

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ PINARBAŞI KROMİTLERİNİN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sadık HACIOĞLU**

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Cevher ve Kömür Hazırlama

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ PINARBAŞI KROMİTLERİNİN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sadık HACIOĞLU
(505071104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şafak Gökhan Özkan (İÜ)
Yard. Doç Dr. Feridun Boylu (İTÜ)

HAZİRAN 2010

Aileme ve sevdiklerime ,

ÖNSÖZ

Kayseri Pınarbaşı Bölgesi Kromitlerinin Kuru Zenginleştirilmesi konusundaki çalışmamı yapmama olanak sağlayan Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma Arslan'a, çalışmalarım boyunca yanımda olan, her türlü zorlukta desteğini esirgemeyen sevgili danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci'ye, tüm Cevher Hazırlama Anabilim Dalı'nda görev yapan hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca Erasmus Öğrenci Değişim Programı çerçevesinde deneysel çalışmalarımı tamamladığım RWTH Aachen Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hermann Wotruba'ya, laboratuvar çalışmalarım boyunca birlikte çalıştığım her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşmaktan sakınca duymayan Sayın Dr. Karl-Heinz Becker'a, çalışmalarımın yönlendirilmesinde fikirlerini aldığım Dr. Lars Weitkamper ve doktora öğrencileri Maryam Delavarian, Christian Schmitz'e, Bölüm Sekreteri Christine Simons'a, her türlü alet ve ekipmanların çalışması ile ilgili bilgi veren Paul Ihl'e, İTÜ ve RWTH Aachen üniversitesi Erasmus ofisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi, manevi yardımlarını ve sevgilerini esirgemeyen haklarını teşekkürle ödeyemeyeceğim, ailem babam Yunus Hacıoğlu ve annem Hatice Hacıoğlu'na, çok sevdiğim dayılarım Ahmet Korukçu, Mehmet Korukçu ve Sadık Korukçu'ya teşekkür ederim. Zor anlarımda desteğini hissettiğim tüm dostlarıma sonsuz teşekkürler.

HAZİRAN 2010

Sadık HACIOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KROM HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	3
2.2 Krom Cevherinin Minerolojisi ve Yataklanması.....	4
2.3 Krom Rezervleri, Üretimi, Tüketimi ve Ürün Standartları.....	8
2.3.1 Dünya Krom Rezervleri.....	8
2.3.2 Dünya Krom Üretimi ve Tüketimi.....	9
2.3.3 Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	9
2.3.4 Ürün Standartları.....	10
2.3.5 Ürünün Türkiye'de Bulunuş Şekilleri.....	13
2.3.6 Türkiye Krom Yatakları ve Rezervleri.....	14
2.3.7. Üretim.....	16
2.3.8. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	18
3. ZENGİNLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ.....	21
3.1 Yaş Zenginleştirme.....	21
3.1.1 Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme.....	21
3.1.2. Jig ile Zenginleştirme.....	22
3.1.3 Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme.....	22
3.1.4 Stripa Teknesi ile Ağır Ortam İle Zenginleştirmesi	22
3.1.5 Multi Gravite Ayırıcısı ile Zenginleştirme.....	22
3.1.6 Reichert Spirali ile Zenginleştirme.....	23
3.1.7 Flotasyon ile Zenginleştirme.....	23
3.1.8 Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme.....	23
3.2 Kuru Zenginleştirme.....	24
3.2.1. Ayıklama.....	25
3.2.2 Kırma ve Boyuta Göre Sınıflandırma.....	26
3.2.3. Accelarator.....	26
3.2.4. Gravite Esaslı Çalışan Havalı Ayırıcılar.....	27
3.2.5. FMC Separatör.....	29
3.2.6. FGX Ayırıcı.....	29
3.2.7. Optik Ayırıcılar.....	31
3.2.8. Aerodinamik Ayırıcılar.....	31
3.2.9. Manyetik Ayırıcılar.....	32

3.2.10. Elektrostatik Ayırma.....	33
4. KAYSERİ PINARBAŞI BÖLGESİ PULPINAR KROM İŞLETMESİ.....	35
4.1. Maden Yatağının Oluşumu.....	35
4.2. Cevher ve Gang Minerallerinin Fiziksel Özellikleri.....	36
4.3. Ürün Özellikleri.....	37
4.4. Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Üretim Şeması.....	37
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
5.1 Amaç.....	41
5.2 Yöntem.....	41
5.3 Kuru Zenginleştirme Deneyleri.....	44
5.3.1. Allair Jig İle Kuru Zenginleştirme.....	44
5.3.2. Optik Ayırma.....	46
5.3.3. Cala Havalı Ayırıcı (CDF).....	48
5.3.4. Manyetik Zenginleştirme	55
5.3.5. Elektrostatik Ayırma.....	57
6. SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR

ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
MTA	: Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
EÜAŞ	: Elektrik Üretim AŞ.
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
CDF	: Cala Kuru Havalı Ayırıcı Sistem

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	4
Çizelge 2.2 : Krom Elementi İçeren Krom Mineralleri ve Özellikleri.....	5
Çizelge 2.3 : Kromit Minerali ile Birlikte Bulunan Cevher, Gang ve Kılavuz Mineralleri.....	6
Çizelge 2.4 : Dünya Kromit Rezervleri.....	8
Çizelge 2.5 : Yıllara Göre Krom Cevheri Tüvenan Üretim Değerleri (ton).....	16
Çizelge 3.1 : Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme Yapan Cihazlar ve Uygulanabildikleri Tane Boyutu Aralıkları.....	22
Çizelge 4.1 : Krom Ürün Spesifikasyonları.....	35
Çizelge 4.2 : Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Ekipmanları.....	39
Çizelge 5.1 : Tüvenan Kromun Elek Analizi Sonuçları.....	43
Çizelge 5.2 : Havalı Jig Deneyi Sonuçları.....	46
Çizelge 5.3 : -2+0.1 mm CDF Deneyi Sonuçları.....	51
Çizelge 5.4 : -2+0.1 mm Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları.....	51
Çizelge 5.5 : -0.5+0.1 mm CDF Deneyi Sonuçları.....	54
Çizelge 5.6 : -0.5+0.1 mm Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye Krom Rezerlerinin Bölgelere Göre Dağılım Oranları.....	15
Şekil 3.1 : Elle Ayıklama Tesisi.....	26
Şekil 3.2 : Pnömatik Osilasyonlu Havalı Masa.....	28
Şekil 3.3 : Allair Havalı Jigi Şematik Görünümü.....	29
Şekil 3.4 : FGX Ayırıcı Ünitesi.....	30
Şekil.3.5 : FGX Ayırıcı Şematik Görünümü ve Masa Yüzeyi.....	30
Şekil.3.6 : Optik Ayırma Uygulaması.....	31
Şekil 4.1 : Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Akım Şeması.....	38
Şekil 5.1 : Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol ve Çalışılan Boyutlar ve İlgili Cihazlar.....	42
Şekil 5.2 :Tüvenan Kromun Boyut Dağılım Eğrisi.....	43
Şekil 5.3 : Allair Jigin Kesit Resmi.....	45
Şekil 5.4 : Deneylerde Kullanılan Havalı Jig.....	45
Şekil 5.5 : Deneylerde Kullanılan Optik Ayırıcı.....	47
Şekil 5.6 : Optik Zenginleştirme Cihazı İle Resmi Çekilen Krom Numunelerinin Görünümü.....	47
Şekil 5.7 : Cala İnce Boyutlu Havalı Ayırıcı.....	49
Şekil 5.8 : -2+0.1 mm CDF Akım Şeması.....	50
Şekil 5.9 : -0.5+0.1 mm CDF Akım Şeması.....	53
Şekil 5.10 : CDF Ağır Ürününün Mikroskoptaki Görünümü.....	54
Şekil 5.11 : CDF Hafif Ürününün Mikroskoptaki Görünümü.....	54
Şekil 5.10 : Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı	56
Şekil.5.11 : Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı	56
Şekil 5.12 : Elektrostatik Ayırma Cihazı.....	57

KAYSERİ PINARBAŞI KROMİTLERİNİN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Krom cevherleri; metalürji, refrakter ve kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır. Talebe göre ürün özellikleri belirlenir.

Bu çalışmada Kayseri Pınarbaşı Bölgesinden getirilen krom numunesinin kuru yöntemle zenginleştirilebilirliği incelenmiştir.

Kuru zenginleştirme yöntemleri kışın sert geçtiği bölgelerde, yaş yöntemlerde karşılaşılan donma problemleri yaşanmaz ve suyun kısıtlı olduğu yörelerde tesis kurulmasına imkan yaratır. Aynı zamanda tesis binası ve işletme giderleri yaş yöntemlere göre daha azdır. Bu yöntemle, pahalı atık barajlarına ve suyla çalışan proseslere ihtiyaç duyulmaz. Dahası çevredeki toprağı ve suyu kirletmez, proses için kimyasallara ihtiyaç duymaz.

Kullanım alanlarına uygun krom konsantrelerinin hazırlanması amacıyla iri boyutlarda optik ayırma, allair jig ince boyutlarda Cala havalı ayırıcı, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma ve sallantılı masa kullanılmıştır.

DeneySEL çalışmalar sonucunda; allair jig ile %35.7 Cr_2O_3 %86.7 verimle, sallantılı masa' da %43.1 Cr_2O_3 %49.4 verimle ve Cala havalı ayırıcı ile %46.5 Cr_2O_3 %53.2 verimle kazanılmıştır.

THE ENRICHMENT OF KAYSERİ PINARBASI CHROMITE ORE USING DRY SEPARATION METHODS

SUMMARY

Chromium ores are used in refractory, metallurgy and chemical industry as a raw material. Chromium ores which are used in this industry sections changes with regard to its grade and property.

In this study, a sample of mineral chromite which was brought from Kayseri Pınarbaşı area whether it is suitable for dry processing method.

In dry processing, where the winter conditions are colder, does not have frost problems as in wet processing method and it also creates opportunity to build plants where there is no water available. Moreover, costs of merchant and expenses of plants are less compare to wet processing method. It does not demand of pricey solid-fluid separation processes and waste barrage. It does not generate water waste and does not create salinization in soil. It does not require chemicals such as flocculants and collectors.

In this project, allair jig, optical separator in the coarse size and dry magnetic separator, Cala air flow separator, electrostatic separator, shaking table in the fine size were used for chromium dressing. It is the reason of to prepare chromium which fits to consumption area.

Finally, ore' s grade was made %46.5 Cr_2O_3 with %53.2 recovery by Cala air flow separator. Moreover, ore' s grade was made %35.7 Cr_2O_3 with %86.7 recovery by allair jig separator.

1.GİRİŞ

Krom, kimya profesörü Nicolas Louis Vauquelin tarafından 1797’ de keşfedilen kimyasal bir elementtir. Endüstri için çok önemli bir mineral olan krom; metalurji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Günümüzde demir, alüminyum ve bakırdan sonra en çok kullanılan metallerden biridir. Tarihsel olarak bakıldığında, Endüstri Devrimi’ nden sonra hızla gelişen dünyada, madenlerin önemi gittikçe artmış ve endüstri için önemli bir hammadde kaynağı olan metalik cevherlerin üretimi artmıştır. Coğrafi olarak kromit rezervlerinin sınırlı olması sonucu, krom çok sayıda ülke tarafından önemli stratejik bir metal olarak kabul edilmektedir [1].

Ticarette ayakta kalabilmek ve piyasanın rekabet şartlarıyla baş edebilmek için üretilen ürünün ucuza maledilip ucuza satılması gerektiği bilinmektedir. Krom zenginleştirme tesislerinde su gerçekten maliyet açısından büyük paya sahiptir. Zenginleştirme yapmak için suya ihtiyaç duyulur, krom satışında da suyu uzaklaştırmak gerekmektedir. Ayrıca kışın sert geçtiği bölgelerde suyun donması da yaş yöntemler için önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Su eldesi ve bertaraf edilmesi, krom üretiminde gerçekten de hem maliyet açısından hem de işletme açısından büyük zorluk çıkarmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında Kayseri Pınarbaşı krom sahasından alınan kromit numunesinin kuru zenginleştirmeye uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla; iri boyutlarda optik ayırma ve allair jig, ince boyutlarda ise Cala havalı ayırıcı, manyetik ayırıcı ve elektrostatik ayırıcı kullanılmıştır.

2. KROM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom metalinin ekonomik olarak üretilbildiği tek mineral kromittir. Satılabilir krom ürünleri; tüvenan kromit, kromit konsantresi, ferrokrom ve krom metalidir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, kübik sistemde kristallenir. Teorik formülü FeCr_2O_4 olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$ olarak verilmektedir [1].

Günümüzde kromun temel kullanım alanı, paslanmaz çelik üretiminin yapıldığı metalurji endüstrisi, nispeten daha az kullanıldığı alan ise kimya ve refrakter sanayidir [2]. Ticari olarak kullanılan krom ise tüvenan konsantre kromun işlenmesiyle elde edilen ferrokromdur. Krom cevher ve konsantrelerinin fiyatlarının artmasından dolayı, daha önceden işletilmesi ekonomik olarak mümkün olmayan maden yatakları, günümüzde yeniden değer kazanmış ve işletilmeye uygun bir duruma getirilmiştir.

2.1 Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Aşağıdaki çizelgede kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.1: Kromun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri [3].

Temel Özellikleri		Atom Özellikleri	
Atom Numarası	24	Kristal Yapısı	Kübik
Element Serisi	Geçiş Metalleri	Elektronegatifliği	1.66 (Pauling scale)
Grup, Periyot, Blok	6, 4, d	İyonlaşma Enerjisi	1st: 652,9 kJ·mol ⁻¹
Görünüş	Metalik Gümüş	Atom Yarıçapı	128 pm
Atom Ağırlığı	51.9961 g·mol ⁻¹	Kovalent Yarıçapı	139±5 pm
Elektron Dizilimi	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	Diğer Özellikleri	
Enerji Seviyesi	2, 8, 13, 1 (Image)	Isıl İletkenlik	(300K) 93.9 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
BasınaElektronlar		Elektrik Direnci	(20 °C) 125 nΩ·m
Fiziksel Özellikleri		Young's modulus	279 GPa
Madde Hali	Katı	Shear modulus	115 GPa
Yoğunluk	7.19 g·cm ⁻³	Isıl Genleşme	(25 °C) 4.9 μm·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Sıvı Haldeki	6.3 g·cm ⁻³	Ses Hızı	(20 °C) 5940 m/s
Ergime Noktası	2180 K, 1907 °C	Mohs Sertliği	8.5
Kaynama Noktası	2944 K, 2671 °C	Vickers Sertliği	1060 MPa
Ergime Isısı	21.0 kJ·mol ⁻¹	Brinell Sertliği	1120 MPa
Buharlaşma Isısı	339.5 kJ·mol ⁻¹	Poisson oranı	0.21
Isı Kapasitesi	(25 °C) 23.35 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹		

2.2 Krom Cevherinin Mineralojisi ve Yataklanması

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

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir.

Kimyasal analizlerde SiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 % miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği %68'dir. Aşağıdaki çizelgede bilinen krom mineralleri ve bunların özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.2: Krom Elementi İçeren Krom Mineralleri ve Özellikleri [1].

Kromit Minerali	% Cr_2O_3	Kristal Sistemi	Renk	Çizgi Rengi	Sertlik	Özgül Ağırlığı (gr/cm^3)
Kromit	68.00	Kübik	Siyah	Koyu Kahve	5.5	4.5
Uvarovit	30.60	Kübik	Yeşil	Zeytin Yeşili	7	3.1
Krokoit	30.10	Monoklinal	Sarı-Kırmızı	Turuncu	2.5	6
Dietzeit	15.30	Monoklinal	Altın Sarısı		3.4	3.7
Phoenikokhorit	17.50	Ortorombik	Sarı-Kırmızı	Tuğla Kırmızısı	3	5.7
Bellit	17.30	Hegzagonal	Sarı-Turuncu		2.5	5.5

Çizelge 2.3' te ise kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, gang ve klavuz mineralleri görülmektedir.

Çizelge 2.3 Kromit Minerali ile Birlikte Bulunan Cevher, Gang ve Kılavuz Mineralleri [4].

Cevher Mineralleri	Gang Mineralleri	Kılavuz Mineralleri
Manyetit	Olivin Grubu (Fayalit ye Forsterit)	Kemererit
Titanomanyetit	Piroksen Grubu (Enstatit, Hipersten, Bronzit)	Uvarovit
Pirotin	Serpantin Grubu (Antigorit, Lizardit, Krizotil)	
Kalkopirit	Manyezit	
Pirit, İlmenit, Rutil	Talk	
Platin Grubu Metaller	Klor	

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri 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 metalurji sanayiinde de kullanılabilir. Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayaç toplulukları köken, jeolojik konum, mineraloji, doku, v.b. özellikleri yönüyle başlıca üç tipe ayrılırlar:

a. Bushveld (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 dağoluşum kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayaç 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 ultrabazikbazik 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.

Magmatik ayrımlaşma sonucu, magmadan itibaren soğuma esnasında, kromit'in ilk olarak ayrılması ile zengin kromit yatakları oluşmuştur [1]. Kromit yataklarının tümü ortomagmatik evrede oluşmuşlardır. Kromit cevherlerinin kristalleşme derecesi çok yüksektir. Magmanın doygunluk derecesine göre bazen olivinden önce, bazen de silikatlarla birlikte kristalleşir [5]. Özgül ağırlığı $4.1-4.5 \text{ gr/cm}^3$, sertliği 5.5'tir. Kromitin bileşimindeki Cr_2O_3 oranı, %17-68 arasında değişir. Bu da cevherin kalitesini belirlemektedir. Piyasada bu oranın %48 olması ve Fe/Cr (rasyosunun) oranının da 1/3 olması istenmektedir [4]. Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayaç toplulukları, köken, jeolojik konum, mineraloji, doku. v.b, özellikleri yönünden başlıca üç tipe ayrılırlar: Birincisi, Bushveld (Güney Afrika), Stilwater (ABD) gibi duraylı kıtasal bölgelerde (kraton) bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları olup büyük boyutlu kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boylu, düzgün kristal şekilli, Ca/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler. Stratiform tip yataklar dünya krom rezervinin %90'lık kısmını oluştururlar. Yaşları esas olarak Paleozoiktir [4]. İkincisi, daha çok Alp dağ oluşum kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına (ofiyolit istifi) bağlı krom yatakları (podiform tip) olup bunlar mercek veya düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır [6]. İri tane boylu düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler. Yaşları mesozoik ya da tersiyer'dir [4]. Bu tip yataklar genelde tektonizmanın fazlaca olduğu yerlerde görülürler ve geçirdikleri değişim sebebi de tektonik hareketler ve magmasal evredeki olaylardır [6]. Üçüncü tip olarak gruplandırılan; eş merkezli bir iç düzene sahip ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına bağlı Alaska tipi krom yatakları olup 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 ekonomikliğı konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerir [1].

2.3 Krom Rezervleri, Üretimi, Tüketimi ve Ürün Standartları

2.3.1 Dünya Krom Rezervleri

2006 rakamlarıyla dünya krom cevheri rezervleri; satılabilir derecede cevher olarak (%45 Cr₂O₃ içeren) 800,000,000 ton, rezerv bazlı olarak yaklaşık 2,500,000,000 ton olmak üzere toplamda yaklaşık olarak 12 milyar ton'dur. Dünya toplam krom rezervinin 12 milyar ton düzeyinde olduğu; krom metali (Cr) bazında dünyada bilinen 3.5 milyar ton dolayındaki tanımlanmış (toplam) rezervin %95'inin ise, coğrafi olarak Kazakistan ve Güney Afrika'da toplanmış olduğu bilinmektedir. Dünya kromit rezervleri izelge 2.4'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Dünya krom yataklarının büyük bir bölümü stratiform tipte yataklardır. Dünya görünür krom rezervlerinde ise G.Afrika'nın payı %77 düzeyindedir [7, 8].

Çizelge 2.4 Dünya Kromit Rezervleri [9].

	Rezerv (2005) (x1000 ton)	Baz Rezervler* (2005) (x1000 ton)
	Gemiye yüklenebilir - %45 Cr ₂ O ₃ içeren	
A.B.D**	110	120
Hindistan	25,000	57,000
Kazakistan	290,000	470,000
Güney Afrika	160,000	270,000
Türkiye	30,000	200,000
Finlandiya	60,000	120,000
Diğer Ülkeler	250,000	1,600,000
Dünya Toplamı	800,000	2,500,000

2.3.2 Dünya Krom Üretimi ve Tüketimi

Güney Afrika, Kazakistan, Türkiye ve Hindistan dünyada kromit üretimi açısından önde gelen ülkelerdir. Bunun yanı sıra, Brezilya, Finlandiya, Yunanistan, Madagaskar, Filipinler, Zimbabve'de kromit üreten ülkeler arasındadır. Krom üretiminin Güney Afrika %85'ini, Rusya %10'unu, Kazakistan %13'ünü ihraç etmiştir. Bu değerler Rusya, Japonya ve Kazakistan'ın ürettikleri kromun büyük kısmını kendi içinde tükettiklerini göstermektedir. Çin, ABD, Almanya, Sırbistan (Yugoslavya), İsveç ve İtalya ise önde gelen krom ithal eden ülkelerdir [7]. 1999 yılından sonra krom üretiminde düşüşe geçen Türkiye, Güney Afrika, Kazakistan'dan sonra üçüncü sıradaki yerini Hindistan'a kaptırarak, dünya sıralamasındaki yeri dördüncülüğe gerilemiştir. Son yıllara bakıldığında Türkiye'nin krom üretiminin %10'luk kısmını karşıladığı görülmektedir [9]. Dünya krom cevheri tüketiminin %79'u metalurji, %13'ü kimya, %9'u refrakter endüstrilerinde gerçekleşmektedir. Güney Afrika 2005 yılı dünya toplam krom üretiminin yaklaşık %45'ini gerçekleştirmiştir. Yıllık krom üretimi ortalama %5 artmaktadır. Dünya krom piyasalarında yeni üretici ülkeler ortaya çıkmamasının yanı sıra Yunanistan, Sırbistan ve Pakistan gibi ülkelerin krom cevheri rezervleri tükenmesi veya azalması sonucu piyasadaki çekildikleri görülmektedir [10].

2.3.3. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna ve topoğrafyaya bağlı olarak açık veya yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedirler. Geçmiş yıllarda birçok krom yatağı açık işletme yöntemiyle işletilmişse de günümüzde krom yatakları büyük çoğunlukla yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedir. Dünyanın en büyük iki üreticisi Güney Afrika ve Kazakistan'dır. Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki krom yataklarının büyük bir kısmı yeraltı madencilik yöntemi ile işletilmektedir. Kazakistan'daki yatakların ise çoğunlukla açık işletme yöntemleriyle işletildiği belirtilmektedir. Açık işletme yöntemiyle işletilen bir krom yatağı, örneğin Batı Kef (Guleman, Elazığ) yatağında olduğu gibi açık işletmeyle başlayıp, bilahare yeraltı işletmesine dönüştürülebilmektedir. Daha sonra işletme çalışmaları sırasında ortaya konan maden yatağıyla ilgili yeni verilere dayanılarak yeniden açık işletme yöntemine dönülmesine karar verildiği durumlar da söz konusu olabilmektedir. Krom cevheri, ocak çıkışında çoğu halde elle ayıklama, boyuta göre ayırma, yıkama yoluyla (gang

tabir edilen) silikat minerallerinin cevherin bünyesinden ayıklanması sonucu zenginleştirilebilmektedir. Daha ileri aşamada jigler, spiraller, sallantılı masalar veya manyetik ayırıcılar ile düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin zenginleşmesi sağlanır; diğer bir ifadeyle konsantre kromit elde edilir. Konsantre krom cevheri üretiminde en yaygın uygulama, kromit mineraliyle gangı oluşturan olivin, piroksen ve serpantin mineralleri arasındaki özgül ağırlık farkı esasına dayalı sallantılı masalar ile ayırma yöntemidir. Manyetik separasyon, flotasyon ve ağır sıvı yöntemleri de bazı işletmelerde kullanılan zenginleştirme yöntemleridir [1].

2.3.4 Ürün Standartları

Krom cevherleri ticari olarak yalnızca Cr_2O_3 içeriklerine bakılarak sınıflandırılabilirdiği gibi, kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak da sınıflandırılabilir. 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 metalurji, kimya, refrakter ve döküm endüstrilerinde kullanıma uygun cevherler diye ayrıca sınıflandırılırlar [1].

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^{+3} , Fe^{+2} ve Mg, kromit mineralinden 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. Metalurji sanayiinde kullanılan konsantre krom bileşimi aşağıdaki gibidir [1].

<u>Kimyasal özellikler</u>		<u>Fiziksel özellikler</u>
Cr ₂ O ₃	%46 - 48	Boyut 0-2 mm
SiO ₂	%6 - 8	
Al ₂ O ₃	%8 - 15	
MgO	%15 - 20	
CaO	%0.5 - 2	
Cr/Fe	2.6-3 / 1	

Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük Cr₂O₃ 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 Cr₂O₃ tenörlü Cr/Fe oranı 1,5/1 olan krom cevherleri yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılabilir hale gelmiştir. Öte yandan, düşük karbonlu ferrokrom üretiminde Cr₂O₃ 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. Metalurji sanayiinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri şöylece özetlenebilir [1].

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

Refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin Cr₂O₃ tenörünün %30-40 arasında, Al₂O₃ içeriğinin %25-32, Cr₂O₃ ve Al₂O₃ içerikleri toplamının (Cr₂O₃+Al₂O₃) %60, SiO₂ 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 SiO₂ oranının %3'ün

altında olması gerekir. Refrakter sanayiinde kullanılan parça ve konsantre krom cevherinde ticari anlamda aranan özellikler aşağıda verilmiştir [1].

Ref. Parça: Cr_2O_3 %48 (en az)
 SiO_2 %4 (en fazla)
 0-300 mm boyut
 (10 mm altı) %10-15

Ref. Konsantre: Cr_2O_3 %50 (en az)
 SiO_2 %2 (en fazla)
 0.5-4 mm boyut

Alpin tip krom yatakları, metalurji ve refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin geleneksel olarak üretildiği yataklardır. Kimya sanayiinde kullanılan krom cevherlerinde aranan kimyasal özellikler biraz daha esnek sınırlara sahipse de, metalurji sanayiinde kullanılan krom cevherleri, satın alış fiyatının uygun olması halinde, maliyeti azaltması bakımından tercih edilebilmektedir. Cr_2O_3 içeriği %42 ve daha fazla ve Cr/Fe oranı 2'nin altındaki kırılğan veya toz cevherler kimya sanayiinin geleneksel krom cevheri olarak tanımlanırlar. Stratiform tip olarak tanımlanan Prekambriyen yaşlı krom yataklarının Cr_2O_3 içeriği düşük ve FeO içeriği yüksek kromitleri kimya sanayiinin tipik cevheri olarak tanımlanmaktadır. Kimya sanayiinde kullanılan krom konsantresinde ticari anlamda aranan özellikler şöylece özetlenebilir [1].

Cr_2O_3 %48 (baz)
 SiO_2 %6-7 (tipik)
(Cr/Fe) 3/1 (tipik)
0-20 mm boyut

Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayiinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinde Cr_2O_3 içeriğinin en az %44, SiO_2 içeriğinin en fazla %4, Fe_2O_3 (toplam demir) içeriğinin en fazla %26 ve CaO içeriğinin en fazla %0.5 olması gerekir. Bu kimyasal sınırlamaların yanısıra fiziksel özellik olarak, krom cevherinin homojen tane boylu ve köşeli olmayan düzgün tane şekilli olması gerekir [1].

2.3.5. Kromitin Türkiye'de Bulunuş Şekilleri

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. 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 yatlardan çok küçüktürler [1].

Rezervleri bir milyon tonu geçen Alpin tip kromit kütlelerinin sayısı sınırlıdır. Alpin tip krom yataklarında kromit (Cr_2O_3) tenörü stratiform tiptekilere göre daha geniş bir aralıkta değişmekte, buna karşılık FeO (toplam demir) içeriği fazla değişiklik göstermemektedir. Bu tür yatlardan üretilen krom cevheri genel olarak metalurji ve refrakter sanayilerinde kullanılmaktadır. Türkiye'de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin ultrabazik kayalar içinde ülke geneline yayılmış durumda bulunmaktadır. Türkiye'de 800 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru bilinmektedir [1].

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

- 1- Guleman (Elazığ) yöresi
- 2- Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- 3- Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
- 4- Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
- 5- Erzincan-Kopdağ yöresi
- 6- İskenderun-Kahramanmaraş yöresi

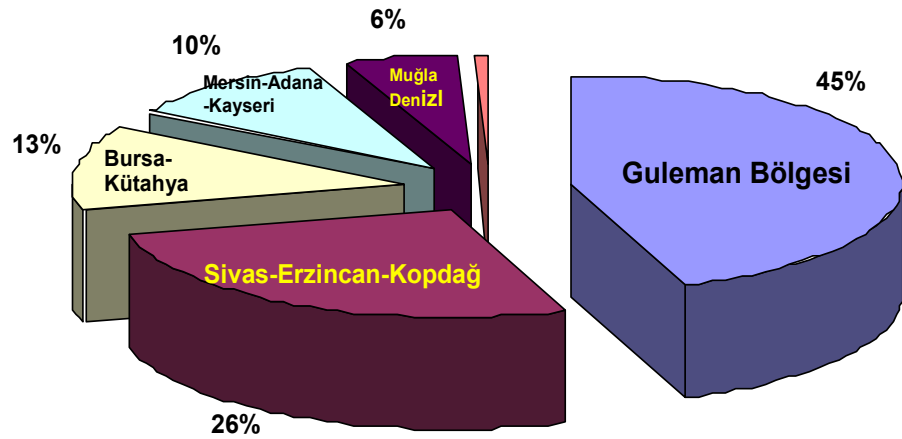
Bu altı bölgenin dışında da dağınık bazı krom yataklarının bulunduğu bilinmektedir. Dünyada ilk krom cevheri üretimi 1797 yılında Ural'larda yapılmıştır. Türkiye'de krom cevherinin ilk kez 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Krom cevherinin bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir yere sahip olagelmıştır. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da, genellikle 3.ve 6.sıralar arasındaki yerini devamlı korumuştur [1].

1924 yılından önce yapılmış üretimle ilgili kayıtlar bilinmemekle birlikte, bu yıllardaki çok düşük üretim düzeyi dikkate alınarak, başlangıcından bu güne kadar Türkiye'de 45 milyon ton kadar krom cevheri üretildiği tahmin edilmektedir. Türkiye'de krom cevheri, ferrokrom ve krom kimyasalları üretimi ağırlıklı ihracata yönelik olarak yapılmaktadır. Bu nedenle krom madenciliği dış pazarlarda oluşan fiyat dalgalanmalarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Pazar koşullarının elverişli olmadığı yıllarda üretim düşmekte, fiyatların uygun olduğu yıllarda ise artmaktadır. Üretim 1995 yılında 2,080,043 tona kadar ulaşmış olmakla birlikte, Türkiye de son 25 yılın ortalaması bir milyon ton kadar olmuştur. Türkiye krom yatakları ile ilgili rezerv bilgilerinin çok sınırlı olmasına karşın, Türkiye Pazar koşullarının uygun olduğu durumlarda, bugüne kadar talebi karşılamakta pek sıkıntı çekmemiştir. Türkiye krom cevheri üretim miktarları ileriki bölümlerde verilmiştir. Üretilen düşük tenörlü krom cevherleri ülkenin çeşitli kesimlerinde kurulu bulunan konsantre tesislerinde zenginleştirildikten sonra pazarlanmaktadır. Krom cevheri fiyatları dünya arz-talep dengesine göre oluşmakta olup, ferrokrom alış fiyatına göre krom cevheri fiyatları hesaplanmaktadır. Türkiye'de üretilen krom cevherlerinin özellikleri, kullanım alanlarına göre aşağıda verilmiştir [1].

2.3.6. Türkiye Krom Yatakları ve Rezervleri

Krom yataklarının içinde bulunduğu peridotit genel ismiyle anılan ultrabazik kayalar, Türkiye'de geniş alanlar kaplarlar. Türkiye'de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin peridotitler içinde ülke geneline yayılmış durumdadır. Türkiye'de 1000 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru bulunmaktadır. Coğrafi yönden krom yataklarının dağılımı 6 bölgede toplanabilir. Bu bölgelerdeki bilinen önemli zuhurlar $\%Cr_2O_3$ tenör değerleri ile aşağıda verilmiştir [1].

- 1- Guleman (Elazığ Yöresi): Batı Kef (6.8 milyon ton, %33), Doğu Kef (500,000 ton, %40-45), Sori Ocakları(2.5 milyon ton, %42-48),Kapin (700,000 ton, %43-47)
- 2- Fethiye-Köyceğiz-Denizli Yöresi: Karaismailler (800,000 ton, %30-38), Üzümlü- Sazlı 100,000 ton, %36), Biticealan (102,000 ton, %44-48), Kazandere (236,000 ton, %37,5), Kandak (100,000 ton, %40-46)
- 3- Bursa-Kütahya-Eskişehir Yöresi: Harmancık-Başalan (163,000 ton, %20), Ömeraltı-Kınalıbatak (100,000 ton, %23), Miran-Hudut-Koca Ocaklar (120,000 ton, %43), Orhaneli-Karıncalı (40,000 ton, %5-30), Büyükorhan-Kırocak (277,000 ton, %10-18),Kömürlük (53,000 ton, %15-40), Eskişehir-Karacaören (35,000 ton, %15-45), Eskişehir-Karaburhan (1,800,000 ton, %22-26), Kavak Kromları (1 milyon ton, %30-45)
- 4- Mersin-Adana-Kayseri Yöresi: Adana- Aladağ (198 milyon ton ,%5,60), Kayseri-Pınarbaşı -Dedeman 9 no'lu Ocak (490,000 ton, %20-30-Tarla Ocak 300,000 ton, %10-20)
- 5- Sivas-Erzincan-Kopdağ Yöresi: Sivas- Kangal-Karanlıkdere, (2.3 milyon ton, %5-15),Karadere (55,000 ton, %43-44), Erzincan- Kopdağ (3.6 milyon ton, %38-54)
- 6- İskenderun-Kahramanmaraş Yöresi: Hatay- Kızıldağ (117,000 ton, %34-44)



Şekil 2.1: Türkiye Krom Rezervlerinin Bölgelere Göre Dağılım Oranları

[12].

Şekil 2.1’ de ülkemizdeki krom yataklarının bölgelere göre dağılımı görülmektedir. MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi bünyesinde, 145 krom yatağında yapılan çalışmalar sonucu, gerek kendisinin derlediği veriler ve gerekse işletmeci kuruluşlardan derlenen verilerin değerlendirilmesi sonucu %20 den daha fazla Cr_2O_3 içerikli krom rezervi yaklaşık 26 milyon ton olarak verilmektedir. Krom rezervleriyle ilgili bilgilerin yetersizliğine karşın bugüne kadar, dünya krom pazarlarında olumlu gelişmelerin olduğu dönemlerde Türkiye krom madencileri artan talebi karşılamada sıkıntı çekmemişlerdir. Öte yandan, Aladağ (Adana) yöresinde MTA’nın, daha sonra da Etibank’ın arama çalışmaları sonucunda %5.60 Cr_2O_3 tenörlü 198,100,000 ton düşük tenörlü krom cevheri rezervi ortaya konmuştur. Arama çalışmalarının, Etibank’ın ruhsat sahasının dışına taşırılması durumunda, bu rezerv rakamının daha da artabileceği ve 400,000,000 tona ulaşabileceği düşünülmektedir. Ülkemizin krom üretimi açısından en önemli bölgesi Guleman (Elazığ) dır. Batı- Doğu Kef, Sori, Tepebaşı, Uzundamar, gibi önemli ocaklardan parça ve konsantre cevher elde edilmektedir. Üretim yönünden ikinci öncelikli bölge Erzincan- Kopdağ yöresidir. Büyük Ezan (Kopdağ) krom yatağından 1981-1993 yılları arasında ortalama 300 bin ton/yıl cevher üretilmiştir. Bununla birlikte, Eskişehir-Kavak Kromları (Çamaşırılık Ocakları) ile Bursa- Orhaneli ve Harmancık yörelerinden de önemli miktarlarda üretimler söz konusudur [11].

2.3.7.Üretim

Türkiye’de krom madenciliği 1850’li yıllarda başlamıştır. Bugüne kadar Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir paya sahip olagelmıştır. Bazı yıllarda üretim bakımından ilk sırada yer almış, çoğu yıllarda 3. ile 6. sıralar arasında yerini korumuştur. Bugüne kadar Türkiye’de 47 milyon ton kadar krom cevheri ürettiği hesap edilmektedir.

Çizelge 2.5: Yıllara Göre Krom Cevheri Tüvenan Üretim Değerleri (ton) [11].

1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
2,080,043	1,440,470	1,019,542	545,725	389,759	527,845	504,803	209,120

Türkiye'nin krom cevheri üretimi, dünya pazarlarında oluşan fiyat durumuyla bağlantılı olarak artma veya azalma göstermektedir. Geçmiş dönemler incelendiğinde krom pazarlarındaki iniş ve çıkışlar genelde 5'er yıllık dönemler sergilemektedir. Diğer bir deyişle, 5 yıllık iyi Pazar koşullarını 5 yıllık kötü pazar koşulları izleyegelmiştir. 1991, 1992, 1993 kötü pazar koşullarının yaşandığı bir dönem olarak nitelendirilmekte ise de son 10 yılda tuvenan cevher üretiminde genel bir artış gözlenmektedir. Türkiye'de krom madenciliği eski bir kamu kuruluşu olan Eti Maden ve diğer özel sektör kuruluşları tarafından yapılmaktadır. 1992-1998 yılları arasındaki dönemde Eti Holding'in krom cevheri üretimi Türkiye toplam üretiminin %36 kadarını oluşturmuş, özel sektörün payı ise %64 olmuştur. Krom madenciliği yapan büyük kuruluşlar yanında, şirketleşmemiş bazı küçük üreticilerin de krom madenciliği yaptıkları bilinmektedir. Bu şahısların toplam krom üretimleri Pazar koşullarının iyi olduğu dönemlerde 100,000 ton/yıl kadar olabilmektedir. Cevher yatağını oluşturan kromit merceklerinin dağılımındaki düzensizliklere ve boyutlarındaki değişkenliklere ek olarak, krom yatağını tanımlayan ve geometrisini ortaya koyan etütlerin çoğu yatakta yapılmamış olması, yapılanların çoğunda ise yatağın uygun olmayışı nedeniyle Türk krom madenciliğinde mekanizasyon olayı sınırlı kalmıştır. Bu nedenle madencilik çalışmaları genellikle emek yoğun nitelikli olagelmıştır. Mekanizasyona bir örnek olarak Tavas (Denizli) ve Kavak (Mihalıççık, Eskişehir) yörelerinde Türk Maadin Şirketine ait krom ocaklarında geometrisi belirlenmiş kromit merceklerinin işletilmesinde kullanılan L H D (Yükleme- Taşıma-Boşaltma) makinasının zaman ve işgücü ekonomisi sağladığı, verimliliği ve üretimi arttırdığı belirtilmektedir. Raylar üstünde insan gücüyle bir tonluk vagonlar hareket ettirildiği gibi geçmişte Ege Metal Endüstri AŞ tarafından Orhaneli işletmesinde kullanılan traktörle 50-60 ton cevher bir seferde dışarı alınabilmektedir. Desandrelerde ve kuyularda ise sınırlı mekanizasyon olarak vinçler ve kafesler kullanılmaktadır. Açık işletmelerin boyutuyla bağlantılı olarak, işletmelerde çalışmalar el arabasından yükleyicilere ve değişik tonajlı kamyonlara kadar çeşitlilik göstermektedir. Krom yatağını oluşturan kromitit bant ve merceklerinin boyutları ve devamlılıklarıyla bağlantılı olarak çeşitli yeraltı madenciliği üretim metotları uygulanmaktadır. Ramble (cut and fill) metodu en yaygın uygulanan üretim metodu olmakla birlikte, kromitit bant ve merceklerinin kalın ve devamlılıklarının fazla olduğu kesimlerde genelde oda-topuk (room and pillars) yöntemi uygulanmaktadır. Çamaşılık (Mihalıççık, Eskişehir) madeninde suni tavanlı dilimleme (top slicing

with artificial roof) yönteminin uygulanmaya başlandığı bilinmektedir. Krom cevheri ocak çıkışında elle ayıklama, eleme ve yıkama yoluyla zenginleştirilir. Düşük tenörlü krom cevheri kırılarak belli bir tane boyutuna küçültüldükten sonra jigler, sallantılı masalar ve manyetik konsantratörden geçirilerek zenginleştirilir, konsantre krom cevheri elde edilir. Kef yöresinde (Guleman, Elazığ) yaş manyetik sistemle çalışan Kef Zenginleştirme Tesisi'nin dışındaki diğer tesisler "sallantılı masa" düzenine sahiptir. Son zamanlarda Eti Holding'e ait Karagedik Cevher Zenginleştirme Tesisi'nin atıklarının kazanılabilmesi için manyetik ayırma - kolon flotasyonu kademelerinden oluşan yeni bir yöntem üzerinde çalışılmaktadır. Türkiye'de kurulu 17 krom cevheri zenginleştirme tesisinin kapasitesi 810,000 ton/yıl'dır. Zenginleştirilen ve konsantre kromit olarak bilinen krom cevherinin sanayideki kullanım alanı ve kullanım miktarı sınırlıdır. Parça cevhere oranla fiyatı da daha düşüktür. Bu nedenle özellikle metalurji sanayiinde konsantre krom cevheri çoğu halde pelletlenmekte veya briketlenmekte ve bu şekilde kullanım miktarı arttırılmaktadır. Elazığ'daki 150,000 ton/yıl kapasiteli yüksek karbonlu ferrokrom tesisine entegre olarak çalışan pelletleme birimi, konsantre krom cevherinin pelletlendikten sonra ferrokrom tesisinde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu birimde bazı sorunlar bulunduğu da ifade edilmektedir. Öte yandan konsantre krom cevheri kimya endüstrisinde tercihen kullanılmaktadır. Plazma teknolojisiyle çalışan ferrokrom tesislerinde konsantre krom cevheri kullanıldığı bilinmektedir. Yüksek tenörlü parça cevher bulmanın güçleştiği Türkiye'de, gelecekte kurulabilecek ferrokrom tesislerinin konsantre cevher kullanabilecek teknolojiye göre planlanması uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir [1].

2.3.8. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Türkiye'de krom madenciliği başlangıç yıllarında daha çok sahil şeridine yakın, ulaşımı kolay kesimlerde mostra madenciliği şeklinde başlamıştır. İşletmeler kromit bant ve merceklerinin kalınlıkları, tenörleri ve izlenebilir devamlılıklarına bağlı olarak mostra madenciliği ve açık işletmeciliğe dayandırılmış, ileri aşamada da yeraltı işletmeciliğine dönüşmüştür. 1950'li yıllara kadar Türkiye'de krom madenciliği genelde mostra veya açık işletme madenciliği şeklinde yapılmıştır. Açık işletme yöntemleriyle alınabilecek krom cevherlerinin giderek azalması karşısında 1960'lı yıllardan başlayarak, krom yataklarının yeraltı madencilik metodlarıyla

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. Şimdilerde krom cevheri üretiminin büyük kısmı yeraltı madenciliği metodlarıyla 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 1750 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. Kromitit 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 kromitit merceklerinin doğrultu boyunca devamlılıkları sırasıyla 1350 m, 1600 m, 1000 m olmasına karşın eğim yönündeki devamlılıkları yine sırasıyla 485 m, 340 m, 350 m' dir. Bu genellemeye uymayan ve mağmatik oluşum sürecinde kanal dolgusu şeklinde geliştiği görüşü savunulan "hortum" veya "boru" şeklindeki krom yataklarında kromitit mercek veya merceklerinin eğim yönündeki devamlılıkları doğrultuları boyunca olan devamlılıklarından çok daha fazladır. Bunun en tipik örneklerinden Çamaşırlık (Mihalıçcık, Eskişehir) krom yatağında Çamaşırlık 2 merceğinin doğrultusu boyunca olan devamlılığı 130 m, eğim yönündeki devamlılığı ise 400 m kadardır (kod farkı 330 m). Krom yataklarında mostra madenciliği veya açık işletme yöntemleriyle yapılan madencilik çalışmalarıyla cevherin üretilmesinin ardından, koşulların uygun olması halinde (kalınlık, devamlılık, tenör, doku, topoğrafya vb) krom yatağının yeraltı madencilik metotlarıyla işletilmesi sürdürülür. Genelde ana galeriler (katlar) arasındaki yükselti farkı 25-30 m olarak alınır. Krom yatağının konumuna göre desandre ya da kuyu açılarak işletmenin sürdürüldüğü durumlar yaygındır [1].

3. ZENGİNLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ

Krom cevheri, ocak çıkışında çoğunlukla elle seçme, elekten geçirme, yıkama yoluyla (gang tabir edilen) silikat minerallerinin cevherin bünyesinden ayıklanması sonucu zenginleştirilebilmektedir. Daha ileri aşamada kromitin başlıca zenginleştirme yöntemleri; gravite (sarsıntılı masa, MGS, jig, ağır ortam tamburu spiraller, Mozley masası, ağır ortam siklonu, Reichert konisi, Reichert spirali, oluk, daralan oluk), manyetik ayırma ve flotasyon yöntemleri ile düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin yaş olarak zenginleşmesi sağlanır; diğer bir ifadeyle konsantre kromit elde edilir [1]. Kuru zenginleştirme yöntemleri de elle ayıklama, akışkan yatak sistemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, optik zenginleştirme olarak sınıflandırılır.

3.1 Yaş Zenginleştirme

3.1.1 Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme

İri boyut (+0,1 mm) ve ince boyut (-0,1 mm, şlam) olmak üzere kromitin zenginleştirilmesi ikiye ayrılır. Ağır ortam ayırması, spiraller, masa ve jig gibi aygıtlar iri boyutta yapılan zenginleştirmede kullanılırken, şlam masası ve santrifüj ayırıcılar da ince boyutta zenginleştirmede kullanılır. Çizelge 3.1’de gravite yöntemi ile zenginleştirme yapan cihazlar ve uygulanabildikleri tane boyutları verilmiştir. Gravite yöntemlerinde minerallerin özgül ağırlık farklarından yararlanarak zenginleştirme yapılır [6].

Çizelge 3.1: Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme Yapan Cihazlar ve

Uygulanabildikleri Tane Boyutu Aralıkları [6].

Reichert Konisi	0.07 – 1.0
Reichert/Vickers Spiralleri	0.07 – 1.0
Sarsıntılı Masalar	0.04 - .3.0
Bartley-Mozlev Masası	0.005 – 0.1
Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)	0.005 – 0.1

3.1.2. Jig ile Zenginleştirme

Cevher iri boyutlarda (30-5 mm) yeterli miktarda serbestleşiyorsa; önce jiglerde işlenerek iyi kalitede parça cevher üretilmekte, jig artıkları da öğütülerek sarsıntılı masalardan geçirilmektedir, diyaframlı ve pistonlu olmak üzere iki çeşit jig kullanılmaktadır [6].

3.1.3 Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme

1-2 mm gibi üst boyutun incesi sınıflandırıldıktan sonra, sarsıntılı masalarla zenginleştirme yapılır. Genelde Wilfley ve Deister masaları tercih edilmektedir [6].

3.1.4 Stripa Teknesi ile Ağır Ortam İle Zenginleştirilmesi

Ağır ortam, hidrolik basınçtan faydalanılarak elde edilmektedir. Tekne şeklindeki (Stripa teknesi) ayırıcı da sarsıntı hareketi oluşturarak ve alttan da basınçlı su verilmesi ile banyo içerisindeki krom konsantresi askıda tutulurak yatak şeklinde bir ayırıcı oluşturulur. Oluşturulan bu banyodaki özgül ağırlık 3,4 gr/cm³’tür [6].

3.1.5 Multi Gravite Ayırıcısı ile Zenginleştirme

Sarsıntılı masa yüzeyinin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanabilmesi prensibi ile tanımlanabilir. Bir ucu açık olan bu tamburun belirli bir hızda döndürülmesiyle; mineral tanelerine karşı etkili olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturulması ve yardımcı üniteler aracılığı ile ayrılmasını gerçekleştirmektedir.

MGS ünitesinde tambur dönüş hızı, titreşim büyüklüğü, tambur eğim açısı, yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı önemli işletme parametreleri olmaktadır. Ayrıca besleme tane boyutu ve mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı da önemli parametrelerdir [13].

3.1.6 Reichert Spirali ile Zenginleştirme

Reichert Spirali, çok dönümlü helisel bir oluk olup, özellikle Avustralyada olmak üzere dünyada pek çok kömür hazırlama tesislerinde 3 mm altı kömürlerinin zenginleştirilmesinde son 5 yıl içerisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Spiral hafif fiber glass malzemenin üzerinde polyüretan kaplanarak şirketlerce pazarlanmaktadır. İşletilmesi oldukça basit ve işletme maliyeti düşüktür. Hafif oluşları ve yerleşim alanı olarak geniş yere ihtiyaç göstermemeleri nedeniyle inşaat hacimleri açısından büyük avantaja sahiptirler [13]. Özellikle -3+0.075 mm boyut grubunda olan kömürlerin zenginleştirilmesinde hızla kömür hazırlama tesislerine giren Reichert Spirali; flotasyona, sarsintili masalara ve ağır ortam siklonlarına bir alternatif oluşturmaktadır [14].

3.1.7 Flotasyon ile Zenginleştirme

Flotasyon ile zenginleştirme gravite yöntem ile kromun kazanılmasının zor olduğu durumlarda ilk olarak tercih edilen yöntemdir. Flotasyon sırasında kullanılan reaktiflerin seçiminde kromiti ile gang minerali olivinin sıkı bağlanmış olması nedeniyle dikkat edilmesi gerekmektedir. Sabun ve yağ asitlerinin dışında sülfat, sülfonat ve amin tipi kolektörlerle geniş pH aralığı içerisinde saf kromit rahatça yüzdürebilir. Bunların yanısıra kromitin olivinden ayrılmasının en etkin yolu da yağ asidi ve alkil fosfattır [6].

3.1.8 Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Kromitin kimyasal formülüne bakıldığında ((Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)₂O₄); kromitin Fe içermesinden dolayı manyetik duyarlılığa sahip olduğu söylenebilir. Kromit, manyetitin %3-5'i oranında duyarlılığa sahip paramanyetik bir mineraldir ve 10-16 bin Gauss'luk bir manyetik alan ile çekilebilmektedir [6, 15].

Kromit, önemli gang mineralleri serpantin ve olivindir. Mg veya Fe içeren olivinin manyetik duyarlılığı, Fe oranına bağlı olarak artmaktadır. Serpantin, olivinin alterasyonu sonucu oluşmuş ve düşük manyetik duyarlılığa sahiptir. Ancak ileri safhalarda bozuşma ürünü olarak demir oksitler meydana gelmiş ise manyetik özellik artabilmekte ve alan şiddeti 4000 Gaussa kadar etkilenen serpantinler de vardır [6, 15]

Cevherde kromite ve gang mineraline bağlı olarak manyetit bulunabilmektedir. Eğer manyetit kromite bağlı olursa duyarlılığı arttırarak ayırma için gerekli olan manyetik alan şiddetini azaltır. Gang mineraline bağlı olduğunda ise ayırma ihtimali yoktur [6, 15]

3.2 Kuru Zenginleştirme

Kuru yöntemle zenginleştirmenin gelişimine bakıldığında, bir çok aygıt ve yöntemi kapsadığı görülmektedir. Kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesi 1990' lı yıllara kadar popülaritesini korumuş ancak düşük ayırma yoğunlukları, ayırma etkinlikleri ve kapasiteleri dolayısıyla popülaritesini zamanla yitirmiştir. Ancak son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan su sıkıntısı, özellikle Avustralya'nın iç kesimlerindeki meyve-sebze üretim çiftliklerini zor durumda bırakmış ve bu bölgedeki çiftçilerin itirazı ile su kullanımı kısıtlandığından, bu bölgelerde çıkarılan kömürün kuru olarak zenginleştirilmesi gündeme gelmiştir. Bu probleme Çin'de de rastlanmıştır ve buradaki kömür üreticileri kuru kömür zenginleştirme yöntemlerine yönelmiştir.

Su sıkıntısı yaşayan ya da kış aylarında donma tehlikesiyle karşı karşıya kalınan bölgelerdeki kuru zenginleştirmeye yönelik çalışmalar ve kuru zenginleştiriciler üzerindeki yeni tasarımlar ve yaklaşımlar, kuru zenginleştirme sistemlerinin daha önce ifade edilen düşük kapasite ve düşük ayırma performansı gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır.

Aslında gerek işletim maliyetleri gerekse nihai ürün ve üretim sonrası oluşabilecek çevre problemleri birlikte düşünüldüğünde su sıkıntısı ve donma problemlerinin önlenmesinin yanı sıra, kuru zenginleştirme yöntemleri bazı ilave avantajlar da sunmaktadır [16].

Kuru zenginleştirmenin dezavantajları;

- Ayırma verimleri daha düşüktür.
- Kırma, eleme ve diğer ayırma işlemlerinde toz oluşmakta ve bu nedenle bu sistemlerin kapalı yapılması ve toz giderme ünitesi gerekmektedir.
- Genelde bu güne kadar geliştirilmiş olan aygıtlar düşük kapasitelidir.
- Kuru yöntemler için otomatik kontrol sistemlerinin daha da geliştirilmesi gerekmektedir [17].

Kuru Zenginleştirmenin Avantajları:

- Sisteme su sağlamak ve tesisten çıkan kirli suyun arıtılması ve geri kazanımı için ünitelere gereksinim yoktur.
- İnce ve sulu tesis atıkları için atık havuzları gereksinimi ortadan kalkmaktadır.
- Daha az tesis binası ve işletme gideri gerektirir.
- Su olmayan yörelerde tesis kurulmasına imkan yaratır.
- Kışın sert geçtiği yerlerde, yaş yöntemde oluşan donma problemleri yaşanmaz [17].

3.2.1. Ayıklama

Parça olarak kullanılan ve renk farkı ile kolay ayrılabilen tüm cevherlerde olduğu gibi kromda ayıklama ile zengileştirme uygulanmıştır. Ayıklama elle ve otomatik olmak üzere iki yolla yapılabilmektedir. Elle ayıklama günümüzde, düşük yatırım gideri nedeniyle, bazı işletmelerde hala uygulanmaktadır. Otomatik ayıklamada ise bu amaçla geliştirilmiş çeşitli aygıtlar mevcuttur.

Otomatik ayıklama 20. yüzyıl başlarından sonra araştırılmaya başlanmış bir yöntemdir. Çalışmalar, elektrik, x-ışını, optik tanımlama, elektromanyetik tanımlama gibi yöntemler üzerine olmuştur. Geliştirilmiş ve patent alınmış bir çok yöntem vardır. Ancak bunlar çeşitli sorunlar nedeniyle uygulamada yer bulamamışlardır.

Şekil 3.1’de elle ayıklama tesisine örnek verilmiştir [18].



Şekil 3.1 : Elle Ayıklama Tesisi

3.2.2 Kırma ve Boyuta Göre Sınıflandırma

Kırma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirmede döner kırıcılar kullanılmaktadır. Zenginleştirme daha çok iri boyutta malzeme ve yantaşın kırılma farklılıklarından yararlanılarak gerçekleştirilen bir ayırma işlemidir. Burada dönen silindirik bir yapı içerisinde yuvarlanma ve ufalanma etkisine maruz kalan kömür içerisinde bulunan yantaş iri boyutlarda kalırken, malzeme ufalanarak daha küçük boyutlara geçmekte ve silindirin alt kısmında bulunan elekler vasıtasıyla yantaştan ayrılmaktadır [16].

3.2.3. Accelarator

Döner kırıcıların biraz daha gelişmişleri literatürde accelarator olarak tanımlanmaktadır. Burada, kömür kırma ünitesinde kontrollü kırma söz konusu olup, kömür cevheri sistem içerisindeki 2-3 farklı kısımda kırma işlemine tabii tutulmakta ve kırılan cevher ilgili üniteye elendikten sonra iri boyutta kalan kısım bir sonraki daha etkin kırma ünitesine gönderilmekte ve orada da kırma eleme işlemi yapılmaktadır. Burada kırma işlemi darbe etkisi ile yapılmaktadır [18].

3.2.4. Gravite Esaslı Çalışan Havalı Ayırıcılar

Kuru ayırma yöntemlerinin büyük çoğunluğu ayırma kuvvetlerini oluşturmak için hava akımını kullanmaktadır. Bu pnömatik yöntemler, havalı ağır ortam aygıtları, havalı masalar ve havalı jig olarak gruplandırılabilir. Bunların içerisinde en yüksek kullanım şansına havalı jigler sahiptir. 1930'ların başında Fraser hava-kum prosesinde havayı 12 meş altı kumu akışkanlaştırmak üzere kullanmış ve böylece ağır ortam ayırmasını oluşturmuştur. Bu ekipmanın çalışma prensibi 50-10 mm kömürün temizlenmesinde verimli olarak kullanılabildiği belirtilmektedir. Her 1 ton kömür için 3 ton civarında kum dolaştırılmakta ve ton başına yaklaşık 1.5 kg kum kaybı olduğu belirtilmektedir [16].

ABD ve Çin'de eş zamanlı olarak havalı ağır ortam ayırması üzerine çalışmalar ortaya konulmuş, ABD'deki çalışmalar daha çok laboratuvar ölçeğinde, dar tane sınıfında havalı manyetitli ağır ortam ayırması üzerine olurken, Çin'de geliştirilen aygıt ise laboratuvar ölçeğinden 50x6 mm kömür için 50 ton/saat kapasiteye kadar çalışabilen bir aygıt olmuştur 50 ton/saat kapasiteli ünitenin 1.3'den 2 g/cm³ ayırma yoğunluğuna kadar %85 verimle çalıştığı belirtilmektedir [16].

Hava ile çalışan gravite esaslı yöntemlerin bir diğeri olan havalı masalar ilk olarak 1924'lerin başında New Mexico ve Oklahoma'da Sutton, Sutton ve Steele masası (3-S) olarak kurulmuştur. 3-S masası şekil ve çalışma prensibi olarak Deister masalarına benzemektedir. Ancak farkı su yerine hava kullanılmasıdır. Çalışma prensibi gıda sektöründe taş ayıklayıcı olarak kullanılan Saxon cleaner'a benzemektedir. Üstten eğimli yüzeye sahip masaya beslenen tüvenan kömür, elek şeklindeki masa yüzeyinden gelen hava ile akışkanlaşmakta, hafif olan ve hava akımı ile akışkanlaşmış kömür aşağı doğru akarken, elek yüzeyine temas eden yantaş, eksantrik hareketli elek yüzeyi üzerinde eğimin tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Elek yüzeyi üzerine monte edilen çıtalar, artığı yönlendirmek için kullanılmaktadır. Havalı masada besleme malı kalitesi stabil olmalı, dar tane aralığında besleme yapılmalıdır. Çalışma şartlarının hassaslığı gereği kapasitesi düşüktür. Şekil 3.2'de havalı masaya örnek resim verilmiştir [18].

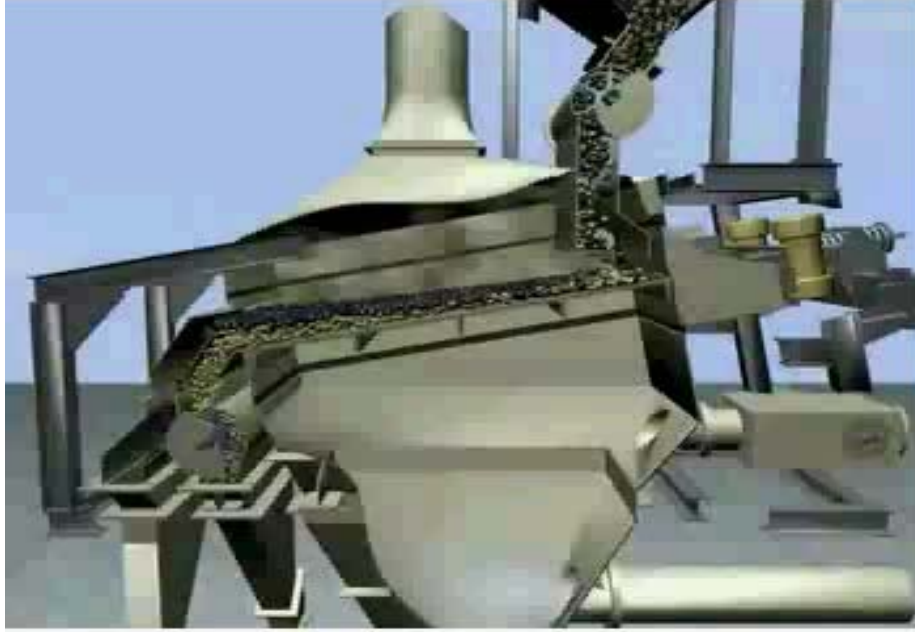


Şekil 3.2 : Pnömatik Osilasyonlu Havalı Masa

Gravite esaslı çalışan havalı ayırıcılardan üçüncü grubu havalı jigler oluşturmaktadır. Havalı jiglerin ilki sayılabilecek “Stump AirFlow Jig” 1932’de Earl Stump tarafından geliştirilmiştir. Makina eğimli, titreşimli, elek şeklinde bir yüzeyden oluşmaktadır. 2.5 kPa civarındaki basınçlı hava delikli yüzeye alttan verilmekte ve altta yoğunluğu yüksek taş, üstte hafif olanlar (kömür) olmak üzere tabakalaşma meydana gelmektedir. Artık, yataktan elek yüzeyi boyunca yerleştirilmiş üç boşaltma ünitesi ile alınmaktadır. Yüzeyin sonunda dördüncü bir boşaltma sistemi ara ürün için yerleştirilmiştir.

Çok sayıda taş çıkış düzeneği olması, yatak kalınlığının ve artık içeriğinin az olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de besleme ve çıkış bölgeleri arasında direnç farklılıkları meydana geldiği için, elek yüzeyi altına seramik topraklar konularak havanın kısa devre yapması engellenmeye çalışılmaktadır. Seramik toprakların oluşturduğu tabakanın kalınlığı besleme tarafından, çıkış tarafına doğru artmaktadır. İlk aygıtlar sadece 0.46x0.61 m genişliğindedir. Ancak zamanla dizaynlar gelişmiş ve SuperAirFlow makinaları 2.4 m genişlik ve 50x0 mm besleme için 135 ton/saat kapasiteye ulaşmıştır. Kapasitenin yüksekliği nedeniyle kuru yöntemler içerisinde en popülerleri havalı jigler olmuştur. Ancak, daha düşük küllü kömür eldesinin hedeflenmesi nedeniyle, yaş yöntemlere geçiş olmuş ve ABD’de son havalı jig 1990 da devre dışı bırakılmıştır. Havalı jiglerin gelişmiş bir modeli AllAir jigdir. AllAir jigde hava tüm jig yüzeyinde dengeli dağılmakta ve ürün çıkışları sadece jig sonundaki tek noktadan olmaktadır. Bu sayede jig üzerinde uygun engelli çöküş

klasifikasyonu ve ara boşluklardan sızma ayrışması düzgün bir şekilde gerçekleşebilmektedir. Şekil 3.3'te Allair jiginin kesit resmi verilmiştir [20].



Şekil 3.3 : Allair Havalı Jigi Şematik Görünümü

3.2.5. FMC Separatör

FMC separatörü ise bu günkü FGX cihazının daha basit bir şekli olarak tanımlanabilir. Bu tür ayırıcıda, eğimli bir masa yüzeyine beslenen kömür numunesi masa yüzeyi altından verilen pulsasyonlu hava etkisi ile tabakalandırılmakta (ağırılar alt, hafifler üst kısımda) ve numune hareket yönüne paralel yönde verilen gitgel hareketi ile masa yüzeyi boyunca hareket etmekte, bu esnada akışa dik olarak uygulanan git gel hareketi ile de tabakalanmış kömür numunesi içerisindeki temiz kömür, masanın kısa yüzeyi boyunca alınmaktadır. Masanın uç kısmından ise paralel yöndeki gitgel hareketinden çok daha fazla etkilenen ağır kısmın yer aldığı şist alınmaktadır. [21].

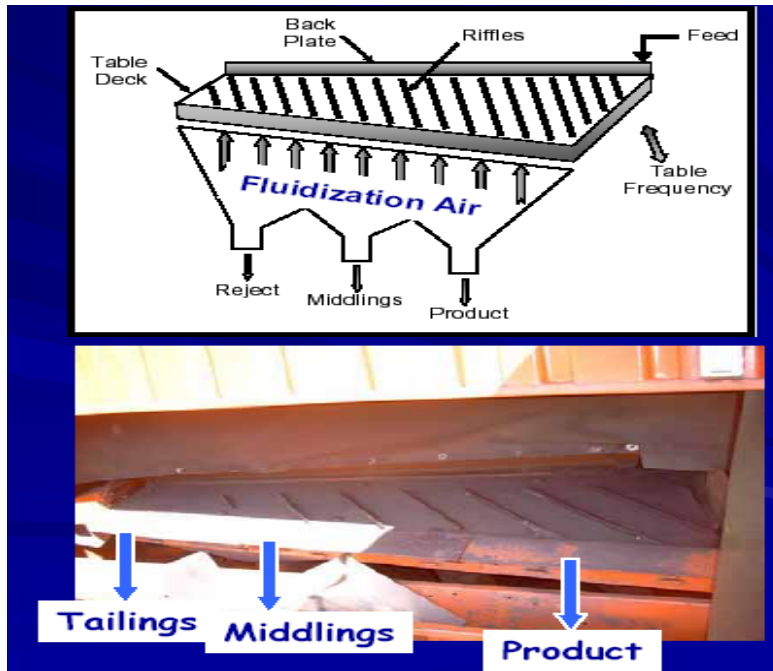
3.2.6. FGX Ayırıcı

FGX ayırıcısı ise son yıllarda Çin'de geliştirilmiş olan kuru zenginleştirme cihazıdır. Bu cihazda, FMC cihazında belirtilen ayırma yöntemi söz konusudur. Ancak masa yüzeylerine bıçaklar yerleştirilmiştir. FGX cihazı ile 6 farklı rölatif yoğunluğa sahip

ürünlerin alınması söz konusudur. Şekil 3.4 ve 3.5'te FGX ayırıcısı ünitesi ve masa yüzeyleri gösterilmektedir [21].



Şekil 3.4 : FGX Ayırıcı Ünitesi



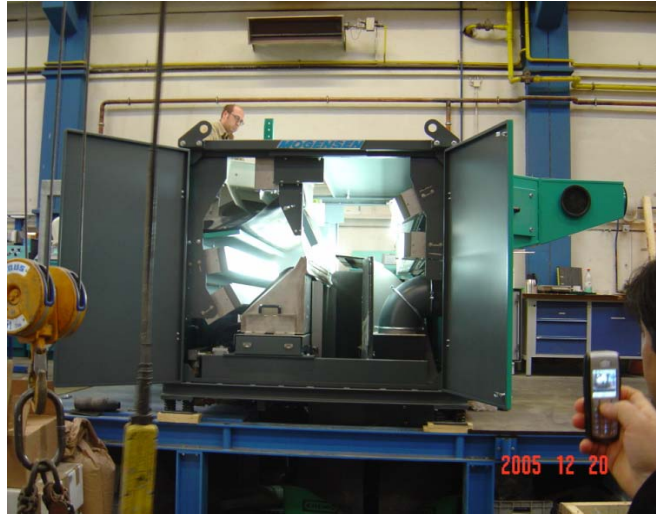
Şekil 3.5 : FGX Ayırıcısı Şematik Görünümü ve Masa Yüzeyi

FGX cihazı, -75+6 mm boyutlu kömürleri zenginleştirebilmekte, -6 mm fraksiyon ise ayrı olarak beslenerek zenginleştirilmektedir. Ancak, iri fraksiyonda ayırma yapıldığında, etkin bir ayırma için beslenenin %10-20'lik bir kısmının ortam

malzemesi olarak tutulması gerektiği belirtilmiştir. FGX cihazının kapasitesi saatte 10 tona kadar çıkabilmektedir.

3.2.7. Optik Ayırıcılar

İri boyutta ayırma yapan kuru zenginleştiricilere bir başka örnek optik ayırıcılardır. Optik ayırıcılar da beslenen numune içerisindeki malzeme ve yantaşın renk olarak bilgisayarlarda algılanması ve yantaşın kameralar tarafından tespit edilip, üfleme ile akış içerisinde uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Optik ayırıcılarda 50-150 mm boyutundaki kömür numunesi külünden ayrılabilen olup, tesis kapasiteleri 50-100 t/h'e ulaşmaktadır [22].



Şekil 3.6 : Optik Ayırma Uygulaması

3.2.8. Aerodinamik Ayırıcılar

Aerodinamik ayırıcılar, boyutlandırılmış beslenen malzemenin rölatif özgül ağırlığı prensibinden yararlanılarak, bir rüzgâr tüneli içerisinde zenginleştirildiği sistemlerdir. Ağır olan atıklar kısa yörüngelerde hareket ederlerken, hafif taneler uzun yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu şekilde farklı bölmelerde toplanırlar. Beslenen malzeme dar boyut gruplarında olması gerektiğinden, sistem çok fazla sayıda sınıflandırıcı gerektirmektedir. Rüzgâr tünelleri boyutlandırılmış malzemeleri aynı anda almak için hücreler içerisinde ayarlanmıştır.

Beslenen malzeme içerisindeki her bir fraksiyon kendine ait olan ve malzeme boyutuyla orantılı olarak farklı hızda laminar hava akımı üreten birimlere

beslenmektedirler. İnce malzeme içerisinde çıkış havası, siklonlarda ve toz tutucularda temizlenmektedir. Bu prosesde öngörülen problem beslenen malzemenin çoklu boyutlarda elenmesi ve elenen bu fraksiyonların ve ürünlerin kontrol altında tutulmasıdır. Toz kontrolü, toplanması ve atılması da aynı zamanda bazı problemlere yol açabilir [16].

3.2.9. Manyetik Ayırıcılar

Manyetik duyarlılık farkından yararlanarak kömür kül oranının azaltılması üzerine bir çok araştırma yapılmış ancak henüz endüstriyel uygulama şansı bulamamıştır. Manyetik ayırma ile kül oranının düşürülmesi çalışmalarında iki yol izlenmiştir. Birinci yöntemde bazı ön hazırlıklardan sonra doğrudan manyetik alanda kömürün kül oranı düşürülmeye çalışılmıştır. İkinci yol ise kömürün ya tamamen ısıtılma tabi tutulması (karbonizasyon), ya da mikro dalga ile seçimli mineral madde etkileşiminden sonra manyetik ayırma işlemidir.

Birinci yöntemde, mineral maddelerin organik yapıları kömüre nazaran daha fazla manyetik duyarlılığa sahip olmasından yararlanılmaktadır. İnce kömür bir akım halinde güçlü bir manyetik alandan geçirilirken, mineral maddelerin bir kısmı manyetik alana doğru yönlendirilerek kömürden ayrılabilir. Bu teknoloji ticari olarak kullanım şansı bulamamıştır. Manyetik ayırmanın kullanıldığı farklı bir metod olarak MagMill prosesi verilebilir. Oder ve arkadaşları ile Oder'in (2000, 2002) yapmış olduğu araştırmada pirit ve bazı mineral maddelerin öğütücü ve kuru manyetik ayırıcıdan oluşan bir sistemde ayrılması üzerine araştırmalar yapılmıştır. 90 kg/saat'lik kapasiteli bir prototip sistemde, hava taşımaya bir modifiye çekici değirmen ve manyetik ayırıcı kullanılmışlardır. Değirmen içerisinde sürekli olarak sert malzemelerin iç dolaşımında ayrıldığı bir düzende çalışmaktadır. Mineralce zengin akım sisteme eklenmiş bir manyetik ayırıcıya gönderilmekte, paramanyetik mineraller ayrıldıktan sonra, manyetik olarak temizlenmiş akım tekrar değirmene dönmektedir. Manyetik ayırmada verimi artırabilmek için çeşitli araştırmacılar mikrodalga ile çalışmalar yapmışlardır. Mikrodalga ile pirit üzerine selektif ısıtma sağlanması ve kısa sürede, piritin manyetik monoklinik pirotite dönüşmesi yöntemin sağladığı avantajdır. Bu işlemten sonra da manyetik ayırmaya tabi tutularak kömürün desülfürizasyonu tamamlanmaktadır. Bazı araştırmacılar ise yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıları, kuru kömürün yanında, yağ olarak da denemişlerdir.

Maxwell ve Kelland söz konusu manyetik ayırıcıların sulu ortamda başarılı bir şekilde piriti ayırabildiğini ancak, kuru yöntemle ayırmanın çok zor olduğunu belirtmişlerdir [22, 23].

3.2.10. Elektrostatik Ayırma

Kömür ve yantaşın elektriksel özellik farklarından yararlanarak kömür külünü azaltabilmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla elektrodinamik ve elektrostatik ayırıcılar denenmiştir. Elektrodinamik ayırıcılar -2 mm kömürler için uygun olurken, elektrostatik ayırma ise -0.25 mm kömüre uygun olmaktadır. Elektrodinamik ayırıcılarla çalışmalar -3 mm ile 0.1 mm aralığında sürdürülmüştür. Vitrinitçe zengin kömürlerde oldukça iyi ayırımlar sağlanırken, daha genç kömürlerde de belli bir başarı sağlandığı belirtilmektedir. Kömürün dar tane aralığında sınıflandırılması, şlamdan arındırılması ve havada kuru hale getirilmesi gerekmektedir. Pratikte bu aşamalar çok pahalı ve zor işlemler içermektedir.

Elektrostatik ayırmada, ayırma kademesinden önce, tanecikler elektrostatik olarak mutlaka yüklenmelidir. Kömürdeki organik kökenli fazlardan mineral maddelerin ayrılması, bu iki fazın farklı tip ayırıcılarda farklı şekilde şarj olma ve şarj taşımalarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu şekilde iki farklı elektrostatik yöntem mevcuttur. Bunlardan birisi elektriksel direnci kullanırken diğeri yüzey yapısındaki elektriksel farklılıkları kullanmaktadır. Tanecikleri yüklemek için kullanılabilecek değişik metodlar mevcuttur. Bunlar; iletken yüklemesi, iyon bombardımanı ve sürtünme ile yüklenme (triboelektrifikasyon)'dır. Şarj metodundan bağımsız olarak, kazanılabilen maksimum yük yoğunluğu ve tanecik yüzey alanı tanecik üzerinde oluşan yük miktarını sınırlandırmaktadır. Elektrostatik ayırmanın başarılı olabilmesi için taneciğe etki eden elektrostatik güçlerin yerçekimi ve taneler arası etkileşim kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. Elektrostatik ayırıcılarda toz kömür bir elektrik alandan geçirilir ve burada farklı yüklenmeler meydana gelir. Negatif ve pozitif yüklenmiş tanecikler zıt olarak yüklenmiş elektrodalara doğru yönelirler. Ürünler bölücülerle birbirinden ayrılır. Bu yöntemde sonuçlar oldukça kötüdür ve ticari uygulama şansı görülmemektedir [18].

4. KAYSERİ PINARBAŞI BÖLGESİ PULPINAR KROM İŞLETMESİ

Deneysel çalışmalara esas olan kromit numuneleri; Kayseri Pınarbaşı bölgesinde, Dedeman A.Ş. bünyesinde bulunan Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisine Banu Ocaktan beslenen cevherden getirilmiştir.

4.1. Maden Yatağının Oluşumu

Bölgedeki kromit yatakları Thayer (1964) tarafından belirlenen podiform kromit tipine uymaktadır. Esas olarak dört şekilde bulunurlar [24].

- Uzunluk ve genişliği kalınlığa göre oldukça fazla (en az on misli) ince merceklere benzer, metrik kalınlıkta bantlar halindedir. Bu şekilde olan yataklar harzburjitler içinde yer almakta olup, yatak şekline paralel, kalınlığı değişken dünitik bir zonla çevrilmiştir. Gang dünitiktir. Sahadaki 1, 2, 3, 4, 5 ,6 ,7 no'lu ocaklar ile Çerkez Ocakları, Güney Ocakları, Doğu Ocakları bu tip cevher yatakları içinde açılmışlardır.
- Cevher geniş dünitik zonlar içerisinde birbirlerine paralel santimetrik ve desimetrik kalınlıkta bantlar halindedir. Cevher bantlar içerisinde genellikle dissemine, seyrek olarak da masif bir yapı göstermektedir. Tenör ilk tip yataklara göre düşüktür. Sahadaki Tarla Ocağı, Altındal ocakları, 9 no'lu Ocak ve Kuzey Ocakları bu tip yataklara örnek olarak verilebilir.
- Cevher dünitik zonlar içerisinde boyutları birbirinden çok farklı düzensiz şekiller halinde bulunmaktadır. Kesikli ve dalgalı bantlar , amibe benzer şekiller oluşturmaktadır. Yapı genellikle masiftir. Ümit ocağı bu tip bir cevherleşmeyi karakterize edebilir.
- Cevher daha önce oluşmuş olan kromit yataklarını kesen fay zonları içerisinde sürüklenmiş olarak bulunmaktadır. Bu tip yatakların konumu, içinde bulunduğu fay zonuna paraleldir. Sürekli değildir. Genellikle kesikli bantlar ve küçük yumrular halinde bulunmaktadır. Uğurlutaş ocağı bu tip yataklara örnek olarak verilebilir.

4.2. Cevher ve Gang Minerallerinin Fiziksel Özellikleri

Sahadaki tek cevher minerali olan kromit nadir olarak ince oktaedrik kristaller halinde, genellikle yuvarlaklaşmış mineraller halinde bulunmaktadır. Bilindiği gibi kromit, kübik sistemde kristalleşen, siyah renkli, sübmetalik parlaklıkta, $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})$ $(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2\text{O}_3$ teorik formülüne sahip bir mineraldir. Çizgi izi kahverengi olan kromitin kromca fakir, demirce zengin olanları yüksek derecede, kromca zengin demirce fakir olanları düşük derecede manyetiktir. Sertliği 5.5 - 7.5, özgül ağırlığı 4.0 - 4.8 gr/cm^3 'tür. Mineral içindeki Cr_2O_3 tenörü; dünya ölçeğinde %18 ile %62 arasında değişmektedir. Kromit ve gang minerali olan olivinin kayaç içerisindeki dağılımı 5 tip yapı oluşturmaktadır [24].

- Masif yapı: Kromitlerin birbirine bitişik ve kompakt olduğu ve aralarında çok az miktarda gang mineralinin görüldüğü yapıdır. Tenör, genellikle parça cevher olarak değerlendirmeye uygundur.
- Dissemine yapı: Kromitlerin gang içerisinde genellikle birbirinden bağımsız, izole kristaller halinde serbestçe dağıldığı, gang mineralinin kapladığı hacme eşit veya daha büyük olduğu yapıdır. Tenör düşüktür. Cevherin ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için zenginleştirilmesi gerekmektedir.
- Modüler yapı: Bu yapıya leopar, kaplangözü veya yumrulu yapıda denilmektedir. Kromit mineralleri biraraya gelerek santimetrik boyutlarda elipsoide benzer nodüller oluşturmaktadır. Elipsoidlerin uzun ve orta eksenlerinin oluşturduğu düzlem genel olarak foliasyon düzlemine paraleldir. Kromitlerin foliasyon düzlemine dik olarak çatlaklanması sonucu oluşan “pullapart” doku bu tip yapıda gayet güzel görünmektedir. Tenör nodüllerin sıklığına bağlı olarak değişmektedir.
- Şiliyren yapı: Kromit mineralleri milimetrik ve santimetrik kalınlıkta kesikli ince bantlar oluşturmakta ve bantlar arasında dissemine olarak bulunmaktadır. Tenör dissemine yapısına göre biraz daha yüksektir.
- Bantlı yapı: Genellikle masif ve dissemine yapı gösteren kromitler, santimetrik ve desimetrik kalınlıkta doğrultu boyunca bir kaç metre takip edilebilen bantlar oluşturmaktadır. Bu tip yapıya ender olarak nodüler yapı gösteren kromitler içindede rastlanmıştır.

4.3. Ürün Özellikleri

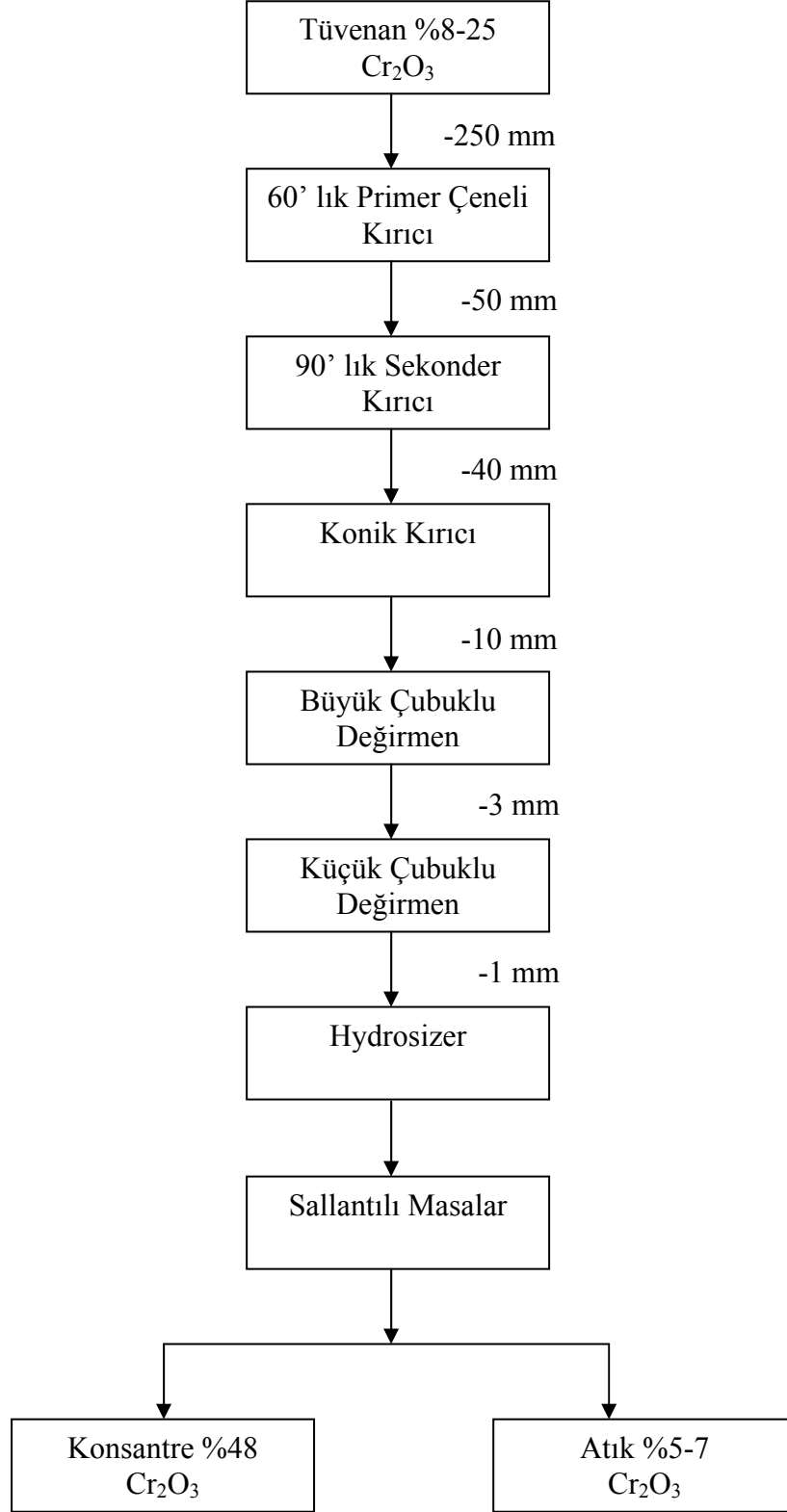
Çizelge 4.1.'de Kayseri Pınarbaşı bölgesinde bulunan Pulpınar tesisinden elde edilen ürün özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.1: Krom Ürün Spesifikasyonları [25]

	Cr₂O₃ %		SiO₂ %	Cr/Fe	Al₂O₃ %	MgO %	CaO %	S %	P %	Tane Dağılımı
Krom Konsantre Cevher	min.	baz	max.	min.	tipik	tipik	max.	max.	max.	Milimetre
Pulpınar Fabrika	48	48	6	2.8/1	12	18	0.5	0.010	0.007	-2mm: %100

4.4. Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Üretim Şeması

Şekil 4.1. de görüldüğü gibi, %8-25 Cr₂O₃ tenörlü 250 mm boyutlu fabrika pasası çeneli ve konili kırıcıyla 10 mm altına indirilmektedir. Besleme silolarında toplanan 10 mm altındaki cevher, değirmenlere beslenerek 1 mm altına indirilmektedir. 1 mm altı cevher hydrosizer ile sallantılı masalara beslenmektedir. Sallantılı masadan 3 farklı ürün alınmaktadır, bunlar %48 Cr₂O₃ konsantre, %5-7 Cr₂O₃ artık ve ara üründür. Atık malzeme sudan arındırılarak atık barajlarına, ara ürün tekrar değirmene gönderilmektedir. Konsantre cevher ise analiz yapılarak stoklanmaktadır. Stok alanlarından ihtiyaç dahilinde sevkiyatları gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1: Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Akım Şeması

Aşağıdaki çizelgede zenginleştirme tesisinde kullanılan ekipmanlar görülmektedir.

Ünite No	ÜNİTELER	Motor(Kw)	Kapasite	Boyutlar (mm)
1	Tüvenan Cevher Silosu	-	-	
2	Lineer Besleyici	7.5	50 ton/h	510 x 3100
3	Çeneli Kırıcı (Primer)	22.0	50 ton/h	600 x 360 x 100
4	Nakil Bandı	4.0	50 ton/h	700 x 10700
5	Nakil Bandı	7.5	50 ton/h	700 x 28500
6	Çift Katlı Elek	7.5	50 ton/h	1200 x 4000
7	Çeneli Kırıcı	30.0	30 ton/h	900 x 300 x 30
8	Nakil Bandı	7.5	50 ton/h	600 x 31500
9	Konik Kırıcı	75.0	30 ton/h	3 foot
10	Nakil Bandı	7.5	50 ton/h	600 x 35700
11	Silo Üstü Dağıtıcı Band	4.0	50 ton/h	600 x 4500
12	B.Değirmen Besleme Silosu		50 m ³	
13	B.Değirmen Besleme Silosu		45 m ³	
14	B.+ K. Değirmen Besleme Silosu		45 m ³	
15	Birinci Silo Altı Besleme Bandı		15 ton/h	600 x 6000
16	Silolar Altı Ortak Band		15 ton/h	600 x 9000
17	İkinci Silo Altı Besleme Bandı		15 ton/h	600 x 4500
18	Üçüncü Silo Altı Besleme bandı		15 ton/h	600 x 8000
19	B.Değirmen Önü Elek	7.5	15 ton/h	1200 x 3000
20	B.Değirmen	55.0	8 ton/h	(5x8) foot
21	Derrick Elek Besleme Pompası	11.0	15 ton/h	
22	Derrick Elek			
23	K.Değirmen		2 ton/h	(3x8) foot
24	Hydrosizer		6 Göz	70 x 1220 x 5100
25	Hydrosizer	-	5 Göz	70 x 1200 x 4080
26	Deister Tipi Sarsıntılı Masa(20Adet)	2.2		
27	Susuzlandırma Konisi		6 m ³	Ø=3000 h=2500
28	Susuzlandırma Konisi		4 m ³	Ø=2500 h=2000
29	Ürün çamur Pompası (Konsantre)	11.0	15 ton/h	
30	Susuzlandırma Konisi(Konsantre)		6 m ³	Ø=3000 h=2500
31	Konsantre Kurutma Masası	5.5	15 ton/h	1200 x 4000
32	Konsantre Stoklama Bandı	4.0	15 ton/h	600 x 11700
33	Ara Ürün Pompası	11.0	15 ton/h	
34	Konsantre Stok Sahası			19500 x 30000
35	Atık Dinlendirme Havuzu			8000 x 30000
36	Atık Dinlendirme Havuzu			8000 x 30000
37	Hydrosizer Besleme Haznesi		0.3 m ³	600 x 600 x 900
38	Su Tankları		90 m ³	3 x 30 m

Çizelge 4.2: Pulpınar Krom İşletmesi Konsantratör Tesisi Ekipmanları

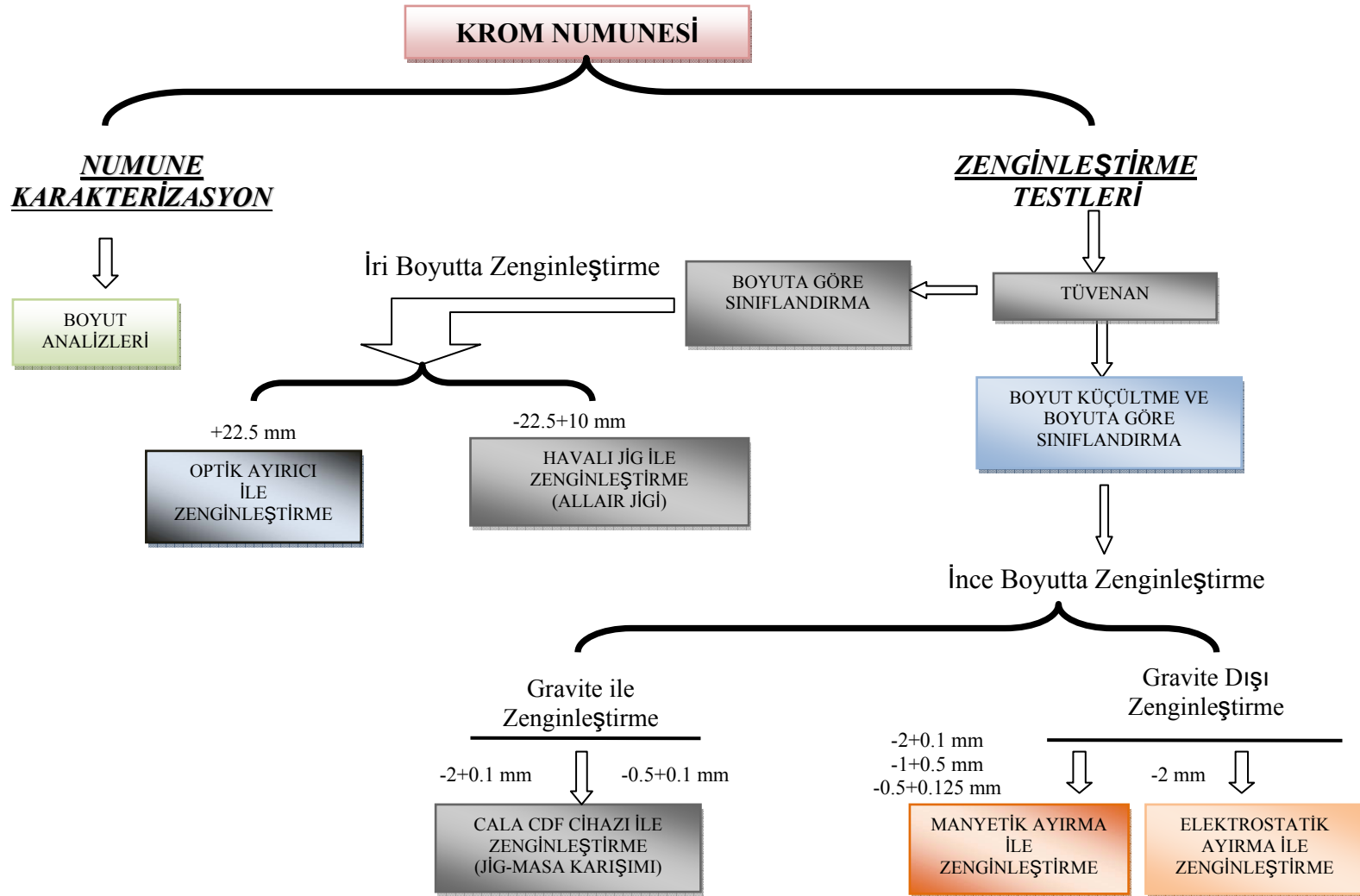
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Amaç

Yaş yöntemle zenginleştirilen Kayseri Pınarbaşı kromitlerinin kuru zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirmeye uygun olup olmadığının araştırılması amaçlanmaktadır.

5.2 Yöntem

Deneysel çalışmalar, Kayseri Pınarbaşı bölgesinden gelen krom cevheri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; öncelikle çalışmalara konu olan kromit numunesi üzerinde, boyut analizleri yapılarak, cevherin yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. Deneysel çalışmalarda izlenen yol ve çalışılan boyutlar ve ilgili cihazlar Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kromit numunesi, ayırma ekipmanları ve uygulanan yöntemler sonraki bölümlerde detaylı olarak verilmektedir.

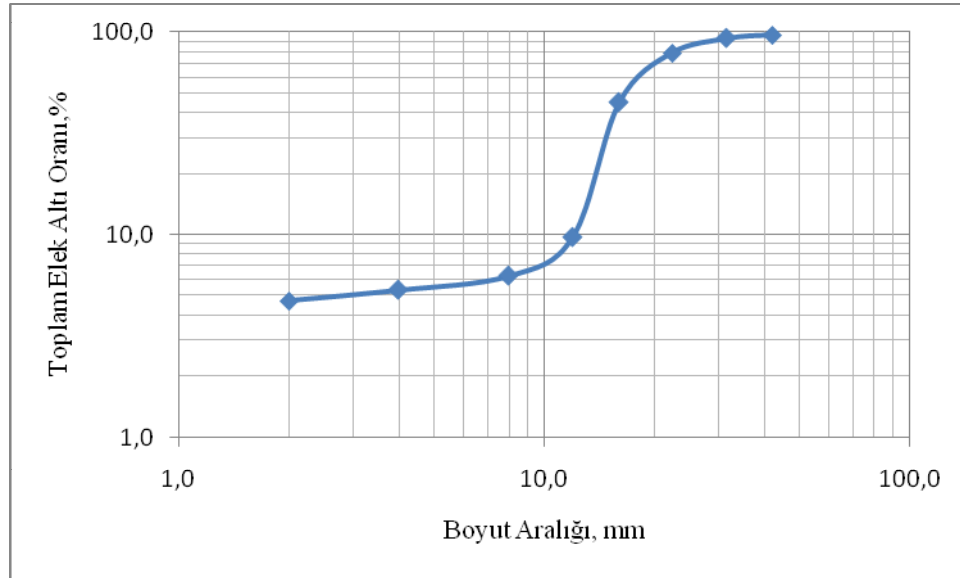


Şekil 5.1: Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol ve Çalışılan Boyutlar ve İlgili Cihazlar

Çizelge 5.1: Tüvenan Kromun Elek Analizi Sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Miktar, %	Σ E.A. Oranı, %	Cr ₂ O ₃ , %	Cr ₂ O ₃ Dağılımı
+42	3.4	100.0	25.0	3.7
-42+31,5	3.7	96.6	25.0	4.0
-31,5+22,4	14.3	92.9	28.0	17.6
-22,4+16	33.8	78.6	21.8	32.3
-16+12	35.1	44.8	21.4	32.9
-12+8	3.5	9.7	19.3	3.0
-8+4	0.9	6.3	24.8	1.0
-4+2	0.6	5.3	25.4	0.7
-2	4.7	4.7	23.7	4.8
Toplam	100.0		22.8	100.0

Fraksiyonel boyut dağılımı incelendiğinde tüvenan malzemenin iri boyutlarda kümелendiği görülmektedir. Anlaşılaçağı gibi, öncelikle kromun safsızlıklarından arınabilmesi için kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir.



Şekil 5.2: Tüvenan Kromitin Tane Boyutu Dağılımı

5.3.Kuru Zenginleştirme Deneyleri

Gravite ile kuru zenginleştirme, yaş zenginleştirmeye benzer sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Yaş olarak jig ya da sarsıntılı masa ile yıkama yöntemleri kuru olarak da uygulanabilmekte ancak, ayırıcı ortam olarak su yerine hava ya da hava/ağır ortam birliktelikleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere sarsıntılı masa ya da jig ile zenginleştirmede tanelerin akışkan ortam içerisindeki çökme hızları farklılığından ve özgül ağırlık farkından yararlanılmaktadır. İlk olarak 1867 yılında Rittinger tarafından öne sürülen, daha sonra da Taggart tarafından konsantrasyon kriteri olarak ifade edilen çökme oranı, S_r , baz alınır;

$$S_r = \frac{d_L}{d_H} = \frac{\rho_H - \rho_F}{\rho_L - \rho_F}$$

Çökme oranı ayrılacak partiküller (ρ_H : ağır mineral, ρ_L : hafif mineral) ve ayırma ortamı özgül ağırlıkları (ρ_F) ve tane büyüklükleri (d_H : ağır mineral, d_L : hafif mineral tane boyutu) ile ilgilidir. Formülden de anlaşılabileceği üzere ağır mineral (krom) ve hafif mineral (silikat) arasındaki büyük yoğunluk farkından dolayı yaş zenginleştirmede olduğu gibi kuru zenginleştirmede de başarı sağlanacağı tahmin edilmektedir [26].

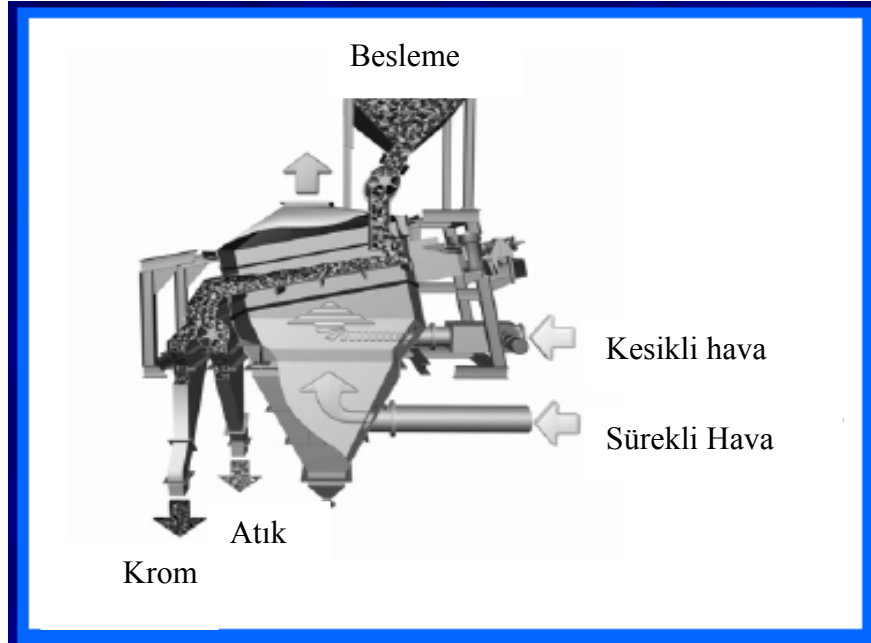
Bu sebeple deneysel çalışmalarda gravite ile zenginleştirme açısından, iri boyutlarda Allair havalı jigi ince boyutlarda ise CDF havalı ayırıcısı kullanılmıştır.

Bunun yanı sıra iri boyutlarda optik ayırmanın mümkün olup olmadığı ve ince boyutlarda CDF havalı ayırıcısına alternatif olarak manyetik ayırma ve elektrostatik ayırma işlemi uygulanmış ve sonuçlar bölümler halinde aşağıda sunulmuştur.

5.3.1. Allair Jig İle Kuru Zenginleştirme

Şekil 5.3 ve 5.4’ de görülen, Allair jigi ile yapılan deneylerde -22.5+10 mm arasındaki malzeme kullanılmıştır. Bu sistemde bir jig kutusu içerisinde bulunan elekli bir yüzey üzerine krom numunesi beslenmekte ve jigleme işlemi fanlar vasıtasıyla, jig kutusu içerisinde yer alan eleğin alt kısmından verilen hava ile gerçekleştirilmektedir. Jigleme kutusuna hava, sabit akışkanlandırma havası ve pülsasyon havası olmak üzere iki şekilde verilmektedir. Cihazda çalışma parametreleri; sabit ve akışkanlandırma havası, elek titreşim frekansı, ürün çıkış

noktalarındaki rotary gate hızlarından ibarettir. Ancak, cihaz üzerinde uzun süreler çalışmış olan operatörlerin tecrübeleri göz önüne alındığında, en etkin parametrenin rotary gate (ürün çıkış bölümü) hızı olduğu ifade edildiğinden, cihaz üzerinde sadece bu parametre denenmiş ve deney sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.3: Allair Jigin Kesit Resmi [26].



Şekil 5.4: Deneylerde Kullanılan Havalı Jig

Çizelge 5.2: Havalı Jig Deneyi Sonuçları

Rotary gate hızı (rpm)	Ürünler	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
8.2	Konsantre	48.0	34.8	86.5
	Artık	52.0	5.0	13.5
	Beslenen	100.0	19.3	100.0
12	Konsantre	46.9	35.7	86.7
	Artık	53.1	4.8	13.3
	Beslenen	100.0	19.3	100.0
16	Konsantre	50.0	30.4	78.8
	Artık	50.0	8.2	21.2
	Besl.	100.0	19.3	100.0
20	Konsantre	47.6	31.9	78.7
	Artık	52.4	7.7	21.3
	Beslenen	100.0	19.3	100.0

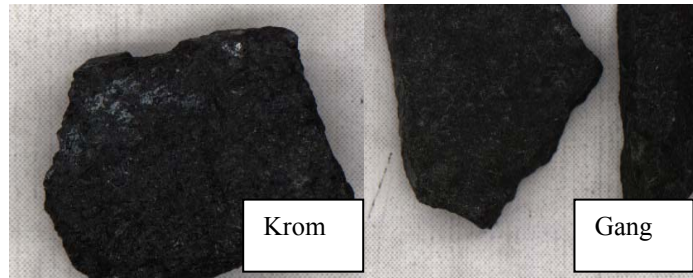
Çizelge 5.2’den görüleceği üzere, farklı rotary gate hızlarında elde edilen konsantre ve artığın metal içeriklerinin 8.2 ve 12 rpm rotary gate hızlarında 16 ve 20 rpm hızına göre daha iyi değerlerde olduğu söylenebilir.

5.3.2. Optik Ayırma

Optik ayırma işlemi Şekil 5.5’de gösterilen sistemde gerçekleştirilmiştir. Optik zenginleştirme deneyinde krom numunesinden, konsantre ve artığı temsil eden iri boyutlu parçalar seçilmiştir. Neredeyse aynı büyüklükte seçilmiş bu parçalar arasında olan ciddi ağırlık farkı sayesinde değerli mineral yantaşından kolaylıkla ayrılabilmiştir. Bilgisayarın da algılayabilmesi için taşın yüzeylerinin temiz olması gerekmektedir. Bu amaçla numuneler suyla yıkanarak yüzeyleri temizlenmiştir. Değerli (krom) ve gang olarak seçilen numunelerin resimleri çekilerek cihaza konsantre ve artık olarak tanıtılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.5: Deneylerde Kullanılan Optik Ayırıcı



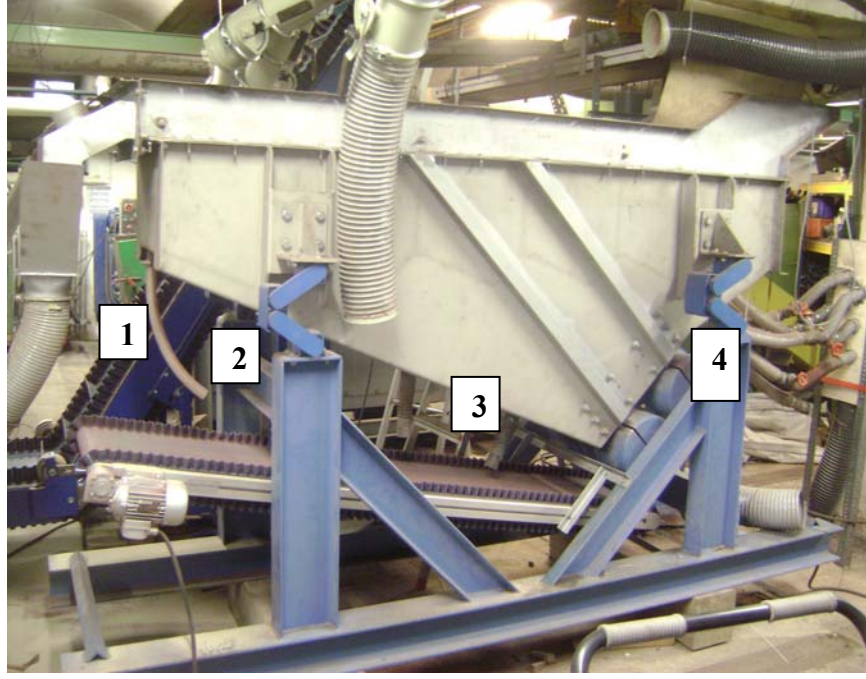
Şekil 5.6: Optik Zenginleştirme Cihazı İle Resmi Çekilen Krom Numunelerinin Görünümü

Optik ayırıcılar da bant aracılığı ile beslenen numune içerisindeki krom ve yantaşın yüzey renginin hassas kameralar tarafından tespit edilip, eş zamanlı bilgisayarda yorumlanıp, basınçlı hava üfleme ile akış içerisinde uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Optik ayırma için numune seçiminde konsantre ve artık el ile ayrılabilmesine karşın, kromun taş içinde çok küçük zerreler halinde bulunması ve cihazın sadece taşın bir yüzünü tarayabilmesinden dolayı; çekilen fotoğraflarda konsantre ve artık arasında bir fark görülememiştir. Bundan dolayı; cihaz konsantre ve artığı aynı numune olarak algıladığından konsantre ve artıklar çoğu zaman aynı bölümde toplanmışlardır. Bu yüzden optik ayırma deneyinde başarı sağlanamamıştır.

5.3.3. Cala Havalı Ayırıcı (CDF)

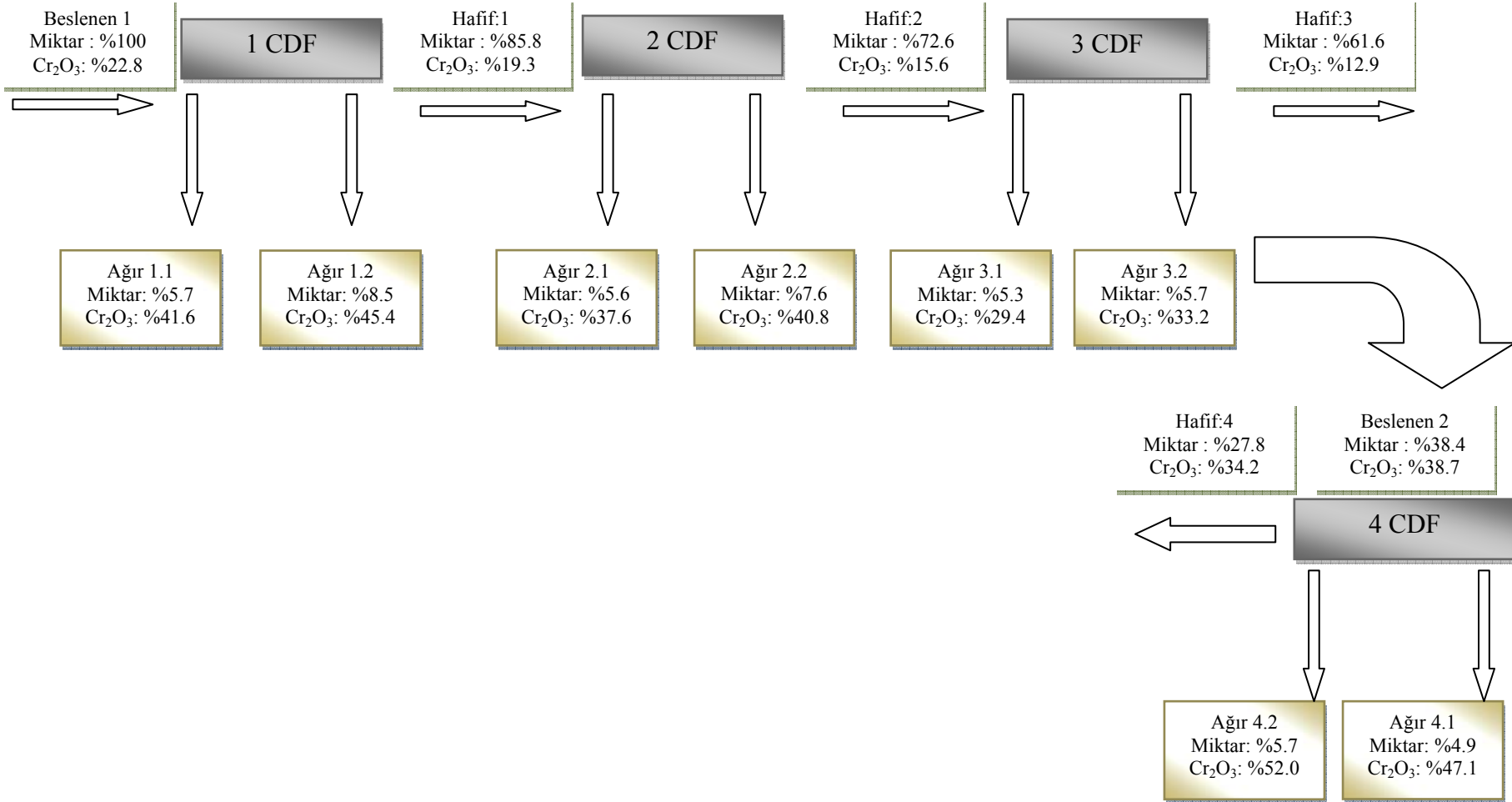
CDF, çalışma uzunluğu 2400 mm genişliği ise 405 mm olan ince boyutlu cevherler için kullanılan pilot ölçekli havalı ayırıcı sistemidir (Şekil 5.7). Üç bölümden meydana gelmektedir. Birincisi; sürücü mekanizması yani malzemeyi sisteme taşıyan bantlardır. İkincisi; ürünleri alma bölmesi, üçüncüsü ise basınçlı hava ünitesidir. Cala ile yapılan deneylerde; $-2+0.1$ mm ve $-0.5+0.1$ mm boyutlarında malzeme kullanılmıştır.

50 kg malzeme bant konveyörler vasıtasıyla cihaza beslenir. Beslenen malzeme 50 saniye içinde cihazdaki turunu tamamlayarak, ayırma yapılabilecek duruma gelmektedir. Masa yüzeyinde 40 mikronluk üç tane elek bulunmaktadır. Bu eleklerin altında 6 tane odacık bulunmaktadır. Kompresörden çıkan basınçlı hava, 6 farklı hava borusu ile bu odalardan geçerek cihazın yüzeyine ulaşır. Hava basıncı miktarı da kompresör çıkışı vanalardan ayarlanmaktadır. Hava basıncının fazla olması malzemeyi istenenden daha fazla havalandırıp kayıplara neden olacağı için hava basıncı, malzemenin havalanma miktarı gözle ayarlanarak artırılır yada azaltılır. Cala'nın saatte harcadığı hava $3-7 \text{ m}^3$ tür. Toplam enerji tüketimi ise maksimum 6.6 kW'tır. Malzemenin cihaz içerisindeki bir turu tamamlaması 50 sn sürmektedir. Numune masa yüzeyine geldiği zaman oluşan hava akımının etkisi ile hafif olan silikatlar, cihaz yüzeyindeki eşikleri atlayarak cihazın ön tarafından alınır. Ağır olan krom ise eşiklerin üzerinden geçemeyerek alt bölmeden alınır. Şekil 5.7'de Cala'nın konsantre ve artık çıkış bölümleri görülmektedir. Malzemenin beslenmeye başladığı zamandan yaklaşık 5 dakika sonra ürün alma ünitelerinden krom ve silikat 5'er saniye süreyle alınmaktadır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi numaralandırılmış bölümlerde 1. bölüm artık alım bölümü, 2. ve 3. bölümler ise ağır mineral olan değerli kromun alındığı bölümlerdir. 4 numaralı bölümde ise sisteme hava sağlayan borular bulunmaktadır [27].



Şekil 5.7: Cala İnce Boyutlu Havalı Ayırıcı

Yukarıda özellikleri verilen CDF ayırıcısı kullanılarak uzman operatör tarafından ayarlanmış optimum çalışma şartlarında, $-2+0.1\text{mm}$ boyut grubundaki ilk deneyde 50 kg krom numunesi kullanılmış ve deney sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir. CDF ile zenginleştirme deneylerinde, her döngüde cihazın 3 adet çıkışından 5’er saniye süreyle örnek alınmıştır. İlk devrenin atık diye tabir ettiğimiz hafif ürünü ardından gelen devrenin besleneni olmaktadır. 4. devrede kullanılmak üzere her devrede 50 saniye süreyle cihazın alt ürünü toplanmaktadır. 4 devreden önce cihaz tamamen boşaltılarak, sadece 3 devreden toplanan ağır ürün beslenmektedir.



Şekil 5.8: -2+0.1 mm CDF Akım Şeması

Çizelge 5.3: -2+0.1 mm CDF Deneyi Sonuçları

Ürünler	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
Hafif 1	85.8	19.3	72.6
Ağır 1	14.2	44.0	27.4
Besleme	100.0	22.8	100.0
Hafif 2	84.6	15.6	68.4
Ağır 2	15.4	39.5	31.6
Besleme	100.0	19.3	100.0
Hafif 3	84.8	12.9	70.1
Ağır 3	15.2	31.3	29.9
Besleme	100.0	15.6	100.0
Hafif 4	72.4	34.2	64.0
Ağır 4	27.6	49.7	36.0
Besleme	100.0	38.7	100.0

Son temizleme aşamasında elde edilen temiz ürün ve artık ürününün toplam Cr₂O₃ değerleri; temiz ürün için %49.7 artık için %34.7 olarak ölçülmüştür.

CDF havalı ayırıcısının ayırma etkinliğinin kıyaslanması amacıyla 2mm altında sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Sarsıntılı masa deney sonuçları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4: -2+0.1 mm Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları

Ürünler	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
Krom 1	14.9	45.4	29.7
Krom 2	21.9	39.9	38.3
Mikst 1	16.6	13.4	9.7
Artık 1	27.8	11.4	13.9
Artık 2	14.3	10.7	6.7
Artık 3	4.5	8.9	1.7
Besleme	100.0	22.8	100.0

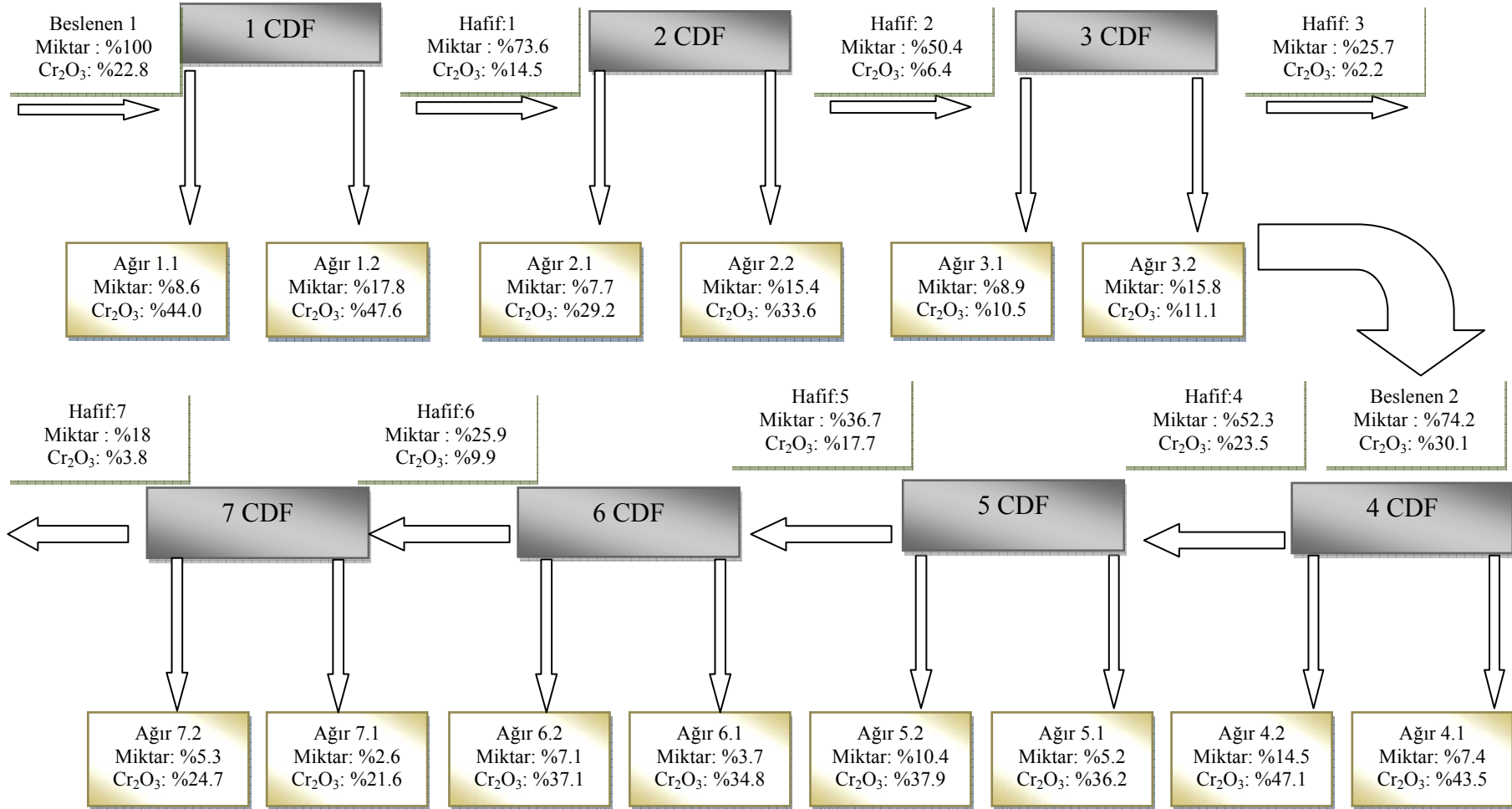
Çizelge 5.3’ te izleneceği gibi; CDF havalı ayırıcı ile yapılan deneyde %38.4 ağırlıkta krom elde edilmiş ve metal içeriği %22.8’den %38.7’ ye kadar çıkmıştır. Yaş sarsıntılı masa ile yapılan ayırma sonucunda ise %36.8 ağırlıkta %42.1 metal

içerikli temiz krom elde edilmiştir. Atılan artık kalitesi açısından sarsıntılı masa ve CDF havalı ayırıcı benzer performans göstermiştir.

Çizelge 5.5.' te görüldüğü gibi, %22.8 Cr içeriğiyle beslenen krom 3 kademe sonunda %25.7 ağırlıkta %2.2 Cr₂O₃ içerikli artık atılmıştır. Devamında, 4. Kademeye beslenen krom içeriği %30.1 ve miktarı %74.2' dir. 7. kademe sonunda miktarca % 18 olan artık içeriği %3.8' dir.

Çizelge 5.6' da sarsıntılı masa sonuçları görülmektedir. Burada %41.6 ağırlığında %45.3 metal içeriğinde krom alınmıştır. Beslenen malzemenin neredeyse yarısı %7 Cr içeriğiyle uzaklaştırılmıştır.

CDF 3 devresinde, malzemenin %61.6 'sı %12.9 Cr krom içeriğiyle atılmaktadır. Bu değer artık için çok fazladır. Bunu azaltmak için tüvenan krom 0.5 mm altına indirilerek deneyler yapılmıştır. Bu grup deneylerde -0.5 mm+0.1 mm arası malzeme cihaza beslenmiştir. Önceki deneyde olduğu gibi ilk 3 kademedede alınan hafif malzeme diğerinin besleneni olmuştur. 4. kademenin besleneni ise ilk 3 kademenin alttan toplanan malzemeleridir. 4. devreden sonra yine cihazdan alınan hafif mineral bir sonrakinin besleneni olmuştur (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: -0.5+0.1 mm CDF Akım Şeması

Çizelge 5.5: -0.5+0.1 mm CDF Deneyi Sonuçları

Ürünler	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
Hafif 1	73.6	14.5	46.8
Ağır 1	26.4	46.5	53.2
Besleme	100.0	22.8	100.0
Hafif 2	74.2	6.4	32.7
Ağır 2	25.8	32.2	67.3
Besleme	100.0	14.5	100.0
Hafif 3	51.0	2.2	17.5
Ağır 3	49.0	11.0	82.5
Besleme	100.0	6.4	100.0
Hafif 4	70.5	23.5	55.0
Ağır 4	29.5	45.9	45.0
Besleme	100.0	30.1	100.0
Hafif 5	70.2	17.7	52.9
Ağır 5	29.8	37.3	47.1
Besleme	100.0	23.5	100.0
Hafif 6	70.6	9.9	39.5
Ağır 6	29.4	36.2	60.5
Besleme	100.0	17.7	100.0
Hafif 7	69.5	3.8	26.7
Ağır 7	30.5	23.7	73.3
Besleme	25.9	9.9	100.0

Çizelge 5.6: -0.5+0.1 mm Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları

Ürünler	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
Krom 1	15.4	49.1	33.1
Krom 2	26.2	43.1	49.4
Mikst 1	10.5	8.6	3.9
Artık 1	29.3	6.6	8.4
Artık 2	18.6	6.4	5.2
Besleme	100.0	22.8	100.0

5.3.4. Manyetik Zenginleştirme

Manyetik ayırma işlemi; kromit ve yan taşlarının uygun bir manyetik alan içerisinde öncelikle manyetik kuvvetler olmak üzere çeşitli kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Genel olarak iri boyutlarda kuru, ince boyutlar içinde yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır.

Zenginleştirme testleri için RWTH Aachen Cevher Hayırlama Laboratuarlarında bulunan yüksek alan şiddetli bant tipi manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Deneylerde, tüvenan numuneyi temsil eden 6 kg malzeme konileme dörtleme metoduyla ayrılmıştır. Bu malzeme çeneli kırıcı ve mardaneli kırıcı kullanılarak, deneylerde gerekli olan -2+1 mm, -1+0.5 mm ve -0.5+0.25 mm boyutlarındaki malzeme elde edilmiştir. Cihaz 300 dev/dk tambur dönüş hızında ve 25000 Gauss manyetik alan şiddetindedir. Malzeme bant üzerine dökülerek beslenir. Ürün alma bölümünde ise konsantre ve artık alma ünitesi olarak iki bölüm vardır. Manyetik ayırma işleminde 3 farklı boyut gurubundaki 500'er gram malzeme ile cihazın 2 parametresi olan; bant hızı ve ürün toplama ayırıcı mesafesi değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda krom numunelerinin manyetik ayırmaya uygun olmadığı görülmüştür. Deneyde kromun tamamına yakını manyetik özellik göstermiştir. Şekil 5.10'da deneysel aşamada kullanılan manyetik ayırıcı görülmektedir.

-0.5 mm boyutunda yapılan manyetik ayırma deneylerinde ise Carpco marka laboratuar ölçekli Yüksek Alan Şiddetli tamburlu manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Tambur hızı 0-300 rpm, tambur çapı: 127 mm, Tambur eni: 50 mm, kapasitesi ise 100 kg/saat' tir. Titreşimli besleme ünitesi mevcuttur. Cihaz parametreleri; tambur dönüş hızı, manyetik alan şiddeti ve besleme hızıdır. Cihazadan 3 farklı ürün alınabilmektedir. Cihaya 1000 gr numune 170 V elektrik alan şiddeti ve 30 Amper akım şiddetinde beslenmiştir. Yapılan bu deneyde de kromun yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıda da ayrılamayacağı görülmüştür. Şekil 5.11'de ise deneylerde kullanılan manyetik ayırıcı verilmiştir.



Şekil 5.10: Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı



Şekil 5.11: Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı

5.3.6. Elektrostatik Ayırma

Elektrostatik ayırma deneyinin yapılacağı cihaz Carpco markadır. Deney koşullarını etkileyen cihaz parametreleri şöyledir; elektrik ile yüklü tamburun hızı, tamburun elektrik alan şiddeti, bıçak mesafesi ve besleme hızıdır. Deney sırasında cihaza -2 mm boyutunda malzeme beslenmiştir. Deney esnasında çeşitli parametreler denenmiş fakat bir ayırma gerçekleşmemiştir. Elektrostatik ayırmanın kullanılan krom numunesine uygun olmadığı söylenebilir.

Elektrostatik ayırmanın başarılı olabilmesi için taneciğe etki eden elektrostatik güçlerin yerçekimi ve taneler arası etkileşim kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir.



Şekil 5.12: Elektrostatik Ayırma Cihazı

6. SONUÇLAR

1) Kayseri Pınarbaşı bölgesi Dedeman A. Ş. Pulpınar Krom İşletmesinden alınan ve yüksek lisans tez çalışmasında deney numunesi olarak kullanılan kromit cevheri üzerinde öncelikle elek analizi yapılmıştır. Elek analizi yapılan tüvenan cevherin, belirli boyut gruplarında dağılımı ve miktarları bulunmuştur. Deneysel çalışmalara göre tüvenan malzemenin %90' nının +12 mm üzerinde ve tamamının Cr_2O_3 içeriğinin %22.8 olduğu görülmüştür.

2) Havalı jig ile yapılan deneylerde farklı rotary gate hızlarında elde edilen konsantre ve artığın miktarlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Rotary gate hızının 8.2 ve 12 rpm değerlerde krom içeriğinin daha yüksek, 16 ve 20 rpm değerlerde Cr içeriğinin daha düştüğü görülmektedir. En uygun rotary gate hızının, Cr_2O_3 içeriği bakımından 12 rpm olduğu belirlenmiştir. Rotary gate hızının 12 rpm olduğu durumda konsantre Cr_2O_3 içeriği %35.7, artık Cr_2O_3 içeriği %4.8 krom elde edilmiştir.

3) Optik Zenginleştirme deneyinde numuneden konsantre ve artığı temsil eden iri boyutlu parçalar seçilmiştir. Konsantre ve artık olarak seçilen numunelerin bandın üzerinde bulunan kamerayla resimleri çekilerek cihaza konsantre ve artık olarak tanıtılmıştır. Ardından numuneler bant vasıtasıyla cihaza beslenmiştir. Ancak cihaz kromit ve artığı aynı numune olarak algıladığından konsantre ve artıklar aynı hücrede toplanmışlardır. Çünkü, çok küçük boyutlarda serbestleşen krom taneleri taşın tamamına yayılmıştır, fakat cihazdaki bant üstü kamera sadece taşın üst yüzünü taramaktadır. Bundan dolayı optik ayırma işleminin genellikle aralarında bariz renk farkı olan minerallerin ayrılmasında kullanımı çok daha doğru olacaktır.

4) Manyetik ayırma ile zenginleştirmede malzeme -2+1 mm , -1+0.25 mm ve -0.25 mm olmak üzere üç farklı boyut grubuna ayrılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde bant hızı ve manyetik alan şiddeti değiştirilmiştir. Fakat kromitin manyetik ayırma cihazı ile ayrılması mümkün olmamıştır. Kullanılan manyetik ayırıcıda,manyetik

duyarlılığa ilave olarak; serbest düşme, merkez kaç kuvveti ve gravite kuvvetleri de ayırmada etkindir.

5) Cala Kuru Havalı Ayırıcı (CDF) ile yapılan 2 mm altı zenginleştirme deneylerinde %14.2 ağırlığında %44.0 tenörlü metal alınmış ve %61.6 ağırlığında %12.9 içerikli artık atılmıştır. 0.5 mm altı yapılan deneylerde ise %26.4 ağırlığında %46.5 tenörlü metal alınmış ve %73.6 ağırlığında %14.5 içerikli artık atılmıştır.

6) Kuru zenginleştirme ile elde edilen sonuçları kıyaslamak amacı ile sulu ortamda sallantılı deneyleri yapılmıştır. Sarsıntılı masa ile zenginleştirmede 2mm altı boyutlarda %36.8 ağırlığında %42.1 tenörlü metal alınmış ve %46.6 ağırlığında %10.7 içerikli artık atılmıştır. . 0.5 mm altı yapılan deneylerde ise %41.6 ağırlığında %45.3 tenörlü metal alınmış ve %37.9 ağırlığında %6.6 içerikli artık atılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **D.P.T.**, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu.Raporu Ankara DPT:2626-ÖİK:637.
- [2] **Papp, J. F.**, 1994. Chromium life cycle study: U. S. Bureau of Mines Information Circular 9411, 94.,
- [3] <<http://en.wikipedia.org>>, alındığı tarih 20.04.2010
- [4] **Gültekin, A.H.**, 2006
- [5] **Önal, G.ve diğ.**, 1986. Kromit Oluşum, Zenginleştirilmesi ve Kullanım Alanları, Etibank
- [6] **Önal, G.,Özpeker, I., Doğan, Z.,Atak, S., Gürkan, V.**, 1986. Kromit Oluşumu, Zenginleştirilmesi ve Kullanım Alanları, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atöryesi-İstanbul.
- [7] **Önal, G.,Özpeker, I., Doğan, Z.,Altıntuğ, A. Ve Renda, D.**, 1995. Türkiye Krom Envanteri, İMMİB, Mart, İstanbul
- [8] **Industrial Minerals.**, 1999. Yaerly statistical book, Şubat
- [9] <<http://minerals.er.usgs.gov>>, alındığı tarih 21.04.2010
- [10] <www.jmo.org.tr>, alındığı tarih 21.04.2010
- [11] <www.mta.gov.tr>, alındığı tarih 21.04.2010
- [12] **Türkiye 14. Madencilik Kongresi**, 1995
- [13] **Nicol S.K. and Bensley C. N.**, 1988. "Recent Developments in Fine Coal Preparation in Australia in Industrial Practice of Fine Coal Processing", R.R., Klimpel and P.T. Luckine., Eds., SME Publ., pp. 147-153.
- [14] **Apodoca, E.L.**, 1988. "Applications of Spiral Concentrators in Fine Coal Processing in Industrial Practice of Fine Coal Processing", R.R. Klimpel and P.T. Luckie., Eds., SME Publ., pp. 87-90.
- [15] **Arvidson, B ve Henderson, D.**, 1997. Rare-Earth Magnetic Separation Equipment and Applications developments, Minerals Engineering, sayı 10, s. 127-137
- [16] **Arslan V.**, Kuru Komur Zenginlestirme Yontemleri , Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, MADENCİLİK, Cilt 45, Sayı 3, Sayfa 9-18, Eylül 2006
- [17] **Van Houwelingen, J. & Tako P.R de Jong** , Dry Cleaning of Coal: Review, Fundamentals and Opportunities

- [18] **Gülsoy Ö., ve Ergün L.**, Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri, Hacettepe Üniversitesi, 2007.
- [19] **Honaker, R.**, 2007. Coarse Dry Coal Cleaning, Workshop on Coal Beneficiation and Utilization of Rejects; Initiatives, Policies and Best Practices, Ranchi, India.
- [20] **C.H. Sampaio, W. Aliaga, E.T. Pacheco, E. Petter and H. Wotruba**-2006. Coal beneficiation of Candiota mine by dry jigging, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil and Technical University of Aachen, Germany
- [21] **Gongmin, L., and Yunsong, Y.**, 2006. Development and application of FGX series compound dry Coal Cleaning System
- [22] **Oder, R.R**, 2002; An Evaluation of the AlphaPrototype MagMill™ for Dry Coal Cleaning”, Coal Preparation, **22**, 323–341.
- [23] **Oder, R. R., Jamison R. E., ve E. D. Brandner**, 2000; “Dry Coal Cleaning with a Magmill”, SME Annual Meeting, Feb. 28-Mar. 1, Salt Lake City, Utah
- [24] **Özer, M.**, 1998; Endüstride Artık Konumundaki Krom Şamlarının Değerlendirilmesi. Bitirme Tezi İtu Maden Fakültesi.
- [25] <www.dedemanmadencilik.com>, alındığı tarih 25.04.2010
- [26] **Patil, D.P**, Development of dry fine coal processing technique, University of Kentucky
- [27] **Weitkamper, L., Wotruba, H.**, Development and Performance of a New Separator for the Dry Gravity Separation of Fines, Technical University of Aachen, Germany



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Sadık Hacıoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa- 17.01.1981

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Lise: Bursa A.O.S. Fen Lisesi

İlköğretim: Bursa Setbaşı İlköğretim Okulu