

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KNELSON SANTRİFÜJ AYIRICISI İLE KOP (ERZURUM)
KROMİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ozan OSMANLI

HAZİRAN 2019
UŞAK

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KNELSON SANTRİFÜJ AYIRICISI İLE KOP (ERZURUM)
KROMİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ozan OSMANLI

UŞAK 2019

Ozan OSMANLI tarafından hazırlanan, “KNELSON SANTRİFÜJ AYIRICISI İLE KOP (ERZURUM) KROMİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin, Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Selçuk SAMANLI

.....

Tez Danışmanı, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/çokluğu ile Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bahri ERSOY

.....

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Selçuk SAMANLI

.....

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özcan ÖNEY

.....

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih: /..... / 2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

Ozan OSMANLI



**KNELSON SANTRİFÜJ AYIRICISI İLE KOP (ERZURUM)
KROMİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ozan OSMANLI

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2019

ÖZET

Bu çalışmada; Erzurum Aşkale Kop mevkiinden temin edilen kromit numunesinin laboratuvar tipi KC-MD3 model Knelson santrifüj ayırıcısı ile kazanımı üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla; pülp besleme hızı (lt/dk), yıkama su miktarı (lt/dk), pülp katı oranı (%), hazne dönüş hızı (dev/dk) ve tane boyutu (mikron) parametreleri değişken olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, %20 pülp katı oranı ve 800 devir hazne dönüş hızında en yüksek kromit konsantresi %54,68 Cr₂O₃ tenörle elde edilmiştir. En yüksek konsantre verim değerine ise (%76,85); 6 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, %20 pülp katı oranı ve 1080 devir/dk hazne dönüş hızında ulaşılmıştır.

Çalışmada, üç faktörlü Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak, en yüksek kromit tenörü ve en yüksek verim elde edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan modelleme ve optimizasyon çalışmaları sonucunda, 12 lt/dk yıkama su miktarı, %21,05 pülp katı oranı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı ve 1124,57 dev/dk hazne dönüş hızı ile %50,45 Cr₂O₃ tenörlü konsantre, %74,24 verimle elde edilmiştir.

Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : Gravite ayırımı, knelson ayırıcısı, kromit cevheri
Sayfa Adedi : 87
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Selçuk SAMANLI

**AN INVESTIGATION OF CHROMITE RECOVERY FROM KOP (ERZURUM) ORE
BY KNELSON CENTRIFUGAL SEPARATOR**

(M.Sc. Thesis)

Ozan OSMANLI

**UŞAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2019

ABSTRACT

In this study, the recovery of chromite from Erzurum Askale Kop ore was experimentally investigated by using laboratory type KC-MD3 model Knelson centrifuge separator. For this purpose, pulp feed rate (lt/min), wash water amount (lt/min), pulp density (%), bowl rotation speed (rpm) and particle size (micron) parameters were handled as variables. As a result of experimental studies, the highest chromite concentration grade of 54.68% Cr₂O₃ was obtained via the conditions of 12 lt/min wash water amount, 1.5 lt/min pulp feed rate, 20% pulp solid ratio and 800 rpm rotation speed. The best chromite recovery of 76.85% was reached at the conditions of 6 lt/min wash water amount, 20% pulp solid ratio, 1.5 lt/min pulp feed rate and 1080 rpm rotation speed.

The modeling and optimization studies were conducted in the study to obtain the highest chromite grade and recovery by using three-factor Box-Behnken experimental design methods. As a result of modeling and optimization studies, it was revealed that the best chromite concentration grade of 50.45% Cr₂O₃ was obtained with 74.24% efficiency via the conditions of 12 lt/min wash water amount, 21.05% pulp density, 1.5 lt/min pulp feed rate and 1124,57 rpm rotation speed.

Science Code :
Key Words : Gravity beneficiation, knelson centrifugal separator, chromite ore
Page Number : 87
Adviser : Prof. Dr. Selcuk SAMANLI

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamda, katkılarıyla beni yönlendiren Danışmanım Prof. Dr. Selçuk SAMANLI'ya, deneysel verilerin optimizasyonu ve modellemesi üzerine yardımlarından dolayı Dr. Öğretim Üyesi Özcan ÖNEY'e, ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ozan OSMANLI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KROM.....	2
2.1. Kromun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	2
2.2. Krom Mineralleri ve Yantaşları.....	3
2.2.1. Kromit.....	3
2.2.2. Kromit Yantaşları.....	3
2.3. Krom Yataklarının Jeolojisi.....	4
2.4. Türkiye’de Krom Yatakları.....	5
2.5. Dünya’da ve Türkiye’de Kromit Üretimi, Rezerv ve Fiyat Durumu.....	6
2.6. Kromun Kullanım Alanları.....	8
2.6.1. Metalürji Sanayi.....	9
2.6.2. Refrakter ve Döküm Sanayi.....	9
2.6.3. Kimya Sanayi.....	10
3. KROMİT ZENGİNLEŞTİRME.....	12
3.1. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcılar.....	12
3.1.1. Knelson Santrifüj Ayırıcısı.....	13
3.1.1.1. Knelson santrifüj ayırıcının çalışma prensibi.....	13
3.1.1.2. Knelson santrifüj ayırıcı tipleri.....	15

3.1.1.2.1. Kesikli tip knelson santrifüj ayırıcılar	15
3.1.1.2.2. Sürekli tip knelson santrifüj ayırıcılar	18
3.1.2. Falcon Ayırıcısı.....	19
3.1.3. Kelsey Jigi.....	20
3.1.4. Multi Gravite Ayırıcısı.....	21
4. KROMİT İLE YAPILAN LİTERATÜRDEKİ ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI....	22
4.1. Knelson Santrifüj Ayırıcı Dışındaki Zenginleştirme Çalışmaları	22
4.2. Knelson Santrifüj Ayırıcısı ile Yapılan Çalışmalar	24
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
5.1. Kromit Numunesinin Temini.....	25
5.2. Kromit Numunelerin Hazırlanması	25
5.3. Kromit Numunelerinin Özellikleri	26
5.4. Kimyasal Analiz Yöntemi	28
5.5. Knelson Santrifüj Ayırıcı Testleri	29
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	30
6.1. Besleme Miktarının Zenginleştirmeye Etkisi	30
6.2. Pülp Katı Oranının Zenginleştirmeye Etkisi	31
6.3. Hazne Dönüş Hızının Zenginleştirmeye Etkisi	33
6.4. Pülp Besleme Hızının Zenginleştirmeye Etkisi.....	34
6.5. Hazne Dönüş Hızı ve Yıkama Su Miktarındaki Değişimin Zenginleştirmeye Etkisi ...	36
6.5.1. 800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	36
6.5.2. 1080 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	37
6.5.3. 1300 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	39
6.5.4. 1500 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	40

6.5.5. 1800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	42
6.6. Hazne Dönüş Hızı ve Tane Boyutundaki Değişimin Zenginleştirmeye Etkisi	43
6.6.1. 800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması	44
6.6.2. 1300 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması	46
6.6.3. 1500 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması	47
6.6.4. 1800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması	49
6.7. Modelleme ve Optimizasyon.....	50
6.7.1. Cevap Yüzeyi Yöntemi.....	53
6.7.2. Box-Behnken Deneysel Tasarımı	54
6.7.3. Modelleme ve Optimizasyon Uygulaması.....	54
6.7.3.1. Konsantre tenörü	57
6.7.3.2. Konsantre verimi	60
6.7.3.3. Optimizasyon	64
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	68
EKLER	72
EK-1 Kromit Cevherinin Knelson Santrifüj Ayırıcısı ile Zenginleştirilmesinde Modelleme ve Optimizasyon Çalışması	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye'deki krom yataklarının dağılımı	6
Şekil 3.1. Knelson santrifüj ayırıcının kesit görünümü	14
Şekil 3.2. Labaratuvar tipi Knelson santifüj ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüşü.	16
Şekil 3.3. Kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcı	16
Şekil 3.4. Sürekli tip Knelson santrifüj ayırıcı	19
Şekil 5.1. Deneysel kullanımlarda kullanılan kromit cevheri numune örneklerinin görüntüleri.....	26
Şekil 5.2. Numunelere ait makroskobik kesit görüntüsü.	27
Şekil 5.3. Numunelere ait mikroskobik kesit görüntüsü.	27
Şekil 5.4. Knelson santrifüj ayırıcı zenginleştirme deney akım şeması.	29
Şekil 6.1. Besleme miktarının konsantreye etkisi	31
Şekil 6.2. Pülp katı oranının konsantreye etkisi	32
Şekil 6.3. Hazne dönüş hızının konsantreye etkisi.....	34
Şekil 6.4. Pülp besleme hızının konsantreye etkisi	35
Şekil 6.5. 800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi	37
Şekil 6.6. 1080 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi	38
Şekil 6.7. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi	40
Şekil 6.8. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi	41
Şekil 6.9. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi	43
Şekil 6.10. 800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi	45
Şekil 6.11. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi	47
Şekil 6.12. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi	48
Şekil 6.13. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi	50
Şekil 6.14. Deneysel modellemede kullanılan strateji	52
Şekil 6.15. Üç faktörlü Box-Behnken deneysel tasarımı	54
Şekil 6.16. Konsantre tenörü için gözlenen ve hesaplanan değerler	58
Şekil 6.17. Dönüş hızı ve su miktarının konsantre tenörüne etkisi	59
Şekil 6.18. Katı oranı ve su miktarının konsantre tenörüne etkisi	59
Şekil 6.19. Katı oranı ve dönüş hızının konsantre tenörüne etkisi	60
Şekil 6.20. Konsantre verimi için gözlenen ve hesaplanan değerler.....	62
Şekil 6.21. Dönüş hızının ve su miktarının konsantre verimine etkisi.....	63

Şekil 6.22. Katı oranı ve su miktarının konsantre verimine etkisi	63
Şekil 6.23. Dönüş hızının ve katı oranının konsantre verimine etkisi.....	64



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	2
Çizelge 2.2. Kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, gang ve kılavuz mineralleri.....	4
Çizelge 2.3. En büyük kromit üreticisi konumundaki ülkelerin rezerv miktarları.....	7
Çizelge 2.4. En büyük beş üretici ülkenin 2013-2017 yılları arasındaki kromit üretimi	8
Çizelge 2.5. 2015-2019 yılları arasında kromit fiyatları	8
Çizelge 3.1. G kuvvetindeki değişimler.	15
Çizelge 3.2. Knelson kesikli tip santrifüj ayırıcı modelleri ve özellikleri	17
Çizelge 3.3. Knelson sürekli tip santrifüj ayırıcı modelleri ve özellikleri	18
Çizelge 5.1. Öğütülmüş numunelerin elek analiz sonuçları.....	26
Çizelge 6.1. Besleme miktarının zenginleştirmeye etkisi	30
Çizelge 6.2. Pülp katı oranının zenginleştirmeye etkisi	32
Çizelge 6.3. Hazne dönüş hızının zenginleştirmeye etkisi.....	33
Çizelge 6.4. Pülp besleme hızının zenginleştirmeye etkisi	35
Çizelge 6.5. 800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi .	36
Çizelge 6.6. 1080 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi	38
Çizelge 6.7. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi	39
Çizelge 6.8. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi	41
Çizelge 6.9. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi	42
Çizelge 6.10. Deneyleerde kullanılan besleme mallarının elek analiz sonuçları.....	44
Çizelge 6.11. 800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi	45
Çizelge 6.12. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi	46
Çizelge 6.13. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi	48
Çizelge 6.14. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi	49
Çizelge 6.15. Box-Behnken deneysel tasarımı için bağımsız değişkenler ve seviyeleri	55
Çizelge 6.16. Deneyleerde kullanılan bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri ile bağımlı değişkenlerin gözlenen değerleri.....	56
Çizelge 6.17 Model özet istatistikleri.....	57
Çizelge 6.18. Konsantre tenörü için varyans analizi (ANOVA).....	57
Çizelge 6.19. Konsantre verimi için varyans analizi (ANOVA).....	61
Çizelge 6.20. Optimal bağımsız değişken değerleri ve cevap sonuçları	65

1. GİRİŞ

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral ise kromittir. Kromit, küp sisteminde kristallenir. Doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$ olarak verilmektedir [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 2017 yılında 2,8 milyon ton/yıl seviyesine gelmiştir. Ülkemizde krom madenciliğinin ilk yıllarında Bursa, Fethiye, Muğla, Denizli gibi 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].

Kromit cevherinin, Knelson santrifüj ayırıcı ile zenginleştirilmesi üzerine çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde, söz konusu çalışmaların düşük tenörlü besleme malı veya artıklar üzerinde yapıldığı gözlemlenmiştir. Erzurum Kop bölgesi yüksek tenörlü kromitlerinin, Knelson santrifüj ayırıcı kullanılarak zenginleştirme olanaklarının araştırılmasına yönelik çalışmaya literatürde rastlanamamıştır. Bu çalışmada, açık ocaktan alınan yüksek tenörlü tüvenan kromit cevheri zenginleştirme deneylerine tabi tutulmuştur. Bu bağlamda, yapılan çalışma ile Erzurum Kop bölgesi kromit cevherlerinin değerlendirilmesinde literatürdeki söz konusu boşluğun doldurulması çalışmanın özgün boyutu olarak değerlendirilebilir.

2. KROM

Yerkabuğunda saf halde bulunmayan krom, Mart 2018 tarihinde güncellenen IMA (International Mineralogical Association) mineral listesinde yer alan 5336 mineral içerisinde 97 tanesinde bulunmaktadır [4].

Erime noktasının yüksekliği ve çok sert olması sebebiyle, kromun metallere sertlik sağlaması dışında en önemli kullanım alanı 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 [4].

2.1. Kromun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Krom periyodik cetvelde VI B grubunda yer almaktadır. Kromun; Cr^{+2} , Cr^{+3} ve Cr^{+6} olmak üzere 3 farklı değerlikli atomu vardır. Bunlardan en kararlı ve doğada en çok bulunan Cr^{+3} iyonudur [5]. Kromun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [4].

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
Renk	Gümüş
Özgül Isı	448 J/kg-K

2.2. Krom Mineralleri ve Yantaşları

Kromit, Cr^{+3} , Al^{+3} , Fe^{+3} , elementleri benzer iyon yarıçaplarında olduklarından birbirleriyle yer değiştirebilirler. Örneğin Cr ile Al arasındaki yer değiştirmelerden dolayı, Alüminyumlu silikatların bünyelerine bir miktar Cr girebilir [6].

Krom yataklarında ana mineral olan kromitin, gang mineralleri olarak her zaman enstatit, bronzit ve olivin bazen ojit, labrador ve bitovnit, ikincil mineral olarak talk aktinolit, antigorit, kemererit, uvarovit, magnetit ve klorit eşlik edebilir. Kromit genellikle olivin dışındaki silikatlardan daha erken oluşur. Bu sebeple kromitlerde olivin kapanımlarına rastlanır [6].

2.2.1. Kromit

Kromit spinel grubu bir mineral olup, kübik sistemde kristallenip, kompakt granüle, kompakt kütle ve nadiren de oktahedral kristal şeklinde bulunmaktadır. Bileşimine magnezyum giren kromitlerde Cr_2O_3 tenörü %40'lara kadar düşmektedir. Kromit minerali; özgül ağırlığı: 4,1-4,9 g/cm^3 , sertliği: 5,5, rengi: gri-kahve -parlak siyah, çizgi rengi: kahverengi, kristal sistemi kübik ve genellikle manyetik özellik taşımaz [4].

2.2.2. Kromit Yantaşları

Farklı konumlarda oluşan kromit cevherleri, oluştukları magmanın eriyiklerine bağımlı olarak peridotitleri, olivinleri, plajiyoklas, feldspatları ve bunların alterasyon ürünleri serpantinleri, talk şistleri ve magnezitleri yantaşları olarak bulundurlar [7]. Çizelge 2.2'de kromit ile birlikte cevher, gang ve kılavuz mineralleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kromit minerali ile birlikte bulunan cevher, gang ve kılavuz mineralleri [8].

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

2.3. Krom Yataklarının Jeolojisi

Krom minerali ve kromit yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayacın (dunit, serpantinit) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masif, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve dissemine bantlı gibi nitelendirilmelerini sağlar. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Krom cevherinin kimyasal bileşimi, cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 miktarları (%) ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği %68'dir [1].

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile ilgili sınırlamalar söz konusudur. Teknolojik gelişmelere uygun olarak cevherin kimyasal bileşiminden kaynaklanan kullanım sınırlamaları giderek daha esnek hale gelmektedir. Kimyasal cevher olarak tanımlanan yüksek demirli krom cevheri, gelişen teknolojiyle artık metalurji sanayinde de kullanılabilir. Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayalar toplulukları köken, jeolojik konum, mineraloji, doku, vb. özellikleri yönüyle başlıca üç tipe ayrılırlar [1]. Bunlar;

1. Duraylı kıtasal bölgelerde bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları: Büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boyulu, düzgün kristal şekilli, Cr/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler.
2. Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına (ofiyolit istifi) bağlı krom yatakları (podiform tip): Mercek veya düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır. İri tane boyulu düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler.
3. Eş merkezli bir iç düzene sahip konsantrik ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına bağlı krom yatakları: Bu kromitlerin zenginleştirilmesi testleri ve bunların ekonomikliği konusunda çalışmalar yapılmakta olup, bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerirler.

2.4. Türkiye’de Krom Yatakları

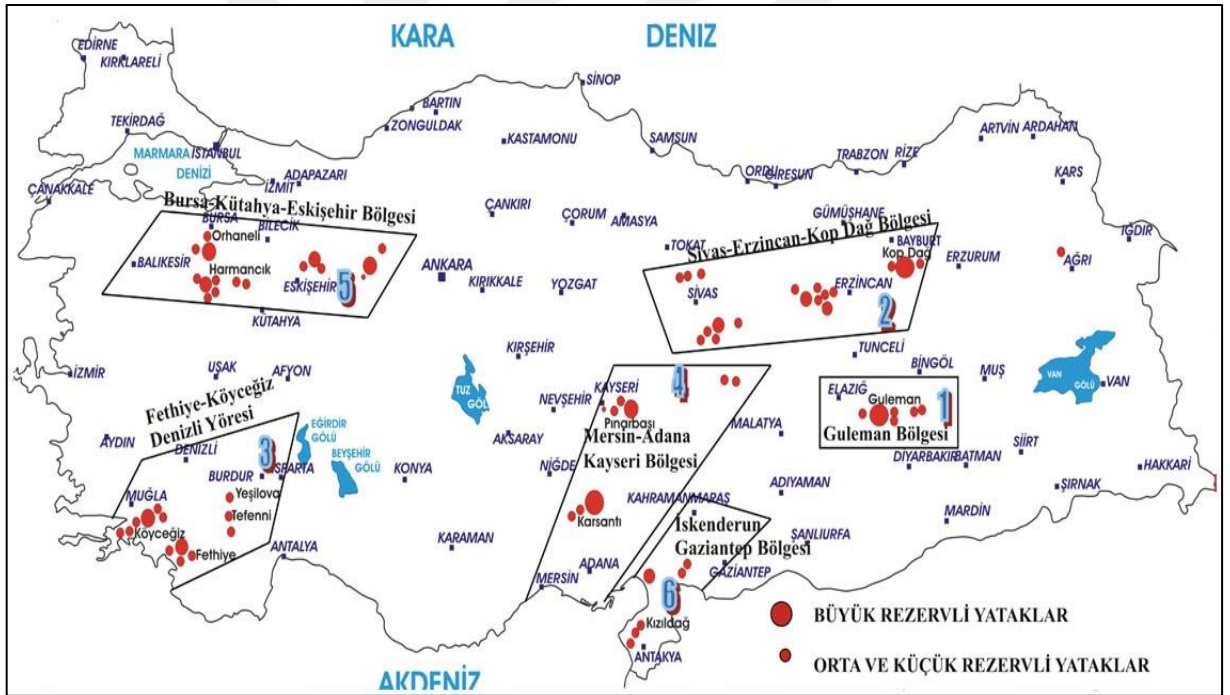
Krom yataklarının içinde bulunduğu peridotit genel adıyla anılan ultra bazik kayaçlar Türkiye’de geniş alanlar kaplarlar. Peridotitler, ofiyolit topluluğuna ait kayaçlar olup Alp orojen kuşağı boyunca yerleşmişlerdir. Türkiye’de bulunan peridotitler ve bunlar içinde bulunan krom yatakları Alpin tip (podiform tip) olarak sınıflandırılmışlardır. Alpin tip krom yataklarının sergiledikleri karmaşık yapı ilişkileri, doku özellikleri ve nispeten küçük boyutlu oluşları bunların belirgin özellikleridir. Krom yatakları genelde mercek, bant veya düzensiz şekilli kütlelerden oluşmaktadır. Kromit kütlelerinin boyu birkaç santimetreden, 100 m’yi geçen uzunluğa kadar ulaşabilmekteyse de genelde bu uzunluk 4-5 m kadardır. Kalınlıklarının ise bazı hallerde 5 m’yi geçebildiği biliniyorsa da bu değer genelde 2-3 m kadardır [1].

Türkiye, krom yatakları bakımından oldukça zengin ve dünya krom üretiminde önemli bir yer tutan ülke konumundadır. Türkiye krom yatakları ile ilgili rezerv bilgilerinin çok sınırlı olmasına karşın, pazar koşullarının uygun olduğu durumlarda, Türkiye bugüne kadar talebi karşılamakta pek sıkıntı çekmemiştir. Üretilen düşük tenörlü krom cevherleri ülkenin çeşitli kesimlerinde kurulu bulunan konsantrasyon tesislerinde zenginleştirildikten sonra pazarlanmaktadır. Krom cevheri fiyatları dünya arz-talep dengesine göre oluşmakta olup, ferrokrom alış fiyatına göre krom cevheri fiyatları hesaplanmaktadır [1].

Türkiye’de krom üretimi 7 bölgede yoğunlaşmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [1]:

- 1- Elâzığ (Guleman) Bölgesi
- 2- Muğla-Denizli-Burdur Bölgesi (Ilıkdere-Kaymakam, Kandak, Biticealan, Andızlık ve Anık yatakları)
- 3- Bursa-Eskişehir Bölgesi (Orhaneli yatağı)
- 4- Tokat-Erzincan Bölgesi (Artova, Kızıldağ ve Kopdağı yatakları)
- 5- Kayseri-Sivas Bölgesi (Pınarbaşı, Kangal ve Beypınarı yatakları)
- 6- Mersin-Adana Bölgesi (Dereocak, Kavasak, Doruca, Kızılyüksek ve Yatakdıç yatakları)
- 7- Antakya-Kahramanmaraş Bölgesi

Türkiye’deki krom yataklarının dağılımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye’deki krom yataklarının dağılımı [9].

2.5. Dünya’da ve Türkiye’de Kromit Üretimi, Rezerv ve Fiyat Durumu

Dünya’da ilk krom cevheri üretimi 1797 yılında Ural’larda yapılmıştır. Türkiye’de krom cevherinin ilk kez 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu

bilinmektedir. Türkiye’de krom üretiminin başlangıç yıllarında, sahil şeridine yakın ve ulaşımın kolay olduğu bölgelerde mostra madenciliği şeklinde başlayan süreç, kromit merceklerinin kalınlıkları ve devamlılıklarına bağlı olarak açık ocak işletmeciliğine daha sonraki dönemlerde ise yeraltı madenciliğine dönüşmüştür. 1950’li 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 [1].

Dünya kromit rezervinin yaklaşık %95’i Güney Afrika Cumhuriyeti, Zimbabve ve Kazakistan’da bulunmaktadır. Güney Afrika Cumhuriyeti dünyanın en büyük kromit ve ferrokrom üreticisi durumundadır. Bununla birlikte Zimbabve, Kazakistan, Hindistan, Türkiye ve Finlandiya olmak üzere toplam altı ülke yıllık ortalama 30 000 000 tondan fazla kromit üretimi yapmaktadır [4].

En büyük 5 üretici konumunda olan; Kazakistan, Güney Afrika Cumhuriyeti, Zimbabve, Hindistan ve Türkiye’nin 2017 yılı itibarı ile tespit edilen rezerv miktarları Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. En büyük kromit üreticisi konumundaki ülkelerin rezerv miktarları [10].

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.

* Güney Afrika Cumhuriyeti ve Zimbabve’den oluşan bölge

En büyük krom üretici ülkelerin son 5 yıldaki üretim miktarları Çizelge 2.4’e verilmiştir.

Çizelge 2.4. En büyük beş üretici ülkenin 2013-2017 yılları arasındaki kromit üretimi [10].

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

2015-2019 yıllarına ait kromit fiyatları Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. 2015-2019 yılları arasında kromit fiyatları [11].

Kromit	2015	2016	2017	2018	2019
%46-48 Konsantre (Cr/Fe Oran: 2,40)	200-205	440-450	280-290	240-250	240-250
%40-42 Parça (Cr/Fe Oran: 2,30)	185-190	420-430	280-290	210-220	210-220
%38-40 Parça (Cr/Fe Oran: 2,20)	170-175	405-415	260-270	190-195	190-195

* Krom ton fiyatları, USD dolar birimi olarak verilmiştir.

2.6. Kromun Kullanım Alanları

Krom endüstride, Fe, Al ve Cu'dan sonra en çok kullanılan önemli metallere birisidir. Kromun, demirle çeşitli koşullarda oluşturduğu alaşımları, çelik sanayinde ısı ve korozyona dayanıklı çelik olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlar arasında, yüksek karbonlu ferrokrom, düşük karbonlu ferrokrom, ferrosilikonkrom gibi alaşımları sayılabilir. Ayrıca, kromun oksijenle oluşturduğu tuzlar, doğal koşullardan kolay kolay etkilenmedikleri için, boya sanayinin aranan ürünlerindedir [7].

2.6.1. Metalürji Sanayi

Metalürji sanayinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom ise paslanmaz çelik metal ve silah sanayinin çok önemli bir maddesidir. Krom, çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar. Kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılır [1].

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 paslanmaz çelikler için standart bileşimler bulunmaktadır [4]. Bunlar;

1. 200 Serisi: Düşük nikel içeriğine sahip olarak tasvir edilen östenitik paslanmaz çeliklerin bir sınıfıdır. Bunlar aynı şekilde krom-manganez (Cr-Mn) paslanmaz çelikleri olarak da adlandırılmaktadır.
2. 300 Serisi: %16-26 Cr ve %7-22 Ni içeren östenitik çelikler.
3. 400 Serisi: %12-20 Cr içeren martenzitik çelikler ve %15-30 Cr içeren ferritik çelikler.
4. 600 Serisi: Östenitik veya martenzitik çeliklerden çökeltme sertleşmesi uygulanabilenler.

Üretilen krom cevherlerinin %90’ı metalürji 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 [4].

2.6.2. Refrakter ve Döküm Sanayi

Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da olumsuz yönde etkilemiştir [1].

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. 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.

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. 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.

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. Yaklaşık 2150°C'lik ergime sıcaklığı, düşük ıslatılabilirlik, yüksek kimyasal duraylılık, düşük ısıl 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 [4].

2.6.3. Kimya Sanayi

Küresel kromit üretiminin yaklaşık %5'i kimya sektöründe kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kromit kullanımı kimya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Kromat kimyasallarının üretiminde birincil ürün sodyum bikromattır. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasallarıdır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır [4].

Krom kimyasalları; metal kaplama, deri tabaklama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlaticı gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama, su işleme, temizleme, sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilir. Otomobil sektöründe panelleri, çamurluklar gibi dış parçalarında soğuk haddelenmiş levhalar yerine giderek artan şekilde bikromat katmanıyla boyanmış elektro-galvanize çelik levhalar kullanılmaktadır [1].

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 [4].



3. KROMİT ZENGİNLEŞTİRME

Krom cevheri, ocak çıkışında çoğunlukla elle seçme, elekten geçirme, yıkama yoluyla gang tabir edilen silikat minerallerinin cevherin bünyesinden ayıklanması sonucu zenginleştirilebilmektedir. Daha ileri aşamada kromitin başlıca zenginleştirme yöntemleri; Gravite, Manyetik ayırma ve Flotasyon yöntemleridir. Söz konusu yöntemlerle düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin yaş olarak zenginleşmesi sağlanır [1].

Endüstride uygulama alanı bulabilen kromit zenginleştirme yöntemleri aşağıda verilmektedir. Kromit cevherinin serbestleşme derecesine, cevher karakterine, gang minerallerinin cinsine bağlı olarak bu yöntemlerin biri ve birkaçının kombinasyonunu kullanmak mümkündür [12]. Bunlar;

1. El ile ayıklama,
2. Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme (Oluklar, Ağır ortam ayırması, Humprey spiralleri, Dyna-Whirpool, Jig, Sallantılı masa, Multi gravite Cihazları),
3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme,
4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme,
5. Flotasyon ile zenginleştirme (Klasik flotasyon, Kolon flotasyonu, Jet flotasyonu),
6. Kimyasal yöntemlerle zenginleştirme (Asit liçi, Bazik liçi, Seçimli gazlı indirgeme yöntemi, Katı hal indirgeme yöntemi, Ergitme yöntemi).

3.1. Geliştirilmiş Gravite Ayırıcılar

Geliştirilmiş gravite ayırıcıların, mineral endüstrisine girişi çok ince boyutlu taneciklerin geliştirilmiş gravite yöntemleri ile zenginleştirilmesi ve artıkların geri kazanımı ile olmuştur. Çok ince boyutlu taneciklerin ayrılmasına yönelik olarak santrifüj kuvvetinden yararlanan birçok cihaz tasarlanmıştır. Siklon tipi ayırıcılarda santrifüj kuvvet genellikle teğetsel besleme giriş mekanizması ile sağlanırken, santrifüjlü ayırıcılarda ayırıcı hücrenin

kendisinin dönmesi ile üretilir. Santrifüjlü gravite ayırıcıları üç basit tipte ele alınabilir [13].
Bunlar;

1. Dikey eksenli makineler ve türleri (Knelson, Falcon, vb.),
2. Santrifüjlü jigler (Kelsey jigi),
3. Yatay eksenli makineler (Multi gravite ayırıcı, vb.).

Sürekli çalışan ve ticari olarak da kullanılan geliştirilmiş gravite ayırıcıları şu şekilde sıralanabilir; Knelson santrifüj ayırıcısı, Falcon ayırıcısı, Kelsey jigi ve Multi gravite ayırıcısı [13]. Bu çalışmada Knelson santrifüj ayırıcısı detaylı olarak ele alınmıştır.

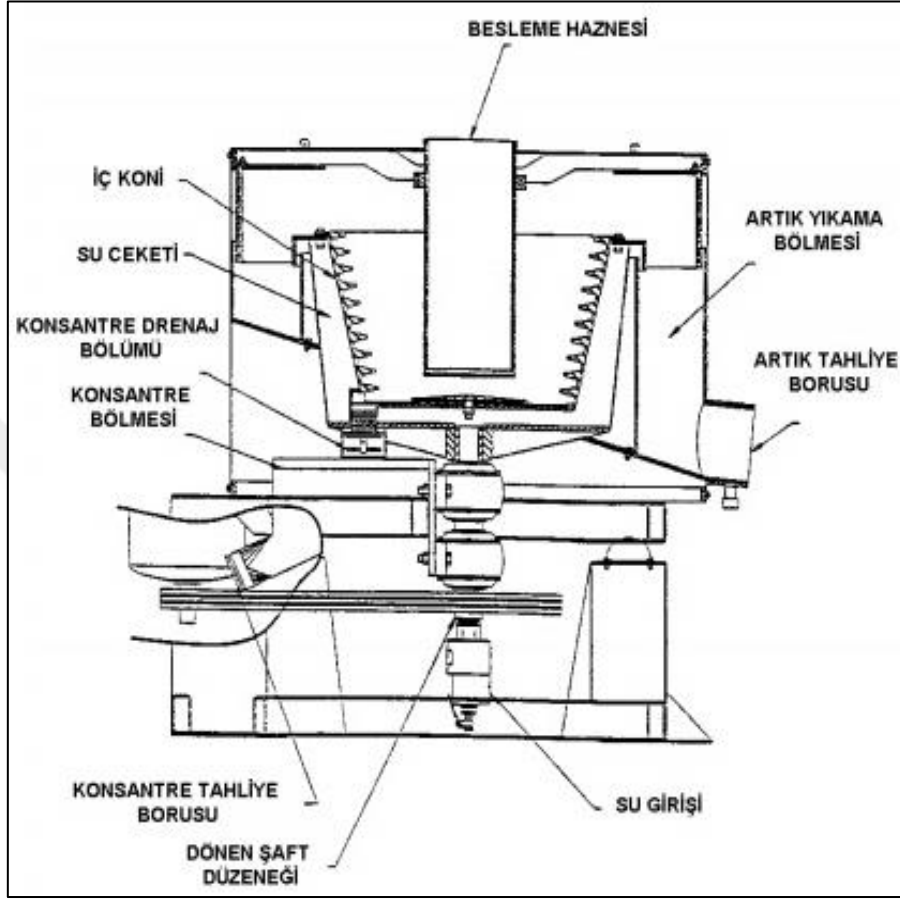
3.1.1. Knelson Santrifüj Ayırıcısı

Knelson santrifüj ayırıcısının patenti, Byron Knelson tarafından Kanada'da 1978 yılında alınmış olup, kesikli olarak çalışan bir makine olarak tanıtılmıştır. Geliştirme ve modifikasyonlar sonucu farklı cevherlerin kazanımı için, kesikli ve sürekli çalışan Knelson santrifüj ayırıcılar üretilmiştir. Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır. Günümüzde kıymetli metallerin kazanımı için endüstriyel olarak yerini almıştır [13].

3.1.1.1. Knelson santrifüj ayırıcının çalışma prensibi

Knelson santrifüj ayırıcı, dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Besleme, Knelson santrifüj ayırıcı haznesi içine düşey bir boru vasıtasıyla gravite olarak yapılmaktadır. Besleme, merkezi besleme borusu vasıtasıyla, %70-75 pülp yoğunluğuna kadar yapılabilir. Ayırıcı haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur. Teorik merkezkaç kuvveti yaklaşık 60 G civarındadır. Bu kuvvet beslenen katıların kanallar arası boşlukları tabandan üste doğru doldurmasına neden olur. Başlangıçta bu boşluklar katıların doludur. Daha sonra yapılan besleme, ayırma kademelerini başlatır. Haznenin içindeki paralel olukların içindeki küçük deliklerden hazneye su enjekte edilerek malzemenin hem yıkanması hem de haznenin dibinde toplanması sağlanır. Burada ağır mineraller hafif minerallerle yer değiştirir ve sonuçta ağır mineraller kanallar arası boşluklarda engellenirken hafif mineraller üst kısma taşınarak ayırım gerçekleştirilir. Merkezkaç kuvvet

nedeniyle, ağır mineral yatağının bozulmasını engellemek için akışkan yatak su kuvveti yeteri kadar güçlü olmalıdır. Knelson santrifüj ayırıcı (Şekil 3.1) içerisinde, konsantrasyon mekanizması bir engelli çökme klasifikatörüne benzetilebilir [14, 15].



Şekil 3.1. Knelson santrifüj ayırıcının kesit görünümü [16].

Kesikli tip ayırıcılarda; konsantre, temizleme işlemine kadar konik kısmında birikmekte, sürekli çalışan modelde ise belli aralıklarla otomatik olarak cihaz dışına alınmaktadır [15].

Laboratuvar tip ayırıcılarda, ayırma haznesi koni şeklindedir ve birbirine eşit mesafede beş eşik bulunmaktadır (Çizelge 3.1). Bu nedenle belirli bir dönüş hızında her bir eşik yakınında etki eden merkezkaç kuvveti değişimi olacaktır. Burada eşik 1 ayırma kabının en üstündeki eşiktir ve eşik 5 ise ayırma kabının en alt kısmındaki eşiktir [17, 18].

Çizelge 3.1. G kuvvetindeki değişimler [17].

G Kuvvetleri					
Dönüş hızı (dev/dk)	Eşik 1	Eşik 2	Eşik 3	Eşik 4	Eşik 5
1000	30,2	24,6	19,0	13,4	7,8
1250	43,4	35,4	27,3	19,3	11,3
1425	61,2	49,9	38,6	27,2	15,9

3.1.1.2. Knelson santrifüj ayırıcı tipleri

Knelson santrifüj ayırıcılar çalışma prensibine göre, kesikli ve sürekli çalışan tipleri olmak üzere başlıca iki kısma ayrılabilir. Kesikli tip ayırıcılar; elle boşaltma serileri, merkezi boşaltma serileri, genişletilmiş seriler ve Quantum serileri olmak üzere dört çeşittir [19].

1992’de merkezden deşarj özelliğine sahip modellerinin ortaya çıkmasıyla tüm işletme değişkenlerinin tam otomatik kontrol edilebilmesi imkânı doğmuştur. 1990’ların ortalarında, Knelson santrifüj ayırıcı merkezi boşaltma serisi ve genişletilmiş serilerin piyasaya sürülmesiyle modifiye edilmiştir. Genişletilmiş seriler bakım kolaylıkları ve daha uzun ömürlü olmaları gibi özellikleriyle merkezden boşaltma serilerinde bulunmayan ilave özelliklere sahiptir. 2010’da Knelson’un en yeni tasarımı olan “Quantum Serisi” piyasaya sürülmüş ve tasarımın geliştirilmesi yanında maliyeti de düşürülmüştür. 1990’ların sonlarında Knelson sürekli tip ayırıcılar ticarileştirilmiştir. Bu ayırıcılar sürekli konsantre akışı üretmek üzere tasarlanmış ve yüksek tonajda ayırımın gerekli olduğu ağır mineral geri kazanımında daha yüksek verimle uygulanmaları hedeflenmiştir [18, 20].

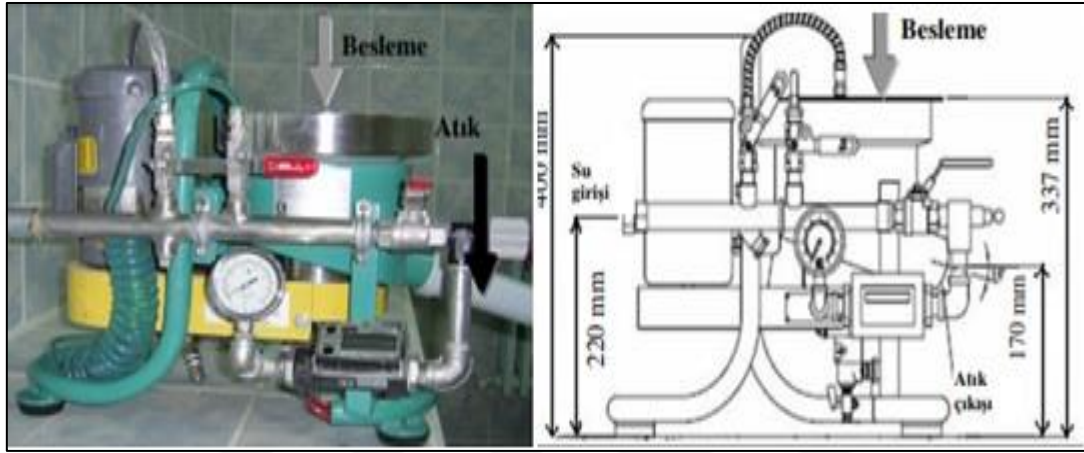
3.1.1.2.1. Kesikli tip knelson santrifüj ayırıcılar

Kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcı, besleme malının özelliklerine ve tenörüne bağlı olarak 0,5-5 saat beslemeye uygundur. Bu tip ayırıcının modern çeşitleri tam otomatik ve otomatik boşaltmalıdır. Yıkama periyodunda, besleme işlemi ve ayırma haznesi durdurulur. Konsantre ağır ürün makinenin altındaki çıkış kısmına doğru yıkanarak uzaklaştırılır [21].

Kesikli çalışan Knelson santrifüj ayırıcının performansını etkileyen başlıca üç parametre vardır. Bunlar; Akışkan su miktarı, Besleme miktarı ve Çalışma süresidir. Akışkan su miktarını

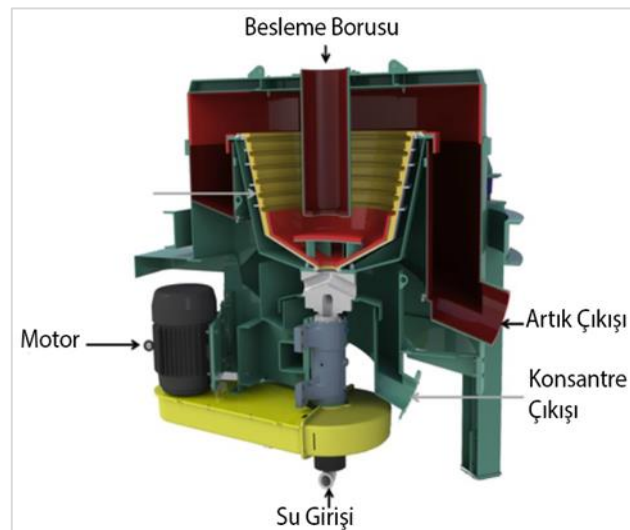
etkileyen değişkenler; tane boyut dağılımı, gang yoğunluğu ve besleme katı oranıdır. Besleme miktarını etkileyen değişkenler; öğütmeye bağlı serbestleşme derecesi ve titreşimli elek v.b yardımcı donanım kapasitesidir. Çalışma süresini etkileyen değişkenler; ağır minerallerin, ağır olmayan minerallere oranı ve cevherin sertbestleşme derecesidir [18].

Şekil 3.2’de Laboratuvar tipi Knelson santrifüj ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüşü sunulmuştur.



Şekil 3.2. Laboratuvar tipi Knelson santrifüj ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüşü [22].

Otomatik bir Knelson santrifüj ayırıcıda ortalama yıkama ile boşaltma işlemi 2-3 dakika sürer. Bu ayırıcılar %75 katı oranına kadar iyi performans göstermektedir. Kesikli tip laboratuvar ölçekli Knelson santrifüj ayırıcının kapasitesi 45 kg/saat olup, endüstriyel ölçeklilerin 1000 ton/saat olabilmektedir [21, 23]. Şekil 3.3’de kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcısı şematik kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcısı [24].

Ticari olarak kullanılan kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcılar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Knelson kesikli tip santrifüj ayırıcı modelleri ve özellikleri [18].

Model	Katı Besleme Kapasitesi (t/saat)	Akışkan Su Miktarı (m ³ /s)	Santrifüj Kuvveti (G)	Maksimum ve Önerilen Tane İriliği (mm)	Konsantre Ağırlığı (kg)	Ayırıcı Net Ağırlığı (kg)	Motor Gücü (Hp)
Elle boşaltma serileri		(lt/dk)					
KC-MD 3	0,045	0,7-4,5	80-150	2	0,80-0,15	28	¼
KD-MD 4,5	0,275	11-19	---	2	0,2-0,35	113	¾
KC-MD 7,5	0,680	45-68	---	5	0.7-1.0	113	¾
Merkezi boşaltma Serileri		(m ³ /saat)					
KC-CD10	8	3-6	60	6-2	2-5	295	2
KC-CD12	20	3-10	60-150	6-2	2.7-9	260	2
KC-CD20	80	8-18	60-150	6-2	9-27	900	10
KC-CD30	100	14-39	60-150	6-2	18-59	1565	15
Genişletilmiş seriler		(m ³ /saat)					
KC-XD20	80	8-18	60-200	6-1,7	9-29	1043	7,5-10
KC-XD30	150	17-39	60-200	6-1,7	18-59	1724	15-30
KC-XD40	250	23-61	60-200	6-1,7	31-103	3977	40-75
KC-XD48	400	28-86	60-200	6-1,7	34-116	5680	40-100
KC-XD70	1000	68-86	60-120	6-2	95-125	18455	200-500
Quantum Serileri		(m ³ /saat)					
KC-QS30	150	14-39	60-200	6-2	23-39	1678	15-30
KC-QS40	250	23-73	60-200	6-1,7	31-103	3320	40-75
KC-QS48	400	28-86	60-200	6-1,7	34-107	5225	40-100

3.1.1.2.2. Sürekli tip knelson santrifüj ayırıcılar

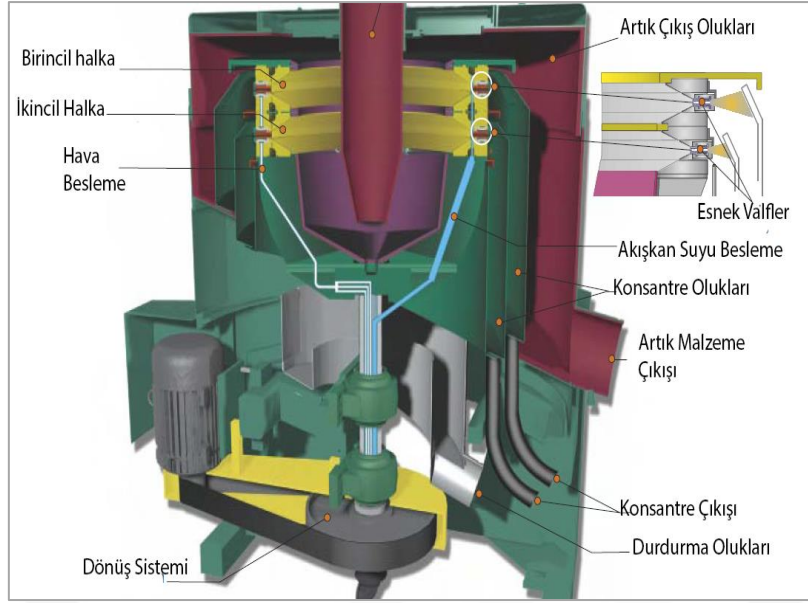
Yüksek ağırlıksal kazanımın gerektirdiği durumlarda, konsantreyi hızlı ve verimli şekilde uzaklaştıran santrifüj esaslı ayırıcılara gereksinim vardır. Tenörün yüksek olduğu durumlarda kesikli tip ayırıcılar çok sık durdurulmalı ve yıkanmalıdır. Bu durum, elde edilecek konsantre miktarını azaltacaktır. Bu şekilde çalışan ayırıcılar sürekli çalışan santrifüj esaslı ayırıcılar olarak bilinmektedir [21].

Ticari olarak kullanılan sürekli tip Knelson ayırıcılar Çizelge 3.3’de verilmektedir. Ayırma haznesi boyutları 6 inç (15,24 cm) ile 64 inç (162,56 cm) arasında değişmektedir. Tüm modellerin besleme üst boyutu yaklaşık olarak 1 mm’dir [18].

Çizelge 3.3. Knelson sürekli tip santrifüj ayırıcı modelleri ve özellikleri [18].

Model	Katı Besleme Kapasitesi (t/saat)	Akışkan Su Miktarı (m ³ /saat)	Santrifüj Kuvveti (G)	En Az Hava Miktarı (m ³ /dk)	Ayırıcı Net Ağırlığı (kg)	Motor Gücü (Hp)
KC-CVD 6	2	0,9-1,8	30-90	5,9	230	1
KC-CVD 20	35	3-9	30-90	6	2500	15
KC-CVD 32	80	16-34	30-90	5,1	6800	40
KC-CVD 42	120	11-23	30-90	5,1	7000	40-50
KC-CVD 64	300	9-27	30-90	18,7	18200	100-200

Sürekli çalışan Knelson santrifüj ayırıcıda, cihaza verilen su, çanak içerisine yerleştirilmiş olan oyuklardan içeri dolar, cihaza katı-sıvı karışım beslenir. Pülp koni dibine ulaştığında santrifüj kuvvet etkisi ile koni duvarına doğru savrulur. Konik çanak içerisine verilen pülp içerisindeki katı taneler oyukları doldurur. Santrifüj kuvvet tersi yönde oyuklar içerisinden verilen suyun etkisi ile katı taneler oyuklar içerisinde bir akışkan yatak oluşturur. Oyuklar içerisine yerleştirilmiş olan valfler kontrollü olarak açılıp kapanarak oyuk diplerine yerleşmiş olan ağır minerallerin koni dışına alınmasını sağlar. Konik çanağı terk eden ağır mineraller ağır mineral tahliye kanalından cihazı terk ederler. Hafif mineraller akışkan yatak dışında kalarak su tarafından sürüklenip cihazı terk ederler [21]. Şekil 3.4’de sürekli tip Knelson santrifüj ayırıcının şematik kesiti verilmiştir.



Şekil 3.4. Sürekli tip Knelson santrifüj ayırıcı [25].

Sürekli çalışan Knelson santrifüj ayırıcılar endüstride yaygın olarak; demir (talk içerisinde uzaklaştırılması), kasiterit, kömür (ince kömür kazanımı), kromit, altın sülfürler, gümüş sülfürler, bakır, nikel, kurşun, kurşun, çinko, tungsten, tantalum, titanyum, molibden, endüstriyel minerallerin geri kazanımı, ağır mineral ayırımı için kullanılmaktadırlar. Ayrıca, İlmenit/rutil, demirli alaşımlar, mineral kumlarının ön konsantrasyonu, ağır minerallerin ön konsantrasyonu ve şlam atmada da kullanılmaktadır [18, 23].

3.1.2. Falcon Ayırıcısı

Falcon ayırıcısı, tek duvarlı ayırıcılar ile geri basınç teknolojisini birleştiren bir ayırıcıdır. Esas olarak, altın endüstrisinde liç işleminden önce öğütme devresi siklon alt akımlarından, serbestleşen altının veya plaser tipi altın yataklarından altın kazanımı için tasarlanmıştır. Yapılan bazı uygulamalar, altın liçi atıklarının değerlendirilmesinde, gümüş ve platin grubu metallerin kazanılmasında ve cüruf temizlemede de kullanılacağını göstermiş olsa da, günümüzde en çok kullanıldığı alan plaser tipi yataklardan altının kazanılmasıdır [13].

Falcon ayırıcısı, yoğunlukları birbirinden farklı minerallerin, yüksek 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 mineraller toplanır. Düşük yoğunluğa sahip mineraller suyla birlikte rotorun dışına taşınır.

Rotor çeperine yapışan yüksek yoğunluklu mineraller, manuel ya da otomatik olarak belirli aralıklarla toplanırken, düşük yoğunluklu mineral ayırma boyunca dışarı taşmaktadır. 300 G'ye kadar santrifüj kuvveti oluşturabilen Falcon ayırıcıların dizaynı oldukça basit olup, hareketli bölümleri az ve dolayısı ile bakımı kolaydır. Aşınmaya maruz kalan kısımlar kauçuk ile kaplanmıştır [26].

3.1.3. Kelsey Jigi

Kelsey jigi özellikle ince taneli piritin kömürden uzaklaştırılması amacına yönelik olarak gelişmiştir. Kelsey jigi; kalay, sahil kumları, demir cevheri, altın, kurşun, manganez ve platin cevherlerinin zenginleştirilmesinde başarıyla uygulanmıştır. Metalik cevherlerin zenginleştirilmesinde ve endüstriyel çamurlar ve atıklardaki ağır minerallerin kazanımında başarı ile kullanılabilir [13].

Ticari olarak en büyük başarısı, spiral ve sallantılı masa devreleri için çok küçük boyutlu (~10 mikron) olan Renison kalaylarından kassiteritin geri kazanımıdır. Sahil kumu tesislerinde zirkonyum ve kyanite minerallerini ayırmaya yönelik uygulamaları vardır [15].

Kelsey jigi, jig içerisinde döner bir hazne etrafına sarılmış seri teknelerden oluşmaktadır. Tekneler, darbe suyunu tutar ve çıkış musluğundan konsantreyi boşaltır. Bu haznenin içinde suni bir yatak oluşturmak için üçgen profilli bir elek vardır. Her tekneye mekanik pulsatörler yerleştirilerek yatakta farklı yoğunluktaki malzemelerin ayrımı için pulsasyonlar yaratılmaktadır. Darbeyi veren diyafram, pulsasyonu veren ana tahrik mekanizmasından bağımsız olarak monte edilmiş eksantrik motor ile kontrol edilir. Birbirinden ayrılmaya meyilli ağır ve hafif minerallerin yoğunlukları arasındaki bir yoğunluğa sahip suni yatak malzemesi eleğin üzerine yerleştirilmiştir. Besleme, jig birimine merkezi besleme borusundan, üst kısımdan girer ve haznenin dönüşü ile oluşan maksimum 60 G'lik santrifüj kuvvet pülpü suni yatağa temas etmeye zorlar. Darbe kollarının yüksek frekanslı ve sıralı basması, suni yatak boyunca klasik jiglerdeki gibi basma hareketi yaratır ve bu sayede suni yatağın genişleyip daralmasına sebep olur. Bu, sırası ile beslemenin ve suni yatak parçacıklarının özgül ağırlıklarına bağlı olarak farklı ivmelenmesine yol açar. Ağır yoğunluğa sahip taneler suni yatak içinden geçerek çıkış musluğundan konsantre bölmesine boşalırken düşük yoğunluktaki taneler suni yatağın üzerinden akar ve ünitenin üzerinden taşarlar [13, 27].

3.1.4. Multi Gravite Ayırıcısı

Multi gravite ayırıcısı, Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilen ve endüstriyel ölçekte kullanılan geliştirilmiş gravite ayırıcılarından biridir. Multi gravite ayırıcısı, merkezkaç kuvvetinden doğan ivme ile klasik sallantılı masada geçerli olan kuvvetlerin birleşik etkisini kullanarak ayırma yapan bir zenginleştirme cihazıdır. Multi gravite ayırıcısı, sallantılı masa yüzeyinin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir.

Multi gravite ayırıcı, yüzey üzerinde oluşan tabaka halinde akan akışkan ortamdaki zenginleştirme için, tambur yatayla 3-5°'lik bir açı yapacak şekilde konumlandırılır. Tamburun belirli bir hızla dönmesi sonucu oluşan merkezkaç kuvvetinin de etkisiyle taneler pülp içinde engelli çöküş ortamı oluştururlar. Özgül ağırlığı yüksek taneler akışkan tabaka içinde çökerek tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yarı katı bir tabaka oluşturmaktadır. Çöken ağır tanelerden oluşan bu yatak özel tasarlanmış küreyiciler yardımıyla hafif eğimli tamburun yukarısına doğru taşınarak besleme ucunda konumlanmış konsantre oluşuna sıyrılırlar. Hafif tanelerin ağır tanelerden etkili bir şekilde ayrılması, ağır malzemelerin alındığı yere yakın bir yerden tabaka üzerine verilen yıkama suyu sayesinde meydana gelir. Yıkanan hafif malzeme sürekli olarak besleme ucunun aksi yönünde konumlanmış atık oluşuna doğru hareket eder ve yıkama suyu ile birlikte hareket ederek alt çıkıştan alınırlar [28].

4. KROMİT İLE YAPILAN LİTERATÜRDEKİ ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

4.1. Knelson Santrifüj Ayırıcı Dışındaki Zenginleştirme Çalışmaları

Samanlı (1998), Etibank Üçköprü Karagedik konsantratör kromit artıklarının tenör yükseltilerek kazanımını araştırmıştır. Ortalama %12 Cr₂O₃ tenörlü yaklaşık -1 mm boyutlu numune 106 mikronda yaş olarak elenmiştir. Sallantılı masa kromit artıklarının tenörü -106 mikron boyutunda %20,6 Cr₂O₃ değerine yükselmektedir. Elek-metal analizleri bu fraksiyonda yaklaşık %77 kromit içeriğini ortaya koymaktadır. Multi Gravite Ayırıcı (MGS) testlerinde besleme malı olarak -106 mikron tane boyutlu kromit artığı kullanılmıştır. İri taneli kromitler (+106 mikron) üzerinde sallantılı masa testleri gerçekleştirilmiştir. Optimum işletme parametrelerini belirlemek amacıyla 21 adet MGS kesikli testleri uygulanmıştır. Kesikli testlerde 180 dev/dk tambur dönüş hızı, 4 lt/dk yıkama suyu ve 4° tambur eğiminde, %48,8 Cr₂O₃ tenör ve %65,9 verimle satılabilir konsantre elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci kademesinde -106 mikron boyutlu kromit artığı üzerinde MGS sürekli testleri uygulanmıştır. Sürekli testlerde 170 dev/dk tambur dönüş hızı, 3 lt/dk yıkama suyu ve 4° tambur eğiminde, %49,7 Cr₂O₃ tenör ve %64,9 verimle konsantre elde edilmiştir [37].

Aydın (2001), Etibank Guleman Kef konsantratör tesisinin kromit artıklarının değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Besleme malı Cr₂O₃ tenörü %21,21 olan tane boyutu -0,3+0,1 mm kromit artıkları ile sallantılı masada zenginleştirme deneyleri yapmıştır. Optimum şartlarda %34,08 Cr₂O₃ tenörlü konsantreyi %90 verimle elde etmiştir [38].

Özkan ve İpekoğlu (2001), Etibank Üçköprü konsantre tesisinin kromit artıklarının geri kazanım konusunda araştırmışlardır. Besleme malı tenörü %25,20 Cr₂O₃ olan, -38 mikron tane boyutunda tesis artıkları üzerine Multi gravite ayırıcı ile zenginleştirme deneyleri yapmışlardır. Optimum şartlarda %72,0 verimle %47,0 Cr₂O₃ olan konsantre elde etmişlerdir [39].

Çiçek ve Cöcen (2002), Türkiye’de %10-12 Cr₂O₃ tenörlü 3 milyon ton artık olduğunu belirterek, Erzurum-Kop, Etibank Üçköprü-Karagedik, Adana-Aladağ ve Kayseri-Pınarbaşı’nda bulunan 4 farklı kromit tesisinden artıklar olarak MGS ile zenginleştirme

deneyleri yapmıştır. Deneyler -0,106 mm tane boyutunda yapılmıştır. Kop mevkiinden alınan %16,50 Cr₂O₃ tenörlü tesis artıklarını, %47,80 Cr₂O₃ tenörle ve %69,80 verimle, Karagedikten mevkiinden alınan %20,60 Cr₂O₃ tenörlü tesis artıklarını %49,70 Cr₂O₃ tenörle ve %65,7 verimle, Aladağ mevkiinden alınan %20,50 Cr₂O₃ tenörlü tesis artıklarını %49,00 Cr₂O₃ ve %78,90 verimle ve Pınarbaşı mevkiden alınan %10,80 Cr₂O₃ tenörlü tesis artıklarını %48,00 Cr₂O₃ tenörlü ve %79,70 verimle kazanmışlardır [40].

Yüce ve ark. (2005), Etibank Üçköprü krom zenginleştirme tesis artıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmışlardır. Besleme malı tenörü, %12-13 Cr₂O₃ olan tesis artıklarından, Jones manyetik ayırıcı ve Multi gravite ayırıcı kombinasyonu ile %51,2 verimle %47,18 Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre, Jones manyetik ayırıcı ve kolon flotasyonu kombinasyonu ile ise %65,9 verimle %47,7 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde etmişlerdir [41].

Aslan ve Kaya (2009), Guleman-Sori bölgesi kromit atıklarının geri kazanım olanaklarını araştırmıştır. Besleme malı tenörü %4,5-6,00 Cr₂O₃ olan tesis artıklarını Multi gravite ayırıcısı ile zenginleştirme deneyleri yapmıştır. Optimum şartlarda yapılan deneylerde %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 nihai konsantre elde etmişlerdir [42].

Develi (2014), Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan krom işletmesi triyaj artıklarından alınan kromit numunesinin gravite ayırma yöntemleriyle zenginleştirme olanaklarını araştırmıştır. Besleme malı tenörü %14,55 Cr₂O₃ olan tesis artıklarından, tane boyutu -106+53 mikronda Sallantılı masa ile %49,96 Cr₂O₃ tenörle ve %23,54 verimle, tane boyutu -53 µm olan tesis artıklarından ise Multi gravite ayırıcı ile %44,78 Cr₂O₃ tenörlü ve %71,94 verimle konsantre elde etmiştir [43].

Rath ve ark. (2017), gravimetrik yöntemlerle zenginleştirme yapan Odisha Mining Co.'a ait kromit zenginleştirme tesisi artıklarının SB-40 tipi Falcon gravimetrik ayırıcı ile geri kazanım olanaklarını araştırmışlardır. Ağırlıkça %68,00'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 arttığını ancak verimin azaldığını tespit ederek, %68'in üzerinde bir verimle %40'tan fazla Cr₂O₃ tenörlü bir konsantre elde etmişlerdir [44].

4.2. Knelson Santrifüj Ayırıcısı ile Yapılan Çalışmalar

Kıyak (2013), Bursa Orhaneli Kromit zenginleştirme tesis atıklarının Knelson santrifüj ayırıcısı ile zenginleştirme olanaklarını araştırmıştır. Besleme tenörü %5 Cr_2O_3 olan artıka; -212+75, -75+38 ve -38 μm tane boyutlarında ayrı ayrı besleme yaparak 5 lt/dk yıkama su miktarı, 90 G kuvveti, %30 katı oranında %22,00 Cr_2O_3 tenörle ve %75 verimle kromit konsantresi elde etmiştir [45].

Akar Şen (2016), tarafından Adana'daki bir kromit yatağından alınan numuneler üzerinde Knelson santrifüj ayırıcısı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Cr_2O_3 tenörü %24,9 olan numunenin tamamı -500 μm altına öğütülmüştür. Üç seviyeli tam faktöriyel tasarımı kullanılarak yapılan deneylerde bağımsız değişkenler olarak akışkan su miktarı (4, 8 ve 12 lt/dk), santrifüj kuvveti (60, 90 ve 120 G) ve besleme miktarı (12, 24 ve 36 kg/saat) kullanılmıştır. Optimal sonuçlara; 11 lt/dk akışkan su miktarında, 60 G dönme hızında ve 12 kg/saat besleme miktarında ulaşılmış olup, bu değerlerde %43,0 Cr_2O_3 tenörlü ve %72,0 verimle konsantre elde etmiştir [46].

Bozkurt (2017), krom artıklarının geri kazanımında Knelson santrifüj ayırıcısının etkilerini araştırmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, Besleme tenörü %2,28 Cr_2O_3 tenörlü artıka, -212 mikron tane boyutunda, 90 G santrifüj kuvvetinde, 8 psi su basıncında, %21,5 Cr_2O_3 tenörü ve %73,18 verimle ön konsantre elde etmiştir [47].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kromit Numunesinin Temini

Bu çalışmada kullanılan kromit cevheri, Erzurum ili Aşkale ilçesine bağlı, Kop bölgesinde, açık ocak yöntemi ile üretim yapılan bir işletmeden temin edilmiştir. Kromit cevherinden yaklaşık 70 kg numune, Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarına kargo ile getirilmiştir.

5.2. Kromit Numunelerin Hazırlanması

Temin edilen numunelerin parça boyutu yaklaşık -10 cm olarak belirlenmiştir. İri boyuttaki kromit numunelerin tamamı, çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kombinasyonu ile 1 mm altına düşürülmüştür. Kırılan numuneler harmanlama yapıldıktan sonra, konileme dörtleme yöntemi ile azaltılarak yaklaşık 40 kg kromit numunesi deneylerde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

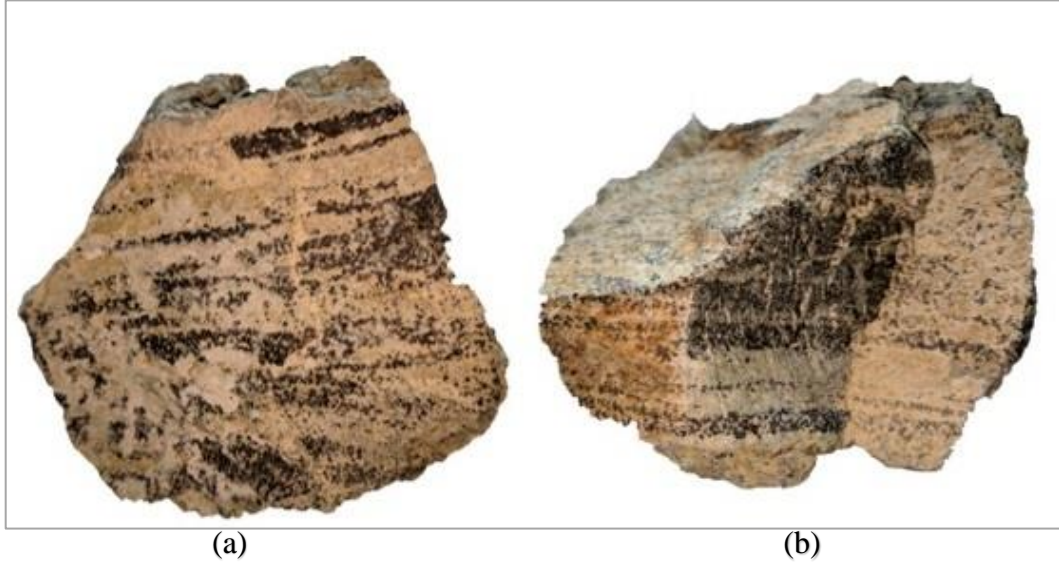
Deneyler için ayrılan numunelerin tamamı -300 µm altına indirilmesi için, bilyalı değirmende kontrollü öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme sonrası numuneler 300 µm elek ile kuru olarak elenmiştir. Elek üstü tekrar bilyalı değirmende öğütülmüş, malzemenin tamamı -300 µm elek altına geçene kadar işlemlere devam edilmiştir. Kromit numuneleri -300 µm altına indirildikten sonra, öğütülen malzemeler harmanlanmış, konileme dörtleme yöntemi ile ayrılıp 2 kilogram gelecek şekilde torbalara konulmuştur. Kromit numuneleri, tane boyutlarını belirlenebilmesi için elek analizine tabi tutulmuştur. Elemede; -300+212, -212+150, -150+106, -106+75, -75+53, -53+38 ve -38 µm boyutları aralığında malzeme sınıflandırılması yapılmıştır. Söz konusu elek analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ögütülmüş numunelerin elek analiz sonuçları

Elek Açıklığı (Mikron)	Miktar		Cr ₂ O ₃ Tenör (%)
	(gr)	(%)	
-300 +212	89,90	27,44	36,33
-212 +150	44,30	13,34	34,93
-150 +106	64,50	19,61	36,92
-106 +75	40,10	11,78	37,61
-75 +53	41,30	11,09	29,70
-53 +38	33,70	8,80	26,40
-38	20,40	7,94	19,02
Toplam	334,20	100,00	33,53

5.3. Kromit Numunelerinin Özellikleri

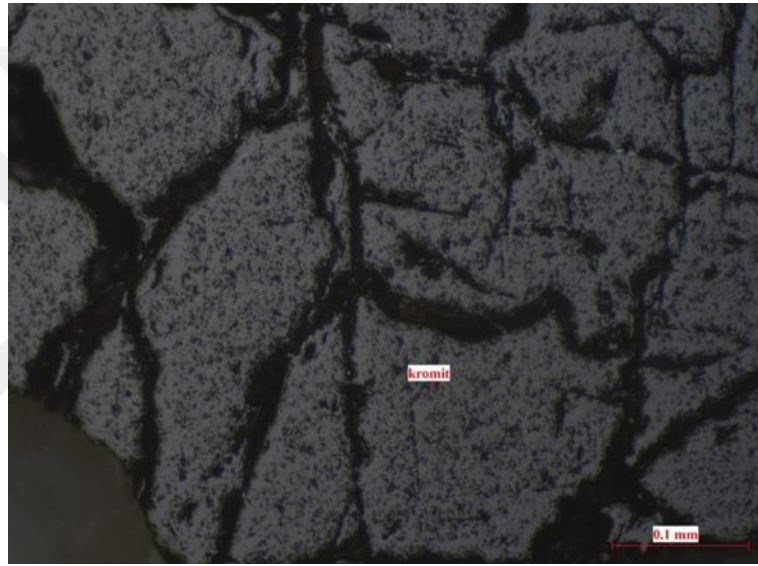
Deneylerde kullanılan kromit cevherinin mineralojik analizi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne (Ankara) ait laboratuvarlarda yapılmıştır. Orijinal kromit numunesi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



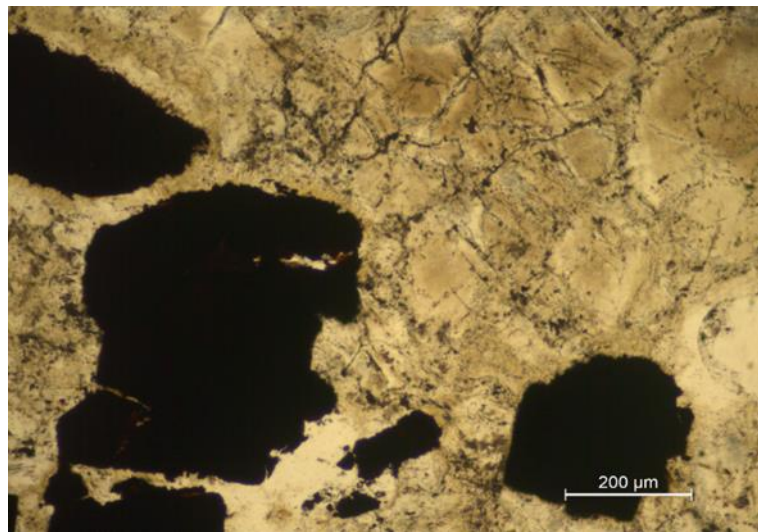
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan kromit cevheri numune örneklerinin görüntüleri

Kalitatif mineralojik petrografik analiz sonuçlarına göre; Makroskobik tanımlamada, Renk: yeşilimsi gri, Doku: Masif yer yer bantlı dokuya benzer doku, Tane Büyüklüğü: küçük- orta taneli olarak belirtilmiştir. Mikroskobik tanımlamada ise, Doku: ağsı doku (elek dokusu), Ana bileşenler: Serpantin, Opak mineraller (kromit ve klorit), Serpantin: küçük taneli, lifsel veya özşekilsiz, bir kısmı opak minerallerin çatlaklarında ve aralarında, Klorit:

küçük-orta taneli (en büyük tane boyutu 1,2 mm), kızılımsı siyah renkli, yarı özşekilli, özşekilsiz, kırıklı çatlaklı yapıda, Klorit: küçük taneli, serpantin minerallerinin arasında lifsel şekillerde, bir kısmı opak minerallerin aralarında ve çatlaklarında şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca; “kromitlerin banta benzer şekilde yaklaşık kalınlığı 2 cm olan kısımlarında kümelenmiş olarak bulunduğu gözlemlenmiştir” denilmektedir. Kayaç adı, Serpantinleşmiş ultramafik kayaç olarak ifade edilmiştir. Standart kalitatif mineral analizinde; kromit, serpantin grubu mineral, klorit grubu mineral ve karışık tabakalı kil (az) belirlenmiştir. Kromit numunesinin makroskobik ve mikroskobik görüntüleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Numunelere ait makroskobik kesit görüntüsü.



Şekil 5.3. Numunelere ait mikroskobik kesit görüntüsü.

5.4. Kimyasal Analiz Yöntemi

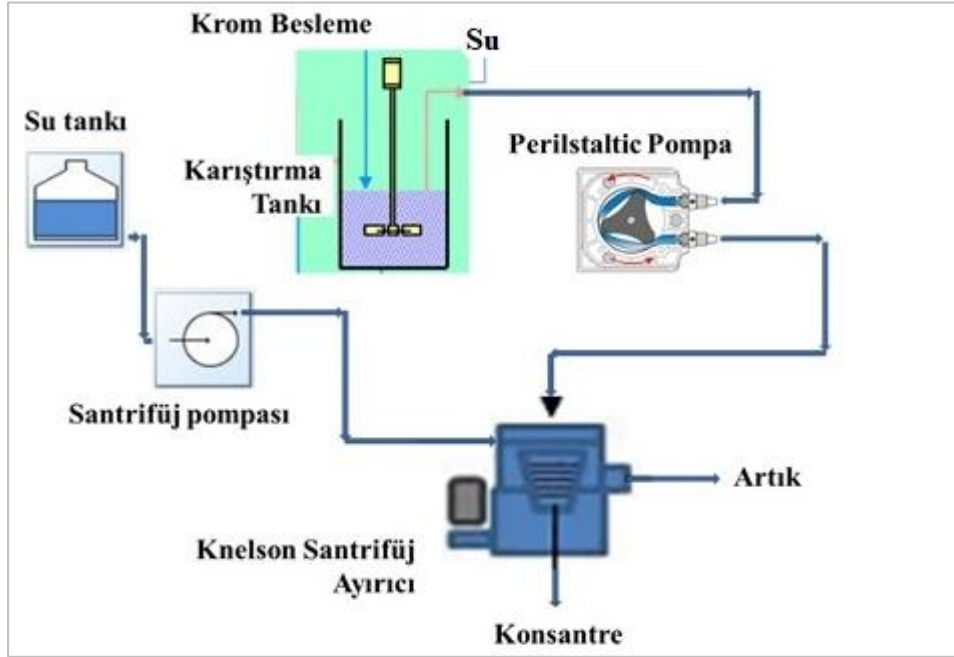
Kromun analiz yöntemi, +6 değerlikli kromun, asit çözeltisi içerisinde difenilkarbazite reaksiyona girerek, kırmızı-eflatun bir renk oluşturup kolorimetrik olarak tayinine dayanır. Analizde, standart numune olarak %47,74 Cr₂O₃ içeren kromit numunesi kullanılmıştır. Numune halkalı değirmende -100 mikrona öğütülür. Hassas terazi ile 0,5 gr öğütülmüş numune tartılır. Tartılan numune, daha önceden demir kroze hazırlanmış (3,5 gr sodyum peroksit (Na₂O₂), 0,3 gr sodyum karbonat (Na₂CO₃) karışımının içine katılarak karıştırılır. Demir kroze hazırlanmış karışım 680°C ayarlı fırına konulur ve eritiş yapılır. Eritişten sonra demir kroze 1000 ml cam behere konulur. Demir kroze saf su ile yıkanarak, numune çözelti hale getirilir. 1/1 sülfürik asit (H₂SO₄) 150 ml olarak behere eklenir. Cam beherdeki çözelti karışımı 400 ml ye tamamlanana kadar saf su ilave edilir. Çözeltinin rengi koyu sarı olmalıdır. Cam beherdeki çözelti manyetik karıştırıcı elektrikli ısıtıcıda yaklaşık 120 derecede 15-20 dk kaynatılır. Sonra beher su dolu soğutma küvetine alınır. Burada tam soğuyana kadar bekletilir. Soğuyan behere, 15 ml fosforik asit (H₃PO₄) eklenir. Çözelti saf su ile tekrar 400 ml'ye tamamlanır. Çözeltiye 6-7 damla renklendirici indikatör (baryum difenilamin sülfanat) çözeltisi eklenir. Hazırlanan çözelti ile titrasyon aşamasına geçilir. Bu anda numune koyu vişne renginde olmalıdır. Titrasyon aşamasında, 50 ml bürette hazırlanan mohr tuzu çözeltisi, çözeltinin bulunduğu behere damla damla verilmeye başlanır. Beher içindeki çözeltinin rengi koyu vişne rengi yeşile döndüğü zaman mohr tuzu çözeltisi verilmesi durdurulur. Bu aşamada büretten sarf edilen mohr tuzu çözeltisi değeri (ml miktarı) okunur. Daha önceden tenörü belli olan standart numuneden (%47,74) harcanan mohr tuzu çözelti miktarına göre, tenörü belli olmayan numunenin tenörü aşağıdaki hesaplamaya göre bulunur.

Örnek: Tenörü belli olan %47,74 standart numunede mohr tuzu çözeltisi sarfiyatı 22,5 ml olsun. Yeni numunede sarfiyat 23 ml olsun. $47,74/22,5=2,12177778$ katsayısı hesaplanır. Bu değeri yeni numunenin mohr tuzu sarfiyatıyla çarparak yeni numunenin tenörü bulunur $2,12177778*23=48,80$ %Cr₂O₃.

5.5. Knelson Santrifüj Ayırıcı Testleri

Knelson santrifüj ayırıcı ile zenginleştirme deneyleri için, Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarında bulunan, KC-MD3 model laboratuvar ölçekli kesikli tip Knelson santrifüj ayırıcı kullanılmıştır. Deneylerin homojen bir dağılımı gösterebilmesi için, 2 kilogram olarak ayrılan numune torbalarından, konileme-dörtleme yöntemi ile her bir deney için ayrı ayrı numuneler hazırlanmıştır. Knelson santrifüj ayırıcı ile ön deneyler için, 1500 devir/dk hazne dönüş hızı, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı ve %20 pülp katı oranı belirlenmiştir. Knelson santrifüj ayırıcı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen, her bir deney için konsantre ve artık numuneler ayrı ayrı kurutulmuş ve tartılmıştır. Elde edilen konsantre ve artıklar, Cr_2O_3 tenörleri belirlenmek üzere, yaklaşık 10 gram kadar ayrılarak halkalı değirmen ile 100 mikronun altına öğütülmüş ve ardından kimyasal analize tabi tutulmuştur. Deneylerin gerçekleştirildiği laboratuvar ölçekli KC-MD3 Knelson santrifüj ayırıcının; Gücü: 1/6 Hp, Hazne dönüş hızı: 800-2425 dev/dk, Kapasitesi: 0-45 kg/s, Pülp katı oranı: %0-75, Maksimum tane boyutu: 1,7 mm'dir.

Knelson santrifüj ayırıcı zenginleştirme deney akım şeması Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Knelson santrifüj ayırıcı zenginleştirme deney akım şeması.

6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

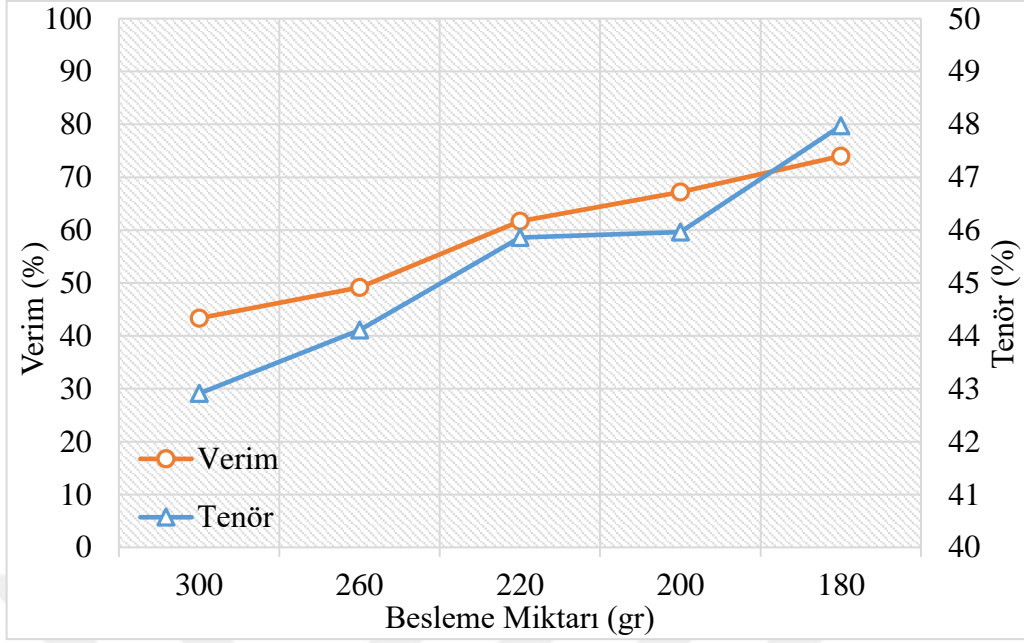
6.1. Besleme Miktarının Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson ayırıcıda, besleme miktarının zenginleştirmeye olan etkisi araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1500 dev/dk hazne dönüş hızı, %20 pülp katı oranı ve 1,5 lt/dk pülp besleme hızı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 180, 200, 220, 260 ve 300 gram kromit besleme miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.1’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır

Çizelge 6.1. Besleme miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Besleme Miktarı (gr)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 12 lt/dk Pülp Katı Oranı %20 Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk Hazne Dönüş Hızı 1500 dev/dk	300	Konsantre	101,60	33,87	42,91	43,34
		Artık	198,40	66,13	28,73	56,66
		Besleme	300,00	100,00	33,53	100,00
	260	Konsantre	97,20	37,38	44,11	49,18
		Artık	162,80	62,62	27,21	50,82
		Besleme	260,00	100,00	33,53	100,00
	220	Konsantre	99,20	45,01	45,86	61,67
		Artık	120,80	54,99	23,40	38,33
		Besleme	220,00	100,00	33,53	100,00
200	Konsantre	98,00	49,00	45,96	67,16	
	Artık	102,00	51,00	21,59	32,84	
	Besleme	200,00	100,00	33,53	100,00	
180	Konsantre	93,10	51,72	47,97	74,00	
	Artık	86,90	48,28	18,06	26,00	
	Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00	

Deneylere elde edilen sonuçlardan hareketle, besleme miktarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.1’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.1. Besleme miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; Besleme miktarı artıkça konsantre tenör ve verim değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Optimal besleme miktarı 180 gram olarak belirlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 180 gram besleme miktarında konsantre Cr_2O_3 tenörü %47,97 ve verim ise %74,00 olmuştur.

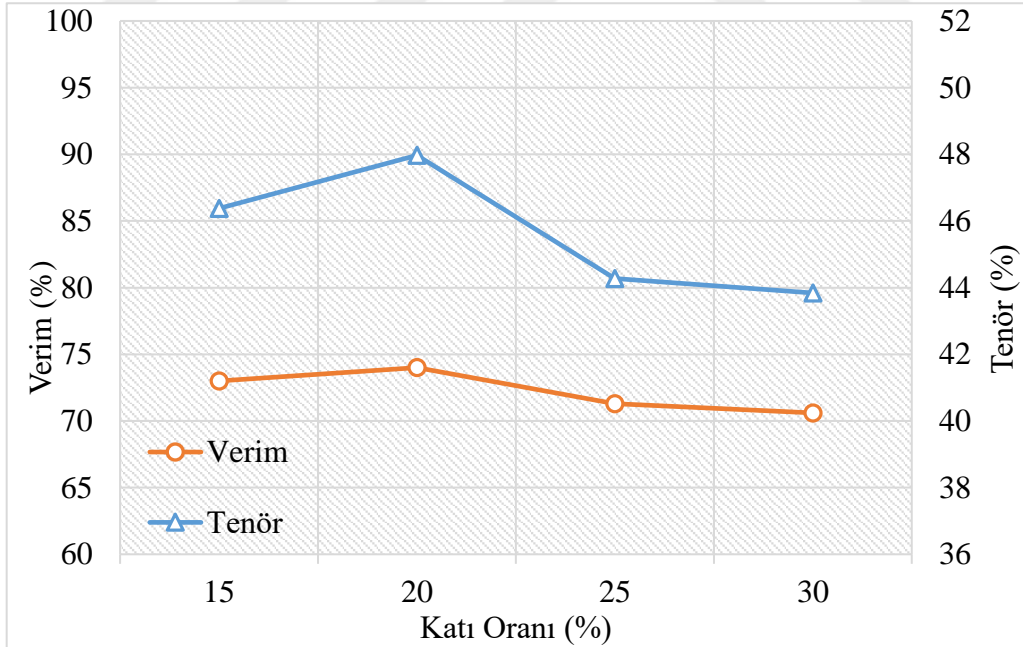
6.2. Pülp Katı Oranının Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson santrifüj ayırıcıda, pülp katı oranının zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; -300 μm tane boyutu, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1500 dev/dk hazne dönüş hızı, 180 gram besleme miktarı ve 1,5 lt/dk pülp besleme hızı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; %15, 20, 25 ve 30 pülp katı oranları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.2'de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.2. Pülp katı oranının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Pülp Katı Miktarı (%)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 12 lt/dk	15	Konsantre	95,00	52,78	46,38	73,00
		Artık	85,00	47,22	19,17	27,00
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	20	Konsantre	93,10	51,72	47,97	74,00
		Artık	86,90	48,28	18,06	26,00
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	25	Konsantre	97,20	54,00	44,27	71,30
		Artık	82,80	46,00	20,92	28,70
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Hazne Dönüş Hızı 1500 dev/dk	30	Konsantre	97,20	54,00	43,84	70,60
		Artık	82,80	46,00	21,43	29,40
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylemlerden elde edilen sonuçlardan hareketle, Pülp katı oranının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.2’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.2. Pülp katı oranının konsantreye etkisi

Sonuçta; Pülp katı oranı artıka konsantre tenör ve verim değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, %20 pülp katı oranında Cr₂O₃ tenörü

%47,97 ve verim ise %74,00 gerçekleşmiştir. Optimal pülp katı oranı %20 olarak belirlenmiştir.

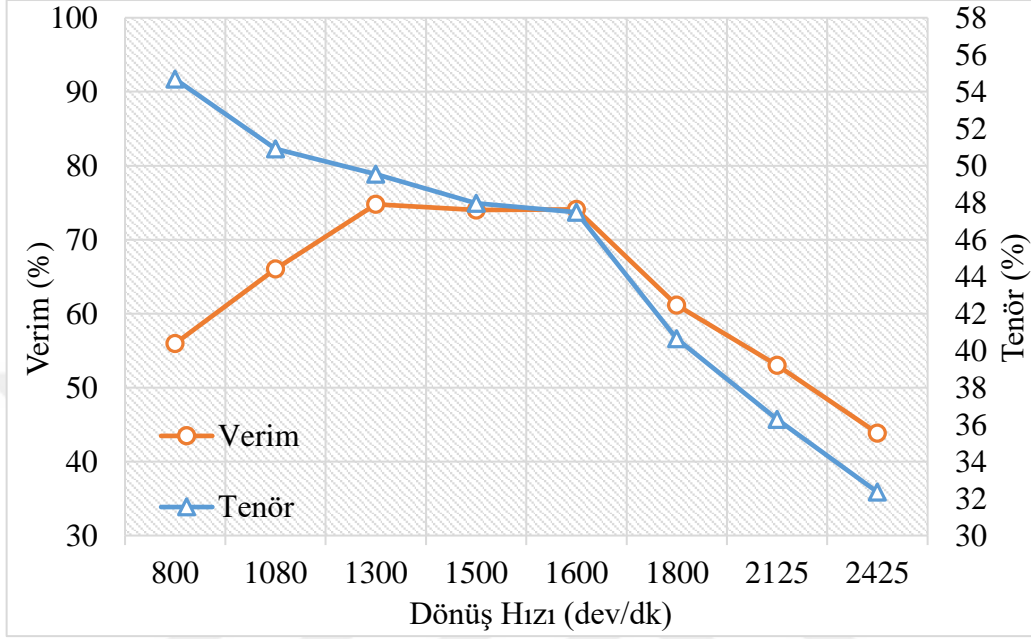
6.3. Hazne Dönüş Hızının Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson santrifüj ayırıcıda, hazne dönüş hızının zenginleştirmeye olan etkisini araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 180 gram besleme miktarı, %20 pülp katı oranı ve 1,5 lt/dk pülp besleme hızı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 800, 1080, 1300, 1500, 1600, 1800, 2125, 2425 dev/dk hazne dönüş hızları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.3'de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.3. Hazne dönüş hızının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Hazne Dönüş Hızı (dev/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 12 lt/dk	800	Konsantre	58,10	32,28	54,68	52,64
		Artık	121,90	67,72	23,45	47,36
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	1080	Konsantre	78,30	43,50	50,91	66,05
		Artık	101,70	56,50	20,15	33,95
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	1300	Konsantre	91,10	50,61	49,54	74,78
		Artık	88,90	49,39	17,12	25,22
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	1500	Konsantre	93,10	51,72	47,97	74,00
		Artık	86,90	48,28	18,06	26,00
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	1600	Konsantre	94,20	52,33	47,48	74,11
		Artık	85,80	47,67	18,21	25,89
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	1800	Konsantre	90,80	50,44	40,64	61,14
		Artık	89,20	49,56	26,29	38,86
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	2125	Konsantre	88,20	49,00	36,29	53,03
		Artık	91,80	51,00	30,88	46,97
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	2425	Konsantre	81,80	45,44	32,35	45,47
		Artık	98,20	54,46	33,51	54,53
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, hazne dönüş hızlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr_2O_3 tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.3’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.3. Hazne dönüş hızının konsantreye etkisi

Sonuçta; hazne dönüş hızının azaldığı durumlarda konsantre tenörünün yükseldiği, birikme miktarına bağlı olarak da verimin 1300-1600 dev/dk aralığında yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Optimal hazne dönüş hızı 1300 dev/dk olarak belirlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 1300 dev/dk hazne dönüş hızında konsantre Cr_2O_3 tenörü %49,54 ve verim ise %74,78 olarak gerçekleşmiştir.

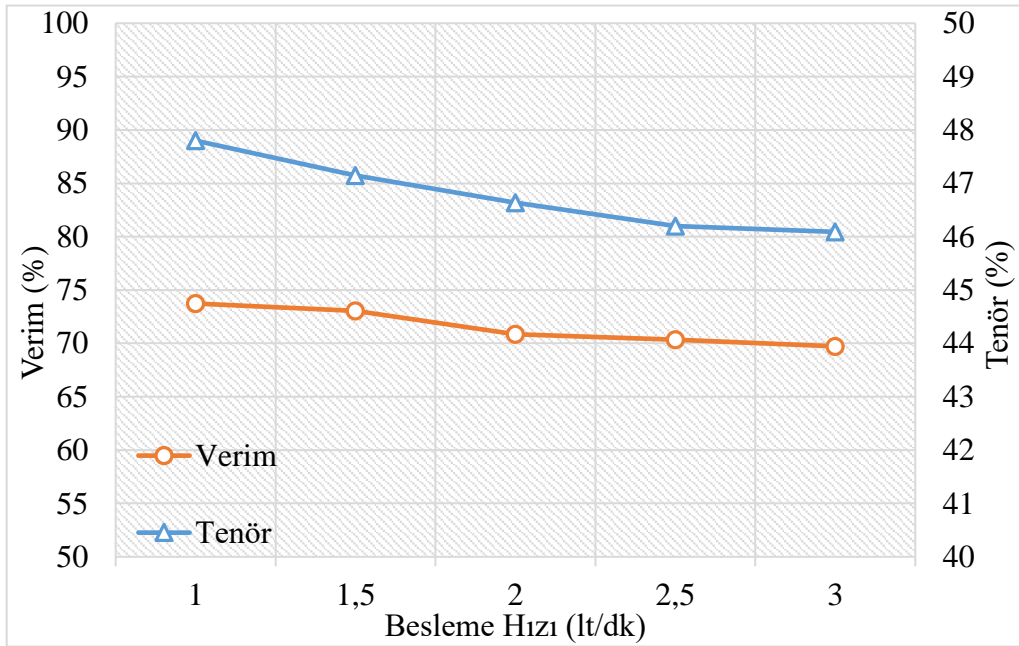
6.4. Pülp Besleme Hızının Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson santrifüj ayırıcıda, pülp besleme hızının zenginleştirmeye olan etkisini araştırılmasında; -300 μm tane boyutu, 9 lt/dk yıkama su miktarı, 1300 dev/dk hazne dönüş hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 1, 1,5, 2, 2,5 ve 3 lt/dk pülp besleme hızları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.4’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.4. Pülp besleme hızının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Besleme Hızı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 9 lt/dk Pülp Oranı %20 Besleme Miktarı 180 gr Hazne Dönüş Hızı 1300 dev/dk	1	Konsantre	93,10	51,72	47,80	73,73
		Artık	86,90	48,28	18,24	26,27
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	1,5	Konsantre	93,50	51,94	47,15	73,04
		Artık	86,50	48,06	18,81	26,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	2	Konsantre	91,70	50,94	46,64	70,86
		Artık	88,30	49,06	19,92	29,14
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
	2,5	Konsantre	91,90	51,06	46,20	70,35
		Artık	88,10	48,94	20,31	29,65
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
3	Konsantre	91,30	50,72	46,09	69,72	
	Artık	88,70	49,28	20,60	26,48	
	Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00	

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, pülp besleme hızlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.4’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.4. Pülp besleme hızının konsantreye etkisi

Sonuçta; pülp besleme hızı artıka konsantre tenör ve verim değerlerinde az bir miktar düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 1 lt/dk pülp besleme hızında konsantre Cr₂O₃ tenörü %47,80 ve verim ise %73,73 olmuştur. 1,5 lt/dk pülp besleme hızında konsantre Cr₂O₃ tenörü %47,15 ve verim ise %73,04 olarak geręekleřmiřtir.

6.5. Hazne Dönüş Hızı ve Yıkama Su Miktarındaki Değişimin Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının, hazne dönüş hızına bağlı olarak zenginleştirmeye olan etkisi araştırılmasında; 12, 9 ve 6 lt/dk su yıkama miktarları 800, 1080, 1300, 1500, 1800 dev/dk hazne dönüş hızları değişken parametreler olarak belirlenmiştir.

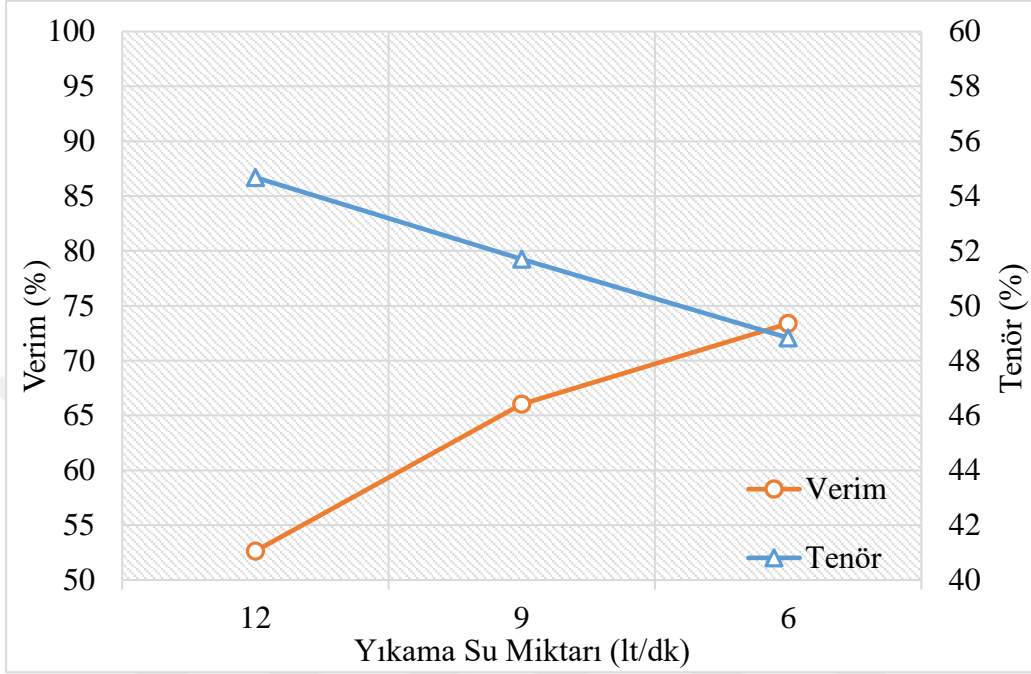
6.5.1. 800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 800 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 12, 9 ve 6 lt/dk yıkama su miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.5’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.5. 800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Yıkama Su Miktarı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Hazne Dönüş Hızı 800 dev/dk	12	Konsantre	58,10	32,28	54,68	52,64
		Artık	121,90	67,72	23,45	47,36
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	9	Konsantre	77,10	42,83	51,70	66,04
		Artık	102,90	57,17	19,92	33,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	6	Konsantre	90,70	50,39	48,83	73,38
		Artık	89,30	49,61	17,99	26,62
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	6	Konsantre	90,70	50,39	48,83	73,38
		Artık	89,30	49,61	17,99	26,62
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylemlerden elde edilen sonuçlardan hareketle, yıkama su miktarlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.5’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.5. 800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenöründe düşme ve verimde yükselme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %54,68 ve verim %52,64 olarak elde edilmiştir. 6 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %48,83 düşerken verim ise %73,38 yükselmiştir.

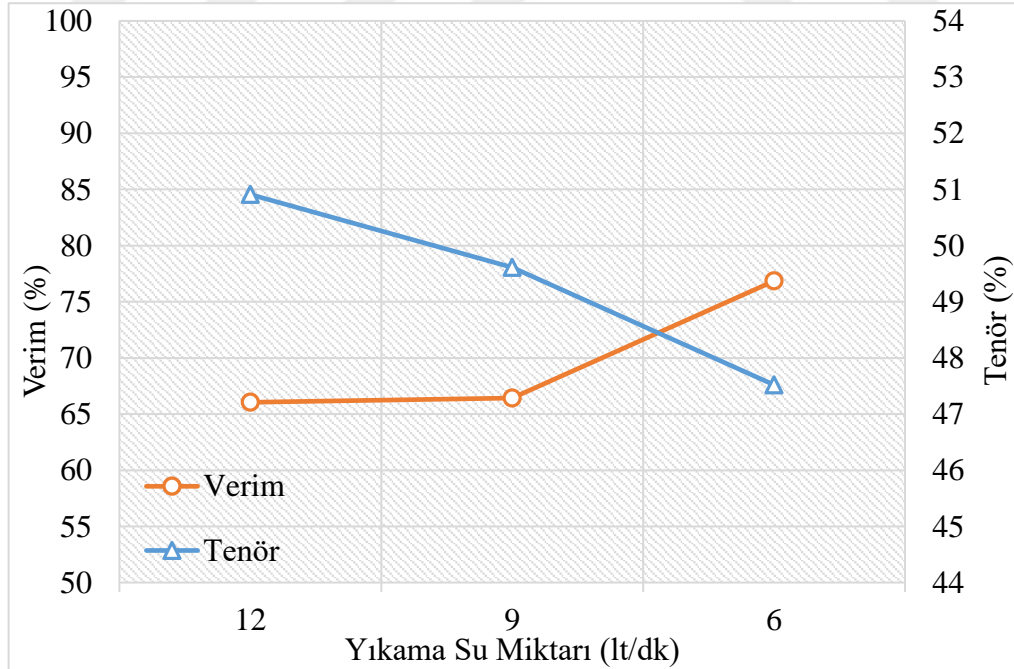
6.5.2. 1080 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 1080 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 12, 9 ve 6 lt/dk yıkama su miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.6’da deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.6. 1080 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Yıkama Su Miktarı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Hazne Dönüş Hızı 1080 dev/dk Pülp Katı Oranı %20	12	Konsantre	78,30	43,50	50,91	66,05
		Artık	101,70	56,50	20,15	33,95
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	9	Konsantre	80,80	44,89	49,61	66,42
		Artık	99,20	55,11	20,43	33,58
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	6	Konsantre	97,60	54,22	47,52	76,85
		Artık	82,40	45,78	16,96	23,15
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylemlerden elde edilen sonuçlardan hareketle, yıkama su miktarlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.6'da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.6. 1080 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenöründe düşme ve verimde ise yükselme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında, 9 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %49,61 ve verim ise %66,42 olarak gerçekleşmiştir.

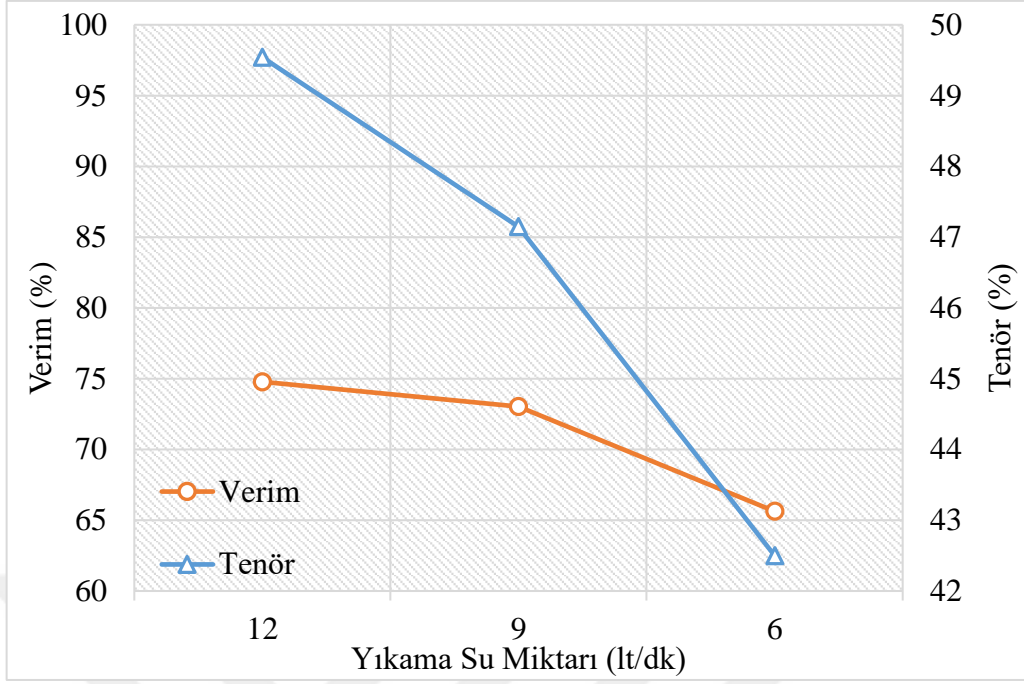
6.5.3. 1300 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 1300 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 12, 9 ve 6 lt/dk yıkama su miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.7’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.7. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Yıkama Su Miktarı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Hazne Dönüş Hızı 1300 dev/dk	12	Konsantre	91,10	50,61	49,54	74,78
		Artık	88,90	49,39	17,12	25,22
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	9	Konsantre	93,50	51,94	47,15	73,04
		Artık	86,50	48,06	18,81	26,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	6	Konsantre	93,20	51,78	42,50	65,63
		Artık	86,80	48,22	23,90	34,37
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	6	Konsantre	93,20	51,78	42,50	65,63
		Artık	86,80	48,22	23,90	34,37
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneysel sonuçlardan hareketle, yıkama su miktarlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.7’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.7. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenöründe ve verimde düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr_2O_3 tenörü %49,54 ve verim %74,78 olarak gerçekleşmiştir.

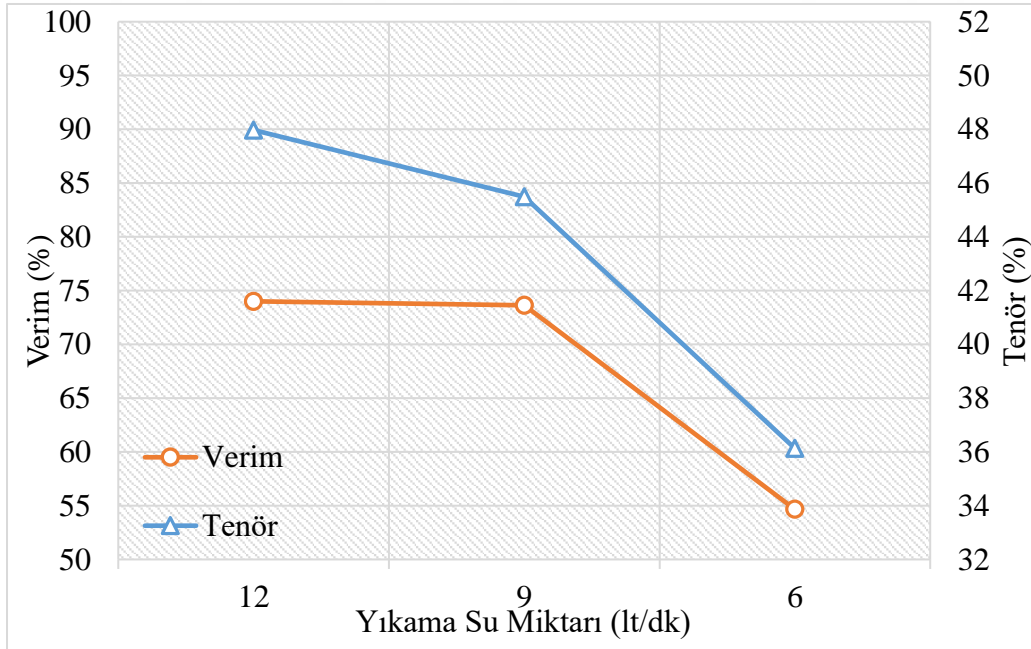
6.5.4. 1500 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; -300 μm tane boyutu, 1500 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 12, 9 ve 6 lt/dk yıkama su miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.8'de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.8. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Yıkama Su Miktarı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Hazne Dönüş Hızı 1500 dev/dk	12	Konsantre	93,10	51,72	47,97	74,00
		Artık	86,90	48,28	18,06	26,00
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	9	Konsantre	97,70	54,28	45,49	73,64
		Artık	82,30	45,72	19,33	26,36
		Besleme	180,00	180,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	6	Konsantre	91,30	50,72	36,13	54,66
		Artık	88,70	49,28	30,85	45,34
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, yıkama su miktarlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.8’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.8. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenörde ve verimde düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %47,97 ve verim %74,00 olmuştur.

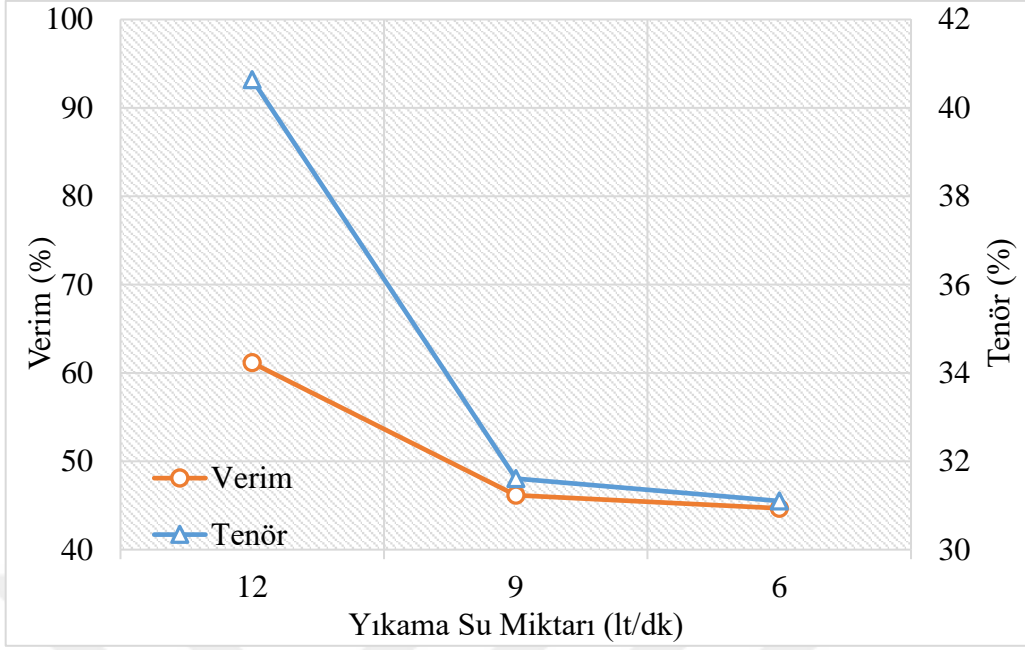
6.5.5. 1800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Yıkama Su Miktarlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, yıkama su miktarının zenginleştirmeye olan etkisini araştırılmasında; -300 µm tane boyutu, 1800 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; 12, 9 ve 6 lt/dk yıkama su miktarları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.9'da deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.9. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Yıkama Su Miktarı (lt/dk)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Hazne Dönüş Hızı 1800 dev/dk	12	Konsantre	90,80	50,44	40,64	61,14
		Artık	89,20	49,56	26,29	38,86
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	9	Konsantre	88,10	48,94	31,61	46,14
		Artık	91,90	51,06	35,37	53,86
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	6	Konsantre	86,70	48,17	31,10	44,68
		Artık	93,30	51,83	35,79	55,32
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	6	Konsantre	86,70	48,17	31,10	44,68
		Artık	93,30	51,83	35,79	55,32
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, yıkama su miktarlarının değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.9'da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.9. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında yıkama su miktarının konsantreye etkisi

Sonuçta; yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenöründe ve verimde düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreler altında, 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr_2O_3 tenörü %40,64 ve verim %61,14 olmuştur.

6.6. Hazne Dönüş Hızı ve Tane Boyutundaki Değişimin Zenginleştirmeye Etkisi

Knelson santrifüj ayırıcıda, tane boyutunun hazne dönüş hızına bağlı olarak zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; 9 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı başlangıç testlerinde sabit parametreler olarak alınmıştır. -300, -212, -150 ve -106 μm tane boyutlarında 800, 1300, 1500, 1800 dev/dk hazne dönüş hızları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Deneilerde kullanılan kromit numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır ve boyut dağılımları tespit edilmiştir.

-212 μm tane boyutunun hazne dönüş hızına bağlı, zenginleştirmeye etkisini belirlemek için, -300 μm tane boyutunda hazırlanmış olan besleme malından temsili numune alınmış ve -300+212 μm boyut aralığındaki malzemenin tamamı -212 μm altına geçene kadar bilyalı değirmende kontrollü olarak öğütülmüştür.

-150 µm tane boyutunun hazne dönüş hızına bağlı, zenginleştirmeye etkisini belirlemek için, -300 µm tane boyutunda yaklaşık hazırlanmış olan besleme malından temsili numune alınmış ve -300+150 µm boyut aralığındaki malzemenin tamamı -150 µm altına geçene kadar bilyalı değirmende kontrollü olarak öğütülmüştür.

-106 µm tane boyutunun hazne dönüş hızına bağlı, zenginleştirmeye etkisini belirlemek için, -300 µm tane boyutunda yaklaşık hazırlanmış olan besleme malından temsili numune alınmış ve -300+106 µm boyut aralığındaki malzemenin tamamı -106 µm altına geçene kadar bilyalı değirmende kontrollü olarak öğütülmüştür.

-300, -212, -150 ve -106 µm tane boyutunda ayrı ayrı homojen olarak harmanlanan malzemelerden, konileme-dörtleme yapılarak deneysel testlerde kullanılmak üzere her bir boyut için 5'er adet 180 gram numune hazırlanmıştır.

-300, -212, -150, -106 µm tane boyutunda hazırlanmış olan besleme mallarına ait elek analiz sonuçları aşağıda sunulan Çizelge 6.10'da toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Deneysel kullanılan besleme mallarının elek analiz sonuçları

Elek Açıklığı (Mikron)	Besleme Malı Miktarları (%)			
	-300 µm	-212 µm	-150 µm	-106 µm
-300 +212	27,44	-	-	-
-212 +150	13,34	14,56	-	-
-150 +106	19,61	27,18	29,00	-
-106 +75	11,78	17,80	24,92	27,87
-75 +53	11,09	16,50	18,97	37,93
-53 +38	8,80	8,41	11,13	16,67
-38	7,94	15,53	15,99	17,53
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00

6.6.1. 800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

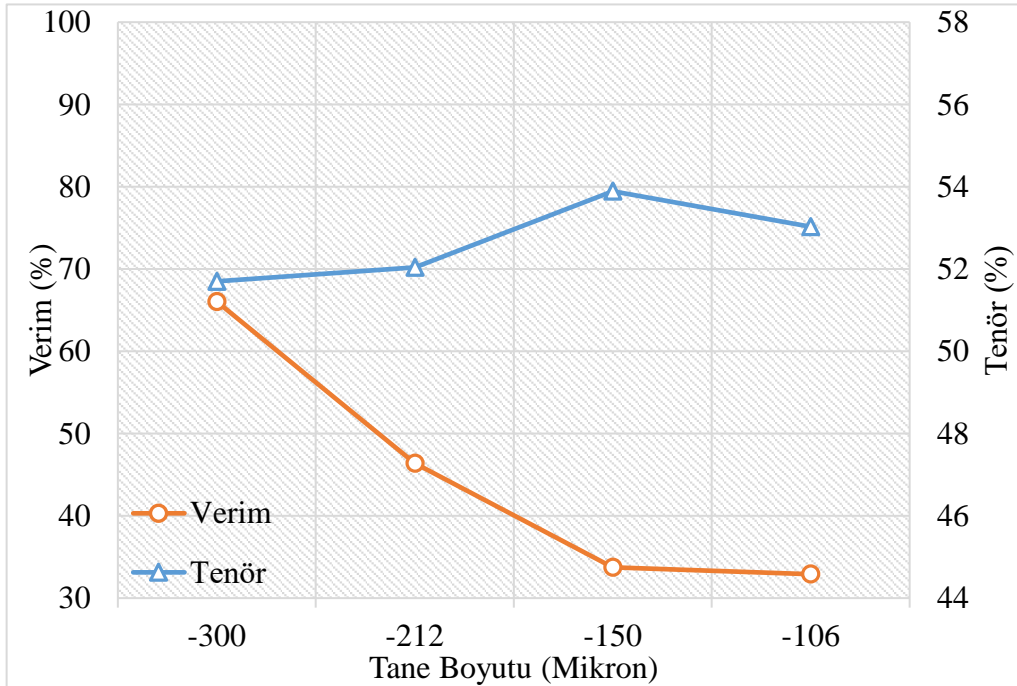
Knelson santrifüj ayırıcıda, tane boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; 9 lt/dk yıkama su miktarı, 800 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; -300, -212, -150 ve -106 µm tane

boyutları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.11’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.11. 800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Tane Boyutları (µm)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 9 lt/dk	-300	Konsantre	77,10	42,83	51,70	66,04
		Artık	102,90	57,17	19,92	33,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	-212	Konsantre	53,80	29,89	52,04	46,39
		Artık	126,20	70,11	25,64	53,61
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	-150	Konsantre	37,80	21,00	53,89	33,75
		Artık	142,20	79,00	28,12	66,25
		Besleme	180,00	180,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	-106	Konsantre	37,45	20,81	53,03	32,91
		Artık	142,55	79,19	28,41	67,09
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylelerden elde edilen sonuçlardan hareketle, tane boyutunun değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.10’da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.10. 800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi

Sonuçta; 800 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, malzemenin tane boyutu düştükçe konsantre tenöründe yükselme, veriminde ise düşüş gözlemlenmiştir. -300 µm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantrenin Cr₂O₃ tenörü %51,70 ve verimi %66,04 olarak gerçekleşmiştir.

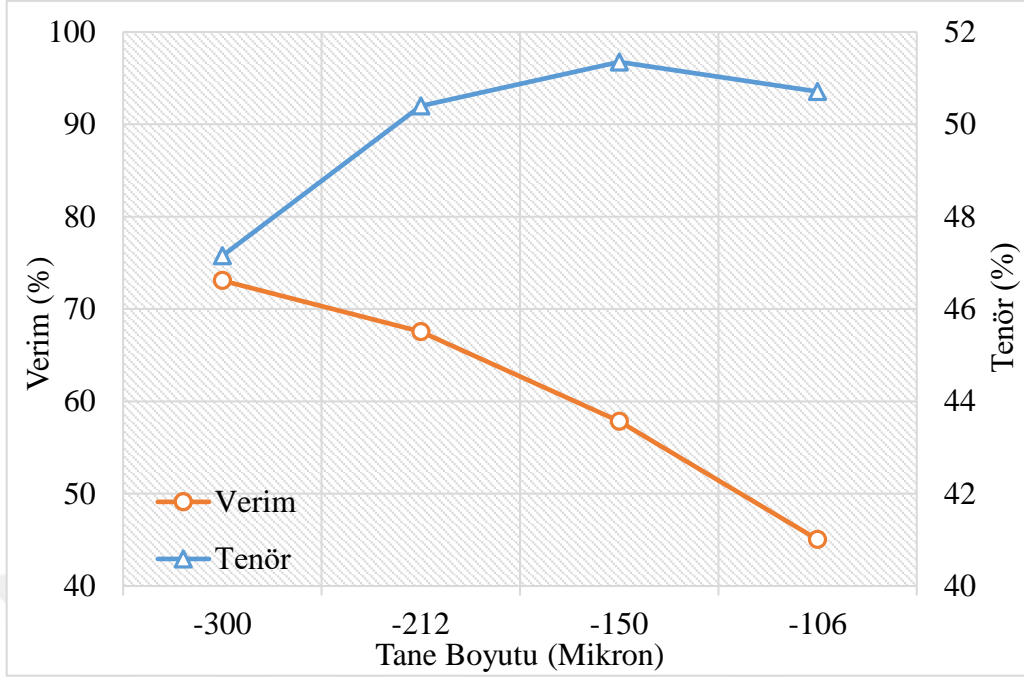
6.6.2. 1300 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, tane boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; 9 lt/dk yıkama su miktarı, 1300 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; -300, -212, -150 ve -106 µm tane boyutları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.12’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.12. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Tane Boyutları (µm)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 9 lt/dk	-300	Konsantre	93,50	51,94	47,15	73,04
		Artık	86,50	48,06	18,81	26,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	-212	Konsantre	80,90	44,94	50,40	67,56
		Artık	99,10	55,06	19,76	32,44
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	-150	Konsantre	68,00	37,78	51,35	57,86
		Artık	112,00	62,22	22,71	42,14
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	-106	Konsantre	53,60	29,78	50,71	45,04
		Artık	126,40	70,22	26,24	54,96
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, tane boyutunun değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.11’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.11. 1300 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi

Sonuçta; 1300 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, malzemenin tane boyutu düştükçe konsantre tenöründe yükselme, veriminde ise düşüş gözlemlenmiştir. -300 µm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantrenin Cr₂O₃ tenörü %47,15 ve verimi %73,04 olarak gerçekleşmiştir.

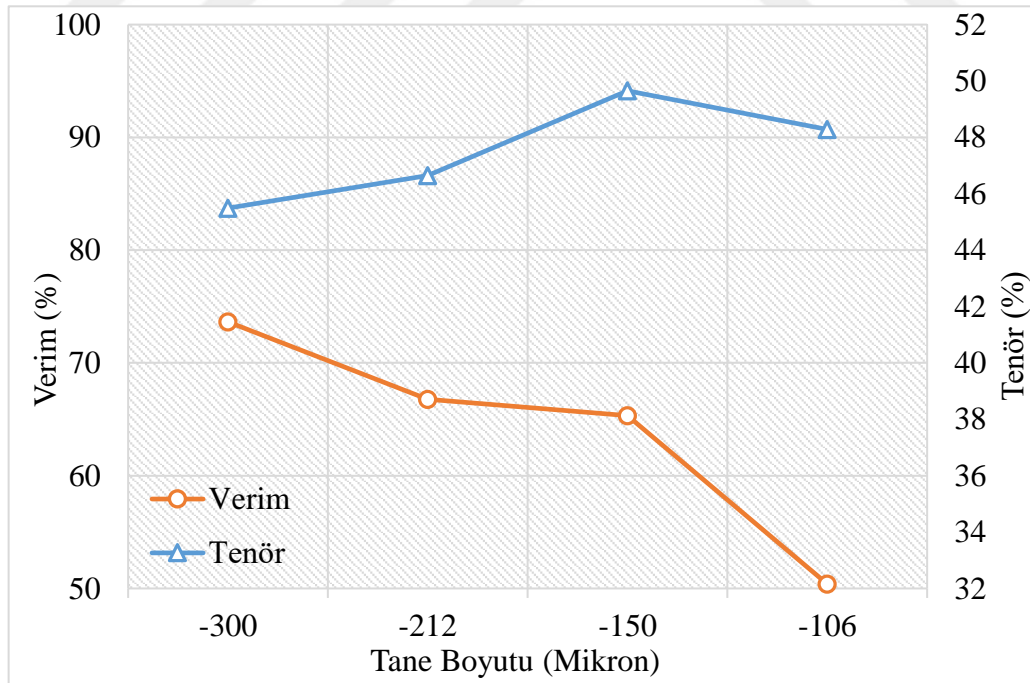
6.6.3. 1500 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, tane boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; 9 lt/dk yıkama su miktarı, 1500 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; -300, -212, -150 ve -106 µm tane boyutları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.13’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.13. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Tane Boyutları (µm)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 9 lt/dk	-300	Konsantre	97,70	54,28	45,49	73,64
		Artık	82,30	45,72	19,33	26,36
		Besleme	180,00	180,00	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	-212	Konsantre	86,40	48,00	46,65	66,78
		Artık	93,60	52,00	21,42	33,22
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	-150	Konsantre	79,40	44,11	49,65	65,32
		Artık	100,60	55,89	20,81	34,68
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	-106	Konsantre	63,00	35,00	48,28	50,40
		Artık	117,00	65,00	25,59	49,60
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, tane boyutunun değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.12’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.12. 1500 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi

Sonuçta; 1500 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, malzemenin tane boyutu düştükçe konsantre tenöründe yükselme, veriminde ise düşüş gözlemlenmiştir. -300 µm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantrenin Cr₂O₃ tenörü %45,49 ve verimi %73,64 olarak gerçekleşmiştir.

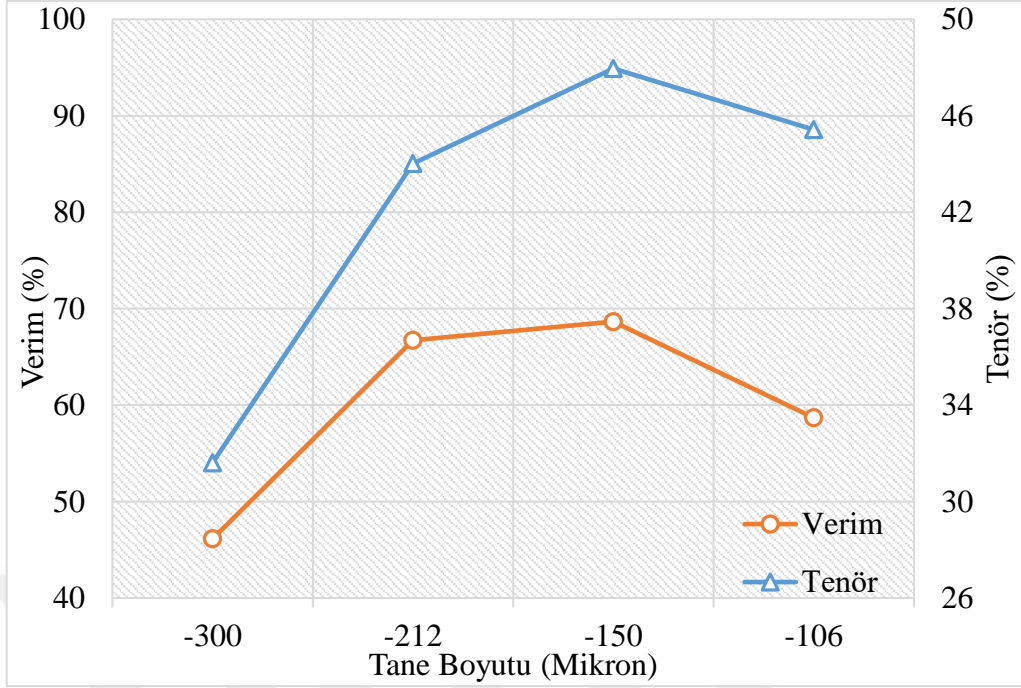
6.6.4. 1800 Dev/Dk Hazne Dönüş Hızında Tane Boyutlarının Zenginleştirmeye Etkisinin Karşılaştırılması

Knelson santrifüj ayırıcıda, tane boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinin araştırılmasında; 9 lt/dk yıkama su miktarı, 1800 dev/dk hazne dönüş hızı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı ve %20 pülp katı oranı sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu şartlarda yapılan deneysel çalışmada; -300, -212, -150 ve -106 µm tane boyutları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.14’de deneysel test sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 6.14. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun zenginleştirmeye etkisi

Sabit Parametreler	Tane Boyutları (µm)	Ürünler	Miktar		Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
			(gr)	(%)		
Yıkama Su Miktarı 9 lt/dk	-300	Konsantre	88,10	48,94	31,61	46,14
		Artık	91,90	51,06	35,37	53,86
		Besleme	180,00	100	33,53	100,00
Besleme Miktarı 180 gr	-212	Konsantre	91,50	50,83	44,02	66,74
		Artık	88,50	49,17	22,68	33,26
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Besleme Hızı 1,5 lt/dk	-150	Konsantre	86,40	48,00	47,96	68,66
		Artık	93,60	52,00	20,21	31,34
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00
Pülp Katı Oranı %20	-106	Konsantre	78,00	43,33	45,42	58,70
		Artık	102,00	56,66	24,44	41,30
		Besleme	180,00	100,00	33,53	100,00

Deneylelerden elde edilen sonuçlardan hareketle, tane boyutunun değişimine göre elde edilen konsantrelerin Cr₂O₃ tenör (%) ve verim (%) değerleri Şekil 6.13’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.13. 1800 dev/dk hazne dönüş hızında tane boyutunun konsantreye etkisi

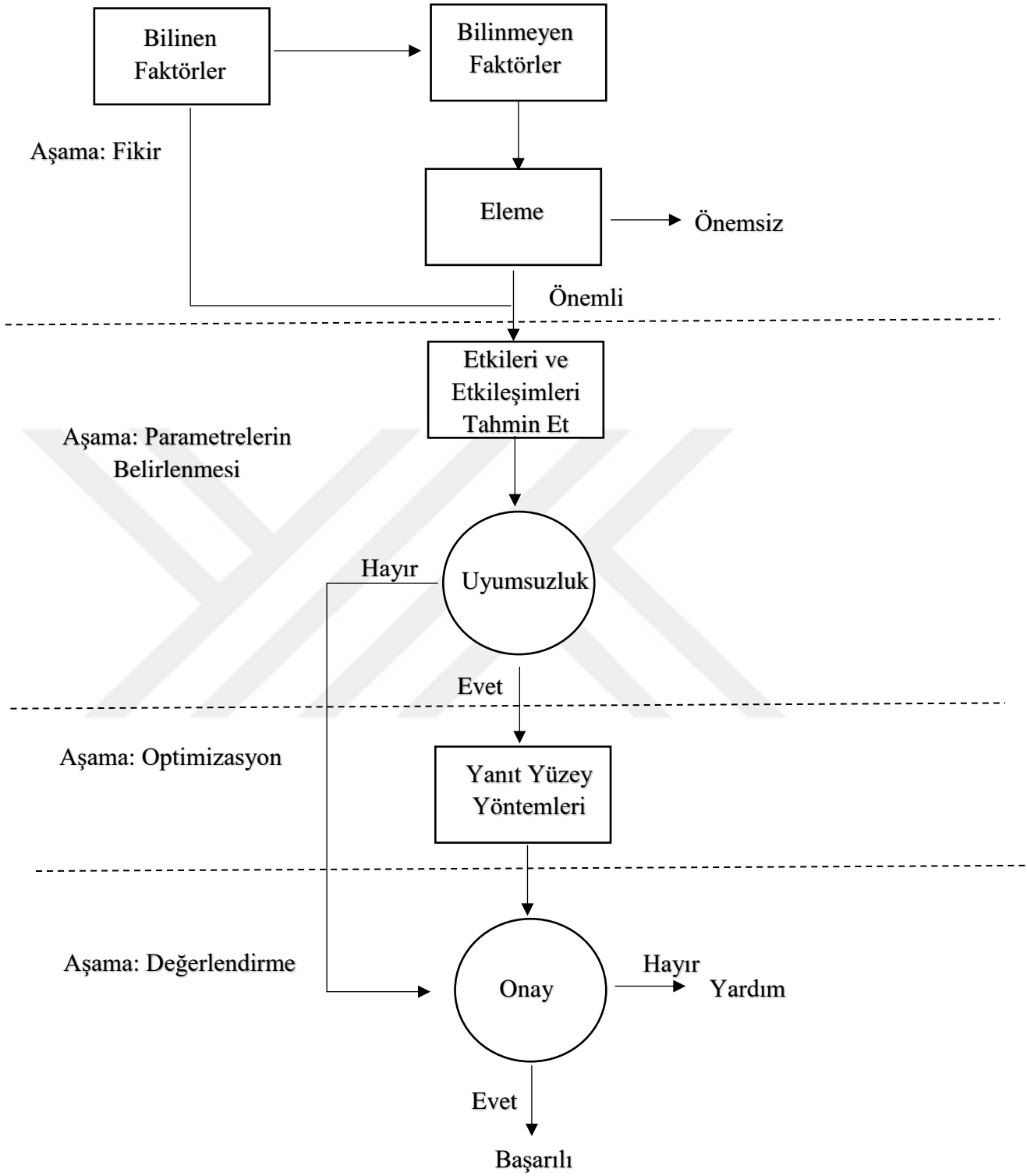
Sonuçta; 1800 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, -150 μm tane boyutuna kadar konsantre tenöründe ve verimde yükselme, sonrasında azalma gözlemlenmiştir. -150 μm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantre Cr_2O_3 tenörü %47,96 ve verim %68,66 gerçekleşmiştir.

6.7. Modelleme ve Optimizasyon

Bir çalışmada sonuç üzerinde etkin olan çok sayıda değişken varsa, bu tür çalışmaların tasarlanmasında deneysel tasarım yöntemlerinin kullanılması çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Bu prosesler bir çok faktör tarafından etkilenen kompleks sistemlerdir. Deneysel tasarım, bu sistemlerin fonksiyonlarla ifade edilmesini ve çok sayıda etkin olan değişkenler arasındaki önemli etkileşimlerin ortaya konulmasını sağlamaktadır. Bir veya birden fazla yanıt üzerinde birkaç bağımsız değişkenin potansiyel etkisinin olduğu deneysel durumlarda uygulanır ve sağladığı avantajlarla optimum koşullarda belirlenen tahmini yanıt değerlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Yanıt değişkeni (liç işleminde metal kazanım verimi, flotasyon çalışmalarında yüzdürme verimi, gravite ile zenginleştirmede metal kazanma verimi vb.) deneysel çıktı olarak gözlenirken deneylerin tasarımında bağımsız değişkenler kontrol edilir [13].

Geleneksel olarak tanımlanan deney sistematğinde, tüm değişkenlerin olası etkilerinin hepsini aynı anda görmek çok büyük sayılarda deneme gerektirir. Bu hem uzun hesaplama süreleri hem de büyük maliyetler gerektirdiğinden zor bir yöntemdir. Örneğın iki seviyeli yedi değişkenli bir prosesin tüm etkilerini görebilmek için tam faktöriyel bir çözümleme yapıldığında gerçekleştirilecek deney sayısı (2^7) 128 adettir. Yine benzer şekilde beş seviyeli dört değişkenli bir proses için aynı çözümleme yapıldığında (5^4) 625 adet deney yapmak gerekmektedir. Oysaki değişkenlerin eş zamanlı değiştirilmesi, geleneksel deney yöntemine göre daha kısa sürede ve daha az deneysel çalışma ile sonuca ulaşmayı sağlar. Diğer taraftan deneysel tasarımın üstünlüğü, birkaç faktörün eş zamanlı değiştirilmesi ve her bir faktörün bağımsızca değerlendirilmesidir.

Çoğu deneysel tasarıma göre birkaç yaygın basamak vardır. İlk aşama çözülecek problemin belirlenmesidir. Prosesi etkileyen faktörlerin belirlenmesi ikinci aşamadır. Üçüncü olarak farklı kombinasyonlarda faktörlerin deneysel çalışmada incelenmesidir. Son olarak da en iyi sonuç veren kombinasyonun seçilmesidir. Deneysel tasarımda öngörülen strateji Şekil 6.14'de verilmiştir [13].



Şekil 6.14. Deneysel modellemede kullanılan strateji [13].

6.7.1. Cevap Yüzeyi Yöntemi

Klasik yöntemlerle uygun değer deney koşullarının bulunması için çok sayıda deney yapmak gereklidir. Elde edilen sonuçlarla ise uygun değer deney koşulları üzerinde deney değişkenlerinin birbirleri üzerine olan etkilerini görmek mümkün değildir. Çok sayıda parametrenin sonuç üzerinde etkili olduğu sistemler için parametrelerin birbirleri üzerindeki etkilerini açıklamak için geliştirilen istatistiksel yöntemler, deney tasarımları ve sonuçların yorumlanmasında da kullanılmaktadır. İstatistiksel temele dayanan bu yöntemlerin başında Cevap Yüzeyi Yöntemleri gelmektedir [29].

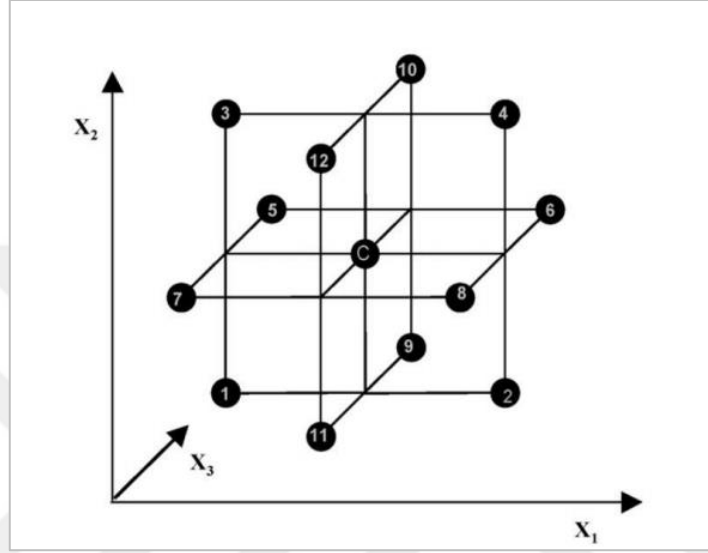
Cevap Yüzeyi Yöntemleri (Respons Surface Methodology/RSM), genellikle birden fazla yanıt değişkeninin birçok faktörden etkilendiği durumda, problemin modellenmesi ve analiz edilmesinde kullanılan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin toplamı olarak tanımlanır. Box ve Wilson mümkün olan en az sayıda gözlem değeri ile cevap yüzeyi üzerinde bağımlı değişkenin maksimum noktaya ulaşılmasını amaçlayan deneme düzenini ortaya koymuşlardır [29]. Cevap yüzeyi yönteminde ilk adım cevap değişkeni üzerinde etkisi olduğu düşünülen etkenleri yani bağımsız değişkenleri belirlemektir. Bu adımdan sonra, cevap yüzeyi yönteminde deney tasarımı, regresyon modelleme ve optimizasyon teknikleri iç içe kullanılır [30, 31]. Montgomeri'ye göre deney tasarımı aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır [32]:

1. Problemin Tanımlanması
2. Faktörlerin ve Düzeylerin Seçimi
3. Cevap Değişkeninin Seçimi
4. Deneyin Tasarlanması
5. Deneyin Gerçekleştirilmesi
6. Verilerin İstatistiksel Analizi
7. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, en çok kullanılan cevap yüzey yöntemlerinden biri olan Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılmıştır.

6.7.2. Box-Behnken Deneysel Tasarımı

İkinci derece model parametrelerinin tahmininde kullanılan üç seviyeli tamamlanmamış çok etkenli tasarımlardan, deneysel tasarımların bir çeşidi olan Box-Behnken tasarımları 1960 yılında Box ve Behnken tarafından geliştirilmiştir [33]. Box-Behnken deneysel tasarımının grafiksel gösterimi Şekil 6.15’de verilmektedir.



Şekil 6.15. Üç faktörlü Box-Behnken deneysel tasarımı [34].

Box-Behnken tasarımları için deneme noktasının sayısı $N = 2k(k-1) + n_c$ denklemiyle belirlenmektedir. Bu denklemde k etken sayısını n_c merkezi deneme sayısını belirtmektedir [30, 35].

6.7.3. Modelleme ve Optimizasyon Uygulaması

Bu bölümde üç faktörlü Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak kromit numunesinin Knelson santrifüj ayırıcı ile zenginleştirilmesinin optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Çalışmada bazı parametrelerin konsantre tenörü ve konsantre verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda; deneylerde kullanılacak bağımsız parametrelerin belirlenmesi, bu parametrelere uygun olarak deneylerin gerçekleştirilmesi, her bir deney için elde edilen bağımlı değişkenlerin hesaplanması, sonuçların istatistiksel olarak analiz edilmesi, üç boyutlu cevap yüzeyi grafikleri çizilmesi ve bu grafiklerin irdelenmesi ve en uygun deney şartlarının belirlenmesi yapılmıştır. Önceki bölümde yapılan

çalışmalar değerlendirilmiş su miktarı (x_1), dönüş hızı (x_2), ve katı oranı (x_3) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişkenlerin aralık değerleri belirlenirken önceki deneylerden elde edilen sonuçlar dikkate alınmış olup düşük, orta ve yüksek değerler Çizelge 6.15’de gösterilmektedir. Burada 0 değeri bağımsız değişkenlerin orta noktasını gösterirken, faktöriyel değerler ± 1 olarak gösterilmektedir. Kodlanmış değerlere uygun olarak su miktarı (6-12 lt/dk), dönüş hızı (800-1800 dev/dk) ve % katı oranı (15-25) olarak belirlenmiştir. Deneylerde, tane boyutu -300 μm ve pülp besleme hızı 1,5 lt/dk kontrol değişkenleri olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 6.15. Box-Behnken deneysel tasarımı için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Kodlanmış Değerler	Bağımsız Değişken	Birim	Düşük Değer	Orta Değer	Yüksek Değer
			-1	0	1
x_1	Su Miktarı	(lt/dk)	6	9	12
x_2	Dönüş Hızı	(dev/dk)	800	1300	1800
x_3	Katı Oranı	(%)	15	20	25

Bağımlı değişkenler olarak konsantre tenörü (y_1) ve konsantre verimi (y_2) seçilmiştir. Kromit konsantre tenörünü ve konsantre verimini açıklamak için kullanılan ikinci derece polinom eşitliği aşağıda verilmektedir.

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_1^2 + \beta_5 x_2^2 + \beta_6 x_3^2 + \beta_7 x_1 x_2 + \beta_8 x_1 x_3 + \beta_9 x_2 x_3 \quad (1)$$

Burada y_n bağımlı değişkenler (Konsantre tenörü ve Konsantre verimi), x_1 , x_2 ve x_3 bağımsız değişkenlerin fonksiyonudur. β_0 regresyon katsayısı, β_1 - β_3 doğrusal katsayı, β_4 - β_6 ikinci dereceden katsayılar ve β_7 - β_9 ikili etkileşim katsayılarıdır.

Box-Behnken deneysel tasarımına göre 5 adedi orta noktalarda olmak üzere toplam 17 deney yapılmıştır. Deney sonuçları EK-1’de sunulmaktadır. Deney tasarımına göre seçilen bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri ile bağımlı değişkenlerin değerleri Çizelge 6.16’da verilmektedir.

Çizelge 6.16. Deneylerde kullanılan bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri ile bağımlı değişkenlerin gözlenen değerleri

Test No	Bağımsız Değişkenler						Bağımlı Değişkenler	
	Kodlanmış Değerler			Gerçek Değerler				
	Su Miktarı (lt/dk)	Dönüş Hızı (dev/dk)	Katı Oranı (%)	Su Miktarı (lt/dk)	Dönüş Hızı (dev/dk)	Katı Oranı (%)	Konsantre Tenörü (%)	Konsantre Verimi (%)
1	0	1	1	9	1800	25	36,01	53,98
2	1	-1	0	12	800	20	54,68	55,40
3	1	0	1	12	1300	25	49,20	73,41
4	-1	-1	0	6	800	20	48,83	73,94
5	0	0	0	9	1300	20	47,02	74,81
6	0	0	0	9	1300	20	46,65	73,18
7	-1	0	-1	6	1300	15	43,54	72,54
8	-1	0	1	6	1300	25	41,43	66,90
9	1	0	-1	12	1300	15	50,07	72,40
10	1	1	0	12	1800	20	40,64	67,67
11	0	0	0	9	1300	20	46,80	74,22
12	0	-1	-1	9	800	15	50,94	62,28
13	0	0	0	9	1300	20	46,78	73,42
14	0	1	-1	9	1800	15	33,16	52,10
15	0	0	0	9	1300	20	46,75	74,54
16	0	-1	1	9	800	25	49,63	65,42
17	-1	1	0	6	1800	20	32,51	42,32

İstatistiksel analizler Design Expert 11 programının deneme sürümü kullanılarak (<https://www.statease.com>) yapılmıştır. Sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ile %95 güven aralığında istatistiksel olarak test edilmiştir. Çizelge 6.17’de kromit konsantresi tenörü için model özet istatistikleri verilmektedir. Çoklu belirtme katsayısı olan R^2 , bağımsız değişkenlerce bağımlı değişkendeki değişimin yüzde ne kadarının açıklandığını gösteren bir değerdir. Konsantre tenörü için ikinci derece regresyon denklemi çoklu belirtme katsayısı R^2 0,99 olarak hesaplanmıştır. Bu da 3 bağımsız değişkenin konsantre tenöründeki değişimin %99’unu açıkladığını göstermektedir. Aynı şekilde konsantre verimi için bu katsayı 0,99 olarak hesaplanmıştır. Bu da modelin kullanılabilir bir model olduğunu belirtmektedir. Ayrıca ayarlamalı R^2 değerleri ile tahmini R^2 katsayıları da birbiri ile uyum içerisinde olması modelin gücünü ortaya koymaktadır.

Çizelge 6.17 Model özet istatistikleri

	Konsantre Tenörü	Konsantre Verimi
	(%)	
Std. Sapma	0,630	1,430
Çoklu Belirleme katsayısı R ²	0,996	0,991
Ayarlamalı R ²	0,990	0,979
Tahmini R ²	0,932	0,871

6.7.3.1. Konsantre tenörü

Çizelge 6.18’de konsantre tenörü için varyans analizi (ANOVA) verilmektedir.

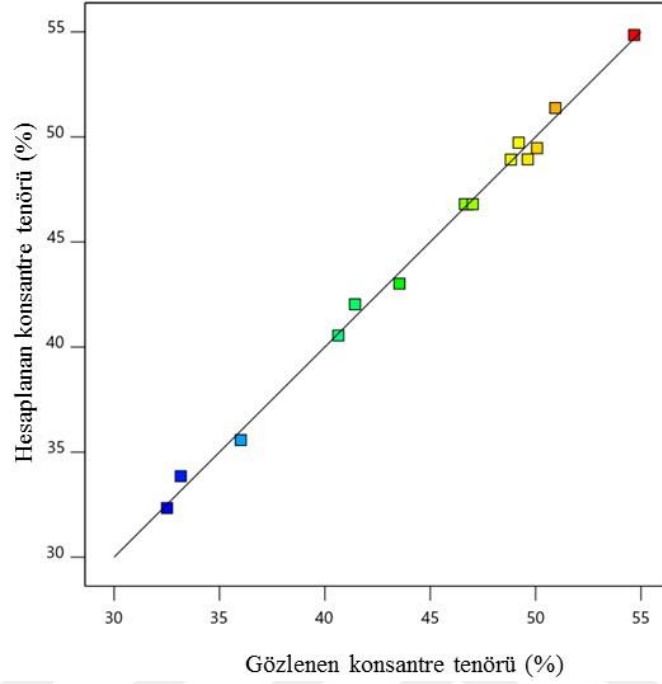
Çizelge 6.18. Konsantre tenörü için varyans analizi (ANOVA)

Konsantre Tenörü					
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ort. Karesi	F Değeri	P-değeri Prob > F
Model	632,82	9	70,31	177,33	< 0,0001
Su Miktarı (x ₁)	99,97	1	99,96	252,12	< 0,0001
Dönüş Hızı (x ₂)	476,79	1	476,79	1202,45	< 0,0001
Katı Oranı (x ₃)	0,26	1	0,26	0,65	0,4454
x ₁ x ₂	1,30	1	1,30	3,28	0,1131
x ₁ x ₃	0,38	1	0,38	0,97	0,3576
x ₂ x ₃	4,33	1	4,33	10,91	0,0131
x ₁ ²	1,03	1	1,03	2,60	0,1508
x ₂ ²	41,25	1	41,25	104,30	< 0,0001
x ₃ ²	6,42	1	6,42	16,20	0,005
Artık	2,78	7	0,40		
Uyum eksikliği	2,70	3	0,90	48,81	0,0013
Hata	0,07	4	0,02		
Düzeltilmiş toplam	635,59	16			

Konsantre tenörü için F-değeri olan 177,33 modelin önemli olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçların anlamlı olabilmesi için modelde “Prob>F” diye ifade edilen olasılık değerinin 0,05’ten küçük olması gerekir. Olasılık değerinin 0,1000’dan büyük olduğu durumlarda tasarım cevap değişkenleri için anlamsız olur. Bu durumda konsantre tenöründe etkili olan terimler x₁, x₂, x₂x₃, x₂² ve x₃² olarak belirlenmiştir. Buna göre konsantre tenörü için kodlanmış değerler üzerinden ikinci dereceden denklem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\text{Konsantre tenörü (y}_1\text{): } 46,80+3,54x_1-7,72 x_2+1,04x_2x_3-3,13x_2^2-1,24 x_3^2 \quad (2)$$

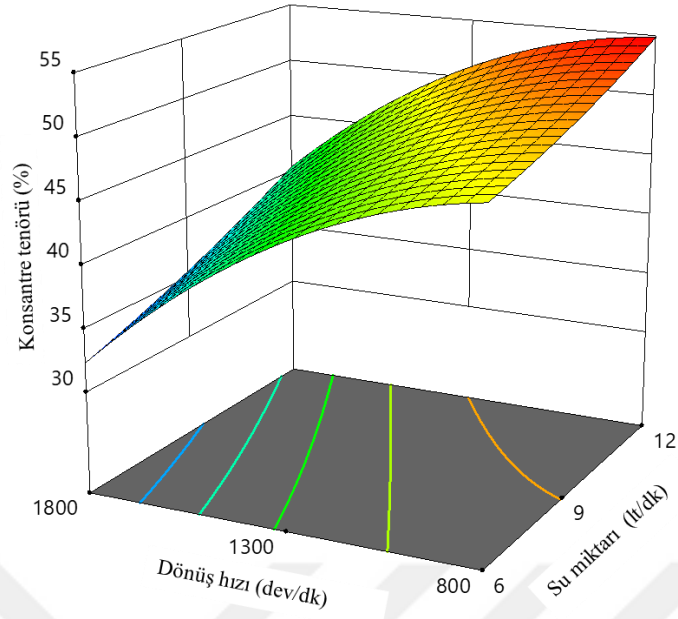
Şekil 6.16’ da gözlenen konsantre tenörü ile hesaplanan konsantre tenörü arasındaki ilişki verilmektedir. Şekilden sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6.16. Konsantre tenörü için gözlenen ve hesaplanan değerler

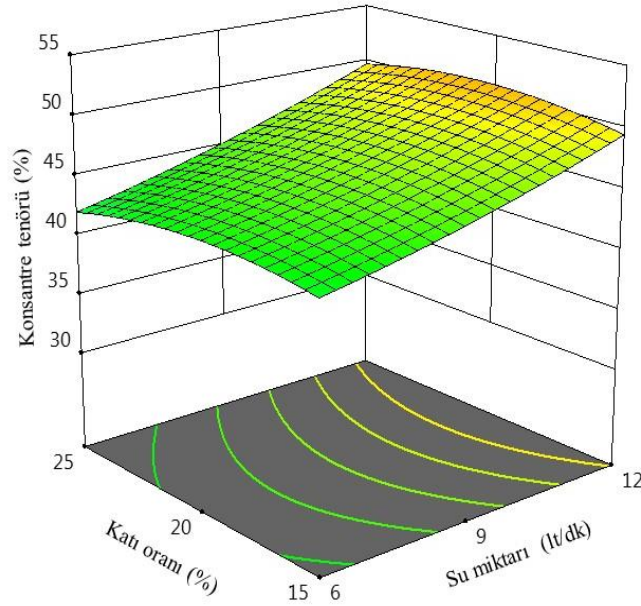
Sonuçların irdelenmesi ve anlaşılması amacıyla, üç boyutlu tahmini modeller Şekil 6.17, 6.18 ve 6.19’da sunulmaktadır. Dönüş hızı ve su miktarının (katı oranı orta değer olan %20 oranında sabit tutularak) konsantre tenörüne etkisi Şekil 6.17’de sunulmaktadır. En yüksek konsantre tenörü 800 dev/dk ve 12 lt/dk miktarında elde edilmektedir. Dönüş hızı sabit tutularak su miktarı 6 lt/dk seviyesinden, 12 lt/dk seviyesine arttırıldığında konsantre tenöründe az miktarda artış olmaktadır. Bu durum artan su miktarının konsantre tenörünü arttırdığını göstermektedir.

Dönüş hızının arttırılması durumunda konsantre tenörü hızla düşmektedir. Bu durum özellikle yüksek dönüş hızlarında artığa kromit tanelerinin karıştığını ve ayrımın kötüleştiğini göstermektedir. 800 dev/dk ve 6 lt /dk su miktarında konsantre Cr_2O_3 tenörü %48,83 iken 1800 dev/dk ve aynı su miktarında Cr_2O_3 tenörü hızla azalarak %32,51’e düşmektedir. Bu değer tüvenan kromit tenörüne yakın değerdedir. Bu da yüksek dönüş hızlarında zenginleşirmenin yapılamadığını göstermektedir.



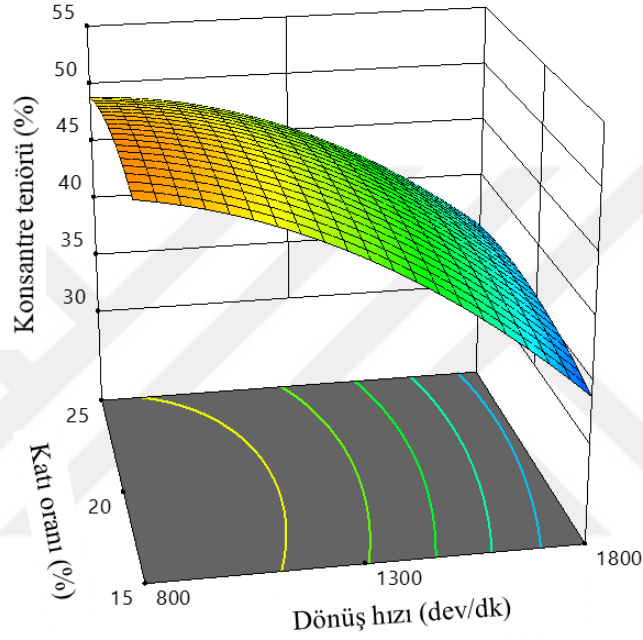
Şekil 6.17. Dönüş hızı ve su miktarının konsantr tenörüne etkisi

Şekil 6.18’de katı oranı ve su miktarının (dönüş hızının orta nokta olan 1300 dev/dk değerinde sabit tutularak) konsantr tenörüne etkisini göstermektedir. Şekilden katı oranının konsantr tenörüne etkisinin oldukça sınırlı olduğu, artan su miktarı ile birlikte konsantr tenörünün de hızla arttığı görülmektedir. En yüksek konsantr tenörü değerleri katı oranın orta noktası olan %20 oranında ve yüksek su miktarında elde edilmektedir.



Şekil 6.18. Katı oranı ve su miktarının konsantr tenörüne etkisi

Şekil 6.19’da katı oranı ve dönüş hızının (su miktarı orta noktası olan 9 lt/dk sabit tutularak) konsantre tenörüne etkisi gösterilmektedir. Dönüş hızının artırılması konsantre tenörünü hızla düşürmektedir. Dönüş hızının artırılması konsantre tenörünü olumsuz olarak etkilemektedir. Katı oranının konsantre tenörüne etkisi oldukça azdır. En yüksek konsantre tenörü değerleri katı oranının %20 civarında ve dönüş hızının en düşük olduğu 800 dev/dk oranında olduğu durumlarda elde edilmektedir.



Şekil 6.19. Katı oranı ve dönüş hızının konsantre tenörüne etkisi

6.7.3.2. Konsantre verimi

Çizelge 6.19’de konsantre verimi için varyans analizi (ANOVA) verilmektedir.

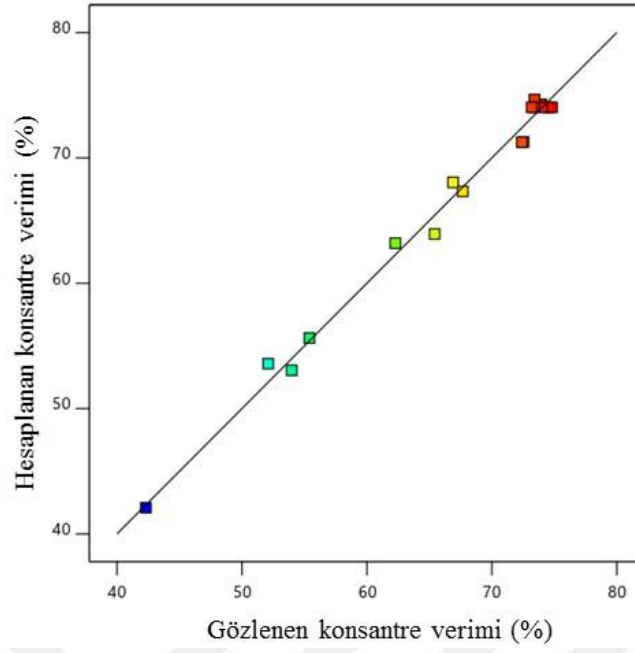
Çizelge 6.19. Konsantre verimi için varyans analizi (ANOVA)

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ort. Karesi	F Değeri	P-değeri Prob > F
Model	1538,16	9	170,91	83,62	< 0,0001
Su Miktarı (x_1)	21,71	1	21,71	10,62	< 0,0139
Dönüş Hızı (x_2)	209,82	1	209,82	102,65	< 0,0001
Katı Oranı (x_3)	0,02	1	0,02	0,01	0,9259
x_1x_2	481,58	1	481,58	235,61	< 0,0001
x_1x_3	11,06	1	11,06	5,41	0,0529
x_2x_3	0,40	1	0,40	0,19	0,6727
x_1^2	1,87	1	1,87	0,92	0,3703
x_2^2	771,30	1	771,30	377,35	< 0,0001
x_3^2	17,77	1	17,77	8,70	0,0214
Artık	14,31	7	2,04		
Uyum eksikliği	12,31	3	4,10	8,21	0,0349
Hata	2,00	4	0,50		
Düzeltilmiş toplam	1552,47	16			

Konsantre verimi için 83,62 F-değeri modelin önemli olduğunu göstermektedir. Modelin önemli terimleri x_1 , x_2 , x_3 , x_1x_2 , x_1x_3 , x_1^2 , x_2^2 ve x_3^2 olarak belirlenmiştir. Konsantre verimi için kodlanmış değerler üzerinden ikinci dereceden polinom denklemi aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

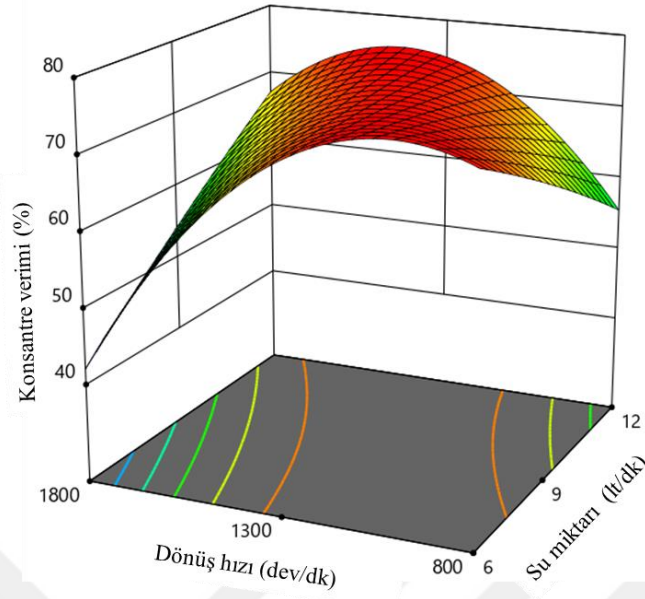
$$\text{Konsantre verimi } (y_2) = 74,03 + 1,65 x_1 - 5,12 x_2 + 0,049 x_3 + 10,97 x_1x_2 + 1,66 x_1x_3 - 0,67 x_1^2 - 13,53 x_2^2 - 2,05 x_3^2 \quad (3)$$

Şekil 6.20'de gözlenen ve hesaplanan konsantre verim değerleri verilmektedir. Buradan sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



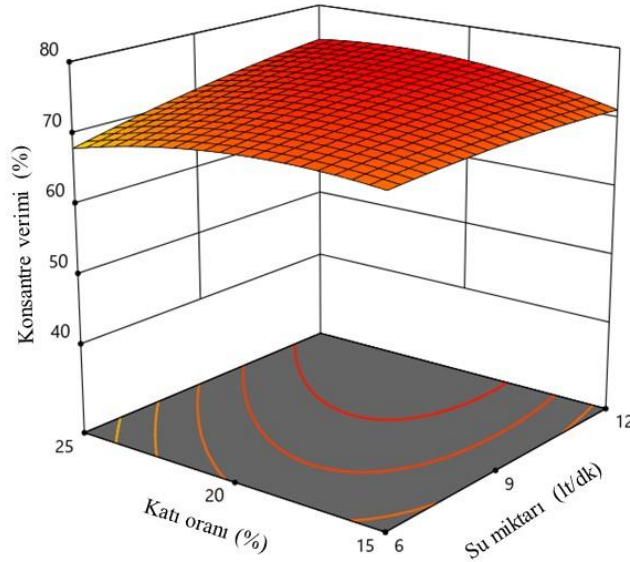
Şekil 6.20. Konsantre verimi için gözlenen ve hesaplanan değerler

Şekil 6.21’de dönüş hızı ve su miktarının (katı oranı orta noktası %20 oranında sabit tutularak) konsantre verimine etkisi sunulmaktadır. Düşük dönüş hızlarında, su miktarı arttıkça konsantre verimi de hızla düşmektedir. 800 dev/dk dönüş hızında ve 6 lt/dk su miktarında konsantre verimi %73,94 iken 12 lt/dk su miktarında ve aynı dönüş hızında bu değer %55,40 seviyesine azalmaktadır. Dönüş hızının artırılması durumunda konsantre veriminde bir artış gözlenmekte ve 1300 dev/dk seviyelerinden sonra hızla düşmektedir. En düşük konsantre verimi (%42,32), en yüksek dönüş hızında (1800 dev/dk) ve en düşük su miktarında (6 lt/dk) elde edilmiştir.



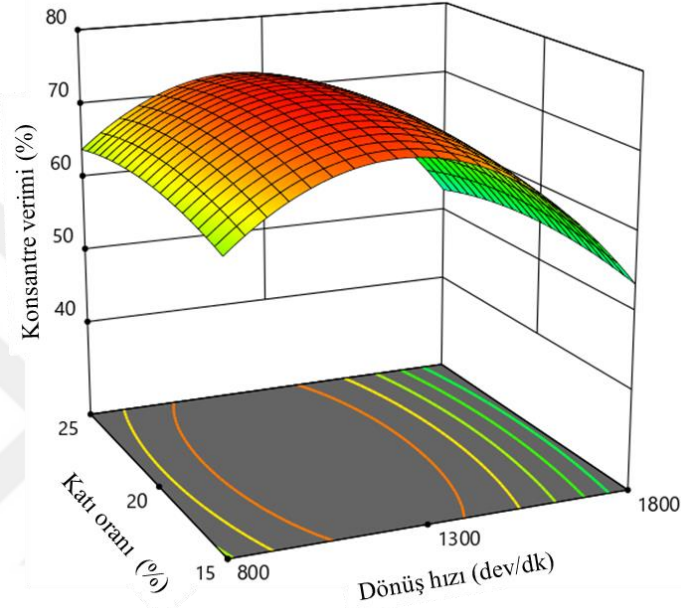
Şekil 6.21. Dönüş hızının ve su miktarının konsantre verimine etkisi

Şekil 6.22’de katı oranı ve su miktarının (dönüş hızının orta noktası 1300 dev/dk da sabit tutularak) konsantre verimine etkisi gösterilmektedir. Belirlenen %15-25 katı oranları arasında konsantre veriminin çok değişmediği, yüksek konsantre verim değerlerine katı oranın %20 civarındaki değerlerde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 6.22. Katı oranı ve su miktarının konsantre verimine etkisi

Şekil 6.23’de dönüş hızı ve katı oranının (su miktarı orta noktası olan 6 lt/dk sabit tutularak) konsantre verimine etkisi gösterilmektedir. Katı oranındaki artışın konsantre verimine etkisinin az olduğu, etkili parametrenin ise dönüş hızının olduğu görülmektedir. En düşük konsantre verimi değerleri en yüksek dönüş hızında elde edilmektedir. Dönüş hızı arttıkça konsantre veriminde artış gözlenmekte, dönüş hızının orta noktası olan 1300 dev/dk seviyelerinden sonra konsantre veriminde hızlı bir düşüş olmaktadır.



Şekil 6.23. Dönüş hızının ve katı oranının konsantre verimine etkisi

6.7.3.3. Optimizasyon

Knelson santrifüj ayırıcı ile yapılan zenginleştirme deneylerinde amaç en yüksek Cr_2O_3 tenöründe ve en yüksek konsantre veriminde ürünler elde etmektir. Bu amaçla yazılım programı ile yapılan optimizasyon sonucuna göre en uygun sonuçlar 12 lt/dk su miktarında, 1124,57 dev/dk dönüş hızında ve %21,05 katı oranında elde edilmiştir. Söz konusu optimal parametrelerde %51,77 Cr_2O_3 tenöründe ve %74,10 verimde konsantrelere ulaşılabileceği hesaplanmıştır (Çizelge 6.20). Optimal deney koşullarında gerçekleştirilen 3 tekrarlı deneysel çalışmalar sonucunda konsantre Cr_2O_3 tenörleri sırasıyla %50,33- 50,55- 50,46 ve konsantre verimleri sırasıyla %74,40- 74,05- 74,28 olarak elde edilmiştir. Ortalama konsantre Cr_2O_3 tenörü %50,45 ve konsantre verimi %74,24’dür. Bu durum deneysel

çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle hesaplanan verilerin birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.20. Optimal bağımsız değişken değerleri ve cevap sonuçları

Bağımsız değişkenler	
Su miktarı (lt/dk)	12,00
Dönüş Hızı (dev/dk)	1124,57
Katı oranı (%)	21,05
Cevaplar	
Konsantre tenörü (%)	51,77
Konsantre verimi (%)	74,10

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Knelson santrifüj ayırıcısı ile Kop (Erzurum) kromit cevherinin zenginleştirilmesinin araştırılmasına yönelik yapılan testlerde; besleme miktarı, pülp katı oranı, pülp besleme hızı, hazne dönüş hızı, yıkama su miktarı ve tane boyutlarının zenginleştirmeye etkisi incelenmiştir. Ayrıca üç boyutlu Box-Behnken deneysel tasarımı kullanarak modelleme ve optimizasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler incelendiğinde:

Besleme miktarı artıkça konsantre tenör ve verim değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Optimal besleme miktarı 180 gram olarak belirlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (1500 dev/dk hazne dönüş hızı, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, %20 pülp katı oranı, -300 µm tane boyutu) 180 gram besleme miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %47,97 ve verim ise %74,00 olarak gerçekleşmiştir.

Pülp katı oranı artıkça konsantre tenör ve verim değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (1500 dev/dk hazne dönüş hızı, 12 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı, -300 µm tane boyutu), %20 pülp katı oranında Cr₂O₃ tenörü %47,97 ve verim ise %74,00 gerçekleşmiştir. Optimal pülp katı oranı %20 olarak belirlenmiştir.

Hazne dönüş hızının azaldığı durumlarda konsantre tenörün yükseldiği, birikme miktarına bağlı olarak da verimin 1300-1600 dev/dk aralığında yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Optimal hazne dönüş hızı 1300 dev/dk olarak belirlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (12 lt/dk yıkama su miktarı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, %20 pülp katı oranı, 180 gram besleme miktarı, -300 µm tane boyutu) 1300 dev/dk hazne dönüş hızında konsantre Cr₂O₃ tenörü %49,54 ve verim ise %74,78'dir.

Pülp besleme hızı artıkça konsantre tenör ve verim değerlerinde az bir miktar düşme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (9 lt/dk yıkama su miktarı, 1300 dev/dk hazne dönüş hızı, %20 pülp katı oranı, 180 gram besleme miktarı, -300 µm tane boyutu) 1 lt/dk pülp besleme hızında konsantre Cr₂O₃ tenörü %47,80 ve verim ise %73,73 olmuştur. 1,5 lt/dk pülp besleme hızında konsantre Cr₂O₃ tenörü 47,15 ve verim ise %73,04 olarak gerçekleşmiştir.

800 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenörde düşme ve verimde yükselme gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (1,5 lt/dk pülp besleme hızı, %20 pülp katı oranı, 180 gram besleme miktarı, -300 µm tane boyutu) 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %54,68 ve verim %52,64 olarak elde edilmiştir. 6 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %48,83 düşerken verim ise %73,38 yükselmiştir. 1300 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, yıkama su miktarı düştükçe konsantre tenöründe ve verimde düşme gözlemlenmiştir. 12 lt/dk yıkama su miktarında konsantre Cr₂O₃ tenörü %49,54 ve verim %74,78 olarak gerçekleşmiştir.

800 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, malzemenin tane boyutu düştükçe konsantre tenöründe yükselme, veriminde ise düşüş gözlemlenmiştir. Başlangıç sabit parametreleri altında (9 lt/dk yıkama su miktarı, %20 pülp katı oranı, 1,5 lt/dk pülp besleme hızı, 180 gram besleme miktarı) -300 µm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantrenin Cr₂O₃ tenörü %51,70 ve verimi %66,04 olarak gerçekleşmiştir. 1300 dev/dk sabit hazne dönüş hızında, malzemenin tane boyutu düştükçe konsantre tenöründe yükselme, veriminde ise düşüş gözlemlenmiştir. -300 µm tane boyutunda yapılan zenginleştirmede elde edilen konsantrenin Cr₂O₃ tenörü %47,15 ve verimi %73,04 olarak gerçekleşmiştir.

Üç boyutlu modelleme yazılım programı ile yapılan optimizasyon sonucuna göre en uygun sonuçlar 12 lt/dk su miktarında, 1124,57 dev/dk dönüş hızında ve %21,05 katı oranında elde edilmiştir. Optimal deney koşullarında gerçekleştirilen 3 tekrarlı deneysel çalışmalar sonucunda konsantre Cr₂O₃ tenörleri sırasıyla %50,33- 50,55- 50,46 ve konsantre verimleri sırasıyla %74,40- 74,05- 74,28 olarak elde edilmiştir. Ortalama konsantre Cr₂O₃ tenörü %50,45 ve konsantre verimi %74,24'dür. Bu durum deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle hesaplanan verilerin birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Sonuçta: Knelson santrifüj ayırıcı ile Kop (Erzurum) kromit cevherinin başarılı bir ayırım ile zenginleştirilebildiği, net olarak ortaya konulmuştur. Knelson santrifüj ayırıcı ile kromit zenginleştirmeyi etkileyen en önemli parametrelerin hazne dönüş hızı, yıkama su miktarı ve tane boyutu olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] İnternet: Devlet Planlama Teşkilatı, 2001, "Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu". Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- [2] Taşlıgil, N. ve Şahin, G., 2015, "Ekonomik Coğrafya Açısından Türkiye’de Krom". *Avrasya Bilimler Akademisi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(4): 82-108.
- [3] Karahan, S. ve Özkan, Y.Z., 2011, "Türkiye Krom Madenciliğinin Geleceği", *Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi*, (16):54-62.
- [4] Bilici, E., 2018, "Sivas-Kangal-Çamözü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarının Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.
- [5] Daş, B., Arık, F., A, Öztürk. ve Altay, O., 2012, "Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri", *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2012):77-88.
- [6] İnternet, Ankara Üniversitesi Maden Yatakları Ders Notları http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/koc/pdf_dosyalari/ders_notlari/maden_yataklari_2.pdf. 2019.
- [7] Çilingir, Y., 1996, "Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri", Dokuz Eylül Üniversitesi, Cilt-1, *D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak. Yayını*, İzmir, 3.1-3.19 s.
- [8] Gultekin, A. H., Suner, F., Orgun, Y., And Kumral, M., 2003, "Metallic and Non-metallic Mineral Resources of SE Anatolia, Turkey: A Review". *Journal-Geological Society Of India*, 62(5):581-594.
- [9] İnternet: 2019, Maden Tetkik Arama, Maden Haritaları, Türkiye Krom yatakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/krom.jpg
- [10] İnternet: 2019, Ulusal Mineral Bilgi Merkezi, <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2018-chrom.pdf>.
- [11] İnternet: 2019, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Metalik Maden fiyatları, http://www.maden.org.tr/genel/bizden_listele.php?bizden_kod=37.
- [12] Ağaçayak, T., Zedef, V. ve Aydoğan, S., 2004, "Topraktepe-Beyşehir (Konya) kromitlerinin yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirilmesi", *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(2):81-88.
- [13] Kökkılıç, O., 2011, "Falcon Santrifüjlü Gravite Ayırıcısında Zenginleştirmenin Modellenmesi". Doktora tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [14] Honaker, R., Das, A. And Nombe, M., 2005, "Improving the separation efficiency of the Knelson concentrator using air injection", *Coal Preparation*, 25(2): 99-116.
- [15] Majumder, A. And Barnwal, J., 2006, "Modeling of enhanced gravity concentrators—present status", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 27(1): 61-86.

- [16] Knelson, B. And Jones, R., 1994, “A new generation of Knelson concentrators totally secure system goes on line”. *Minerals Engineering*, 7(2-3):201-207.
- [17] Majumder, A., Tiwari, V., And Barnwal, J., 2007, “Separation characteristics of coal fines in a Knelson concentrator–A hydrodynamic approach”, *Coal preparation*, 27(1-3):126-137.
- [18] Öney, Ö. ve Samanlı, S., 2017, “Knelson Konsantratörlerin Deneysel ve Endüstriyel Uygulamaları”, 6. *Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı*, 177-189.
- [19] Nessel, J.E., 2011. “The Canadian Metallurgical & Materials Landscape 1960 to 2011”, *Golden Anniversary of the Conference of Metallurgists*, Westmount, Montreal, Quebec, Canada, 241-293.
- [20] İnternet: Corsan, D., 2011, The Knelson™ Concentrator A Genuine Canadian Success Story.
<https://www.911metallurgist.com/blog/wpcontent/uploads/2016/06/KnelsonConcentrators.pdf>.
- [21] McLeavy, M.J., 2005, “Continuous centrifugal concentrator operation and control”, Doktora Tezi, *University of British Columbia*, Vancouver, Canada, 1-20.
- [22] Celep, O., 2006, “Knelson Santrifüj Gravite Ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) Cevherinden Altın Kazanımı”, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 19(2): 175-182.
- [23] Öney, Ö. And Tanrıverdi, M., 2012, “Optimization and modeling of fine coal beneficiation by Knelson concentrator using central composite design (CCD)”, *Journal of Ore Dressing*, 14(27):11.
- [24] İnternet: 2019, <http://knelsongravity.xplorex.com/page347.htm>.
- [25] İnternet: 2019, <http://knelsongravity.xplorex.com/page353.htm>.
- [26] Öney, Ö., 2012, “İnce tane boyutundaki Zonguldak kömürlerinin zenginleştirilebilirliğinin araştırılması”, Doktora tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [27] Yerriswamy, P., Majumder, A. K., Barnwal, J. P., Govindarajan, B., and Rao, T. C., 2003, “Study on Kelsey jig treating Indian coal fines”, *Mineral processing and Extractive metallurgy*, 112(3):206-210.
- [28] Wills, B.A. And Napier-Munn, T., 2006, “An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery”, *Wills' Mineral Processing Technology*, 267-352.
- [29] Turan, M.D., 2011, “Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin (Yyy) Kullanımı”, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 50(3): 11-23.
- [30] Baş, D. And Boyacı, I.H., 2007, “Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology”, *Journal of food engineering*, 78(3): 836-845.
- [31] Baş, D. And Boyacı, I.H., 2010, “Rapid method for quantitative determination of proteolytic activity with cyclic voltammetry”, *Electroanalysis: An International*

Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis, 22(3): 265-267.

- [32] Montgomery, E., Bronner, M. P., Goldblum, J. R., Greenson, J. K., Haber, M. M., Hart, J., And Robert, M. E., 2001, "Reproducibility of the diagnosis of dysplasia in Barrett esophagus: a reaffirmation", *Human pathology*, 32(4): 368-378.
- [33] Erdogan, F., Ullmann, R., Chen, W., Schubert, M., Adolph, S., Hultschig, C. And Tzschach, A., 2007, "Characterization of a 5.3 Mb deletion in 15q14 by comparative genomic hybridization using a whole genome "tiling path" BAC array in a girl with heart defect, cleft palate, and developmental delay", *American Journal of Medical Genetics Part A*, 143(2): 172-178.
- [34] Köksoy, O., 2001, "Taguchi ve cevap yüzey felsefelerinin birleştirilmesi: Problem ve çözüm stratejileri", Doktora Tezi, *Hacettepe Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [35] Sağol, E., 2015, "İstatistiksel deney tasarımının Çayırhan bölgesi linyitlerinin flotasyonunda uygulanması", Yüksek Lisans tezi, *ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- [36] Ferreira, C. S., Bijl, H., Van Bussel, G., And Van Kuik, G., 2007, "Simulating dynamic stall in a 2D VAWT: modeling strategy, verification and validation with particle image velocimetry data", *In Journal of physics: conference series*, 75(1): 12-23.
- [37] Samanlı, S., 1998, "Kromit tesis artıklarının değerlendirilmesi", Yüksek Lisans tezi, *DEU Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [38] Aydın, M.A., 2001, "Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi", Yüksek Lisans tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- [39] Ozkan, S.G., And Ipekoglu, B., 2001, "Concentration studies on chromite tailings by multi gravity seperator", *17th International Mining Congress and Exhibition IMCET*, Turkey: 765-768.
- [40] Cicek, T., And Cöcen, I. 2002, "Applicability of Mozley multigravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants", *Minerals Engineering*, 15(1-2): 91-93.
- [41] Yüce, A. E., Güney, A., ve Onal, G., 2005, "Üçköprü Krom Artıklarından Geri Kazanım ve Atık Alanının Rehabilitasyonu", *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Ankara, 5-6.
- [42] Aslan, N., And Kaya, H., 2009, "Beneficiation of Chromite Concentration Waste by Multi-Gravity Separator and High-Intensity Induced-Roll Magnetic Separator", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(2): 285.

- [43] Develi, Y., 2014, “Hatay Yöresi Tekcrom Maden A.Ş Krom İşletmesi Triyaj Artıklarının Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [44] Rath, R. K., Dey, B., Mohanta, M. K., Prusty, L. K., And Singh, R., 2017, “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, 644-649.
- [45] Kıyak, T., 2013, “Orhaneli krom zenginleştirme tesis atıklarının Knelson konsantratörü kullanılarak zenginleştirilmesi”, Yüksek Lisans tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- [46] Akar Sen, G., 2016, “Application of full factorial experimental design and response surface methodology for chromite beneficiation by Knelson concentrator”, *Minerals*, 6(1): 5.
- [47] Bozkurt, B., 2017, “Kromun Zenginleştirme Tesis Atıklarından Geri Kazanımında Knelson Gravite Konsantratörün Etkisi”, Yüksek Lisans tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.



EKLER

Çizelge 1.1. Deneilerde gözlenen gerçek değerler

Deney No	Su Miktarı (x_1)	Dönme Hızı (x_2)	Katı Oranı (x_3)	Ürünler	Ağırlık		Cr ₂ O ₃ Tenörü (%)	Konsantre Verimi (%)
					(gr)	(%)		
1	9	1800	25	Konsantre	87,91	48,84	36,01	53,98
				Artık	92,09	51,16	29,31	46,02
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
2	12	800	20	Konsantre	59,42	33,01	54,68	55,40
				Artık	120,58	66,99	21,69	44,60
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
3	12	1300	25	Konsantre	87,50	48,61	49,20	73,41
				Artık	92,50	51,39	16,86	26,59
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
4	6	800	20	Konsantre	88,80	49,33	48,83	73,94
				Artık	91,20	50,67	16,76	26,06
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
5	9	1300	20	Konsantre	93,30	51,83	47,02	74,81
				Artık	86,70	48,17	17,04	25,19
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
6	9	1300	20	Konsantre	92,00	51,11	46,65	73,18
				Artık	88,00	48,89	17,87	26,82
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
7	6	1300	15	Konsantre	97,70	54,28	43,54	72,54
				Artık	82,30	45,72	19,57	27,46
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
8	6	1300	25	Konsantre	94,70	52,61	41,43	66,90
				Artık	85,30	47,39	22,75	33,10
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
9	12	1300	15	Konsantre	84,80	47,11	50,07	72,40
				Artık	95,20	52,89	17,00	27,60
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00

Deney No	Su Miktarı	Dönüş Hızı	Katı Oranı	Ürünler	Ağırlık		Cr ₂ O ₃ Tenörü (%)	Konsantre Verimi (%)
	(x ₁)	(x ₂)	(x ₃)		(gr)	(%)		
10	12	1800	20	Konsantre	97,65	54,25	40,64	67,67
				Artık	82,35	45,75	23,02	32,33
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
11	9	1300	20	Konsantre	93,00	51,67	46,80	74,22
				Artık	87,00	48,33	17,38	25,78
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
12	9	800	15	Konsantre	71,70	39,83	50,94	62,28
				Artık	108,30	60,17	20,42	37,72
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
13	9	1300	20	Konsantre	92,04	51,13	46,78	73,42
				Artık	87,96	48,87	17,72	26,58
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
14	9	1800	15	Konsantre	92,14	51,19	33,16	52,10
				Artık	87,86	48,81	31,97	47,90
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
15	9	1300	20	Konsantre	93,50	51,94	46,75	74,54
				Artık	86,50	48,06	17,26	25,46
				Toplam	180,00	100,00	32,58	100,00
16	9	800	25	Konsantre	77,30	42,94	49,63	65,42
				Artık	102,70	57,06	19,75	34,58
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00
17	6	1800	20	Konsantre	76,34	42,41	32,51	42,32
				Artık	103,66	57,59	32,63	57,68
				Besleme	180,00	100,00	32,58	100,00

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı adı : OSMANLI Ozan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 05.01.1991 Uşak

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (531) 337 92 82

Faks :

e-mail : ozanosmanli@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	ESOGU/ Maden Müh. Bölümü	2014
Lise	S.Sabri Ağaoğlu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2017	UŞAK	Daimi Nez.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

-

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Yüzme, Model Uçak.