

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf DEVELİ

**HATAY YÖRESİ TEKCROM MADEN A.Ş KROM İŞLETMESİ TRİYAJ
ARTIKLARININ ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATAY YÖRESİ TEKCROM MADEN A.Ş KROM İŞLETMESİ TRİYAJ
ARTIKLARININ ZENGİNLESTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yusuf DEVELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu Tez 04/03/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Hüseyin VAPUR Prof. Dr. Oktay BAYAT Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

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

**Bu Çalışma Ç. Ü. Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF 2011YL-13**

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZ

HATAY YÖRESİ TEKCROM MADEN A.Ş KROM İŞLETMESİ TRİYAJ ARTIKLARININ ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yusuf DEVELİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
Yıl : 2014, Sayfa:89
Jüri : Doç. Dr. Hüseyin VAPUR
: Prof. Dr. Oktay BAYAT
: Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Bu tez çalışmasında, HATAY İli İskenderun İlçesinde bulunan (Belen) Tekcrom Maden A.Ş. firması Krom işletmesi Triyaj atıklarından alınan kromit numunesinin gravite ayırma yöntemleriyle zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Zenginleştirme çalışmalarında sallantılı masa ve MGS (multi Gravity Separator) ile deneyler yapılmıştır. XRD analizleri sonucunda tüvenan numunede magnezyum kromit, kromit, klinoklor, lizardit ve antigorit mineralleri tespit edilmiştir. Tüvenan numune üzerinde yapılan XRF analizi sonucunda tespit edilen bileşik değerleri ise %29,09 MgO, %1,47 Al₂O₃, %34,16 SiO₂, %14,55 Cr₂O₃, %17,43 Fe₂O₃ olarak tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler -1mm altında dört farklı boyut fraksiyonuna ayrılmıştır. Bu boyut fraksiyonları -1000+500µm, -500+212µm, -212+106µm ve -106+53µm olarak sınıflandırılmıştır. +53µm'nin üstündeki boyut sınıflarında masa deneyleri, -53µm'nin altındaki boyutta ise MGS deneyleri yapılmıştır. Sallantılı masa deneyleri sonucunda -500µm'nin altındaki boyutlarda %49,96 Cr₂O₃'e kadar ulaşan tenörlerde konsantreler alınmıştır. MGS deneylerinde en iyi sonuç olarak ise 200 dev/dak, 2° eğimde, 15mm genlik, %10 katı oranı, 2 lt/dak besleme ve 2lt/dak yıkama suyu çalışma şartlarında %44,78 Cr₂O₃ tenörlü konsantreler alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kromit, Gravite zenginleştirme, Sallantılı Masa, MGS

ABSTRACT

MSc. THESIS

INVESTIGATION OF THE ENRICHMENT POSSIBILITIES OF TEKCROM MINING COMPANY CHROMITE HAND SORTING TAILINGS IN HATAY AREA

Yusuf DEVELİ

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

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR
Year : 2014, Pages: 89
Jury : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR
: Prof. Dr. Oktay BAYAT
: Asst.Prof. Dr. Mustafa AKYILDIZ

In this study, chromite ore samples were taken from hand sorting tailings of Tekcrom Mining Company which is located in İskenderın (Belen), Hatay. The samples were investigated under gravity methods to determine enrichment possibilities. The experiments of shaking table and MGS (multi Gravity Separator) were performed as processing methods. XRD analysis showed that the tailings mainly contain magnesiochromite, chromite, clinocllore, lizardite and antigorite minerals. According to the XRF analysis, tailings are contained of 29,09% MgO, 1,47% Al₂O₃, 34,14% SiO₂, 14,55% Cr₂O₃. The Sample worked at the study divided into four dimensional fractions as -1.000+500 µm, -500+212 µm, -212+106 µm and -106+53 µm. While the samples whose particle sizes are over +53 µm were tested at the shaking table, the other samples whose particle sizes are under -53 µm were tested with MGS. The samples had -500 µm dimensions were able to enrich 49,95% Cr₂O₃ by shaking table test. The best result of MGS experiments was 44.78% Cr₂O₃ grade by optimum conditions (200 rpm, 2° drum slope, 15mm amplitude, 10% solids ratio with 2 L/min flow rate and wash water 2 L/min).

Key Words: Chromite, Gravity seperation, shaking table, MGS

TEŞEKKÜR

Tüm yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen başta danışman hocalarım Doç Dr. Hüseyin VAPUR ve Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ'YE teşekkürlerimi sunarım. Eğitim ve tez çalışmalarım sırasında destek ve yardımlarını esirgemeyen tüm Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü akademisyen ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, İstanbul teknik üniversitesi cevher hazırlama bölümünde yapmış olduğum laboratuvar deney çalışmalarında yardımcı olan Mühendis Mustafa ÖZER'e ve Dr. Ozan KÖKKİLİÇ'a teşekkür ederim. Tez çalışmalarımda yardım ve desteklerini esirgemeyen Tekcrom Maden A.Ş. yönetici ve çalışanlarına başta S. Haldun AKAR olmak üzere teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana maddi manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	3
1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri.....	5
1.1.2. Kromun Kimyasal Özellikleri	5
1.1.3 Krom Mineralleri	6
1.1.4. Kromit Yantaşları.....	7
1.2. Kromit Yataklarının Oluşumu	7
1.2.1. Çalışma Sahası Jeolojisi.....	8
1.3. Krom Rezervi ve Üretimi.....	11
1.3.1. Dünya krom rezervi ve üretimi	11
1.3.2. Türkiye krom rezervi ve üretimi	12
1.4. Ürün Standartları.....	15
1.5. Kromun Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri	19
1.6. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri	19
1.6.1. Elle Ayıklama (Tavuklama, triyaj)	22
1.6.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme	22
1.6.2.1. Jig İle Zenginleştirme.....	24
1.6.2.2. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme	24
1.6.2.3. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) İle Zenginleştirme	26
1.6.2.4. Knelson Konsantratörü İle Zenginleştirme	31
1.6.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme	34
1.6.4. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme.....	36
1.6.5. Flotasyon İle Zenginleştirme.....	37

1.7. Ülkemizde Çalışır Durumda Bulunan Bazı Krom Zenginleştirme Tesisleri	38
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	41
3. MATERYAL VE METOD	43
3.1. Kromit Numunesinin Hazırlanması	43
3.1.1. Numunenin Minerolojik ve Kimyasal Analizi.....	46
3.2. Zenginleştirme Çalışmaları	53
3.2.1. Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri Belirleme Deneyleri	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. Numunelerin Karakterizasyonu	55
4.1.1. Öğütme ve Öğütme Süresinin Belirlenmesi.....	55
4.2. Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri Belirleme Deneyleri	60
4.3. Sallantılı Masa ve MGS’de Proses Oluşturma Deneyleri.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Proseslerinin Sınıflandırması	2
Çizelge 1.2.	Krom Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	6
Çizelge 1.3.	Başlıca Krom Cevheri Mineralleri ve Özellikleri	6
Çizelge 1.4.	Kromitin Yantaşları	7
Çizelge 1.5	Stratiform ve Podiform Tipteki Kromit Yataklarının Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması.....	8
Çizelge 1.6.	Metalürji Sanayinde Aranan Krom Bileşimi Özellikleri.....	16
Çizelge 1.7.	Metalürji Sanayinde Kullanılan Ticari Bazda Aranan Krom Bileşimi Özellikleri	16
Çizelge 1.8.	Refrakter Sanayinde Aranan Krom Konsantresinin Özellikleri.....	17
Çizelge 1.9.	Kimya Sanayinde Aranan Krom Konsantre Özellikleri.....	18
Çizelge 1.10.	Özgül Ağırlık Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Boyutları	23
Çizelge 3.1.	20mm altına kırılmış cevherin kuru olarak yapılmış elek analizi	43
Çizelge 3.2.	5mm altına kırılmış cevherin kuru olarak yapılmış elek analizi	44
Çizelge 3.3.	XRD analizi sonucu tüvanan kromit numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler	47
Çizelge 3.4.	XRD analizi sonucu -1000+500µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.....	48
Çizelge 3.5.	XRD analizi sonucu -500+212µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler	48
Çizelge 3.6.	XRD analizi sonucu -212+106µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler	49
Çizelge 3.7.	XRD analizi sonucu -106µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler	50
Çizelge 3.8.	XRF analizi sonucu tüvanan numunede tespit edilen bileşikler.....	51
Çizelge 3.9.	Numuneler üzerine yapılan yaş kimyasal analiz sonuçları.....	52

Çizelge 4.1.	7.5dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.....	55
Çizelge 4.2.	10dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.....	56
Çizelge 4.3.	12,5dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.....	57
Çizelge 4.4.	15dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.....	58
Çizelge 4.5.	Öğütme sürelerine göre 1000-106µm aralığındaki miktar.	59
Çizelge 4.6.	-1000+500µm boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları	60
Çizelge 4.7.	-500+212µm boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları	62
Çizelge 4.8.	-212+106µm boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları	63
Çizelge 4.9.	-1000+500µm boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları...	65
Çizelge 4.10.	-500+212µm boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları.....	66
Çizelge 4.11.	-212+106µm boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları.....	67
Çizelge 4.12.	-1000+500µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları	72
Çizelge 4.13.	-500+212µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları	74
Çizelge 4.14.	-212+106µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları	75
Çizelge 4.15.	-106µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları	77
Çizelge 4.16.	-53µm boyut sınıfında MGS proses deney sonuçları	77
Çizelge 4.17.	- Proses oluşturma deneyleri sonucunda oluşan besleme malına göre verim değerleri	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tipli Kromit Merceklerinin Şematik Gösterimi	4
Şekil 1.2.	Kızıldağ (Hatay) Ofiyolitinin Basitleştirilmiş Jeoloji Haritası.....	9
Şekil 1.3.	Kızıldağ (Hatay) Ofiyolitinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti	10
Şekil 1.4.	Numune Alınan Çalışma Sahasından Görünüm.....	11
Şekil 1.5.	Türkiye Krom Yatakları	13
Şekil 1.6.	Türkiye Krom Yatakları Bölgelere Göre Dağılım Oranları	13
Şekil 1.7.	Akan Su Tabakasında Katı Hareketi Üzerindeki Eşik Etkisi.....	25
Şekil 1.8.	Mgs Ünitesi Şematik Gösterimi	27
Şekil 1.9.	Knelson Ayırıcısı ve Şematik Görünüşü	33
Şekil 1.10.	Knelson Ayırıcısının Düşey Kesiti.....	34
Şekil 1.11.	Sanayi Tipi Manyetik Ayırıcı.....	35
Şekil 1.12.	Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensibi	36
Şekil 1.13.	Elektrostatik Ayırma Prensibi	37
Şekil 1.14.	Pınarbaşı Dedeman Krom Konsantre Tesisi Akım Şeması.....	39
Şekil 1.15.	Çevikler Krom Konsantre Tesisinin Akım Şeması	40
Şekil 3.1.	20mm Altına Kırılmış Cevherin Kümülatif Elek Altı ve Üstü Grafiği.....	44
Şekil 3.2.	5mm Altına Kırılmış Cevherin Kümülatif Elek Altı ve Üstü Grafiği.....	45
Şekil 3.3.	Numune Hazırlama Akım Şeması	46
Şekil 3.4.	Besleme Malı Kromit Numunesi XRD Grafiği.....	47
Şekil 3.5.	-1000+500µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği	48
Şekil 3.6.	-500+212µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği	49
Şekil 3.7.	-212+106µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği	50
Şekil 3.8.	-106µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği.....	51
Şekil 3.9.	Çukurova Üniversitesinde yapılan parametre deneylerinde kullanılan laboratuvar ölçekli Wilfey tip sallantılı masa.....	53
Şekil 4.1.	7.5dk. Öğütme Süresi İçin Kümülatif Elek Altı Ve Üstü Grafiği	56

Şekil 4.2.	10dk. Öğütme Süresi İçin Kümülatif Elek Altı Ve Üstü Grafiği	57
Şekil 4.3.	12,5dk. Öğütme Süresi İçin Kümülatif Elek Altı Ve Üstü Grafiği	58
Şekil 4.4.	15dk. Öğütme Süresi İçin Kümülatif Elek Altı Ve Üstü Grafiği	59
Şekil 4.5.	-1000+500µm Boyut Sınıfı Frekans – Verim – Tenör Grafiği.....	61
Şekil 4.6.	-500+212µm Boyut Sınıfı Frekans – Verim – Tenör Grafiği.....	62
Şekil 4.7.	-212+106µm Boyut Sınıfı Frekans – Verim – Tenör Grafiği.....	64
Şekil 4.8.	-1000+500µm Boyut Sınıfı Eğim – Verim – Tenör Grafiği.....	65
Şekil 4.9.	-500+212µm Boyut Sınıfı Eğim – Verim – Tenör Grafiği.....	66
Şekil 4.10.	-212+106µm Boyut Sınıfı Frekans – Verim – Tenör Grafiği.....	68
Şekil 4.11.	İstanbul Teknik Üniversitesinde proses deneylerinde kullanılan Wilfey tipi sallantılı masa.....	69
Şekil 4.12.	İstanbul Teknik Üniversitesinde deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli C900 tipi MGS cihazı.....	71
Şekil 4.13.	-1000+500µm Boyut Sınıfında Sallantılı Masa Deney Akım Şeması.....	72
Şekil 4.14.	-500+212µm Boyut Sınıfında Sallantılı Masa Deney Akım Şeması.....	73
Şekil 4.15.	-212+106µm Boyut Sınıfında Sallantılı Masa Deney Akım Şeması.....	75
Şekil 4.16.	-106+53µm Boyut Sınıfında Sallantılı Masa Deney Akım Şeması...	76
Şekil 4.17.	-53µm Boyut Sınıfında Mgs Deney Akım Şeması.....	78

1. GİRİŞ

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

Maden cevherleri ocaktan elde edildikten sonra ergitmeye (izabe) veya sanayinin diğer bölümlerine satılır. Zengin maden cevherlerinin azalması ve sanayinin standart ham maddeler talep etmesi neticesinde düşük tenörlü cevherlerin yapısında bulunan kıymetli minerallerin ayrılarak, standart şartlara uygun konsantreler halinde sanayiye arz edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan işlemlere, cevher hazırlama veya zenginleştirme (veya maden zenginleştirme) işlemleri diyoruz (Tolun, 1960). Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerini aşağıdaki şekilde sınıflamak mümkündür. Bunlar Çizelge 1,1'de gösterilmiştir.

Endüstrinin çok önemli gereklerinden olan krom ülkemiz madenciliği içinde çok değerli ve önemlidir. Bu tez çalışmasında, Tekcrom Maden A.Ş firmasının Hatay İli İskenderun İlçesinde bulunan işletmesinden temin edilen triyaj artıklarının hangi ölçülerde ve hangi deney koşullarında zenginleştirilebileceğini tespit etmek amacıyla deneyler yapılmıştır.

Çizelge 1.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Proseslerinin Sınıflandırması (Orel ve İmre, 1967).

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

1.1. Genel Bilgiler

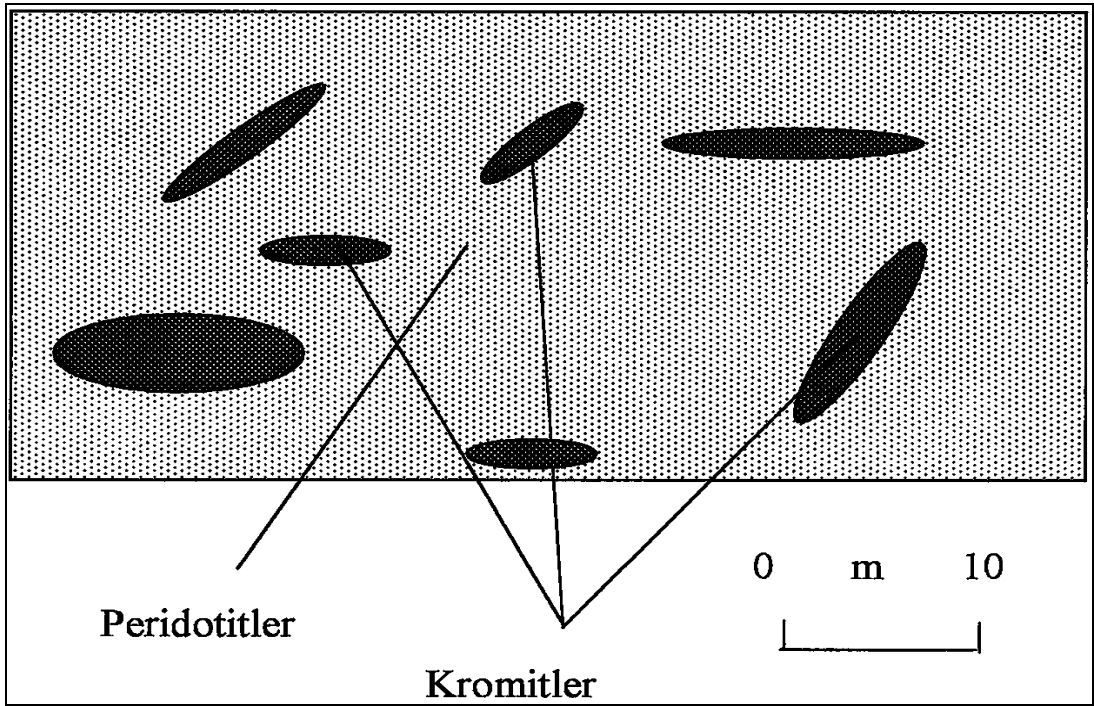
Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom metali; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerindedir. Krom, Yunan dilinde renk anlamına gelen Chrome'den alınmış olup, sert, parlak ve gümüşü renkte bir metale verilen isimdir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral ise kromittir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, kübik sistemde kristallenmektedir. Teorik formülü $FeCr_2O_4$ olmakla birlikte, doğada genellikle $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$ olarak bulunmaktadır (Pobb, J.F., 1997)

Kromit yatakları, peridotit genel ismiyle anılan ultrabazik magmatik kayaları içinde stratiform (tabakalı) veya podiform (merceksi) kütle halinde bulunmaktadır. Stratiform tipi yataklar geniş alana yayılmış kesintisiz düzgün tabakalar halinde ve büyük rezervler teşkil etmektedir. Bu tip cevherlerde Cr_2O_3 tenörleri genelde %40'ın altında, Fe tenörü yüksek, Al tenörü düşük ve Cr/Fe oranları ise 2 civarındadır. Podiform yataklar ise alpin orojenezinin etkisi altında kalmış kuşaklarda buldukları için "Alpin" tipi yataklar olarak ta isimlendirilirler. Tektonik hareketlere fazlasıyla maruz kalmış olduklarından mercek şeklinde küçük ve düzensiz şekil gösterirler. Bu tip yatakların rezervi birkaç tondan birkaç milyon tona kadar değişebilmektedir. Bunların devamlılıkları sınırlı oldukları için büyük rezervler oluşturamazlar, arama ve işletmeleri de oldukça zordur. Ancak genellikle yüksek kromlu cevherlerdir. Refrakter özellikte yüksek alüminyumlu cevherlerinde tek kaynağı bu tip yataklardır (Deniz, V., 1992).

Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayaç topluluklar köken, jeolojik onum, mineraloji, doku, v.b. özellikleri yönüyle başlıca üç tipe ayrılırlar:

Alpin tip cevherler, Cr/Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üç çeyreğinde kromit üretimi daha çok alpin tip yataklardan yapılmıştır. Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranı düşük, FeO içeriği yüksek olan stratiform tip yataklardan üretilen cevher ise, 1970'li yıllara kadar genelde kimya sanayinde kullanılmıştır (DPT, 2001).

Podiform tip yataklar ise Alpin orojenezinin etkisi altında kalmış kuşaklarda buldukları için “Alpin Tipi” yataklar olarak da isimlendirilir. Tektonik hareketlere fazlasıyla maruz kalmış olduklarından mercek şeklinde küçük ve düzensiz bir şekil gösterirler yatak boyları birkaç on metreden daha fazla olmayıp mercek, yığın ve kese şeklindedirler. Kromit kütleleri ultramafik kayalar içerisinde bulunur ve bu kayalar genellikle serpantinleşmişlerdir. Tipik bir podiform kromit yatağı Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Zedef, 1995).



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

Stratiform tipteki kromit yatakları Dünya’da bilinen bütün kromit kaynaklarının %98’ini teşkil eder (Ancak Dünya’da üretilen kromitin yarısı podiform yarısı stratiformdur). Magmatik kompleksleri bantlı yapıları ile çok büyük paralellik arz eder. Kromit bandı bazen kilometreler boyunca hiç eksiksiz olarak devam eder. Kromit bantları bazen sil şeklinde gözlenirler. Her bir kromit bandı birkaç mm ile 1 metre kalınlığındadır ve kromit bu bantlarda masif yapıdadır. Bantlar arasında ve

kromitli seviyeler dışında gabroik magmadan türetme, dunit, peridotitler ve piroksenler yer alır (Zedef, 1995).

1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri

Kromit minerali ve krom yatakları, ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masif, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve dissemine bantlı gibi nitelendirilmelerini sağlar. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır (DPT, 2001).

1.1.2. Kromun Kimyasal Özellikleri

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO_2 , Cr_2O_3 ve Al_2O_3 yüzdeleri ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği %68'dir.

Kimyasal cevher olarak tanımlanan yüksek demirli krom cevheri, gelişen teknolojiyle artık metalürji sanayinde de kullanılabilir (DPT, 2001). Krom elementinin başlıca kimyasal özellikleri Çizelge 1.2'de verilmektedir.

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

Parametre	Özellik
Sembol	Cr
Atom Numarası	24
Atom Ağırlığı	51,996
Atom Çapı	1,18 Å
Elastisite Modülü	19.000 kg/mm ²
Ergime Noktası	1.857 ± 20 °C
Kaynama Noktası	2.672 °C
Özgül Ağırlığı	7,18 – 7,20 gr/cm ³ (20 °C'de)
Özgül Isı	0,108 cal/gr.
Özgül ağırlığı	4,1 – 4,9 g/cm ³
Sertliği	5,5
Rengi	Parlak siyah
Çizgi rengi	Kahverengi

1.1.3 Krom Mineralleri

Krom elementi ihtiva eden ancak ekonomik olarak önem taşıyan tek mineral kromittir. Çizelge 1.3'de kromit ve diğer krom cevher minerallerine ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 1.3. Başlıca Krom Cevheri Mineralleri ve Özellikleri (Deniz, 1992)

Mineral Adı	% Cr ₂ O ₃	Kristal Sistemi	Renk	Çizgi Rengi	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Kromit	68	Kübik	Gri - Kahve	Koyu Kahve	5,5	4,1 - 4,9
Uvarovit	30,6	Kübik	Zümrüt Yeşili	-	7,5	3,4 - 3,5
Crocoit	30,1	Monoklinik	Sarı- Kırmızı	Turuncu	2,5 - 3	5,9 - 6,1
Daubrejite	53,1	-	-	-	-	-
Dietzeite	15,3	Monoklinik	Altın sarısı	-	3 - 4	3,7
Phoeni cochroite	17,5	Ortorombik	Sarı - Kırmızı	Tuğla kırmızısı	3	5,7
Belitle	17,3	Hexagonal	San - Turuncu	-	2,5	5,5
Kemererit	-	-	Kırmızı - Pembe	-	-	-

1.1.4. Kromit Yantaşları

Kromitteki gang minerallerin oranı %5-25 arasında değişir; (Gence, 1985). Çizelge 1.4’de kromit yanında en sık rastlanan yan taşları verilmiştir.

Çizelge 1.4. Kromitin Yantaşları ve Gang Mineralleri (Deniz, 1992)

Kromit Yantaşları	Kimyasal Formülü	Sertlik (Mohs)	oğunluk (gr/cm³)
Serpantin	3MgO.2SiO ₂ .2H ₂ O	3 - 4	2,6
Olivin	2(Mg, Fe)O.SiO ₂	7	3,2 - 4
Feldspatlar	CaO. Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	-	-
Proksen Diopsit	CaO.MgO. 2SiO ₂	-	-
Enstatit	MgO. SiO ₂	-	-
Bronzit	(Mg, Fe)O. SiO ₂	-	-

1.2. Kromit Yataklarının Oluşumu

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

Okyanusal kabuklar ve üst mantonun parçaları olarak düşünülen ofiyolitler, ultramafik ve mafik kayaların özel bir topluluğudur (Coleman, 1977).

Stratiform ve podiform tipi kromit yatakların genel karşılaştırması Çizelge 1.5’de gösterilmiştir.

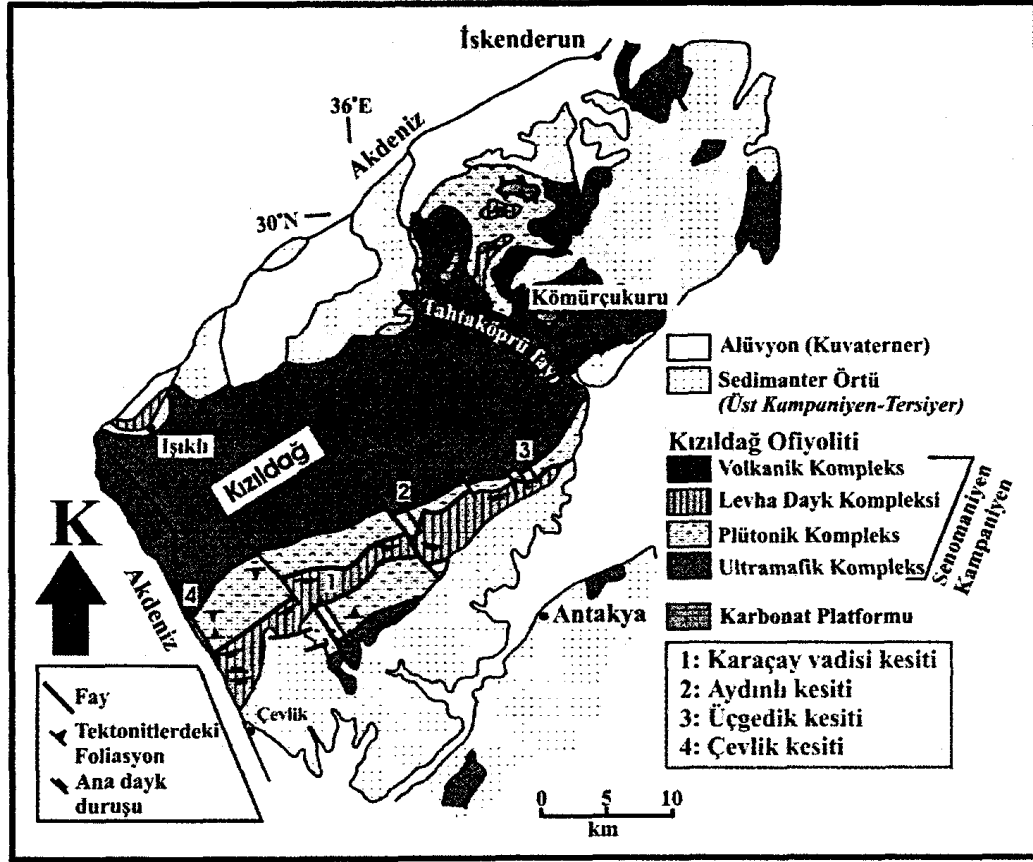
Çizelge 1.5. Stratiform ve Podiform Tipteki Kromit Yataklarının Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması (Zedef, 1995)

Özellik	Stratiform	Podiform
Yanal Uzunım	Kilometrelerce	Birkaç on metre ile sınırlı
Morfolojik Şekil	Kalınlıkları birkaç metreye kadar olan bantlar şeklinde	Mercek ve yığın şeklinde
Endüstride Kullanımı	Genellikle refrakter	Genellikle metalürjik
Rezerv	Milyonlarca ton	En fazla birkaç milyon ton, genellikle 100.000 tondan az
Cr₂O₃ Tenörü	Düşük	Yüksek
Tektonizma	Ya hiç yok, ya da çok az	Fazla
Kromitin Oluşum Yaşı	Prekambriyen	Prekambriyen sonrası
Dünya Üzerindeki Dağılımı	Çok sınırlı, sadece G. Afrika, Zimbabve, Finlandiya ve Grönland	Ultramafik kayaların bulunduğu her yerde Urallar. Türkiye, Macaristan, Yunanistan.

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

1.2.1. Çalışma Sahası Jeolojisi

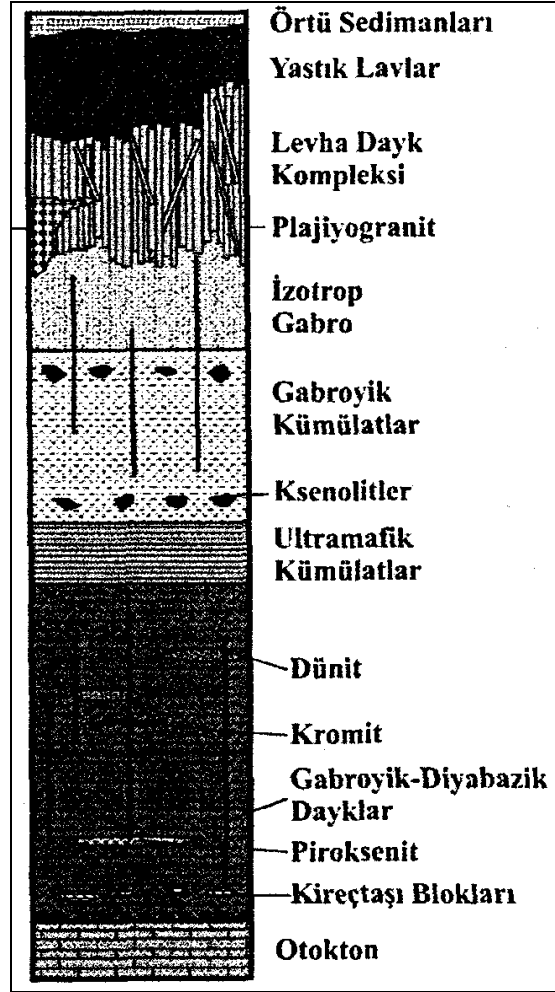
Çalışma sahası Kızıldağ (Hatay) ofiyoliti içinde kalmaktadır.



Şekil 1.2. Kızılbaş (Hatay) ofiyolitinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Selçuk, 1981; Pişkin, 1986; Dilek ve Delaloye, 1992)

Türkiye ofiyolitlerinin en eksiksiz ve en iyi korunmuş olan Kızılbaş ofiyoliti Arap yarımadasına ait Kambriyen-Kretase yaşlı kalın bir otokton napı üzerine yerleşmiştir.

Amanos dağlarındaki ofiyolit napları, yaklaşık 1300 km²'lik bir alanı kaplayan birbirinden ayrılmış nap ve klipler halinde görülmektedir. Kızılbaş (Hatay) ofiyoliti Amanos dağlarının güneybatıdaki en son bölümü olup, ultramafik-mafik kayalardan oluşmakta, İskenderun-Belen-Bedirge-Antakya-Çevlik arasında yaklaşık 950 km²'lik bir alanda KD-GB yönünde yayılım göstermektedir. Yapısal olarak KB doğrultulu büyük açılı Tahtaköprü Fayı ile iki farklı masife ayrılan, Kızılbaş (Hatay) ofiyoliti (Şekil 1.3), Güney Türkiye'de en iyi korunmuş ofiyolitik masiflerden birisi olup tabandan tavana doğru tektonitler, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha daykları, volkanikler ve örtü sedimanlarından oluşan tam bir ofiyolit istifi sunmaktadır (Şekil 1.2). Kızılbaş (Hatay) ofiyoliti özellikle Akdeniz kıyıları boyunca geniş alanlar kaplamakta ve mükemmel yüzeylenmeler sunmaktadırlar. (Selçuk, 1981; Pişkin, 1986; Dilek ve Delaloye, 1992)



Şekil 1.3. Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin geliştirilmiş stratigrafik kesiti (Selçuk, 1981; Pişkin, 1986; Dilek ve Delaloye, 1992)

Çalışma sahasında (Şekil 1.4) krom cevherleşmeleri tamamen ultrabazik kayalar içerisinde yer almaktadır. Sahada ofiyolitik seri (ofiyolitik melanj) kendisini göstermektedir. Bu ofiyolitler, peridotitik kayalar (dünit, harzburjit olivinli kayalar vb.), yer yer derinlik magmatiklerini (diyabaz, dolerit vb.) içermektedir.

Çalışma sahası içinde cevherleşme Alpin (Podiform) tipte olup yaklaşık 50m genişlik ve 200m uzunlukta bir alandadır (Şekil 3.4.). Cevherleşme K60⁰D doğrultusunda ve eğim güney batıya doğrudur. Cevherleşme mercerler halinde dizilmiştir. Mercer genişlikleri değişkendir. Cevher ince serpantin ve dünitte çevrili harzburjitler içerisinde. Yer yer cevher dolerit ve diyabaz daykları ile kesilmiş veya parçalanmıştır. Cevher ana kütlelerinde Cr₂O₃ tenörü %36-44 arasında değişmektedir.



Şekil 1.4. Numune alınan çalışma sahasından görünüm

1.3. Krom Rezervi ve Üretimi

1.3.1. Dünya krom rezervi ve üretimi

Dünya toplam kromit rezervi 7.6 milyar ton düzeyinde ve bunun büyük bir kısmı stratiform yataklanma şeklindedir. Dünyada 3,6 milyar ton görünür rezerv vardır (Çizelge 1.6.) ve işletilebilen krom yatakları başlıca Güney Afrika Cumhuriyeti, Kazakistan, Zimbabve, Finlandiya, Hindistan, Türkiye, İran, Filipinler Küba ve Brezilya’da bulunmaktadır (Ağaayak, T. 2004).

Dünya krom rezervleri (Minerals Commodity -2011) 350 Milyon ton’un üzerindedir. Bu rezervlerin 180 milyon tonu Kazakistan, 130 milyon tonu Güney Afrika ve 44 milyon tonu Hindistan’da bulunmaktadır. (Türkiye de krom rezervleri 100 milyon tonun üzerinde olmasına karşın burada gösterilmemiştir.) Dünya krom üreticisi ülkeler göz önüne alındığında, bu üç ülke dışında kalan ülkelerde bulunan rezervlerin nispeten küçük rezervler olduğu bilinmektedir. Bir genelleme yapmak gerekirse; büyük rezervler genelde stratiform tipteki yataklarda (Güney Afrika, Zimbabve ve Finlandiya), küçük rezervler ise Alpin tip yataklarda bulunmaktadır.

Krom cevheri üreten belli başlı ülkelerin sayısı 30 dolayındadır. Güney Afrika 2010 yılındaki 8 500 000 tonluk üretimi ile dünya üretiminde % 39 paya

ulaşmıştır Dünya krom üretiminde Hindistan'ın üretim performansı da dikkat çekicidir. Sürekli artan bir üretim hızı ile Hindistan, 2010 yılındaki 3 800 000 ton'luk üretime ulaşarak 2. sıraya yükselmiştir.

1.3.2. Türkiye krom rezervi ve üretimi

Türkiye de krom yatakları belirgin bir dağılım düzeni göstermeksizin peridotitler içinde ülke geneline yayılmış durumdadır (Şekil 1.5). Bilindiği gibi, Türkiye dünyanın önemli kromit üreticileri arasında yer almaktadır. Krom cevher ve konsantresinde Türkiye kendi kendine yeterli durumdadır. Mevcut ferrokrom tesislerinin ihtiyaçlarını aşan krom cevheri üretimi, uluslar arası piyasalardaki gelişmelere bağlı olarak ihracat yoluyla değerlendirilmektedir (9. 5 Yıllık Kalkınma Planı). Türkiye'de 1000 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru bulunmaktadır. Coğrafik yönden krom yataklarının dağılımı 6 bölgede toplanabilir. Bu bölgelerdeki bilinen önemli zuhurlar %Cr₂O₃ tenör değerleri aşağıda verilmektedir (Krom Raporu, 2005).

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), Kapın (700 000 ton, %43-47).

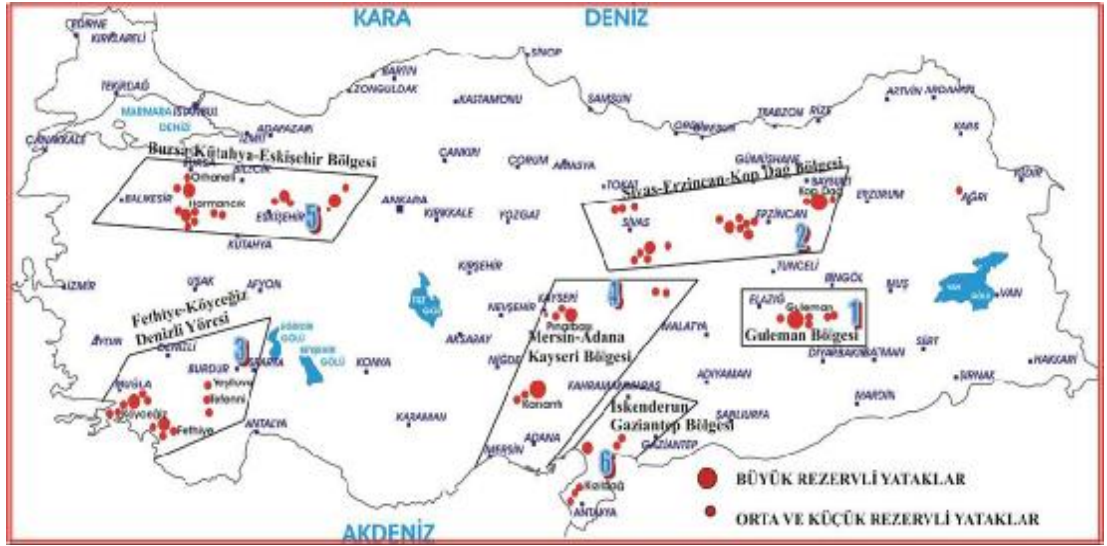
Fethiye-Köyceğiz-Denizli Yöresi: Karaismailler (800 000 ton, %30-38), Üzümlü-Sazlı 100 000 ton, %36), Biticealan (102 000 ton, %44-48), Kazandere (236 000 ton, %37.5), Kandak (100 000 ton, %40-46).

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-Karınçalı (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).

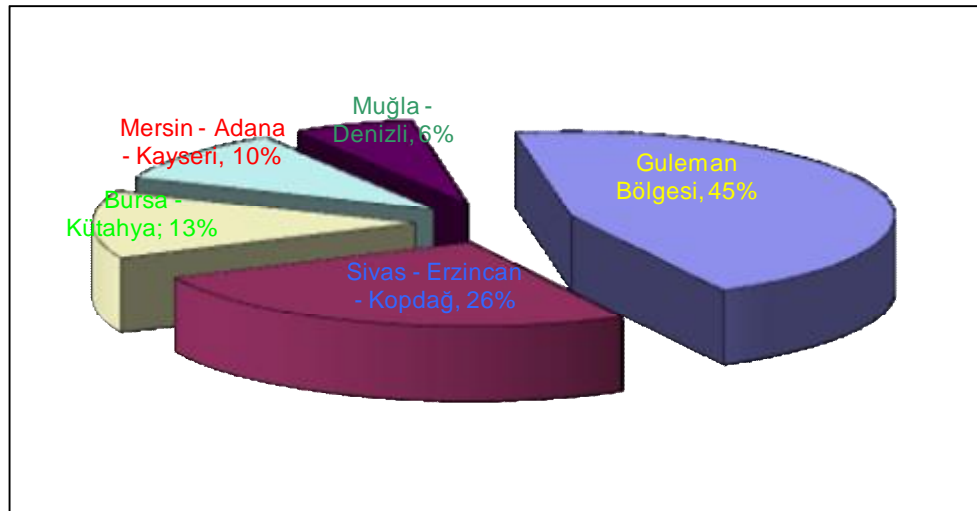
Mersin-Adana-Kayseri Yöresi: Adana- Aladağ (198 milyon ton ,%5.60), Kayseri-Pınarbaşı -Dedeman 9 nolu Ocak (490 000 ton, %20-30, Tarla Ocak 300 000 ton, %10-20).

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).

İskenderun-Kahramanmaraş Yöresi: Hatay-Kızıldağ (117 000 ton, %34-44).



Şekil 1.5. Türkiye krom yatakları.



Şekil 1.6. Türkiye krom yatakları bölgelere göre dağılım oranları.

Türkiye kromit rezerv potansiyeli açısından zengin bir ülkedir. Ancak yeterli arama faaliyetleri yapılmadığından kesin bir rezerv vermek mümkün değildir (Önal, G., Güney, A., 1988). MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi bünyesinde, 145 krom yatağında yapılan çalışmalar sonucu, gerek kendisinin derlediği veriler ve gerekse işletmeciler tarafından derlenen verilerin değerlendirilmesi sonucu %20'den daha fazla Cr₂O₃ 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 Eti bank'ın arama çalışmaları sonucunda %5.60 Cr₂O₃ tenörlü 198.1 milyon 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 milyon tona ulaşabileceği düşünülmektedir (DTP, 2005).

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 (DTP, 2005). Türkiye'de özel sektör tarafından yapılan krom madenciliği de çok değişik boyutlar sergilemektedir. 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 çıkabilmektedir (Eti Krom A.Ş. ve ferrokrom madenciliği, 2005).

Türk madenciliğinin geleneksel ihraç ürünlerinin başında krom cevheri gelmektedir. Birisi Antalya'da, diğeri Elazığ'da olmak üzere ve her ikisi de bir süre önce özelleştirilmiş olan iki ferrokrom tesisinin varlığına rağmen söz konusu tesislerin kapasiteleri ülkede üretilen kromit cevherinin tamamını işleyebilecek düzeyde değildir(9. 5 Yıllık Kalkınma Planı, 2007).

1.4. Ürün Standartları ve Kullanım Alanları

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

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

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

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

Krom cevherinin kimyasal bileşimini, kromit mineralinin kimyasal bileşimi ile kromitin içinde bulunduğu ve genelde olivin, piroksen ve serpantin minerallerinden oluşan gangın kimyasal bileşimi kontrol etmektedir. Cr, Al, Fe(III), Fe(II) ve Mg, kromitten kaynaklanan; Si, Mg, Ni ve Ca ise gangdan kaynaklanan elementlerdir. Krom cevherinin kimyasal bileşimi incelenirken Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, MgO ve SiO_2 değerlerinin dikkate alınması gerekir. Öte yandan, oran olarak az bulunmalarına karşın Ca, P ve S içeriklerinin de, krom cevherinin kullanım alanlarını etkileyen elementler olarak ayrıca incelenmesi gerekebilir. Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranına sahip krom cevherlerinin nispeten daha düşük kalitede ferrokrom (yüksek karbonlu ferrokrom) üretilmesinde kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler ışığında %40-46 Cr_2O_3 tenörlü Cr/Fe oranı 1,5/1 olan krom cevherleri yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılabilir hale gelmiştir. Metalürji sanayinde kullanılan krom cevherinin ticari bazda kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Çizelge 1.6-1.7)

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

Çizelge 1.6. Metalürji Sanayinde Aranan Krom Bileşimi Özellikleri (DPT, 2001)

Kimyasal özellikler	Fiziksel özellikler
Cr ₂ O ₃ %46 - 48	Tane Boyutu; 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	

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.

Çizelge 1.7. Metalürji Sanayinde Kullanılan Ticari Bazda Aranan Krom Bileşimi Özellikleri (DPT, 2001)

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

Refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin Cr_2O_3 tenörünün %30-40 arasında, Al_2O_3 içeriğinin %25-32, Cr_2O_3 ve Al_2O_3 içerikleri toplamının ($\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) %60, SiO_2 oranının ise %10'un altında olması gerekir. Kırılıp elenerek boyutlandırılan krom cevheri manyezitle karıştırıldıktan sonra kullanım yerine göre şekillendirilir ve pişirilerek krom manyezit tuğlaları oluşturulur. Kromitin yalnız başına refrakter malzeme olarak kullanılması durumunda SiO_2 oranının %3'ün altında olması gerekir. Refrakter sanayinde kullanılan parça ve konsantre krom cevherinde ticari anlamda aranan özellikler Çizelge 1.8'de verilmiştir.

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

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

Çizelge 1.8. Refrakter Sanayinde Aranan Krom Konsantresinin Özellikleri (DPT, 2001)

Refrakter Parça	Cr_2O_3 %48 (en az)
	SiO_2 %4 (en fazla)
	0-300 mm boyut
	(10 mm altı) % 10-15
Refrakter Konsantre	Cr_2O_3 %50 (en az)
	SiO_2 %2 (en fazla)
	0.5-4 mm boyut

Cr_2O_3 içeriği %42 ve daha fazla ve Cr/Fe oranı 2'nin altındaki kırılğan veya toz cevherler kimya sanayisinin geleneksel krom cevheri olarak tanımlanırlar. Stratiform tip olarak tanımlanan Prekambriyen yaşlı krom yataklarının Cr_2O_3 içeriği düşük ve FeO içeriği yüksek kromitleri kimya sanayisinin tipik cevheri olarak tanımlanmaktadır. Kimya sanayinde kullanılan krom konsantresinde ticari anlamda aranan özellikler şöylece özetlenebilir (Çizelge 1.9).

Çizelge 1.9. Kimya Sanayinde Aranılan Krom Konsantre Özellikleri (DPT, 2001)

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

Alpin tip krom yataklarında krom cevherini oluşturan kromit kristallerinin genelde Cr oranı yüksek ve Fe oranı düşüktür. Bu özellikteki kromit kristallerinin toplanmasıyla oluşan masif cevherler metalürji sanayinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin bugüne kadar toplam krom cevheri üretiminde yüksek tenörlü masif cevherler önemli bir bölümü oluşturmuştur. Yüksek tenörlü, bilinen krom cevheri rezervlerinin azalması, yüksek tenörlü yeni yataklar bulmada karşılaşılan zorluklar ve pazar koşullarının elverişli olması nedeniyle, düşük tenörlü ve kolay işletilebilecek yatakların işletilmeleri giderek mümkün hale gelmektedir.

Bir zamanlar %45 Cr_2O_3 tenörün altındaki krom cevheri işletilemezken, bugün uygun pazar koşulları nedeniyle %8-9 Cr_2O_3 tenörlü kromitlerin işletildiği bilinmektedir. Düşük tenörlü kromitler zenginleştirme tesislerinde kırılıp öğütüldükten sonra zenginleştirilmekte ve ardından pazarlanmaktadır (DPT, 2001).

Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinde Cr_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 yanı sıra fiziksel özellik olarak, krom cevherinin homojen tane boyulu ve köşeli olmayan düzgün tane şekilli olması gerekir. Dünya'da kromun kullanıldığı sektörlere göre tüketim payı ise aşağıda verilmiştir (Ağaçayak, 2004).

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

1.5. Kromun Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri

Türkiye'de krom madenciliği başlangıç yıllarında daha çok sahil şeridine yakın, ulaşımı kolay kesimlerde mostra madenciliği şeklinde başlamıştır. İşletmeler kromit bant ve mercceklerinin 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 yer altı madencilik metotlarıyla işletilmeleri giderek artmaya başlamıştır.

Bugünlerde Türkiye'de işletilebilecek özelliklere sahip el değmemiş krom mostrası bulabilme şansı oldukça sınırlıdır. Açık işletmeyle işletilebilen krom yatağı sayısı da geçmişe oranla daha azdır. Son zamanlarda krom cevheri üretiminin büyük kısmı yeraltı madenciliği metotlarıyla yapılmaktadır.

Açık işletmelerin derinliği genelde birkaç on metreden fazla değildir. Geçmişte açık işletme yöntemleriyle işletilmiş olan Gölalan (Guleman, Elazığ)yatağında inilen derinlik 40 m kadardır. Kopdağ kesiminde (Erzincan, Erzurum) Civelek, Armutlu, Gerçek, Doğu Ezan, Batı Ezan, Bal ve Suluocak yataklarını içine alan ve halen madencilik çalışmaları devam eden Büyük Ezan Açık İşletmesi'nin boyu 1.750 m, genişliği 800 m, derinliği ise 200 m kadardır. Gerek Gölalan ve gerekse Büyük Ezan gibi büyük açık işletmelerin boyutları, Türkiye'deki krom madenlerinde genelde rastlanan açık işletmelerin boyutlarının çok üstündedir.

1.6. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri

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

(Güney, 1990). Günümüzün teknolojik olanakları ile %5-10 Cr_2O_3 içeren kayalardan istenilen kalitede kromit konsantreleri üretmek mümkündür.

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

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

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

Kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanacak zenginleştirme yöntemini ve yöntem kombinasyonlarını;

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

Kromit başlıca üç yöntem kullanılarak zenginleştirilmektedir. Bunlar;

- Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme

- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon ile zenginleştirme

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

1. El ile ayıklama
2. Özgül ağırlıklar farkına göre zenginleştirme
 - 2.1. Oluklar
 - 2.2. Ağır ortam ayırması
 - 2.3. Humprey spiralleri
 - 2.4. Dyna – Whirpool
 - 2.5. Jig
 - 2.6. Sallantılı masa
 - 2.7. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)
3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme
4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme
5. Flotasyon ile zenginleştirme
 - 5.1. Klasik flotasyon
 - 5.2. Kolon flotasyonu
 - 5.3. Ultra flotasyon
 - 5.4. Yüksek sıcaklık flotasyonu
 - 5.5. Jet flotasyonu
 - 5.6. Yağ flotasyonu
 - 5.7. Aglomerasyon yolu
 - 5.8. Elektro flotasyonu
6. Kimyasal yöntemlerle zenginleştirme
 - 6.1. Asit liçi
 - 6.2. Bazik liç
 - 6.3. Seçimli gazlı indirgeme yöntemi
 - 6.4. Katı hal indirgeme yöntemi

6.5. Ergitme yöntemi

Kromit cevherinin serbestleşme derecesine, cevher karakterine, gang minerallerinin cinsine bağlı olarak bu yöntemlerin biri ve birkaçının kombinasyonunu kullanmak mümkündür (Ağaçayak, 2004).

1.6.1. Elle Ayıklama (Tavuklama, triyaj)

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

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

1.6.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

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

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

$$k = \frac{(r_A - r)}{(r_H - r)} \quad (1.1)$$

ρ_A = Ağır minerallerin özgül ağırlığı gr/cm^3

ρ_H = Hafif minerallerin özgül ağırlığı gr/cm^3

ρ = Akışkan ortamın özgül ağırlığı gr/cm^3

k = Konsantrasyon kriteri

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

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

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

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

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

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

Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık uygulama boyutları çizelge 1.10'de belirtilmiştir (Güney, 1990).

Çizelge 1.10. Özgül Ağırlık Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Boyutları (Güney, 1990)

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

İçerisinde yan kayaç olarak yüksek oranda peridotit kayaç parçaları ve özellikle olivin (yoğunluğu $3,5 - 4 \text{ gr/cm}^3$) içeren cevherin yoğunluğuna göre zenginleştirilmeleri mümkün olmaktadır. Ancak cevherdeki olivin oranı az ise özgül ağırlık farkına göre üretilen konsantre, manyetik ayırıcı ile temizlenerek daha yüksek Cr_2O_3 tenörlü nihai konsantre üretilebilir. Olivin mineralinin olmadığı durumlarda kromit ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkı oldukça fazla olduğundan manyetik zenginleştirme yöntemleriyle zenginleştirme yapılır. Gravite ile zenginleştirmenin verimi konsantrasyon kriterine bağlıdır (Kurşun, 1993).

1.6.2.1. Jig İle Zenginleştirme

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

1.6.2.2. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme

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

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

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazen de eşiksizdir. Eşikler akış koşullarını

amaçlandığı çok az eşiğe sahip şlam masaları. Eşikler arası mesafe en büyük tanenin boyutunun en az 3 katı olmalıdır.

Kapasite: Sallantılı masanın kapasitesi beslenecek malzemenin tane boyutu ve özgül ağırlığı ile işlemin (kaba zenginleştirme veya temizleme) cinsine bağlıdır. 1.7-1.2 mm boyutlarındaki cevherin zenginleştirilmesinde normal boyutlardaki bir masanın kapasitesi 2 t/saat'tir. Şlam masalarında ise 0.1 ton/saate kadar kapasite inmektedir.

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

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

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

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

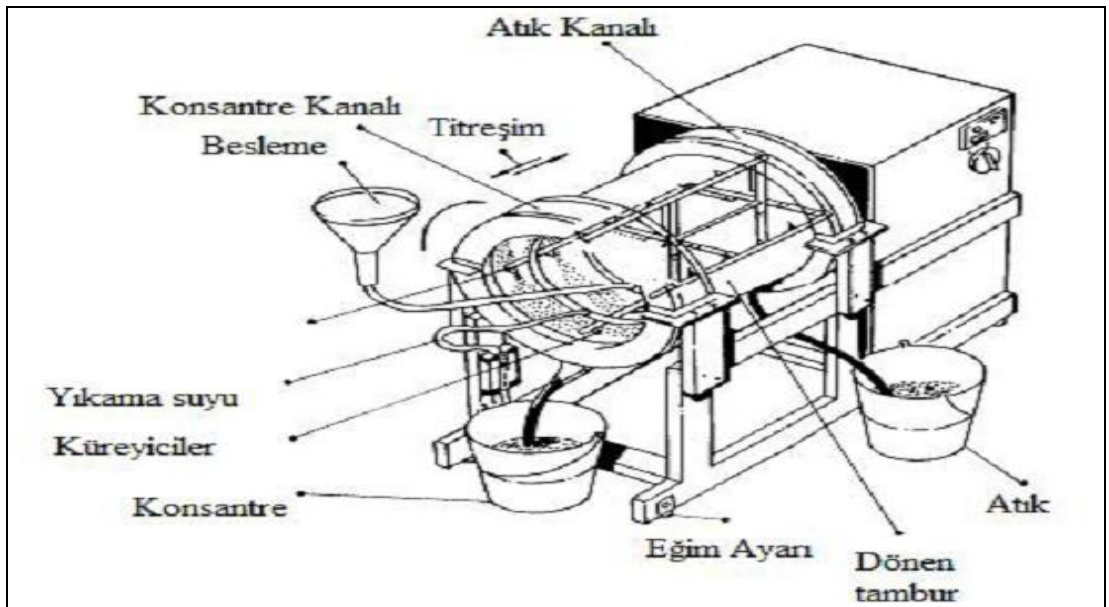
Bakım: İşlemin durmasına yol açan en büyük neden masa eşiklerinin ve kaplamanın değiştirilmesidir. Günümüzde kullanılan modern masaların yüzeyi kauçuk veya maun ile kaplandığından ömürleri en az 10 yıl olmaktadır.

1.6.2.3. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS) İle Zenginleştirme

İngiliz Teknoloji Grubu desteğinde Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiş ve endüstriyel ölçekte

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

Cihaz (Şekil 1.8) bir yanı açık uçlu 0.6 m. uzunluğunda 0.5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6-24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşturacak şekilde 150-300 d/d hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda eksenel doğrultuda $4-5.7 \text{ cm.sn}^{-1}$ frekansla 10-20 mm arasında değişen sinüsoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir. Tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS ünitesi %20 katı oranında 0,2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir.



Şekil 1.8. MGS Ünitesi Şematik Gösterimi (Chan, 1994)

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

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

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

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

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

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

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

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

MGS'nin Pilot Çapta Kullanımı

Pilot çapta MGS (Şekil 1.7), hafif, konik, açık çıkışlı, 0,5 m çap 0,6 m uzunluktaki bir tamburdan ibarettir. Tambur yüzeyinde meydana getirilen 6 ile 24 g yerçekimsel çekime eşit, merkezkaç, kuvvet ile saat istikamet yönünde 150 ile 300 devir/dk arasında değişen hızla döndürülür. Tambur içine bir küreyici monte edilmiştir. Bu, tamburla aynı istikamette fakat biraz daha hızlı döner. Mekanizma, tamburun daha dar olan açık çıkışına doğru çökelmiş katıları kazımaktadır.

MGS Tasarım Özellikleri

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

Küreyiciler (skrayper): MGS'yi klasik gravite ayırması yapan ünitelerden ayıran önemli unsurlardan birisi küreyicilerdir. Tambur içinde; tambur eksenine paralel ve birbirleri ile 90° açılı olacak şekilde yerleştirilmiş 4 adet küreyici kolu bulunmaktadır. Bu kolların herbiri üzerinde ise eşit aralıklarla yerleştirilmiş 65 cm uzunluğunda 8-9 adet küreyici bulunmaktadır. Tambur ekseni ile 60'lik açı yapacak şekilde konumlandırılan küreyiciler tambur yüzeyine "hemen hemen" temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Küreyici yüzeyleri de tambur astarı gibi poliüretan ile kaplanmıştır. Küreyicilerin bağlı olduğu kol tamburdan %2.5 oranında daha hızlı dönmektedir. Küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederken, pülp tabakasının

içinden geçer, böylece taneleri tamburun açık üst ucuna doğru küreyerek taşımaktadır. Bu küreme işleminde her bir küreyici mineral tanelerini 35 mm meyil yukarı hareket ettirir. Tamburun üst çıkış ağzına yakın bir noktadan verilen yıkama suyu ise tabakayı yıkayarak hafif mineralleri alt çıkışa doğru taşımaktadır. Sözü edilen küreyici kollar uygun ölçülerde endüstriyel ölçekli ünite de bulunmaktadır.

Hareket mekanizması: Cihazlarda hareket mekanizması mümkün olduğunca basit tutulmuştur. Elektronik ve mikro-prosesörlerden kaçınılmıştır. Pilot ölçekli MGS Ünitesinde 0.5 kW lık 2 adet elektrik motoru kullanılmıştır. Bu motorlardan birisi basit bir eksantrik ile titreşim hareketini, diğeri ise dişli-zincir sistemi ile tambur ve küreyici' nin dönüşünü sağlamaktadır. Endüstriyel ölçekli MGS Ünitesinde, 2.2 kW lık bir motorla iki tamburun titreşim hareketi, 2 adet 1.1 kW lık motorla ise tamburların ve küreyicilerin 'dönüşü sağlanmaktadır.

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

Tambur dönüş hızı: Tambur dönüş hızı, ayırma işlemini iki yönden etkiler. İlk olarak, pülp akışını aksenal doğrultuda tamburun alt çıkış ucuna doğru hızlandırır, ikinci olarak da tanelerin atalet kütlelerini arttırarak tambur yüzeyine yapışmasını ve adeta katı yüzey oluşmasını sağlar. 300 dev/dk hızla dönen tambur içindeki bir taneye etkiyen merkezkaç kuvveti 24 g kadar arttırılmakta, buna karşın tane büyüklüğü başka bir deyişle; MGS Ünitesinde diğerklasik gravite ayırması yapan ünitelere göre 5 kez daha küçük boyutlu tanelerin ayrılması mümkün olmaktadır. Tamburun dönüş hızının arttırılması ile (diğerkparametreler sabit) ağır mineral miktarı artarken, tenör düşmektedir. Mineraller arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğunda düşük, yoğunluk farkı küçük olduğunda ise yüksek "G" kuvvetinde ayırma uygun olmaktadır.

Titreşim Yoğunluğu: Tambur çalışması sırasında titreşim frekansı 3-6 dev/sn, titreşim genliği ise 3.8 - 12.5 cm arasında değiştirilebilmektedir. Titreşim sinuzoidal dalga formunda eksen doğrultusunda olmaktadır. Titreşim hareketi sonucu olarak; ayırma sırasında taneler üzerine ek kesme (koparma) kuvveti uygulanmış

olmaktadır. Titreşim yoğunluğunun artırılması (diğer parametreler sabit) halinde ise verim düşerken, mineral içerikleri yükselmektedir.

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

Tambur Eğim Açısı: Tambur eksenine ile yatay arasındaki eğim açısı, malzemenin özelliğine bağlı olarak 0-5 arasında değişmektedir. İnce boyutlu ve düşük yoğunluklu mineraller için küçük; iri boyutlu ve yüksek yoğunluklu mineraller için ise büyük eğim açıları çalışmalıdır.

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

1.6.2.4 Knelson Konsantratörü İle Zenginleştirme

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

$$F_c = \frac{2\pi \cdot \omega}{60} \cdot \left(\frac{d_p}{2} \right)^3 (d_s - d_l) \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1.2)$$

Burada;

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

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

d_p : Tanenin çapı, cm

δ_s : Tanenin yoğunluğu, gr/cm^3

δ_l : Ortamın yoğunluğu, gr/cm^3

w : Tanenin açısal hızı, $radyan.sn^{-1}$

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

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

Burada;

d_{cr} : kritik tane boyutu, cm

k_0 : oransal sabit

r : tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

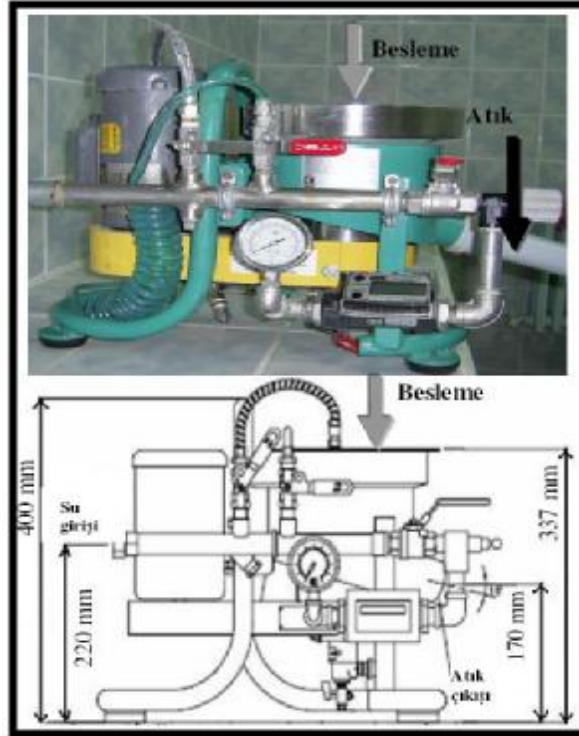
w : tanenin açısal hızı, $radyan.sn^{-1}$

g : gravite kuvveti, $m.sn^{-2}$

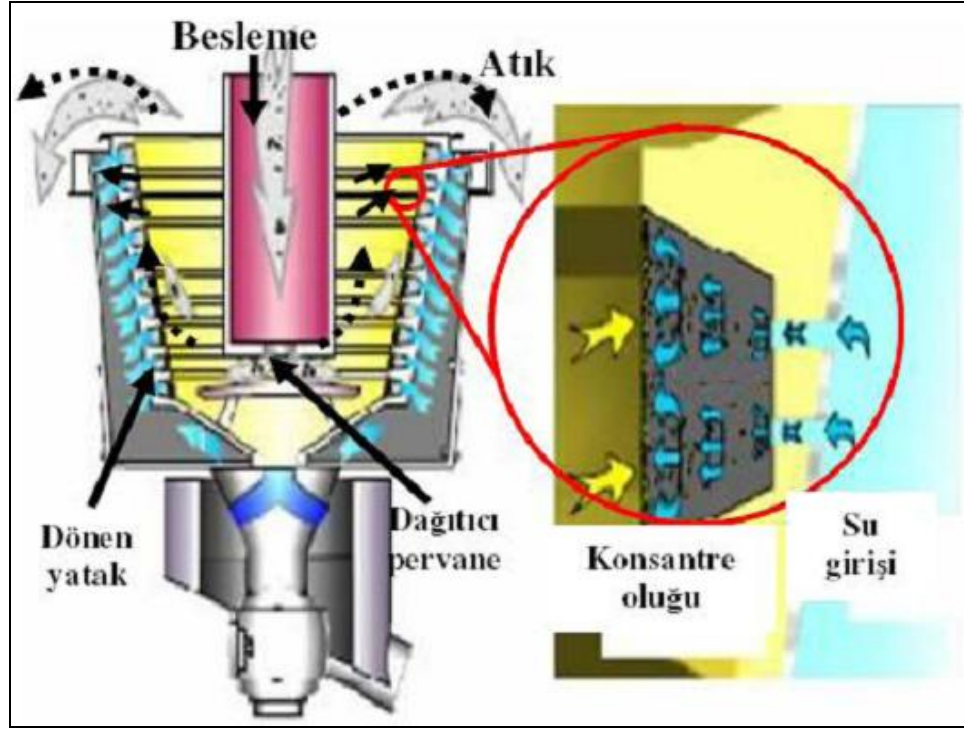
Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Bunlar <30 μm boyutunda çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler (Ren vd., 1994). Knelson ayırıcısı (KC) Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada' da patenti alınmış, dünyada damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj seperatördür.

Standart Knelson ayırıcısı, 6mm yada daha az üst besleme boyutuyla çalışabilmektedir (Patchejieff vd., 1995). Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır (Alp ve ark., 2004a.b; Celep ve ark., 2005).

Knelson ayırıcısı (Şekil 1.9-1.10), konsantrenin otomatik ve elle boşaltma esasına göre; kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boşaltma sekline göre manuel boşaltma, merkezi boşaltma (CD) ve değişken boşaltma modelleri olarak sınıflandırılmaktadır.



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



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

1.6.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

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

Farklı manyetik duyarlılığa sahip olan kromit ve gang mineralleri (olivin, serpantin vs.) uygun bir manyetik alan içinde başlıcası manyetik kuvvet olmak üzere

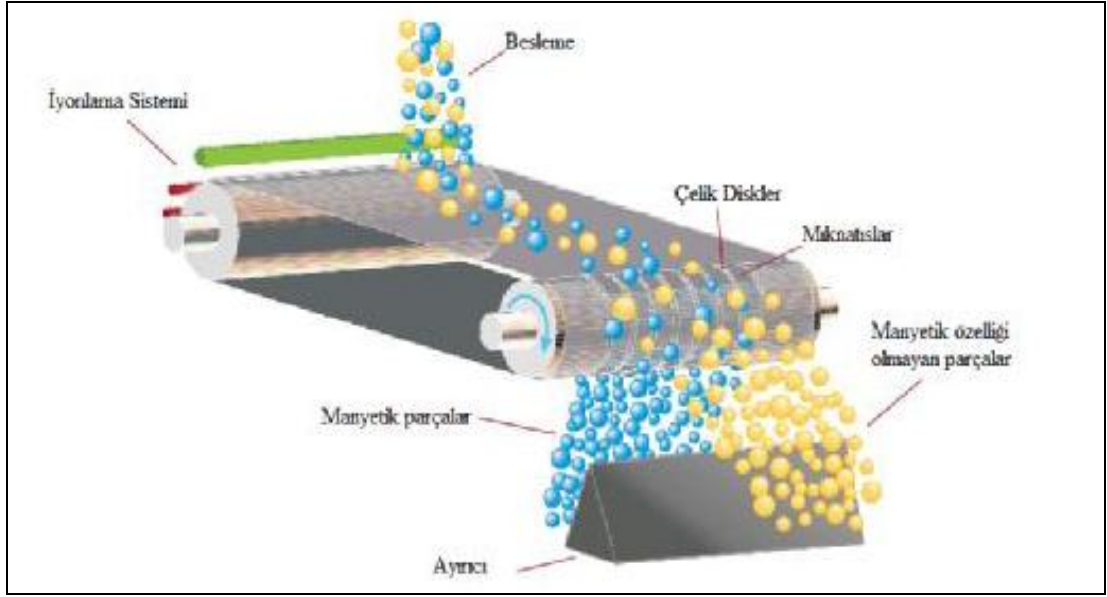
çeşitli kuvvetlerin bileşik etkilerine dayanılarak birbirinden ayrılması yoluyla manyetik ayırma ile zenginleştirme gerçekleştirilir (Ağaçayak, 2004). Genelde kromitin manyetik alan şiddeti 1.0 – 1.6 Tesla arasındadır. Ancak kromitin manyetik içermesi durumunda manyetik duyarlılık artmaktadır. Manyetitin gang minerallerine bağlı olması durumunda ise gangın manyetik duyarlılığı artarak uygulanan alan şiddeti düşmekte ve kromitin gang mineralinden ayrılması güçleşmektedir (Şekil 1.11) (Aydın, 2001).

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

Manyetik ayırmada verimin yüksek olabilmesi için; malzemenin birbirine yakın boyutlarda sınıflandırılmış olması gerekir. Ayrıca kuru manyetik ayırma uygulanıyorsa rutubetsiz olması istenir. Manyetik ayırma yöntemi tek başına veya diğer yöntemlerle birlikte 3 – 0,1 mm arasındaki tanelere uygulanır (Sundar ve ark, 1983).



Şekil 1.11. Sanayi Tipi Manyetik Ayırıcı (Akarcan, 2008)



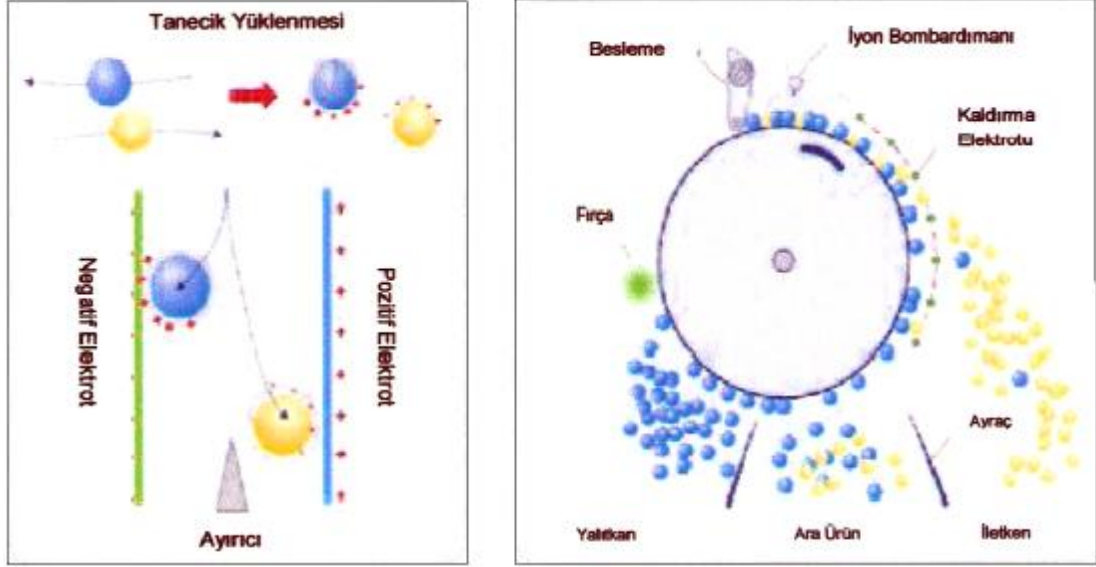
Şekil 1.12. Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensibi (Outokumpu Technology) (Gence, 1985)

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

1.6.4. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

İletkenliği yüksek bir mineral taneciği, topraklanmış bir metal silindir üzerinden düşerken yüksek potansiyelle ($10.000-20.000$ volt) yüklenmiş bir elektrodun tesiri ile önce polarize olur, ve eğer topraklanmış metal silindire elektron yükünü iletebilirse silindirden ayrılır ve çekici elektrodun tesiri ile silindirden uzaklaşarak düşer. İletkenliği zayıf mineral tanecikleri ise, üzerindeki yükü çok yavaş bıraktığından, silindire yapışarak birlikte döner ve elektrodun tesirinden kurtulduktan sonra bir fırça ile ayrı bir yerde toplanırlar. Tane iriliği $2-0,1 \text{ mm}$ dahilindeki cevherler elektrostatik ayırıcılarla zenginleştirilebilirler (Şekil 1.13). Elektrostatik yöntemle krom zenginleştirilmesi, gravite ile zenginleştirilmiş

Cr/Fe oranlarının artırılması amacıyla uygulanmaktadır (Serter, 1998).



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

1.6.5. Flotasyon İle Zenginleştirme

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

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

Flotasyon, bilindiği gibi, kolektör adı verilen yüzey-aktif maddelerin istenen mineralin yüzeyini kaplaması vasıtasıyla, bu minerallerin köpüğe yapışması sonucunda ayırma yapan bir zenginleştirme yöntemidir. Kolektörler anyonik veya katyonik olabilir. İstenen yüzeyi fiziksel veya kimyasal adsorpsiyonla kaplayabilir. Fiziksel adsorpsiyonda esas, yüzeyin ve kolektörün elektrik yüklerinin zıt işaretli olmasıdır. Kolektörün kimyasal adsorpsiyonu ile oluşan flotasyonda ise, genelde yağ

asitleri ve sabunlar kullanılmaktadır. İnce boyutlu (-50 mm) cevherlerin zenginleştirilmesine flotasyon basit bir işlem olarak tercih edilmektedir. Tesis şlamlarının bir miktar susuzlandırılmasından sonra, kıvamlandırma tankı ve flotasyon makinelerine gönderilmeleri ile flotasyonla zenginleştirme sağlanabilir. Bu işlemde ne yüksek alan şiddetinde yaş manyetik ayırmada olduğu gibi, büyük ilk tesis masraflarına, ne de şlam masalarında olduğu gibi, boyutlandırma sistemlerine ve geniş alanlara ihtiyaç vardır. Fakat kromitte, krom yatakları küçük oluşumlar halinde bulunduğundan, bir tesise değişik yapıdaki maden yataklarından cevher beslenmektedir. Bu yöntemin geniş ölçüde uygulanabilmesi için kromit ve gang minerallerinin yapısal farklarının flotasyon sonuçlarını etkilememesi gerekmektedir. Diğer bir uygulama güçlüğü, bugün için reaktif sarfiyatının yüksek oranda olmasıdır. Krom flotasyonu ile ilgili çalışmalar yürütülerek, kolektör ve bastırıcı reaktiflerin cinsleri, miktarları ve flotasyon koşulları çeşitli kromitler için optimize edilmelidir. Ancak bu durumda ince kromun kazanılmasına flotasyon geniş ölçüde uygulanabilir ve üretilen cevherlerin üçte birine yüksek şlam kayıpları önenebilir (Güney, 1990).

1.7. Ülkemizde Çalışır Durumda Bulunan Bazı Krom Zenginleştirme Tesisleri

a) Pınarbaşı Dedeman krom konsantre tesisinde %8-25 Cr_2O_3 tenörlü cevher iri boyutta jig ince boyutta sallantılı masa ile zenginleştirilmektedir (Şekil.1.14).

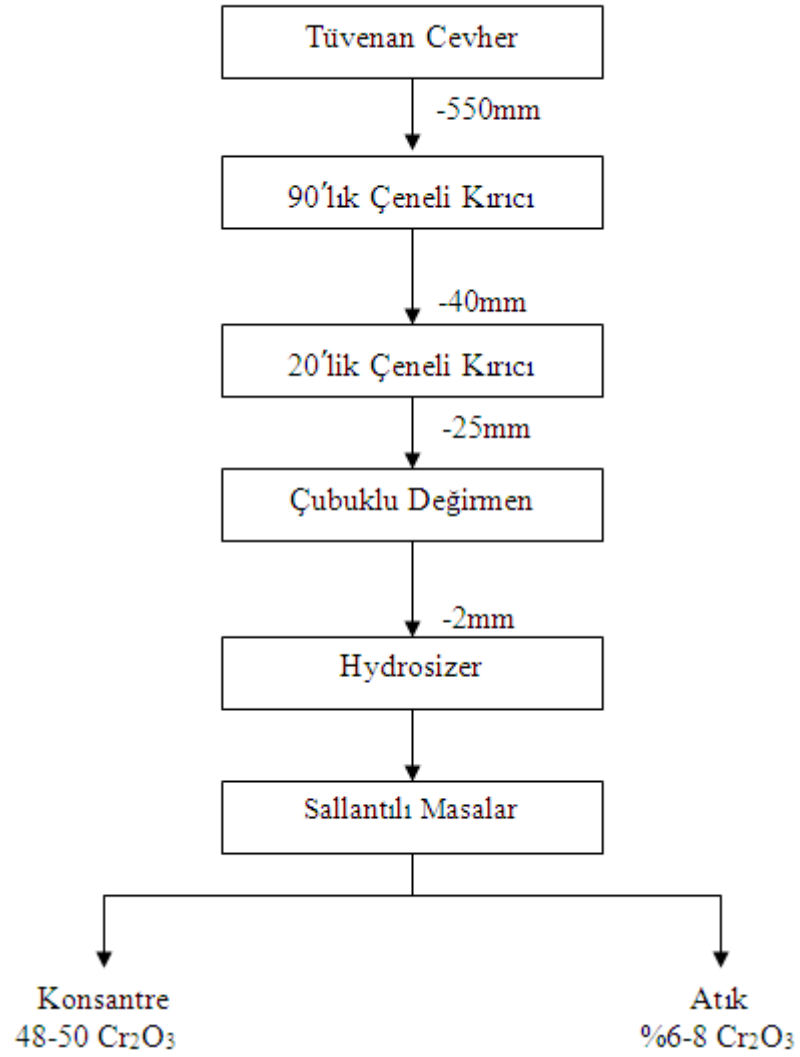
Ocaktan gelen 250 mm'lik cevher önce 3 kademede 10 mm altına daha sonra 2 kademe çubuklu değirmen ile 1 mm altına indirilmektedir. -1 mm malzeme Hydrosizerda boyut sınıflamasına tabi tutulduktan sonra sallantılı masalara beslenmektedir. Sallantılı masalardan %48 Cr_2O_3 tenörlü konsantre ve %5-7 Cr_2O_3 tenörlü atık alınmakta, ara ürün ise tekrar öğürme devresine gönderilmektedir.



Şekil 1.14. Pınarbaşı Dedeman krom konsantre tesisi akım şeması.

b) Çevikler krom konsantre tesisinde %20-25 Cr₂O₃ tenörlü cevher sallantılı masalar ile zenginleştirilmektedir (Şekil 1.15).

Ocaktan gelen 550 mm'lik cevher önce 2 kademedede 25 mm altına, daha sonra çubuklu değirmen ile 2 mm altına indirilmektedir. -2 mm malzeme Hydrosizerda boyut sınıflamasına tabi tutulduktan sonra sallantılı masalara beslenmektedir. Sallantılı masalardan %48-50 Cr₂O₃ tenörlü konsantre ve %6-8 Cr₂O₃ tenörlü atık alınmaktadır. Ara ürün ise tekrar öğütme devresine beslenmektedir. Tesisin kapasitesi günlük 300 tondur.



Şekil 1.15. Çevikler krom konsantre tesisinin akım şeması.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sönmez ve Turgut (1997), Düşük tenörlü Karaburhan kromitlerinin gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalarından ortalama %26 Cr₂O₃ tenörlü Karaburhan cevherini zenginleştirebilmek için, gravimetrik zenginleştirme yöntemleri uygulanmıştır. Önce sallantılı masa sonra MGS ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde +0,425 mm, -0,425 +0,210 mm ve -0,210 mm olmak üzere üç farklı boyut grubunda zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Her boyut grubu için optimum frekans ve masa eğimi belirlenmiştir. Sallantılı masada ortaya çıkan ara ürün MGS’de zenginleştirilmiştir. Ayrıca -0,210 mm tane iriliğindeki ince boyutlu cevherin MGS’ de zenginleştirilebilirliği araştırılmış ve optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda, +0,425 mm tane iriliğinde olumlu sonuçlar alınamamıştır. -0,425 + 0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %75,31 verimle, %50,64 Cr₂O₃ tenörlü konsantre; -0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %58,83 verimle, %44,97 Cr₂O₃ tenörlü konsantreler kazanılmıştır. Ara ürünlerin MGS’de iki kademedeki zenginleştirilmesiyle %43,79 verimle %48,18 Cr₂O₃ tenörlü konsantre, -0,210 mm tane iriliğindeki cevherin iki kademedeki zenginleştirilmesi sonucunda %71,45 verimle, %48,20 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. Sallantılı masa ve MGS sonuçları birleştirildiğinde toplam metal kazanma verimi %79,79, olup ortalama tenör %49,75 Cr₂O₃ olmaktadır.

Samanlı (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik kromit atıklarının tenörü yükseltilerek atıktan elde edilen konsantrenin test sonuçlarını ortaya koymuştur. Ortalama %12 Cr₂O₃ tenörlü yaklaşık -1 mm boyutlu numune 0,106 mm elekten yaş olarak elendikten sonra sallantılı masa zenginleştirilmesi neticesinde %20,6’ya yükseltilmiştir. MGS deney sonuçlarında ise, 180 dev/dk tambur dönüş hızı, 4 lt/dk. yıkama suyu ve 4o eğiminde, %48,8 Cr₂O₃ ve % 65,9 verimle satılabilir kromit konsantresi elde etmiştir.

Özkan ve ark. (2001), Yaptıkları çalışmalarda ince kromit artıklarının zenginleştirilmesine için Üçköprü madeninden temsili örnekler alarak yaptıkları çalışmalar sonucunda temsili numunelerin %12,8 Cr₂O₃ içerdiğini tespit etmişlerdir.

MGS ünitesinde zenginleştirmeye çalışmışlardır. Deneyler sonucunda optimum şartların; eğimin 2° , frekansın 5,7 dev/sn, genliğin 15 mm ve tambur hızının 230 dev/dk olduğunu tespit etmişlerdir. -0,038 mm fraksiyonda %47 Cr_2O_3 tenörlü %72 verimli konsantre elde etmişlerdir.

Çiçek ve Cöcen (2009), Santrifüj etkili Mozley seperatörünün (MGS) düşük tenörlü (9.3 % Cr_2O_3) kromit cevherlerinin ince fraksiyonuna (-0.1 mm) uygulanabilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. Elek metal analizleri deneyler için 1 mm altına öğütülen cevherin %83.9'unun +0.106 mm boyutunda ve %16.12 Cr_2O_3 tenörlü olduğunu göstermiştir. +0.1 ve -0.1 mm tane fraksiyonları sırasıyla sallantılı masa ve MGS için besleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde düşük kromit veriminde satılabilir kaba bir konsantre elde edilmiştir. Ancak masa ara ürünlerinin bir kısmı 0.1 mm altına öğütüldükten ve MGS ile zenginleştirildikten sonra sallantılı masa ve MGS kombinasyonu ile %46.22 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre %66.1 verimle elde edilebilmiştir. MGS'nin düşük tenörlü bir kromit cevherinin zenginleştirilmesinde ince tane boyutlarında kullanılabilecek bir zenginleştirme yöntemi olduğunu göstermişlerdir.

Aydın (2001), Guleman Kef konsantre tesisinde stoklanan %21.21 Cr_2O_3 tenörlü atıkları değerlendirmek amacıyla -0.3+0.1 mm aralığına sallantılı masa+manyetik ayırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleri sonucunda %34.08 Cr_2O_3 tenör ve %90 verimle elde edilen sallantılı masa ön konsantresi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıya beslenmiş ve %45.21 Cr_2O_3 içerikli nihai konsantre %87.46 verimle elde edilmiştir.

Ağaçayak (2007), Beyşehir Topraktepe krom madeninde bulunan 500.000 ton yaklaşık %20 Cr_2O_3 tenörlü kromit atıkları gravite yöntemleriyle zenginleştirmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak - 0.106+0.075 mm için MGS , -0.3+0.212 mm için sallantılı masa ve humprey spirali, -2+1 mm için ise jig kullanılmıştır. Deneyler sonucunda en iyi verim değerleri sallantılı masada %85.38, humprey spiralinde %94.89, MGS' de %79.83, ve jigde %87.58'dir. En iyi tenörler ise sallantılı masada %55.65 Cr_2O_3 , MGS' de %57.52 Cr_2O_3 , Humprey spiralinde %54.58 Cr_2O_3 , Jigde ise %50.68 Cr_2O_3 elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmalarda kullanılan cevher numunesi; Hatay İli Belen İlçesi Çerçikaya Köyü Killi Mevkii' inde faaliyet gösteren TEKCROM MADENCİLİK A.Ş.' ye ait işletmeden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan cevher numunesi açık ve yer altı işletmelerinden parça olarak üretilen cevherlerin triyaj atığıdır. Üretilen cevherlerin iri boyutta (parça-takoz) olan yaklaşık %42 Cr₂O₃ tenörlü olanları alınarak kalan malzeme stoklanmaktadır. 250.000 ton civarındaki stoktan yaklaşık 300 kg alınarak Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir.

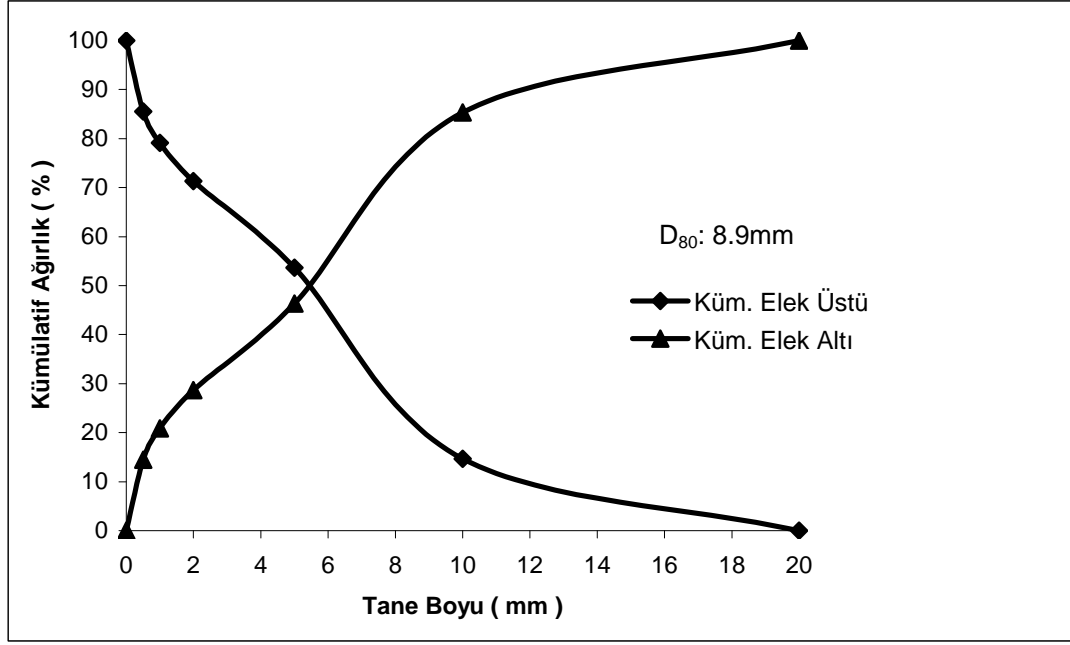
3.1. Kromit Numunesinin Hazırlanması

Bu numunede , sallantılı masa zenginleştirmesine uygun 1-0,1mm arasındaki boyutlarda yapılması planlanmıştır. Laboratuara getirilen numuneler yaklaşık 10-15cm'lik iri parçalar içermektedir. Bu iri parçalar laboratuvar ölçekli çeneli kırıcıda kırılabilir boyuta indirildikten sonra numunelerin tamamı 20 mm altına kırılmıştır. Kırılan cevher harmanlanarak homojen hale getirilmiştir. Numune bölme aracı ve konileme – dörtleme yöntemi ile kırma işlemi sonrası tane boyu analizi için 5kg numune alınmıştır. Alınan numuneden elek analiz yapılmış ve Çizelge 3.1 ve Şekil 3.5 de tane boyu dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. 20mm altına kırılmış cevherin kuru olarak yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)		Elek Üstü (gr)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
	+20	0	0	0	100
-20	+10	733	14.66	14.66	85.34
-10	+5	1948	38.96	53.62	46.38
-5	+2	884	17.68	71.3	28.7
-2	+1	391	7.82	79.12	20.88
-1	+0.5	321	6.42	85.54	14.46
-0.5		723	14.46	100	0
Toplam		5000	100		

İlk kırma işleminden sonra yapılan elek analizi kümülatif elek eğrileri çizilerek D_{80} boyutu 8,9mm olarak bulunmuştur.



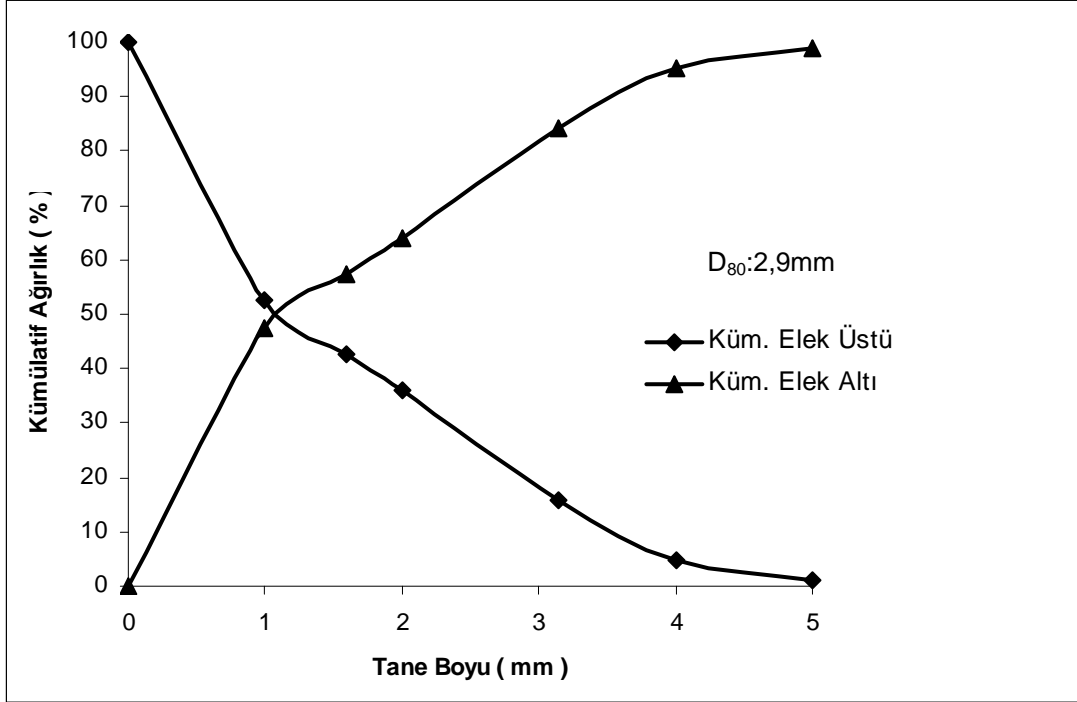
Şekil 3.1. 20mm altına kırılmış cevherin kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

İlk kırma işleminden sonra deneylerde kullanılmak üzere konileme – dörtleme yöntemi ile 65kg civarında numune alınmıştır. Bu numune çeneli kırıcıda 5mm altına kırılarak tane boyu analizi için 2kg numune alınmıştır. Alınan numunenin elek analizi yapılarak tane boyu dağılımı Çizelge 3.2 ve Şekil 3.6 da gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. 5mm altına kırılmış cevherin kuru olarak yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)		Elek Üstü (gr)	% Miktar (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
	+5	24	1.20	1.2	98.80
-5	+4	74	3.70	4.90	95.10
-4	+3.15	215	10.75	15.65	84.35
-3.15	+2	404	20.20	35.85	64.15
-2	+1.6	136	6.80	42.65	57.35
-1.6	+1	196	9.80	52.45	47.55
-1		951	47.55	100	0.00
Toplam		2000		100	

İkinci kırma işleminden sonra yapılan elek analizi kümülatif elek eğrileri çizilerek D_{80} boyutu 2,9mm olarak bulunmuştur.

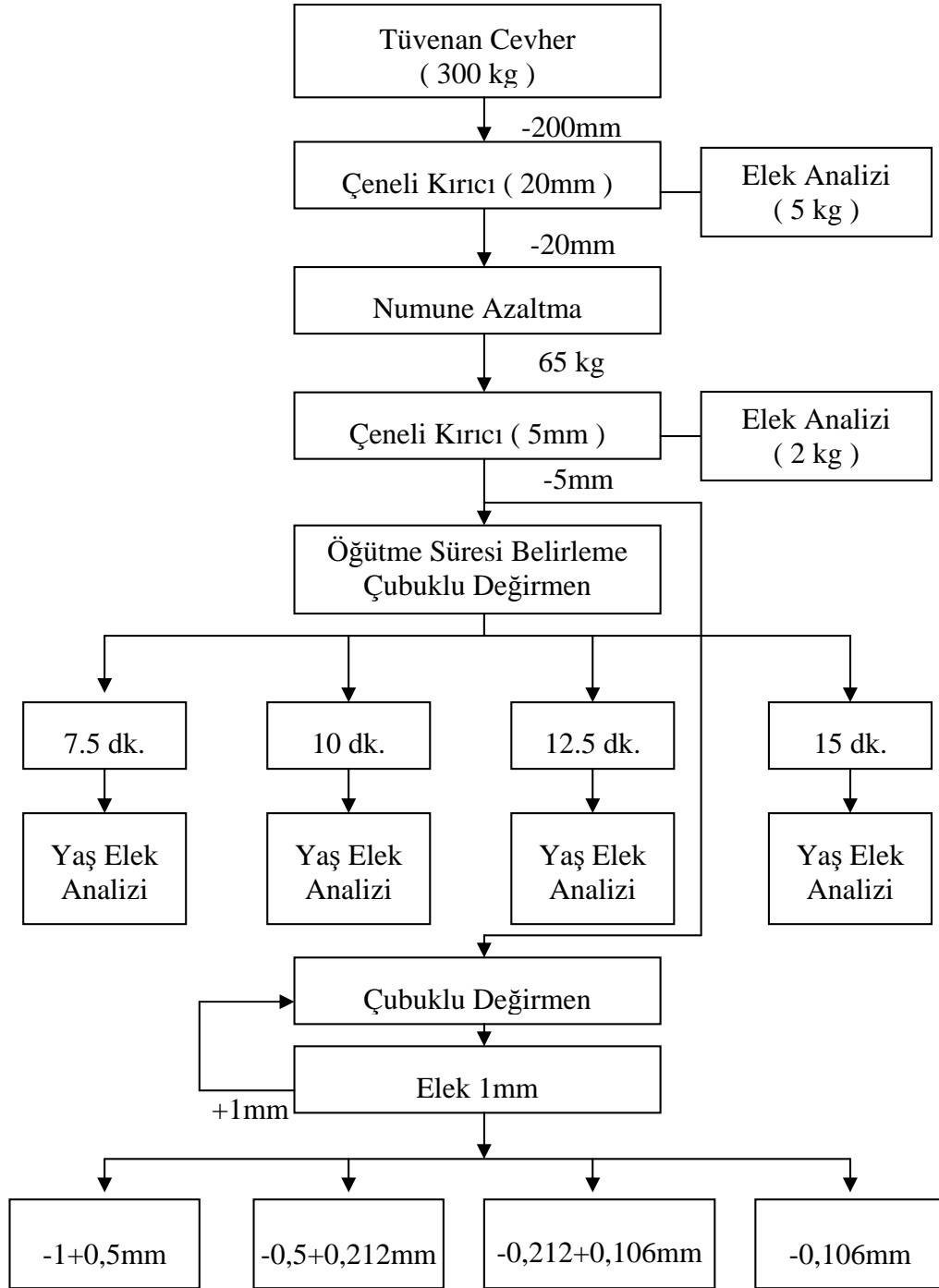


Şekil 3.2. 5mm altına kırılmış cevherin kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

Bu işlemlerin akabinde deneylerde kullanılacak numuneler için uygun değer öğütme süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Öğütme süresinin belirlenmesinin ardından cevher numunesinin tamamı 1mm altına öğütülmüştür.

Tamamı 1 mm altına öğütülmüş 65 kg'lık numune dört farklı boyut sınıfına ayrılmıştır. Numunenin tamamı yaş olarak ve 1000 μ m, 500 μ m, 212 μ m, 106 μ m elekler kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere numuneler; (-1000 +500 μ m), (-500 +212 μ m), (- 212 +106 μ m), (-106 μ m) olarak sınıflandırılmıştır. Numuneler susuzlandırılarak ve 85° lik etüvde kurutulularak deneyler için hazır hale getirilmiştir.

Numune boyut küçültme (hazırlama) akım şeması aşağıda Şekil 3.12 de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Numune hazırlama akım şeması

3.1.1. Numunenin Minerolojik ve Kimyasal Analizi

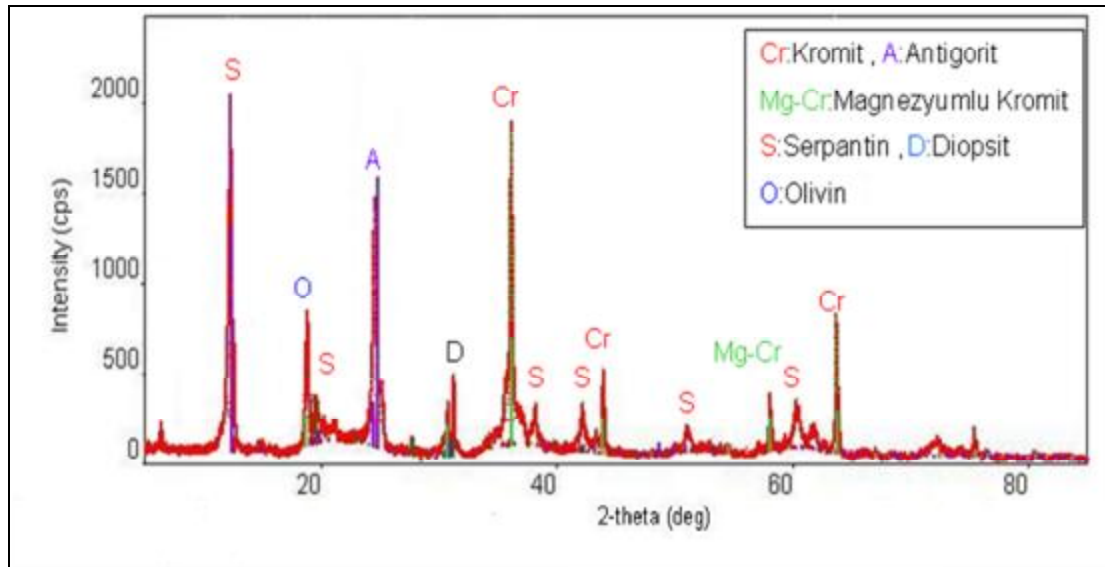
Numunelerin minerolojik analizi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında XRD cihazı ile yapılmıştır. XRD analizleri hem tüvenan numune

üzerinde hem de sınıflandırılmış olan tüm fraksiyonlarda yapılmıştır. Tespit edilen mineral ve bileşikler çizelge ve grafiklerle gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. XRD analizi sonucu besleme malı kromit numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.

Numune Adı	Mineral – Bileşik	Kimyasal Formül
Besleme Malı	Magnezyumlu Kromit	(Mg,Fe) (Cr,Al) ₂ O ₄
	Kromit	FeCr ₂ O ₄
	Serpantin	3MgO 2SiO ₂ 2H ₂ O
	Olivin	2(Mg,Fe)O SiO ₂
	Diopsit	CaO MgO 2SiO ₂
	Antigorit	(Mg, Fe ⁺²) ₃ (SiO ₅) (OH)

Çizelge 3.3 ve aşağıdaki XRD grafiğinde de görüldüğü üzere tüvenan kromit numunesinde başlıca tespit edilen mineraller Magnezyulu Kromit, Kromit, Serpantin, Olivin, Diopsit, ve Antigorittir

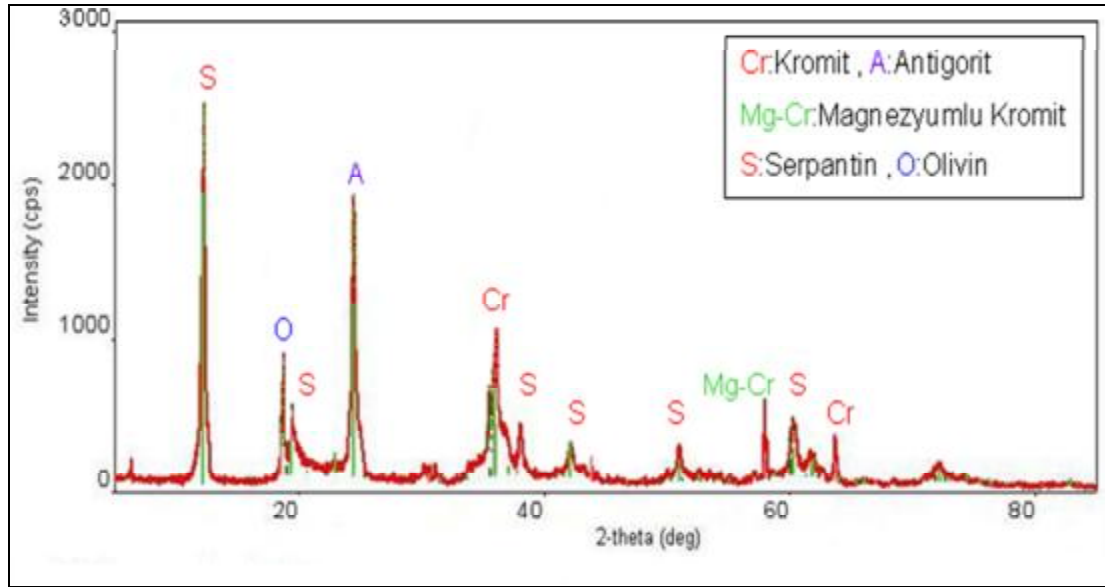


Şekil 3.4. Besleme malı kromit numunesi XRD grafiği.

-1000+500µm boyut sınıfı için yapılan XRD analizi sonucunda tespit edilen başlıca mineraller Lizardit ve Antigorittir (Çizelge 3.4). Analiz XRD grafiği aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.5).

Çizelge 3.4. XRD analizi sonucu -1000+500µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.

Numune Adı	Mineral – Bileşik	Kimyasal Formül
-1000+500µm	Kromit	(Mg,Fe) (Cr,Al) ₂ O ₄
	Magnezyumlu Kromit	FeCr ₂ O ₄
	Serpantin	3MgO 2SiO ₂ 2H ₂ O
	Olivin	2(Mg,Fe)O SiO ₂
	Antigorit	(Mg, Fe ⁺²) ₃ (SiO ₅) (OH)

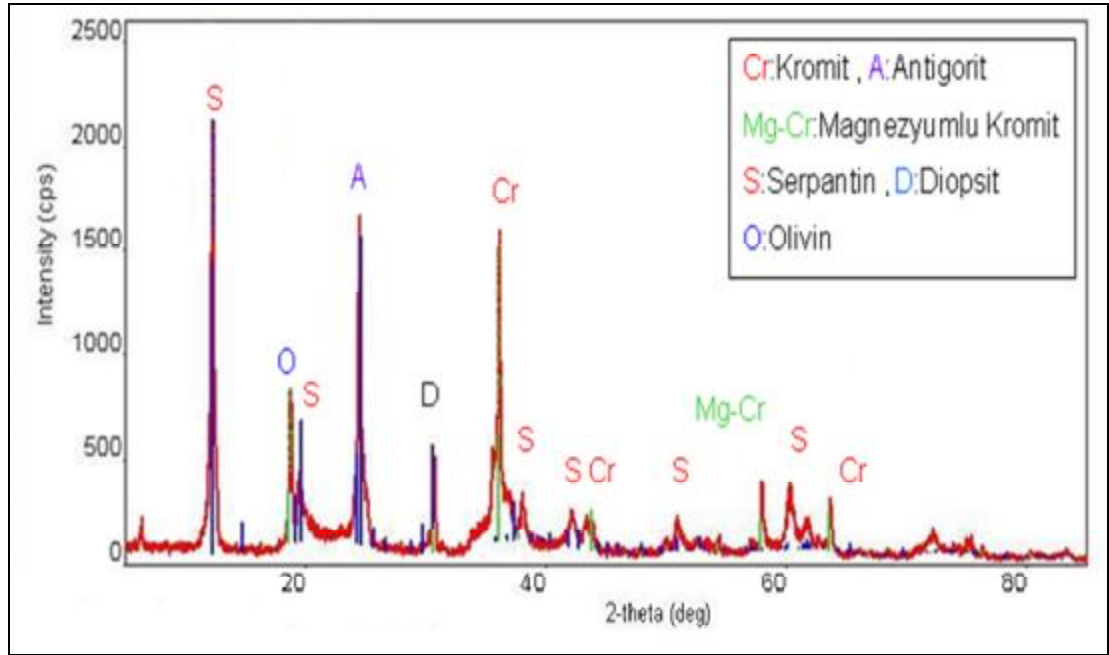


Şekil 3.5. -1000+500µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği.

-500+212µm boyut sınıfı için yapılan XRD analizi sonucunda tespit edilen başlıca mineral Magnezyum kromittir. XRD grafiği Şekil 3.6’da ve mineral ve bileşikler Çizelge 3.5’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. XRD analizi sonucu -500+212µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.

Numune Adı	Mineral – Bileşik	Kimyasal Formül
-500+212µm	Kromit	(Mg,Fe) (Cr,Al) ₂ O ₄
	Magnezyumlu Kromit	FeCr ₂ O ₄
	Serpantin	3MgO 2SiO ₂ 2H ₂ O
	Olivin	2(Mg,Fe)O SiO ₂
	Diopsit	CaO MgO 2SiO ₂
	Antigorit	(Mg, Fe ⁺²) ₃ (SiO ₅) (OH)

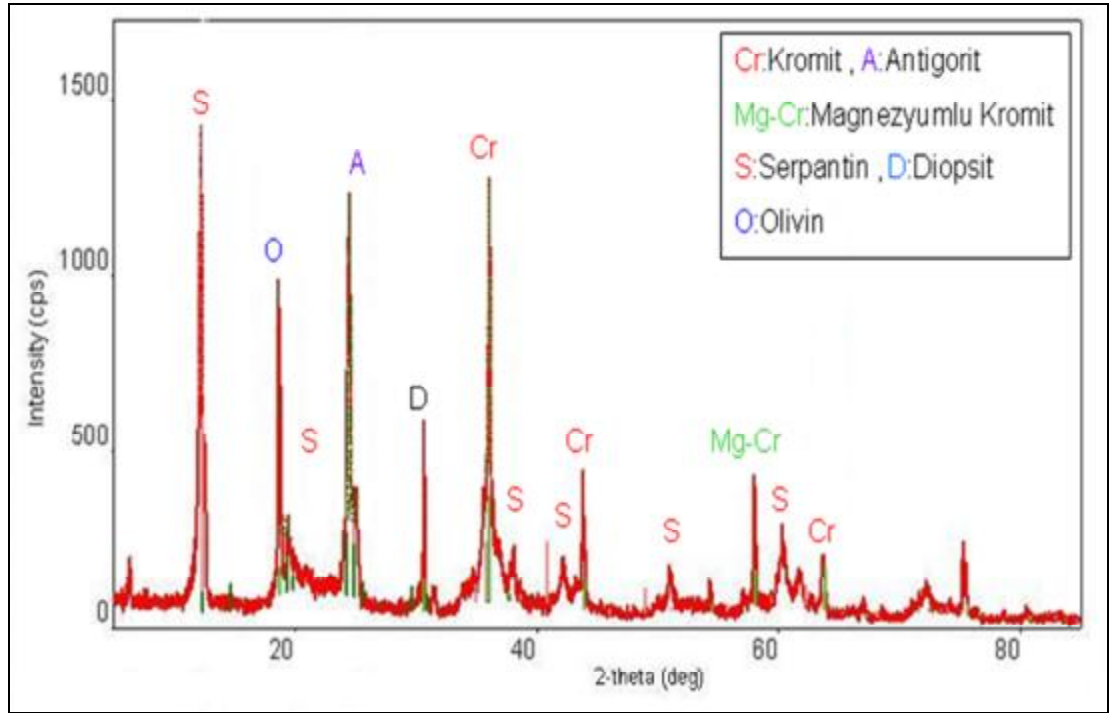


Şekil 3.6. -500+212µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği.

-212+106µm boyut sınıfı için yapılan XRD analizi sonucunda tespit edilen başlıca mineral Kromittir. XRD grafiği Şekil 3.7’te ve mineral ve bileşikler Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. XRD analizi sonucu -212+106µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.

Numune Adı	Mineral – Bileşik	Kimyasal Formül
-212+106µm	Kromit	(Mg,Fe) (Cr,Al) ₂ O ₄
	Magnezyumlu Kromit	FeCr ₂ O ₄
	Serpantin	3MgO 2SiO ₂ 2H ₂ O
	Olivin	2(Mg,Fe)O SiO ₂
	Diopsit	CaO MgO 2SiO ₂
	Antigorit	(Mg, Fe ⁺²) ₃ (SiO ₅) (OH)

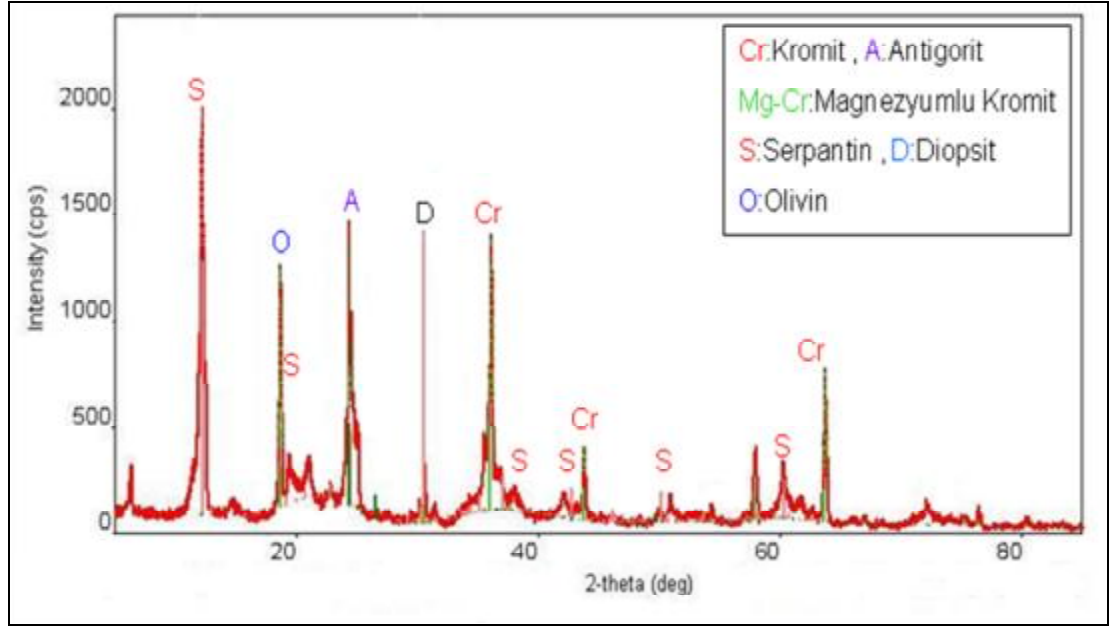


Şekil 3.7. -212+106µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği.

-106µm boyut sınıfı için yapılan XRD analizi sonucunda tespit edilen başlıca mineral magnezyum kromittir. XRD grafiği Şekil 3.8'te ve mineral ve bileşikler Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. XRD analizi sonucu -106µm fraksiyonu numunesinde tespit edilen mineral ve bileşikler.

Numune Adı	Mineral – Bileşik	Kimyasal Formül
-106µm	Kromit	$(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$
	Magnezyumlu Kromit	$FeCr_2O_4$
	Serpantin	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
	Olivin	$2(Mg,Fe)O \cdot SiO_2$
	Diopsit	$CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$
	Antigorit	$(Mg, Fe^{+2})_3 (SiO_5) (OH)$



Şekil 3.8. -106µm fraksiyonu numunesi XRD grafiği.

Numunenin XRF analizi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimya Laboratuvarında yapılmıştır. XRF analizi sonucu tüvenan numunede tespit edilen bileşikler çizelge 3.8'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. XRF analizi sonucu besleme malında tespit edilen bileşik dağılımları.

Bileşik	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
% Dağılım	29,09	1,47	34,16	14,55	17,43

Numunenin kimyasal analizi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimya Laboratuvarında yapılmıştır. Analizler yaş analiz yöntemi olan titrasyon yöntemi ile yapılmıştır.

Analizler öğütülmüş ve kurutulmuş numuneden $\pm 0,0002$ gr hassasiyette 500 ml'lik erlenmayere 0,2 gr tartım alınır, üzerine 20 ml asit karışımı (1 hacim fosforik asit +2 hacim sülfürik asit) ilave edilip çıplak bek alevinde örnek çözününceye kadar bekletilir. Çözünme işlemi tamamlandıktan sonra erlenmayer, bek alevinden alınıp soğumaya bırakılır. Soğumuş örnek üzerine 100-150 ml saf su + 5 ml %1'lik gümüş nitrat + 5 gr civarında amonyum persülfat eklenip ısıtıcı levha üzerinde krom yükseltgenmeye bırakılır (Cr^{+3} dan Cr^{+6} ,ya dönüşür, yeşil renkten kırmızı renge).

Yükseltgenmenin bittiği oksijen kabarcıklarının çıkmasıyla anlaşılır. Daha sonra ısıtıcı levhadan alınan erlenmeyer çeşme suyu altında soğutulur. Soğutulmuş örnek üzerine 20 ml 1/1 H₂SO₄ ilave edilip erlenmeyer tekrar soğutmaya bırakılır. Daha sonra örnek üzerine 4-5 damla %0,2'lik fenil antranilitik asit ilave edilip koyu kahverengi renkli çözelti yeşil renge dönünceye kadar 0,2 N mohr tuzuyla titre edilir. Sarf edilen mohr tuzu büretten okunup krom hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

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

S = 0,2 N mohr tuzu sarfiyatı

N = 0,2 N mohr tuzu gerçek normalitesi

Meg = Cr₂O₃' tin miliekvalent ağırlığı

100 = Krom yüzdesi için sabit sayı

m = Analiz başlangıcındaki alınan tartımı

Kullanılan Reaktifler:

Asit karışımı (1 hacim fosforik asit + 2 hacim sülfürik asit) 1/1 H₂SO₄

Amonyum persülfat (Merck)

% 1'lik gümüş nitrat

% 2'lik fenil antranilitik asit

0,2 N mohr tuzu

Tüvenan ve fraksiyonlara ayrılmış numuneler üzerinde yapılan yaş kimyasal Cr₂O₃ analizleri sonuçları Çizelge 3.9'te verilmiştir.

Çizelge 3.9. Numuneler üzerine yapılan yaş kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	% Cr ₂ O ₃
Besleme Malı	15,45
-1000+500µm	6,94
-500+212µm	18,48
- 212+106µm	19,92
-106µm	15,91

3.2. Zenginleştirme Çalışmaları

Zenginleştirme çalışmalarının da amaç mümkün olduğunca yüksek tenör de kromit konsantresi elde etmektir. Zenginleştirme çalışmalarında günümüz koşullarında endüstriyel anlamda en çok kullanılan yöntemler seçilmiştir. Çalışmalarda farklı boyut sınıflarına ayrılmış kromit numuneleri üzerinde sallantılı masada eğim ve frekans belirleme deneyleri yapılmıştır.

3.2.1. Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri Belirleme Deneyleri

Sallantılı masada parametre belirleme deneyleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde laboratuvar ölçekli Wilfley tipi sallantılı masa kullanılmıştır. Sallantılı masa frekansı (masa sallantı sayısı) 0-450 d/dk arasında ayarlana bilir, genlik 15mm ve masa eğimi ayarlanabilir özelliktedir. Sallantılı masa polyester tabla dış ölçüleri 360*1000*470mm'dir (Şekil 3.25).



Şekil 3.9. Çukurova Üniversitesinde yapılan parametre deneylerinde kullanılan laboratuvar ölçekli Wilfley tip sallantılı masa.

---. Uygun frekans belirlemek için sallantılı masa eğimi 4° sabit tutularak 180, 202, 225 ve 248dev/dak lık hızlarda deneyler yapılmıştır. Uygun eğim belirlemek için ise frekans 202 dev/dak hızda sabit tutularak 3° 4° ve 5° eğimlerde deneyler yapılmıştır. Eğim deneylerinde, frekans deneylerinin 4° sabit eğimde yapılması nedeniyle frekansın 202 dev/dak. olduğu deneylerdeki değerler eğim deneyleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

Deneyler sonucunda konsantre ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Numunelerin Karakterizasyonu

4.1.1. Öğütme ve Öğütme Süresinin Belirlenmesi

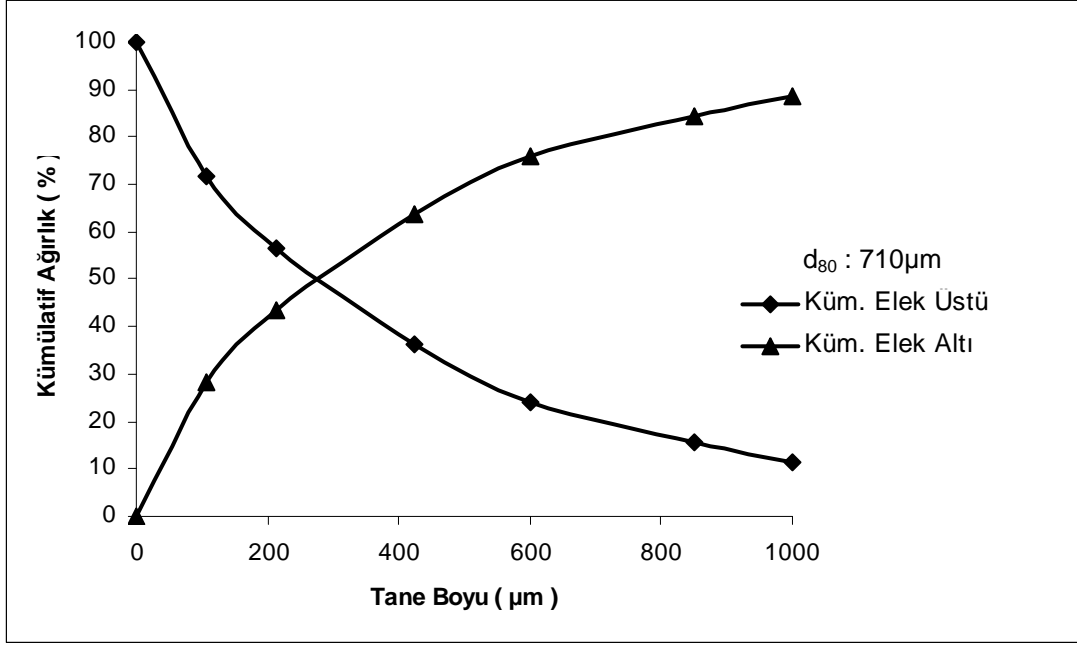
Deneylerde kullanılmak üzere 65kg'a indirilmiş ve 5mm altına kırılmış olan cevherin zenginleştirilmede kullanılacak olan boyuta indirmek için çubuklu değirmen kullanılmaya karar verilmiştir. Cevherin tamamı öğütülmeden en uygun öğütme süresini belirlemek için uygun olduğu düşünülen süre aralığında deneyler yapılmıştır. Bu deneyler 0,5 – 3cm aralığında, 12 kg çubuk, 1kg numune kullanılarak kritik hız olan 66d/dk da kuru olarak yapılmıştır. Deney koşulları her süre için eşit tutularak 7.5, 10, 12.5, 15 dakikalık süreler için yapılmıştır. Her süre için elek analizleri yapılmış ve aşağıda çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

Yapılan elek analizlerinde 1, 0.85, 0.6, 0.425, 0.212, 0.106 mm'lik elekler kullanılmıştır. Elek analizleri yaş olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.1. 7.5dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (µm)	Elek Üstü (gr)	% Miktar (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
	1000	115	11.50	88.50
-1000	850	42	15.70	84.30
-850	600	84	24.10	75.90
-600	425	120	36.10	63.90
-425	212	204	56.50	43.50
-212	106	151	71.60	28.40
-106		284	100.00	0.00
Toplam	1000	100.00		

7.5 dk öğütme süresi için yapılan elek analizi sonucunda D_{80} : 710 μ m olarak bulunmuştur.

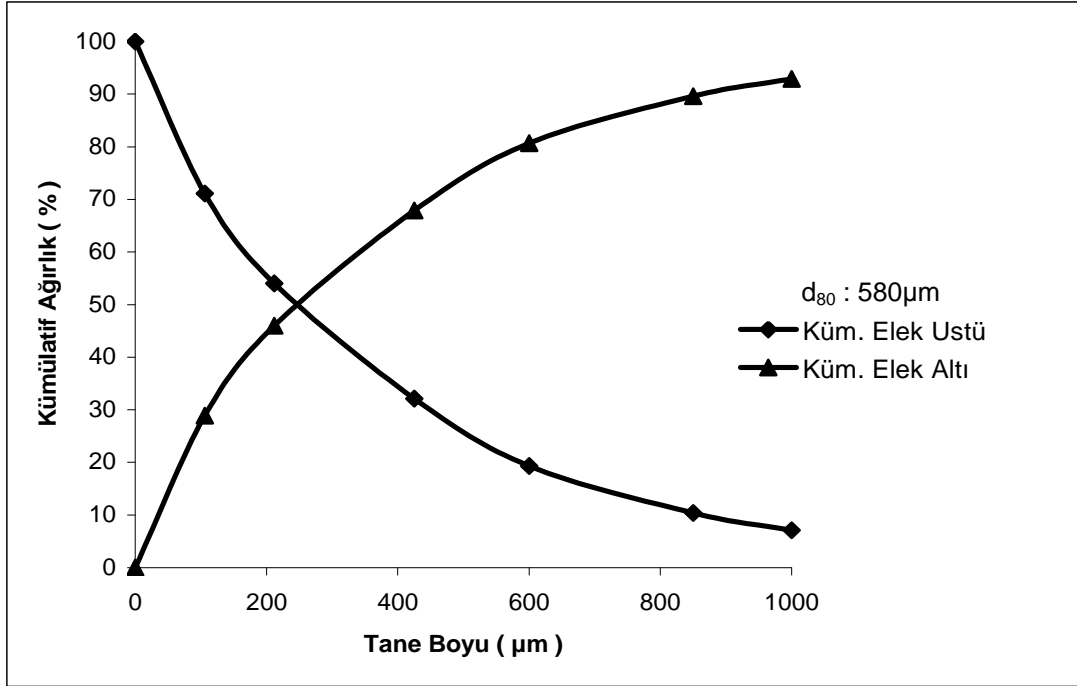


Şekil 4.1. 7.5dk. öğütme süresi için kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

Çizelge 4.2. 10dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (µm)	Elek Üstü (gr)	% Miktar (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
1000	71	7,10	7,10	92,90
-1000	850	33	10,40	89,60
-850	600	89	19,30	80,70
-600	425	128	32,10	67,90
-425	212	219	54,00	46,00
-212	106	171	71,10	28,90
-106		289	100,00	0,00
Toplam	1000	100,00		

10dk öğütme süresi için yapılan elek analizi sonucunda D_{80} : 580 μ m olarak bulunmuştur.

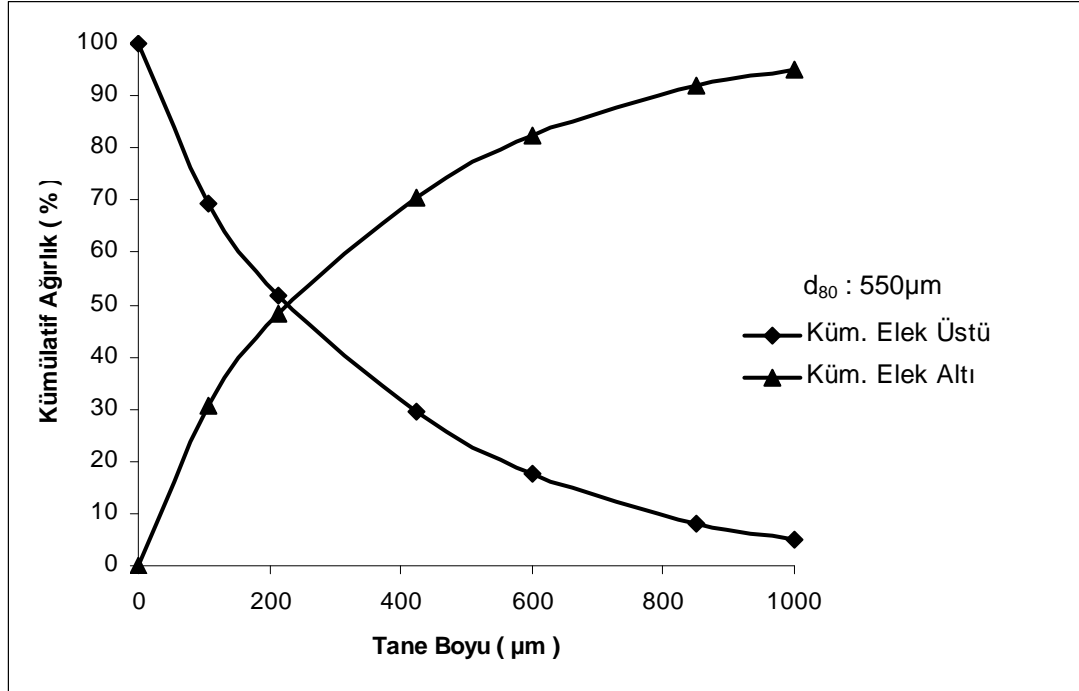


Şekil 4.2. 10dk. öğütme süresi için kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

Çizelge 4.3. 12,5dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (µm)	Elek Üstü (gr)	% Miktar (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
1000	51	5,10	5,10	94.90
-1000	850	30	8,10	91.60
-850	600	94	17,50	82.50
-600	425	120	29,50	70.50
-425	212	222	51,70	48.30
-212	106	176	69,30	30.70
-106	0	307	100,00	0.00
Toplam	1000	100.00		

12,5dk öğütme süresi için yapılan elek analizi sonucunda $D_{80} : 550\mu\text{m}$ olarak bulunmuştur.

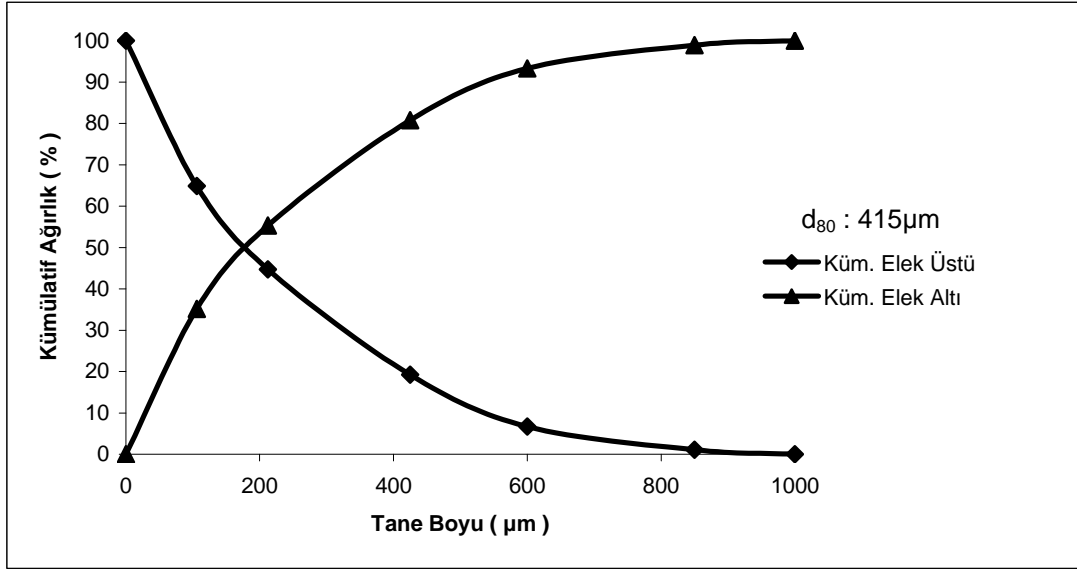


Şekil 4.3. 12,5dk. öğütme süresi için kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

Çizelge 4.4. 15dk. öğütme süresi için yapılmış elek analizi.

Elek Açıklığı (µm)		Elek Üstü (gr)	% Miktar (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
	+1000	0	0,00	0,00	100,00
-1000	850	11	1,10	1,10	98,90
-850	600	56	5,60	6,70	93,30
-600	425	125	12,50	19,20	80,80
-425	212	255	25,50	44,70	55,30
-212	106	202	20,20	64,90	35,10
-106	0	351	35,10	100,00	0,00
Toplam		1000	100,00		

15dk öğütme süresi için yapılan elek analizi sonucunda $D_{80} : 415\mu\text{m}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4. 15dk. öğütme süresi için kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.

Yapılan bu elek analizleri sonucunda optimum süre 1000µm'nin altına inen malzeme miktarına ve 106 µm altına inen malzeme miktarına bakılarak zenginleştirme çalışmalarında kullanılmak istenen boyut aralığı olan -1000+106µm aralığında en uygun değerleri sunan öğütme süresi optimum süre olarak saptanmıştır. Oluşan değerler Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Öğütme sürelerine göre 1000-106µm aralığındaki miktar (gr).

Öğütme Süresi (dk.)	1000µm Altındaki Miktar (gr)	% -1000µm	106µm Altındaki Miktar (gr)	% -106µm	-1000+106µm Aralığındaki Miktar (gr)
7,5	885	88,50	284	28,40	601
10	929	92,90	289	28,90	640
12,5	949	94,90	307	30,70	642
15	1000	100,00	351	35,10	649

Yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan çizelgede görüldüğü üzere optimum öğütme süresi, özellikle 106µm'nin altına geçen miktarlar göz önünde bulundurularak 10dk olarak belirlenmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere 12.5 ve 15dk'lık öğütme sürelerinde 106µm altına geçen malzemedeki büyük oranda artışlar olmuştur. Bu aşamadan sonra zenginleştirme çalışmalarında kullanılacak numunenin tamamı 1mm altına optimum sürede öğütülmüştür.

4.2. Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri Belirleme Deneyleri

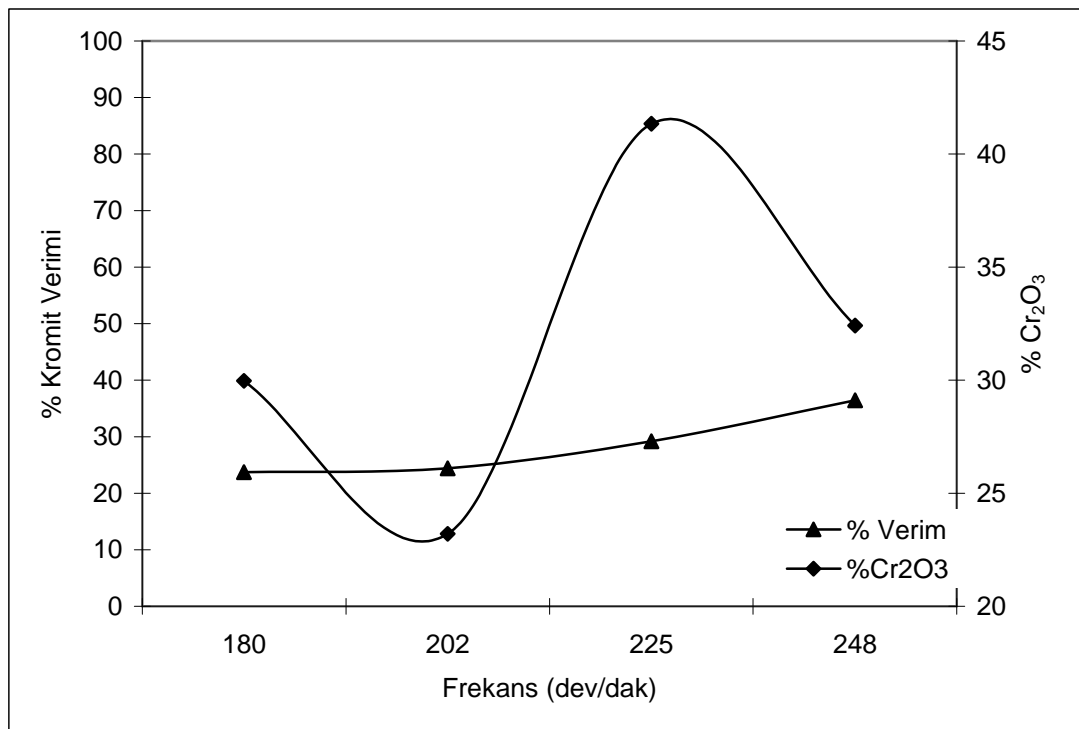
Sallantılı masada parametre belirleme deneyleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada (-1000+500 μ m), (-500+212 μ m), (- 212+106 μ m) boyut sınıfları üzerinde optimum frekans hızını belirlemek için eğim 4° sabit tutularak 180, 202, 225 ve 248dev/dak lık hızlarda deneyler yapılmıştır. Uygun eğim belirlemek için ise frekans 202 dev/dak hızda sabit tutularak 3° 4° ve 5° lik eğimlerde deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda çıkan ürünlerin kimyasal analizleri yapılarak %Cr₂O₃ tenörleri belirlenmiş ve kromit kazanma verimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6'da -1000+500 μ m boyut sınıfında uygun frekansın belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.6. -1000+500 μ m boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları.

Frekans(dev/dak)	Ürünler	Miktar(gr)	%Miktar	%Cr ₂ O ₃	%Cr ₂ O ₃ Verimi
180	Konsantre	55	5,5	29,97	23,75
	Ara Ürün	287	28,7	13,93	57,62
	Artık	658	65,8	1,44	13,69
	Besleme	1000	100	6,94	100,00
202	Konsantre	73	7,3	23,20	24,41
	Ara Ürün	296	29,6	11,29	48,15
	Artık	631	63,1	3,02	27,44
	Besleme	1000	100	6,94	100,00
225	Konsantre	49	4,9	41,34	29,19
	Ara Ürün	349	34,9	12,34	62,06
	Artık	602	60,2	1,70	14,73
	Besleme	1000	100	6,94	100,00
248	Konsantre	78	7,8	32,42	36,44
	Ara Ürün	460	46	9,02	59,78
	Artık	462	46,2	0,57	3,78
	Besleme	1000	100	6,94	100,00

Bu boyut için yapılan frekans deneyleri sonucunda elde edilen konsantre tenörleri ve kromit kazanma verimleri çok düşük olmuştur. Bu durum bize bu boyut aralığında tane serbestleşmesinin çok düşük düzeylerde olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 4.5’de frekanslara göre verim ve tenör grafiği verilmiştir. Bu çalışmalarda en yüksek verim 248dev/dak da, en yüksek tenör değeri 225dev/dak da elde edilmesine rağmen tane serbestleşmesinin çok düşük olmasında dolayı uygun frekans bu değerdir demek mümkün değildir.

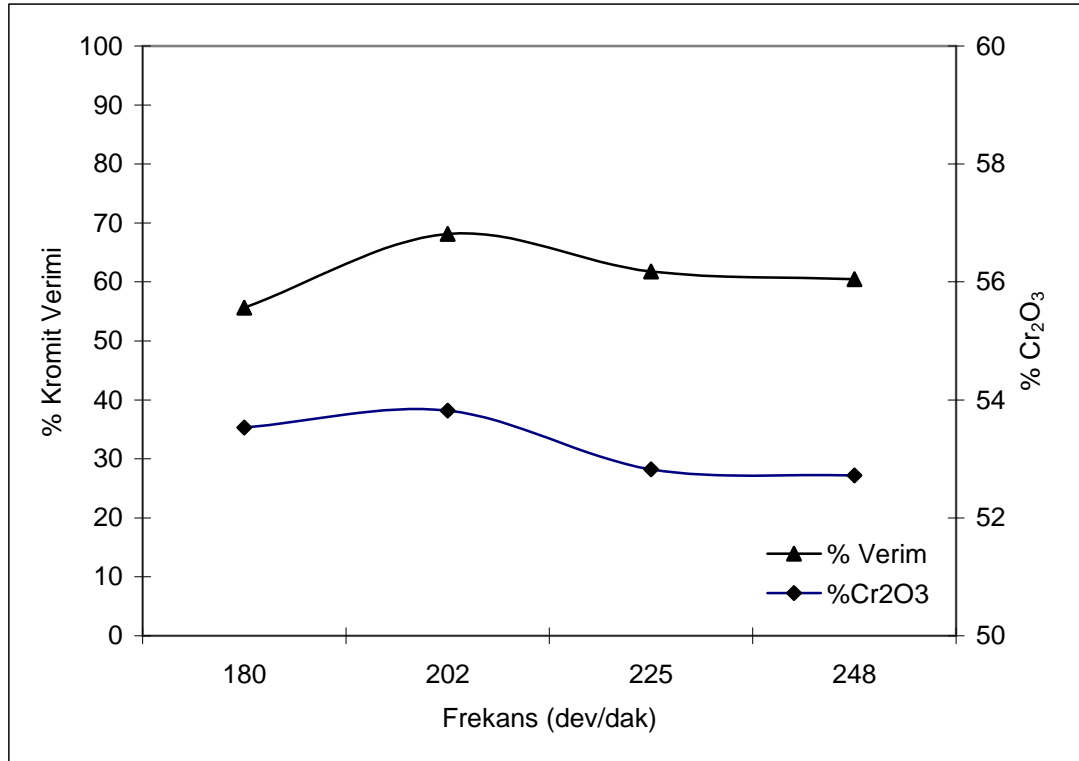


Şekil 4.5. -1000+500µm boyut sınıfı frekans – verim – tenör grafiği.

Çizelge 4.7’de -500+212µm boyut sınıfında uygun frekansın belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Bu boyut için yapılan frekans deneyleri sonucunda satılabilir konsantre elde edilebilmiştir. %Cr₂O₃ tenörü %50’nin üstüne çıkmıştır. Şekil 4.6’da frekanslara göre verim ve tenör grafiği verilmiştir En yüksek tenör değeri 202dev/dak da %53,82 Cr₂O₃ , en yüksek verim de 202dev/dak da %68,14 olmuştur. Bu boyut aralığında ara ürün miktarını fazla olması bağlı tane sayısının bu fraksiyonda da belirli miktarda olduğunu göstermektedir. Ancak en uygun frekans 202dev/dak’a olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. -500+212 μm boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları.

Frekans(dev/dak)	Ürünler	Miktar(gr)	%Miktar	%Cr ₂ O ₃	%Cr ₂ O ₃ Verimi
180	Konsantre	192	19,2	53,53	55,61
	Ara Ürün	508	50,8	15,90	43,72
	Artık	300	30	0,41	0,67
	Besleme	1000	100	18,48	100,00
202	Konsantre	234	23,4	53,82	68,14
	Ara Ürün	422	42,2	12,80	29,24
	Artık	344	34,4	1,41	2,62
	Besleme	1000	100	18,48	100,00
225	Konsantre	196	19,6	52,82	61,74
	Ara Ürün	592	59,2	11,94	36,96
	Artık	212	21,2	1,15	1,32
	Besleme	1000	100	18,48	100,00
248	Konsantre	212	21,2	52,72	60,48
	Ara Ürün	678	67,8	10,70	39,26
	Artık	110	11	0,44	0,26
	Besleme	1000	100	18,48	100,00

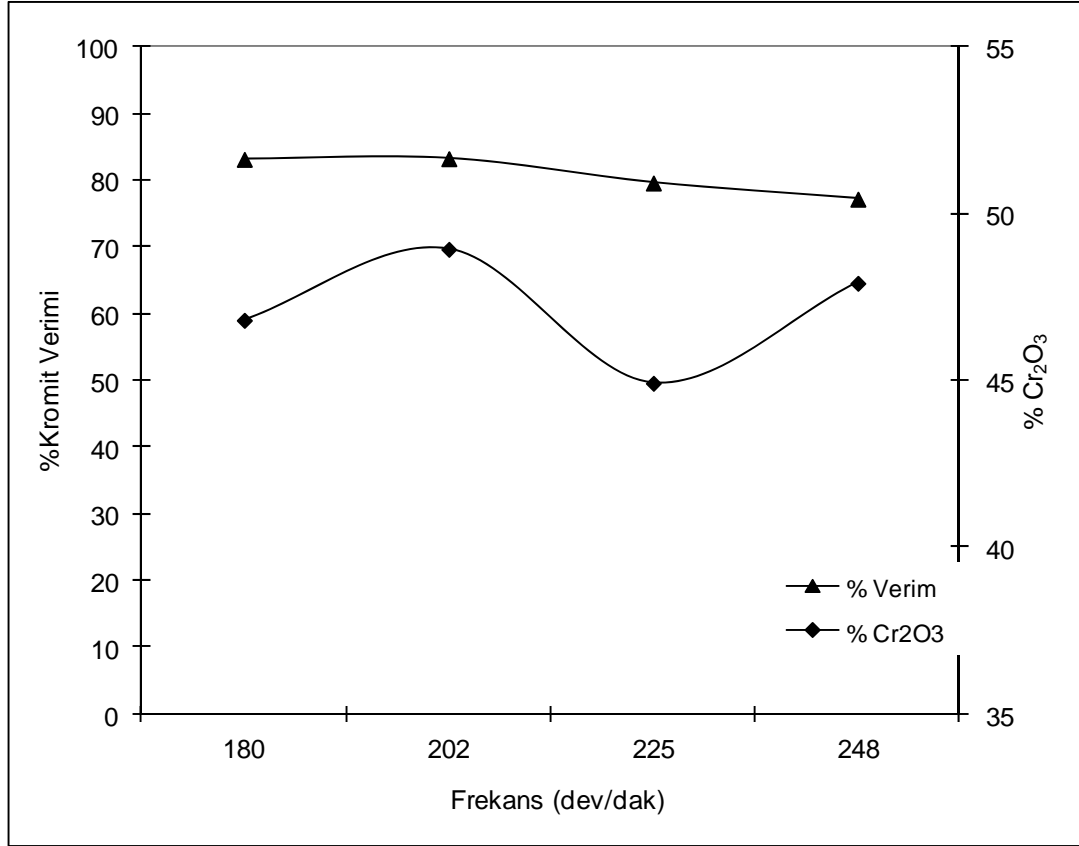
Şekil 4.6. -500+212 μm boyut sınıfı frekans – verim – tenör grafiği.

Çizelge 4.8’de -212+106 μ m boyut sınıfında uygun frekansın belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.8. -212+106 μ m boyut sınıfı uygun frekans belirleme deney sonuçları.

Frekans(dev/dak)	Ürünler	Miktar(gr)	%Miktar	%Cr ₂ O ₃	%Cr ₂ O ₃ Verimi
180	Konsantre	354	35,4	46,81	83,19
	Ara Ürün	233	23,3	14,12	16,52
	Artık	413	41,3	0,14	0,29
	Besleme	1000	100	19,92	100,00
202	Konsantre	339	33,9	48,94	83,29
	Ara Ürün	299	29,9	9,72	14,59
	Artık	362	36,2	1,17	2,12
	Besleme	1000	100	19,92	100,00
225	Konsantre	354	35,4	44,92	79,82
	Ara Ürün	346	34,6	11,53	20,03
	Artık	300	30	0,10	0,14
	Besleme	1000	100	19,92	100,00
248	Konsantre	321	32,1	47,92	77,22
	Ara Ürün	424	42,4	10,18	21,66
	Artık	255	25,5	0,87	1,11
	Besleme	1000	100	19,92	100,00

Bu fraksiyon için yapılan frekans deneyleri sonucunda yüksek verimlerde ve yüksek tenörlerde konsantreler elde edilmiştir. Bu boyut sınıfında tane boyu aralığının dar olması ve çalışılan en küçük boyut olması bu sonucun alınmasında etkili olmuştur. Bu deneyler sonucunda alınan ara ürün ve artıklara bakıldığında tenörlerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu fraksiyonda tane serbestleşmesinin oldukça yüksek oranda gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Bu boyutta en iyi sonuç 202dev/dak’lık frekans değerinde, % 48,94 Cr₂O₃ tenör ve % 83,29 verimle alınmıştır. Bu boyut sınıfının frekans değerlerine göre verim ve tenör grafiği Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere frekansın artması verimi düşürmüştür.



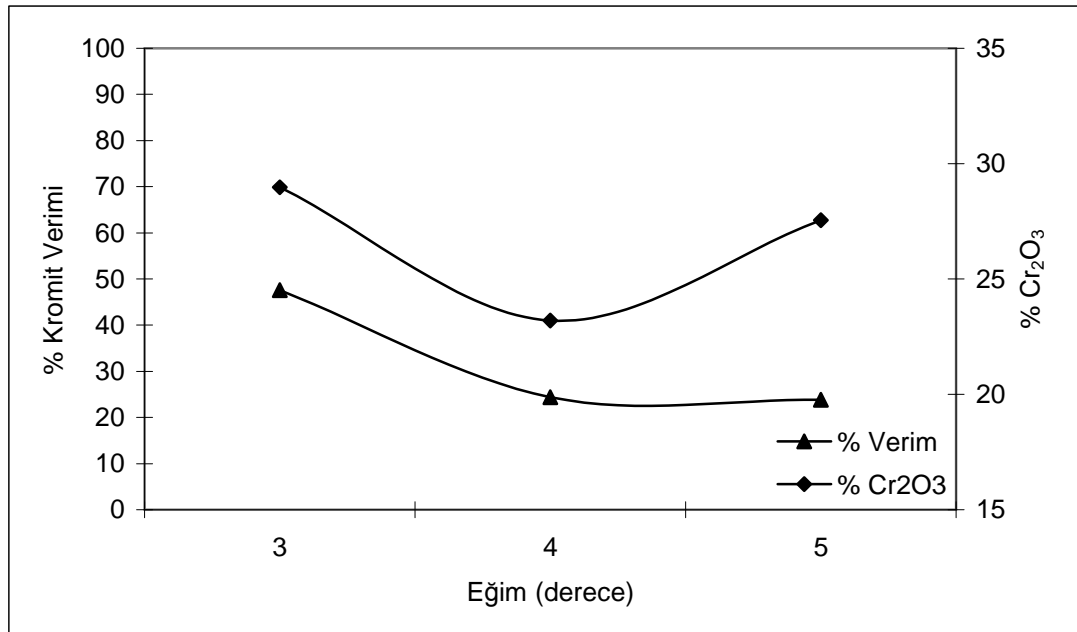
Şekil 4.7. -212+106µm boyut sınıfı frekans – verim – tenör grafiği.

Deneyel çalışmaların son aşamasında ise uygun eğim belirlemek için frekans 202 dev/dak hızda sabit tutularak 3° 4° ve 5° lik eğimlerde deneyler yapılmıştır. Aşağıda her boyut için yapılan deneyler çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

Çizelge 4.9'da -1000+500µm boyut sınıfında uygun eğimin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Bu fraksiyon için yapılan deneylerin sonucunda eğim arttıkça kromit kazanma verimi düşmüştür. En iyi sonuç 3° eğimde alınmıştır. Frekans deneylerinde de bahsedildiği üzere bu boyut sınıfında tane serbestleşmesi çok düşük düzeydedir. Bu yüzden yüksek tenör de konsantre elde edilememiştir. Sallantılı masa çalışma koşullarında genellikle iri boyutlarda yüksek masa eğimlerinde çalışmak uygundur. Bu deneylerde ise eğim arttıkça verim düşmüştür. Buda bize masa frekansının bu kromit cevheri için daha etken olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.8'de eğim parametresine göre verim ve tenör grafiği verilmiştir. Bu boyut sınıfının frekans deneyleri de göz önünde bulundurulduğunda 500µm'nin altına küçültülerek değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 4.9. -1000+500 μ m boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları.

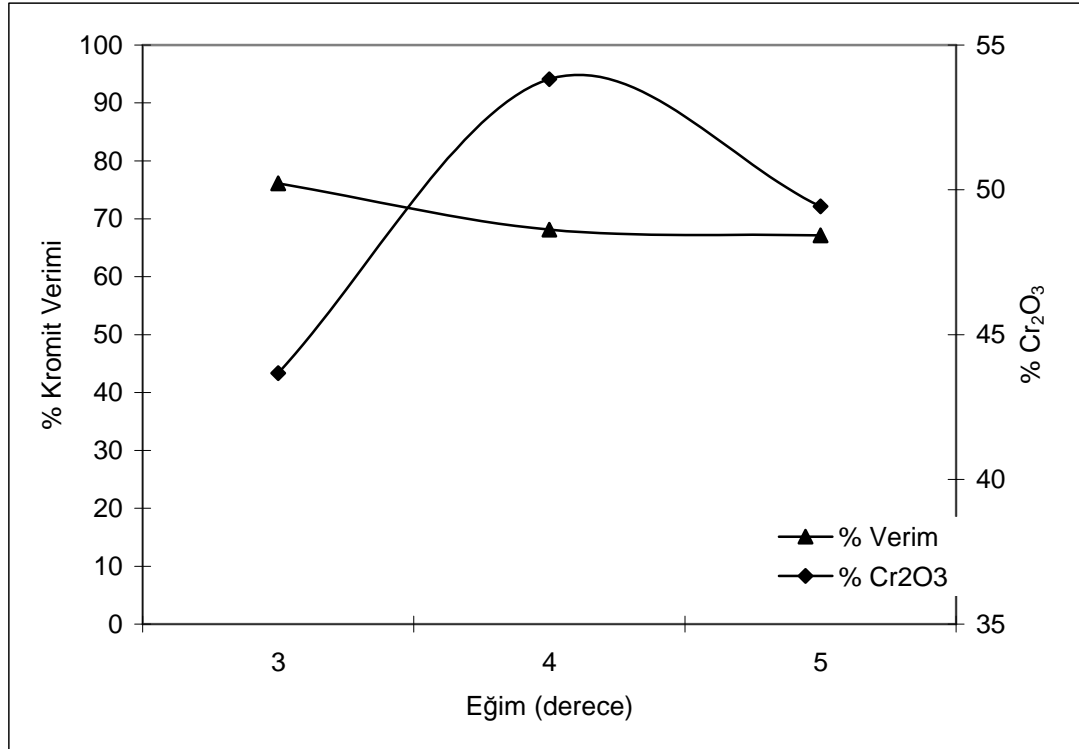
Eğim (derece)	Ürünler	Miktar(gr)	%Miktar	%Cr ₂ O ₃	%Cr ₂ O ₃ Verimi
3	Konsantre	114	11,4	28,97	47,59
	Ara Ürün	265	26,5	9,69	36,99
	Artık	621	62,1	1,72	15,42
	Besleme	1000	100	6,94	100,00
4	Konsantre	73	7,3	23,20	24,41
	Ara Ürün	296	29,6	11,29	48,15
	Artık	631	63,1	3,02	27,44
	Besleme	1000	100	6,94	100,00
5	Konsantre	60	6	27,55	23,81
	Ara Ürün	313	31,3	12,61	56,87
	Artık	627	62,7	1,98	17,84
	Besleme	1000	100	6,94	100,00

Şekil 4.8. -1000+500 μ m boyut sınıfı eğim – verim – tenör grafiği.

Çizelge 4.10'da -500+2012 μ m boyut sınıfında uygun eğimin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Şekil 4.9'da eğim parametresine göre verim ve tenör grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.10. -500+212 μ m boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları.

Eğim (derece)	Ürünler	Miktar(gr)	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Cr ₂ O ₃ Verimi
3	Konsantre	322	32,2	43,67	76,09
	Ara Ürün	577	57,7	7,65	23,88
	Artık	101	10,1	0,07	0,04
	Besleme	1000	100	18,48	100,00
4	Konsantre	234	23,4	53,82	68,14
	Ara Ürün	422	42,2	12,80	29,24
	Artık	344	34,4	1,41	2,62
	Besleme	1000	100	18,48	100,00
5	Konsantre	251	25,1	49,43	67,14
	Ara Ürün	126	12,6	30,61	20,87
	Artık	623	62,3	3,25	10,97
	Besleme	1000	100	18,48	100,00

Şekil 4.9. -500+212 μ m boyut sınıfı eğim – verim – tenör grafiği.

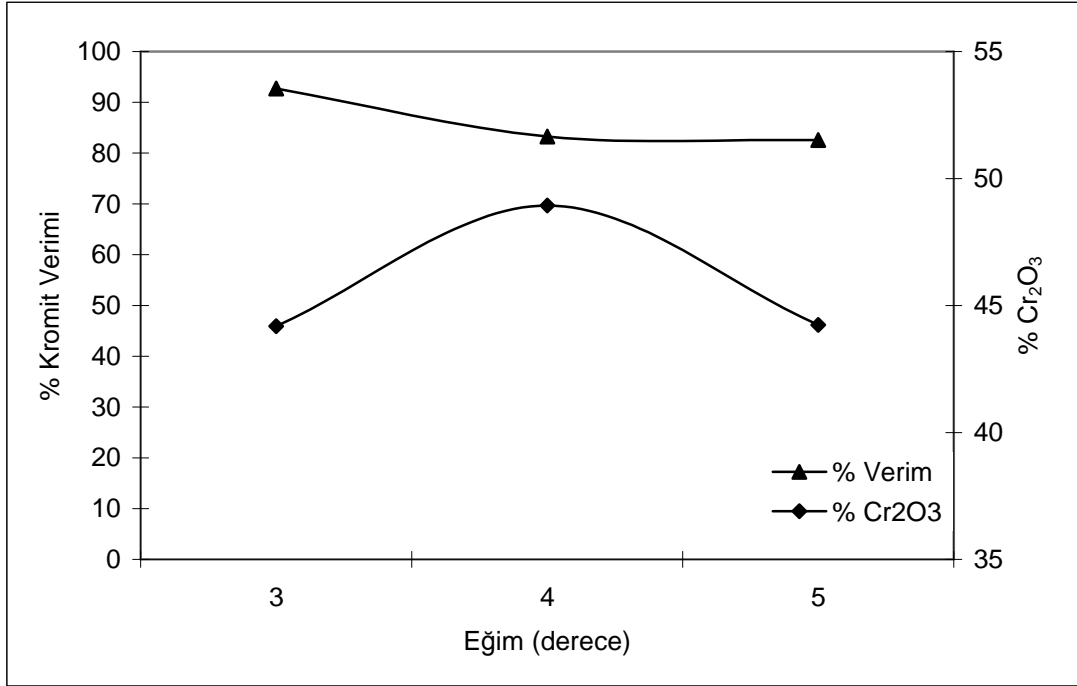
-500+2012µm boyut sınıfında yapılan deneyler sonucunda en iyi verim değeri 3° eğimde gerçekleşmesine rağmen tenör satılabilir (%48 < Cr₂O₃) değerinin altında kalmıştır. En iyi tenör değeri ise 4° eğimde %53,82 Cr₂O₃ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.11’de -212+106µm boyut sınıfında uygun eğimin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.11. -212+106µm boyut sınıfı uygun eğim belirleme deney sonuçları.

Eğim (derece)	Ürünler	Miktar(gr)	%Miktar	%Cr ₂ O ₃	%Cr ₂ O ₃ Verimi
3	Konsantre	418	41,8	44,18	92,71
	Ara Ürün	494	49,4	2,91	7,22
	Artık	88	8,8	0,15	0,07
	Besleme	1000	100	19,92	100,00
4	Konsantre	339	33,9	48,94	83,29
	Ara Ürün	299	29,9	9,72	14,59
	Artık	362	36,2	1,17	2,12
	Besleme	1000	100	19,92	100,00
5	Konsantre	372	37,2	44,23	82,60
	Ara Ürün	292	29,2	11,50	16,85
	Artık	336	33,6	0,32	0,55
	Besleme	1000	100	19,92	100,00

Bu boyut sınıfında tane serbestleşmesinin çok iyi olmasından dolayı yüksek verimlerde konsantreler alınabilmektedir. Sadece 4° eğimde satılabilir (%48 < Cr₂O₃) konsantre elde edilebilmiştir. En yüksek verim değerine 3° eğimde %92,43 Cr₂O₃ olarak ulaşılmıştır. 5° eğimde yüksek verim değerine ulaşılmış (%82,60 Cr₂O₃) ancak 5° ve 3°'lik eğimlerde satılabilir konsantreler elde edilememiştir. Deney sonuçlarının eğim göre verim ve tenör grafiği Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. -212+106µm boyut sınıfı eğim – verim – tenör grafiği

4.3. Sallantılı Masa ve MGS de Proses Oluşturma Deneyleri

Sallantılı masa parametre deneylerinden son endüstriyel anlamda bir zenginleştirme yapmak amacı ile sallantılı masa ve MGS ile proses deneyleri yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmalar hazırlanmış olan her boyut sınıfı için masa deneyleri eğim parametresi değiştirilmiştir. Diğer tüm parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Burada MGS deneylerinde kullanılmak üzere en alt boyut sınıfı olan -106µm sallantılı masada zenginleştirilirken şlam atma işlemi yapılmıştır. Şlam atma ile 53µm altındaki boyut sınıfı MGS çalışmalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Deneylerde Wilfley laboratuvar tipi sallantılı masa kullanılmıştır (Şekil 4.11). Sallantılı masa parametreleri; frekans (masa sallantı sayısı) 200dev/dk, masa genliği 12mm ve belsme ve yıkama suyu debisi 10lt/dak. olarak deneyler yapılmıştır.

Deneylerde her bir fraksiyondan 4000gr numune kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yalnız -106µm boyut sınıfında şlam atma uygulandığı için 9000gr

numene kullanılmıştır. Deneyler de çıkan ürünler tekrar beslenerek nihai konsantre ve artıklar elde edilmiştir.



Şekil 4.11. İstanbul Teknik Üniversitesinde proses deneylerinde kullanılan Wilfey tipi sallantılı masa.

-1000+500 μ m fraksiyonu için dört kademeli bir proses uygulanmıştır. Bu proste çıkan farklı ürünlerde farklı eğimlerde çalışmalar yapılmıştır. İlk aşama zenginleştirmeden sonra alınan konsantreye temizleme devresi, artıka ise süpürme devresi eklenmiştir. Temizleme devresinin artığı ile süpürme devresinin konsantresi birleştirilerek tekrar sallantılı masaya beslenerek yeni ürünler elde edilmiştir.

Bu boyut sınıfı için masa eğimleri 2°, 4° ve 6° lik eğimlerde deneyler yapılmıştır. Önce kaba bir zenginleştirme ardından temiz konsantre ve temiz atık alınacak şekilde masa eğimleri değiştirilerek zenginleştirme çalışması tamamlanmıştır. Temiz konsantre almak için eğim yüksek, temiz artık almak için eğim düşük tutulmuştur.

-500+212 μ mfraksiyonu içinde dört kademeli bir proses uygulanmıştır. Bu boyut sınıfında ki deneylerde de masa eğimi 2°, 4° ve 6° lik eğimlerde deneyler yapılmıştır. Bu boyutta besleme tenörünün yüksek olması nedeniyle kaba zenginleştirme aşamasında da temiz konsantre alınabilmiştir. İlk zenginleştirme

ürünleri farklı eğimlerde tekrar masaya beslenerek konsantre ara ürün ve artıklar alınmıştır. Bu boyut sınıfında ilk aşama zenginleştirme de ara ürün alınmıştır. Ara ürün ayrıca sallantılı masaya beslenerek konsantre alınmıştır.

-212+106µm fraksiyonu için üç kademeli bir proses uygulanmıştır. Bu boyut sınıfında boyutun küçük olması nedeniyle orta ve düşük eğimlerde deneyler yapılarak proses oluşturulmuştur. İlk aşamada masa eğimi 4° eğimde temiz konsantre, ara ürün ve temiz artık alınmıştır. Ara ürün masa eğiminin 2° olduğu eğimde çalışılarak temiz konsantre alınmış atığa giden tüm ürünler tekrar masa eğiminin 2° olduğu masaya beslenerek konsantre, ara ürün ve artık alınmıştır.

-106µm fraksiyonu için, deneyde kullanılacak numune boyutun çok küçük olması nedeniyle ıslak olarak -53µm lik elekten geçirilerek şlam atma işlemi yapılmıştır. -53µm nin altındaki numune MGS deneylerinde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Sallantılı masa deneyinde kullanılacak olan boyut -106+53µm aralığında olmuştur. Bu boyut sınıfının çok küçük olması nedeniyle masa eğimi 2° olarak deneyler yapılmıştır. Deneyde ilk aşamada temiz bir konsantre alınmış olup ara ürün ve artık ayrı ayrı masalara beslenmiştir. İlk önce artık masaya beslenerek temiz bir artık alınmış ve konsantre olarak alınan kısım bir önceki devreden alınan ara ürünle birlikte yeniden masaya beslenmiştir. Üçüncü aşamada masaya beslenen numuneden konsantre, ara ürün ve artık alınmıştır.

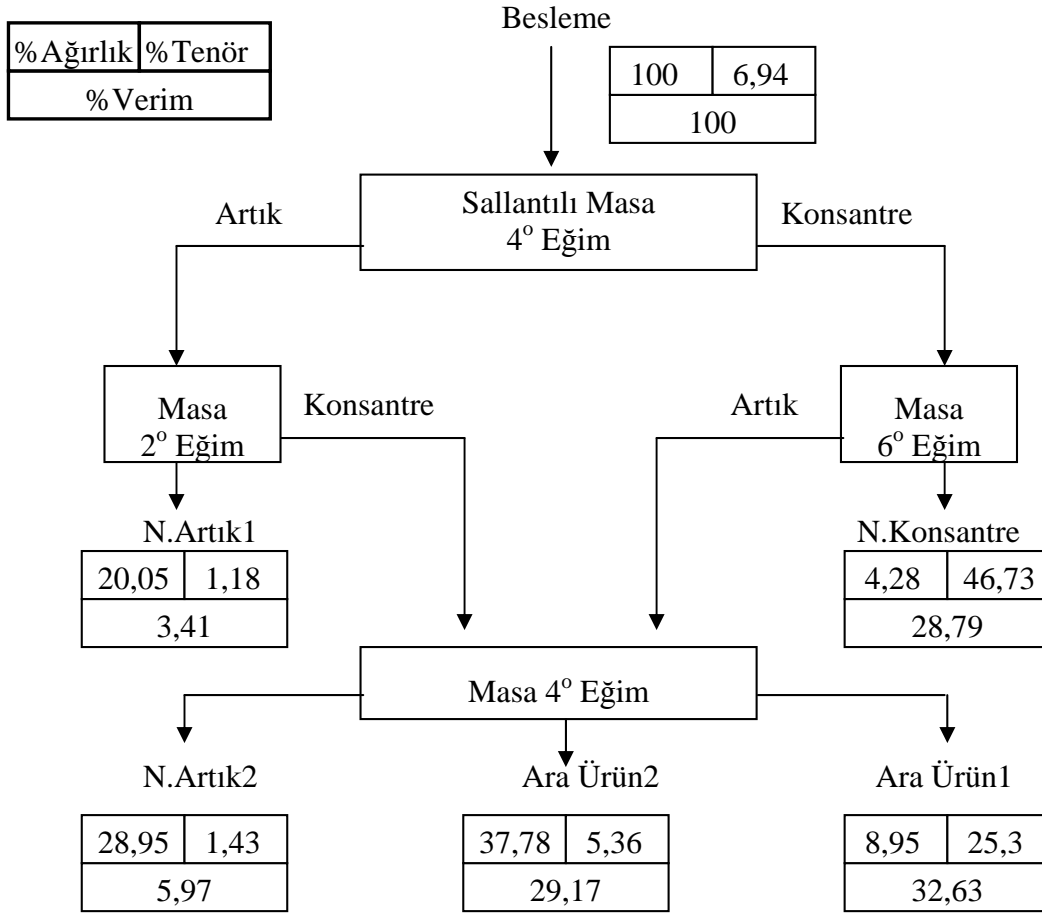
Proses belirleme deneylerinin son aşamasında -53µm'nin altında ki boyut sınıfı için MGS deneyleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri tambur dönüş hızı dışında sabit tutulmuştur. Tambur dönüş hızları ise ilk olarak 270dev/dak sonra sırası ile 230 ve 200dev/dak olarak deneyler yapılmıştır. Diğer deney parametreleri ise; Katı oranı %10, Besleme miktarı 2lt/dak, Yıkma suyu 2lt/dak, Eğim 2°, Genlik 15mm sabit tutularak deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan MGS cihazı Şekil 4.12 de görülmektedir.



Şekil 4.12. İstanbul Teknik Üniversitesinde deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli C900 tipi MGS cihazı.

İlk aşamada numunenin tamamı 270dev/dak hızda beslenerek birinci artık alınarak numune temizlenmiştir. İkinci aşamada 230dev/dak hızda ilk aşamada alınan konsantre ve ara ürünün tamamı beslenerek ikinci bir artık alınmıştır. Üçüncü aşamada ise ikinci aşamada alınan konsantre ve ara ürünün tamamı beslenerek nihai konsantre, ara ürün ve artık alınmıştır.

-1000+500 μ m boyut sınıfı için Şekil 4.13'te gösterilen akım şemasında gösterilen yol izlenerek zenginleştirme çalışmaları yapılmış ve Çizelge 4.12'da bu boyut sınıfında yapılan deneyler sonucunda oluşan ürünler sunulmuştur.



Şekil 4.13. -1000+500µm boyut sınıfında sallantılı masa deney akım şeması

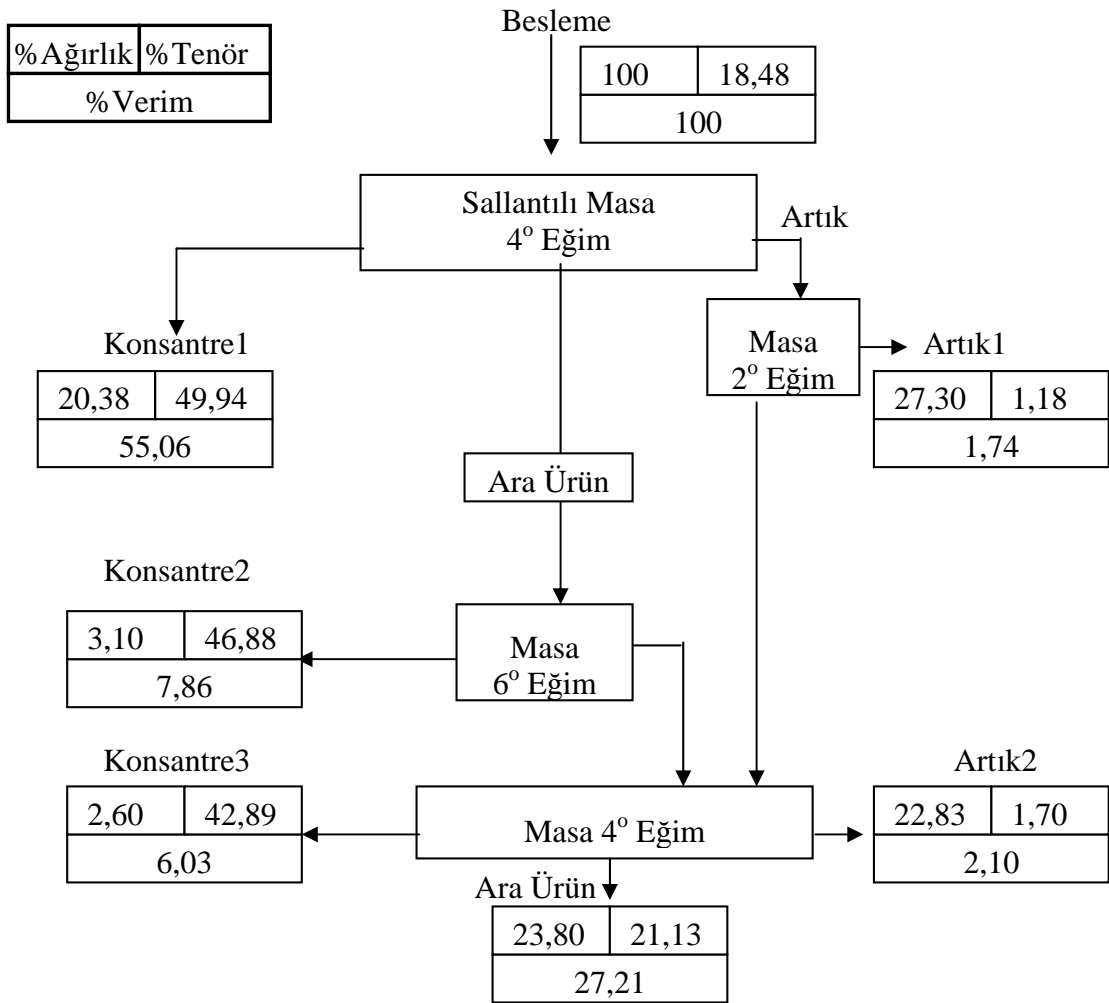
Çizelge 4.12. -1000+500µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları.

Tane Boyu (µm)	Ürünler	Miktar (gr)	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
-1000+500	Konsantre	171	4,28	46,73	28,79
	Ara Ürün 1	358	8,95	25,3	32,63
	Ara Ürün 2	1511	37,78	5,36	29,17
	Artık 2	1158	28,95	1,43	5,97
	Artık 1	802	20,05	1,18	3,41
	Besleme	4000	100,00	6,94	100,00

Bu boyut için konsantre temizleme amaçlı ikinci kez masaya beslenmiş ara ürün ise son aşamada konsantre gibi alınmıştır. Buna rağmen alınan ürünlerin miktar tenör ve verim değerlerine bakıldığında bu boyutta yeterince tane serbestleşmesinin

olmadığı düşünülebilir ki konsantre miktarının çok az olması ve ara ürün tenör ve miktarına bakıldığında halen bağlı tanelerin çok yoğun olduğu ortaya çıkmaktadır.

-500+212 μ m boyut sınıfında Şekil 4.14'de görülen akım şemasında olduğu gibi deneyler yapılmış ve Çizelge 4.13'te yapılan proses oluşturma deneyi sonucunda oluşan ürünler görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü üzere üç konsantre ara ürün ve artıklar alınmıştır.



Şekil 4.14. -500+212 μ m boyut sınıfında sallantılı masa deney akım şeması.

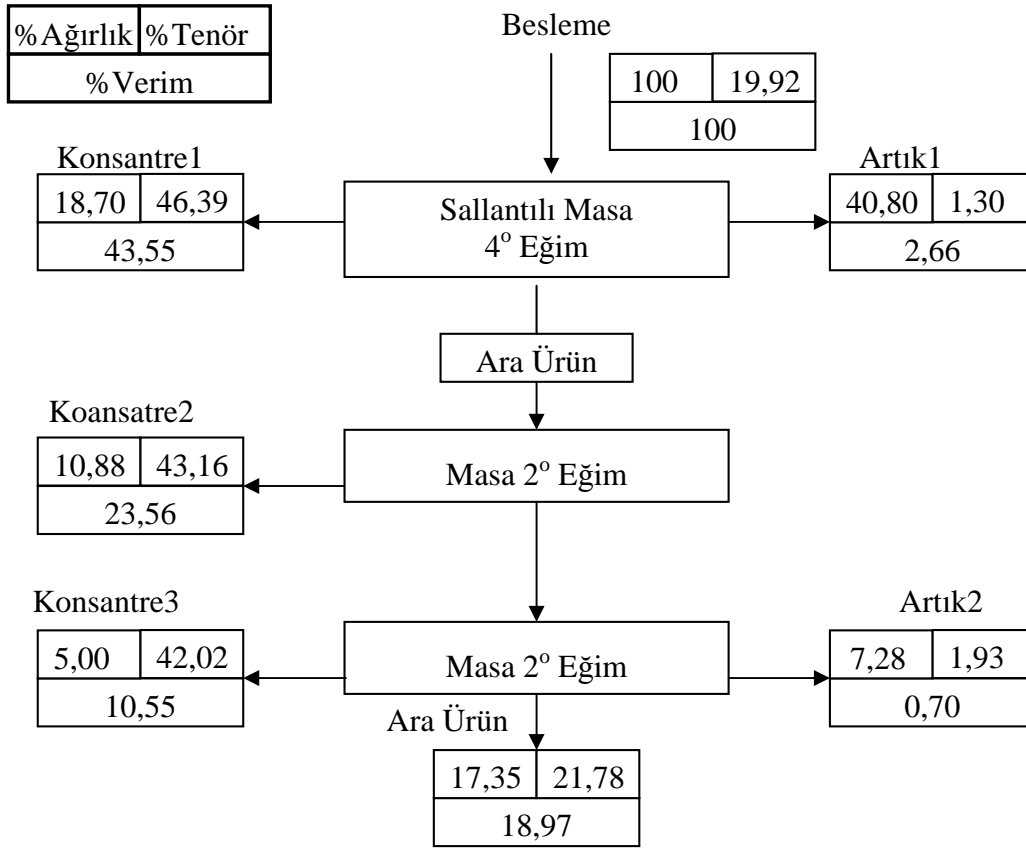
Çizelge 4.13. -500+212 μm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları.

Tane Boyu (μm)	Ürünler	Miktar (gr)	% Miktar	% Cr_2O_3	% Kromit Verimi
-500+212	Konsantre1	815	20,38	49,94	55,06
	Konsantre2	124	3,10	46,88	7,86
	Konsantre3	104	2,60	42,89	6,03
	Ara Ürün	952	23,80	21,13	27,21
	Artık 2	913	22,83	1,7	2,10
	Artık 1	1092	27,30	1,18	1,74
	Besleme	4000	100,00	18,48	100,00

Bu fraksiyonda yapılan deneyler sonucunda piyasada direk satılabilir konsantre ($\%48 < \text{Cr}_2\text{O}_3$) elde edilmiştir. Bu boyut aralığında yeterli miktarda tane serbestleşmesi olduğu düşünülmektedir. Bu deneylerde üç farklı kademedeki iyi tenörlerde konsantre alınmıştır yalnız alınan ara ürün miktarı yüksektir. Bu deneylerin farklı deney koşullarında ve eklenecek yeni devreler ile ara ürün miktarı düşürülecek ve daha yüksek verim ve tenörde konsantreler alınabilecektir.

-212+106 μm boyut sınıfında Şekil 4.15 deki akım şemasında gösterilen yol izlenerek deneyler yapılmış ve Çizelge 4.14’de bu boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneyi sonucunda oluşan ürünler sunulmuştur. Boyutun küçülmesinden dolayı daha düşük eğimlerde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda üç farklı konsantre elde edilmiş ve kabul edilebilir tenörlerde artıklar alınmıştır.

Bu boyut sınıfında ara ürün miktarı en az seviyeye inmiş fakat konsantre tenörleri $\%48 \text{Cr}_2\text{O}_3$ ’ü geçememiştir. Artık tenörlerinin çok düşük seviyede olması bize tane serbestleşmesinin sağlandığını göstermektedir. Farklı koşullarda zenginleştirme çalışması yapılması durumunda $\%48 \text{Cr}_2\text{O}_3$ tenörlü konsantreler elde edilebileceği düşünülmektedir.

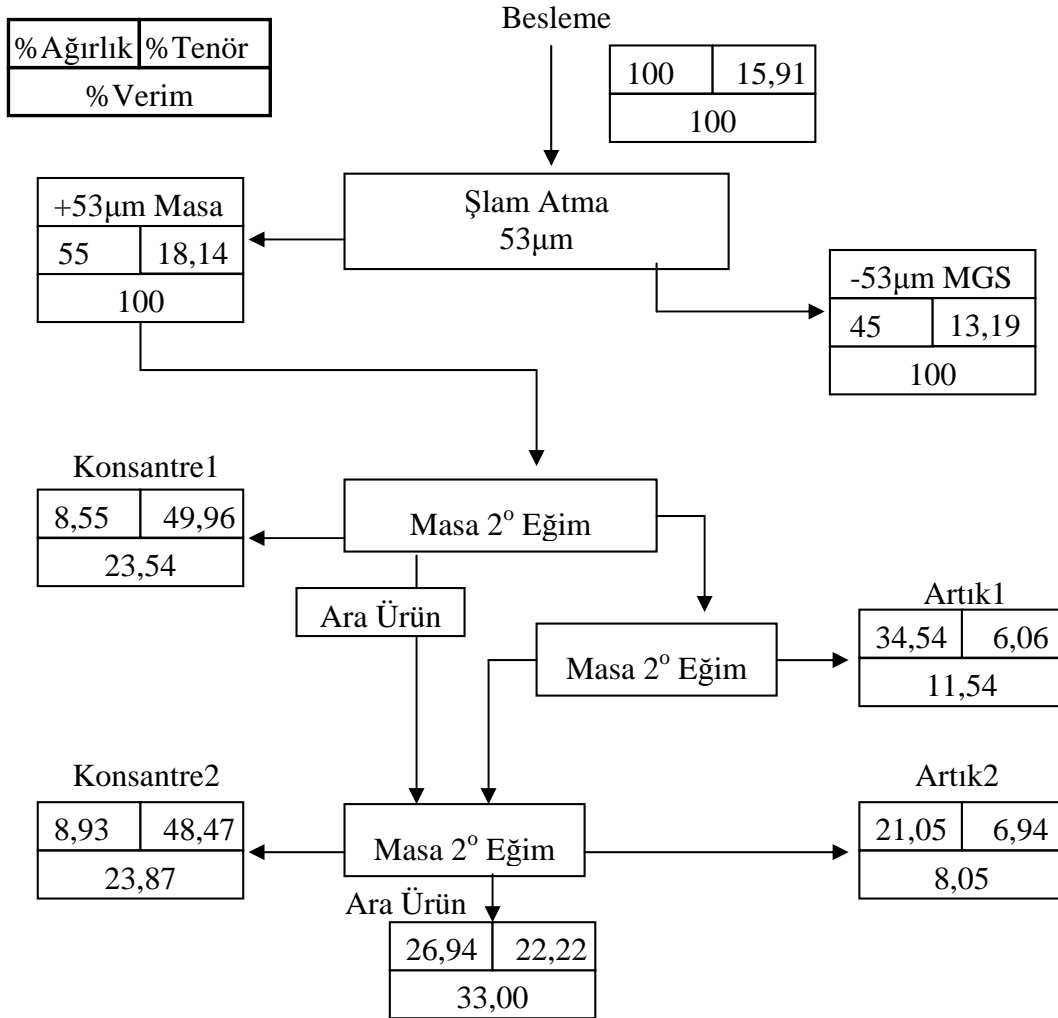


Şekil 4.15. -212+106µm boyut sınıfında sallantılı masa deney akım şeması.

Çizelge 4.14. -212+106µm boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları.

Tane Boyu (µm)	Ürünler	Miktar (gr)	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
-212+106	Konsantre	748	18,70	46,39	43,55
	Konsantre	435	10,88	43,16	23,56
	Konsantre	200	5,00	42,02	10,55
	Ara Ürün	694	17,35	21,78	18,97
	Artık 2	291	7,28	1,93	0,70
	Artık 1	1632	40,80	1,3	2,66
	Besleme	4000	100,00	19,92	100,00

-106+53 μ m boyut sınıfı için Şekil 4.16'da görülen akım şemasındaki yol izlenerek deneyler yapılmış ve Çizelge 4.15'de bu boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneyi sonucunda oluşan ürünler sunulmuştur. Bu deneylerde boyutun çok küçük olmasından dolayı masa eğimi çok düşük (2°) tutulmuştur.



Şekil 4.16. -106+53 μ m boyut sınıfında sallantılı masa deney akım şeması.

Deneyler sonucunda yüksek tenörlü kromit konsantreleri (%48 Cr_2O_3) elde edilmiştir. Yalnız boyutun sallantılı masa için çok küçük olmasından dolayı kromit kaybı fazla olmuştur. Bunun sonucunda ara ürün ve artık tenörü yüksek çıkmıştır. Bu boyut sınıfının sallantılı masada farklı deney koşullarında veya şlam masasında zenginleştirme deneylerinin yapılması gerekmektedir. Bunun yanın da bu fraksiyonun tamamı şlam atma işlemi yapmadan MGS ile de zenginleştirme

deneyleri yapılarak daha verimli zenginleştirme yapılabilir. Yapılan bu deney MGS zenginleştirme öncesinde ön zenginleştirme devresi olarak değerlendirilebilir.

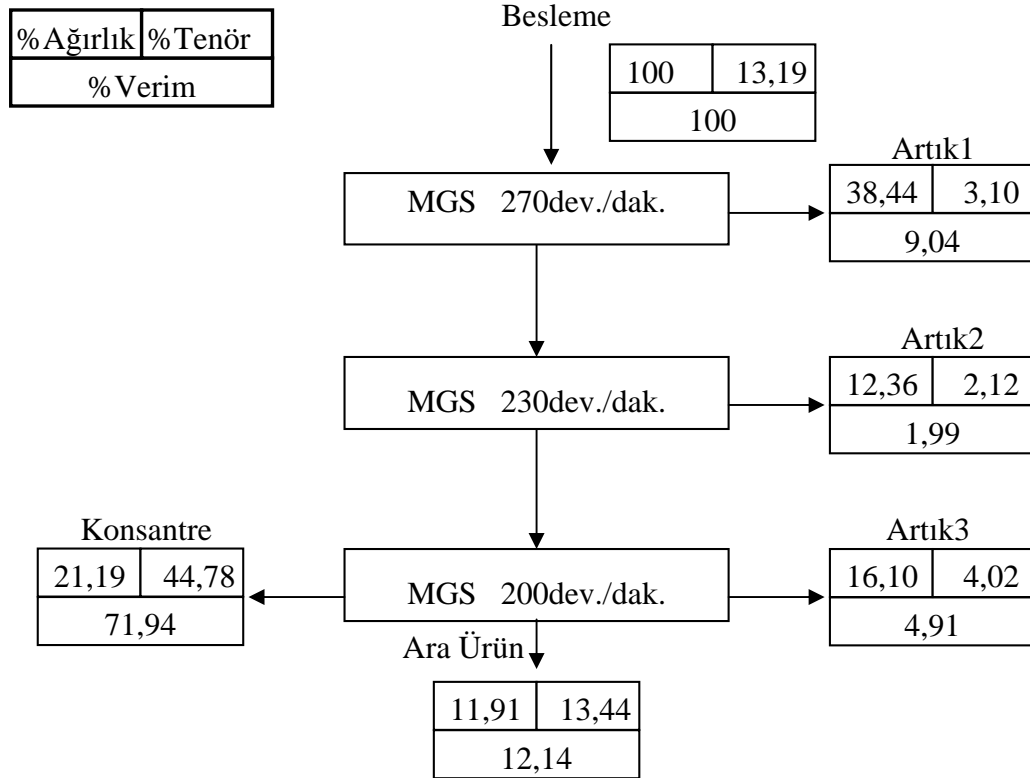
Çizelge 4.15. -106+53 μ m boyut sınıfında sallantılı masa proses deney sonuçları.

Tane Boyu (μ m)	Ürünler	Miktar (gr)	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
-106+53	Konsantre	422	8,55	49,96	23,54
	Konsantre	441	8,93	48,47	23,87
	Ara Ürün	1330	26,94	22,22	33,00
	Artık 2	1039	21,05	6,94	8,05
	Artık 1	1705	34,54	6,06	11,54
	Besleme	4937	100,00	18,14	100,00

Proses oluşturma deneylerinin son aşamasında şlam boyutu olan 53 μ m'nin altındaki numune için yapılan MGS deneyleri Şekil 4.17'de görüldüğü gibi yapılmış ve deney sonucu oluşan ürünler Çizelge 4.16'da sunulmuştur. Bu deneyler sonucunda piyasada satılabilir konsantre alınamamıştır yalnız kromit kazanma verimi gayet yüksektir. Bu deneye eklenecek devreler ve MGS çalışma parametreleri üzerinde yapılacak değişikliklerle satılabilir (%48 <Cr₂O₃) konsantre elde edilebilir.

Çizelge 4.16. -53 μ m boyut sınıfında MGS proses deney sonuçları.

Tane Boyu (μ m)	Ürünler	Miktar (gr)	% Miktar	% Cr ₂ O ₃	% Kromit Verimi
-53	Konsantre	861	21,19	44,78	71,94
	Ara Ürün	484	11,91	13,44	12,14
	Artık 3	654	16,10	4,02	4,91
	Artık 2	502	12,36	2,12	1,99
	Artık 1	1562	38,44	3,10	9,04
	Besleme	4063	100,00	13,19	100,00



Şekil 4.17. -53µm boyut sınıfında MGS deney akım şeması.

Tüm boyut sınıfları için yapılan deneylerin sonuçları bir araya getirilerek boyutlara yarılmamış besleme malına göre verimler değerlendirilmiş ve Çizelge 4.11’de sunulmuştur. Toplamda konsantre verimi besleme malına göre %62,22 ve %46,72 Cr₂O₃ olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.17. Proses oluşturma deneyleri sonucunda oluşan besleme malına göre verim değerleri.

Tane Boyut (µm)	Ağırlık (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör % Cr ₂ O ₃	Besleme Malına Göre % Ağırlık	İçerik	Sınıf Verimi (%)	Besleme Malına Göre Verim (%)
-1000+500	17,12	Konsantre	4,28	46,73	0,81	38,05	28,79	2,46
		Ara Ürün 1	8,95	25,3	1,7	43,13	32,63	2,79
		Ara Ürün 2	37,78	5,36	7,2	38,57	29,17	2,5
		Artık 2	28,95	1,43	5,51	7,89	5,97	0,51
		Artık 1	20,05	1,18	3,82	4,51	3,41	0,29
		Bestleme	100	6,94	19,05	132,19	100	8,56
		Konsantrel	20,38	49,94	3,88	193,81	55,06	12,54
		Konsantre2	3,1	46,88	0,59	27,68	7,86	1,79
		Konsantre3	2,6	42,89	0,5	21,24	6,03	1,37
		Ara Ürün	23,8	21,13	4,53	95,79	27,21	6,2
-500+212	32,64	Artık 1	22,83	1,7	4,35	7,39	2,1	0,48
		Artık 2	27,3	1,18	5,2	6,14	1,74	0,4
		Bestleme	100	18,48	19,05	352	100	22,78
		Konsantrel	18,7	46,39	3,56	165,24	43,55	10,69
		Konsantre2	10,88	43,16	2,07	89,4	23,56	5,79
		Konsantre3	5	42,02	0,95	40,02	10,55	2,59
		Ara Ürün	17,35	21,78	3,3	71,98	18,97	4,66
		Artık 1	7,28	1,93	1,39	2,67	0,7	0,17
		Artık 2	40,8	1,3	7,77	10,1	2,66	0,65
		Bestleme	100	19,92	19,05	379,43	100	24,56
-212+106	21,12	Konsantrel	8,55	49,96	2,01	100,4	23,54	6,5
		Konsantre2	8,93	48,47	2,1	101,79	23,87	6,59
		Ara Ürün	26,94	22,22	6,33	140,73	33	9,11
		Artık 2	21,05	6,94	4,95	34,34	8,05	2,22
		Artık 1	34,54	6,06	8,12	49,2	11,54	3,18
		Bestleme	100	18,14	23,51	426,46	100	27,6
		Konsantre	21,19	44,78	4,1	183,6	71,94	11,88
		Ara Ürün	11,91	13,44	2,3	30,98	12,14	2
		Artık 3	16,1	4,02	3,11	12,52	4,91	0,81
		Artık 2	12,36	2,12	2,39	5,07	1,99	0,33
-106+53	15,97	Artık 1	38,44	3,1	7,44	23,06	9,04	1,49
		Bestleme	100	13,19	19,35	255,2	100	16,52
		Konsantrel	8,55	49,96	2,01	100,4	23,54	6,5
		Konsantre2	8,93	48,47	2,1	101,79	23,87	6,59
		Ara Ürün	26,94	22,22	6,33	140,73	33	9,11
		Artık 2	21,05	6,94	4,95	34,34	8,05	2,22
		Artık 1	34,54	6,06	8,12	49,2	11,54	3,18
		Bestleme	100	18,14	23,51	426,46	100	27,6
		Konsantre	21,19	44,78	4,1	183,6	71,94	11,88
		Ara Ürün	11,91	13,44	2,3	30,98	12,14	2
-53	13,15	Artık 3	16,1	4,02	3,11	12,52	4,91	0,81
		Artık 2	12,36	2,12	2,39	5,07	1,99	0,33
		Artık 1	38,44	3,1	7,44	23,06	9,04	1,49
		Bestleme	100	13,19	19,35	255,2	100	16,52
		Konsantrel	8,55	49,96	2,01	100,4	23,54	6,5
		Konsantre2	8,93	48,47	2,1	101,79	23,87	6,59
		Ara Ürün	26,94	22,22	6,33	140,73	33	9,11
		Artık 2	21,05	6,94	4,95	34,34	8,05	2,22
		Artık 1	34,54	6,06	8,12	49,2	11,54	3,18
		Bestleme	100	18,14	23,51	426,46	100	27,6
Toplam	100	Konsantrel	20,38	49,94	3,88	193,81	55,06	12,54
		Konsantre2	3,1	46,88	0,59	27,68	7,86	1,79
		Konsantre3	2,6	42,89	0,5	21,24	6,03	1,37
		Ara Ürün	23,8	21,13	4,53	95,79	27,21	6,2
		Artık 1	22,83	1,7	4,35	7,39	2,1	0,48
		Artık 2	27,3	1,18	5,2	6,14	1,74	0,4
		Bestleme	100	18,48	19,05	352	100	22,78
		Konsantrel	18,7	46,39	3,56	165,24	43,55	10,69
		Konsantre2	10,88	43,16	2,07	89,4	23,56	5,79
		Konsantre3	5	42,02	0,95	40,02	10,55	2,59
Ara Ürün	17,35	21,78	3,3	71,98	18,97	4,66		
Artık 1	7,28	1,93	1,39	2,67	0,7	0,17		
Artık 2	40,8	1,3	7,77	10,1	2,66	0,65		
Bestleme	100	19,92	19,05	379,43	100	24,56		
Konsantrel	8,55	49,96	2,01	100,4	23,54	6,5		
Konsantre2	8,93	48,47	2,1	101,79	23,87	6,59		
Ara Ürün	26,94	22,22	6,33	140,73	33	9,11		
Artık 2	21,05	6,94	4,95	34,34	8,05	2,22		
Artık 1	34,54	6,06	8,12	49,2	11,54	3,18		
Bestleme	100	18,14	23,51	426,46	100	27,6		
Konsantre	21,19	44,78	4,1	183,6	71,94	11,88		
Ara Ürün	11,91	13,44	2,3	30,98	12,14	2		
Artık 3	16,1	4,02	3,11	12,52	4,91	0,81		
Artık 2	12,36	2,12	2,39	5,07	1,99	0,33		
Artık 1	38,44	3,1	7,44	23,06	9,04	1,49		
Bestleme	100	13,19	19,35	255,2	100	16,52		
Toplam	100			1.545,00			100	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisan tez çalışmasında, Hatay İli İskenderun (Belen) İlçesinde bulunan Tekcrom Maden A.Ş.'ye ait Krom İşletmesinden temin edilen kromit numunesinin gravite ayırma yöntemlerinden sallantılı masa parametreleri ve zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak öğütme süresi belirlenmiştir. Bu çalışma sonucu istenilen tane boyu aralığına en uygun öğütme süresi 10dk olarak bulunmuştur.

Tüvenan numune üzerinde yapılan yaş kimyasal analiz ile numunenin kromit tenörü %15,45 Cr_2O_3 olarak tespit edilmiştir. Tüvenan numuneye yapılan XRF analizi sonucu tespit edilen bileşikler ve yüzde dağılımları, %29,09 MgO , %1,47 Al_2O_3 , %34,16 SiO_2 , %17,43 Fe_2O_3 olmuştur.

Yapılan XRD analizi ile tüvenan numunede tespit edilen başlıca mineraller, Magnezyumlu Kromit ((Mg,Fe) $(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$), Kromit (FeCr_2O_4), Serpantin ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Olivin ($2(\text{Mg,Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$), Diopsit ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$), Antigorit ($(\text{Mg, Fe}^{+2})_3 (\text{SiO}_5) (\text{OH})$) olmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere öğütülen kromit numunesi (-1000+500 μm), (-500-212 μm), (-212+106 μm) ve (-106 μm) olmak üzere dört farklı boyut sınıfına ayrılmıştır.

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında (-1000+500 μm), (-500-212 μm), (-212+106 μm) boyut sınıflarında sallantılı masa parametre belirleme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde masa genliği 15mm ve belsese ve yıkama suyu debisi 9,6lt/dak sabit tutularak uygun masa frekansı (devir) ve masa eğimi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde, uygun frekans belirlemek için sallantılı masa eğimi 4° sabit tutularak 180, 202, 225 ve 248dev/dak lık hızlarda, uygun eğim belirlemek için ise frekans 202 dev/dak hızda sabit tutularak 3° 4° ve 5° eğimlerde deneyler yapılmıştır.

-1000+500 μm tane boyu aralığı için yapılan frekans belirleme deneylerinde en iyi verim değeri 248dev/dak da en iyi tenör değeri ise 225dev/dak da elde edilmiştir. Masa eğimi belirleme deneylerinde ise en iyi sonuç 3° eğimde alınmıştır. Bu boyut sınıfında satılabilir %48 Cr_2O_3 'ün üstünde bir konsantre elde

edilememiştir. En yüksek tenör %41,34 Cr_2O_3 olmuştur bu yüzden uygun frekans saptanamamıştır.

-500+212 μm tane boyu aralığı için yapılan frekans belirleme deneylerinde en iyi sonuç 202dev/dak ve masa eğimi belirleme deneylerinde ise en iyi sonuç 4° %68,14 verim ve %53,82 Cr_2O_3 tenör ile gerçekleşmiştir.

-212+106 μm tane boyu aralığı için yapılan frekans belirleme deneylerinde en iyi sonuç 202dev/dak ve masa eğimi belirleme deneylerinde ise en iyi sonuç 4° %83,29 verim ve %48,94 Cr_2O_3 tenör ile gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak proses oluşturma ve parametre belirleme deneylerinde -1000+500 μm tane boyu sınıfı dışında kalan boyut sınıflarında satılabilir %48 Cr_2O_3 ve üstü tenörler elde edilebilmiştir. -1000+500 μm tane boyu sınıfında tane serbestleşmesinin olmadığı bu boyut sınıfının 500 μm 'nin altındaki boyutlara indirilerek zenginleştirilebileceği düşünülmektedir.

Sallantılı masa parametre belirleme deneylerinden sonra proses oluşturmak için zenginleştirme çalışmalarına sallantılı masa ve MGS' de proses oluşturma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde sallantılı masa çalışma parametreleri; frekans (masa sallantı sayısı) 200 dev/dk, masa genliği 12mm ve belseme ve yıkama suyu debisi 10 lt/dak sabit tutularak deneyler yapılmıştır.

-1000+500 μm boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneyleri sonucunda %28,79 verimle %46,73 Cr_2O_3 tenörlü konsantre alınabilmiştir. Bu boyut aralığında çok düşük verim ve miktarda konsantre alınmış olması bize bu boyutta tane serbestleşmesinin yeterli düzeyde sağlanamadığını ortaya koymaktadır.

-500+212 μm boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneyleri sonucunda konsantreler alınmıştır. Bu konsantreler birleştirildiğinde %68,96 toplam konsantre verimiyle %48,87 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

-212+106 μm boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneyleri sonucunda konsantreler alınmıştır. Konsantreler birleştirildiğinde %77,66 verimle %44,74 Cr_2O_3 konsantre elde edilmektedir. Bu boyut sınıfında tane serbestleşmesinin gerçekleşmesine rağmen konsantre tenörü satılabilir %48 Cr_2O_3 'ün altında kalmıştır. Deney parametrelerinin değiştirilmesi ile tenörün satılabilir %48' Cr_2O_3 'ün üstüne çıkarılabileceği düşünülmektedir.

-106µm boyut sınıfında yapılan proses oluşturma deneylerinde tane boyunun çok küçük olması nedeniyle şlam atma işlemi uygulanmıştır. -106+53µm tane boyu aralığında yapılan sallantılı masa deneyinden iki konsantre alınmıştır. Alınan konsantrelerin birleştirilmesi sonucu %47,41 verimle %49,20 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. Tane boyunun çok küçük olması nedeniyle kromit kaybı fazla olmuş ve verim düşmüştür. Deneylerin şlam masasında ve farklı koşullarda yapılması durumunda yüksek verimler elde edilebileceği düşünülmektedir.

-106µm boyut sınıfı için yapılan sallantılı masa deneyinde atılan şlam MGS'de proses oluşturmak için kullanılmıştır. -53µm boyut sınıfı için MGS deneylerinde, tambur dönüş hızları ilk olarak 270dev/dak sonra sırası ile 230 ve 200dev/dak olarak deneyler yapılmıştır. Diğer deney parametreleri ise; Katı oranı %10, Besleme miktarı 2lt/dak, Yıkma suyu 2lt/dak, Eğim 2°, Genlik 15mm sabit tutularak deney yapılmıştır. MGS deneyleri sonucunda %71,94 verimle %44,78 Cr₂O₃ tenörlü konsantre alınmıştır. MGS konsantresi tenörü satılabilir %48 Cr₂O₃'ün altında kalmıştır deney parametrelerinin değiştirtmesi durumunda daha yüksek tenör değerlerine ulaşılabileceği düşünülmektedir.

Proses oluşturma deneyleri bir araya getirilerek belseme malına göre alınan konsantrelerin birleştirilmesiyle toplam konsantre verimi %62,22 ve %46,72 Cr₂O₃ olarak gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

- AĞAÇAYAK, T., ZEDEF, V., AYDOĞAN, S., 2007, Beneficiation of low-grade chromite ores of abandoned mine at Topraktepe, Beyşehir, SW Turkey, *Acta Mantanistica Slovaca*.
- AKARCAN, N., 2008, Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ve Teknikleri
- ALP, İ., CELEP, O., DEVECİ, H. ve YAZICI, E., 2004a, Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator, *SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266*.
- AYDIN, M.E., 2001, Etibank Guleman Kef Konsantratör Tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- CELEP, O., ALP, İ., DEVECİ, H., VICİL, M. ve YAZICI, E., 2004b, Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators, 10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 27-33.
- CHAN BİLLY, S. K., MOZLEY, R. H., CHILDS, G. J. C., Çeviren; Yüce A.E., Multi Gravite Ayırıcı, *Madencilik Dergisi Mart 1994, Cilt 34, Sayı 1, 33– 41*.
- COLEMAN, R.G., 1977, *Ophiolites Ancients Oceanic Lithospere Springer Veriag, New York, U.S.A.*
- ÇİLİNGİR Y., 1990, *Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, C.1, İzmir*.
- DENİZ V., 1992, Burdur – Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI (DPT), MADENCİLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU RAPORU, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı Ankara 2001, DPT: 2626 - ÖİK: 637, 1 – 8, 11 – 14,
- DİLEK Y., DELALOYE M., 1992, Structure of the Kızıldağ Ophiolite, a Slow-Spread Cretaceous Ridge Segment North of the Arabian Promontory. *Geology, 19*
- GENCE N., 1985, Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.

- GÜNEY, A., 1990, Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- KARADENİZ, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri, Önlemler, İstanbul Ofset Basım Yayınevi, İstanbul, 39 – 90.
- KNELSON, B. ve JONES, R., 1993, A New Generation of Knelson Concentrators Totally Secure System Goes on Line, Mineral Engineering, 7,201-207. Krom Raporu, 2005, Maden Mühendisleri Odası Genel Merkezi, Ankara.
- KURŞUN, H., 1993, Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 55.
- LİNG, J., 1998, A Study Of A Variable Speed 3-In Knelson Concentrator, Department Of Mining And Metallurgical Engineering, Mcgill University, Montreal.
- MAGUMBE, L., 2002, Process Desing for Gold Recovery from The Chester Deposit, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.
- OREL, K., İMRE, Ü., 1967. Cevher Zenginleştirme Hakkında Ana Bilgiler, Madencilik Dergisi, Mayıs Cilt: -VI, Sayı: 2, 125.
- ÖNAL, G., 1985, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- ÖNAL, G., GÜNEY, A., 1988, Türkiye’de krom madenciliği, İstanbul.
- POBB, J.F., 1997, Chromium: USGS-Mineral Information.
- SAMANLI, S., 1998, Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 63
- SELÇUK, H., 1981, Etude Geologique De La Partie Meridionale Du Hatay (Turquie) Ph. D. Thesis, Univ. De Geneve, 116p.
- SUNDAR – MURTI, N.S., SHAH, K., GADGEEL, V.L., and SESHANDRI, V., 1993, Effect of Lime Addition on Rate of Reduction of Chromite by Graphite, Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Extr. Metal.), 92.
- TAGGART, A.F., 1951, Elements of Ore Dressing John Wiley and Sons., Inc., New York, 44 – 48.

- TURGUT, B., 1995, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Düşük Tenörlü Karaburhan
- XIAO, J., 1998, Testing a New Gold Centrifugal Concentrator, Yüksek Lisans Tezi,
Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University,
Montreal, Kanada.
- YILDIRIM, İ., ATEŞOK, G., ÇELİK, M., 1995, Laboratuvar - Pilot Tip Multi
Gravite Cihazı İle Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür
Üretimi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, ISBN 975-395-150-7, 443 – 448.
- ZEDEF, V., 1995, Maden Yatakları Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Maden
Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZGEÇMİŞ

03.10.1982 yılında mersinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersinde tamamladı. 2001 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun oldu. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalı Cevher Hazırlama Bölümünde yüksek lisansa başladı.