

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİVAS-KANGAL-ÇAMÖZÜ KROM ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ
DEĞERLENDİRİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Esra BİLİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2018

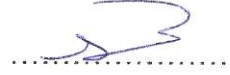
Tezin Başlığı : Sivas-Kangal-Çamözü Kromit Zenginleştirme Tesisi
Artıklarının Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması

Tezi Hazırlayan : Esra BİLİCİ

Sınav Tarihi : 10.07.2018

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Maden Mühendisliği Ana Bilim
Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Musa SARIKAYA**
İnönü Üniversitesi



Doç. Dr. Tolga DEPÇİ
İskenderun Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet Deniz TURAN
Fırat Üniversitesi



Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘Sivas-Kangal-Çamözü Mevkii Kromit Zenginleştirme Tesisi Artıklarının Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynaklar bölümünde yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Esra BİLİCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİVAS-KANGAL-ÇAMÖZÜ KROMİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ DEĞERLENDİRİLMİŞ OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Esra BİLİCİ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

xiii + 82 sayfa

2018

Danışman: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

Gelişen teknoloji ile beraber krom ihtiyacı artarken yüksek tenörlü yatakların üretilmesi nedeniyle rezervler azalmakta ve sınır tenör düşmektedir. Bu sebeple, günümüzde, düşük tenörlü krom yataklarının ve artıkların önemi artmıştır. Gelecekte ferrokrom üretiminde kullanılan tek kaynak düşük tenörlü cevherler olacaktır.

Bu çalışmada, kromit konsantresi üretim tesisi artıklarının yüksek alan şiddetli manyetik ayırma, Humphrey spirali ve Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirilme olanakları araştırılmıştır. Deneylerde, Sivas-Kangal-Çamözü krom konsantresi üretim tesisi artıklarından alınan ve %4,95 Cr_2O_3 içeriğine sahip numune kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, manyetik ayırma deneylerinde 1-14 amper arasındaki manyetik alan şiddetlerinin ve %2,5-20 arasındaki pülpte katı oranlarının, Falcon konsantratörü deneylerinde -600 μm , -500 μm , -300 μm , -150 μm , -75 μm tane boyu fraksiyonlarının ve 20 G, 30 G, 40 G merkezkaç kuvvetlerinin ve Humphrey spirali deneylerinde ise -600 μm , -500 μm , -300 μm tane boyu fraksiyonlarının zenginleştirmeye etkileri incelenmiştir.

Çamözü kromit konsantresi üretim tesisi artığının yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinde %9,26 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %91,66 kromit kazanma verimiyle 11 amper manyetik alan şiddetinde elde edilmiştir. Falcon konsantratörü deneylerinde -150 μm tane boyu fraksiyonunda, 40 kPa su basıncında ve 20 G merkezkaç kuvveti oluşturan rotor dönüş hızında %15'ten fazla Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. Humphrey spiralinde ise -600 μm tane boyu fraksiyonunda %14,9 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %81,30 kromit kazanma verimiyle alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Krom, Manyetik ayırma, Kromit artıkları, Falcon gravimetrik konsantratör, Humphrey spirali

ABSTRACT

Master Thesis

STUDIES ON THE RECOVERY OF SİVAS-KANGAL-ÇAMÖZÜ CHROMITE BENEFICATION PLANT TAILINGS

Esra BİLİCİ

Inonu University Graduate School of Naturel and Applied Science

Department of Mining Engineering

xiii + 82 pages

2018

Supervisor: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

Nowadays, the importance of low grade deposits and tailings has increased due to the increasing demand for chromium, decreasing reserves and declining grades by the production of high grade chromium deposits and developing technology. It is expected that in the future low grade chromium ores will be the only source used in the production of ferrochrome.

The objective of the present study was to investigate to recovery chromite from Sivas -Kangal-Çamözü chromite plant tailings assaying 4.95% Cr_2O_3 by using a high gradient magnetic separator, a Humphrey spiral and a Falcon Concentrator.

In the study, the effect of magnetic field intensition varying 1 to 14 amperes and pulp densition 2.5 to 20% the effect of grain size of -600 μm , -500 μm , -300 μm , -150 μm , -75 μm at 20 G, 30 G, 40 G water pressures in Falcon Gravity Concentrator and the effect of particle sizes at -600 μm , -500 μm , -300 μm in Humphrey spiral experiements were investigated.

A concentrate assaying 9.26% Cr_2O_3 with 59.90% recovery were obtained at 11 amper field intensity from Çamözü chromite plant tailings. By using Falcon concentrator a concentrate assaying more than %15 Cr_2O_3 was obtained with -150 micron feed grain size at 20 G rotor speed and 40 kPa water pressure. In Humphrey spiral concentration studies a concentrate 14.9% Cr_2O_3 with 81.30% recovery was obtained.

KEYWORDS: Chromite, Chromite tailings, Magnetic Seperation, Humphrey spiral, Falcon gravimetric concentrator

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın seçiminde, planlanmasında ve yürütülmesinde öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren, değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Musa SARIKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

En sıkıntılı zamanlarımda yanımda olup beni cesaretlendiren, gerek bilgi gerekse de manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, fikirlerini benimle paylaşan çok kıymetli arkadaşım Sayın Ramazan AYDOĞMUŞ'a özellikle teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, 2012/11 no'lu proje ile maddi olarak destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Sevgilerini ve anlayışlarını benden esirgemeyen sevgili anne ve babama, özellikle de biricik kızım SERRA'ya sonsuz sevgi ve en içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KROM HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kromun Tarihçesi.....	3
2.2. Kromun Tanımı.....	5
2.3. Kromun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	5
2.4. Kromit.....	7
2.5. Kromit Yatakları.....	8
2.5.1. Stratiform yataklar.....	9
2.5.2. Podiform yataklar.....	9
2.5.3. Eşmerkezli yataklar.....	11
2.6. Türkiye’de Kromit Yatakları.....	11
2.7. Kromitin Sınıflandırılması ve ürün Standartları.....	14
2.8. Kromit Üretimi ve Rezervi.....	16
2.9. Kromitin Kullanım Alanları.....	18
2.9.1. Kromun metalürji sanayiinde kullanımı.....	20
2.9.2. Kromun refrakter sanayiinde kullanımı.....	21
2.9.3. Kromun kimya sektöründe kullanımı.....	22
2.10. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri.....	23
2.10.1. Triyaj ile zenginleştirme.....	24
2.10.2. Sallantılı masa ile zenginleştirme.....	24
2.10.3. Humphrey spirali ile zenginleştirme.....	26
2.10.4. Manyetik ayırma ile zenginleştirme.....	27
2.10.5. Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme.....	30
2.11. Çalışma Alanı.....	31
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	35
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
4.1. Materyal.....	39
4.2. Yöntem.....	39
4.2.1. Numune alma.....	39
4.2.2. Örnek azaltma.....	39
4.2.3. Eleme ve öğütme.....	40
4.2.4. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile zenginleştirme deneyleri.....	41
4.2.5. Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri.....	42
4.2.6. Humphrey spirali ile yapılan zenginleştirme deneyleri.....	44
4.2.7. Mineralojik ve kimyasal analizler.....	45
5. DENEYSEL BULGULAR.....	46
5.1. Orijinal Numunenin Karakterizasyonu.....	46
5.1.1. Orijinal numune mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları.....	46

5.1.2.	Orijinal numune boyut analizleri.....	47
5.2.	Yüksek Alan Şiddetli yaş Manyetik Ayırıcı ile Zenginleştirme.....	50
5.2.1.	1-6 amper aralığında yapılan zenginleştirme deneyleri.....	50
5.2.2.	Ağırlıkça katı miktarı değiştirilerek yapılan manyetik ayırma deneyleri.....	53
5.2.3.	7-14 amper arası yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneyleri	56
5.3.	Humphrey Spirali ile Yapılan Zenginleştirme deneyleri.....	59
5.4.	Falcon Gravimetrik Konsantratör ile Zenginleştirme deneyleri.....	62
5.4.1.	-600 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri.....	62
5.4.2.	-500 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri.....	64
5.4.3.	-300 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri.....	67
5.4.4.	-150 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri.....	69
5.4.5.	-75 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri.....	71
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
7.	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
μm	Mikrometre
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Al	Alüminyum
Al_2O_3	Alüminyum oksit
ASTM	American Society for Testing And Materials
B	Batı
Ba	Baryum
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
cc	Santimetre küp
cm	Santimetre
Cr	Krom
Cr(VI)	4+ değerlikli krom
Cr_2O_3	Krom oksit
D	Doğu
dv.	Devir
dk.	Dakika
Fe	Demir
Fe_2O_3	Demir (III) Oksit
FeCr_2O_4	Kromit
FeO	Demir oksit

G	Merkezkaç kuvveti
g/cm ³	Gram/santimetre küp
GGB	Güney-güneybatı
GPa	Gigapascal
Hz	Hertz
IMA	International Mineralogical Association
İBTAM	İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezi
J/kg-K	Joule/kilogram-Kelvin
K ₂ O	Potasyum oksit
kg	Kilogram
kg/mm ²	Kilogram/milimetre kare
kJ/mol	Kilojoule/mol
KKD	Kuzey-kuzeydoğu
km	Kilometre
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
MGS	Multi gravimetrik seperatör
mm	Milimetre
MnO	Mangan (II) oksit
MPa	Mega pascal
MTA	Maden Teknik Arama
Na ₂ O	Sodyum oksit

Ni	Nikel
°	Derece
°C	Derece santigrat
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Fosfor Pentoksit
PbCrO ₄	Krokoit
pm	Pikometre
S	Sülfür
SiO ₂	Silisyum dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
Sr	Stronsiyum
W/m-K	Watt/metre-Kelvin
XRD	X ışınları difraktometresi
XRF	X ışınları flüoresans spektrometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Tazmanya (Avustralya)'da bulunan bir krokoit örneği [6].....	3
Şekil 2.2	%99,999 saflıkta bir krom kristali[10].....	4
Şekil 2.3	Tomarza (Kayseri) bölgesinde bulunan bir kromit örneği.....	7
Şekil 2.4	Podiform tipi kromit yataklarının dünyadaki dağılımı [20].....	11
Şekil 2.5	Türkiye'deki krom yataklarının dağılımı [21].....	12
Şekil 2.6	Türkiye'deki kromit rezervinin bölgelere göre dağılımı [22].....	14
Şekil 2.7	2013-2017 yılları arası ortalama üretim miktarlarına göre ülkelerin aldıkları paylar.....	18
Şekil 2.8	Krom cevherlerinin kullanım alanları [30].....	19
Şekil 2.9	1950-2017 yılları arasında eriyik paslanmaz çelik üretimi [33]...	21
Şekil 2.10	Wilfrey tipi sallantılı masa ve kromit zenginleştirme esnasında masa yüzeyinde meydana gelen kuşaklar.....	25
Şekil 2.11	Humphrey Spirali.....	27
Şekil 2.12	Metso Carousel yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı [38].....	29
Şekil 2.13	Sepro marka laboratuvar tipi falcon gravimetrik konsantratör...	30
Şekil 2.14	Çalışma sahasının yer bulduru haritası.....	31
Şekil 2.15	Ruhsat Sahasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	32
Şekil 2.16	Konsantre üretim tesisi içi konsantrelerin görünümü.....	33
Şekil 2.17	Tesis akım şeması.....	34
Şekil 4.1	Oniki bölmeli numune bölücü.....	40
Şekil 4.2	Boxmag Rapid marka LHWL model yaş manyetik ayırıcı.....	41
Şekil 4.3	L40 laboratuvar tipi Falcon konsantratör.....	43
Şekil 4.4	Deneylerde kullanılan Humphrey spirali.....	44
Şekil 5.1	Orijinal numune XRD toz kırınım deseni.....	47
Şekil 5.2	Kuru eleme kümülatif elek altı eğrisi.....	48
Şekil 5.3	Yaş eleme kümülatif elek altı eğrisi.....	49
Şekil 5.4	1-6 amper arası manyetik alan şiddeti zenginleştirme deneyleri tenör ve verim grafiği.....	53
Şekil 5.5	Pülpte katı oranının değiştirildiği manyetik ayırma deneyleri tenör - verim grafiği.....	56
Şekil 5.6	7-14 amper arası manyetik alan şiddetindeki deneylerin tenör - verim grafiği.....	59
Şekil 5.7	Humphrey spirali deneyleri tenör - verim grafiği.....	61
Şekil 5.8	-600 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği.....	64
Şekil 5.9	-500 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği.....	66
Şekil 5.10	-300 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği.....	68
Şekil 5.11	-150 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği.....	71
Şekil 5.12	-75 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	6
Çizelge 2.2	Kromitin fiziksel ve kimyasal özellikleri[18].....	8
Çizelge 2.3	Türkiye’deki krom yatakların tenör ve rezervleri [22].....	13
Çizelge 2.4	Kromitin kullanım alanına göre sınıflandırılması ve ürün spesifikasyonları.....	15
Çizelge 2.5	Kromitin kimyasal içeriğine göre sınıflandırılması.....	15
Çizelge 2.6	En büyük kromit üreticisi konumundaki ülkelerin rezerv miktarları [26].....	17
Çizelge 2.7	En büyük beş üretici ülkenin 2013-2017 yılları arasındaki kromit üretimi [26-29].....	17
Çizelge 4.1	Değirmen ve öğütücü ortamın özellikleri.....	40
Çizelge 5.1	Orijinal numune XRF analiz sonuçları.....	46
Çizelge 5.2	Kuru eleme elek analizi sonuçları.....	48
Çizelge 5.3	Yaş eleme elek analizi sonuçları.....	49
Çizelge 5.4	1-6 amper manyetik alan zenginleştirme deneyleri XRF analizi sonuçları.....	50
Çizelge 5.5	1-6 amper arası manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneyleri tenör ve verimleri.....	52
Çizelge 5.6	Ağırlıkça %2,5-20 pülpte katı oranı ile yapılan yaş manyetik ayırma deneyleri konsantrelerinin XRF analiz sonuçları.....	54
Çizelge 5.7	6 amper manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneyleri XRF analiz sonuçları.....	55
Çizelge 5.8	7-14 amper arası manyetik alan şiddetli zenginleştirme deneyi XRF analizi sonuçları.....	57
Çizelge 5.9	7-14 amper arası manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneylerine ait sonuçlar.....	58
Çizelge 5.10	Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri XRF analiz sonuçları.....	60
Çizelge 5.11	Humphrey spirali ile zenginleştirme deney sonuçları.....	61
Çizelge 5.12	-600 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları.....	62
Çizelge 5.13	-600 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	63
Çizelge 5.14	-500 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları.....	65
Çizelge 5.15	-500 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	66
Çizelge 5.16	-300 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları.....	67
Çizelge 5.17	-300 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	68

Çizelge 5.18	-150 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları.....	69
Çizelge 5.19	-150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	70
Çizelge 5.20	-75 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları.....	72
Çizelge 5.21	-75 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları.....	73



1. GİRİŞ

Madencilik, insanoğlunun toplayıcılıktan avcı-toplayıcılığa geçişiyle birlikte başlayan, dünyanın en eski iktisadi faaliyetlerinden birisidir. Prospeksiyon, arama, geliştirme ve üretim safhalarından oluşan, bugünün en önemli ihtiyaçları olan enerji ve hammaddenin temini için yer kabuğundan kayaç ve minerallerin elde edilmesi ve gerekiyorsa hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinin bütünüdür. Madencilik, gerek bölgesel kalkınma ve istihdama gerekse de ülke ekonomisine doğrudan katkı yapan temel iş kollarından birisidir.

Krom, 18. yüzyılın sonunda keşfedilen, ancak I. Dünya Savaşı'na kadar pek kullanılmayan bir metaldir. 1913 yılında, Harry Brearley tarafından, belirli bir oranda krom içeren çeliklerin paslanmadığının saptanmasıyla çatal, bıçak gibi eşyaların yapımında kullanılan çeliğin geliştirilmesine olanak sağlayarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yüksek tenörlü krom cevherleri, 1950'lere kadar metalürji sanayide doğrudan kullanılabilir kalitedeki ihtiyacı karşılamıştır. Ancak ihtiyacın giderek artması düşük tenörlü ve/veya yüksek demir içerikli cevherlerin üretimini zorunlu kılmıştır [1].

Yeryüzünde krom içerdiği bilinen mineraller içerisinde en önemlileri kromit, uvarovit, fuksit ve kemeretit olup, krom üretimi çok büyük oranda kromit mineralinden yapılmaktadır. Bu nedenle de *krom yatakları*" yerine çoğunlukla *"kromit yatakları"* olarak adlandırılmaktadır [2].

Ülkemizde 1868 yılında başlayan krom madenciliği 20. yüzyılın başlarında birkaç on bin ton/yıl seviyesinden 1950'li yıllarda 500.000 bin ton/yıl ve 2008 yılında 5 milyon ton/yıl seviyesine gelmiştir. Ülkemizde krom madenciliğinin ilk yıllarında Bursa, Fethiye, Muğla, Denizli gibi limanlara yakın yerlerdeki yüksek tenörlü yataklara yoğunlaşarak, doğrudan satılabilir cevher üretimi yapılmıştır. 1950'lerden itibaren açık ocak yöntemiyle üretilebilecek yatak sayısının azalması ile hem yeraltı üretim yöntemine hem de düşük tenörlü cevherlerin üretimine aşamalı bir geçiş olmuştur. Bu geçişin neticesinde cevher zenginleştirme çalışmaları önem kazanmış ve birçok krom zenginleştirme tesisi kurulmuştur [3].

Türkiye’de, düşük tenörlü krom cevherlerini zenginleştirmek için yapılan çalışmalar yetersiz kalmış ve özellikle ilk yıllarda kurulan birçok tesiste artığa giden ürünlerdeki kromit tenörü %6’dan fazla olmuştur. %6 Cr_2O_3 ’ten yüksek tenöre sahip bu eski tesis artıkları, bugün işletilmesi gereken önemli krom kaynaklarından biri olmuştur. Bu artıklardaki ekonomik olan ince kromiti kazanabilmek için en uygun zenginleştirme yöntemini belirlemek önem arz etmektedir [4].

Zenginleştirme tesislerinin artıklarında önemli miktarda kromun kaybedildiği Türkiye’de, bu artıkların çoğu ince tanelerden oluşmakta ve şlam miktarı yüksek olmaktadır. Bu nedenle, artığa giden bu kromların flotasyon yöntemiyle geri kazanımı için yapılan çalışmalar uygulanabilir sonuçlar vermemiştir [5].

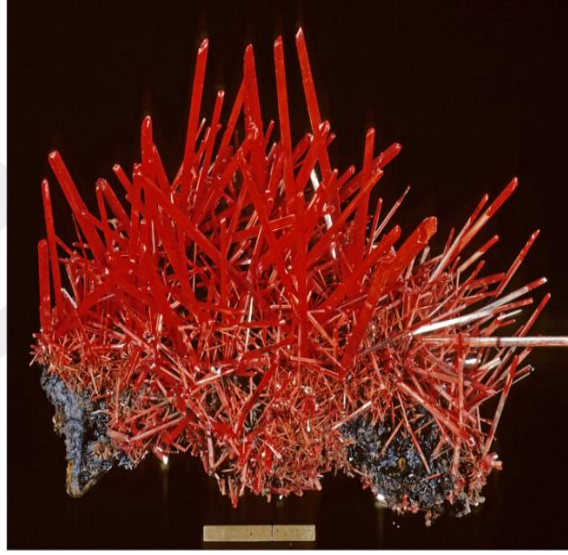
Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıların, düşük manyetik duyarlılığa sahip ince taneli minerallerin zenginleştirilmesinde etkin şekilde kullanılmaya başlanmasıyla, yöntem yüksek şlam içeren krom zenginleştirme tesislerinin artıklarına uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır [5].

Bu çalışmada, Sivas-Kangal-Çamözü mevkiinde bulunan krom zenginleştirme tesisi artıklarında bulunan kromitin, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma, Humphrey spirali ve Falcon gravimetrik konsantratörü yöntemleriyle geri kazanım olanakları araştırılmıştır.

2. KROM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Kromun Tarihçesi

Krom, 1798 yılında, Fransız kimyager Louis-Nicholas Vauquelin tarafından, *Sibirya Kırmızı Kurşunu* olarak bilinen ve Sibirya'daki altın madenlerinde bulunan bir mineral olan, Şekil 2.1'de [6] gösterilen krokoit (PbCrO_4) ile deneyler yaparken keşfedilmiştir [7].



Şekil 2.1 Tazmanya (Avustralya)'da bulunan bir krokoit örneği [6]

Vauquelin, güzel kırmızı rengi, şeffaflığı ve kristal şekli ile dikkatini çeken bu minerale yapılan kimyasal analizlerin çelişkili sonuçlar vermesi nedeniyle 1797 yılında mineralin doğru kompozisyonu bulmak için çalışmalara başlamıştır. Toz haline getirdiği krokoiti iki parça potas ile kaynatıp sarı bir çözelti elde eden Vauquelin, bu sarı çözeltiye bir miktar civa tuzu ekleyerek kırmızı ve bir miktar kurşun ekleyerek sarı renkli iki çökelti elde etmiştir. Daha sonra muriatik (hidroklorik) asit ekleyerek yeşil renkli bir çözelti elde eden Vauquelin, bu çözeltiyi bir filtreden geçirdikten sonra katı kısmı yarım saat kömür ile kavurmuştur. Ağırlığının üçte ikisini kaybetmiş, gri renkli ve iğnemsî bir yapıya sahip bu maddenin daha önceden varlığı bilinmeyen yeni

bir metal olduğunu fark eden Vauquelin, hocası M. Fourcroy'un tavsiyesi ile bu yeni metale Latince 'renk' anlamına gelen "chroma" adını vermiştir [8].

Keşfinden sonra, I. Dünya Savaşı'na kadar pek kullanılmayan kromun (Şekil 2.2) önemi, 1913 yılında İngiliz bilim adamı Harry Brearley, top mermisi dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde çeşitli araştırmalar sırasında hurdalığa attığı çeliklerden bazılarının paslanmadığı görüp yaptığı analizler neticesinde paslanmayan bu çeliklerin %14 krom içerdiğini saptamasıyla artmıştır. Bu keşif, paslanmaz çeliğin gelişim sürecinin önünü açmıştır [1]. Saf haldeki kromun çelik üretiminde kullanılmaya başlanmasından sonra sanayi devriminin önemli metallerinden biri olan krom, daha önceleri de içerisinde bulunduğu minerallerin kullanımıyla insanoğlunun kullandığı malzemelerden birisidir.



Şekil 2.2 %99,999 saflıkta bir krom kristali[10].

1800'li yılların başında pigment üretimi ve deri tabaklamada kullanılan krom 1860'lı yıllarda çelik üretiminde bir alaşım olarak kullanılmıştır. 1879 yılında çelik üretim fırınlarının astarlanmasında refrakter olarak kullanılmıştır. 1893 yılında Fransız bir kimyager olan Henri Moissan, elektrik fırınında krom ve karbon eriterek ferrokrom üretmiştir. Bundan 5 yıl sonra, 1898 yılında ise Alman bir kimyager olan Hans

Goldschmidt, krom oksidin alüminotermik indirgenmesiyle saf krom üretmiştir. 1907 yılında, düşük karbon içerikli ferrokrom üretimi için siliko-termik süreç geliştirilmiştir. Krom, ilk olarak 1854 yılında elektrolizle üretilmesine rağmen bir yüzyıl kadar süre geniş bir ticari kabul görmemiştir [9].

2.2. Kromun Tanımı

Yerkabuğunda saf halde bulunmayan krom, en son Mart 2018 tarihinde güncellenen IMA (International Mineralogical Association) mineral listesinde yer alan 5336 mineral içerisinde yalnızca 97 tanesinde bulunmaktadır. Ekonomik olarak üretilbildiği tek mineral ise kromittir.

Erime noktasının yüksek ve çok sert olması sebebiyle metallere sertlik sağlaması için ve zırhlı araç yapımında kullanılan kromun en önemli kullanım alanı ise nikel ile birlikte kullanıldığı paslanmaz çelik üretimidir. Doğada 3+ yüklü haliyle bulunup indirgeme reaksiyonlarıyla 6+ değerlik alan krom, çelik yüzeyinde bir krom oksit tabakası oluşturarak çelik yüzeyini kaplamakta ve kimyasal aşınmalara karşı dayanım sağlamaktadır [10].

Krom, doğal bileşenlerinden biri olduğu yerkabuğunun %0,014'ünü, okyanusların % 6×10^{-8} 'ini, insan vücudunun % 3×10^{-6} 'sını, güneşin %0,002'sini ve evrenin %0,0015'ini oluşturmaktadır [11].

Krom bileşikleri 2, 3, 5, 6 ve 7 değerliklidir. Bu bileşiklerden 2 değerlikli bileşikler mavi, 3 değerlikli bileşikler yeşil, 6 ve 7 değerlikli bileşikler sarı, kırmızı ve turuncu renkli olmaktadır. Bu özelliğinden dolayı, krom bileşikleri boya endüstrisinde geniş bir kullanım olanağı bulmaktadır [12].

2.3. Kromun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Periyodik cetvelde 6B grubunda yer alan kromun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

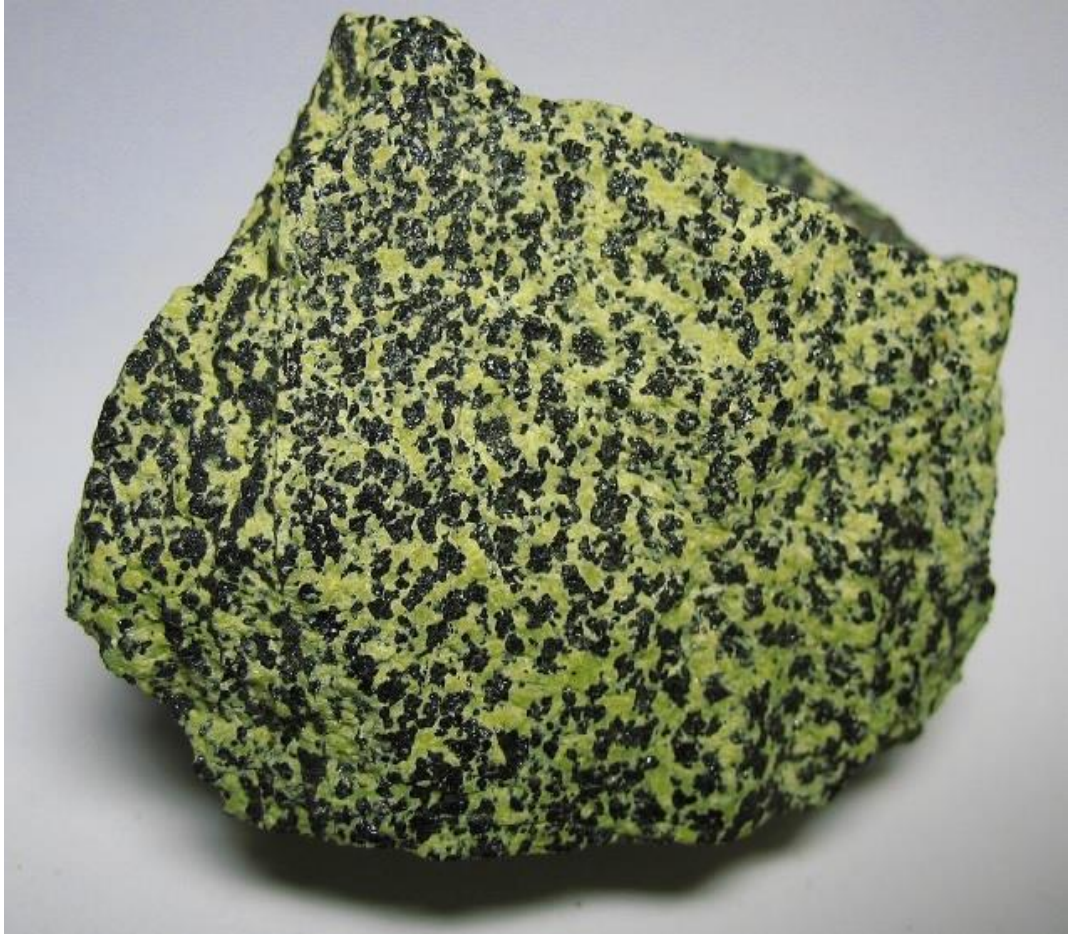
Çizelge 2.1 Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

PARAMETRE	DEĞER
Sembol	Cr
Atom Numarası	24
Atom Ağırlığı	51,9961
Atom Çapı	166 pm
Katı Haldeki Yoğunluk	7,19 g/cm ³
Sıvı Haldeki Yoğunluk	6,3 g/cm ³
Ergime Noktası	1907 °C
Kaynama Noktası	2671 °C
Mohs Sertliği	8,5
Brinell Sertliği	1120 MPa
Vickers Sertliği	1060 MPa
Renk	Gümüş
Molar Hacim	7,2317x10 ⁻⁶
Özgül Isı	448 J/kg-K
Termal İletkenlik	94 W/m-K
Füzyon Isısı	20,5 kJ/mol
Buharlaşma Isısı	339 kJ/mol
Bulk Modülü	160 GPa
Young Modülü	279 GPa
Poisson Oranı	0,21

Hidroklorik ve diğer halojen asitler içerisinde çözünen krom, asetik, benzoik (doymuş), bütirik, karbonik, sitrik, karboksilik, formik, hidrobromik hidroiyodik, laktik, nitrik, oleik, oksalik, palmitik, fosforik, pikrik, salisilik, stearik ve tartarik asitlere karşı dirençlidir [13]. Havada oksitlenmeyen ve parlaklığını koruyan krom yüksek sıcaklıklarda oksijen ve klorda yanabilmektedir [14].

2.4. Kromit

Tabiatta bulunan minerallerin 97'sinde bulunan kromun ekonomik olarak üretildiği tek mineral kromittir. Teorik mineralojik formülü FeCr_2O_4 olan kromit, $[(\text{Mg}, \text{Fe})^{2+}(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})^{3+}]_2\text{O}_4$ şeklinde bulunabilen spinel grubu bir mineraldir. Teorik olarak %67,6 Cr_2O_3 (ya da %46,7 Cr) ve yaklaşık %32 FeO içermektedir [15]. Bir spinel grubu minerali olup 2-3 değerlikli katyonlardan oluşan bir oksit olan kromit, kübik sistemde kristallenip, kompakt granüle, kompakt kütle ve nadiren de oktahedral kristal şeklinde bulunmaktadır. Bileşimine magnezyum giren kromitlerde cevher Cr_2O_3 tenörü %40'lara kadar düşmektedir. Bu tip kromit cevherlerinde magnezyum demiri ornatarak pikotit adını almaktadır [16]. Dünyada yaklaşık 11 milyar ton rezervi bulunan [17] ve Şekil 2.3'te bir örneği gösterilen kromit mineralinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Tomarza (Kayseri) bölgesinde bulunan bir kromit örneği

Çizelge 2.2 Kromitin fiziksel ve kimyasal özellikleri[18]

PARAMETRE	DEĞER
Renk	Siyah
Parlaklık	Yağsı metalik
Mohs Sertliği	5,5
Vickers Sertliği	1278 – 1456 kg/mm ²
Ölçülen Yoğunluk	4,5 – 4,8 g/cm ³
Hesaplanan Yoğunluk	5,12 g/cm ³
Kristal Sistemi	Kübik
Çizgi Rengi	Kahverengi
Şeffaflık	Opak
Dilinim	Yok
Refraktif İndeks	2,08 – 2,16
Kırılım	Düzensiz*

*Kırık yüzeyler, genellikle açılal granül bir görünüme sahiptir.

2.5. Kromit Yatakları

Kromit yatakları, jeolojik ve mineralojik özelliklerine göre stratiform, podiform ve eşmerkezli yataklar olmak üzere üç tiptir. Ancak, eşmerkezli yatakların ekonomik bir değer ifade etmemesi sebebiyle genellikle iki yatak tipinden bahsedilmektedir [2].

Podiform yataklardaki Cr₂O₃ tenörünün stratiform tipi yataklara göre yüksek olması sebebiyle, 1960'lı yılların sonlarına kadar metalürji sanayinde tercih edilmiştir. Bu sebeple de Cr₂O₃ tenörü düşük FeO tenörü yüksek olan stratiform tipi yataklardan üretilen kromitler daha çok kimya sanayiinde kullanılmıştır. 1970'li yıllarda çelik üretim teknolojisinde meydana gelen gelişmelerin ardından büyük rezervlere sahip stratiform tipi yataklardaki yüksek demir içerikli cevherlerin metalürji sanayiinde kullanılması mümkün hale gelmiştir. Buna bağlı olarak, dünya kromit rezervinin yaklaşık %90'ını oluşturan bu tip yataklardan kromit üretimi hızla artmaya başlamıştır [2].

Jeolojik ve mineralojik özelliklerine göre üçe ayrılan kromit yatakları rezervlerine göre de üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

- 10.000 – 50.000 ton arası rezerve sahip *Küçük Yataklar*
- 50.000 – 200.000 ton arası rezerve sahip *Orta Büyüklükte Yataklar*
- 200.000 – 500.000 ton arası rezerve sahip *Büyük Yataklar*

olarak gruplandırılmaktadır [2].

Kromitin en çok rastlandığı litolojik oluşumlar, magmatik derinlik kayaçları ve metamorfik derinlik kayaçları olup, cevherleşmeler, bu kayaçların oluşumuna bağlı olarak gelişmiştir [2].

2.5.1. Stratiform yataklar

Karakteristik olarak Güney Afrika'daki Bushveld ve ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'deki Stillwater gibi duraylı kıtasal bölgelerde (kraton sahalar) bulunan stratiform sokulumlara bağlı yataklar olup ismini de bu tabakalı özelliğinden dolayı almaktadır. Kromitin kristalleşmesi ve magma içerisinde belirli seviyelerin meydana gelmesi sonucu oluşan stratiform tipi yataklarda kromit kristallere oldukça küçüktür ve demir açısından zengindir. Dünyada bilinen kromit yataklarının yaklaşık %90'ı bu tiptedir [2].

Stratiform tipi kromit yataklarının en önemli örnekleri olarak, Bushveld Kompleksi (Güney Afrika Cumhuriyeti), Great Dyke (Zimbabve), Stillwater Kompleksi (Montana-ABD), Muskox Kompleksi (Kanada), Skaergaard Intrüzyonu (Greenland) ve Bird River Sil (Manitoba-Kanada) sayılmaktadır [19].

2.5.2. Podiform yataklar

Podiform tipi kromit yatakları, Türkiye'nin de içerisinde bulunduğu Alp Orojenez Kuşağı boyunca gözlenmekte ve bu nedenle Alpin tipi yataklar olarak da adlandırılmaktadır. Bu tip yataklar ofiyolitik karmaşıklar (kompleksler), ofiyolitli karışıklar (melanjlar) veya ofiyolitik seriler olarak tanımlanan birimler içinde gözlenmektedirler. Bu oluşumların, kıtasal levhalar üzerine sürüklenmiş okyanusal

kabuk malzemeleri oldukları düşünülmektedir. Podiform tipi kromit yataklarının, okyanus ortası sırt bölgelerinde okyanusal kabuğun oluşumu sırasında meydana geldikleri, plaka hareketlerine bağlı olarak taşındıkları ve üzerleme olayları ile kıtasal levhalar üzerine sürüklenerek bugünkü konumlarını aldıkları, dolayısıyla; taşınmış (allokton) oldukları ve taşınma ile üzerleme olayları sırasında ileri derecede deformasyon geçirdikleri söylenebilmektedir [19].

Alpin tipi krom yatakları, ofiyolitik karışıklar içinde harzburjitlerden oluşan ultramafik kayaç seviyesinde, kalınlığı birkaç mm ile metreler arasında değişebilen dunitik bir kılıfla sarılmış olarak, mercekler, küçük cepler, torba ve çorap şekilli kütleler, ender olarak da kalem, boru ve levha şekilli zenginleşmeler şeklinde gözlenmektedirler [19].

Alpin tipi yataklarda kromit kristalleri genellikle büyük boyutlu olup, kristal kümelerinde nodüler, antinodüler, orbiküler dokular ile magmatik akıntı ve plastik deformasyon izleri olarak tanımlanabilecek foliasyon, lineasyon ve kopma (pull-apart) yapı ve dokuları gözlenmektedir. Bu yataklardaki kromitler, kimyasal bileşim bakımından;

- MgO içeriklerinin yüksek,
- FeO içeriklerinin düşük (MgO / FeO oranı 1/1 ile 7/3 arasında),
- Cr₂O₃ ve Al₂O₃ içeriklerinin yüksek,
- Fe₂O₃ içeriklerinin düşük oluşu

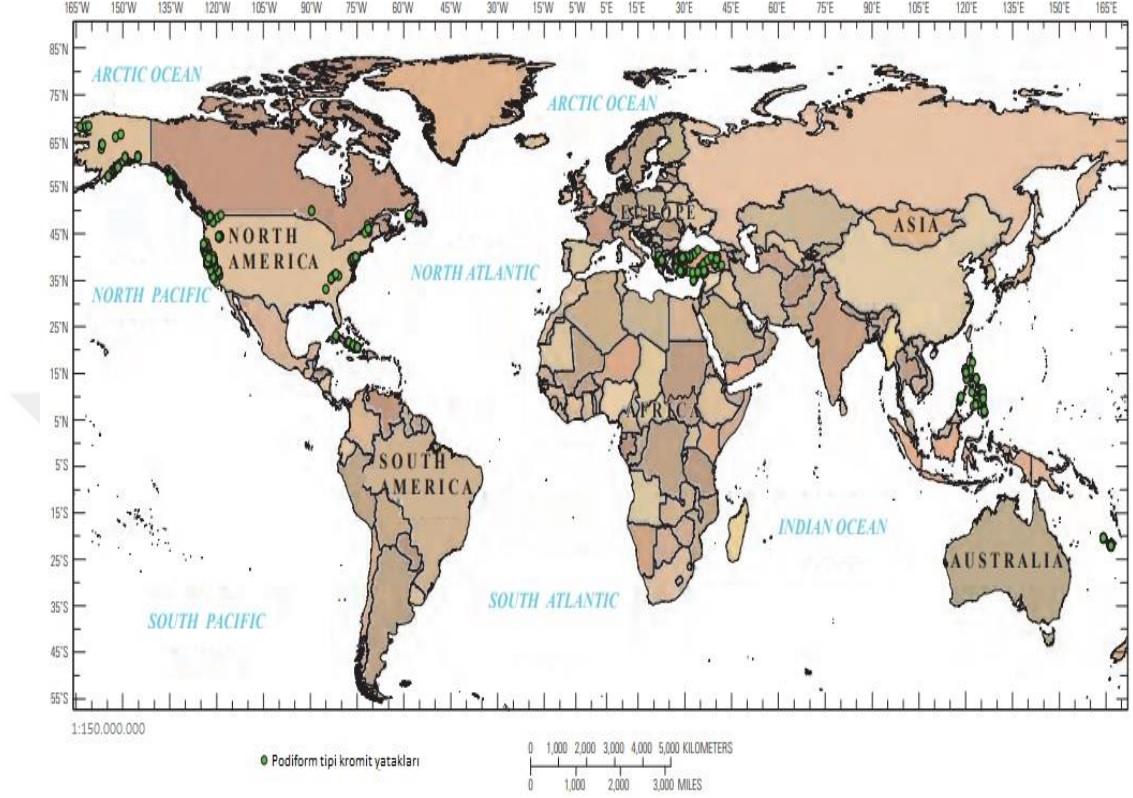
ile karakteristik olup;

- Al₂O₃ içeriği %6-52 arasında,
- Fe₂O₃ içeriği %8 civarında,
- Cr₂O₃ / Fe₂O₃ oranı 1,5-4,5 arasında,
- Cr / Fe oranı 2,0-4,5 arasında,

değişmektedir [19].

Alpin tipi krom yataklarının en önemli örnekleri, İspanya – İtalya – Arnavutluk – Yunanistan – Türkiye – İran – Pakistan – Hindistan – Filipinler -Yeni Kaledonya hattı üzerinde dağılım gösteren Alp Orojenez kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ayrıca Küba'dan ABD'nin doğu sahillerine doğru uzanan bölgede de yer yer bu tip yatakların

bulunduğu bilinmektedir [19]. Podiform tipi yatakların dünya genelindeki yayılımı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Podiform tipi kromit yataklarının dünyadaki dağılımı [20]

2.5.3. Eşmerkezli yataklar

Ultrabazik ve konsantrik bazik kayaç topluluklarının eşmerkezli bir iç düzen içerisinde bulunmalarından adını alan bu tip yataklar günümüzde ekonomik bir değer ifade etmemektedir [2].

2.6. Türkiye’de Kromit Yatakları

Kromit yataklarının içerisinde bulunduğu ultrabazik kayaçlar, ofiyolit topluluğuna ait olup Alp orojen kuşağı boyunca yerleşmişlerdir. Türkiye’de geniş alanlar kaplayan ultrabazik kayaçlar ve bu kayaçların içerisinde yer alan kromit

yatakları, podiform tipi yataklar sınıfına dahil olmaktadır. Podiform yatakların en belirgin özellikleri, sergiledikleri karmaşık yapı ilişkileri, dokusal özellikleri ve küçük boyutlu oluşlarıdır. Stratiform tipi yataklara göre Cr_2O_3 tenörü daha geniş bir aralıkta değişen podiform tip yataklarda FeO tenörü fazla bir değişiklik göstermemektedir. Türkiye’de bulunan kromit yatakları, peridotitler içerisinde ülke geneli yayılmış, ancak belirgin bir dağılım düzeni göstermemektedir. Tek ya da grup halinde yaklaşık 800 bölgede krom yatağı bilinen Türkiye’de, kromit yataklarının coğrafi açıdan 6 bölgede toplanması mümkündür. Bu bölgeler önem sırasına göre;

- I. Guleman (Elazığ) bölgesi
 - II. Fethiye – Köyceğiz – Denizli bölgesi
 - III. Bursa – Kütahya – Eskişehir bölgesi
 - IV. Mersin – Karsantı – Pınarbaşı bölgesi
 - V. Erzincan – Kopdağ bölgesi
 - VI. İskenderun – Kahramanmaraş bölgesi
- şeklinde sıralanabilir [12].

Bu 6 yörenin dışında da dağınık halde bazı krom yataklarının olduğu Türkiye’de bulunan kromit yataklarının dağılımı Şekil 2.4’te ve Türkiye’de bulunan bazı kromit yataklarının tenör ve rezervleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

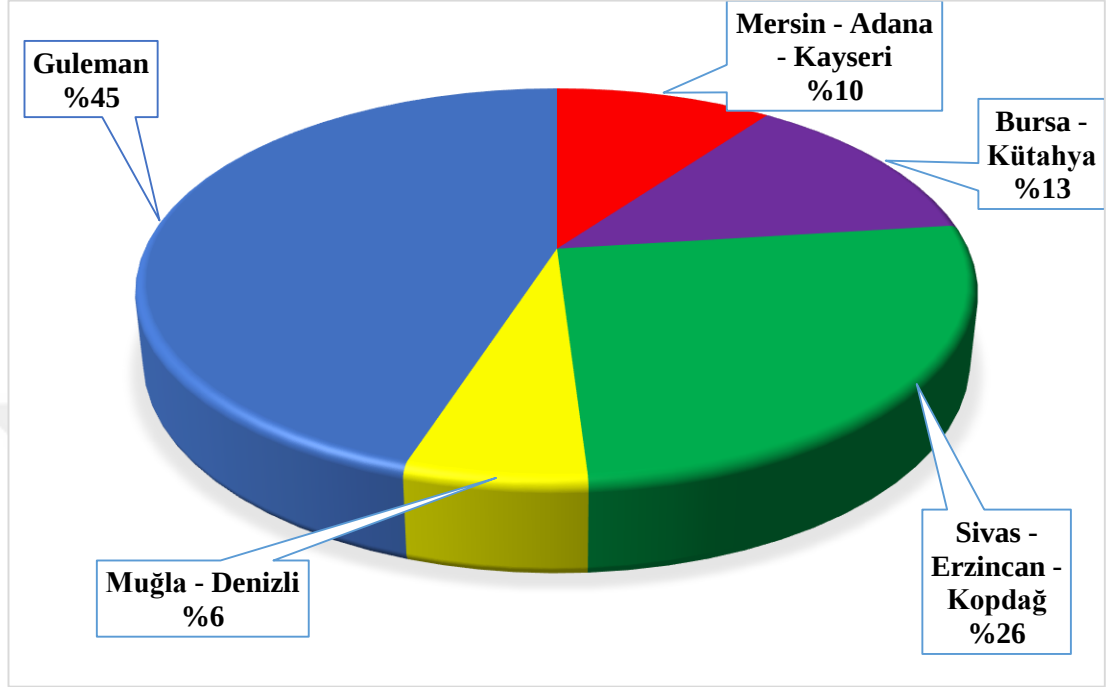


Şekil 2.5 Türkiye'deki krom yataklarının dağılımı [21]

Çizelge 2.3 Türkiye’deki krom yatakların tenör ve rezervleri [22]

Bölge	Yatak	Rezerv (Bin Ton)	Tenör (%)
Guleman	Batı Kef	6.800	33
	Doğu Kef	500	40-45
	Sori	2.500	42-48
	Kapın	700	43-47
Fethiye Köyceğiz Denizli	Karaismailler	800	30-38
	Üzümlü-Sazlı	100	36
	Biticealan	102	44-48
	Kazandere	236	37,5
	Kandak	100	40-46
Mersin Adana Kayseri	Harmancık-Başalan	163	20
	Ömeraltı-Kınalıbatak	100	23
	Miran-Hudut-Koca	120	43
	Orhaneli-Karıncalı	40	5-30
	Büyükorhan-Kırocak	277	10-18
	Kömürlük	53	15-40
	Eskişehir-Karacaören	35	15-45
	Eskişehir-Karaburhan	1.800	22-26
	Kavak	1.000	30-45
	Adana- Aladağ	198.000	5,6
Sivas Erzincan Kopdağ	Kayseri-Pınarbaşı- Dedeman	790	10-30
	Sivas-Kangal- Karanlıkdere	2.300	5-15
	Karadere	55	43-44
İskenderun Kahramanmaraş	Erzincan-Kopdağ	3.600	38-54
	Hatay-Kızıldağ	117	34-44

Türkiye’de bulunan kromit rezervlerinin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6 Türkiye’deki kromit rezervinin bölgelere göre dağılımı [22]

2.7. Kromitin Sınıflandırılması ve Ürün Standartları

Krom oksit cevherleri, Cr_2O_3 tenörleri, kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri gibi parametrelere göre sınıflandırılabilir. Cr_2O_3 tenörlerine göre;

- Cr_2O_3 tenörü %40’tan az olanlar (3. Kalite)
- Cr_2O_3 tenörü %40-46 arasında olanlar (2. Kalite)
- Cr_2O_3 tenörü %46’dan fazla olanlar (1. Kalite)

şeklinde sınıflandırılmaktadır [12].

Fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimlerine göre, element içerikleri de dikkate alınarak metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanıma uygun diye ayrıca sınıflandırılabilen (Çizelge 2.4) krom oksit cevherlerinin kimyasal bileşimlerinin incelenmesinde Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , ve SiO_2 değerleri dikkate

alınmaktadır. Diğer taraftan, oran olarak az bulunsalar da Ca, P, S içerikleri de kullanım alanını etkilediğinden ayrıca incelenmelidir [23].

Çizelge 2.4 Kromitin kullanım alanına göre sınıflandırılması ve ürün spesifikasyonları

Ürün Niteliği	Cr ₂ O ₃ (%)	Cr/Fe	Boyut (mm)
Metalurjik Parça	34-40	≥ 2,2/1	0 - 300
Metalurjik Parça	46-48	≥ 3/1	0 – 300
Metalurjik Konsantre	46-48	≥ 2,5/1	0 – 2
Metalurjik Jig Ürünü	≥ 36	≥ 2,2/1	0 - 25
Kimyasal Konsantre	≥ 40	≥ 2,5/1	
Refrakter Parça	Cr ₂ O ₃ ≥ 48; SiO ₂ ≤ 4		
Refrakter Parça	Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ ≥ 60; SiO ₂ ≤ 4		
Refrakter Parça	Cr ₂ O ₃ ≥ 45; SiO ₂ ≤ 6		
Döküm Kumu	Cr ₂ O ₃ ≥ 44; SiO ₂ ≤ 4; Fe ₂ O ₃ ≤ 26; %0,5 CaO		

Kromit, içeriğindeki Cr, Fe ve Al oranına göre yüksek kromlu, yüksek demirli ve yüksek alüminyumlu olarak da sınıflandırılabilir. Kromitin içeriğindeki Cr, Fe ve Al oranlarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5 Kromitin kimyasal içeriğine göre sınıflandırılması

Cevher Cinsi	Kimyasal Yapı	Kullanım Alanı
Yüksek Kromlu	%46-55 Cr ₂ O ₃ Cr / Fe = 2/1	Metalurji
Yüksek Demirli	%40-46 Cr ₂ O ₃ Cr / Fe = 1,5–2/1	Kimyasal ve metalurji
Yüksek Alüminyumlu	%33-38 Cr ₂ O ₃ %22-34 Al ₂ O ₃ Cr / Fe = 2–2,5/1	Refrakter

2.8. Kromit Üretimi ve Rezervi

Keşfinden sonra bir ihtiyaç haline gelen kromun erken dönem madenciliği mostralardan veya sığ derinliklerden toplama şeklinde olup küçük ölçeklidir. Özellikle kromun paslanmaz çelik üretiminde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte giderek artan talebi karşılamak için açık ocak ve mekanik yeraltı üretim yöntemleri zorunlu hale gelmiştir. Yüksek kaliteli metalürjik cevherlerin üretilmesiyle başlayan krom madenciliği, paslanmaz çelik endüstrisinin hızlı büyümesine bağlı olarak nispeten daha düşük dereceli ve yüksek demir içerikli ancak daha büyük ölçekli yataklardan üretime geçmiştir [24].

Dünyada krom cevherlerinden üretim, ilk olarak 1797 yılında Ural bölgesinde yapılmıştır. Türkiye’de ise kromit, ilk olarak 1848 yılında Harmancık (Bursa)’ta bulunmuş ve 1860’lı yıllarda üretim başlamıştır. Başlangıç yıllarında, sahil şeridine yakın ve ulaşımın kolay olduğu bölgelerde mostra madenciliği şeklinde başlayan süreç, kromit mercceklerinin kalınlıkları ve devamlılıklarına bağlı olarak açık ocak işletmeciliğine daha sonraki dönemlerde ise yeraltı madenciliğine dönüşmüştür. 1960’lı yıllara kadar mostra ve açık ocak madenciliği olarak devam eden krom madenciliği, açık ocak madenciliği ile üretilebilecek cevherlerin giderek azalmasıyla yeraltı üretim yöntemi ile üretime geçmeye başlamıştır. Günümüz Türkiye’inde krom madenciliğinin büyük bir kısmı yeraltı üretim yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Açık ocak madenciliğinde derinlik birkaç on metreyi geçmemektedir. Geçmiş yıllarda açık ocak madenciliği ile üretim yapılan Guleman (Elazığ) yatağında derinlik yaklaşık 40 metredir. Kopdağ bölgesinde bulunan Büyük Ezan işletmesinde ocak derinliği 200 metre civarındadır. Bu işletmede, 1981-1993 yılları arasında, yıllık ortalama 300.000 ton cevher üretimi yapılmıştır. Mostra ya da açık ocak madencilik yöntemleriyle cevher üretiminin yapılmasından sonra, tenör, topoğrafya, kalınlık, devamlılık gibi parametrelerin uygun olması halinde yatağın işletilmesi yeraltı üretim yöntemiyle sürdürülmektedir. Ana galeriler arasındaki yükseklik farkı genellikle 25-30 metre olarak alınmaktadır. Yatak durumuna göre desandre veya kuyu açılarak işletmenin devam ettiği durumlarda yaygın olarak görülmektedir [25].

Dünya kromit rezervinin yaklaşık %95’i Güney Afrika Cumhuriyeti, Zimbabve ve Kazakistan’da bulunmaktadır. Güney Afrika Cumhuriyeti dünyanın en büyük kromit ve ferrokrom üreticisi durumunda olmakla birlikte Zimbabve, Kazakistan,

Hindistan, Türkiye ve Finlandiya olmak üzere toplam altı ülke yıllık ortalama 1.000.000 tondan fazla kromit üretimi yapmaktadır. Dünyanın en büyük 5 üretici ülkesi konumundaki Güney Afrika Cumhuriyeti, Zimbabve, Kazakistan, Hindistan ve Türkiye'nin 2017 yılı sonu itibariyle tespit edilen rezerv miktarları Çizelge 2.6'da ve dünyada son 5 yıldaki kromit üretimi Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 En büyük kromit üreticisi konumundaki ülkelerin rezerv miktarları [26]

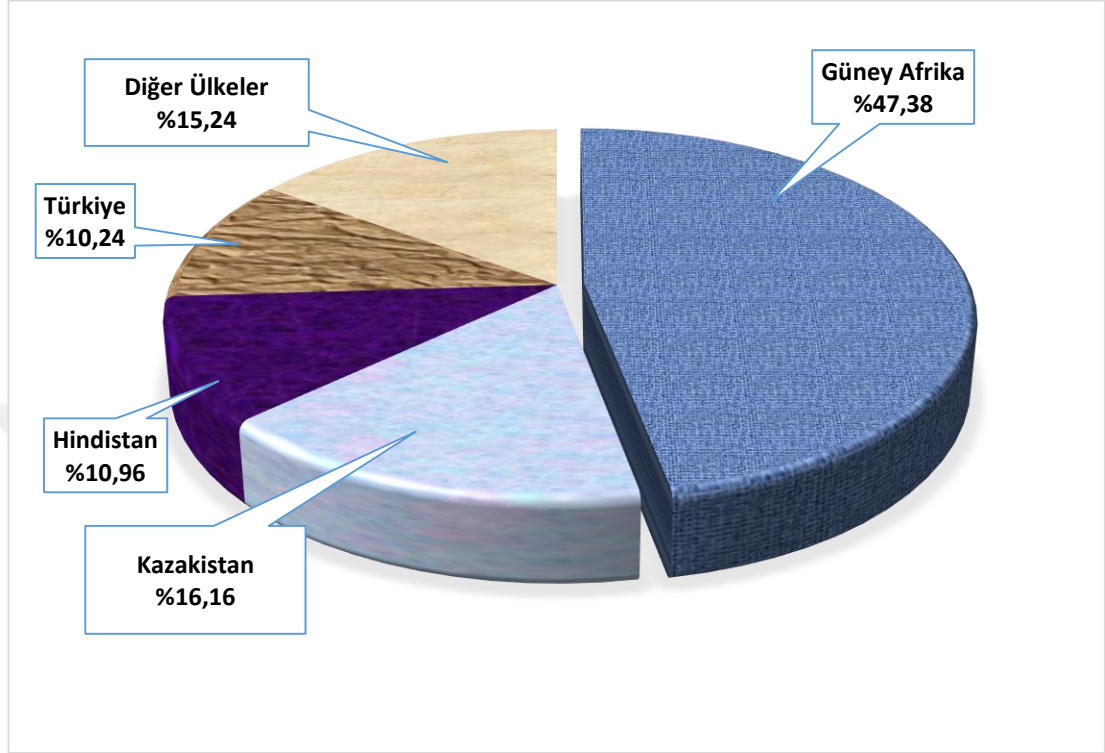
Ülke/Bölge	Rezerv (Bin Ton)
Kazakistan	230.000
Güney Afrika	200.000
Hindistan	54.000
Türkiye	26.000
Toplam	510.000

Rezerv; satılabilir durumdaki cevher rezervinin %45 Cr₂O₃'e normalize edilmiş halidir.

Çizelge 2.7 En büyük beş üretici ülkenin 2013-2017 yılları arasındaki kromit üretimi [26-29]

Ülke/Bölge	2013	2014	2015	2016	2017
Güney Afrika*	13.700	12.000	14.000	14.700	15.000
Kazakistan	3.700	3.700	5.490	5.380	5.400
Hindistan	2.950	3.540	3.200	3.200	3.200
Türkiye	3.300	2.600	3.500	2.800	2.800
Diğer Ülkeler	5.150	4.590	4.220	4.160	4.200
Toplam	28.800	26.430	30.410	30.240	30.600
Üretimler, satılabilir durumdaki cevherlerin brüt ağırlığı ve bin ton olarak alınmıştır.					
* Güney Afrika Cumhuriyeti ve Zimbabve'den oluşan bölge					

Dünya kromit üretiminde, son 5 yıldaki ortalama üretim miktarlarına göre ülke/bölgelerin aldıkları paylar Şekil 2.6'da [26-29] verilmiştir.

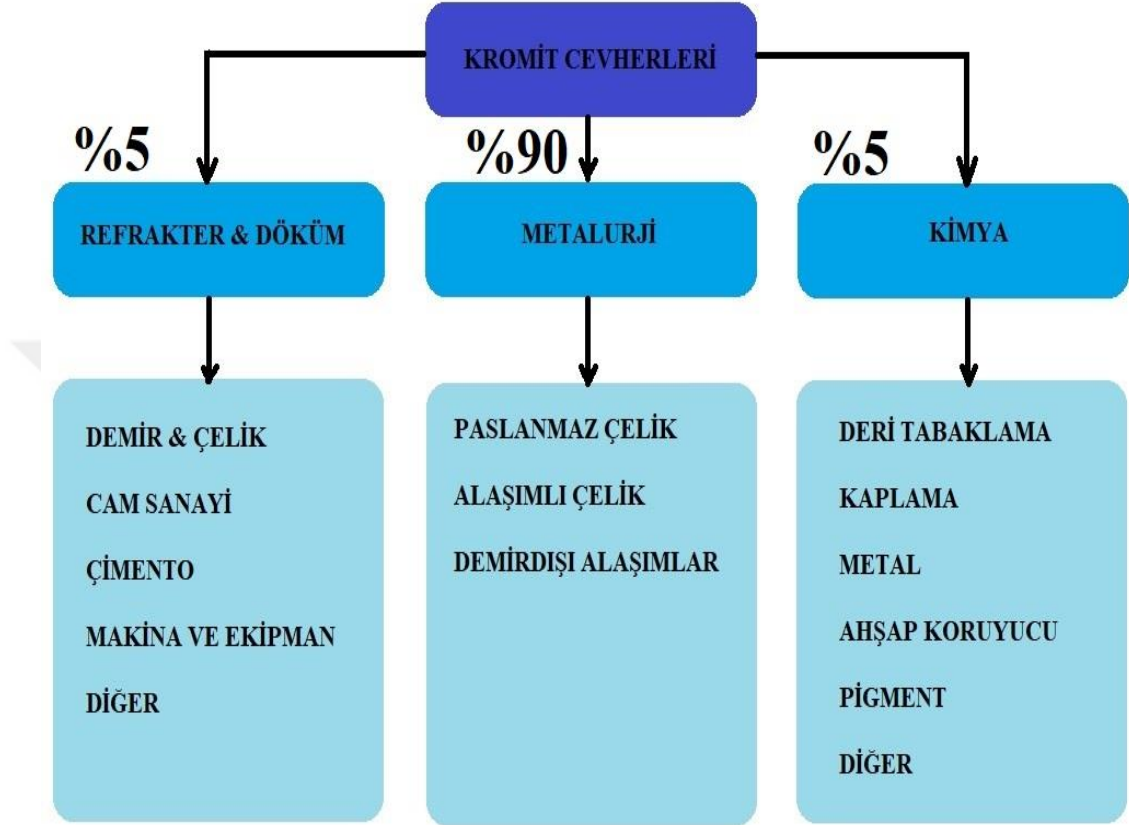


Şekil 2.7 2013-2017 yılları arası ortalama üretim miktarlarına göre ülkelerin aldıkları paylar [26-29]

2.9. Kromitin Kullanım Alanları

Krom, başta paslanmaz çelik endüstrisi olmak üzere birçok sektörde kullanılan bir metaldir. Kromun keşfinden önce de içeriği bilinmeden krom bileşikleri boya yapımında kullanılırken, 19. yüzyılda potasyum dikromatın tekstil boyasında mükemmel bir mordant (renk sabitleştirici) olduğunun bulunmasıyla birlikte boya endüstrisinde kullanımı artmıştır. Bu gelişmeden birkaç yıl sonra, deri tabaklamada kromik sülfat kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, az da olsa, kromik sülfat ahşap koruyucu olarak da kullanılmıştır. 1850'li yıllarla birlikte kromun aşınmaya karşı direnci, kayganlığı ve estetik görünümü gibi özelliklerinin ortaya çıkmasıyla beraber çeşitli metallerle alaşım yapılmaya başlanmış ve paslanmaz çelik yapımında kullanılabileceğinin keşfiyle birlikte tüketimi hızla artmıştır. 19. yüzyılın sonlarına

doğru ise refrakter sanayiinde kullanımı başlamıştır [30]. Krom cevherlerinin kullanım alanları Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Krom cevherlerinin kullanım alanları [30]

Global kromit pazarı, coğrafyaya bağlı olarak;

- Pasifik Asya
- Avrupa
- Kuzey Amerika
- Latin Amerika
- Ortadoğu
- Afrika

şeklinde bölgelere ayrılabilir. Pasifik Asya, Ortadoğu ve Afrika paslanmaz çelik endüstrisindeki hızlı büyüme nedeni ile kromit pazarının kilit bölgeleridir. Güney Afrika Cumhuriyeti, Zimbabve, Kazakistan, Hindistan ve Türkiye küresel kromit

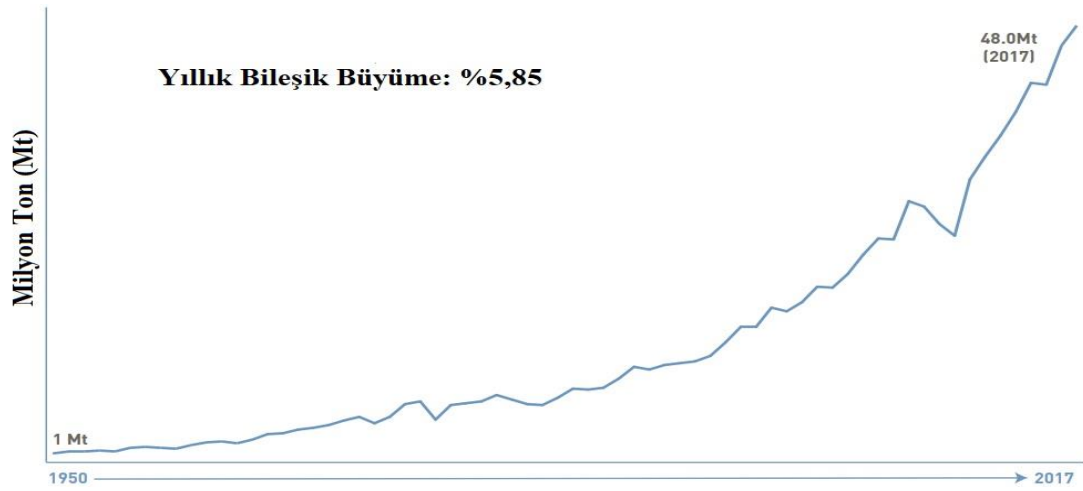
üretiminin yaklaşık %80'ini karşılamaktadır. Küresel kromit pazarının en önemli oyuncularını Opta Minerals, Inc, LKAB Minerals, CDE Global ve Sibelo'dur [31].

2.9.1. Kromun metalurji sanayiinde kullanımı

Dünya genelinde üretilen krom cevherlerinin yaklaşık %90'ı metalurji sanayiinde kullanılmaktadır. Kromun, metalurji sanayiinde en önemli kullanım alanı ise "paslanmaz çelik" endüstrisidir. Buna bağlı olarak, kromit en çok paslanmaz çelik yapımında kullanılmak üzere ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik terimi, krom içeren çelik ailesini kapsamaktadır. Bu nedenle bir çeliğin "*paslanmaz çelik*" olarak anılabilmesi için en az %11-12 Cr içermesi gerekmektedir. Bu değer minimum değer olup Cr içeriği %30'a kadar çıkabilmektedir. Örneğin, en iyi bilinen çeliklerden biri, 18/8 paslanmaz çelik olarak anılan ve %18 Cr ve %8 Ni içeren 304 Serisi çeliktir. Günümüzde farklı paslanmaz çelikler için standart bileşimler bulunmaktadır. Bunlar;

- 200 Serisi: Bir kısım manganın nikelin yerine geçtiği 300 serisi çelikler
- 300 Serisi: %16-26 Cr ve %7-22 Ni içeren östenitik çelikler
- 400 Serisi: %12-20 Cr içeren martenzitik çelikler ve %15-30 Cr içeren ferritik çelikler
- 600 Serisi: Östenitik veya martenzitik çeliklerden çökelme sertleşmesi uygulanabilenler [32].

Üretilen krom cevherlerinin %90'ı metalurji sanayiinde ve özellikle paslanmaz çelik üretiminde kullanıldığından paslanmaz çelik üretimi arttıkça krom cevherlerine olan ihtiyaç da artacaktır. Bu nedenle paslanmaz çelik üretim miktarları krom cevherlerinin üretimini doğrudan etkilemektedir. 1 ton ferrokrom üretimi için yaklaşık 2,5 ton kromit kullanılmaktadır. Dünya eriyik paslanmaz çelik üretiminin 1950 yılından 2017 yılına kadar olan büyüme hızı Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Ferrokrom, paslanmaz çelik üretiminin birincil bileşeni kabul edilmekte ve dünya genelinde üretilen tüm kromitin yaklaşık %75'i ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır [31].



Şekil 2.9 1950-2017 yılları arasında eriyik paslanmaz çelik üretimi [33]

2.9.2. Kromun refrakter sanayiinde kullanımı

Kromit, önemli bir refrakter materyal olmasına karşılık, refrakter endüstrisinde kullanıma uygun kromit üretimi global üretimin yaklaşık %5'i kadardır. Refrakter kalite kromit, tipik olarak %0,7 SiO₂ gibi çok düşük silika içeriği gerektirmektedir. Bu nedenle refrakter kromit, genellikle, gang içerisinde meydana gelen silikanın çoğunun çıkarıldığı ince taneli bir konsatre şeklinde üretilmektedir. Kromitin refrakterliği ise %57'nin üzerinde olan Cr₂O₃ ve Al₂O₃ miktarı ile belirlenmektedir. Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde meydana gelen gelişmeler nedeniyle, refrakter kromit üretimi son 35 yılda azalmıştır. Üstün korozyon direncinden dolayı, bakır, kurşun ve çinko arıtımı gibi demir dışı metalürji sektöründe Mg-Cr refrakterler tercih edilmektedir. Ancak, hidrometalürjik proseslerin artan kullanımı nedeniyle bu sektördeki kromit kullanımında da kısmen bir düşüş eğilimi görülmüştür. Bunun yanı sıra, demir ve çelik üretiminde elektrik fırınlarına geçiş, Mg-Cr tuğla kullanımında keskin bir düşüşe sebep olmuştur [34].

Çimento ve kireç fırınları, Mg-Cr refrakterlerinin ikinci büyük kullanıcısı olmakla birlikte dünya üretiminin sadece %7'sini tüketmektedir. Yüksek termal şok, korozyon ve sıcak direnci ile çimento fırınlarında kullanımında önemli bir avantajı bulunan Mg-Cr tuğlalar, fırınlardaki oksitleyici atmosferin bir sonucu olarak, insan sağlığı için risk taşıyan Cr(VI) içerebilmektedir. Bu nedenle, çimento fırınlarında kullanılan tuğlaların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Kullanılmış tuğlaların bertaraf maliyetlerinin yüksek olması nedeni ile Avrupa ve Kuzey Amerika'daki çimento fırınlarında Mg-Cr tuğla

kullanımı neredeyse ortadan kalkmıştır. Ancak, dünyanın geri kalan kısmında bu tuğlalar hala yaygın olarak kullanılmaktadır [34].

Mg-Cr refrakter tuğlaların kullanıldığı bir başka sanayi ise cam endüstrisidir. Yüksek sıcaklık fırınlarında kullanılan Mg-Cr refrakter tuğlalar, Cr(VI) ile ilgili kaygılar nedeniyle aşamalı olarak sonlandırılmaktadır [34].

Yaklaşık 2150 °C'lik erime sıcaklığı, düşük ısılatılabilirlik, yüksek kimyasal duraylılık, düşük ısı genleşme ve yüksek ısı iletkenliğine sahip olan kromit kumu (granül formda kromit) özellikle otomotiv ve ağır sanayide demir ve demir dışı dökümler için yaygın olarak kullanılmaktadır [34].

2.9.3. Kromun kimya sektöründe kullanımı

Küresel kromit üretiminin yaklaşık %5'i kimya sektöründe kullanılmaktadır. Bununla birlikte kimya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Kromat kimyasallarının üretiminde birincil ürün sodyum kromattır. Sodyum kromat, kromitin soda külü (sodyum karbonat) ve öğütülmüş kireç, kireçtaşı veya dolomit ile birlikte döner fırınlara beslenmesiyle üretilmektedir. Üretilen sodyum kromat daha sonra sodyum dikromat, amonyum ve potasyum dikromat, kromik asit, krom oksit ve bazik krom sülfat gibi çeşitli kimyasallara dönüştürülmektedir. Sentetik olarak üretilen herhangi bir krom bileşiğinin başlangıç malzemesi olan sodyum dikromat, endüstriyel olarak kullanılan en önemli krom bileşiğidir. 2009 yılında 638 bin ton sodyum dikromat üretilmiştir [35].

Krom kimyasallarının en erken kullanımı 19. yüzyıl öncesine uzanmaktadır. Çok parlak renklerinden dolayı boya uygulamalarında kullanılan krom kimyasallarının günümüzdeki en önemli kullanım alanı ise krom sülfatın kullanıldığı deri tabaklama endüstrisidir. Krom kimyasallarının en önemli ikinci kullanım alanı ise metal endüstrisidir. Dekoratif krom kaplamaları, mühendislik gereksinimleri için sert krom kaplamaları ve plastik temizleme bu sektördeki temel uygulama alanlarıdır [35].

Pigment üretiminde, krom kimyasallarının diğer elementlerle karıştırılarak kullanımı günümüzde hala önemlidir. Açık sarı, turuncu, yeşil, turkuaz ve mavi renkte

çok parlak pigmentler boya, plastik, seramik ve yüzey kaplamalarında kullanılmaktadır [35].

Saf krom oksit, yüksek sıcaklık ve korozyona dirençli refrakterler için tek başına veya alümina, zirkonya ve silika ile birlikte kullanılmaktadır [35].

2.10. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri

Açık ocak ya da yeraltı madencilik yöntemleriyle üretilen kromit, üretim sonrasında içerdiği Cr_2O_3 miktarına göre ya doğrudan ya da bir zenginleştirme işlemi sonrası satılmaktadır.

%32'nin üzerinde Cr_2O_3 içeren parça cevherler kullanım alanı bulabilmekte ve dolayısı ile üretim sonrası doğrudan satılabilmektedir. %32'den düşük Cr_2O_3 içeren cevherlerin satılabilmesi için çeşitli endüstri kollarına ait spesifikasyonlardan bir ya da birkaçına uygun hale getirilmesi yani zenginleştirilmesi gerekir [36].

Kromit, birlikte bulunduğu yan kayaçlara göre yoğunluğu yüksek bir mineral olup, serbestleşme tane boyutu izin verdiği sürece en uygun zenginleştirme gravimetrik yöntemlerdir. İri boyutta serbestleşen cevherler için jig, daha ince boyutlarda serbestleşen cevherler için sallantılı masalar tercih edilmektedir [16].

Kromit zenginleştirilmesi için uygulanacak yöntem(ler)in belirlenmesinde;

- Serbestleşme tane boyutu,
 - Konsantrede istenilen $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ miktarları,
 - Cr/Fe oranı,
 - Kromit ve yan kayaçları arasındaki fiziksel ve kimyasal farklar,
- etkili olmaktadır [15].

Kromit zenginleştirmesinde uygulama alanı bulabilen bazı yöntemler şu şekilde sıralanabilir;

- Elle ayıklama (Triyaj)
- Jig ile zenginleştirme
- Sallantılı masa ile zenginleştirme
- Humphrey spirali ile zenginleştirme

- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon ile zenginleştirme

2.10.1. Triyaj ile zenginleştirme

En basit ve en ekonomik zenginleştirme yöntemi olan triyaj ile zenginleştirme yönteminde mineraller arasındaki renk ve parlaklık gibi genel görünüm özelliklerinin farklılığından yararlanılmaktadır. Kromit zenginleştirilmesinde, genellikle, yüksek tenörlü ve sert parçalı cevher üretilen krom madenlerinde kullanılan bu yöntem, yüksek tenörlü yatakların hızla tükenmesi sebebiyle günümüz krom madenciliğinde neredeyse kullanılmamaktadır. Triyaj, bazı durumlarda tek başına bir zenginleştirme, bazı durumlarda da bir ön zenginleştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır.

2.10.2. Sallantılı masa ile zenginleştirme

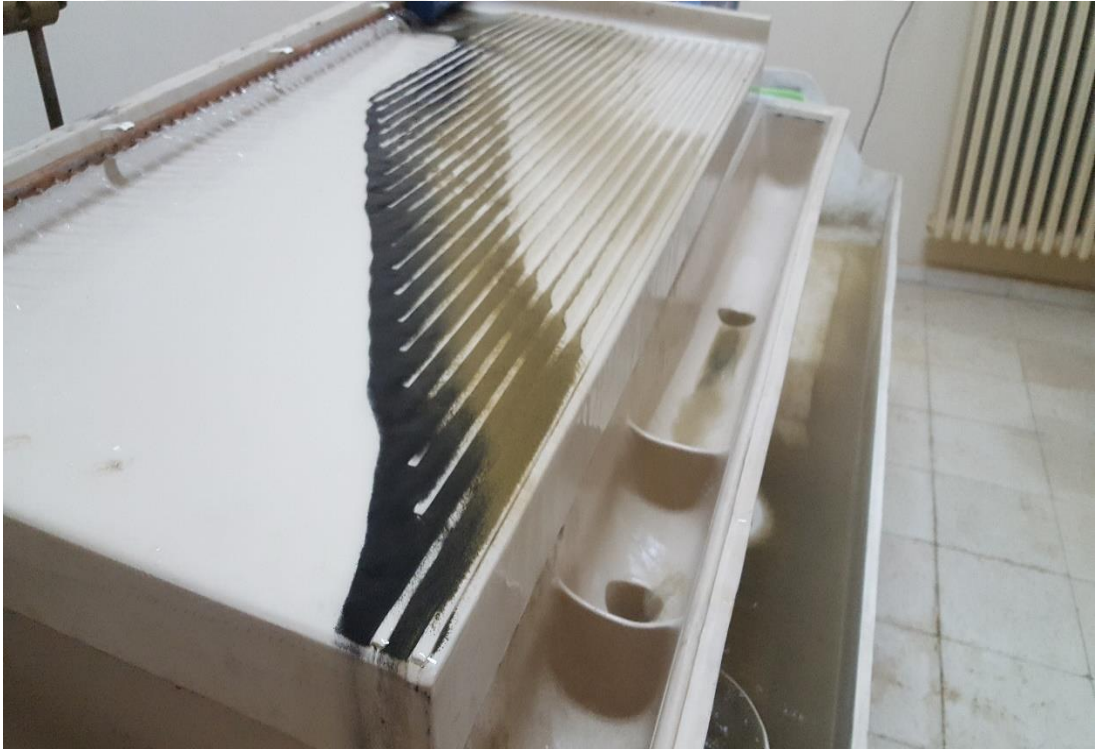
Günümüz kromit zenginleştirmesinde en çok kullanılan cihaz olan sallantılı masalar, üzerinde tabaka halinde bir akışkan akımında ayırım yapan, üzerinde belirli bir düzen ve yükseklikte eşikler bulunan, eğimli ve hareketli bir masa yüzeyinden ibarettir. Kabaca dikdörtgen şekilli olan masa yüzeyleri yatay ile birkaç derecelik açı yapacak şekilde yerleştirilmektedir. Yoğunluk ve boyut farklılıkları olan mineral taneleri, masa yüzeyinde akan akışkan ile akış yönüne dik hareketlerin etkisi altında hareket etmektedir. Masa yüzeyinde hareket eden tanelerden en hafif ve en iri tane en kısa, en ağır ve en iri tane ise en uzun yolu almaktadır. Yuvarlanma hareketi ise en fazla iri tanelere etki ettiğinden en hafif ve en iri tane en hızlı, en ağır ve en ince tane ise en yavaş hareket eden taneler olacaktır. Bunların dışında oluşan bir başka hareket ise, suyun masa yüzeyindeki eşiklere çarparak oluşturduğu türbülans akıştır. Türbülans akış, engelli çöküş ortamı sağlayarak bir tabakalaşma meydana getirir ve birlikte hareket eden iri ve ağır ile ince ve hafif tanelerin birbirlerinden ayrılmasına sebep olur. Böylece, ağır taneler eşiğin taban kısmına doğru çökerken hafif taneler ise eşiği aşarak su ile birlikte hareket etmeye devam ederler. Minerallerin tane boyu ve yoğunluklarına bağlı olarak, masa yüzeyinde meydana gelen iki hareketin oluşturduğu

bileşke kuvvet ve eşik etkileriyle, iri ve ağır, iri ve hafif, ince ve ağır, ince ve hafif tanelerden oluşan ayrı kuşaklar oluşmaktadır. Bu kuşakların, masa yüzeyindeki kuvvetlerin etkileriyle ayrı ayrı bölgelerden masa yüzeyini terk etmeleri sonucu zenginleştirme yapılmış olur. Sallantılı masalarda, zenginleştirme işlemini etkileyen parametreler;

- Hareket hızı
- Hareket genliği
- Masa eğimi
- Yıkama suyu miktarı
- Eşik tipi ve yerleşimi
- Ürün toplama oluklarının konumu

şeklinde sıralanabilir [37].

Şekil 2.12’de Wilfrey laboratuvar tipi bir sallantılı masada düşük tenörlü kromit zenginleştirme esnasında meydana gelen kuşaklar görülmektedir.



Şekil 2.10 Wilfrey tipi sallantılı masa ve kromit zenginleştirme esnasında masa yüzeyinde meydana gelen kuşaklar

2.10.3. Humphrey spirali ile zenginleştirme

Humphrey spirali, en basit haliyle, bir oluğun spiral şeklinde kıvrılmasıyla üretilen ayırma cihazı olarak tarif edilebilmektedir. Humphrey spiralleri, 20-30 cm yarıçapa sahip, aralarında 30-35 cm yükseklik farkı bulunan en az beş hatveden oluşmaktadır [37].

Farklı boyut ve yoğunluktaki minerallerin ayrılmasında, temel olarak tabaka halinde akan akışkan ve merkezkaç kuvveti etkilidir. Bunun yanı sıra, taneler arasındaki terminal çökme hızları, akışkanla beraber akan malzeme yatağında ara boşluklardan sızmalar ve engelli çöküş şartları da diğer etkili parametrelerdir. Spiralin üst kısmında bulunan oluktan homojen bir şekilde beslenen pülöp tabaka halinde akmaya başlamaktadır. Akan tabakanın kalınlığı, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile hatvenin merkezine yakın kısımlarda ince ve hatvenin yan duvarlarına yakın kısımlarda kalındır. Merkezkaç kuvveti daha hafif ya da daha ince tanelere daha fazla etki ettiğinden iri ve ağır taneler merkeze yakın kısımlarda toplanırken ince ve hafif taneler merkezden dışarı doğru itilmekte ve hatvenin yan duvarına yakın kısımlarda toplanmaktadır. Bu esnada iri ve ağır tanelerin arasına karışan ince ve hafif tanelerin ayrılmasını sağlamak için merkezden yıkama suyu verilmektedir. Ürün toplama mandallarının konumuna göre konsantre, ara ürün ve artık olmak üzere üç ürün alınabildiği gibi istenildiği takdirde, ürün toplama mandallarından biri kapatılarak konsantre ve ara ürün olmak üzere iki ürün de alınabilmektedir [37].

İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük, enerji ihtiyacı ve yer gereksiniminin az olmaları, hareketli parçaların olmaması ve buna bağlı olarak da daha az arıza ile karşılaşılması sebepleriyle kömür yıkama, krom, demir, tungsten, kalay ve sahil kumlarındaki zirkon, rutil, monazit, gibi ağır minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.11’de bir örneği verilen spirallerin ayırma verimini etkileyen, yapısal ve cevherlere bağlı parametreleri;

- Hatve sayısı
- Hatve çapı
- Hatve eğimi
- Ayırma bıçaklarının konumu
- Yıkama suyu miktarı

- Besleme hızı
- Ayrılacak mineraller arasındaki yoğunluk farkı
- Boyut aralığı
- Pülpte katı oranı
- Cevherin şlam miktarı

olarak sıralanabilmektedir [37].



Şekil 2.11 Humphrey Spirali

2.10.4. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Manyetik ayırma, manyetik duyarlılığı farklı minerallerin, bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alanda, yerçekimi, sürtünme, merkezkaç gibi farklı kuvvetlerin de bileşik etkilerine dayanılarak “*manyetik olan*” ve “*manyetik olmayan*” tanelerin birbirinden ayrılması işlemidir [15, 38].

Doğada bulunan minerallerin büyük bir kısmı paramanyetiktir. Paramanyetik mineraller için “yüksek alan şiddetli” ve ferromanyetik mineraller için “düşük alan şiddetli” manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Diyamanyetik mineraller ise ancak paramanyetik sıvılarla muamele edildikten sonra manyetik özellik kazanabilmektedir. Bazı durumlarda ise, düşük manyetik duyarlılığa sahip mineralleri ısıtılarak yüksek manyetik duyarlılığa sahip minerallere dönüştürülebilmektedir. Bir diğer durum ise,

kolloidal yapıdaki çok ince tanelerin manyetik salkımlaştırma yapılarak boyutunun büyütülmesi ve manyetik ayırıcılarla zenginleştirilmesidir. Bu durumlar göz önüne alındığında, ekonomik olması şartıyla, hemen hemen tüm mineraller, çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra manyetik ayırıcılar ile zenginleştirilebilmektedir [38].

Manyetik ayırıcılarda kullanılan mıknatıslar doğal, yapay ve elektro mıknatıslar şeklinde üçe ayrılmaktadır. Manyetik ayırıcılarda, önceleri, ferrit ismi verilen sürekli doğal mıknatıslar kullanılmış, daha sonraları ise, nadir toprak elementlerinin kullanımı ile yüksek alan şiddetli (> 1 Tesla) manyetik ayırıcılar geliştirilmiştir. Daha sonraları ise demir ve hava merkezli elektro mıknatıslar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Endüstriyel ölçekte manyetik ayırma ile zenginleştirme, 1792 yılında İngiltere’de, William Fullarton tarafından, demir cevherinin zenginleştirilmesi için almış olduğu patentle başlamaktadır. Günümüzde kullanılan manyetik ayırıcıların temelini oluşturan bazı manyetik ayırıcılar;

- Ransom Cook’un elektro-manyetik kuru tamburlu ayırıcısı (1849)
- John Smith’in durağan mıknatıslı kuru makaralı ayırıcısı (1870)
- Ball ve Norton’un paralel bantlı kuru ayırıcısı (1890)
- Wetheril’in yüksek alan şiddetli çapraz bantlı kuru ayırıcısı (1896)
- Forsgren’in düşük alanlı matriks tipi yaş manyetik ayırıcısı (1897)
- Gröndal’in yaş tamburlu ayırıcısı (1899)
- Korda’nın yüksek alan şiddetli indüklenmiş rotor tipi kuru ayırıcısı (1905)
- Rapid’in yüksek alan şiddetli döner diskli kuru ayırıcısı (1920)
- Dings ve Roche’nin bantlı yaş ayırıcısı (1922)

şeklinde sıralanabilir [39].

1880’lerden itibaren sürekli mıknatıslar tungsten çeliğinden üretilirken, 1920’li yıllarda krom çeliklerinden, 1930’lı yıllarda kobalt – platin ve demir – platin alaşımlarından, 1960’lı yıllarda alüminyum – nikel – kobalt alaşımlarından, 1980’li yıllardan sonra ise neodimyum – demir – bor alaşımlarından üretilmeye başlanmıştır. Bu gelişmeler, özellikle de 1940’lı yıllardan sonra elektromanyetik ayırıcılarla ekonomik olarak ayrılamayan veya zenginleştirilmesi mümkün olmayan cevherlere çözümler sağlamıştır [40]. 1950’li yıllarda, İskandinav ülkelerinde geliştirilen Launla ve Mortsell – Sala ile Kanada’da geliştirilen Cavanagh kuru tamburlu ayırıcıları, ince öğütülmüş cevherlerin kuru yöntemlerle zenginleştirilmesini sağlamıştır. 1960’lı

yıllarda geliştirilen bazı yüksek alan şiddetli yaşı manyetik ayırıcılar, çok ince tane boylarında paramanyetik minerallerin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesinde başarılı sonuçlar vererek uygulanabilir duruma getirmiştir. Bu ayırıcıların hemen hemen tümü, elektro-mıknatıs kutupları arasına yerleştirilmiş hareketli bir sistem ve bu sistemin içerisine yerleştirilen ferromanyetik bir materyal içermektedir. Matriks ismi verilen bu maddenin görevi elektro-manyetik alan şiddetini indüksiyon ile artırarak toplanan manyetik mineral tanelerine manyetik alan dışına alınmaya kadar yataklık yapmaktır. Bu manyetik ayırıcıların başlıcaları ve matriks tipleri şu şekildedir;

- (1964) Carpco - Amax, çelik bilye matriksli
- (1964) Jones - Humboldt, çelik levha matriksli
- (1964) Gill, indüklenmiş yivli rotor tipi
- (1972) Rapid, çapraz çubuklu çelik kafes matriksli
- (1974) Carousel, çelik yün ve tel matriksli [39].

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar, karosel ve hazne tipi olarak ikiye ayrılmaktadır. Karosel tipi manyetik ayırıcılar, dikey eksen etrafında dönen ve kesiksiz ayırma yapabilen cihazlardır. Bu sınıfa dahil olan yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların en önemlileri, Gill, Jones, Krupp Sol ve Şekil 2.12’de gösterilen Metso Mineral Carousel cihazlarıdır [38].



Şekil 2.12 Metso Carousel yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı [38]

2.10.5. Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme

Falcon gravimetrik konsantratör, yoğunlukları birbirinden farklı mineralleri, yüksek şiddetli santrifüj ortamda ayıran bir cihazdır. Besleme, yüksek hızla dönen rotor mekanizmasına pülp şeklinde yapılmaktadır. Besleme malzemesi önce yoğunluğu yüksek minerallerin toplandığı ve genellikle konsantrasyon bölgesi olarak anılan kısma gelir. Bu kısımda yoğunluğu yüksek mineral(ler) toplanırken, düşük yoğunluklu mineral(ler) suyla birlikte rotorun dışına taşınmaktadır. Rotor cidarına yapışan yüksek yoğunluklu mineral(ler), manuel ya da otomatik olarak belirli aralıklarla toplanırken, düşük yoğunluklu mineral(ler) ayırma boyunca dışarı taşmaktadır. 300 G'ye kadar santrifüj kuvveti oluşturabilen Falcon gravimetrik konsantratörlerin (Şekil 2.13) dizaynı oldukça basit olup, hareketli bölümleri az ve dolayısı ile bakımı kolay ve aşınmaya maruz kalan kısımlar kauçuk ile kaplanmıştır [41].



Şekil 2.13 Sepro marka laboratuvar tipi falcon gravimetrik konsantratör

İnceleme alanında çoğunlukla ofiyolitik karışık geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu karışığın bileşenleri olarak Serpantinleşmiş harzburjitler, dunitler, gabrolar ve piroksenitler yer almaktadır. Ruhsat sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 2.15'te verilmektedir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE-SİMGE	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR	FOSİL İÇERİĞİ	OROJENİK FAZ
SENEZOYİK	TERTİYER	Kuvaterner	Pliyosen	SÜĞÜK PİSKAL	Qal	50		Alüvyon		
								Uyumsuzluk		
								Akarsu çakıltısı, kumtaşı		
								Traverten		
								Zayıf çimentolu polijenik çakıltısı		
								Uyumsuzluk		RODONİYEN
								Beyaz gri killi kireçtaşı		
								Beyaz gri kumtaşı, şeyl, marn		
								Siyah bazalt	<i>Miocypsinia irregularis</i> MICH	
								Silis bantlı killi kireçtaşı	<i>Peneropsis thomasi</i> HENSON	
								Kırmızı, gri çakıltısı, kumtaşı, kilaşı	<i>Parenella disjuncta disjuncta</i> (SOWERBY)	SEVİYEN
								Uyumsuzluk		
MESOZOYİK	KRETASE	Oligosen	Eosen	SİLİMİYE	Tsk	500-700		Çakıltısı, kumtaşı, silttaşı, yer yer jips mercekleri		PIRENİYEN
								Uyumsuzluk		
								Bej, gri, üst kesimleri jips bantlı kumtaşı, silttaşı, şeyl, yer yer killi kireçtaşı aralanması	<i>Nummulites uranienensis</i> HEIME <i>Nummulites galantus</i> HEIME <i>Nummulites cf. boegianus</i> <i>Dicocyclina sp.</i> (D'ARCHIAC)	ANADOLU
								Uyumsuzluk		
								Koyu gri- siyah, kötü kokulu fosilli kireçtaşı	<i>Scadonca aff. samnitica</i> (DE CASTRO) <i>Laffenia mengaudi</i> (ASTRE) <i>Bolcarina aksarvici</i> (SIREL) <i>Orbinoides medius</i> (D'ARCHIAC)	
								Uyumsuzluk		
								Serpantin, harzburjit, lerzolit gabro, kireçtaşı, radyolarit blokları içeren ofiyolitik karışık		
								Tektonik dokanak		
								Gri, mavimsi gri, kısmen rekristalize kireçtaşları	<i>Chypina cf. jurassica</i> FAURE <i>Pseudocyclonema sp.</i> <i>Protoglobigerina sp.</i> <i>Vulvulindus</i>	

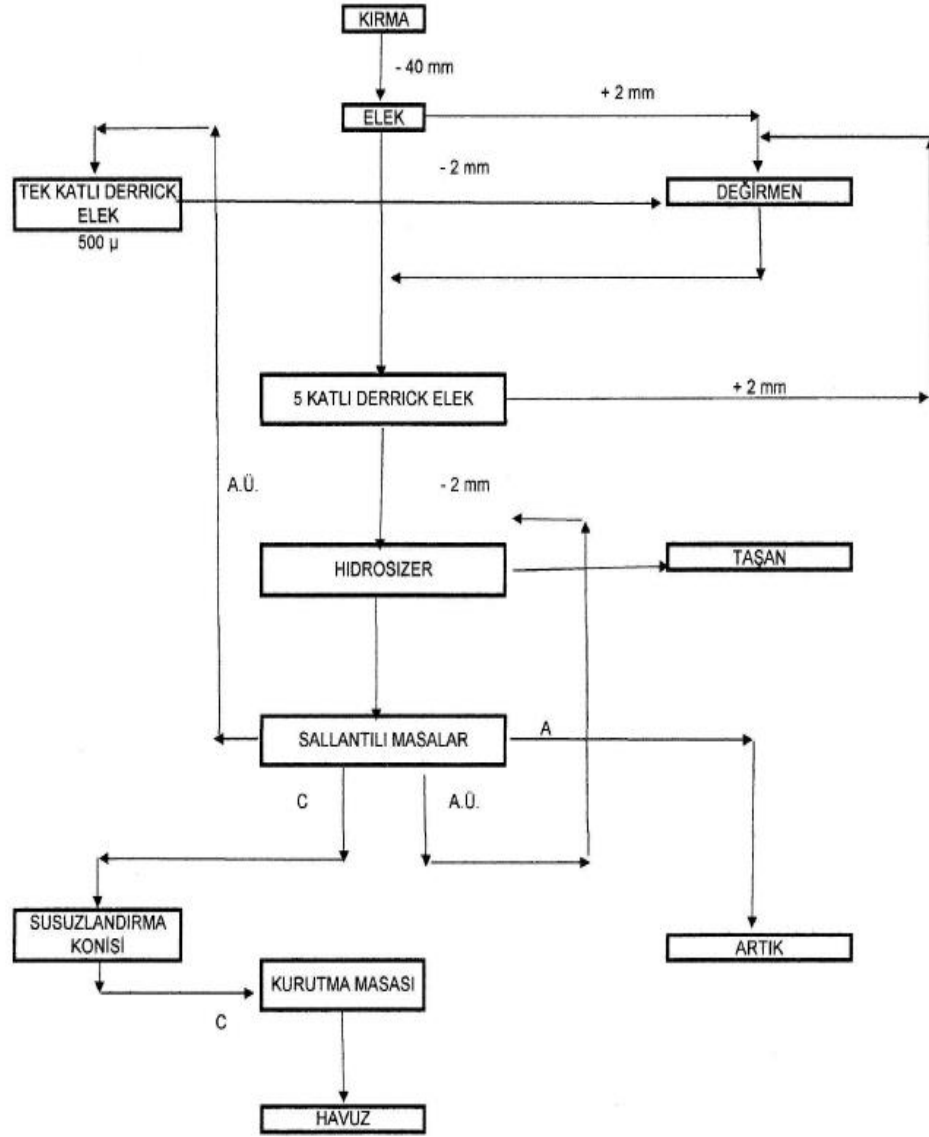
Şekil 2.15 Ruhsat Sahasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti

Çalışma sahasındaki üretim çalışmaları KKD-GGB ve D-B yönünde toplam 4 noktada yapılmaktadır. KKD-GGB uzanımlı cevherli zondaki cevher bantları masif, benekli ve saçılmış (dissemine) tipte ve masif cevher merceklerine oranla düşük tenörlüdür. Aşağı kotlara inildikçe cevherdeki zenginleşmede artmaktadır. Cevherleşme doğrultu boyunca (KKD-GGB) kesikli de olsa, 1,5-2 metre kalınlıktan 3-4 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Ana cevherleşmenin parçalanması ile oluşan D-B yönündeki masif karakterli cevher mercekleri 4-6 metre kalınlıkta 3-4 km boyunca devam etmektedir.

Çalışma sahasında üretilen cevherlerden satılabilir kalitede olmayan kısım zenginleştirilmek üzere konsantratöre gönderilmektedir. Konsantrite üretim tesisi günlük tüvenan cevher işleme kapasitesi 2800 ton'dur. Konsantratör ve üretilen konsantrite fotoğrafları Şekil 2.16 ve tesisin akım şeması Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.16 Konsantrite üretim tesisi içi ve konsantritelerin görünümü



Şekil 2.17 Tesis akım şeması

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önal vd. (1979), krom zenginleştirme tesisleri ince taneli artıklarının yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yöntemi ile değerlendirilmesi olanaklarını araştırmışlardır. Fethiye – Üçköprü ve Kavak tesislerinin artıkları ile yaptıkları deneylerde manyetik alan şiddeti, pülp yoğunluğu ve tane boyutunun ayırmaya etkilerini incelemiş ve Fethiye – Üçköprü artıklarından 100 mikron altında %48,56 Cr_2O_3 tenörlü konsantreyi %80 civarında bir verimle, Kavak artıklarının ise 37 mikron altında, %48,02 Cr_2O_3 tenörlü konsantreyi %56 civarında bir verimle elde etmişlerdir [5].

Salisbury vd. (1982), düşük tenörlü Kaliforniya kromitlerinden ticari ürünler elde edilmesi olanaklarını araştırmışlardır. Manyetik ayırıcı ve sallantılı masa kullanarak yaptıkları zenginleştirme sonucunda %2,5 Cr_2O_3 tenörlü Kaliforniya kromitlerinden %36,4 verimle %44,7 Cr_2O_3 tenörlü konsantre ve %6 Cr_2O_3 tenörlü Seiad Creek kromitlerinden ise %50 verimle %50 Cr_2O_3 tenörlü konsantre üretmişlerdir [42].

Öztürk vd. (1987), Etibank Elazığ Ferrochrom tesisleri cürufu içerisindeki kromitin geri kazanımı ile ilgili çalışmalar yapmış, sallantılı masa deneyleri sonucunda %64,87 verimle ortalama %34,92 Cr_2O_3 tenörlü konsantre üretmişlerdir [43].

Özdağ vd. (1994), sallantılı masa kromit artıklarının geri kazanımı ile ilgili çalışmalarında, %19,6 ve %16,6 Cr_2O_3 içerikli artıklarla MGS deneyleri yapmışlar, %56,8 tenörlü konsantreyi %60 verimle ve %58,8 tenörlü konsantreyi ise %48,3 verimle elde ederek, MGS'ün performansını etkileyen en önemli parametrenin tamburun dönme hızı olduğunu belirtmişlerdir [44].

Turgut (1995), tarafından yapılan çalışmada ortalama %22,54 Cr_2O_3 tenörlü Karaburhan kromit cevherinin gravite yöntemleri ile zenginleştirme yöntemleri araştırılmış, sallantılı masa ve MGS deneyleri yapılarak optimum koşullar belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda -0,425+0,210 mm ve - 0,210 mm tane boyu fraksiyonlarındaki masa artığı, ara ürün ile birleştirilerek MGS'de zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa ve MGS kombinasyonu ile yapılan deneyler sonucunda, %52,13 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %72,60 verimle elde edilmiştir [45].

Aslan ve Canbazoglu (1995), MGS ile yaptığı kromit zenginleştirme çalışmalarında; tambur dönüş hızı ve eğim açısının en etkin işletme parametreleri

olduğunu, diğer değişkenler olan yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı, titreşim genliği ve titreşim frekansının ise ayırmayı daha az etkin olduklarını belirtmiştir. Zenginleştirme tane boyutunun ise ayırmada, cevher özelliği olarak çok önemli bir parametre olduğu, ince boyutlarda ayırmanın iyi, iri boyutlarda ise ayırma hassasiyetinin azaldığını belirtmiştir. Belirlediği optimum çalışma parametreleri ile yapılan zenginleştirme deneylerinde, %24 Cr_2O_3 içerikli besleme malzemesinden %51,18 Cr_2O_3 tenörlü konsantreyi %94,04 verimle elde etmiştir [46].

Gül vd. (1995), %4,60 Cr_2O_3 içeren düşük tenörlü Karsantı (Adana) bölgesi kromitlerinin zenginleştirilme olanaklarını incelemişlerdir. Sallantılı masa ve manyetik ayırıcı ile sallantılı masa ve spiral kombinasyonlarını kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda -1+0,5 mm fraksiyonunda, sallantılı masa ve manyetik ayırıcı kombinasyonu ile %63,6'lık verimle %48,69 Cr_2O_3 tenörlü bir kromit konsantresi, spiral ve manyetik ayırıcı kombinasyonu ile %54,50'lik verimle %48,38 Cr_2O_3 tenörlü kromit konsantresi almışlardır. -0,5+0,2 fraksiyonunda ise sallantılı masa ve manyetik ayırıcı kombinasyonu ile %64 verimle %48,28 Cr_2O_3 tenörlü bir kromit konsantresi, spiral ve manyetik ayırıcı kombinasyonu ile %66,10'luk verimle %48,30 Cr_2O_3 tenörlü bir kromit konsantresi elde etmişlerdir [47].

Samanlı (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik kromit atıklarının değerlendirilme olanaklarını araştırmıştır. Ortalama %12 Cr_2O_3 tenörlü -1 mm boyutlu numune 0,106 mm elekten yaş olarak elendikten sonra sallantılı masa zenginleştirme neticesinde Cr_2O_3 tenörü %20,6'ya yükseltilmiştir. MGS deneylerinde ise, 180 dev/dk. tambur dönüş hızı, 4 lt/dk. yıkama suyu ve 4° eğimde, % 65,9 verimle %48,8 Cr_2O_3 tenörlü satılabilir kromit konsantresi elde etmiştir [48].

Çiçek ve ark. (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik konsantratörünün ince boyutlu artıklarından, MGS kullanarak %49,7 verimle %64,9 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre elde etmiştir [49].

Özkan ve İpekoğlu (2001), %12,80 Cr_2O_3 tenörlü Üçköprü kromit atıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmışlardır. Tesis artıklarını, -38 mikron ve +38 mikron olmak üzere iki fraksiyona ayıran araştırmacılar, ağırlıkça %66,80 oranındaki +38 mikron tane boyu fraksiyonunun %6,64 Cr_2O_3 ve ağırlıkça %33,20 oranındaki -38 mikron tane boyu fraksiyonunun ise %25,20 Cr_2O_3 tenörlü olduğunu saptamışlardır. -

38 mikron tane boyundaki fraksiyon için MGS ile yaptıkları deneylerde %72 verimle %47 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir [50].

Aydın (2001), Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi olanaklarını araştırmış, -100 mikron tane boyu fraksiyonunda sallantılı masa ile zenginleştirme işleminin uygun olmadığını saptamıştır. -300+100 mikron tane boyutu fraksiyonunda yaptığı sallantılı masa deneylerinde ise %90 verimle %34,08 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmiştir. Elde ettiği bu konsantreyi yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ile tekrar zenginleştirerek %87,46 verimle %45,21 Cr₂O₃ tenörlü bir nihai konsantre elde etmiştir. [51].

Çiçek ve Cöcen (2002), Türkiye’de %10-12 Cr₂O₃ tenörlü 3 milyon ton artık olduğunu belirterek, dört farklı konsantratörden aldıkları ince boyutlu kromit artıklarıyla yaptıkları çalışmada, bu artıklardan Mozley MGS’ler ile önemli miktarda ince boyutlu krom kazanılabileceğini belirtmişlerdir [52].

Yüce ve ark. (2005), Üçköprü krom zenginleştirme tesis artıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmışlardır. %12-13 Cr₂O₃ tenörlü tesis artıklarından, Jones manyetik ayırıcı ve MGS kombinasyonu ile %51,2 verimle %47,18 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre, Jones manyetik ayırıcı ve kolon flotasyonu kombinasyonu ile %65,9 verimle %47,7 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde etmişlerdir [53].

Aslan ve Kaya (2009), Guleman – Sori bölgesi kromit atıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmıştır. MGS ile %89,6 verimle %32,6 Cr₂O₃ içeren bir ön-konsantre üretmiş, daha sonra bu ön konsantreyi manyetik ayırıcı ile zenginleştirerek % 73,9 verimle %42,9 Cr₂O₃ tenörlü bir nihai konsantre elde etmişlerdir [54].

Kumar vd. (2009), saatte 50 ton %17 Cr₂O₃ içerikli artık üreten Tata Steel krom zenginleştirme tesisleri artıkları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Floatex yoğunluk ayırıcısı ile artık tenörünün %83’lük verimle %23’e çıkarılabileceğini ve flotasyon ünitesi beslemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [55].

Er (2011), MGS, Knelson ve Falcon konsantratörlerin krom zenginleştirmeye etkilerini araştırmıştır. %18,62 Cr₂O₃ içeren Aladağ (Adana) kromitlerini MGS ile zenginleştirerek elde ettiği konsantreyi Knelson konsantratör ile tekrar zenginleştirmiştir. Knelson konsantratör konsantresi ile bir dizi Falcon konsantratör

deneyleri yapmış ve 148 G santrifüj kuvvetinde 8 psi su basıncında %63,95 verimle %57,73 Cr₂O₃ içeren bir konsantre elde etmiştir [56].

Özgen (2012), Üçköprü (Fethiye) bölgesi kromit atıklarının hidrosiklon ve MGS kombinasyonu ile geri kazanım olanaklarını araştırmış ve %69,79 verimle %48,18 Cr₂O₃ tenörlü satılabilir kromit konsantresi elde etmiştir. [57].

Tripathy ve ark. (2013), %17 Cr₂O₃ içeren Sukinda (Hindistan) bölgesi kromit zenginleştirme tesis artıklarının geri kazanım olanaklarını incelemişlerdir. Manyetik ayırma ve flotasyon kombinasyonu sonucunda Cr/Fe oranı 2,3 olan %45 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir. [58].

Bozkurt (2017), krom zenginleştirme tesis artıklarının geri kazanımında Knelson konsantratörünün etkilerini araştırmıştır. %2,28 Cr₂O₃ içeren kromit artığı ile yaptığı deneyler sonucunda -212 mikron tane boyu fraksiyonunda, 90 G kuvvetinde, 8 psi su basıncında %73,18 verimle %21,5 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmiştir [12].

Rath ve ark. (2017), gravimetrik yöntemlerle zenginleştirme yapan Odisha Mining Co.'a ait kromit zenginleştirme tesisi artıklarının SB-40 tipi Falcon gravimetrik konsantratör ile geri kazanım olanaklarını araştırmışlardır. Ağırlıkça %68'i 11 mikron altında olan %20,23 Cr₂O₃ içerikli artıklarla 20-80 Hz arasında ve değişen su basınçlarında yaptıkları çalışmalar sonucunda, uygulanan santrifüj kuvveti arttıkça Cr₂O₃ içeriğinin arttığı ancak verimin azaldığını tespit ederek, %68'in üzerinde bir verimle %40'tan fazla Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir. [59].

Altın vd. (2018), %3,40 Cr₂O₃ içerikli kromit zenginleştirme tesisi artıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmış, karosel tipi yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırıcı ile gerçekleştirdikleri deneylerde 300 amperde %47 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir [60].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan kromit tesis artığı, Sivas ili Kangal ilçesi Çamözü bölgesinde kromit üretimi ve zenginleştirmesi yapan Pema A.Ş. konsantratör tesisindeki artıklardan alınmıştır.

4.2. Yöntem

4.2.1. Numune alma

Deneylerde kullanılacak olan malzeme, Pema A.Ş. kromit zenginleştirme artık sahasından örnek alma yöntemleri kullanılarak alınmıştır. Tesisin üç farklı artık sahasından yaklaşık eşit miktarlarda alınan örnekler torbalanarak laboratuvara getirilmiştir.

4.2.2. Örnek azaltma

Yaklaşık 200 kg kadar olan ve -2 mm tane boyutundaki numune, laboratuvarda önce harmanlanmış daha sonra numune bölücü (Şekil 4.1) ile dörde ayrılmıştır. Dörde bölünmüş olan numunelerden biri “*şahit numune*” olarak saklanmış, kalan üç parçadan biri manyetik ayırma, bir diğeri spiral ile zenginleştirme kalan son parça ise Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneylerinde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Deneyde kullanılacak tesis artığı “orijinal numune” olarak isimlendirilmiştir. Orijinal numune analizleri için şahit numune örnek bölücü ile iki parçaya ayrılmış, bir parçası ayrılarak diğer parçası tekrar ikiye bölünmüştür. Bu şekilde yapılan 5 bölme işlemi sonunda yaklaşık 1,5 kg’lık numune alınarak kalan kısım birleştirilmiş ve saklanmıştır.



Şekil 4.1 On iki bölmeli numune bölücü

4.2.3. Eleme ve öğütme

Eleme işlemleri için ASTM E11 test serisi elekleri kullanılmıştır. Test serisinde kullanılan elekler 600 μm , 500 μm , 300 μm , 212 μm , 150 μm , 106 μm , 75 μm , 53 μm , 45 μm ve 38 μm göz açıklığına sahiptir. Orijinal numune elek analizi için yapılan eleme işlemleri kuru ve yaş olarak ayrı ayrı, diğer eleme işlemleri ise kuru eleme olarak yapılmıştır. Yaş eleme sonucu elde edilen her bir fraksiyon 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulup oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Deneylerde kullanılacak numunelerin istenilen boyutlara getirilmesi için öğütme işlemleri yapılmıştır. Öğütme işlemleri kontrollü şekilde, kuru olarak yapılmıştır. Numunelerin öğütülmesinde kullanılan değirmen ve öğütücü ortamın özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Değirmen ve öğütücü ortamın özellikleri

Değirmen özellikleri	Öğütücü ortam özellikleri
Boyutları: d=23,1 mm, L=29,7 mm	Boyutları: 5-4-3-2 mm
Dönüş hızı: 82 dev./dk.	Şekli: Küre
Periyodik öğütme süresi: 30 dk.	Özgül ağırlığı: 6,8 g/cm ³
Hacimsel doluluk oranı: %65	Ortam şarjı: %35

4.2.4. Yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırıcı ile zenginleştirme deneyleri

Manyetik ayırma deneyleri Şekil 4.2’de gösterilen Boxmag Rapid marka LHWL model laboratuvar tipi cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 4.2 Boxmag Rapid marka LHWL model yağ manyetik ayırıcı

Manyetik ayırma deneylerinde kullanılmak üzere daha önceden ayrılmış olan yaklaşık 50 kg’lık numune bıçaklı bölücü ile iki parçaya bölünmüştür. Bu parçalardan biri ayrılıp diğeri tekrar ikiye bölünmüştür. Yine bu parçalardan biri ayrılarak diğeri ikiye bölünmüştür. Bu iki parçadan biri deneylerde kullanılmak üzere alınıp kalan parça daha önceden ayrılmış olan parçalarla birleştirilerek saklanmıştır. Deneyde kullanılmak üzere alınan yaklaşık 6 kg’lık deney kısmı bilyeli değirmende kontrollü öğütme yapılarak -600 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -600 mikron boyutundaki yaklaşık 5,5 kg’lık numune bıçaklı bölücü ile ikiye bölünmüştür. Bu iki parça ayrı ayrı dörde bölünmüş daha sonra ise mevcut olan sekiz parça yine dörde bölünmüştür. Bu

işlemin ardından oluşan toplam 32 parça numune hazırlanmıştır. Bu numuneler içerisinde rastgele 20 parça alınarak manyetik alan deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinde manyetik alan şiddeti ve pülpte katı oranı etkileri araştırılmıştır. Manyetik ayırma deneyleri üç bölümde tamamlanmıştır. Birinci bölümde 1-6 Amper aralığında deneyler yapılmış, ikinci bölümde 6 Amper manyetik alan şiddeti sabit tutularak, ağırlıkça %2,5 - %5 - %7,5 - %10 - %12,5 - %15 - %20 katı oranlarında manyetik ayırma yapılmıştır. Son olarak, üçüncü bölümde %10 pülpte katı oranı sabit tutularak 7-13 amper aralığında manyetik ayırma işlemleri yapılmış ve manyetik ayırma işlemleri sonlandırılmıştır.

Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma sonucu elde edilen her bir konsantre ve artık 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulup oda sıcaklığına soğutulmuştur. Oda sıcaklığına soğutulan her bir artık ve konsantreden, kimyasal ve mineralojik analizlerde kullanılmak üzere, karelej yöntemiyle yeterli miktarda numune alınmıştır.

4.2.5. Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri Şekil 4.3'te gösterilen L40 tipi laboratuvar ölçekli cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Falcon deneylerinde kullanılmak üzere daha önceden hazırlanan yaklaşık 50 kg'lık numune bıçaklı bölücü ile iki parçaya bölünmüştür. Bu parçalardan biri ayrılıp diğeri tekrar ikiye bölünmüştür. Bu işlem toplam dört defa tekrarlandıktan sonra yaklaşık 4 kg'lık deney kısmı alınmış kalan kısımlar ise birleştirilerek saklanmıştır. Deney kısmı bilyeli değirmende kontrollü öğütme yapılarak -600 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -600 mikron boyutundaki malzeme bıçaklı bölücü ile her defasında bir parçası ayrılmak şartıyla üç kez ikiye bölünmüştür. Bu işlemlerin ardından elde edilen yaklaşık 0,5 kg'lık -600 mikron tane boyutundaki numune ayrılmıştır. Kalan kısım birleştirildikten sonra tekrar bir kontrollü öğütme ile -500 mikron tane boyutuna indirilmiş ve -600 mikron tane boyutunda yapıldığı gibi üç kez ikiye bölünmüş ve yaklaşık 0,4 kg'lık numune alınmıştır. Geriye kalan yaklaşık 3 kg'lık numune kontrollü bir öğütme ile -300 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -300 mikron tane boyutundaki bu numune bıçaklı bölücü ile üç kez ikiye bölünerek yaklaşık 350 gramlık bir numune alınmıştır. Geri kalan kısım birleştirildikten sonra kontrollü bir öğütme ile -150 mikron tane

boyutuna indirilmiştir. -150 mikron tane boyutuna sahip malzeme bıçaklı bölücü ile iki defa ikiye bölündükten sonra yaklaşık 500 gramlık bir numune elde edilmiştir. Geri kalan kısım birleştirilerek bir kontrollü öğütme ile -75 mikron tane boyutuna indirilmiş ve bıçaklı bölücü ile iki defa ikiye bölünmüştür. Bu işlemin ardından yaklaşık 400 gramlık -75 mikron tane boyutuna sahip numune alınmış ve kalan kısım birleştirilerek saklanmıştır.



Şekil 4.3 L40 laboratuvar tipi Falcon konsantratör

-600 mikron, -500 mikron, -300 mikron, -150 mikron ve -75 mikron tane boyutundaki numuneler ayrı ayrı bıçaklı bölücü ile dört parçaya bölündükten sonra bir parçası ayrılmış ve kalan üç parça numune ise deneylerde kullanılmak üzere alınmıştır. Sınıflandırılmış her numune için 40 kPa sabit su basıncı değerlerinde 20 G, 30 G ve 40 G rotor dönüş hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri sonucu elde edilen her bir konsantre ve artık 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulup oda sıcaklığına soğutulmuştur. Oda sıcaklığına soğutulan her bir artık ve konsantreden, kimyasal ve mineralojik analizlerde kullanılmak üzere, karelay yöntemiyle yeterli miktarda numune alınmıştır.

4.2.6. Humphrey spirali ile yapılan zenginleştirme deneyleri

Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri, Şekil 4.4'te gösterilen Denver marka spiral ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 600 mikron, 500 mikron ve 300 mikronun altına öğütülmüş numuneler kullanılmıştır.

Humphrey spirali deneylerinde kullanılmak üzere daha önceden hazırlanan yaklaşık 50 kg'lık numune bıçaklı bölücü ile iki parçaya bölünmüştür. Bu parçalardan biri ayrılıp diğeri tekrar ikiye bölünmüştür. Bu işlemin ardından yaklaşık 12,5 kg'lık deney kısmı alınmış kalan kısımlar ise birleştirilerek saklanmıştır. Deney kısmı bilyeli değirmende kontrollü öğütme yapılarak -600 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -600 mikron boyutundaki malzeme bıçaklı bölücü ile her defasında bir parçası ayrılmak şartıyla iki kez ikiye bölünmüştür. Bu işlemlerin ardından elde edilen yaklaşık 3,5 kg'lık -600 mikron tane boyutundaki numune ayrılmıştır. Kalan kısım birleştirildikten sonra tekrar bir kontrollü öğütme ile -500 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -500 mikron tane boyutundaki malzeme bıçaklı bölücü ile ikiye bölünmüş ve yaklaşık 4,5 kg'lık numune alınmıştır. Geriye kalan yaklaşık 4,5 kg'lık numune ise kontrollü bir öğütme ile -300 mikron tane boyutuna indirilmiştir. -300 mikron tane boyutundaki bu numune deneylerde kullanılmak üzere ayrılmıştır.



Şekil 4.4 Deneylerde kullanılan Humphrey spirali

Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri sonucu elde edilen her bir konsantre ve artık 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulup oda sıcaklığına soğutulmuştur. Oda sıcaklığına soğutulan her bir artık ve konsantreden, kimyasal ve mineralojik analizlerde kullanılmak üzere, karelej yöntemiyle yeterli miktarda numune alınmıştır.

4.2.7. Mineralojik ve kimyasal analizler

Tez çalışması kapsamında elde edilen tüm konsantrelerin kimyasal analizleri yaptırılmış olup bunlardan bazıları için ayrıca XRD (X-Ray Difraktometre) analizleri yaptırılmıştır.

XRD analizleri, İBTAM (İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi)'da bulunan Rigaku marka Rint-2200 model cihaz ile 10°-70° aralığında, Cu(K α) ışın tüpü kullanılarak, maksimum gerilim 60 kV, maksimum akım 55 mA ve tarama hızı 1° dak⁻¹ koşullarında yapılmıştır.

XRF (X-ışınları floresans spektrometresi) analizleri Kanada'da bulunan Acmelab şirketine, akreditasyon kapsamında XF700 kodlu yöntem ile yaptırılmıştır.

5. DENEYSEL BULGULAR

5.1. Orijinal Numunenin Karakterizasyonu

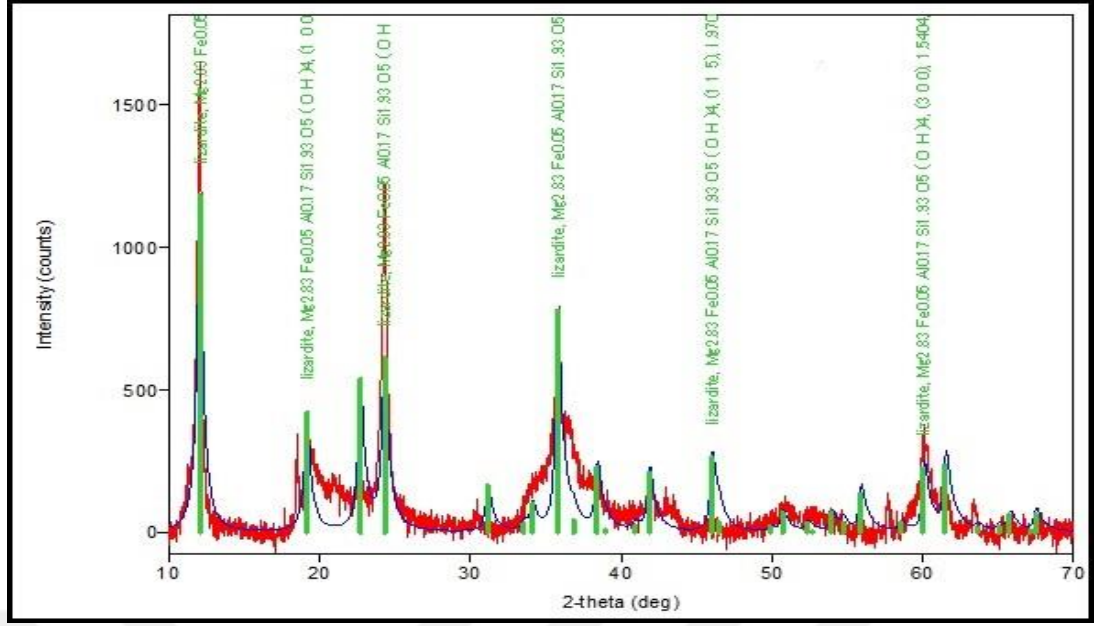
5.1.1. Orijinal numune mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları

Tez çalışmalarının kaynağı olan kromit zenginleştirme tesisi artığı orijinal numunenin içeriğinin belirlenmesi amacıyla XRF ve XRD analizleri yaptırılmış, XRF analiz sonuçları Çizelge 5.1’de ve XRD analiz sonucu Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Orijinal numune XRF analiz sonuçları

Bileşen	Miktar (%)
Cr ₂ O ₃	4,95
Fe ₂ O ₃	8,11
MgO	37,3
SiO ₂	33,2
Al ₂ O ₃	1,6
CaO	0,7
MnO	0,11
SO ₃	0,032
TiO ₂	0,03
K ₂ O	<0,01
Na ₂ O	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01
Ba	<0,01
Sr	<0,002
LOI*	14

* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)



Şekil 5.1 Orijinal numune XRD toz kırınım deseni

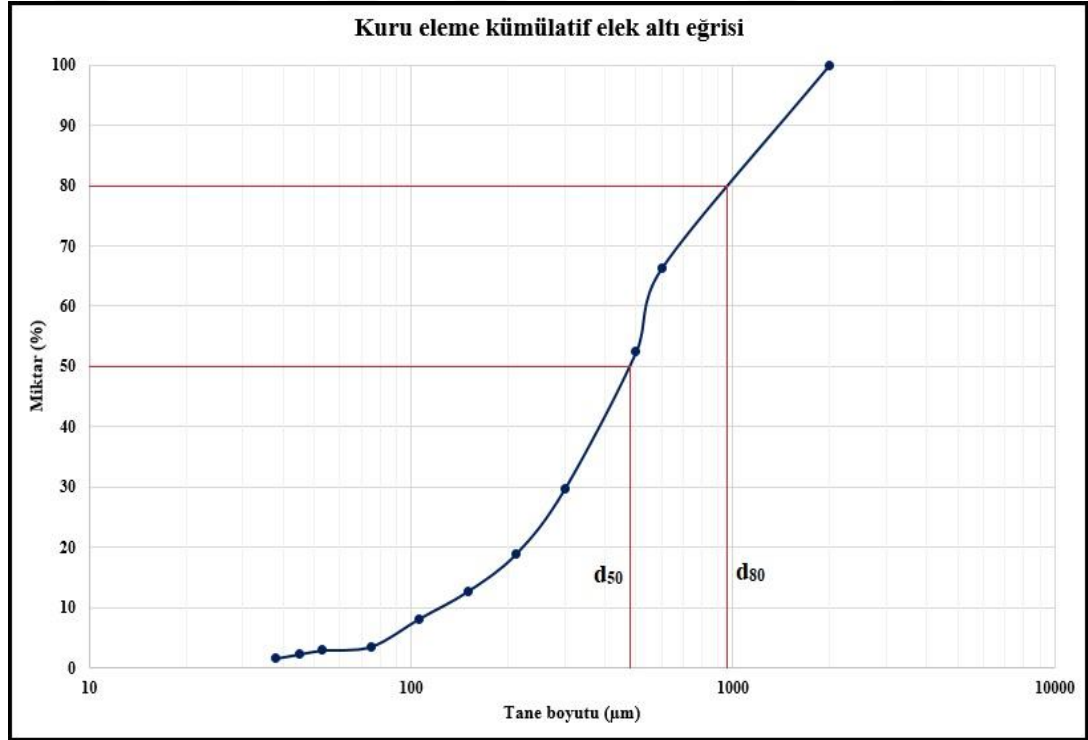
Orijinal numune XRF analizi sonucuna göre deneylerde besleme malzemesi olarak kullanılan tesis artığı %4,95 Cr_2O_3 içermektedir. Orijinal numunenin Cr/Fe oranı 0,6/1'dir. Cevhere ait yapılan XRD toz kırınım desenleri incelendiğinde elementel analiz sonuçlarını destekler nitelikte veriler elde edildiği görülmüştür. Elementel yapı analizinde, cevher içerisinde hakim elementlerin öncelikle Si ve Mg olduğu görülmektedir. XRD toz kırınım desenindeki tüm piklerin ICDD kart 04-015-3239 ile örtüştüğü ve yapının lizardit olabileceğini göstermektedir. XRF analizleri esnasında, orijinal numune bünyesinde bulunan manyezit nedeniyle CO_3 bünyeyi terketmekte ve kızdırma kaybının (Loss of Ignition) yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle %10'un üzerindeki kızdırma kayıpları normal görülmektedir.

5.1.2. Orijinal numune boyut analizleri

Deneylerde besleme malzemesi olarak kullanılacak tesis artığı orijinal numunenin elek analizi için kuru ve yaş olmak üzere iki deney yapılmıştır. Kuru eleme elek analizi sonuçları Çizelge 5.2'de ve kuru eleme kümülatif elek altı eğrisi Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2'de görüleceği gibi kuru eleme d_{50} değeri yaklaşık 480 μm ve d_{80} değeri ise yaklaşık 970 μm 'dur.

Çizelge 5.2 Kuru eleme elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	33,78	33,78	100,00
-600 +500	13,81	47,59	66,22
-500 +300	22,73	70,32	52,41
-300 +212	10,74	81,06	29,68
-212 +150	6,23	87,29	18,94
-150 +106	4,53	91,82	12,71
-106 +75	4,64	96,46	8,18
-75 +53	0,63	97,09	3,54
-53 +45	0,63	97,72	2,91
-45 +38	0,70	98,42	2,28
-38	1,58	100,00	1,58
Toplam	100,00		

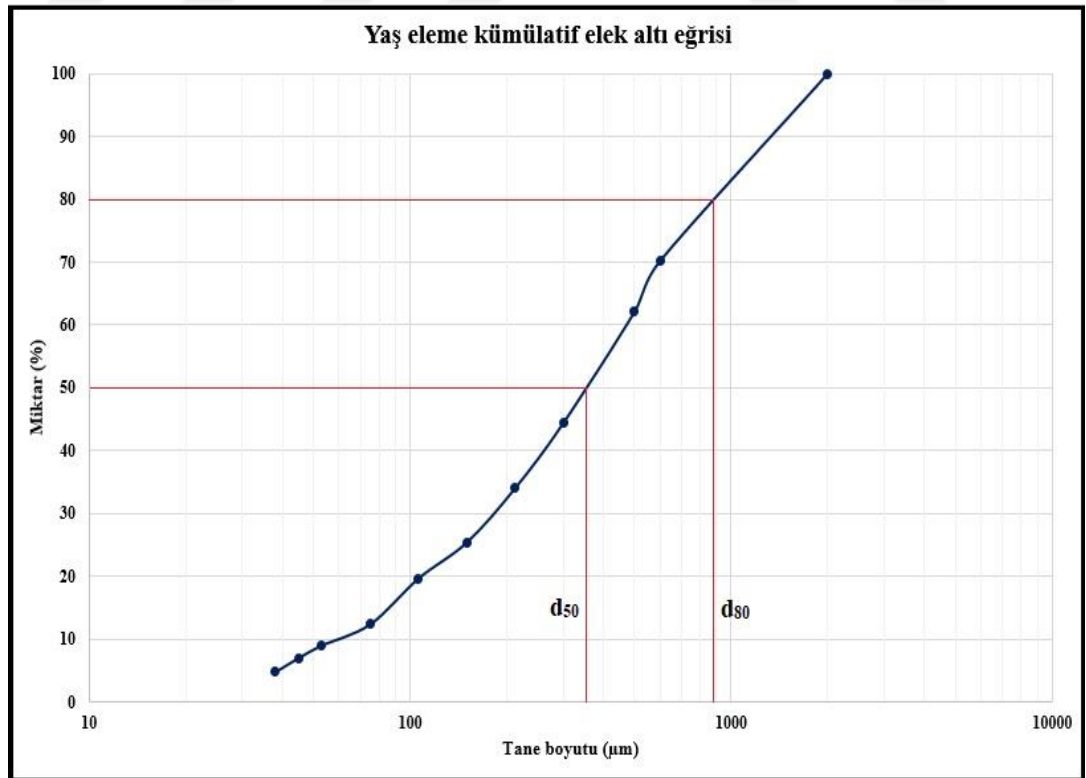


Şekil 5.2 Kuru eleme kümülatif elek altı eğrisi

Yaş eleme elek analizi sonuçları Çizelge 5.3’de ve kümülatif elek altı eğrisi Şekil 5.3’te verilmiştir. Şekil 5.3’te görüleceği gibi kuru eleme d_{50} değeri yaklaşık 360 μm ve d_{80} değeri ise yaklaşık 946 μm ’dur.

Çizelge 5.3 Yaş eleme elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	29,83	29,83	100,00
-600 +500	8,04	37,87	70,17
-500 +300	17,70	55,57	62,13
-300 +212	10,42	65,99	44,43
-212 +150	8,62	74,61	34,01
-150 +106	5,74	80,35	25,39
-106 +75	7,30	87,65	19,65
-75 +53	3,38	91,03	12,35
-53 +45	1,96	92,99	8,97
-45 +38	2,27	95,26	7,01
-38	4,74	100,00	4,74
Toplam	100,00		



Şekil 5.3 Yaş eleme kümülatif elek altı eğrisi

5.2. Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı ile Zenginleştirme

5.2.1. 1-6 amper aralığında yapılan zenginleştirme deneyleri

1-6 amper aralığında yapılmış olan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile zenginleştirme deneyleri 250 cc/dk besleme hızı ve ağırlıkça %10 pülp te katı oranı ile yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen 1 amper, 2 amper, 3 amper, 4 amper, 5 amper ve 6 amper konsantrasyonlarının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4 1-6 amper manyetik alan zenginleştirme deneyleri XRF analizi sonuçları

Bileşen (%)	1 Amper	2 Amper	3 Amper	4 Amper	5 Amper	6 Amper
Cr ₂ O ₃	3,78	3,57	4,21	4,04	4,65	6,93
Fe ₂ O ₃	8,27	8,17	8,1	8,1	8,17	8,91
MgO	37,7	37,8	37,8	37,6	37,7	36,4
SiO ₂	34,6	34,4	34	33,8	33,5	31,8
Al ₂ O ₃	1,27	1,24	1,37	1,31	1,46	2,04
CaO	0,56	0,49	0,41	0,38	0,42	0,34
MnO	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
SO ₃	0,083	0,067	0,058	0,059	0,054	0,064
TiO ₂	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O	0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	13,8	14	14	13,9	13,9	13,2

* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)

Deneylerin yapıldığı yüksek alan şiddetli manyetik seperatörde 6 amper akım şiddeti 10.000 Gauss (1 Tesla)’a eşdeğerdir. Kromit minerali ise 10.000 – 16.000 Gauss manyetik alan şiddeti aralığında yüksek alan şiddetli manyetik seperatörlerde

zenginleştirilebilmektedir. Bu nedenle, 6 amperden daha düşük olan manyetik alan şiddetlerinde kromit minerali yerine, Şekil 5.1’de verilen orijinal numune XRD toz kırınım deseninde de mevcudiyeti görülen ve manyetik duyarlılığı $250 \times 10^6 - 1400 \times 10^6$ emu (4000 – 8000 Gauss) arasında değişen serpantin öncelikle tutulmuş olabilir. Bu sebeple, 6 amperden daha düşük manyetik alan şiddetlerindeki Cr_2O_3 içerikleri orijinal numuneye göre düşük çıkmaktadır.

1-6 amper arası manyetik alan şiddetinde yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen konsantre ve artıkların miktarlarından ve Çizelge 5.1 ile Çizelge 5.4’te verilmiş olan XRF analiz sonuçlarından yararlanılarak atık tenörleri hesaplanmıştır. 1-6 amper arası manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneyleri atıklarının hesaplanmasında Eşitlik 5.1 kullanılmıştır.

$$F \times f = (C \times c) + (T \times t) \quad (5.1)$$

Burada;

F: Besleme miktarı, %

f: Beslemenin tenörü, %

C: Konsantre miktarı, %

c: Konsantrenin tenörü, %

T: Artık miktarı, %

t: Artığın tenörü, %’dir.

Konsantrede Cr_2O_3 kazanma verimleri Eşitlik 5.2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%V = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100 \quad (5.2)$$

Burada;

V: Konsantrede değerli mineral kazanma verimi, %

F: Besleme miktarı, %

f: Beslemenin tenörü, %

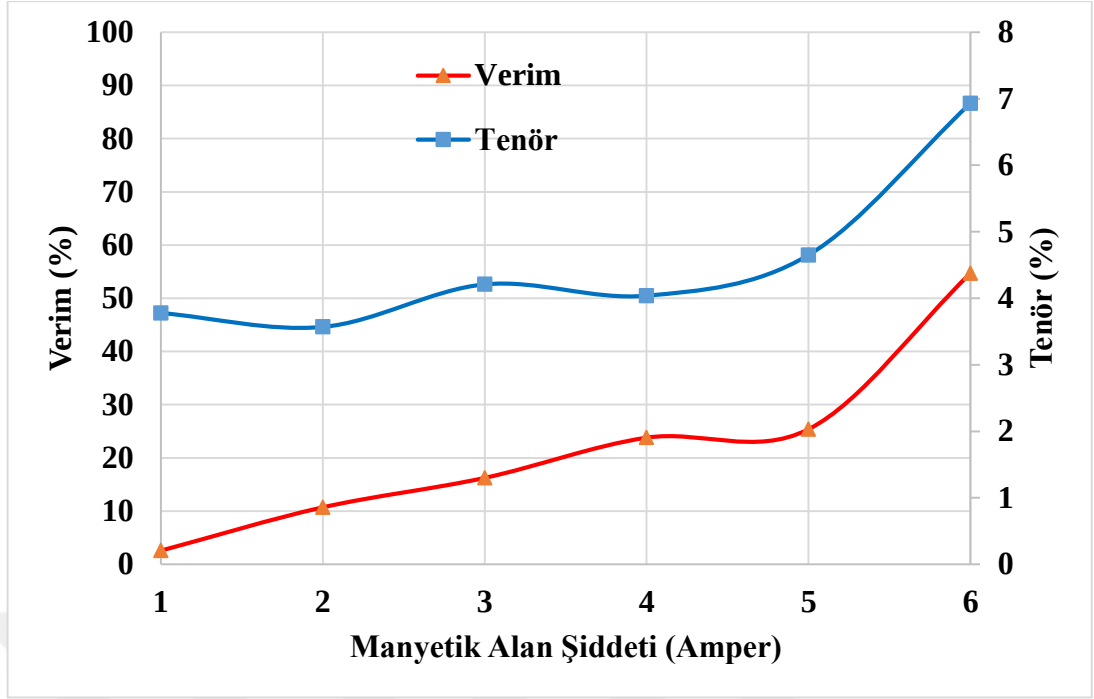
C: Konsantre miktarı, %

c: Konsantrenin tenörü, %’dir.

1-6 amper arası manyetik alan şiddetinde yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atık ve konsantrelerin tenörleri ile hesaplanan verim değerleri Çizelge 5.5'te ve tenör ile verim grafiği ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 1-6 amper arası manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneyleri tenör ve verimleri

Manyetik Alan Şiddeti (Amper)	Ürün	Miktar (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
1 Amper	Besleme	100,00	4,95	2,59
	Konsantre	3,39	3,78	
	Atık	96,61	4,99	
2 Amper	Besleme	100,00	4,95	10,73
	Konsantre	14,88	3,57	
	Atık	85,12	5,19	
3 Amper	Besleme	100,00	4,95	16,26
	Konsantre	19,12	4,21	
	Atık	80,88	5,12	
4 Amper	Besleme	100,00	4,95	23,82
	Konsantre	29,18	4,04	
	Atık	70,82	5,17	
5 Amper	Besleme	100,00	4,95	25,39
	Konsantre	27,03	4,65	
	Atık	72,97	5,06	
6 Amper	Besleme	100,00	4,95	54,68
	Konsantre	39,06	6,93	
	Atık	60,94	3,68	



Şekil 5.4 1-6 amper arası manyetik alan şiddeti zenginleştirme deneyleri tenör ve verim grafiği

Manyetik ayırma deneylerinin ilk aşaması olan 1-6 amper arası manyetik alan şiddeti zenginleştirme deneylerinde, en yüksek tenör ve en yüksek verim, 6 amper manyetik alan şiddetinde yapılan zenginleştirme deneyinden elde edilmiştir. 6 amper manyetik alan şiddetinde yapılan ayırmada %54,68 verimle %6,93 Cr_2O_3 içerikli bir konsantre elde edilmiş ve bu konsantrenin Cr/Fe oranı 0,84/1 olarak hesaplanmıştır.

5.2.2. Ağırlıkça katı miktarı değiştirilerek yapılan manyetik ayırma deneyleri

Manyetik alan şiddetinin zenginleştirmeye etkisinin araştırıldığı, 1-6 aralığındaki manyetik alan şiddetlerinde yapılan zenginleştirme deneylerinde en yüksek tenör ve verim 6 amper manyetik alan şiddetinde alınmıştır. Bu nedenle, pülpte katı oranının manyetik ayırma ile zenginleştirmeye etkilerinin araştırıldığı bu bölümde 6 amper akım şiddeti sabit tutulmuştur. Besleme hızı ise tüm deneyler için 250 cc/dk'dır. Pülpte katı oranı, ağırlıkça %2,5 - %5 - %7,5 - %10 - %12,5 - %15 - %20 katıdır. Yapılan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinden elde edilen konsantrelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Ağırlıkça %2,5-20 pülpte katı oranı ile yapılan yaş manyetik ayırma deneyleri konsantrelerinin XRF analiz sonuçları

Bileşen %	%2,5 PKO	%5 PKO	%7,5 PKO	%10 PKO	%12,5 PKO	%15 PKO	%20 PKO
Cr ₂ O ₃	7,2	6,71	7,69	6,93	6,47	8,43	6,49
Fe ₂ O ₃	9,01	8,96	9,21	8,91	8,72	9,42	8,74
MgO	35,8	35,9	35,5	36,4	36,4	35,1	36,5
SiO ₂	31,8	32,2	31,5	31,8	32	30,3	32,2
Al ₂ O ₃	2,2	2,17	2,43	2,04	1,96	2,43	1,95
CaO	0,5	0,44	0,35	0,34	0,41	0,41	0,29
MnO	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12
SO ₃	0,077	0,08	0,062	0,064	0,066	0,066	0,061
TiO ₂	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
K ₂ O	0,01	0,03	0,03	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O	0,02	0,06	0,05	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	13	13,1	12,8	13,2	13,5	12,7	13,3

* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)

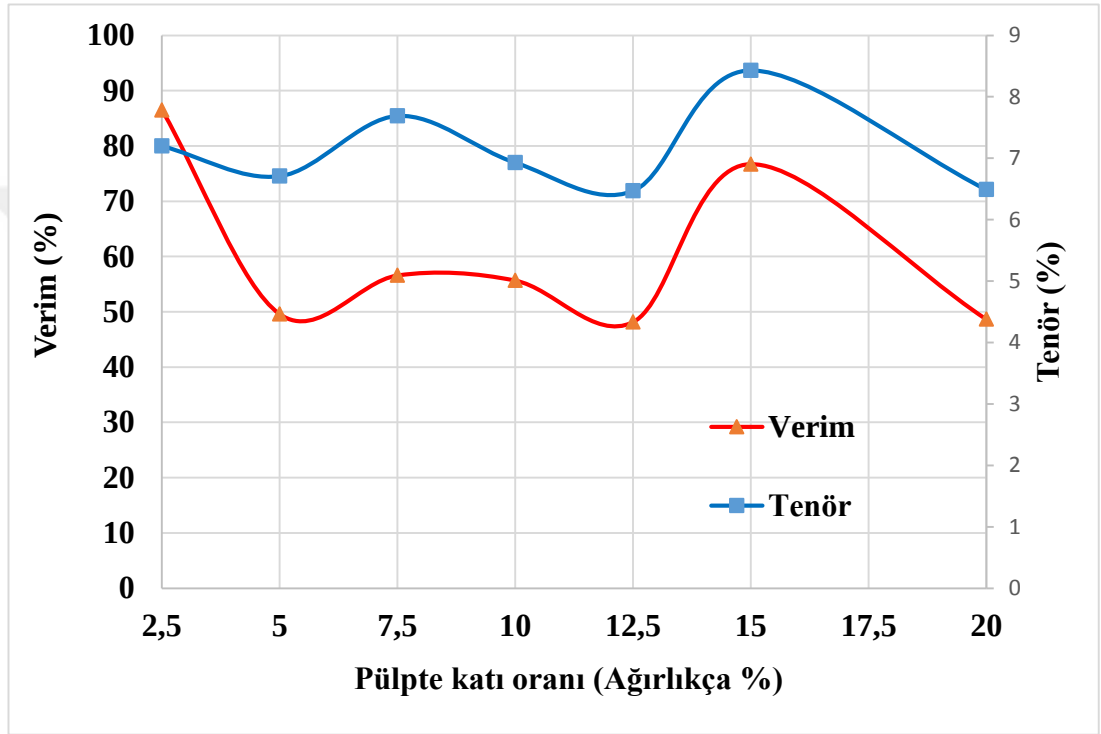
Çizelge 5.6’da görüleceği üzere, en yüksek tenör %8,43 Cr₂O₃ ile ağırlıkça %15 pülpte katı oranında alınırken en düşük tenör ise %6,47 Cr₂O₃ içeriği ile ağırlıkça %12,5 pülpte katı oranında alınmıştır.

Pülpte katı oranının değiştirilerek 6 amper manyetik alan şiddetinde yapılan zenginleştirme deneyleri sonunda elde edilen her bir atık için Eşitlik 5.1 kullanılarak tenör ve her bir deney için Eşitlik 5.2 kullanılarak verim hesaplanmıştır. Her bir deneye ait konsantre ve atık tenörleri ile zenginleştirme verimleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 6 amper manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneyleri XRF analiz sonuçları

PKO (%)	Ürün	Miktar (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
2,5	Besleme	100,00	4,95	86,50
	Konsantre	59,47	7,20	
	Atık	40,53	1,65	
5	Besleme	100,00	4,95	49,60
	Konsantre	36,59	6,71	
	Atık	63,41	3,93	
7,5	Besleme	100,00	4,95	56,58
	Konsantre	36,42	7,69	
	Atık	63,58	3,38	
10	Besleme	100,00	4,95	55,66
	Konsantre	39,76	6,93	
	Atık	61,24	3,47	
12,5	Besleme	100,00	4,95	48,15
	Konsantre	36,84	6,47	
	Atık	63,16	4,06	
15	Besleme	100,00	4,95	76,70
	Konsantre	45,04	8,43	
	Atık	54,96	2,10	
20	Besleme	100,00	4,95	48,67
	Konsantre	37,12	6,49	
	Atık	62,88	4,04	

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi, 6 amper manyetik alan şiddetinde yapılan zenginleştirme deneylerinde en yüksek verim %86,50 ile %2,5 pülpte katı oranı, en düşük verim ise %48,15 ile %12,5 pülpte katı oranı ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. 6 amper manyetik alan şiddetinde %2,5-20 pülpte katı oranı aralığında yapılan zenginleştirme deneylerine ait tenör – verim grafiği Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5 Pülpte katı oranının değiştirildiği manyetik ayırma deneyleri tenör - verim grafiği

5.2.3. 7-14 amper arası yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneyleri

Manyetik alan şiddeti 7 amper, 8 amper, 9 amper, 10 amper, 11 amper, 13 amper ve 14 amper olan zenginleştirme deneylerinde, ağırlıkça pülpte katı oranı %15 ve besleme hızı 250 cc/dk. olarak sabit tutulmuştur. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneyleri sonucunda elde edilen konsantrelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 7-14 amper arası manyetik alan şiddetli zenginleştirme deneyi XRF analizi sonuçları

Bileşen %	7 Amper	8 Amper	9 Amper	10 Amper	11 Amper	13 Amper	14 Amper
Cr₂O₃	8,94	9,23	8,38	9,19	9,26	8,81	7,68
Fe₂O₃	9,63	9,46	9,38	9,66	9,40	9,83	9,38
MgO	35,10	35,00	35,30	34,80	35,47	34,70	35,50
SiO₂	30,10	29,90	30,50	29,90	30,21	29,80	30,80
Al₂O₃	2,55	2,64	2,40	2,62	2,61	2,56	2,21
CaO	0,35	0,41	0,43	0,61	0,57	0,58	0,59
MnO	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
SO₃	0,070	0,070	0,070	0,090	0,076	0,080	0,082
TiO₂	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
K₂O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na₂O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	12,6	12,6	12,9	12,6	12,65	12,9	13,1

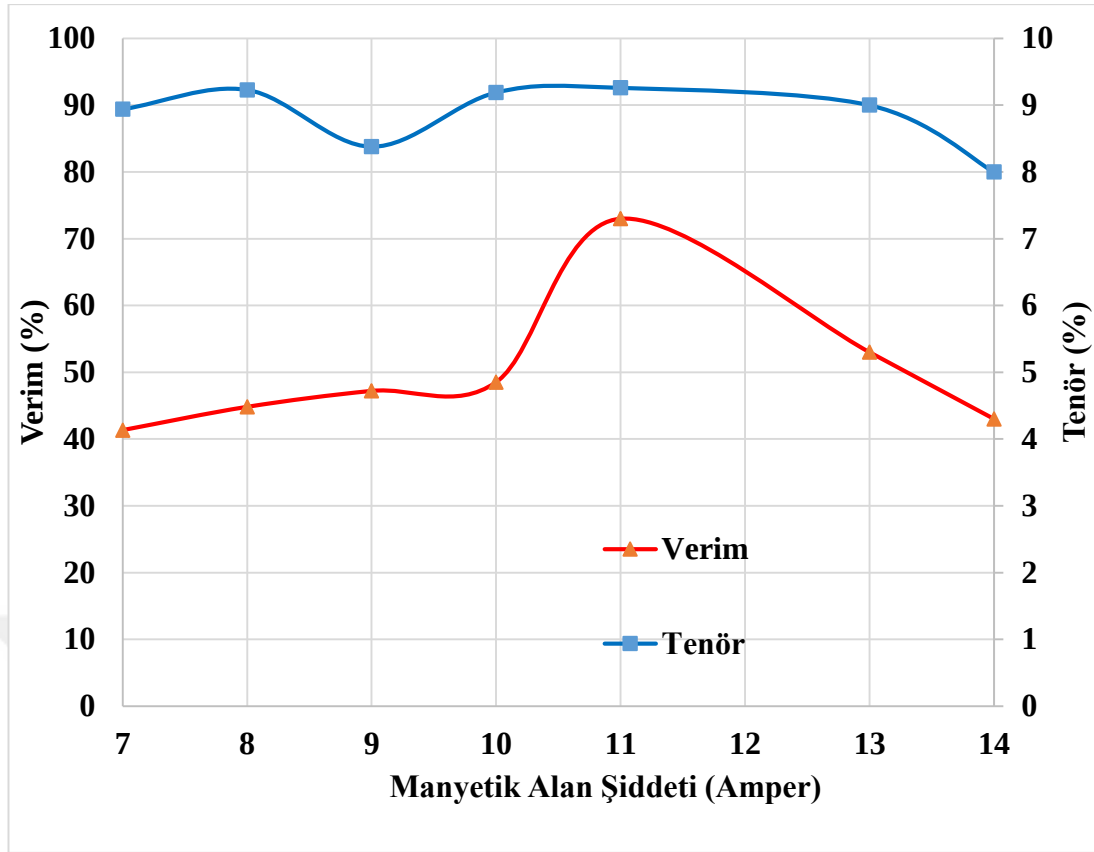
Çizelge 5.8’de görüleceği gibi, 7-14 amper arası manyetik alan şiddetlerinde yapılan zenginleştirme deneyleri sonucunda en yüksek tenöre sahip konsantre, %9,26 Cr₂O₃ içeriği ile 11 amper manyetik alan şiddetinde yapılan deney sonucunda elde edilmiştir.

7-14 amper arasındaki manyetik alan şiddetlerinde yapılan zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen her bir atığın tenörü Eşitlik 5.1 ve deneyler sonucunda elde edilen konsantrelerdeki değerli mineral kazanım verimleri Eşitlik 5.2 yardımıyla hesaplanmıştır. Zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen her bir konsantre ve

atık tenörleri ile değerli mineral kazanım verimleri Çizelge 5.9’da ve tenör – verim grafikleri Şekil 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 7-14 amper arası manyetik alan şiddetindeki zenginleştirme deneylerine ait sonuçlar

Manyetik Alan Şiddeti (Amper)	Ürün	Miktar (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
7	Besleme	100,00	4,95	41,32
	Konsantre	22,88	8,94	
	Atık	77,12	3,77	
8	Besleme	100,00	4,95	44,81
	Konsantre	24,03	9,23	
	Atık	75,97	3,60	
9	Besleme	100,00	4,95	47,20
	Konsantre	27,88	8,38	
	Atık	72,12	3,62	
10	Besleme	100,00	4,95	48,49
	Konsantre	26,12	9,19	
	Atık	67,98	3,75	
11	Besleme	100,00	4,95	59,90
	Konsantre	39,02	9,26	
	Atık	60,98	2,19	
13	Besleme	100,00	4,95	53,06
	Konsantre	29,81	8,81	
	Atık	70,19	3,31	
14	Besleme	100,00	4,95	42,79
	Konsantre	27,58	7,68	
	Atık	72,42	3,91	



Şekil 5.6 7-14 amper arası manyetik alan şiddetindeki deneylerin tenör - verim grafiği

Şekil 5.6’da da görüleceği üzere 7 amper manyetik alan şiddetinden 11 amper manyetik alan şiddetine kadar, manyetik alan şiddeti arttıkça verim de artmakta, ancak 11 amperden sonra manyetik alan şiddeti arttıkça verim azalmaktadır. Elde edilen konsantre tenörlerinin birbirine yakın olduğu da göz önünde bulundurulursa yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile yapılan zenginleştirme deneyleri için optimum manyetik alan şiddetinin 11 amper olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Humphrey Spirali ile Zenginleştirme Deneyleri

Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri -600 μm , -500 μm ve -300 μm tane boyutu fraksiyonlarında yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen her bir konsantrenin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri XRF analiz sonuçları

Bileşen (%)	-600 (μm)	-500 (μm)	-300 (μm)
Cr₂O₃	14,90	13,80	11,10
Fe₂O₃	10,30	10,12	9,55
MgO	32,00	32,90	33,90
SiO₂	26,50	27,40	29,00
Al₂O₃	3,96	3,55	3,06
CaO	0,94	0,89	0,88
MnO	0,13	0,11	0,12
SO₃	0,037	0,041	0,042
TiO₂	0,06	0,04	0,05
K₂O	<0,01	<0,01	<0,01
Na₂O	<0,01	<0,01	<0,01
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	11,00	11,7	11,9
* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)			

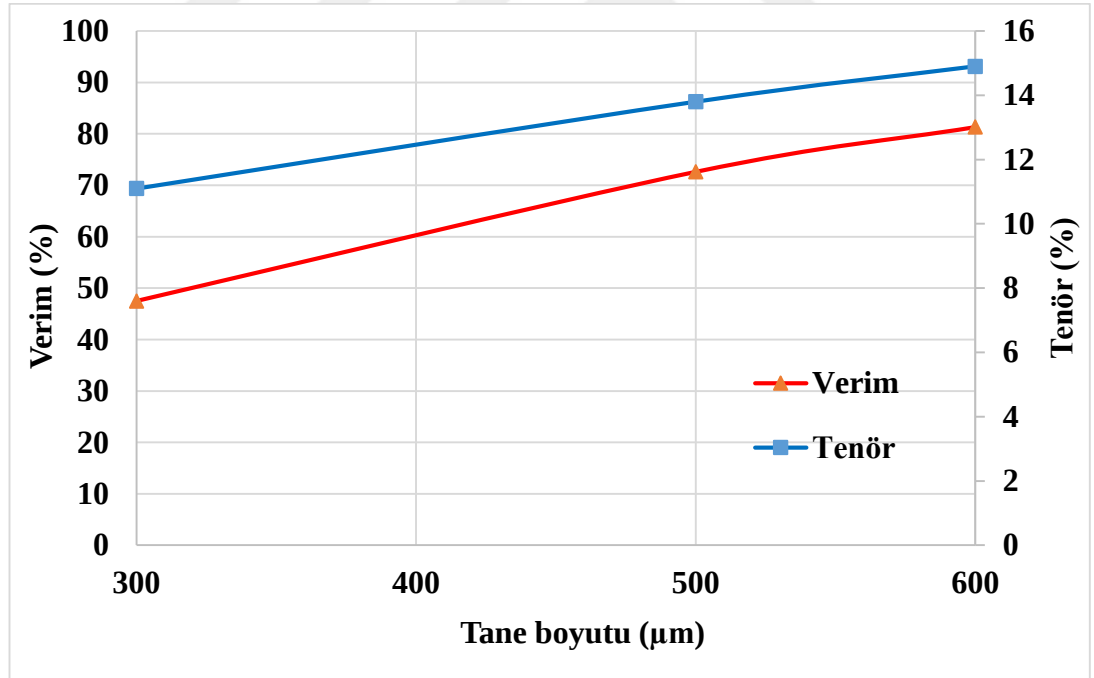
Çizelge 5.10’da görüleceği gibi, Humphrey spirali ile zenginleştirme deneylerinde en yüksek tenör -600 μm tane boyutu fraksiyonunda elde edilmiştir. Ayrıca, tane boyutu küçüldükçe konsantre tenörleri de azalmaktadır. Her üç tane boyu fraksiyonunda da konsantrelerdeki SiO₂ ve MgO içerikleri azalırken Fe₂O₃ içerikleri ise artmıştır.

Humphrey spirali ile zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir artık için Eşitlik 5.1 kullanılarak artık tenörleri ve Eşitlik 5.2 kullanılarak konsantrelerdeki

değerli mineral kazanım verimleri hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 5.11’de sunulmuştur. Deneylere ait tenör – verim grafiği ise Şekil 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Humphrey spirali ile zenginleştirme deney sonuçları

Tane Boyutu (µm)	Ürün	Miktar (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
600	Besleme	100,00	4,95	81,30
	Konsantre	27,01	14,90	
	Atık	72,99	1,27	
500	Besleme	100,00	4,95	72,60
	Konsantre	26,04	13,80	
	Atık	73,96	1,83	
300	Besleme	100,00	4,95	47,47
	Konsantre	21,17	11,10	
	Atık	78,83	3,30	



Şekil 5.7 Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

Şekil 5.7’de görüleceği gibi, Humphrey spirali ile zenginleştirme deneylerinde tane boyutu arttıkça hem tenör hem de verim artmaktadır.

5.4. Falcon Gravimetrik Konsantratör ile Zenginleştirme Deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri, -600 μm , -500 μm , -300 μm , -150 μm ve -75 μm tane boyutu fraksiyonlarında, her bir fraksiyon için 20 G, 30 G, 40 G rotor dönüş hızında, 40 kPa sabit su basıncında, L-40 laboratuvar tipi cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. -600 μm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile -600 μm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen konsantrelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12 -600 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları

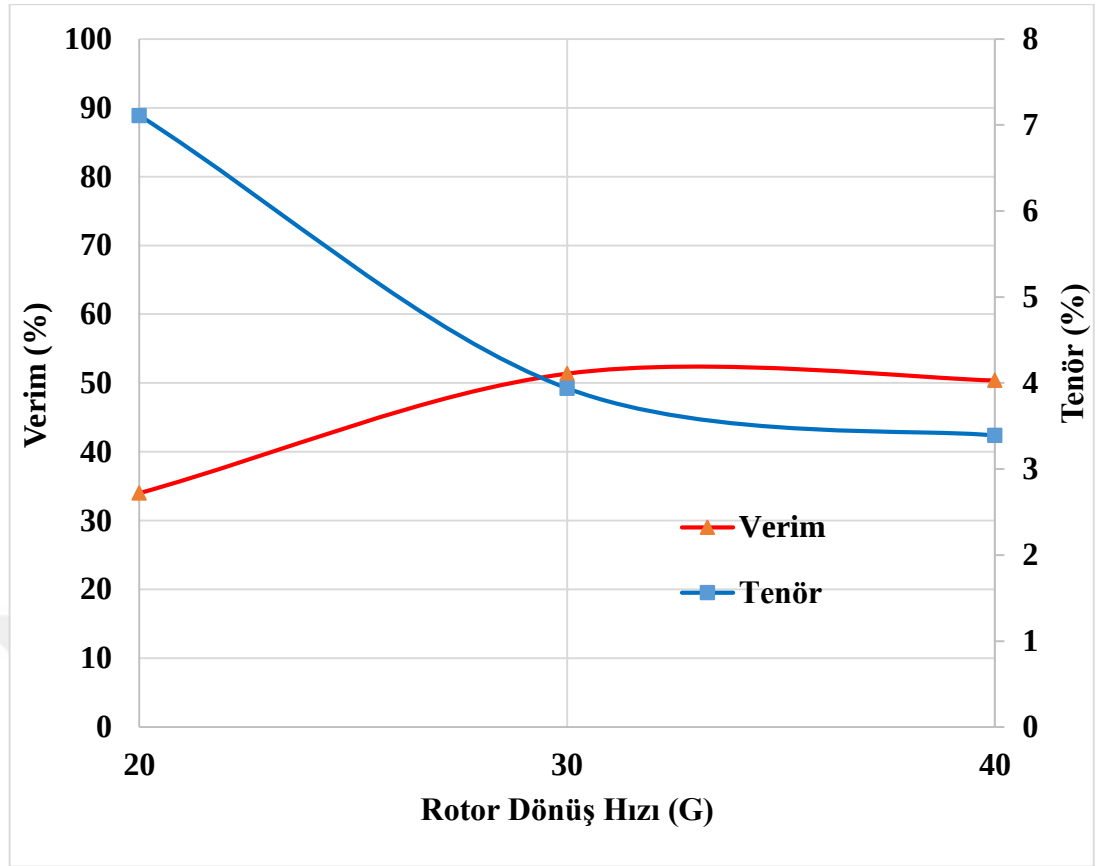
Bileşen (%)	20 G	30 G	40 G
Cr₂O₃	7,11	3,94	3,39
Fe₂O₃	8,51	7,73	7,63
MgO	36,10	37,70	38,10
SiO₂	31,70	33,80	34,30
Al₂O₃	2,14	1,33	1,20
CaO	0,69	0,69	0,69
MnO	0,11	0,10	0,10
SO₃	0,058	0,057	0,062
TiO₂	0,04	0,03	0,03
K₂O	<0,01	<0,01	<0,01
Na₂O	<0,01	<0,01	0,02
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	13,3	14,5	14,6

Çizelgede de görüleceği gibi 20 G rotor dönüş hızında %7,11 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Diğer taraftan, 30 G ve 40 G rotor dönüş hızlarında yapılan deneylerde konsantre tenörleri azalırken atık tenörleri ise artmıştır. -600 tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça, konsantre bölgesinden alınan ürünlerdeki Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerikleri azalırken, MgO ve SiO₂ içerikleri artmaktadır.

-600 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atıkların tenörleri Eşitlik 5.1 ve her bir deneyin verimi Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. -600 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir konsantre ve atık tenörü ile ilgili deneyin verimi Çizelge 5.13'te, tenör – verim grafiği ise Şekil 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.13 -600 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları

Rotor Dönüş Hızı (G)	Ürün	Miktar (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
20	Besleme	100,00	4,95	34,01
	Konsantre	23,68	7,11	
	Atık	76,32	4,28	
30	Besleme	100,00	4,95	51,36
	Konsantre	64,52	3,94	
	Atık	35,48	6,79	
40	Besleme	100,00	4,95	50,37
	Konsantre	73,55	3,39	
	Atık	26,45	9,29	



Şekil 5.8 -600 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

Şekilden de görüleceği gibi, 30 G merkezkaç kuvvetine kadar rotor dönüş hızı arttıkça verim artarken 30 G merkezkaç kuvvetinden sonra rotor dönüş hızı arttıkça zenginleştirme verimi azalmaktadır.

5.4.2. -500 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile -500 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen konsantrelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiş, en yüksek tenör %9,87 Cr_2O_3 içeriği ile 20 G rotor dönüş hızında elde edilmiştir. Ayrıca, rotor dönüş hızı arttıkça konsantredeki Cr_2O_3 , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 içerikleri azalırken, SiO_2 ve MgO içerikleri ise artmaktadır.

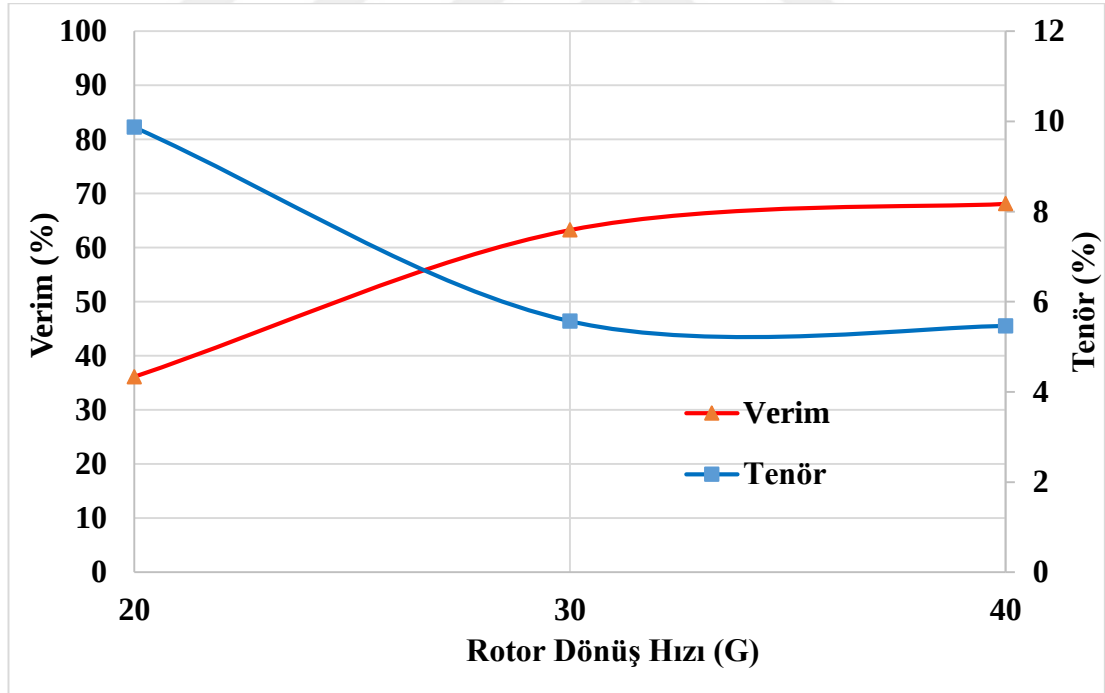
Çizelge 5.14 -500 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları

Bileşen (%)	20 G	30 G	40 G
Cr₂O₃	9,87	5,57	5,46
Fe₂O₃	9,18	8,19	8,19
MgO	34,60	36,90	37,00
SiO₂	29,70	32,80	32,80
Al₂O₃	2,80	1,74	1,70
CaO	0,70	0,68	0,71
MnO	0,11	0,11	0,11
SO₃	0,056	0,057	0,066
TiO₂	0,05	0,03	0,03
K₂O	<0,01	<0,01	<0,01
Na₂O	<0,01	<0,01	<0,01
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	12,4	13,9	13,9
* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)			

-500 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atıkların tenörleri Eşitlik 5.1 ve her bir deneyin verimi Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. -500 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir konsantre ve atık tenörü ile ilgili deneyin verimi Çizelge 5.15'te, tenör – verim grafiği ise Şekil 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.15 -500 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları

Rotor Dönüş Hızı (G)	Ürün	Miktar (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Besleme	100,00	4,95	36,13
	Konsantre	18,12	9,87	
	Atık	81,88	3,86	
30	Besleme	100,00	4,95	63,25
	Konsantre	56,21	5,57	
	Atık	43,79	4,15	
40	Besleme	100,00	4,95	68,10
	Konsantre	61,74	5,46	
	Atık	38,26	4,13	



Şekil 5.9 -500 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

Şekilden de görüleceği gibi, -500 µm tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça verim de artmaktadır.

5.4.3. -300 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile -300 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen konsantrelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.16’da verilmiştir. Çizelgede de görüleceği gibi, 20 G rotor dönüş hızında %11,50 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Diğer taraftan, -300 µm tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça, konsantredeki Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içeriklerinin azalırken, MgO ve SiO₂ içeriklerinin arttığı görülmektedir.

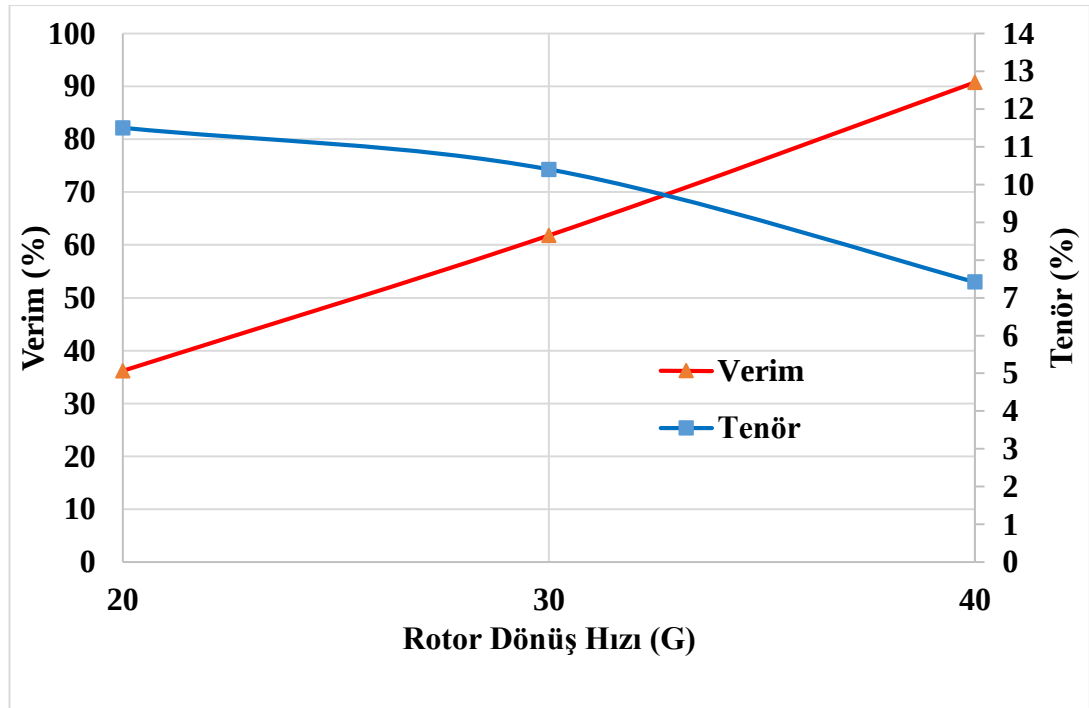
Çizelge 5.16 -300 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları

Bileşen %	20 G	30 G	40 G
Cr ₂ O ₃	11,50	10,40	7,42
Fe ₂ O ₃	9,57	9,35	8,69
MgO	33,50	34,30	35,90
SiO ₂	28,50	29,30	31,40
Al ₂ O ₃	3,28	2,91	2,21
CaO	0,69	0,73	0,74
MnO	0,12	0,12	0,11
SO ₃	0,056	0,053	0,058
TiO ₂	0,05	0,05	0,04
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	IS**	12,2	13,5
* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)		** Insufficient sample (Yetersiz örnek)	

-300 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atıkların tenörleri Eşitlik 5.1 ve her bir deneyin verimi Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. -300 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir konsantre ve atık tenörü ile ilgili deneyin verimi Çizelge 5.17’de, tenör – verim grafiği ise Şekil 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.17 -300 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları

Rotor Dönüş Hızı (G)	Ürün	Miktar (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Besleme	100,00	4,95	36,20
	Konsantre	15,58	11,50	
	Atık	84,42	4,28	
30	Besleme	100,00	4,95	61,79
	Konsantre	29,41	10,40	
	Atık	70,59	2,68	
40	Besleme	100,00	4,95	90,73
	Konsantre	60,53	7,42	
	Atık	39,47	1,16	



Şekil 5.50 -300 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

Şekil 5.10’da da görüleceği gibi -300 µm tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça verim de artmaktadır.

5.4.4. -150 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile -150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen konsantrelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 -150 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları

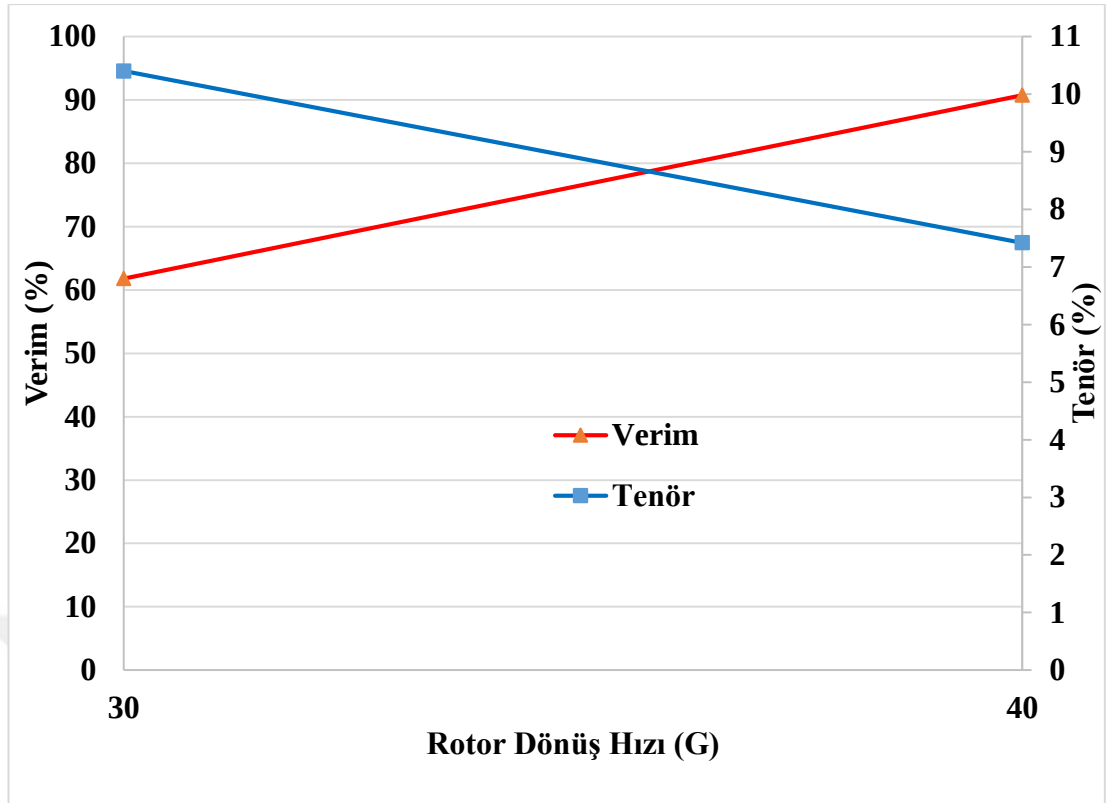
Bileşen %	20 G	30 G	40 G
Cr₂O₃	IS**	13,00	11,80
Fe₂O₃	IS**	10,50	9,90
MgO	IS**	32,60	33,50
SiO₂	IS**	27,80	28,30
Al₂O₃	IS**	3,55	3,26
CaO	IS**	0,87	0,76
MnO	IS**	0,13	0,12
SO₃	IS**	0,058	0,060
TiO₂	IS**	0,06	0,05
K₂O	IS**	<0,01	<0,01
Na₂O	IS**	<0,01	<0,01
P₂O₅	IS**	<0,01	<0,01
Ba	IS**	<0,01	<0,01
Sr	IS**	0,003	<0,002
LOI*	IS**	11,3	12,0
* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)		** Insufficient sample (Yetersiz örnek)	

Çizelge 5.18’den de görüleceği gibi 30 G rotor dönüş hızında %13 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Diğer taraftan, 20 G rotor dönüş hızı konsantresinden ölçüm değeri alınamamıştır. Bu durumun sebebi, ilgili numuneye ait konsantrede %15’ten fazla Cr₂O₃ içeriğinin olmasıdır. XRF analizleri için seçilen yöntem maksimum %15 Cr₂O₃ içeriğini tespit edebilmekte, bu değerin üzerinde akreditasyon kapsamında ölçüm yapılamamakta ve analiz sonuçları IS olarak tanımlanmaktadır. Gerek bu durum gerekse de diğer tane boyutu fraksiyonlarında Falcon gravimetrik konsantratörün zenginleştirme karakteri, 20 G rotor dönüş hızında %15’in üzerinde Cr₂O₃ içerikli bir konsantre elde edildiğini göstermektedir. Bu durum dikkate alındığında, -150 tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça, konsantredeki Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerikleri azalmakta ve MgO ve SiO₂ içerikleri artmaktadır.

-150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atıkların tenörleri Eşitlik 5.1 ve her bir deneyin verimi Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. -150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir konsantre ve atık tenörü ile ilgili deneyin verimi Çizelge 5.19’da, tenör – verim grafiği ise Şekil 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.19 -150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları

Rotor Dönüş Hızı (G)	Ürün	Miktar (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
20	Besleme	100,00	4,95	
	Konsantre	16,56	IS	
	Atık	83,42	4,28	
30	Besleme	100,00	4,95	63,03
	Konsantre	24,00	13,00	
	Atık	76,00	2,41	
40	Besleme	100,00	4,95	61,22
	Konsantre	25,68	11,80	
	Atık	74,32	9,29	



Şekil 5.6 -150 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

Şekilden de görüleceği gibi, -150 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde rotor dönüş hızı arttıkça verim de artmakta ancak tenör düşmektedir.

5.4.5. -75 µm tane boyutu fraksiyonu falcon gravimetrik konsantratör ile zenginleştirme deneyleri

Falcon gravimetrik konsantratör ile -75 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen konsantrelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir. Çizelge 5.20'de de görüleceği gibi 20 G rotor dönüş hızında %8,65 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. -600 tane boyutunda rotor dönüş hızı arttıkça, konsantredeki Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri azalırken, MgO içeriği artmaktadır.

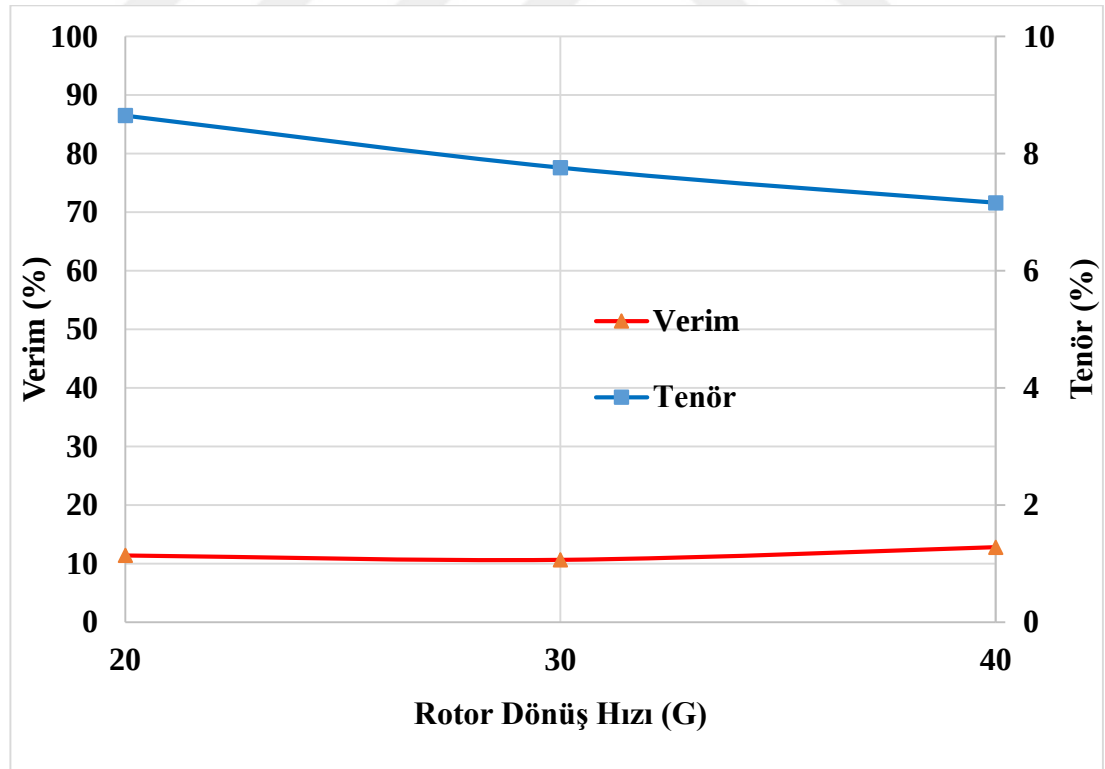
Çizelge 5.20 -75 mm tane boyutunda Falcon gravimetrik konsantratör ile yapılan zenginleştirme deneyleri konsantreleri XRF analiz sonuçları

Bileşen %	20 G	30 G	40 G
Cr₂O₃	8,65	7,76	7,19
Fe₂O₃	10,03	9,41	9,16
MgO	32,30	33,10	33,80
SiO₂	30,12	31,60	31,10
Al₂O₃	3,49	2,94	2,64
CaO	0,71	0,78	0,84
MnO	0,10	0,10	0,10
SO₃	0,094	0,089	0,111
TiO₂	0,02	0,02	0,02
K₂O	<0,01	<0,01	<0,01
Na₂O	0,02	0,01	0,01
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01
Sr	<0,002	<0,002	<0,002
LOI*	14,9	14,40	15,2
* Loss of Ignition (Ateşte kayıp)			

-75 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen atıkların tenörleri Eşitlik 5.1 ve her bir deneyin verimi Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. -75 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneylerinde elde edilen her bir konsantre ve atık tenörü ile ilgili deneyin verimi Çizelge 5.21’de, tenör – verim grafiği ise Şekil 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.21 -75 µm tane boyutu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçları

Rotor Dönüş Hızı (G)	Ürün	Miktar (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Besleme	100,00	4,95	11,39
	Konsantre	23,68	8,65	
	Atık	76,32	4,69	
30	Besleme	100,00	4,95	10,66
	Konsantre	64,52	7,76	
	Atık	35,48	4,74	
40	Besleme	100,00	4,95	12,79
	Konsantre	73,55	7,16	
	Atık	26,45	4,74	



Şekil 5.7 -75 µm tane boyu fraksiyonunda yapılan zenginleştirme deneyleri tenör - verim grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Krom konsantresi üretim tesisi artıklarından kromit kazanımı ve nihai atıkların uzaklaştırılması sonucuna yönelik yapılan manyetik ayırma deneylerinde 1-14 amper arasındaki manyetik alan şiddetlerinin ve %2,5-20 arasındaki pülpte katı oranlarının, Falcon konsantratörü deneylerinde -600 µm, -500 µm, -300 µm, -150 µm, -75 µm tane boyu fraksiyonlarının ve 20 G, 30 G, 40 G merkezkaç kuvvetlerinin ve Humphrey spirali deneylerinde ise -600 µm, -500 µm, -300 µm tane boyu fraksiyonlarının zenginleştirmeye etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan bulgular şu şekilde sıralanabilir;

1. Deneysel çalışmalarda kullanılan Sivas-Kangal-Çamözü kromit üretim tesisi artığı %4,95 Cr₂O₃, %8,11 Fe₂O₃, %1,60 Al₂O₃, %33,20 SiO₂, %37,30 MgO, %0,70 CaO ve %0,11 MnO içermektedir.
2. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinde, sabit, ağırlıkça %10 pülpte katı oranı ve 250 cc/dk. besleme hızında, 1 – 6 amper aralığında en yüksek tenöre 6 amper manyetik alan şiddetinde ulaşılmıştır. 6 amper manyetik alan şiddetinde (1 Tesla) %6,93 Cr₂O₃ içerikli konsantre %54,68 kromit kazanma verimiyle elde edilmiştir. Pülpte katı oranı etkisinin incelendiği, 6 amper manyetik alan şiddeti ve 250 cc/dk. sabit parametrelerde yapılan deneylerde, en yüksek tenör %6,93 Cr₂O₃ içeriği ile %15 pülpte katı oranında elde edilirken, en yüksek kromit kazanma verimi %2,5 pülpte katı oranında elde edilmiştir.
3. %10 pülpte katı oranı ve 250 cc/dk. besleme hızı parametreleri sabit tutularak yapılan 7-14 amper aralığındaki manyetik alan şiddeti deneylerinde en yüksek tenör ve verim 11 amper manyetik alan şiddetinde elde edilmiştir. 11 amper manyetik alan şiddetinde %9,26 Cr₂O₃ tenörlü konsantre, %59,90 kromit kazanma verimiyle elde edilmiştir.
4. Humphrey spirali ile zenginleştirme deneylerinde en yüksek tenör ve verim - 600 µm tane boyu fraksiyonunda gerçekleşmiştir. %14,90 Cr₂O₃ tenörlü konsantre, %81,30 kromit kazanma verimiyle elde edilmiştir.
5. Humphrey spirali deneylerinde tane boyutu azaldıkça konsantre tenörü ve verim azalmaktadır.

6. Falcon konsantratörü kullanılarak yapılan zenginleştirme deneylerinde tüm tane boyu fraksiyonlarında en yüksek verim 20 G rotor dönüş hızında, sırasıyla %7,11 - %9,87 - %11,50 - >%15 ve %8,65 şeklinde elde edilmiştir.
7. Falcon konsantratörü kullanılarak yapılan zenginleştirme deneylerinde en yüksek verim -600 mikron ve -150 mikron fraksiyonlarında 30 G rotor dönüş hızında elde edilirken, -500 mikron, -300 mikron ve -75 mikron boyutlarında ise 40 G rotor dönüş hızında, sırasıyla, %51,36 - %68,10 - %90,73 - %63,03 - %12,79'dur.
8. Falcon konsantratör ile yapılan deneylerde, 20 G, 30 G, 40 G rotor dönüş hızlarında -150 mikron tane boyu fraksiyonuna kadar, tane boyu küçüldükçe konsantre tenörü artmaktadır ve optimum tane boyutu -150 mikron olarak tespit edilmiştir.
9. Yapılan deneyler sonucunda, %4,95 Cr_2O_3 tenörlü kromit üretim tesisi artığının, yüksek alan şiddetli manyetik ayırma, Humphrey spirali ve Falcon konsantratör ile zenginleştirme yöntemlerinin sadece biri kullanılarak satılabilir kalitede konsantre üretilmeyeceği anlaşılmış olup, satılabilir kalitede kromit konsantresinin elde edilebilmesi için yöntemlerden en az iki tanesinin kombinasyonunun kullanılması önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] B. Daş, F. Arık, A. Öztürk, ve O. Altay, *Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri*, **Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi**, 1 (2012) 77-88.
- [2] N. Taşlıgil, ve G. Şahin, *Chrome in Turkey in Terms of Economic Geography*, **Eurasian Academy of Sciences, Social Sciences Journal**, 4 (2015) 82-108.
- [3] S. Karahan, ve Y.Z. Özkan, *Türkiye Krom Madenciliğinin Geleceği*, **Madencilik Türkiye Dergisi**, 16 (2011) 54-62.
- [4] S.Karahan, Y.Z. Özkan, Türkiye Krom Madenciliğinde Güncel Eğilimler ve Yeni Arayışlar, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 11-13 Mayıs (2011) s: 17-27.
- [5] G. Önal, V. Gürkan ve N. Acarkan, N. Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ile Değerlendirilmesi. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 6. Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 19-23 Şubat (1979).
- [6] Anonim. (2018). <https://www.mindat.org/photo-218845.html> (Erişim Tarihi: 21.02.2018).
- [7] Anonim. (2018). <http://www.rsc.org/periodic-table/element/24/chromium> (Erişim Tarihi: 21.02.2018).
- [8] M.E. Weeks, *Discovery of the Elements*. Journal of Chemical Education, New York, 1956, 270-279.
- [9] Anonim. (2018). <https://www.britannica.com/technology/chromium-processing> (Erişim Tarihi: 23.02.2018).
- [10] Anonim. (2018). <http://www.websitem.gazi.edu.tr/site/harik/files/download/id/100463> (Erişim Tarihi: 24.02.2018).
- [11] Anonim. (2018). <http://periodictable.com/Properties/A/CrustAbundance.an.html> (Erişim Tarihi: 26.02.2018).

- [12] Bozkurt, B. (2017). *Kromun Zenginleştirme Tesis Atıklarından Geri Kazanımında Knelson Gravite Konsantratörünün Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [13] Anonim. (2018). <http://www.espimetals.com/index.php/technical-data/63-Chromium> (Erişim Tarihi: 02.03.2018).
- [14] Yusuf Özkan. *Kayseri-Yahyalı Bölgesi Kromit Cevheri Özellikleri ve Yeşilköy Krom Konsantre Tesisi İyileştirme Çalışmaları*. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Türkiye, 2013.
- [15] Y. Çilingir, *Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri Cilt I*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları 2. Baskı, İzmir, 1996.
- [16] Tefik Ağaayak, *Topraktepe (Yeşildağ – Beyşehir - Konya) Kromitlerinin Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye, 2004.
- [17] Anonim. (2018). <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/chromium/> (Erişim Tarihi: 11.03.2018).
- [18] Anonim. (2018). mindat: <https://www.mindat.org/min-1036.html> (Erişim Tarihi: 11.03.2018).
- [19] Anonim. (2018). http://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2015/JZ%20315/721712944_20_cr_yat_20_09.ppt (Erişim Tarihi: 14.04.2018).
- [20] D.S. Moiser, *Podiform Chromite Deposits—Database and Grade and Tonnage Models*, **U.S. Geological Survey**, (2012) 1-45.
- [21] Anonim. (2018). <http://cografyaharita.com/haritalarim/4fturkiye-krom-madeni-haritasi.png> (Erişim Tarihi: 17.04.2018).
- [22] Sadık Hacıoğlu, *Kayseri Pınarbaşı Kromitlerinin Kuru Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2010.
- [23] S. Kırıkoğlu, *Maden Yatakları*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1992

- [24] Anonim. (2018). <https://www.icdacr.com/story-of-chrome/what-is-chromium/discover-chromium/mining.pdf> (Erişim Tarihi: 19.04.2018).
- [25] Devlet Planlama Teşkilatı, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu*. DPT: 2626 ÖİK: 637, Ankara, 2001.
- [26] Anonim. (2018). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2018-chrom.pdf> (Erişim Tarihi: 04.06.2018).
- [27] Anonim. (2018). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2017-chrom.pdf> (Erişim Tarihi: 04.06.2018).
- [28] Anonim. (2018). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2016-chrom.pdf> (Erişim Tarihi: 04.06.2018).
- [29] Anonim. (2018). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2015-chrom.pdf> (Erişim Tarihi: 04.06.2018).
- [30] Anonim. (2018). https://www.icdacr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=104&Itemid=167&lang=en (Erişim Tarihi: 05.06.2018).
- [31] Anonim. (2018). <https://www.transparencymarketresearch.com/chromite-market.html> (Erişim Tarihi: 05.06.2018).
- [32] Anonim. (2018). https://www.icdacr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=343&lang=en (Erişim Tarihi: 05.06.2018).
- [33] Anonim. (2018). [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Figures 2018 English Public.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20in%20Figures%202018%20English%20Public.pdf) (Erişim Tarihi: 06.06.2018)

- [34] Anonim. (2018).
https://www.icdacr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=139&Itemid=345&lang=en (Erişim Tarihi: 06.06.2018)
- [35] Anonim. (2018).
https://www.icdacr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=347&lang=en (Erişim Tarihi: 06.06.2018).
- [36] Ali Güney, *Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye 1990.
- [37] Anonim. (2018). <https://cms.inonu.edu.tr/uploads/old/4/310/s-masa.pdf> (Erişim Tarihi: 27.05.2018)
- [38] H. Hacıfazlıoğlu, *Manyetik Ayırmadaki Son Gelişmeler ve Alternatif Manyetik Ayırıcıların Tanıtılması*, **İstanbul Yerbilimleri Dergisi**, (2011) 75-93.
- [39] M. Özeren, *Manyetik Ayırım Yönteminin Gelişimi, Güncel ve Gelecekteki Sorunları*, **Madencilik**, (1981) 339-354.
- [40] Saklar, S. ve Orhan, C. (2018).
http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2014_17/17_75-92.pdf (Erişim Tarihi: 30.05.2018).
- [41] Öznur Önel, *Altın Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Örnek Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye, 2011.
- [42] H.W. Salisbury, H. W. *Beneficiation of Low-grade California Chromite Ores*. California: United States Bureau of Mines RI 8592, 1982
- [43] N.Ç. Öztürk, *Etibank Elazığ Ferrokrom Tesisleri Cürufundaki Kromit ve Ferrokromun Kazanılma Etüdü*, **Etibank Bülteni**, (1987) 18-27.
- [44] H. Özdağ, Y. Uçbaş ve S. Koca, *Recovery of Chromite from Slime and Table Tailings by Multi Gravity Separator*, Innovations in Mineral Processing Conference, Laurentian University, Sudbury, 6-8 June, (1994), pp: 267-278.

- [45] B. Turgut, *Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Türkiye, 1995.
- [46] N. Aslan ve M. Canbazoglu, İnce Boyutlu Krom Cevherlerinin Multi-gravity Seperator ile Zenginleştirilmesi Araştırmaları, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 6-9 Haziran (1995), s: 437-442.
- [47] A. Gül, E.A. Yüce, A. Güney, V. Gürkan, F. Arslan ve G. Önal, Adana-Karsanti Bölgesi Düşük Tenörlü Kromit Cevherlerinin Değerlendirilmesi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 6-9 Haziran (1995) s: 419-424.
- [48] Selçuk Samanlı, *Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye, 1998.
- [49] T. Çiçek ve İ. Cöcen ve S. Samanlı, Gravimetric Concentration of Fine Chromite Tailings *7th International Mineral Processing Symposium*, İstanbul, 15-17 September (1998) pp: 736-751.
- [50] Ş.İ. Özkan, Ş. İ. Concentration Studies on Chromite Tailings by Multi Gravity Separator, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey - IMCET2001, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 19-22 Haziran (2001) s: 765-768.
- [51] Mehmet Emin Aydın, *Etibank Guleman Kef Konsantratör Tesisi Kromit Artıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Türkiye, 2001.
- [52] T. Çiçek ve İ. Cöcen, *Applicability of Mozley Multigravity Separator (MGS) to Fine Chromite Tailings of Turkish Chromite Concentrating Plants*, **Minerals Engineering**, 15 (2002) 91-93.
- [53] E.G. Yüce, Üçköprü Krom Artıklarından Geri Kazanım ve Atık Alanının Rehabilitasyonu, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 5-6 Mayıs (2005) s: 109-115.

- [54] N. Aslan ve H.Kaya, *Beneficiation of Chromite Concentration Waste by Multi-Gravity Separator and High Intensity Induced-Roll Magnetic Separator*, **The Arabian Journal for Science and Engineering**, 34 (2009) 285-297.
- [55] C.R. Kumar, S. Tripathy and D.S. Rao, *Characterisation and Pre-concentration of Chromite Values from Plant Tailings Using Floatex Density Separator*, **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**, 8 (2009) 367-378.
- [56] Berkant Er, *Multi Gravite Cihazlarının Krom Cevheri Zenginleştirmesindeki Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye, 2011.
- [57] S. Özgen, *Clean Chromite Production from Fine Chromite Tailings by Combination of Multi Gravity Separator and Hydrocyclone*, **Separation Science and Technology**, 47 (2012) 1948-1956.
- [58] S.K. Tripathy, Y. Ramamurthy and V. Singh, *Characterisation and Separation Studies of Indian Chromite Beneficiation Plant Tailing*, **International Journal of Mineral Processing**, 122 (2013) 47-53.
- [59] R.K. Rath, B. Dey, M.K. Mohanta, L.K. Prusty, L.K and R. Singh, *Recovery of Chromite Values from Tailings of COB Plant Using Enhanced Gravity Concentrator*, International Conference on Mineral Processing Technology, Indian Institute of Mineral Engineers, Chennai 1-3 February (2017)
- [60] G. Altın, S. İnal, İ. Alp ve M.E. Ekili, *Recovery of Chromite from Processing Plant Tailing by Vertical Ring and Pulsating High-Gradient Magnetic Separation*, **Yeraltı Kaynakları Dergisi**, 13 (2018), 23-35.

ÖZGEÇMİŞ

Esra BİLİCİ, 10 Kasım 1986 yılında Malatya’da doğdu. İlköğrenimini Hasan Varol İlkokulu’nda ve lise öğrenimini Atatürk Kız Lisesi’nde tamamladı. İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında birincilik derecesi ile mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2009-2011 yılları arasında mermercilik sektöründe çalıştı. 2011 yılında Erzincan Üniversitesi İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevi sürdürmektedir. Bir çocuk annesidir.

