

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ozan AY**

**KROM ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ PERFORMANSININ  
ARTTIRILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2014**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KROM ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ PERFORMANSININ  
ARTTIRILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**Ozan AY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez 30 / 12 /2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Oktay BAYAT  
DANIŞMAN

.....  
Doç. Dr. Tayfun ÇİÇEK  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Hüseyin VAPUR  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.  
**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK  
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.  
Proje No: MMF2013YL2**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların  
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere  
tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSAN TEZİ

**KROM ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ PERFORMANSININ  
ARTTIRILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**Ozan AY**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MADEN MÜHENDSİLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Oktay BAYAT  
Yıl : 2014, Sayfa: 71  
Jüri : Prof. Dr. Oktay BAYAT  
: Doç. Dr. Tayfun ÇİÇEK  
: Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Bu tez çalışmasında, gravite ile ayırma yöntemlerinden, Spiraller ve Sallantılı Masa, sınıflandırıcılardan ise Hidrosiklon birleşimi kullanılarak, krom zenginleştirme tesisi performansının arttırılması araştırılmıştır. Bu araştırma sürecinde Mersin ili Erdemli ilçesi Kösbucağı köyü mevkiinden temin edilen kromit numunesi kullanılmıştır. Yapılan XRD analizleri sonucunda cevherdeki başlıca minerallerin Serpantin ve Kromit olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada prosesi olumsuz etkileyeceğini öngördüğümüz spirallere beslenecek cevherin içindeki -0,050 mm tane boyutundaki şlam malzemesi, hidrosiklon vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılmıştır. %3,5 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü tüvanan cevher uygulanan yeni proses de (Spiral+Hidrosiklon+Sallantılı Masa) belirlenen optimum çalışma şartlarında (besleme tane boyutu: -1 mm, kapasite: 24 t/gün, ayırıcı konumu: 3,5 cm, su besleme hızı: 1,5 L/dk. ve %25 katı oranı) %48,46 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %15,10 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %21,40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2,90 SiO<sub>2</sub> içerikli konsantre elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kromit, Sallantılı Masa, Spiraller, Hidrosiklon

## ABSTRACT

MSc. THESIS

### INVESTIGATION OF PERFORMANCE INCREASE AT CHROMITE PROCESSING PLANT

Ozan AY

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Oktay BAYAT  
Year : 2014, Pages: 71  
Jury : Prof. Dr. Oktay BAYAT  
: Assoc. Prof. Dr. Tayfun ÇİÇEK  
: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

In this thesis, increasing of plant performance was investigated by applying with a combination of spirals, shaking tables and hydrocyclone. The chromite sample used in the experiments obtained from Kösbucağı village, Erdemli, Mersin. XRD analyses showed that the two main minerals were Serpantin and Chromite. The slime material (-0.050 mm) which has a negative effect on the experiments were removed from process with a hydrocyclon. The ore with a 3.5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade was processed by a combination of spirals+hydrocyclone+shaking tables and a concentrate was obtained with 48.46% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 15.10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 21.40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 2.90% SiO<sub>2</sub> at the optimum operating conditions (particle size: -1 mm, capacity: 24 t/day, Splitter angle: 3.5 cm and %25 solids) from run of mine ore; concentrate were obtained as

**Keywords:** Chromite, Shaking Table, Spirals, Hydrocyclone

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Krom Zenginleştirme Tesisi Performansının Arttırılmasının Araştırılması” konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Oktay BAYAT’a sonsuz teşekkürler.

Ayrıca; deneysel çalışmalarda ihtiyaç duyduğum her konuda bana yardımcı oldukları için başta Arş. Gör. Zehra ALTINÇELEP’e, Kastamonu Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. M. Serdar ÇAVUŞ’a teşekkür ederim.

Bugüne kadar ki hayatım boyunca her an yanımda olduklarını bildiğim, benden maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen anneme ve abimlere, şuan hayatta olmayan babama, kararlarımda bana her zaman destek olan eşim ve aynı zamanda meslektaşım Özge AY’a ve bu tez çalışmamda beni üzmeyen çocuklarıma teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Genel Bilgiler .....	2
1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri.....	3
1.1.2. Kromun Kimyasal Özellikleri.....	4
1.1.3. Kromun Mineraller .....	5
1.2. Kromit yataklarının oluşumu .....	6
1.3. Kromit Yantaşları.....	11
1.4. Türkiye’de Krom Yatakları.....	11
1.5. Ürün Standartları.....	15
1.5.1. Metalürji.....	16
1.5.2. Kimya.....	17
1.5.3. Refrakter.....	17
1.5.4. Döküm.....	18
1.6. Kromun Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri .....	19
1.7. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri.....	20
1.7.1. Tavuklama (Triyaj) ile Kromit Zenginleştirme .....	21
1.7.2. Yoğunluğa Göre Kromit Zenginleştirme .....	22
1.7.2.1. Spiraller ile Zenginleştirme.....	23
1.7.2.1.(1). Helis Enine Kesiti ve Çapı .....	25
1.7.2.1.(2). Maksimum Tane Boyutu .....	25
1.7.2.1.(3). Tane Şekli.....	25
1.7.2.1.(4). Besleme Derecesi ve Miktarı.....	26
1.7.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme .....	26

1.7.4. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme .....	27
1.7.5. Flotasyon ile Zenginleştirme .....	27
1.7.6. Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme .....	29
1.7.6.1. Hidrosiklon.....	29
1.7.6.1.(1). Mekanik Aksamı .....	29
1.7.6.1.(2). Besleme Borusu.....	29
1.7.6.1.(3). Hidrosiklon Kullanım Amacı .....	31
1.7.6.1.(4). Ayırma Tane İriliği.....	31
1.7.6.1.(5). Hidrosiklon Çalışmasını Etkileyen Parametreler .....	32
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	33
3. METERYOL VE METOD .....	39
3.1. Kromit Numunesinin Hazırlanması .....	39
3.2. Numunelerin Karakterizasyon .....	39
3.3. Serbestleşme Tane İriliği.....	41
3.4. XRF Analiz Sonuçları .....	45
3.5. Spiral ve Sallantı Masa Uygulaması .....	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	51
4.1. Krebs Spiralleri ve Hidrosiklon Sonuçları .....	51
4.2. Krebs Spiralleri + Sallantılı Masa Uygulaması.....	60
4.3. Ara Ürünün Bilyeli Değirmende Öğütülmesi .....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	71

## ÇİZELGELER DİZİ

## SAYFA

Çizelge 1.1. Krom Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	4
Çizelge 1.2. Başlıca Krom Mineralleri ve Özellikleri.....	5
Çizelge 1.3. Kromitin Fiziksel Özellikleri .....	6
Çizelge 1.4. Kromitin Yan Taşları .....	11
Çizelge 1.5. Dünya Krom Cevheri Üretimi .....	14
Çizelge 1.6. Son Beş Yıllık Krom Cevheri İhracatımız.....	15
Çizelge 1.7. Krom Cevherinin Kullanım Alanlarına Göre Değerleri .....	16
Çizelge 1.8. Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	16
Çizelge 1.9. Kromun Kimyasal Özellikleri.....	17
Çizelge 1.10. Kromun Refrakter Sanayiinde Aranan Özellikleri .....	18
Çizelge 3.1. -3 +2 mm Tane Sınıfı.....	41
Çizelge 3.2. -2 +1 mm Tane Sınıfı.....	42
Çizelge 3.3. -1 +0,5 mm Tane Sınıfı.....	42
Çizelge 3.4. -0,5 +0,3 mm Tane Sınıfı.....	43
Çizelge 3.5. -0,3 +0,1 mm Tane Sınıfı.....	44
Çizelge 3.6. -0,1mm Tane Sınıfı .....	44
Çizelge 3.7. XRF Analizi Sonucunda Numunelerde Tespit Edilen Değerler .....	45
Çizelge 4.1. Hidrosiklon Beslenen Malzeme, Üst Akış ve Alt Akış Elek Analizi ..	52
Çizelge 4.2. Tromp Eğrisinden Elde Edilen Değerler.....	53
Çizelge 4.3. Hidrosiklon Kimyasal Analiz ve Verim Sonuçları .....	54
Çizelge 4.3. Besleme Malı (Bant Üstü) Kimyasal Analizi .....	55
Çizelge 4.4. Krebs Spiralleri Kimyasal Analiz ve Verim Sonuçları.....	56
Çizelge 4.5. 6'lı Krebs Spiralleri Elek ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	57
Çizelge 4.6. 4'lü Krebs Spiralleri Elek ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	58
Çizelge 4.7. 3'lü Krebs Spiralleri Elek ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	59
Çizelge 4.8. 2'li Krebs Spiralleri Elek ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	60
Çizelge 4.9. Sallantılı Masa Kimyasal Analiz ve Verim Sonuçları .....	61
Çizelge 4.10. Bilyeli Değirmene Ait Teknik Özellikler .....	63

Çizelge 5.1. Yeni tesis dizaynının verim hesabında kullanılan veriler .....	66
Çizelge 5.2. Yeni proses dizaynı ile durdurulan makineler ve güçleri .....	68
Çizelge 5.3. Yeni Tesis Dizaynı ile elde edilen tasarruf .....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1. Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tipli Kromit Merceklerinin Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 1.2. Kromitçe zengin eriyiklerin tektonitler içinde diyapirler şeklinde yükselmesi ve gelişen konveksiyon akımları sırasında kromitlerin Ayırılması.....	8
Şekil 1.3. Okyanusal kabuk içinde alpin tipi krom yataklarının oluşum modelleri .....	9
Şekil 1.4. İdeal Ofiyolit Dizilişinde Kayaç Gruplarının Konumu .....	10
Şekil 1.5. Türkiye Kromit Patansiyeli.....	12
Şekil 1.6. Türkiye Kromit Yatakları .....	12
Şekil 1.7. Türkiye Krom Yataklarının Tenörlerine Göre Dağılımı.....	13
Şekil 1.8. Krom Cevherinin Kullanım Alanları .....	15
Şekil 1.9. Krebs Spirallerinden görünüm.....	23
Şekil 1.10. Krom Tanelerinin Spiral Üzerindeki Hareketi.....	24
Şekil 1.11. Hidrosiklonun Krom Zenginleştirme Tesisi İçerisindeki Görüntüsü .....	30
Şekil 1.12. Hidrosiklonun Şekli ve Çalışma Prensibi .....	30
Şekil 3.1. SP Kromit Numunesinin Tane İrilik Dağılımı.....	39
Şekil 3.2. BD Numunesinin Tane İrilik Dağılımı .....	40
Şekil 3.3. Tüvanan Cevher XRD Analizi Grafiği .....	40
Şekil 3.4. Spiral uygulamaları olmadan önceki Krom zenginleştirme tesisi akım şeması .....	46
Şekil 3.5. Zenginleştirme Tesisindeki Siklon ve Spiraller.....	48
Şekil 3.6. Zenginleştirme Tesisindeki Spiraller .....	49
Şekil 3.7. Krom zenginleştirme tesisi Spiral uygulamaları neticesindeki akım şeması .....	50
Şekil 4.1. Hidrosiklon Tromp Eğrisi.....	53
Şekil 4.2. Krebs Spirallerinin ayırma bölümü arka görünüm .....	54

Şekil 4.3. Krebs Spirallerinin ayırma bölümü ön görünüm .....	55
Şekil 4.4. Besleme Malının Direkt Olarak Sallantılı Masalara Beslenmesi (Önceki durum) .....	62
Şekil 4.5. Besleme Malının Ön Zenginleştirme Yapılarak Krebs Spiralleri + Sallantılı Masa Uygulamasından Bir Görüntü .....	62
Şekil 4.6. Ara Ürün malzemesinin öğütüldüğü Bilyeli Değirmen .....	64

## 1. GİRİŞ

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristalleşir. Teorik formülü  $FeCr_2O_4$  olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü  $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$  olarak verilmektedir (DPT, 2001).

Dünyada gittikçe rezervi azalan kromitlerde düşük tenörlü kromitlerin zenginleştirilmesi artık iyice önem kazanmıştır. Yöremizde bulunan düşük tenörlü kromit cevherlerinin zenginleştirilmesi ve ekonomiye kazandırılması için de halen faaliyet gösteren mevcut işletmeler vardır. Günümüzde krom bileşikleri ihtiyacını sağlayan en önemli krom mineralidir. Kromitten başka krom mineralleri olmasına rağmen, yer kabuğundaki yayılımlarının azlığı sebebiyle ekonomik olarak işletilememektedir

Türkiye, düşük tenörlü kromlarda büyük potansiyele sahip olmasına karşın, bu potansiyeli uygun tekniklerle düşük maliyette ve yüksek verimle işletme imkânlarına yeterince sahip değildir. Türkiye’de artan üretim ve ihracata bağlı olarak birçok krom zenginleştirme tesisleri kurulmuştur. 2004 yılından sonra da artarak devam etmiştir. Ancak krom zenginleştirme tesisleri kurulurken, cevherin zenginleştirme özelliklerini ortaya koyacak yeterli ön etütlerin yapılmadığı, bunun sonucu olarak da, cevher niteliğine uygun teknoloji seçilmediği için, krom kazanma verimi ve kapasite kullanımları düşük olmaktadır. Bu nedenle krom zenginleştirme tesislerindeki düşük kapasite ve düşük verim, Türkiye’de cevher zenginleştirme tesislerinin ortak sorunu haline gelmiştir. Bu ortak sorun işletme maliyetini artıran ana etkidir.

Bu çalışmamızdaki amaç, düşük kromit cevheri tenörlerine göre tesis çalışma parametrelerinin yeniden düzenlenmesi, spiraller ile ön zenginleştirme çalışmaları, kademeli öğütme kontrolü, masa ürününün şlamından siklonlanarak temizlenmesi, süpürme masalarının konması, şlamın ince siklon bataryaları ile koyulaştırılması ve kısmen zenginleştirilmesi, ara ürünün bilyeli değirmende öğütülmesi, artıkların değerlendirilmesi gibi aşamaların proses mineralojisi ile değerlendirilmesi ve tesis

randımanının metal-balans dengesi ile kontrolörlüğü tespit edilerek daha yukarıya çıkarılması amaçlanmıştır.

### 1.1. Genel Bilgiler

19. yüzyılda başlayan sanayi devrimiyle toplumların kültür, yaşantı ve alışkanlıklarında büyük dönüşümler yaşanmıştır. Krom'un çelikte katkı olarak kullanıldığı 1865 yılından sonra çelik endüstrisi sanayi devriminin lokomotifidir. Dünyada ilk kromit yatakları, 1798 yılında Ural Dağları'nda bulunmuştur. Ülkemizde ise, Amerika'daki Maryland yataklarının tükenmesinden sonra ilk kromit yatakları 1848 yılında Bursa yakınlarında tespit edilmiş ve bu bölgede 1850 yılında üretime başlanmıştır. Hindistan ve Güney Afrika'da krom madenciliğine başlama tarihi olan 1906 yılına kadar, ülkemizden yıllarca krom cevheri ihraç edilmiştir.

1913'de İngiliz bilim adamı Harry Brearley top namlusu dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde araştırma yaparken hurdalığindeki bütün çeliklerin birkaçı dışında paslandığını gördü. İncelemeleri sonunda bu parçaların üzerinde %14 oranında krom buldu ve bu buluş insanların kullandığı paslanmaz çelik üretiminde kaynak noktası olmuştur (Bayat, 2009).

Krom, Yunan dilinde renk anlamına gelen chrome'den alınmış olup, sert parlak ve gümüşü renkte bir metale verilen isimdir. İngilizce ve Türkçe'de ise otomobillerin parlak ve paslanmaz çelik aksamına "krom" denilmiştir. Daha sonraları, Türkçe'de krom sözcüğü, tabiatta oksit halinde bulunan kromite ve krom cevherine verilen bir isim olmuştur (Ağaçayak, 2004).

Krom cevherinin kullanım alanlarına göre tarihi gelişmelere bakıldığında ise;

- 1809 yılında krom cevherinden, Alüminotermik reaksiyon ile ilk krom metalinin elde edildiği,
- 1820 yılında boya endüstrisinde ilk defa katkı maddesi olarak potasyum bikromatın kullanıldığı,
- 1865 yılında ilk defa çeliğin içerisinde krom kullanma patentinin alındığı,
- 1860 yılında Türkiye krom üretiminde dünya lideri olduğu,

- 1879 yılında Fransa’da refrakter sanayiinde kullanımına başlandığı,
- 1884 yılında deri sanayiinde kullanımına başlandığı,
- 1893 yılında ilk ferrokromun elde edilmesi ile ticari olarak Amerika’da 1897 yılında yüksek karbonlu ferrokromun üretildiği,
- 1912 yılında İngiltere’de ilk paslanmaz çeliğin elde edildiği ve 1913 yılında ilk ticari üretimine geçildiği,
- 1937 yılında Filipinlerde ve Arnavutlukta krom yataklarının bulunduğu,
- 1942 yılında güney afrikada düşük ve yüksek karbonlu ferrokromun üretildiği
- 1960 yılında ilk döküm kumu olarak güney afrika kromlarının kullanıldığı,
- 1999 yılında Güney Afrika şarj krom alanında dünyanın en önemli üreticisi haline geldiği,
- 2000 yılında paslanmaz çelik ve ferrokrom üretimi rekor seviyede gerçekleştiği görülmektedir. (<http://www.icdacr.com>).

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir.

Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral ise kromittir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristallenir. Teorik formülü  $FeCr_2O_4$  olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü  $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$  olarak verilmektedir (DPT, 2001).

### 1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri

Kromit yatakları, peridodit genel ismiyle anılan ultrabazik magmatik kayalar içinde statiform (tabakalı) veya podiform (merceksi) kütle halinde bulunmaktadır. Statiform tipi yataklar geniş alana yayılmış kesintisiz düzgün tabakalar halinde ve büyük rezervler teşkil etmektedir. Bu tip cevherlerde  $Cr_2O_3$  tenörleri genelde %40’ın altında, Fe tenörü yüksek, Al tenörü düşük ve Cr/Fe oranları ise 2 civarındadır. Podiform yataklar ise alpin orojenezinin etkisi altında kalmış kuşaklarda buldukları için “Alpin” tipi yataklar olarak da isimlendirilirler. Krom elementinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Krom Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Turgut, 1995)

Atom numarası	24
Simge	Cr
Kütle numarası	51,99
Kaynama Noktası (°C)	2665
Erime Noktası (°C)	1875
Yoğunluk	7,19
Buharlaşma Isısı (°C)	72,97
Kaynaşma (Füzyon) Isısı (°C)	3,3
Elektriksel iletkenlik	0,078
Isıl iletkenlik	16
Özgül Isı Kapasitesi	11

Kromit minerali ve krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayanın (dunit, serpantinit) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masif, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve dissemine bantlı gibi nitelendirilmelerini sağlar. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır (DPT, 2001).

### 1.1.2. Kromun Kimyasal Özellikleri

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde %SiO<sub>2</sub>, %Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Krom spinellerindeki çeşitli bileşenlerin dağılımları %13,9-65 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0-30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0-30 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %6-18 Fe ve %10.44-32.46 MgO aralığında değişmektedir (DPT, 2001).

### 1.1.3. Krom Mineralleri

Ekonomik olarak kullanılan tek krom minerali kromittir. Kromit, (Mg, Fe) O. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> veya Cr<sub>2</sub> (Mg, Fe) O<sub>4</sub> genelde ise; (FeO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) formülü ile belirtilen yapıdadır ve %67,6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (veya %46,7 Cr) ayrıca yaklaşık %32 Fe içerir (Çilingir, 1996). Kromit minerali, spinel grubundan ve 2-3 değerlikli katyonlardan oluşan bir oksittir. Kübik sistemde kristalleşir. Kromit, granüle kompakt kütle ve ender olarak oktahedral kristal halinde bulunur. Dilinim içermez. Siyah ile koyu kahve renklidir ve kahverengi çizgi renkleri ile karakteristiktir. Kromit bileşimine magnezyum geniş ölçüde girmekte ve cevher tenörünün %40 düzeylerine kadar düşmesine neden olmaktadır. Bu cevherlerde Mg, Fe'i ornatmakta, pikotit adını almaktadır. Kromit minerali yüksek sertlik gösterir, ısıya dayanıklıdır. Ayrıca Ti, Mn, Zn, Ni ve Co elementlerine de rastlanır (Ağaçayak, 2004). Çizelge 1.2'de başlıca krom mineralleri ve özellikleri verilmektedir (Deniz, 1992).

Çizelge 1.2. Başlıca krom mineralleri ve özellikleri (Deniz, 1992).

Mineral Adı	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Kristal Sistemi	Renk	Çizgi rengi	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Kromit	68	Kübik	Gri-Kahve	Koyu Kahve	5,5	4,1-4,9
Uvarovit	30,6	Kübik	Zümrüt yeşili	-	7,5	3,4-3,5
Crocoit	30,1	Monoklinik	Sarı-Kırmızı	Turuncu	2,5-3	5,9-6,1
Daubrejite	53,1	-	-	-	-	-
Dietzeite	15,3	Monoklinik	Altın Sarısı	-	3-4	3,7
Phoeni Cochroite	17,5	Ortorombik	Sarı-Kırmızı	Tuğla Kırmızısı	3	5,7
Belitle	17,3	Hexagonal	Sarı - Turuncu	-	2,5	5,5
Kemererit	-	Triklinik	Kırmızı - Pembe	-	2 - 2,5	2,64

Magnezit mineralleri ile ısıya dayanıklı seramikler oluşturur. Bu nedenle kromit, refrakter malzeme yapımında (magnezit-krom tuğlaları, krom-magnezit tuğlaları) ve döküm kumu olarak ayrı bir tüketim özelliğine sahiptir (Çilingir, 1996). Çizelge 1.3’de kromitin fiziksel özellikleri verilmektedir (Turgut, 1995).

Çizelge 1.3. Kromitin fiziksel özellikleri (Turgut, 1995).

Parametre	Özellik
Özgül Ağırlığı	4,1 – 4,9
Sertliği	5,5
Rengi	Parlak Siyah
Çizgi Rengi	Kahverengi
Genelde Manyetik Özellik Taşımaz	

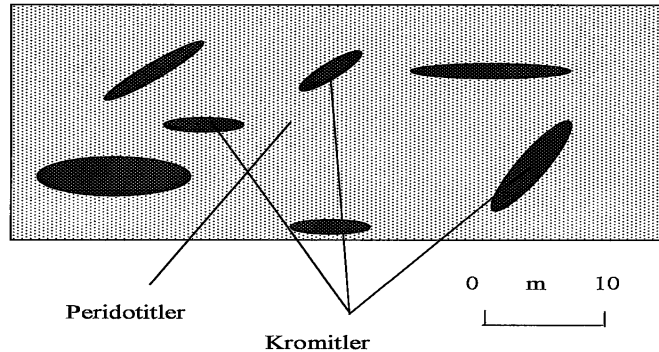
## 1.2. Krom Yataklarının Oluşumu

Köken, jeoloji konum, mineraloji, doku, kimya özellikleri yönünden başlıca üç tipe ayrılırlar

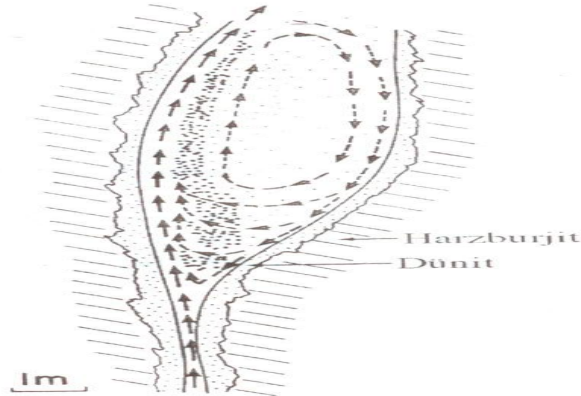
- Duraylı kıtasal bölgelerde bazik intrüzyonlara bağlı stratiform krom yatakları.
- Alp dağ oluş kuşakları boyunca bulunan ultrabazik-bazik kaya topluluklarına (ofiyolit istifli) bağlı alpin veya podiform tip olarak bilinen krom yatakları.
- Eş merkezli (konsantrik) iç düzene sahip ultrabazik-bazik kaya topluluklarına bağlı krom yatakları.

Stratiform krom yatakları küçük tane boyulu, düzgün kristal şekilli (idyomorf), kümülat (çökel) dokulu, demir içeriği yüksek, Cr/Fe oranı düşük, doğrultu ve eğim yönlerinde büyük devamlılık gösteren, genelde büyük rezerve sahip yataklardır. Daha çok kimya sanayinde kullanılırlar.

Podiform tip yataklar ise Alpin orojenezinin etkisi altında kalmış kuşaklarda buldukları için “Alpin Tipi” yataklar olarak da isimlendirilir. Tektonik hareketlere fazlasıyla maruz kalmış olduklarından mercek şeklinde küçük ve düzensiz bir şekil gösterirler yatak boyları birkaç on metreden daha fazla olmayıp mercek, yığın ve kese şeklindedirler. Kromit kütleleri ultramafik kayalar içerisinde bulunur ve bu kayalar genellikle serpantinleşmiştir. Tipik bir podiform kromit yatağı Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Kıdım, 2009). Kromitit bantlarının oluşumunu bazik magmanın farklılaşarak kristallenmesi sırasında, ani basınç düşmesi sonucu ergiyiğin Cr bakımından çok doygun hale gelmesiyle açıklamaktadır. Farklılaşarak oluşan bu birimlerin kabuk içine sıcak lapa halinde sokuldukları düşünülmektedir. Bu sokulma sırasında olivin, piroksen ve plajoklaz plastik, kromit ise sertleşmiş katı haldedir. Kabuğun alt kesiminde veya kabuk manto sınırında meydana gelen magma haznesinin 1-2 km kadar altında tüketilmiş manto malzemesi (tektonit harzburjit) içinde bazik magma taşıyan ancak üstteki magma haznesine ulaşamayan kanallar içinde kromit ve olivin beraberce konveksiyon akımları kontrolünde çökelmekte podiform kromitit kütleleri meydana gelmektedir (Şekil 1.2). Podiform kromitit kütlelerinin peridotit diyapiri içinde 100-200 m yüksekliğe, 2-5 m genişliğe varan boşluklar içinde geliştiği düşünülmektedir. Bu boşluklar 5-50 cm genişliğindeki kanallar yoluyla beslenmektedir. Bu kanal ve boşluklardan yükselen magma üstte kabuk-manto sınırında oluşan magma haznesini (haznelerini) beslemektedir. Kanalların konumu dik veya dike yakındır.



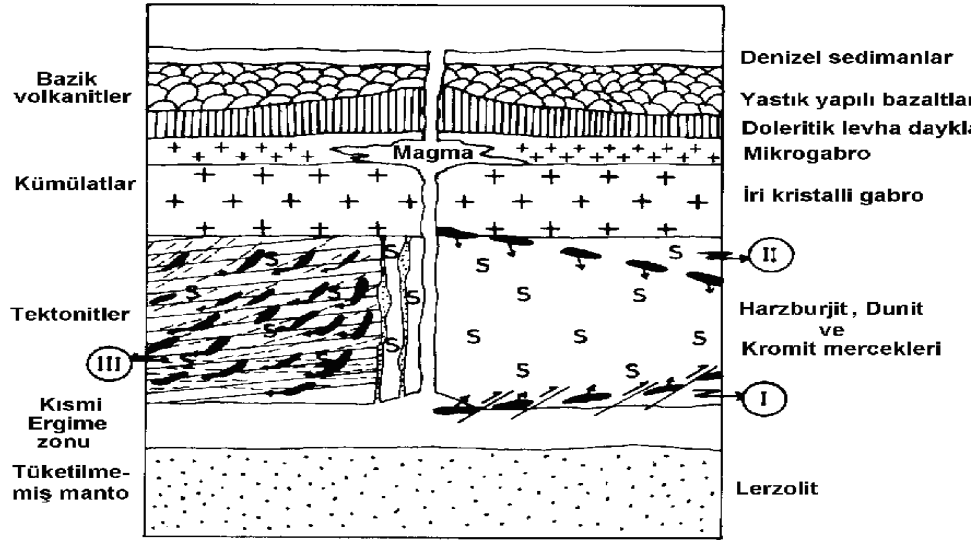
Şekil 1.1. Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tipli Kromit Mercceklerinin Şematik Gösterimi (Kıdım, 2009).



Şekil 1.2. Kromitçe zengin eriyiklerin tektonitler içinde diyapirler şeklinde yükselmesi ve gelişen konveksiyon akımları sırasında kromitlerin ayrışması (<http://www.forumaden.com/forum/maden-yataklari/krom-yataklari>).

Boşluğun cidarlarında bazik magma malzemesiyle peridotit arasında kimyasal tepkime meydana gelmektedir. Bu tepkime sonucunda peridotitin (harzburjit) ortopiroksenleri olivine dönüşmektedir. Bazik magmanın  $\text{SiO}_2$  içeriği artmaktadır.

Bu artış bazik magmayı kromitin kristallenme alanına sokmakta ve kromit kristallenmektedir. Ergiyik kromit kristallenme ortamına itilip kromit kristallenmeye başlayınca ergiyik tekrar olivin-kromit kotektik ortamına geri dönmekte olivin ve kromit tekrar beraber kristallenmeye başlamaktadır. Yeni bir magma gelişiyse boşluğu dolduran magmanın bileşimi değişmekte boşluğun cidarıyla magma yeni bir kimyasal tepkimeye girmektedir. Tektonikler içinde kanallar boyunca yükselen bazik magmanın yükselme hızı üst kesimlere doğru giderek azalmakta kendi itici gücüyle yantaşı parçalayıp yükseleceği yolu artık açamamaktadır. Bu kesim çoğunlukla manto-kabuk geçiş kuşağına denk gelmektedir. Bu nedenle kromitit kütlelerinin daha çok manto-kabuk geçiş kuşağına yakın kesimlerde harzburjitler içinde geliştikleri düşünülmektedir. Bazik magmanın türediği kaynak ile üst kesimlerde tepkimeye girdiği kısmi ergimeye uğramış manto malzemesinin farklı olduğu durumlarda bazik magma ile peridotit arasındaki tepkime daha şiddetli olacaktır. Buna bağlı olarak ta kromit oluşumu ve birikimi daha fazla olacaktır.



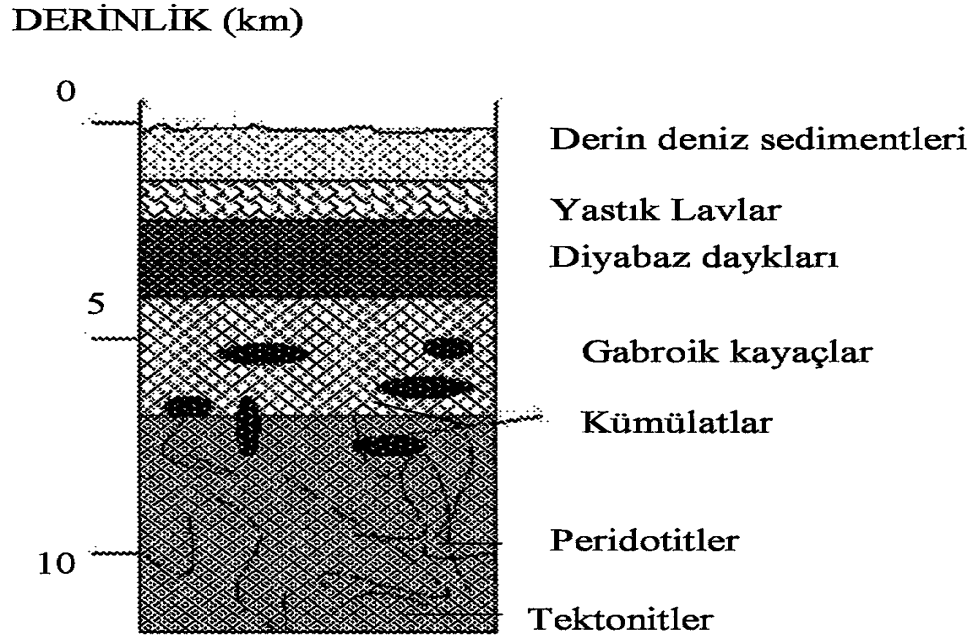
Şekil 1.3. Okyanusal kabuk içinde alpin tipi krom yataklarının oluşum modelleri (<http://www.forumaden.com/forum/maden-yataklari/krom-yataklari>)

Dik ve dike yakın konumdaki kanal ve boşluklarda teşekkül etmiş kromitit kütleleri, dünit damarları oluşumlarını takiben yukarı doğru hareketleri sırasında konveksiyon akımları ve okyanus tabanı yayılması sonucu giderek çıkış kanallarının olduğu yerden uzaklaşırlar (Şekil 1.3). Uzaklaştıkça da yavaş yavaş dikten yatay konuma geçerler ve içlerinde yer aldıkları peridotitin iç yapısıyla uyumlu konum kazanırlar.

Alpin tip kromitit kütlelerinin boyları değişkendir. Birkaç 10 cm ile birkaç 50 m arasında değişiklik göstermekle birlikte genelde birkaç metre ile sınırlıdır. Kütlelerin kalınlıklarının 50 m ye ulaştığı yerler biliniyorsa da genelde bu kalınlıklar yine birkaç metreyi pek geçmez. Krom yatakları çoğunlukla birden fazla kromitit külesinden meydana gelmişlerdir. Kromitit kütlelerinin doğrultu ve eğim yönü devamlılıkları sınırlıdır.

Her ne kadar Guleman yöresinde Uzun damar, Ayı damar gibi kromitit düzeyleri doğrultuları boyunca incelmeler ve kalınlaşmalar (sıkma, açma) yapıldıktan 1500 m izlenebilmekteyse de çoğu yatakta bu devamlılık birkaç on metreyle sınırlıdır. Aynı durum, kromitit kütlelerinin eğim yönü devamlılıkları içinde geçerlidir. Genelde yatakların eğim yönü devamlılıkları doğrultu yönü devamlılıklarından daha azdır. Ama baca veya hortum şekilli yataklar bu

genellemeye aykırıdır. İdeal ofiyolit dizilişi alttan üste doğru Şekil 1.4'deki birimlerden oluşmaktadır (Coleman, 1977).



Şekil 1.4. İdeal Ofiyolit Dizilişinde Kayaç Gruplarının Konumu (Coleman, 1977).

Ofiyolitlerin hem kümülat hemde tektonit kesimindeki ultrabazik kayalar içinde bulunan krom yatakları istifsel (stratigrafik) konumlarına göre gruplandırılabilirler;

- Tektonitlerin derinliklerinde harzburgitler içinde bulunan krom yatakları
- Tektonitlerin üst kesimlerinde tektonit-kümülat geçiş zonunun altında bulunan krom yatakları
- Tektonit-kümülat geçiş zonu içinde bulunan krom yatakları
- Kümülat grubu kayaların ultrabazik kesimleri (dünit) içinde bulunan krom yatakları

Krom yatakları yapısal konumlarına göre gruplara ayrılabilirler.

- İçyapıyla uyumlu krom yatakları
- İçyapıyı kesen krom yatakları

### 1.3. Kromit Yantaşları

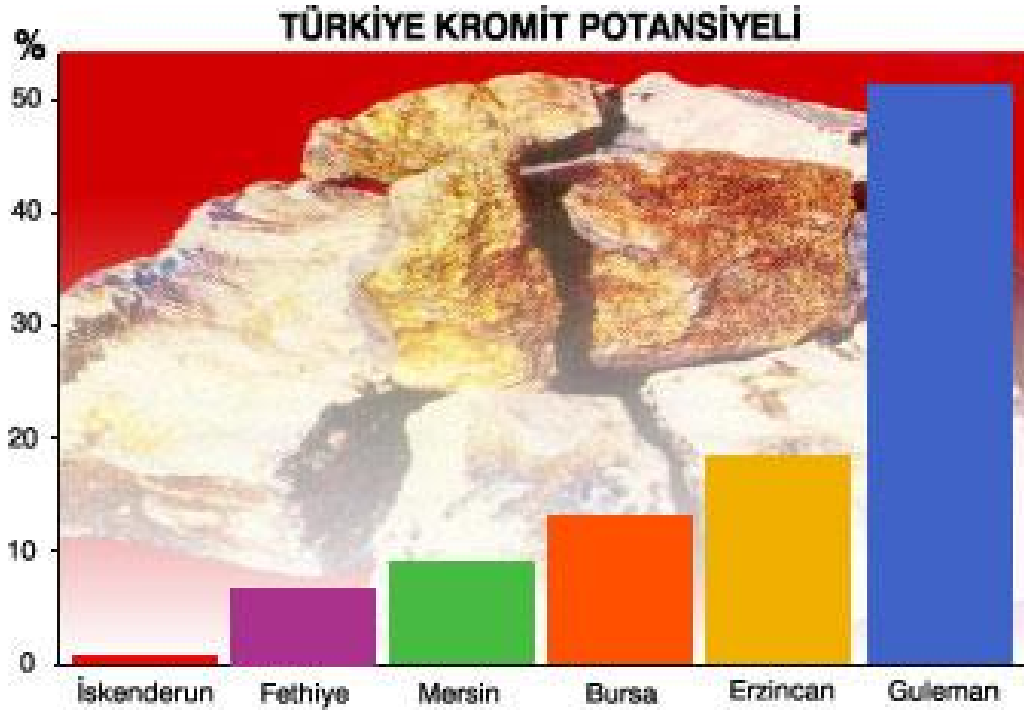
Kromitteki gang minerallerin oranı %5-25 arasında deęiřir; Kromit cevherinin sıcaklıęa dayanıklılıęı, dūřuk sıcaklıkta (1.650 °C) eriyen yantařlarının miktarına ve tūrūne baęlıdır. Saf kromit (FeO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oksidasyon ve redūklenmeden dolayı, genellikle ergimeden dekompoze olur (Gence, 1985). Çizelge 1.4'de kromit yanında en sık rastlanan yan tařları verilmiřtir.

Çizelge 1.4. Kromitin Yantaşları (Deniz, 1992)

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

### 1.4. Tūrkiye'de Krom Yatakları

Krom madencilięinde 150 yılı ařan geçmiři olan Tūrkiye'de doęrudan satılabilir nitelikteki yūksok tenōrlū (≥%35 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yatakları büyük bōlūmū tūketilmiřtir. Gūnūmūzde artık geçmiřte fazla ilgi çekmemiř daha derin ve/veya daha dūřuk tenōrlū yataklarda ūretim yapılması zorunlu hale gelmiřtir. MTA Genel Mūdūrlūęū verilerine gōre Tūrkiye'nin bilinen krom kaynakları (137 yatakta saptanan kaynaklar) toplam 242.341.000 ton dolayındadır (řekil 1.5-1.6)

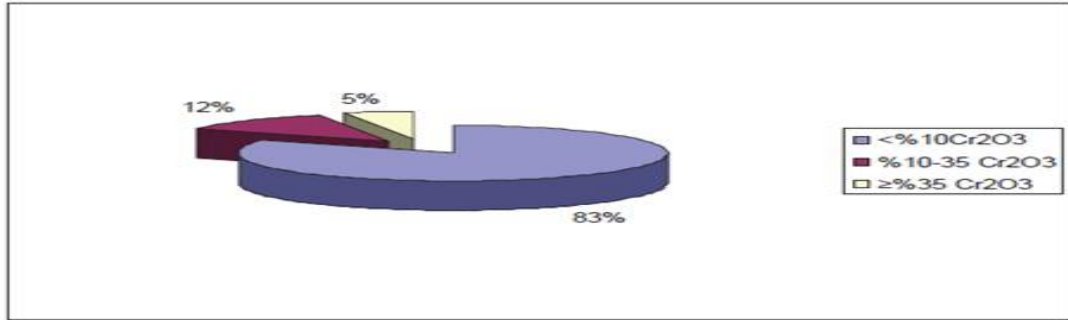


Şekil 1.5. Türkiye Kromit Potansiyeli.



Şekil 1.6. Türkiye Kromit Yatakları

Bilinen bu kromit kaynaklarının %83'ü daha düşük tenörlü yataklardan gelmektedir (Şekil 1.7). Bilinen toplam 242.341.000 ton kaynağın sadece %5'i (13.087.000 ton) doğrudan satılabilir tenörlüdür.



Şekil 1.7. Türkiye Krom Yataklarının Tenörlerine Göre Dağılımı (ICDA)

Türkiye’de ofiyolitlerin yüzelediği alanlar yaklaşık 20.000 km<sup>2</sup> dolayındadır. Ortalama bu alanın %63’ünü ultramafik kayaların oluşturduğu saptanmıştır (Coleman, 1977). Buna göre Türkiye’de krom yataklarının oluşumuna elverişli alanların 12.600 km<sup>2</sup> büyüklüğünde olabileceği tahmin edilmektedir. Öte yandan, Aladağ (Adana) yöresinde MTA’nın, daha sonra da Etibank’ın arama çalışmaları sonucunda %5.60 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü 198.100.000 ton düşük tenörlü krom cevheri rezervi ortaya konmuştur (DİE, 2004). Ultrabazik kayaların 1.600 km<sup>2</sup> büyüklüğünde bir alanda yüzelediği Aladağ ofiyolitinde birim alana düşen düşük tenörlü kaynak (%5-6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yoğunluğu  $31.250.000 / 1.600 = 123.812,5$  ton / km<sup>2</sup> olarak bulunur (Tekeli ve diğ. 1981). Diğer ofiyolitlerin jeolojik farklılıkları göz ardı edilir ve benzer düşük tenörlü kaynak yoğunluğuna sahip olacakları varsayılırsa, Türkiye’nin keşfedilebilir düşük tenörlü (%5–6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kromit kaynakları potansiyeli yaklaşık 2 milyar ton ( $12.600 \times 123.812,5 = 1.560.037.500$ ) olarak tahmin edilebilir.

Amerika Birleşik Devleti Jelojik Araştırma Kurumu (USGS) verilerine göre dünya krom kaynakları doğrudan satılabilir/kullanılabilir tenörde 12 milyar ton dolayındadır. Bu kaynaklar birkaç yüzyıl dünya talebini karşılamaya yeterlidir. Dünya kromit kaynaklarının yaklaşık %60’ı Güney Afrika’da, %20’si Kazakistan’da, %10’a yakını da Hindistan’da bulunmaktadır. Krom kaynaklarına sahip diğer ülkeler Türkiye, Umman, İran, Finlandiya Arnavutluk, Brezilya ve Çin’dir. Dünya krom üretiminin 2000’li yıllarda 16 milyon ton düzeyinin üzerine çıktığı görülmektedir. Krom cevheri üreten belli başlı ülkelerin sayısı 30 dolayındadır. Güney Afrika 2010 yılındaki 8.500.000 tonluk üretimi ile dünya üretiminde %39 paya ulaşmıştır (Çizelge 1.5).

Dünya krom üretiminde Hindistan'ın üretim performansı da dikkat çekicidir. Sürekli artan bir üretim hızı ile Hindistan, 2010 yılındaki 3.800.000 ton'luk üretime ulaşarak 2. sıraya yükselmiştir.

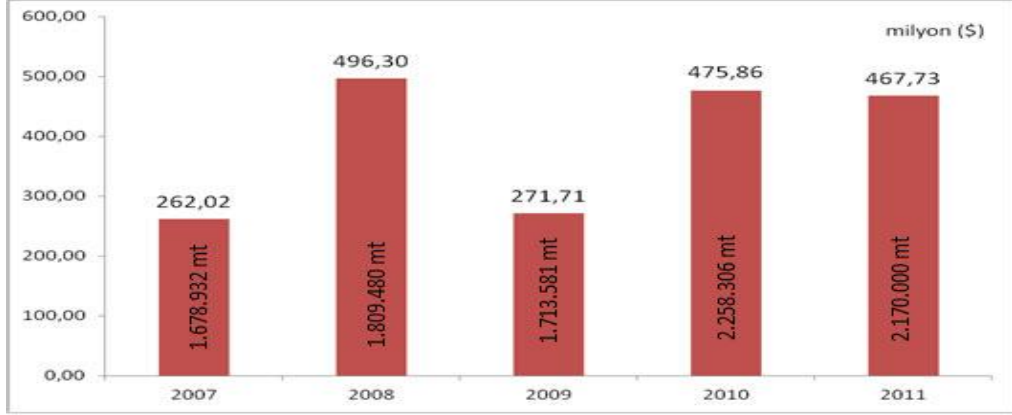
2011 yılında Krom Cevheri ihracatımız bir önceki yılın aynı dönemine göre miktarda %4,1 değerinde de %1,7 oranlarında azalışla, 2,17 milyon ton karşılığı 467,7 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Krom cevheri ihracatımızda önde gelen ülkeler; Çin Halk Cumhuriyeti 387,7 milyon dolarla (%7,4 azalış) birinci, Rusya Federasyonu 25,6 milyon dolarla (%53,8 artış) ikinci, İsveç 10,7 milyon dolarla (%21,8 azalış) üçüncü, Hindistan 10 milyon dolarla dördüncü (%281,2 artış) ve Hollanda 8,6 milyon dolarla (%49,9 artış) beşinci sırada yer almaktadır.

Çizelge 1.5. Dünya Krom Cevheri Üretimi (USGS, 2009) (ton).

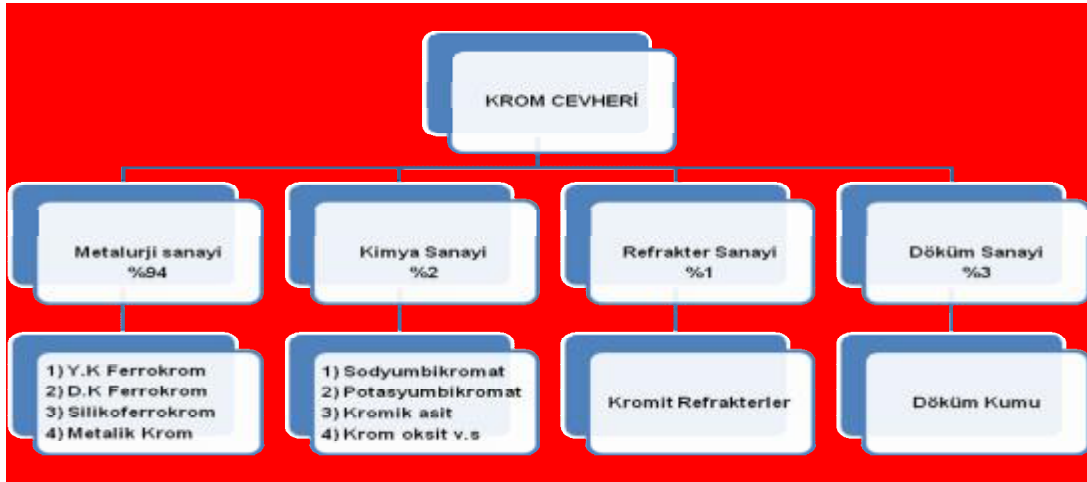
Ülkeler	Yıllar				
	2005	2006	2007	2008	2009
Afganistan	6818	7273	6491	6491	6000
Cezayir	182772	212581	199771	207104	256000
Avustralya	241865	258087	253400	224809	119314
Brezilya	616534	562739	627772	705726	700000
Çin	200000	200000	200000	200000	200000
Küba	34000	27900	25000	25000	25000
Finlandiya	571103	548713	556100	613543	246817
Yunanistan	1500	1500	1400	1400	1400
Hindistan	3255162	3600400	3320000	3900000	3760000
İran	223563	244603	185760	188000	255129
Kazakistan	3581242	3366078	3687200	3629000	3333197
Madagaskar	140847	132335	122260	84000	60000
Umman	50400	70500	407822	859748	636482
Pakistan	148432	199000	323100	320000	275000
Filipinler	38081	46728	31592	15268	14000
Rusya	772000	966065	776681	913000	416194
Güney Afrika	7552000	7418326	9646958	9682640	6865540
Sudan	21654	28772	15476	31890	19000
Türkiye	688787	1059901	1678932	1885712	1770029
Birleşik Arap Emir.	-	-	19000	34350	23770
Vietnam	78915	73037	103830	55880	37105
Zimbabve	819903	712908	663593	484482	279360
<b>Toplam</b>	<b>19200000</b>	<b>19700000</b>	<b>22900000</b>	<b>24100000</b>	<b>19300000</b>

2007-2011 yılları arasındaki ihracatımızı gösteren çizelge aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 1.6. Son Beş Yıllık Krom Cevheri İhracatımız



Krom cevheri başlıca metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayinde kullanılır. (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Krom Cevherinin Kullanım Alanları

### 1.5. Ürün Standartları

Krom cevherleri ticari olarak yalnızca  $Cr_2O_3$  içeriklerine bakılarak sınıflandırılabilirdiği gibi, kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak da sınıflandırılmaktadır (Çizelge 1.7).

Çizelge 1.7. Krom cevherinin kullanım alanlarına göre değerleri (DPT, 2001)

Cevher çeşitleri	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Cr/Fe	Tane İriliği
Metalürjik parça	34-40	(en az) 2,5/1	0-300 mm
Metalürjik parça	40 veya üstü	(en az )2/1	0-300 mm
Metalürjik konsantre	46-48	(en az) 2,6/1	0-2 mm
Metalürjik Jig ürünü	36 ve üstü	(en az) 2,5/1	0-25 mm
Kimyasal konsantre	40 ve üstü	(en az) 1,5/1	0-2 mm
Refrakter parça	(en az) %48 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (en çok) %4 SiO <sub>2</sub>		
Refrakter parça	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = %60 (en az), (en çok) %4 SiO <sub>2</sub>		
Refrakter konsantre	(en az) %50 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (en çok) %2 SiO <sub>2</sub>		
Döküm kumu	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (en az) %44, SiO <sub>2</sub> (en çok) %4 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (en çok) %26, CaO (en çok) %0,5		

### 1.5.1. Metalürji

Metalürji sanayiinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri şöylece özetlenebilir (Çizelge 1.8).

Çizelge 1.8. Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (DPT,2001)

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%34 - 48	Parça boyu	0-300 mm
SiO <sub>2</sub>	%8 - 12	Toz	(-25 mm), en fazla %25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%8 - 15		
MgO	%16 - 22		
CaO	%0,5 - 1		
P+S	eser		
Cr/Fe	2 - 3 / 1		

Metalürji sanayiinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom ise paslanmaz çelik

metal ve silah sanayiinin çok önemli bir maddesidir. Krom; çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar.

### 1.5.2. Kimya

Kimya sanayiinde kullanılan krom konsantrisinde ticari anlamda aranan özellikler şöylece özetlenebilir (Çizelge 1.9).

Çizelge 1.9.Kromun Kimyasal Özellikleri (DPT, 2001)

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%48 ( baz)
SiO <sub>2</sub>	%6-7 ( tipik)
(Cr/Fe)	3/1 ( tipik)
0-20 mm	boyut

Krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasallarıdır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özellikleri nedeniyle uçak ve gemi sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom kimyasalları; metal kaplama, deri tabaklama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlaticı gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama (canning agents), su işleme, temizleme (water treatment), sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilir.

### 1.5.3. Refrakter

Refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörünün %30-40 arasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinin %25-32, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri toplamının (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) %60, SiO<sub>2</sub> oranının ise %10'un altında olması gerekir. Kırılıp elenerek çeşitli boyutlara ayrılan krom cevheri manyezitle karıştırıldıktan sonra kullanım yerine göre şekillendirilir ve pişirilerek krom manyezit tuğlaları oluşturulur.

Kromitin yalnız başına refrakter malzeme olarak kullanılması durumunda  $\text{SiO}_2$  oranının %3'ün altında olması gerekir. Refrakter sanayiinde kullanılan parça ve konsantre krom cevherinde ticari anlamda aranan özellikler Çizelge 1.10'da verilmiştir.

Çizelge 1.10. Kromun Refrakter Sanayiinde Aranan Özellikleri (DPT, 2001)

Ref. Parça	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ %48 ( en az )
$\text{SiO}_2$	%4 ( en fazla)
0-300 mm	Boyut
( 10 mm altı)	%10-15
Ref. Konsantre	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ %50 ( en az )
$\text{SiO}_2$	%2 ( en fazla)
0,5-4 mm	Boyut

Alpin tip krom yatakları, metalürji ve refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin geleneksel olarak üretildiği yataklardır. Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da olumsuz yönde etkilemiştir. Krom cevherinin metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanımları ve bu alanlara göre tüketim oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir.

#### 1.5.4. Döküm

Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayiinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinde  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  içeriğinin en az %44,  $\text{SiO}_2$  içeriğinin en fazla %4,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (toplam demir) içeriğinin en fazla %26 ve  $\text{CaO}$  içeriğinin en fazla %0,5 olması gerekir. Bu kimyasal sınırlamaların yanı sıra fiziksel özellik olarak, krom cevherinin homojen tane boyulu ve köşeli olmayan düzgün tane şekilli olması gerekir (Bayat, 2009).

## 1.6. Kromun Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri

Türkiye'de krom madenciliği başlangıç yıllarında daha çok sahil şeridine yakın, ulaşımı kolay kesimlerde mostra madenciliği şeklinde başlamıştır. İşletmeler kromit bant ve merceklerinin kalınlıkları, tenörleri ve izlenebilir devamlılıklarına bağlı olarak mostra madenciliği ve açık işletmeciliğe dayandırılmış, ileri aşamada da yeraltı işletmeciliğine dönüşmüştür. 1950'li yıllara kadar Türkiye'de krom madenciliği genelde mostra veya açık işletme madenciliği şeklinde yapılmıştır. Açık işletme yöntemleriyle alınabilecek krom cevherlerinin giderek azalması karşısında 1960'lı yıllardan başlayarak, krom yataklarının yeraltı madencilik metotlarıyla işletilmeleri giderek artmaya başlamıştır. Bugünlerde Türkiye'de işletilebilecek özelliklere sahip el değmemiş krom mostrası bulabilme şansı oldukça sınırlıdır. Açık işletmeyle işletilebilen krom yatağı sayısı da geçmişe oranla daha azdır. Son zamanlarda krom cevheri üretiminin büyük kısmı yeraltı madenciliği metotlarıyla yapılmaktadır. Açık işletmelerin derinliği genelde birkaç on metreden fazla değildir. (DPT, 2001).

Geçmişte açık işletme yöntemleriyle işletilmiş olan Gölalan (Guleman, Elazığ) yatağında inilen derinlik 40 m kadardır. Kopdağ kesiminde (Erzincan, Erzurum) Civelek, Armutlu, Gerçek, Doğu Ezan, Batı Ezan, Bal ve Suluocak yataklarını içine alan ve halen madencilik çalışmaları devam eden Büyük Ezan Açık İşletmesi'nin boyu 1.750 m, genişliği 800 m, derinliği ise 200 m kadardır. Gerek Gölalan ve gerekse Büyük Ezan gibi büyük açık işletmelerin boyutları, Türkiye'deki krom madenlerinde genelde rastlanan açık işletmelerin boyutlarının çok üstündedir. Açık krom işletmeciliği yapılan krom yataklarının boyutları genelde birkaç on metre mertebesinde olup yıllık üretimler de birkaç bin ton ile birkaç on bin ton düzeyindedir. Buna karşılık Türkiye'deki krom yatakları içinde boyutları bakımından ayrı bir konumu olan Büyük Ezan (Kopdağ) krom yatağından 1981-1993 arasında yılda ortalama 300 bin ton cevher üretilmiştir. Kromit merceklerinin eğim yönü devamlılıkları genelde doğrultuları boyunca olan devamlılıklarından daha azdır.

Örneğin nispeten düzenli sayılabilecek yapı ilişkileri sergileyen Guleman (Elazığ) yöresi krom yataklarından Tepebaşı, Uzun damar, Batı Kef'de kromit

merceklerinin doğrultu boyunca devamlılıkları sırasıyla 1.350 m, 1.600 m, 1.000 m olmasına karşın eğim yönündeki devamlılıkları yine sırasıyla 485 m, 340 m, 350 m'dir. Bu genellemeye uymayan ve magmatik oluşum sürecinde kanal dolgusu şeklinde geliştiği görüşü savunulan "hortum" veya "boru" şeklindeki krom yataklarında kromit mercek veya merceklerinin eğim yönündeki devamlılıkları doğrultuları boyunca olan devamlılıklarından çok daha fazladır. Bunun en tipik örneklerinden Çamaşırılık (Mihalıççık, Eskişehir) krom yatağında Çamaşırılık 2 merceğinin doğrultusu boyunca olan devamlılığı 130 m, eğim yönündeki devamlılığı ise 400 m kadardır (kot farkı 330 m) (DPT, 2001).

### 1.7. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri

Minerallerin tane büyüklüğü, ayırma yöntemi seçiminde çok önemlidir. Mineralojik yapıları ve kimyasal özellikleri bakımından farklı iki veya daha fazla katı maddenin birbirlerinden ayrılabilmesi için aşağıdaki iki şartın mevcut olması gerekir. Cevher tanelerinde, konsantre edilecek mineralin veya minerallerin tamamen serbest halde bulunması veya bu serbestleşmenin kırma ve öğütme yoluyla kolayca elde edilebilmesi ve serbestleşmiş olan saf mineralin fiziksel vasıflarının (yoğunluk, manyetik çekilme, elektrik iletkenliği) veya kırılma yüzeylerinin fiziko-kimyasal yapılarının farklı olmasıdır.

Kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanacak zenginleştirme yöntemini ve yöntem kombinasyonlarını; cevherin serbestleşme tane iriliği, cevherden üretilebilecek konsantredeki  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $FeO$ ,  $Cr_2O_3$  tenörleri, Cr/Fe faktörü (cevher kullanım kalitesi), gang mineralleri ile kromit minerallerin arasındaki fiziksel (yoğunluk, manyetik özellik, renk vb.), fizikokimyasal özellik farkları belirlemektedir. Buna göre günümüzde uygulanan kromit zenginleştirme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Tavuklama (Triyaj)
- 2- Yoğunluğa göre zenginleştirme

- 2.1- Jiglerde zenginleştirme
- 2.2- Sallantılı masalarda zenginleştirme
- 2.3- Spirallerde zenginleştirme
- 2.4- Multy Gravity Seperator (MGS)

### 3- Manyetik zenginleştirme

- 3.1- Yüksek alan şiddetli kuru manyetik zenginleştirme
- 3.2- Yüksek alan şiddetli yaş manyetik zenginleştirme

- 4- Elektrostatik Yöntemlerle Zenginleştirme
- 5- Flotasyonla zenginleştirme
- 6- Boyuta göre Zenginleştirme

#### **1.7.1. Tavuklama (Triyaj) ile Kromit Zenginleştirilmesi**

Minerallerin renk, parlaklık, fluoresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak elle seçilerek birbirinden ayrılmasına el ile ayıklama ile zenginleştirme denilmektedir (Önal ve ark, 1979).

Tavuklama işleminde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü düşük olmaktadır. Bu sebeple iri boyutlarda serbestleşen krom cevherinde iyi kalitede parça cevher üretmek için bir ön işlem olarak uygulanmaktadır (Önal, 1985).

Triyaj ile zenginleştirmede kromitin; renk, parlaklık, özgül ağırlık gibi özelliklerinin gang minerallerinden farklı olmasından yararlanır. Kromitin gang minerallerinden iri boyutlarda serbest kalması ile gerçekleşebilir ve bazen tek başına bir zenginleştirme işlemi olarak bazen de zenginleştirme işlemi öncesinde bir işlem olarak uygulanır (Gence, 1985).

### 1.7.2. Yoğunluğa Göre Kromit Zenginleştirilmesi

Mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamlardaki hareket farklılığına dayanılarak, birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme veya gravite zenginleştirilmesi adı verilir (Önal ve ark, 1979).

Bu yöntemde; kromit ile gang mineralleri arasındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamdaki hareket farklılığına dayanılarak birbirinden ayrılması ile zenginleştirme gerçekleştirilir (Ağaçayak, 2004).

İçerisinde yan kayaç olarak yüksek oranda peridotit kayaç parçaları ve özellikle olivin (yoğunluğu 3,5–4 g/cm<sup>3</sup>) içeren cevherin yoğunluğuna göre zenginleştirilmeleri mümkün olmaktadır. Ancak cevherdeki olivin oranı az ise özgül ağırlık farkına göre üretilen konsantre, manyetik ayırıcı ile temizlenerek daha yüksek Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü nihai konsantre üretilebilir. Olivin mineralinin olmadığı durumlarda kromit ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkı oldukça fazla olduğundan manyetik zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirme yapılır. Gravite ile zenginleştirmenin verimi konsantrasyon kriterine bağlıdır (Kuşun, 1993).

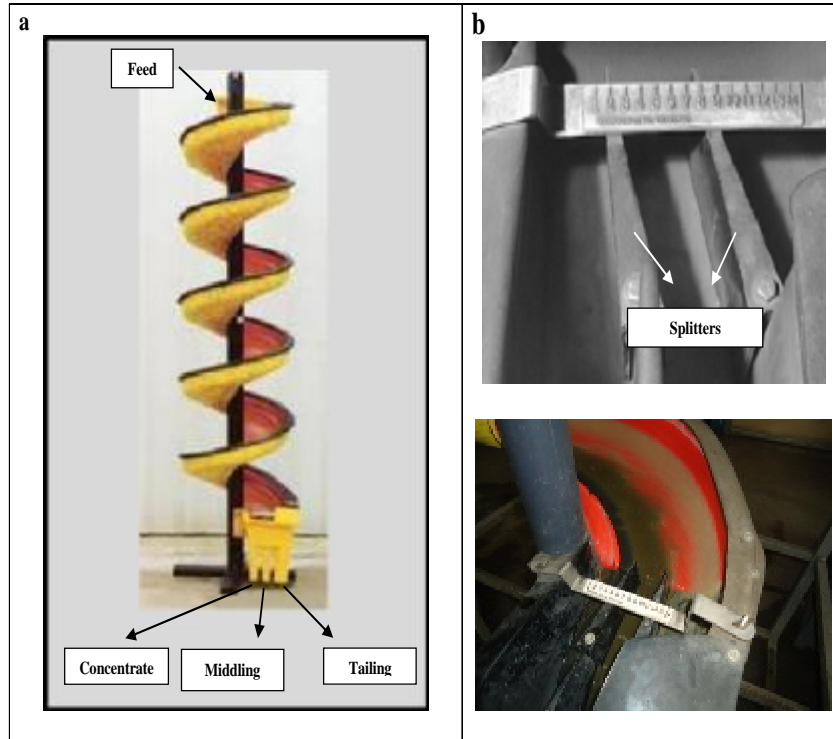
Kromit zenginleştirmesinde en yaygın zenginleştirme yöntemi, yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemlerinden sallantılı masalarda zenginleştirme, jiglerde zenginleştirme ve spirallerde zenginleştirmedir (2,5-3 cm ile 0,2 mm arasında serbestleşebilen cevherlere uygulanır) (Çilingir, 1996).

Cevher, iri tanelerde (30-5 mm) yeterli miktarda serbestleşiyorsa; önce jiglerde işlenerek iyi kaliteli parça cevher üretimi yapılır ve jig artıkları öğütülerek sallantılı masalardan geçirilir (Çilingir, 1996).

Cevherin serbestleşmesi 3 mm'den ince tane iriliklerinde oluyorsa tümü sallantılı masalarla işlenir. Cevherin yeterli bir kısmı 6-0,3 mm arasında serbestleşiyorsa; cevherin 6-0,3 mm tane sınıfı spirallerde -0,3 mm tane sınıfı ve öğütülen spirali orta ürünleri sallantılı masalarda işlenebilir. Bu üç zenginleştirme makinalarından hangilerinin uygun olabileceği her tesis için diğer faktörler de göz önüne alınarak iyice değerlendirilmelidir (Çilingir, 1996).

### 1.7.2.1 Spiraller ile Zenginleştirme

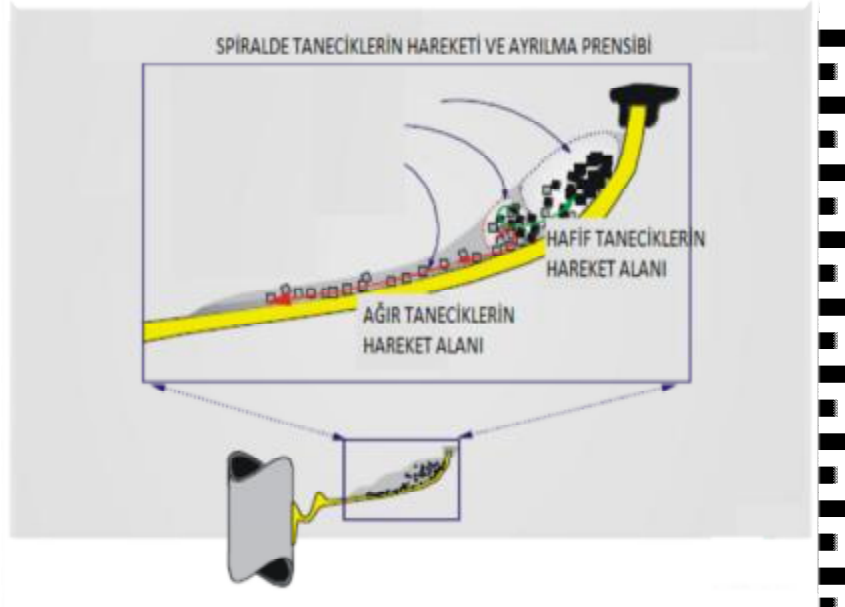
Spiral konsantratörler aslında hidrodinamik kuvvetlerin yerçekimi ve dolaşımdaki akan tabaka sayesinde saf mineralden gelen gangı ayırmak için kullanılan bir konsantratördür. Bu merkezi bir eksen etrafında bir şekilde yapılanmış aşağıya doğru katlanarak giden bir açık oluk şeklindedir. Ortalama 20 cm hatve yarıçapına sahip olmakla birlikte hatveler arasında yaklaşık 30 cm yükseklik farkı ve bir spiralde en az 5 hatve bulunmaktadır. İki spiral iç içe sarılarak çift sargılı olarak da üretilmektedir.



Şekil 1.9. Krebs Spirallerinden görünüm

Tipik bir spiral konsantratörün ana işlem parametreleri besleme miktarı ( $m^3/h$ ), pulp yoğunluğu ve besleme hızı, splitir pozisyonu etkili olmaktadır. (Mishra and Tripathy, 2010; Sivamohan and Forssberg, 1985; Atasoy and Spottiswood, 1995). Spirallerin en büyük avantajı enerji sarfiyatına ihtiyaç göstermeksizin zenginleştirme yapabilmesidir. Zenginleştirme mekanizması karışık olmakla birlikte, farklı yoğunluktaki minerallerin ayrılması, tabaka halinde akan su ve merkezkaç

kuvvetinin birlikte etkisi söz konusudur. Spiralin üstünde bulunan besleme oluşundan homojen bir şekilde beslenen cevher-su karışımı ya da pulp, tabaka halinde aşağıya doğru akar. Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, aşağıya doğru akan tabaka kalınlığı, hatve merkezine yakın kısımlarda ince, merkeze uzak yan kısımlarda ise kalındır. Bu durumda iri ve ağır mineral taneleri merkeze yakın kısımda toplanırken, ince ve hafif mineral taneleri ise dış duvarlara doğru hareket ederler (Şekil 1.9). Spiraldeki helezonik dönme hareketi sadece bir düşey düzlemde tabakalarının meyil aşağı dönmesinden ibaret değildir. Bunun yanında yatay düzlemde de bu yapıdan kaynaklanan hıza yakın bir radyal veya merkezkaç kuvvet durumu söz konusudur. Zenginleştirilecek cevher için palpta katı oranı genellikle ağırlıkça %20-30 olup, ince boyutlu cevherlerde katı oranı %50'lere kadar çıkarılabilmektedir. Besleme tane boyu 1-0,075 mm arasında olabilmektedir. Spiral konsantratörün optimum verimi minerallerin serbestleşme boyutuna, besleme hızına, besleme tonajına v.b proses değişkenlerinin seçimine bağlıdır.



Şekil 1.10. Krom Tanelerinin Spiral Üzerindeki Hareketi

### 1.7.2.1.(1). Helis Enine Kesiti ve Çapı

Çeşitli tipte cevherler üzerinde spiral performansını optimize etmek amacıyla, özellikle imalatçılar tarafından, önemli ölçüde helis (sarmal eğri) kesiti ve çapını geliştirme çalışması yürütülmüştür. Reichret tarafından imal edilmiş spirallerin çeşitliliği bu şirketin spiral geliştirme çalışmalarının kanıtıdır.

Çok çeşitli helis kesiti Sovyetler Birliğinde test edilmiştir (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>). Optimum helis kesitinin 2:1 oranlı bir ekseni olan bir elips olduğu sonucuna varılmıştır.

Bütün spiraller, özellikle kitle akışının iç kenarı boyunca kabuk teşkil etmeye meyillidirler. Bu kabuk, spiral kanadının dış hatlarında küçük ve düzensiz değişikliklere sebep olur. Bu da spiralın işleme karakteristiğini değiştirir. Kabuk teşkili belki hemen hemen fark edilemeyecek derecede yavaş gerçekleşmesine rağmen, düzenli spiral temizliği performansı optimumda tutmak için gereklidir.

### 1.7.2.1.(2). Maksimum Tane Boyutu

Serbestleştirilecek veya en azından tam bir konsantrasyon kriteri verecek kayaç, kömür ve cevherler spiraller üzerinde ayırma tabi tutulabilir. Cevherlerin iyi bir ayırımı için üst sınır büyüklüğü 1 mm'dir. Fakat 3 mm'ye kadar kaba gang taneleri de işlenebilir. Kömür ayırmada ise bu boyut 6 mm'ye kadar çıkmaktadır (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>).

### 1.7.2.1.(3). Tane Şekli

Tane şeklinde belirgin bir farklılık olduğu zaman yoğunlaşma kriteri 1.0'e yaklaştığı zaman bile spiral, minerallerin ayırımını yapabilir. Bunun tipik bir örneği mikanın kuvars ve feldispattan ayrılmasıdır (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>). Puslu mika, helisin dış periferisinde hızlı akan su içine süpürülür. Oysa kuvars ve feldispat kanal içinde yerleşme eğilimi gösterir ve ağır mineral oluklarından çekilip alınırlar.

Optimal şartlarda, yüksek yoğunlukta düşük akış oranına sahip bir mika+kuvars cevherinin içindeki mikanın %90'nın kolayca elde edebildiğini ve konsantrelerle birlikte %90'dan fazla verim sağlandığını tesbit etmişlerdir. (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>).

#### 1.7.2.1.(4).. Besleme Derecesi ve miktarı

Besleme miktarındaki geniş çaplı değişikliklerin kaçınılmaz olması halinde, spirallerin düşük pulp yoğunluğuna göre ayarlanması gerekir. Bu durumda spiral kapasitesi düşmesine rağmen besleme miktarında daha toleranslı davranmak söz konusu olabilir (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>).

Spirallerin düşük besleme derecelerinde uygulandığı veya ön zenginleştirme ünitesi olarak kullanıldığı yerlerde elde etme verimi beslemeden daha önemlidir. Böyle durumlarda spiraller, genellikle beslemedeki iniş-çıkış şartları için emin şekilde geri atılabilen artık verecek şekilde düzenlenir (<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html>).

#### 1.7.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Farklı manyetik duyarlılıktaki bireysel mineral tanelerinin, uygun bir manyetik alan içinde, başlıcası manyetik kuvvet olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin (yerçekimi, sürtünme, merkezkaç vs) bileşik etkilerine dayanılarak, birbirinden ayrılması yoluyla gerçekleştirilen zenginleştirmeye manyetik ayırma ile zenginleştirme denilmektedir (Önal ve ark, 1979).

Farklı manyetik duyarlılığa sahip olan kromit ve gang mineralleri (olivin, serpantin vs.) uygun bir manyetik alan içinde başlıca manyetik kuvvet olmak üzere 28 çeşitli kuvvetlerin bileşik etkilerine dayanılarak birbirinden ayrılması yoluyla manyetik ayırma ile zenginleştirme gerçekleştirilir. Genelde kromitin manyetik alan şiddeti 1.0–1.6 Tesla arasındadır. Ancak kromitin manyetit içermesi durumunda manyetik duyarlılık artmaktadır. Manyetitin gang minerallerine bağlı olması

durumunda ise gangin manyetik duyarlılığı artarak uygulanan alan şiddeti düşmekte ve kromitin gang mineralinden ayrılması güçleşmektedir (Kıdımın, 2009).

Kromitlerin manyetik duyarlılığı  $3.000 - 7.500 \times 10^6$  ve manyetik özgül duyarlılığı  $650 - 2.000 \times 10^6 \text{ g/cm}^3$  civarında değişmektedir. Bu nedenle yapısal durumuna göre kromitler  $6.000-15.000$  Gauss şiddetindeki manyetik alanlarda çekilebilirler. Cevherin ince taneli öğütülmesi gerektiğinden yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar tercih edilirler. Cevher ( $-0,2 \text{ mm}$ 'den) iri taneli olarak serbestleşiyorsa; duruma göre kuru manyetik ayırma uygun olabilir (Kıdımın, 2009).

#### **1.7.4. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme**

Minerallerin iletkenlik farkına dayanan ve mineral tanelerinin kuru olarak zenginleştirilmesi için uygulanan yönteme, elektrostatik zenginleştirme adı verilmektedir. Esas olarak, elektrostatik kuvvetlere dayanan bu yöntemde, minerallerin, yüksek gerilim altında, statik bir elektrik yükü kazanıp bu yükü bir süre kaybetmeme yeteneğinden yararlanılmaktadır. Uygun şekilde etki altında bulundurulmuş mineraller, elektron kazanarak veya kaybederek, elektrikle yüklendiklerinden, topraklanmış veya elektrik yüklü başka maddeler tarafından itilir, çekilir veya yüksüz (nötr) hale getirilebilir (Önal ve ark, 1979).

Elektrostatik yöntemle zenginleştirilen kromit cevherlerinde  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  içeriği yüksek ancak kazanma verimi düşük ürünler elde edilmektedir. Metal kazanma veriminin düşük olmasının nedenlerinden biri, çok ince tanelerin, nispeten iri tanelerin yüzeylerini kaplamaları ve bu tanelerin yüksek alan içindeki dayanımlarını ters yönde etkilemeleridir. Diğer bir neden ise, fazla miktarda serpantin minerali içeren cevherlerde serpantin elektrik alanı içinde iletken gibi davranması sonucu, ayırma verimini ters yönde etkilemesinden ileri gelmektedir (Kurşun, 1993).

#### **1.7.5. Flotasyon ile Zenginleştirme**

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellik farklılıklarından yararlanılarak bazı minerallerin su içinde yüzdürülmesi bazılarının da bastırılması ile

gerçekleştirilen zenginleştirme işlemi flotasyon olarak isimlendirilir. Kromit zenginleştirmesinde flotasyon uygulaması, çok ince tanede serbestleşen cevherlerin ve gravite zenginleştirmesinden geçmiş fazla kromit içeren artıkların değerlendirilmesinde söz konusudur (Çilingir, 1996).

Flotasyon yöntemi ile gangı oluşturan olivin, serpantin gibi minerallerin kromitten ayrılması amaçlanmaktadır. Bu işlem kromiti yüzdürmek, gangı bastırmak şeklinde olabileceği gibi kromiti bastırıp gangı yüzdürmek şeklinde de olabilir. Kromiti bastırmak için dextrin kullanılır (Kıdımın, 2009).

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

Flotasyon yöntemi ile gangı oluşturan olivin, serpantin gibi minerallerin kromitten ayrılması amaçlanmaktadır. Bu işlem kromiti yüzdürmek, gangı bastırmak şeklinde olabileceği gibi kromiti bastırıp gangı yüzdürmek şeklinde de olabilir. Kromiti bastırmak için dextrin kullanılır (Gence, 1985).

Kromit yağ asitleri, sülfat ve sülfonatlarla yüzdürülebilir. Yağ asitleri ile flotasyonda gangı bastırmak için sodyum silikat, sodyum fluosilikat ve kalgon gibi reaktifler, kromitin flotasyonunu kolaylaştırmak için ise selüloz tipi organik kolloidler kullanılır. Yağ asitleri nötr veya alkali ortamda daha tesirlidirler (Güney, 1990).

Gang şlamı, kromit yüzdürmesini güçleştirdiğinden, önce mekanik yöntemlerle uzaklaştırıldıktan sonra flotasyonla kromit yüzdürülür. Kromit, hidrokarbon zincirindeki karbon adedi 12'den fazla olan, yağ asidi olarak adlandırılan karboksilatlarla veya yağ asitlerinin alkali metal tuzları olan sabunlarla pH=7-8'de yüzdürülebileceği gibi, karbon zincirinde 12'den fazla karbon içeren sülfat veya sülfonatlarla pH=3-5'te yüzdürülmektedir. Bu anyonik kollektörlerle yüzdürme işleminde kromit iki değerli demir ve kurşun iyonlarının tuzlarıyla canlandırılabilir. Ayrıca katyonik kollektörlerle (aminlerle) pH=12'de serpantinleri yüzdürülen kromit cevherinden pH=3'de yine amin toplayıcılarla kromit yüzdürülerek konsantre alınabilmektedir (Ağaçayak, 2004).

### 1.7.6. Boyuta Göre Sınıflandırma ile zenginleştirme

#### 1.7.6.1. Hidrosiklon

Birçok sınıflandırma uygulamasında 1890 yılından beri endüstride kullanılır. Kumun, sudan ayrılması amacıyla kullanılır. Mekanik olarak sabit bir dizaynının olmasına rağmen cevher hazırlamada en kompleks ve anlaşılması zor bir cihazdır. Suyu karıştırılmış olan malzemenin siklon içinde girdap oluşturması istenir. İnce taneler genelde boşluğun etrafında sıralanarak vakumdan dışarı atılır. İri taneler, yer çekimi etkisiyle aşağı doğru düşer. Enerji tüketimi azdır. 150-5 micron tane boyutuna sahip malzemenin sınıflandırılmasında yaygın şekilde kullanılır (Bayat, 2009).

##### 1.7.6.1.(1). Mekanik Aksamı

Hiç hareketli parçası bulunmayan hidrosiklon, silindirokonik şekilde olup çapı birkaç mm'den 2.5 metreye kadar değişir. Ağırlıkları ise birkaç *ounce*'dan (1 ounce= 28 gram) birkaç tona değişir. (Bayat, 2009).

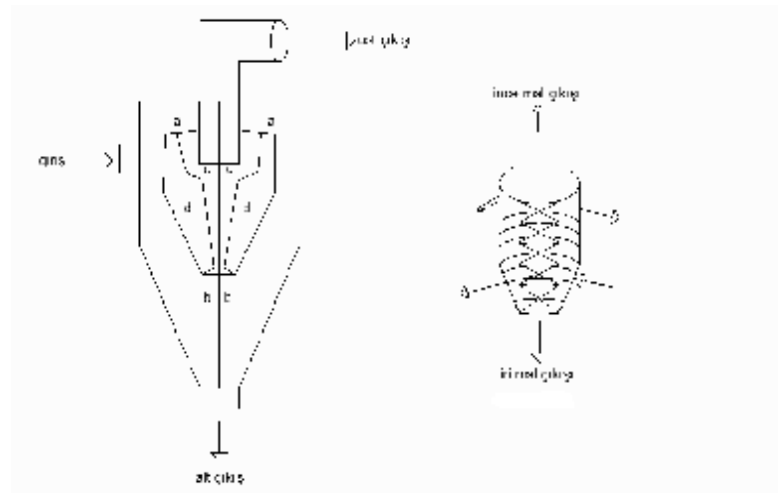
##### 1.7.6.1.(2). Besleme Borusu

Siklon içinde hareketli parça olmaması nedeniyle tanelerin sınıflandırılmasını sağlayan dönme hareketi teğetsel olarak siklona giren bulamaçla veya suyun hızına bağlıdır. Cevher hazırlamada genellikle besleme hızı 3- 9 m / sn arasında değişir. (Bayat, 2009).

Besleme borusu, merkez eksenini siklon iç çapına teğetseldir. Besleme borusu iç ve dış kenarlardan her ikisi de siklon iç çapına teğetseldir. Şekil 1.11 ve 1.12 de hidrosiklonun genel görüntüsü verilmektedir.



Şekil 1.11. Hidrosiklonun Krom Zenginleştirme Tesisi İçerisindeki Görüntüsü



Şekil 1.12. Hidrosiklonun Şekli ve Çalışma Prensibi (Bayat, 2009).

Buna göre

- a bölgesi: Sınıflandırılmış besleme malı bulunmaktadır.
- b bölgesi: Siklon içinde en büyük alanı kaplar ve iri malzemeyi içermektedir.
- c bölgesi: Tamamen sınıflandırılmış ince malzemeyi içermektedir.
- d bölgesi: Merkezden çevreye doğru sınıflandırmanın yer aldığı ve merkeze en yakın noktalarda daha ince tane dağılımına sahip malzemenin bulunma olasılığı artmaktadır (Bayat, 2009).

Üst tarafta ince mal çıkışı vardır. Alt tarafta iri mal çıkışı vardır. Sol üst tarafta besleme malı bulamaç halinde teğetsel olarak siklona girer. İç tarafta Siklon içindeki malzeme girdap şeklinde hareket eder. Sağ üst tarafta teğetsel besleme siklon içinde yüksek hızda merkezkaç kuvveti doğurur. Sağ alt tarafta siklon içinde askıda kalan malzeme yan duvarlar boyunca aşağıya doğru spiral hareket ederek alttan dışarıya çıkar (Bayat, 2009).

#### **1.7.6.1.(3). Hidrosiklonun Kullanım Amacı**

1. Sınıflandırma Amacı: Besleme malı içindeki iri ve ince kısmı ayırmak için kullanılır. Bu tür siklonların çapları küçük tabanları uzundur.
2. Zenginleştirme Amacı: Besleme malı içindeki kıymetli minerali kazanmak için kullanılır. Bu durumda siklonun altında yoğunluğu fazla olan maddeler. Üstünde ise yoğunluğu az olan hafif maddeler çıkarılır.

Siklon içindeki bir taneye merkezkaç ve çekme kuvveti etki eder. Merkezkaç kuvveti tanelerin çökmesini tanelerin boyut ve yoğunluğuna da bağlı olarak hızlandırmakta ve daha hızlı çöken taneler siklon konisinin iç duvarlarına fırlamakta ve siklon altı çıkış borularından dışarı atılmaktadır. Çekme kuvvetinin etkisiyle daha yavaş çöken taneler alçak basınç ve düşük merkezkaç kuvvet bölgesine hareket eder.

Bu bölge hava dolu girdabın etrafını çevreler ve pülp içindeki ince taneleri malzeme girdaba doğru giderek hava sütununun etrafındaki bölgeye geçer buradan çıkış borusuna, oradan da siklon dışına çıkar (Bayat, 2009).

#### **1.7.6.1.(4). Ayırma Tane İriliği**

Siklon ayırma tane iriliği olarak,  $d_{50}$  terimi kullanılır. Belirli bir tane boyutunda, besleme malının %50'si iri mala karışırken, %50'si ince mal içinde siklondan alınır. Besleme malının %50'sine ağırlıkça içeren bir  $d_{50}$  tane iriliğindeki alt ve üst çıkış yönlerinin elek analizi sonucu bulunabilir (Bayat, 2009).

**1.7.6.1.(5). Hidrosiklon Çalışmasını etkileyen Parametreler**

Malzemenin sürekli aynı koşullarda beslenmesi zorunludur. Belirli limitler içinde artırılan besleme debisi ayırma başarısını artıracaktır. Besleme malının bulamaç yoğunluğunu artırmak ayırımın hassasiyetini azaltır. İnce mal çıkış borusunun çapı genişletildiğinde kapasitede artış ve daha iri tanede ayırım gerçekleşir. Spigot değişimi daha uygun bir uygulamadır. Vortex ile ayarlama yapılmaz.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önal ve ark. (1979), Fethiye – Üçköprü ve Kavak tesislerinin artıkları ile yapılan deneylerde, pülp yoğunluğu, manyetik alan şiddetli ve tane boyutunun kromit ayırmasına etkileri incelenmiş; sonuçta Fethiye – Üçköprü artığından 0,1 mm altında %48,56 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantrenin %80 verimle, Kavak artığından ise 0,037 mm altında %48,2 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantrenin %56 verimle elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Salisbury ve ark. (1982), Kaliforniya (ABD)'deki %2,4 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü Auburun cevheri ve Kuzey Kaliforniya'daki %6 tenörlü Seiad Creak cevher örnekleri üzerinde sallantılı masa ve manyetik ayırmanın bir kombinasyonu sonucunda Auburun'da %36,4'lük bir verim ile %44,7 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü, Seiad Creak'de ise %50'lik bir verim ile %50 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde etmişlerdir.

Öztürk ve ark. (1987), Etibank Elazığ Ferrokrom tesislerinde (şu an Yıldırımlar A.Ş.) curuf içerisindeki kromit ve ferrokromun kazanılması ile ilgili bir çalışmada, sallantılı masa testleri sonucunda %64,87 verimle ortalama %34,92 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre üretilmiş ve bu konsantrenin tekrar sallantılı masa testleri sonucu az bir verim kaybı ile çok daha yüksek tenörlü bir konsantre üretilbileceği vurgulanmıştır.

Öztürk ve ark. (1987), Etibank Bursa Harmancık işletmesi kromit cevherinin sallantılı masa ile zenginleştirilmesinde toplam %87,5 verim ile %52,66 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü krom konsantresi üretilirken %12,42 kayıpla %8,75 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü artık atılmışlardır.

Doğan ve ark. (1988), 150 ton/gün kapasiteli Karagedik – Üçköprü kromit zenginleştirme tesislerinde %31,6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü cevher işletilmektedir. Cevher, ilk önce 20 mm'nin altına indirilmekte, daha sonra bilyalı ve çubuklu değirmenler ile 1 mm ye indirildikten sonra, sallantılı masalara verilen %48 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre üretilir. Tesisin kromit kazanma verimi %80 – 85, artık tenörü %10 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'tir.

Çilingir (1990), 5000–6000 ton/yıl kapasiteli Kef konsantratöründe %30–33 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü, olivin içeren ince tanede serbestleşen cevher -0,3 mm'ye öğütüldükten sonra yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılardan geçirilerek, bilyalı

değirmende -0,1 mm'ye öğütüldükten sonra düşük ve yüksek alan şiddetli ayırıcılarda kromit kayıpları en az düzeye indirilmiştir.

Çilingir (1990), Selikwe (Rodezya) kromit zenginleştirme tesislerinde iki katlı eleklerden geçirilen cevherin (51 mm ve 6,35 mm) iri ürünü ağır ortam ayırıcısı ile orta ürünü jigler ile ve ince ürünü ise sallantılı masa ve şlam masası ile işlenerek yüksek tenörlü konsantreler üretilmiştir.

Deniz (1992), Burdur – Yeşilova yöresi kromit yataklarından aldığı kromit cevher numunesi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Kimyasal analizler sonucunda kromit cevherinin %30,81  $Cr_2O_3$  içerdiğini ve Cr/Fe oranının 1,9 olduğunu saptamıştır. Sallantılı masalar ile yapılan çalışmalarda konsantre, ara ürün ve artık olmak üzere her bir fraksiyon için üç ayrı ürün alınmıştır. Deney sonuçlarından: -0,425+0,300 mm fraksiyonunda %48,22  $Cr_2O_3$  ve %75,26 verimli, -0,180+0,106 mm fraksiyonunda %50,41  $Cr_2O_3$  tenörlü ve %57,19 verimli, -0,106+0,075 mm fraksiyonunda %49,51  $Cr_2O_3$  tenörlü ve %61,13 verimli konsantre elde edilmiştir. MGS ile yaptığı eğim ve dönme hızı deney sonuçlarından %41,72  $Cr_2O_3$  tenör ve %66,99 verimle konsantre elde edilmiştir.

Deniz (1992), Burdur – Yeşilova Yöresi kromitlerini Corpco tipi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile zenginleştirmeye çalışmıştır. Manyetik ayırma deneylerinde öncelikle manyetik ayırma şiddetinin etkisini incelemiştir. Yapılan ön deneyler sonucunda yeterli tenör ve verimle konsantre elde edememiştir.

Kurşun (1993), Sivas - Ulaş - Karanlıkdere bölgesinde bulunan özel sektöre ait %22,47  $Cr_2O_3$  tenörlü kromit cevherlerini zenginleştirmeye çalışmıştır. Deneylerde kullanılan manyetik ayırıcı, “Yüksek alan şiddetli kuru Corpco C13 tipi manyetik ayırıcı olup” -0,150+0,106 mm ve -0,075+0,038 mm fraksiyonlarına hazırlanan numuneleri manyetik ayırma ile zenginleştirmeye tabi tutmuştur ve düşük tenörlü yüksek verimde bir konsantre elde etmiştir (%31,39  $Cr_2O_3$ , % 94,35 verim).

Kurşun (1993), Sivas – Ulaş – Karanlıkdere bölgesinde bulunan özel sektöre ait kromit yatağının, jig, sallantılı masa, manyetik ayırma ve flotasyonla optimum koşullarda zenginleştirme imkanı araştırılmış ve %22,47  $Cr_2O_3$  içeren kromit, yapılan deney sonuçlarına göre en uygun yöntemin sallantılı masa olduğu tespit edilmiş

%52,60 ağırlık ve %48,43 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantrenin %88,14 verim ile elde edileceğini belirtmiştir.

Özdağ ve ark. (1994), MGS ile şlam ve masa artıklarından kromitin geri kazanılması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Şlam ve masa artığından alınan sırasıyla %19,6 ve %16,6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü numuneler üzerinde yıkama suyu miktarı, salınım genliği, salınım frekansı, eğim açısı ve tambur dönme hızı gibi bazı kritik değişkenlerin etkileri her iki örnek üzerinde araştırılmıştır. MGS performansını etkileyen en önemli değişkenin tamburun dönme hızı olduğunu; şlam ve masa artıklarından sırasıyla %56,8 ve %58,8 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantreler %60,0 ve %48,3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kazanma verimiyle elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Turgut (1995), tarafından yapılan çalışmada ortalama %22,54 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü Karaburhan kromit cevherinin gravite yöntemleri ile zenginleştirme yöntemleri araştırılmıştır. Laboratuvar ölçeğinde, sallantılı masa ve MGS deneyleri yapılarak optimum koşullar belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda (-0,425+0,210 mm) ve (-0,210 mm) tane iriliklerindeki masa artığı, ara ürün ile birleştirilerek MGS' de zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa+MGS deneyleri sonucunda, %52,13 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre %72,60 verimle elde edilmiştir.

Aslan (1996), MGS ile yaptığı kromit zenginleştirme çalışmalarında; tambur dönüş hızı ve eğim açısının en etkin işletme parametreleri olduğunu, diğer değişkenler olan yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı, titreşim genliği ve titreşim frekansının ise ayırmayı daha az etkin olduklarını belirtmiştir. Zenginleştirme tane boyutunun ise ayırmada, cevher özelliği olarak çok önemli bir parametre olduğu, ince boyutlarda ayırmanın iyi, iri boyutlarda ise ayırma hassasiyetinin azaldığını belirtmiştir. Belirlediği optimum çalışmada parametreleri ile yapılan zenginleştirme deneylerinde, %24 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli besleme malından %51,18 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantreyi %94,04 verimle elde etmiştir.

Sönmez ve Turgut (1997), Düşük tenörlü Karaburhan kromitlerinin gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalarından ortalama %26 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü Karaburhan cevherini zenginleştirebilmek için, gravimetrik zenginleştirme yöntemleri uygulanmıştır. Önce sallantılı masa sonra MGS ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde +0,425 mm, -0,425

+0,210 mm ve -0,210 mm olmak üzere üç farklı boyut grubunda zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Her boyut grubu için optimum frekans ve masa eğimi belirlenmiştir. Sallantılı masada ortaya çıkan ara ürün MGS’de zenginleştirilmiştir. Ayrıca -0,210 mm tane iriliğindeki ince boyutlu cevherin MGS’ de zenginleştirilebilirliği araştırılmış ve optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda, +0,425 mm tane iriliğinde olumlu sonuçlar alınamamıştır. -0,425 + 0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %75,31 verimle, %50,64 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre; -0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %58,83 verimle, %44,97 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantreler kazanılmıştır. Ara ürünlerin MGS’de iki kademedede zenginleştirilmesiyle %43,79 verimle %48,18 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre, -0,210 mm tane iriliğindeki cevherin iki kademedede zenginleştirilmesi sonucunda %71,45 verimle, %48,20 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir. Sallantılı masa ve MGS sonuçları birleştirildiğinde toplam metal kazanma verimi %79,79, olup ortalama tenör %49,75 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olmaktadır.

Samanlı (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik kromit atıklarının tenörü yükseltilecek atıktan elde edilen konsantrenin test sonuçlarını ortaya koymuştur. Ortalama %12 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü yaklaşık -1 mm boyutlu numune 0,106 mm elekten yaş olarak elendikten sonra sallantılı masa zenginleştirilmesi neticesinde %20,6’ya yükseltilmiştir. MGS deney sonuçlarında ise, 180 dev/dk tambur dönüş hızı, 4 lt/dk. yıkama suyu ve 4<sup>0</sup> eğiminde, %48,8 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 65,9 verimle satılabilir kromit konsantresi elde etmiştir.

Çiçek ve ark. (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik konsantratörünün ince gravite artıklarından MGS kullanılarak %51,6 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimli %48 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü bir konsantre elde etmiştir.

Özkan ve ark. (2001), Yaptıkları çalışmalarda ince kromit artıklarının zenginleştirilmesine için Üçköprü madeninden temsili örnekler alarak yaptıkları çalışmalar sonucunda temsili numunelerin %12,8 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiğini tespit etmişlerdir. MGS ünitesinde zenginleştirmeye çalışmışlardır. Deneyler sonucunda optimum şartların; eğimin 2<sup>0</sup>, frekansın 5,7 dev/sn, genliğin 15 mm ve tambur hızının 230

dev/dk olduğunu tespit etmişlerdir. -0,038 mm fraksiyonda %47 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü %72 verimli konsantre elde etmişlerdir.

Çiçek ve Cöcen (2009), Santrifüj etkili Mozley seperatörünün (MGS) düşük tenörlü (%9,3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kromit cevherlerinin ince fraksiyonuna (-0,1 mm) uygulanabilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. Elek metal analizleri deneyler için 1 mm altına öğütülen cevherin %83,9'unun +0,106 mm boyutunda ve %16,12 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü olduğunu göstermiştir. +0,1 ve -0,1 mm tane fraksiyonları sırasıyla sallantılı masa ve MGS için besleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde düşük kromit veriminde satılabilir kaba bir konsantre elde edilmiştir. Ancak masa ara ürünlerinin bir kısmı 0,1 mm altına öğütüldükten ve MGS ile zenginleştirildikten sonra sallantılı masa ve MGS kombinasyonu ile %46,22 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü bir konsantre %66,1 verimle elde edilebilmiştir. MGS'nin düşük tenörlü bir kromit cevherinin zenginleştirilmesinde ince tane boyutlarında kullanılacak bir zenginleştirme yöntemi olduğunu göstermişlerdir. Zenginleştirme tesisi için prensip akım şeması önermişlerdir.



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Kromit Numunesinin Hazırlanması

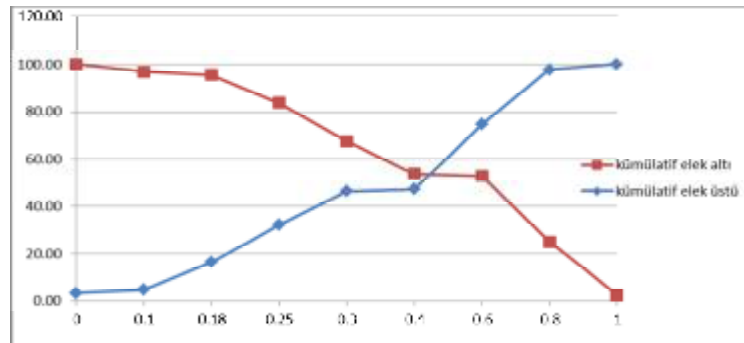
Bu çalışmada kullanılan kromit cevheri Mersin Erdemli ilçesi Kösbucağı Köyü Köypınarı mevkiinden temin edilmiştir. İlk Maden yatağından çıkarılan kromit cevherinden yaklaşık 100 kg alınarak Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama laboratuvarlarına getirilmiş ve iri tanedeki malzemenin (+3 cm) tamamı çeneli kırıcıdan geçirilerek 1 mm altına indirilmiştir.

#### 3.2. Numunelerin Karakterizasyonu

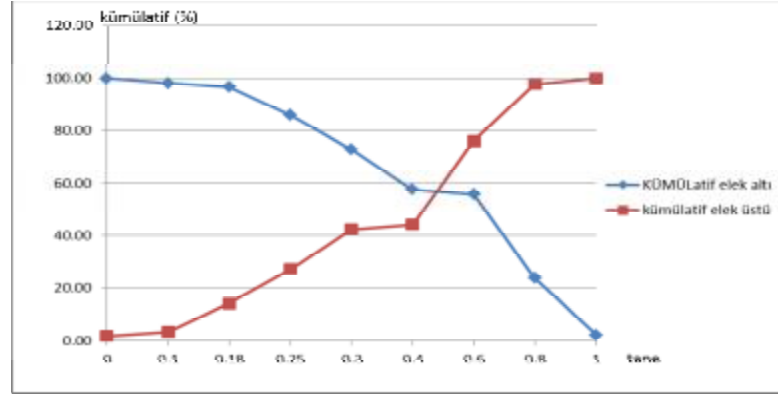
Deneylerde kullanılan numunelerin elek analizleri; Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Tane irilik dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizlerinde 0,1000 mm, 0,800 mm, 0,600 mm, 0,400 mm, 0,300 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,100 mm ve 0,050 mm elek açıklıklarında elekler kullanılmıştır.

Spirale beslenen malzeme (-0.1000 mm), ve Bilyalı değirmende öğütülmüş olan (-1000 mm) numunelerinin tane irilik dağılımları Şekil 3.1, ve 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Spiral Kromit Numunesinin Tane İrilik Dağılımı

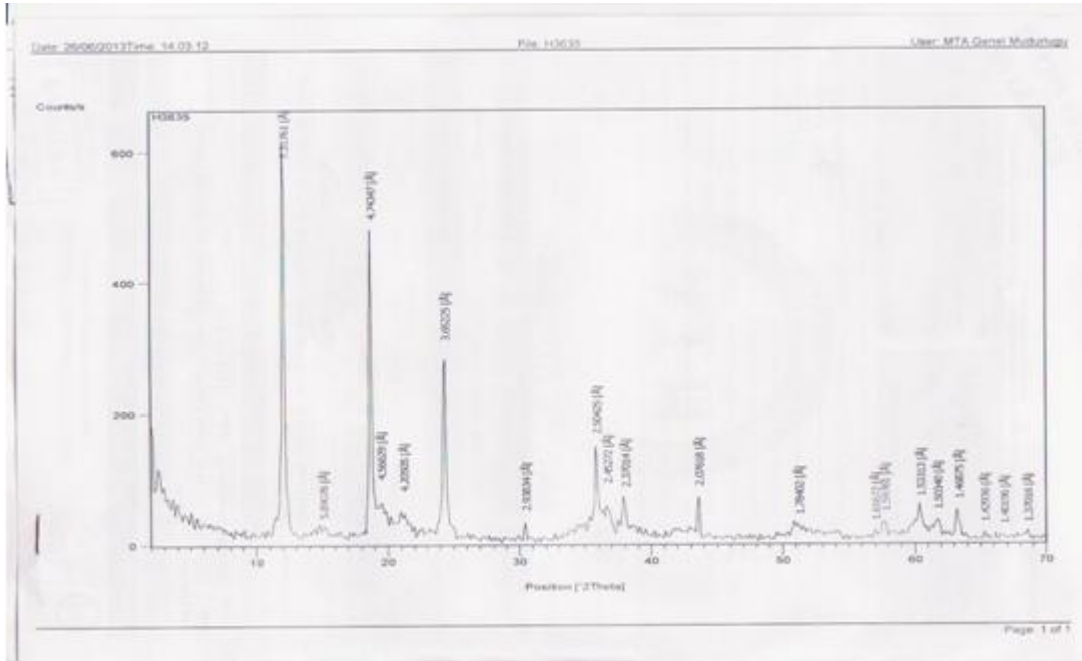


Şekil 3.2. Bilyalı Değirmen Numunesinin Tane İrilik Dağılımı

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Spiral (-0.1000 mm) numunesinin  $d_{80} = 0,259$  mm olarak bulunmuştur.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Bilyalı Değirmen (-0.1000 mm) numunesinin  $d_{80} = 0,273$  mm olarak tespit edilmiştir.

MTA Cu X-ışın tüplü Panalytical X’Pert Powder XRD cihazı ile 40-700 arasında gerçekleştirilen XRD analizleri sonucunda numunelerde saptanan mineralojik bileşikler Şekil 3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3. Tüvanan Cevher XRD Analizi Grafiği

Şekil 3.3' de görüldüğü gibi Tüvanan cevherin başlıca Serpantin ve Kromit Minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

### 3.3. Serbestleşme Tane İriliği

Maden ocağından gönderilen numuneden alınan yaklaşık 10 kg malzeme laboratuvar tipi çeneli kırıcıda 10 mm nin altına indirildikten sonra konileme-dörtleme yöntemi ile miktarı azaltılmıştır.

Ufalanmış temsili numuneden alınan 1,25 kg örnek, merdaneli kırıcıda 3 mm' nin altına ufalanmış ve yaş elemeye tabi tutulmuştur. Elek fraksiyonları (-3+2 mm, -2+1 mm, -1+0,5 mm, -0,5+ 0,3 mm, -0,3 + 0,1 mm ve -0,1 mm), etüvde 105 °C de kurutulduktan sonra tartılmıştır.

Elek fraksiyonlarından alınan bir miktar malzeme, lamel üzerine serilmiş ve stereo mikroskopta tane serbestleşmesini tespit etmek için sayılmıştır.

Aşağıda her bir tane fraksiyonu ve 3 mm'nin altındaki tüm malzeme için sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 3.1. -3 + 2 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	20	22
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin-Kromit</b>
	2-10-3-3-2-9-8-2-2-2-15-17-10-4 Toplam = 89	Toplam = 191
	14 adet	14 adet

Serbest Kromit Tane Sayısı :20 adet

Kromit – Serpantin bağlı tanelerdeki kromit sayısı :89/20 = 4,45 adet

Toplam kromit taneleri : Serbest kromit taneleri + (bağlı kromit taneleri x kenetlenme faktörü) = 20 + ( 4,45 x 1,3 ) = 25,79 adet

$$S_{KROMİT} = \frac{SerbestKromit}{ToplamKromit} * 100$$

$$S_{KROMİT} = \frac{20}{25,79} * 100 = \%77,55 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 3.2. -2 + 1 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	43	47
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin- Kromit</b>
	7-8-8-2-4-5-10-4-2-15-15-12-18- 17-16-8-11-2-8-2-2-10-5-2-3- 5-10-11-5-18-10-17-8 Toplam = 282	Toplam = 398
	34 adet	34 adet

Serbest kromit tane sayısı : 43 adet

Kromit – serpantin bağlı tanelerdeki kromit sayısı :  $282/20 = 14,1$  adet

Toplam kromit taneleri : Serbest kromit taneleri +(bağlı kromit taneleri x kenetlenme faktörü) =  $43 + (14,1 \times 1,3) = 61,33$  adet

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{\text{SerbestKromit}}{\text{ToplamKromit}} * 100$$

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{43}{61,33} * 100 = \%70,11 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 3.3. -1 + 0,5 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	83	109
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin- Kromit</b>
	5-3-4-8-12-10-2-15-8-4-1-10-3- 5-10-8-7-5-3-2-8-10-15-18-7-12- 3-5-7-10-12-2-8-5-3-10-10-9-3- 17-10-2-11-4-17-18-16 Toplam = 377	Toplam = 563
	47 adet	47 adet

Serbest kromit tane sayısı : 83 adet  
 Kromit – serpantin bağı tanelerdeki kromit sayısı :  $377/20 = 18,85$  adet  
 Toplam kromit taneleri = Serbest kromit taneleri + (bağı kromit taneleri \*  
 kenetlenme faktörü) =  $83 + (1,3 * 18,85) = 107,51$  adet

$$S_{KROMİT} = \frac{SerbestKromit}{ToplamKromit} * 100$$

$$S_{KROMİT} = \frac{83}{107,51} * 100 = \%77,20 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 3.4. -0,5 + 0,3 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	200	295
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin- Kromit</b>
	17-3-5-2-13-15-2-2-3-5-7-10-5- 9-3-2-2-8-7-2-3-18-2-1	Toplam = 334
	Toplam = 146	
	24 adet	24 adet

Serbest kromit tane sayısı : 200 adet  
 Kromit – serpantin bağı tanelerdeki kromit sayısı :  $146/20 = 7,3$  adet  
 Toplam kromit taneleri = Serbest kromit taneleri + (bağı kromit taneleri \*  
 kenetlenme faktörü) =  $200 + (7,3 * 1,3) = 209,49$  adet

$$S_{KROMİT} = \frac{SerbestKromit}{ToplamKromit} * 100$$

$$S_{KROMİT} = \frac{200}{209,49} * 100 = \%95,47 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 3.5. -0,3 + 0,1 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	199	315
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin- Kromit</b>
	8-10-2-5-7-12-18-3-2-2 Toplam = 69	Toplam = 131
	10 adet	10 adet

Serbest kromit tane sayısı : 199 adet

Kromit – serpantin bağlı tanelerdeki kromit sayısı :  $69/20 = 3,45$  adet

Toplam kromit taneleri = Serbest kromit taneleri + (bağlı kromit taneleri \* kenetlenme faktörü) =  $199 + 1,3 * 3,45 = 203,49$  adet

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{\text{SerbestKromit}}{\text{ToplamKromit}} * 100$$

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{199}{203,49} * 100 = \%97,79 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 3.6. -0,1 mm Tane Sınıfı

	<b>Kromit</b>	<b>Serpantin</b>
Serbest Tane Sayısı	25	550
İkili Tane Sayısı (20 üzerinden)	<b>Kromit-Serpantin</b>	<b>Serpantin- Kromit</b>
	8-7-3-6-5 Toplam = 29	Toplam = 71
	5 adet	5 adet

Serbest kromit tane sayısı : 25 adet

Kromit – serpantin bağlı tanelerdeki kromit sayısı :  $29/20 = 1,45$  adet

Toplam kromit taneleri = Serbest kromit taneleri + (bağlı kromit taneleri \* kenetlenme faktörü)

$$= 25 + 1,3 * 1,45$$

$$= 26,89 \text{ adet}$$

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{\text{SerbestKromit}}{\text{ToplamKromit}} * 100$$

$$S_{\text{KROMİT}} = \frac{25}{26,89} * 100 = \%92,97 \text{ olarak bulunur.}$$

### 3.4. XRF Analiz Sonuçları

Spiraller kurulmadan önceki Krom zenginleştirme tesisinin verileri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. XRF Analizi Sonucunda Numunelerde Tespit Edilen Değerler

Parametre	Besleme %	Konsantre %	Artık %
MgO	39,0	16,9	38,7
SiO <sub>2</sub>	42,1	12,0	43,0
SO <sub>3</sub>	0,03	0,044	0,077
CaO	0,911	0,52	1,29
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,070	0,15	0,012
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,70	48	1,8
MnO	0,03	0,13	0,257
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,13	18,1	13,25
NiO	0,264	1,059	0,637
CuO	0,686	0,18	0,023
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,011	0,040	0,046

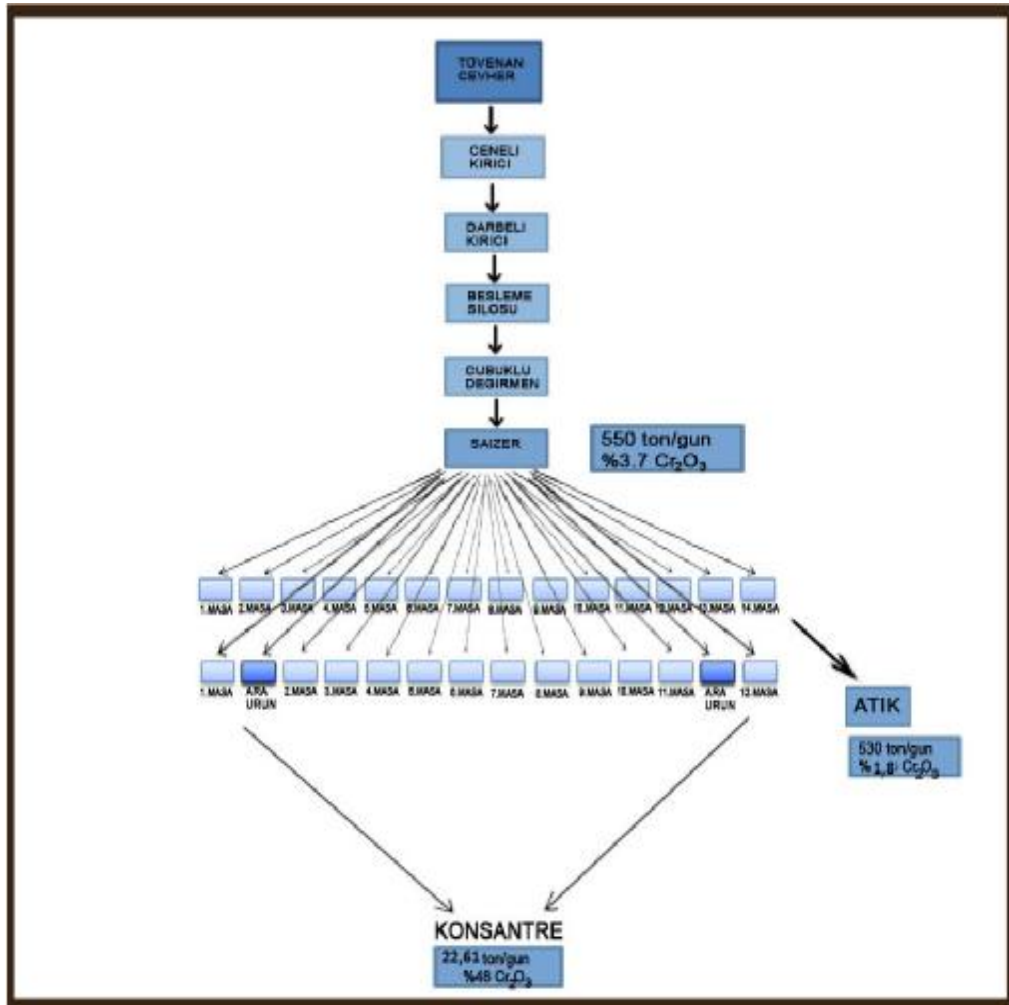
Tesisin mevcut kapasitesi ile ilgili proje değerleri aşağıda belirtilmiştir.

Besleme Miktarı	:	550 ton/gün
Besleme Tenörü	:	%3,70 ± 1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre Miktarı	:	20 ton / gün ± 4 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Atık Tenörü	:	%2 ± 1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ortalama Konsantre Tenörü	:	%46-48 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Besleme Kapasitesi	:	140.000-150.000 ton / yıl

Konsantre Üretim Kapasitesi :	7.000-7.500 ton / yıl
Çalışma gücü :	630 kw
Çalışan Sallantılı masa :	28 adet

Spiral uygulamaları olmadan önceki Krom zenginleştirme tesisinin metal kurtarma verimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Şekil 3.6. da ise Krom zenginleştirme tesisine ait akım şeması gösterilmiştir.

$$\text{Metal Kurtarma Randımanı} = \frac{48 * (3,7 - 1,8)}{3,7 * (48 - 1,8)} * 100 = \% 53,35$$



Şekil 3.4. Spiral Uygulamaları Olmadan Önceki Krom Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması

### 3.5. Spiral ve Sallantılı Masa Uygulaması

İlk olarak denemeye Sivas Cumhuriyet Üniversitesinde başlanmıştır. Spiral+Pompa (kapalı devre) ünitesinde yapılan çalışmalar neticesinde pompanın sağlıklı çalışması sonucu çalışmalar son bulmuştur. Daha sonra Zenginleştirme tesisinde fiili uygulama yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle test Krebs Spiralleri Koyunoğlu Madencilik A.Ş tarafından ithal edilmiştir. Yapılan test Sonuçları verimli görüldükten sonra takım halinde yurt dışından alınmıştır. Krebs Spiralleri+Sallantılı masa uygulamalarında aşağıda verilen formül kullanılarak verimlilik hesaplamaları yapılmıştır.

$$V = c \times (f - t) / f \times (c - t) \times 100 \quad (3.1)$$

$$V = c \times C / f \times F \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

V veya R	= Verim (%)
f	= Beslenen cevherin element yüzdesi (tenör)
F	= Beslenen cevherin tonajı(t/gün)
c	= Konsantre tenörü (% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
C	= Elde edilen cevherin tonajı(t/gün)
t	= Artık tenörü (% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de çalışmada kullanılan Krebs spirallerinin değişik görünüşleri verilmektedir.



Şekil 3.5. Zenginleştirme Tesisindeki Siklon ve Spiraller



Şekil 3.6. Zenginleştirme Tesisindeki Spiraller

Yukarıda bahsi geçen Siklon ve Spiraller ile Krom Zenginleştirme Tesisine kurulan sistemin akım şeması Şekil 3.7’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Krebs Spiralleri ve Hidrosiklon Sonuçları

Krebs Spiralleri uygulamasından elde edilen malzemelerden hem nihai konsantre alınabilmiş hem de ön zenginleştirme ürünü olarak sallantılı masalarda zenginleştirme amaçlı kullanılmıştır.

Krebs Spiral uygulamalarında aşağıda belirtilen optimum koşullarda verimlilik sağlanmıştır.

Katı oranı	=	%25 katı
Yıkama suyu	=	0,36 m <sup>3</sup> /saat
Besleme miktarı	=	1 m <sup>3</sup> /saat
Hidrosiklon basıncı	=	0,5 bar
Konsantre ayırma pozisyonu	=	3 cm
Ara Ürün ayırma Pozisyonu	=	8 cm
Atık ayırma Pozisyonu	=	11 cm

Hidrosiklon optimum çalışma parametreleri aşağıda yer almaktadır. Ayrıca hidrosiklonun verimli çalışması için Krebs Santrifüj Pompaları önerilmektedir.

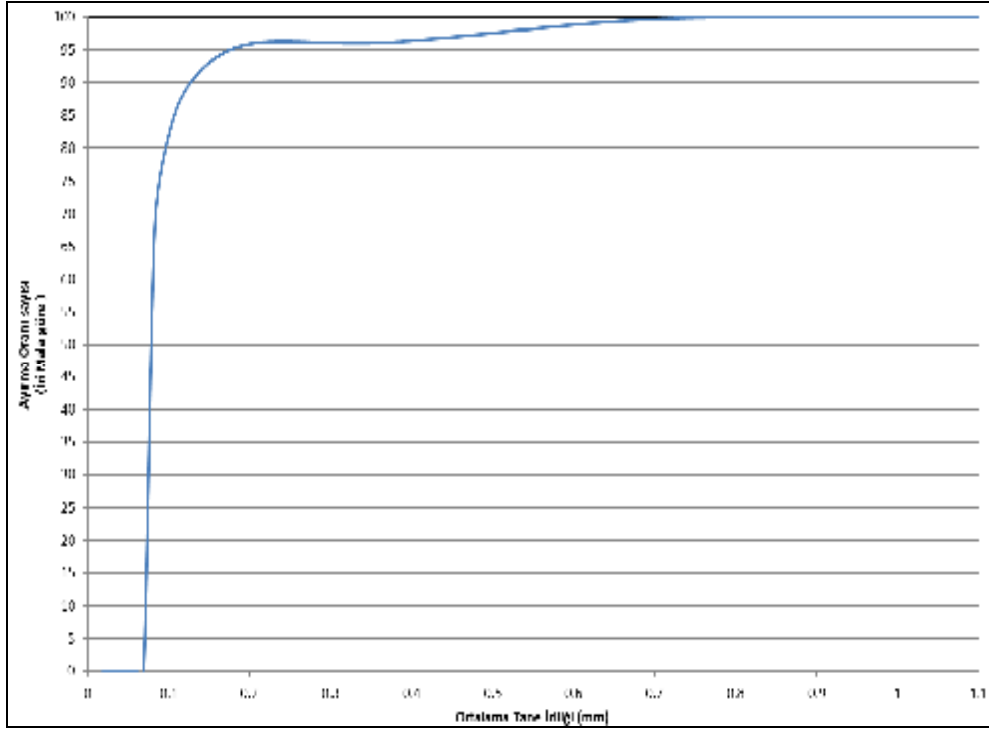
Basınç	=	0,5 bar
Besleme hızı	=	15 m <sup>3</sup> /saat
Apex	=	2,5 inç
Vortex	=	4,5 inç
Üst akış katı oranı	=	%15 katı
Alt akış katı oranı	=	%85 katı
Siklon çapı	=	250 cm

Spirallerden önce Hidrosiklona beslenen malzeme ile hidrosiklonun alt ve üst akımlarının elek analizi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge4.1. Hidrosiklon Beslenen Malzeme, Üst Akış ve Alt Akış Elek Analizi

Tane Aralığı (mm)	İri Mal %	İnce Mal %	İri Malın B.M'a göre	İnce Malın B.M'a göre	B.M.	Ortalama Tane İriliği (mm)	Ayırma Oranı	
							İri Mal (%)	İnce Mal (%)
+1	10,64	0,00	9,47	0,00	9,47	1,1	100,00	0,00
-1+0,85	6,12	0,00	5,44	0,00	5,44	0,925	100,00	0,00
-0,85+0,5	25,73	1,00	22,90	0,11	23	0,675	99,52	0,48
-0,5+0,25	29,65	9,48	26,39	1,04	27,4	0,375	96,20	3,80
-0,25+0,15	14,30	4,91	12,72	0,54	13,3	0,2	95,93	4,07
-0,15+0,106	11,44	10,23	10,18	1,13	11,3	0,128	90,04	9,96
-0,106+0,09	1,13	2,16	1,01	0,24	1,24	0,098	80,87	19,13
-0,090+0,075	1,00	3,91	0,89	0,43	1,32	0,0825	67,36	32,64
-0,075+0,063	0,00	5,07	0,00	0,56	0,56	0,069	0,00	100,00
-0,063+0,053	0,00	4,83	0,00	0,53	0,53	0,058	0,00	100,00
-0,053+0,045	0,00	3,41	0,00	0,38	0,38	0,049	0,00	100,00
-0,045+0,038	0,00	7,32	0,00	0,81	0,81	0,0415	0,00	100,00
-0,038	0,00	47,67	0,00	5,24	5,24	0,019	0,00	100,00
			U/F = 0,89	O/F = 0,11				

Yukarıdaki verilerle çizilen Tromp Eğrisi Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1. Hidrosiklon Tromp Eğrisi

Tromp eğrisinden elde edilen ayırma tane irili değerleri ve hassasiyeti Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge4.2. Tromp Eğrisinden Elde Edilen Değerler

$d_{50} = 0,079 \text{ mm}$
$d_{75} = 0,095 \text{ mm}$
$d_{25} = 0,070 \text{ mm}$
$I = \frac{d_{75} - d_{25}}{2 * d_{50}} = 0,16$

Çizelge 4.2. de Hidrosiklona beslenen malzeme ve alt üst akım malzemenin kimyasal analiz ve verim sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Hidrosiklon Kimyasal Analiz ve Verim Sonuçları

Spiral çeşidi	Kodu	% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim (%)
Hidrosiklon	Hidrosiklon besleme malı (tuvenan)	3,7	70,45
	Hidrosiklon alt akım	5,12	
	Hidrosiklon üst akım	2,23	

Çizelge 4.2'deki ürünlerin Hidrosiklon verimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Hidrosiklon Verimi} = \frac{5,12 * (3,7 - 2,23)}{3,7 * (5,12 - 2,23)} * 100 = \% 70,45$$

Şekil 4.1-4.2'de Krebs spirallerinin ayırma (splitter) pozisyonları görülmektedir. Arka bölümde bulunan cetvel sayesinde pozisyonu değişik aralıklara getirmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.1'de sol kısımdaki ayırmalar sola veya doğru hareket ettirerek konsantre derecesi ayarlanmaktadır. Sola doğru hareket ettirildiğinde konsantre derecesi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > %48 ürün elde etmek mümkündür.



Şekil 4.2. Krebs Spirallerinin Ayırma Bölümü Arka Görünüm



Şekil 4.3. Krebs Spirallerinin Ayırma Bölümü Ön Görünüm

Çizelge 4.3’de Krebs Spirallerine beslenen malzemenin kimyasal analizi verilmektedir.

Çizelge 4.3. Besleme Malı (Bant Üstü) Kimyasal Analizi (%)

MgO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	CuO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
39,0	42,1	0,03	0,911	0,070	3,70	0,03	13,13	0,264	0,686	0,011

Çizelge 4.4’de Krebs Spirallerinin sonuçları verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi 3 lü spirallerde %48,56 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %94,63 verimle satılabilir nihai konsantre elde edilmiştir. 6’lı spiraldeki konsantrede oldukça yüksek diye nitelendireceğimiz %30,79 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %64,43 verimle sallantılı masaya beslenecek malzeme elde edilmiştir. 4’lü ve 2’li spiraller atık bölümü tesis sisteminin nihai atığını oluşturmaktadır. Daha önce atık %1,8 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iken işlem sonrası %0,78’e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e kadar düşürülmüştür.

Çizelge 4.4. Krebs Spiralleri Kimyasal Analiz ve Verim Sonuçları

Spiral çeşidi	Kodu	% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim (%)
Hidrosiklon	Hidrosiklon besleme malı (tüvanan)	3,7	70,45
	Hidrosiklon alt akım	5,12	
	Hidrosiklon üst akım	2,23	
6'lı spiral	Besleme malı (tüvanan)	5,12	64,43
	Konsantre	30,79	
	Atık	2,04	
4'lü spiral	Besleme malı	2,04	67,24
	Konsantre	9,60	
	Atık	0,78	
3'lü spiral	Besleme malı (tüvanan)	30,79	94,63
	Konsantre	48,56	
	Atık	4,13	
2'li spiral	Besleme malı	9,60	92,84
	Konsantre	20	
	Atık	1,24	

Çizelge 4.4'deki ürünlerin Spiral verimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$6 \text{ lı Spiral Verimi} = \frac{30,79 * (5,12 - 2,04)}{5,12 * (30,79 - 2,04)} * 100 = \% 64,43$$

$$4 \text{ lü Spiral Verimi} = \frac{9,60 * (2,04 - 0,78)}{2,04 * (9,60 - 0,78)} * 100 = \% 67,24$$

$$3 \text{ lü Spiral Verimi} = \frac{48,56 * (30,79 - 4,13)}{30,79 * (48,56 - 4,13)} * 100 = \% 94,63$$

$$2 \text{ lü Spiral Verimi} = \frac{20 * (9,60 - 1,24)}{9,60 * (20 - 1,24)} * 100 = \% 92,84$$

Çizelge 4.5’de 6’lı Spirallere beslenen malzemenin hidrosiklonunda sınıflandırılarak ve zenginleştirilerek elde edilen ürünlerin elek analizi ve kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 4.5. 6’lı Krebs Spiralleri Elek Ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Spiral Çeşidi	Ürün Adı	Tane Boyutu (mm)	% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) Ağırlık
6’lı	Besleme	0,7	3,83	25,03
		0,5	2,84	8,60
		0,3	4,62	27,80
		0,1	9,42	30,97
		-0,1	17,13	7,60
	Konsantre	0,7	7,61	13,95
		0,5	19,55	4,08
		0,3	33,20	16,87
		0,1	36,26	44,49
		-0,1	35,78	20,61
	Ara Ürün	0,7	5,17	16,76
		0,5	3,91	7,35
		0,3	5,62	26,93
		0,1	8,67	35,06
		-0,1	14,91	13,90
	Artık	0,7	4,33	22,30
		0,5	1,30	8,86
		0,3	1,15	32,69
		0,1	1,05	25,87
		-0,1	6,42	10,28

6’lı Spirallerin atık kısımları, 4’lü spirallere beslenmiş ve neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6 ’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 4'lü Krebs Spiralleri Elek Ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Spiral Çeşidi	Ürün Adı	Tane Boyutu (mm)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (%)
4'lü	Besleme	0,7	4,33	22,30
		0,5	1,30	8,86
		0,3	1,15	32,69
		0,1	1,05	25,87
		-0,1	6,42	10,28
	Konsantre	0,7	3,52	19,59
		0,5	3,97	4,44
		0,3	3,64	16,13
		0,1	6,77	39,82
		-0,1	21,98	20,02
	Ara Ürün	0,7	3,31	15,63
		0,5	2,11	7,52
		0,3	1,68	29,65
		0,1	1,73	35,07
		-0,1	8,20	12,13
	Atık	0,7	4,33	22,30
		0,5	1,30	8,86
		0,3	1,15	32,69
		0,1	1,05	25,87
		-0,1	6,42	10,28

6'lı Spirallerin konsantre ve ara ürün bölümleri, 3'lü spirallere beslenmiş ve neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 3'lü Krebs Spiralleri Elek Ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Spiral Çeşidi	Ürün Adı	Tane Boyutu (mm)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (%)
3'lü	Besleme	0,7	7,61	13,95
		0,5	19,55	4,08
		0,3	33,20	16,87
		0,1	36,26	44,49
		-0,1	35,78	20,61
	Konsantre	0,7	10,32	13,95
		0,5	29,55	4,08
		0,3	48,22	16,87
		0,1	49,28	44,49
		-0,1	48,36	20,61
	Ara Ürün	0,7	10,33	25,90
		0,5	15,44	6,04
		0,3	21,21	18,26
		0,1	20,35	32,58
		-0,1	25,87	17,22
	Atık	0,7	4,33	2,03
		0,5	8,44	8,20
		0,3	6,26	50,43
		0,1	5,45	18,00
		-0,1	9,82	21,34

4'lü Spirallerin konsantre ve ara ürün bölümleri, 2'li spirallere beslenmiş ve neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 2' li Krebs Spiralleri Elek Ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Spiral Çeşidi	Ürün Adı	Tane Boyutu (mm)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (%)
2'li	Besleme	0,7	3,52	13,95
		0,5	3,97	4,08
		0,3	3,64	16,87
		0,1	6,77	44,49
		-0,1	21,98	20,61
	Konsantre	0,7	7,61	19,59
		0,5	19,55	4,44
		0,3	33,20	16,13
		0,1	36,26	39,82
		-0,1	35,78	20,02
	Ara Ürün	0,7	3,31	15,63
		0,5	2,11	7,52
		0,3	1,68	29,65
		0,1	1,73	35,07
		-0,1	8,20	12,13
	Atık	0,7	1,57	37,18
		0,5	0,97	10,14
		0,3	0,88	28,32
		0,1	0,61	17,12
		-0,1	4,67	7,24

#### 4.2. Krebs Spiralleri + Sallantılı Masa Uygulaması

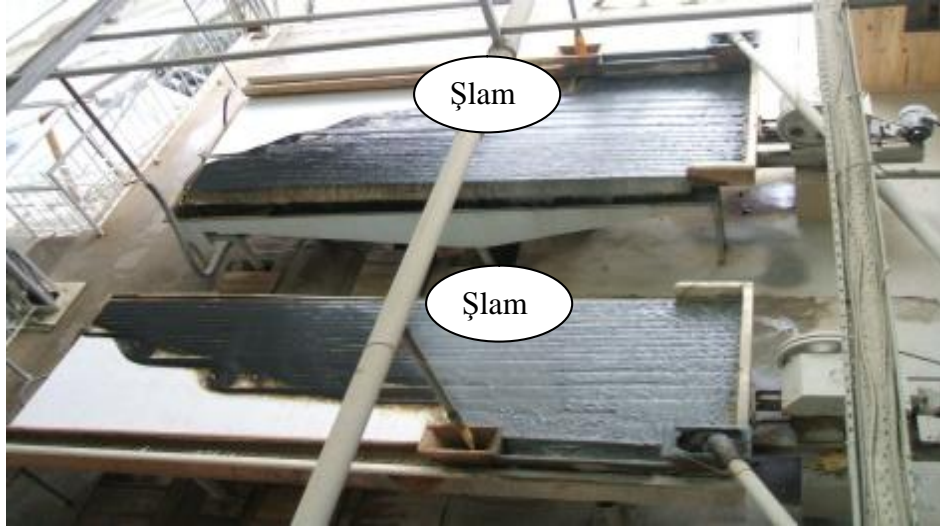
Krebs Spiralleri+Sallantılı masa uygulaması öncesi tuvenan malzeme kırıcı grubunda kırılıp değirmen grubunda öğütüldükten sonra Krebs Spirallerine beslenerek ön zenginleştirme sağlanması amaçlanmıştır. Çizelge 4.9'da Krebs Spiralleri + Sallantılı masa sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.9. Sallantılı Masa kimyasal Analiz ve verim sonuçları

Sallantılı Masa No	Ürün Adı	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Verim (%)
Masa 1	Besleme malı	4,13	77,39
	Konsantre	48,02	
	Atık	1	
Masa 2	Besleme malı	20	87,55
	Konsantre	48,65	
	Atık	3,89	
Masa 3	Besleme malı	20	88,15
	Konsantre	49,03	
	Atık	3,7	

Çizelgeden de görüldüğü gibi 1 no'lu Sallantılı Masaya 3'lü spiralin ara ürün ve atık malı beslenerek %77,39 verimle %48,02 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre, 2 no'lu ve 3 no'lu Sallantılı Masaya 2'li spiralin konsantre ve ara ürün malı beslenerek sırasıyla %87,55 verimle %48,65 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre ve %88,15 verimle %49,03 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü yüksek derecede (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > %48) ve yüksek verimde konsantre üretimi sağlanmıştır.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi değirmen çıkışları direkt olarak sallantılı masalara beslenmekteydi. Şlam çamurları Sallantılı masa üzerinde masa üzerine tortu bırakmakta çita aralarını zamanla doldurmakta bu da krom ve yan taşların birbirinden ayrılmamasına veya krom taneciklerinin şlam çamuru ile birlikte artığa gitmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.4. Besleme Malının Direkt Olarak Sallantılı Masalara Beslenmesi (Spiral + Sallantılı Masa kurulmadan Önceki durum)

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi sallantılı masa üzerinde şlam diye nitelendirdiğimiz çamurlu malzeme gözükmektedir. Bu durum sallantılı Masaların verimlerinin de yükselmesine neden olmuştur.



Şekil 4.5. Besleme Malının Ön Zenginleştirme Yapılarak Krebs Spiralleri + Sallantılı Masa Uygulamasından Bir Görüntü

Çizelge 4.9'daki ürünlerin sallantılı masa verimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Masa 1 Verimi} = \frac{48,02 * (4,13 - 1)}{4,13 * (48,02 - 1)} * 100 = \% 77,39$$

$$\text{Masa 2 Verimi} = \frac{48,65 * (20 - 3,22)}{20 * (48,65 - 3,22)} * 100 = \% 87,55$$

$$\text{Masa 3 Verimi} = \frac{49,03 * (20 - 3,27)}{20 * (49,03 - 3,27)} * 100 = \% 88,15$$

### 4.3. Ara Ürünün Bilyeli değirmende Öğütülmesi

Sallantılı masaların ara ürün ve atık bölümleri daha önce çubuklu değirmenlerde öğütülmekte iken şimdi bilyalı değirmenlerde öğütülmektedir. Bilyalı değirmene ait veriler aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Bilyeli Değirmene Ait Teknik Özellikler

Boy	217 cm
Çevresi	480 cm
Çapı	156 cm
Motor Gücü	45 Kwa
Dönüş Devri	24 d/dk
İçerisine Atılan Bilya Çapı	90lık
Devir	22 dev/dk
Motor Kasnak Çapı	20 cm
Redüktör Kasnak Çapı	25 cm
Kayış	22 x 26cm



Şekil 4.6. Ara Ürün malzemesinin öğütüldüğü Bilyeli Değirmen

Öğütme açık devre şekilde yapılmaktadır. %25-30 katı oranı ve 27 t/gün besleme kapasitesine sahiptir. Öğütülen malzemenin  $d_{80} = 0,273$  mm olarak hesaplanmıştır. Öğütülmüş malzeme tekrardan spiral sistemine dahil olmaktadır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Mersin ili Erdemli İlçesi Kösbucağı mevkiinde kurulu olan krom zenginleştirme tesisinde düşük kromit cevheri tenörlerine göre tesis çalışma parametrelerinin yeniden düzenlenmesi, spiraller ile ön zenginleştirme ve konsantre elde etme çalışmaları, masa ürünündeki şlamın siklon ile uzaklaştırılması, ara ürünün bilyeli değirmende öğütülmesi ile tesisin verimliliğinin artırılması araştırılmıştır.

Tüvanan cevherin yapılan kimyasal analizi sonucunda %3,70 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan XRD analizleri sonucunda cevherin başlıca Serpantin ve Kromit minerali içerdiği tespit edilmiştir.

Yapılan iyileştirme çalışmalarında besleme malı Çubuklu değirmenlerde öğütüldükten sonra 6'lı Spirallere beslenen %3,7 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü cevher, hidrosiklonda sınıflandırılıp ve üst akımından (d<sub>80</sub> = %80, %2,20 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) şlam malzemenin atılmasıyla, %85 katı oranında, %71,11 verimle %5,12 tenöründe Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spiral ürünü elde edilmiştir. Şlam malzeme içerisindeki pH'ın yüksek olmasına neden olan Mg mineralleri ise sistemden uzaklaştırılarak masa ve spiraller üzerindeki kireç oluşumu nispeten engellenmiştir.

%5,12 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörüne sahip spiral ürünü malzeme (%25 pulp yoğunluğunda, yıkama suyu 0,36 m<sup>3</sup>/saat, Besleme miktarı 0,97 t/saat, Konsantre ayırma pozisyonu 3 cm) 6'lı spiral sistemine girerek önce kaba temizleme ile %64,43 verimle %30,79 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü ön konsantre elde edilmiştir. Daha sonra %30,79 tenörlü ön konsantre 3'lü spiral sistemine beslenerek (%25 pulp yoğunluğunda, yıkama suyu 0,36 m<sup>3</sup>/saat, besleme miktarı 0,41 t/saat, konsantre ayırma pozisyonu 3 cm) %94,63 verimle %48,56 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> satılabilir konsantre üretilmiştir.

Krebs+Sallantılı Masa çalışmalarında, 3'lü spiral ara ürün ve atık malzemenin (%25 pulp yoğunluğunda, yıkama suyu 0,40 m<sup>3</sup>/saat, Besleme miktarı 0,42 t/saat, ayırıcı pozisyonu 3 cm) 1 nolu Sallantılı masaya beslenmesiyle %77,39 verimle %48,02 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre, 2'li spiralin konsantre ve ara ürün malının (%25

pulp yoğunluğunda, yıkama suyu 0,25 m<sup>3</sup>/saat, Besleme miktarı 0,52 t/saat, ayırıcı pozisyonu 7 cm) 2 no'lu Sallantılı masaya beslenmesiyle %87,55 verimle %48,65 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü ve yine 2'li spiralin konsantre ve ara ürün malının (%25 pulp yoğunluğunda, yıkama suyu 0,25 m<sup>3</sup>/saat, Besleme miktarı 0,52 t/saat, ayırıcı pozisyonu 7 cm) 3 no'lu Sallantılı masaya beslenmesiyle %88,15 verimle %49,03 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir. Spirallerin verim ve atık tonajlarına ait veriler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Yeni tesis dizaynının verim hesabında kullanılan veriler

No	Verim adı	Verim (%)	Atık miktarı (ton/gün)
1	Hidrosiklon verimi	70,45	270
2	4'lü Spiral verimi	67,24	214
3	2'li Spiral verimi	92,84	13

Eski sistemin genel tesis verimi;

$$\frac{48 \cdot (3,7 - 1,75)}{3,7 \cdot (48 - 1,75)} * 100 = \%56$$

olarak hesaplanmıştır. Yeni sistemin genel tesis verimi hesaplanırken sistemin nihai atığının atıldığı Hidrosiklon, 4'lü spiral ve 2'li spiral verimleri ağırlıklı ortalaması alındığından;

$$\frac{(70,45 \cdot 270t / gün) + (67,24 \cdot 214t / gün) + (92,84 \cdot 13t / gün)}{497} = \%68$$

olarak hesaplanmıştır.

Yeni sisteme göre verim farkından elde edilen konsantre,

$$\%68 = \frac{\%48 \cdot c}{550 \text{ ton / gün} \cdot \%3,7} * 100 = 28 \text{ ton / gün}$$

olarak hesaplanmıştır.

Eski sisteme göre verim farkından elde edilen konsantre,

$$56 = \frac{\%48 \cdot c}{550 \text{ ton / gün} \cdot \%3,7} * 100 = 24 \text{ ton / gün}$$

olarak hesaplanmıştır.

Eski sistemde krom konsantre kazanma verimi %56 iken, yeni sistemde bu oran %68'e çıkmıştır. Yaklaşık olarak % 12 verim farkı ile, günde 4 t/gün konsantre daha fazla elde edilmektedir. Krom zenginleştirme tesisinin yılda ortalama 300 gün çalıştığını düşünürsek;

$$300 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \cdot 4 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} = 1200 \frac{\text{Ton}}{\text{Yıl}}$$

konsantre elde edilecektir. 2013 yılının ortalama satış fiyatı 200\$/ ton, ortalama dolar kurunun 1.9 TL/\$ olduğunu düşünürsek toplamda

$$1200 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \cdot 200 \frac{\$}{\text{ton}} \cdot 1,9 \frac{\text{TL}}{\$} = 456.000 \frac{\text{TL}}{\text{Yıl}}$$

kar gerçekleşmektedir. Ayrıca Krebs spiral+sallantılı masa uygulamasında birçok makine devre dışı bırakılmıştır. Zira mevcut değirmen kapasitesi yeni proses dizaynı ile daha efektif kullanılmaktadır.

Çizelge 5.2. Yeni proses dizaynı ile durdurulan makinalar ve güçleri

No	Makine Adı	Güç (kw)
1	Sallantılı Masa	44
2	Klasifikatör	10
3	Çamur Pompası	10
4	Kum Bandı	4
	Toplam	76

Durdurulan makinalar ve sahip olduğu güçleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. 1 kw/s enerji maliyeti 0.18 TL/kw ise toplamda elde edilecek enerji karı;

$$76kw * 24 \frac{saat}{gün} * 300 \frac{gün}{yu} * 0,18 \frac{TL}{kw} * 0,7(\text{motor güç verimi}) = 68.950 \frac{TL}{Yıl}$$

olarak hesaplanmıştır.

Yapılan iyileştirme çalışmaları ile elde edilen tasarruf Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 5.3.Yeni Tesis Dizaynı ile elde edilen tasarruf

No	Durum	Tasarruf (TL/yıl)
1	Verim sonucu elde edilen kar	456.000
2	Makinaların durması sonucu enerji karı	68.950
3	Makinaların durması sonucu kazanılan bakım gideri	90.450
4	Yıllık elde edilecek Toplam gelir	615.400
5	Aylık elde edilecek toplam gelir	51.283 TL/ay

Yeni prosesin tahmini fiyatı 118.385 €\*2.69 TL/€=343.310 TL dır. Kurulum maliyeti 12.650 TL’dir. Toplam maliyeti 355.960 TL’dir. Kurulum süresi 1 haftadır.

$$\text{Yatırımın geri dönüş süresi} = \frac{355.960TL}{51.283TL/ ay} = 7ay \text{’dir.}$$

## KAYNAKLAR

- AĞAÇAYAK, T., 2004, Selçuk Üniversitesi, Topraktepe (Yeşildağ – Beyşehir – Konya) Kromitlerinin Araştırma Yöntemlerinin Araştırılması, 3 – 4,
- BAYAT, O., 2009. Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 1 – 2.-- Şubat 2009, Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 12 – 13.
- COLEMAN R.G., 1977, Ophiolites Ancients Oceanic Lithosphere Springer Verlag, New York, U.S.A.
- ÇİLİNGİR Y., 1990, Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, C.1, İzmir.
- DENİZ V., 1992, Burdur – Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI (DPT), MADENCİLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU RAPORU, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı Ankara 2001, DPT: 2626 - ÖİK: 637, 1 – 8, 11 – 14,
- DİE, 2004, Yıllara Göre Krom Cevheri Tüvenan Üretim Değerleriweston
- GENCE N., 1985, Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- GÜNEY A., 1990, Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- KURŞUN H., 1993, Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 55.
- KIDIMAN B.F., 2009, Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- ÖNAL G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

- ÖNAL G ve ark., 1979, "Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırmayla Değerlendirilmesi", 5. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, ANKARA.
- TURGUT B., 1995, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. 64
- U.S.G.S, 2002, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January, U.S.A.
- TEKELİ, O., 1981, Aladağ ofiyolitli melanjinin özellikleri: TJK Bült. 24/1, 57-64.  
<http://www.gidacilar.net/gida-kimyasi/mineral-ayirici-505.html> (Erişim tarihi: 2 Temmuz 2013)
- [http://www.icdacr.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=156:the-chronology-of-chrome&catid=38&Itemid=340&lang=en](http://www.icdacr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156:the-chronology-of-chrome&catid=38&Itemid=340&lang=en) (Erişim tarihi: 2 Temmuz 2013)
- <http://www.forumaden.com/forum/maden-yataklari/krom-yataklari> (Erişim tarihi: 2 Temmuz 2013)

## **ÖZGEÇMİŞ**

04.08.1979 tarihinde Adana'da doğdu. İlköğrenimini Emine Nabi Menemencioğlu ilköğretim okulunda tamamladı. Orta öğretim ve lise öğrenimini Sıtkı Kulak ve Baraj Lisesi'nde devam ettirdi. Baraj Lisesi'nden mezun oldu. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdi. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Cevher Hazırlama bölümünde yüksek lisans programına başladı.