

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fevzi Burak KIDIMAN**

**DÜŞÜK TENÖRLÜ KROM CEVHERLERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2009**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK TENÖRLÜ KROM CEVHERLERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Fevzi Burak KIDIMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez / / 2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

İmza .....

Prof.Dr. Oktay BAYAT

DANIŞMAN

İmza .....

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

ÜYE

İmza .....

Doç.Dr. Savaş ŞENER

ÜYE

İmza .....

Yrd. Doç.Dr. Hüseyin VAPUR

ÜYE

İmza .....

Yrd. Doç.Dr. Metin UÇURUM

ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ**

**Enstitü Müdürü**

İmza ve Mühür

Bu Çalışma Ç. Ü. Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.  
Proje No: MMF 2009YL-10

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

**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZ**

**DÜŞÜK TENÖRLÜ KROM CEVHERLERİNİN  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Fevzi Burak KIDIMAN**

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

**Danışman:** Prof. Dr. Oktay BAYAT  
**Yıl** : 2009, **Sayfa:** 81  
**Jüri** : Prof. Dr. Oktay BAYAT  
Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM  
Doç. Dr. Savaş ŞENER  
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR  
Yrd. Doç. Dr. Metin UÇURUM

Bu tez çalışmasında, Kahramanmaraş Sarıgül Köyü Çakıobası mevkiinden temin edilen kromit numunesinin gravite ile ayırma yöntemlerinden, Knelson konsantratörü + MGS (Multi Gravity Separator), Sallantılı Masa ve Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı kullanılarak zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan XRD analizleri sonucunda cevherdeki başlıca minerallerin Magnesiakromit, Kromit ve Demir-silikat olduğu belirlenmiştir. Deneyleerde en uygun zenginleştirme yöntemi olarak MGS seçilmiştir. Optimum çalışma şartlarında ( $d_{80} = 0.076$  mm, 145 dev/dk,  $6^\circ$  eğim, 1,5 l/dk su besleme hızı ve %15 katı oranında) %17,26  $Cr_2O_3$  tüvanan cevherden %38,46  $Cr_2O_3$ , %21,10  $Fe_2O_3$ , %21,40  $Al_2O_3$  ve %2,90  $SiO_2$  içerikli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen MGS konsantresinin mevcut piyasa koşullarında satılabilirlik şartlarını ( $Cr_2O_3 > \%48$ ) sağlamadığı ancak gösterdiği refrakter özellik sebebiyle konsantrenin döküm sanayinde kullanım olanağının yüksek olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kromit, Sallantılı Masa, Knelson Konsantratör, MGS, Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı

## ABSTRACT

### MSc. THESIS

# INVESTIGATION OF LOW GRADE CHROME ORES ENRICHMENT

**Fevzi Burak KIDIMAN**

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

**Supervisor:** Prof. Dr. Oktay BAYAT

**Year** : 2009, **Pages:** 81

**Jury** : Prof. Dr. Oktay BAYAT

Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

Assoc. Prof. Dr. Savaş ŞENER

Assist. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

Assist. Prof. Dr. Metin UÇURUM

In this study, processing of chromite ores taken from Maraş Sarıgözü Çakıobası area was investigated applying combination of Knelson Concentrator and MGS (Multi Gravity Separator), Shaking Tables and High Gradient Wet Magnetic Separator. XRD analyses showed that the ore contains mainly Magnesiochromite, Chromite and Iron Silicate crystal phases. The MGS process was chosen as processing method for this type of ores. At the optimum working conditions ( $d_{80} = 0.076$  mm, 145 rpm drum speed,  $6^\circ$  incline degree, 1,5 l/min water rates and %15 pulp density) of MGS, a concentrate was obtained with 38,46%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 21,10%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 21,40%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and 2,90%  $\text{SiO}_2$ . The concentrate is not suitable for direct selling as a commercial chromite concentrate because of its grade ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) is less than 48% at the current market conditions. However, the concentrate can be utilized at the refractory industry as a casting sand.

**Key Words:** Chromite, Shaking Table, Knelson Concentrator, MGS, High Intensity Wet Magnetic Separator

## **TEŞEKKÜR**

Deneyisel çalışmalarda bana gerekli çalışma ortamı sağlayan ve bilgileriyle bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Oktay BAYAT'a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarda ihtiyaç duyduğum her konuda bana yardımcı oldukları için baőtta Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Adem ERSOY olmak üzere tüm bölüm çalıőanlarına teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarda laboratuvarlarını bana açtıkları, gerekli cihazları kullanmamı sağladıkları için Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümüne, Dr. Tayfun ÇİÇEK ve arkadaşlarına teşekkür ederim.

Bu güne kadarki hayatım boyunca her an yanımda olduklarını bildiğim, benden maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
<b>ÖZ</b> .....	I
<b>ABSTRACT</b> .....	II
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	III
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	IV
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	VI
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	VII
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Genel Bilgiler.....	3
1.1.1. Kromun Kimyasal Özellikleri.....	4
1.1.2. Kromun Fiziksel Özellikleri.....	4
1.1.3. Kromun Bulunuşu.....	5
1.1.4. Krom Mineralleri.....	8
1.1.5. Kromit Yataşları.....	9
1.2. Kromit Yataklarının Oluşumu.....	10
1.3. Türkiye’de Krom Yatakları.....	12
1.4. Ürün Standartları.....	15
1.5. Kromun Kullanım Alanları.....	20
1.5.1. Metalurji Sanayinde Kullanım .....	21
1.5.2. Kimya Sanayinde Kullanım.....	23
1.5.3. Refrakter Sanayinde Kullanım.....	25
1.6. Kromun Üretim Yöntemleri Ve Teknolojileri.....	26
1.7. Kromit Zenginleştirme.....	28
1.7.1. Elle Ayıklama (Tavuklama).....	30
1.7.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme.....	30
1.7.3. Jig İle Zenginleştirme .....	32
1.7.4. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme.....	33
1.7.5. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) İle Zenginleştirme.....	36
1.7.5.1. MGS Tasarım Özellikleri.....	38
1.7.6. Knelson Konsantratörü İle Zenginleştirme.....	41
1.8. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme.....	45

1.9. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme.....	48
1.10. Flotasyon ile Zenginleştirme.....	49
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>51</b>
<b>3. MATERYAL METOD.....</b>	<b>56</b>
3.1. Kromit Numunesinin Hazırlanması.....	56
3.2. Numunelerin Karakterizasyonu.....	56
3.3. Kimyasal Analiz.....	61
3.4. MGS ve Knelson Testleri.....	62
3.5. Sallantılı Masa Deneyleri.....	67
3.6. Manyetik Ayırma Deneyleri.....	69
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>70</b>
4.1. Knelson Deneyleri Sonuçları.....	70
4.2. MGS Deneyleri Sonuçları.....	70
4.3. Sallantılı Masa.....	72
4.4. Manyetik Ayırma.....	73
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>76</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>SAYFA</b>
Çizelge 1.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Proseslerinin Sınıflandırması.....	2
Çizelge 1.2. Krom Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	5
Çizelge 1.3. Kromit Mineralinin Fiziksel Özellikleri.....	5
Çizelge 1.4. Krom Cevher Minerallerine ve Özellikleri.....	9
Çizelge 1.5. Kromitin Yantaşları.....	10
Çizelge 1.6. Stratiform ve Podiform Tipteki Kromit Yataklarının Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması.....	11
Çizelge 1.7. Dünya Krom Cevheri Üretimi, Rezervler, Baz Rezervler.	12
Çizelge 1.8. Dünya Krom Üreticisi Ülkeler.....	13
Çizelge 1.9. Dünya Kromit Cevheri ve Konsantre Üretimi.....	15
Çizelge 1.10. Metalurji Sanayinde Aranan Krom Bileşimi Özellikleri	17
Çizelge 1.11. Metalurji Sanayinde Kullanılan Ticari Bazda Özellikleri	18
Çizelge 1.12. Refrakter Sanayinde Aranan Krom Konsantresinin Özellikleri.....	19
Çizelge 1.13. Kimya Sanayinde Aranan Krom Konsantre Özellikleri.	19
Çizelge 1.14. Türkiye’de Üretilen Krom Cevherlerinin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	26
Çizelge 1.15. Uygulama Alanı Bulabilen Kromit Zenginleştirme Yöntemi Sınıflandırması.....	29
Çizelge 1.16. Özgül Ağırlık Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Boyutları.....	31
Çizelge 3.1. XRD Analizi Sonucunda Numunelerde Tespit Edilen Bileşikler.....	58
Çizelge 3.2. Cevherin Kimyasal Bileşimi.....	61
Çizelge 4.1. Knelson Konsantratöründe Elde Edilen Ürünlerin Kimyasal Bileşimleri.....	70
Çizelge 4.2. Mk3 Numunesi MGS’de Tambur Hızının Etkisi.....	71
Çizelge 4.3. MGS Konsantresi ve Tüvanan Cevher Kimyasal Analizi	71



<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1. Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tipli Kromit Merceklerinin Şematik Gösterimi.....	8
Şekil 1.2. İdeal Ofiyolit Dizilişinde Kayaç Gruplarının Konumu.....	10
Şekil 1.3. Türkiye Kromit Potansiyeli.....	14
Şekil 1.4. Türkiye'deki Ana Kromit Yataklarının (Ofiyolit) Dağılımı	16
Şekil 1.5. Akan Su Tabakası İçinde Katı Hareketi Üzerinde Eşik Etkisi	33
Şekil 1.6. Wilfley Tipi Sarsıntılı Masa.....	34
Şekil 1.7. MGS Ünitesi Şematik Gösterimi.....	37
Şekil 1.8. Mozley Multi Gravite Ayırıcı .....	39
Şekil 1.9. Knelson Ayırıcısı ve Şematik Görünüsü.....	44
Şekil 1.10. Knelson Ayırıcısının Düşey Kesiti.....	44
Şekil 1.11. Sanayi Tipi Manyetik Ayırıcı Fotoğrafı.....	46
Şekil 1.12. Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensibi.....	46
Şekil 1.13. Elektrostatik Ayırma Prensibi.....	49
Şekil 3.1. Mk1 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı.....	57
Şekil 3.2. Mk2 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı.....	57
Şekil3.3. Mk3 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı.....	57
Şekil 3.4. Tüvenan Cevher XRD Analizi Grafiği.....	59
Şekil 3.5. MGS Konsantresi XRD Analizi Grafiği.....	60
Şekil 3.6. Manyetik Ayırıcı Konsantresi XRD Analizi Grafiği.....	60
Şekil 3.7. MGS ve Knelson Deneyleri Akım Şeması.....	63
Şekil 3.8. Deneylerde Kullanılan Knelson Konsantratörü.....	64
Şekil 3.9. Deneylerde Kullanılan Knelson Konsantratör Konisi.....	64
Şekil 3.10. Deneylerde Kullanılan MGS Cihazı.....	65
Şekil 3.11. C900 Laboratuar Tipi Mozley MGS.....	65
Şekil 3.12. MGS Ünitesinden Alınan Konsantre ve Artık Örnekleri...	66
Şekil 3.13. Wilfley Laboratuar Tipi Sallantılı Masa.....	67
Şekil.3.14. Sallantılı Masa Deneylerinde Numune Alma İşlemi.....	68
Şekil 3.15. Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı.....	69

**1. GİRİŞ**

Gelişmekte ve sanayileşmekte olan her ülkenin ekonomisini doğrudan etkileyen faktörlerin en başında gelen madencilik faaliyetlerinin ana amacı çeşitli sanayi dallarının ihtiyaç duyduğu mineralleri bulup yer üstüne çıkartmak ve tüketicinin hizmetine sunmaktır. Yeraltında ve yerüstünde bulunan cevherler bazen yüksek tenörlü olabilirler; bu gibi cevherler çok basit işlemler uygulanarak çeşitli endüstri dallarına ve metalürjik tesislere doğrudan satılabilirler. Diğer taraftan, birçok yeni bulunan veya bilinen rezervler vardır ki tenörleri bu endüstriyel tesislerin şartlarına uymadığı için henüz ekonomik olarak işletilememektedirler.. Ne zaman ki yüksek tenörlü cevherler tükenmeye yüz tutarlar ve ne zaman ki dünya piyasalarının belirli minerallere karşı talepleri çeşitli sebeplerle (harp, ekonomik bloke, yeni sanayiler, vb.) artar, o zaman düşük tenörlü rezervlerin işletilmeleri söz konusu olabilir ve bir cevher zenginleştirme tesisine şiddetle ihtiyaç duyulur. Kısaca, cevher zenginleştirme, topraktan çıkartılan cevherin özellikle gang minerallerinden oluşan "Artık" (tailings) kısmını atarak, genel olarak kıymetli mineralini bir araya toplamak ve yüksek tenörlü bir "Konsantre" (Concentrate) elde etme tekniği olarak tarif edilebilir (Orel ve İmre, 1967).

Maden cevherleri ocaktan elde edildikten sonra ergitmeye (izabe) veya sanayiinin diğer bölümlerine satılır. Zengin maden cevherlerinin azalması ve sanayinin standart ham maddeler talep etmesi neticesinde düşük tenörlü cevherlerin yapısında bulunan kıymetli minerallerin ayrılarak, standart şartlara uygun konsantreler halinde sanayiye arz edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan işlemlere, cevher hazırlama veya zenginleştirme (veya maden zenginleştirme) işlemleri diyoruz (Tolun, 1960). Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerini aşağıdaki şekilde sınıflamak mümkündür. Bunlar Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Proseslerinin Sınıflandırması (Bayat, 2009)

A. Boyut küçültme ve serbestleştirme	1. Kırma		
	2. Öğütme		
B. Zenginleştirme	1. Ayıklama		
	2. Özgül ağırlık farkı (gravite) ile zenginleştirme yapan prosesler	(a) Yüzdürme - Batırma	(i) Ağır sıvı ayırımı (ii) Ağır ortam ayırımı
		(b) Su ile zenginleştirme prosesleri	(i) Jig (ii) Masa (iii) Koni (iv) Sınıflandırıcılar 1- Hidrolik 2- Mekanik 3- Siklon
		(c) Hava ile zenginleştirme prosesleri	(i) Masa (ii) Elutriatör (iii) Siklon
	3. Manyetik ayırma	(a) Kuru	(i) Düşük alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli
		(b) Yaş	(i) Düşük alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli (iii) Yüksek dönüşümlü şiddetli
	4. Elektrostatik ayırma		
	5. Flotasyon		
	6. Seçimli flokülasyon (salkımlaştırma)		
	7. Amalgamasyon		
	8. Pirometalurji	(a) Kavurma (b) Klorürleme (c) Kalsinasyon	
		9. Hidrometalürji	
(a) Liç (b) Çökeltme (c) İyon değişimi (d) Sıvı - sıvı ayırımı			
C. Yardımcı İşlemler	1. Sınıflama		
	(a) Eleme (b) Klasifikasyon		
	2. Katı - Sıvı Ayırımı		
	(a) Şlam atımı (b) Sedimentasyon (c) Santrifüj (d) Filtrasyon (e) Kurutma		
	3. Dağıtma		
	4. Karıştırma		
	5. Numune alma		
	6. Malzeme işleme		
	7. Otomatik kontrol		
	8. Aglomerasyon		(a) Sinterleme (b) Peletleme (c) Klinkerleme (d) Yumrulaştırma (e) Sertleştirme-katılaştırma

**1.1. Genel Bilgiler**

Kromu 1797'de Fransız kimyacı Louis Nicolas Vauquelin Sibirya'da bulunan bir cevher örneğinin içinde bulmuştur. Ancak Birinci Dünya Savaşına kadar krom fazlaca kullanılan bir metal olmamıştır. 1913'de İngiliz bilim adamı Harry Brearley top namlusu dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde araştırma yaparken hurdalığındaki bütün çeliklerin bir kaçı dışında paslandığını görmüştür. Birkaç parçayı incelemiş ve içlerinde %14 oranında krom bulunduğunu saptamıştır. Bu buluş bıçak, çatal, kaşık ve başka eşyaların yapımında kullanılan paslanmaz çeliklerin geliştirilmesini olanak kılmıştır (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).

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).

Kromit, granüle kompakt kütle ve ender olarak oktahedral kristal halinde bulunur. Dilinim içermezler. Siyah ile koyu kahve renklidirler ve kahverengi çizgi rengi verirler. Kromitin bileşiminde magnezyum bulunmakta ve cevher tenörünün %40 düzeylerine kadar düşmesine neden olmaktadır. Bu cevherlerde Mg, Fe'i ornatmakta, pikotit adını almaktadır. Ayrıca Ti, Mn, Zn, Ni ve Co elementlerine rastlanır (Ağaçayak, 2004).

Alevde zümrüt yeşili rengi verir. Toz halinde  $Na_2CO_3$  ile eritilirse manyetik bir madde bırakır (Turgut, 1995).

Dünyada tespit edilen 50'ye yakın krom minerali bilinmekle beraber ekonomik değer taşıyan ve krom yataklarının esasını teşkil eden tek mineral kromit'tir.

Cevher önce katıksız krom okside dönüştürülür; sonra bu oksit, alüminyum ya da silisyumla karıştırılarak bir fırında ısıtılır. Termit yöntemi denen bu işlemin sonucunda, erimiş halde krom açığa çıkar. Krom elektroliz yöntemiyle de elde edilebilir. Krom mineral cevherinden sodyum kromat ile ısıtıldıktan sonra elde edilen karışımın elektrik akımından geçirilmesiyle elde edilir (Bayat, 2009).

### **1.1.1. Kromun Kimyasal Özellikleri**

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yüzdeleri ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  içeriği %68'dir.

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikler ile ilgili sınırlamalar söz konusudur. Teknolojik gelişmelere uygun olarak cevherin kimyasal bileşiminden kaynaklanan kullanım sınırlamaları giderek daha esnek hale gelmektedir. Kimyasal cevher olarak tanımlanan yüksek demirli krom cevheri, gelişen teknolojiyle artık metalürji sanayinde de kullanılabilir (DPT, 2001). Krom elementinin başlıca kimyasal özellikleri Çizelge 1.3'de verilmektedir.

### **1.1.2. Kromun Fiziksel Özellikleri**

Kromit minerali ve krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayanın (dunit, serpantin) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunış 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 (Çizelge 1.3) (DPT, 2001).

Çizelge 1.2. Krom Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Turgut, 1995)

<b>Parametre</b>	<b>Özellik</b>
Sembol	Cr
Atom Numarası	24
Atom Ağırlığı	51,996
Atom Çapı	1,18 Å
Elastisite Modülü	19.000 kg/mm <sup>2</sup>
Ergime Noktası	1.857 ± 20 °C
Kaynama Noktası	2.672 °C
Özgül Ağırlığı	7,18 – 7,20 gr/cm <sup>3</sup> (20 °C’de)
Özgül Isı	0,108 cal/gr.

Çizelge 1.3. Kromit Mineralinin Fiziksel Özellikleri (Turgut, 1995)

<b>Parametre</b>	<b>Özellik</b>
Özgül ağırlığı	4,1 – 4,9 g/cm <sup>3</sup>
Sertliği	5,5
Renği	Parlak siyah
Çizgi renği	Kahverengi
Genelde manyetik özellik taşımaz.	

### **1.1.3. Kromun Bulunuşu**

Yeryüzünde çok sayıdaki krom yatakları ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, kromitin peridotitler içinde kristalleşmenin başlangıç aşamasında, farklılaşma sonucunda ayrılarak kristalleştiği saptanmıştır. Oluşumu kısaca şu şekilde izah

edilmiştir: Bilindiği gibi magma; birbiri içinde erimiş, eriyik yüksek basınç ve sıcaklıkta dengede, doğada bulunan bütün elementleri içeren fiziko kimyasal bakımdan akışkan karakter taşıyan bir materyaldir. Fiziko kimyasal koşulların değişmesi, örneğin sıcaklık ve basınçtaki azalma (jeolojik olaylar sonucu) magmanın stabilizesini (duraylılığını) bozar ve söz konusu sıcaklık düşüşü önce refrakter (yüksek sıcaklıkta kristalleşen) minerallerin oluşumunu sağlar. Örneğin kromit, ilmenit, manyetit kristalleşir ve magma içinde yerçekiminin etkisiyle hareket ederek magma mineral yoğunluğunun dengede olabileceği kısımlarda belirli seviyeler oluştururlar (stratiform yataklar). Bu tür oluşan yataklara sıvı mağmatojen diferansiyasyon yolu ile oluşan maden yatakları adı verilir. Eğer stratiform tabakalar magmanın katılaşmasını takiben tektonik olaylar sonucu kırılıp, parçalanıp (adeseler – cepler) oluşturulabilirse aclin tipi yatakları meydana getirirler (podiform yataklar). Kristalizasyon diferansiyasyon yolu ile üretken mağmadan oluşan bu tür cevherleşmelere en iyi örnekleri özellikle ultrabazik, nadiren bazik formasyonlar içinde yer alan krom (Guleman, Fethiye, Bursa, Eskişehir bölgeleri – Türkiye, Bushweld – Güney Afrika) yatakları teşkil eder (Burut ve ark., 1990).

Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayalık toplulukları köken, jeolojik konum, mineraloji, doku, v.b. özellikleri yönüyle başlıca üç tipe ayrılırlar:

**a. Bushweld (Güney Afrika), Stilwater (ABD) gibi duraylı kıtasal bölgelerde (kraton) bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları:** Büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boylu, düzgün kristal şekilli, Cr/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler.

**b. Daha çok Alp dağılım kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayalık topluluklarına (ofiyolit istifi) bağlı krom yatakları (podiform tip):** Bunlar mercek veya düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır. İri tane boylu düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler.

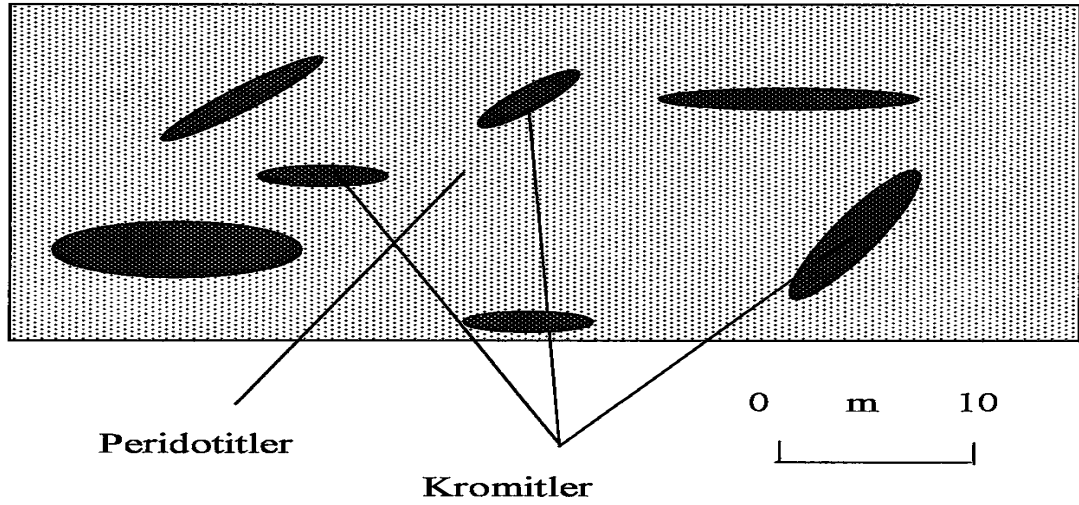
**c. Üçüncü tip olarak gruplandırılan; eşmerkezli bir iç düzene sahip konsantrik ultrabazik bazik kayaç topluluklarına bağlı krom yatakları:** Bunların bugün için ekonomik önemi yoktur. Genellikle Alaska'da görülen bu tip yataklardan üretim yapılmamaktadır. Bununla birlikte ABD'de, bu kromitlerin zenginleştirilmesi testleri ve bunların ekonomikliği konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerir.

Alpin tip cevherler, Cr/Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üç çeyreğinde kromit üretimi daha çok alpin tip yataklardan yapılmıştır. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ve Cr/Fe oranı düşük, FeO içeriği yüksek olan stratiform tip yataklardan üretilen cevher ise, 1970'li yıllara kadar genelde kimya sanayinde kullanılmıştır.

Ancak Alpin tip yataklarda rezerv belirleme güçlüğü ve uzun vadeli ticari bağlantıların yapılamaması gibi nedenler, stratiform tip yataklara ait krom cevherinin özellikle metalürji sanayinde kullanımına imkân sağlayan teknolojileri geliştirmeyi zorlamış; elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak da bu tip yataklardan yapılan krom cevheri üretimi giderek artma eğilimi göstermeye başlamıştır (DPT, 2001).

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 serpantinleşmişlerdir. Tipik bir podiform kromit yatağı Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Zedef, 1995).





Şekil 1.1. Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tipli Kromit Merccklerinin Şematik Gösterimi (Zedef, 1995)

Stratiform tipteki kromit yatakları Dünya’da bilinen bütün kromit kaynaklarının %98’ini teşkil eder (Ancak Dünya’da üretilen kromitin yarısı podiform yarısı stratiformdur). Mağmatik kompleksleri bantlı yapıları ile çok büyük paralellik arz eder. Kromit bandı bazen kilometreler boyunca hiç eksiksiz olarak devam eder. Kromit bantları bazen sil şeklinde gözlenirler. Her bir kromit bandı birkaç mm ile 1 metre kalınlığındadır ve kromit bu bantlarda masif yapıdadır. Bantlar arasında ve kromitli seviyeler dışında gabroik mağmadan türetme, dunit, peridotitler ve piroksenler yer alır (Zedef, 1995).

Stratiform yataklarının en belirgin örnekleri Bushweld (Güney Afrika), Stilwater (Montana – Amerika), Great Dyke (Rodezya) krom yataklarıdır. (Turgut, 1995).

Bu tip cevherlerde  $Cr_2O_3$  tenörleri genelde %40’ın altındadır. Fe tenörü yüksek Al tenörü düşüktür. Cr/Fe oranları 2 civarındadır (Deniz, 1992).

#### 1.1.4. Krom Mineralleri

Krom elementi ihtiva eden ancak ekonomik olarak önem taşıyan tek mineral kromittir. Çizelge 1.4’de kromit ve diğer krom cevher minerallerine ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 1.4. Başlıca Krom Cevheri 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> )
<b>Kromit</b>	68	Kübik	Gri - Kahve	Koyu Kahve	5,5	4,1 – 4,9
<b>Uvarovit</b>	30,6	Kübik	Zümrüt Yeşili	-	7,5	3,4 – 3,5
<b>Crocoit</b>	30,1	Monoklinik	Sarı - Kırmızı	Turuncu	2,5 - 3	5,9 – 6,1
<b>Daubrejite</b>	53,1	-	-	-	-	-
<b>Dietzeite</b>	15,3	Monoklinik	Altın sarısı	-	3 - 4	3,7
<b>Phoeni cochroite</b>	17,5	Ortorombik	Sarı - Kırmızı	Tuğla kırmızısı	3	5,7
<b>Belitle</b>	17,3	Hexagonal	Sarı - Turuncu	-	2,5	5,5
<b>Kemererit</b>	-	-	Kırmızı - Pembe	-	-	-

### 1.1.5. Kromit Yantaşları

Kromitteki gang minerallerin oranı %5-25 arasında değişir; Kromit cevherinin sıcaklığa dayanıklılığı, düşük sıcaklıkta (1.650 °C) eriyen yantaşlarının miktarına ve türüne bağlıdır. Saf kromit (FeO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oksidasyon ve redüklenmeden dolayı, genellikle ergimeden dekompoze olur (Gence, 1985). Çizelge 1.5’de kromit yanında en sık rastlanan yan taşları verilmiştir.

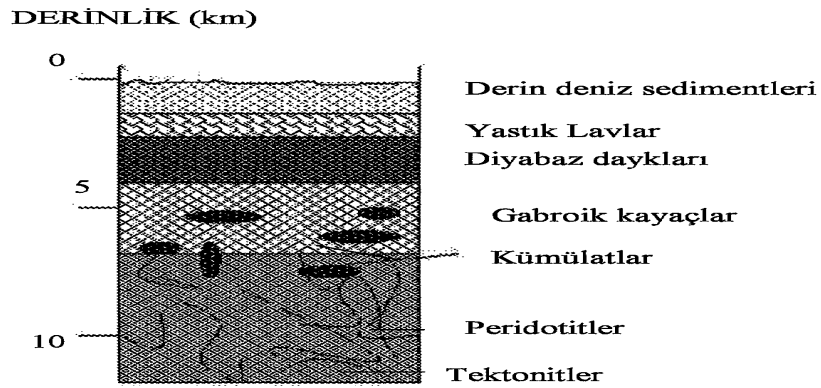
Çizelge 1.5. Kromitin Yantaşları (Deniz, 1992)

Kromit Yantaşları	Kimyasal Formülü	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>	-	-

## 1.2. Kromit Yataklarının Oluşumu

Kromit yatakları sadece, erken magmatik evrede kristalleşme evresinde ortaya çıkarlar. Bütün kromit yatakları ofiyolit komplekslerindeki bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde bulunurlar.

Okyanusal kabuklar ve üst mantonun parçaları olarak düşünülen ofiyolitler, ultramafik ve mafik kayaların özel bir topluluğudur. İdeal ofiyolit dizilişi alttan üste doğru Şekil 1.2'deki birimlerden oluşmaktadır (Coleman, 1977).



Şekil 1.2. İdeal Ofiyolit Dizilişinde Kayaç Gruplarının Konumu (Coleman, 1977).

Çizelge 1.6. Stratiform ve Podiform Tipteki Kromit Yataklarının Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması (Zedef, 1995)

Özellik	Stratiform	Podiform
<b>Yanal Uzunım</b>	Kilometrelerce	Birkaç on metre ile sınırlı
<b>Morfolojik Şekil</b>	Kalınlıkları birkaç metreye kadar olan bantlar şeklinde	Mercek ve yığın şeklinde
<b>Endüstride Kullanımı</b>	Genellikle refrakter	Genellikle metalürjik
<b>Rezerv</b>	Milyonlarca ton	En fazla birkaç milyon ton, genellikle 100.000 tondan az
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Tenörü</b>	Düşük	Yüksek
<b>Tektonizma</b>	Ya hiç yok, ya da çok az	Fazla
<b>Kromitin Oluşum Yaşı</b>	Prekambriyen	Prekambriyen sonrası
<b>Dünya Üzerindeki Dağılımı</b>	Çok sınırlı, sadece G. Afrika, Zimbabve, Finlandiya ve Grönland	Ultramafik kayaların bulunduğu her yerde Urallar. Türkiye, Macaristan, Yunanistan.

Stratiform ve podiform tipi kromit yatakların genel karşılaştırması Çizelge 1.6'da gösterilmiştir.

Ofiyolit komplekslerinin büyük çoğunluğunu ultramafik kayalar oluştururlar. Beş ana ofiyolit kompleksinde ortalama %63 civarında ultramafik kayaç bulunmaktadır (Coleman, 1977).

**1.3. Türkiye’de Krom Yatakları**

Krom yataklarının içinde bulunduğu peridotit genel adıyla anılan ultrabazik kayalar Türkiye’de geniş alanlar kaplarlar. Peridotitler, ofiyolit topluluğuna ait kayalar olup Alp orojen kuşağı boyunca yerleşmişlerdir. Türkiye’de bulunan peridotitler ve bunlar içinde bulunan krom yatakları Alpin tip (podiform tip) olarak sınıflandırılmışlardır.

Çizelge 1.7. Dünya Krom Cevheri Üretimi, Rezervler ve Baz Rezervler\* (x1000 ton) (USGS, 2002)

Ülkeler	Maden Üretimi		Rezervler	Baz Rezervler
	2000	2001		
ABD	-	-	-	10.000
Hindistan	1.500	1.500	26.000	56.000
Kazakistan	2.610	2.300	320.000	320.000
Güney Afrika	6.620	5.400	3.000.000	5.500.000
Türkiye (1)	1000	500	8.000	20.000
Diğer Ülkeler	2.640	2.300	250.000	1.600.000
Dünya Toplamı	14.400	12.400	3.600.000	7.600.000

\*Rezerv bazı günün koşullarında ekonomik rezervi, ekonomik sınırının biraz üstünde (marjinal) ve biraz altında (sub-ekonomik) olan kaynakları içermektedir (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001).

Alpin tip krom yataklarının sergiledikleri karmaşık yapı ilişkileri, doku özellikleri ve nispeten küçük boyutlu oluşları bunların belirgin özellikleridir.

Krom yatakları genelde mercek, bant veya düzensiz şekilli kütlelerden oluşmaktadır. Kromit kütlelerinin boyu birkaç santimetreden, 100 m’yi geçen uzunluğa kadar ulaşabilmekteyse de genelde bu uzunluk 4-5 m kadardır. Kalınlıklarının ise bazı hallerde 5 m’yi geçebildiği biliniyorsa da bu değer genelde 2-3 m kadardır.

Alpin tip krom yatakları rezervlerinin boyutu yönüyle stratiform tip yataklardan çok küçüktürler. Rezervleri bir milyon tonu geçen Alpin tip kromit kütlelerinin sayısı sınırlıdır.

Çizelge 1.8. Dünya Krom Üreticisi Ülkeler (DPT, 2001)

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

Alpin tip krom yataklarında kromitin  $Cr_2O_3$  tenörü stratiform tiptekilere göre daha geniş bir aralıkta değişmekte, buna karşılık FeO (toplam demir) içeriği fazla değişiklik göstermemektedir. Bu tür yataklardan üretilen krom cevheri genel olarak metalürji ve refrakter sanayilerinde kullanılmaktadır.

Türkiye'de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin ultrabazik kayalar içinde ülke geneline yayılmış durumdadır. Türkiye'de 800 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru bilinmektedir.

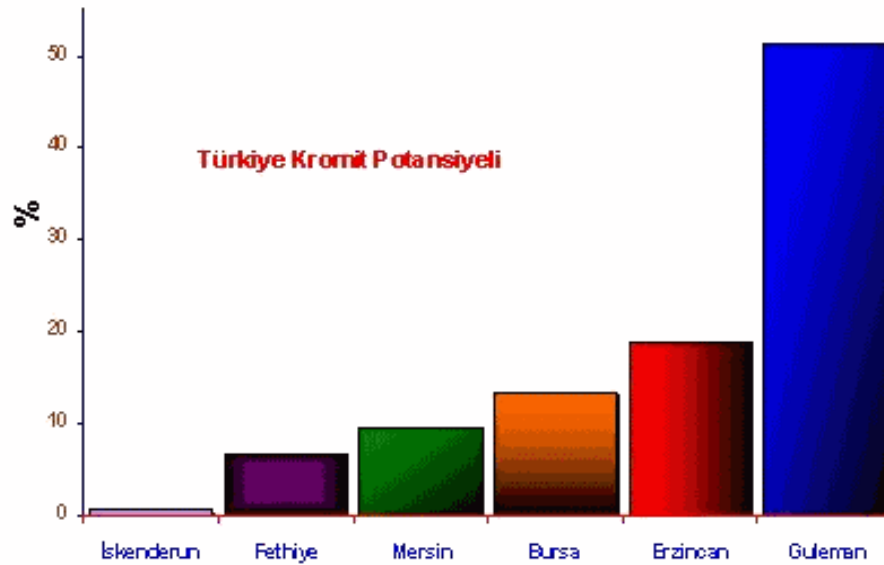
Coğrafi yönden krom yataklarının dağılımını 6 bölgede toplamak mümkündür. Bunlar önem sırasına göre şöyle verilebilir:

- a) Guleman (Elazığ) yöresi
- b) Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- c) Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi

- d) Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
- e) Erzincan-Kopdağ yöresi
- f) İskenderun-Kahramanmaraş yöresi

Şekil 1.3'de Türkiye kromit potansiyeli verilmektedir. Bu altı bölgenin dışında, dağınık bazı krom yataklarının varlığı bilinmektedir. Türkiye'deki üç ana ofiyolit kuşağı;

- Kuzey ofiyolit kuşağı (İzmir – Bursa – Ankara – Erzincan – Erzurum)
- Orta Ofiyolit kuşağı (Muğla – Antalya – Beyşehir – Mersin – Pozantı – Pınarbaşı – Erzincan)
- Güney ofiyolit kuşağı (Antalya – Elazığ – Soridağ – Van Gölü'nün güneyi)



Şekil 1.3. Türkiye Kromit Potansiyeli (Bayat, 2009)

Dünyada ilk krom cevheri üretimi 1797 yılında Ural'larda yapılmıştır. Türkiye'de krom cevherinin ilk kez 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Krom cevherinin bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir yere sahip hale gelmiştir. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da, genellikle 3. ve 6.sıralar arasındaki yerini

devamlı korumuştur (DPT, 2001). Çizelge 1.9'da Dünya kromit üreticisi ülkelerin 2008 yılı verileriyle ortalama üretim rakamları verilmiştir.

Çizelge 1.9. Dünya Kromit Cevheri ve Konsantre Üretimi (Ton) (Tahtakıran, 2008)

	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
G. Afrika	6.372.739	7.136.666	7.309.575	7.244.112	6.865.279	8.720.330
Kazakistan	2.349.640	2.781.725	3.290.000	3.581.242	3.366.078	3.687.200
Hindistan	2.698.577	2.210.000	2.948.944	3.255.162	3.600.400	3.320.000
<b>Türkiye</b>	<b>313.637</b>	<b>229.294</b>	<b>506.421</b>	<b>858.729</b>	<b>1.059.901</b>	<b>1.678.932</b>
Zimbabve	734.011	666.357	621.269	819.903	712.908	663.593
Brezilya	279.684	510.640	622.755	676.643	604.145	625.627
Finlandiya	566.090	549.040	579.780	571.103	548.713	556.100
Diğerleri	797.024	1.048.441	1.723.707	2.133.815	2.483.747	2.902.527
<b>TOPLAM</b>	<b>14.111.402</b>	<b>15.132.163</b>	<b>17.602.451</b>	<b>19.140.709</b>	<b>19.241.171</b>	<b>22.154.309</b>

#### **1.4. Ürün Standartları**

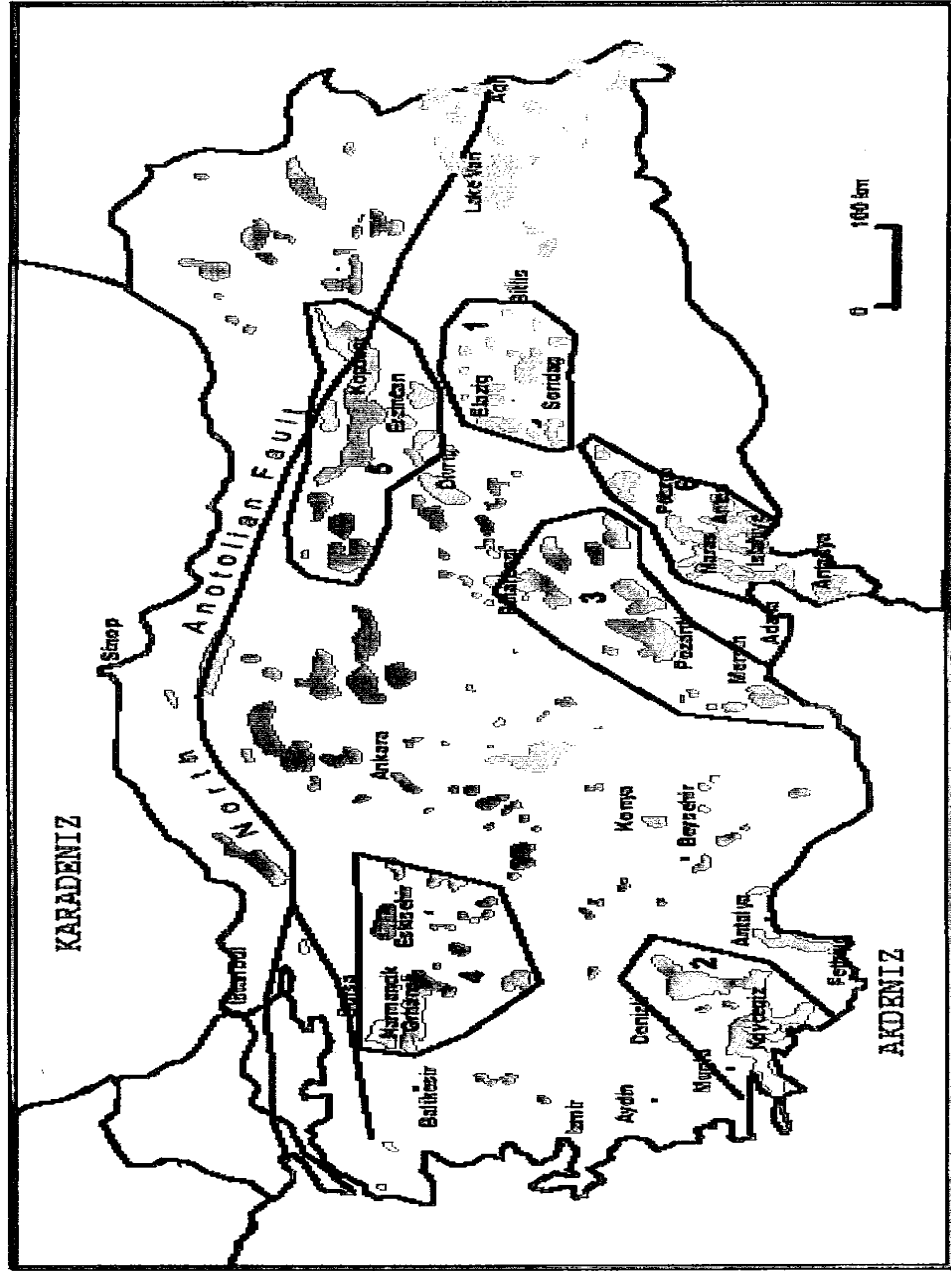
Krom cevherleri ticari olarak yalnızca  $Cr_2O_3$  içeriklerine bakılarak sınıflandırılabilir gibi, kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak da sınıflandırılmaktadır.

Sadece  $Cr_2O_3$  içeriklerine bakıldığında; birinci, ikinci ve üçüncü kalite şeklinde sınıflandırılırlar.

- $Cr_2O_3$  içeriği %40'dan az olanlar (3. kalite),
- $Cr_2O_3$  içeriği %40-46 arasında olanlar (2. kalite),
- $Cr_2O_3$  içeriği %46'dan fazla olanlar (1. kalite)

Element içerikleri dikkate alınarak kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerine göre metalürji, kimya, refrakter ve döküm endüstrilerinde kullanıma uygun cevherler diye ayrıca sınıflandırılırlar.





Şekil 1.4. Türkiye'deki Ana Kromit Yataklarının ve Ofiyolit Kuşaklarının Dağılımı (Billor ve Gibb, 2002)

Türkiye'deki krom yataklarını dağılımı ve ana ofiyolit kuşakları Şekil 1.4.'deki Türkiye haritasında verilmiştir.

Krom cevherinin kimyasal bileşimini, kromit mineralinin kimyasal bileşimi ile kromitin içinde bulunduğu ve genelde olivin, piroksen ve serpantin minerallerinden oluşan gangın kimyasal bileşimi kontrol etmektedir. Cr, Al, Fe(III),

Fe(II) ve Mg, kromitten kaynaklanan; Si, Mg, Ni ve Ca ise gangdan kaynaklanan elementlerdir. Krom cevherinin kimyasal bileşimi incelenirken  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , FeO, MgO ve  $SiO_2$  değerlerinin dikkate alınması gerekir. Öte yandan, oran olarak az bulunmalarına karşın Ca, P ve S içeriklerinin de, krom cevherinin kullanım alanlarını etkileyen elementler olarak ayrıca incelenmesi gerekebilir.

Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen- Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük  $Cr_2O_3$  içeriği ve Cr/Fe oranına sahip krom cevherlerinin nispeten daha düşük kalitede ferrokrom (yüksek karbonlu ferrokrom) üretilmesinde kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler ışığında %40-46  $Cr_2O_3$  tenörlü Cr/Fe oranı 1,5/1 olan krom cevherleri yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılabilir hale gelmiştir.

Metalürji sanayinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri şöylece özetlenebilir (Çizelge 1.10-1.11):

Çizelge 1.10. metalürji Sanayinde Aranan Krom Bileşimi Özellikleri (DPT, 2001)

<b>Kimyasal özellikler</b>	<b>Fiziksel özellikler</b>
$Cr_2O_3$ %46 - 48	Tane Boyutu; 0-2 mm
$SiO_2$ %6 - 8	
$Al_2O_3$ %8 - 15	
MgO %15 - 20	
CaO %0,5 - 2	
Cr/Fe 2,6 - 3 / 1	

Öte yandan, düşük karbonlu ferrokrom üretiminde  $Cr_2O_3$  tenörünün % 46'nın ve Cr/Fe oranının 3/1'in üzerinde olması şartı hala geçerliliğini korumaktadır. Peletleme ve briketleme tekniklerinin krom cevherlerine de uygulanır hale gelmesi ve plazma teknolojisi, toz halindeki krom cevherlerinin ferrokrom üretiminde kullanılmasını sağlamıştır.

Çizelge 1.11. Metalürji Sanayinde Kullanılan Ticari Bazda Aranan 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	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %8 - 15	Toz (-25 mm), en fazla %25
MgO %16 – 22	
CaO %0,5 – 1	
P+S eser	
Cr/Fe 2 - 3 / 1	

Refrakter sanayinde 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 SiO<sub>2</sub> oranının %3'ün altında olması gerekir. Refrakter sanayinde kullanılan parça ve konsantre krom cevherinde ticari anlamda aranan özellikler Çizelge 1.12'de verilmiştir.

Alpin tip krom yatakları, metalürji ve refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin geleneksel olarak üretildiği yataklardır.

Kimya sanayinde kullanılan krom cevherlerinde aranan kimyasal özellikler biraz daha esnek sınırlara sahipse de, metalürji sanayinde kullanılan krom cevherleri, satın alış fiyatının uygun olması halinde, maliyeti azaltması bakımından tercih edilebilmektedir.

Çizelge 1.12. Refrakter Sanayinde Aranan Krom Konsantresinin Özellikleri (DPT, 2001)

Refrakter Parça	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %48 (en az)
	SiO <sub>2</sub> %4 (en fazla)
	0-300 mm boyut
	(10 mm altı) % 10-15
Refrakter Konsantre	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %50 (en az)
	SiO <sub>2</sub> %2 (en fazla)
	0.5-4 mm boyut

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %42 ve daha fazla ve Cr/Fe oranı 2'nin altındaki kırılğan veya toz cevherler kimya sanayisinin geleneksel krom cevheri olarak tanımlanırlar.

Stratiform tip olarak tanımlanan Prekambriyen yaşlı krom yataklarının Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği düşük ve FeO içeriği yüksek kromitleri kimya sanayisinin tipik cevheri olarak tanımlanmaktadır. Kimya sanayinde kullanılan krom konsantresinde ticari anlamda aranan özellikler şöylece özetlenebilir (Çizelge 1.13):

Çizelge 1.13. Kimya Sanayinde Aranan Krom Konsantre 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	

Alpin tip krom yataklarında krom cevherini oluşturan kromit kristallerinin genelde Cr oranı yüksek ve Fe oranı düşüktür. Bu özellikteki kromit kristallerinin toplanmasıyla oluşan masif cevherler metalürji sanayinde çok yaygın olarak

kullanılmaktadır. Türkiye'nin bugüne kadar toplam krom cevheri üretiminde yüksek tenörlü masif cevherler önemli bir bölümü oluşturmuştur. Yüksek tenörlü, bilinen krom cevheri rezervlerinin azalması, yüksek tenörlü yeni yataklar bulmada karşılaşılan zorluklar ve pazar koşullarının elverişli olması nedeniyle, düşük tenörlü ve kolay işletilebilecek krom yataklarının işletilmeleri giderek daha fazla mümkün hale gelmektedir.

Bir zamanlar %45 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörün altındaki krom cevheri işletilemezken, bugün uygun pazar koşulları nedeniyle %8-9 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü kromitlerin işletildiği bilinmektedir. Düşük tenörlü kromitler zenginleştirme tesislerinde kırılıp öğütüldükten sonra zenginleştirilmekte ve ardından pazarlanmaktadır (DPT, 2001).

Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinin en az %44, SiO<sub>2</sub> içeriğinin en fazla %4, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (toplam demir) içeriğinin en fazla %26 ve 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). Dünya'da kromun kullanıldığı sektörlere göre tüketim payı ise aşağıda verilmiştir (Ağaçayak, 2001).

- Metalürji sanayi : %50 – 60 tüketim payı
- Refrakter sanayi : %20 – 25 tüketim payı
- Kimya sanayi: %15 – 25 tüketim payı

### **1.5. Kromun Kullanım Alanları**

Kromit minerali ısıya oldukça dayanıklıdır. Bu yüzden genellikle herhangi bir değişim göstermeden yüksek fırınların yapımında kullanılan tuğlalarda tercih edilir. Krom tüm aşınma çeşitlerine karşı oldukça dayanıklıdır. Ayrıca pirinç, bronz ve çelik üzerinde dekoratif ve koruyucu kaplama olarak kullanılır. Krom zayıf bir manyetit mineralidir. Bu özellik onun manyetitten ayırt edilmesini sağlar. Kromit asitlerde çözünmez.

Krom cevheri başlıca metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayinde kullanılır.

### **1.5.1. Metalürji Sanayinde Kullanım**

Metalürji sanayi, krom cevherinin en fazla kullanıldığı yerdir. Fiziki özellik bakımından cevherin sert, parça cevherler olması tercih edilirse de, konsantre krom tozları da kullanılabilir (Samanlı, 1998).

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 (DPT, 2001).

Üretilen ferrokromdaki krom yüzdesi, istenilen Cr tenörü ve Cr/Fe oranı artmasıyla artar. Bu nedenle kromit konsantrelerinde Cr/Fe oranının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Genelde Ferrokrom üretiminde 2,8 – 3'den yüksek konsantrelere prim ödenir (Deniz, 1992).

Ferrokrom; krom ve demirden meydana gelmiş bir alaşım olup, az miktarda karbon ve silisyum gibi elementler de içermektedir. Teknikte Ferrokrom ihtiva ettiği karbon miktarına göre genel olarak 3 grupta toplanır (Bayat, 2009);

%0,02 - 0.5 C	Düşük karbonlu ferrokrom
%0,50 – 4 C	Orta karbonlu ferrokrom
%4 – 8 C	Yüksek karbonlu ferrokrom

Bu kapsamda kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanı sıra, kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır. Kromun süper alaşımları ısıya dayanıklı, yüksek verimli türbin motorlarının yapımında kullanılmaktadır.

1970'li yıllardan başlayarak ferrokrom tesisleri, paslanmaz çelik üreten Japonya, Batı Avrupa ve ABD gibi sanayisi gelişmiş ülkelere krom cevherinin üretildiği ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle, bu ülkeler krom cevheri ihtiyaçlarını ferrokrom ithali yoluyla karşılamakta, kendi ülkelerinde ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar.

Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ve gelişmekte olan ülkelerdeki krom tüketimi ise, batılı sanayi ülkelerinden daha farklı bir durum sergilemektedir. Örneğin, BDT'de çelik yapımında hala geri teknoloji (open-heart) büyük yer tuttuğu (1980'lerde %53) için, krom cevherinin refrakter amaçlı tüketimi %35 düzeyindedir. 1980'lerde eski SSCB'deki krom cevheri tüketiminin %45'i metalürji, %35'i refrakter ve %20'si kimya sanayinde olmuştur. Tüketimdeki bu dağılımın, bir süredir devam eden reorganizasyon çalışmaları nedeniyle değişmesi beklenmektedir.

metalürji sanayinde krom; ferrokrom, ferro-siliko-krom, krom bileşikleri, diğer krom alaşımları ve krom metali şeklinde tüketilir.

Son yıllarda metalürji sanayinde kullanılan kromun (krom demir alaşımları ve krom metalinin) yaklaşık %95'i ferrokrom şeklinde, ferrokrom ise başlıca paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında tüketilmektedir. Paslanmaz çelikler %12-40 arasında krom içerir. Paslanmaz çelik sanayi, ABD'de krom-demir alaşımları ve krom metali toplam tüketiminde yaklaşık %9'luk bir paya sahiptir. Bu oran düzenli bir şekilde artış sergilemektedir.

Krom, çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde ilave edilir. ABD'de son 10 yılda toplam ferrokrom tüketimi içinde yüksek karbonlu ferrokrom tüketiminin payı %71'den %91 oranına yükselmiştir.

Dünyada da buna benzer olarak yüksek karbonlu ferrokrom tüketiminde bir artış trendi gözlenmektedir. Sanayileşmiş ülkelerin ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla paslanmaz çelik üretiminin %3-3,5 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla sanayileşmiş ülkelerde de ferrokrom talebinin bundan biraz daha az bir hızla artması beklenmektedir. Çünkü çelik yapımı teknolojisindeki gelişmeler cürufa karışma ve oksitlenme yoluyla krom kayıplarını azalttığından, ferrokrom kullanımı gittikçe daha verimli hale gelmekte ve bu da ferrokrom tüketiminin paslanmaz çelik üretiminden daha az bir hızla artmasına neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde

paslanmaz çelik için ferrokrom talebi 1980'lerin ortasından bu yana yılda %3,5 kadar bir artış göstermiştir.

Krom metali, yüksek performans alaşımlarında, Al, Ti ve Cu alaşımlarında, ısıya ve elektriğe dirençli alaşımlarda kullanılmaktadır.

Dünyanın en büyük krom metali tüketicisi ABD'dir. Uzay sanayinde önder olması nedeniyle batı dünyasının krom metali tüketiminin %55-60'ını bu ülke tüketir. Uzay sanayinde hızlı bir gelişme beklenmekle birlikte, bu alanda kullanılan yüksek performans alaşımlarında krom metali tüketiminin yüksek hızla artması pek muhtemel görülmemektedir. Zira geleneksel nikel esaslı süper alaşımlar yerine, uzay sanayinde seramikler ve kompozit materyallerin kullanımına gidilmektedir. Bu nedenle krom metali kullanımında potansiyel gelişme alanı uzay sanayi dışındadır.

Diğer yandan krom alaşımlarında, alaşımın özelliğini bozmadan kullanılan krom miktarının azaltılması konusunda araştırmalar ve krom içeren malzemelerin yeniden kullanılmasına (re-cycling) yönelik yöntem geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (DPT, 2001).

### **1.5.2. Kimya Sanayinde Kullanım**

Kimyasal kromit konsantrelerinin ince taneli ve yüksek  $Cr_2O_3$  tenörlü olması,  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  tenörlerinin çok az olması istenir (Çilingir, 1990).

Çoğu 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 sanayinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır.

Krom kimyasalları; metal kaplama, deri tabaklama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlaticı gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama



(canning agents), su işleme ve temizleme (water treatment), sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilir.

Krom kimyasallarının tüketim deseni (pattern) ülkeden ülkeye ve zamanla değişiklik göstermektedir. Sözcüğü Japonya'da metal kaplama krom kimyasalları için en büyük pazardır (1986'da toplam iç talebin %41'i). Japonya'da otomobillerin panelleri, çamurluklar gibi dış parçalarında soğuk haddelenmiş levhalar yerine giderek artan şekilde bikromat katmanıyla boyanmış elektro-galvenize çelik levhalar kullanılmaktadır. Bunun tersine metal kaplama, krom kimyasalları için ABD'de daralan bir pazardır. Bu gelişme esas olarak otomobillerde krom kaplama yerine, daha çok siyah plastik dış gövdeler kullanılmasının bir sonucudur.

Boya maddesi (pigmentler) ve deri tabaklama hem ABD, hem de Japonya'da krom kimyasalları için daralan pazarlardır. Gerek zehirleyici kurşun esaslı boya maddelerinin kullanımının yasalarla giderek artan bir şekilde kısıtlanması, gerekse organik boya maddelerinin rekabeti, boya maddelerinde sodyum bikromat kullanımını azaltmaktadır. Deri tabaklamada krom kimyasalları tüketiminin gelişmiş ülkelerde azalmasının nedeni, 1980'lerden sonra bu ülkelerin tüketimlerini daha ucuz tabaklanmış deri ithalatıyla karşılama eğilimidir. Deri tabaklamada krom kimyasalları tüketiminde artış Brezilya, Çin, Hindistan ve Güney Kore gibi gelişmekte olan ülkelerle sınırlıdır.

Sanayileşmiş ülkelerde krom kimyasalları tüketiminde artış olan başlıca alan ağaç malzemeleri çürümesini önleyici maddeler imalidir. ABD'de çevresel kısıtlamalar bu alanda geleneksel maddelerin kullanımını sınırlandırmaktadır. ABD'de 1980'lerin sonlarında ağaç çürüme önleyicileri imalinde krom kimyasalları tüketimindeki yıllık artış hızı % 10 olmuştur (DPT, 2001).

Piyasadaki krom bileşikleri:

- Sodyum kromat
- Potasyum kromat
- Kromik asit
- Amonyum kromat
- Amonyum bikromat
- Baryum kromat

- Kurşun kromat
- Kalsiyum kromat
- Demir kromat
- Bazik krom sülfattır

Krom kimyasalları, deri tabaklama, çeşitli renkte pigment elde edilmesinde, organik maddelerin oksidasyonunda, korozyon önlemlerinde, yağların, mumların ve sabunların ağartılmasında, tekstil maddelerinin boyanmasında, kibrit endüstrisinde, yangın malzemesi imalinde, fotoğrafçılıkta, analitik ayraçlarda, emaye ve seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Turgut, 1995).

### **1.5.3. Refrakter Sanayinde Kullanım**

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 sanayinde kullanımları ve bu alanlara göre tüketim oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir.

ABD'de yıldan yıla büyük değişiklik göstermekle birlikte, son yılların ortalamasına göre toplam krom cevherinin %79'u metalürji sanayi, %13'ü kimya sanayi ve % 8'i refrakter sanayinde kullanılmıştır.

Kromun savunma sanayinde kullanılması onu stratejik bir element yapmıştır. Kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, silahla ilgili destek sistemlerinde kullanılmaktadır. Krom sparge alaşımları, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin kullanıldığı randımanı yüksek, askeri amaçlı türbin motorların yapımında, krom kimyasalları paslanmayı geciktirici özellikleriyle uçak ve gemi sanayinde kullanılmaktadır (Çizelge 1.14) (Şatır, 1996).

Kromun refrakter sanayisindeki kullanımında, ABD'deki çelik üretimi teknolojisindeki gelişmeler sonucu, 1980'lerden itibaren bir azalma gözlenmektedir. Örneğin 1980'lerin ortalarında refrakter kromit tüketimi ortalama %17 iken, günümüzde %8 düzeyine düşmüştür. Bu değişimin sebebi ise, ABD çelik üretiminde "Open heart" açık ocak yönteminden AOD (Argon-Oksijen-Dekarburizasyon)

yöntemine geçilmesi sonucu, magnezyum-krom refrakterlerinin yerini magnezyum karbon refrakterlerinin almasıdır.

Çizelge 1.14. Türkiye’de Üretilen Krom Cevherlerinin Özellikleri ve Kullanım Alanları (DPT, 2001)

Cevher Çeşitleri	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Cr/Fe	Boyut
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		

### 1.6. 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 mercleklerinin 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. 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**

%32-34'ün üzerinde  $Cr_2O_3$  içeren parça cevherlerde kullanım alanı bulabilmektedir. %32'den düşük  $Cr_2O_3$  içeren cevherlerin değerlendirilmesi ve endüstrinin istediği bileşime getirilmesi için zenginleştirilmesi gerekmektedir (Güney, 1990).

Kromit birlikte bulunduğu gang minerallerine oranla yoğunluğu yüksek bir mineraldir. Serbestleşme tane boyutu olarak sağlandığı sürece, en uygun zenginleştirme yöntemi gravite ayırmasıdır. Cevher iri boyutta serbestleşiyorsa ağır ortam veya jig ile ayırma yapılabilir. Sallantılı masa ile zenginleştirme daha ince boyutlarda serbestleşme sağlandığında tercih edilmektedir. Kromit ile gang mineralleri arasındaki manyetik duyarlılık az olduğundan, önceleri olumlu sonuçlar alınmayan manyetik zenginleştirme, geliştirilen yeni manyetik ayırıcılarla, bazı tesislerde kullanılır olmuştur.

Ancak, ince tane boyutlarında serbestleşen ve gravite veya diğer yöntemlerle ayrılması ekonomik olmayan cevherlerde, flotasyon ile zenginleştirme yapılmaktadır. Yağ asitleri, sülfonatlar ve amin tipi toplayıcılarla kromit yüzdürülmesi mümkündür. Toplayıcı reaktif yağ asidi olduğunda, gang minerallerinin bastırılması için sodyum silikat veya kalgon ilavesi yapılır. Asit ortamda kromit yüzdürülmesi için kalsiyum tuzu ile kromit canlandırılır ve sülfat ve sülfonatlarla yüzdürülür.

Kromit asit ve bazlara karşı dayanıklı bir mineraldir. Kimyasal yöntemler açısından değişik uygulamalar söz konusudur. Asit ve alkali liçi, ergitme yöntemi kromitin zenginleştirilmesinde kullanılan kimyasal yöntemlerdir (Karadeniz, 1996).

Kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanacak zenginleştirme yöntemini ve yöntem kombinasyonlarını;

- Cevherin serbestleşme tane iriliği,
- Cevherden üretilebilecek konsantredeki  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $FeO$  ve  $Cr_2O_3$  tenörleri,  $Cr/Fe$  faktörü
- Gang mineralleri ile kromit mineralinin arasındaki fiziksel ve fizikokimyasal özellik farkları belirler (Çilingir, 1990).

Kromit başlıca üç yöntem kullanılarak zenginleştirilmektedir. Bunlar;

- Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme
- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon ile zenginleştirme

Çizelge 1.15. Uygulama Alanı Bulabilen Kromit Zenginleştirme Yöntemi Sınıflandırması (Ağaçayak, 2004)

1. El ile ayıklama	
2. Özgül ağırlıklar farkına göre gravite ile zenginleştirme	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Oluklar</li><li>2. Ağır ortam ayırması</li><li>3. Humprey spiralleri</li><li>4. Dyna – Whirpool</li><li>5. Jig</li><li>6. Sallantılı masa</li><li>7. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)</li></ol>
3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme	
4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme	
5. Flotasyon ile zenginleştirme	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Klasik flotasyon</li><li>2. Kolon flotasyonu</li><li>3. Ultra flotasyon</li><li>4. Yüksek sıcaklık flotasyonu</li><li>5. Jet flotasyonu</li><li>6. Yağ flotasyonu</li><li>7. Aglomerasyon yolu</li><li>8. Elektro flotasyonu</li></ol>
6. Kimyasal yöntemlerle zenginleştirme	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Asit liçi</li><li>2. Bazik liç</li><li>3. Seçimli gazlı indirgeme yöntemi</li><li>4. Katı hal indirgeme yöntemi</li><li>5. Ergitme yöntemi</li></ol>

Bu zamana kadar uygulama alanı bulabilen kromit zenginleştirme yöntemleri Çizelge 1.15’de gösterilmiştir. Kromit cevherinin serbestleşme derecesine, cevher karakterine, gang minerallerinin cinsine bağlı olarak bu yöntemlerin biri ve birkaçının kombinasyonunu kullanmak mümkündür (Ağaçayak, 2004).

### **1.7.1. Elle Ayıklama (Tavuklama, triyaj)**

Triyaj ile zenginleştirmede kromitin; renk, parlaklık, özgül ağırlık gibi özelliklerinin gang minerallerinde 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).

Tavuklama işleminde  $Cr_2O_3$  tenörü düşük olmaktadır. Bu sebeple iri boyutlarda serbestleşen krom cevherinde iyi kalitede parça cevher üretmek için bir ön işlem olarak uygulanmaktadır (Önal, 1985).

Ülkemizdeki bir çok kromit işletmesinde, işletmeler küçük üretim kapasitesinde olduklarından ve cevherlerinde parça cevher üretimine uygun olmasından, yalnızca triyaj işlemi yapılmaktadır. 25 mm’lik eleklerden geçirilen cevherin +25 mm’lik kısmı tavuklamaya tabi tutulur. Bu tarz yapılan zenginleştirmede triyaj atıklarında fazlaca kromit kaldığından bu atıkların ileride zenginleştirilmek üzere düzgün olarak stoklanması gerekir. İşlemden sonra triyaj artığı diğer teknolojik yöntemlerle birlikte değerlendirilir (Çilingir, 1990).

### **1.7.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme**

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  $3,5 - 4 \text{ gr/cm}^3$ ) 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  $Cr_2O_3$  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 (Kurşun, 1993).

Çizelge 1.16. Özgül Ağırlık Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Boyutları (Güney, 1999)

Ayrırma Yöntemi ve Aygıtı	Etkin Tane Boyutu (mm)
<u>Ağır Ortam</u>	
Statik Tip	2.0 – 50.0
Dinamik Tip	0.3 – 20.0
Jig	0.1 – 20.0
Reicher/Vickers Spiralleri	0.07 – 1.0
Sallantılı Masalar	0.04 – 1.0
Yıkama Olukları	0.2 – 2.0
Bartles Mozley Masası	0.005 – 0.1
GEC çift Yüzeyle Masa	0.02 – 0.1
<u>Santrifuj Ayırıcılar</u>	
Yatay Tip	0.005 – 0.1
Düşey Tip	-0.4

Taggart tarafından öne sürülen zenginleştirme (konsantrasyon) kriteri (Taggart, 1951) (k), özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmenin hangi boyutlarda ve yöntemlerle uygulanabileceği hakkında bilgi vermektedir. Buna göre:



$$k = (\rho_A - \rho) / (\rho_H - \rho) \quad (1.1)$$

$\rho_A$ = Ağır minerallerin özgül ağırlığı gr/cm<sup>3</sup>

$\rho_H$ = Hafif minerallerin özgül ağırlığı gr/cm<sup>3</sup>

$\rho$ = Akışkan ortamın özgül ağırlığı gr/cm<sup>3</sup>

$k$ = Konsantrasyon kriteri

$k > 2,5$  ise; ayırma çok küçük boyutlara kadar kolayca uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.

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

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

$1.5 > k > 1.25$  ise; ayırma oldukça güçtür. Ancak, çakıl büyüklüğündeki tanelere uygulanabilir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$k > 1.25$  ise; ekonomik bir ayırma mümkün değildir. Ancak akışkanın özgül ağırlığı artırılarak ayırma yapılabilir (Taggart, 1951).

İnce kromit artıklarında (-0,1 mm), jet flotasyonu, kolon flotasyonu, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar ve MGS (Multi Gravity Separator) gibi yeni teknolojiler kullanılmaktadır. MGS ince çok ince tane boyutlarına ve artıklara kadar kromit kazanımı sağlanabilmektedir (Samanlı, 1998).

### **1.7.3. Jig İle Zenginleştirme**

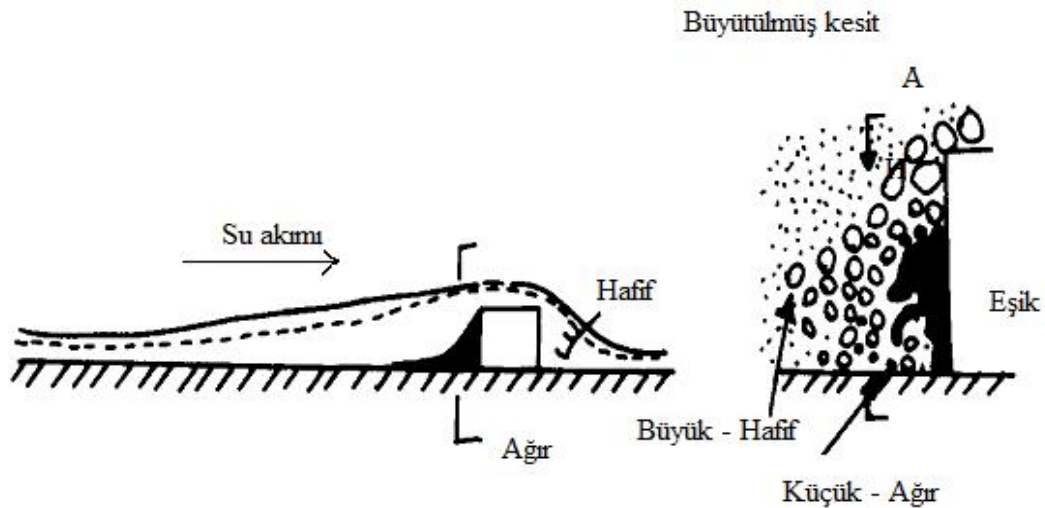
Jig ile zenginleştirilecek kromitlerin iri boyutlarda serbest kalması gerekir. 25 – 1 mm arasındaki cevher hidrolik jiglerle zenginleştirilebilir. Havalı jiglerde ise alt boyut 0.1 mm'ye kadar inmektedir. Ayırmanın etkinliğini arttırmak için dar boyut gruplarına sınıflandırma yapılmaktadır (Gence, 1985).

#### 1.7.4. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme

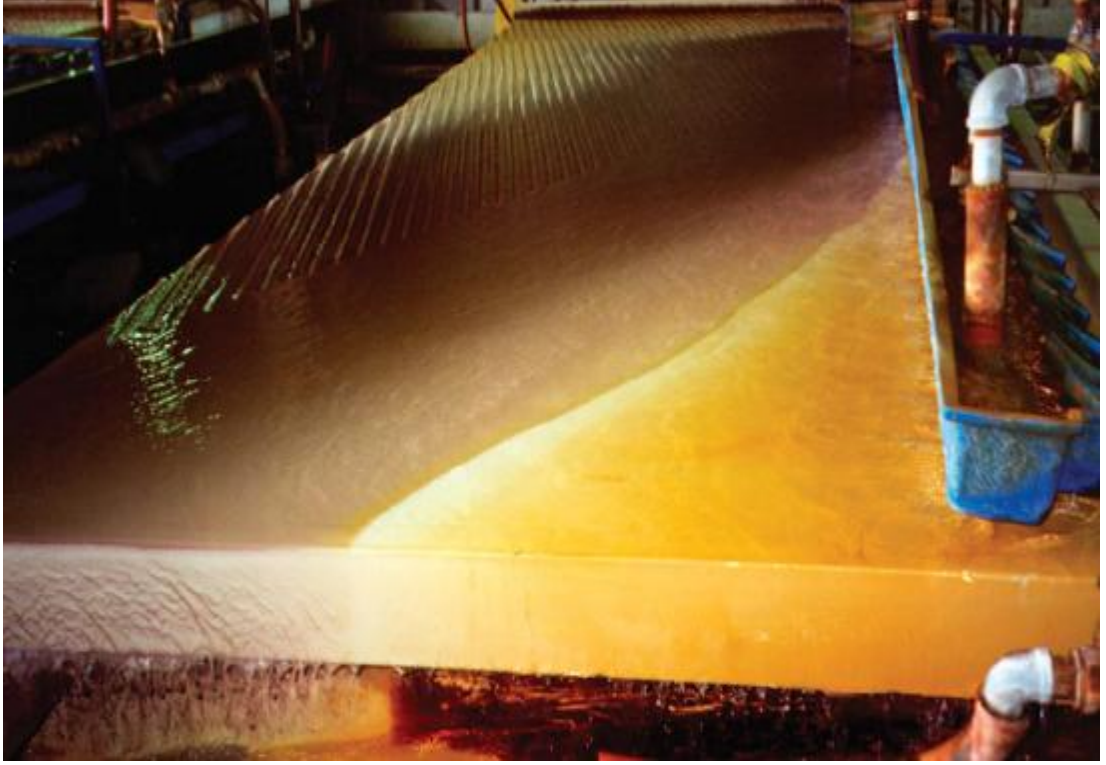
Tabaka halinde akışkan ortamda ayırma yapan ve ayırıcı yüzeyi hareketli olan bir cihazdır (Şekil 1.5). Sallantılı masalar, krom cevherlerinin gravite yöntemi ile zenginleştirilmesinde günümüzde en çok kullanılan aygıtlardır. Sallantılı masa esas olarak üzerinde tabaka halinde akışkan akışı olan dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzeydir. Uygun bir mekanizma ile masanın uzun eksenini doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri – geri hareket ettirilir (Gence, 1985).

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

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazende eşiksizdir (Şekil 1.6). Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur. Bunun sonucunda hem etkili bir ayırma yapılabilir hemde masa kapasitesi artar (Önal, 1985).



Şekil 1.5. Akan Su Tabakasında Katı Hareketi Üzerindeki Eşik Etkisi (Bayat, 2009)



Şekil 1.6. Wilfley Tipi Sallantılı Masa (Outokumpu Technology).

Sallantılı masalarda maksimum performansa ulaşmak için dikkat edilmesi gereken faktörler:

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

**Özgül Ağırlık:** Sallantılı masalar pulp halinde aralarında yeterli özgül ağırlık farkı bulunan mineralleri birbirinden ayırabilir. Zenginleştirme kriteri 1.25 in üzerinde olan herhangi iki mineral birbirinden başarılı bir şekilde ayrılabilir. Ancak mineraller arsında şekil farkı mevcutsa, zenginleştirme kriteri 1.0 civarında olsa bile ayırma yapılabilir.

**Eşik Konumu:** Masalar genelde iki tiptir: (a) derinlik ve yoğun eşik yapı sistemi ile tanımlanan ve iri tanelerin zenginleştirildiği kum masaları, (b) çok ince

taneli ve az yoğunluklu malzemenin eşikler üzerinde kayarak uzaklaştırılmasının amaçlandığı çok az derinliğe sahip şlam masaları. Eşikler arası mesafe en büyük tanenin boyutunun en az 3 katı olmalıdır.

**Kapasite:** Sallantılı masanın kapasitesi beslenecek malzemenin tane boyutu ve özgül ağırlığı ile işlemin (kaba zenginleştirme veya temizleme) cinsine bağlıdır. 1.7-1.2 mm boyutlarındaki cevherin zenginleştirilmesinde normal boyutlardaki bir masanın kapasitesi 2 t/saat dir. şlam masalarında ise 0.1 ton/saate kadar kapasite inmektedir.

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

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

**Su Sarfiyatı:** Sallantılı masalarda su sarfiyatı beslenen malzemenin tane iriliğine ve işlemin cinsine (kaba veya temizleme) göre değişir. Kaba zenginleştirmede 1.4 ton su/ton cevher, temizlemede ise 1.2 ton su/ton cevher kullanılır. şlam masalarında ise 10 ton su/ton cevhere kadar su harcaması çıkmaktadır. Masalarda ilave verilen su miktarı yaklaşık tüm su sarfiyatının %25'i kadardır.

**Güç Sarfiyatı:** Tek katlı masalarda güç sarfı 0.7-2.2 kws/ton arasında değişmekte, iki veya üç katlı masalarda ise 2.3 kws/ton olarak seçilir.

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

**1.7.5. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) İle Zenginleştirme**

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

Cihaz (Şekil 1.7) bir yanı açık uçlu 0.6 m. uzunluğunda 0.5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6-24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşturacak şekilde 150-300 d/d hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda eksenal doğrultuda 4-5.7 cm.sn<sup>-1</sup> frekansla 10-20 mm arasında değişen sinüsoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir.

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

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

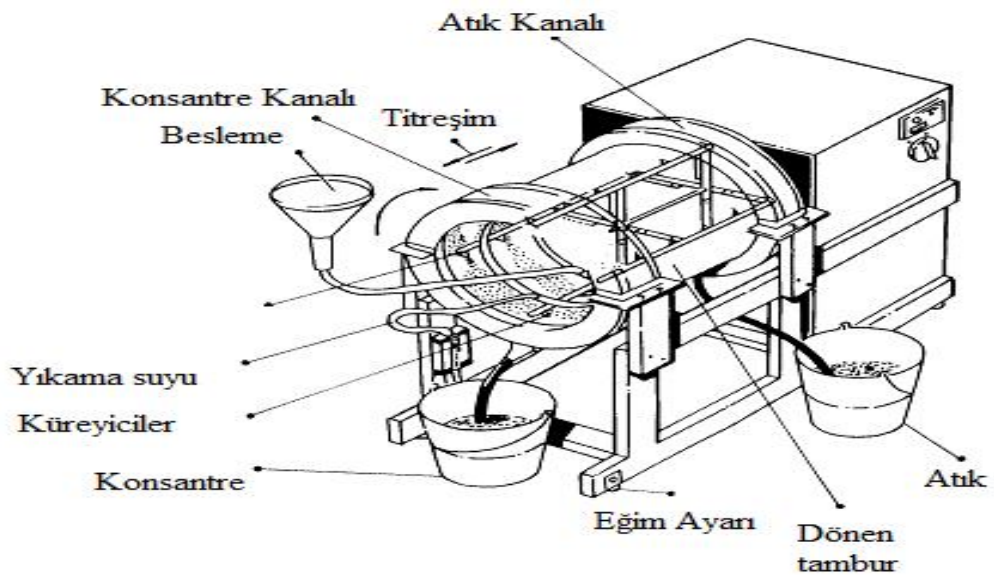
Gövdeye verilen titreşim hareketiyle; akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır, özel olarak dizayn edilmiş küreyicilerse tambur yüzeyinde hareket ederlerken tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınır.

MGS, dört yıllık bir süreç içinde geliştirilmiş ve bu süreç içinde değişik parametrelerin incelendiği beş prototip makine yapılmıştır. Bu prototiplerde;

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

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

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



Şekil 1.7. MGS Ünitesi Şematik Gösterimi (Chan ve ark, 1994)

C900 tipi Mozley firmasının ürettiği Multi Gravity Seperator cihazının çalışma parametreleri şu şekildedir:

- Tambur dönme hızı : 100 – 300 dev/dk
- Tambur salınım frekansı : 4/4.8/5.7 dev/sn
- Tambur salınım genliği : 10/15/20 mm
- Tambur eğim açısı : 0-9°
- Yıkama suyu miktarı : 0 – 10 L/dak
- Besleme kapasitesi : maksimum 200 kg/s (kuru)

### **MGS'nin Pilot Çapta Kullanımı**

Pilot çapta MGS (Şekil 1.7), hafif, konik, açık çıkışlı, 0,5 m çap 0,6 m uzunluktaki bir tamburdan ibarettir. Tambur yüzeyinde meydana getirilen 6 ile 24 g yerçekimsel çekime eşit, merkezkaç, kuvvet ile saat istikamet yönünde 150 ile 300 devir/dk arasında değişen hızla döndürülür.

Tambur içine bir küreyici monte edilmiştir. Bu, tamburla aynı istikamette fakat biraz daha hızlı döner. Mekanizma, tamburun daha dar olan açık çıkışına doğru çökelmiş katıları kazımaktadır.

### **MGS'nin Endüstriyel Çapta Kullanımı**

Endüstriyel çapta MGS, pilot çaptakinin genişletilmiş bir şeklidir (Şekil 1.8). Tek bir krank mili ile titreşim mekanizmasının sağlanabilmesi için sırt sırta monte edilmişlerdir. Bir tambur tarafından açığa çıkarılan titreşim diğerinden açığa çıkan titreşim ile dengelenir. Saatte 2 ton katı muamelesine kadar dizayn edilirler.

#### **1.7.5.1. MGS Tasarım Özellikleri**

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



Şekil 1.8. Mozley Multi Gravite Ayırıcı (Pınar Madencilik, 2009)

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

**Hareket mekanizması:** Cihazlarda hareket mekanizması mümkün olduğunca basit tutulmuştur. Elektronik ve mikro-prosesörlerden kaçınılmıştır. Pilot ölçekli



MGS Ünitesinde 0.5 kW lık 2 adet elektrik motoru kullanılmıştır. Bu motorlardan birisi basit bir eksantrik ile titreşim hareketini, diğeri ise dişli-zincir sistemi ile tambur ve küreyici' nin dönüşünü sağlamaktadır. Endüstriyel ölçekli MGS Ünitesinde, 2.2 kW lık bir motorla iki tamburun titreşim hareketi, 2 adet 1.1 kW lık motorla ise tamburların ve küreyicilerin 'dönüşü sağlanmaktadır.

**İşletme değişkenleri:** MGS Ünitesinde; tambur dönüş hızı, titreşim büyüklüğü, yıkama suyu miktarı, tambur eğim açısı, besleme miktarı ve hızı pülpte katı oranı önemli işletme parametreleri olmaktadır.

**Tambur dönüş hızı:** Tambur dönüş hızı, ayırma işlemini iki yönden etkiler. İlk olarak, pülp akışını aksenel doğrultuda tamburun alt çıkış ucuna doğru hızlandırır, ikinci olarak da tanelerin atalet kütlelerini arttırarak tambur yüzeyine yapışmasını ve adeta katı yüzey oluşmasını sağlar.

300 dev/dk hızla dönen tambur içindeki bir taneye etkiyen merkezkaç kuvveti 24 g kadar arttırılmakta, buna karşın tane büyüklüğü başka bir deyişle; MGS Ünitesinde diğerklasik gravite ayırması yapan ünitelere göre 5 kez daha küçük boyutlu tanelerin ayrılması mümkün olmaktadır. Tamburun dönüş hızının arttırılması ile (diğerkparametreler sabit) ağır mineral miktarı artarken, tenör düşmektedir. Mineraller arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğunda düşük, yoğunluk farkı küçük olduğunda ise yüksek "G" kuvvetinde ayırma uygun olmaktadır.

**Titreşim Yoğunluğu:** Tambur çalışması sırasında titreşim frekansı 3-6 dev/sn, titreşim genliği ise 3.8 - 12.5 cm arasında değiştirilebilmektedir. Titreşim sinuzoidal dalga formunda eksen doğrultusunda olmaktadır. Titreşim hareketi sonucu olarak; ayırma sırasında taneler üzerine ek kesme (koparma) kuvveti uygulanmış olmaktadır. Titreşim yoğunluğunun arttırılması (diğerkparametreler sabit) halinde ise verim düşerken, mineral içerikleri yükselmektedir.

**Yıkama Suyu Miktarı:** Yıkama suyu tamburun üst çıkış ağzına yakın bir noktadan verilmektedir. Yıkama suyu miktarı ve akış hızı ayırmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Yıkama suyu miktarı aynı zamanda pülp yoğunluğuna da bağlı olmaktadır.

**Tambur Eğim Açısı:** Tambur ekseni ile yatay arasındaki eğim açısı, malzemenin özelliğine bağlı olarak 0-5 arasında değişmektedir. İnce boyutlu ve

düşük yoğunluklu mineraller için küçük; iri boyutlu ve yüksek yoğunluklu mineraller için ise büyük eğim açılarında çalışılmalıdır.

**Pülp Yoğunluğu, Besleme Hızı:** Beslenecek malzemenin pülp yoğunluğu %10-50 arasında değişmektedir. Daha yüksek yoğunluklarda ise yıkama suyu miktarları ile pülp yoğunluğu ayarlanabilmektedir. Ayırma kapasitesi tambur çapı ile bağlantılıdır. Pilot ölçekli MGS ünitesinde 0.2 t/s; endüstriyel ölçekli iki tamburlu (twins drum) MGS ünitesinde ise 2 t/s kapasiteye ulaşılmaktadır. Aynı miktardaki malzemenin klasik sallantılı masada ayrılması için MGS'in yüzeyinden 6 kat fazla bir ayırma yüzeyine sahip olması gerekmektedir (Chan ve ark, 1994).

#### 1.7.6. Knelson Konsantratörü İle Zenginleştirme

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

$$F_c = \left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot (d_p)^3 \cdot (\delta_s - \delta_l) \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1.2)$$

Burada;

$F_c$ : Santrifüj kuvvet,  $\text{gr.cm.s}^{-2}$

$r$  : Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

$d_p$  : Tanenin çapı, cm

$\delta_s$  : Tanenin yoğunluğu,  $\text{gr.cm}^3$

$\delta_l$  : Ortamın yoğunluğu,  $\text{gr.cm}^3$

$\omega$  : Tanenin açısal hızı,  $\text{radyan.sn}^{-1}$

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

$$d_{cr} = k_0 \sqrt[4]{\frac{g}{w^2 r}} \quad (1.3)$$

Burada;

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

$k_0$  : oransal sabit

$r$  : tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değistirme mesafesi, cm

$w$  : tanenin açısal hızı, radyan.sn<sup>-1</sup>

$g$  : gravite kuvveti, m.sn<sup>-2</sup>

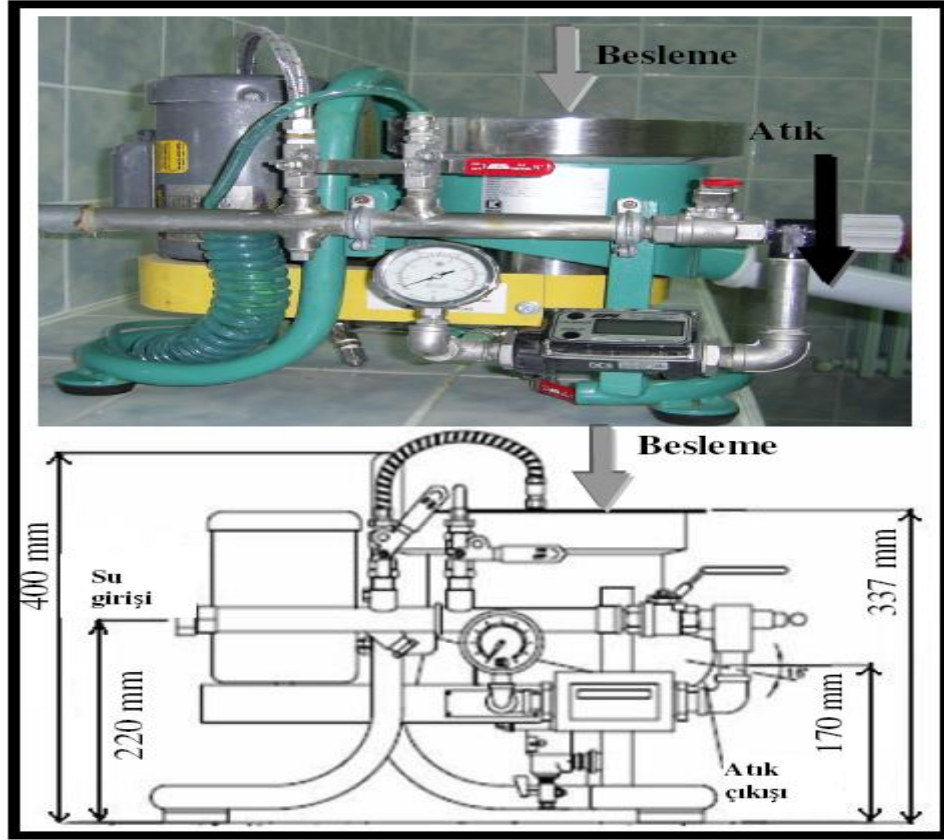
Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Bunlar <30 µm boyutunda çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler (Ren vd., 1994). Knelson ayırıcısı (KC) Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada’ da patenti alınmış, dünyada damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür. Standart Knelson ayırıcısı, 6 mm ya da daha az üst besleme boyutuyla çalışabilmektedir (Patchejieff vd., 1995). Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır (Alp ve ark., 2004a.b; Celep ve ark., 2005).

KC dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üstten beslenen pülpün santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır taneler konsantre olarak yatağın oluklarına takılır. Gang mineralleri ise atık olarak pülpün üst akısıyla birlikte atılır. Besleme, standart model Knelson konsantratörün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla yapılmaktadır. Besleme %0-70 pülp yoğunluğunda yapılabilir. Konsantratör haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur (Knelson ve Jones, 1993). KC’nin ana operasyon değişkenleri; yıkama suyu hızı, besleme pülp yoğunluğu ve alıkonma süresidir. Knelson ayırıcısı altın cevherleri için ön zenginleştirici olarak dizayn edilmiştir ve yerçekimi ivmesinin ortalama 60 katı kadar bir santrifüj kuvvet oluşturabilmektedir (Huang, 1996).

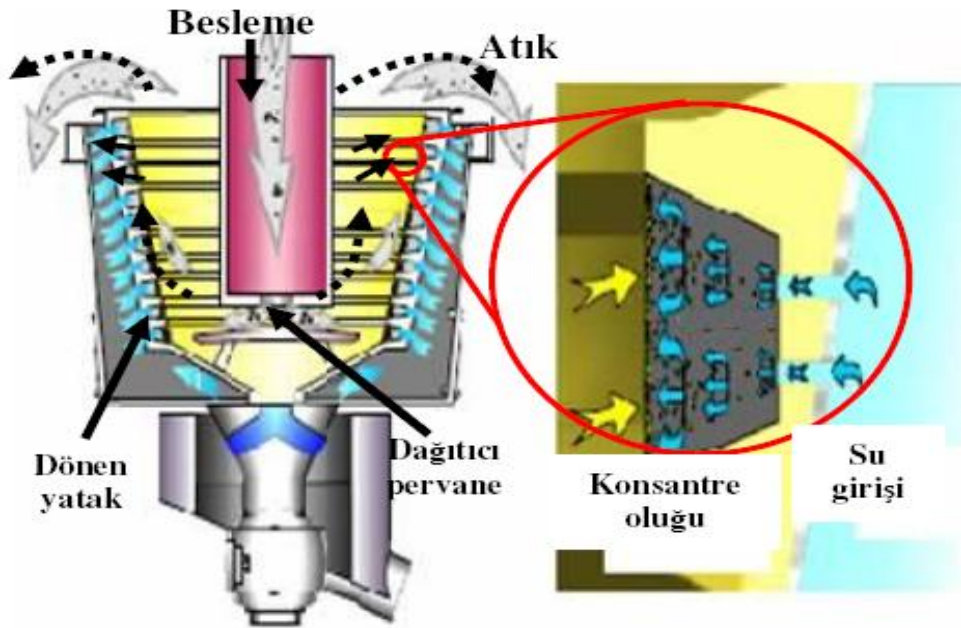
Haznenin içindeki paralel olukların içindeki küçük deliklerden hazneye su enjekte edilerek malzemenin hem yıkanması hem de haznenin dibinde toplanması sağlanır. Diğer santrifüj ayırıcılarıyla kıyaslandığında, ayırma mekanizması ya da dizayn özellikleri açısından oldukça farklıdır. Jigler ve spiraller gibi gravite ile zenginleştirme yapan araçlara göre daha ince altın taneleri kazanılabilmektedir (Zhang, 1998).

Knelson'un diğer avantajı, şlam uzaklaştırma yapmaksızın malzemeyi zenginleştirmesidir. Knelson ayırıcısının etkinliği gangın yoğunluğu ve besleme hızının etkisiyle değişmektedir. Besleme boyut dağılımının, (gang yoğunluğunun düşük olması şartıyla) Knelson ayırıcısı ile zenginleştirme üzerine çok az etkisi olduğu belirlenmiştir.

Knelson ayırıcısı (Şeki 1.9-1.10), konsantrenin otomatik ve elle boşaltma esasına göre; kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boşaltma sekline göre manuel boşaltma, merkezi boşaltma (CD) ve değişken boşaltma modelleri olarak sınıflandırılmaktadır. Knelson ayırıcıları metalurjik atıklardan, nehir kumlarından ve farklı cevherlerden değerli metallerin kazanımı için endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca plaser ya da cevherlerdeki serbest altın tanelerinin kazanımında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Knelson ve Jones, 1993). Altın, platin, kurşun, gümüş ve bakır gibi metallerin kazanımında uygulama alanı bulmuştur.



Şekil 1.9. Knelson Ayırıcısı ve Şematik Görünüşü (Laboratuar Tipi) (Alp ve ark., 2004a.b; Celep ve ark., 2004)



Şekil 1.10. Knelson Ayırıcısının Düşey Kesiti (Ling, 1998)

**1.8. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme**

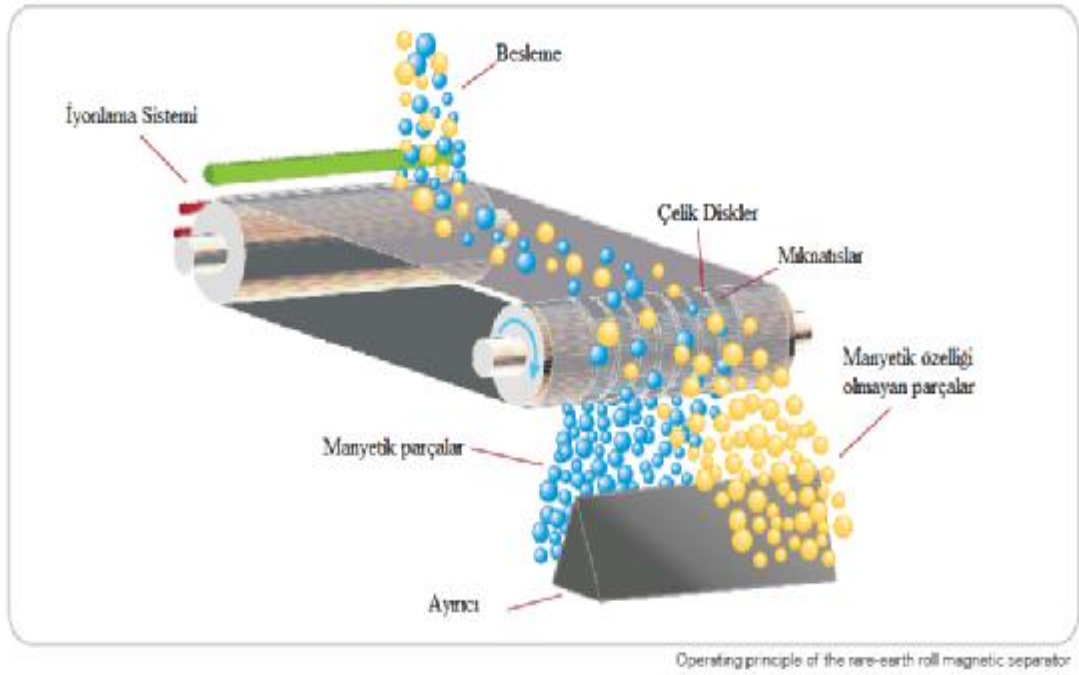
Manyetik ayırma, minerallerin mıknatıs alanında, manyetik kuvvetleri geçirgenlik derecelerinin değişik olmasından faydalanır. Bu vasıf ayırıcıda, mineralin mıknatıslı kutuba doğru küçük veya büyük bir kuvvetle çekilmesi şeklinde kendini gösterir. Kolayca çekilebilen veya kuvvetli manyetik olan mineraller manyetit ve franklinittir (Tolun, 1960). Ancak kuvvetli bir elektromanyetik alanda çekilebilen veya hafif manyetik olan mineraller oldukça çoktur. Bunların en mühimleri sıra ile — kuvvetliden zayıfa doğru —: ilmenit, pirotin, siderit, hematit, volframit, manganez oksitleri, kromit, rutil, monazit ve demirli silikatlar (biotit, hornblend, grena, epidot, vs.) dir (Tolun, 1960). Belirli bir kimyasal bileşimi olmayan ve spinel grubuna bağlı olarak, manyetik duyarlılığı değişmektedir. Kromitin belli başlı gang mineralleri olan olivin ve serpantin de içerdikleri demir oranına bağlı olarak farklı manyetik duyarlılık göstermektedir (Aydın, 2001).

Farklı manyetik duyarlılığa sahip olan kromit ve gang mineralleri (olivin, serpantin vs.) uygun bir manyetik alan içinde başlıcası manyetik kuvvet olmak üzere çeşitli kuvvetlerin bileşik etkilerine dayanılarak birbirinden ayrılması yoluyla manyetik ayırma ile zenginleştirme gerçekleştirilir (Ağaçayak, 2004). 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 gangın manyetik duyarlılığı artarak uygulanan alan şiddeti düşmekte ve kromitin gang mineralinden ayrılması güçleşmektedir (Şekil 1.11) (Aydın, 2001).

Kromitin zenginleştirilmesinde, yüksek alan şiddetli kuru ve yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların yanı sıra, yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar da kullanılmaktadır (Şekil 1.12) (Gence, 1985).



Şekil 1.11. Sanayi Tipi Manyetik Ayırıcı (Outokumpu Technology)



Şekil 1.12. Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensibi (Outokumpu Technology) (Gence, 1985)

Manyetik ayırmada verimin yüksek olabilmesi için; malzemenin birbirine yakın boyutlarda sınıflandırılmış olması gerekir. Ayrıca kuru manyetik ayırma uygulanıyorsa rutubetsiz olması istenir. Manyetik ayırma yöntemi tek başına veya

diğer yöntemlerle birlikte 3 – 0,1 mm arasındaki tanelere uygulanır (Sundar ve ark, 1983).

20 yy. başından bu yana, minerallerin manyetik özellik farkından yararlanarak zenginleştirme yapılmaktadır. Minerallerin pek çoğu zayıf manyetik özellik taşımakla beraber, bunların manyetik özellikleri arasında bazı farklar vardır. Bu farklar, kristal kafesi içinde elektron spinlerinin karmaşık sıralanması ve yörünge hareketi dolayısı ile oluşabileceği gibi, mineralin kimyasal bileşiminde bulunan bazı ferromanyetik elementlere de bağlı olabilir.

Kromitin manyetik ayırma yöntemi ile zenginleştirilmesinde aşağıdaki faktörler önemlidir.

- I. Kromitin manyetik duyarlılığı: Bilindiği gibi, kromit belirli bir kimyasal bileşimi olmayan, spinel tipi bir oksittir. Genel formülü  $Cr_2O_3-FeO$  olarak gösterilen kromitte  $Cr^{+3}$  yerine  $Fe^{+3}$  ve  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$  yerine  $Mg^{+2}$  geçebilir. Yapısal değişim kristal konfigürasyonunu da değiştirerek, manyetik duyarlılığı etkiler. Genelde kromit, manyetitin %3-5'i oranında duyarlılığa sahip paramanyetik bir mineraldir ve 10-16 bin Gauss'luk bir manyetik alan tarafından cezp edilebilir.
- II. Gang minerallerinin özellikleri: Kromitin belli başlı gang mineralleri olivin ve serpantindir. Demir ve magnezyum silikat olan olivinle manyetik suseptibilite, demir oranına bağlı olarak artar. Örneğin fayalit 12-14 bin Gauss'tan etkilenebilir. Olivinin alterasyonu ile oluşan serpantinin manyetik suseptibilitesi oldukça düşüktür. Fakat ileri safhada buluşma ürünü olarak, demir oksitler oluşmuşsa manyetik özellik artabilir. 4000 Gauss'a kadar alan şiddetinden etkilenen serpantinler mevcuttur.
- III. Cevherde manyetit bulunması: Manyetit cevherde kromite ve ganga bağlı olarak bulunabilir. Kromite bağlı olduğunda, duyarlılığı artırarak, ayırma için gerekli alan şiddetini düşürür. Gang minerallerine bağlı olduğunda ise, manyetik ayırma imkanını ortadan kaldırır.

Cevher (-0.200 mm'den) iri taneli olarak serbestleşiyorsa duruma göre kuru manyetik seperasyon uygun olabilir. -0.030 mm tane sınıfı oranı fazla ise bu tane sınıfının yaş spere edilmesi yerinde olur. Cevher sallantılı masalarda başarılı



zenginleştirilebiliyor fakat konsantredeki kısmın olivin nedeniyle konsantre tenörü düşük ise konsantreyi temizlemek için yaş manyetik speratörden yararlanılır. Gravite zenginleştirmesinde artıktaki kromit kaybı fazla ise artık optimal iriliğe öğütülüp yüksek alan şiddetli yaş manyetik speratörlerle zenginleştirilerek tesisin metal randımanı yükseltilebilir (Bayat, 2009)

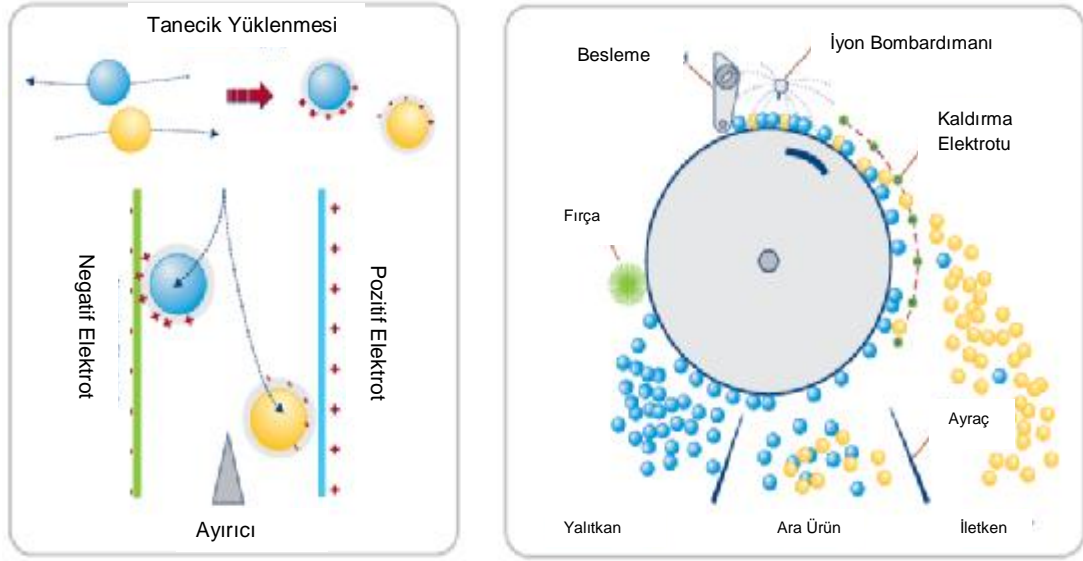
Kromit cevherlerinin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesinde aşağıdaki iki oluşum neden olabilir. Bunlar;

- Cevherin çok ince tanelerde serbestleşmesi (0,2 mm)
- Gang minerallerinden olivin ağırlıklı olarak fazla bulunması ve olivinin kromite yakın yoğunluk göstermesinden gravimetrik olarak zenginleştirilememesidir (Ağaçayak, 2004)

Kromitlerin manyetik duyarlılığı  $3.000-7.500 \times 10^6$  ve manyetik özgül duyarlılığı  $650-2.000 \times 10^6 \text{ gr/cm}^3$  civarında değişmektedir. Bu nedenle yapısal durumuna göre kromitler 6.000–15.000 Gauss siddetindeki manyetik alanlarda çekilebilirler. Cevherin ince taneli öğütülmesi gerektiğinden yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar tercih edilirler. Cevher (-0,2 mm'den) iri taneli olarak serbestleşiyorsa; duruma göre kuru manyetik ayırma olabilir (Çilingir, 1990).

### **1.9. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme**

İletkenliği yüksek bir mineral taneciği, topraklanmış bir metal silindir üzerinden düşerken yüksek potansiyelle (10.000–20.000 volt) yüklenmiş bir elektrodun tesiri ile önce polarize olur, ve eğer topraklanmış metal silindire elektron yükünü iletirse silindirden ayrılır ve çekici elektrodun tesiri ile silindirden uzaklaşarak düşer. İletkenliği zayıf mineral tanecikleri ise, üzerindeki yükü çok yavaş bıraktığından, silindire yapışarak birlikte döner ve elektrodun tesirinden kurtulduktan sonra bir fırça ile ayrı bir yerde toplanırlar. Taneciklerin dar boyut aralığında sınıflandırılmış olmaları, tamamen kuru ve hattâ ısıtılmış olmaları (60-120 °C) iyi bir ayırma için şarttır. Tane iriliği 2-0,1 mm dahilindeki cevherler elektrostatik ayırıcılarla zenginleştirilebilirler (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Elektrostatik Ayırma Prensibi (Outokumpu Technology) (Gence, 1985)

### 1.10. Flotasyon İle Zenginleştirme

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 sülfanatlara 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).

Flotasyon, bilindiği gibi, kolektör adı verilen yüzey-aktif maddelerin istenen mineralin yüzeyini kaplaması vasıtasıyla, bu minerallerin köpüğe yapışması sonucunda ayırma yapan bir zenginleştirme yöntemidir. Kolektörler anyonik veya kationik olabilir. İstenen yüzeyi fiziksel veya kimyasal adsorpsiyonla kaplayabilir. Fiziksel adsorpsiyonda esas, yüzeyin ve kolektörün elektrik yüklerinin zıt işaretli olmasıdır. Kolektörün kimyasal adsorpsiyonu ile oluşan flotasyonda ise, genelde yağ asitleri ve sabunlar kullanılmaktadır. İnce boyutlu (-50  $\mu\text{m}$ ) cevherlerin

zenginleştirilmesine flotasyon basit bir işlem olarak tercih edilmektedir. Tesis şlamlarının bir miktar susuzlandırılmasından sonra, kıvamlandırma tankı ve flotasyon makinelerine gönderilmeleri ile flotasyonla zenginleştirme sağlanabilir. Bu işlemde ne yüksek alan şiddetinde yaş manyetik ayırmada olduğu gibi, büyük ilk tesis masraflarına, ne de şlam masalarında olduğu gibi, boyutlandırma sistemlerine ve geniş alanlara ihtiyaç vardır. Fakat kromitte, krom yatakları küçük oluşumlar halinde bulunduğundan, bir tesise değişik yapıdaki maden yataklarından cevher beslenmektedir. Bu yöntemin geniş ölçüde uygulanabilmesi için kromit ve gang minerallerinin yapısal farklarının flotasyon sonuçlarını etkilememesi gerekmektedir. Diğer bir uygulama gücüğü, bugün için reaktif sarfiyatının yüksek oranda olmasıdır. Krom flotasyonu ile ilgili çalışmalar yürütülerek, kolektör ve bastırıcı reaktiflerin cinsleri, miktarları ve flotasyon koşulları çeşitli kromitler için optimize edilmelidir. Ancak bu durumda ince kromun kazanılmasına flotasyon geniş ölçüde uygulanabilir ve üretilen cevherlerin üçte birine yüksek şlam kayıpları önlenir (Bayat, 2009).

**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 %44,7Cr<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 Corpcı 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 Corpcı 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 alınmamıştır. -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° 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 olarak 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°, 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 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) 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  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  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  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  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 Kahramanmaraş Sarıgözel Köyü Çakıobası mevkiinden temin edilmiştir. Maden yatağından çıkarılan kromit cevherinden yaklaşık 100 kg alınarak Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama laboratuvarlarına getirilmiş ve iri taneledeki malzemenin (+3 cm) tamamı çeneli kırıcıdan geçirilerek 1 mm altına indirilmiştir.

Bilyalı değirmen çalışma koşulları; 20 dakika öğütme süresi, 2 kg öğütülecek malzeme, 1/5 malzeme şarj oranı (10 kg çeşitli tane iriliklerinde bilye (4, 3, 2 ve 1 cm)) ve %50 katı oranıdır. Öğütülen malzeme değirmenden alındıktan sonra yaş olarak farklı elek açıklıklarındaki eleklerde elenmiş ve elek üstü tekrar değirmene geri beslenmiştir. Elek altı ise susuzlandırılıp 85°C'lik etüvde kurutularak deneylere hazır hale getirilmiştir.

**3.2. Numunelerin Karakterizasyonu**

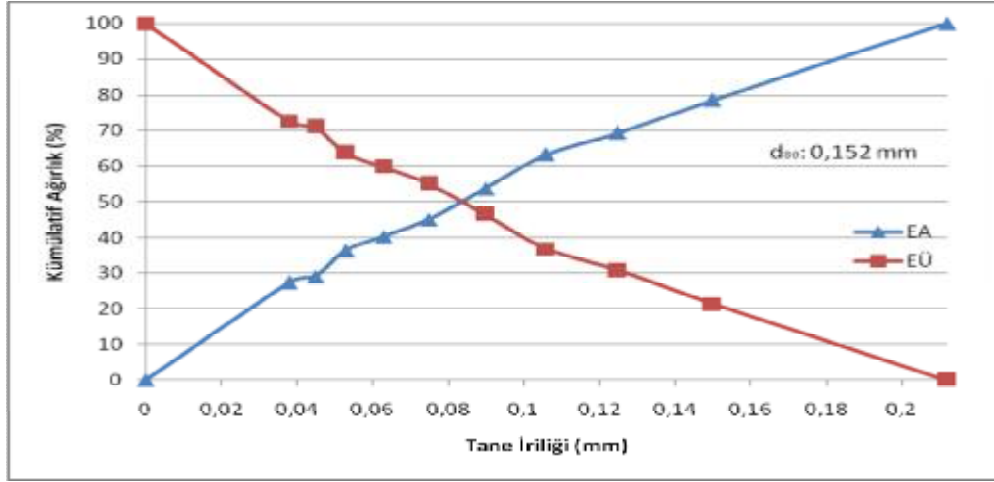
Deneylerde kullanılan numunelerin elek analizleri; Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Tane irilik dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizlerinde 0.212 mm, 0.150 mm, 0.125 mm, 0.106mm, 0.090 mm, 0.075 mm, 0.063 mm, 0.053 mm, 0.045 mm, 0.038 mm elek açıklıklarında elekler kullanılmıştır.

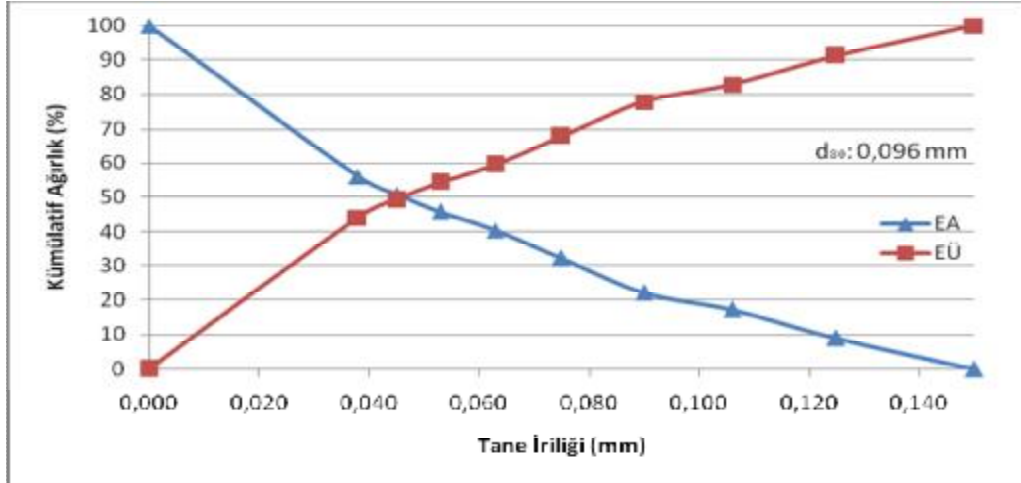
MGS ve Knelson konsantratörlerinde kullanılmış olan Mk1 (-0.212 mm), Mk2 (-0.150 mm) ve Mk3 (-0,106 mm) numunelerinin tane irilik dağılımları Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi Mk1 (-0.212 mm) numunesinin  $d_{80} = 0.152$  mm olarak bulunmuştur.

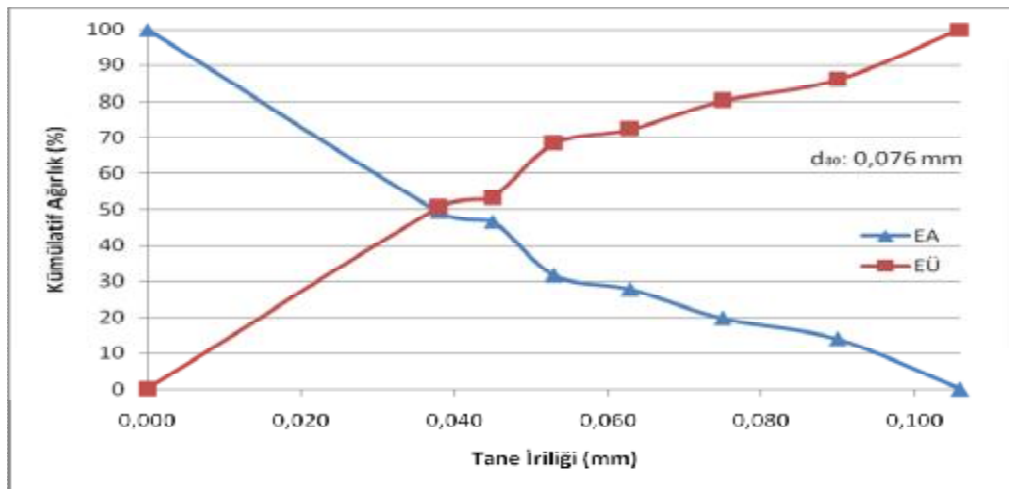
Mk2 numunesinin  $d_{80} = 0.096$  mm (Şekil 3.2) ve Mk3 numunesinin  $d_{80} = 0.076$  mm (Şekil 3.3) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Mk1 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı



Şekil 3.2. Mk2 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı



Şekil 3.3. Mk3 Numunesinin Tane İrilik Dağılımı

Mk4 numunesinin tane iriliği ise  $d_{100} = 0.106$  mm'dir. Mk4 olarak kodlanmış numune hazırlanan Mk3 numunesi içinden ayrıldığından ayrıca Mk4 numunesi için tane irilik dağılım grafiği verilmemiştir.

TÜBİTAK – MAM'da Shimadzu XRD – 6000 cihazı ve Cu X-ışını tüpü ( $\lambda$ : 1,5405 Angstrom) kullanılarak yapılan XRD analizleri sonucunda numunelerde saptanan mineralojik bileşikler Çizelge 3.1'de verilmektedir.

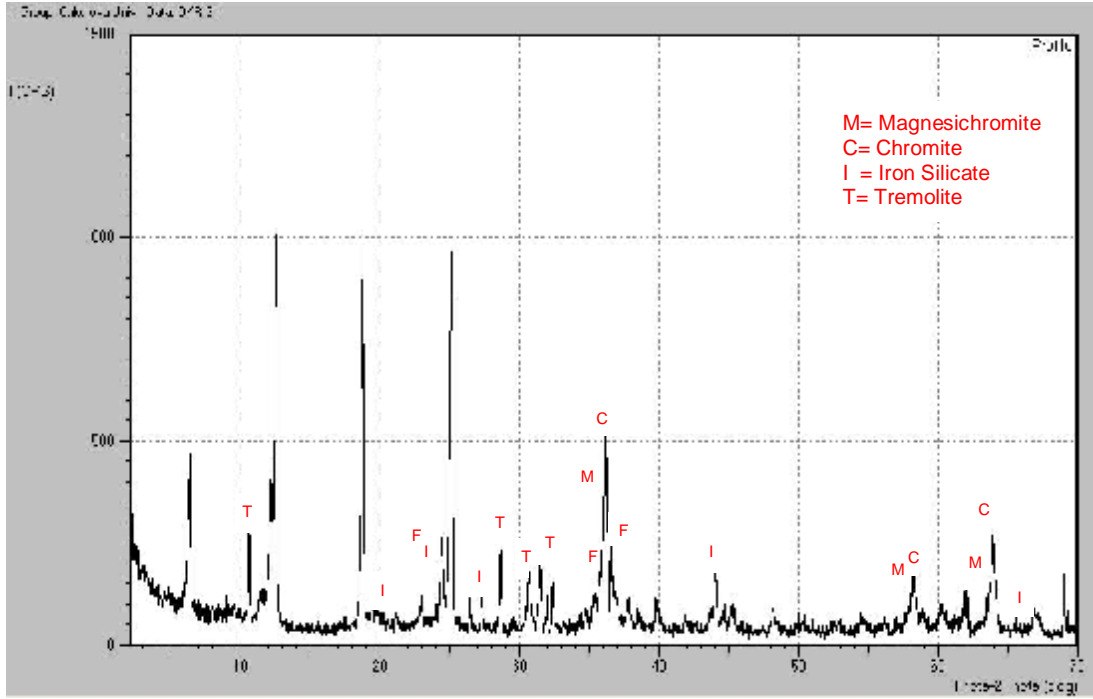
Çizelge 3.1. XRD Analizi Sonucunda Numunelerde Tespit Edilen Bileşikler

Numune Adı	Bileşik	Bileşik Formülü	2 $\theta$
Tüvenan	Clinochlore	(Mg, Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	7,16-4,77-3,58
	Magnesichromite	(Mg, Fe)(Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	36,14
	Iron Silicate	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	44,62
	Lizardite	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> O <sub>5</sub>	37,78
	Tremolite	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	34,73
	Forsterite	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	36,61
	Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	35,63
MGS Konsantresi	Magnesichromite	(Mg, Fe)(Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	36,14
	Iron Silicate	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	44,62
	Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	35,63
	Forsterite	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	36,61
Manyetik Ayırıcı Konsantresi	Magnesichromite	(Mg, Fe)(Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	36,14
	Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	35,63
	Iron Silicate	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	44,62
	Lizardite	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> O <sub>5</sub>	37,78
	Clinochlore	(Mg, Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	7,16-4,77-3,58
	Forsterite	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	36,61
	Tremolite	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	34,73

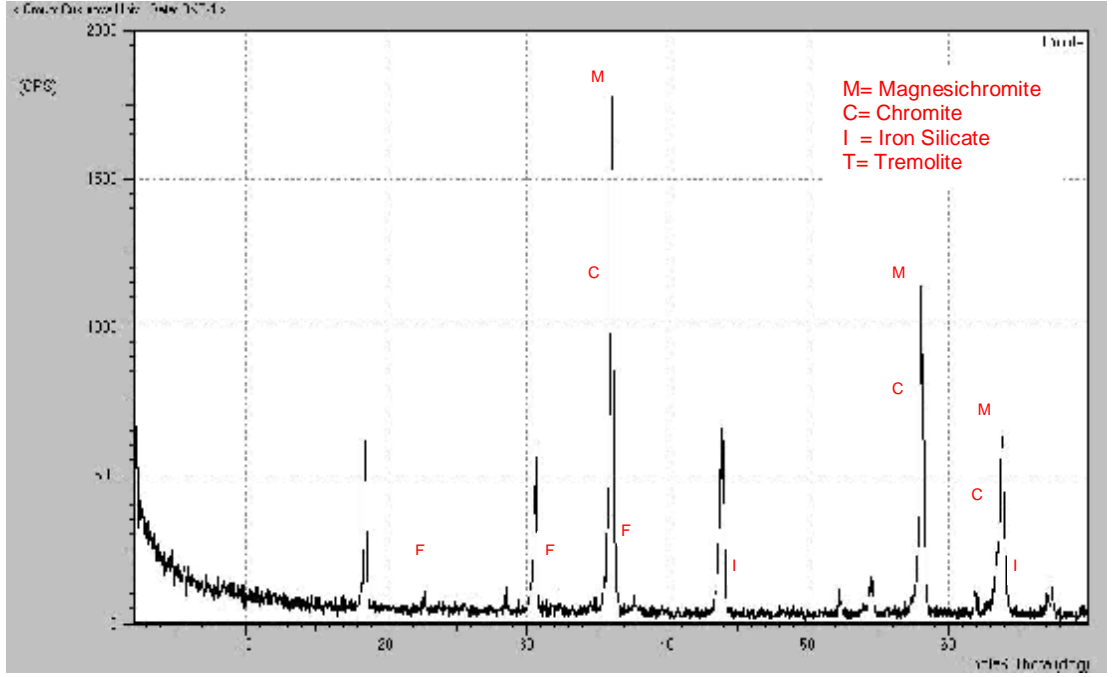
Şekil 3.4'de görüldüğü gibi tüvenan cevherin başlıca Clinochlore, Magnesichromite, Iron Silicate, Lizardite, Tremolite, Forsterite ve Chromite minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi MGS konsantresinin başlıca, Magnesichromite, Iron Silicate, Forsterite ve Chromite minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

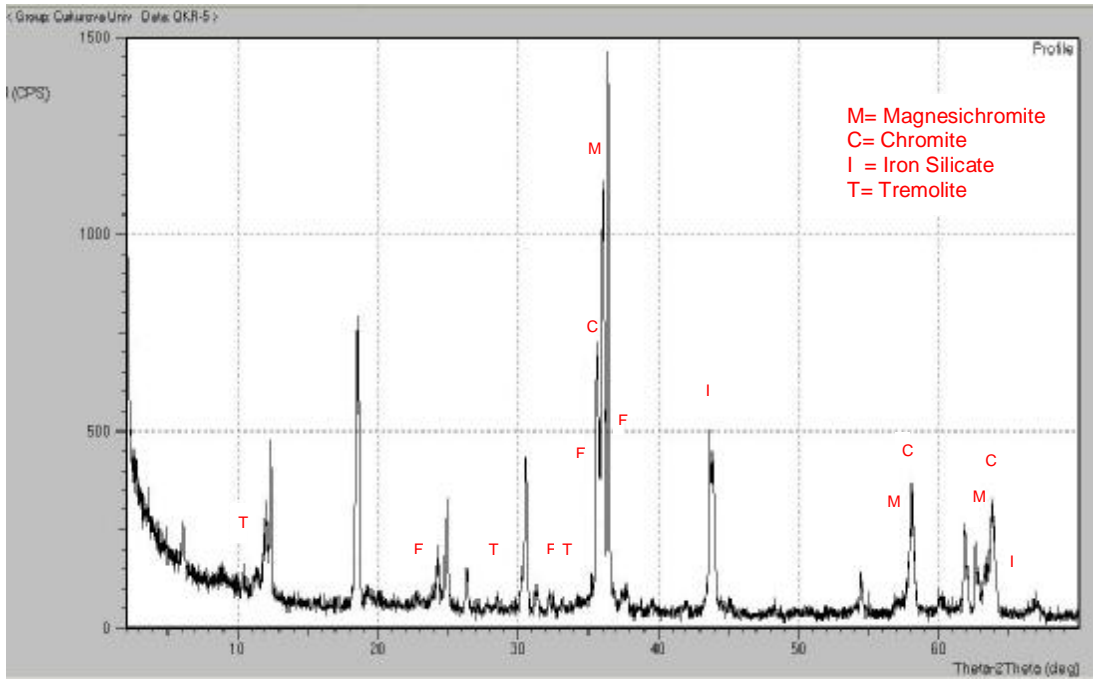
Şekil 3.6’de görüldüğü gibi manyetik ayırma konsantresinin başlıca Clinocllore, Magnesichromite, Iron Silicate, Lizardite, Tremolite, Forsterite ve Chromite minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Tüvenan Cevher XRD Analizi Grafiği



Şekil 3.5. MGS Konsantresi XRD Analizi Grafiği



Şekil 3.6. Manyetik Ayırıcı Konsantresi XRD Analizi Grafiği

**3.3. Kimyasal Analiz**

Öğütülmüş ve kurutulmuş numuneden  $\pm 0,0002$  gr hassasiyette 500 ml'lik erlenmayere 0,2 gr tartım alınır, üzerine 20 ml asit karışımı (1 hacim fosforik asit + 2 hacim sülfürik asit) ilave edilip çıplak bek alevinde örnek çözününceye kadar bekletilir.

Çözünme işlemi tamamlandıktan sonra erlenmayer, bek alevinden alınıp soğumaya bırakılır. Soğumuş örnek üzerine 100-150 ml saf su + 5 ml %1'lik gümüş nitrat + 5 gr civarında amonyum persülfat eklenip ısıtıcı levha üzerinde krom yükseltgenmeye bırakılır ( $Cr^{+3}$  dan  $Cr^{+6}$ ,ya dönüşür, yeşil renkten kırmızı renge). Yükseltgenmenin bittiği oksijen kabarcıklarının çıkmasıyla anlaşılır. Daha sonra ısıtıcı levhadan alınan erlenmayer çeşme suyu altında soğutulur. Soğutulmuş örnek üzerine 20 ml 1/1  $H_2SO_4$  ilave edilip erlenmayer tekrar soğutmaya bırakılır. Daha sonra örnek üzerine 4-5 damla %0,2'lik fenil antranilitik asit ilave edilip koyu kahverengi renkli çözelti yeşil renge dönünceye kadar 0,2 N mohr tuzuyla titre edilir. Sarf edilen mohr tuzu büretten okunup krom hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

$$\% Cr_2O_3 = \frac{S \times N \times Meg}{m} \times 100 \quad (3.1)$$

S = 0,2 N mohr tuzu sarfiyatı

N = 0,2 N mohr tuzu gerçek normalitesi

Meg =  $Cr_2O_3$ 'ün miliekvalent ağırlığı

100 = Krom yüzdesi için sabit sayı

m = Analiz başlangıcındaki alınan tartımı

**Kullanılan Reaktifler:**

Asit karışımı (1 hacim fosforik asit + 2 hacim sülfürik asit ) 1/1  $H_2SO_4$

Amonyum persülfat (Merck)

%1'lik gümüş nitrat

%2'lik fenil antranilitik asit

0,2 N mohr tuzu

Deneysel çalışmada kullanılan tüvenan cevherin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi cevherin içeriğinde oldukça yüksek miktarda demir ve alüminyum görülmektedir.

Çizelge 3.2. Cevherin Kimyasal Bileşimi

<b>Kimyasal Bileşim</b>	<b>(Tüvenan Cevher)</b>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,16
SiO <sub>2</sub>	19,12

#### **3.4. MGS ve Knelson Testleri**

Deneysel çalışmada kullanılmış olan numunelerin kodlama ve özellikleri aşağıda verilmiştir. Şekil 3.7’de ise deneysel çalışmada kullanılan akım şeması verilmektedir.

Mk1: Knelson Testi (5 psi) + MGS Testi (155–165–175 d/d)

(d<sub>80</sub> = 0,152 mm)

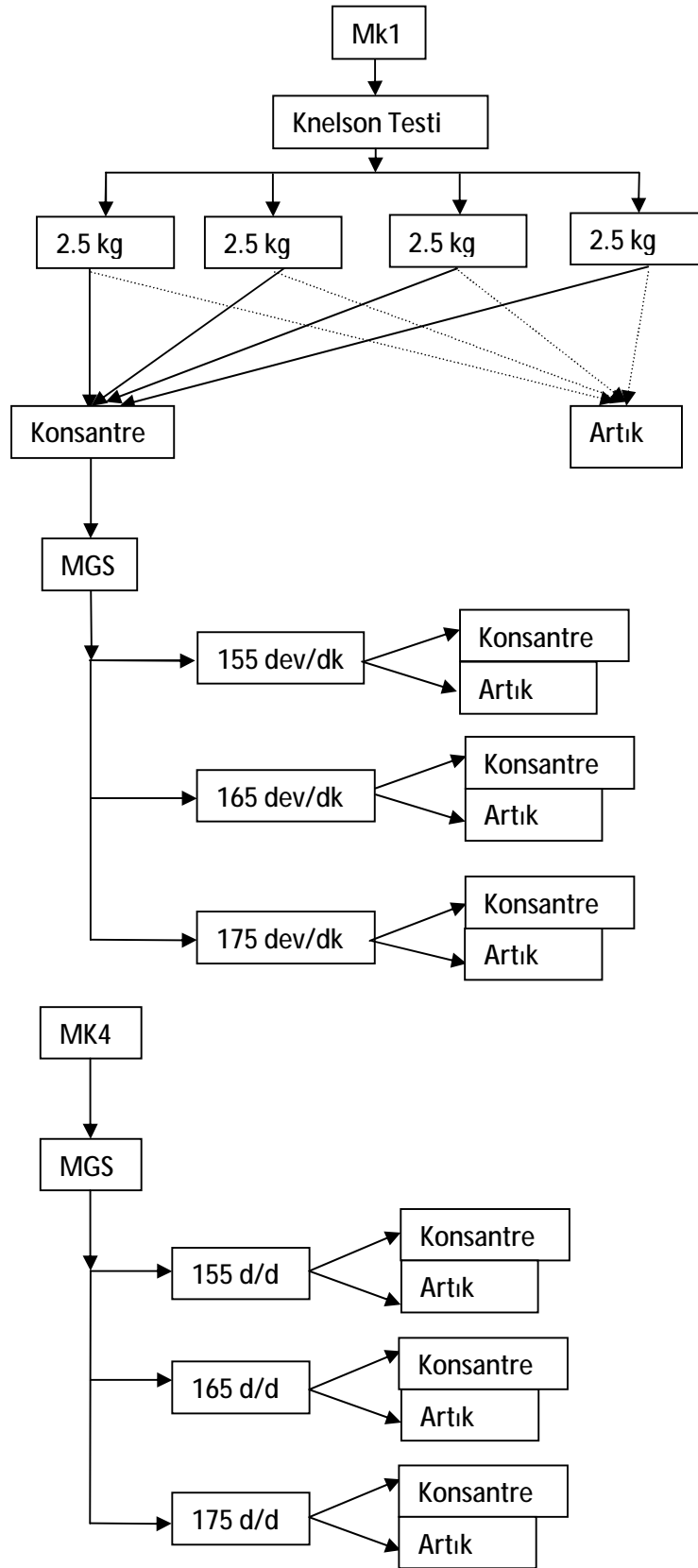
Mk2: Knelson Testi (4 psi) + MGS Testi (155–165–175 d/d)

(d<sub>80</sub> = 0,096 mm)

Mk3: Knelson Testi (3 psi) + MGS Testi (155–165 –175 d/d)

(d<sub>80</sub> = 0,076 mm)

Mk4: Direkt MGS Testi (155 – 165 – 175 d/d) (d<sub>100</sub> = 0,106 mm)



Şekil 3.7. MGS ve Knelson Deneyleri Akım Şeması



Knelson testleri Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Mk1, Mk2 ve Mk3 numuneleri için Şekil 3.7 'de bahsedilen akım şemasına göre Knelson testleri yapılmıştır. Şekil 3.8 ve 3.9'da deneysel çalışmada kullanılan Knelson konsantratörün değişik görünüşleri verilmektedir.



Şekil 3.8. Deneyslerde Kullanılan Knelson Konsantratörü



Şekil 3.9. Deneyslerde Kullanılan Knelson Konsantratör Konisi (dolü).

Mk1, Mk2 ve Mk3 numuneleri Knelson deneyleri için her biri 10 kg olacak şekilde belirtilen tane iriliklerinde hazırlanmış ve 5 psi basınç altında Knelson cihazına ayrı ayrı beslenmiştir. Knelson konisinde zenginleştirme sonrası makine otomatik boşaltmalı olmadığı için koni makineden sökölüp elde edilen konsantre ve su ile birlikte yıkanarak giden artık numuneleri ayrı ayrı kovalarda biriktirilmiştir. Daha sonra Knelson konsantresi MGS testlerinde besleme malı olarak kullanılmıştır.

MGS testlerinde C900 (Şekil 3.10 – 3.11) laboratuar tipi MGS cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Deneylerde Kullanılan MGS Cihazı



Şekil 3.11. C900 Laboratuar Tipi Mozley MGS

MGS testlerinde Knelson konsantratöründen elde edilen konsantreler kullanılmıştır. Bunun için ayrılmış olan Knelson konsantresinden %15 katı oranında pülp oluşturulmuş ve devri ayarlanabilir bir besleme pompasıyla 1,5 L/dk ile MGS cihazına beslenmiştir.

MGS deneylerinde sadece MGS dönem hızı (155, 165 ve 175 dev/dk) değişken olarak test edilmiştir. Diğer çalışma koşulları sabit olarak alınmıştır. Bunun nedeni hem deneysel çalışmada kullanılacak numune miktarının parametre belirleme çalışmaları için yeterli olmayacağı hem de kullanılan MGS cihazında daha önceden yapılan onlarca kromit numunesi deneylerinde belirlenen asgari çalışma koşullarının bu numune içinde uygun olacağı ön görülmüştür.

MGS testlerinde malzemenin beslenmenin ardından yatak oluşumu için 1 dakika süre beklenmiştir. Yatak oluşumunun ardından yani MGS cihazının konsantre kısmından malzeme gelmeye başladığı andan itibaren her 10 saniyede bir 4 saniye boyunca makinenin konsantre ve artık kısmından numune alınmış ve bu işlem 3 kere yapılmıştır. MGS testlerinde (Mk1, Mk2 ve Mk3 numunelerinin Knelson konsantreleri kullanılmıştır) elde edilen konsantre ve artık numuneleri Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. MGS Ünitesinden Alınan Konsantre ve Artık Örnekleri

**3.5. Sallantılı Masa Deneyleri**

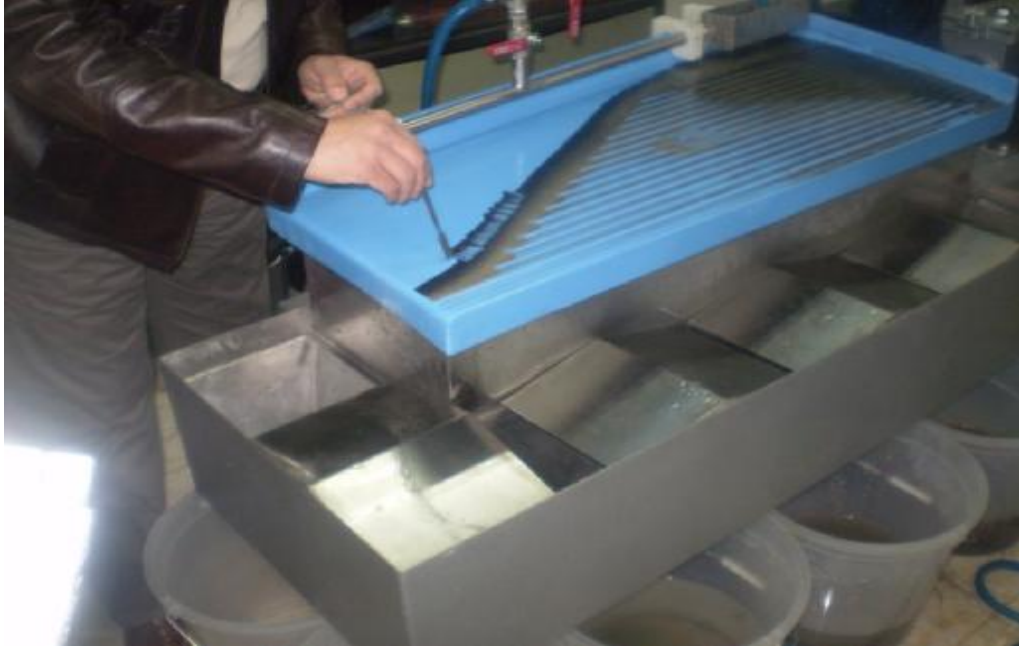
Sallantılı masa deneylerinde Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarlarındaki Wilfley laboratuvar tipi sallantılı masa kullanılmıştır (Şekil 3.13).

Deneylerde kullanılacak olan numuneler M1 (-0,5 + 0,3 mm), M2 (-0,3 mm + 0,212 mm), M3 (-0,212 + 0,106 mm) ve M4 (-0,106 mm) şeklinde kodlanmış ve her bir tane fraksiyonundan yaklaşık 2 kg malzeme hazırlanmıştır. Sallantılı masa için malzeme hazırlama işleminde daha önce anlatılan bilyalı değirmen ve yaş eleme işlemleri uygulanmıştır.

Sallantılı masa deneylerinde masa yüzeyinin temiz olmasına dikkat edilmiştir. Masa çalıştırıldığında masa yüzeyi tamamen su filmi ile kaplanıncaya kadar beklenmiş ve bu işlemde sonra 2 kg lık numune (Mk1, Mk2, Mk3 veya Mk4 numuneleri) masanın besleme haznesinden beslenmiştir. Masa çalışırken yoğunlukça ağır olan artık malzeme masanın uzun kısmından dökülmeye başladıktan sonra masa durdurulmuş ve saat camlarına masa üzerinden örnekler alınmak suretiyle deney tamamlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Wilfley Laboratuvar Tipi Sallantılı Masa



Şekil 3.14. Sallantılı Masa Deneylerinde Numune Alma İşleminin Görüntü

Sarsıntılı masa deneylerinde masanın tam devreye oturması (balans) için yeterli malzeme olmadığından sarsıntılı masa deneylerinde işlem verimi hesaplamalarında elde edilen ürünlerin miktarları değil ürünlerin tenörleri dikkate alınarak aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$R = V = (C * c / F * f) * 100 \quad \text{veya} \quad (3.2)$$

$$V = c * (f - t) / f * (c - t) * 100 \quad (3.3)$$

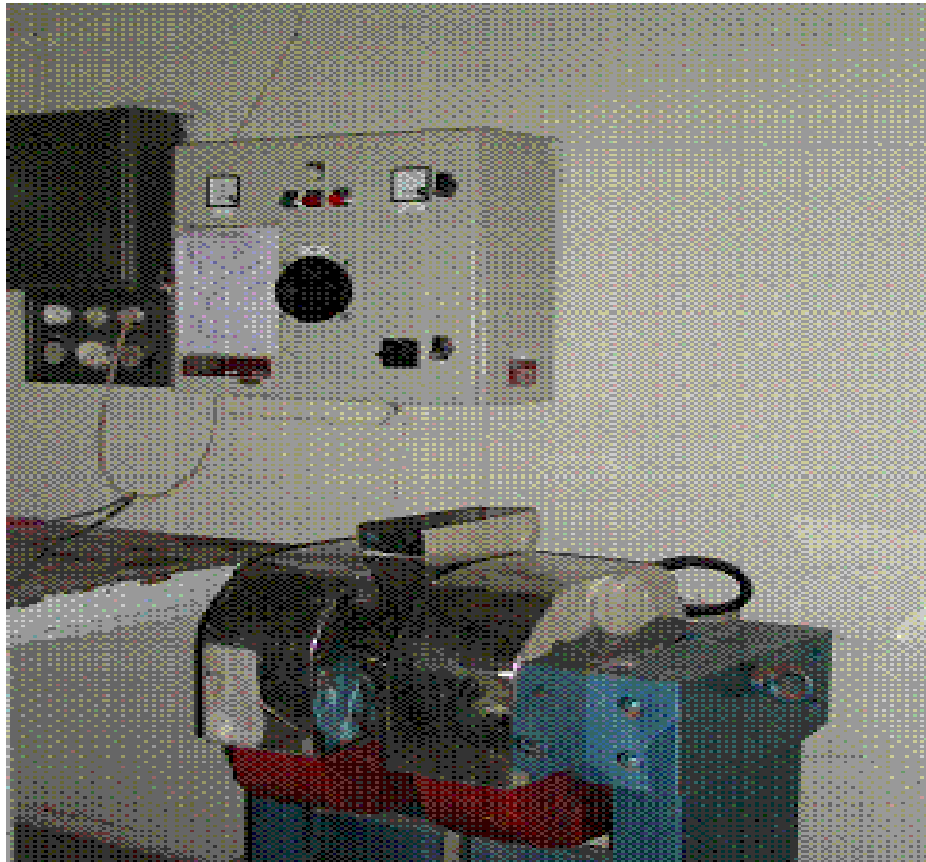
Burada;

V veya R	=	Verim (%)
f	=	Beslenen cevherin element yüzdesi (tenör)
c	=	Konsantre tenörü
t	=	Artık tenörüdür

**3.6. Manyetik Ayırma Deneyleri**

Manyetik ayırma deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Manyetik ayırma deneylerinde, Bogmax Rapid marka yüksek gradyan özellikli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır.

Manyetik akı yoğunluğu 20 Tesla'ya (20000 Gauss) kadar yükseltilebilmektedir. İstenilen akı yoğunluğu cihaz bobinlerinden geçen elektrik akımı değiştirilerek ayarlanmaktadır. Hazırlanan numuneler (%20 katı oranında) istenilen manyetik akım yoğunluğuna ayarlanılan cihaza beslenmektedir. Numunenin tamamı cihazdan geçirildikten sonra artık su ile birlikte ayrı bir kap içerisine dökülmektedir. Malzeme beslemesi tamamlandığında cihazın elektrik akımı kesilmekte, cihaz içerisinde kalmış olan manyetik ürün ise su ile yıkanılarak alınmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı

**4. BULGULAR VE TARTIŞMA****4.1. Knelson Deneyleri Sonuçları**

Knelson konsantratör (4-10 lt/dak yıkama suyu, 20-60 G santrifuj kuvveti) deneyinden elde edilen konsantreler MGS deneyleri için ön konsantre olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de deneysel çalışma sonrası deneylerde elde edilen ürünlerin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 4.1 Knelson Konsantratöründe Elde Edilen Ürünlerin Kimyasal Bileşimleri

Oksit (%)	Mk1 Konsantre	Mk2 Konsantre	Mk3 Konsantre
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,30	29,10	33,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,79	16,01	12,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,87	17,85	14,54

Çizelgeden de görüldüğü gibi tane iriliği inceldikçe Knelson konsantratöründen elde edilen konsantrenin krom tenöründe kısmi bir artış gözlenmektedir. Bunun nedeninin tane iriliği inceldikçe serbestleşme oranının artması dolayısı ile Knelson konsantratöründe daha iyi bir ayırımın gerçekleştiği söylenebilir.

**4.2. MGS Deneyleri Sonuçları**

MGS testlerinde aşağıda belirtilen çalışma koşullarında ön denemeler yapılmıştır.

Katı oranı	=	%25
Eğim	=	4°
Yıkama suyu	=	5 lt/dak
Besleme hızı	=	2.2 lt/dak
Tambur dönme hızı	=	155, 165, 175 dev/dak

Ayrıca 140 dev/dak ve 195 dev/dak tambur hızlarında da deneyler yapılmıştır. Ancak 140 dev/dak tambur hızında MGS içerisinde yatak oluşmamış, 195 dev/dak tambur hızında ise elde edilen konsantre kabul edilemeyecek kadar kirli olduğundan bu testlerin sonuçları bu tezde değerlendirilmeye alınmamıştır. Ön MGS testlerinde elde edilen konsantreler hem mikroskopik hem de kimyasal analizler ile incelenmiştir. Çizelge 4.2’de Mk3 numunesi kullanılarak yapılan ön MGS deney sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.2. Mk3 Numunesi ( $d_{80} = 0.076$  mm) MGS’de Tambur Hızının Etkisi

<b>Tambur Hızı (dev/dak)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>
140	- (Yatak oluşmamıştır)
155	35,10
165	30,94
175	29,79
190	- (Konsantre çok kirli)

Çizelgeden görüldüğü gibi, MGS’nin tambur hızı arttıkça elde edilen konsantrenin krom tenörü düşmektedir. Ön testler sonucunda tambur hızı 145 dev/dak olarak seçilmiş, diğer koşullar sabit tutularak nihai MGS testleri yapılmıştır.

Mk3 numunesi kullanılarak optimal koşullarda (%25 katı oranı, 4° eğim, 5 lt/dak yıkama suyu, 2.2 lt/dak besleme hızı ve 145 dev/dak tambur hızı) yapılan MGS testlerinden elde edilen MGS konsantresinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. MGS Konsantresi ve Tüvanan Cevher (Mk3,  $d_{80} = 0.076$  mm) Kimyasal Analizi

<b>Oksit (%)</b>	<b>(Tüvanan Cevher) (%)</b>	<b>MGS Konsantresi (%)</b>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,26	38,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,98	21,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,16	21,40
SiO <sub>2</sub>	19,12	2,90



### 4.3. Sallantılı Masa

Çizelge 4.4’de Sallantılı masa deney sonuçları verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi sallantılı masa zenginleştirilmesi ile direkt olarak satılabilir kalitede konsantre ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 > \%48$ ) elde etmek mümkün olmamıştır. Ancak elde edilen sallantılı masa konsantresinin tenörü örneğin  $-0,212 +0,106$  mm tane fraksiyonu için  $\%37.31$   $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ’tür. Bu konsantre harmanlanarak satılma imkanı bulabilir.

Çizelge 4.4. Sallantılı Masa Kimyasal Analiz Sonuçları

Tane iriliği (mm)	Kodu	$\%\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\%\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\%\text{MgO}$
-0,5 +0,3	M1K1 (Konsantre)	34,13	18,14	16,27
	M1K2 (Konsantre)	32,47	16,50	15,63
	M1A (Artık)	12,06	7,66	18,22
-0,3 +0,212	M2K (Konsantre)	33,92	18,36	15,58
	M2A1 (Artık)	9,31	6,00	13,17
	M2A2 (Artık)	6,33	6,35	30,75
-0,212 +0,106	M3K (Konsantre)	37,31	20,69	17,44
	M3A (Artık)	3,59	4,99	29,35
-0,106	M4K (Konsantre)	32,51	19,99	15,81
	M4A (Artık)	10,57	8,00	24,48

Bir önceki bölümde de nedenleri belirtildiği gibi Çizelge 4.4’deki ürünlerin sarsıntılı masa deneylerindeki verimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$R = 100 \frac{c}{f} \left( \frac{f-t}{e-t} \right) \quad (4.1)$$

R = Metal kazanma verimi

F = Besleme malı tenörü

C = Konsantre tenörü

T = Artık tenörü

$$M1K1 = 100 \frac{34,13}{17,26} \left( \frac{17,26 - 12,06}{32,47 - 12,06} \right) = \%46,59$$

$$M1K2 = 100 \frac{32,47}{17,26} \left( \frac{17,26 - 12,06}{32,47 - 12,06} \right) = \%47,92$$

$$M2K1 = 100 \frac{33,92}{17,26} \left( \frac{17,26 - 9,31}{32,47 - 9,31} \right) = \%63,48$$

$$M2K2 = 100 \frac{33,92}{17,26} \left( \frac{17,26 - 6,33}{32,47 - 6,33} \right) = \%77,85$$

$$M3K = 100 \frac{32,47}{17,26} \left( \frac{17,26 - 12,06}{32,47 - 12,06} \right) = \%87,63$$

$$M4K = 100 \frac{32,51}{17,26} \left( \frac{17,26 - 10,57}{32,51 - 10,57} \right) = \%57,43$$

#### 4.4. Manyetik Ayırma

Bogmax Rapid marka yüksek gradyan özellikli yaş manyetik ayırıcıda sadece -0.212 +0.106 mm tane iriliğindeki malzeme kullanılarak yapılan manyetik ayırma deneyleri yapılmıştır. Diğer tane boyutlarında yapılan manyetik ayırma testlerinde ayırma işlemi mümkün olmadığından sonuçları bu tezde verilmemiştir. -0.212 +0.106 mm tane iriliğindeki malzeme 12000 Gauss'da yaş manyetik ayırma sonucunda %32,40 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir. Bu numunede de direkt olarak satılabilir kalitede konsantre (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>> %48) elde etmek mümkün olmamıştır.

**5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu tez çalışmasında, Kahramanmaraş Sarıgözel Köyü Çakıobası mevkiinden temin edilen kromit numunesinin gravite ile ayırma yöntemlerinden Sallantılı Masa, Knelson Konsantratörü, MGS (multi gravite ayırıcı) ve Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı kullanılarak zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Tüvanan cevherin yapılan kimyasal analizi sonucunda %17,26 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan XRD analizleri sonucunda cevherin başlıca Magnesichromite ((Mg, Fe)(Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), Demir silikat (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), Chromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ve Forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) içerdiği tespit edilmiştir.

Knelson konsantratöründe -0,212 mm, -0,150 mm, -0,106 mm tane iriliklerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen konsantreler (%26–33 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) MGS deneylerinde besleme malı olarak kullanılmıştır.

MGS deneysel çalışmasında öncelikle 140–190 dev/dak tambur hızında ön deneyler yapılmış ve belirlenen tambur hızında optimum koşullarda (d<sub>80</sub> = 0.076 mm, %25 katı oranı, 4° eğim, 5 lt/dak yıkama suyu, 2.2 lt/dak besleme hızı ve 145 dev/dak tambur dönme hızı) yapılan testler sonucunda %17,26 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü besleme malından %38,46 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Sallantılı Masa deneylerinde -0,5+0,3 mm tane fraksiyonunda %46,59 verimle %34,13 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü, -0,3+0,2 mm tane fraksiyonunda %77,85 verimle %33,92 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü, -0,2+0,1 mm tane, fraksiyonunda %87,63 verimle %37,31 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü, -0,106 tane fraksiyonunda %57,43 verimle %32,51 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

-0.212 +0.106 mm tane iriliğindeki malzeme 12000 Gauss'da yaş manyetik ayırma sonucunda %32,40 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonunda “krom kumu” olarak da isimlendirilen bu tip krom cevherinden Knelson Konsantratör + MGS kombinasyonu, Sallantılı Masa ve Manyetik Ayırma işlemleri sonrasında piyasada satılabilir şartları sağlayan (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > %48) bir ürün elde edilememiştir. Ancak bu ürünün (MGS konsantresi) piyasada hali hazırda satılan konsantreler ile harmanlanarak satılabilmesi söz

konusudur. Diğer yandan MGS konsantresi olarak nitelendirilen ürünün yapılan mineralojik incelenmesi sonucunda yüksek oranda refrakter özellik gösteren Magnesichromite içermesi bu malzemenin refrakter sanayinde mevcut durumu ile değerlendirilebileceği söylenebilir.

Aynı şekilde konsantre ve konsantre içerisinde Magnesichromite'in bulunması krom kafes yapısına Mg'un da girdiğini söylenebilir. Dolayısıyla yapılan bu deneysel çalışma sonrası bu tip "krom kumu" tipi cevherin zenginleştirilmesinde fiziksel yöntemlerden daha ziyade kimyasal-biyolojik proseslerin uygulanması da önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- ALP, İ., CELEP, O., DEVECİ, H. ve YAZICI, E., 2004a, Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator, SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266.
- AYDIN M.E., and KAHRAMAN F., 2001, Evaluation Of Chromite Tailings Of Etibank – Kef Concentration Plant, IX. Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul, TURKEY
- 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.
- BILLOR, M.Z., and GIBB, F., 2002, “The Mineralogy and Chemistry Of the Chromite Deposits of Southern (Kızıldağ, Hatay and Islahiye, Antep) and Tauric Ophiolite Belt (Pozantı – Karsantı, Adana), Turkey”, 9th International Platinum Symposium, Billings, Montana, U.S.A
- BURUT, Y., KIRIKOĞLU, S. ve SUNER, F., 1990; "Maden Yatakları EI Kitabı", İTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatakları - Jeokimya Anabilim dalı, İSTANBUL
- CELEP, O., ALP, İ., DEVECİ, H., VICIL, M. ve YAZICI, E., 2004b, Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators, 10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 27-33.
- CHAN BİLLY S. K., MOZLEY R. H., CHILDS G. J. C., Çeviren; Yüce A.E., Multi Gravite Ayırıcı, Madencilik Dergisi Mart 1994, Cilt 34, Sayı 1, 33 – 41.
- COLEMAN R.G., 1977, Ophiolites Ancients Oceanic Lithospere Springer Veriag, New York, U.S.A.

- ÇİÇEK T., CÖCEN İ., and SAMANLI, S., 1998, "Gravimetric Concentration Of Fine Chromite Tailings" 7<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium, ISTANBUL, TURKEY
- ÇİÇEK T., CÖCEN İ., "Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Zenginleştirilmesi" 21<sup>st</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET'09 Antalya, Turkey, May 6-8, 2009.
- 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,
- DOĞAN M.Z., ÖNAL G., GÜRKAN V., YÜCE E. and KALDIRIM M., 1988, "Rationalization of Karagedik Concentration Plant of ETİBANK Üçköprü Chrome Mine", II. International Mineral Processing Symposium, İzmir, s.505 – 513.
- 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.
- HUANG, L., 1996, Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.
- LİNG, J., 1998, A study of a variable speed 3-in Knelson Concentrator, Doktora Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.
- KARADENİZ M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri, Önlemler, İstanbul Ofset Basım Yayınevi, İstanbul, 39 – 90.

- KNELSON, B. ve JONES, R., 1993, A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line, Mineral Engineering, 7,201-207.
- KURŞUN H., 1993, Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 55.
- MAGUMBE, L., 2002, Process Design for Gold Recovery from The Chester Deposit, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.
- OREL, K., İMRE, Ü., 1967. Cevher Zenginleştirme Hakkında Ana Bilgiler, Madencilik Dergisi, Mayıs Cilt: -VI, Sayı: 2, 125.
- OUTOKUMPU TECHNOLOGY, Physical Separation Solutions
- ÖNAL G., GÜRKAN V., ACARKAN N., 1979, "Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırmayla Değerlendirilmesi", 5. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, ANKARA.
- ÖNAL G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- ÖZDAĞ H., UÇBAŞ Y. and KOCA, S., 1994, Recovery Of Chromite From Slime And Table Tailings By Multi - Gravity Separator, Innovations In Mineral Processing
- ÖZTÜRK N., ÇAKIR T., GENÇOĞLU Y., 1987 "Etibank Elazığ Ferrokrom Tesisleri Curufundaki Kromit ve Ferrokromun Kazanılma Etüdü", Etibank Bülteni, Ankara, Sayı 102 – 103, s.18-27.
- ÖZTÜRK N., TÜRK M. Ve GENÇOĞLU Y., 1987, Etibank Bursa Harmancık Maden İşletmelerine Bağlı Kuzey – Batı Anadolu Kromları Harmancık İşletmesi Kromit Cevherlerinin Zenginleştirme Etüdü" Etibank Bülteni, Ankara, Sayı 102 – 103, s. 3 – 11.
- PATCHEJIEFF B., GAİDARJIEV S. ve LAZAROV D., 1995, Opportunities for Fine Gold Recovery from a Copper Flotation Circuit using a Knelson Concentrator, Minerals Engineering, 7,2/3, 405- 409
- REN, X., Lİ, Q., ZHANG, Y. ve LİU, D., 1994, A New Centrifugal Separator for Recovering Minerals from Fine and Ultrafine Sizes, Innovations in Minerals Processing, Sudbury, 349-355.

- SALİSBURY H.B., WOUDEM M.L. and SHIRTS M.B., 1982, "Benefication of Low – Grade California Chromite Ores" RI 8592, U.S.A. Bureau of Mines, s. 3 – 14.
- SAMANLI S., 1998, Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 63
- SUNDAR – MURTI N.S., SHAH K., GADGEEL V.L., and SESHANDRI V., 1993, Effect of Lime Addition on Rate of Reduction of Chromite by Graphite, Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Extr. Metal.), 92.
- SÖNMEZ E. and TURGUT B., 1997, Enrichment Of Chromite Ore By Means Of Multi – Gravity Separator, 7th Balkan Conference On Mineral Processing, pp.332 – 336.
- ŞATIR M., 1996, Etibank – Elazığ (Guleman) Şark Kromları İşletmesi Kef Konsantratörünün İyileştirme Çalışmaları, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- TAGGART A.F., 1951, Elements of Ore Dressing John Wiley and Sons., Inc., New York, 44 – 48.
- TAHTAKIRAN E., 2008, Krom Cevheri, Ferrochrom Ve Paslanmaz Çelikle İlgili İstatistiksel Bilgiler Ve Yorumlar, Mühendisler ve Mimarlar Odası Maden Mühendisleri Odası Web Sayfası, [www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)
- TOLUN R., 1960. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara. Minerallerin Ayrılma Prensipleri ve Maden Sanayiindeki Tatbikatı., 1.
- 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.
- YILDIRIM İ., ATEŞOK G., ÇELİK M., 1995, Laboratuvar - Pilot Tip Multi Gravite Cihazı İle Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, ISBN 975-395-150-7, 443 – 448.
- XIAO, J., 1998, Testing a New Gold Centrifugal Concentrator, Yüksek Lisans Tezi, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal, Kanada.



- ZEDEF V., 1995, Maden Yatakları Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya
- ZHANG, B., 1998, Recovering Gold from High Density Gangues with Knelson Concentrator, Yüksek Lisans Tezi, McGill Üniversitesi, Kanada.

## **ÖZGEÇMİŞ**

25.01.1984 tarihinde Düzce’de doğdu. İlköğrenimini Düzce Namık Kemal ilköğretim okulunda tamamladı. Orta öğretim ve lise öğrenimini Düzce Arsal Anadolu Lisesi’nde devam ettirdi Düzce Lisesi’nden mezun oldu. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne girdi. 2005 yılında Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme bölümüne 2. Üniversite olarak kayıt oldu. Halen öğrenimine devam etmekte. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalı Cevher Hazırlama bölümünde yüksek lisans programına başladı.