

**YELLİCE BÖLGESİ KROM CEVHERİNİN
ZENGİNLEŞTİRME AKIM ŞEMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF BENEFICIATION FLOWSHEETS
OF CHROME ORE FROM YELLICE REGION**

BÜŞRA ÖZSOY

Yrd. Doç. Dr. İLKAY BENGÜ ÇELİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2016

BÜŞRA ÖZSOY'un hazırladığı “Yellice Bölgesi Krom Cevherinin Zenginleştirme Akım Şemalarının Geliştirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

(Prof. Dr. ŞEVKET LEVENT ERGÜN)

Başkan



(Yrd. Doç. Dr. İLKAY BENGÜ ÇELİK)

Danışman



(Doç. Dr. NACİ EMRE ALTUN)

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Salih Bülent ALTEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20/06/2016


BÜŞRA ÖZSOY

ÖZET

YELLİCE BÖLGESİ KROM CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRME AKIM ŞEMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

BÜŞRA ÖZSOY

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İLKAY BENGÜ ÇELİK

Haziran 2016, 115 sayfa

Bu tez çalışmasında, Sivas ili Yellice bölgesinden temin edilen krom cevherini zenginleştirecek optimum akım şemasını tasarlamak amacıyla cevher karakterizasyon ve zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır.

Cevherin karakterizasyon çalışmaları kapsamında X-ışınları difraksiyonu analizi (XRD), Mineral Serbestleşme Analizi (MLA), optik mikroskopi ve ağır sıvı testleri uygulanmıştır. Zenginleştirme testleri kapsamında ise kabaran yataklı sınıflandırıcı ve hidrolik sınıflandırıcı ile birlikte yer çekimiyle ayırma ekipmanlarından sallantılı masa ve spiral zenginleştirici kullanılmıştır.

Cevher karakterizasyon çalışmaları sonucuna göre; cevher büyük oranda magnezyum silikat ve oksitli mineraller ile %5 civarında kromit mineralinden oluşmaktadır. Yapılan ağır sıvı testleriyle cevherin tane boyuna göre yer çekimiyle zenginleşme karakteristiği incelenmiş ve zenginleşme testlerinin 1 mm'nin altındaki boylar için uygulanabileceği belirlenmiştir.

En uygun zenginleştirme akım şemasını belirleyebilmek için farklı tane boyu gruplarına ayrılan cevhere çeşitli testler yapılmıştır. Bu testler sırası ile, -1 mm ve -400 µm tane boyları için sallantılı masa ile zenginleştirme testleri, -400 µm tane

boyu için spiral zenginleştirici ve sallantılı masanın birlikte kullanıldığı zenginleştirme testleri ve -200 µm tane boyu için sallantılı masa ile zenginleştirme testleridir.

Testler sonucunda, -400 µm tane boyu için spiral zenginleştiriciyi takip eden sallantılı masa ile zenginleştirme seçeneğinin verim ve tenör açısından en uygun yöntem olduğu tesbit edilmiştir. Bu zenginleştirme seçeneğinde, ana beslemeye göre alınan nihai konsantrenin miktarı ağırlıkça %6.5, Cr₂O₃ tenörü %50 ve metal verimi de %69 olmuştur.

Önerilen zenginleştirme devresinde, 420 t/s tesis besleme kapasitesi için, 28 t/s'lik bir konsantre %49.5 Cr₂O₃ içeriği ve %72.66 metal verimiyle kazanılabilmektedir. Prosesteki şlam dahil toplam atığın verimi %27.34, tenörü ise %1.38 Cr₂O₃ olmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; tesis kapasitesini karşılayabilecek iki spiral aşaması için toplam; her biri 36 adet spiral içeren bir bataryadan 17 adet kullanılması gerekmektedir. Spiral toplu konsantresini işleyecek masa sayısı ise iri boy ve ince boy için sırasıyla 50 ve 57 adet olup toplamda 107 adet olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kromit cevheri, yer çekimiyle ayırma, sallantılı masa, spiral zenginleştirici, akım şeması tasarımı.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BENEFICIATION FLOWSHEETS OF CHROME ORE FROM YELLICE REGION

BÜŞRA ÖZSOY

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. İLKAY BENGÜ ÇELİK

June 2016, 115 pages

In this study, ore characterization and enrichment studies were performed in order to design an optimum beneficiation flowsheet for a chromium ore taken from Yellice region of Sivas.

In the scope of ore characterization study; X-ray diffraction (XRD), mineral liberation analysis (MLA), optical microscopy and heavy liquid test were performed. As for the concentration studies, teetered bed separator and the hydraulic classifier were used together with the gravity concentration equipment such as shaking table and spiral concentrator.

According to the results of ore characterization studies; the ore consists of mainly magnesium silicates and oxide minerals with nearly 5% of chromite mineral. The gravity concentration characteristics of the ore on size basis was examined by heavy liquid tests and it was determined that gravity concentration tests can be applied for the particle sizes under 1 mm.

Several enrichment tests were performed for the different particle size groups of the ore to determine the optimum beneficiation flowsheet. These tests were; concentration by shaking table for -1 mm and -400 μm particle size, concentration by the combination of spiral concentrator and shaking table for -400 μm particle size and concentration by shaking table for -200 μm particle size.

As a result of the tests; the option including spiral concentrator followed by shaking table for -400 μm particle size was admitted as the best method in terms of recovery and grade. In this concentration option, a final concentrate was obtained in amounts of 6.5% by weight according to main feed with 50% of Cr_2O_3 grade and 69% metal recovery.

In proposed beneficiation flowsheet; a concentrate of 28 t/h can be obtained with 49.5% Cr_2O_3 grade and 72.66% metal recovery for a plant feed capacity of 420 t/h. The total tail recovery including slimes in the process was 27.34% and the grade was 1.38% Cr_2O_3 . The calculations showed that to cover that plant capacity 17 batteries of spiral concentrators in each of them including 36 spirals should be used in total for two stages of spiral concentration. Then, the numbers of the shaking tables to treat the bulk concentrate of spirals should be 50 and 57 for coarse and fines sizes respectively and in total it should be 107.

Key Words: Chromium ore, gravity concentration, shaking table, spiral concentrator, flow sheet design.

TEŞEKKÜR

Bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. A. Hakan BENZER'e,

Tez çalışmalarım sırasında bilgisi ve tecrübesiyle yol gösterici olan, gelişimim için her türlü imkanı sağlayan ve manevi desteğini her zaman hissettiğim tez danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. İlkay Bengü ÇELİK'e,

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, katkılarını esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Levent Ş. ERGÜN'e ve Sn. Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN'a,

Gerek deneysel çalışmalarımda göstermiş olduğu yardımlardan, gerekse tez yazım aşamasındaki manevi desteklerinden ve yol göstericiliğinden ötürü Ahad AGHLMANDİ'ye,

Deneysel çalışmalarımda yardımları olan ve manevi desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Özgür ÖZCAN'a, Sn. Yasemin ÖZTÜRK'e, Ahmet Y. YAMANTAŞ'a ve Orberk M. MERCAN'a,

Yardımlarını ve motivasyon konusunda desteklerini esirgemeyen Araş. Gör. Ergin GÜLCAN, Araş. Gör. Dr. N. Alper TOPRAK, Araş. Gör. Damla GÜÇBİLMEZ ve Araş. Gör. Elif ÖZDEMİR'e,

Çalışmalar için gerekli teknik yardımı sağlayan bölümümüz teknisyenleri Mustafa YILMAZ'a, Işın ASLIYÜKSEK'e,

Hayatımda çok büyük yerleri olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen babam Recai ÖZSOY, annem Esin ÖZSOY ve kız kardeşim S. Sena ÖZSOY'a,

Yardım ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim Elif ÖZEK ve diğer dostlarıma,

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELER	viii
ŞEKİLLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KROM CEVHERİNİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Krom Mineralleri	6
2.2. Kromit Minerali Genel Özellikleri	7
2.3. Kromit Minerali Yantaşı	8
2.4. Dünya’da ve Türkiye’de Kromit Madenciliği	9
2.5. Kromit Cevherinin Kullanım Alanları	16
2.5.1. Metalürjik Kromit	17
2.5.2. Refrakter Kromit	18
2.5.3. Kimyasal Kromit	19
3. KROM CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ	20
3.1. El ile Ayıklama Yöntemi	21
3.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme	21
3.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme	25
3.4. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme	27
3.5. Flotasyon ile Zenginleştirme	28
3.6. Kromit Zenginleştirme Tesis Akım Şemaları	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35

4.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	35
4.1.1. Boyut Küçültme Ekipmanları	35
4.1.2. Cevher Karakterizasyon Ekipmanları	37
4.1.3. Sınıflandırma ve Zenginleştirme Ekipmanları.....	37
4.2. Numune Hazırlama	39
4.3. Cevher Karakterizasyonu	39
4.3.1. Elek Analizi	40
4.3.2. Kimyasal Analiz.....	40
4.3.3. Cevher Mineralojisi	41
4.3.4. Cevherin Özgül Ağırlığı	49
4.3.5. Ağır Sıvı Testleri	49
4.3.6. Öğütülebilirlik	53
4.4. Zenginleştirme Testleri	53
4.4.1. -1 mm için Sallantılı Masa Zenginleştirme Testleri	54
4.4.2. -400 µm Tane Boyu için Zenginleştirme Testleri	55
4.4.3. Ara Ürünlerin Öğütülmesi ile Yapılan Zenginleştirme Testleri	58
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	60
5.1. -1 mm Tane Boyu için Zenginleştirme Test Sonuçları	60
5.2. -400 µm Tane Boyu için Zenginleştirme Test Sonuçları	69
5.2.1. -400 µm için Sallantılı Masa ile Zenginleştirme Test Sonuçları	71
5.2.2. -400 µm için Spiral ve Sallantılı Masa Zenginleştirme Test Sonuçları..	77
5.3. Ara Ürünlerin Öğütülerek Zenginleştirildiği Test Sonuçları	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	101
EK	104

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Krom cevherinin kullanım alanlarına göre tarihi süreci	4
Çizelge 2.2. Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	6
Çizelge 2.3. Başlıca krom cevheri mineralleri ve özellikleri	6
Çizelge 2.4. Kromitin genel özellikleri	8
Çizelge 2.5. Kromit minerali ile beraber en sık rastlanan yantaşlar	9
Çizelge 2.6. Dünya krom madeni rezervleri (bin ton).....	10
Çizelge 2.7. Krom üreticisi olan ülkeler	10
Çizelge 2.8. Dünya kromit cevheri üretimi (bin ton)	11
Çizelge 2.9. Türkiye'deki önemli kromit yatakları.....	12
Çizelge 2.10. Kromit cevherinin kullanıldığı alana göre istenilen bileşim oranları.	16
Çizelge 2.11. Metalürji Sanayinde Aranılan Krom Bileşimi Özellikleri	17
Çizelge 2.12. Refrakter kromit özellikleri	18
Çizelge 2.13. Kimyasal kromit özellikleri	19
Çizelge 4.1. Tüvenan cevherin modal mineralojik analizi	44
Çizelge 4.2. Kromitin diğer minerallerle bağlılık durumu	45
Çizelge 4.3. Forsteritin diğer minerallerle bağlılık durumu.....	46
Çizelge 4.4. Tüvenan cevherin ağır sıvı test sonuçları	51
Çizelge 4.5. -9.5mm'ye kırılmış cevherin ağır sıvı test sonuçları.....	51
Çizelge 5.1. -1mm tane boyu için KYS ürünlerinin tenör ve verim değerleri.....	61
Çizelge 5.2. KYS 1.kademe alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları	62
Çizelge 5.3. KYS 2.kademe alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları	63
Çizelge 5.4. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa test sonuçları	64
Çizelge 5.5. Ara ürünlerin karışımına yapılan sallantılı masa testi sonuçları	65
Çizelge 5.6. -1mm boyu için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti	68
Çizelge 5.7. İri ve şlam fraksiyonlarının kimyasal analizi	69

Çizelge 5.8. Dar tane boyu gruplarına yapılan ağır sıvı test sonuçları	70
Çizelge 5.9. -400 µm için KYS ürünlerinin tenör-verim değerleri	72
Çizelge 5.10. -400 µm için KYS alt akımı sallantılı masa sonuçları	72
Çizelge 5.11. KYS alt akım masa ara ürünlerinin tekrar zenginleştirilmesi	74
Çizelge 5.12. -400 µm için KYS üst akımı sallantılı masa sonuçları	75
Çizelge 5.13. -400 µm için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti	76
Çizelge 5.14. Kaba spiral zenginleştirme sonuçları	78
Çizelge 5.15. Birinci süpürme spirali zenginleştirme sonucu	78
Çizelge 5.16. İkinci süpürme spirali zenginleştirme sonucu	78
Çizelge 5.17. Hidrolik sınıflandırıcı iri numuneye yapılan sallantılı masa sonucu .	79
Çizelge 5.18. Hidrolik sınıflandırıcı ince numunesine yapılan sallantılı masa testi	80
Çizelge 5.19. -400 µm spiral ve sallantılı masa zenginleştirme özeti.....	81
Çizelge 5.20. -400 µm spiral konsantre ve masa ara ürün serbestleşme verileri .	83
Çizelge 5.21. -1 mm KYS ürünlerinin tenör ve verim değerleri	86
Çizelge 5.22. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa sonuçları.....	87
Çizelge 5.23. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa sonuçları.....	88
Çizelge 5.24. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa test sonuçları	88
Çizelge 5.25. -200 µm sallantılı masa test sonuçları	90
Çizelge 5.26. -200 µm için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti	91
Çizelge 6.1. Zenginleştirme test sonuçları özeti	94

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Türkiye krom yatakları	12
Şekil 2.2. Türkiye krom yataklarının tenör sınıflarına göre dağılımı	13
Şekil 2.3. Türkiye'nin yıllar itibariyle krom üretim miktarları	14
Şekil 2.4. Son 5 yıllık krom ihracatımız.....	15
Şekil 2.5. Türkiye'nin krom ve zenginleştirilmiş krom cevheri ithalat miktarı.....	15
Şekil 2.6. Sektörlere göre kromit kullanımı ve son kullanım sektörleri.....	17
Şekil 3.1. Kabaran yataklı sınıflandırıcı	24
Şekil 3.2. Boyut aralıklarına göre proses cihazları.....	25
Şekil 3.3. Tipik bir sallantılı masa zenginleştirme akım şeması	30
Şekil 3.4. Sukinda bölgesi silisli kromit cevheri zenginleştirme akım şeması	31
Şekil 3.5. Sukinda bölgesi demirli kromit cevheri zenginleştirme akım şeması	31
Şekil 3.6. Etibank Guleman-Batı Kef konsantratör tesisi akım şeması	32
Şekil 3.7. Krom atıklarını değerlendirmek için öngörülen akım şeması	33
Şekil 3.8. Fethiye-Üçköprü tesis atıkların zenginleştirme pilot tesis akım şeması	33
Şekil 3.9. Yeşilköy krom zenginleştirme tesis akım şeması.....	34
Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda izlenilen metot.....	35
Şekil 4.2. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı	36
Şekil 4.3. Laboratuvar tipi merdaneli kırıcı	36
Şekil 4.4. Laboratuvar tipi halkalı değirmen.....	36
Şekil 4.5. Clemex Vision P.E 5.0 donanımlı stereomikroskop	37
Şekil 4.6. Kabaran yataklı sınıflandırıcı (a), Hidrolik sınıflandırıcı (b)	38
Şekil 4.7. Laboratuvar ölçekli sallantılı masa.....	38
Şekil 4.8. Mineral Deposit A87D türünde spiral zenginleştirici.....	39
Şekil 4.9. Cevherin tüvenan, -9.5 mm ve -1 mm kırıldıktan sonraki boyut dağılımı	40
Şekil 4.10. Tüvenan numunesinin tane boyu bazında Cr_2O_3 içeriği	41

Şekil 4.11. Tüvenan numune XRD deseni.....	42
Şekil 4.12. Ağır sıvı testi batan numunesi (-4.75+1.18 mm)	42
Şekil 4.13. Kromit ve forsterit minerallerinin serbestleşme durumları	45
Şekil 4.14. -1mm'ye kırılmış tüvenan cevher fraksiyonel serbestleşme derecesi .	47
Şekil 4.15. +850 µm fraksiyonu tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü	48
Şekil 4.16. +600 µm fraksiyonu tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü	48
Şekil 4.17. +425 µm fraksiyonu tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü	48
Şekil 4.18. +300, +212 µm boyu tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü ..	49
Şekil 4.19. +150 µm fraksiyonu tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü	49
Şekil 4.20. Ağır sıvı (yüzme-batma) test yöntemi	50
Şekil 4.21. Tüvenan, -9.5mm kırılmış cevherde yoğunluk-kümülatif ağırlık ilişkisi	52
Şekil 4.22. Tüvenan ve -9.5mm kırılmış cevher için kümülatif tenör-verim ilişkisi.	52
Şekil 4.23. Sallantılı masa testi.....	56
Şekil 4.24. Sallantılı masada oluşan kromit bandı	57
Şekil 4.25. Spiral zenginleştirme testi	58
Şekil 5.1. -1 mm cevher için sallantılı masa test akış şeması	60
Şekil 5.2. KYS ürünleri boyut dağılımı	61
Şekil 5.3. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	62
Şekil 5.4. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	63
Şekil 5.5. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	64
Şekil 5.6. +850 µm stereomikroskop görüntüsü	66
Şekil 5.7. +600 µm stereomikroskop görüntüsü	66
Şekil 5.8. +425 µm stereomikroskop görüntüsü	66
Şekil 5.9. +300 µm stereomikroskop görüntüsü	67
Şekil 5.10. +850 µm stereomikroskop görüntüsü	67
Şekil 5.11. -400 µm boyutuna öğütülen cevherin tane boyu dağılımı	71

Şekil 5.12. -400 µm cevher için sallantılı masa ile zenginleştirme iş akış şeması	71
Şekil 5.13. -400 µm KYS alt akımı sallantılı masa testi kümülatif verim-tenörü	73
Şekil 5.14. KYS alt akım masa testi ara ürün 2 mikroskop görüntüsü	74
Şekil 5.15. -400µm KYS üst akımı sallantılı masa testi kümülatif verim-tenörü	75
Şekil 5.16. -400 µm spiral zenginleştirici ve sallantılı masa test akış şeması	77
Şekil 5.17. Süpürme spirali nihai atık stereomikroskop görüntüsü	79
Şekil 5.18. İkinci aşama süpürme spirali konsantresi stereomikroskop görüntüsü	82
Şekil 5.19. İri boy masa testi ara ürünü fraksiyonel stereomikroskop görüntüsü ..	82
Şekil 5.20. İnce boy masa testi ara ürün fraksiyonel stereomikroskop görüntüsü	83
Şekil 5.21. Ara ürün ve atıkların öğütülerek zenginleştirildiği test akış yöntemi....	85
Şekil 5.22. KYS ürünleri boyut dağılımı	86
Şekil 5.23. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	87
Şekil 5.24. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	88
Şekil 5.25. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	89
Şekil 5.26. -200 µm boyutuna öğütülen cevherin tane boyu dağılımı	89
Şekil 5.27. -200 µm sallantılı masa kümülatif verim-tenörü	90
Şekil 6.1. Zenginleştirme devresi madde denkliği.....	96
Şekil 6.2. Ara ürün öğütme devresi	97
Şekil 6.3. Ara ürün zenginleştirme devresi akım şeması ve madde denkliği	98
Şekil 6.4. Önerilen zenginleştirme akım şeması ve madde denkliği	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

°	Derece
k	Konsantrasyon kriteri
ρ_A	Ağır mineralin özgül ağırlığı
ρ_H	Hafif mineralin özgül ağırlığı
ρ	Akışkan ortamın özgül ağırlığı
gr	Gram
kg	Kilogram
m ³	Metreküp
cm ³	Santimetreküp
ml	Mililitre
mm	Milimetre
μm	Mikrometre
N	Molar
cal	Kalori
t	Ton
s	Saat

Kısaltmalar

Açıklama

Cr	Krom
Fe	Demir
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
Cu	Bakır
Ca	Kalsiyum
P	Fosfor

S	Kükürt
Cr ₂ O ₃	Kromit
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Oksit
CaO	Kalsiyum Oksit
FeO	Demir (II) Oksit
Na ₂ O ₂	Sodyum Peroksit
K ₂ Cr ₂ O ₇	Potasyum Dikromat
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O	Demir Amonyum Sülfat Hekza Hidrat
H ₃ PO ₄	Fosforik Asit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Lizardit
Mg(OH) ₂	Brusit
C ₂ H ₂ Br ₄	Tetra Brom Etan
MTA	Maden Tetkik Arama
XRD	X-Ray Diffraction
XRF	X-Ray Fluorescence
MLA	Mineral Liberation Analyzer
KYS	Kabaran Yataklı Sınıflandırıcı
HS	Hidrolik Sınıflandırıcı

1. GİRİŞ

Krom; demir, alüminyum ve bakır ile birlikte endüstride en çok kullanılan önemli metallere birisidir. Dünyada ve ülkemizde önemli rezervler bulunmakta ve her yıl büyük miktarlarda krom üretimi gerçekleştirilmektedir. Türkiye, krom cevheri üretiminde bazı yıllar ilk sırayı almış ilerleyen yıllarda da genellikle 3. ve 6. sıradaki yerini korumuştur.

Krom cevherinin kullanıldığı başlıca sanayi dalları, metalürji, refrakter ve kimya sanayidir. Ancak, ocaktan çıkartılan krom cevherleri, bu sanayi kollarının istediği ürün özelliklerini çoğu zaman sağlamamaktadır. Dolayısıyla, ocaktan çıkartılan krom cevherlerinin endüstrinin istediği özelliklere getirilmesi, bir başka deyişle satılabilir ürün halini alması ancak etkili zenginleştirme işlemleri ile mümkün olabilmektedir.

Başlıca krom zenginleştirme yöntemleri; özgül ağırlık farkına göre ayırma, manyetik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirmedir. Kromit cevherlerinde uygulanan zenginleştirme yöntemleri, kromitin serbestleşme derecesine, cevherin ve yantaşın özelliğine göre belirlenmekte ve bazen de birkaç yöntemin kombinasyonu şeklinde uygulamalar görülmektedir [1].

Ülkemizde, krom cevherinin keşfedilmesiyle yüzeye yakın yüksek tenörlü yataklar hızla işletilmiş ve tükenmiştir. Bu yataklar için kullanılan zenginleştirme yöntemleri maliyet açısından oldukça ekonomik yöntemler olmuş ve basit zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilebilmişlerdir. İlk bulunan kromit zuhurlarında açık ocak işletme yöntemi ve el ile ayıklama zenginleştirme yöntemi ile krom konsantreleri üretilenmiştir. Ancak günümüzde mevcut yatakların büyük bir kısmı düşük tenörlü olup, ince tane boyunda serbestleşen ve mineralojik olarak önceki kaynaklardan daha karmaşık yapılara sahip olan yataklardır. Bu özellikler, yüksek Cr_2O_3 tenörlü ve yüksek metal kazanımı ile elde edilmiş konsantreler üretebilmek için zenginleştirme yöntemlerinin ve kombinasyonlarının dikkatlice araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu tezde, Erzincan-Kop Dağı yöresinde bulunan Sivas ili Yellice bölgesindeki krom cevherini işleyecek zenginleştirme tesisi tasarımına temel oluşturacak cevher karakterizasyon ve zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Düşük kromit tenörlü

Yellice krom cevherinin yüksek metal kazanımı ve tenörle krom pazarında satılabilir standartlara sahip olan konsantreyi 420 t/s tesis kapasite için düşük maliyette üretebilecek bir akım şeması tasarlanması amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda yoğunluk farkına göre zenginleştirme yöntemlerine dayalı zenginleştirme testleri yapılarak, elde edilen sonuçlardan en uygun akım şeması alternatifi sunulmuştur.



2. KROM CEVHERİNİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Krom cevheri ilk defa Fransız kimyacı Nicolas Vauquelin tarafından 1797 yılında Sibirya'daki bir kurşun filizinde bulunmuş; parlak ve gümüşü renginden dolayı Yunanca renk anlamına gelen "chrome" ismi verilmiştir. Her ne kadar 1762'de ilk olarak Alman Mineralog ve Jeolog Johann Gottlob Lehmann tarafından Rusya'nın Ural Dağları civarında krom içeren mineraller bulunmuş olsa da söz konusu bu buluşu inceleyip periyodik cetvele sokan Vauquelin olmuştur [2].

Birinci Dünya Savaşına kadar yaygın bir kullanımı olmayan krom, 1913'de İngiliz metalurjist Harry Brearley tarafından top namlusu dökümünde kullanılacak çelikler üzerinde araştırma yaparken rastlantı sonucu fark edilmiştir. Hurdalığındaki bütün çeliklerin birkaçı dışında paslandığını gören Brearley, bu parçaları incelediğinde analizler sonucunda paslanmayan parçalarda %14 oranında krom bulunduğunu saptamıştır. Bu buluş krom cevherinin paslanmaz çelik üretimine katkısını ortaya koyarak, bu sanayinin gelişmesini hızlandırmıştır [3].

Dünya' da ilk krom yatakları 1798 yılında Rusya'da Ural dağlarında bulunmuştur. Ülkemizde ise Amerika'daki Maryland yataklarının tükenmesinden sonra Amerikalı Jeolog Laurance Smith tarafından 1848 yılında Bursa Harmancık bölgesinde yüksek tenörlü krom yatakları tespit edilmiş olup 1850'li yıllarda krom madenciliğine başlanmıştır [4]. 1874'de Yeni Kaledonya'da, 1903'de Hindistan'da ve 1906'da Rodezya'da keşfedilen krom, sanayi hayatına karışmıştır.

Krom endüstride, Fe, Al, Cu'dan sonra en çok kullanılan önemli metallere birisidir. Kromun demirle çeşitli koşullarda oluşturmuş olduğu alaşımları, çelik sanayinde ısı ve korozyona dayanıklı çelik olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlara, yüksek karbonlu ferrokrom, düşük karbonlu ferrokrom, ferro silikon krom gibi alaşımlar örnek gösterilebilir. Ayrıca, kromun oksijenle oluşturduğu tuzlar, doğal koşullardan kolay etkilenmediği için boya sanayinin aranan ürünleridir [5]. Krom cevherinin dünyadaki ve ülkemizdeki tarihsel kullanım süreci Çizelge 2.1'deki gibidir [6].

Çizelge 2.1. Krom cevherinin kullanım alanlarına göre tarihi süreci

Yıl	AÇIKLAMA
1762	Alman Mineralog ve Jeolog Johann Gottlob Lehmann tarafından Rusya'nın Ural Dağları civarında ilk olarak krom içeren mineraller (krokoit) keşfedildi.
1797	Fransız Kimyacı Louis Nicolas Vauquelin kromu analiz ederek literatüre kazandırmış ve isim babası olmuştur.
1811	Bilinen ilk büyük kromit yataklarının keşfi A.B.D.'de gerçekleştirildi.
1828	Çelik üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaya başlandı.
1830	Norveç'te krom madenciliğine başlandı.
1848	Türkiye'de ilk olarak Amerikalı Kimyager ve Akademisyen John Lawrence Smith tarafından krom keşfedildi.
1849	Hindistan'da krom bulundu.
1850	Türkiye'de iktisadi bir faaliyet olarak krom madenciliği ile birlikte ihracatta başlandı.
1858	Dericilikte kullanılmaya başlandı.
1879	İlk olarak Fransa'da refrakter sanayide kullanılmaya başlandı.
1882	Avustralya'da krom bulundu.
1887	Fethiye – Üçköprü kromit yatakları ruhsat alarak işletilmeye başlandı.
1893	Almanya'da ilk defa zırh kaplaması için ferrokrom üretildi.
1906	Dünya krom üretimi 100.000 tona ulaştı.
1906	Rodezya (Bugünkü Zimbabwe)'da krom bulundu.
1913	Harry Brearley tarafından krom kullanılarak paslanmaz çelik elde edildi.
1915	Elazığ'da krom bulundu.

Çizelge 2.1. Krom cevherinin kullanım alanlarına göre tarihi süreci (devam)

1918	İlk modern ferrokrom tesisi kuruldu.
1936	Guleman Krom Yatağı, Etibank'a devredildi ve Şark Kromları T.A.Ş. kuruldu.
1937	Filipinler ve Arnavutluk'ta krom yatakları bulundu.
1939	Şark Kromları T.A.Ş. Etibank'a bağlandı ve Etibank Şark Kromları İşletmesi Müessesesi adı altında faaliyetlerine devam etti.
1940	Türkiye ile müttefikler arasında 8 Ocak 1940 tarihinde Krom Antlaşması imzalandı.
1943	İlk defa salt ferrokrom üretim sitesi Kazakistan (S.S.C.B.)'da kuruldu.
1948	Türkiye 1948'den 1952 yılına değin dünya krom üretiminde 1. sırada yer aldı.
1950	Türk Maadin Şirketi tarafından Kavak (Eskişehir) kromlarını zenginleştirmek amacıyla ilk modern zenginleştirme tesisi kuruldu.
1963	Antalya'da ferrokrom üretimi başladı.
1965	Şark Kromları İşletmesine bağlı olarak Elazığ'da 150.000 ton/yıl kapasiteli zenginleştirme tesisi devreye girdi.
1974	Yeni Kaledonya'da krom bulundu.
1977	Elazığ'da ferrokrom üretimi başladı.
1989	MTA tarafından Adana Aladağ'da dünyada sayılı zenginlikte olan krom yatakları keşfedildi.
1990	Türkiye'nin krom üretimi tarihinde ilk defa 1 milyon tonu aştı.

Krom doğada genellikle kristal halde bulunur. Dünyanın katılaşması sırasında ilk kristalleşen elementlerden biri olan Krom, parlak çelik gri rengine sert bir metaldir. Kimyasal etkenlerle aşınmaz, havada oksitlenmez ve parlaklığını korur. Yüksek sıcaklıklarda oksijen ve klorda yanabilir. Hidroklorik asit içinde erir. Krom elementine ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.2' de verilmiştir [7].

Çizelge 2.2. Krom elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Özellik
Sembol	Cr
Atom Numarası	24
Atom Ağırlığı	51.996
Atom Çapı	1.18 Å
Elastisite Modülü	19.000 kg/mm ²
Ergime Noktası	1.857± 20 °C
Kaynama Noktası	2672 °C
Özgül Ağırlık	7.18 – 7.20 (20 °C'de)
Özgül Isı	0.108 kal/gr

2.1. Krom Mineralleri

Yeryüzünde krom içeren 25 kadar mineral bilinmekte olup sadece Kromit minerali ekonomik değer taşımakta ve üretilmektedir. Krom mineralleri ve özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir [8].

Çizelge 2.3. Başlıca krom cevheri mineralleri ve özellikleri

Mineral Adı	Cr ₂ O ₃ (%)	Kristal Sistemi	Renk	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (g/cm ³)
Kromit Cr ₂ O ₃	68	Kübik	Gri-Kahve	5.5	4.1-4.9
Uvarovit Ca ₃ Cr ₂ Si ₃ O ₁₂	30.6	Kübik	Zümrüt Yeşili	7.5	3.4-3.5
Krokoit PbCrO ₄	30.1	Monoklinik	Sarı-Kırmızı	2.5-3	5.9-6.1
Diyetzeyit Ca ₂ H ₂ O(IO ₃) ₂ (CrO ₄)	15.3	Monoklinik	Altın Sarısı	3.4	3.7
Fonikokroyit Pb ₂ O(CrO ₄)	17.5	Ortorombik	Sarı-Kırmızı	3	5.7
Kemererit (Mg,Cr) ₆ (AlSi ₃)O ₁₀ (OH) ₈	-	-	Kırmızı-Pembe	-	-

2.2. Kromit Minerali Genel Özellikleri

Ekonomik olarak üretilebilir krom cevherlerinden kromit, doğada genellikle oksit halinde bulunmaktadır. Çoğunlukla kayalar içinde ince kristaller halinde bulunur. Kromun birçok filizi bilinmektedir; bunlardan zümrüt, yakut ve safir değerli taşlar olduğundan süs eşyası yapımında kullanılır ama en yaygın krom filizi kromittir [9].

Kromit yerkabuğunda bulunan mineraller arasında miktar olarak 21.sırada bulunmakla birlikte yerkabuğunun kabaca %0.037'sini oluşturmaktadır. Kromit teorik olarak, $(\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3)$ formülü tanımlanmış yapıda olup, içeriğinde %67.6 Cr_2O_3 (yani %46.7 Cr) ve yaklaşık %32 Fe bulundurur. Ancak kromit doğada hiçbir zaman bu formülde bulunmaz. Doğada ki kromitte, 2 değerlikli element olarak demirin yanında magnezyum ve 3 değerlikli elementlerden kromun yanında alüminyum ve demir bulunduğundan esas formülü; $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot (\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ şeklinde ifade edilmesi doğru olur [5]. Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Krom cevherinin kullanım alanlarını daha çok tenörlerindeki Cr_2O_3 ve konsantrenin içeriğindeki krom demir oranı (Cr/Fe) etkilemektedir. Ferrochrom üretiminde kullanılan cevherin Cr/Fe oranının 2.5-3 civarında olması tercih edilirken, ateşe dayanıklı ürün endüstrisinde Cr/Fe oranı önemli değildir. Kromit mineralinin genel özellikleri Çizelge 2.4'te gösterildiği gibidir [10].

Çizelge 2.4. Kromitin genel özellikleri

Parametreler	Özellikler
Rengi	Siyaha yakın gri
Çizgi Rengi	Kahverengi
Sertliği	5.5 (Mohs)
Özgül Ağırlığı	4.1 – 4.9 gr/cm ³
Erime Sıcaklığı	1930 °C
Kaynama Sıcaklığı	2490 °C
Elastisite Modülü	900 kg/mm ²
Isı Kapasitesi	0.12 cal/°C
Isı İletkenliği	0.165 cal.cm/sn
Elektrik Direnci	13.1 mikro-ohm
Kırılma Şekli	Düzensiz
Kafes Sabiti	2.87 Å
Çözünürlük	Suda ve asitte çözünmez
Diğer Özellikler	Ultra bazik kayalarda bulunur. Görünümü yarı metalik cilalı şeklindedir. Kübik sistemde kristalleşir. Dilimimleri yoktur.

2.3. Kromit Minerali Yantaşıları

Kromit mineralinin oluşmuş olduğu derinlik ve konuma göre oluştukları magmanın eriyiklerine bağımlı olarak peridotit, olivin, plajiyoklaz, feldspat ve bunların alterasyonları sonucu oluşmuş olan serpantinler, talk şistleri ve manyezitleri yan kayaç olarak bulundurulur [11]. Çizelge 2.5'te kromit minerali ile birlikte en sık görülen yantaşılar verilmiştir [8].

Çizelge 2.5. Kromit minerali ile beraber en sık rastlanan yantaşlar

Kromit Yantaşları	Kimyasal Formülü	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Serpantin	3MgO.SiO ₂ .2H ₂ O	3-4	2.60
Olivin	2(Mg,Fe)O.SiO ₂	7.00	3.2-4
Kloritler	5(Mg,Fe)O.Al ₂ O ₃ .3SiO ₂ .4H ₂ O	2-3	2.60
Feldspatlar	CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	6.00	2.50
Proksen Diopsit	CaO.MgO.2SiO ₂	-	-
Enstatit	MgO.SiO ₂	5-6	3.20
Bronzit	(Mg,Fe)O.SiO ₂	5-6	3.20

2.4. Dünya’da ve Türkiye’de Kromit Madenciliği

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna, konumuna, topoğrafyaya, cevher tenörüne ve diğer işletme parametrelerinin değişkenliğine göre açık ya da yer altı işletme yöntemiyle işletilebilmektedir. Geçmiş yıllarda cevherin yüksek tenörlü ve yüzeye yakın olmasından dolayı açık işletme yöntemiyle üretilebilen krom yatakları günümüzde genellikle yer altı işletme yöntemi ile elde edilmektedir [12].

Kromun keşfinden kısa bir süre sonra, nakliye elverişli yatakların bulunması, bulunan bu cevherlerin yüzeye yakınlığı ve iyi kalitede olması Türkiye’nin uzun bir süre krom pazarında rakipsiz olmasını sağlamıştır. 1930’larda dünya krom üretiminin %15-20 kadarını Türkiye tek başına sağlamış ve 1948 ile 1952 yılları arasında dünya krom üretiminde birinci sırada yer almıştır. İlerleyen yıllarda Güney Afrika Cumhuriyeti, Hindistan, Yeni Kaledonya, Filipinler, Avustralya ve diğer ülkelerde krom yataklarının bulunması ve işletilmeye başlamasıyla Türkiye krom pazarındaki üstünlüğünü yitirmiş ancak, Türkiye’nin Avrupa pazarlarına yakınlığı ve krom kalitesinin iyi olmasından dolayı üretimde ileri gelen ülkeler arasında yerini korumayı başarmıştır [6].

Günümüzde dünya toplam krom rezervi 7.9 milyar ton (7.959.400.000) olarak hesaplanmış olup bunun da 1.6 milyar tonu görünür rezervdir. Kromit madenciliğinde kaynak zenginliği bakımından avantajlı durumda olan Güney Afrika, Zimbabve ve Bağımsız Devletler Topluluğu’nun krom rezervleri dünya rezervlerinin %98’ini oluşturmaktadır. Geriye kalan %2’lik dilimin içinde Türkiye’nin de yer aldığı diğer ülkeler bulunmaktadır [7]. Çizelge 2.6’da dünya çapında krom

maden rezervleri, Çizelge 2.7’de ise Türkiye dışında dünya pazarına kromit cevheri sağlayan ülkeler verilmiştir [13], [12].

Çizelge 2.6. Dünya krom madeni rezervleri (bin ton)

Ülkeler	Rezerv	Kaynak
ABD		10.000
Cezayir	6.100	6.100
Brezilya	14.000	17.000
Finlandiya	41.000	120.000
Hindistan	26.000	57.000
İran	2.400	2.400
Kazakistan	320.000	320.000
Rusya	4.000	460.000
Güney Afrika	3.000.000	5.500.000
Türkiye	8.000	20.000
Zimbabve	1.400	930.000
Diğer Ülkeler	40.000	99.000
Dünya Toplamı	3.600.000	7.600.000

Çizelge 2.7. Krom üreticisi olan ülkeler

Avrupa	Finlandiya, Yunanistan, Yugoslavya, Slovenya, Makedonya, Hırvatistan
Afrika	Mısır, Madagaskar, Güney Afrika, Sudan, Zimbabve
Asya	Kıbrıs, Hindistan, İran, Japonya, Pakistan, Filipinler, Tayland, Myanmar, Umman
Amerika	Arjantin, Brezilya, Kolombiya
Okyanusya	Avusturalya, Yeni Kaledonya
Diğer Ülkeler	Arnavutluk, Kazakistan, Rusya, Vietnam, Küba

Krom üretimi, ülkelerin ekonomik durumuyla ve çelik talebi ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca ekonomik krizler, ülkelerin siyasi belirsizlikleri, savaş durumundan kaynaklı politik ve iktisadi çalkantılar, hammadde alıcısı ülkelerin satın alımındaki dalgalanmalar diğer madenleri etkilediği gibi krom madeninin üretiminde de dalgalanmalara sebep olmuştur ve olmaktadır. Bütün bu dalgalanmalara rağmen krom üretimi yıldan yıla artan bir davranım göstermektedir. Çizelge 2.8'de son beş yıllık dünya kromit üretimi verilmiştir [14].

Çizelge 2.8. Dünya kromit cevheri üretimi (bin ton)

Ülkeler	2011	2012	2013	2014	2015
Hindistan	3.850	3.900	2.950	3.540	3.500
Kazakistan	3.800	4.000	3.700	3.700	3.800
Güney Afrika	10.200	11.000	13.700	12.000	15.000
Türkiye	2.281	2.280	3.300	2.600	3.600
Diğer Ülkeler	5.450	6.700	5.150	4.590	4.600
Toplam	23.300	25.600	28.800	26.400	31.000

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de en büyük tüketiciler A.B.D. başta olmak üzere Almanya, Fransa, Birleşik Krallık ve Japonya gibi sanayileşmiş ülkelerdir. Avrupa kıtası özellikle de Almanya ve İsveç büyük ölçüde dışa bağımlıdır [6].

Türkiye' de bulunan krom rezervleri Güney Afrika rezervleri gibi zengin olmasa da kullanılabilir krom standartları açısından Cr ve Fe oranı nedeniyle daha değerlidir. Türkiye krom yatakları özel bir bölgede olmaksızın Türkiye geneline yayılmış olmasına rağmen coğrafi açıdan altı ana bölgede toplanabilmektedir. Bu bölgeler önem sırasına göre şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Guleman (Elazığ) yöresi
- 2) Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- 3) Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
- 4) Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
- 5) Erzincan-Kop Dağı yöresi
- 6) İskenderun-Kahramanmaraş yöresi [12]

Altı ana bölgede toplanabilen bu yatakların harita üzerinde gösterimi **Error! Reference source not found.**'de gösterildiği gibidir [15].



Şekil 2.1. Türkiye krom yatakları

Bu yörelerde bulunan yataklar, rezerv miktarları ve rezervlerdeki kromit tenörleri Çizelge 2.9'da gösterildiği gibidir [16].

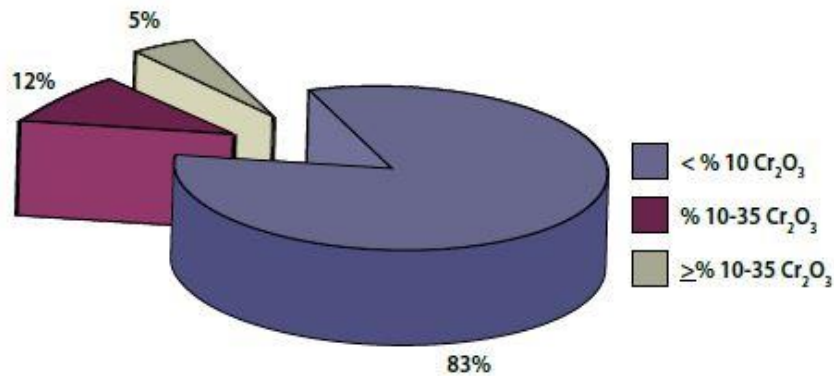
Çizelge 2.9. Türkiye'deki önemli kromit yatakları

Yöre	Zuhur	Rezerv (ton)	Tenör, % Cr ₂ O ₃
Elazığ (Guleman)	Batı Kef	6 800 000	33
	Doğu Kef	500 000	40-45
	Sori	2 500 000	42-48
	Kapın	700 000	43-47
Fethiye-Köyceğiz-Denizli	Karaismailler	800 000	33-38
	Üzümlü-Sazlı	100 000	36
	Biticealan	102 000	44-48
	Kazandere	236 000	37.5
	Kandak	100 000	40-46
Bursa-Kütahya-Eskişehir	Harmacık-Başalan	163 000	20
	Ömeraltı-Kınalıbatak	100 000	23
	Miran-Hudut-Koca	120 000	43
	Orhaneli-Karınca	40 000	5-30
	Büyükorhan-Kırocak	277 000	10-18
	Kömürlük	53 000	15-40
	Eskişehir-Karacaören	35 000	15-45
	Eskişehir-Karaburhan	1 800 000	22-26
	Kavak Kromları	1 000 000	30-45

Çizelge 2.9. Türkiye'deki önemli kromit yatakları (devam)

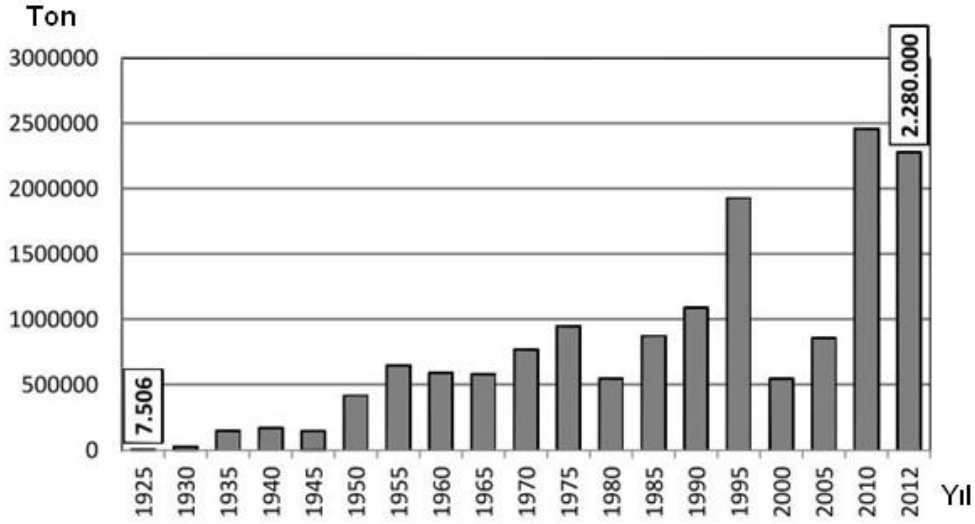
Yöre	Zuhur	Rezerv (ton)	Tenör, % Cr_2O_3
Mersin-Adana-Kayseri	Adana-Aladağ	198 000 000	5.6
	Kayseri-Pınarbaşı-Dedeman	490 000	20-30
	Tarla Ocak	300 000	10-20
Sivas-Erzincan-Kopdağ	Sivas-Kangal-Kavaklıdere	2 300 000	5-15
	Karadere	55 000	43-44
	Erzincan-Kopdağ	3 600 000	38-54
İskenderun-Kahramanmaraş	Hatay-Kızıldağ	117 000	34-44

Ülkemizde krom üretiminin ilk yıllarında, düşük maliyet ve yüksek kârla işletilebilen Bursa, Denizli, Fethiye, Muğla gibi limanlara yakın bölgelerde yüksek tenörlü ve yüzeye yakın yataklar üzerinde yoğunlaşmış; doğrudan satılabilir cevher üretimine yönelinmiştir. Yüzeye yakın ve yüksek tenörlü bu yataklara açık işletme yöntemi uygulanmış, daha sonra bu yüksek tenörlü mostraların tükenmesiyle derin kısımlar üretilmeden yataklar terkedilmiştir. Krom madenciliğinde 150 yılı aşan geçmişi olan Türkiye'de, doğrudan satılabilir nitelikteki yüksek tenörlü ($\geq 35\%$ Cr_2O_3) yatakların büyük bölümü üretilmiştir. MTA Genel Müdürlüğü verilerine göre bugün toplam 242 341 000 ton dolayında olan Türkiye'nin bilinen krom kaynaklarının %83'ü %10 Cr_2O_3 'den daha düşük tenörlü yataklardan gelmektedir. Bilinen kaynakların sadece %5'i (13 087 000 ton) doğrudan satılabilir tenördedir. **Error! Reference source not found.**'de Türkiye krom yataklarının tenör sınıfına göre dağılımı şematik olarak gösterilmektedir [17].



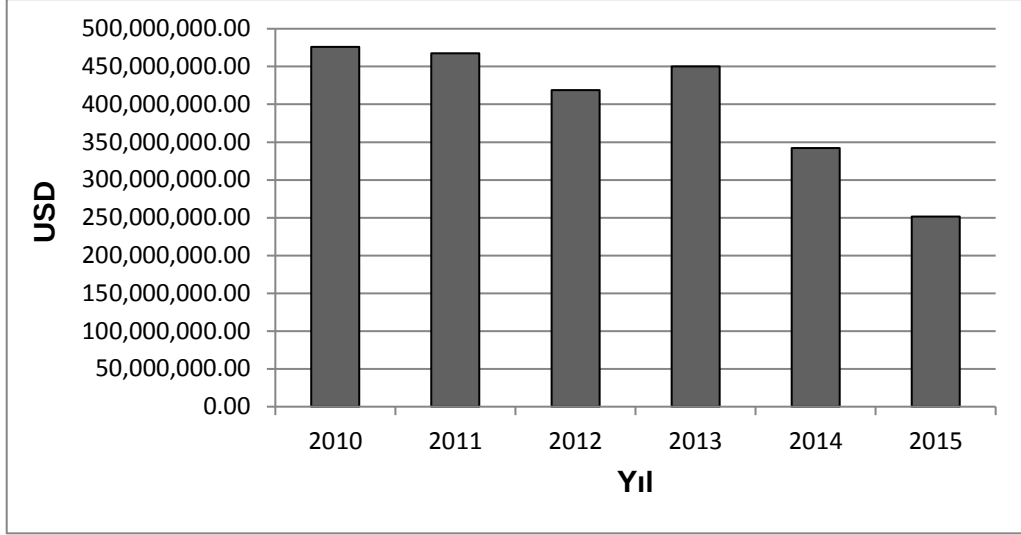
Şekil 2.2. Türkiye krom yataklarının tenör sınıflarına göre dağılımı

Türkiye dünya krom pazarında, kromun bulunmasından günümüze kadar olan süreçte daima önemli bir yere sahip olmuştur. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da genellikle 3. ve 6. sıralar arasındaki yerini devamlı korumuştur. 1924 yılından önce yapılan üretimle ilgili kayıtlar bilinmemekle birlikte bu yıllarda düşük üretim düzeyi dikkate alınarak başlangıçtan bu güne kadar Türkiye'de yaklaşık 45 milyon ton krom cevheri üretildiği tahmin edilmektedir. **Error! Reference source not found.**'te 1925 yılı ile 2012 yılları arası tüvenan krom üretim miktarı verilmiştir [12], [18].



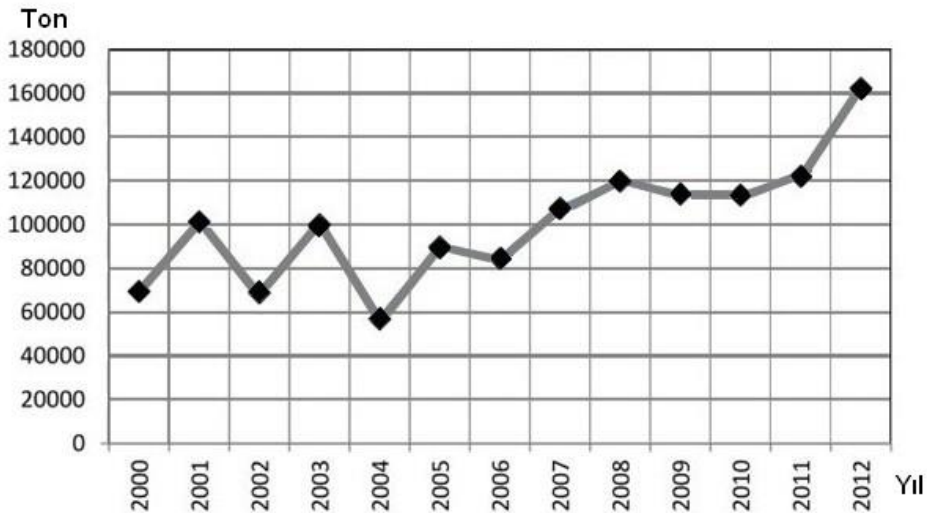
Şekil 2.3. Türkiye'nin yıllar itibariyle krom üretim miktarları

Türk madenciliğinin geleneksel ihraç ürünlerinin başında krom cevheri gelmektedir. Türkiye'de krom cevheri üretimi genel olarak metalürji sanayinde kullanılmak yerine hammadde olarak başta Çin olmak üzere dünya pazarı ihracatına yönelik yapılmaktadır. Bu durum krom cevheri üretimini dış pazarın hammadde ihtiyacına ve talebe göre arttırmakta veya azaltmaktadır. Günümüzde hala krom cevheri önemli ihraç ürünlerimizdendir. Krom cevheri ihracatımızda Çin'den sonra gelen diğer önemli ülkeler İsveç, Belçika ve Ukrayna'dır [19]. Son beş yıla ait krom ihracat rakamları **Error! Reference source not found.**'te sunulmaktadır.



Şekil 2.4. Son 5 yıllık krom ihracatımız

Türkiye krom sektöründen bahsederken bu alanda kendi ihtiyacımızı tam anlamıyla karşılayamadığımız gibi çoğu krom ürününde de büyük oranlarda ithalatımızın söz konusu olduğunu belirtmek gerekir. Türkiye gibi geçmişten beri krom sektöründe söz sahibi olan bir ülkenin ağırlıklı olarak üret ve sat anlayışıyla hareket etmesi döviz kaybı yanında ilerleyen yıllarda bu hususta da dışa bağımlı olmamıza zemin hazırlamaktadır. 2012'ye gelindiğinde Türkiye, Güney Afrika Cumhuriyeti'nden 161.310 ton ile toplam ithalatının %99.4'ünü, yani tamamını karşılamakta olup Hollanda'dan 910.9 ton, Birleşik Krallık'tan 34 ton ve Almanya'dan da 6 ton krom ve zenginleştirilmiş krom cevheri ithal etmiştir. 2000-2012 yılları arası Türkiye'nin krom ve zenginleştirilmiş krom cevheri ithalat miktarı Şekil 2.5'te gösterildiği gibidir [6].



Şekil 2.5. Türkiye'nin krom ve zenginleştirilmiş krom cevheri ithalat miktarı

2.5. Kromit Cevherinin Kullanım Alanları

Kromit cevheri genellikle metalürji, kimya ve refrakter sanayilerinde kullanılmaktadır. Bu sanayilerde kullanılan kromit konsantrelerinin kullanıma uygun olabilmesi için bazı özellik ve standartları sağlamış olması beklenmektedir. Bu standartları şekillendiren ana etmenlerden biri cevherin tenörü, diğeri cevher içindeki yabancı bileşenlerin oranıdır.

Cevher tenörü dikkate alınarak yapılan sınıflandırmada, kromit konsantreleri Cr_2O_3 içeriğine göre 1. kalite, 2. kalite ve 3. kalite olarak tanımlanır ve aşağıda belirtilen limitlerde olması gerekir:

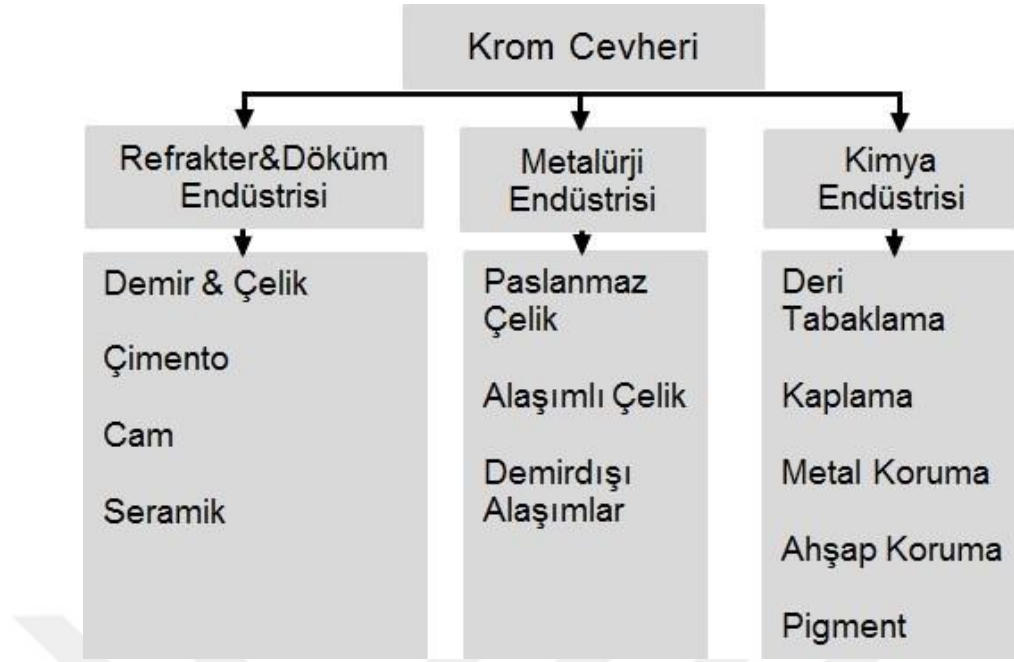
- ✓ Cr_2O_3 içeriği %40'dan az olanlar 3. kalite,
- ✓ Cr_2O_3 içeriği %40-46 arasında olanlar 2. kalite
- ✓ Cr_2O_3 içeriği %46'dan fazla olanlar 1. kalite [12]

Krom cevherinin kullanım alanını belirleyen bir diğer etmen içerisindeki yabancı madde miktarları olduğundan krom cevherinin kimyasal bileşimi incelenerek sınıflandırılma yapılmaktadır. Cevher içeriğindeki Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO ve SiO_2 değerlerinin dikkate alınması gerekir. Öte yandan, oran olarak az bulunmalarına karşın Ca, P ve S içeriklerinin de, krom cevherinin kullanım alanlarını etkileyen elementler olarak ayrıca incelenmesi gerekebilir [20]. Krom cevherinin kullanım alanlarına göre istenilen bileşim oranları genel hatlarıyla Çizelge 2.10'da gösterildiği gibidir [21].

Çizelge 2.10. Kromit cevherinin kullanıldığı alana göre istenilen bileşim oranları

Cevher Tipi	Cr/Fe (%)	Cr_2O_3 (%)	$\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	P (%)	Fe (%)	Cu (%)
Metalürjik	3	46-48	-	0.085	0.04	-
Kimya	1.6	44	-	-	-	-
Refrakter	-	31	58	-	-	1

Krom cevherinin %90'lık kısmı metalürji endüstrisinde, %5'lik kısmı refrakter ve döküm endüstrisinde ve yine %5'lik kısmı kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Kromitin tüketildiği son kullanım sektörleri Şekil 2.6'da verilmektedir [22].



Şekil 2.6. Sektörlere göre kromit kullanımı ve son kullanım sektörleri

2.5.1. Metalürjik Kromit

Metalürji sanayi, kromit cevherinin en fazla kullanıldığı yerdir. Fiziki özellik bakımından cevherin sert ve parça olması tercih edilse de yeni teknolojiler sayesinde konsantre krom tozları da bu sanayide kullanılabilir hale gelmiştir [2]. Metalürji sanayinde aranan krom bileşimi özellikleri Çizelge 2.11’de özetlenmektedir [12].

Çizelge 2.11. Metalürji Sanayinde Aranan Krom Bileşimi Özellikleri

Kimyasal Özellikler	Fiziksel Özellikler
Cr₂O₃ %46-48	Boyut 0-2 mm
SiO₂ %6-8	
Al₂O₃ %8-15	
MgO %15-20	
CaO %0.5-2	
Cr/Fe %2.6- 3.1	

Metalürji sanayide krom cevheri çoğunlukla, paslanmaz çelik için gerekli olan ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır. Ferrokrom paslanmaz çelik, metal ve silah sanayinin en önemli maddesidir. Krom, çeliğe sertlik vererek darbelere karşı dayanımını artırır, aşınma ve korozyona karşı korur [2]. Ferrokrom, krom ve demirden meydana gelmiş bir alaşım olup, az miktarda karbon ve silisyum gibi

elementler de içermektedir. Teknikte, ferrokrom içeriğinde bulunan karbon miktarına göre genel olarak 3 grupta toplanır:

- 1) Düşük karbonlu ferrokrom (% 0.02- %0.5 C)
- 2) Orta karbonlu ferrokrom (%0.5 - %4 C)
- 3) Yüksek karbonlu ferrokrom (%4- %8 C) [3]

Kromun paslanmaz çelik yapımında kullanılmasının dışında, krom-kobalt-tungsten alaşımlı olan satelit, üstün bir sertliğine sahip olduğundan maden makinaları, çelik, çimento sanayi ve uçak yapımında kullanılmaktadır. Kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, sahra topu silahlarla ilgili sistemlerde kullanılması ise kromu stratejik bir element yapmaktadır [23].

2.5.2. Refrakter Kromit

Cr_2O_3 yanında Al_2O_3 miktarı daha fazla olan cevherler refrakter sanayinde tuğla üretiminde kullanılır ve refrakter olarak adlandırılır. Refrakter yapımında kullanılan kromitte $\%\text{Al}_2\text{O}_3$ oranının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Al_2O_3 , refrakter malzemenin kimyasal ve mekanik dayanıklılığını artırmaktadır [24]. Kromitten elde edilen refrakterler diğerlerinden kimyasal açıdan oldukça farklıdır. Çünkü diğer bütün refrakterler kimyasal bakımdan ya bazik ya da asidiktir. Kromit refrakterleri ise kimyasal açıdan nötrdür. Bu yüzden yüksek sıcaklıkta hem asitlere hem de bazlara karşı dayanıklıdır. Refrakter yapımında kullanılacak kromit içinde silis oranının mümkün olduğu kadar düşük ve hatta %5'den az olması tercih edilir. Refrakter kromitin dayanıklılığını içindeki demirin fazlası azaltır [25]. Refrakter sanayinde kullanılan kromit konsantrelerinde istenilen özellikler Çizelge 2.12'de verilmiştir [24].

Çizelge 2.12. Refrakter kromit özellikleri

$\%\text{Cr}_2\text{O}_3$	≥ 30
Cr/Fe Oranı	$< 3/1$
$\%\text{SiO}_2$	< 5
$\% (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3)$	≥ 60
$\% \text{Al}_2\text{O}_3$	≥ 20
$\%\text{FeO}$	< 15
$\%\text{CaO}$	< 2

2.5.3. Kimyasal Kromit

Kromit minerali kimyasal sanayide çoğunlukla boya hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde krom kimyasalları, biyositler, katalizörler, korozyon önleyiciler, metal kaplamalar, apre maddesi, sondaj çamuru, pigmentler ve boya kimyasalları sektörlerinde kullanılmaktadır [26]. Kimya sanayinde kullanılan kromitte istenilen özellikler Çizelge 2.13’de gösterildiği gibidir [7].

Çizelge 2.13. Kimyasal kromit özellikleri

%Cr ₂ O ₃	>44-48
Cr/Fe Oranı	<2/1
%SiO ₂	<5
% (Al ₂ O ₃ +Cr ₂ O ₃)	<15
% Al ₂ O ₃	<15
%FeO	<5
%CaO	<1.5

Piyasadaki krom bileşikleri;

- Sodyum kromat
- Potasyum kromat
- Kromik asit
- Amonyum kromat
- Amonyum bikromat
- Baryum kromat
- Kurşun kromat
- Kalsiyum kromat
- Demir kromat
- Bazik krom sülfat’ tır [23].

3. KROM CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Cevher zenginleştirme yöntemleri değerli mineral ile gang mineralin arasındaki fiziksel ve kimyasal farklılıklara dayanarak birbirlerinden ayrılmasına göre belirlenmektedir. Kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanacak zenginleştirme yöntemini ve yöntem kombinasyonlarını; kromit serbestleşme boyutu, cevherden üretilebilecek konsantredeki Al_2O_3 , SiO_2 , FeO , Cr_2O_3 tenörleri, Cr/Fe faktörü, gang mineralleri ile kromit minerallerin arasındaki fiziksel (özellik, manyetik özellik, renk vb), fizikokimyasal özellik farkları belirlemektedir [23].

Kromit minerali genel olarak birlikte bulunduğu minerallerden özellikli olarak farklıdır. Bu durumda, serbestleşme tane boyu olarak sağladığı sürece en uygun yöntem olarak yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi tercih edilmektedir. El ile ayıklama (tavuklama), ağır ortam ve jig ile zenginleştirme iri boyutta serbestleşen kromitler için uygundur. Türkiye’de bulunan iri boyutlu ve yüzeye yakın kromitler üretime başlandıktan bir süre sonra tükendiğinden şu an işletilen yataklar daha ince tane boyunda serbestleşen krom yataklarıdır. Bu tip cevherlerde spiraller ve sallantılı masaların kullanıldığı zenginleştirme kombinasyonları tercih edilmektedir. Yer çekimi ile ayırma yöntemlerinin verimli olmadığı çok ince boyutlu cevherler için flotasyon ile zenginleştirme yapılmaktadır.

Kromit mineralleri ile gang mineralleri arasındaki manyetik alınganlığın düşük olması ve genellikle cevher ile birlikte bulunan demir mineralleri cevherin zenginleştirilmesinde manyetik ayırma yöntemlerinin kullanılabilirliğini sınırlasa da, cevher hazırlama tesislerinde nihai atığa kaçan çok ince boyutlu kromitlerin geri kazanımı için manyetik zenginleştirme yöntemleri denenmektedir. Kimyasal yöntemler açısından değişik uygulamalar söz konusudur. Asit ve alkali liçi, ergitme yöntemi kromitin zenginleştirilmesinde kullanılan kimyasal yöntemlerdir [27]. Günümüze kadar kullanılmış olan kromit zenginleştirme yöntemleri aşağıda gösterildiği gibi sıralanabilir:

- El ile ayıklama (tavuklama)
- Özellikli farkına göre zenginleştirme
 - Oluklar
 - Ağır ortam

Humprey spiralleri

Dyna Whirpool ayırıcısı

Jig

Sallantılı masa

Multi gravite ayırıcı (MGS)

- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon ile zenginleştirme
- Kimyasal yöntemlerle zenginleştirme

Kromit cevherinin serbestleşmesine, cevher ve gang minerallerin karakteristiğine göre bu yöntemlerden biri veya bir kaçının birlikte bulunduğu birleşimler uygulanabilmektedir [24].

3.1. El ile Ayıklama Yöntemi

Triyaj ve tavuklama olarak da bilinen bu zenginleştirme yöntemi en basit yöntemlerden biridir. Tek başına bir zenginleştirme yöntemi olarak kullanılmayan el ile ayıklama yöntemi, besleme malının hareketli bir sistem üzerinde ilerlerken besleme içerisindeki cevherin boyut, renk, parlaklık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak sistemden ayıklanıp stoklanması işlemidir. Bu yöntem genellikle sert parçalı, yüksek tenörlü ve iri boyutlu kromit cevherlerinin ön zenginleştirmelerinde kullanılabilmektedir.

3.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

Mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamlardaki hareket farklılığına dayanılarak, birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme denir [28]. Akışkan ortam genellikle su olup, ağır sıvılar ve nadir de olsa hava kullanılabilmektedir. Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme kriterleri 1951 yılında Taggart tarafından öne sürülen türbülans akıştaki eşit çökme oranı yani konsantrasyon kriteri olarak tanımlanmış değer ile belirlenmektedir. Konsantrasyon kriterinin değeri zenginleştirmenin yapılabileceği boyut ve yöntem ile ilgili bilgi vermektedir. Buna göre;

$$k = (\rho_A - \rho) / (\rho_H - \rho)$$

k: Konsantrasyon Kriteri

ρ_A : Ağır mineralin özgül ağırlığı (g/cm³)

ρ_H : Hafif mineralin özgül ağırlığı (g/cm³)

ρ : Akışkan ortamın özgül ağırlığı (g/cm³)

$k > 2.5$ ise; ayırma çok küçük boyutlara kadar kolayca uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.

$2.5 > k > 1.75$ ise; ayırma yine kolaydır. Ancak 0.15 mm'ye kadar uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.

$1.75 > k > 1.50$ ise; ayırma güçleşir, alt uygulama boyutu 1.7 mm'dir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

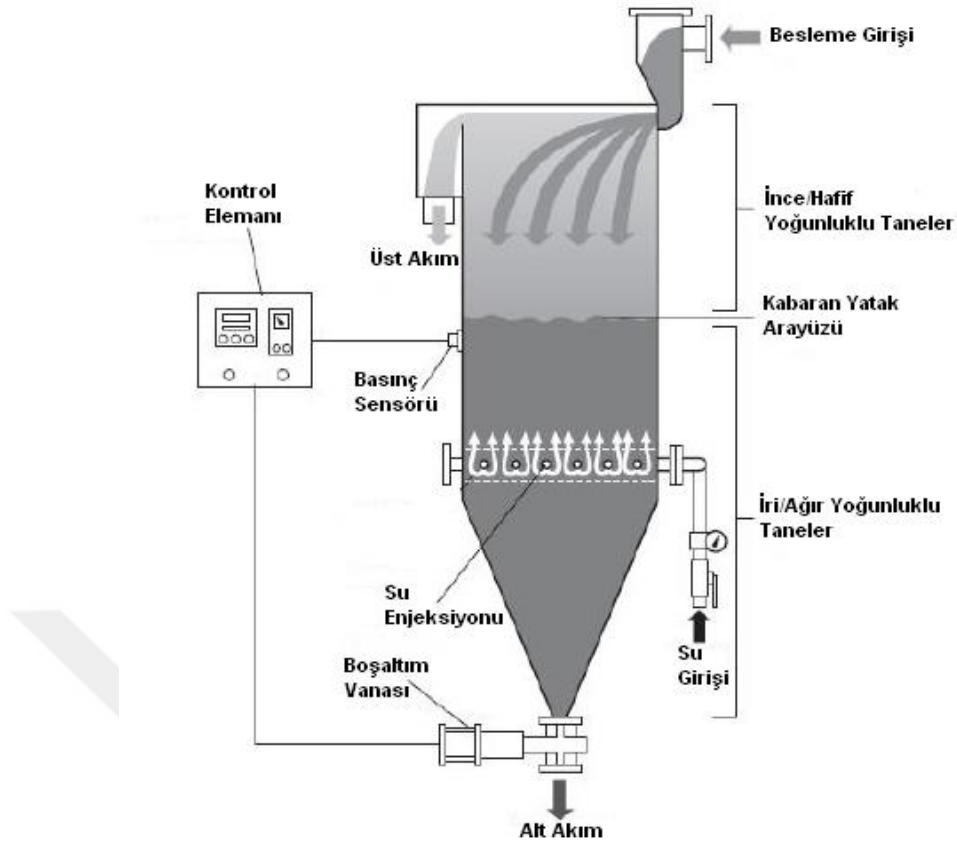
$1.5 > k > 1.25$ ise; ayırma oldukça güçtür. Ancak, çakıl büyüklüğündeki tanelere uygulanabilir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$k < 1.25$ ise; ekonomik bir ayırma mümkün değildir. Ancak akışkanın özgül ağırlığı artırılarak ayırma yapılabilir [29].

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme yöntemlerinde tane boyutu çok önemli rol oynamaktadır. Özellikle sallantılı masaların etkili bir ayırım yapılabilmesi için beslenen cevherin dar tane aralıklarında sınıflandırılarak her tane aralığının ayrı ayrı işleme tabi tutulması gereklidir. Besleme malı boyutunun artması ile ayırma randımanı düşmektedir. İri ve hafif taneler, ince ve ağır taneler ile akışkan ortam içerisinde benzer davranım göstererek iyi bir ayırım yapılmasına engel teşkil edebilir. İşte bu yüzden öğütülmüş cevherin hidrolik sınıflandırıcılarda sınıflandırılması tercih edilir. İyi sınıflanmış besleme zenginleştirme verimini arttırdığından özgül ağırlık farkına göre yapılan zenginleştirme işleminden önceki basamakta genellikle sınıflandırıcılar kullanılarak dar tane boyu dağılımına sahip bir besleme hazırlanmaktadır [30].

Hidrolik sınıflandırıcılar 1934 yılından bu yana tanelerin yoğunluk ve boyut gibi fiziksel özelliklerindeki farklardan yararlanarak ayrılması amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle boyuta göre sınıflandırma amacı ile kullanılan bu ekipmanlar uygun tane boyu dağılımlarında ise yoğunluğa göre ayırım yapabilmektedir [31]. Stokes sınıflandırıcısı (hydrosizer), Linatex Hidrosizer, Floatex sınıflandırıcı, kabaran yataklı sınıflandırıcı hidrolik sınıflandırıcılara örnek olarak verilebilir. Bu çalışma kapsamında da hidrolik sınıflandırıcı (hydrosizer) ve kabaran yataklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Geliştirilen en yeni hidrolik sınıflandırıcı olan kabaran yataklı sınıflandırıcı 2000 yılında Kohmuench tarafından geliştirilmiştir [32].

Kabaran yataklı sınıflandırıcıda besleme sınıflandırıcının üst kısmından doğrusal olarak beslenerek ekipmana düşük bir hızda girişi sağlanmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi kabaran yataklı sınıflandırıcı ayırımın gerçekleştiği üst kısım ve alt kısımda bulunan susuzlaştırma konisi olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Düşük hızlı besleme girişinin sağlanması için besleme ayırımın gerçekleştiği bölgenin daha üst kısmından ekipmana beslenir ve taneler ayırım bölgesine gelene kadar akışkan içerisinde ilerler. Akışkan su, ayırımın gerçekleştiği sınıflandırma hücresinin içindeki bir boru sistemi yardımıyla hücrenin içinden verilmektedir. Boru sisteminin biraz üzerinde ise ayırım gerçekleşir [49]. Ayırım bölgesinin altında kalan tanecikler yoğunlukça iri ve ağır taneler olup susuzlaştırma konisinde birikmekte, ayırım bölgesinin üstünde kalan yoğunlukça hafif ve ince taneler ekipmanın üst akışından akışkan ile hareket ederek sistemden ayrılmaktadır. Mekanik bir aksamı olmayan kabaran yataklı sınıflandırıcıda basit bir basınç sensörü sayesinde susuzlandırma konisinde biriken malzemeye göre bir vana yardımıyla iri ve ağır taneler alt akıştan alınmaktadır. Susuzlaştırma konisinde biriken malzeme boşaldıkça basınç azalmakta ve set değerinin altına düşen basınç değeri sonucunda vana kapanmaktadır. Susuzlaştırma konisinde bulunan malzemenin birden boşalmaması sayesinde yataklanma bozulmaz akışta bir düzensizlik olmaz ve bu sayede verimli bir ayırım gerçekleşebilmektedir. Ayrıca susuzlaştırma konisindeki malzemenin katı oranı %60-70'lere varmakta ve bu şekilde hem sınıflandırma hem de alt akımda susuzlaştırma sağlanır. Kabaran yataklı sınıflandırıcının bir diğer avantajı ise farklı malzemelerin birlikte beslenebilmesi ve buna rağmen tane boyutuna ve yoğunluğuna göre sınıflama yapabilmesidir.

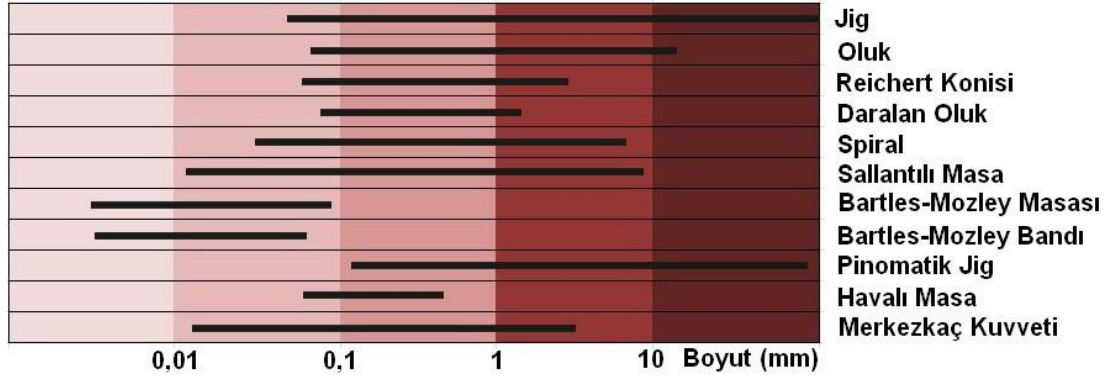


Şekil 3.1. Kabaran yataklı sınıflandırıcı

Krom cevheri zenginleştirmede kullanılan en yaygın zenginleştirme ekipmanları genellikle jigler, sallantılı masalar ve Humprey spiralleridir. Ayrıca, ince tane zenginleştirmede ve/veya şlam fraksiyonundan kromun tekrar kazanımında kullanılabilen ayırıcılar da mevcut olup aşağıda listelenmiştir:

- Bartles-Mozley Zenginleştirme Masaları
- Bartles Zenginleştirme Bandı
- Gemeni Masaları
- Reichert Konileri
- Knelson Konsantratörü
- Falcon Zenginleştirici
- Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)

Minerallerin yoğunluğuna ve boyut aralığına göre kullanılan ekipmanlar Şekil 3.2’de gösterilmektedir [33].



Şekil 3.2. Boyut aralıklarına göre proses cihazları

İnce tane boyundaki kromitin MGS ve Knelson ile zenginleştirilmesine örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir:

Ortalama %22.54 Cr_2O_3 tenörlü Karaburhan kromit cevherinin laboratuvar ölçeğinde sallantılı masa ve MGS yöntemleriyle zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. - 0.425+0.210 mm tane boyunda yapılan sallantılı masa zenginleştirme çalışmaları sonucunda %50.64 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %75.31 verimle, -0.210 mm tane boyunda cevher ve %15.97 Cr_2O_3 tenörlü masa atık ve ara ürün karışımının MGS'de zenginleştirilmesiyle, %48.18 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %43.79 verimle elde edilmiştir [34].

Kahramanmaraş Sarıgül Köyü Çakıobası mevkiinden temin edilen kromit numunesinin gravite ile ayırma yöntemlerinden, Knelson konsantratörü ve MGS, Sallantılı Masa ve Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı kullanılarak zenginleştirilebilirliği araştırmıştır. Yapılan testler sonucunda en uygun zenginleştirme yöntemi olarak MGS seçilmiştir. Deneyler sonucunda %17.26 Cr_2O_3 tüvanan cevherden %38.46 Cr_2O_3 konsantre elde etmiştir. Elde edilen MGS konsantresinin mevcut piyasa koşullarında satılabilirlik şartlarını sağlamadığı ancak gösterdiği refrakter özellik sebebiyle konsantrenin döküm sanayinde kullanım olanağının yüksek olduğunu belirtmiştir [35].

3.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Manyetik ayırma ile zenginleştirme yönteminin uygulanabilmesi için cevher ile gang mineralinin farklı manyetik alınganlığa sahip olması gerekmektedir. Bu yöntemde taneciklerin üzerine; manyetik kuvvet, yerçekimi kuvveti, merkezkaç kuvveti, taneler arası itici veya çekici kuvvetler ve sulu bir yöntem kullanılıyorsa hidrolik kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetler altındaki tanecikler kuvvetlerin

bileşkesine göre manyetik alanda farklı yönelimler göstererek birbirlerinden ayrılmaktadır.

Kromitin manyetik duyarlılığı $3000-7500 \cdot 10^{-6}$ ve manyetik özgül duyarlılığı $650-2000 \cdot 10^{-6}$ gr/cm³ civarında değişmektedir. Bu nedenle kromitler 6000-15 000 Gauss şiddetindeki manyetik alanlarda çekilebilirler [23]. Kromit zayıf manyetik duyarlılık gösterdiği için zenginleştirilmesinde yüksek alan şiddetli ayırıcılar tercih edilir. Kromitin zenginleştirilmesinde yüksek alan şiddetli kuru ve yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır [36].

Kromit cevherinin ince tane boyunda (<0.2 mm) serbestleştiği durumda kromitin gang minerallerinden ayrılması zorlaşmaktadır. Özellikle olivin (~3.4 g/cm³) gibi yoğunluğu kromitin yoğunluğuna çok yakın minerallerin varlığında yoğunluk farkına dayalı ayırım güçleşmekte ve bu da manyetik ayırma işleminin uygulanmasını gerektirmektedir [24]. Sallantılı masada alınan konsantrenin tenörü olivin içeriği nedeniyle düşük olmakta ve bu konsantre yaş manyetik ayırıcı ile tekrar zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Yoğunluk farkı ile zenginleştirilmiş cevherin atığındaki kromit kaybı fazla ise yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ile bu atık zenginleştirilerek tesisin metal verimi yükseltilebilir. Bazen demir minerallerinden olan manyetit, cevherde kromite veya ganga bağlı olarak bulunabilir. Manyetitin kromite bağlı olduğunda yüksek manyetik alınganlığa sahip olması nedeniyle, ayırma işlemi düşük manyetik alan şiddetinde yapılabilir [3].

Manyetik ayırıcılar ile kromit zenginleştirilmesinin günümüze kadar yapılmış uygulamalarına göz atılacak olursa:

Karagedik kromit zenginleştirme tesisinde 1920'li yıllardan bu yana gravite ayırmasına dayalı zenginleştirme sonucunda, ortalama %12-13 Cr₂O₃ içerikli yaklaşık 12 milyon ton atığı ekonomiye kazandırmak ve çevreye verdiği zararları azaltmak amacıyla pilot çapta zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonunda manyetik ayırma ve kolon flotasyonu kullanılarak %46 Cr₂O₃ içerikli konsantre %60 verimle elde edilmiştir [34].

ABD'de Kaliforniya eyaletinde bulunan %2.4 Cr₂O₃ tenörlü Auburun cevheri ve Kuzey Kaliforniya'da bulunan %6 Cr₂O₃ tenörlü Seiad Creak cevher örnekleri üzerinde sallantılı masa ve manyetik ayırma deneyleri yapılmıştır. Deneyler

sonucunda Auburun'daki %36.4'lük bir verim ile %44.7 Cr_2O_3 tenörlü, Seiad Creak'daki ise %50'lik bir verim ile %50 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir [35].

5000-6000 ton/yıl kapasiteli Kef konsantratöründe %30-33 Cr_2O_3 tenörlü, olivin içeren ve ince tane boyunda serbestleşen cevher, -0.3 mm boyutuna öğütüldükten sonra yüksek alan ve düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılardan geçirilmiştir. İşlemler sonucu elde edilen ara ürün bilyalı değirmende -0.1 mm boyutuna öğütüldükten sonra yine yüksek ve düşük alanlı ayırıcılardan geçirilerek kromit kayıpları en az düzeye indirilmiştir. Tesiste %44-48 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir [23].

3.4. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Elektrostatik ayırma yönteminde minerallerin, yüksek gerilim altında, statik bir elektrik yükü kazanıp bu yükü bir süre kaybetmeme yeteneğinden yararlanılmaktadır. Uygun şekilde etki altında bulundurulmuş mineraller, elektron kazanarak veya kaybederek elektrikle yüklendiklerinden, topraklanmış veya elektrik yüklü başka maddeler tarafından itilir, çekilir veya yüksüz (nötr) hale getirilebilir. Bu koşullar altında farklı davranımlar göstermeleriyle birbirlerinden ayrılmaktadırlar [28].

Elektrostatik yöntemle zenginleştirilen kromit cevherlerinde Cr_2O_3 içeriği yüksek ancak, metal verimi düşük ürünler elde edilmektedir. Metal kazanma veriminin düşük olmasının nedenlerinden biri, çok ince tanelerin, daha iri tanelerin yüzeylerini kaplamasıyla mineral davranımını değiştirmeleridir. Diğer bir neden ise, fazla miktarda serpantin minerali içeren cevherlerde serpantin elektrik alanı içinde iletken gibi davranması sonucu, ayırma verimini kötü yönde etkilemesinden ileri gelmektedir [37]. Kromit zenginleştirmede elektrostatik ayırmanın kullanıldığı bir diğer alan ise özgül ağırlık farkı ile zenginleştirilmiş konsantrenin Cr/Fe oranını arttırmak için kullanılan uygulamadır [38]. Bu iki kullanım alanı dışında elektrostatik ayırma ile zenginleştirme yöntemi kromit zenginleştirmede yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Elektrostatik ayırma ile kromit zenginleştirilmesinin günümüze kadar yapılmış uygulamalarına göz atılacak olunursa:

Alaska'da Caribou Dağı ve Kanuti Nehri bölgesindeki podiform kromit yatakları üzerindeki bir çalışmada; Cr_2O_3 tenörleri %12.7 ve %39.4 değerleri arasında değişen örnekler önce 6.3 mm altına kırılmış sonra 300 μm 'luk elekten geçirilmiştir. +300 μm fraksiyonu çubuklu değirmenlere beslendikten sonra eleme yöntemi ile -300+150 μm , -150+75 μm ve -75 μm fraksiyonlarına ayrılmıştır. Her boyut aralığı için sallantılı masa testleri yapılmış ve sallantılı masadan alınan ara ürünler kurutulup elektrostatik ayırıcılara verilmiştir. Testler sonucunda verimi %54 ile %82, Cr_2O_3 tenörü arasında değişen verimli %25.3 ile %53.8 arasında değişen konsantreler elde edilmiştir [39].

Bartheley ve Mora yüksek gerilimli elektrostatik ayırıcı ile kromiti olivinden kolay bir şekilde ayırmayı başarmıştır. Yerinde denemeler ve küçük iyileştirme masrafları ile satılabilir tenörde kromit konsantresi elde etmişlerdir. Ancak cevherin yer çekimi yöntemi ile bir ön zenginleştirme işlemi gördükten sonra elektrostatik ayırıcıya verilmesi önerilmiştir. Cevherin yer çekimi metodu ile ön zenginleştirilmesi sonucu konsantre Cr_2O_3 tenörü %39.83'e çıkmış, daha sonra elektrostatik ayırıcı ile zenginleştirilerek %96.5 verimle %50.13 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir [40].

3.5. Flotasyon ile Zenginleştirme

Minerallerin farklı yüzey özelliklerinden faydalanılarak veya uygun kimyasallarla minerallerin yüzey özelliklerini değiştirmek suretiyle yapılan zenginleştirme işlemi flotasyon olarak adlandırılmaktadır.

Kromit cevherlerinde gang mineralleri olarak bulunan serpantinler pH 3-12'de, olivinler pH 5-7'de, kromit ise pH 2-5'de anyonik toplayıcılarla yüzebilmektedir. Gang minerallerinin bastırılmasında sodyum silikat, sodyum filosilikat, sodyum fosfat, sodyum meta fosfat, kalgon, CMC gibi reaktifler kullanılmaktadır. Kromitin yüzmesini kolaylaştırmak için selüloz gibi organik kolloidler kullanılmaktadır [41].

Gang şlamı, kromit yüzdürmesini güçleştirdiğinden, mekanik yöntemlerle şlam uzaklaştırıldıktan sonra kromit yüzdürülür. Kromit, hidrokarbon zincirindeki karbon adedi 12'den fazla olan, yağ asidi olarak adlandırılan karboksilatlarla veya yağ asitlerinin alkali metal tuzları olan sabunlarla pH 7-8'de yüzdürülebileceği gibi, karbon zincirinde 12'den fazla karbon içeren sülfat veya sülfonatlarla pH 3-5'te de yüzdürülmektedir. Bu anyonik kollektörlerle yüzdürme işleminde kromiti iki değerli demir ve kurşun iyonlarının tuzları canlandırılabilir. Ayrıca katyonik

kollektörlerle (aminlerle) pH 12'de gang minerali olan serpantinlerin yüzdürülmesinden sonra pH 3'de amin toplayıcılarla kromit konsantresi alınabilmektedir [42].

Flotasyon ile kromit zenginleştirilmesinin günümüze kadar yapılmış uygulamalarına göz atılacak olunursa:

Burdur-Yeşilova bölgesindeki özel sektöre ait %30.81 Cr_2O_3 tenörlü kromit cevherine iri boyutta manyetik ayırma ve sallantılı masa, ince boyuta ise MGS ve flotasyon yöntemleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda manyetik ayırma yönteminin başarılı olmadığı, MGS'nin ise daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir [43]. Deneyler sonucunda sallantılı masa ve flotasyon yöntemlerinin kombinasyonu ile %48.25 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %90.66 verimle elde edilmiştir [40].

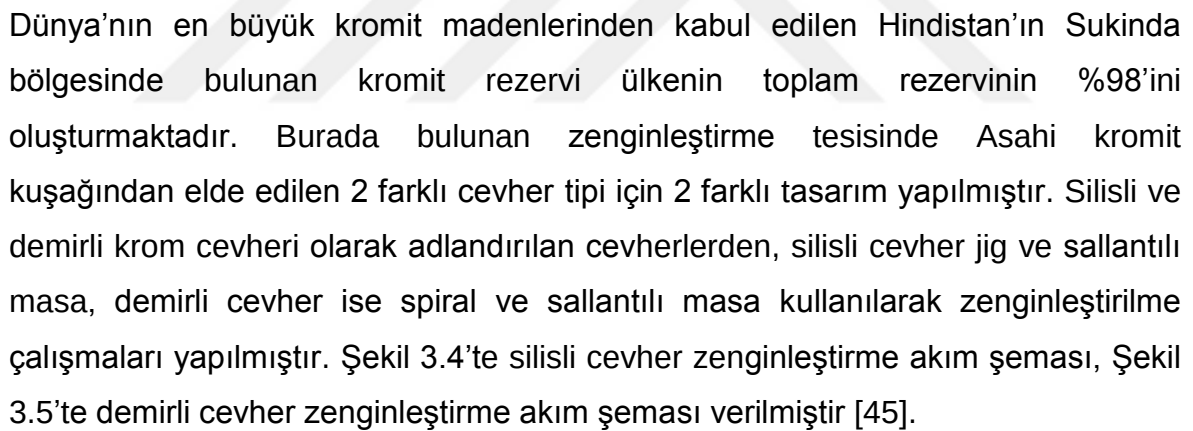
Zambia'da (eski adıyla Kuzey Rodezya), aylık 10 000 ton konsantre kapasiteli bir tesiste %15 Cr_2O_3 tenörlü cevher; 750 g/t tall yağı, 250 g/t sülfatize edilmiş kerosen, fuel oil kullanılarak pH 6'da (sülfürik asit) yüzdürülmüş ve flotasyon sonucu %54 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %55 verimle üretilmiştir. Kromit cevherleri şlamı mekanik olarak veya flotasyonla uzaklaştırıldıktan sonra %25 katı oranında, pH 4-5'de (H_2SO_4), tall yağı (250-500 g/t), Aero 825 sülfonat (100-500 g/t), fuel oil (250-500 g/t) ve köpürtücü yardımıyla başarılı olarak yüzdürülebilmektedir [44].

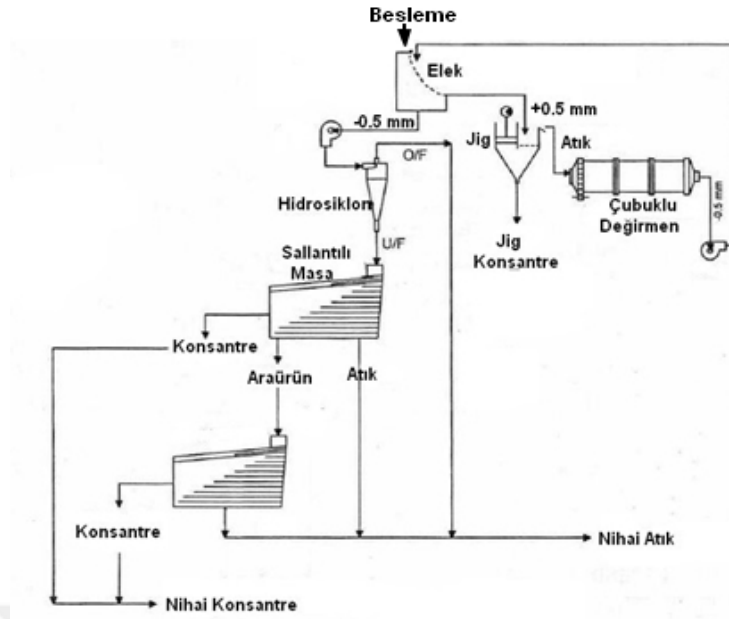
3.6. Kromit Zenginleştirme Tesis Akım Şemaları

Daha önce de bahsedildiği üzere kromit zenginleştirmede en yaygın kullanılan zenginleştirme yöntemi yer çekimi ile zenginleştirme yöntemidir. Dünya'da ve Türkiye'de yer çekimi yöntemi ile kromit zenginleştirmesi yapan birçok tesis mevcuttur. Aynı zenginleştirme yönteminin farklı ekipman kombinasyonları kullanılabildiği gibi, farklı zenginleştirme yöntemlerinin kombinasyonu da tesis tasarımında kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin belirlenmesinde, cevher serbestleşme derecesi, yantaş cinsi, beslemedeki minerallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli parametrelerdir.

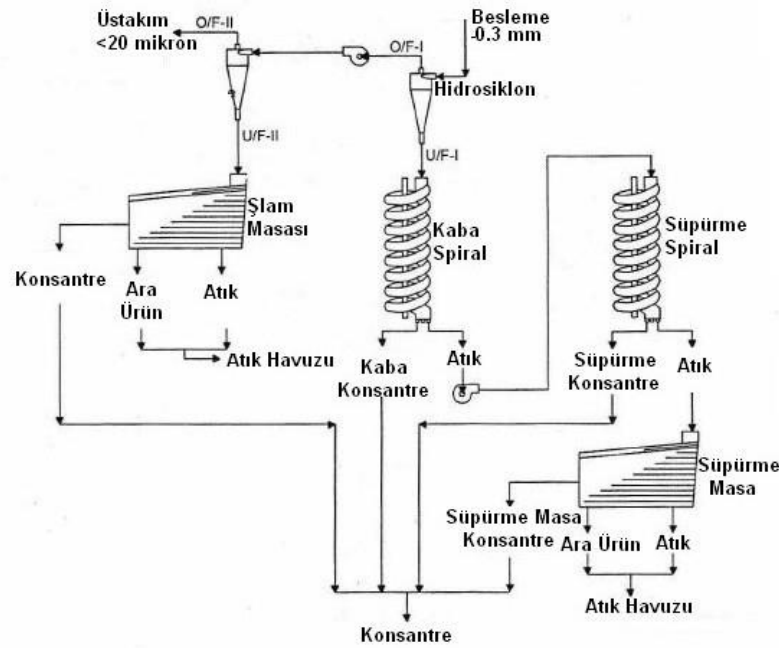
Cevher hazırlama tesislerinin tasarımı kaynakların verimli bir şekilde tüketilmesi için çok önemlidir. Yanlış tasarlanmış bir zenginleştirme tesisi hem milli kaynaklarımızın boşa tüketilmesine hem de yapılan yatırımın çöpe gitmesine neden olabilir. Zenginleştirilecek mineral aynı olsa dahi farklı bölgelerdeki

Şekil 3.3. Tipik bir sallantılı masa zenginleştirme akım şeması





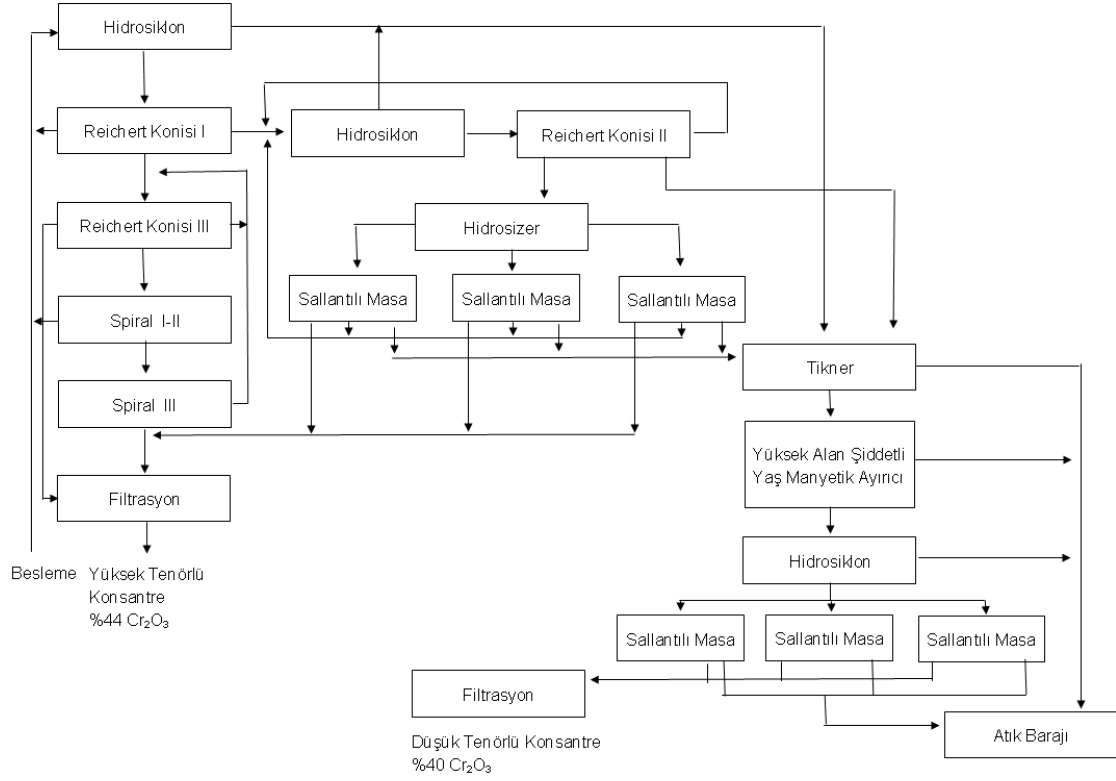
Şekil 3.4. Sukinda bölgesi silisli kromit cevheri zenginleştirme akım şeması



Şekil 3.5. Sukinda bölgesi demirli kromit cevheri zenginleştirme akım şeması

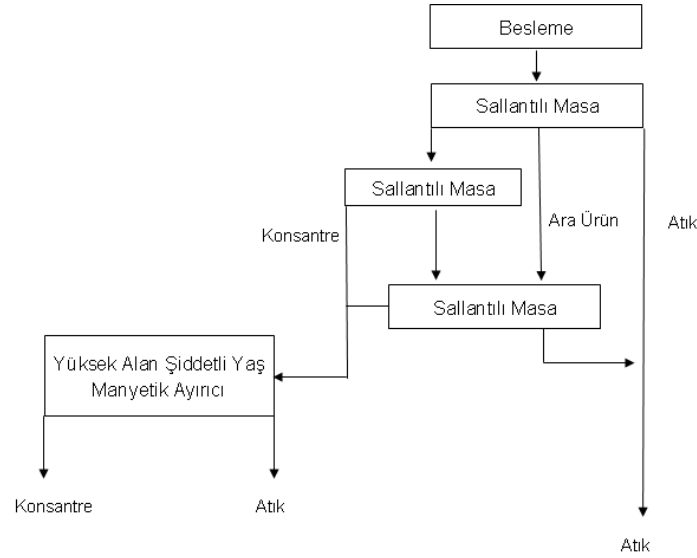
Etibank Guleman Kef Konsantratör tesisi akım şemasında görüldüğü gibi, tesiste zenginleştirme ekipmanlarından spiraller, sallantılı masalar ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar kullanılmıştır. Ancak ilerleyen yıllarda manyetik ayırıcının verimli çalışmadığına karar verilmiş ve tikinerin alt akımı direkt doğrudan masalara beslenmiştir. Çok eski bir krom zenginleştirme tesisi olan Kef konsantratör tesisinde

dar tane boylu ürünler elde etmek amacıyla geleneksel hidrolik sınıflandırıcılardan Stokes sınıflandırıcısı (hydrosizer) kullanılmıştır. Tesisi akım şeması Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir [23].



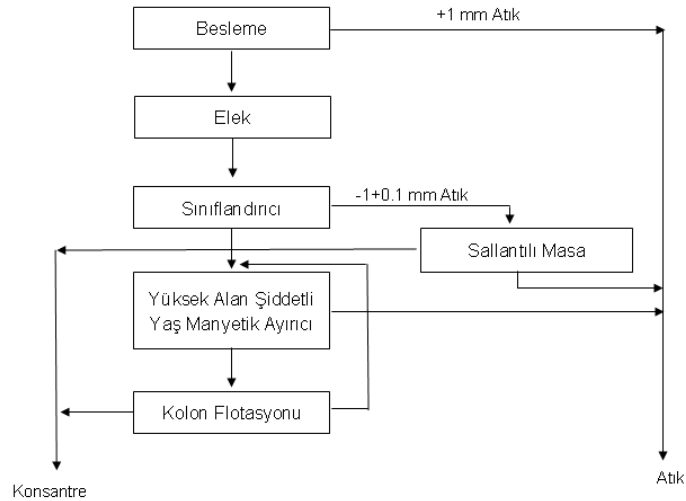
Şekil 3.6. Etibank Guleman-Batı Kef konsantratör tesisi akım şeması

Cevherden %42 Cr_2O_3 tenörlü konsantre üretilmesi hedeflenmişken, %38-40 Cr_2O_3 tenörlü konsantre ve %19-23 Cr_2O_3 tenörlü atık elde edilmiştir. Guleman Kef konsantre tesisinde stoklanan %21.21 Cr_2O_3 tenörlü atıkları değerlendirmek amacıyla -0.3+0.1 mm aralığına sallantılı masa ve manyetik ayırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleri sonucunda %34.08 Cr_2O_3 tenör ve %90 verimle elde edilen sallantılı masa ön konsantresi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıya beslenmiş ve %45.21 Cr_2O_3 içerikli nihai konsantre %87.46 verimle elde edilmiştir. Krom atıklarını değerlendirmek için öngörülen akım şeması Şekil 3.7'de gösterilmiştir [36].



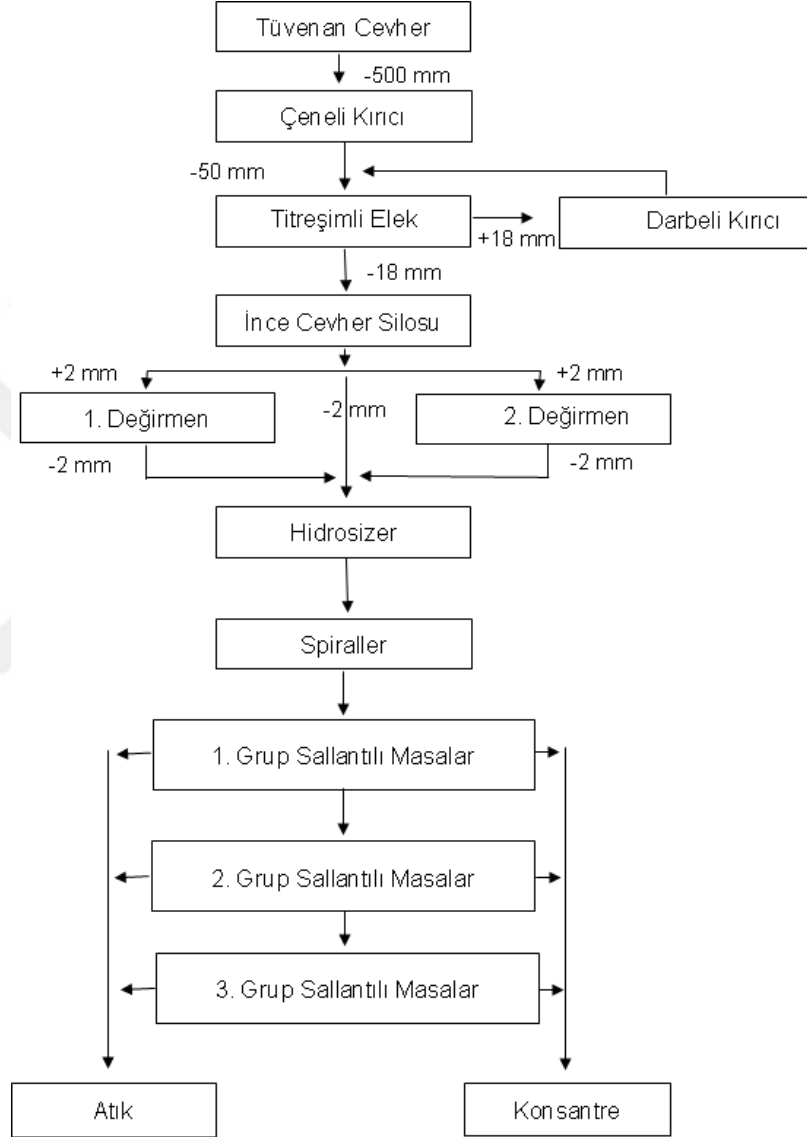
Şekil 3.7. Krom atıklarını değerlendirmek için öngörülen akım şeması

Etibank Üçköprü kromit zenginleştirme tesisinden çıkan %8.62 Cr_2O_3 içeren sallantılı masa atıkları, flotasyon ve manyetik ayırma yöntemleriyle tekrar değerlendirmeye çalışılmıştır. Flotasyon ile %46.08 Cr_2O_3 içeren konsantre %42.38'lik verimle, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıyla %39.84 Cr_2O_3 içeren konsantre %78'lik bir verimle kazanılmıştır. Manyetik ayırma ve flotasyon yönteminin birleşimiyle kromit konsantresi tenörü %46.17'ye yükseltilmiş verim ise %64.19 olmuştur. Çalışmada yapılan pilot tesis için akım şeması Şekil 3.8'deki gibidir [47].



Şekil 3.8. Fethiye-Üçköprü tesis atıklarının zenginleştirme pilot tesis akım şeması

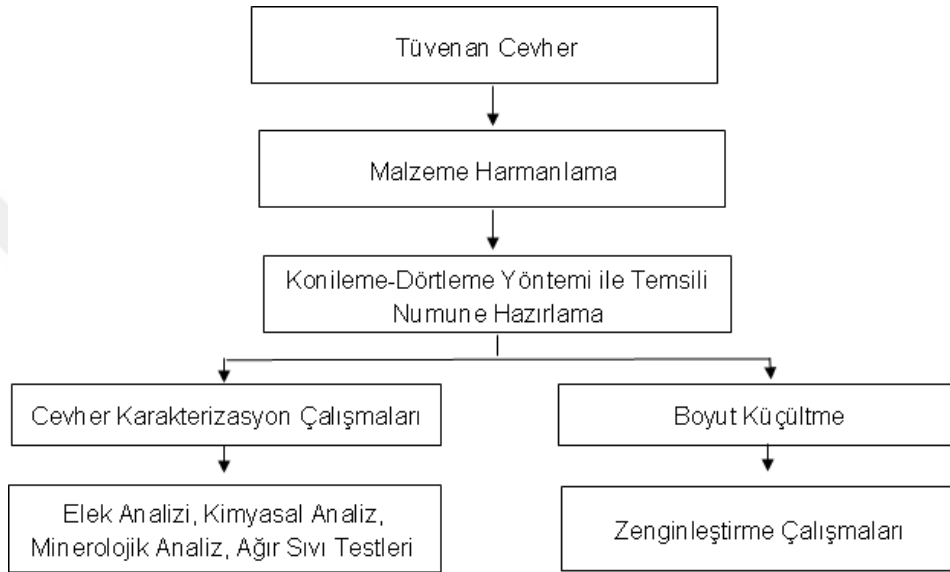
Kayseri-Yahyalı bölgesi Yeşilköy krom zenginleştirme tesisinde yer çekimi ile zenginleştirme yapılmaktadır ve zenginleştirme ekipmanı olarak spiraller ve sallantılı masalar kullanılmaktadır. Sallantılı masalarda zenginleştirme işleminden önce hidrolik sınıflandırıcılar vasıtasıyla sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Tesis akım şeması Şekil 3.9'da gösterildiği gibidir [42].



Şekil 3.9. Yeşilköy krom zenginleştirme tesis akım şeması

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan krom cevheri; Erzincan-Kop Dağı yöresinde bulunan Sivas ili Yellice bölgesinden temin edilmiştir. Yaklaşık 1200 kg temsili numune alınarak Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiş, cevher karakterizasyon ve zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar **Error! Reference source not found.**'de özetlenmektedir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda izlenen metot

4.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Cevherin karakterizasyon çalışmaları kapsamında X-ışınları difraksiyonu analizi (XRD) ve Mineral Serbestleşme Analizi (MLA) testleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan zenginleştirme testlerinin tümü Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarında bulunan ekipmanlar ile yapılmıştır.

4.1.1. Boyut Küçültme Ekipmanları

Boyut küçültme işlemlerinde kullanılan ekipmanlar laboratuvar tipi çeneli kırıcı, merdaneli kırıcı ve halkalı değirmendir. En iri tane boyu 25 mm olan tüvenan cevher; 9.5 mm boyutuna kırmak için çeneli kırıcı kullanılmıştır. 9.5 mm tane boyunu daha alt boylara indirmek için merdaneli kırıcı kullanılmıştır. Kimyasal analiz için gereken çok ince tane boyundaki numuneleri hazırlamak için halkalı

değirmen kullanılmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te malzeme öğütme işleminde kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Laboratuvar tipi çeneli kırıcı



Şekil 4.3. Laboratuvar tipi merdaneli kırıcı



Şekil 4.4. Laboratuvar tipi halkalı değirmen

4.1.2. Cevher Karakterizasyon Ekipmanları

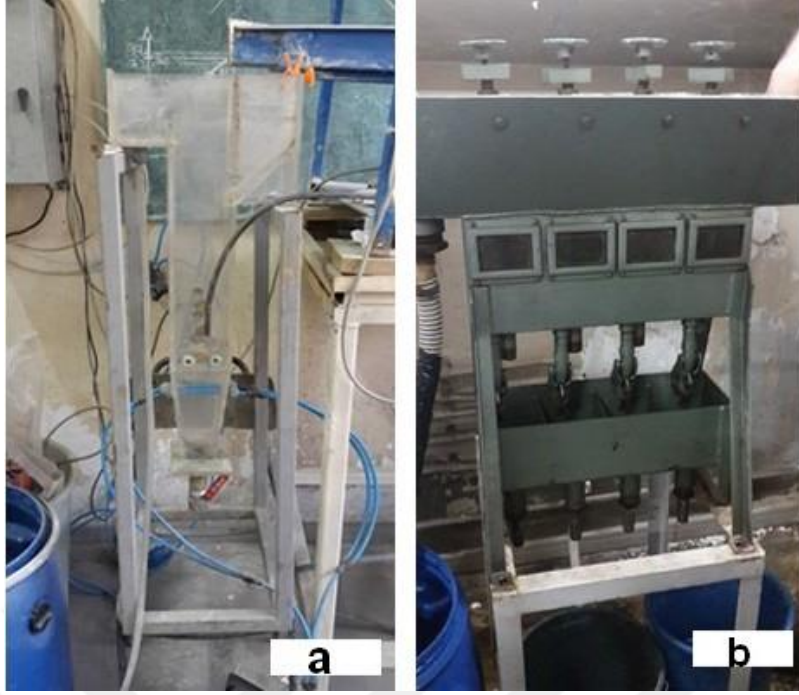
Cevherin genel mineralojisi optik mikroskop ve XRD yöntemiyle belirlenmiş ve testler Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) laboratuvarlarında bulunan X-ışınları Difraktometresiyle yapılmıştır. Detaylı kantitatif mineraloji ve serbestleşme analizi yine MTA laboratuvarlarında bulunan taramalı elektron mikroskopu ve yazılıma sahip FEI 650F model Mineral Serbestleşme Analizörü (MLA cihazı) ile gerçekleştirilmiştir. Cevherin iri boylarda serbestleşme durumunu belirlemek için Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Clemex Vision P.E 5.0 görüntü analiz yazılımıyla donatılmış Stereomikroskop kullanılmıştır. Kullanılan ekipman Şekil 4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.5. Clemex Vision P.E 5.0 donanımlı stereomikroskop

4.1.3. Sınıflandırma ve Zenginleştirme Ekipmanları

Sınıflandırma ve zenginleştirme testlerinin tamamı Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Testler kapsamında kabaran yataklı sınıflandırıcı ve hidrolik sınıflandırıcı olmak üzere iki çeşit sınıflandırıcı kullanılmıştır. Testler kapsamında kullanılan hidrolik sınıflandırıcılar Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.6. Kabaran yataklı sınıflandırıcı (a), Hidrolik sınıflandırıcı (b)

Zenginleştirme testlerinde Wilfrey tipi sallantılı masa ve saatte ortalama 1 ton kapasiteli Avustralya yapımı Mineral Deposit A87D türünde spiral zenginleştirici kullanılmıştır. Laboratuvar ölçekli sallantılı masa Şekil 4.7’de sunulmaktadır. 600 mm çapında ve 5 m uzunluğunda, merkez kolon etrafında 7 tam tur yapan sarmallardan oluşan spiral zenginleştirici ise Şekil 4.8 de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Laboratuvar ölçekli sallantılı masa



Şekil 4.8. Mineral Deposit A87D türünde spiral zenginleştirici

4.2. Numune Hazırlama

Bölgeden temin edilen 1200 kg tüvenan cevher Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarına getirilerek harmanlanmış daha sonra konileme-dörtleme yöntemi ile numune azaltılarak cevher karakterizasyon ve cevher zenginleştirme çalışmalarında kullanılmak üzere temsili numunelere bölünmüştür. 30 kg'dan az miktarda olan numunelerin bölünmesinde ise oluklu bölücü (Jones Riffle) kullanılmıştır.

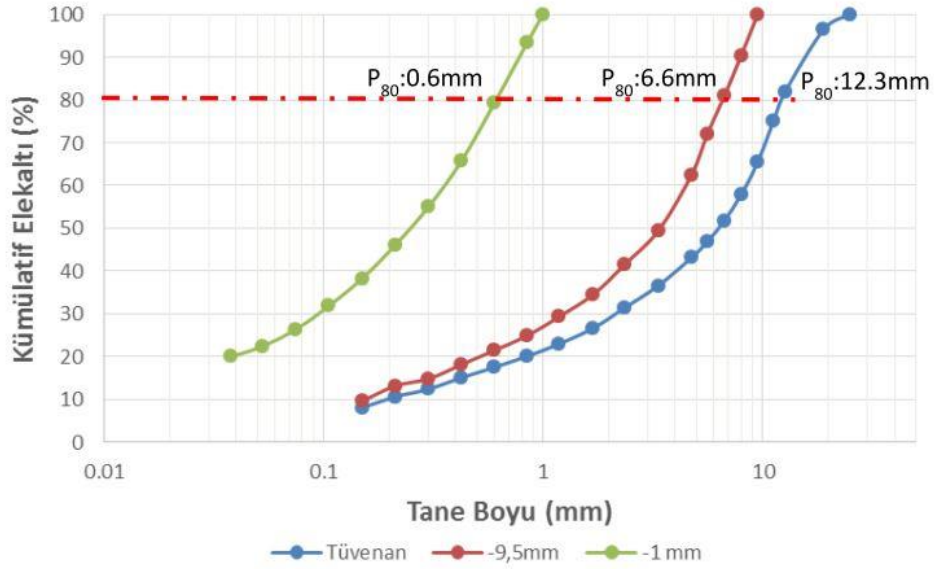
En iri tane boyu 25 mm olan tüvenan cevherden tane boyu dağılımını belirlemek ve ağır sıvı testi yapmak amacıyla temsili numune alındıktan sonra karakterizasyon ve zenginleştirme çalışmaları için 200 kg temsili numune çeneli kırıcıda -9.5 mm'ye, daha sonra merdaneli kırıcı ile -1 mm boyutuna indirilmiştir.

4.3. Cevher Karakterizasyonu

Karakterizasyon çalışmaları; cevherin fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizlerini kapsamaktadır. Bu çalışmalar kapsamında cevherin, tane boyu dağılımı, özgül ağırlığı, mineralojisi, tane boyu dağılımına bağlı mineral serbestleşme durumu araştırılmış ve ön zenginleştirme davranımı hakkında bilgi vermesi için cevhere ağır sıvı testleri yapılmıştır.

4.3.1. Elek Analizi

Temsili numunenin kuru eleme ile yapılan elek analizlerinde hem tüvenan numunenin hem de -9.5 mm ve -1 mm'ye kırılan numunelerin tane boyu dağılımları incelenmiştir. Tüvenan cevherin %80'inin geçtiği boy (d_{80}) 12.3 mm olurken, -9.5 mm ve -1 mm dağılımlarında bu değerler sırasıyla 6.6 mm ve 0.6 mm olarak belirlenmiştir. Tane boyu dağılımları Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir.

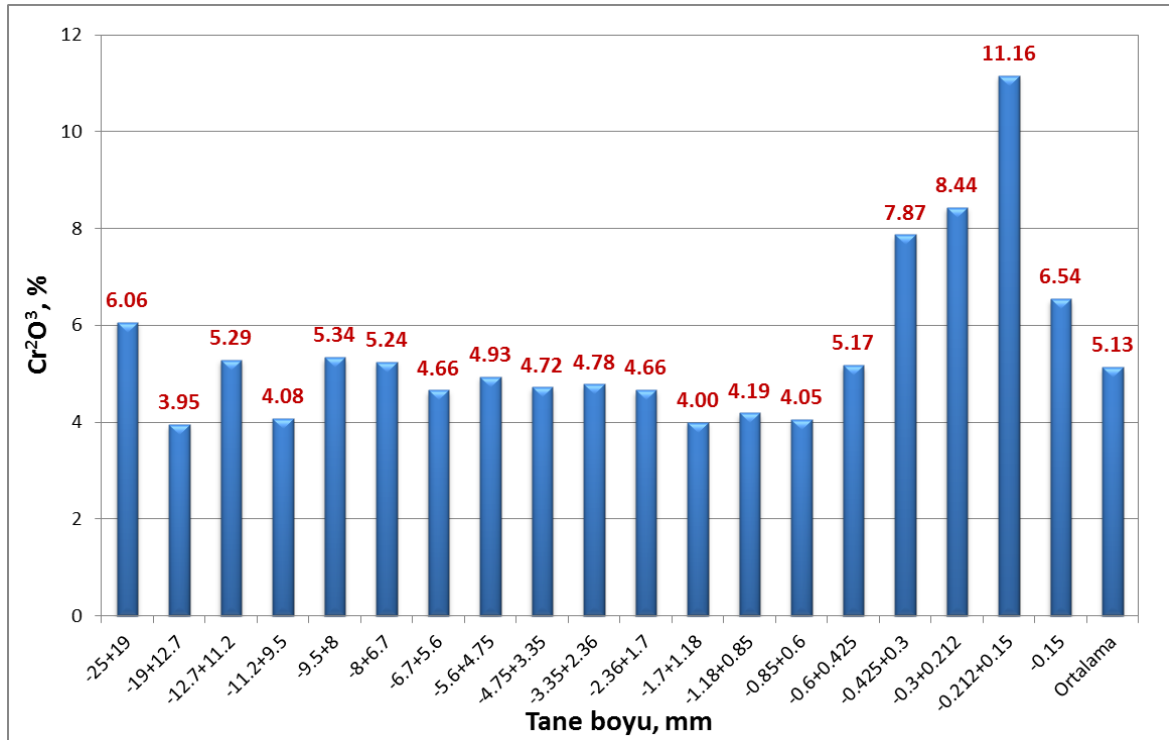


Şekil 4.9. Cevherin tüvenan, -9.5 mm ve -1 mm kırıldıktan sonraki boyut dağılımı

4.3.2. Kimyasal Analiz

Eleme yöntemiyle elde edilen tane boyu fraksiyonlarının kromit içeriği Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Kimyasal Analiz Laboratuvarında belirlenmiş olup analizlerde yaş analiz yöntemi (titrasyon) kullanılmıştır. Kimyasal analiz yöntemi detaylı olarak EK'te sunulmaktadır.

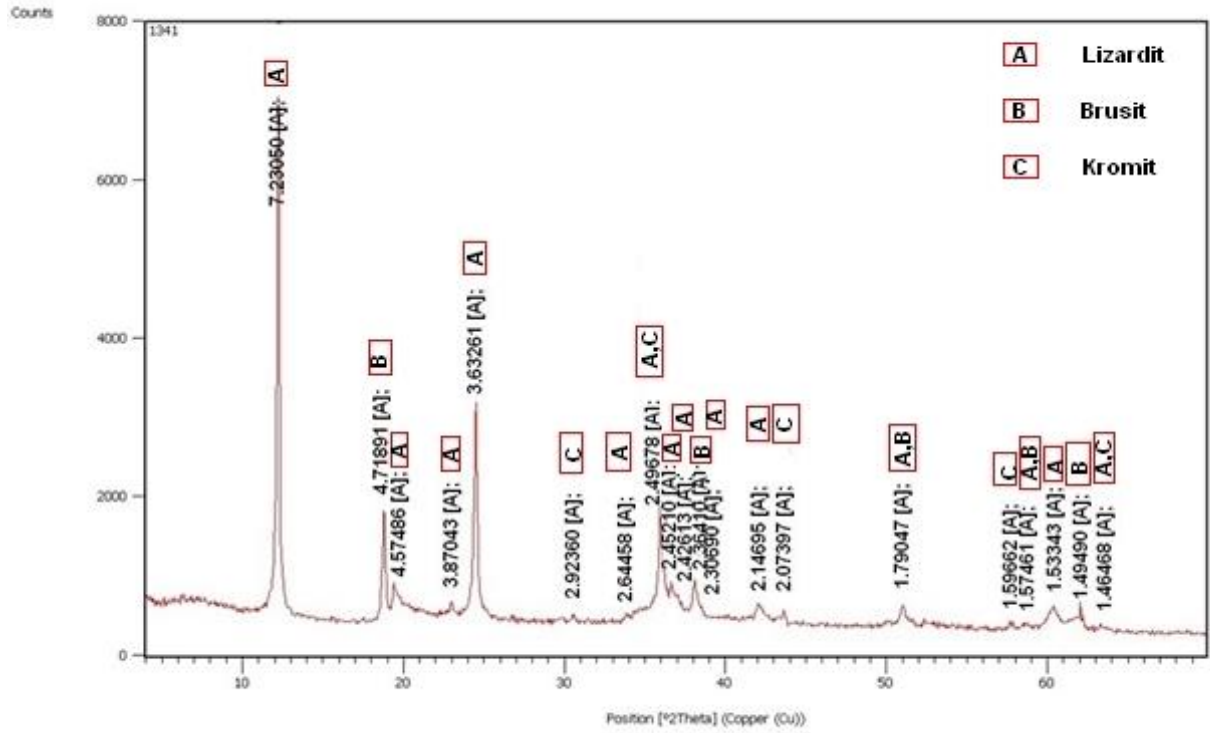
Tüvenan numunesinin tane boyu bazında Cr_2O_3 içeriği belirlenen kimyasal analiz yöntemiyle belirlenmiş ve her boyut aralığındaki değerler Şekil 4.10'da sunulmuştur. Buna göre cevherin kromit içeriğinin özellikle -425 μm 'dan daha ince boylarda arttığı, genel olarak ortalama %5.13 Cr_2O_3 içeriğine sahip olduğu görülmektedir.



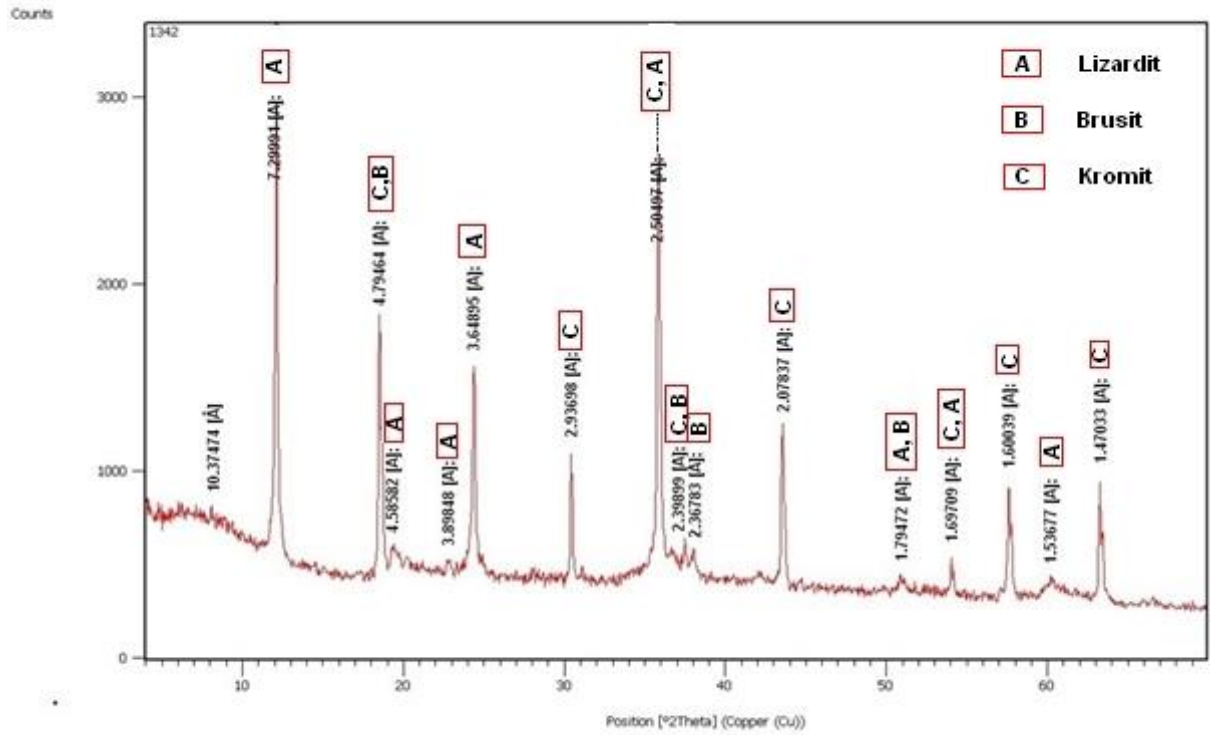
Şekil 4.10. Tüvenan numunesinin tane boyu bazında Cr₂O₃ içeriği

4.3.3. Cevher Mineralojisi

Cevher içerisinde bulunan minerallerin bilgisi zenginleştirme yöntem ve olanakları ile ilgili değerli bilgiler verdiğinden XRD analizi bu mineralleri saptamak amacıyla yapılmıştır. Tüvenan cevher numunesi ile -4.75+1.18 mm fraksiyonunun ağır sıvı testi 2.9 g/cm³ yoğunluğunda ağır mineralce zengin batan numunesinin XRD desenleri sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Tüvenan numune XRD deseni



Şekil 4.12. Ağır sıvı testi batan numunesi (-4.75+1.18 mm)

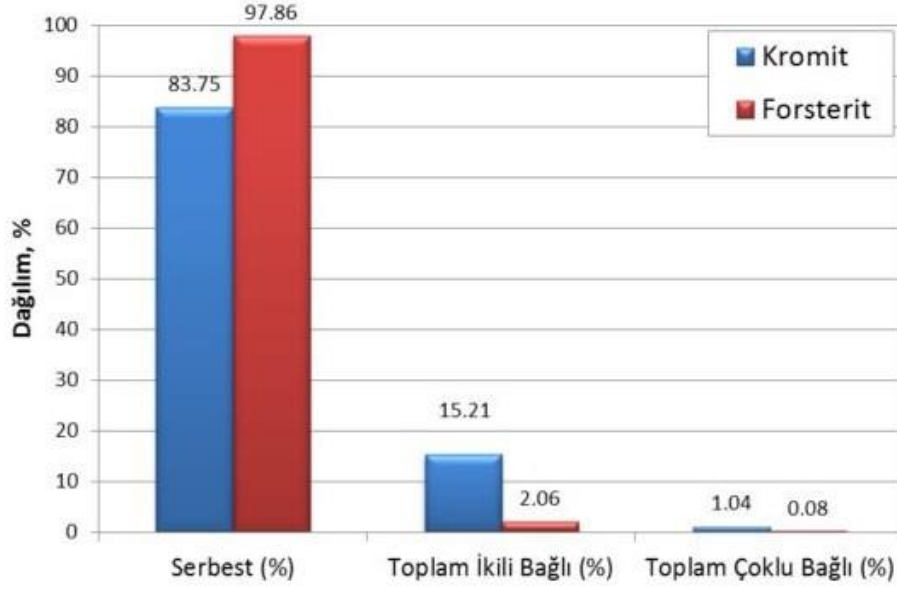
XRD sonuçlarına göre, her iki numunede de ortalama yoğunlukları 2.57 g/cm^3 olan Lizardit ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), 2.39 g/cm^3 olan Brusit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) ve 4.79 g/cm^3 olan Kromit ($\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$) mineralleri belirlenmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de de görüldüğü üzere aynı $^\circ 2\theta$ değerinde minerallerin pik şiddetleri karşılaştırıldığında ağır sıvı batan numunesi ağır mineralce zengin olduğundan içeriğindeki kromit minerali miktarı tüvenan numuneye göre daha fazla saptanmıştır.

Daha detaylı karakterizasyon için tüvenan cevher $-200+20 \text{ }\mu\text{m}$ fraksiyonları aralığına kırılıp öğütülerek MLA cihazıyla analiz yapılmıştır. MLA analizini doğru yapmayı engelleyebilecek çok ince taneleri içerdiğinden dolayı $-20 \text{ }\mu\text{m}$ fraksiyonu numuneden ayrılmıştır. MLA analizi kapsamında cevherde saptanan tüm minerallerin yüzde dağılımları (modal analiz), kromitin serbestleşmesi ve diğer minerallerle olan bağlılık durumu incelenmiştir. Cevherde bulunan tüm minerallerin miktarları, kimyasal bileşim ve yoğunluk değerleriyle birlikte Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tüvenan cevherin modal mineralojik analizi

Mineral	Yoğunluk (g/cm ³)	Formül	Ağırlıkça Dağılım (%)
Pentlandit	4.80	Fe ²⁺ 4.5Ni _{4.5} S ₈	0.001
Forsterit	3.27	Mg ₂ (SiO ₄)	86.464
Kromit	4.80	Fe ²⁺ Cr ₂ O ₄	5.249
Brusit	2.40	Mg(OH) ₂	5.477
Kaersutit	3.24	NaCa ₂ Mg ₄ Ti(Si ₆ Al ₂ O ₂₃)(OH) ₂	0.075
Kalsit	2.71	Ca(CO ₃)	1.239
Dolomit	2.85	CaMg(CO ₃) ₂	0.184
Kuvars	2.63	SiO ₂	0.205
Hematit	5.30	Fe ³⁺ 2O ₃	0.209
Fluorit	3.13	CaF ₂	0.016
Klinoklor	2.65	(Mg,Fe ²⁺) ₅ AlSi ₃ Al ₂ O ₁₀ (OH) ₈	0.391
Muskovit	2.83	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) _{1.9} F _{0.1}	0.041
Aktinolit	3.04	Ca ₂ Mg ₃ Fe ²⁺ 2Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0.030
Plajiyoklaz	2.69	Na _{0.5} Ca _{0.5} Si ₃ AlO ₈	0.046
Pirit	5.01	Fe ²⁺ S ₂	0.041
Kalkopirit	4.20	CuFe ²⁺ S ₂	0.017
Diopsit	3.40	CaMg(Si ₂ O ₆)	0.204
Galen	7.40	PbS	0.003
Götit	3.80	Fe ³⁺ O(OH)	0.067
Barit	4.48	Ba(SO ₄)	0.003
Apatit	3.19	Ca ₅ (PO ₄)(F,Cl,OH)	0.003
Ortoklaz	2.56	KAlSi ₃ O ₈	0.002
Spodümen	3.15	LiAl(Si ₂ O ₆)	0.013
Awaruyit	7.50	Ni ₃ Fe	0.008
Sfalerit	4.00	ZnS	0.005
Klinozoisit	3.35	Ca ₂ Al ₃ (SiO ₄)(OH)	0.036
Toplam			100.00

Analiz sonuçlarına göre cevherdeki ana mineral %86 gibi oldukça yüksek bir miktarda bulunan bir magnezyum silikat minerali olan forsterittir. Diğer temel mineraller ise brusit ve kromittir. Her iki mineral de yaklaşık %5-5.5 oranında cevherde bulunmaktadır. 3.27 g/cm³ yoğunluğa sahip olan forsterit ve 2.40 g/cm³ yoğunluğa sahip olan brusitin, kromitin yoğunluğundan daha az yoğunluk değerlerine sahip olmaları, yerçekimi ile zenginleştirme işleminde bir avantaj sağlamaktadır. Kromit ve cevher ana minerali olması sebebiyle forsteritin serbestleşme ve kenetlenme yüzdeleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Her iki mineralin de -200+20 µm tane boyu aralığında %80'in üzerinde serbestleşmeye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. Kromit ve forsterit minerallerinin serbestleşme durumları

Kromitin yaklaşık %15 kadarı diğer minerallerle ikili bağlı durumdadır. Bağlı bulunan minerallerin Çizelge 4.2’de verilen listesine bakıldığında bu oranın %13.46’sı gibi büyük bir kısmının forsterit mineralinden kaynaklandığı görülmektedir. Tüvenan cevherin modal mineralojik analizinde yer almasına rağmen tabloda bulunmayan minerallerin kromitle bağlılık durumları yoktur.

Çizelge 4.2. Kromitin diğer minerallerle bağlılık durumu

Kromitin Bağlı Olduğu Mineraller	İkili Bağlı (%)	Çoklu Bağlı (%)
Forsterit	13.46	0.59
Brusit	0.15	0.06
Kaersutit	0.00	0.01
Hematit	0.60	0.16
Klinoklor	0.85	0.09
Plajiyoklaz	0.00	0.11
Diopsit	0.01	0.00
Klinozoisit	0.00	0.002

Benzer şekilde forsteritin de diğer minerallerle bağlılık durumu Çizelge 4.3’te verilmiştir. Forsterit kromite göre daha serbest halde bulunmakta, toplam %2 kadarı kromit ve diğer minerallerle bağlılık göstermektedir.

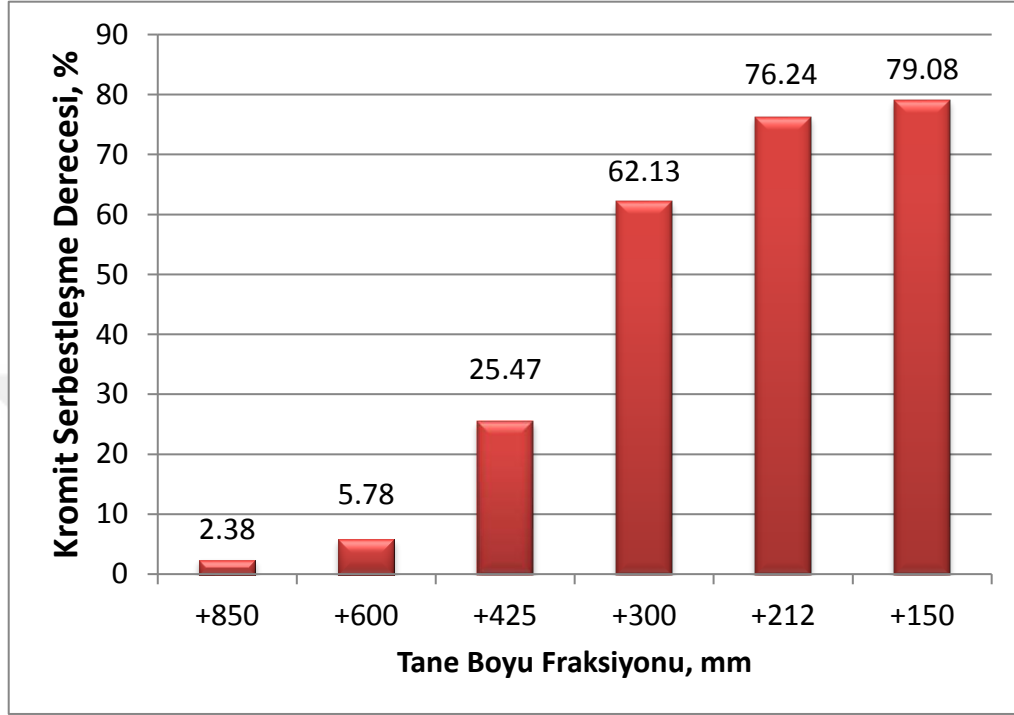
Çizelge 4.3. Forsteritin diğer minerallerle bağıllık durumu

Kromitin Bağlı Olduğu Mineraller	İkili Bağlı (%)	Çoklu Bağlı (%)
Pentlandit	0.01	0.00
Kromit	0.94	0.02
Brusit	0.33	0.00
Kaersutit	0.00	0.01
Kalsit	0.20	0.01
Dolomit	0.01	0.00
Kuvars	0.01	0.00
Hematit	0.26	0.01
Klinoklor	0.01	0.01
Aktinolit	0.01	0.00
Diopsit	0.07	0.01
Götit	0.14	0.00
Awaruyit	0.04	0.00
Klinozoisit	0.02	0.00

Cevherin daha iri boylardaki serbestleşme durumunu belirlemek için optik mikroskop ile tane sayım yöntemi kullanılmıştır. Serbestleşme derecesinin saptanmasında en kolay uygulanabilen yöntem tane sayım yöntemi olup, kırılmış ve öğütülmüş cevher numunesinin elek analizi yapıldıktan sonra, elek serisindeki her eleğin üstünde kalan ürünün, mikroskopta incelenmesi esasına dayanır [48]. Cevhere uygulanacağı düşünülen yerçekimiyle zenginleştirme yöntemleri dikkate alınarak öncelikle cevher -1 mm'nin altına kırılmış ve dar tane boyu gruplarına elenmiştir. Her elek üstü fraksiyon stereomikroskop altında tane sayma işlemine tabi tutulmuş ve kromit minerali açısından serbestleşme yüzdeleri hesaplanmıştır. Tane sayımı yöntemi istatistiksel temele dayandığından çok sayıda tanenin sayılmasını gerektirmektedir ve istatistiki açıdan hataları en aza indirebilmek için her boyut grubundan yaklaşık 1500 tane mikroskop altında sayılmıştır. Tane sayım işleminde sadece serbest kromitler ve kromitin bağlı durumda bulunduğu mineraller sayılmaktadır. Bir tanenin tüm yüzeyi 20 birim kabul edilir ve tane içinde başka bir minerale bağlı kromitin hacimce kapladığı miktar 20'ye oranlanarak tahmin edilir. Cevher tanecikleri 3 boyutlu olmasına rağmen mikroskopta görüntüsü bize 2 boyutlu bir görüş sağlamaktadır ve bu durum bağlı tanelerin bağıllık oranını belirlerken hata yapılmasına neden olabilmektedir. Bu hataları gidermek için bağlı tane miktarı 1.4 gibi ampirik bir katsayı ile çarpılır. Sayım sonuçlarına dayanılarak serbestleşme derecesi aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

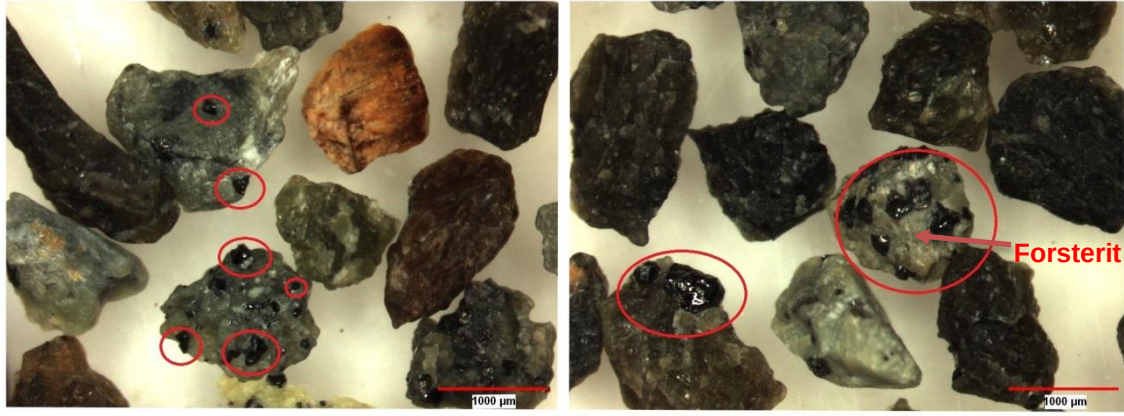
$$\text{Kromit Serbestleşme Derecesi} = \frac{\text{Serbest Kromit Sayısı}}{\text{Serbest Kromit Sayısı} + \frac{\text{Bağlı Kromit Sayısı} \times 1.4}{20}} \times 100$$

Tane sayım yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar Şekil 4.14'te sunulmaktadır.

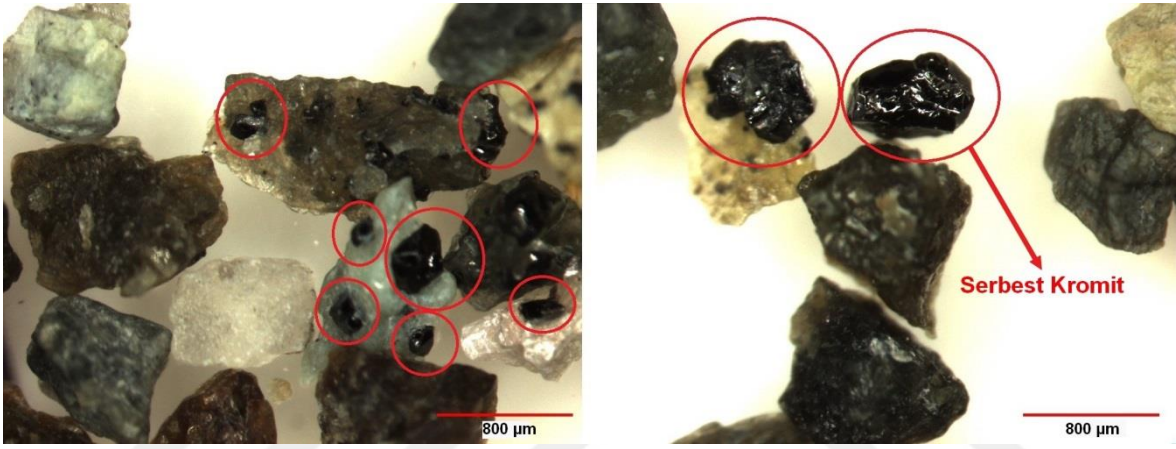


Şekil 4.14. -1mm'ye kırılmış tüvenan cevher fraksiyonel serbestleşme derecesi

Kromitin özellikle iri boylarda serbestleşme derecesinin oldukça az olduğu görülmektedir. Kromit minerali mikroskop altında kolaylıkla tanınabilecek camı, metalik bir parlaklığa sahip olup siyah renkte görülmektedir. İlerleyen kısımlarda sunulan serbestleşme durumu analizi için çekilmiş olan fotoğraflarda halka içerisine alınarak gösterilen mineral kromittir. Stereomikroskop ile incelenen bu iki tane boyu gruplarından örnek fotoğraf Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmaktadır.

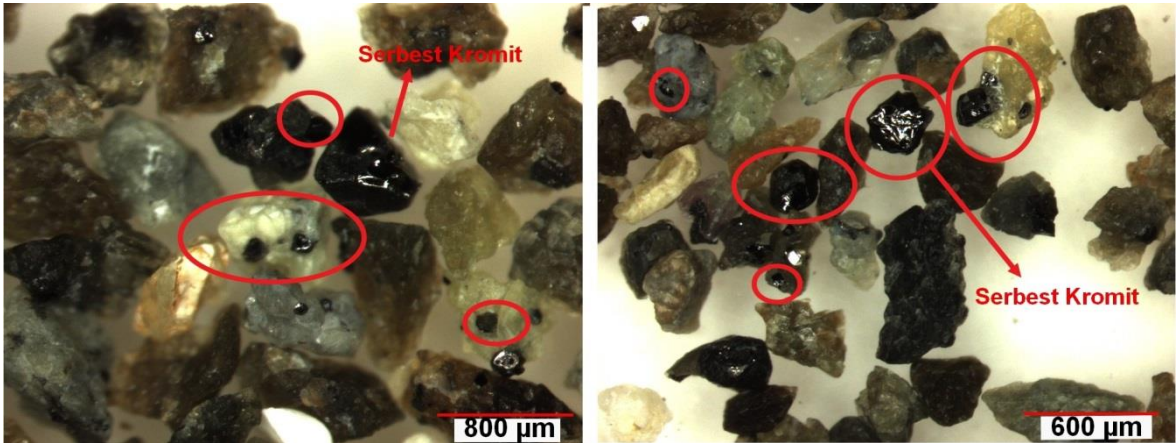


Şekil 4.15. +850 µm fraksiyonunda tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü



Şekil 4.16. +600 µm fraksiyonunda tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü

Daha ince fraksiyonlar incelendiğinde serbestleşme derecesi, -425+300 µm fraksiyonunda %62 değerine ve 300 µm'dan daha ince boylarda ise ~%80'e kadar çıktığı görülmektedir. +425 µm, +300 µm ve +212 µm fraksiyonların stereomikroskop görüntüleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sırasıyla gösterilmektedir.

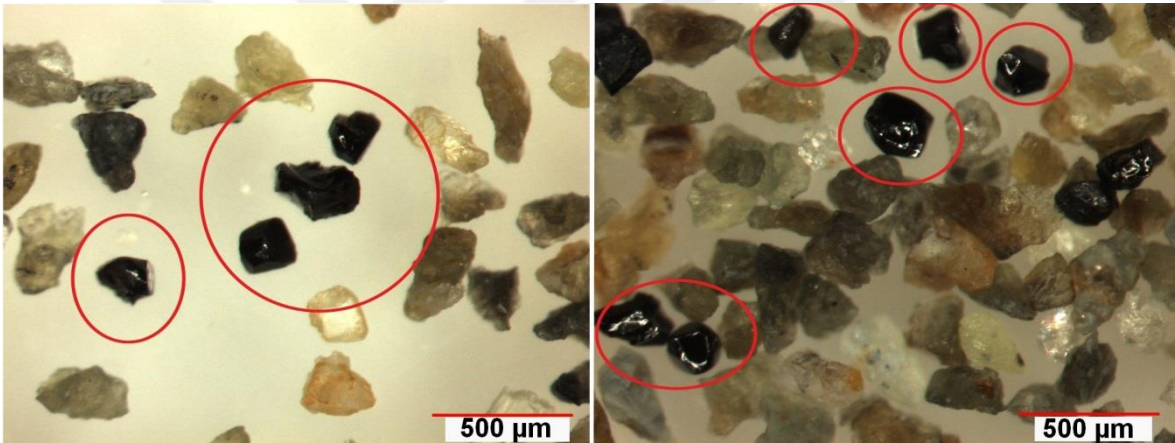


Şekil 4.17. +425 µm fraksiyonunda tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü



Şekil 4.18. +300, +212 µm boyunda tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü

Tüvenan cevherin +150 µm fraksiyonunda belirlenen serbestleşme derecesi %79.08 olmakta ve Şekil 4.19'da görüldüğü gibi kromit tanelerinin çoğu serbest durumda bulunmaktadır.



Şekil 4.19. +150 µm fraksiyonunda tüvenan cevherin stereomikroskop görüntüsü

4.3.4. Cevherin Özgöl Ağırlığı

Tüvenan cevherin özgül ağırlığı piknometre testi ile belirlenmiştir. Yapılan tekrarlı testler sonucunda cevherin ortalama özgül ağırlığı 2.67 olarak hesaplanmıştır.

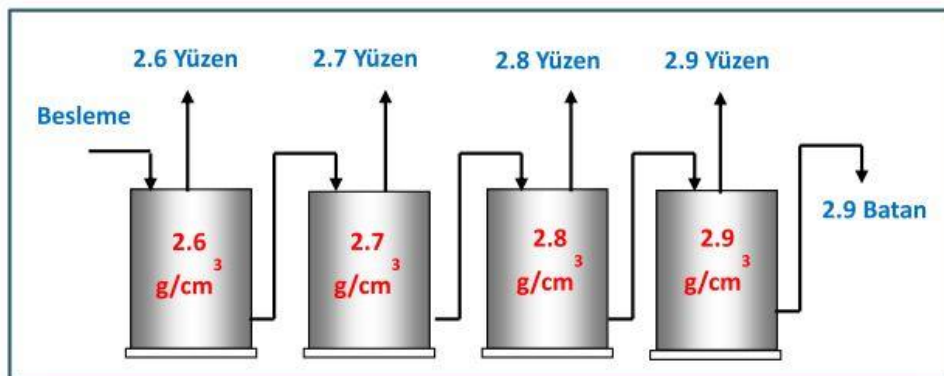
4.3.5. Ağır Sıvı Testleri

Ağır sıvı testleri cevherin yer çekimi ile zenginleştirilmesinin uygun olup olmadığını, cevherin hangi tane boyunda, hangi yerçekimi zenginleştirme yöntemiyle kazanılabileceğini ve hatta cevherin içindeki ilgili mineralin serbestleşme durumu hakkında bilgiler vermektedir. Ağır sıvı testleri ideal koşullar altında elde edilebilecek en iyi verim ve tenör değeri hakkında fikir verirken aynı zamanda, cevher içinde farklı yoğunluklara sahip belli bir boyda serbest mineraller

olması durumunda, cevherin ön zenginleştirmeye uygun olup olmadığı ve temiz bir atığın zenginleştirme işlemine girmeden uzaklaştırılma olasılığı hakkında bilgi sunmaktadır.

Ağır sıvı testleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yoğunlukları belirli değerlerde olan durgun ağır sıvı banyolarında yapılmıştır. Ağır ortam sıvısı olarak 2.96 g/cm^3 yoğunluğuna sahip tetra brom etan ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$) kullanılmıştır. Yoğunluğu istenilen değere ayarlamak için 0.789 g/cm^3 yoğunluğunda etil alkol ya da 1.49 g/cm^3 yoğunluğuna sahip kloroform kullanılarak seyretme işlemi yapılabilmektedir.

Hem tüvenan hem de 9.5 mm 'nin altına kırılmış cevher fraksiyonel bazda ağır sıvı testine tabi tutulmuştur. Cevher içindeki minerallerin yoğunlukları dikkate alınarak; 2.9 gr/cm^3 , 2.8 gr/cm^3 , 2.7 gr/cm^3 ve 2.6 gr/cm^3 olmak üzere 4 farklı ortam yoğunluğu ayarlanmış ve tane boyuna bağlı olarak cevherin zenginleşme karakteristiği belirlenmiştir. Tüvenan cevher; $+9.5 \text{ mm}$, $-9.5+5.6 \text{ mm}$ ve $-5.6+1.18 \text{ mm}$ fraksiyonları olarak, -9.5 mm 'ye kırılmış cevher ise $-9.5+4.75 \text{ mm}$ ve $-4.75+1.18 \text{ mm}$ fraksiyonları halinde farklı yoğunluk değerlerinde incelenmiştir. Besleme, en düşük yoğunluk değerindeki ağır ortama eklenir ve ortam yoğunluğundan yüksek olan mineraller ağır sıvı içerisinde batarken düşük olan mineraller ağır sıvı içerisinde yüzer. Batan kısım bir sonraki basamakta bulunan ve daha yüksek yoğunluğa sahip ağır ortama konulur ve bütün yoğunluk değerleri için işlem devam eder. Ağır sıvı testi yaparken izlenen test akış yöntemi Şekil 4.20'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.20. Ağır sıvı (yüzme-batma) test yöntemi

Tüvenan cevherde elde edilen en yüksek kromit içeriği -5.6+1.18 mm fraksiyonundaki %27 olup verim ~%20 civarındadır. Benzer eğilim -9.5 mm'ye kırılmış cevherin -4.75+1.18 mm fraksiyonunda da görülmektedir. Test sonuçları Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterildiği gibidir.

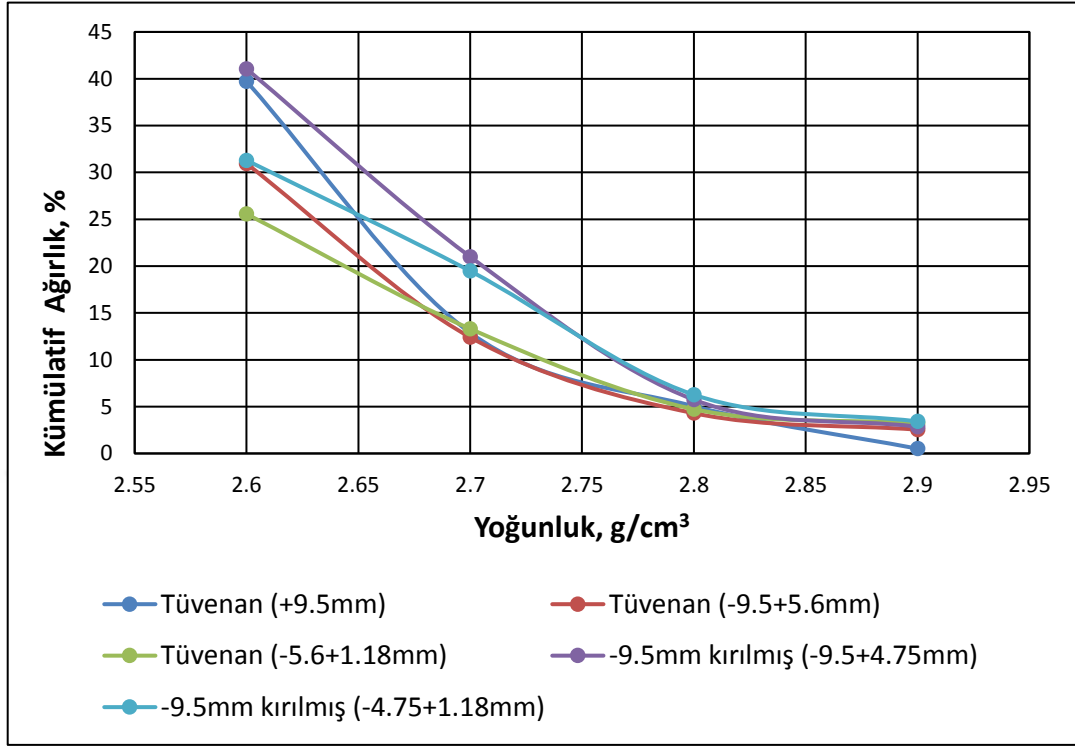
Çizelge 4.4. Tüvenan cevherin ağır sıvı test sonuçları

Tüvenan		Kümülatif (Batan Ürüne Göre)				
		Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (Birim)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+9.5 mm	2.9 Batan	2.9	0.51	0.12	23.48	2.98
	2.9 Yüzen	2.8	5.04	0.95	18.93	23.70
	2.8 Yüzen	2.7	12.89	1.82	14.10	45.10
	2.7 Yüzen	2.6	39.72	3.09	7.79	76.74
			100	4.03		
-9.5+5.6 mm	2.9 Batan	2.9	2.54	0.65	25.53	14.60
	2.9 Yüzen	2.8	4.30	0.94	21.19	21.20
	2.8 Yüzen	2.7	12.14	1.74	14.00	39.08
	2.7 Yüzen	2.6	30.94	2.72	8.78	61.16
			100	4.44		
-5.6+1.18 mm	2.9 Batan	2.9	3.23	0.87	27.05	19.92
	2.9 Yüzen	2.8	4.73	1.13	23.87	25.76
	2.8 Yüzen	2.7	13.31	2.08	15.65	47.54
	2.7 Yüzen	2.6	25.56	2.47	10.70	62.45
			100	4.38		

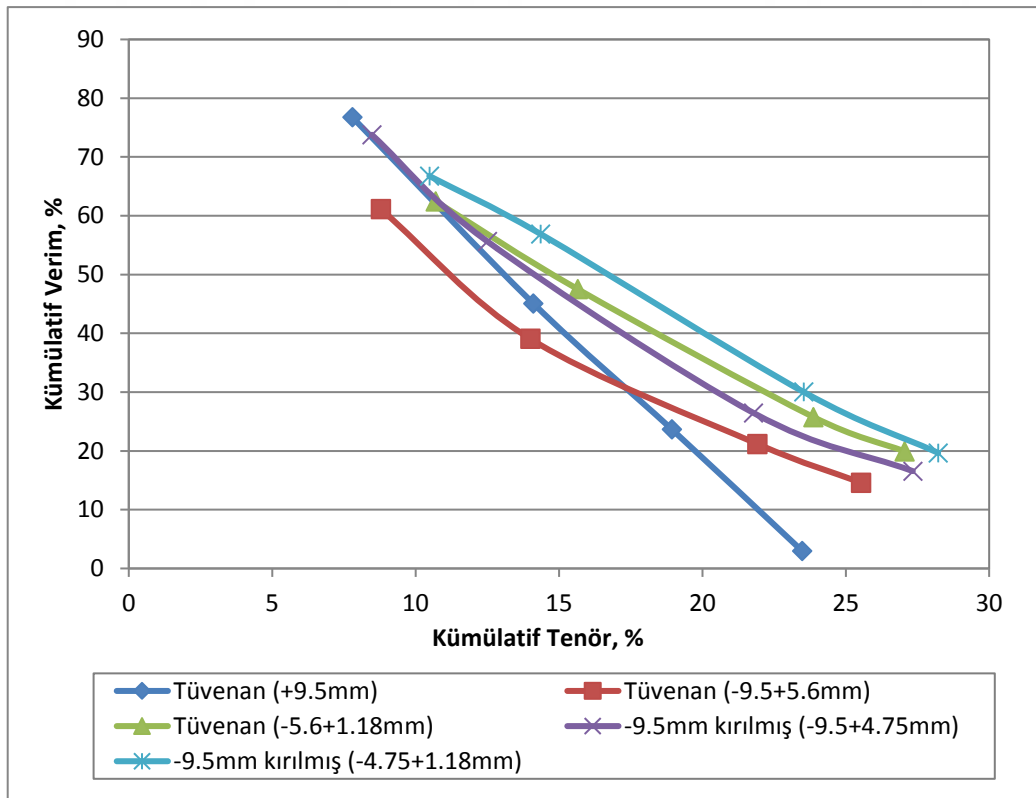
Çizelge 4.5. -9.5mm'ye kırılmış cevherin ağır sıvı test sonuçları

-9.5mm'ye kırılmış		Kümülatif (Batan Ürüne Göre)				
		Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (Birim)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
-9.5 +4.75 mm	2.9 Batan	2.9	2.86	0.78	27.24	16.56
	2.9 Yüzen	2.8	5.74	1.25	21.78	26.48
	2.8 Yüzen	2.7	21.00	2.53	12.50	55.65
	2.7 Yüzen	2.6	41.06	3.48	8.48	73.78
			100	4.72		
-4.75+1.18 mm	2.9 Batan	2.9	3.42	0.97	28.22	19.67
	2.9 Yüzen	2.8	6.27	1.48	23.53	30.03
	2.8 Yüzen	2.7	19.48	2.80	14.35	56.92
	2.7 Yüzen	2.6	31.29	3.28	10.48	66.77
			100	4.91		

Çalışılan yoğunluklarda elde edilen konsantre kümülatif ağırlığını gösteren grafik Şekil 4.21’de, kümülatif tenör-verim ilişkisi ise Şekil 4.22’de sunulmaktadır.



Şekil 4.21. Tüvenan, -9.5mm kırılmış cevher için yoğunluk-kümülatif ağırlık ilişkisi



Şekil 4.22. Tüvenan ve -9.5mm kırılmış cevher için kümülatif tenör-verim ilişkisi

Tüm bu sonuçlar neticesinde; bu cevherin özellikle iri boyda bir zenginleştirme yapmaya uygun olmadığı, tenörün en yüksek %28 olduğunda verimin ise %20'de kalacağı belirlenmiştir. Bu testler sonucunda; cevherin daha ince tane boylarına kırılıp öğütülerek zenginleştirmeye devam edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

4.3.6. Öğütülebilirlik

Cevher karakterizasyonu çalışmaları kapsamında, cevherin öğütülebilirliği de standart Bond bilyalı değirmeniyle belirlenmiştir. Cevherin öğütülebilirliğini ifade eden Wi Bond İş İndeksi değeri yapılan Standart Bond Testi ile 16.03 kwh/ton olarak hesaplanmıştır.

4.4. Zenginleştirme Testleri

Çalışma kapsamında zenginleştirme yöntemi olarak kromit cevherleri için yaygın olarak kullanılan yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi kullanılmıştır. Yer çekimi ile zenginleştirme yönteminin uygulanabilirliğini konsantrasyon kriteri belirlemektedir. Tüvenan cevherin modal mineralojik analizinden elde edilen verilere göre cevherdeki ana mineral bir magnezyum silikat minerali olan forsterittir ve özgül ağırlığı 3.27'dir. Bir diğer ana mineral olan brusitin özgül ağırlığı 2.40'tır. Kromitin özgül ağırlığı ise 4.80'dir. Bu bilgiler ışığında konsantrasyon kriteri hesaplanmıştır.

$$k = (\rho_A - \rho) / (\rho_H - \rho)$$

Kromit-forsterit konsantrasyon kriteri = $(4.80 - 1) / (3.27 - 1) = 1.67$

Kromit-brusit konsantrasyon kriteri = $(4.80 - 1) / (2.40 - 1) = 2.71$

Daha önce yapılan cevher karakterizasyon testlerinin göstermiş olduğu sonuçlardan cevherin 1 mm'nin altındaki boylar için zenginleşme testlerinin uygulanması gerektiği belirlenmişti. Ek olarak konsantrasyon kriteri incelendiğinde ise kromit mineralinin yantaşlarından -1 mm tane boyunda sallantılı masa ile ayrılabilme olanağının olduğu görülmektedir.

Zenginleştirme testleri kapsamında farklı tane boyu gruplarında hidrolik sınıflandırıcı, sallantılı masa ve spiral zenginleştirici kullanılarak farklı akım şemaları geliştirmek amacıyla testler yapılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde kabaran yataklı sınıflandırıcı veya hidrolik sınıflandırıcı seçim kriteri bu iki ekipmanın işleyebildiği tonaj miktarına göre seçilmiştir. Zenginleştirme testleri

kapsamında elde edilecek konsantrenin %Cr₂O₃ içeriğinin %46-48 satılabilir tenörde olması hedeflenmiştir.

Zenginleştirme çalışmalarında -1 mm tane boyu için sallantılı masa, -400 µm tane boyu için hem sallantılı masa hem de spiral zenginleştiriciyi takip eden sallantılı masa testleri yapılmıştır. Ayrıca -1 mm tane boyuna yapılan sallantılı masa testinin incelenmesi üzerine bu testten elde edilen ara ürün ve atıklar karıştırılarak -200 µm tane boyuna öğütürerek sadece sallantılı masa ile zenginleştirme seçeneği de incelenmiştir. Yer çekimi ile ayırma ekipmanlarının çalışma parametreleri hedef tenörde ve yüksek verimde konsantre elde edildiği optimum değerlere "göre ayarlanmıştır. Testler sonucunda hedef tenör ve yüksek verim elde edilen en iyi zenginleştirme seçeneği seçilerek uygun akım şeması tasarlanmıştır.

4.4.1. -1 mm için Sallantılı Masa Zenginleştirme Testleri

Sallantılı masa testleri için tüvenan cevherden temsili alınan numunenin tamamı 1 mm'nin altına merdaneli kırıcı ile kontrollü bir şekilde kırılarak hazırlanmıştır. Numunenin sallantılı masada daha verimli bir şekilde zenginleştirilmesi için dar tane boyu fraksiyonlarında beslenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, hidrolik sınıflandırıcılardan kabaran yataklı sınıflandırıcı (KYS) ile tane boyu gruplarına ayrılmıştır. Sınıflandırıcıdaki ayırım işleminde hem tane boyu hem de tanelerin yoğunluğu etkili olmaktadır. KYS'de 3 farklı tane boyu grubuna ayrılan numunelerin hepsine ayrı ayrı sallantılı masa testi uygulanmıştır.

Sınıflandırılmış malzemelerin her bir tane boyu sınıfından numune alınarak tane boyu dağılımlarını ve kromit içeriğini belirlemek için elek analizi ve kimyasal analiz yapılmıştır. Boyut dağılımı için yaş eleme yöntemi, kimyasal analiz için titrasyon yöntemi kullanılmıştır.

Hazırlanmış numune KYS'ye beslenerek iri boyutta bir alt akım ve daha ince boyutta bir üst akım olmak üzere birinci kademe alt, birinci kademe üst akım olarak adlandırılan kaba sınıflanmış iki numune elde edilmiştir. Daha sonra birinci kademedan elde edilen üst akım bir kademe daha sınıflandırılarak ikinci kademe alt akım ve ikinci kademe üst akım adı verilen sınıflanmış numuneler alınmıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen ürünler dar tane boyu dağılımına sahip sallantılı masa testi beslemelerini oluşturmaktadır.

Birinci ve ikinci kademe alt akım ürünlerine ayrı ayrı sallantılı masa testi yapılmış ancak ikinci kademe üst akımının oldukça ince tane içermesi ve bunun sallantılı masa performansını olumsuz etkileyeceği düşünülerek zenginleştirme testinden önce şlam atma işlemi yapılmıştır. Şlamı atılarak çok ince tane boyuna sahip hafif taneler sistemden ayrıldıktan sonra elde edilen ürüne sallantılı masa testi uygulanmıştır.

KYS ürünlerine yapılan sallantılı masa sonuçları doğrultusunda, ara ürünlerin tekrar işlenmesiyle kazanılacak bir ürün olup olmayacağı test edilmek istenmiş; bu ürünler karıştırılarak laboratuvar ölçekli hidrolik sınıflandırıcıda iri ve ince tane boyu gruplarına sınıflandırılmıştır. Hidrolik sınıflandırıcının birinci bölmesinden elde edilen ürün iri boy olarak ve diğer bölmelerinden elde edilen ürünler birleştirilerek ince boy grupları olmak üzere iki ana gruba ayrılmış ve sallantılı masada bir kez daha zenginleştirilmiştir.

4.4.2. -400 µm Tane Boyu için Zenginleştirme Testleri

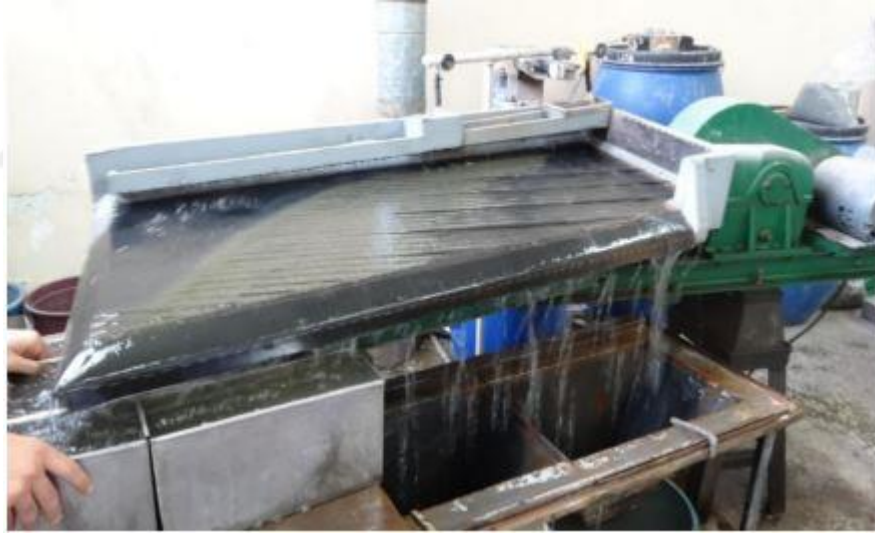
Stereomikroskopla -1 mm testinin ürünleri incelendiğinde, kromitin bu boyda yeterli oranda serbestleşmemiş olduğu görülmüş ve bu durumun ayırım performansını önemli oranda etkilediği sonucuna varılmıştır. Bunun üzerine; cevherin daha ince tane boyuna öğütülerek zenginleştirme çalışmaları yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. İlgili öğütme tane boyuna karar verebilmek için cevher dar tane boyu gruplarında hazırlanarak ağır sıvı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlardan -400 µm tane boyu için zenginleştirme testleri yapılmasına karar verilmiş ve bu boyut için iki akım şeması tasarımına veri oluşturacak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Birinci durum; karar verilen zenginleştirme tane boyu olan -400 µm cevherin dar tane boyu fraksiyonlarına sınıflandırıldıktan sonra sadece sallantılı masa ekipmanı ile zenginleştirme yapıldığı seçenektir. İkinci durum ise, yine aynı tane boyuna kırılmış ve sınıflandırılmış cevherin ön zenginleştirme amacı ile spiral kullanımını takiben sallantılı masa ekipmanıyla zenginleştirilmesi seçeneğidir.

Sadece sallantılı masa ekipmanının kullanılmasıyla gerçekleştirilen zenginleştirme testleri için; tüvenan cevherden temsili olarak alınan yaklaşık 40 kg numune,

cevher içerisinde aşırı öğünmüş malzeme üretmenin önüne geçmek için kontrollü bir şekilde 400 μm boyutu altına merdaneli kırıcı ile kırılmıştır.

Sallantılı masa performansını olumsuz etkileyecek ince tanelerin zenginleştirme işlemi öncesinde beslemeden uzaklaştırılması gerekmektedir. -400 μm boyuna kırılan beslemeye önce şlam atma işlemi yapılmıştır. Bu nedenle; -75 μm fraksiyonu şlam olarak ayrılmıştır. Şlamı atılan numuneye dar tane boyu dağılımına sahip besleme elde etmek amacıyla sınıflandırma yapılmıştır. KYS'nin inceleri oluşturan üst akımı ve irileri oluşturan alt akımı ayrı ayrı sallantılı masalarda zenginleştirilmiştir. Elde edilen metalürjik ve mineralojik sonuçlara göre iri boy sallantılı masa zenginleştirmesindeki ara ürüne tekrar sallantılı masa zenginleştirme çalışması yapılmıştır. KYS'nin alt akımına yapılan sallantılı masa testinden bir görüntü ve oluşan kromit bandı Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Sallantılı masa testi

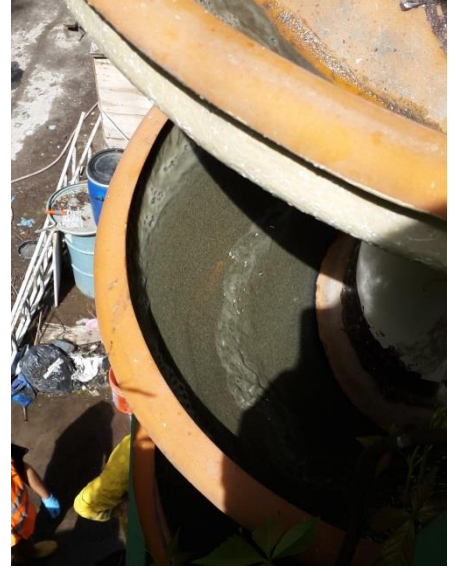


Şekil 4.24. Sallantılı masada oluşan kromit bandı

-400 μm tane boyundaki malzemeyi sadece sallantılı masa seçeneği ile zenginleştirmenin yanı sıra, ön zenginleştirme amaçlı spiral zenginleştiriciyi takip eden sallantılı masa testleri de yapılmıştır.

Zenginleştirme testleri için 1 mm boyu altına kırılan tüvenan cevherden temsili alınan yaklaşık 65 kg numune yine merdaneli kırıcı yardımıyla kontrollü bir şekilde 400 μm boyutu altına kırılarak spiral zenginleştirici beslemesi olarak hazırlanmıştır. Numune hazırlama işlemi sonrasında zenginleştirme testlerine başlanmıştır.

-400 μm besleme içerisindeki çok ince ve hafif taneler ($\sim 75 \mu\text{m}$) şlam olarak ayrılmıştır. Şlamı atılan malzeme öncelikle spiralde kaba zenginleştirmeye tabi tutulmuştur. Kaba zenginleştirme işlemini iki kademe süpürme işlemi takip etmektedir. Spiral beslemesi üç spiral testi için de %30 katı içeriğine ayarlanmış ve çalışma esnasında akış debisi sabit tutulmuştur. Testler esnasında çekilen bir fotoğraf Şekil 4.25'te sunulmuştur.



Şekil 4.25. Spiral zenginleştirme testi

Spiral ile ön zenginleştirme çalışmalarının ardından kaba ve birinci aşama süpürme spiral zenginleştirmesinden elde edilen konsantreler birleştirilerek sallantılı masalarda zenginleştirmeye tabi tutulmuştur. Ancak, öncelikle cevherin tane boyunun sallantılı masa performansını olumsuz etkilememesi için yine masa öncesinde hidrolik sınıflandırıcı ile tane boyu gruplarına ayrılmıştır. Hidrolik sınıflandırıcıdan elde edilen iri ve ince numune ayrı ayrı sallantılı masa testleriyle zenginleştirilmiştir.

İkinci aşama süpürme spiralinin konsantresi ile iri ve ince boy masalarından elde edilen ara ürünlerin tekrar zenginleştirilmeye ya da öğütmeye ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi amacıyla serbestleşme durumları Stereomikroskop ile incelenmiştir. Numuneler yaş eleme yöntemi ile fraksiyonlara ayrılmış, tane boyu bazında serbestleşme dereceleri tane sayım yöntemi ile hesaplanmıştır.

4.4.3. Ara Ürünlerin Öğütülmesi ile Yapılan Zenginleştirme Testleri

-1 mm tane boyuna yapılan sallantılı masa testlerinde özellikle ara ürünlerde yeterli serbestleşmenin sağlanamadığının görülmesi üzerine bu ürünlere tekrar öğütmenin etkisi incelenmek istenmiştir. Zenginleştirme testleri için 14 kg numune -1 mm tane boyutuna merdaneli kırıcı ile kırılmıştır. Test kapsamında -1 mm tane boyundaki tüvenan cevher bir önceki testte olduğu gibi iki kademe KYS'de dar tane boy gruplarına ayrılmış ve her bir tane boyu grubuna sallantılı masa testi uygulanmıştır. Üç fraksiyona yapılan sallantılı masa testinden elde edilen her bir

ara ürün ve atıklar birleştirilerek kontrollü bir şekilde 200 µm tane boyunun altına indirilmiştir. -200 µm tane boyunda ki cevhere ince taneleri uzaklaştırmak amacıyla şlam atma işlemi yapılmış, ~-50 µm'luk taneler uzaklaştırılmıştır. -200 µm ara ürün ve atık karışımı için tekrar sallantılı masa ile zenginleştirme testi yapılmıştır.

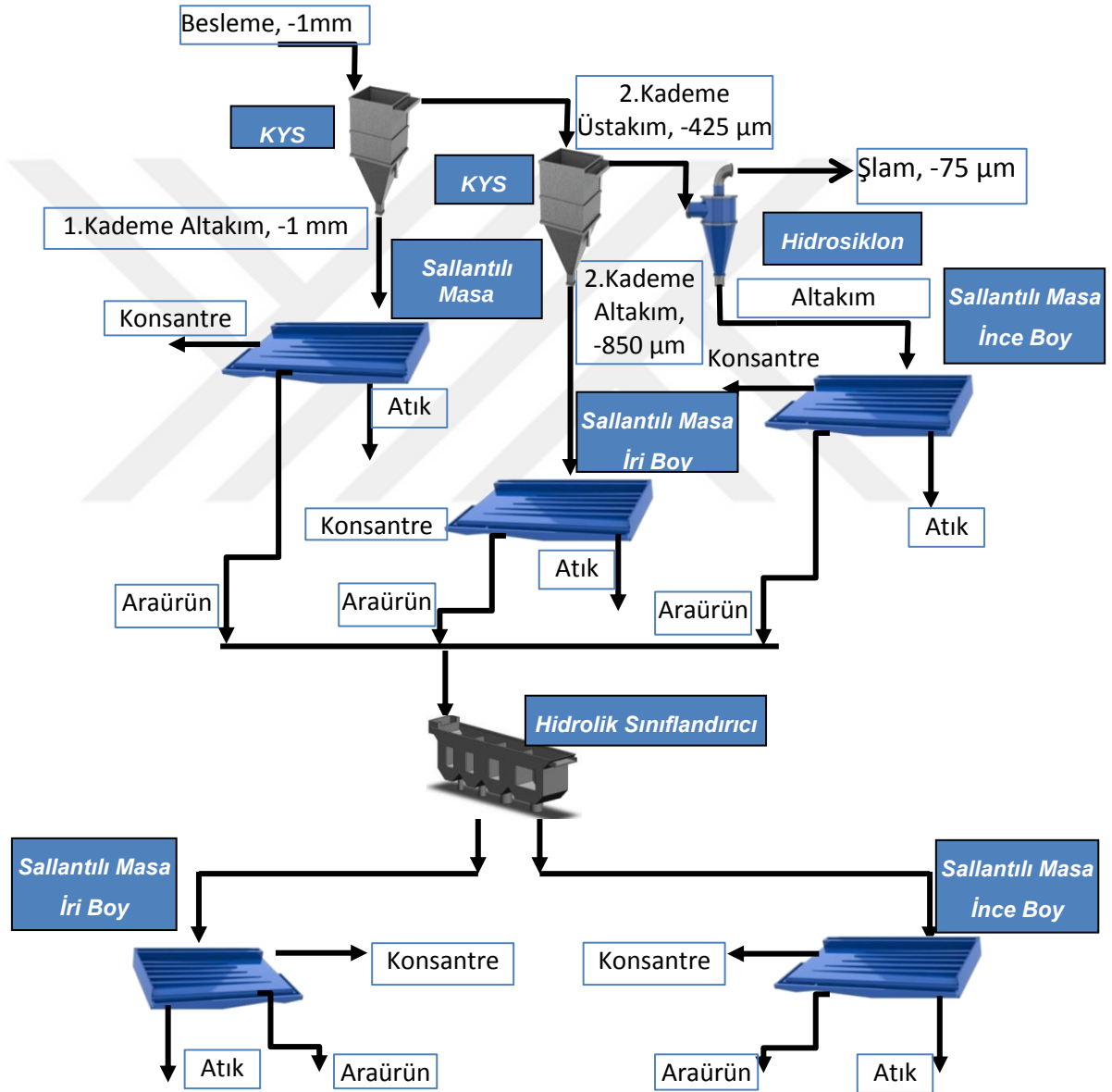


5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu başlık altında, yapılan bütün zenginleştirme testlerinden elde edilen veriler, grafikler ve sonuçlar sunulmaktadır.

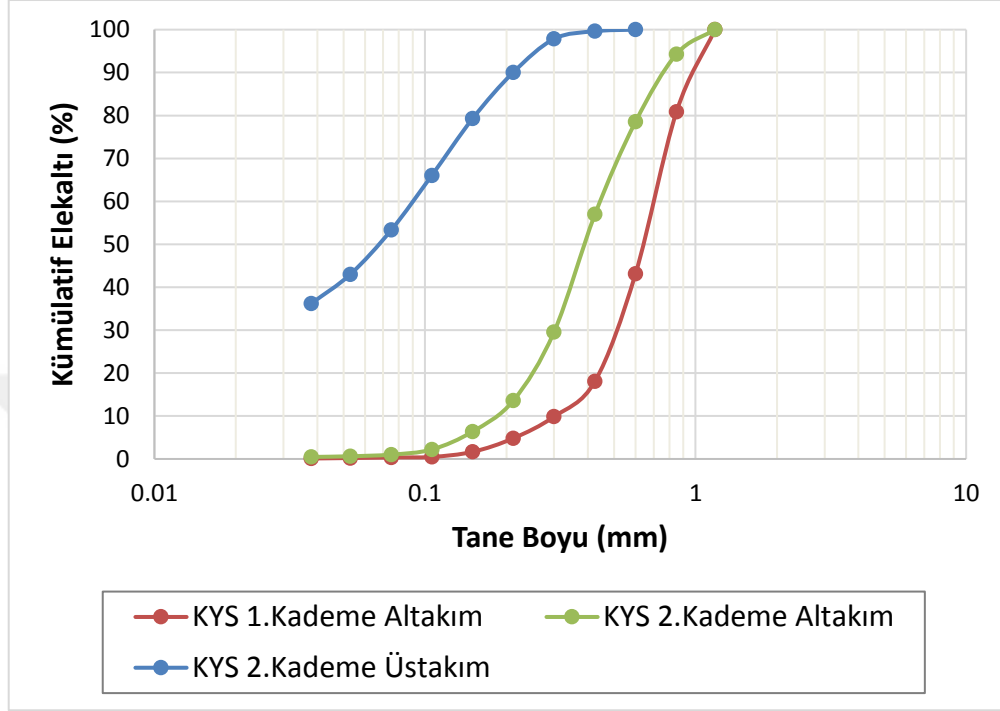
5.1. -1 mm Tane Boyu için Zenginleştirme Test Sonuçları

-1 mm tane boyu için yapılmış olan zenginleştirme test akış yöntemi Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.1. -1 mm cevher için sallantılı masa test akış şeması

KYS ile sınıflandırılmış ürünlerden numune alınarak tane boyu dağılımlarını ve kromit içeriğini belirlemek için yaş elek analizi ve titrasyon yapılmıştır. Elde edilen ürünlerin elek analizleri sonucunda tane boyu dağılımı Şekil 5.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.2. KYS ürünleri boyut dağılımı

Görüldüğü üzere, KYS birinci kademe alt akım en iri ($P_{80}=850 \mu\text{m}$), ikinci kademe alt akım orta irilikte ($P_{80}=600 \mu\text{m}$) ve ikinci kademe üst akım ince ($P_{80}=150 \mu\text{m}$) tane boyu dağılımına sahiptir. KYS ile ayrılan tane boyu gruplarının Cr_2O_3 içeriği, verimi ve ağırlıkça dağılımı Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Tabloda Cr_2O_3 (birim) olarak hesaplanan kolon malzemenin % ağırlık ve % Cr_2O_3 miktarı çarpımı sonucu bulunmaktadır.

Çizelge 5.1. -1mm tane boyu için KYS ürünlerinin tenör ve verim değerleri

	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Cr_2O_3 (birim)	Dağılım (%)
Besleme	100.00	5.07	506.87	100.00
KYS 1.kademe altakım	26.55	8.95	237.54	46.86
KYS 2.kademe altakım	32.77	5.07	166.26	32.80
KYS 2.kademe üstakım	32.17	3.12	100.42	19.81
Şlam	8.51	0.31	2.65	0.52

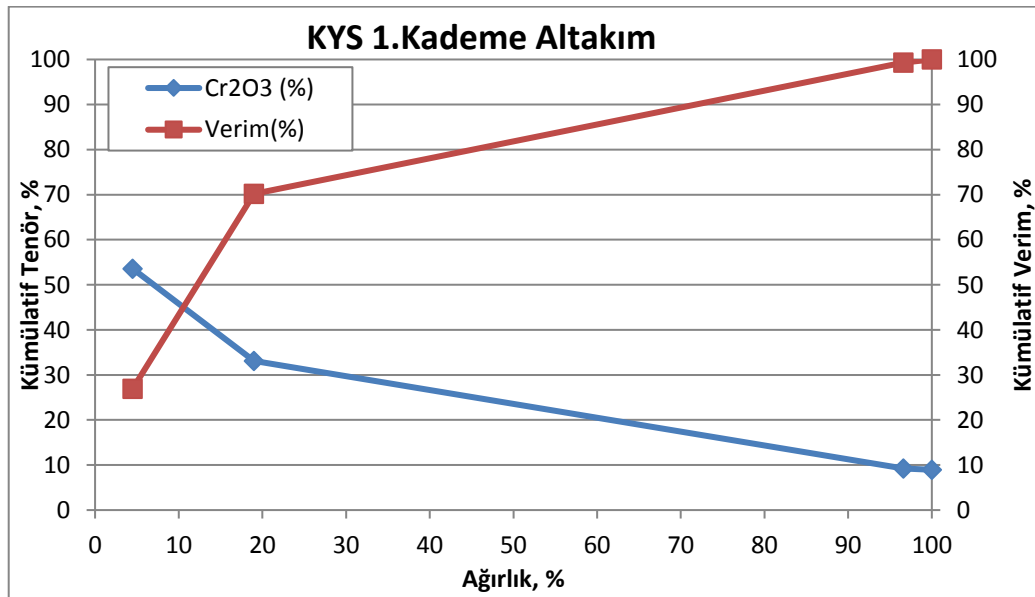
Buna göre besleme tenörü %5.07 olarak belirlenmiş, KYS birinci kademe sonunda alınan alt akımla bu değer %8.95'e çıkmıştır. Ağırlıkça %26'lık bir malzeme ~%47 metal verimiyle alt akım olarak alınmıştır. Malzemenin -75 µm fraksiyonunda şlam olarak atılan miktarı yaklaşık %8.5'i olmakla birlikte %0.31 Cr₂O₃ içeriğindedir.

Birinci kademe alt akım sallantılı masa testinden konsantre, iki farklı Cr₂O₃ tenöründe ara ürün ve atık elde edilmiştir. Bu tane boyu grubundan %53 Cr₂O₃ tenörüne sahip bir konsantre %27 metal verimiyle elde edilebilmektedir. Elde edilen ara ürünler sırasıyla %26.73 ve %3.35 Cr₂O₃ içeriğine sahiptir. Atığın %Cr₂O₃ tenörü ise 1.8 olarak belirlenmiştir ve atıktaki metal kaybı %0.68'dir. Sallantılı masa ürünlerinin kimyasal analizleri yine titrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Testten elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2. KYS 1.kademe alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları

1.kademe KYS Altakım	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	4.50	53.56	26.95	241.08	4.50	241.08	53.56	26.95
Araürün 1	14.48	26.73	43.26	387.03	18.96	628.11	33.09	70.21
Araürün 2	77.63	3.35	29.11	260.41	96.61	888.52	9.20	99.32
Atık	3.39	1.80	0.68	6.09	100.00	894.61	8.95	100.00
Toplam	100.00	8.95	100.00	894.61				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör grafiği Şekil 5.3'te gösterildiği gibidir.



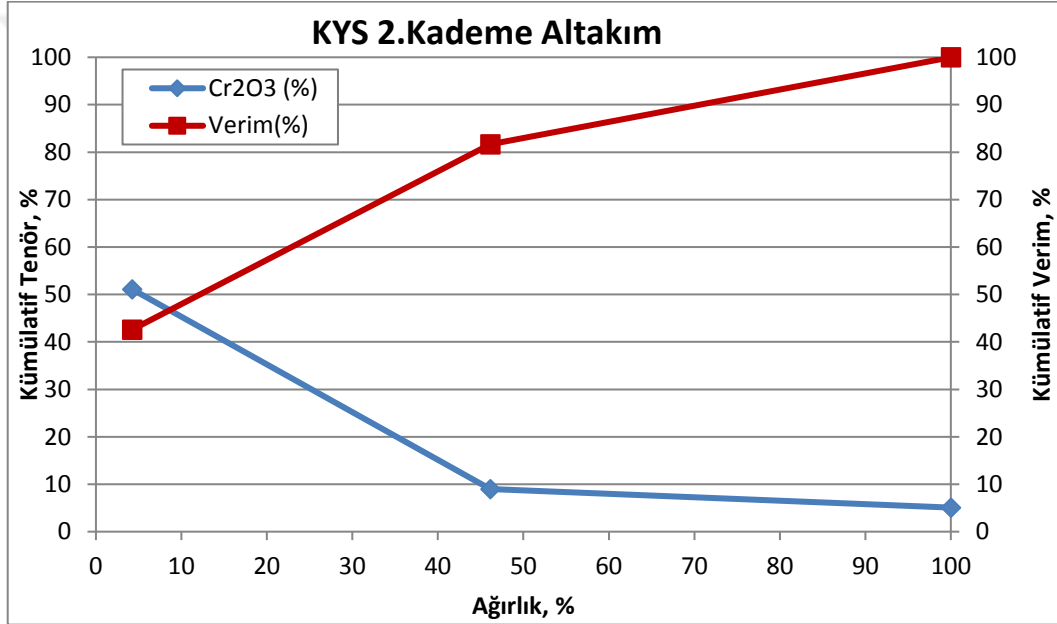
Şekil 5.3. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

KYS'nin ikinci kademesinin alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu tane boyu grubundan %51 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre %42.5 metal verimiyle kazanılabilmektedir.

Çizelge 5.3. KYS 2.kademe alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları

2.kademe KYS Altakım	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	Birim Cr_2O_3	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr_2O_3	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	4.23	51.11	42.58	216.04	4.23	216.04	51.11	42.58
Araürün	41.91	4.73	39.09	198.32	46.13	414.36	8.98	81.68
Atık	53.87	1.73	18.32	92.96	100.00	507.32	5.07	100.00
Toplam	100.00	5.07	100.00	507.32				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör grafiği Şekil 5.4'te sunulmaktadır.



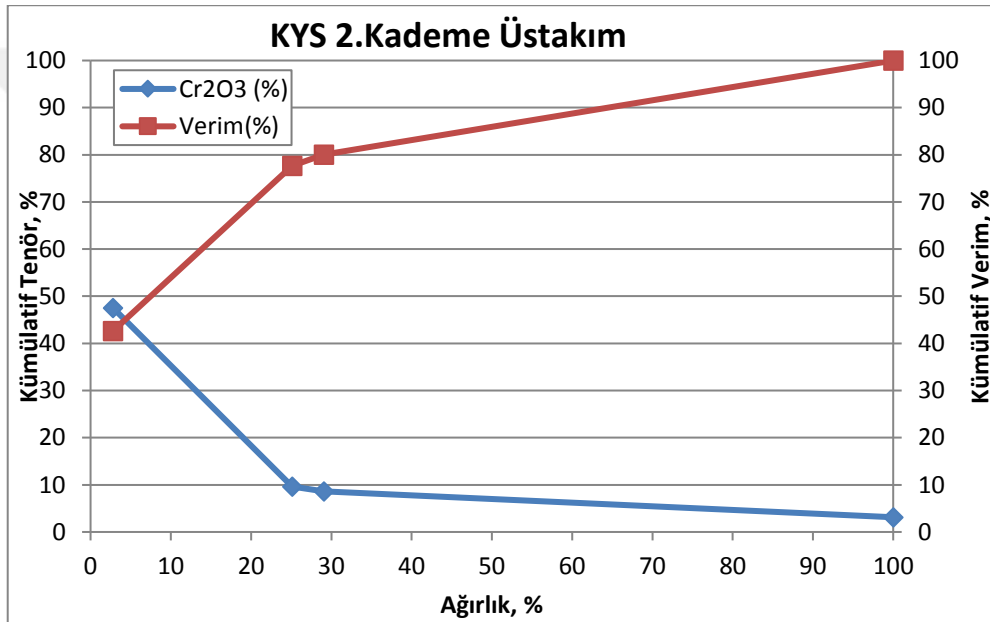
Şekil 5.4. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

KYS'nin ikinci kademe üst akımının şlamı atıldıktan sonra yapılan sallantılı masa testi sonucunda elde edilen konsantrenin ağırlığı %2.8 olup Cr_2O_3 tenörü %47.5, metal verimi de %42.6'dır. Malzemenin %71 kadarı %0.88 tenörle atığa gitmektedir. Test sonuçları Çizelge 5.4'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.4. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa test sonuçları

2.kademe KYS Üstakım	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	2.80	47.52	42.64	133.11	2.80	133.11	47.52	42.64
Ara ürün 1	22.30	4.91	35.04	109.40	25.10	242.51	9.66	77.69
Ara ürün 2	3.95	1.86	2.36	7.36	29.06	249.86	8.60	80.04
Atık	70.94	0.88	19.96	62.30	100.00	312.17	3.12	100.00
Toplam	100.00	3.12	100.00	312.17				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör ilişkisi Şekil 5.5'te verilen ağırlığa karşı kümülatif verim-tenör grafiğinde sunulmaktadır.



Şekil 5.5. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

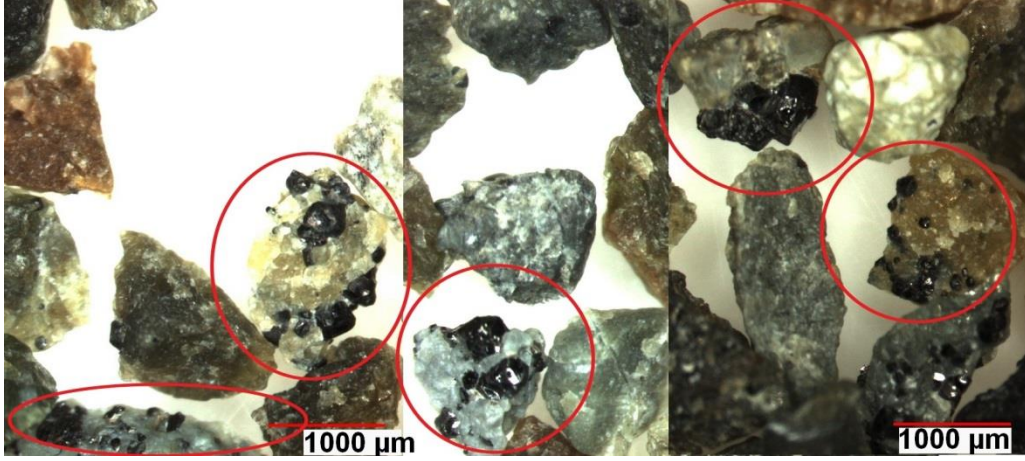
KYS ürünlerine yapılan sallantılı masa sonuçlarına bakıldığında; özellikle KYS birinci kademe alt akımında %26 tenörlü bir ara ürün ve diğerlerinden de besleme tenörü kadar kromit tenöründe ara ürünlerin elde edildiği görülmektedir. Ara ürünlerin tekrar işlenmesiyle kazanılacak bir ürün olup olmayacağı test edilmek istenmiş ve bu ara ürünler karıştırılarak laboratuvar ölçekli hidrolik sınıflandırıcıda sınıflandırılmıştır. Hidrolik sınıflandırıcının birinci bölmelerinden elde edilen ürün iri boy olarak ve diğer bölmelerinden elde edilen ürünler birleştirilerek ince boy grupları olmak üzere iki ana gruba ayrılmış ve sallantılı masada bir kez daha zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa test sonuçları Çizelge 5.5'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.5. Ara ürünlerin karışımına yapılan sallantılı masa testi sonuçları

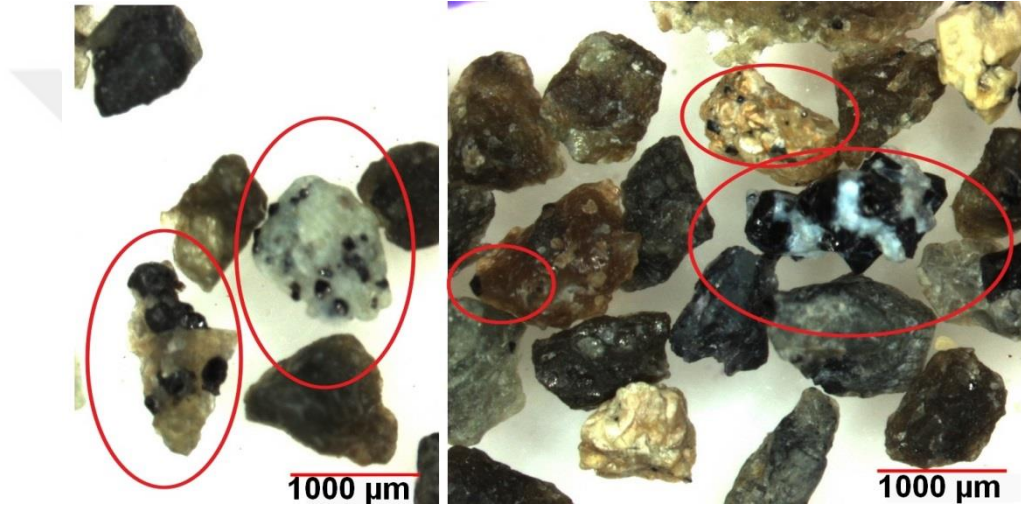
İri boy ara ürün	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	0.38	48.12	3.22	18.28	0.38	18.28	48.12	3.22
Ara ürün 1	40.58	7.70	55.03	312.49	40.96	330.77	8.08	58.25
Ara ürün 2	54.57	4.10	38.54	218.84	95.53	549.62	5.75	96.78
Atık	4.47	4.08	3.22	18.26	100.00	567.88	5.68	100.00
Toplam	100.00	5.68	100.00	567.88				
İnce boy ara ürün	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	4.28	29.31	33.71	125.37	4.28	125.37	29.31	33.71
Ara ürün 1	5.25	9.70	13.69	50.93	9.53	176.29	18.51	47.41
Ara ürün 2	45.40	2.91	35.55	132.19	54.93	308.48	5.62	82.95
Atık	45.07	1.41	17.05	63.38	100.00	371.87	3.72	100.00
Toplam	100.00	3.72	100.00	371.87				

Özellikle iri üründen alınan konsantrenin her ne kadar tenörü %48 de olsa verim ve ağırlıkça miktar oldukça az olmaktadır. İnce kısımdan ise ancak %29 tenörlü bir konsantre alınabilmektedir. Bu durum aslında; elde edilen ara ürünlerin, verimsiz ayırmadan çok yetersiz serbestleşmeden kaynaklandığını işaret etmektedir. KYS'nin birinci kademe ürünü en iri tane boyu dağılımına sahiptir ve bu numuneye yapılan sallantılı masa ara ürünleri miktarca ana beslemenin %24.46'sıdır. Buna göre, KYS birinci kademe alt akıma yapılan sallantılı masa testi sonucu elde edilen ara ürünler fraksiyonel bazda stereomikroskop ile incelenmiş ve serbestleşme durumları analiz edilmiştir. KYS'nin birinci kademesindeki tane boyu dağılımının iri ve serbestleşmenin yetersiz olması bu ürünün tekrar masa ile zenginleştirilmesinde yeterli verimi sağlamamaktadır.

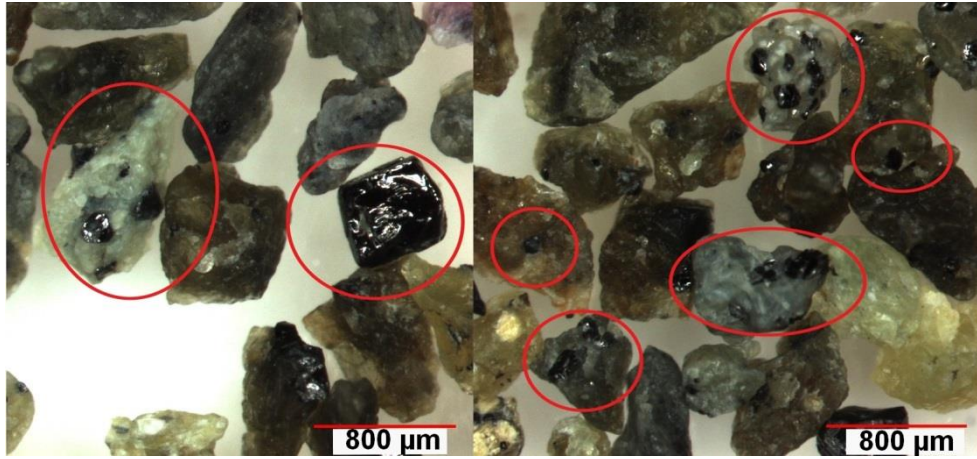
KYS birinci kademe sallantılı masa ara ürününe yapılan yaş elek analizi sonucunda +850 µm, +600 µm, +425 µm, +300 µm fraksiyonları incelenmiş ve mineral bağlılık durumlarını gösteren stereomikroskop görüntüleri Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da sunulmuştur.



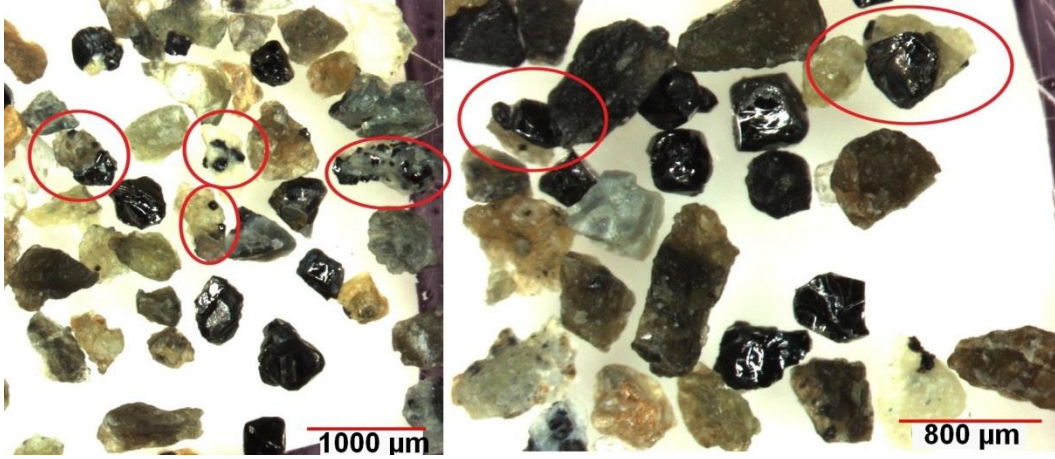
Şekil 5.6. +850 μm stereomikroskop görüntüsü



Şekil 5.7. +600 μm stereomikroskop görüntüsü

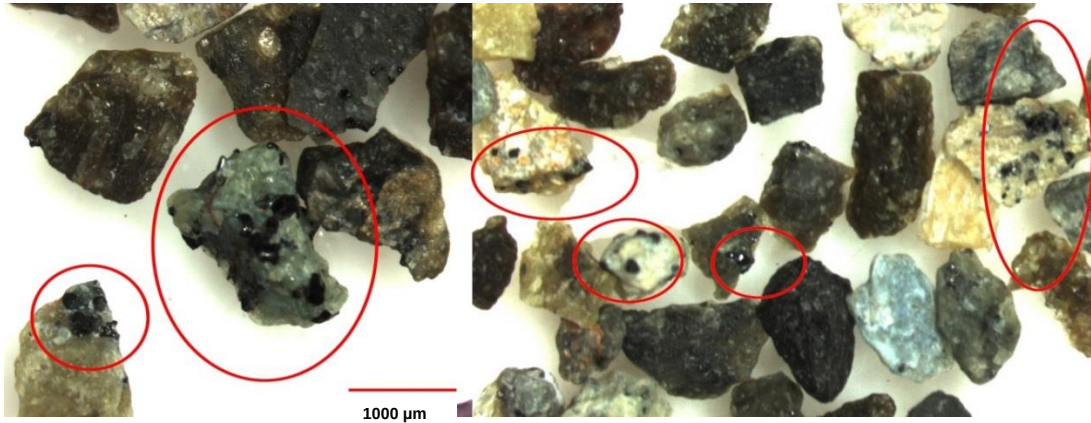


Şekil 5.8. +425 μm stereomikroskop görüntüsü



Şekil 5.9. +300 µm stereomikroskop görüntüsü

Şekillerden de görüldüğü üzere 425 µm fraksiyonuna kadar kromit minerali diğer minerallere bağlı durumdadır ve 425 µm boyutundan itibaren serbest kromit mineralleri gözlemlenmiştir. KYS ikinci kademe alt akımına yapılan sallantılı masa atığı da kromit kaybının hangi formda olduğunu belirlemek için stereomikroskop ile incelenmiştir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi atıkta bulunan kromit serbest formda olmayıp gang mineralleriyle bağlı durumda olmasından dolayı atığa kaçmaktadır. Stereomikroskop görüntüleri aslında; elde edilen ara ürünlerin, verimsiz ayırmadan çok yetersiz serbestleşmeden kaynaklandığını kanıtlamaktadır. Serbestleşmeyi ve ara üründen metal kazanımını sağlayabilmek için ara ürünlerin daha ince boylara öğütülmesi gerekmektedir.



Şekil 5.10. +850 µm stereomikroskop görüntüsü

-1 mm'ye kırılmış cevherin farklı tane boyu gruplarında yapılan sallantılı masa sonuçlarını özetlemek gerekirse, ana besleme temel alınarak yüzde dağılımları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Buna göre; eğer cevher -1 mm tane boyunda sallantılı masa ile zenginleştirilirse elde edilecek toplam konsantre

%3.8 ağırlığında olup %49.8 tenöre ve %37.6 metal kazanma verimine sahip olacaktır. Hesaplamalarda herhangi bir akışın başka bir akışa geridönüşü dahil değildir.

Çizelge 5.6. -1mm boyu için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti

-1 mm sallantılı masa ana beslemeye göre				
	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Birim Cr₂O₃	Verim (%)
Ana Besleme	100.00	5.07	506.87	100.00
KYS 1.kademe alt akım	26.55	8.95	237.54	46.86
KYS 2.kademe alt akım	32.77	5.07	166.26	32.80
KYS 2.kademe üs takım	32.17	3.12	100.42	19.81
Şlam	8.51	0.31	2.65	0.52
Sallantılı Masa- KYS 1.Kademe Alt Akım				
Konsantre	1.20	53.56	64.01	12.63
Ara ürün	24.46	7.03	171.91	33.92
Atık	0.90	1.80	1.62	0.32
Toplam	26.55	8.95	237.54	46.86
Sallantılı Masa- KYS 2.Kademe Alt Akım				
Konsantre	1.39	51.11	70.80	13.97
Ara ürün	13.73	4.73	64.99	12.82
Atık	17.65	1.73	30.46	6.01
Toplam	32.77	5.07	166.26	32.80
Sallantılı Masa- KYS 2.Kademe Üst Akım				
Konsantre	0.90	47.52	42.82	8.45
Ara ürün	7.17	4.91	35.19	6.94
Atık	24.09	0.93	22.41	7.42
Toplam	32.17	3.12	100.42	19.81
Toplam Ara Ürün	45.37			
İri Ara Ürün Masası				
Konsantre	0.15	48.12	7.24	1.43
Ara ürün	37.71	5.58	210.59	41.55
Atık	1.77	4.08	7.24	1.43
Toplam	39.63	5.68	225.07	44.40
İnce Ara Ürün Masası				
Konsantre	0.19	29.31	5.60	1.10
Ara ürün	2.26	3.62	8.17	1.61
Atık	2.01	1.41	2.83	0.56
Toplam	4.46	3.72	16.60	3.27
Şlam	1.27	6.17	7.83	1.54
Toplam Konsantre	3.82	49.82		37.58

5.2. -400 µm Tane Boyu için Zenginleştirme Test Sonuçları

-1 mm tane boyunda yapılan çalışmalarda; %48 Cr₂O₃ satılabilir tenör değerinde konsantre elde edilebilmesine karşın, alınan ürünlerin ağırlıkça miktarları ve metal verimlerinin oldukça düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Stereomikroskop görüntüleri ayırım performansını etkileyen en önemli etmenin özellikle -1 mm'nin hemen altındaki tane boylarında kromitin yeterli oranda serbestleşmemiş olduğunu göstermektedir. Bu durum; cevherin 1 mm tane boyundan daha ince tane boyuna öğütülmesi ve uygun tane boyu için zenginleştirme testlerinin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Her ne kadar sallantılı masa testi ara ürünlerinin stereomikroskop görüntüleri 425 µm tane boyunun altında kromitlerin serbestleşmeye başladığını gösterse de, ilgili tane boyuna karar verebilmek için cevher dar tane boyu gruplarında hazırlanarak ağır sıvı testine tabi tutulmuştur. Test için hazırlanan tane boyu grupları sırası ile -600+75 µm, -500+75 µm, -425+75 µm ve -300+75 µm'dir. 75µm'den daha ince ve hafif yoğunluklu tanelerin sallantılı masa testinden önce yapılan şlam atma işleminde şlama gideceği öngörülerek, hazırlanmış her bir fraksiyona dekantasyon yapılmıştır. -300 µm fraksiyonu hariç diğer fraksiyonlarda malzemenin genellikle ~%35'i şlamı oluşturmakta ve metal kaybı ise %20 civarında olmaktadır. Analiz sonuçları Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7. İri ve şlam fraksiyonlarının kimyasal analizi

Numune	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi (%)
-600 µm	+75 µm	66.91	6.46	4.32
	-75 µm	33.09	3.25	1.08
	Toplam	100	5.40	5.40
-500 µm	+75 µm	63.61	6.87	4.37
	-75 µm	36.39	2.99	1.09
	Toplam	100	5.46	5.46
-425 µm	+75 µm	62.71	6.84	4.29
	-75 µm	37.29	2.73	1.02
	Toplam	100	5.31	5.31
-300 µm	+75 µm	58.95	6.50	6.50
	-75 µm	41.05	2.90	2.90
	Toplam	100	5.02	5.02

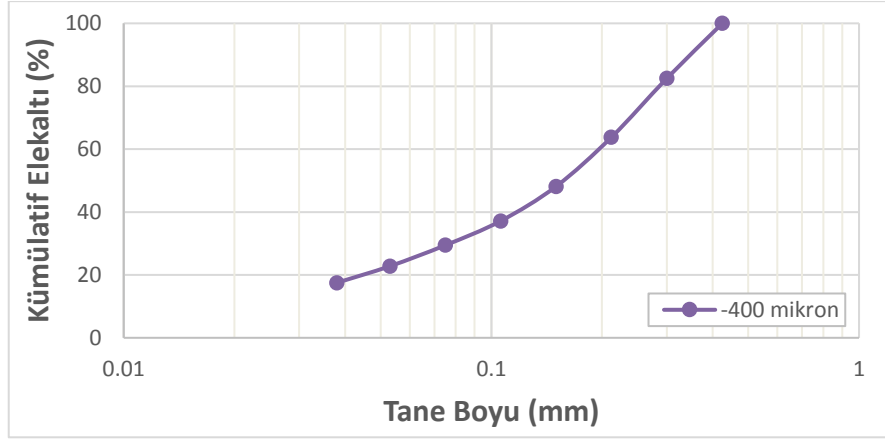
Ağır sıvı yoğunluğu olarak 2.6 g/cm³ değerine tetrabrometan ağır sıvısı kullanılarak ayarlanmış ve bu yoğunluktan ağır olanlar batan fraksiyonu, hafifler ise yüzen fraksiyonu oluşturmuştur. Ağır sıvı test yöntemi tüvenan ve +9.5 mm tüvenan cevher için kullanılan yöntemden farklı olup, malzeme ince tane boyu dağılımına sahip olduğundan keskin ve ideal ayırım elde edebilmek için santrifüj cihazı kullanılmıştır.

Ağır sıvı testi sonucuda; batan fraksiyonlar hem ağırlık oranı hem de tenör ve metal verimleri açısından değerlendirilmiştir. Toplam verim değerleri ise şlamın analizini gösteren çizelgedeki (Çizelge 5.7) +75 µm fraksiyonlarının metal verimleri üzerinden hesaplanmıştır. Ağır sıvı test sonuçları Çizelge 5.8’de sunulduğu gibidir.

Çizelge 5.8. Dar tane boyu gruplarına yapılan ağır sıvı test sonuçları

Numune		Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ Birim	Verim (%)	Kümülatif (Şlamı atılmış beslemeye göre)				
						Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ Birim	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Toplam Verim (%)
-600+75 µm	2.6 Batan	16.26	33.31	5.41	83.84	16.26	5.41	33.31	83.84	67.12
	2.6 Yüzen	83.74	1.25	1.04	16.16	100.00	6.46			
	Toplam	100.00	6.46	6.46	100.00					
-500+75 µm	2.6 Batan	14.68	34.90	5.13	74.55	14.68	5.13	34.90	74.55	59.68
	2.6 Yüzen	85.32	2.05	1.75	25.45	100.00	6.88			
	Toplam	100.00	6.87	6.87	100.00					
-425+75 µm	2.6 Batan	20.39	31.85	6.49	94.98	20.39	6.49	31.85	94.98	76.73
	2.6 Yüzen	79.61	0.43	0.34	5.02	100.00	6.84			
	Toplam	100.00	6.84	6.84	100.00					
-300+75 µm	2.6 Batan	20.40	31.39	6.40	98.56	20.40	6.40	31.39	98.56	75.22
	2.6 Yüzen	79.60	0.12	0.09	1.44	100.00	6.50			
	Toplam	100.00	6.50	6.50	100.00					

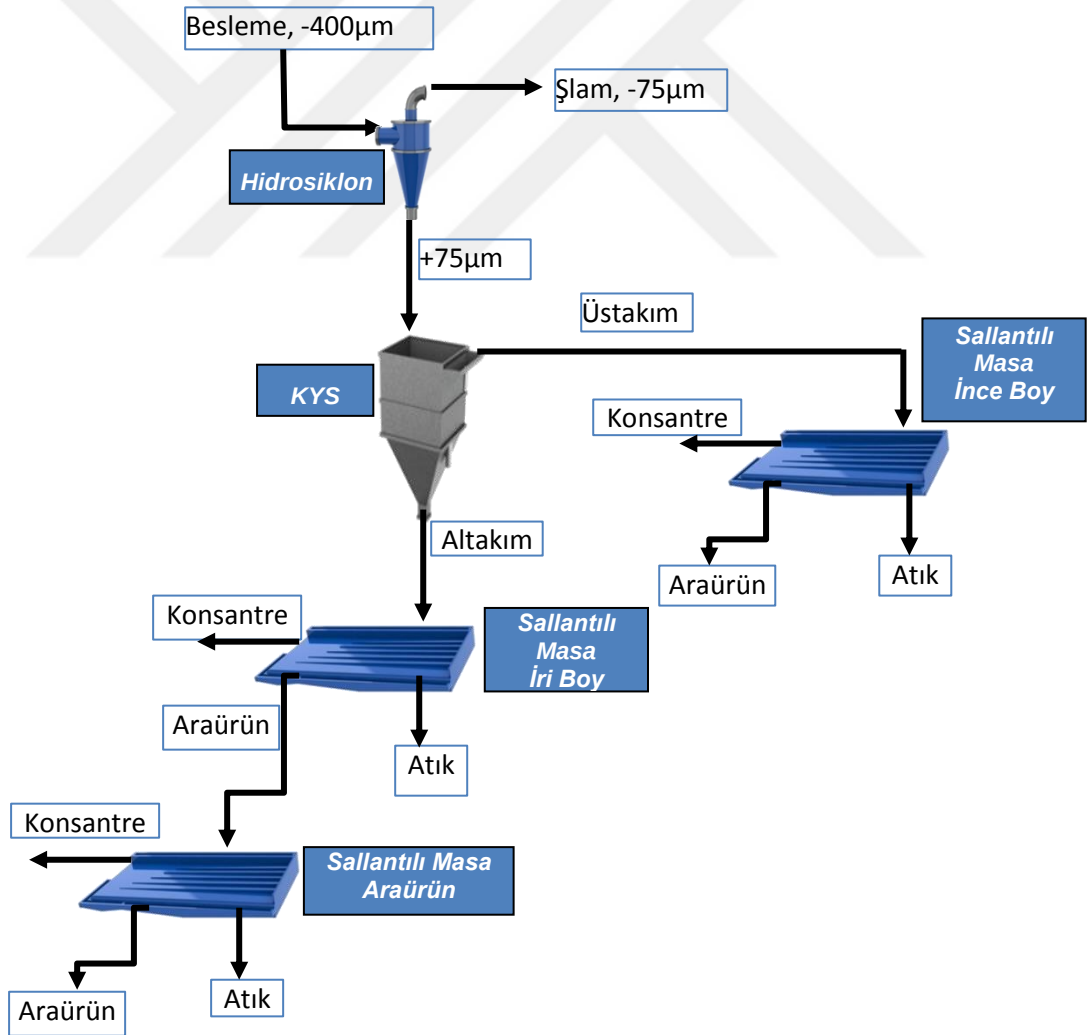
Test sonuçlarının gösterdiği üzere; -425+75 µm ile -300+75 µm fraksiyonlarında elde edilen kromit verimleri diğer fraksiyonlardan daha iyi sonuçlar olup birbirine benzemektedir. -300 µm fraksiyonunda malzeme daha ince tane boyuna öğütüldükçe şlamda kromit kaybının daha yüksek olabileceği, daha ince malzemenin masa verimini olumsuz etkileyebileceği ve öğütme maliyetinin artacağı göz önünde bulundurularak sonraki aşamalarda uygulanacak zenginleştirme testlerinin yaklaşık -400 µm tane boyunda yapılması uygun bulunmuştur. Testlerde kullanılan -400 µm malzemenin tane boyu dağılımı yaş eleme yöntemi ile belirlenmiş olup Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11. -400 µm boyutuna öğütülen cevherin tane boyu dağılımı

5.2.1. -400 µm için Sallantılı Masa ile Zenginleştirme Test Sonuçları

-400 µm tane boyunun sallantılı masa ile zenginleştirme iş akış şeması Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. -400 µm cevher için sallantılı masa ile zenginleştirme iş akış şeması

Buna göre masa performansını etkilememesi için öncelikle şlam atım işlemi yapılmış ve sonrasında KYS ile iki ayrı fraksiyonda masa beslemeleri oluşturulmuştur. Sallantılı masa testi öncesinde atılan şlam ve KYS ile dar tane boyu gruplarına ayrılmış akışların analizleri Çizelge 5.9'da özetlenmektedir.

Çizelge 5.9. -400 μm için KYS ürünlerinin tenör-verim değerleri

	Ağırlık (%)	Tenör (%)	Birim Cr_2O_3	Verim (%)
Besleme, -400 μm	100.00	4.94	493.66	100.00
Şlam, -75 μm	27.29	1.77	48.31	9.79
KYS Besleme, +75 μm	72.70	6.13	445.35	90.21
KYS Alt Akım	41.98	8.74	366.93	74.33
KYS Üst Akım	30.72	2.55	78.42	15.89

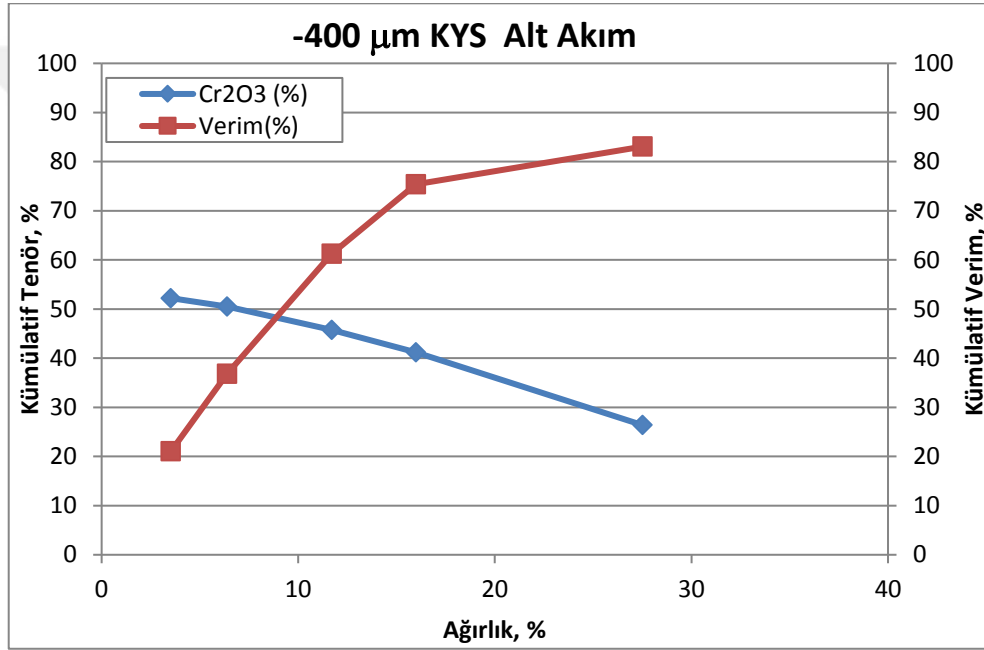
Sonuçlara göre; şlam fraksiyonu ağırlıkça malzemenin %27'sini oluşturmakta ve bu fraksiyondan %9.8 kadar kromit kaybedilmektedir. Sisteme beslenen miktarın ~%42'si KYS'da alt akım, ~%31'i ise üst akım olarak alınmaktadır. -1 mm tane boyutuna yapılan zenginleştirme testlerinde de olduğu gibi yaklaşık %5 tenörlü besleme KYS alt akımında %8.74 değerine çıkarak bir miktar zenginleştiği gözlemlenmektedir. Beslemedeki toplam kromitin %74'ü bu akışta yer alırken ~%16'sı üst akıma gitmektedir.

KYS'nin alt akımına yapılan sallantılı masa test sonuçları Çizelge 5.10'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.10. -400 μm için KYS alt akımı sallantılı masa sonuçları

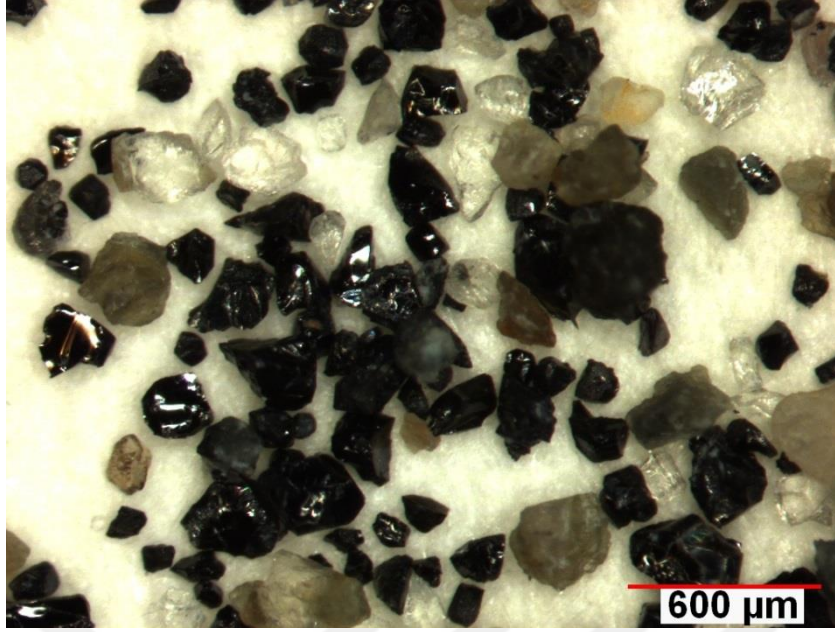
KYS Alt Akım	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	Birim Cr_2O_3	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr_2O_3	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)
Konsantre	3.52	52.22	21.04	183.90	3.52	183.90	52.22	21.04
Ara Ürün 1	2.85	48.33	15.81	138.21	6.38	322.12	50.48	36.85
Ara Ürün 2	5.31	40.11	24.40	213.33	11.69	535.45	45.77	61.26
Ara Ürün 3	4.28	28.73	14.09	123.20	15.98	658.65	41.20	75.36
Ara Ürün 4	11.53	5.83	7.70	67.31	27.51	725.97	26.38	83.06
Atık	72.48	2.04	16.93	148.02	100	873.99	8.73	100
	100	8.73	100	873.99				

KYS'nin bu akışında yoğun kromit içeriği olması sebebiyle, masanın konsantre bandından sonraki ürün bantları dar aralıklı ara ürünler olarak alınmış ve dört ayrı Cr_2O_3 içerikli ara ürün alınmıştır. Alınan bu ara ürünler analizler neticesinde $\%\text{Cr}_2\text{O}_3$ içeriğine göre konsantre, ara ürün veya atık numunelerine dahil edilmesi düşünülmüştür. Analizler sonucunda %52 tenörlü bir konsantre %3.5 ağırlık oranı ve %21 kromit verimiyle elde edilmiştir. Ara ürün1 olarak alınan malzeme de konsantre niteliğinde olup %48 tenörlü %2.8 ağırlık oranı ve yaklaşık %16 metal verimiyle elde edilmiştir. Bu ürün konsantreyle karıştırılarak tek bir konsantre olarak alınabileceği görülmektedir. Bu verilere göre çizilen kümülatif tenör ve verim grafiği ise Şekil 5.13'te sunulmaktadır.



Şekil 5.13. -400 µm KYS alt akımı sallantılı masa testi kümülatif verim-tenörü

KYS alt akımına yapılan masa testinde, özellikle ara ürün 2 ve ara ürün 3'ün sırasıyla %40 ve %28 Cr_2O_3 içeriyor olması bu ürünlerin tekrar işlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ara üründe bulunan kromit mineralinin hangi formda ara ürüne karıştığını saptamak amacıyla ara ürün 2 numunesi stereomikroskop altında incelenmiştir ve Şekil 5.14'te sunulmuştur.



Şekil 5.14. KYS alt akım masa testi ara ürün 2 mikroskop görüntüsü

Stereomikroskop görüntüsünden görüldüğü üzere bu fraksiyonda hala serbest kromit tanelerinin olduğu ve bir aşama daha zenginleştirme gerekliliği görülmektedir. Bu amaçla; ara ürün 2, 3 ve 4 birleştirilerek tekrar sallantılı masa ile zenginleştirilme testi yapılmıştır. Zenginleştirme testi sonuçları Çizelge 5.11’de sunulduğu gibidir.

Çizelge 5.11. KYS alt akım masa ara ürünlerinin tekrar zenginleştirilmesi

Ara Ürün Masa Testi	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Konsantre	12.67	50.64	35.29	641.53	12.67	641.53	50.64	35.29
Ara ürün	28.15	26.40	40.89	743.27	40.82	1384.80	33.92	76.19
Atık	59.18	7.31	23.81	432.83	100.00	1817.63	18.18	100.00
	100.00	18.18	100.00	1817.63				

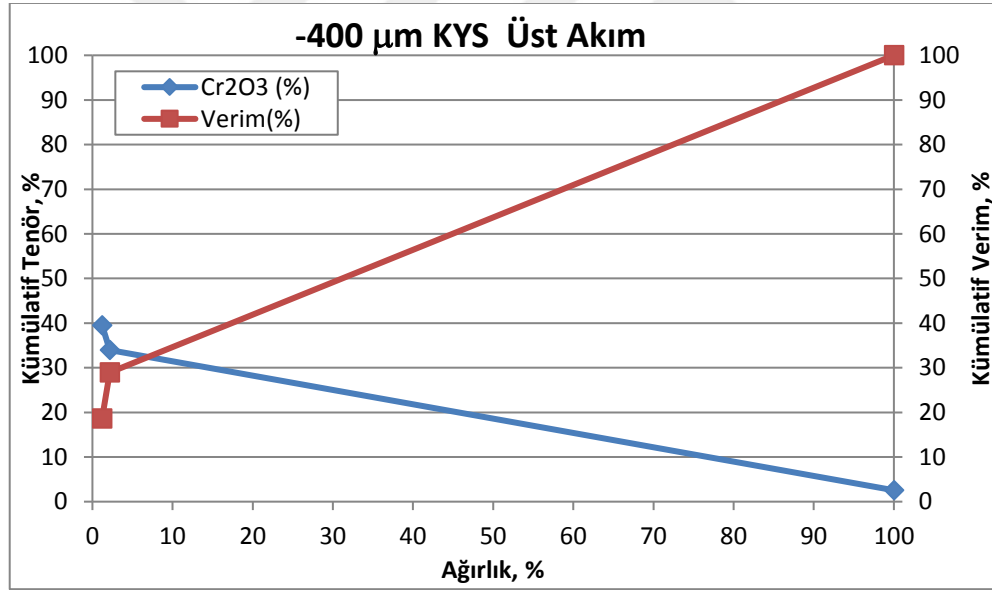
Ara ürünlerin karıştırılmasıyla elde edilen sallantılı masa beslemesi %19 Cr₂O₃ içeriklidir. Test sonucunda ağırlıkça %12’lik bir konsantre; %50 Cr₂O₃ tenörü ve %35 verimle kazanılabilmektedir. Elde edilen ara ürün ağırlıkça %28’lik ve %26 Cr₂O₃ tenörlü olmaktadır.

KYS üst akımına yapılan sallantılı masa sonuçları Çizelge 5.12’te verilmektedir.

Çizelge 5.12. -400 μm için KYS üst akımı sallantılı masa sonuçları

KYS Üst Akım	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	Birim Cr_2O_3	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr_2O_3	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)
Konsantre	1.20	39.51	18.64	47.59	1.20	47.59	39.51	18.64
Ara ürün	0.97	27.04	10.31	26.32	2.18	73.92	33.93	28.96
Atık	97.82	1.85	71.04	181.35	100.00	255.26	2.55	100.00
	100.00	2.55	100.00	255.26				

Bu akışın besleme tenörü %2.55 civarında olup oldukça ince taneleri içermektedir. Özellikle ince tane boyunda sallantılı masa çok etkin bir şekilde çalıştırılmamakta ve bu da kromit kaybını artırmaktadır. Kromitin atık ürününden %71 oranıyla kaybedildiği görülmektedir. Alınan konsantre tenörü %39.5’da kalmış, kromit verimi ise ancak %18 düzeyinde olmuştur. Yapılan testin verim-tenör grafiği Şekil 5.15’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.15. -400 μm KYS üst akımı sallantılı masa testi kümülatif verim-tenörü

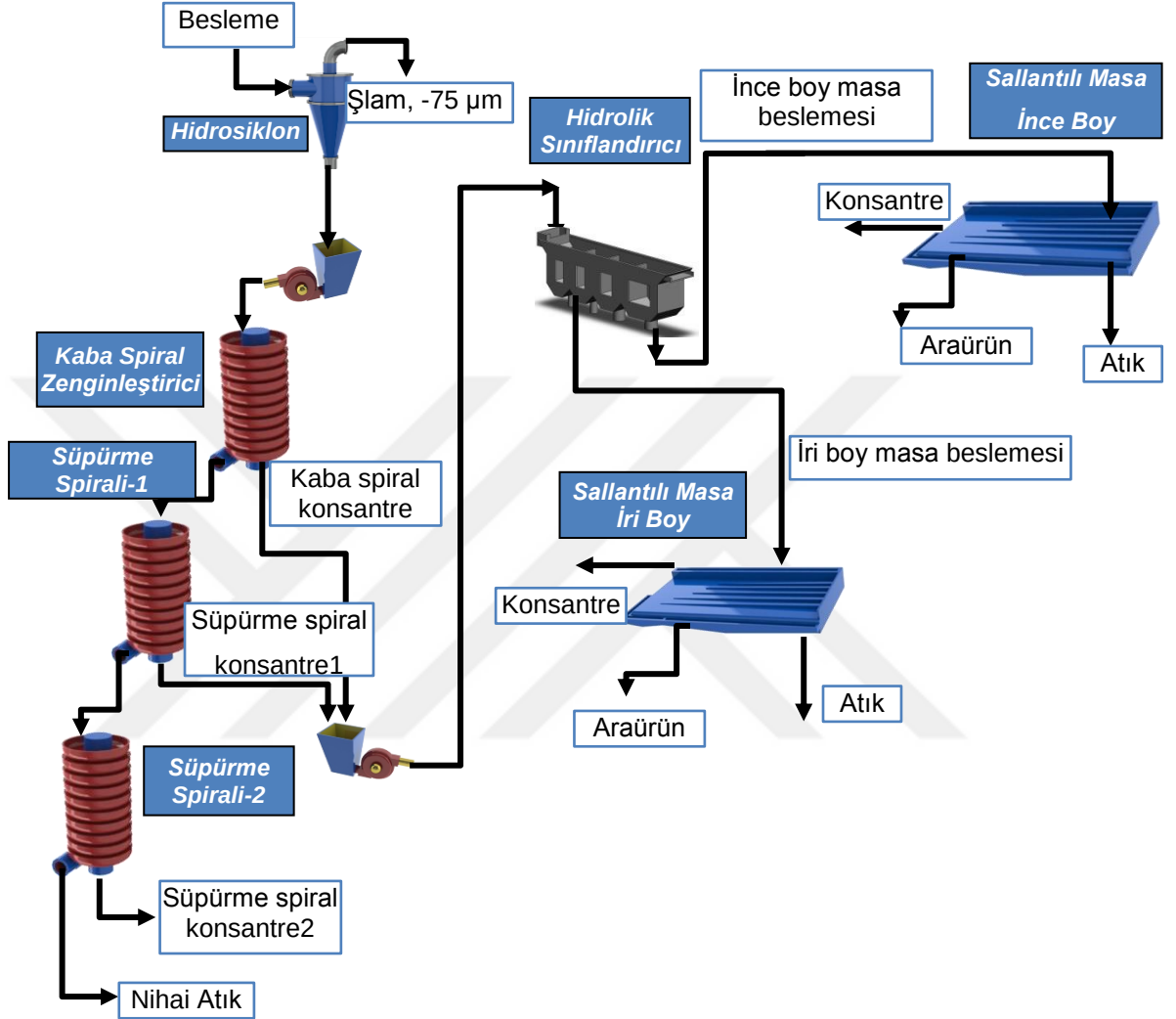
-400 µm tane boyu için yapılan sallantılı masa testlerinin tüm aşamaları ana beslemeye göre yüzde dağılım şeklinde hesaplanmış ve Çizelge 5.13'te özetlenmiştir. KYS alt ve üst akımlarına yapılan masa testlerinin yanı sıra ara ürünlerin de tekrar zenginleştirilmesiyle elde edilen toplam konsantrenin ağırlıkça miktarı %4.17 olmaktadır. Bu konsantrenin tenörü %49.5, kromit verimi ise %41.89'dur.

Çizelge 5.13. -400 µm için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti

-400 µm sallantılı masa ana beslemeye göre				
	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Birim Cr₂O₃	Verim (%)
Ana Besleme	100.00	4.94	493.66	100.00
İnce Malzeme (Şlam)	27.30	1.77	48.31	9.79
İri Malzeme	72.70	6.13	445.35	90.21
KYS				
Alt Akım	41.98	8.74	366.93	74.33
Üst Akım	30.72	2.55	78.42	15.89
Sallantılı Masa- KYS Alt Akım				
Konsantre	2.68	50.48	135.24	27.39
Ara ürün	8.87	19.11	169.55	33.34
Atık	30.43	2.04	62.14	12.59
Toplam	41.98	8.74	366.93	74.33
Sallantılı Masa- KYS Üst Akım				
Konsantre	0.37	39.51	14.62	2.96
Ara ürün	0.30	27.04	8.09	1.64
Atık	30.05	1.85	55.71	11.29
Toplam	30.72	2.55	78.42	15.89
Sallantılı Masa- KYS Alt Akım Ara Ürün Karışımı Masa Testi				
Konsantre	1.12	50.64	56.93	11.53
Ara ürün	2.50	26.40	65.96	13.36
Atık	5.25	7.31	38.41	7.78
Toplam	8.87	18.18	161.30	32.67
Toplam Konsantre	4.17	49.55		41.89

5.2.2. -400 µm için Spiral ve Sallantılı Masa Zenginleştirme Test Sonuçları

-400 µm spiral zenginleştiriciyi takip eden sallantılı masa ile zenginleştirme test akış şeması Şekil 5.16'da sunulmaktadır.



Şekil 5.16. -400 µm spiral zenginleştirici ve sallantılı masa test akış şeması

Bu zenginleştirme alternatifinde sallantılı masa öncesinde spiral zenginleştiricilerle ön konsantre alımı hedeflenmiştir. Bu amaçla spirallerle hem kaba hem de süpürme zenginleştirme aşamaları uygulanmış, birleştirilen ön konsantre hidrolik sınıflandırıcıda tane boyu gruplarına ayrılarak sallantılı masalarda nihai zenginleştirmeye tabi tutulmuştur. Spiralde kaba zenginleştirme testine tabi tutulan şlamı atılmış malzemenin ön zenginleştirme test sonuçları Çizelge 5.14'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.14. Kaba spiral zenginleştirme sonuçları

Kaba Spiral	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Kaba Konsantre	17.82	25.61	74.40	456.24	17.82	456.24	25.61	74.40
Kaba Atık	82.18	1.91	25.60	156.97	100.00	613.21	6.13	100.00
	100.00	6.13	100.00	613.21				

Elde edilen sonuçlara göre malzemenin yaklaşık %17.8'i, %74.4 kromit verimi ve %25.61 Cr₂O₃ tenörü ile kaba konsantre olarak alınmaktadır. Atığa giden kısmın Cr₂O₃ tenörü %1.91, verim ise %25.6'dır.

Kaba zenginleştirme sonucunda elde edilen atık spiral süpürme aşamasıyla bir kademe daha zenginleştirilmiştir ve test sonuçları Çizelge 5.15'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Birinci süpürme spirali zenginleştirme sonucu

Birinci Süpürme Spirali	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Süpürme Kons.1	3.90	18.84	38.45	73.53	3.90	73.53	18.84	38.45
Süpürme Atık	96.10	1.22	61.55	117.71	100.00	191.24	1.91	100.00
	100.00	1.91	100.00	191.24				

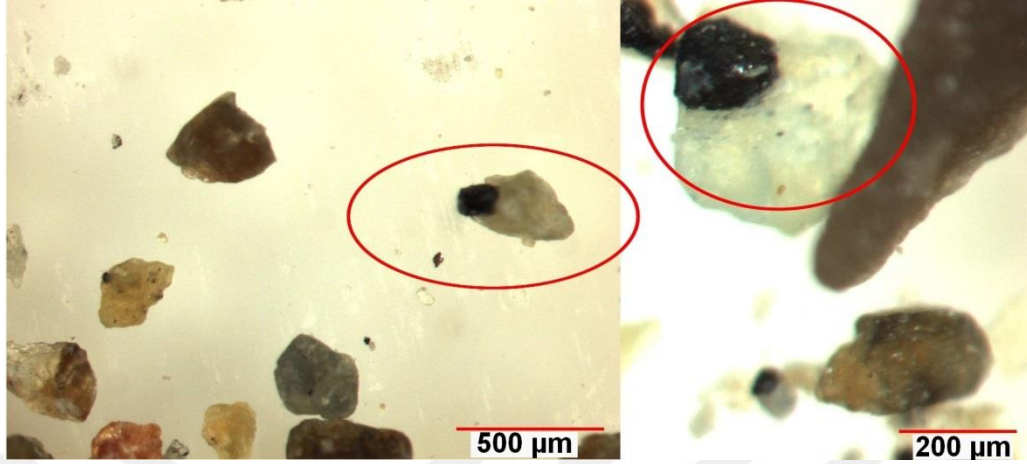
Bu aşamada, yaklaşık %19 tenörlü bir konsantre daha elde edilmiştir. Bu konsantrenin de kromit verimi %38'dir. Süpürme atığından kazanılabilecek bir kısım olup olmadığını görmek amacıyla, bir aşama daha süpürme zenginleştirme yapılmıştır. Test sonuçları Çizelge 5.16'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.16. İkinci süpürme spirali zenginleştirme sonucu

İkinci Süpürme Spirali	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Süpürme Kons.2	4.79	9.70	39.63	46.51	4.79	46.51	9.70	39.63
Nihai Atık	95.21	0.74	60.37	70.85	100.00	117.36	1.17	100.00
	100.00	1.169	100.00	116.92				

İkinci aşama süpürme zenginleştirme sonrasında ağırlıkça yaklaşık %5 oranında ve %10 tenörde bir ürün daha elde edildiği görülmektedir. Uygulanan ikinci aşama süpürme zenginleştirmesinin özellikle atık tenörü üzerinde etkili olduğu ve tenörün %0.74'e kadar indirilebildiği belirlenmiştir. Nihai atık ürünü stereomikroskop altında incelendiğinde metal kaybının bağlı tanelerden kaynaklandığı görülmüş ancak çok

düşük bir değer olduğundan zenginleştirme performansını olumsuz etkilememiştir. Şekil 5.17’de nihai atığın stereomikroskop görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 5.17. Süpürme spirali nihai atık stereomikroskop görüntüsü

Kaba zenginleştirme spiral konsantresi ile birinci aşama süpürme spiral konsantreleri birleştirilerek hidrolik sınıflandırıcıya beslenmiştir. Hidrolik sınıflandırıcıdan elde edilen iri boy numunenin zenginleştirildiği masa test sonucu Çizelge 5.17’de verilmektedir.

Çizelge 5.17. Hidrolik sınıflandırıcı iri numuneye yapılan sallantılı masa sonucu

İri Boy Masa	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	66.90	47.25	93.72	3160.70	66.90	3160.70	47.25	93.72
Ara ürün	28.39	7.10	5.98	201.68	95.29	3362.37	35.29	99.70
Atık	4.71	2.17	0.30	10.20	100.00	3372.58	33.73	100.00
	100.00	33.73	100.00	3372.58				

Sonuçlara göre; ağırlıkça %67’lik bir konsantre %47 Cr₂O₃ tenörle ve %94 gibi oldukça yüksek bir kromit verimiyle elde edilebilmektedir. Atığın tenörü %2 olmasına karşın, atıktaki metal kaybı oldukça düşük bir değer olan %0.30 olarak bulunmuştur.

Hidrolik sınıflandırıcı ince numunesinin işlendiği masa test sonuçları Çizelge 5.18’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.18. Hidrolik sınıflandırıcı ince numunesine yapılan sallantılı masa testi

İnce Boy Masa	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	24.98	47.66	86.86	1190.72	24.98	1190.72	47.66	86.86
Ara ürün	19.67	4.85	6.96	95.35	44.65	1286.07	28.80	93.81
Atık	55.35	1.53	6.19	84.80	100.00	1370.88	13.71	100.00
	100.00	13.71	100.00	1370.88				

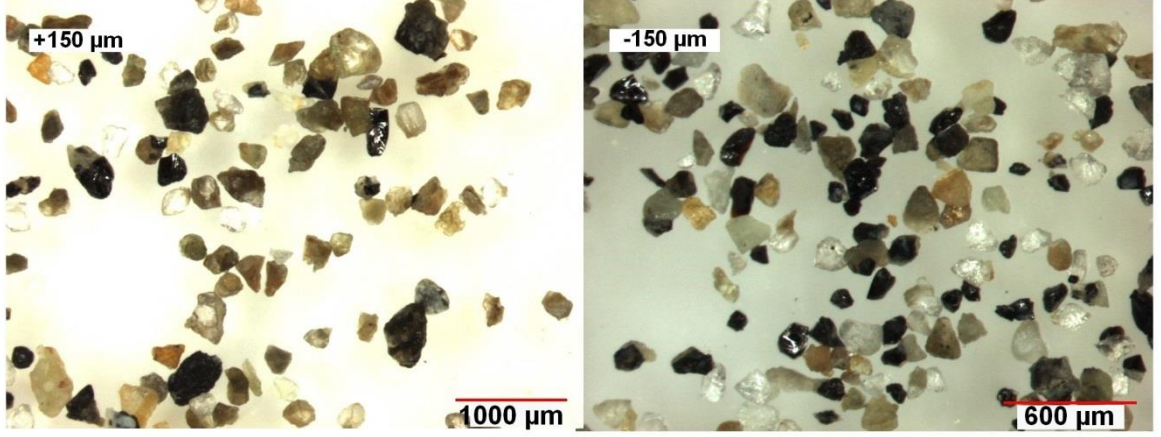
Test sonuçlarına göre; %25 ağırlıkça konsantre yaklaşık %48 Cr₂O₃ tenörüyle ve %87 metal verimiyle kazanılmaktadır. Atık tenörü ise %1.53 olup kromit kaybı %6 civarındadır.

-400 µm tane boyunda spiral zenginleştirici ve sallantılı masa testlerinin tüm aşamaları ana beslemeye göre yüzde dağılım şeklinde hesaplanmış ve Çizelge 5.19'da özetlenmiştir. Herhangi bir akışın geri döndürülmediği bu koşulda toplam konsantre miktarı %6.35, Cr₂O₃ tenörü %50 ve metal verimi de %68'dir.

Çizelge 5.19. -400 µm spiral ve sallantılı masa zenginleştirme özeti

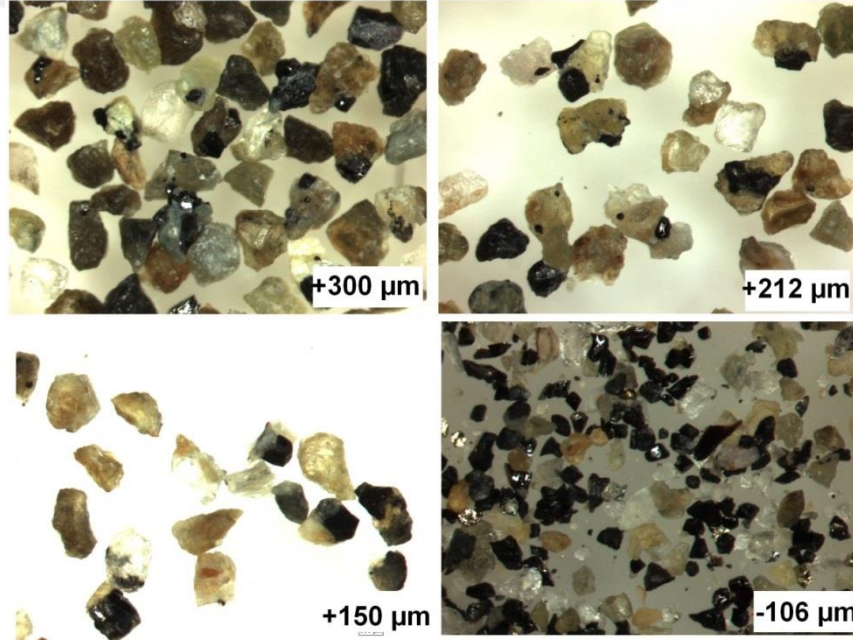
-400 µm spiral ve sallantılı masa ana beslemeye göre				
	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Birim Cr₂O₃	Verim (%)
Ana Besleme	100.00	4.69	469.31	100.00
Şlam (-75 µm)	32.47	1.73	56.17	11.96
Spiral Besleme	67.53	6.11	412.61	88.04
Kaba Konsantre	12.32	24.67	303.93	64.81
Kaba Atık	55.22	1.97	108.78	23.23
Süpürme Konsantre	2.24	13.35	43.34	9.26
Süpürme Atık	52.97	1.24	65.68	13.98
Toplam Spiral Konsantre (Hidrosizer Besleme)	14.56	23.85	347.26	74.06
Hidrolik Sınıflandırıcı (HS)				
HS İri Ürün	6.10	36.84	224.72	47.92
HS İnce Ürün+Şlam	8.46	14.49	122.59	26.14
Toplam	14.56	23.85	347.31	74.06
HS İri Ürün Sallatılı Masa				
Konsantre	4.17	50.89	212.21	47.92
Ara ürün	1.65	7.13	11.76	2.52
Atık	0.27	2.17	0.59	0.13
Toplam	6.09	36.85	224.57	47.93
HS İnce Ürün Sallantılı Masa				
Konsantre	2.18	49.38	107.65	22.91
Ara ürün	1.66	4.86	8.07	1.72
Atık	4.63	1.53	7.09	1.51
Toplam	8.47	14.50	122.81	26.14
Süpürme Atık Spiral				
Konsantre+Ara Ürün	2.64	10.03	26.48	5.65
Atık	50.33	0.78	39.26	8.33
Toplam	52.97	1.24	65.74	13.98
Toplam Konsantre	6.35	50.37		68.19

İkinci aşama süpürme spiralinin konsantresi ile iri ve ince boy masalarından elde edilen ara ürünlerin tekrar zenginleştirilmeye ya da öğütmeye ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi amacıyla serbestleşme durumları Stereomikroskop ile incelenmiştir. İkinci aşama süpürme spiralinin konsantresinin stereomikroskop görüntüleri Şekil 5.18’de sunulduğu gibidir.



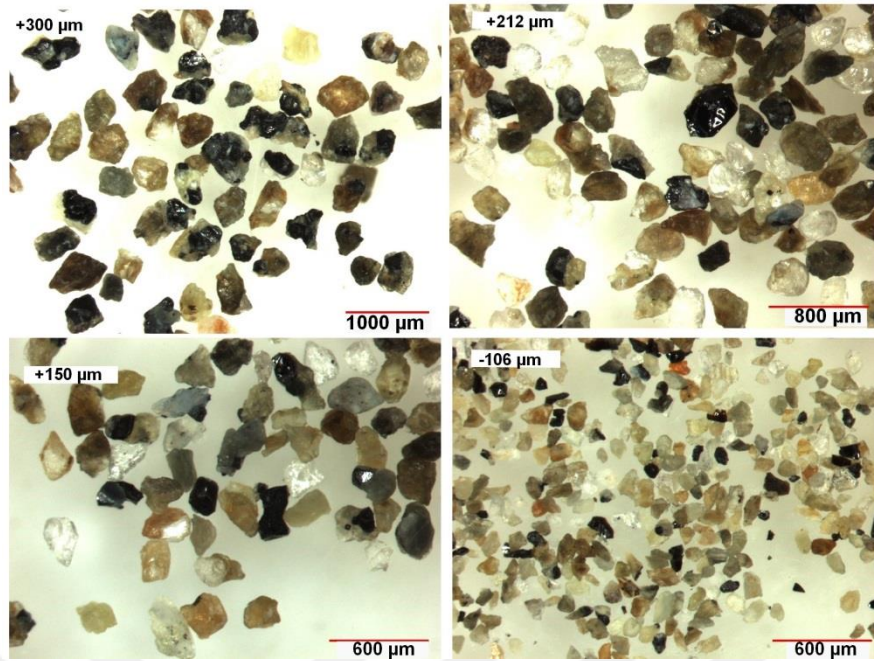
Şekil 5.18. İkinci aşama süpürme spirali konsantresi stereomikroskop görüntüsü

İri boy sallantılı masa ara ürünü stereomikroskop görüntüleri Şekil 5.19’da sunulduğu gibidir.



Şekil 5.19. İri boy masa testi ara ürünü fraksiyonel stereomikroskop görüntüsü

İnce boy sallantılı masa ara ürünü stereomikroskop görüntüleri Şekil 5.20’de sunulduğu gibidir.



Şekil 5.20. İnce boy masa testi ara ürünü fraksiyonel stereomikroskop görüntüsü

Bu ürünlere yapılan serbestleşme analiz sonuçları Çizelge 5.20'de verilmektedir.

Çizelge 5.20. -400 µm spiral konsantre ve masa ara ürünlerin serbestleşme verileri

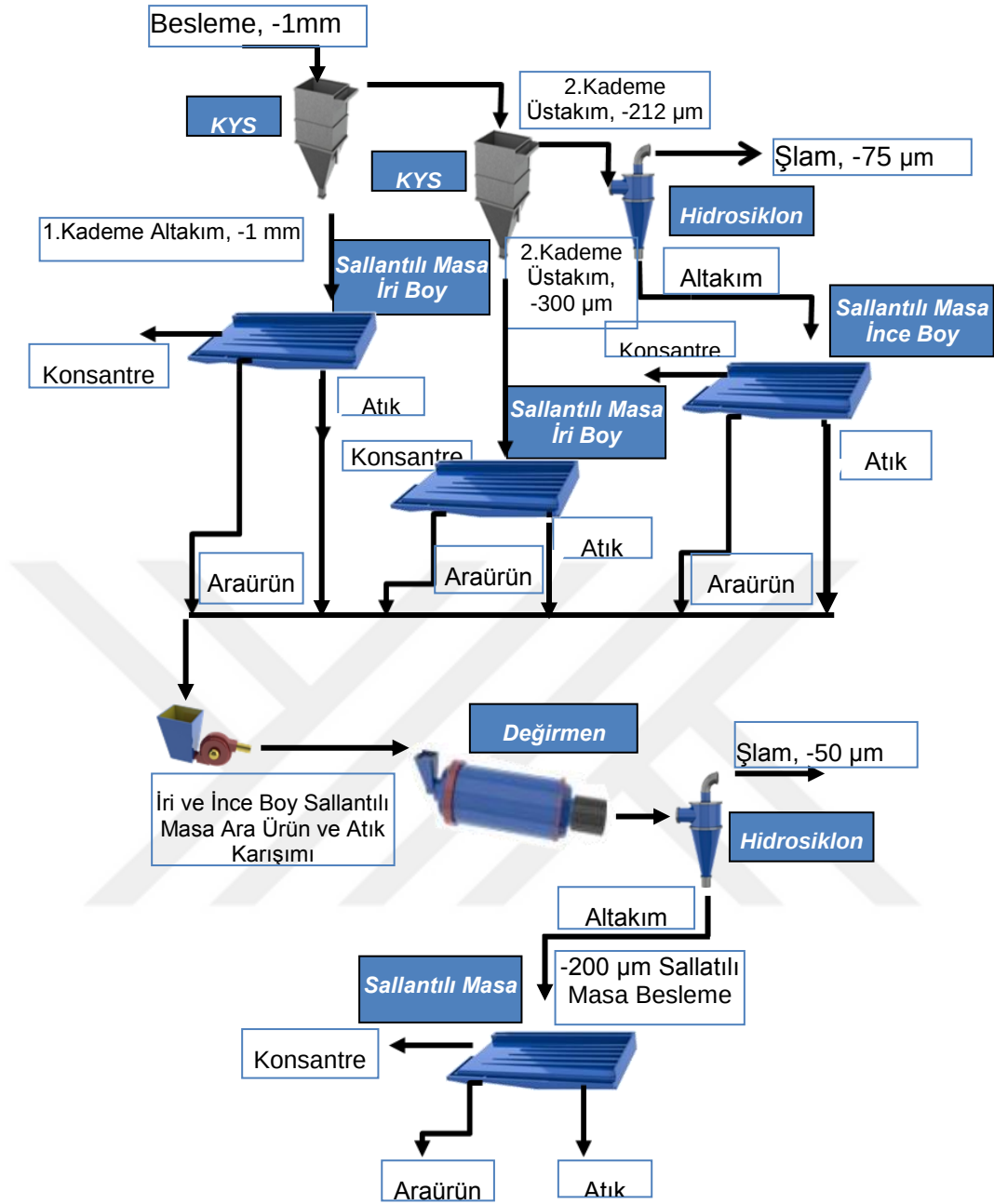
Numune	Tane Boyu (µm)	Ağırlık (%)	Serbestleşme Derecesi (%)
İri Boy Masa Ara Ürünü	-425+300	48.18	19.20
	-300+212	34.22	28.42
	-212+150	12.56	26.78
	-150+106	3.96	68.92
	-106	1.08	94.87
	100.00		
İnce Boy Masa Ara Ürünü	-425+300	4.21	11.00
	-300+212	13.01	16.63
	-212+150	28.18	22.04
	-150+106	29.83	33.56
	-106	24.77	87.22
	100.00		
Sürürme Spirali Konsantre 2	+150	71.70	33.74
	-150	28.30	89.24
	100.00		

Serbestleşme verilerine göre; iri boy masa ara ürünündeki kromit taneleri -150 µm'dan itibaren serbestleşmeye başlamaktadır. İnce boy masa ara ürününde 106 µm'un altında serbestleşmenin olduğu, ikinci aşama süpürme spiralinin konsantresinde ise -150 µm'da kromitin serbestleştiği görülmektedir.

Sonuçlar doğrultusunda; özellikle ara ürünleri tekrar öğüterek başka bir zenginleştirme alternatifinin de denenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu amaçla; -1 mm tane boyunda yapılan zenginleştirme işlemine tekrar öğütme aşaması eklenerek farklı bir zenginleştirme testi daha yapılmıştır.

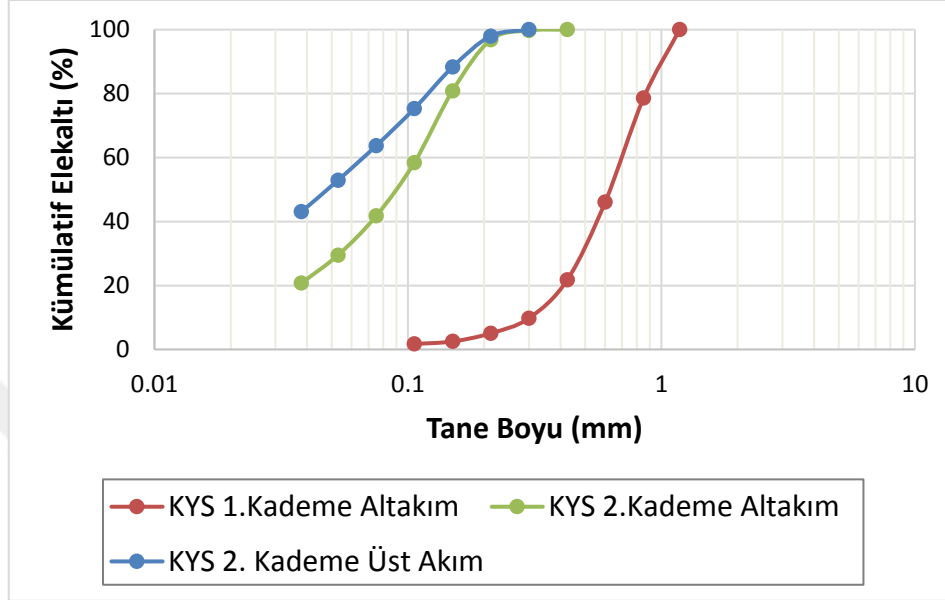
5.3. Ara Ürünlerin Öğütülerek Zenginleştirildiği Test Sonuçları

Bilindiği üzere kırma ve öğütme devreleri tesislerde en çok enerji harcanan ve maliyetin en yüksek olduğu kısımlardır. Bu aşamada cevher öğütülebilecek en üst boyuta öğütülerek elde edilecek konsantre alındıktan sonra kalan ürünlerin tekrar öğütülmesi hem maliyet açısından hem de cevher içerisindeki minerallerin gereğinden fazla öğünmemesi açısından yarar sağlamaktadır. -1 mm tane boyuna yapılmış zenginleştirme test sonuçlarının gösterdiği üzere KYS ile dar tane boyu gruplarına ayrılmış üç fraksiyonun sallantılı masalar ile zenginleştirilmesiyle elde edilen konsantreler satılabilir tenörde konsantrelerdir. -400 µm tane boyunda yapılan spiral ve masa zenginleştirme testindeki ara ürün kromit serbestleşme verileri ise 150 µm boyunun altında serbestleşmenin arttığını göstermiştir. Her ne kadar serbestleşme verileri 150 µm tane boyunu işaret etse de, tanelerin fazla incelmesiyle oluşabilecek atık kaybını da düşünerek tekrar öğütme boyunun yaklaşık 200 µm olmasına karar verilmiştir. Bu bilgi ışığında aynı aşamadaki sallantılı masa ara ürünleri 200 µm tane boyu altına indirilerek tekrar sallantılı masalarla zenginleştirilmiştir. Test akış yöntemi Şekil 5.21'de sunulmaktadır.



Şekil 5.21. Ara ürün ve atıkların öğütülerek zenginleştirildiği test akış yöntemi

KYS ile sınıflandırılmış ürünlerden numune alınarak tane boyu dağılımlarını ve kromit içeriğini belirlemek için yaş elek analizi ve titrasyon yapılmıştır. Elde edilen ürünlerin elek analizleri sonucunda tane boyu dağılımı Şekil 5.22’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.22. KYS ürünleri boyut dağılımı

-1 mm tane boyundaki numunenin KYS ile sınıflandırılması sonucunda elde edilen tane boyu gruplarının kromit içeriği, verimi ve ağırlıkça dağılımı Çizelge 5.21’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.21. -1 mm KYS ürünlerinin tenör ve verim değerleri

	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (birim)	Dağılım (%)
Besleme	100.00	5.20	520.19	100.00
KYS 1.kademe alt akım	47.62	7.07	336.73	64.73
KYS 2.kademe alt akım	14.64	5.99	87.63	16.85
KYS 2.kademe üst akım	19.01	3.03	38.22	7.35
Şlam	18.73	2.04	57.60	11.07

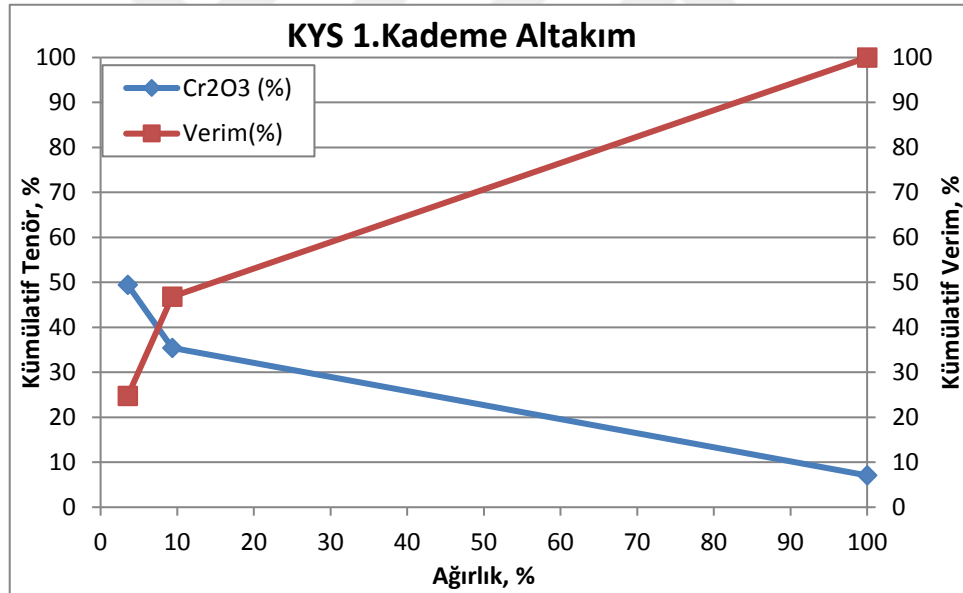
Buna göre besleme tenörü %5.20 olarak belirlenmiş, KYS birinci kademe sonunda alınan alt akımla bu değer %7.07’e çıkmıştır. Ağırlıkça %47’lik bir malzeme ~%65 metal verimiyle alt akım olarak alınmıştır. Malzemenin yaklaşık %18.73’ü şlam fraksiyonunda ve %2.04 Cr₂O₃ içeriğindedir.

KYS birinci kademe alt akımına yapılan sallantılı masa test sonuçları ışığında, bu boy grubundan %49.44 Cr_2O_3 tenörüne sahip bir konsantre %24 metal verimiyle elde edilebilmektedir. Elde edilen ara ürün %26.92 Cr_2O_3 içeriğine sahiptir. Atığın % Cr_2O_3 tenörü ise 4.15 olarak belirlenmiş ve atıktaki metal kaybı %53.20'dir. Test sonuçları Çizelge 5.22'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.22. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa sonuçları

1.kademe KYS Alt Akım	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	Birim Cr_2O_3	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr_2O_3	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	3.54	49.44	24.73	174.89	3.54	174.89	49.44	24.73
Ara ürün	5.80	26.92	22.07	155.06	9.33	330.95	46.80	46.80
Atık	90.67	4.15	53.20	376.21	100.00	707.15	7.07	100.00
Toplam	100.00	7.07	100.00	707.15				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör grafiği Şekil 5.23'te gösterildiği gibidir.



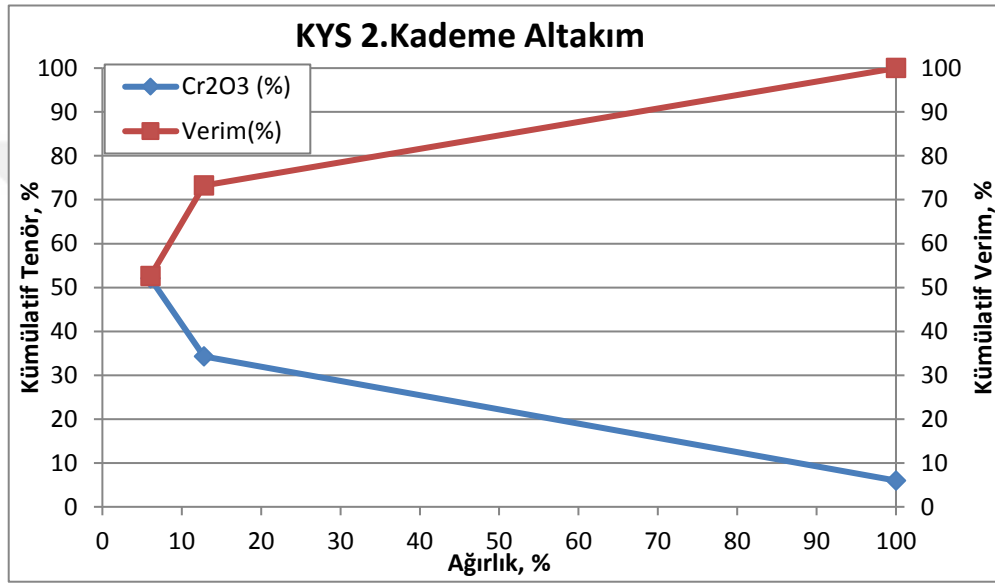
Şekil 5.23. KYS 1.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

KYS'nin ikinci kademesinin alt akımına yapılan sallantılı masa sonuçları Çizelge 5.23'te verilmiştir. Bu tane boyu grubundan %51 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre %42.5 metal verimiyle kazanılabilmektedir.

Çizelge 5.23. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa sonuçları

2.kademe KYS Altakım	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	4.23	51.11	42.58	216.04	4.23	216.04	51.11	42.58
Araürün	41.91	4.73	39.09	198.32	46.13	414.36	8.98	81.68
Atık	53.87	1.73	18.32	92.96	100.00	507.32	5.07	100.00
Toplam	100.00	5.07	100.00	507.32				

Test sonucu elde edilen verim-tenör grafiği Şekil 5.24'te sunulmaktadır.



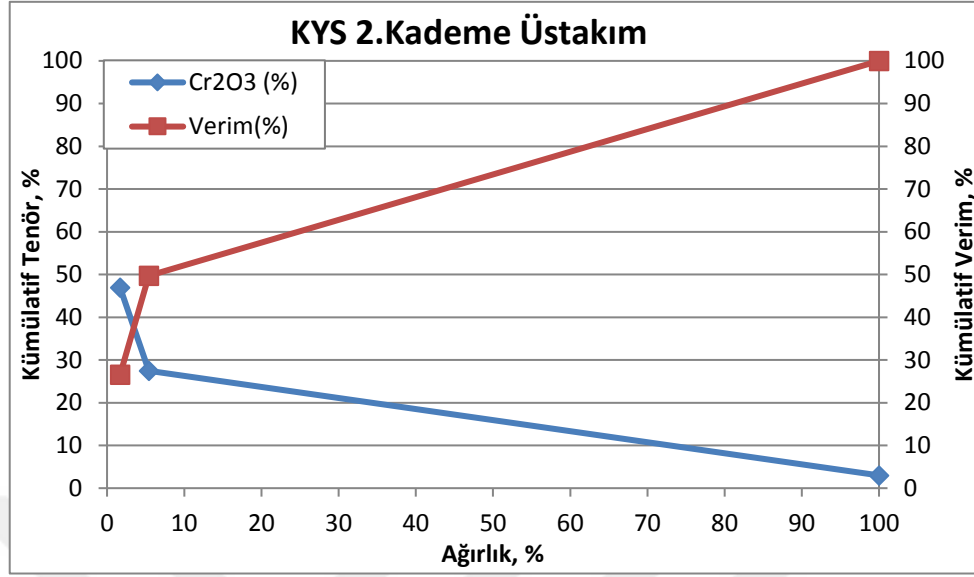
Şekil 5.24. KYS 2.kademe alt akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

KYS ikinci kademe üst akımına şlam atma işleminden sonra yapılan sallantılı masa testi sonuçları Çizelge 5.24'te verilmiştir. Elde edilen konsantrenin ağırlığı %1.69 olup Cr₂O₃ tenörü %46.91, metal verimi %26'dır. Malzemenin %94 kadarı %1.59 Cr₂O₃ tenörüyle atığa gitmektedir.

Çizelge 5.24. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa test sonuçları

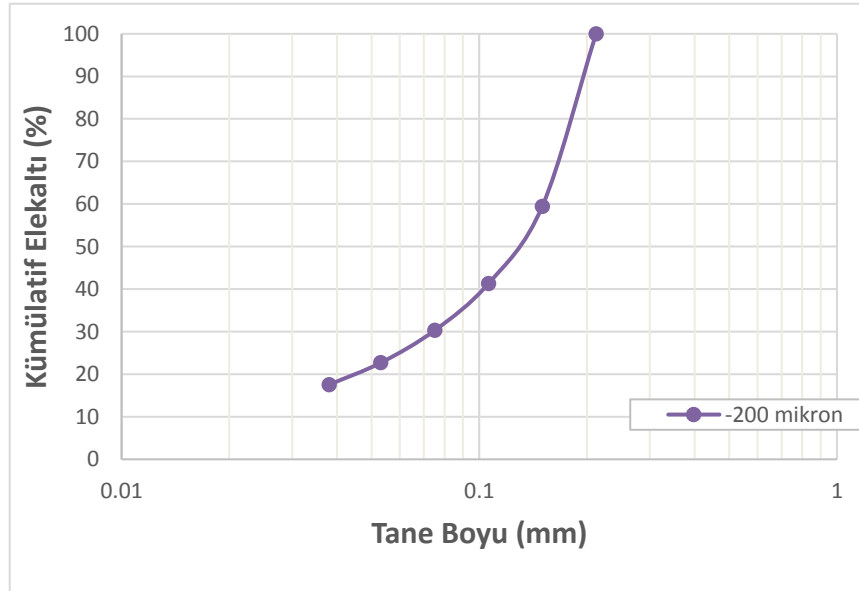
2.kademe KYS Üst Akım	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	1.69	46.91	26.57	79.47	1.69	79.47	46.91	26.57
Ara ürün	3.72	18.63	23.16	69.26	5.41	148.73	27.48	49.73
Atık	94.59	1.59	50.32	150.32	100.00	299.04	2.99	100.00
Toplam	100.00	2.99	100.00	299.04				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör ilişkisi, Şekil 5.25'te verilen ağırlığa karşı kümülatif verim-tenör grafiğindeki gibidir.



Şekil 5.25. KYS 2.kademe üst akımı sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

Her üç tane boy grubuna yapılan zenginleştirme testleri sonucu elde edilen ara ürün ve atıklar karıştırılarak kontrollü bir şekilde 200 μ m tane boyu altına indirilmiştir. -200 μ m tane boyutunda ki beslemenin tane boyu dağılımı Şekil 5.26'de sunulmaktadır.



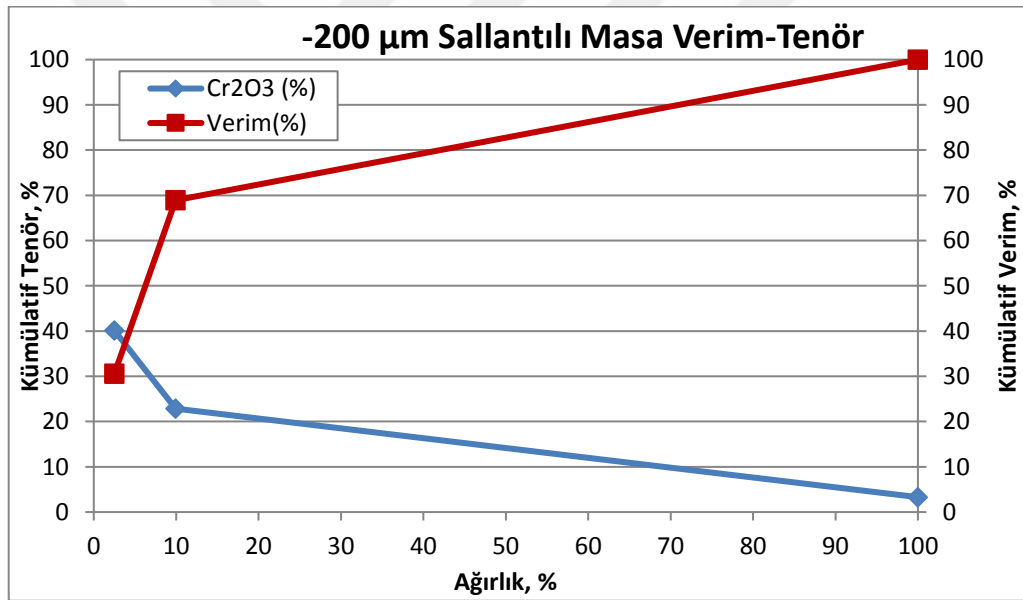
Şekil 5.26. -200 μ m boyutuna öğütülen cevherin tane boyu dağılımı

Şlam atma işlemiyle çok hafif ve ince taneler sistemden uzaklaştırılarak sallantılı masa testi yapılmıştır. Sallantılı masa test sonuçları Çizelge 5.25'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.25. -200 µm sallantılı masa test sonuçları

Ara ürün karışımı	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Kümülatif			
					Ağırlık (%)	Birim Cr ₂ O ₃	Tenör (%)	Verim (%)
Konsantre	2.51	40.13	30.60	100.70	2.51	100.70	40.13	30.60
Araürün	7.42	16.99	38.33	126.13	9.93	226.83	22.84	68.93
Atık	90.07	1.14	31.07	102.23	100.00	329.05	3.29	100.00
Toplam	100.00	3.29	100.00	329.05				

Bu test sonucu elde edilen verim-tenör ilişkisi Şekil 5.27'de verilen ağırlığa karşı kümülatif verim-tenör grafiğindeki gibidir.



Şekil 5.27. -200 µm sallantılı masa kümülatif verim-tenörü

Test sonuçlarına göre; %2.5 ağırlıkça konsantre %40 Cr₂O₃ tenörüyle ve %30 metal verimiyle kazanılmaktadır. Atık tenörü ise %1.14 olup kromit kaybı %31'dir.

-1 mm tane boyunda masa ve bu masa testlerinden elde edilen ara ürün ve atıkların -200 µm tane boyuna öğütülerek tekrar sallantılı masa ile zenginleştirilmesinin tüm aşamaları ana beslemeye göre yüzde dağılım şeklinde hesaplanmış ve Çizelge 5.26'da özetlenmiştir. Herhangi bir akışın geri döndürülmediği bu koşulda toplam konsantre miktarı %4.57, Cr₂O₃ tenörü %46.34 ve metal verimi de %50.46'dır.

Çizelge 5.26. -200 µm için yapılan sallantılı masa zenginleştirme özeti

-200 µm sallantılı masa ana beslemeye göre				
	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Birim Cr₂O₃	Verim (%)
Ana Besleme	100.00	4.20	420.2	100.00
KYS 1. Kademe Alt Akım	47.62	7.07	336.74	80.13
KYS 2. Kademe Alt Akım	14.64	5.99	87.64	20.85
KYS 2. Kademe Üst Akım	19.01	2.99	56.84	13.53
Şlam	18.73	2.04	38.22	9.09
Sallantılı Masa- KYS 1.Kademe Alt Akım				
Konsantre	1.68	49.44	83.28	19.82
Ara ürün	2.76	26.92	74.31	17.68
Atık	43.17	4.14	179.14	42.63
Toplam	47.62	7.07	336.74	80.13
Sallantılı Masa- KYS 2.Kademe Alt Akım				
Konsantre	0.88	52.06	46.08	10.97
Ara ürün	0.98	18.37	18.12	4.31
Atık	12.77	1.83	23.43	5.57
Toplam	14.64	5.99	87.64	20.85
Sallantılı Masa- KYS 2.Kademe Üst Akım				
Konsantre	0.32	46.91	15.11	3.59
Ara ürün	0.70	18.63	13.16	3.12
Atık	17.98	1.59	28.57	6.80
Toplam	19.01	2.99	56.84	13.53
Şlam	18.73	2.04	38.22	9.09
-200 µm Sallantılı Masa Testi				
Şlam	11.27	1.48	16.69	3.97
Konsantre	1.68	40.12	67.57	16.08
Ara ürün	4.98	16.99	84.63	20.14
Atık	60.43	1.13	68.95	16.32
Toplam	78.37	3.03	237.49	56.52
Toplam Konsantre	4.57	46.34		50.46

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yellice Bölgesi krom cevheri üzerine yapılmış olan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- Tüvenan numune üzerinde yapılan yaş kimyasal analiz ile numunenin kromit tenörü genel olarak ortalama %5 Cr_2O_3 olarak tespit edilmiştir.
- Yapılan mineralojik analizler sonucu cevherin %86 gibi büyük bir kısmının bir magnezyum silikat minerali olan forsteritten oluştuğu, (Mg_2SiO_4 , ortalama yoğunluk: 3.27 g/cm^3) ve diğer majör minerallerin ise yaklaşık %5 oranında brunit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$, ortalama yoğunluk: 2.39 g/cm^3) ve yaklaşık %5 oranında kromit ($\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$, ortalama yoğunluk: 4.79 g/cm^3) olduğu belirlenmiştir.
- Yapılan MLA analizi ile tüvenan numunedeki forsterit ve kromit minerallerinden her iki mineralin $-200+20 \mu\text{m}$ tane boyu aralığında %80'in üzerinde serbestleşmeye sahip olduğu saptanmıştır.
- Tüvenan cevherin daha iri boylardaki serbestleşmesini saptamak için yapılan optik mikroskop incelemeleri sonucunda, kromitin özellikle iri boylarda serbestleşme derecesinin oldukça az olduğu, ancak $-425+300\mu\text{m}$ fraksiyonunda %62 değerine çıkabildiği görülmektedir. $300\mu\text{m}$ 'dan daha ince boylarda ise bu değer yaklaşık %80'e kadar çıkmaktadır.
- Tüvenan ve -9.5 mm kırılmış cevhere yapılan ağır sıvı testleri sonucunda, tüvenan cevherde elde edilen en yüksek kromit içeriği $-5.6+1.18 \text{ mm}$ fraksiyonundaki %27 olup verim yaklaşık %20 civarında olmaktadır. Benzer eğilim -9.5 mm 'ye kırılmış cevherin $-4.75+1.18 \text{ mm}$ fraksiyonunda da görülmektedir. Sonuçlar neticesinde; bu cevherin özellikle iri boyda bir zenginleştirme yapmaya uygun olmadığı, tenörün en yüksek %28 olduğunda verimin ise %20'de kalacağı belirlenmiştir.

Cevherin iri tane boyunda verimli bir şekilde zenginleştirilemeyeceğinin belirlenmesi üzerine, çalışmalara öncelikle -1 mm ve sonrasında -400 μm ve -200 μm tane boyları ile devam edilmiştir.

- Cevher -1mm tane boyuna kırılıp sallantılı masa ile zenginleştirildiğinde elde edilecek toplam konsantre %3.8 ağırlığında olup, %49.8 Cr_2O_3 tenörüne ve %37.6 metal kazanma verimine sahip olacağı tespit edilmiştir.
- 400 μm tane boyu altına kırılmış numunenin sadece sallantılı masa ile zenginleştirme testlerinden elde edilen verilere göre, cevherin ağırlıkça %4.2'si %49.5 Cr_2O_3 tenörüyle ve %42 metal kazanımıyla konsantre olarak alınabilmektedir. Ancak bu durumda ara ürünlerin de tekrar zenginleştirilmesi gerektiği ve gerekli sallantılı masa sayısının oldukça fazla olacağı belirlenmiştir.
- -400 μm boyu için spiral zenginleştirici ve sallantılı masanın birlikte kullanıldığı diğer alternatif test çalışmasında ise, cevherin ağırlıkça %50'si %0.78 Cr_2O_3 tenörüyle spirallerle uzaklaştırılmaktadır. Sallantılı masada işlenecek kısım, cevherin %14.5'i kadar olup spiralle ön zenginleştirme aşamasındaki toplam kromit verimi (masa beslemesinde) %74'tür. Spiralden elde edilen ön konsantrenin iri boyun işlendiği masa testlerinde ağırlıkça %67'lik bir konsantre %47 tenörle ve %94 gibi oldukça yüksek bir kromit verimiyle elde edilebilmektedir. İnce boyun işlendiği masa test sonucuna göre ise %25 ağırlıkça konsantre ~%48 tenör ve %87 kromit verimiyle kazanılmaktadır. Tüm testler sonucunda ana besleme miktarına göre alınan konsantrenin miktarı ağırlıkça %6.5, tenörü %50 ve metal verimi de %69 olmuştur.
- 1 mm tane boyu altına kırılmış numunenin sallantılı masa testine tabi tutulduktan sonra ara ürün ve atıkların karıştırılıp serbestleşme verilerine göre öğütme boyu olarak 200 μm tane boyu altına tekrar öğütülmesine karar verilmiştir. Öğütülen numunenin zenginleştirme testi sonucunda, toplam konsantre %4.58 ağırlığında olup, %46.34 Cr_2O_3 tenörüne ve %50.46 metal kazanma verimine sahip olacağı bulunmuştur. Mineral serbestleşme derecesinin artmasına rağmen beklenen tenör ve verimde konsantre elde edilememiştir. Bu durumun nedeni, ince tane boyuna sahip

sallantılı masa beslemesinin masa performansını olumsuz etkileyerek ayırım olanağını güçleştirmesidir.

- Yapılan zenginleştirme testleri sonucu elde edilen toplam konsantre ve şlam dahil toplam atık verileri Çizelge 6.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 6.1. Zenginleştirme test sonuçları özeti

		Ağırlık (%)	Cr2O3 (%)	Verim (%)
-1 mm Sallantılı Masa	Konsantre	3.82	49.82	37.58
	Atık	56.21	1.34	14.80
-400 µm Sallantılı Masa	Konsantre	4.17	49.55	41.89
	Atık	93.03	2.19	41.44
-400 µm Spiral+Sallantılı Masa	Konsantre	6.35	50.37	68.19
	Atık	88.13	1.13	21.20
Ara Ürün ve Atıklar Ögütülerek (-1mm)	Konsantre	4.57	46.34	50.46
	Atık	90.44	1.36	29.39

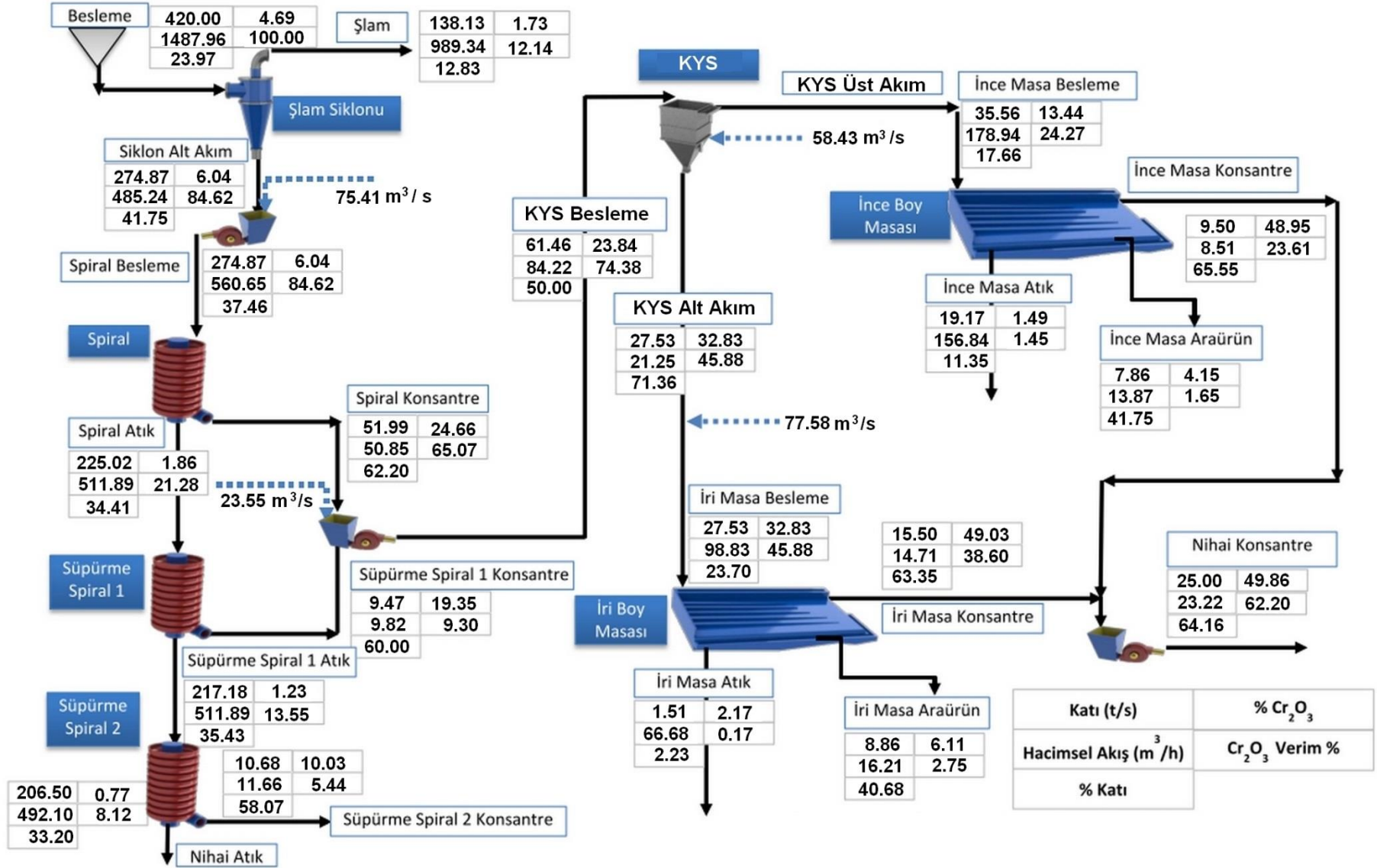
Farklı tane boyları için yapılan zenginleştirme testlerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde ortaya çıkan sonuçlar ise aşağıda özetlendiği gibidir.

- Sallantılı masayla -1 mm malzeme ile yapılan zenginleştirme testlerinde, atıkta kromitin bağlı kaldığı açıkça görülmüştür. Ara ürünlerin tekrar zenginleştirilmesi sonucunda da fazla bir değişiklik meydana gelmediği belirlenmiştir.
- Zenginleştirme için uygun tane boyunun -400 µm olduğu belirlenmiştir.
- 400 µm ile yapılan sallantılı masa testlerinde de tek kademe keskin bir ayırım gözlenmemiş, ara ürünlerin tekrar zenginleştirilmesinin gerekeceği sonucu bulunmuştur. Bu durum gerekli sallantılı masa sayısını çok artırmaktadır. -400 µm tane boyu dağılımı ve işlenecek tonaj dikkate alınarak yapılan hesaplar sonucunda; bu dağılımın iri boyunun işlenmesi için 242 adet, ince boyun işlenmesi için ise 272 adet sallantılı masa kullanılması gerekmektedir. Bu da toplamda 514 adet sallantılı masa kullanımı anlamına gelmektedir.

- Sallantılı masaların tek kademe ayırımında spiral zenginleştirmeye oranla daha başarılı ayırım yaptığı bilinmekte birlikte işletim zorlukları, kısıtlı kapasiteleri gibi dezavantajları vardır. İşletimi daha basit olan spiral zenginleştiricilerle birlikte kullanıldıklarında tesiste kullanılacak masa sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. -400 μm 'ye öğütülen cevherle yapılan spiral testlerinde üç kademe sonunda atık tenörü %0.77 Cr_2O_3 değerine düşürülmüştür. Bu durumda, spirale beslenen malzemenin %75'i atık olarak uzaklaştırılmakta ve böylece sallantılı masa devresine beslenecek malzeme önemli miktarda azalarak orijinal beslemenin %15'i olmaktadır. Böylece ön zenginleştirme sonucu elde edilen atığın zenginleştirme devresine girmeden sistemden ayrılması, sallantılı masa zenginleştirme devresinde gerekli masa miktarını önemli ölçüde azaltacağına işaret etmektedir.

Elde edilen sonuçlardan Çizelge 6.1'de de görüldüğü gibi, akım şeması tasarımına yönelik en iyi alternatifin spiral zenginleştirici ve bunu takiben sallantılı masa olduğu belirlenmiştir. Ara ürünlerin tekrar öğütülüp zenginleştirilmesiyle kromit kazanımında önemli bir artış sağlanamadığının görülmesi üzerine önerilen akım şemasının kütle, hacimsel akış ve metal denkliği yapılmıştır. Hesaplamalarda JKSimMET 6.0.1 kütle denkliği programı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.1'de sunulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonunda varılan sonuçlar; ince öğütme yapılsa bile tek kademede sallantılı masalarda yeterli verim sağlanamayacağını, ara ürünlerin bir kademe daha işlendikten öğütülmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durum tesiste çok fazla sayıda sallantılı masa gerektirmekte ve akım şemasını karmaşıktırmaktadır. Diğer yandan spiral testleri özellikle atığın tekrar işlenmesiyle oldukça verimli bir şekilde ön zenginleştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

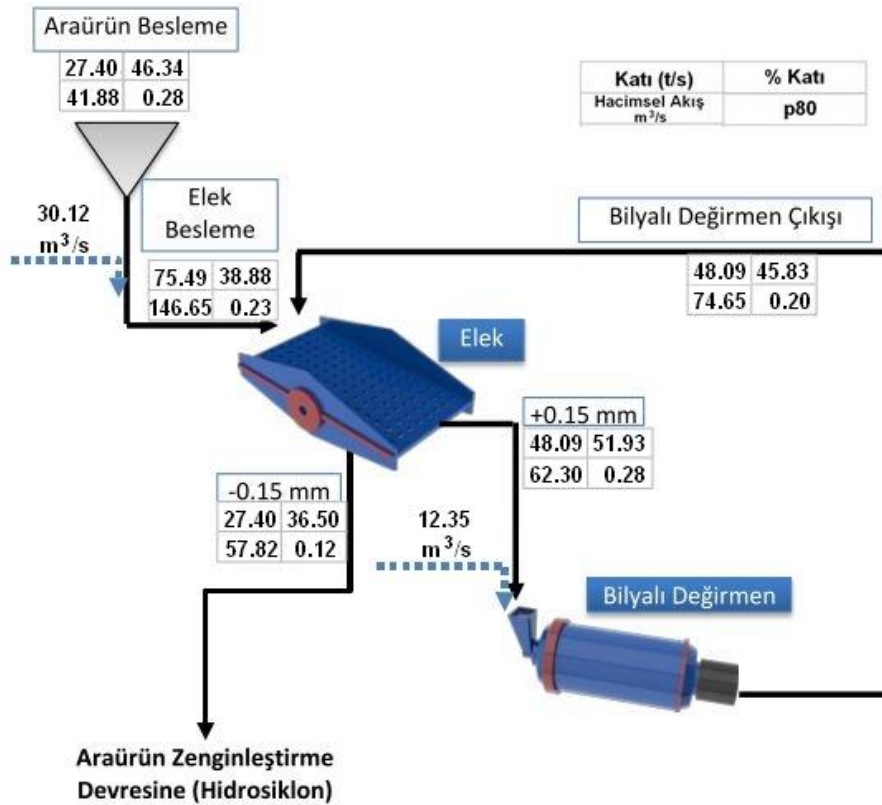


Şekil 6.1. Zenginleştirme devresi madde denklği

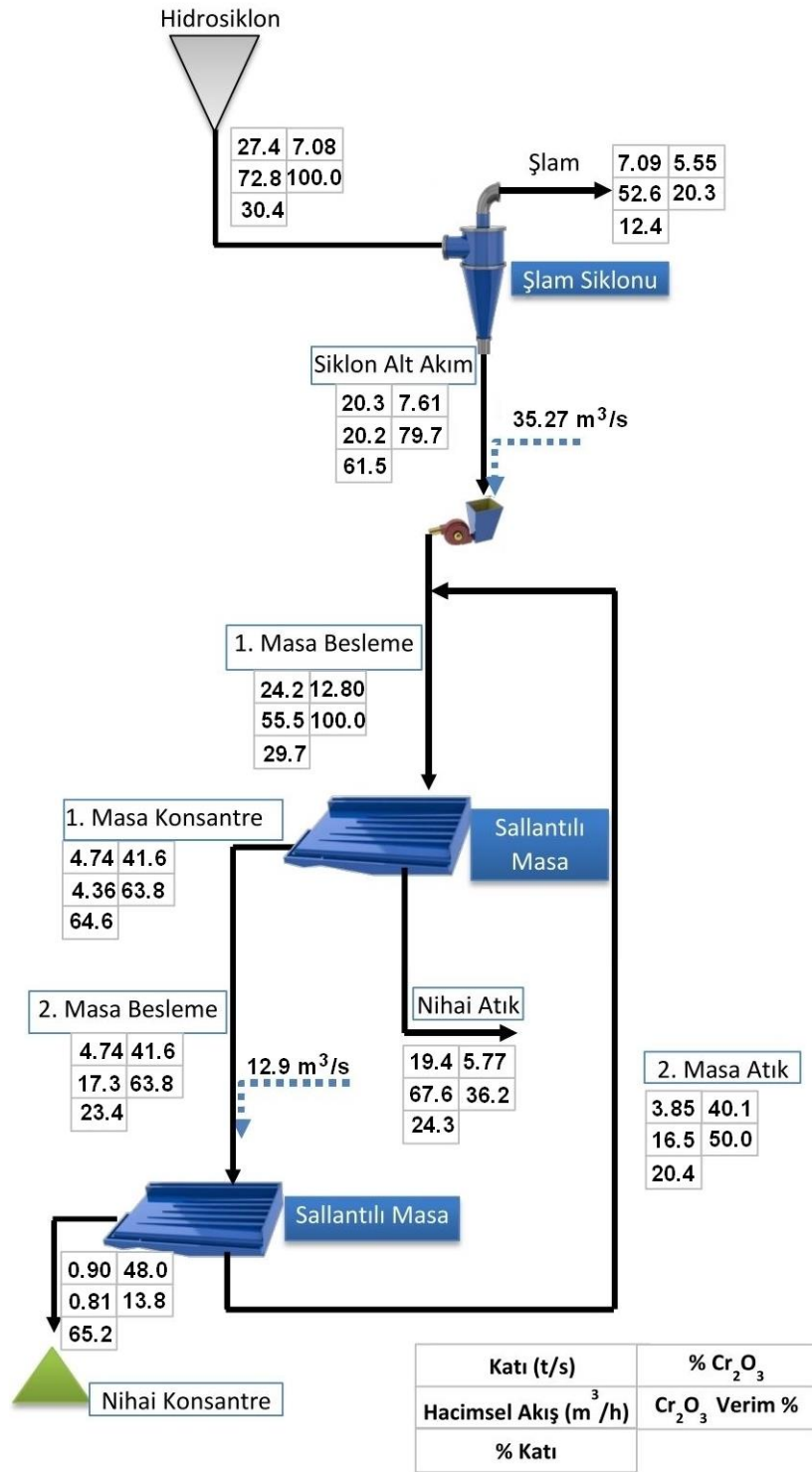
Önerilen zenginleştirme akım şemasına göre; %100'ü -400 μm 'ye öğütülen cevher, şlam atıldıktan sonra birinci aşama spirallere beslenmekte, konsantre hidrolik sınıflandırıcıya giderken atık ikinci aşama spirallere beslenmektedir. İkinci aşama spiral konsantresi yine hidrolik sınıflandırıcıya beslenmekte, atık üçüncü aşama yakalama spirallerine beslenmektedir.

Hidrolik sınıflandırıcıda iri ve ince olmak üzere sınıflandırılan spiral konsantresi sallantılı masalara beslenmekte, nihai konsantre ve atık alınmaktadır. İri ve ince boy sallantılı masa ara ürünleri ve üçüncü aşama yakalama spiralinin konsantresi birleştirilerek ara ürün öğütme devresine gitmektedir. Ara ürün öğütme devresi JKSimMet programı kullanılarak tasarlanmıştır.

Spiral yakalama konsantresi, ince ve iri sallantılı masa konsantresi üzerinde yapılan serbestleşme analizleri sonucunda öğütme boyunun %100 -150 μm olması gerektiği belirlenmiştir. Yapılan zenginleştirme testinde de tek aşamada verim oldukça düşük değerde kalmıştır. Bu nedenle, iki aşamalı bir zenginleştirme devresi tasarlanmıştır. Ara ürün öğütme devresi Şekil 6.2'de, zenginleştirme devresi ise Şekil 6.3'te sunulmaktadır.



Şekil 6.2. Ara ürün öğütme devresi

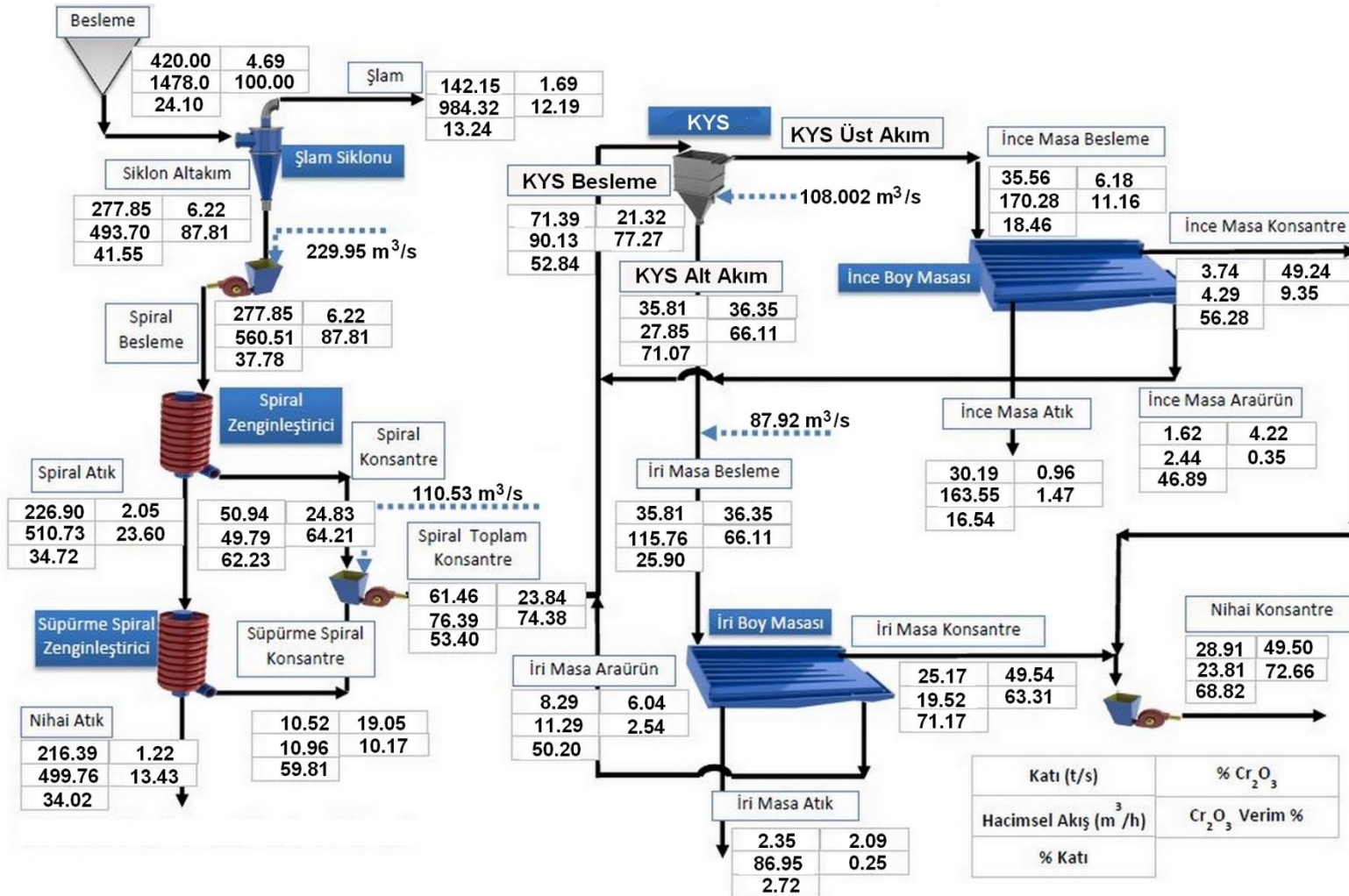


Şekil 6.3. Ara ürün zenginleştirme devresi akım şeması ve madde denklği

Ara ürünler ve spiral konsantresinin toplam tonaj miktarı ana beslemeye göre %6.5 olup toplam metal içeriği %7.07 Cr_2O_3 'tür. Çalışmanın bütünlüğü açısından ara ürün devresi tasarımı gerçekleştirilmiş olmasına karşın öğütme ve sonrasında zenginleştirme ile kazanılacak kromit miktarı ana beslemeye göre yaklaşık %2 düzeyinde kalmıştır. Bu nedenle tesis tasarımı sırasında ara ürün devresi için yer ayrılması, ancak ihtiyaç duyulması durumunda kurulması önerilmektedir.

Ara ürünlerin öğütülüp tekrar zenginleştirilmesiyle önemli oranda bir kazanım elde edilmemesi üzerine zenginleştirme devresinin nihai akım şeması Şekil 6.4'deki gibi önerilmektedir. İkinci kademe süpürme spirali konsantresinin metal içeriği yaklaşık %1 kadar olup bu akışın da öğütülmesi gerektiğinden, nihai akım şemasında ikinci kademe süpürme spirali de çıkartılmıştır. İkinci aşama yakalama spiralinin devrede yer almadığı ve iri ve ince masa ara ürünlerinin KYS akışına geri döndürüldüğü görülmektedir.

Bu durumda yapılan simülasyon sonucu elde edilen akış değerleri şekil üzerinde gösterilmiştir. Değerlerin tüm akış kolları için çizelge halinde gösterimi EK'te yer almaktadır.



Şekil 6.4. Önerilen zenginleştirme akım şeması ve madde denklığı

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan zenginleştirme test sonuçlarından yola çıkarak zenginleştirme için uygun tane boyunun -400 µm olduğuna ve en uygun zenginleştirme seçeneğinin belirlenen boyda iki kademe spiral zenginleştirici ile ön zenginleştirme yapıldıktan sonra spiral devresinden elde edilen konsantre karışımının sallantılı masalar ile zenginleştirilmesi olduğuna karar verilmiştir.

Buna göre iri ve ince boy masalarından alınan toplam konsantre 29.91 t/s olup, tenörü %49.5 ve metal verimi %72.66 olmaktadır. Verim aynı kalmak koşuluyla hedef tenör %48 olarak belirlendiğinde ise konsantre miktarındaki artış % 0.2 kadar olmaktadır.

Sistemdeki şlam dahil toplam atığın verimi 27.34%, tenörü ise %1.38 Cr₂O₃ olmaktadır. Toplam atık içerisinde %1.69 Cr₂O₃ tenöründe şlam boyutunda malzeme, %1.22 Cr₂O₃ tenöründe spiral nihai atığı, %0.96 Cr₂O₃ tenöründe ince boy sallantılı masa atığı ve %2.09 Cr₂O₃ tenöründe iri boy sallantılı masa atığı bulunmaktadır. Toplam atık içerisinde farklı tonajlarda hem ince hem iri boyutta malzeme bulunmaktadır. Bu atıkların tane boyu dağılımı da göz önüne alınarak flotasyon ya da manyetik ayırma ile zenginleştirme çalışmaları önerilebilir.

Akım şeması tasarımı gereği, -400µm tane boyu dağılımı ve işlenecek tonaj dikkate alınarak gerekli ekipman sayısı hesaplanmıştır. 420 t/s kapasiteli bir tesiste, iki aşama için toplam; 36 adet spiral içeren bir bataryadan 17 adet kullanılması gerekmektedir. Spiral toplu konsantresini işleyecek masa sayısı ise iri boy için 50, ince boy için ise 57 adet ve toplamda 107 adet olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Er, B., *Multi Gravite Cihazlarının Krom Cevheri Zenginleştirmesindeki Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, **2011**.
- [2] Kırıman, F.B., *Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2009**.
- [3] Bayat, O., *Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor)*, Çukurova Üniversitesi, **2009**.
- [4] Özkan, Y., *Kayseri-Yahyalı Bölgesi Kromit Cevher Özellikleri ve Yeşilköy Krom Konsantre Tesisi İyileştirme Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, **2013**.
- [5] Çilingir, Y., *Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri*, 2.Baskı, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, **1996**.
- [6] Taşlıgil, N., Şahin, G., *Ekonomik Coğrafya Açısından Türkiye'de Krom*, *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, 4,82-108, **2015**.
- [7] Turgut, B., *Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, **1995**.
- [8] Deniz, V., *Burdur-Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, **1992**.
- [9] Anonim, Krom Nedir? Krom Madeni Neden Önemlidir?, <http://www.on5yirmi5.com/haber/yasam/cevre/84834/krom-nedir-krom-madeni-neden-onemlidir.html>, (Mart,2016).
- [10] Nadir, E., *Yüksek Titreşimli Oluklarda Kromit Cevherlerinin Zenginleştirilmesi*, Bitirme Ödevi, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, **1994**.
- [11] GENÇE N., *Elazığ Kefdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir, **1985**.
- [12] DPT, *Metal Madenler (Krom)*. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2626- ÖİK: 637, Ankara, **2001**.
- [13] U.S Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, Virginia, **2012**
- [14] U.S Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, Virginia, **2015**
- [15] MTA, Türkiye Krom Yatakları, http://www.mta.gov.tr/v2.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/krom.jpg, (Mart,2016).
- [16] Maden Mühendisleri Odası, *Krom Raporu*, Ankara, **2005**.
- [17] Karahan, S., Özkan, Y., *Türkiye' de Krom Madenciliğinin Geleceği*, *Madencilik Türkiye*, 16, 56, **2011**.

- [18] British Geological Survey, *World Mineral Production 2010-2014*, Annual Report, **2016**.
- [19] İMMİB, Maden Sektörü İhracatının Değerlendirilmesi, <http://www.immib.org.tr/tr/content.asp?PID=%7b10FA33CF-671D-47B6-B365-41FB8A2FF408%7d>, (Mart, **2016**).
- [20] Develi, Y., *Hatay Yöresi Tekcrom Maden A.Ş. Krom İşletmesi Triyaj Atıklarının Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2014**.
- [21] Temur, S., *Metalik Maden Yatakları*, Selçuk Üniversitesi Basımevi, Konya, **1997**.
- [22] Pedrotti, M., Chromite: from the mineral to the commodity, PhD Thesis, Università degli Studi di Milano, Milano, **2012**.
- [23] Çilingir, Y., *Metalik Cevher Zenginleştirme Yöntemleri*, 1. Cilt, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayın, **1990**.
- [24] Ağaçayak, T., *Topraktepe (Yeşildağ-Beyşehir-Konya) kromitlerinin zenginleştirme yöntemlerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, **2004**.
- [25] Çakmak, İ., Elazığ–Guleman yöresi kromit cevheri yataklarının analizi ve analiz sonuçlarına göre kullanım alanlarının araştırılması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Cilt: 4, Sayı: 2, 20 – 24, Elazığ, **2006**.
- [26] Kogel, J., Trivedi, N., Barker, J., Krukowski, S., *Industrial Minerals & Rocks Commodities, Markets and Uses*, Society For Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. (SME), Colorado, 318-324, **2006**.
- [27] KARADENİZ M., *Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri, Önlemler*, İstanbul Ofset Basım Yayınevi, İstanbul, 39 – 90, **1996**.
- [28] Önal, G., *Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri*, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, **1980**.
- [29] TAGGART A.F., *Elements of Ore Dressing* John Wiley and Sons., Inc., New York, 44 – 48, **1951**.
- [30] JErşin, H., Garage Madencilik A.Ş. Cevher Hazırlama Eğitim Notları, <http://cevherhazirlama.com/belgeler/sallantili-masa.pdf> (Mart, **2016**)
- [31] Özcan, Ö., *Kömür Dışı Uygulamalarda Kabaran Yataklı Sınıflandırıcıların Performansının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2015**.
- [32] J.N.Kohmuench, *Improving Efficiencies in Water-Based Separators Using Mathematical Analysis Tools*, Virginia Polytechnic Institute, Virginia, **2000**.
- [33] Özkan, Y., *Kayseri Yahyalı Bölgesi Kromit Cevheri Özellikleri ve Yeşilköy Krom Konsantre Tesisi İyileştirme Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, **2013**.
- [34] Yüce, A.E., Güney, A., Önal, G., Üçköprü Krom Artıklarından Geri Kazanım ve Atık Alanının Rehabilitasyonu, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, **2005**.

- [35] Salisbury, H. B., Wouden, M.L. And Shirts, M.B. , *Benefication of Low-Grade California Chromite Ores* , RI 8592, U.S.A, Bureau of Mines, 3-14, **1982**.
- [36] Aydın, M.E., *Etibank Guleman Kef Konsantratör Tesisi Kromit Artıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, **2001**.
- [37] Kurşun, H., *Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, **1993**.
- [38] Serter, N., *Pozantı-Karsantı (Aladağ) Yöresi Düşük Tenörlü Kromitlerinin Zenginleştirme Problemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **1998**.
- [39] Dahlin, D.C., Brown, L.L and Kinney, J.J., *Podiform Chromite Occurrences in the Caribou Mountain and Lower Kanuti River Areas, Central Areas* , IC 8916, Bureau of Mines, U.S.A, 1-13, **1983**.
- [40] Deniz, V. , Özdağ,H. Ve Yalık, A., Burdur-Yeşilova Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliği, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Madencilik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 1., Sayı 1., **1993**.
- [41] Weiss, N.L., *SME Mineral Processing Handbook*, SME American Inst. Of Mining, Metallurgical and Petroleum Eng., Inc. USA, **1985**.
- [42] Atak, S., *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Sayı:101. İTÜ. Matbaası, İstanbul, **1974**.
- [43] Deniz,V., *Burdur-Yeşilova Kromitlerinin Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, **1992**.
- [44] Doğan, M. Z., *Olivinin Kromitten Flotasyonla Ayrışması*, Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik 4. Kongresi, Ankara, **1975**.
- [45] Wills, B.A., Napier-Munn, T., *Mineral Processing Technology*, Elsevier Science & Technology Books, 240,**2006**.
- [46] Banerjee, T.H., Sengupta, A.K., Sutaone, A.T., Gundewar, C.S., *Beneficiation practices in the Sukinda valley area chromite deposits, proceeding of the international seminar on mineral processing technology, India*, **2006**.
- [47] Güney, A., Sirkeci, A.A., Gürkan, V., Önal, G., The recovery of chromite fines from the tailings of Üçköprü chromium plant using HIWMS, *proceeding of the 6th international symposium*, Kuşadası , **1996**.
- [48] Ergin, Z., Semerkant, O., Cöcen, G., *Cevher Hazırlama I*, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, **1996**.
- [49] Kohmuench, J.N., *Improving Efficiencies in Water-Based Separators Using Mathematical Analysis Tools*, Doctor of Philosophy, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, **2000**.

EK

Ek 1: Tüvenan cevherin tane boyu dağılımı ve fraksiyonel kromit içeriği

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Tenör Cr₂O₃ (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+25	0.00	0.00	100.00
-25+19	3.53	6.06	100.00
-19+12.7	14.51	3.95	96.47
-12.7+11.2	6.99	5.29	81.97
-11.2+9.5	9.50	4.08	74.97
-9.5+8	7.56	5.34	65.47
-8+6.7	6.14	5.24	57.90
-6.7+5.6	4.88	4.66	51.77
-5.6+4.75	3.71	4.93	46.88
-4.75+3.35	6.57	4.72	43.17
-3.35+2.26	5.12	4.78	36.60
-2.36+1.7	4.76	4.66	31.48
-1.7+1.18	3.73	4.00	26.72
-1.18+0.85	2.85	4.19	22.99
-0.85+0.6	2.60	4.05	20.14
-0.6+0.45	2.43	5.17	17.54
-0.45+0.3	2.69	7.87	15.11
-0.3+0.212	1.78	8.44	12.42
-0.212+0.15	2.57	11.16	10.64
-0.15	8.07	6.54	8.07
Ortalama	100.00	5.13	

Ek 2: -9.5 mm'ye kırılan cevherin tane boyu dağılımı

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+9.5	0.00	100.00
-9.5+8	9.59	100.00
-8+6.7	9.49	90.41
-6.7+5.6	8.93	80.92
-5.6+4.75	9.50	71.99
-4.75+3.35	13.08	62.50
-3.35+2.26	7.84	49.42
-2.36+1.7	6.97	41.58
-1.7+1.18	5.30	34.61
-1.18+0.85	4.37	29.31
-0.85+0.6	3.47	24.94
-0.6+0.45	3.31	21.47
-0.45+0.3	3.33	18.16
-0.3+0.212	1.66	14.83
-0.212+0.15	3.56	13.17
-0.15	9.61	9.61
	100.00	

Ek 3: -1 mm'ye kırılan cevherin tane boyu dağılımı

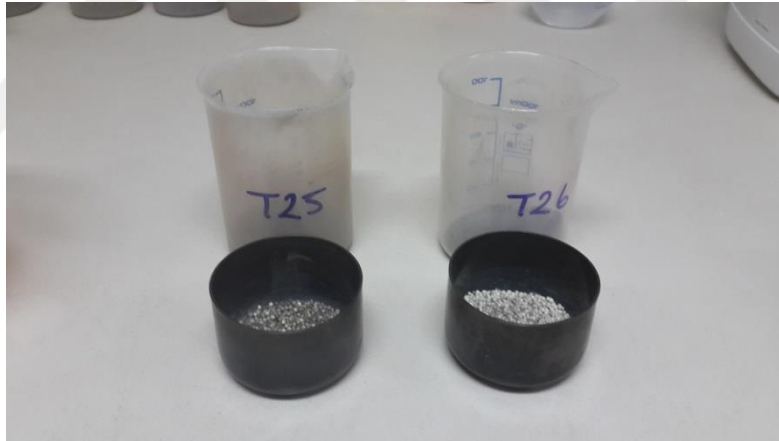
Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+1	0.00	100.00
-1+0.85	6.52	100.00
-0.85+0.6	14.24	93..48
-0.6+0.45	13.53	79.24
-0.45+0.3	10.77	64.71
-0.3+0.212	8.87	54.93
-0.212+0.15	7.80	46.07
-0.15+0.106	6.36	38.27
-0.106+0.075	5.51	31.91
-0.075+0.053	3.92	26.40
-0.053+0.038	2.45	22.47
-0.038	20.02	20.02
	100.00	

Ek 3: Kimyasal analiz yöntemi

Elek analizleri sonucunda fraksiyonlara ayrılmış numuneler halkalı değirmende öğütülmüş ve 75 °C'de etüvde kurutulduktan sonra zirkon kroze içerisine numune ve üzerine ağırlığının 10 katı olacak kadar sodyum peroksit (Na_2O_2) eklenip ve çıplak bek alevi üzerinde homojen bir eriyik oluşana kadar ısıtılmıştır. Alınan numunenin miktarı krom içeriğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir ve miktarlar Çizelge Ek 3.1'de gösterildiği gibidir. Tüvenan cevher düşük tenörlü olduğundan dolayı 1.5 gr sodyum peroksit kullanımı uygun görülmüştür. Kimyasal analiz esnasında eritiş işlemi için hazırlanmış numunelerden iki tanesi Şekil Ek 3.1'de gösterildiği gibidir.

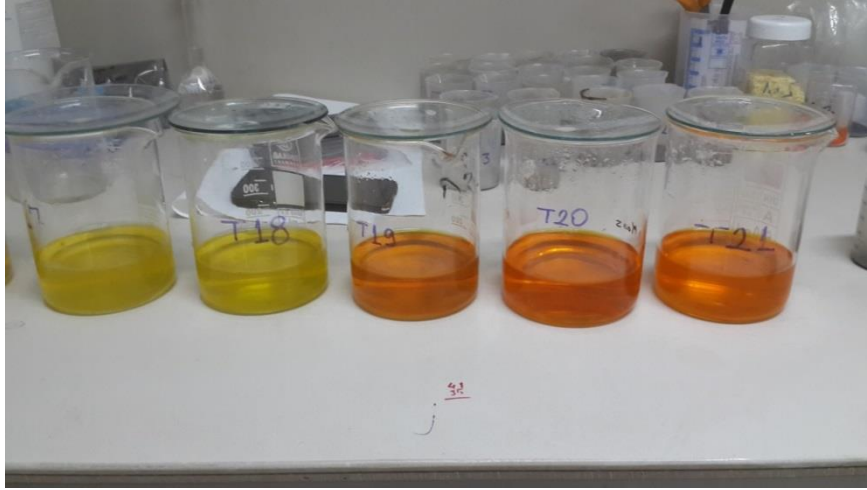
Çizelge Ek 3.1. Krom içeriğine göre kullanılacak Na_2O_2 miktarı

Cr_2O_3 (%)	$40 \leq \text{Konsantre}$	$30 \leq \text{Ara Ürün} \leq 40$	$30 \leq \text{Atık}$
Numune Miktarı (gr)	0.5	1	1.5



Şekil Ek 3.1. Eritiş işlemi için hazırlanmış kromit ve sodyum peroksit karışımı

Soğutulan kroze 600 ml'lik beherde 100 ml saf su içerisine yan yatırılarak eriyiğin suya geçmesi beklenir ve reaksiyon bittikten sonra kroze saf su ile temizlenerek beher içerisinden çıkartılır. Cr^{6+} 'ya yükseltgenmemiş Cr^{3+} olması ihtimaline karşılık behere 1 spatül sodyum peroksit ilave edilir ve peroksitin fazlasını ortamdan uzaklaştırmak için çözelti 15 dakika kaynatılır. Şekil Ek 3.2'de gösterildiği gibi kaynatılıp soğutulan numune üzerine 50 ml %50'lik H_2SO_4 eklenir bu işlem sonucunda çözelti turuncu rengini alır.



Şekil Ek 3.2. Sülfürik asit eklenmiş çözelti

Eritiş ve sülfürik asit ilavesi işleminden sonra titrasyon işlemine geçilir. Titrasyonda kullanılan reaktifler aşağıda gösterildiği gibidir.

- ✓ 0.1 N Potasyum dikromat, $K_2Cr_2O_7$
- ✓ 0.1 N Demir amonyum sülfat hekza hidrat, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
- ✓ Fosforik asit, sülfürik asit karışımı, $H_3PO_4 + H_2SO_4$
- ✓ Baryum difenilamin sülfonat indikatörü
- ✓ Hacimce %50'lik sülfürik asit, H_2SO_4

Asit ilavesi esnasında ısınan çözelti soğuduktan sonra çözeltiliye 15 ml $H_2SO_4 + H_3PO_4$ karışımı eklenir. 100 ml'lik büretten, çözelti yeşil renk alana kadar $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ eklenir ve miktar kaydedilir. 3 damla indikatör eklendikten sonra $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ile geri titrasyon yapılır. Yeşil renk önce mavi-yeşile daha sonra mor renge döner ve mor renk aldığı anda eklenen $K_2Cr_2O_7$ miktarı kaydedilir. Renk değişimleri titrasyon esnasında ortaya çıkan renklerin olduğu sırayla Şekil Ek 3.3'te gösterildiği gibi olmaktadır.



Şekil Ek 3.3. Titrasyon esnasında oluşan renk değişimi

Krom tayini aşağıda sunulmuş olan formülden hesaplanmaktadır.

$$\%Cr = \frac{[V_{ml}(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) - V_{ml}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)] \times S \times 0.001734 \times 100}{m_{gr}}$$

$$\%Cr_2O_3 = \frac{\%Cr}{0.6842}$$

Formülde gösterilen S değeri demir amonyum sülfat çözeltisinin potasyum dikromata göre standardizasyonunu ifade etmektedir. 10 ml demir amonyum sülfat çözeltisine, 15 ml $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ eklenir, 1-2 damla indikatör ilave edilir ve $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltisi ile titre edilir. Toplam sarfiyat hacmi kaydedilerek aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{V_{ml}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{10}$$

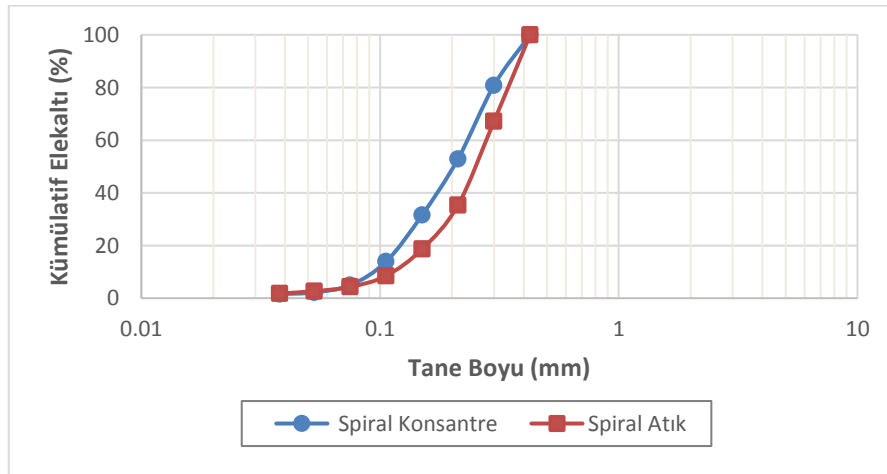
Ek 4: -400 µm boyunaki cevherin tane boyu dağılımı

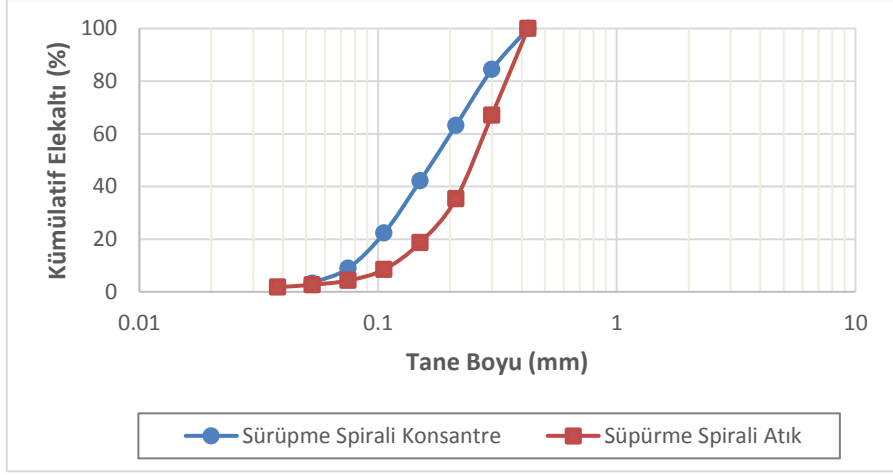
Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+0.425	0.00	100.00
-0.45+0.3	17.52	100.00
-0.3+0.212	18.74	82.48
-0.212+0.15	15.59	63.74
-0.15+0.106	11.00	48.15
-0.106+0.075	7.71	37.15
-0.075+0.053	6.65	29.45
-0.053+0.038	5.29	22.79
-0.038	17.50	17.50
	100.00	

EK 5: -200 µm boyundaki cevherin tane boyu dağılımı

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
-0.3+0.212	0.00	100.00
-0.212+0.15	40.55	100.00
-0.15+0.106	18.18	59.45
-0.106+0.075	10.99	41.27
-0.075+0.053	7.59	30.28
-0.053+0.038	5.15	22.68
-0.038	17.53	17.53
	100.00	

EK 6: -400 µm tane boyuna yapılan spiral testi ürünleri tane boyu dağılımı





Ek 7: -400 µm tane boyu için zenginleştirme devresi madde denkliği

Akış	Katı (t/s)	Cr2O3 (%)	Cr2O3 Verim (%)	Hacimsel Akış (m3/s)	% Katı	Su (t/s)
Besleme	420.00	4.69	100.00	1487.96	23.97	1331.37
Şlam	138.13	1.73	12.14	989.34	12.83	938.18
Hidrosiklon Alt akım	274.87	6.04	84.62	485.24	41.75	383.43
Spiral Besleme	274.87	6.04	84.62	560.65	37.46	458.84
Spiral Konsantre	51.99	24.66	65.07	50.85	62.20	31.59
Spiral Atık	225.02	1.86	21.28	511.89	34.41	428.55
Süpürme Spirali 1 Konsantre	9.47	19.35	9.30	9.82	60.00	6.32
Süpürme Spirali 1 Atık	217.18	1.23	13.55	511.89	35.43	423.32
Süpürme Spirali 2 Konsantre	10.68	10.03	5.44	11.66	58.07	7.71
Nihai Atık	206.50	0.77	8.12	492.10	33.20	415.61
Spiral Konsantre (toplam) KYS Besleme	61.46	23.84	74.38	84.22	50.00	61.46

Ek 7: -400 µm tane boyu için zenginleştirme devresi madde denkliği (Devam)

Akış	Katı (t/s)	Cr₂O₃ (%)	Cr₂O₃ Verim (%)	Hacimsel Akış (m³/s)	% Katı	Su (t/s)
KYS Alt Akım	27.53	32.83	45.88	21.25	71.36	11.05
İri Masa Besleme	27.53	32.83	45.88	98.83	23.70	88.64
İri Masa Konsantre	15.50	49.03	38.60	14.71	63.35	8.97
İri Masa Ara Ürün	8.86	6.11	2.75	16.21	40.68	12.92
İri Masa Atık	1.51	2.17	0.17	66.68	2.23	66.12
İnce Masa Besleme	35.56	12.44	24.27	178.94	17.66	165.77
İnce Masa Konsantre	9.50	48.95	23.61	8.51	65.55	4.99
İnce Masa Ara Ürün	7.86	4.15	1.65	12.87	41.75	10.96
İnce Masa Atık	19.17	1.49	1.45	156.84	11.35	149.74
Nihai Konsantre	25.00	49.86	62.20	23.22	64.16	13.96
Su Besleme 1						75.41
Su Besleme 2						23.55
Su Besleme 3						77.58
Su Besleme 4						58.43

Ek 8: Ara ürün öğütme devresi madde denkliği

Akış	Katı, t/s	Su, t/s	% Katı	Hacimsel Akış, m³/s	p80
Ara Ürün Besleme	27.40	31.73	46.34	41.88	0.28
Elek Besleme	75.49	118.69	38.88	146.65	0.23
Elek Altı (-0.15 mm)	27.40	47.67	36.5	57.82	0.12
Elek Üstü (+0.15 mm)	48.09	44.93	51.94	62.30	0.28
Bilyalı Değirmen Çıkışı	48.09	56.84	45.83	74.65	0.20
Hidrosiklon Beslemesi	27.40	47.67	36.50	57.82	0.12
Su Besleme 1		30.12			
Su Besleme 2		12.35			

Ek 8: Ara ürün zenginleştirme devresi madde denkliği (devam)

Akış	Katı (t/s)	Cr₂O₃ (%)	Cr₂O₃ Verim %	Hacimsel Akış m³/s	% Katı	Su (t/s)
Ara Ürün (Siklon Besleme)	27.40	7.08	100.00	72.82	30.42	62.67
Şlam	7.10	5.55	20.29	52.60	12.43	49.97
Siklon Alt Akım	20.30	7.62	79.71	20.23	61.51	12.71
1.Masa Besleme	20.30	7.62	100.00	55.49	29.74	49.92
1.Masa Konsantre	4.74	41.60	63.8	4.38	64.57	2.60
Nihai Atık	19.42	5.77	36.2	67.64	24.31	60.45
2.Masa Besleme	4.74	41.60	63.8	17.31	23.36	15.55
Nihai Konsantre	0.89	48.00	13.8	0.80	65.19	0.47
Su Besleme 1						35.27
Su Besleme 2						12.9

Ek 9: Önerilen Zenginleştirme Devresinin Madde Denkliği

Akış	Katı (t/s)	Cr₂O₃ (%)	Cr₂O₃ Verim (%)	Hacimsel Akış m³/s	% Katı	Su (t/s)
Besleme	420.00	4.69	100.00	1478.00	24.10	1322.47
Şlam	142.15	1.69	12.19	984.32	13.24	931.67
Hidrosiklon Alt Akım	277.85	6.22	87.81	493.70	41.55	390.79
Spiral Besleme	277.85	6.22	87.81	560.51	37.78	457.60
Spiral Konsantre	50.94	24.83	64.21	49.79	62.21	30.92
Spiral Atık	226.90	2.05	23.60	510.73	23.60	426.69
Süpürme Spiral 1 Konsantre	10.52	19.05	10.17	10.96	59.81	7.07
Nihai Atık	216.39	1.22	13.43	499.76	34.02	419.62
Spiral Konsantre (toplam)	61.46	23.84	74.38	76.39	53.40	52.63
KYSBesleme	71.39	21.32	77.27	90.13	52.84	80.52
KYS Alt Akım	35.81	36.35	66.11	27.85	71.07	14.58
İri Masa Besleme	35.81	36.35	66.11	115.76	25.90	102.50
İri Masa Konsantre	25.17	49.54	63.31	19.52	71.17	10.20
İri Masa Ara Ürün	8.29	6.04	2.54	11.29	50.20	8.23
İri Masa Atık	2.35	2.09	0.25	86.95	2.72	84.04

Ek 9: Önerilen Zenginleştirme Devresinin Madde Denkliği (Devam)

Akış	Katı (t/s)	Cr₂O₃ (%)	Cr₂O₃ Verim (%)	Hacimsel Akış (m³/s)	% Katı	Su (t/s)
İnce Masa Besleme	35.56	6.18	11.16	170.28	18.46	108.00
İnce Masa Konsantre	3.74	49.24	9.35	4.29	56.28	2.91
İnce Masa Ara Ürün	1.62	4.22	0.35	2.44	46.89	1.84
İnce Masa Atık	30.19	0.96	1.47	163.55	16.54	152.37
Nihai Konsantre	28.91	49.5	72.66	23.81	68.82	13.10
Su Besleme 1						229.95
Su Besleme 2						110.53
Su Besleme 3						108.00
Su Besleme 4						87.92

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Büşra Özsoy
Doğum Yeri : Erzurum
Medeni Hali : Bekar
E-Posta : bsrzsy@gmail.com
Adresi : Yukarı Yurtçu Mahallesi
Turkuaz Toki Konutları B2/19 No:15
Etimesgut/ANKARA

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi (Maden Mühendisliği Bölümü)
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi (Maden Mühendisliği Bölümü)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce (İleri Seviye)

İş Deneyimi

Satış Destek Mühendisi (Kılavuz Proses Çözümleri Tic. Ltd. Şti)

Deneyim Alanları

Cevher Hazırlama

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA**

Tarih: 23/06/2016

Tez Başlığı / Konusu: Yellice Bölgesi Krom Cevherinin Zenginleştirme Akım Şemalarının Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 115 sayfalık kısmına ilişkin, 22/06/2016 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- ✓ 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Büşra Özsoy

Öğrenci No: N14128508

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Cevher Hazırlama

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza
23.06.2016
B. Özsoy

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Yrd. Doç. Dr. İlkay Bengü ÇELİK

(Unvan, Ad Soyad, İmza)