

KROMİT ZENGİNLEŞTİRİLME SİSTEMLERİNİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ REMZİ KELLELİ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME VE METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĐUSTOS - 2021**

KROMİT ZENGİNLEŞTİRİLME SİSTEMLERİNİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ REMZİ KELLELİ
ORCID ID: 0000-0001-8280-718X

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME VE METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman
DR.ÖĞR. ÜYESİ GÜVEN YARKADAŞ
ORCID ID: 0000-0002-4592-2768

MERSİN
AĐUSTOS - 2021

ÖZET

KROMİT ZENGİNLEŞTİRME SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden birisi olan krom elementinin ekonomik olarak üretilmediği mineral, kromittir. Kromit cevheri, metalürji, kimya ve döküm sanayi gibi sektörlerde kullanılmakta olup, bu sektörlerde kromit cevherinin yerini alabilecek bir alternatif bulunmamaktadır.

Türkiye kromit rezervleri bakımından dünya üzerinde önemli bir paya sahiptir. Kromit cevher zenginleştirme sonrası ortaya çıkan tesis atıklarının içerisinde %1 - %2 oranında kromit minerali bulunmaktadır. Türkiye'nin ortalama üretim hacmi yıllık 400.000 ile 600.000 ton arasındadır. Zenginleştirme tesisine giren cevherler fiziksel işlemler sonucu %10 konsantre cevher, %90 maden zenginleştirme atığı olarak ayrılmaktadır. Türkiye'nin toplam üretim hacmi ile bu kıyaslama yapıldığında yıllık 3.600.000 ton/yıl ile 5.400.000 ton / yıl kromit cevher atığı oluşmaktadır. Bu atıklardaki kromitin geri kazanılması ortalama %2 tenörden hesaplanacak olursa yıllık 72.000 ton/yıl ile 108.000 ton arasında kromit kazanım potansiyeli taşımaktadır.

Tez kapsamında kromit cevher atığının geri dönüşümünü sağlamak amacıyla bariyersiz sallantılı masa tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Kromit cevher zenginleştirme tesisinden alınan numunenin tasarımı yapılan bariyersiz sallantılı masa ile yeniden zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak geri kazanımları tez kapsamında deneysel olarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Krom, Kromit, Cevher Zenginleştirme, Bariyersiz Sallantılı Masa

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi, Güven Yarkadaş, Mersin Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

DESIGN OF CHROMITE ENRICHMENT SYSTEMS

The mineral from which the element chromium, one of the natural components of the earth's crust, can be produced economically is chromite. Chromite ore is used in sectors such as metallurgy, chemistry and casting industry, and there is no alternative that can replace chromite ore in these sectors.

Turkey has a significantly important share in the world in terms of chromite reserves. There is chromite mineral at the rate of 1% - 2% in the plant wastes generated after chromite ore enrichment. The average production volume of Turkey is between 400,000 and 600,000 tons per year. The ores entering the beneficiation facility are separated as 10% concentrated ore and 90% mineral beneficiation waste as a result of physical processes. When this comparison is made with the total production volume of Turkey, 3.600.000 tons/year and 5.400.000 tons/year of chromite ore waste is generated. If the recovery of chromite in these wastes is calculated from an average grade of 2%, it has a chromite recovery potential between 72.000 tons/year and 108.000 tons per year.

In the scope of the thesis, a barrier-free shaking table design and application was made in order to ensure the recycling of chromite ore waste. The sample taken from the chromite ore beneficiation plant was subjected to re-enrichment processes with the designed barrier-free shaking table and its recovery was investigated experimentally within the scope of the thesis.

Keywords: Chromium, Chromite, Mineral Processing, Barrier-Free Jerky Table

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi, Güven YARKADAŞ, Department of Metallurgical and Materials Engineering, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalıőmalarımda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, tecrübesiyle bana yol gösteren danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Güven YARKADAŞ'a, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Hasan SAFA, Gülbahar TATLI YÜCESOY, NİHAL BAĞCI, teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarım Sinan ŐİMŐEK, Hasan ŐİMŐEK, Melik Göktuğ GÖK, Mustafa Kemal UYSAL, Fatih YILDIZ, Orhan ARDIÇ ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalıőmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve ŞİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kromitin Tarihçesi	2
1.2. Krom Yataklama Çeşitleri	2
1.2.1. Dünyada Kromit Yatakları	4
1.2.2. Türkiye'deki Kromit Yatakları	5
1.3. Kromitin Yan Kayaçları	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	7
2.1. Boyuta Göre Sınıflama ve Ayıklama İle Zenginleştirme	7
2.2. Dansite (Gravite) Farklılıklarını Esas Alan Cevher Zenginleştirme Metodu	8
2.2.1. Ağır Ortam İle Zenginleştirme	9
2.2.2. Jig Yardımıyla Cevher Zenginleştirme	9
2.2.3. Sallantılı Masa Metoduyla Cevher Zenginleştirme	10
2.3. Manyetik Ayırma Metoduyla Cevher Zenginleştirme	12
2.4. Flotasyon İle Cevher Zenginleştirme	13
2.5. Kimyasal Çözündürme ile Cevher Zenginleştirmesi	15
2.6. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme	18
3. METERYAL ve YÖNTEM	19
3.1. Numune Alma	20
3.2. Eleme Yöntemi	20
3.3. Manyetik Seperatör	22
3.4. Bariyersiz Sallantılı Masa	24
3.4.1. Bariyersiz Sallantılı Masa Tasarımı	24
3.4.2. Bariyersiz Sallantılı Masa Deneyleri	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	31
4.1. Deneysel Sonuçlar	31
4.2. Deneysel Sonuçların Yorumlanması	34
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Krom özellikleri.	1
Tablo 1.2 Dünya krom üretici konumda bulunan ülkeler [5].	4
Tablo 1.3 Kromitin yan taşları [11].	6
Tablo 2.1 Gravite ile zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık uygulama boyutları [19].	11
Tablo 3.1. Kromit cevher zenginleştirme proses akım şeması.	19
Tablo 3.2. Eleme Sonuçları.	21
Tablo 3.3. Manyetik seperatör sonuçları.	23
Tablo 3.4. Bariyersiz sallantılı masa genel özellikleri.	28
Tablo 3.5. Sallantılı masa deney sonuçları.	30
Tablo 4.1. Kromit zenginleştirme tesis atığı içerisinde bulunan element oranları.	31
Tablo 4.2. Eleme sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.	32
Tablo 4.3. Manyetik seperatör sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.	33
Tablo 4.4. Masa sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Metalik Krom [2].	1
Şekil 1.2. Dünya krom rezervleri ve yataklanma tipleri [6].	3
Şekil 1.3 Türkiye'de krom yatakları [9].	5
Şekil 2.1. Üç kompartımanlı jig makinesi [17].	10
Şekil 2.2. Bariyerli sallantılı masa ile zenginleştirme [18].	11
Şekil 2.3. Paramanyetik minerallerin kuvvetliden zayıfa doğru sıralaması.	12
Şekil 2.4 Manyetik seperatör teknolojilerinin karşılaştırılması [23].	13
Şekil 2.5. Flotasyon kolonu [25].	14
Şekil 2.6. Cevherden hidrometalurjik süreçlerle metal kazanımı [27].	17
Şekil 2.7. Elektrostatik ayırma prensibi [28].	18
Şekil 3.1. Kullanılan elek ve ayrılan tane boyutları.	20
Şekil 3.2. Eleklerden tane boyutlarına göre ayrılmış elek numuneleri.	21
Şekil 3.3. XRF analizi için tane boyutlarına göre ayrılmış elek numuneleri.	21
Şekil 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan manyetik seperatör.	22
Şekil 3.5. Manyetik seperatörden elde edilen ürün ve atık görselleri.	23
Şekil 3.6. İmalatı gerçekleştirilen sallantılı masa.	24
Şekil 3.7. Bariyersiz sallantılı masa şasesi katı model görünümü.	25
Şekil 3.8. Bariyersiz sallantılı masa şase kulakları model görünümü.	25
Şekil 3.9. Hareketli üst tabla katı model görünümü.	26
Şekil 3.10. Cevher ayırıştırma tablası ve atık havuzu katı model görünümü.	26
Şekil 3.11. Bariyersiz sallantılı masa katı model çizimi.	27
Şekil 3.12. Bariyersiz sallantılı masa.	28
Şekil 3.13. Sallantılı masa sonucu.	29
Şekil 3.14. Bariyersiz sallantılı masa sonuç numuneleri.	30
Şekil 4.1. Eleme sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kromit oran yüzdeleri.	32
Şekil 4.2. Manyetik seperatör sonucunda farklı boyut numuneleri kromit oran yüzdeleri.	33
Şekil 4.3. Masa sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kromit oran yüzdeleri.	34
Şekil 4.4. +0 μ / -106 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.	35
Şekil 4.5. +106 μ / -250 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.	36
Şekil 4.6. +250 μ / -425 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.	36
Şekil 4.7. +425 μ / -850 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.	37
Şekil 4.8. Farklı boyutlardaki zenginleştirme işlemlerinin kıyaslanması.	38

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
Cr	Krom
Fe	Demir
PdCrO ₄	Paladyum (II) Oksit
FeCr ₂ O ₄	Kromit
FeO	Demir Oksit
°C	Santigrat Derece
gr/cm ³	Gram/Santimetre Küp
μ	Mikron
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
ABD	Amerika Birleşik Devleti
MT	Metrik Ton
kg	Kilogram
gr	Gram
RPM	Revolutions Per Minute
XRF	X - Işın Floresans Spektrometre
vb	Ve benzeri

1. GİRİŞ

Dünyanın katılaşma evresinde ilk kristalleşen elementlerden biri olan krom doğada genellikle kristal halde bulunmaktadır. Kromit olarak isimlendirilen krom filizi, kullanılan terimiyle krom taşıdır. Kromit yoğunlukla kaya kütlelerinin içinde ince kristaller şeklinde bulunmaktadır. Bunun dışında yakut, zümrüt ve safir gibi değerli taşlarında birer krom filizi olduğunu ve bu değerli taşların kuyum ve süs eşya yapımında kullanıldığını bilmekteyiz.

Atom numarası 24 ve dansitesi $4,1 \text{ gr/cm}^3$ ile $4,9 \text{ gr/cm}^3$, mohs üzerinden sertlik derecesi 5,5 olup, doğada yoğun bulunan mermer ve granit türlerinin sahip olduğu sertlik derecesinden daha yüksek bir sertlik derecesine sahiptir. Kaynama sıcaklığı $2671 \text{ }^\circ\text{C}$, ergime sıcaklığı $1890 \text{ }^\circ\text{C}$ olan bir mineraldir. Bu mineralin kaynama sıcaklığı 2671°C ve ergime sıcaklığı ise 1890°C 'dir. Burada dikkat çekilmesi gereken bir diğer ve en önemli nokta kromun ergime sıcaklığıdır. Sanayide kullanılan pek çok metale kıyasla ergime derecesindeki yükseklik kromu ayrıca değerli kılmaktadır. Kromun ergime sıcaklığının yüksekliği öncelikle değerli bir mineral olma özelliğini beraberinde taşımaktadır. Ayrıca Avrupa da Sanayi Devrimi sanayileşme sürecinde kullanılmış olan pek çok metale kıyasla ergime derecesinin yüksek oluşu bu minerale daha yoğun kullanım alanı ve daha yüksek bir değer kazandırmıştır. Örnekleriyle izah edecek olursak kromun ergime derecesi $1890 \text{ }^\circ\text{C}$ iken sırasıyla titanyum $1730 \text{ }^\circ\text{C}$, demir $1539 \text{ }^\circ\text{C}$, kobalt $1495 \text{ }^\circ\text{C}$, nikel $1455 \text{ }^\circ\text{C}$, bakır $1083 \text{ }^\circ\text{C}$, altın $1063 \text{ }^\circ\text{C}$, alüminyum $660 \text{ }^\circ\text{C}$, çinko $419 \text{ }^\circ\text{C}$, kurşun $327 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kalay $232 \text{ }^\circ\text{C}$ ergime derecesine sahiptir [1].



Şekil 1.1. Metalik Krom [2].

Tablo 1.1. Krom özellikleri.

Dansite (Özgül Ağırlık):	$4,1 \text{ g/cm}^3$ ile $4,9 \text{ g/cm}^3$
Sertlik (mohs):	5,5
Genel Renk Tonu:	Siyah (Parlak)
Çizgi Rengi	Kahverengi

1.1. Kromitin Tarihçesi

Sibirya da kurşun cevheri içinde krokoit mineralinin ($PdCrO_4$) bulunması neticesinde kurşun cevherinin içerisinde 1797 yılında Alman Martin H. Klaprath tarafından kromun en yaygın filizlerinden sayılan kromit minerali tespit edilmiştir. Bu element yani krom ismini Yunancada renk anlamına gelen khroma 'dan alır. Bu tespitten 1 yıl sonra Vauquelin'in kırmızı renkli Krom Trioksit inorganik bileşiğinden, kömür ile yüksek sıcaklıkta redüksiyon sonucunda yani bileşenin oksijen kaybetmesi ile yeni bir metal elde ettiği kayıt altına alınmıştır. Aynı yıllarda Emerald' da bulunan yeşil renkli madenin henüz çok yeni bulunmuş olan Krom içeriğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Rusya da J.T.Lowitz 1798 yılında ilk kromit örneklerini saptamıştır.

Kromitin 19. yüzyıl başlarında çelik üretim sanayinde ve ardından metalürji alanında kullanımının yaygınlaşması süreç olarak, ilk kez 1799 yılında Ural Dağlarında mineralojik anlamda ilk Kromit in bulunması ile başlamıştır. Sürecin hemen başlarında sadece refrakter hammadde olarak kullanılan kromit yüzyılın sonlarına doğru sanayide kullanılmaya başlamıştır.

Türkiye'de 1848 yılında Bursa Harmancık bölgesinde Jeolog Lavvrence Smith tarafından bulunan kromit yatakları 1850 yılından itibaren işletilmeye başlanmıştır. Dünya krom literatürüne geçmiş bu yataktan uzun yıllar yüksek dereceli metalürjik özellikte krom üretimi gerçekleştirilmiştir. ABD'de yer alan Maryland kromit yataklarının üretime bağlı olarak rezervlerinin sonlanması ile birlikte Türkiye'de yer alan bu yataklar büyük önem kazanmıştır [3,4].

1.2. Krom Yataklama Çeşitleri

Kökleri, yer bilimsel özellikler, lokasyon ve yapısal özellikleri itibariyle krom yataklarının bulunduğu ultra bazik-bazik minerallerden oluşmuş kütleler 3 tipte ele alınır.

A) Güney Afrika'da Bushveld ve Amerika Birleşik Devletleri'nde Stilwater gibi stabil kıtasal alanlarda bulunan stratiform sokulumlar içinde mevcut krom yatakları

Yapısal olarak küçük tane boyutlu düzgün kristalleşme özellikleri ihtiva eden Krom-Demir oransal olarak (Cr/Fe) düşük, diğer bir anlatım ile yüksek demir cevheri içeren yine yapısal olarak değerlendirildiğinde karmaşık bir yapı sergilemeyen, büyük boyutlu ve kilometrelerce süreklilik gösteren tabaka yataklanmalardır.

B) Alp Dağlarında, görülmesi sebebiyle Alpin çeşidi ile adlandırılan aşırı bazik kayalar gruplarında mevcut krom yatakları

Yapısal özelliği sebebiyle küçük boyutlu ve dağınık görüntülü karışık yapısal doku özelliği gösteren krom yataklanmalardır. Büyük boyutlu görünüme karşın düzenli olmayan

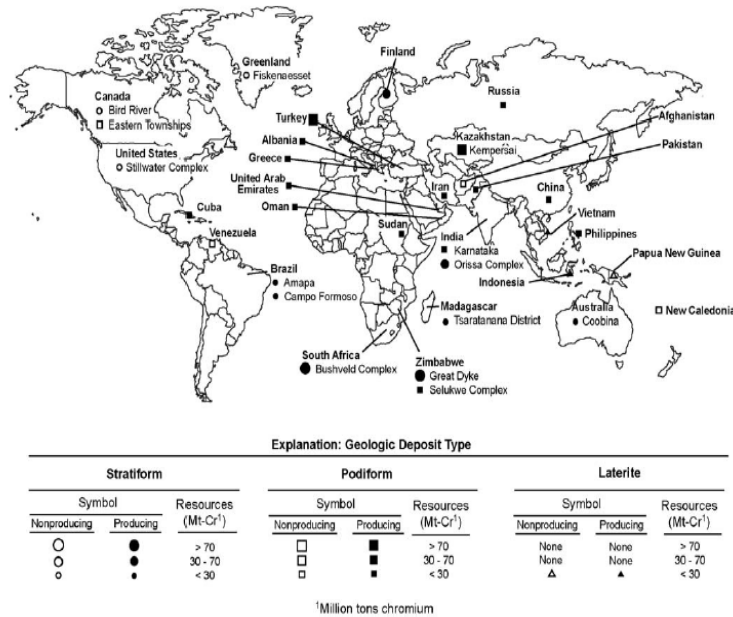
kristal şekiller ihtiva eder ve 1.tip krom yataklarının aksine Krom-Demir oransal olarak (Cr/Fe) yüksek diğer bir anlatım ile güçlü yapıda krom cevheri içermektedirler.

C) Yapısal olarak aynı / benzer merkezli içsel düzenli görünüme sahip konsatrasyonu aşırı bazik kayac gruplarında mevcut krom yatakları

Genellikle yüksek demirli krom cevheri yatakları olarak karşımıza çıkan 3.tip yataklamalarda bugün için ekonomik değer ve önem bulunmamakta olup, yoğunluklu olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin eyaleti Alaska'da bir başka anlatımla Kuzey Amerika kıtasının kuzey batı bölgesinde rastlanan bu tip yataklarda üretim coğrafi koşullar ve iklim koşulları sebebiyle mevcut değildir. Yine de Amerika Birleşik Devletleri bu tip kromit minerallerinin cevher zenginleştirilme çalışmaları ve zenginleştirme sonrası ekonomiye katkıları üzerine çalışmalarına devam etmektedir. Bu tip yataklar da genel olarak 1. tip krom yataklarında olduğu gibi yüksek demirli krom cevheri içermektedir.

1. tip krom yatakları olarak tabir ettiğimiz stratiform tip yataklarda üretilen cevher Cr/Fe oranı düşük yani yüksek demirli krom yataklarından yapılan üretimler ise yüzyılın ilk üççeyreğinde kimya sanayinde kullanım alanı bulmuştur. Bu cevher içeriği ve FeO içeriği yüksek olan yataklama tipi 1. tip stratiform krom yataklarıdır.

2. tip yani Alpin tip krom yataklarında rezerv belirme sıkıntıları ve ticari bağlantılarının uzun dönemli yapılamıyor olması sebebiyle 1. tip yani stratiform tip krom yataklarında cevherin bilhassa metalürji sanayisinde kullanımına olanak veren teknolojilerin zorlanmasına sebep olmuştur. Elde edilen olumlu sonuçlarla da 1. tip stratiform krom yataklarından yapılan krom cevheri üretimi artmıştır [5].



Şekil 1.2. Dünya krom rezervleri ve yataklanma tipleri [6].

1.2.1. Dünyada Kromit Yatakları

Dünya genelinde kromit yataklarının çok büyük bölümü stratiform olarak adlandırdığımız 1. tip krom yatakları olup, toplam rezervin %98 'si Güney Afrika'da ve Zimbabve'de bulunmaktadır. Dünya rezervinin kalan %2 'lik kısmı ise Türkiye'nin de içinde bulunduğu ülkeler arasında yer almaktadır [7].

Tablo 1.2. Dünya krom üretici konumda bulunan ülkeler [5].

AVRUPA	Finlandiya
	Yunanistan
	Yugoslavya
	Slovenya
	Makedonya
	Hırvatistan
AFRİKA	Mısır
	Madagaskar
	Güney Afrika
	Sudan
	Zimbabve
ASYA	Kıbrıs
	Hindistan
	İran
	Japonya
	Pakistan
	Filipinler
	Tayland
	Myanmar
	Umman
AMERİKA	Arjantin
	Brezilya
	Kolombiya
OKYANUSYA	Avustralya
	Yeni Kaledonya
DİĞER ÜLKELER	Arnavutluk
	Kazakistan
	Rusya
	Vietnam
	Küba
	Türkiye



1.2.2. Türkiye'deki Kromit Yatakları

Ülkemizde krom yatakları değerlendirildiğinde krom yatakları açısından zengin ve dünya krom üretiminde önemli bir paya sahip olan Türkiye'nin krom rezervleri yaklaşık 26 milyon MT'dur. Ayrıca ülkemizde görünen/tespit edilen krom yataklama tipi Alpin Krom Yataklama tipidir [8].

Türkiye de krom üretim bölgeleri ya da diğer bir deyişle krom yatakları, 7 ana bölgede yoğunlaşarak aşağıdaki gibi özetlenebilir. Bu bölgeler ve içerdikleri önemli krom yatakları Türkiye deki genel durumu özetlemek açısından önemlidir.

- Bursa-Eskişehir Bölgesi
- Tokat-Erzincan Bölgesi
- Kayseri-Sivas Bölgesi
- Antakya-K. Maraş Bölgesi
- Muğla-Denizli Bölgesi
- Kayseri-Sivas Bölgesi
- Mersin-Adana Bölgesi
- Elazığ Bölgesi



Şekil 1.3 Türkiye'de krom yatakları [9].

1.3. Kromitin Yan Kayaçları

Kromitin bileşenleri içinde yer alan diğer minerallerin (gang minerals) oranı 5-25% oranları arasında değişiklik göstermektedir. Doğal olarak ergime sıcaklığı 1890 °C olan kromit mineralinin sıcaklık direnci, 1650 °C sıcaklıklarda ergiyen yan taşlarının niceliğine ve çeşidine de bağlıdır. Kimyasal formülü $FeCr_2O_4$ olan saf haldeki kromit minerali oksitlenme ve

redüksiyonlardan sebebiyle ergimedenden ayrışır [10]. Tablo 1.3 de kromit mineralinin yan kayaçlarına yer verilmiştir.

Tablo 1.3. Kromit minerali yan taşları [11].

Kromit Yantaşları	Kimyasal Formülü	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (g/cm³)
Serpantin	3MgO.2SiO ₂ .2H ₂ O	3 – 4	2,6
Olivin	2(Mg, Fe)O.SiO ₂	7	3,2 – 4,0
Kloritler	5(Mg,Fe)O.Al ₂ O ₃ .3SiO ₂ .4H ₂ O	2 – 3	2,6 – 3,3
Feldispatlar	CaO. Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	6 – 6,5	2,5 – 2,8
Piroksen Diopsit	CaO.MgO. 2SiO ₂	5,5 – 6,5	3,2 – 3,6
Enstatit	MgO. SiO ₂	5 – 6	3,2 – 4,0
Bronzit	(Mg, Fe)O. SiO ₂	5 – 6	3,2 – 4,0

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Literatür dilinde “mineral processing” ya da “mineral technology” olarak adlandırılan cevher zenginleştirme ile ilgili genel bir giriş yapılması gerekirse; yer kabuğu oluşturan ana bileşenler yani kayalar yaklaşık olarak 3500 mineral çeşidinin sentezlenmesi ile oluşmaktadır. Bu mineraller arasında birçoğu ender rastlanan mineraller olup, kayalar üzerinde izlenebilen mineraller tüm mineral çeşitlerinin %7'sini ancak teşkil etmektedir ve sayısal olarak yaklaşık 250 çeşit mineral demektir. Bir cevherin ihtiva ettiği mineralleri sanayinin genel ihtiyaçlarına en uygun girdi haline getirmek ve iktisadi değeri olanlarla iktisadi değeri olmayan veya düşük olanları ayırma sürecinin tamamına cevher zenginleştirme ya da cevher hazırlama denir [12].

Kayalar içindeki minerallerin birbirinden ayrıştırılmaları aralarındaki kimyasal, fiziksel ve fiziko-kimyasal farklılıklar sebebiyle mümkündür. Kayaların oluşum biçimi, kimyasal bileşimleri bu farklılıkların temelini teşkil eder. Minerallerin sahip oldukları fiziksel özellikleri sertlik, gevreklik, yapısı kırılabilirliği, kırılma şekilleri, renkleri ve parlaklıkları, özgül ağırlıkları, manyetik duyarlılıkları, radyoaktivite özellikleri, elektrik iletkenliği, floresans ve fosforesansları olarak sıralanabilir. Bahsi geçen benzeşmezliklerin temelinde kayacın oluşum şekli ile kimyasal bileşimleri yatmaktadır. Bir cevherin zenginleştirilmesi metodları sözü edilen farklılıkları kullanma esasına göre belirlenmiştir. Cevher zenginleştirmede kullanılacak olan yöntem cevherin içeriğindeki minerallerin türüne, kimyasal, fiziksel ve fiziko-kimyasal özelliklerindeki benzeşmezliklere ve boyut dağılımına göre seçilir. Yöntemi belirmeden önce cevherden alınan numuneler üzerinden cevherin ihtiva ettiği minerallerin tespitine ve tanımlanmasıyla tanımlanan bu minerallerin özelliklerinin tespitine, cevher zenginleştirme sürecinde esas alınacak benzeşmezliklerin seçimine, optimum serbest kalma parça boyutunun belirlenmesi amacıyla kimyasal çözümleme ve mineralojik çözümlenmelerin tamamlanması bir gerekliliktir [13].

Cevher zenginleştirme yöntemleri altı (6) ana başlık altında toplayabiliriz. Bu başlıkları alt metinde inceledik.

2.1. Boyuta Göre Sınıflama ve Ayıklama İle Zenginleştirme

Madencilikte cevher zenginleştirmede kullanılan ilk yöntem olarak bilinmektedir. Cevher tanelerinin tek tek seçilerek başkaca bir işleme gerek kalmaksızın ayrıştırılması yöntemidir. Büyük ebatlı ve aynı zamanda içerik olarak zengin serbest halde bulunan cevherlere tatbik edilen bu metod günümüzde cevher zenginleştirme alanında daha verimli yöntemlerin olması sebebiyle önemini ve kullanılabilirliğini yitirmiş olsa da son zamanlarda az da olsa kullanımı devam eden en önemli ve en eski zenginleştirme yöntemidir [13].

Cevherin çeşitli mineral karışımlarından oluşması sebebiyle farklı boyutlar ve şekillerde fiziksel parçalanmaları olur ve değişik minerallerin kırılma karşısında gösterdiği değişken dirençler, birbirinden ayrı ebatta kırılmalara neden olmaktadır. Daha sonra kırılma gerçekleşmiş cevher üzerinde yapılacak boyutuna göre sınıflandırma ile iki farklılaşmış ürün ince ve kalın taneler halinde ayrıştırarak bir nevi yoğunlaştırılmış ve atık elde edilmiş bir sınıflandırma gerçekleştirilebilir. Boyutlarına göre sınıflandırılmış elekler, klasifikatörler ve siklonlar kullanılarak sınıflandırma yapılabildiği gibi el ile ayırmanın dışında otomatik ayırıcılar da günümüzde kullanılmaktadır [12].

Ayırma ve ayıklama ile zenginleştirmede minerallerin fiziksel özelliklerini temel alınarak yani renk tonları, matlık/parlaklık, dansite, iletkenlik, manyetizma, radyoaktivite ve x-ray ışınları kırınımı gibi nitelik farklılıklardan istifade edilmektedir. Zenginleştirme yöntemi olarak ayırma yöntemi birden fazla amaca hizmet etmektedir. Bunlardan biri direkt cevher zenginleştirme diğeri ise asıl cevher zenginleştirme işlemi öncesi gang mineraller grubunu oluşturan mineralleri uzaklaştırma suretiyle zenginleştirme imkânlarını yükseltmeye destek olan kısmen katkı sağlayan zenginleştirmedir [13].

2.2. Dansite (Gravite) Farklılıklarını Esas Alan Cevher Zenginleştirme Metodu

Mineral tanecikleri arasında dansite farklılıkları vardır. Bu farklılıkların sebep olduğu akışkan ortamlardaki hareket farklılıkları temeline dayanarak, minerallerin birbirinden ayrıştırılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme veya diğer adıyla gravite ile zenginleştirme denilir [13].

Başka bir tanımla özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme yani gravite yöntemleri (jig, sallantılı masa, spiraller, oluklar vs.) katma değeri olan mineral ile katma değeri olmayan minerallerin yoğunluk farkına bağlı kalarak akışkan ortamda değerli minerali değersiz mineralden ayırmak için uygulanan bir yöntemdir [14]. Bu yöntem diğer zenginleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında maliyetleri daha düşük olması yani ekonomik olması sebebiyle daha çok tercih edilen yöntemdir [15].

Dansite (gravite) farklılıklarını esas alan cevher zenginleştirme

- Stabil durum,
 - Dikey yönde hareketli durum,
 - Katman halde akışkan durum olmak üzere;
- Üç türlü durumda gerçekleştirilir.

Özgül ağırlık farkına göre (gravite) ile zenginleştirme yöntemleri:

- Oluklar

- Ağır Ortam Ayırması
- Hummprey Sprialleri
- Dyna-Whirpool
- Jig
- Sallantılı Masa
- Multi Gravite Ayırıcısı olmak üzere 7 farklı yöntem olarak bulunmaktadır.

2.2.1. Ağır Ortam İle Zenginleştirme

Büyük tane ebatlı minerallerin aralarındaki dansite (gravite) farklılıklarını kullanarak ağır akışkan bir ortamda akışkan yüzeyinde tutunma ya da batma yardımı ile ayrışmaları sağlayan cevher zenginleştirme işlemidir. Bu metotla cevher zenginleştirme işlemi uygulanabilmek amacıyla ayrışan mineraller arası asgari 0,1 g/cm³ dansite farkı olması gerekir. Ayrıca ayrışmaya tesir edecek derecede farklı gözenek yapısının bulunması gerekmektedir. Bu cevher zenginleştirme metodunda proses dört kademedede gerçekleşir.

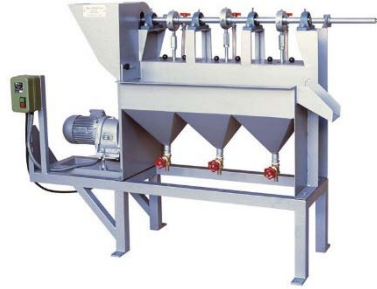
- Beslemesi yapılacak olan cevherin hazırlanması,
- Ağır ortamda yüzme batma esasına dayanan ürünün ayrılması,
- Ayrılma işlemi sonrası ürünler ile beraber gelen ağır ortamın bertaraf edilmesi,
- Prosesin temizlik, ayar işlemlerini tamamlamak suretiyle ağır ortamın yeniden ayrıştırma aygıtına çevrilmesi.

Cevherler için 2 – 75 mm, kömür içinde 2 – 150 mm arasındaki ebatlarda uygulanan “durgun akışkan ortamında yapılan ağır ortam ayrışması ile zenginleştirme” yöntemleri, ağır ortam siklonlarında minumun ebat limiti 200 mikron seviyesine kadar düşebilmektedir. Cevherin birbirine benzer ebatlardan oluşan gruplar olarak düzenlenmesi ve bu düzenlenen grupların tek tek yıkama işlemlerine tabi tutulması ile uygulanan yöntemde beslenecek olan cevher, ağır ortam nitelikleri değişecek miktarda şlam, koloidal madde ve ufak ebatlı taneler içermemesi gerekir [16].

2.2.2. Jig Yardımıyla Cevher Zenginleştirme

Yoğunluk farkı esasına dayanan zenginleştirme metotları arasında bilinen eski bir yöntem olan jig yardımıyla cevher zenginleştirmenin kullanıldığı tarihler 1870'lere dayanmaktadır. Kullanılmaya başlanması ile beraber ilk yıllarında büyük ebatlı cevherler için kullanılmış olup, zenginleştirme metotlarının teknolojik olarak geliştirilmesi ile önemlerini yitirmiştir. Günümüzde bilhassa kömür yıkama ve büyük ebatlı cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanımına devam edilmektedir [13].

Jig yardımıyla cevher zenginleştirme işleminde elek üzerinde ve akışkan bir ortamda bulunan büyük ebatlı mineral taneleri, basma-emme kuvvetlerinin akışkan ortamdaki tesiriyle farklı ağırlıkta katmanlara sebebiyet verirler. Farklı ağırlıkların en ağır olanları alt katmanda, ağırlıkça hafif mineraller de üst katmanda yer alırlar. Böylece ortaya çıkan farklı niteliklere sahip katmanların tek tek jigden dış ortama alınmasıyla cevher zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.1. Üç kompartımanlı jig makinesi [17].

2.2.3. Sallantılı Masa Metoduyla Cevher Zenginleştirme

Sallantılı masa ile zenginleştirme yönteminde, cevher muhteviyatında bulunan minerallerin dansite (gravite) farklılıklarından faydalanılarak cevher zenginleştirme prosesi sağlanır. Sallantılı masada tabaka halinde akan akışkan ortam ile etkin bir ayrıştırma sağlanmaktadır. Zenginleştirme yöntemleri arasında özellikle gravite yönteminde yaygın olarak kullanılan cevher zenginleştirme makinasıdır. Genellikle yakın yamuk, paralel, dikdörtgen veya v şeklinde olan masa sathında, genelde ensiz ve uzun eşiklerden oluşur. Yatayda birkaç derecelik eğime sahip olan masanın uzunluğuna ileri ve geri hareket yaptırılır. Sallantılı masa sathına beslenen mineral parçalarının, katman halinde akan akışkan ortamın yarattığı hareket vasıtasıyla ve bu harekete dikey vaziyette yaptırılan ileri ve geri hareketin birleşmesiyle diyogonal hareket sağlanarak ağır mineraller hafif minerallerden ayrışarak zenginleştirme işlemi gerçekleşir.

Parçacıkları sallantılı masa üzerinde iki kuvvet tesiri etkilemektedir;

- Su katmanının meydana getirdiği sürüklenme kuvveti,
- Sallantılı masanın hareket mekanizmasının oluşturmuş olduğu hareket ile parçacıklar sallantılı masa üzerinde ileri yönde hız kazandıran kuvvet.

Bahsi geçen bu iki kuvvetin tesiri yardımıyla, parçacıklar sallantılı masa üzerinde, cevher beslemesinin yapıldığı bölgeden yani besleme oluğu bölgesinden, diyogonal olarak sallantılı masa bitimine doğru hareket gerçekleştirirler. Bu kuvvetlerin tesiri altında ayrışan

2.3. Manyetik Ayırma Metoduyla Cevher Zenginleştirme

Mıknatis alanda mineraller manyetik şiddet seviyelerinin farklı göstermesinden hareketle kullanılan yöntem manyetik ayırma metoduyla cevher zenginleştirme yöntemidir. Manyetik ayırma metoduyla cevher zenginleştirme yönteminde manyetik duyarlılığa ilişkin ayırma işlemi yapılmaktadır. Özellikle çok kuvvetli manyetik özellik gösteren paramanyetik mineraller ve ferromanyetik mineraller ayırma işleminde bu ayırma işlemi kullanılır. Mineraller manyetik ayırıcılar ile zenginleştirilebilen (paramanyetik) ve zenginleştirilemeyen (diamanyetik) minerallerin ayırma işlemi bu yöntem ile yapılabilir [20].

Şekil 2.3'de paramanyetik minerallerin kuvvetliden zayıfa doğru önem sırası gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Paramanyetik minerallerin kuvvetliden zayıfa doğru sıralaması.

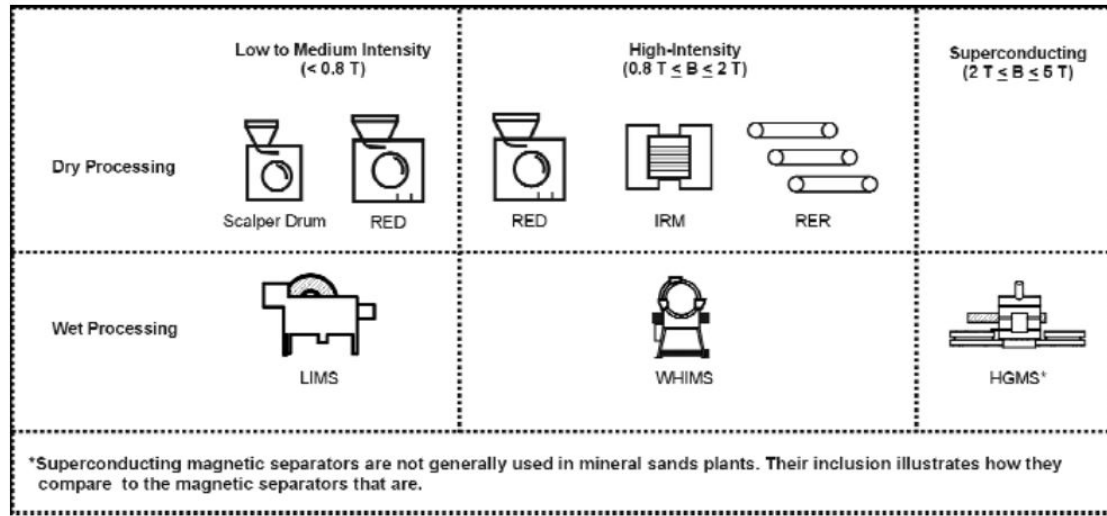
Mineral tanelerinin ebatı ve dansiteleri mineral tanelerinin manyetik alan içinde ayrılabilmesini etkileyen unsurlardır. Bundan dolayı ebatı 5 mm den büyük parçalar kuru ortamda ve 200 mikron seviyesinden küçük olan parçalar ise yaş ortamda ayıklanır. Manyetit gibi manyetik alandan çok etkilenen mineraller zayıf manyetik alanda yani 500 – 1500 gauss aralığında manyetik ayırıcılarda zenginleştirilirler. Ebatı 6 mm'den küçük ve 200 mikrondan büyük serbest kalan manyetit cevherleri ise kuru ya da yaş ortama haiz manyetik alanlarda zenginleştirilebilmektedir.

Tambur sistemli ya da bantlı olmak suretiyle farklı konstrüksiyonlarda ve tiplerde manyetik alan ayırıcılar imal edilmiştir. Zayıf manyetik minerallerin zenginleştirilmesi 1970'li yıllara kadar oldukça zahmetliydi. 10.000 gauss manyetik alandan fazla alan şiddetli konsantratörlerde zorlukla üretildiği gibi aynı zamanda kapasite olarak da düşük seviyelerde idi. Kapasite ortalamaları 5-6 ton / saat i geçmezdi. Bununla beraber çok ince taneler işleyebilmekte oldukça zordu. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla yani 20000 gaussluk ve daha fazla manyetik alan üretilebilen geliştirilmiş manyetik ayırıcılar yardımıyla son yıllarda 150 ton/ saatlik kapasitelere ulaşılmaktadır [21].

Mevcut literatürün büyük kısmında manyetik ayırıcılarla ilgili olarak öncelikle Türk cevheri için yapılmış araştırmalara atıflarda bulunulmuştur. Esas olarak Türk kromit cevherleri, Hint ferri tipi cevherlerine nazaran manyetik ayırma teknikleri kullanılarak konsantre edilebilen magnezya tipindedir. Hint kromit cevherinde hem demir hem de silikatlı mineraller baskınken Türkiye cevherlerindeki ana gang içeriği silikatlı minerallerdir. Farklı Hint kromit

örneklerinden silikanın çıkarılması çalışmaları yapılmışsa da silika içeriğinin tek başına manyetik ayırma yoluyla azaltılmasının zor olduğu gerçeğine varılmıştır.

Yerçekimi konsantrasyonu ve manyetik ayırma birlikte kullanıldığında silika içeriği başarılı bir şekilde azaltılabilir. Bu şekilde elde edilen ürün, kimyasal dereceli yoğunlaştırılmış üretim için uygun olacaktır. Bununla birlikte, çoklu yerçekimi ayırıcısının kullanımının artık kayıplarını en aza indirmede etkili olduğu gözlemlenirken, manyetik ayırma konsantrenin demirli kromit oranını 1,6'dan 1,8'e yükseltir. Hindistan'dan gelen demirli kromit örneğinin oranı, bir sınıflandırıcı sayesinde yüksek yoğunluklu bir manyetik ayırıcı kullanıldığında %10-30 arasında değişen karşılık gelen bir geri kazanımla 1,9'dan 3,0'a yükseltir [22].



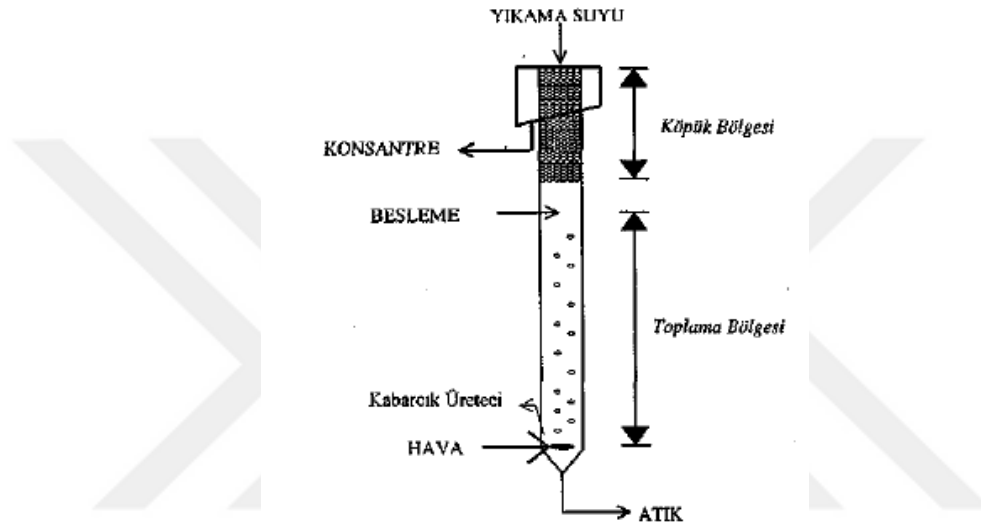
Şekil 2.4 Manyetik seperatör teknolojilerinin karşılaştırılması [23].

Kuru manyetik ayırıcılar grubuna giren hem tambur hem de roll türleri olmak üzere, genellikle ıslak manyetik ayırıcılardan çok daha hassas ayırmalar yapılabilmektedir. Ayırma ortamı su yerine hava olduğu için kuru manyetik ayırma daha kontrol edilebilir. Parçacıkları birbirinden ayırmak, suyun yarattığı sürüklenme kuvvetlerini yenmek zorunda kalmadığından dolayı ayırma işlemi daha kolaydır. Bundan dolayı kuru manyetik ayırıcıların kullanılması belirgin bir avantaj yaratabilir. Bununla beraber, kuru manyetik ayırma devreleri tipik olarak sermaye ve devam eden bakım maliyetlerinde daha düşüktür [23].

2.4. Flotasyon İle Cevher Zenginleştirme

Flotasyon ile cevher zenginleştirme yönteminde minerallerin yüzey veya ara yüzey özelliklerinden yararlanılarak yararlı minerallerin, yararsız minerallerden ayırma işlemi olarak kullanılan bir zenginleştirme yöntemlerinden bir tanesidir. Haynes tarafından 1860 yılında ilk patenti alınmıştır.

Parlak metal özelliği taşıyan minerallerin ayırma işleminde yağ flotasyon olarak adlandırılan işlemi uygulanır. Yağ flotasyon işleminde ıslanabilir olma niceliğinden yararlanarak, gang mineralleri arasında daha fazla ıslananları yağ ve su ara yüzeyinden geçirme işlemi yapılarak ayırma yapılmaktadır. Bu yöntemde cevher zenginleştirme işlemi, çeşitli mineral tanelerinin hava baloncukları üzerine yapışarak yüzdürme işlemi gerçekleştirilir. Yüzdürme işlemi gerçekleştirilen minerallerin, farklı reaktif yardımları ile yüzey özelliklerin değişmesi sağlanarak veya yüzey özelliklerine takılı kalması ile hava baloncuna yapışırlar. Su içerisinde ıslanarak batan minerallerin bu nicelikleri taşımadığı ortaya çıkar [24].



Şekil 2.5. Flotasyon kolonu [25].

Şekil 2.4 'de flotasyon kolonunun şematik görünümü gösterilmektedir. Flotasyon kolonlarını ana olarak iki bölge olarak sınıflandırabiliriz. Birinci bölge hava kabarcıklarının kabarcık üretici sistemi yardımı ile kolon bölümüne verildiği cevher taneleri ile hava kabarcıkları ile karşılaştığı yer olan toplanma bölgesidir. Cevher beslemeleri genellikle kolon boyu yüksekliğinin 2/3'ünden (kolon bölümünün alttan üst kısma doğru oran) yapılmaktadır. Kolona cevherin eklendiği noktanın üzeri olan ve köpük bölgesi adı ile anılan bölgenin hepsi köpükten oluşmaz. Cevherin beslendiği nokta ile köpük ara yerinde tanecik yüklü hava baloncukları bulunur. Köpük içerisinde arta düşen taneler ve kabarcıkların oluşturduğu ara kısım bulunur. Cevher besleme bölümünde bulunan tane parçacıklarının çökme hızı ve kolonun taban kısmındaki atık akış hızlarına bağlı olarak taneler aşağı yönde süzülür. Kolon atık çıkış bölümünün üst kısmındaki sparger adlı kabarcık üreticiden hava, kabarcıklar halinde kolona aktarılır. Verilen bu kabarcıklar countercurrent adlı karşıt akım ve cevher beslemenin desteği ile toplama alanında karşılaşır ve burada hava kabarcıklarıyla çarpışarak birbirlerine

bağlanmış olur. Cevher zenginleştirme işlemi, flotasyon kolonunun toplama bölgesinde olmaktadır.

Cevherin beslenme noktasının üst kısmında, tane yüklü hava kabarcıklarının oluşturduğu köpük bölge olarak adlandırılır. Bu köpük bölgesi de ikinci bölgedir. Bu bölgenin yani köpük bölge kalınlığı endüstri sahasındaki uygulamalarda 1500 mm kadar olabilmektedir. Köpüğün kararlı ve kalın olmasını sağlamak için, kolonun içinden ya da yoğunlaştırılmış taşma seviyesinin üzerinden su ile yıkanması sağlanmalıdır. Yükselmekte olan köpüğün, aşağı yönde hareket eden yıkama suyuyla ters akımla karşılaşması, köpüğün içinde su marifetiyle taşınan yardımcı minerallerin, toplama alanına geri dönüş yapabilmesini ve bu suretle yüksek tenör içeren konsantrasyonu yüksek ürün elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bahsi geçen iki bölgenin haricinde köpük bölgesi ve toplama bölgesi arasında ara bölge bulunmakta olup, bu ara bölgede köpükten geri düşen ve tane yük ile yüklenmiş yükselen kabarcıklar bulunmaktadır [25].

Flotasyonun avantajlarını sıralamak gerekirse;

- Küçük ebatla serbest hale geçen cevherler üzerinde rahat bir şekilde işlem yapılabilir. Mineraller için bu boyut aralığı ise $-0.2+0.01$ mm aralığındadır.
- Ayrıştırılması güç ve düşük tenörlü cevherler flotasyonla zenginleştirilebilir.
- Flotasyon ile zenginleştirmede özgül ağırlığın herhangi bir tesiri yoktur.
- Yüksek hacimlerde, düşük yatırım ve işletme masrafları olan bir yöntemdir.
- Nihai ürün kalite artışına destek olmaktadır.

Flotasyon yönteminin dezavantajları/sakıncalarını sıralamak gerekirse;

- Enerji kullanımı yüksek olan zenginleştirme yöntemidir.
- Flotasyon reaktifleri ücretleri yüksek ve Türkiye için ithalat gerektirmektedir.
- Yüksek oranda su sarfiyatı olup, suyun ph değeri kireç oranları vb. önemlidir.

Flotasyon yönteminde kullanılan makineleride aranan özelliklerden bahsetmek gerekirse; Flotasyon ile cevher zenginleştirme yönteminde karmaşık sistemler olup, yenilikler gerektirmektedir. Bundan dolayı bu makinelerde, baloncukların dağılımı ve baloncuk yapısı, baloncuk – tane teması, tane süspansiyon, tane süspansiyon dağıtımı, havalandırma işlemi gibi etmenler ile konsantrenin alınması gibi türlü değişimlerin aynı anda izlemesinin yapılması ve bu süreç doğrultusunda gerekli yenileme işlemlerinin yapılması gereklidir [26].

2.5. Kimyasal Çözündürme ile Cevher Zenginleştirilmesi

Minerallerin çözünebildiği çözeltiler su, asit veya bazik ortamdadır. Çözünürlük, maruz bırakıldığı şartlara göre ve mineralden minerale değişiklik gösteren kimyasal özellik olup, bu özellikten faydalanılarak yapılan zenginleştirme işlemine özütleme ya da liç adı verilir. Bu

işlemede, cevher muhteviyatında bulunan kıymetli metaller müsait bir çözelti yardımıyla seçilerek çözündürülür ve aynı şekilde seçilerek çözelti içinden kazandırılır. Minerallerin bir çözücü sıvı ile karşılıklı tepkime sonucu metal değerlerinin seçimli olarak çözeltilmesi işlemlerinin tamamına ise kimyasal çözme denir.

Hidrometalurjik süreçler temelde metal iyonlarının işlenmesi ile ilgili olduğundan öncelikle metalin çözündürülmesi dikkate alınmalıdır. Bu metot öncesinde ebat küçültme, kimyasal ve ısıl işlem, metot öncesi ön zenginleştirme gibi hazırlama evrelerinden oluşan işlemler gerçekleştirilir. Kalker, kil ve dolomit benzeri mineraller cevher içinde mevcutsa, bu mineraller süreç boyunca oluşabilecek negatif tesirlerin önüne geçmek amacıyla, ön zenginleştirme yoluyla uzaklaştırılır. Bununla beraber çözünme işlemini kolaylamak ya da reaktif tüketim miktarını düşürmek amacıyla oksitleme, kalsinasyon, kavurma işlemi ve indirgeme işlemi tatbik edilebilir. Kimyasal çözündürme işlemi için çözücü olarak kullanılan maddeler arasında asittik reaktifler arasında sülfürik, hidroklorik, nitrik asitler ve ferriklorür sayılabilir. Ayrıca soda ve amonyak gibi bazik özellikteki reaktifler de kullanılabilir. Çözeltiye alma aşamasında çözücünün ortam sıcaklığı, çözücünün kimyasal içeriği ve yoğunluğu, çözücünün basıncı ortam koşullarının en başında gelenleridir. Bu şartların yerine getirilmesi denetlenmelidir. Farklı şartlarda uygulanan farklı kimyasal çözündürme yöntemleri mevcuttur. Metalin çözelti içerisine alınmasının ardından, çözünmeyen katı kısmın çözeltiden ayrılması gerekir. Katı olan bölümün çözelti içinden ayrılması için, filtreleme, berraklaştırma çöktürme, yıkama, koyulaştıma katı ve sıvı ayırma işlemlerine tabi tutulur. İşlemlerin akabinde metal bileşiğinin çöktürülme işlemi gerçekleştirilir. Çözeltideki metal iyon yoğununun artırılması ile çöktürme mümkün hale getirilir. İyon yoğunluklarının artırılması temin edebilmek için uygulanan işlemler, organik çözündürme, iyon değişimi v.w sıvı membran metotları tatbik edilir. Elektrokimyasal yada kimyasal yol ile çöktürme işlemi gerçekleştirilir. Bu metotlar ile metal ya da konsantre elde edilir [13].

Maliyetleri asgari seviyede tutmak amacıyla başarılı bir çözündürme sisteminde karşılanması gereken bazı konular vardır.

Gerekli özellikler:

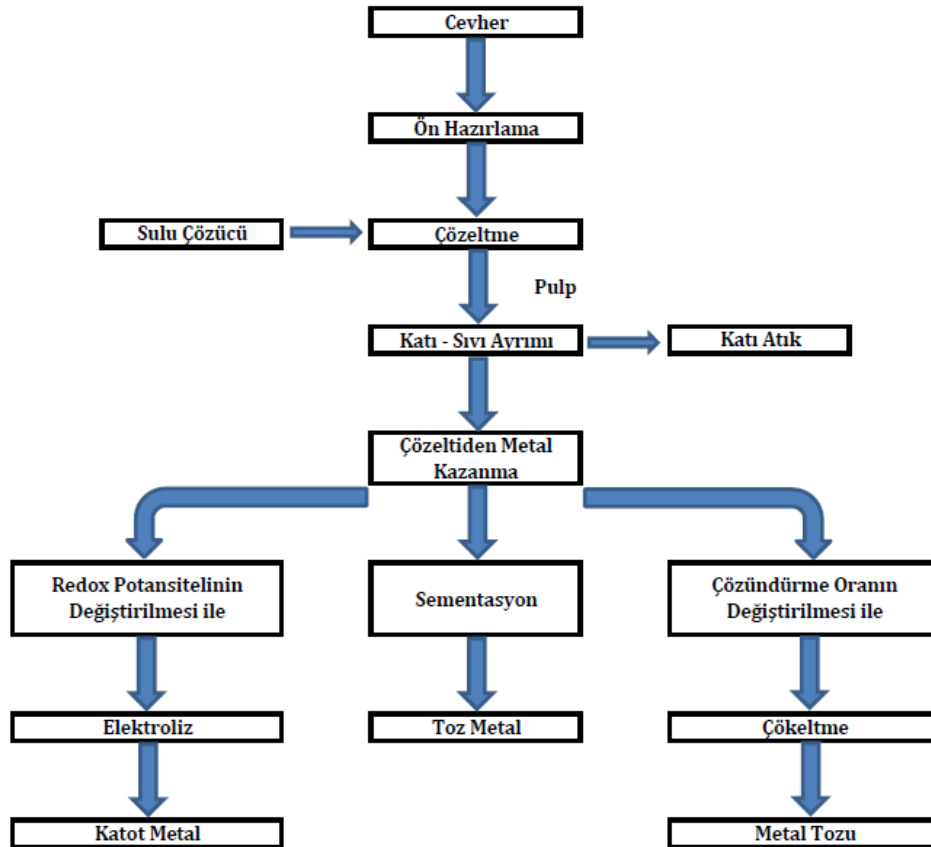
- Değerli metaller kullanılan çözücü ile uygun maliyetli olarak çözünmelidir.
- Metal, çözeltiden ekonomik olarak kazanılabilmelidir.
- Çözündürme işlemi sırasında birlikte çözünen herhangi bir empurite elementi çözeltiden ayrı bir işlemlerle kolayca uzaklaştırılabilmelidir.

İstenen Özellikler:

- Gang minerallerinin, yüksek miktarlarda çözücü tüketmemesi istenmektedir.
- Çözücü, tekrar kullanımı mümkün olmalıdır.

- Besleme malı, çözündürme sıvısının işlenen katılardan ayrılmasını zorlaştıran kil mineralleri içermemelidir.
- Besleme malı, çözücünün çözünecek faz ile doğrudan temasını sağlayacak kadar gözenekli olmalıdır ve belli bir kütledeki malzemede reaksiyon için yüksek “sıvı/katı yüzey alanı” oranı sağlamalıdır.
- İşletme donanımlarında kullanılan malzemelerin korozyondan korunması bakımından çözücü korozif olmamalıdır. Böylece yatırım ve bakım-onarım maliyetleri düşük tutulabilir.

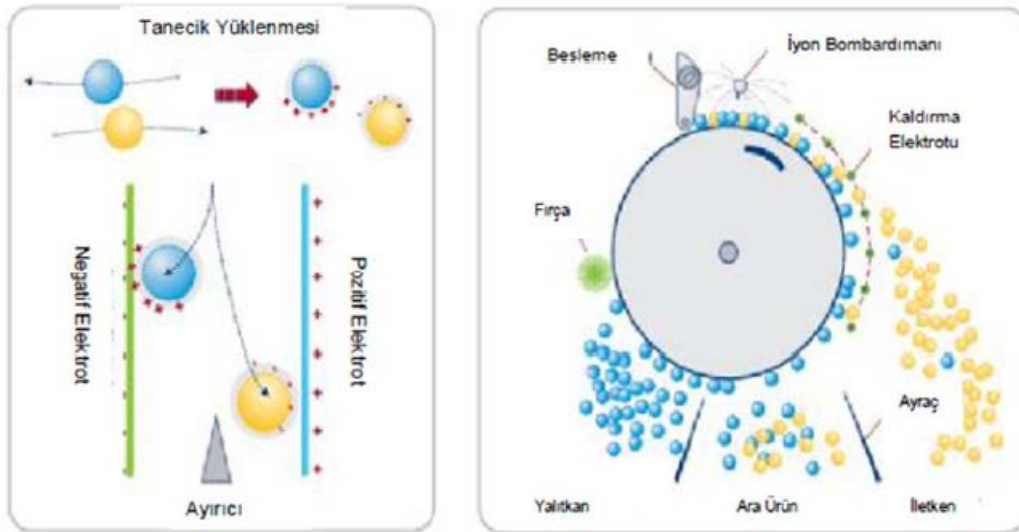
Cevher, konsantre, kalsine gibi çözündürme işleminde kullanılan hammaddeler ile çözündürme işleminde kullanılan su, asit ve baz gibi kimyasal reaktiflerdir. Cevherler; daha önce değinildiği gibi serbest metal, sülfürler, karbonatlar, silikatlar, oksitler, sülfatlar vb. olabilir. Normal olarak konsantrelere hidrometalurjik prosesler uygulanmaz. Fakat konsantredeki yabancı maddelerin başka yöntemlerle ayırmak olası değilse veya her biri ayrı ekonomik olabilen birden fazla metal içeren konsantreler doğrudan veya dolaylı olarak hidrometalurjik süreçlerle değerlendirilir [27].



Şekil 2.6. Cevherden hidrometalurjik süreçlerle metal kazanımı [27].

2.6. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

Elektrostatik ile cevher zenginleştirme yöntemi minerallerin iletkenlik farklarını esas alan ve mineral iletken, farkları esas alınarak geliştirilerek, uygulanmakta olan zenginleştirme metodudur. Mineraller üzerine değişik şiddetlerde, çoğu zaman ise, minerallerin değişik elektrik yükü yüklenmesinin ardından, çeşitli özellikleri bulunan elektrostatik ayırıcılar yardımıyla zenginleştirme işlemi yapılmış olur. Uygulanan süreç ve bu sürecin işlemlerini sırası ile anlatmak gerekirse; iletkenliği yüksek mineral içeriğine sahip olan mineral tanesi, topraklanmış bir metal rol üzerinden serbest düşüşünde, 10.000 volt ve 20.000 volt aralığında voltaj yüklü elektrotun etkisi ile polarize olur. Topraklanmış metal rol elektron yükünü iletirse rolden ayrılarak çekici elektrotun etkisi altında rolden uzaklaşarak düşer. İletken özelliği zayıf mineral taneleri ise, yükü ağır ağır üzerlerinden bıraktığı için, rol üzerine yapışarak onunla döner ve elektrotun etkisinden kurtulması ile fırça kullanılarak farklı bir yerde toplanırlar. Dar ebat aralığında sınıflandırılmış olan tanelerin, kuru veya 60 °C ile 120 °C arasında ısıtılmış olmaları elektrostatik ayırma prosesinin vazgeçilmez bir unsurudur. 0,1 mm ve 2 mm aralığındaki tane büyüklüğü elektrostatik ayırıcı yardımıyla zenginleştirme yapılabilir [28].

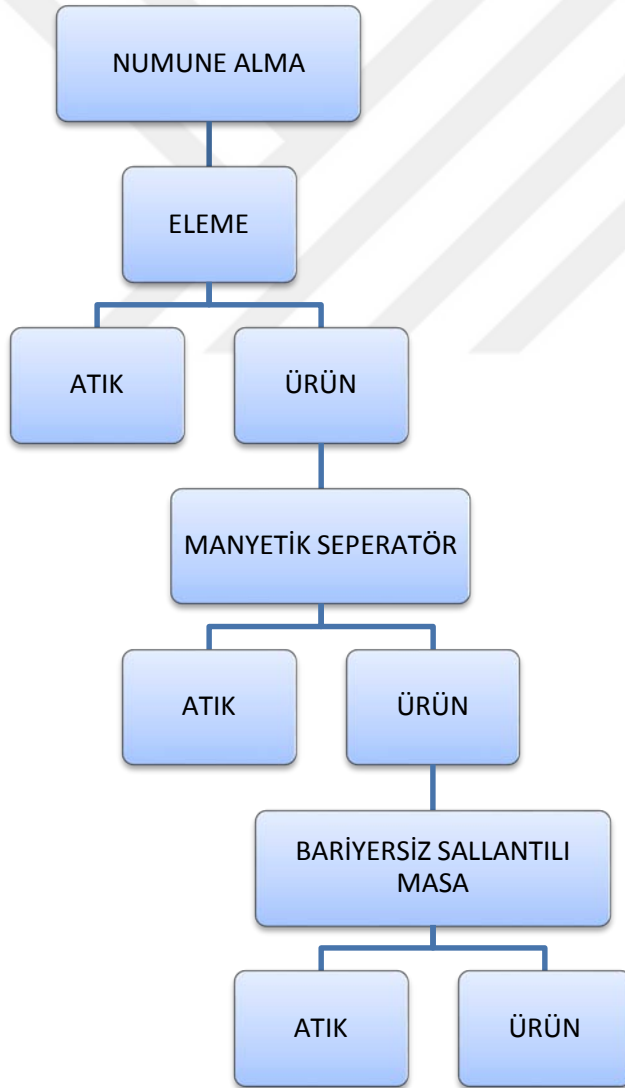


Şekil 2.7. Elektrostatik ayırma prensibi [28].

3. METERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada içerisinde yaklaşık %1-2 kromit minerali içeren krom zenginleştirme tesisi atıkları, tekrar bir zenginleştirme işlemine tabi tutularak bu atıklardan kromit kazanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla krom zenginleştirme tesisi atıklarına eleme, manyetik ayırma ve tez kapsamında geliştirilen sallantılı masada zenginleştirme işlemleri uygulanmıştır. Giren ürünler ve atıklar XRF yöntemi ile kantitatif olarak analiz edilmiş böylece manyetik ayırma ve geliştirilen sallantılı masanın birlikte kullanılması ile bu atıklardan kromit kazanımının potansiyeli araştırılmıştır.

Tablo 3.1. Kromit cevher zenginleştirme proses akım şeması.

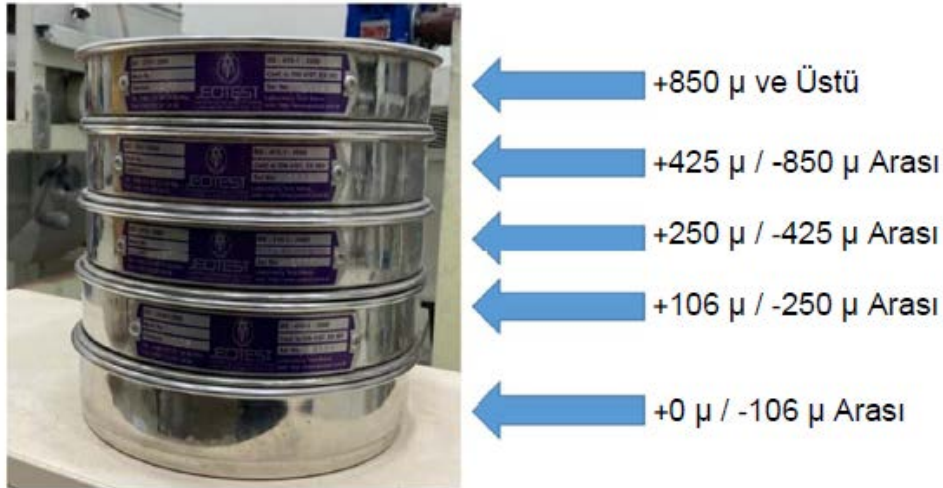


3.1. Numune Alma

Çalışma da söz konusu olan kromit atıklarının yeniden kazandırma işlemi için Mersin ilinde bulunan kromit zenginleştirme tesisinden 10 kg ağırlığında kromit zenginleştirme tesis atığı alınarak tekrardan kazandırılmak amacıyla Mersin Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği cevher zenginleştirme laboratuvarına getirilmiştir.

3.2. Eleme Yöntemi

Türdeş olmayan ve çeşitli tane ebatına sahip olan katı - katı karışımları ayırmada kullanılan basit bir yöntemdir. Bu çalışma kromit zenginleştirme tesisi atığından alınmış olan ürünleri tanecik boyutlarına göre ayırıştırma işlemi yapılmıştır. Bu yöntem için mikron (μ) boyutlarında ayırıştırma yapabilen elekler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Kullanılan elek ve ayrılan tane boyutları.

Kromit zenginleştirme tesisinden alınan 10 kg ağırlığındaki numune tane boyutlarına göre 2 'şer kilogram halinde ürünler elde edilmiştir. Elde edilen ürün ve atıkların içlerinde bulunan mineral oranlarını incelemek üzere 100 gram paketler halinde ayrılarak XRF analizine gönderilmiştir. Kalan ürünler ise metalik durumları incelenmek üzere manyetik seperatörde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Tablo 3.2. Eleme Sonuçları.

TANE BOYUTU	AĞIRLIK	SONUÇ
+ 850 μ ve Üstü	2 kilogram	Atık
+ 425 μ / - 850 μ	2 kilogram	Ürün
+ 250 μ / - 425 μ	2 kilogram	Ürün
+ 106 μ / - 250 μ	2 kilogram	Ürün
+ 0 μ / - 106 μ	2 kilogram	Ürün



Şekil 3.2. Eleklerden tane boyutlarına göre ayrılmış elek numuneleri.



Şekil 3.3. XRF analizi için tane boyutlarına göre ayrılmış elek numuneleri.

3.3. Manyetik Seperatör

Manyetik seperatörler genellikle hammaddelerde bulunan metali mıknatıs çeşitlerinin çekim yaptığı malzemeleri el ile tek tek ayıklamak yerine seperatör magnetleri sayesinde hızlıca ayıklama yapmanıza yarayan mıknatıs çeşitleridir.

Bu deneyde, elek yöntemi ile kromit cevher zenginleştirme tesis atıklarının tane boyutlarına ayrılarak elde edilen ürünler içerisinde bulunan manyetik alınganlıkları yüksek olan mineralleri (kromit, olivin gibi) ayıklama işlemi yapılmıştır. Kullanılan manyetik seperatör çeşidi ise yüksek alan şiddetli yaş manyetik seperatördür. Her bir mikron (μ) seviyesinden 500 gr numune alınmış olup, alınan numuneler manyetik seperatörde ayırma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan manyetik seperatör.

Tablo 3.3. Manyetik seperatör sonuçları.

TANE BOYUTU	SONUÇ	AĞIRLIK
+425 μ / -850 μ Arası	Manyetik Ürün	82 Gram
	Manyetik Atık	395 Gram
	Fire	23 Gram
+250 μ / -425 μ Arası	Manyetik Ürün	78 Gram
	Manyetik Atık	383 Gram
	Fire	39 Gram
+106 μ / -250 μ Arası	Manyetik Ürün	82 Gram
	Manyetik Atık	397 Gram
	Fire	21 Gram
+0 μ / -106 μ Arası	Manyetik Ürün	81 Gram
	Manyetik Atık	389 Gram
	Fire	30 Gram

**Şekil 3.5.** Manyetik seperatörden elde edilen ürün ve atık görselleri.

Kullanılan manyetik seperatör yaş manyetik seperatör olduğundan dolayı elde edilen ürün ve atıklar etüv fırınında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Manyetik seperatörden elde edilen ürün ve atıkların içlerinde bulunan metal oranlarını incelemek üzere 20 gram paketler halinde ayrılarak XRF analizine gönderilmiştir. Manyetik seperatörden elden edilen ürünler ise cevher zenginleştirme işleminin bir sonraki aşaması olan, bariyersiz sallantılı masada kullanılmak üzere ayrılmıştır.

3.4. Bariyersiz Sallantılı Masa

Sallantılı masada aynı eksen üzerinde yatay bir salınım yaparak üzerinden akışkan ve yoğunluk yardımı ile ayırır.

3.4.1. Bariyersiz Sallantılı Masa Tasarımı

Tez çalışmasında, bariyersiz sallantılı masa tasarımı yapılarak prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen bariyersiz sallantılı masada düşük mikron (μ)'lardaki cevherlerin yoğunluk farkına göre ayırma işlemi hedeflenerek imalat yapılmış prototip üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Prototip üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara sonraki bölümlerde yer verilmiştir.



Şekil 3.6. İmalatı gerçekleştirilen sallantılı masa.

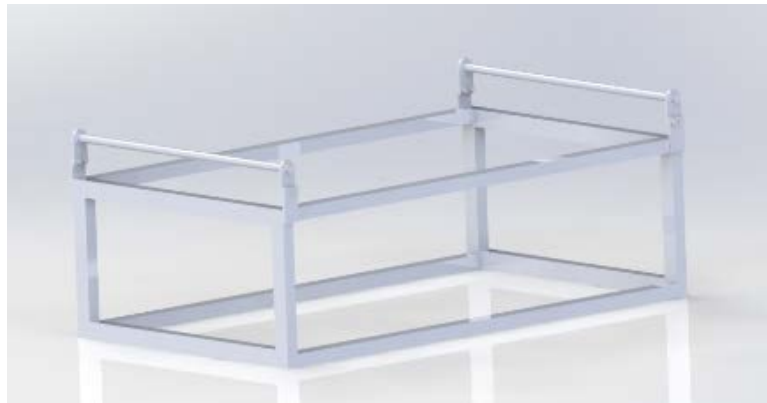
3.4.1.1 . Şase Tasarımı

Bariyersiz sallantılı masa tasarımı yapılırken laboratuvar ortamında kullanılacağı göz önünde bulundurulmuştur. Sallantılı masanın boyutları da bu doğrultuda 60 cm genişliğinde, 120 cm uzunluğunda ve 100 cm yüksekliğinde olması hedeflenerek laboratuvar ortamında bir kişinin rahat çalışabilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.7. Bariyersiz sallantılı masa şasesi katı model görünümü.

İmalatı gerçekleştirilen şase üzerine kulaklar ve üst tablada bulunan kızakların hareketinin sağlanmak amacıyla transmisyon demiri eklendi. Eklenen tüm parçalarda cıvata somun kullanılarak makinenin monte - demonte olması sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Bariyersiz sallantılı masa şase kulakları model görünümü.

3.4.1.2 . Hareketli Üst Tabla Tasarımı;

Bariyersiz sallantılı masanın hareket mekanizması rahat sağlamak amacıyla, şase üzerine bağlantısı yapılan transmisyon demiri üzerine lineer araba kızakları eklenerek mekanizmanın hareketinin rahat sağlanması amaçlanmıştır. Eklenen tüm parçalarda cıvata somun parçaları kullanılarak sistemin monte - demonte olması sağlanmıştır.



Şekil 3.9. Hareketli üst tabla katı model görünümü.

3.4.1.3. Cevher Ayırıştırma Tablası Ve Atık Havuzu

Cevher zenginleştirme işleminin yapılacağı, cevher ayırıştırma tablası sürekli su altında kalacağından ve uzun ömürlü olması açısından 304 kalite paslanmaz tercih edilmiştir. Ayrıca tabla eğimini ayarlamak amacıyla arka bölüm slot delik tercih edilerek tablaya eğim verilebilmeyi mümkün kılmıştır. Atık havuz kısmı ise ayırıştırma tablasından çıkan tüm atık malzemelerin toplanması amaçlanarak ayırıştırma tablası ile aynı boyutta yapılmıştır. Eklenen tüm parçalarda civata somun kullanılarak sistemin monte – demonte olması sağlanmıştır.



Şekil 3.10. Cevher ayırıştırma tablası ve atık havuzu katı model görünümü.

3.4.1.4 . Motor ve Kasnak Bölümü

Sistemin çalışma prensibine uygun aynı ekseninde yatay salınım hareketini sağlamak amacıyla motor eklenmesi yapılmıştır. Eklenen motor hızlı ve yavaş olmak üzere 2 farklı frekansı bulunmaktadır. Motorun dönme hareketini doğrusal hareketine dönüştürmek amacıyla kasnak ve kol mekanizmaları kullanılmıştır. Motor üzerine eklenen kasnak motordan aldığı dönme hareketini kol mekanizmasına iletmekte, kol mekanizması ise dönme hareketini doğrusal harekete çevirerek sistem çalışmasını sağlamaktadır. Eklenen tüm parçalarda civata somun parçaları kullanılarak sistemin monte – demonte olması sağlanmıştır.



Şekil 3.11. Bariyersiz sallantılı masa katı model çizimi.

3.4.1.5 . Su Tesisat Ekipmanları

Yapılan tasarıma uygun olacak şekilde sistemin etrafına su hattı çekilerek, çekilen hattın uç kısmına su girişini sağlamak amacıyla mekanik jaklı bağlantı uygulanmıştır.

3.4.1.6 . İlave Ekipmanlar

Tasarımı yapılan bariyersiz sallantılı masanın kullanım kolaylığı ve emniyetini sağlamak amacıyla bazı ilave ekipmanlar eklenmiştir. Bunlar ise şu şekildedir;

- Tasarımı yapılan sistemin rahat taşınabilmesi açısından frenli, oynar başlı tekerler tercih edilmiştir.
- Motor ekipmanlarını su ve dış hava koşullarından korumak amacıyla motor koruma kapağı eklenmiştir.
- Sistemin elektrik aksamı kapalı bir pano içerisine alınarak, pano üzerine 2 adet pako şalteri eklenmiştir. Pako şalterlerinden bir tanesi start - stop işlemini sağlamak amacıyla eklenmiş olup, diğeri ise motor hızını ayarlamak amacıyla eklenmiştir.
- Sistem motorunu yüksek voltajlardan korumak amacıyla sisteme adaptör ilavesi yapılmıştır.
- Yapılan sistem tasarımı montaj-demontaj ilkesi temel alınarak, bütün parçaları yenilenebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tablo 3.4. Bariyersiz sallantılı masa genel özellikleri.

Strok Boyu:	40 mm
Motor Devir Hızı:	55 rpm
Tabla Derinliği:	100 mm
Masa Ebatları:	600 mm x 1200 mm x 1000 mm



Şekil 3.12. Bariyersiz sallantılı masa.

3.4.2. Bariyersiz Sallantılı Masa Deneyleri

Kromit cevheri zenginleştirme tesisinden alınan atık numune içerisinde %1 - %2 oranında kalan kromit atığının geri kazanımı hedeflenmiş olup, gerekli kromit atık numunesinin alınmasının ardından yeniden kazandırma işlemi için sırası ile eleme yöntemi ve manyetik seperatör ile cevherin boyut ve metalik durumuna göre ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Manyetik seperatörden ürün olarak elde edilen numunelerin içerisinde bulunan kromit cevherinin elde edilmesi için bariyersiz sallantılı masa üzerinde işleme tabii tutulmuştur.

Manyetik seperatör de 4 farklı mikron (μ) boyutunda ürün olarak elde edilen ürünler bariyersiz sallantılı masa üzerinde yoğunluklarına göre zenginleştirme işlemine tabii tutularak, yoğunlukları düşük mineraller, suyun da akışkanlık etkisi ile ayrışarak yoğunluğu fazla olan mineraller (kromit vs.) tabla üzerinde ayrılmıştır.



Şekil 3.13. Sallantılı masa sonucu.

Şekil 3.13. 'de görülebileceği gibi, sallantılı masa işlemi sonrasında renk tonu siyah ve siyaha yakın olan yoğunluğu yüksek mineraller olup, ürün olarak değerlendirilmiştir. Açık renk tonu olan yoğunluğu düşük mineraller olup, atık olarak değerlendirilmiştir. Yapılan işlemler 4 farklı mikron (μ) boyutunda yapılmış olup, 4 ürün 4 atık elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Sallantılı masa deney sonuçları.

+ 425 μ / - 850 μ	Masa Ürün
+ 425 μ / - 850 μ	Masa Atık
+ 250 μ / - 425 μ	Masa Ürün
+ 250 μ / - 425 μ	Masa Atık
+ 106 μ / - 250 μ	Masa Ürün
+ 106 μ / - 250 μ	Masa Atık
+ 0 μ / - 106 μ	Masa Ürün
+ 0 μ / - 106 μ	Masa Atık

Bariyersiz sallantılı masadan alınan ürünler yaş olduğundan dolayı elde edilen ürün ve atıklar etüv fırınında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Sallantılı masadan elde edilen ürün ve atıkların içlerinde bulunan metal oranlarını incelemek üzere 20 gram paketler halinde ayrılarak XRF analizine gönderilmiştir.



Şekil 3.14. Bariyersiz sallantılı masa sonuç numuneleri.

Alınan numune, elemenden elde edilen numuneler, manyetik separatörden elde edilen ürün ve atıklar, bariyersiz sallantılı masadan elde edilen ürün ve atıklar olmak üzere toplamda 21 adet numunenin XRF analizi yapılmış olup, numuneler ile alakalı gerekli yorum ve incelemeleri sonraki bölümde yer verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde içerisinde yaklaşık %1-%2 kromit minerali bulunan krom zenginleştirme tesisi atıklarının yeniden zenginleştirme deneylerinin XRF analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Deney sonuçlarının yorumlanması ve tez kapsamında geliştirilen bariyersiz sallantılı masanın verimlilik analizleri yapılmış olup, yapılan çalışmalarda XRF analiz sonuçları alınarak yorumlanmıştır.

4.1. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde yapılan deneylerin XRF analiz sonuçları paylaşılmıştır.

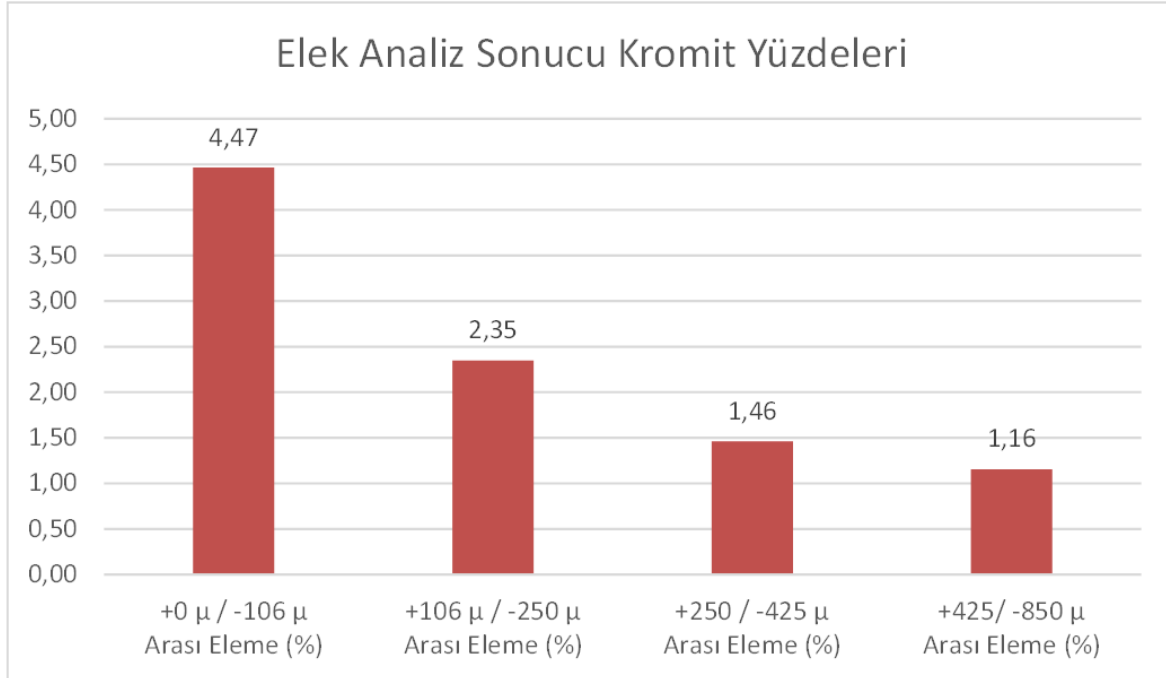
Tablo 4.1. Kromit zenginleştirme tesis atığı içerisinde bulunan element oranları.

Kromit Cevher Zenginleştirme Atığı XRF Analiz Sonuçları	
Element	Kromit Cevher Zenginleştirme Atığı (%)
Mg	12,371
Al	0,212
Si	13,513
S	0
Cl	0,039
Ca	0,279
V	0,004
Cr	0,772
FeCr2O4	1,66
Mn	0,066
Fe	4,77
Ni	0,244
Zn	0,002
Bal	67,724

Tablo 4.1. 'de görüldüğü üzere kromit zenginleştirme tesis atığından alınan numune içerisinde bulunan elementlerin yüzde (%) oranları verilmiştir. Yapılan deney ve çalışmalarda atık içerisinde bulunan kromit mineralinin yeniden kazanım işlemleri yapılmıştır.

Tablo 4.2. Eleme sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.

Elek XRF Analiz Sonuçları				
Element	+0 μ / -106 μ Arası Eleme (%)	+106 μ / -250 μ Arası Eleme (%)	+250 / -425 μ Arası Eleme (%)	+425 / -850 μ Arası Eleme (%)
Mg	12,694	12,48	10,878	10,979
Al	0,363	0,293	0,265	0,233
Si	12,987	13,041	13,367	11,936
S	0	0	0	0
Cl	0,04	0,044	0,03	0,036
Ca	0,48	0,573	0,508	0,518
V	0,008	0,007	0,005	0,006
Cr	2,075	1,091	0,679	0,537
FeCr2O4	4,47	2,35	1,46	1,16
Mn	0,087	0,074	0,055	0,055
Fe	5,016	4,85	5,084	4,644
Ni	0,22	0,238	0,258	0,226
Zn	0,004	0,002	0	0
Bal	65,988	67,303	68,856	70,825



Şekil 4.1. Eleme sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kromit oran yüzdeleri.

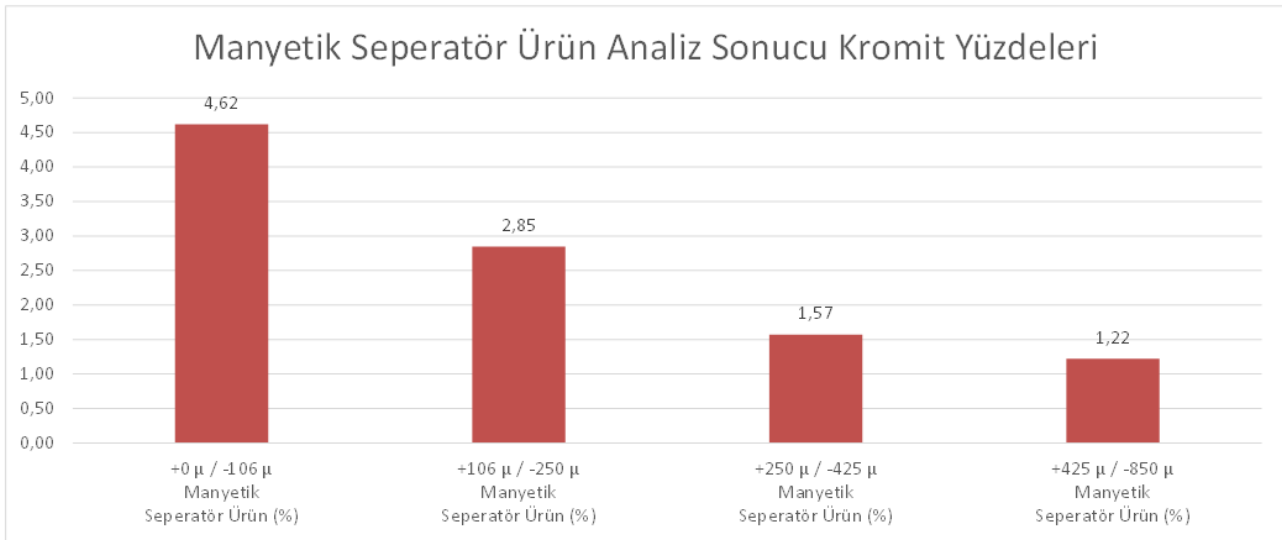
Kromit zenginleştirme tesisinden alınan tesis atığının cevher zenginleştirme işlemlerine deneyler kısmında yer verildi. Alınan atık ilk olarak kuru elekler yardımı ile tanecik boyutlarına

göre ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir boyutun XRF analiz sonuçlarına tablo 4.2.'de yer verilmiştir.

Bu atığın üretildiği kromit cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan bariyerli sallantılı masanın dezavantajı ince tanecik boyutlarında atığa daha fazla kromit kaçırmasıdır. Şekil 4.1.'de görebileceği üzere $+0 \mu / -106 \mu$ arasındaki boyutta kromit oranı %4,47 olup, boyut büyüdükçe oran küçülerek $+425 \mu / -850 \mu$ mikrona bu oran %1,16'ya düşmüştür.

Tablo 4.3. Manyetik seperatör sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.

Manyetik Seperatör XRF Analiz Sonuçları								
Element	+0 μ / -106 μ Manyetik Seperatör Ürün (%)	+106 μ / -250 μ Manyetik Seperatör Ürün (%)	+250 μ / -425 μ Manyetik Seperatör Ürün (%)	+425 μ / -850 μ Manyetik Seperatör Ürün (%)	+0 μ / -106 μ Manyetik Seperatör Atık (%)	+106 μ / -250 μ Manyetik Seperatör Atık (%)	+250 μ / -425 μ Manyetik Seperatör Atık (%)	+425 μ / -850 μ Manyetik Seperatör Atık (%)
Mg	14.916	14.433	14.786	11.744	14.631	12.201	11.943	10.919
Al	0.56	0.377	0.312	0.356	0.511	0.292	0.307	0.204
Si	13.131	13.93	14.11	13.052	13.819	13.088	13.207	12.84
S	0.017	0.018	0.013	0.013	0.019	0.019	0.014	0.008
Cl	0.061	0.043	0.057	0.038	0.041	0.033	0.038	0.031
Ca	0.49	0.432	0.519	0.467	0.507	0.365	0.312	0.419
V	0.008	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004
Cr	2.146	1.322	0.706	0.55	2.001	1.051	0.776	0.421
FeCr2O4	4.62	2.85	1.57	1.22	4.31	2.26	1.67	0.91
Mn	0.085	0.079	0.066	0.063	0.087	0.074	0.057	0.057
Fe	5.005	5.079	5.227	4.72	5.161	4.737	4.685	4.533
Ni	0.225	0.246	0.262	0.229	0.231	0.23	0.229	0.229
Zn	0.005	0.004	0.006	0	0.004	0.003	0.002	0
Bal	63.324	64.026	63.93	68.762	62.952	67.897	68.42	70.331



Şekil 4.2. Manyetik seperatör sonucunda farklı boyut numuneleri kromit oran yüzdeleri.

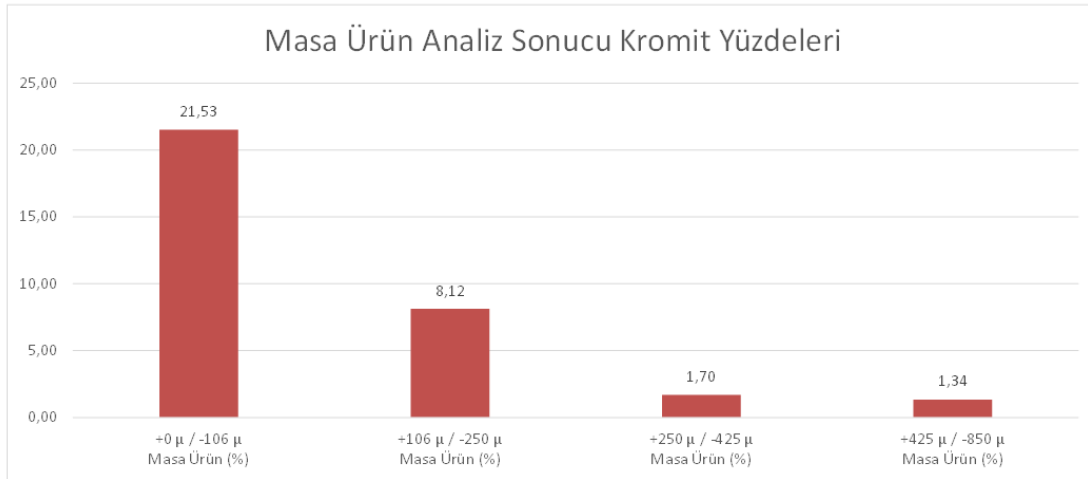
Elek işleminden tanecik boyutlarına göre ayrılmış olan kromit cevher atığı manyetik seperatöre alınarak her mikron boyutundan ürün ve atık elde edilmiştir. Elde edilen ürünler bariyersiz sallantılı masada cevher zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Tablo 4.3.'de manyetik seperatör sonuçlarına yer verilmiştir.

Şekil 4.2.' de manyetik seperatör işlemi ardından elde edilen ürünler içerisinde bulunan kromit yüzdeleri gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Masa sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kantitatif XRF elementel analiz sonuçları.

Masa XRF Analiz Sonuçları								
Element	+0 μ / -106 μ Masa Ürün (%)	+106 μ / -250 μ Masa Ürün (%)	+250 μ / -425 μ Masa Ürün (%)	+425 μ / -850 μ Masa Ürün (%)	+0 μ / -106 μ Masa Atık (%)	+106 μ / -250 μ Masa Atık (%)	+250 μ / -425 μ Masa Atık (%)	+425 μ / -850 μ Masa Atık (%)
Mg	18,122	16,548	12,178	12,884	13,121	11,085	11,843	12,782
Al	1,461	0,8177	0,301	0,411	0,351	0,256	0,282	0,339
Si	12,837	14,943	13,061	13,815	13,86	13,298	13,148	13,087
S	0,0037	0,042	0,027	0,017	0,027	0,031	0,022	0,02
Cl	0,059	0,074	0,036	0,053	0,041	0,038	0,036	0,038
Ca	0,707	0,593	0,318	0,362	0,362	0,407	0,285	0,179
V	0,021	0,01	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005
Cr	10,001	3,773	0,788	0,622	0,509	0,677	0,477	0,527
FeCr2O4	21,53	8,12	1,70	1,34	1,10	1,46	1,03	1,13
Mn	0,203	0,14	0,072	0,071	0,063	0,07	0,063	0,047
Fe	8,231	6,302	4,733	4,88	5,09	4,855	4,647	4,662
Ni	0,008	0,271	0,234	0,231	0,242	0,241	0,225	0,233
Zn	0,055	0,012	0,006	0,004	0,005	0,007	0,006	0,003
BaI	47,908	56,436	68,238	66,63	66,308	69,025	68,959	68,075

Tablo 4.4 'de kromit cevher zenginleştirme işlemlerinin tamamlanmasının ardından elde edilen element ve kromit oranları görülmektedir. Kromit oranlarının detaylı gösterimi ise şekil 4.3.'de gösterilmiştir. Bu sonuçların analiz yorumları aşağıda bulunan grafiklerde detaylı bir şekilde işlenmiştir.

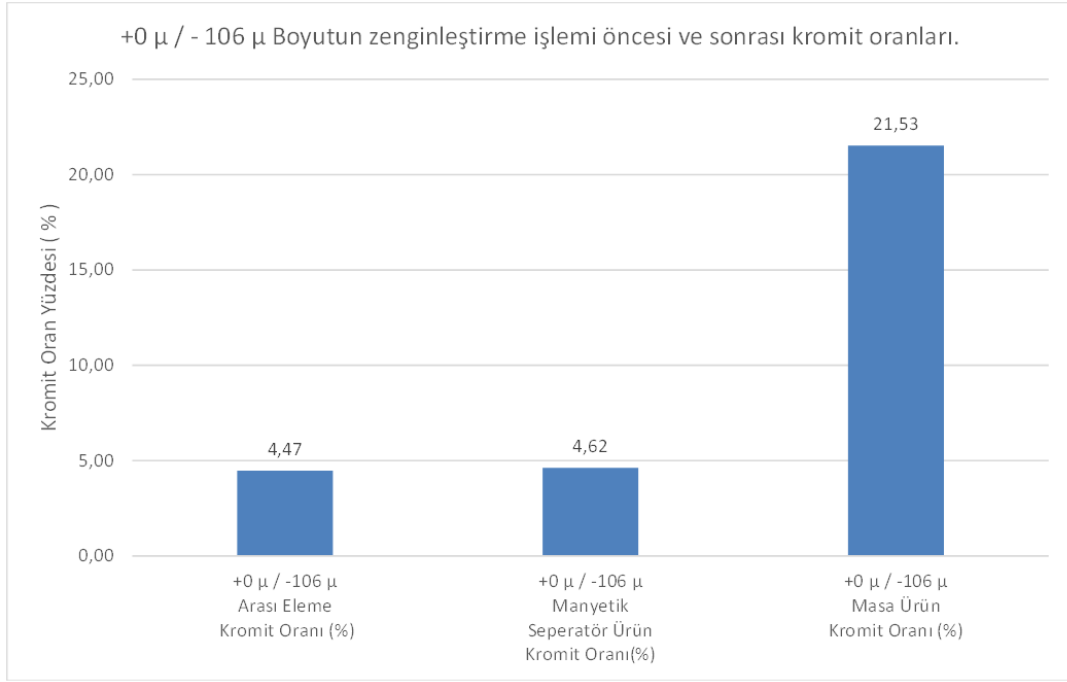


Şekil 4.3. Masa sonucunda farklı boyuttaki numunelerin kromit oran yüzdeleri.

4.2. Deneysel Sonuçların Yorumlanması

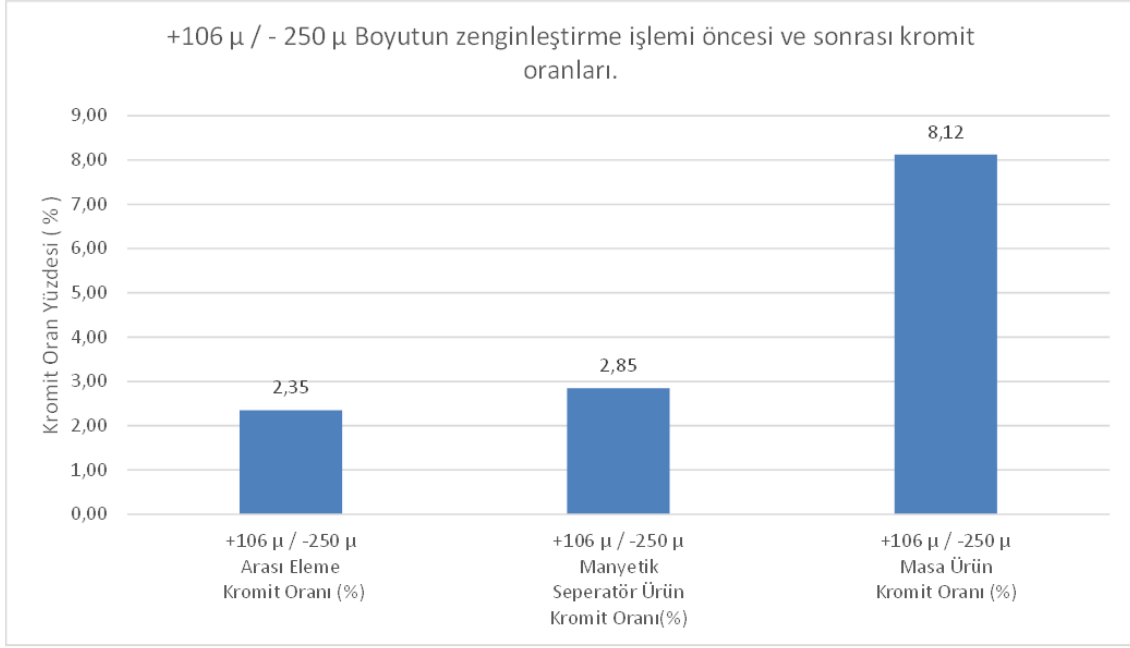
Kromit zenginleştirilme sistemlerinin tasarımı çalışma başlığı altında yapılan deneylerin ve deney sonuçlarının grafikler eşliğinde yorumlanarak, kromit cevher zenginleştirme tesisi atığının yeniden kazanılma durumunun mümkün olup olmadığı bu bölümde işlenmiştir.

Kromit cevher zenginleştirme tesisinden alınmış olan numunenin elek işleminde boyut ayırma işlemine tabi tutularak eleklerde 4 farklı boyut olarak ayrılan ürünler manyetik seperatör ve bariyersiz sallantılı masalardan geçirilmiştir. 4 Farklı boyuttaki ürünler içerisinde bulunan kromit oranı dağılım grafikleri aşağıda paylaşılmıştır.

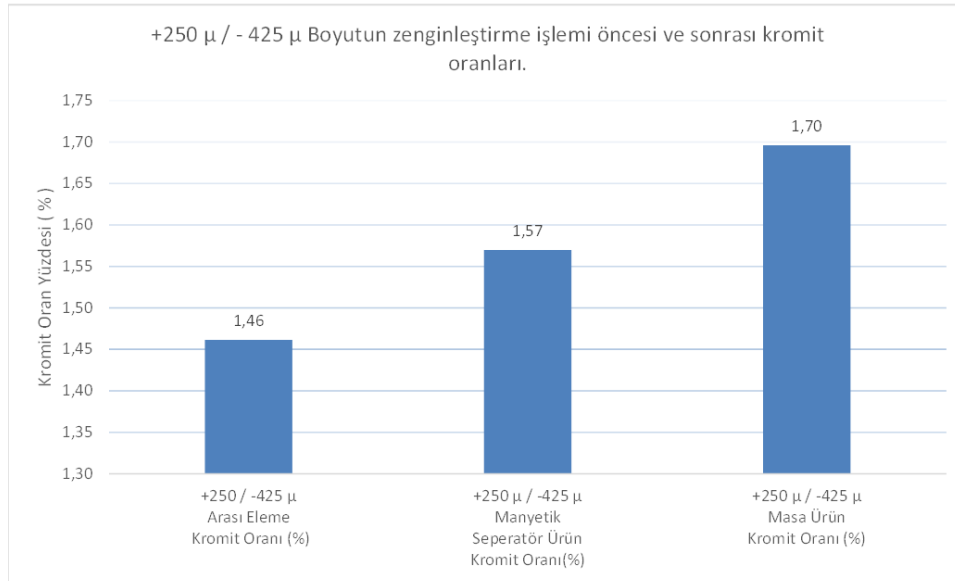


Şekil 4.4. +0 μ / -106 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.

+0 μ / -106 μ arası numunenin eleme işleminin ardından kromit oranı %4,47, manyetik seperatör işleminin ardından kromit oranı %4,62, bariyersiz sallantılı masa işlemlerinin ardından kromit oranının %21,53 olduğu gözlemlendi.



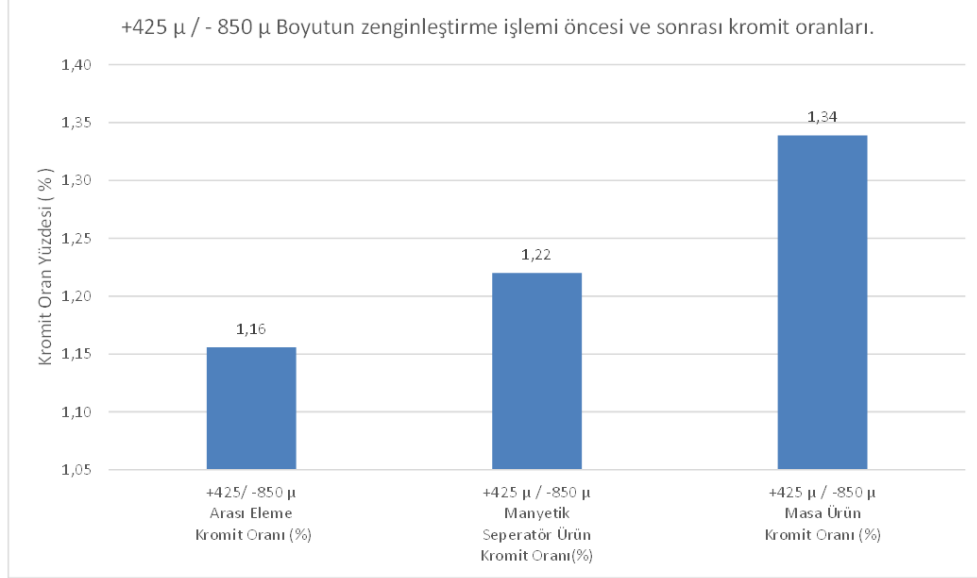
Şekil 4.5. +106 μ / -250 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.



Şekil 4.6. +250 μ / -425 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.

+106 μ / -250 μ arası numunenin eleme işleminin ardından kromit oranı %2,35, manyetik seperatör işleminin ardından kromit oranı %2,85, bariyersiz sallantılı masa işlemlerinin ardından kromit oranının %8,12 olduğu gözlemlendi.

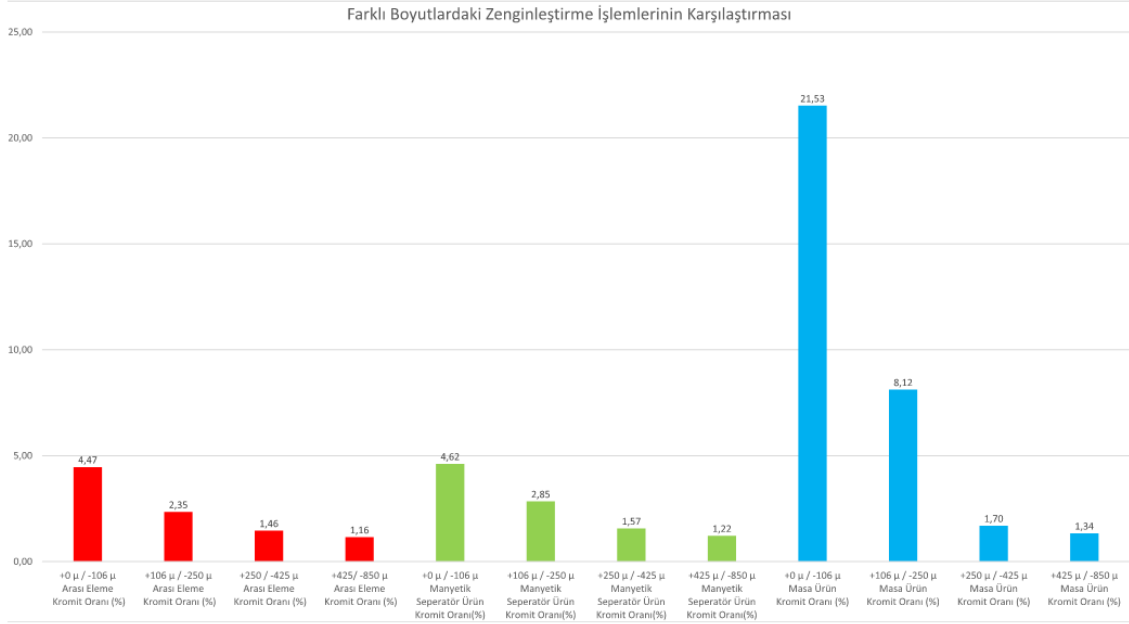
+250 μ / -425 μ arası numunenin eleme işleminin ardından kromit oranı %1,46, manyetik seperatör işleminin ardından kromit oranı %1,57, bariyersiz sallantılı masa işlemlerinin ardından kromit oranının %1,70 olduğu gözlemlendi.



Şekil 4.7. +425 μ / -850 μ Boyutun zenginleştirme işlemi öncesi ve sonrası kromit oranları.

+425 μ / -850 μ arası numunenin eleme işleminin ardından kromit oranı %1,16 iken manyetik seperatör işleminin ardından kromit oranı %1,22 olup, bariyersiz sallantılı masa işlemlerinin ardından kromit oranının %1,34 olduğu gözlemlendi.

Kromit cevher zenginleştirme tesislerinde zenginleştirme işlemlerinin son basamağı olan bariyerli sallantılı masanın dezavantajı ince tanecik boyutlarında atığa fazla kromit kaçırmasıdır. Bu atıkların tekrar zenginleştirilerek bunlardan kromit kazanılması tezin amacıdır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler ışığında kromit cevher zenginleştirme tesis atığının manyetik seperatör ardından bariyersiz sallantılı masanın kullanımı ile zenginleştirme işlemlerinin mümkün olduğu saptanmıştır. Bir kıyaslama yapılacak olursa, tesis atığında +0 μ / -106 μ mikron aralığındaki kromit yüzdesi %4,47 iken bariyersiz sallantılı masada son bulan zenginleştirme sonucuna göre elde edilen kromit ürün yüzdesi %21,53 olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan cevher zenginleştirme atığının geri dönüşümünün mümkün olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Farklı boyutlardaki zenginleştirme işlemlerinin kıyaslanması.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Türkiye’de rezerv oranı yüksek olan kromit mineralinin ve zenginleştirme tesislerin sayıları göz önüne alındığında kromit cevher zenginleştirme tesislerinin atık oranları azımsanamayacak kadar fazladır. Kromit cevher zenginleştirme tesis atığı içerisinde yer alan %1 - %2 oranındaki kromit cevherinin geri kazanımı yapılarak ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlayacağı aşikârdır.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler ve deneylerin analiz sonuçlarından yola çıkarak, tasarımı yapılan bariyersiz sallantılı masanın cevher atığının geri dönüşümünde sağladığı kazanç grafiklerde göze çarpmaktadır. Girenler ürünler ve atıkların boyut ayırma, manyetik ayırma ve geliştirilen bariyersiz sallantılı masanın birlikte kullanılması ile bu atıklardan kromit geri kazanımının potansiyelinin olduğu saptanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1]. Adana Krom Çalıştay (2018). Yılmaz, M. Konuşması. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Krom Çalıştay.
- [2]. Enerji Portalı. 17 Nisan 2021 tarihinde www.enerjiportali.com/kromnedir-nerelerde-kullanilir/ adresinden erişildi.
- [3]. Keski, G. (2008). *Kromitin grafitle redüksiyonuna mekanik aktivasyonun etkisinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [4]. T.C Kalkınma Bakanlığı (2018). On Birinci Kalkınma Planı, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyon Raporu. Ankara.
- [5]. Devlet Planlama Teşkilatı (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Kurulu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- [6]. Papp J,F. (2007). *Chromium. A National Mineral Commodity Perspective*, Report: USGS Numbered Series, Open-File Report. Virginia
- [7]. Turgut, B. (2008). *Düşük tenörlü karabuhran kromit zenginleştirilebilirliğinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [8]. MTA, (2013). Maden rezervleri. 20 Nisan 2021 tarihinde <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-rezervleri> adresinden erişildi.
- [9]. Maden Tetkik Arama, Maden Haritaları, Türkiye Krom yatakları. 11 Mayıs 2021 tarihinde www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/krom.jpg adresinden erişildi.
- [10]. Gence, N. (2008). *Elazığ-Kefdağı kromitlerinin zenginleştirilmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [11]. Deniz, V. (1992). *Burdur-Yeşilova yöresi kromitlerinin zenginleştirilmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [12]. Önal, G. ve Ateşok, G. (1994). *Cevher hazırlama el kitabı*. İstanbul: Yurt madenciliği geliştirme vakfı.
- [13]. Karaca, E. (2010). *Metalik maden zenginleştirme ve tesislerinin proses atıklarının atık barajlarında depolanması*. Yayımlanmamış uzmanlık tezi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [14]. Tabazık, T. (2019). *Taguchi yöntemi kullanılarak Aladağ (Adana) kromlarının zenginleştirilmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- [15]. Önal, G. (1980). *Cevher hazırlamada flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemleri*, İstanbul.
- [16]. Karaelmas, (2010). Cevher Hazırlama II Laboratuvar Ders Notu. Zonguldak: Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü.
- [17]. Ünal Mühendislik ve Makine Sanayi. 12 Mayıs 2021 tarihinde unalmuhendislik.com/index.php/anasayfa/urunler/cevher-zenginlestirme-cihazlari/uc-kompartimanli-jig/ adresinden erişildi.
- [18]. Wills, B.A., Napier-Munn, T. (2006). *Wills' mineral processing technology*. butterworth-heinemann. Oxford.
- [19]. Güney, A. (1990). *Etibank Üçköprü krom zenginleştirme tesisi artıklarından küçük boyutlu kromitin zenginleştirilmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [20]. Tolun, R. (1960). *Minerallerin ayrılma prensipleri ve maden sanayiindeki tatbikatı*. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- [21]. Çilingir, Y., Çiçek, T. (2006). *Demir cevherleri ve zenginleştirme yöntemleri*. İzmir
- [22]. Kumar, S. (2015). Magnetic separation studies on ferruginous chromite fine to enhance Cr:Fe ratio. Berlin.
- [23]. Dobbins, M., Donenico, J., and Dunn, P. A. (2007). *A discussion of magnetic separation techniques for concentrating ilmenite and chromite ores*. USA.
- [24]. Tekinalp, İ. (2008). *Flotasyon Performansına etki eden kinetik özellikler ile yüzebilirlik değişkenleri arasındaki ilişkinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- [25]. Aksarı, B. (1998). Flotasyon kolonları temel çalışma prensipleri ve ayırma işlemine etki eden parametreler. *Madencilik Dergisi*, 21-40.

- [26]. Bentli, İ. (2001). *Flotation and flotation machines*. Journal of Scientific Reports-A. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi.
- [27]. Cöcen, Ü. Kimyasal Metalurji Ders Notları. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Ana Bilim Dalı.
- [28]. Kıdım, F.B. (2009). *Düşük tenörlü krom cevherlerinin zenginleştirilmesinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

