlerinden sallantılı masa ve MGS kullanılmıştır. (-1000+500), (-500+300), (-300+150) µm tane iriliğindeki numunler ile sallantılı masa deneyleri, daha sonra -300 µm tane iriliğindeki numunler ile MGS deneyleri yapılmıştır. Konsantre %60,02 verimli kazanılmıştır. MGS ile yapılan deneylerde ise %23,02 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %68,35 verimli kazanılmıştır.

Sallantılı masada yapılmış çalışmada en iyi sonuçların alındığı deney şartları aşağıda verilmiştir.

Malzeme: 500 gr, tane iriliği: (-300+150), pulp yoğunluğu: % 33 K, eğim: 4⁰, genlik:10 mm, frekans: 5 cps, yıkama suyu miktarı: 9 lt/dk, besleme süresi: 90 sn, deney süresi: 9 dk.

MGS’de yapılmış çalışmada en iyi sonuçların alındığı deney şartları aşağıda verilmiştir.

Malzeme: 500 gr, beslenen tenör: % 14,6, tane iriliği (-300+150), pulp yoğunluğu: % 33 K, Eğim: 8⁰, genlik: 10 mm, frekans: 5,7 cps, tambur hızı: 150 dev/dak, yıkama suyu miktarı: 10 lt/dak, besleme süresi: 45 sn, deneyi süresi: 3 dk.

- **Multi Gravite Cihazlarının Krom Cevher Zenginleştirmesindeki Etkilerinin Araştırılması, Er, B., 2011.**

Bu çalışma, Adana ili, Aladağ ilçesinde bulunan Sivişlitepe ocağından temin edilen %18,62 Cr₂O₃ tenörlü kromit cevher üzerinde MGS’nin krom cevheri zenginleştirmesindeki etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Deneylerde MGS, Falcon ve Knelson konsantratörleri kullanılmıştır.

Multi gravite serepatör deneylerinde besleme tane boyutu sabit tutulmuş; tambur eğim açısı, tambur dönüş hızı, besleme katı oranı yıkama suyu miktarı değiştirilen parametreler olarak belirlenmiştir. MGS deney sonuçlarına göre, tambur devir sayısının konsantre tenörü ve verimi üzerinde önemli etkisi varken, tambur eğiminin yüksek tutulması konsantre tenörünü olumlu yönde etki vermektedir. Daha yüksek konsantre verimi için, % katı oranı düşük seviyelerde tutulmalıdır. Yıkama suyu miktarının etkisinin az olduğu anlaşılmıştır. Serbestleşme tane boyutu klasik gravite yöntemleri için çok ince olan krom cevherlerinin, serbestleşme boyutuna indirilerek multi gravite seperatörde yüksek tenör ve randımanla kazanımı mümkün olabilecektir.

Falcon deney sonuçlarına göre artan su basıncı değerleriyle birlikte kromit tenörünün de arttığı ancak konsantre veriminin 40 Hz (78 G), 45 Hz (99 G) ve 50 Hz (123 G) dönüş hızlarının genel olarak düştüğü görülmüştür. 55 Hz (148 G) ile yapılan deneylerde ise artan su basıncı değerleriyle birlikte konsantre verimi de artış göstermiştir. Buna göre; 55 Hz-8 PSI ile gerçekleştirilen deney sonucunda Cr_2O_3 tenörü % 57,73 ve konsantre verimi % 63,95 olarak; 55 Hz-10 PSI ile gerçekleştirilen deney sonucunda ise Cr_2O_3 tenörü % 56,75 ve konsantre verimi % 63,49 olarak gerçekleşmiştir. 55 Hz dönüş hızında su basıncının arttırılarak yapılacak deneyler ile daha yüksek Cr_2O_3 tenörlerine olmasa da daha yüksek konsantre verimlerine ulaşabileceği öngörülmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bursa-Güdecek krom İşletmesi, Bursa İli, Mustafakemalpaşa ilçesi, Ömeraltı Köyü, Güdecek Sırtı mevkiinde bulunmaktadır.

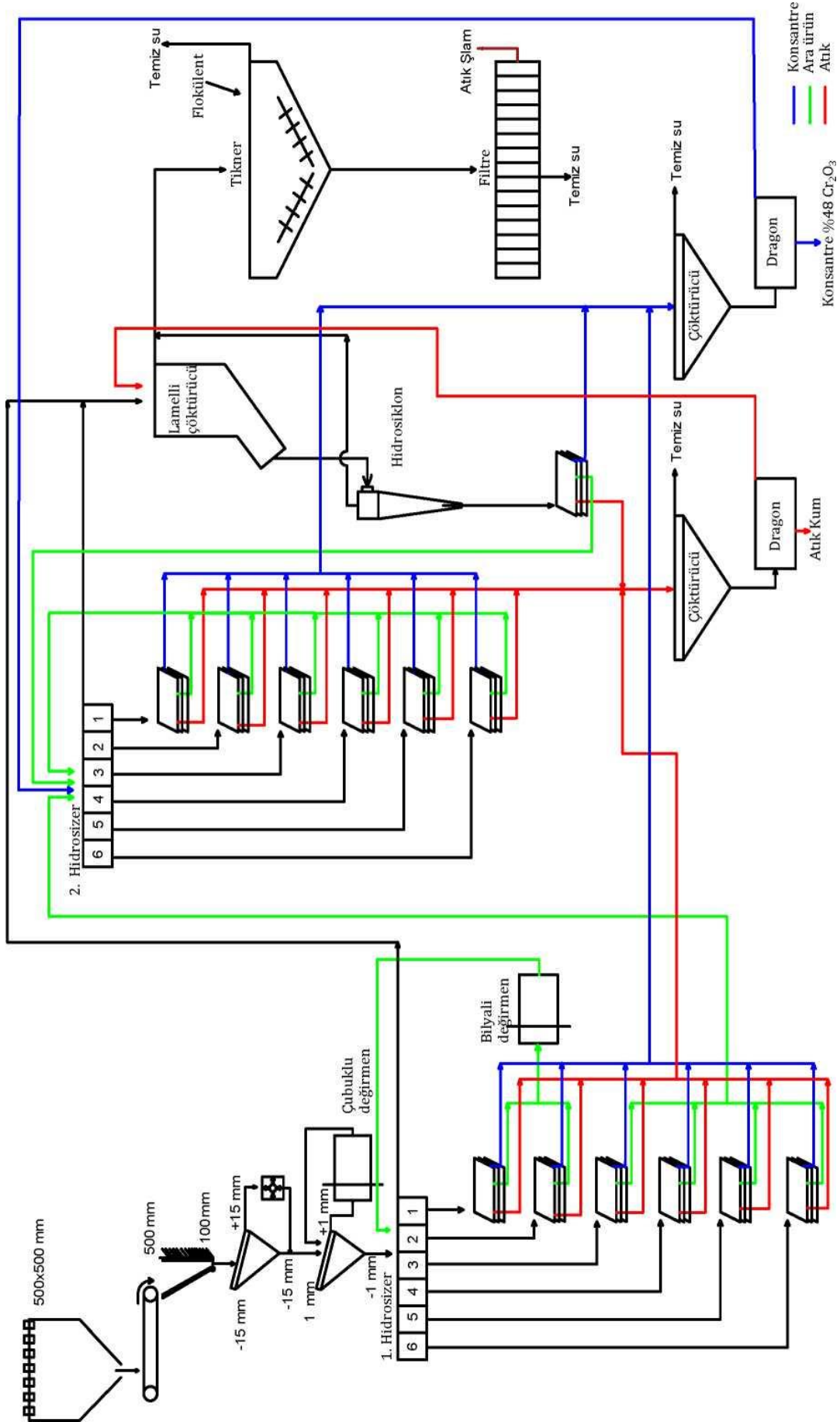
Bursa-Güdecek krom işletmesinin Mustafakemalpaşa bölgesinde yer alan ocakları 2007 yılında faaliyete geçmiştir. Bu ocakların bir bölümünü Koç Grubu şirketlerinden Demir Export AŞ. işbirliği ile işletmektedir. Yıllık yaklaşık 100,000 ton tüvenan kromit cevheri üretimi yapılmaktadır. Üretilen yüksek tenörlü cevher parça krom olarak doğrudan ihraç edilmektedir. Cevherin geri kalan kısmı zenginleştirmek üzere Kromit Zenginleştirme Tesisine sevk edilmektedir. Ocaklar açık işletme yöntemi ile işletmektedir.

Bursa-Güdecek kromit zenginleştirme tesisi, aynı bölgedeki ocakların merkezinde konumlandırılmıştır ve tesis 2008 yılında faaliyete alınmıştır. Tesis yıllık yaklaşık 30,000 ton % 48 Cr_2O_3 tenörlü konsantre kromit üretim kapasitesine sahiptir. Üretilen konsantre Avrupa ve Çin piyasaları başta olmak üzere yurtdışına ihraç edilmektedir. Tesiste gravimetrik zenginleştirme yöntemleri kullanılarak (sallantılı masa) kromit konsantresi üretimi yapılmaktadır (Anonim, 2012).

Tesis kapasitesi 40 ton/saat, besleme tenörü %15-30 Cr_2O_3 , elde edilen konsantrenin ortalama tenörü yaklaşık % 48 Cr_2O_3 ve üretilen konsantre miktarı 3,8 ton/saattir. Tesis atıkları “atık stok sahası”nda biriktirilmekte ve Cr_2O_3 içerikleri % 5 ile % 11 arasında değişmektedir. 11 yılı aşkın süredir kullanılan ve halen kullanılmakta olan atık sahasında 3,5 milyon tona yakın atık bulunmaktadır. Konsantratör tesisi fotoğrafları Şekil 4.1’de, akım şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Bursa-Güdecek konsantre üretim tesisi (Anonim, 2012)



Şekil 4.2. Bursa-Güdecek krom tesis akım şeması

Kromit zenginleştirme tesisinde kırma-eleme ünitesinden gelen -15 mm boyutundaki cevher çubuklu değirmenlerde -1 mm altına kadar öğütülmektedir. Değirmen çıkışında boyut kontrolü eleklerle yapılmaktadır. Çubuklu değirmende öğütülen cevher 1. Hidrosizer’da 6 farklı fraksiyona ayrılmakta, her fraksiyon farklı masalarda zenginleştirilmektedir. İri boyuttaki cevherin zenginleştirildiği masaların ara ürünleri bilyalı değirmende öğütüldükten sonra 1. Hidrosizer’a beslenmektedir. Diğer masalardan alınan ara ürünler 2. Hidrosizer’a gönderilmektedir.

2. Hidrosizer’da 6 farklı fraksiyona ayrılan cevher farklı masalarda zenginleştirilmektedir. Bu kademede ortaya çıkan ara ürünler 2. Hidrosizer’e geri gönderilmekte, sınıflandırmadan sonra yeniden zenginleştirme yapılmaktadır. Hidrosizer’lara ait tane boyut dağılımları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Hidrosizer taşanları lamelli çöktürücü ve hidrosiklon kullanılarak susuzlandırıldıktan sonra şlam masalarında zenginleştirilmektedir.

Tesiste kazanılan konsantre ve masa atıkları “dragon” denen susuzlandırıcılardan geçirdikten sonra stoklanmaktadır. Burada stoklanan atık “kum” olarak adlandırılmıştır. Tesiste kullanılmış sulu kısım ise tiknere gönderilerek flokülant ilavesiyle çöktürme yapılmaktadır. Tikner taşanı tesisin su ihtiyacı için kullanılmakta, çöken katı ise pres filtrelerde susuzlandırıldıktan sonra atık sahasında stoklanmaktadır. Bu atık “şlam “ olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 4.1. Bursa-Güdecek Tesisi hidrosizerler tane dağılımı

| Aralık mm | 1 NOLU HİDROSİZER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|--|
| | 1.GÖZ | | | 2. GÖZ | | | 3.GÖZ | | | 4.GÖZ | | | 5.GÖZ | | | 6.GÖZ | | | | | | |
| | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | | | | |
| +1 | 1,11 | 1,11 | 100 | 1,01 | 1,01 | 100 | 0,39 | 0,39 | 100 | 0,23 | 0,23 | 100 | | | | | | | | | | |
| -1+0.700 | 39,91 | 41,02 | 98,89 | 42,32 | 43,33 | 98,99 | 33,53 | 33,92 | 99,61 | 24,79 | 25,02 | 99,77 | 14,45 | 14,45 | 100 | | | | | | | |
| -0.700+0.500 | 0,87 | 41,89 | 58,98 | 1,50 | 44,83 | 56,67 | 0,70 | 34,62 | 66,08 | 0,42 | 25,44 | 74,98 | 0,17 | 14,62 | 85,55 | | | | | | | |
| -0.500+0.250 | 38,46 | 80,35 | 58,11 | 38,16 | 82,99 | 55,17 | 43,43 | 78,05 | 65,38 | 38,02 | 63,46 | 74,56 | 29,08 | 43,70 | 85,38 | 2,08 | 2,08 | 100 | | | | |
| -0.250+0.180 | 15,37 | 95,72 | 19,37 | 13,29 | 96,28 | 17,01 | 17,76 | 95,81 | 21,95 | 27,61 | 91,07 | 36,54 | 28,60 | 72,30 | 56,30 | 16,76 | 18,84 | 97,92 | | | | |
| -0.180+0.125 | 3,81 | 99,53 | 4,28 | 3,10 | 99,38 | 3,72 | 3,45 | 99,26 | 4,19 | 7,91 | 98,98 | 8,93 | 18,89 | 91,19 | 27,70 | 35,87 | 54,71 | 81,16 | | | | |
| -0.125+0.074 | 0,39 | 99,92 | 0,47 | 0,46 | 99,84 | 0,62 | 0,60 | 99,86 | 0,74 | 0,88 | 99,86 | 1,02 | 6,13 | 97,32 | 8,81 | 26,04 | 80,75 | 45,29 | | | | |
| -0.074+0.063 | 0,08 | 100 | 0,08 | 0,16 | 100 | 0,16 | 0,14 | 100 | 0,14 | 0,14 | 100 | 0,14 | 0,10 | 97,42 | 2,68 | 0,69 | 81,44 | 19,25 | | | | |
| -0.063+0.045 | | | | | | | | | | | | | | | | 1,10 | 98,52 | 2,58 | 7,20 | 88,64 | 18,56 | |
| -0.045+0.032 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,62 | 99,14 | 1,48 | 4,02 | 92,66 | 11,36 | |
| -0.032 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,86 | 100 | 0,86 | 7,34 | 100 | 7,34 | |
| Toplam | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | |

| Aralık mm | 2 NOLU HİDROSİZER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|--|--|--|--|
| | 1.GÖZ | | | 2. GÖZ | | | 3.GÖZ | | | 4.GÖZ | | | 5.GÖZ | | | 6.GÖZ | | | | | | | |
| | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | % | + | - | | | | | |
| +1 | 0,48 | 0,48 | 100 | 0,35 | 0,35 | 100 | 0,21 | 0,21 | 100 | | | | | | | | | | | | | | |
| -1+0.700 | 25,27 | 25,75 | 99,52 | 25,10 | 25,45 | 99,65 | 19,56 | 19,77 | 99,79 | 14,24 | 14,24 | 100 | 8,21 | 8,21 | 100 | 0,56 | 0,56 | 100 | | | | | |
| -0.700+0.500 | 0,33 | 26,08 | 74,25 | 0,39 | 25,84 | 74,55 | 0,21 | 19,98 | 80,23 | 0,18 | 14,42 | 85,76 | 0,07 | 8,28 | 91,79 | 0,07 | 0,63 | 99,44 | | | | | |
| -0.500+0.250 | 30,29 | 56,37 | 73,92 | 31,39 | 57,23 | 74,16 | 29,02 | 49,00 | 80,02 | 26,22 | 40,64 | 85,58 | 26,79 | 35,07 | 91,72 | 8,59 | 9,22 | 99,37 | | | | | |
| -0.250+0.180 | 17,65 | 74,02 | 43,63 | 18,30 | 75,53 | 42,77 | 20,14 | 69,14 | 51,00 | 30,15 | 70,79 | 59,36 | 27,93 | 63,00 | 64,93 | 28,22 | 37,44 | 90,78 | | | | | |
| -0.180+0.125 | 11,51 | 85,53 | 25,98 | 10,73 | 86,26 | 24,47 | 14,14 | 83,28 | 30,86 | 14,81 | 85,60 | 29,21 | 17,79 | 80,79 | 37,00 | 33,50 | 70,94 | 62,56 | | | | | |
| -0.125+0.074 | 6,62 | 92,15 | 14,47 | 6,83 | 93,09 | 13,74 | 7,62 | 90,90 | 16,72 | 7,89 | 93,49 | 14,4 | 10,43 | 91,22 | 19,21 | 21,67 | 92,61 | 29,06 | | | | | |
| -0.074+0.063 | 0,26 | 92,41 | 7,85 | 0,28 | 93,37 | 6,91 | 0,37 | 91,27 | 9,10 | 0,31 | 93,80 | 6,51 | 0,43 | 91,65 | 8,78 | 0,42 | 93,03 | 7,39 | | | | | |
| -0.063+0.045 | 2,48 | 94,89 | 7,59 | 2,12 | 95,49 | 6,63 | 2,73 | 94,00 | 8,73 | 2,25 | 96,05 | 6,20 | 2,71 | 94,36 | 8,35 | 3,66 | 96,69 | 6,97 | | | | | |
| -0.045+0.032 | 1,54 | 96,43 | 5,11 | 1,54 | 97,03 | 4,51 | 2,00 | 96,00 | 6,00 | 1,28 | 97,33 | 3,95 | 1,14 | 95,50 | 5,64 | 1,13 | 97,82 | 3,31 | | | | | |
| -0.032 | 3,57 | 100 | 3,57 | 2,97 | 100 | 2,97 | 4,00 | 100 | 4,00 | 2,67 | 100 | 2,67 | 4,50 | 100 | 4,50 | 2,18 | 100 | 2,18 | | | | | |
| Toplam | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | 100 | | | | |

4.1. Materyal

Deneyselerde kullanılan numuneler Bursa-Güdecek kromit konsantre tesisi atık sahasından alınmış, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Atık sahasından, kum ve şlam olmak üzere eşit miktarlarda yaklaşık 250 kg temsili numune alınmıştır. Numuneler önce nemini uzaklaştırmak amacıyla oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan numuneler harmanlanmış, numune bölücünden geçirilerek dörde ayrılmıştır. Dörde bölünmüş olan numunelerden biri “şahit numune” olarak saklanmış, kalan üç parça deneysel çalışmalar için ayrılmıştır.

Kum ve şlam numunelerinin elek analizleri yapılmış, Cr_2O_3 dağılımını belirlemek amacıyla her fraksiyon için kimyasal analizler yapılmıştır. Kimyasal analizler Bursa Orhaneli Güdecek Kromit İşletmesi laboratuvarında yapılmıştır (Çizelge 4.2).

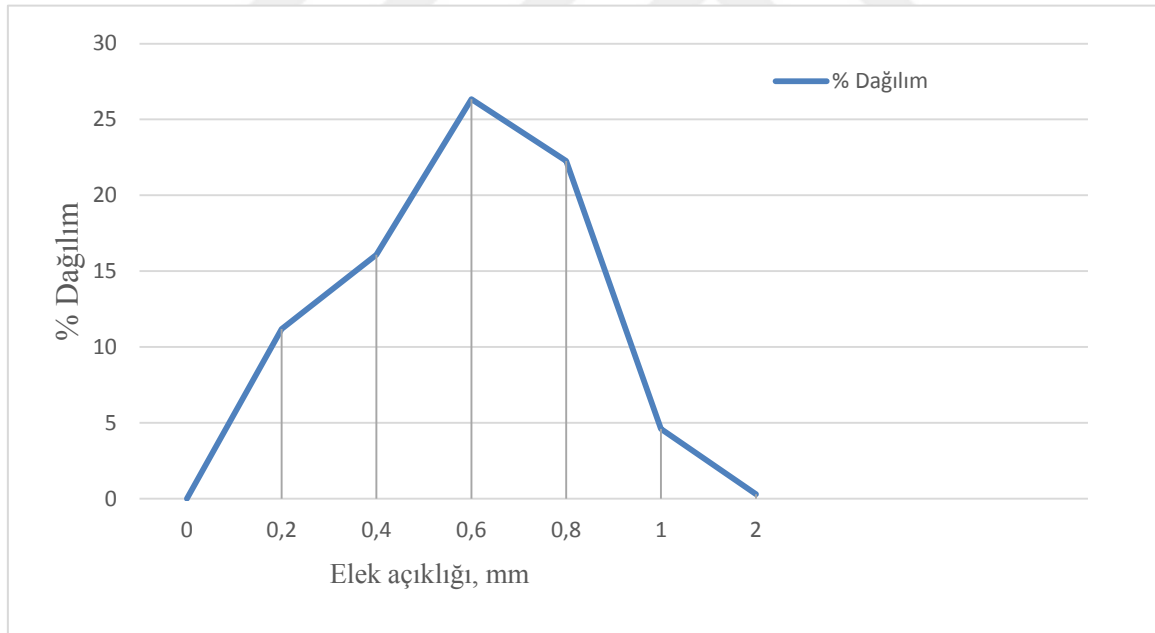
Kromit işletmesinden elde edilen satılabilir konsantre ve parça cevhere ait kimyasal analiz sonuçları, atıklar için yapılan tane boyut analizleri ve Cr_2O_3 dağılımları aşağıdaki çizelgeler/şekillerde verilmiştir.

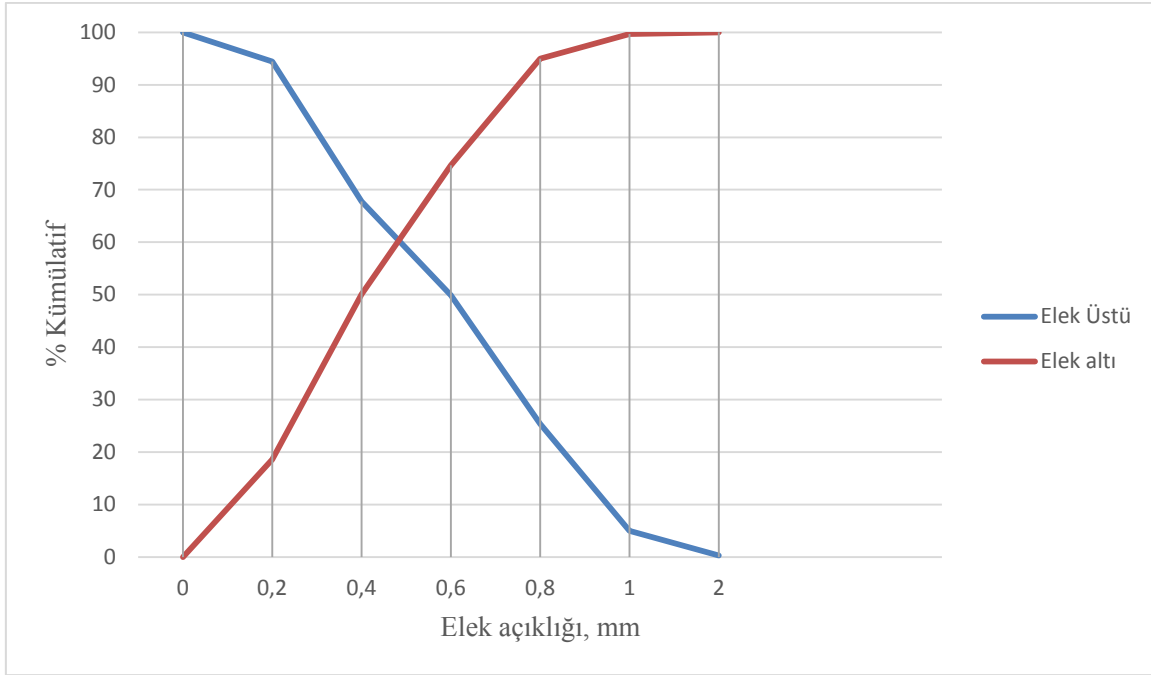
Çizelge 4.2. Bursa-Güdecek cevher ve konsantre kimyasal bileşimi

| Krom konsantre | | Krom Parça | |
|----------------|----------------------|-------------|---|
| Cr_2O_3 | % 46 min/ % 48 basis | Cr_2O_3 | % 40-44 Basis % 42 min % 40 |
| Cr/Fe Ratio | 2,7/1 min. | Cr/Fe Ratio | 2,7/1 min. |
| SiO_2 | % 10 max | SiO_2 | % 13 max |
| Al_2O_3 | % 15 max | Al_2O_3 | % 12 max |
| MgO | % 23 max | MgO | % 23 max |
| P | % 0.01 max | P | % 0.01 max |
| S | % 0.03 max | S | % 0.02 max |
| Size | 0-4 mm % 100 | Size | 0-300 mm % 100 0-10 mm % 30 max, 10-300 mm % 70 min |

Çizelge 4.3. Bursa-Güdecek Kromit atıkları elek analizi ve Cr_2O_3 dağılımı (Kum)

| Elek açıklığı mm | Ağırlık % | Cr_2O_3 % | Kümülatif | | Dağılım % Cr_2O_3 |
|---------------------|--------------|------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| | | | Elek üstü (+) | Elek altı (-) | |
| + 1.70 | 0,34 | 4,13 | 0,34 | 100 | 0,3 |
| -1.70+0.85 | 4,66 | 4,72 | 5,00 | 99,66 | 4,6 |
| -0.850+0.600 | 20,36 | 5,23 | 25,36 | 95,00 | 22,27 |
| -0.600+0.425 | 24,56 | 5,13 | 49,92 | 74,64 | 26,34 |
| -0.425+0.300 | 17,84 | 4,31 | 67,76 | 50,08 | 16,08 |
| -0.300+0.212 | 13,62 | 3,38 | 81,38 | 32,24 | 9,63 |
| -0.212+0.106 | 12,05 | 4,10 | 94,43 | 18,62 | 11,19 |
| -0.106+0.075 | 2,87 | 8,46 | 97,3 | 5,57 | 5,07 |
| -0.075+0.053 | 1,29 | 5,84 | 98,59 | 2,70 | 1,58 |
| -0.053 | 1,41 | 9,95 | 100 | 1,41 | 2,94 |
| Toplam | 100 | 4.78 | | | 100 |

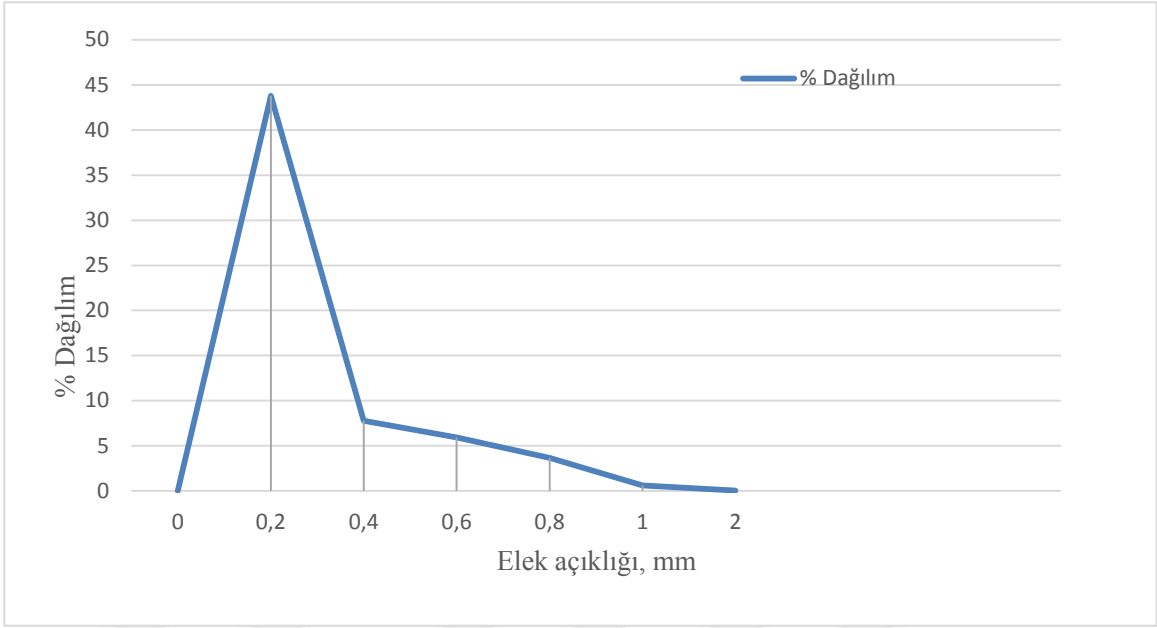
Şekil 4.3. Elek analiz sonuçlarına göre Cr_2O_3 dağılımı (kum)



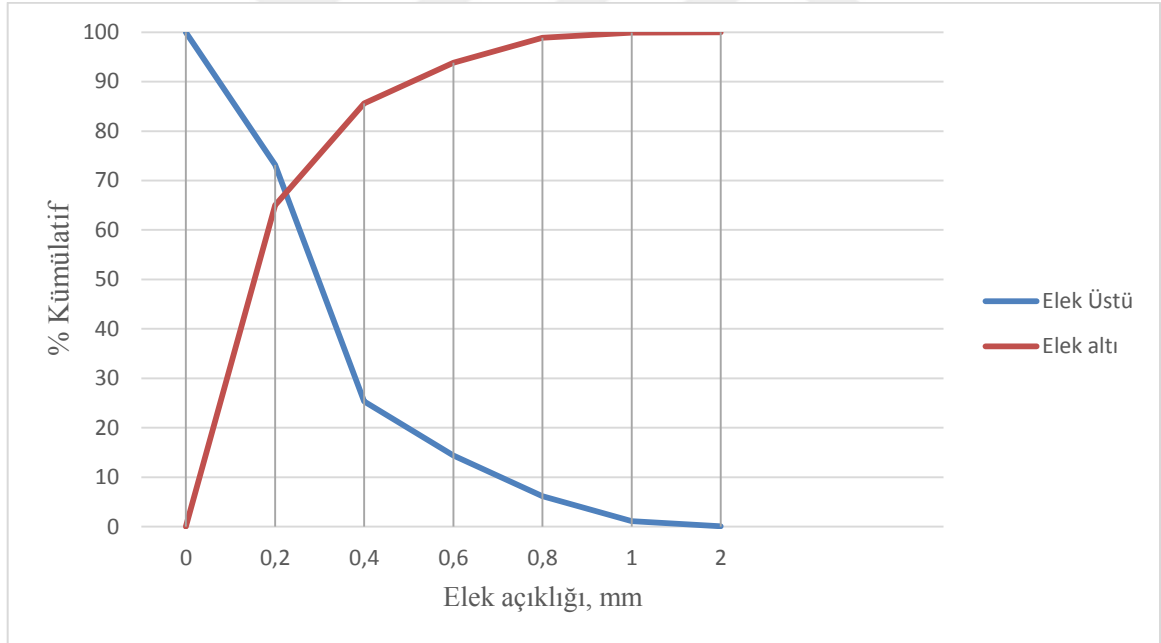
Şekil 4.4. Kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri (kum)

Çizelge 4.4. Bursa-Güdecek Kromit atıkları elek analizi ve Cr_2O_3 dağılımı (Şlam)

| Elek açıklığı mm | Ağırlık % | Cr_2O_3 % | Kümülatif | | Dağılım % Cr_2O_3 |
|---------------------|--------------|------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| | | | Elek üstü (+) | Elek altı (-) | |
| + 1.700 | 0,10 | 4,21 | 0,10 | 100 | 0,05 |
| -1.700+0.850 | 1,01 | 4,83 | 1,11 | 99,9 | 0,63 |
| -0.850+0.600 | 5,07 | 5,65 | 6,18 | 98,89 | 3,67 |
| -0.600+0.425 | 8,21 | 5,65 | 14,39 | 93,82 | 5,94 |
| -0.425+0.300 | 10,94 | 5,55 | 25,33 | 85,61 | 7,77 |
| -0.300+0.212 | 9,64 | 5,04 | 34,97 | 74,67 | 6,22 |
| -0.212+0.106 | 38,23 | 8,94 | 73,20 | 65,03 | 43,79 |
| -0.106+0.075 | 22,50 | 9,04 | 95,70 | 26,80 | 26,05 |
| -0.075+0.053 | 2,60 | 10,28 | 98,30 | 4,30 | 3,42 |
| -0.053 | 1,70 | 11,30 | 100 | 1,70 | 2,46 |
| Toplam | 100 | 7.8 | | | 100 |



Şekil 4.5. Elek analiz sonuçlarına göre Cr_2O_3 dağılımı (şlam)

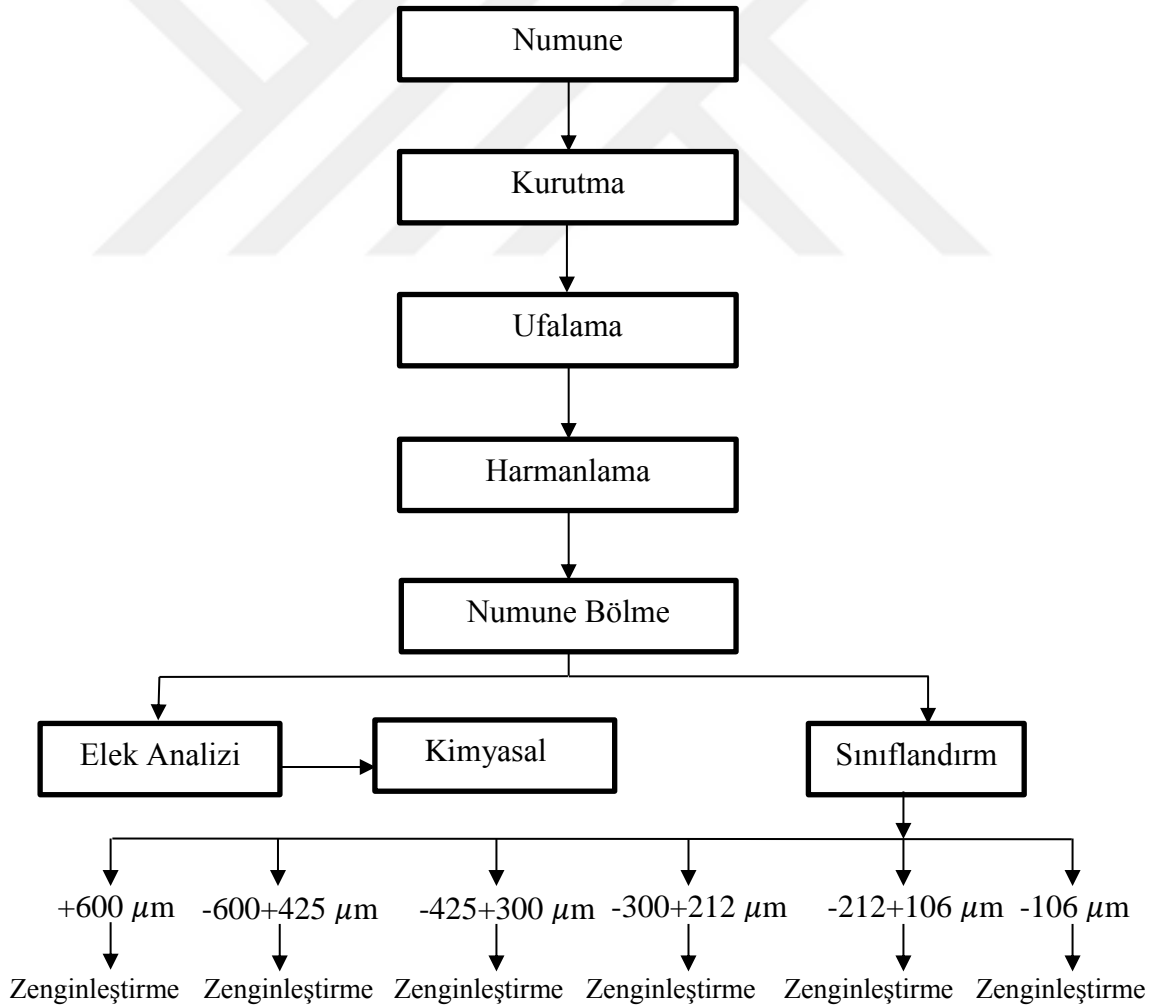


Şekil 4.6. Kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri (şlam)

4.2. Yöntem

Deneyle Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendislik bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarında, kimyasal analizler Bursa-Güdecek Kromit İşletmesi laboratuvarında yapılmıştır.

İşletmeden getirilen numunenin hazırlanması ve deneysel çalışmalarda izlenen yolun basit akım şeması Şekil 4.7’de verilmiştir. Öncelikle kurutma işlemi, ardından kesek olan numuneri ayırma-parçalama amacıyla ufalama yapılmıştır. Daha sonra konileme-dörtleme yoluyla numune bölme yapılmıştır. Ayrılan numunenin bir bölümü ile elek analizleri yapılmış, geri kalanı ise zenginleştirme deneylerinde kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Deneysel çalışmaların basit akım şeması

Deneyleerde boyut küçültmek amacıyla merdaneli krc, sınıflandırmak amacıyla titreşimli elek, zenginleştirme amacıyla sallantılı masa kullanılmıştır.



Şekil 4.8. On alt bölmeli numune bölücü

Deneyleerde kullanılacak numunelerin istenilen boyutlara getirilmesi için ufalama işlemi yapılmıştır. Ufalama işlemi kontrollü şekilde kuru olarak yapılmıştır. Krc olarak merdaneli krc kullanılmıştır (ekil 4.9).



Şekil 4.9. Laboratuvar lekli merdaneli krc

Eleme işlemi için Retsch AS200 test serisi elekler kullanılmıştır (Şekil 4.10). Test serisinde kullanılan elekler 1,700 mm, 0,850 mm, 0,600 mm, 0,425 mm, 0,300 mm, 0,212 mm, 0,106 mm, 0,075 mm ve 0,053 mm göz açıklıklarına sahiptir. Elek analizi için yapılan eleme işlemi kuru olarak yapılmıştır.

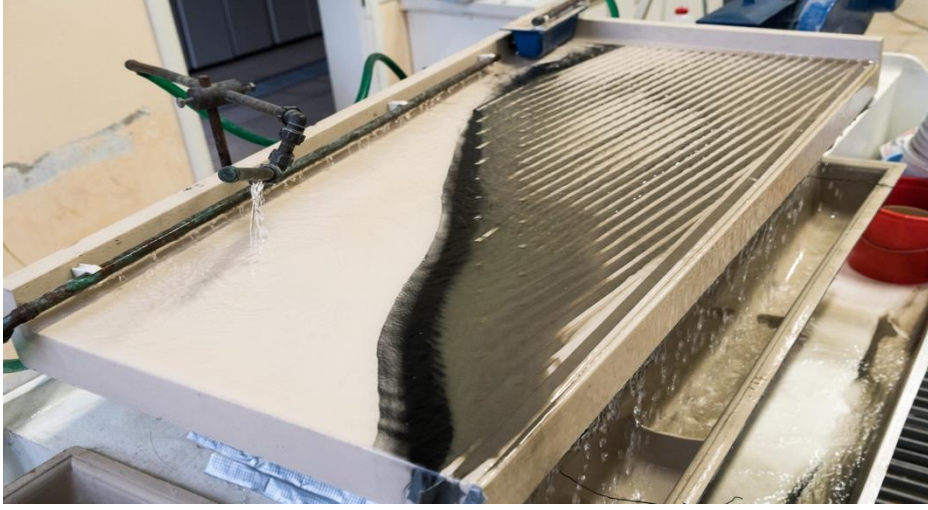


Şekil 4.10. Laboratuvar ölçekli titreşimli elek

Zenginleştirme deneyleri Wilfley marka laboratuvar tipi sallantılı masa ile yapılmıştır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de kullanılan sallantılı masa görülmektedir.



Şekil 4.11. Wilfley laboratuvar ölçekli sallantılı masa



Şekil 4.12 Wilfley laboratuvar ölçekli sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme deneyleri

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme çalışmaları

Numunelerin elek analizleri ve dağılımlarına bakıldığında, şlam ve kum sonuçlarının birbirine benzerlik gösterdiği görülmektedir. Atık sahasındaki şlam ve kum miktarları aynı orandadır. Atıkların değerlendirilmesi için yapılacak tesis ölçeğindeki bir çalışmada atıkların birlikte zenginleştirmeye verilmesi kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle, zenginleştirme çalışmalarında şlam ve kum aynı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler kullanılmıştır.

Sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme deneyleri, +0,600 mm, -0,600+0,425 mm, -0,425+0,300 mm, -0,300+0,212 mm, -0,212+0,106 mm, -0,106 mm fraksiyonlarına ayrılmış numuneler ile yapılmıştır. Çalışmada yıkama suyu miktarı, pulp yoğunluğu, frekans, genlik sabit tutularak, tane boyutunun ve masa eğiminin etkileri belirlenmiştir. Sabit tutulan parametrelerdeki seçilen değerler, daha önce yapılmış benzer çalışmalarda alınan sonuçlar ile makroskobik ve mikroskobik çalışmaların sonuçları göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

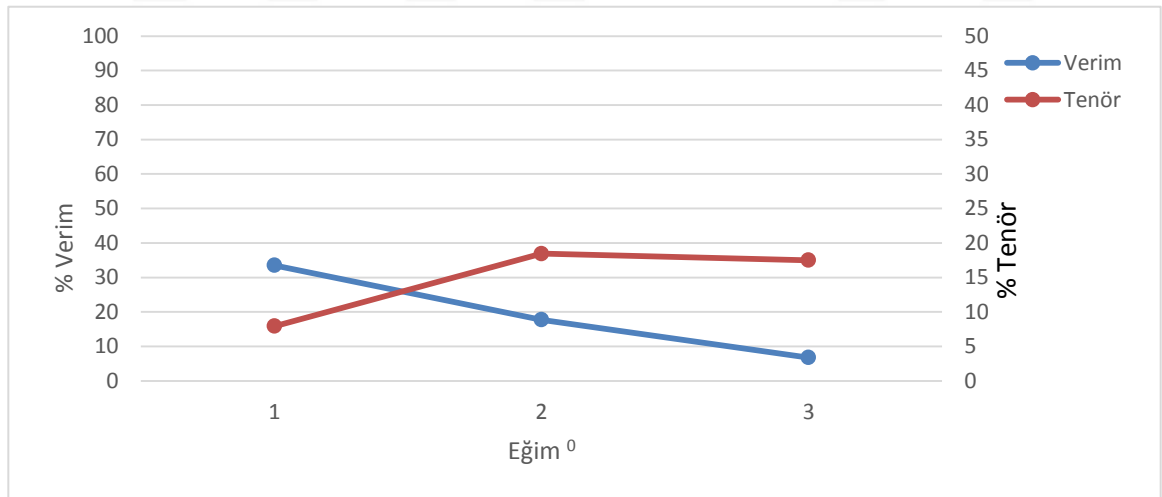
5.1.1. +0,600 mm boyut grubunda yapılan deneyler

Deney şartları:

| | | |
|---|--|---------------------|
| Besleme miktarı: 1400 gr | Eğim: 1 ⁰ , 2 ⁰ , 3 ⁰ | Genlik: 9 mm |
| Besleme tenörü: % 5,66 Cr ₂ O ₃ | Yıkama suyu: 15 lt/dk | Frekans: 3,7 cps |
| Pulp yoğunluğu: % 33 K | Besleme süresi: 2 dk | Deney süresi: 10 dk |

Cizelge 5.1. + 0,600 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| +0,600 | 1 ⁰ | Konsantre | 342,8 | 24,48 | 7,93 | 194,17 | 33,52 |
| | | Atık | 1057,2 | 75,51 | 5,1 | 385,12 | 66,48 |
| | | Beslenen | 1400 | 100 | 5,79 | 579,29 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 75,6 | 5,4 | 18,45 | 99,63 | 17,75 |
| | | Atık | 1324,4 | 94,6 | 4,88 | 461,65 | 82,25 |
| | | Beslenen | 1400 | 100 | 5,61 | 561,28 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 30,8 | 2,2 | 17,50 | 38,50 | 6,78 |
| | | Atık | 1369,2 | 97,8 | 5,41 | 529,1 | 93,22 |
| | | Beslenen | 1400 | 100 | 5,67 | 567,6 | 100 |



Şekil 5.1. +0,600 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

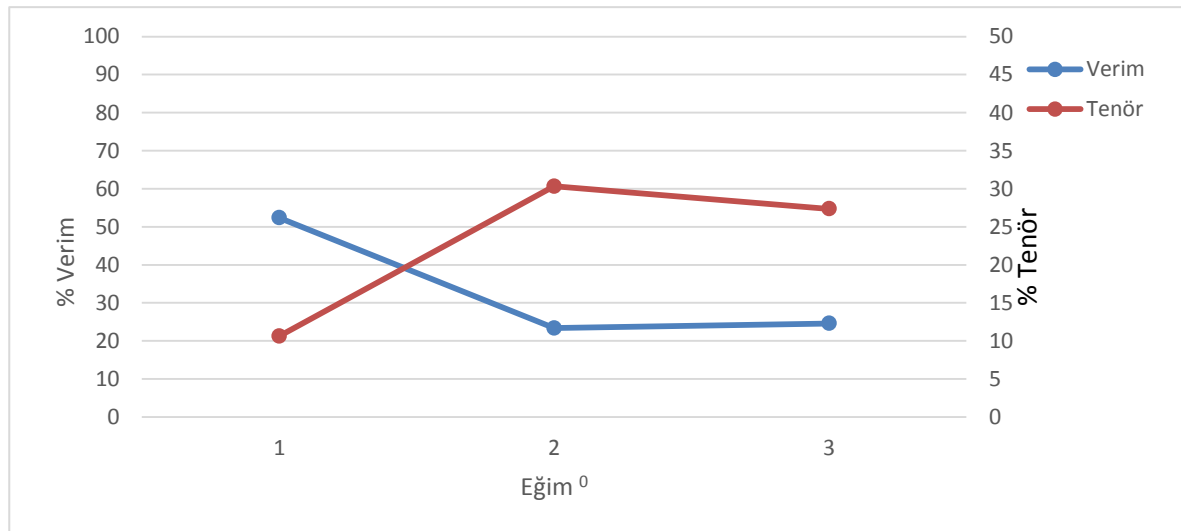
5.1.2. -0,600+0,425 mm boyut grubunda yapılan deneyler

Deney şartları:

| | | |
|--|--|----------------------|
| Malzeme miktarı: 1270 gr | Eğim: 1 ⁰ , 2 ⁰ , 3 ⁰ | Frekans: 3,7 cps |
| Besleme tenörü: % 5,6 Cr ₂ O ₃ | Yıkama suyu: 15 lt/dk | Genlik: 9 mm |
| Pulp yoğunluğu: % 33 K | Besleme süresi: 5 dk | Deneyi süresi: 11 dk |

Cizelge 5.2. -0,600+0,425 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| -0,600+0,425 | 1 ⁰ | Konsantre | 350,6 | 27,61 | 10,63 | 293,45 | 52,35 |
| | | Atık | 919,4 | 72,39 | 3,69 | 267,13 | 47,65 |
| | | Beslenen | 1270 | 100 | 5,60 | 560,58 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 51,6 | 4,06 | 30,32 | 123,18 | 23,37 |
| | | Atık | 1218,4 | 95,94 | 4,21 | 403,89 | 76,63 |
| | | Beslenen | 1270 | 100 | 5,27 | 527,07 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 62,9 | 4,95 | 27,36 | 135,51 | 24,60 |
| | | Atık | 1207,1 | 95,05 | 4,37 | 415,36 | 74,40 |
| | | Beslenen | 1270 | 100 | 5,5 | 550,87 | 100 |



Şekil 5.2. -0,600+0,425 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

5.1.3. -0,425+0,300 mm boyut grubunda yapılan deneyler

Deney şartları:

Malzeme miktarı: 900 gr

Eğim: 1⁰, 2⁰, 3⁰

Frekans: 3,7 cps

Besleme tenörü: % 4,8 Cr₂O₃

Yıkama suyu: 15 lt/dk

Genlik: 9 mm

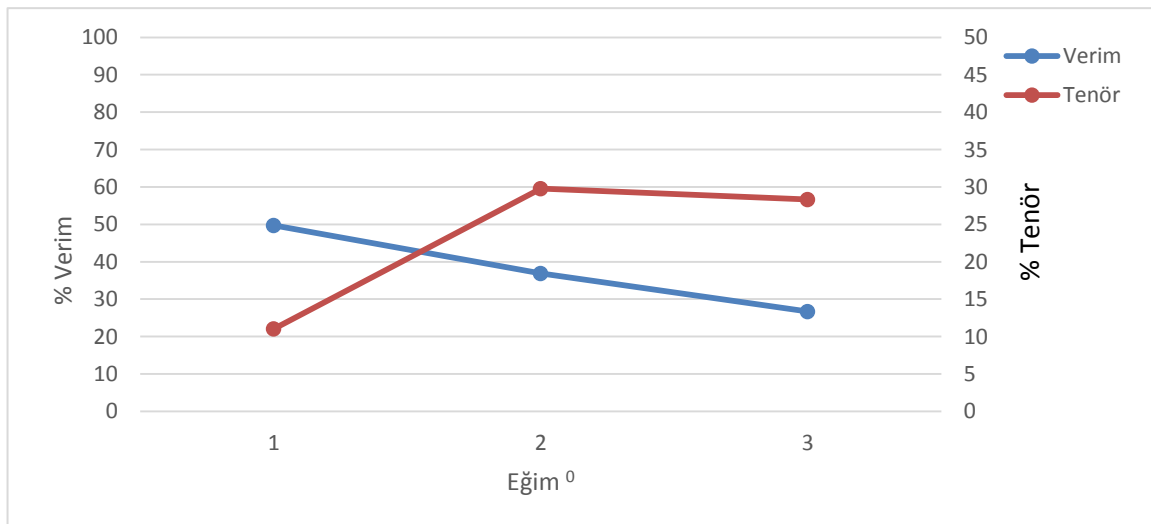
Pulp yoğunluğu: % 33 K

Besleme süresi: 5 dk

Deney süresi: 12 dk

Cizelge 5.3. -0,425+0,300 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| -0,425+0,300 | 1 ⁰ | Konsantre | 195,7 | 21,74 | 11,03 | 239,84 | 49,71 |
| | | Atık | 704,3 | 78,26 | 3,10 | 242,59 | 50,29 |
| | | Beslenen | 900 | 100 | 4,82 | 482,43 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 52,5 | 5,83 | 29,78 | 173,72 | 36,86 |
| | | Atık | 847,5 | 94,17 | 3,16 | 297,57 | 63,14 |
| | | Beslenen | 900 | 100 | 4,71 | 471,29 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 40,2 | 4,47 | 28,31 | 126,45 | 26,67 |
| | | Atık | 859,8 | 95,53 | 3,64 | 347,74 | 73,33 |
| | | Beslenen | 900 | 100 | 4,74 | 474,19 | 100 |



Şekil 5.3. -0,425+0,300 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

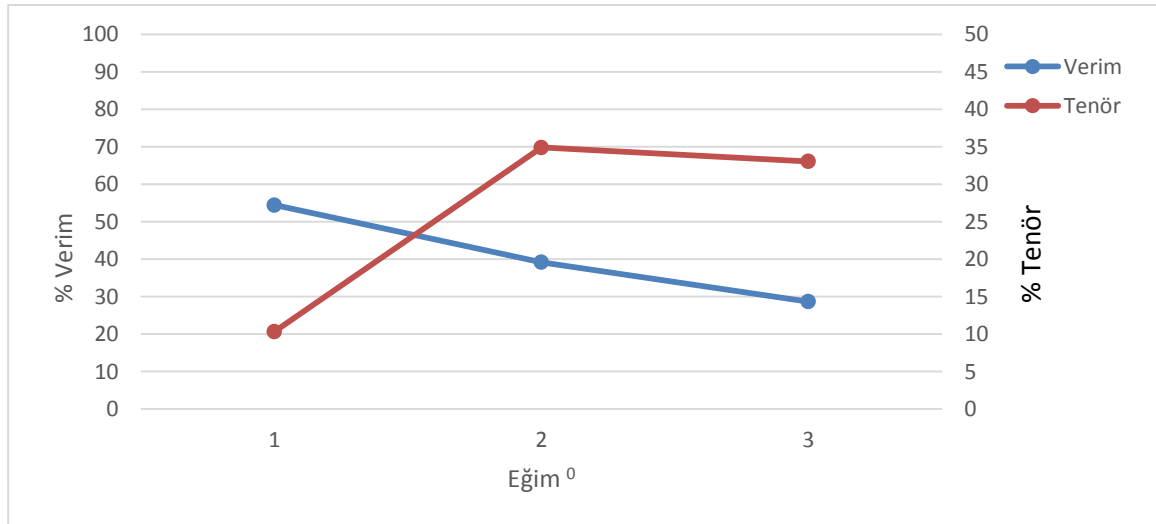
5.1.4. -0,300+0,212 mm boyut grubunda yapılan deneyler

Deney şartları:

| | | |
|---|--|----------------------|
| Malzeme miktarı: 740 gr | Eğim: 1 ⁰ , 2 ⁰ , 3 ⁰ | Frekans: 3,7 cps |
| Besleme tenörü: % 4,15 Cr ₂ O ₃ | Yıkama suyu: 15 lt/dk | Genlik: 9 mm |
| Pulp yoğunluğu: % 33 K | Besleme süresi: 5 dk | Deneyi süresi: 10 dk |

Cizelge 5.4. -0,300+0,212 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| -0,300+0,212 | 1 ⁰ | Konsantre | 164,2 | 22,19 | 10,33 | 229,21 | 54,39 |
| | | Atık | 575,8 | 77,81 | 2,47 | 192,19 | 45,61 |
| | | Beslenen | 740 | 100 | 4,21 | 421,4 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 34,2 | 4,62 | 34,90 | 161,30 | 39,14 |
| | | Atık | 705,8 | 95,38 | 2,63 | 250,85 | 60,86 |
| | | Beslenen | 740 | 100 | 4,12 | 412,15 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 26,7 | 3,61 | 33,04 | 119,21 | 28,65 |
| | | Atık | 713,3 | 96,39 | 3,08 | 296,88 | 71,35 |
| | | Beslenen | 740 | 100 | 4,16 | 416,09 | 100 |



Şekil 5.4. -0,300+0,212 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

5.1.5. -0,212+0,106 mm boyut grubunda yapılan deneyler

Deney şartları:

Malzeme miktarı: 1000 gr

Eğim: 1⁰, 2⁰, 3⁰

Frekans: 3,7 cps

Besleme tenörü: % 5,2 Cr₂O₃

Yıkama suyu: 15 lt/dk

Genlik: 9 mm

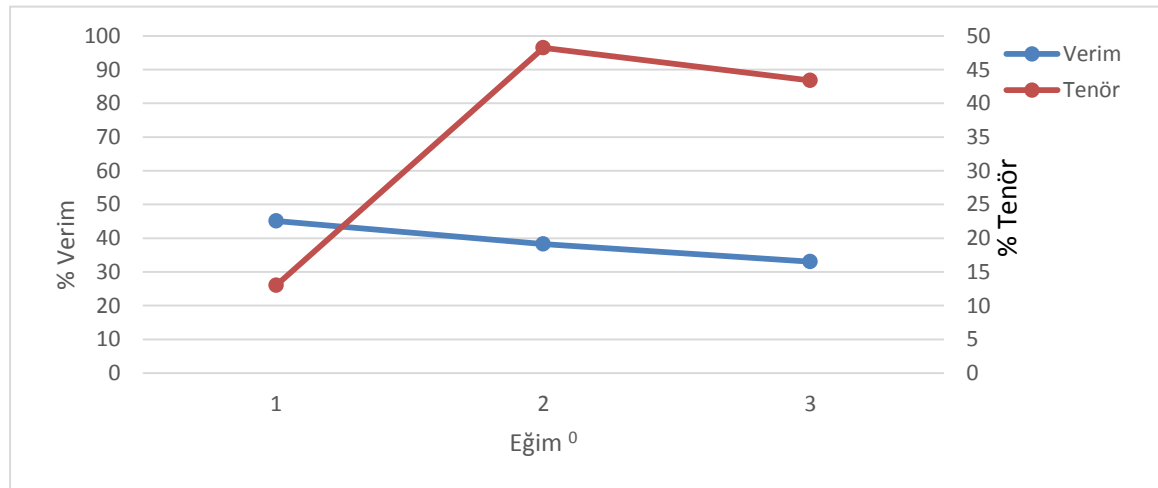
Pulp yoğunluğu: % 33 K

Besleme süresi: 5 dk

Deneyi süresi: 12 dk

Cizelge 5.5. -0,212+0,106 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| -0,212+0,106 | 1 ⁰ | Konsantre | 182,3 | 18,23 | 13,03 | 237,54 | 45,14 |
| | | Atık | 817,7 | 81,77 | 3,53 | 288,64 | 54,86 |
| | | Beslenen | 1000 | 100 | 5,26 | 526,18 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 38,1 | 3,81 | 48,24 | 183,80 | 38,29 |
| | | Atık | 961,9 | 96,19 | 3,08 | 296,26 | 61,71 |
| | | Beslenen | 1000 | 100 | 4,8 | 480,06 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 40,4 | 4,04 | 43,40 | 175,34 | 33,06 |
| | | Atık | 959,6 | 95,96 | 3,7 | 355,05 | 66,94 |
| | | Beslenen | 1000 | 100 | 5,3 | 530,39 | 100 |



Şekil 5.5. -0,212+0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

5.1.6. – 0,106 mm boyut grubunda masa yapılan deneyler

Deney şartları:

Malzeme miktarı: 800 gr

Eğim: 1⁰, 2⁰, 3⁰

Frekans: 3,7 cps

Besleme tenörü: % 9,5 Cr₂O₃

Yıkama suyu: 15 lt/dk

Genlik: 9 mm

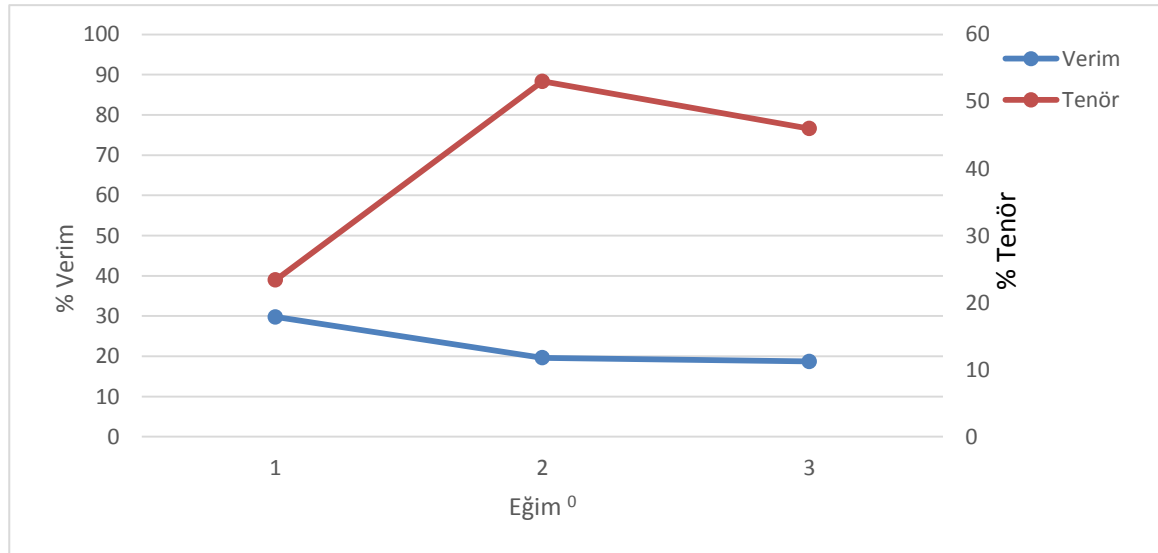
Pulp yoğunluğu: % 33 K

Besleme süresi: 8 dk

Deney süresi: 15 dk

Cizelge 5.6. -0,106 mm’de eğim etkisinin belirlendiği sallantılı masa sonuçları

| Tane iriliği, mm | Eğim | Ürünler | Ağırlık | | Cr ₂ O ₃ % | Birim gr | Dağılım %Cr ₂ O ₃ |
|---------------------|----------------|-----------------|------------|------------|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | gr | % | | | |
| -0,106 | 1 ⁰ | Konsantre | 99,2 | 12,4 | 23,38 | 289,91 | 29,76 |
| | | Atık | 700,8 | 87,6 | 7,81 | 684,15 | 70,24 |
| | | Beslenen | 800 | 100 | 9,74 | 974,06 | 100 |
| | 2 ⁰ | Konsantre | 29,8 | 3,73 | 52,99 | 197,39 | 19,62 |
| | | Atık | 770,2 | 96,27 | 8,4 | 808,71 | 80,38 |
| | | Beslenen | 800 | 100 | 10,06 | 1006,1 | 100 |
| | 3 ⁰ | Konsantre | 29,6 | 2,45 | 45,96 | 170,05 | 18,72 |
| | | Atık | 770,4 | 97,55 | 7,67 | 738,21 | 81,28 |
| | | Beslenen | 800 | 100 | 9,08 | 908,26 | 100 |



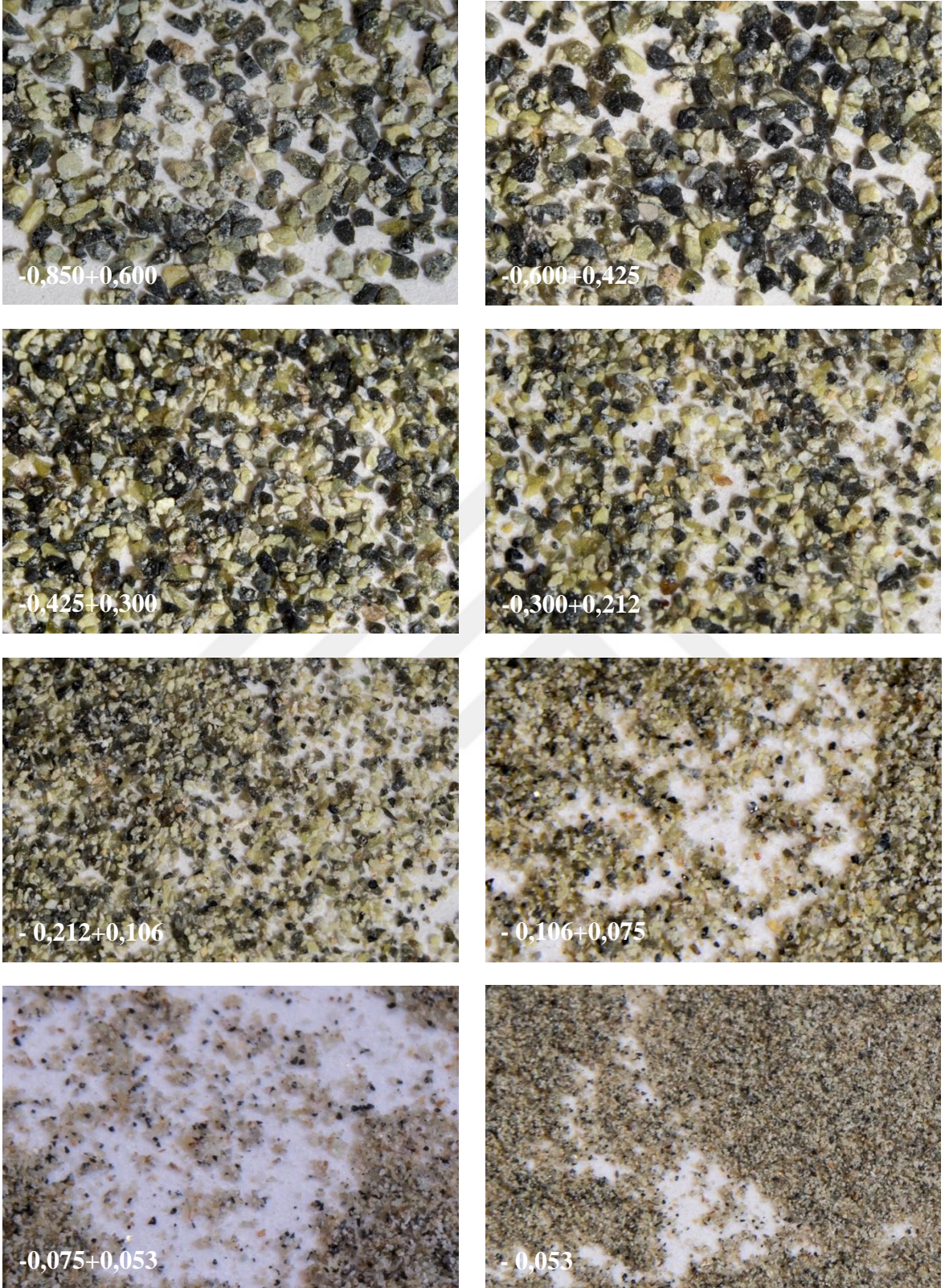
Şekil 5.6. -0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan masa eğiminin etkisinin belirlendiği deneylerin sonuçları

Sallantılı masa eğim etkisini belirlemek için yapılan deney sonuçlarına göre tenör ve verim açısından en uygun eğimin 2^0 olduğu anlaşılmaktadır. $-0,212+0,106$ mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan çalışmada % 48,24 Cr_2O_3 tenörüne, % 38,29 verimle ulaşılmıştır. Atıktaki kaçak ise % 3,08 Cr_2O_3 'tür. $-0,106$ mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan çalışmada ise % 52,99 Cr_2O_3 tenörüne, % 19,62 verimle ulaşılmıştır. Atıktaki kaçak ise % 8,40 Cr_2O_3 'tür.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda 2^0 masa eğimi ve $-0,210$ mm tane boyutunda en iyi sonuçlar alınmıştır. Zenginleştirme deneylerinde elde edilen ürünlerin makro fotoğrafları çekilerek büyütülmüş ve taneler incelenmiştir. Aşağıdaki fotoğraflar incelendiğinde $+0,212$ mm'nin üzerindeki boyutlarda serbestleşmemiş tane miktarının fazla olduğu, $-0,212$ mm'nin altındaki boyutlarda ise azaldığı görülmektedir. İri boyutlardaki kayıpların serbestleşmemiş tanelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sallantılı masalarda eğim arttıkça tenörün de artması beklenen bir durumdur. Ancak yapılan çalışmalarda masa eğiminin 2^0 olduğu deneylerde iyi sonuçlar alınmış, eğim 3^0 'ye çıkarıldığında tenörde düşme görülmüştür. Bu durumda deney şartlarının değiştirilerek diğer parametrelerin de etkilerinin belirlendiği deneyleri yapmak gereklidir. Böyle bir çalışma çok daha uzun süre ve çok daha fazla kimyasal analiz yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Yapılan çalışmalar, Bursa-Güdecek İşletmesi kromit atıklarının sallantılı masalarda zenginleştirilerek satılabilir nitelikte konsantr kazanımının mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Detaylı bir çalışma yapılarak, diğer parametreler için de uygun şartların belirlenmesi faydalı olacaktır. Yapılan çalışmada hedeflenen sonuçlar elde edilmiştir.





Şekil 5.7. Zenginleştirme deneylerinde kullanılan numunelerin büyütülmüş makro fotoğrafları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bursa-Güdecek Kromit işletmesi zenginleştirme tesisi atık sahasında stoklanmış, yaklaşık % 6 Cr_2O_3 tenörlü, 3,5 milyon ton civarında kromit atığı bulunmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi ekonomiye katkı sağlayacaktır. Bu amaçla Bursa-Güdecek kromit atıklarını zenginleştirme çalışmalarına başlanmıştır.

Atık sahasından alınan numunelerin öncelikle tane boyut analizleri yapılmış ve her fraksiyondaki Cr_2O_3 içerikleri belirlenmiştir. İnce tanelerde Cr_2O_3 tenörünün daha yüksek olduğu görülmüştür.

Zenginleştirme yöntemi olarak, kromit zenginleştirmede yaygın olarak kullanılan sallantılı masalar tercih edilmiştir. Laboratuvar ölçekli, Wilfley marka sallantılı masa kullanılmış, besleme suyu miktarı, pulp yoğunluğu, genlik ve frekans sabit tutularak, altı farklı fraksiyonda (+0,600, -0,600+0,425, -0,425+0,300, -0,300+0,212, -0,212+0,106, -0,106 mm), üç farklı eğimde (1^0 , 2^0 , 3^0) deneyler yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre, tenör ve verim açısından en uygun eğimin 2^0 olduğu anlaşılmaktadır. -0,212+0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan çalışmada % 48,24 Cr_2O_3 tenörüne, % 38,29 verimle ulaşılmıştır. Atıktaki kaçak ise % 3,08 Cr_2O_3 'tür. -0,106 mm tane iriliğindeki cevher ile yapılan çalışmada ise % 52,99 Cr_2O_3 tenörüne, % 19,62 verimle ulaşılmıştır. Atıktaki kaçak ise % 8,40 Cr_2O_3 'tür.

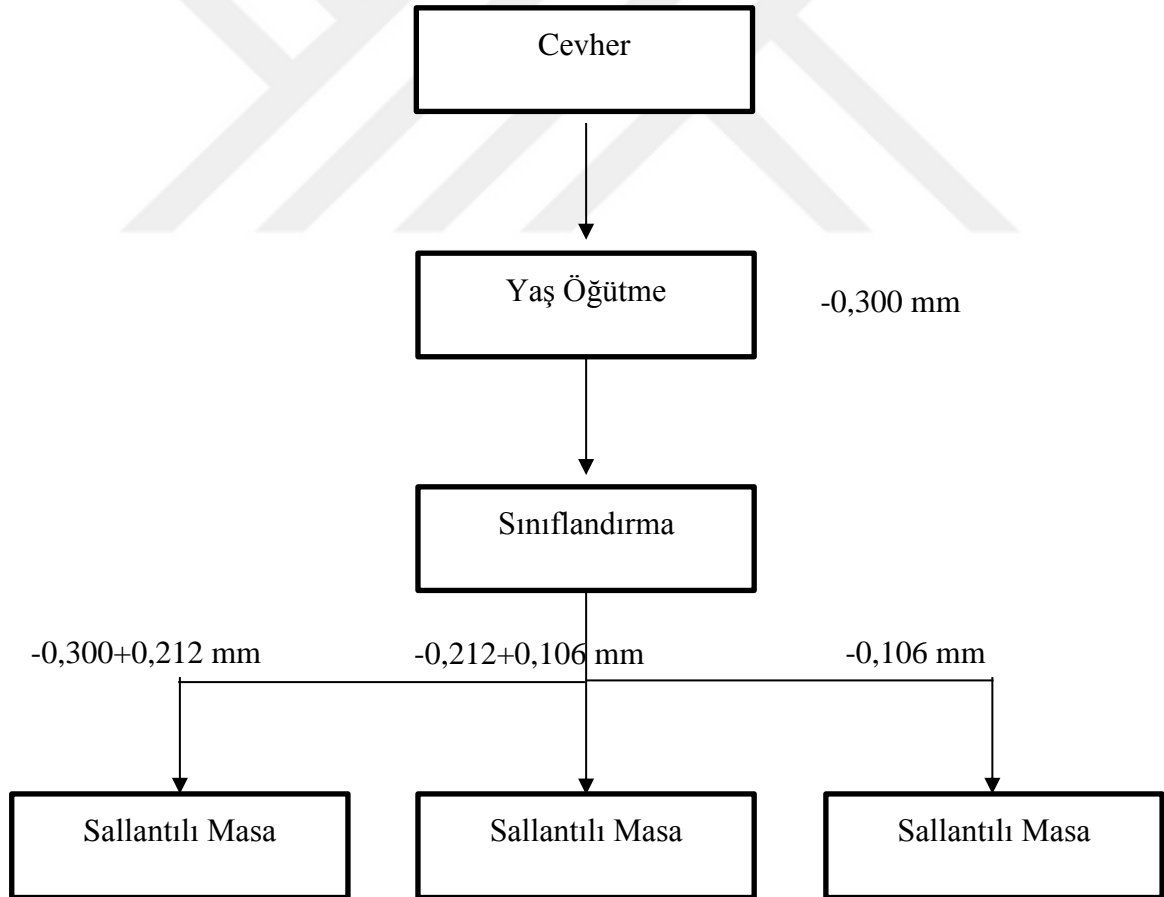
Zenginleştirme deneylerinde kullanılan numunelerin makro fotoğrafları çekilerek büyütülmüş ve taneler incelenmiştir. +0,212 mm'nin üzerindeki boyutlarda serbestleşmemiş tane miktarının fazla olduğu, -0,212 mm'nin altındaki boyutlarda ise azaldığı görülmektedir. İri boyutlardaki kayıpların serbestleşmemiş tanelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sallantılı masalarda eğim arttıkça tenörün de artması beklenen bir durumdur. Ancak yapılan çalışmalarda masa eğiminin 2^0 olduğu deneylerde iyi sonuçlar alınmış, eğim 3^0 'ye çıkarıldığında tenörde düşme görülmüştür. Bu durumda deney şartlarının

değiştirilerek diğer parametrelerin de etkilerinin belirlendiği deneyleri yapmak gereklidir. Böyle bir çalışma çok daha uzun süre ve çok daha fazla kimyasal analiz yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Yapılan çalışmalar, Bursa-Güdecek İşletmesi kromit atıklarının sallantılı masalarda zenginleştirilerek satılabilir nitelikte konsantre kazanımının mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Detaylı bir çalışma yapılarak, diğer parametreler için de uygun şartların belirlenmesi faydalı olacaktır. Yapılan çalışmada hedeflenen sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, Bursa-Güdecek kromit atıklarının değerlendirilmesi için önerilen basit akım şeması Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Önerilen basit akım şeması

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ağaçayak, T., 2004, Topraktepe (Yeşildağ-Beyşehir-Konya)Kromitlerinin Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Anonim, 2012, Bursa-Güdecek Ocakları ve Tesisi, <http://www.madkim.com.tr/firmamiz-hakkinda.php>, Erişim tarihi: 20.11.2018.
- Aratoğlu, M., 2017, Bilfer Eskiköy Krom Konsantre Tesisi Atıklarının Flotasyon İle Zenginleştirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Aydın, M.E., 2001, Etibank Guleman Kef Konsanratör Tesisi Kromit Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne, Diyarbakır.
- Bilici, E., 2018, Sivas-Kangal-Çamözü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarının Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Çetinkaya, F., 2004, Kavak-Krom Artıklarının Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çınarlıdere, G., 2012, Kromit Minerali Zenginleştirilmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Daş, B., Arık, F., Öztürk, A., Altay, O., 2012, Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri, Batman Üniversitesi Uluslararası Katılımı Bilim ve Kültür Sempozyumu, s.81-81, 18-20 Nisan 2012 Batman, Turkey.
- Hacıoğlu, S., 2010, Kayseri Pınarbaşı Kromitlerinin Kuru Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Er, B., 2011, Multi Gravite Cihazlarının Krom Cevher Zenginleştirmesindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ersin, H., 2011, Sallantılı masalar, Garage Madencilik A.Ş, Cevher hazırlama Eğitim notları,Denizli
<https://www.scribd.com/document/118434807/Sallant%C4%B1%C4%B1-Masa>, Erişim tarihi: 15.11.2018.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Eskibalçcı, F., Çinkü, K., Kurşun, İ., Özkan, Ş.Ü., 2002, Kavak Yöresi Kromit Artıklarının MGS Cihazı Kullanılarak Zenginleştirilmesi, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul s 55-61.
- Kıdıman, F.B., 2009, Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- MTA, 2018, Türkiye Krom Yatakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/krom.jpg, Erişim tarihi:23.11.2018.
- Onal, G., Gürkan, V., Acarkan, N., 2005, Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ile Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Samanlı, S., 1998, Kromit Tesis Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Til, B., 2015, Pınarbaşı (Kayseri) Yöresi Kromit Yatakları, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- Turgut, B., 1995, Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- USGS, (2018) Mineral Commodity Summaries 2018 s. 46-47. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>, Erişim tarihi: 23.11.2018.