

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan YAVAŞ

**KEF KONSANTRATÖRÜ II. REICHERT KONİSİ ARTIĞININ
MGS İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KEF KONSANTRATÖRÜ II. REICHERT KONİSİ ARTIĞININ MGS İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Sinan YAVAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

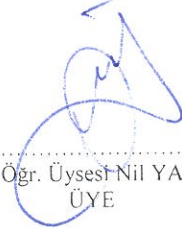
Bu tez 01 / 08 / 2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği /
Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.



Prof. Dr. Oktay BAYAT
DANIŞMAN



Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN
ÜYE



Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: MMF2009YL60

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZ

KEF KONSANTRATÖRÜ II. REICHERT KONİSİ ARTIĞININ MGS İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Sinan YAVAŞ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Oktay BAYAT

Yıl: 2019, Sayfa: 178

Jüri : Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN

: Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Bu çalışmanın amacı; Elazığ ili Alacakaya ilçesi Guleman Bölgesi'nde bulunan ve Eti Krom A.Ş. uhdesindeki Kef Konsantratörü II. Reichert Konisi iyi tenörlü baraj artığının (%18–22 Cr₂O₃) gravite ile ayırma yöntemlerinden MGS'nin (Multi Gravity Separator) kullanılarak zenginleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır.

Kalitatif faz analizi sonucunda numunenin başlıca bileşenlerinin Magnesichromite, Forsterite, Ringwoodite ve Magnesium Chromate olduğu ve yarı-kantitatif element analizi sonucu %16,38 Cr₂O₃ içerdiği belirlenmiştir. MGS ön zenginleştirme deneyleri, Box-Behnken 3 faktör, 3 seviye olmak üzere toplam 15 deney olarak tasarlanmıştır.

DeneySEL çalışma sonunda (200 d/dk tambur dönüş hızı, 3⁰ tambur eğimi ve 15 mm titreşim genliği en uygun çalışma şartlarında) %23,50 Cr₂O₃, % 16,35 Fe₂O₃, %10,43 Al₂O₃ ve %14,87 SiO₂ içeriğe sahip konsantre elde edilmiştir. Ancak ön zenginleştirme deneySEL çalışma sonrası elde edilen konsantrenin piyasada satılabilirlik şartlarını sağlamadığı göz önüne alınarak MGS çalışma şartlarını farklı parametrelerde düzenleyerek yeniden MGS testlerine tabi tutulmuş (DEÜ, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında) ve en uygun değer çalışma parametresiyle yapılan zenginleştirme sonunda %19,50 Cr₂O₃ içerikli besleme malından %35,04 Cr₂O₃ tenörlü nihai konsantre; 3,09 zenginleştirme oranı ve %58,18 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kromit, Sallantılı Masa, Reichert Konisi, Kef Konsantratörü, MGS (Multi Gravity Separator)

ABSTRACT

MSc. THESIS

INVESTIGATION OF ENRICHMENT OF KEF PROCESSING PLANT II. REICHERT CONE TAILINGS BY MGS

Sinan YAVAS

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

Supervisor : Prof. Dr. Oktay BAYAT

Year: 2019, Pages: 178

Jury : Prof. Dr. Öner Yusuf TORAMAN

: Dr. Nil YAPICI

In this study; investigation of enrichment of Eti Krom A.Ş. (Guleman, Alacakaya, Elazığ) Kef Concentrator II. Reichert Cone tailings (18–22% Cr_2O_3) using MGS (Multi Gravity Separator) as one of the gravity separation methods.

As a result of qualitative phase analysis, the main components of the sample were Magnesichromite, Forsterite, Ringwoodite, Magnesium Chromate and it was found that the semi-quantitative element analysis contained 16.38% Cr_2O_3 . MGS pre-enrichment experiments were designed as a total of 15 experiments including Box-Behnken 3 factors and 3 levels.

At the end of the experimental study using optimal working conditions (200 rpm rotation speeds, 30° drum slope and 15 secs frequency), a concentrate was obtained having a content of 23.50% Cr_2O_3 , 16.35% Fe_2O_3 , 10.43% Al_2O_3 and 14.87% SiO_2 . However, considering that the concentrate obtained after the pre-enrichment experimental study was not meet the marketability conditions in the market therefore MGS working conditions were regulated applying different working parameters and subjected to MGS tests for re-run (DEU, Mining Engineering Department laboratories). The enrichment with the most appropriate value working parameters contained 35.04% Cr_2O_3 grade concentrate from the feed (19.50% Cr_2O_3) with 3.09 enrichment rate and 58.18% metal recovery was obtained.

Key Words: Chromite, Shaking Table, Reichert Cone, Kef Processing Plant, MGS (Multi Gravity Separator)

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Oktay BAYAT yönetiminde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmalarımızın amacı ve detayını, sallantılı masa ile zenginleştirilemeyen düşük tenörlü kromit konsantratör artıklarının gelişmiş daha yeni teknolojiler ile zenginleştirilmesinin mümkün olup olmadığı oluşturmıştır.

Hammaddeyi tüketim yerinin teknolojik gereğine uygun hale getirmek ve kullanılmasını mümkün kılmak gibi teknolojik nedenler ile üretildiği haliyle ekonomik olan ya da olmayan cevherlerin cevher hazırlama ile ekonomik değerinin artırılması gibi ekonomik nedenler cevher zenginleştirmeyi gerektiren nedenleri teşkil etmektedir.

Yine, cevher hazırlama tesisine beslenecek cevherin tayini, cevherde bulunan değerli minerallerin boyut küçültme ile serbest hale getirilmesi, yeterli mineral serbestleşmesinin boyut küçültme ile sağlandığı cevherin zenginleştirilmesi ve zenginleştirme sonucu elde edilen ürünler üzerinde yapılan işlemler cevher zenginleştirmenin çalışma alanını oluşturmaktadır. Zenginleştirme yöntemi, cevherde bulunan değerli ve değersiz mineral içeriklerine, fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklara ve boyut dağılımlarına bağlı olarak seçilmektedir.

Buradan hareketle, Elazığ İli Alacakaya İlçesi Guleman Bölgesi'nde bulunan ve Eti Krom A.Ş. uhdesindeki Kef Konsantratörü II. Reichert Konisi artığı, tesisin genel artığını oluşturmaktadır. Bu artık üzerinde, farklı prosesler ile zenginleştirme üzerine muhtelif zamanlarda birçok çalışma yürütülmüş ancak sağlıklı bir zenginleştirme işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle “iyi tenörlü” baraj artığının (%18–22 Cr₂O₃) gravite ile ayırma yöntemlerinden biri olan

MGS'nin (Multi Gravity Separator) kullanılarak zenginleştirilebilirliğini araştırmak bu tezin amacını oluşturmaktadır.

Cevher hazırlama laboratuvarlarına getirilen temsili numuneden numune azaltma yöntemleri kullanılarak karakterizasyon çalışmaları için temsili örnek alınarak numunelerin mineralojisi ve kimyasal analizleri TÜBİTAK MAM'da yaptırılmıştır.

Kalitatif faz (mineralojik) analiz, SHIMADZU XRD-6000 marka cihaz ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda = 1.5405$ Angstrom) kullanılarak yapılan XRD testleri sonucunda numunenin başlıca bileşenlerinin Magnesi kromit $[(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4]$, Forsterit $[Mg_2SiO_4]$, Ringwoodit $[Fe_2(SiO_4)]$, Klino krizotil $[Mg_3Si_2O_5(OH)_4]$, Magnezyum Kromat $[Mg(CrO_4)]$ ve Klino Klor $[(Mg,Fe,Al)_6(Si,Cr)_4O_{10}(OH)_8]$ olduğu ve Philips PW-2404 model dalgaboyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı (XRF) ile yapılan yarıkantitatif element analizi sonucunda da %16,37 Cr_2O_3 içerdii belirlenmiştir.

Temsili artık numunesinin tane irilik dağılım analizi yine TÜBİTAK MAM Kimya Enstitüsünde yaptırılmıştır. 'Malvern Mastersizer 2000' cihazında Lazer Işık Saçınım Tekniği (Laser Light Scattering Technique) ile kuru sistem yapılan testlerde numunenin ortalama tane boyutu 32,988 μm (Malvern Mastersizer 2000, ISO 13320-1) olarak tespit edilmiştir.

Binoküler mikroskop kullanılarak temsili artık numunesi üzerinde yapılan çalışmalarda serbestleşme derecesini tespit etmek için ise tane sayım yöntemi uygulanmıştır. Bu sayma işlemi kromit, kuvars ve feldspat minerallerinin tekli serbest taneler ile bileşik tanelerin mikroskopta sayımı şeklinde gerçekleştirilmiş ve gözlem hatasını düzeltmek için de bağlılık faktörü (kenetlenme faktörü) 1,4 olarak alınmıştır. Bu metoda göre temsili numunenin en iyi $-0,063+0,045$ mm elek fraksiyonunda %96,03 oranla serbestleşme derecesine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu metoda göre ufalama sonucu elde edilen taneler ilk önce muhtelif elek frekans serisi ile sınıflandırılmış, sonra her tane sınıfı mikroskop altında incelenerek

serbest ve bileşik tanelerin tek tek sayılması sonucu serbestleşme yüzdesi bulunmuştur.

MGS ön zenginleştirme deneyleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendiliği Bölümü zenginleştirme laboratuvarlarında, Box-Behnken 3 faktör, 3 seviye toplam 15 deney olarak tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan pilot ölçekli MGS Ünitesi, bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda 0,5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Bu tambur, iç yüzeyi üzerinde 6 ile 24 G değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşacak şekilde ve 150-300 dev/dk hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda eksenel doğrultuda 4-6 cm/sn frekansla, 12-25 mm arasında değişen sinuzoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir. Tambur hareketini sağlayan konsantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite bulunmaktadır. MGS Ünitesi, %10-50 katı oranında 0,2 ton/saat kapasite ile çalışabilmektedir.

%15 (10 L Pülöp için 1.690 gr numune, katı) katı oranı, 1 L/dk besleme hızı ve 3 L/dk yıkama suyu hızı koşullarında, deneyler sonunda en yüksek tenörlü konsantre 2 nolu deneyden alınmıştır. 200 dev/dk tambur dönüş hızı, 3⁰ tambur eğimi ve 15 mm titreşim genliği olarak belirlenen en uygun değer çalışma şartlarında %23,50 Cr₂O₃, % 16,35 Fe₂O₃, %10,43 Al₂O₃ ve %14,87 SiO₂ içerikli konsantre elde edilmiştir.

MGS cihazı ile nihai zenginleştirme deneyleri ise Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu testlerde C900 laboratuvar tipi MGS cihazı kullanılmıştır. Temsili numuneden %15 katı oranında pülöp oluşturulmuş ve devri ayarlanabilir bir pompa ile 2,5 L/dk besleme hızı ile cihaza beslenmiştir. MGS deneylerinde 4⁰ tambur eğimi, 2,5 L/dk besleme hızı ve 5 L/dk yıkama suyu hızı parametreleri sabit tutulmuştur. Bunun sebebi, gerek deneysel çalışmalarda kullanılacak numune miktarının parametre belirleme çalışmaları için yeterli

olmayacağı gerekse de kullanılan MGS cihazında daha önce yapılan farklı bölgelerden alınmış kromit numunelerinin zenginleştirme deneylerinde belirlenen minimum çalışma koşullarının uygun olacağı görüşünün hâkim olmasıdır. Tambur dönüş hızı değişken parametre olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir.

Numuneye öncelikle 180 dev/dk tambur devrinde bir test yapılmış ve bu deney sonunda elde edilen konsantre, ikinci deney için besleme malı olmak üzere 140 dev/dk tambur devrinde ikinci MGS testi yapılmıştır. MGS deneyleri esnasında akan ürünlerden numune almak üzere yatak oluşumu için besleme yapılmaya başlandıktan sonra bir dakika süre ile beklenilmiştir. MGS cihazının konsantre ağzından malzeme gelmeye başladığı andan itibaren yani yatak oluşumu ile birlikte her 10 saniyede bir 4 saniye süre boyunca cihazın konsantre ve artık ağzından numune alınmış ve bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen konsantre, ara ürün ve artık numuneleri ile MGS besleme malı numunesi kimyasal analiz için Eti Krom A.Ş. Kimya Laboratuvarlarına getirilmiştir. Beneysel çalışma sonucunda elde edilen ürünler önce 105 °C sıcaklıkta Nüve marka etüvde kurutularak mevcut nem uzaklaştırılmış ve bu numuneler RESCH marka halkalı ve diskli öğütücü yardımı ile tane boyutu 200 mesh (-0,074 mm) boyutuna öğütülmüştür.

200 mesh boyutundaki öğütülmüş numuneler HERZOG marka press makinesi ile 200 kN/m² basınç altında tablet haline preslenmiştir. Hazırlanan tabletler RIGAKU marka PRIMUSS II model X-Ray cihazı ile X ışınına dayalı spektrometrede analiz edilmiştir. Cihaz kalibre edilirken, kızdırma kaybı yani ateş zayılatı (KK), %3,00 olarak cihaza manuel girilmiştir.

Belirlenen en uygun değer çalışma parametreleriyle yapılan nihai zenginleştirme deneylerinde en iyi sonuç MGS II deneyinden alınmıştır. Buna göre; %19,50 Cr₂O₃ içerikli besleme malından %35,04 Cr₂O₃ tenörlü nihai konsantre; 3,09 zenginleşme oranı ve %58,18 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Oktay BAYAT yönetiminde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her safhasında beni doğru bir şekilde yönlendiren ve benden hiçbir yardımını esirgemeyen keza sabrı ile beni bunca zaman tolere eden saygıdeğer hocam Prof. Dr. Oktay BAYAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında her türlü maddi ve manevi desteği ile beni yalnız bırakmayan hayat arkadaşım Gazeteci Şilan ORHAN'a, mesai arkadaşlarım Maden Müh. Abdullah TOPYILDIZ ve jeolojik çalışmalarda bana ışık tutan Jeoloji Müh. Metehan A. AKTAŞ'a katkılarından dolayı içtenlikle teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarda laboratuvarlarını bana açan ve gerekli cihazların kullanımı bakımından her türlü imkânı sağlayan Çukurova Üniversitesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi ile Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümleri'ne şükranlarımı sunarım.

Çalışmanın iskeletini oluşturan her türlü kimyasal analiz çalışmalarında emeğini ve sabrını dolaysız bir şekilde benimle paylaşan Eti Krom AŞ Kimya Laboratuvarı Müdürü Kimya Müh. Serkan ODAK'a sonsuz teşekkürlerimi iletmeyi borç addederim.

Hayatım boyunca her an ve her koşulda yanımda olduğundan asla imtina etmediğim, maddi ve manevi desteğini bana her zaman dolaylı ya da dolaysız duyumsatan/ulaştıran başta sevgili ANNEM'e ve aileme ise minnetimi iletmeyi görev bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.1.1. Krom Yatakları	3
1.1.1.1. Stratiform Tip Kromit Yatakları	3
1.1.1.2. Podiform Tip Kromit Yatakları.....	3
1.1.2. Krom Cevheri Mineralleri.....	4
1.1.3. Kromit Cevherinin Yantaşları	5
1.2. Krom Yataklarının Bulunuşu ve Oluşumu.....	5
1.3. Dünya Krom Yatakları ve Rezervleri	7
1.4. Türkiye Krom Yatakları, Rezervleri ve Üretimi	8
1.5. Krom Tüketim Alanları.....	10
1.5.1. Metalürji Sanayii.....	11
1.5.2. Kimya Endüstrisi.....	12
1.5.3. Refrakter Sanayii.....	12
1.6. Kromit Mineralinin Zenginleştirilmesi	13
1.7. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri.....	15
1.7.1. Boyuta Göre Sınıflandırma ve Elle Ayıklama (Triyaj, Tavuklama) İle Zenginleştirme.....	16

1.7.2. Yoğunluk Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemleri.....	18
1.7.2.1. Ağır Ortam Ayırması İle Zenginleştirme.....	22
1.7.2.2. Hidrosiklon İle Zenginleştirme	26
1.7.2.3. Spiral İle Zenginleştirme.....	31
1.7.2.4. Jig İle Zenginleştirme.....	34
1.7.2.5. Sallantılı Masa İle Zenginleştirme	40
1.7.2.6. Knelson Ayırıcısı İle Zenginleştirme.....	45
1.7.2.7. Falcon Konsantratörü İle Zenginleştirme.....	47
1.7.2.8. MGS (Multi Gravite Ayırıcısı) İle Zenginleştirme	49
1.7.3. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme.....	54
1.7.3.1. Katıların Manyetik Özellikleri	55
1.7.3.2. Manyetik Ayırmada Etkin Kuvvetler.....	56
1.7.4. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme.....	57
1.7.5. Yüzey Özellikleri Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemleri	60
1.7.5.1. Flotasyon İle Zenginleştirme	60
2. TARİHÇE VE COĞRAFİK KONUM	69
2.1. Genel Jeolojik Konum	72
2.1.1. Guleman Peridotit Birimi.....	73
2.1.2. Otokton Birimler / Lice Formasyonu (Alt Miyosen)	75
2.1.3. Allohton Birimler.....	75
2.1.3.1. Guleman Grubu (Jura - Alt Kretase).....	75
2.1.3.2. Hazar Karmaşığı (Üst Meastrihtiyen - Alt Eosen).....	76
2.1.3.3. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)	76
2.2. Çalışma Bölgesinin Jeolojisi.....	78
2.2.1. Tanım	78
2.2.2. Dağılım ve Konum.....	78
2.2.3. Litoloji.....	78

2.2.4. Tektonizma	80
2.3. Petrografi.....	82
2.3.1. Harzburjitler.....	82
2.3.2. Dünitler	84
2.3.3. Serpantinitler.....	85
2.4. Krom Yatakları	87
2.4.1. Kef Dağı – Kapin – Şabate Kesimi.....	89
2.4.1.1. Doğu Kef Kromit Horizonu	93
2.4.1.2. Batı Kef Kromit Horizonu	95
2.5. Cevher Dokusu.....	100
2.5.1. Masif Kromit.....	100
2.5.2. Saçınımlı - Bantlı Kromit.....	100
2.6. Cevher Mineralojisi	101
2.6.1. Kromit (FeCr_2O_3).....	101
2.6.2. Pentlandit ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$)	101
2.6.3. Millerit (NiS)	102
2.7. Cevher Tenörü	102
2.8. Ekonomik Jeoloji	102
3. KEF KONSANTRATÖRÜ	105
3.1. Kef Konsantre Tesisi Fiili Çalışma Esası	106
3.1.1. Kırma Ünitesi.....	106
3.1.2. Öğütme Ünitesi	108
3.1.3. Gravite Zenginleştirme Ünitesi.....	109
3.2. Kef Konsantre Tesisi Artık Barajı	112
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	113
5. MATERYAL VE METOD	119
5.1. Materyal	119
5.2. Metod	121

5.2.1.Serbestleşme Tane Boyutu.....	121
5.2.2.Numunelerin Karakterizasyonu	128
5.2.3.MGS.....	134
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	141
6.1.Numunenin Mineralojik Özellikleri.....	141
6.2.MGS ile Zenginleştirme.....	142
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	169
EKLER.....	170

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Kromitin Yantaşıları (Deniz, 1992).....	5
Çizelge 1.2. Krom Cevherinin Sınıflandırılması (Şirvancı, 1998)	10
Çizelge 1.3. Boyuta Göre Sınıflandırma İle Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012).....	16
Çizelge 1.4. Ayıklama ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)	17
Çizelge 1.5. Taggart Konsantrasyon Kriterine Göre Uygulanacak Gravite Yöntemi Seçimi (Özdağ, 2001).....	19
Çizelge 1.6. Özgül Ağırlık Farkı ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)	36
Çizelge 1.7. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)	55
Çizelge 1.8. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)	58
Çizelge 1.9. Yüzey Özellikleri Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemlerinde Yararlanılan Mineral Özellikleri (Özkan, 2012)	60
Çizelge 2.1. Kef Bölgesinde İki Farklı Bölgeye Ait Kromit Örneklerinin Ortalama	102
Çizelge 2.2. Kromit Cevherinin Sanayideki Kullanım Alanları ve Bu Alanlara Ait.....	103
Çizelge 5.1. Temsili Numunenin Serbestleşme Derecesi.....	126
Çizelge 5.2. Temsili Numunenin Elek Fraksiyonlarına Göre Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	127
Çizelge 5.3. Temsili Numunenin Tane Boyut Dağılım Özellikleri	129
Çizelge 5.4. Kalitatif Faz Analiz Sonucu Temsili Numunede Tespit Edilen Bileşikler	131

Çizelge 5.5. Yarı kantitatif Element Analizi Sonucu Temsili Numunede Tespit Edilen Element ve Oksitler.....	132
Çizelge 5.6. Temsili Numunenin Elek Fraksiyonlarına Göre Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	133
Çizelge 5.7. MGS Ön Zenginleştirme Deney Tasarımı.....	139
Çizelge 6.1. MGS Deneyleri Sonucu Alınan Konsantre ve Artık Ürün Miktarları.....	143
Çizelge 6.2. MGS Ön Zenginleştirme Deneylerinden Alınan Konsantrelerin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	145
Çizelge 6.3. MGS Ön Zenginleştirme Deneylerinden Alınan Artıkların Kimyasal Analiz Sonuçları.....	146
Çizelge 6.4. MGS Ön Zenginleştirme Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	147
Çizelge 6.5. MGS Nihai Zenginleştirme Deneyleri Kimyasal Analiz Sonuçları .	151
Çizelge 6.6. MGS 1 Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarına Ait Tesise Uyarlanan Metalürjik Denge Çizelgesi	153
Çizelge 6.7. MGS 2 Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarına Ait Tesise Uyarlanan Metalürjik Denge Çizelgesi	154
Çizelge 6.8. MGS Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	154

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tip Kromit Mercceklerinin	4
Şekil 1.2.	İdeal Ofiyolit Sıralamasında Kayaç Gruplarının Dizilişi	6
Şekil 1.3.	Önemli Stratiform Tip Krom Yatakları ve Alpin Tipi Krom Yataklarının Dağılımı.....	7
Şekil 1.4.	Türkiye Krom Yataklarının Harita Görünümü.....	9
Şekil 1.5.	Türkiye’de Mevcut Kromit Potansiyeli.....	9
Şekil 1.6.	Triyaj Bandı Tesis Görünümü	17
Şekil 1.7.	Strokes Yasası’na Göre Özgül Ağırlıkları Farklı Mineral Tanelerinin.....	23
Şekil 1.8.	Ağır Ortam Siklonunun Şematik (a) ve Tesis (b) Görünümü	24
Şekil 1.9.	Dyna Whirlpool Ayırıcısının Şematik (a) ve Tesis Ölçekli (b) Görünümü.....	25
Şekil 1.10.	Tri-Flo Ayırıcısının Tesis Ölçekli Görünümü.....	26
Şekil 1.11.	Hidrosiklonun Yapısı ve Akışkanın Hareketi.....	27
Şekil 1.12.	Farklı Çap ve Tipteki Siklon Çeşitleri.....	29
Şekil 1.13.	Hidrosiklon Akım Diyagramı.....	29
Şekil 1.14.	Tanecik Hareketi	30
Şekil 1.15.	Yoğunluğa Bağlı Olarak Bir Spiral Hatvesinde Zenginleşme Olayı	32
Şekil 1.16.	Spiral Kesiti Üzerinde Ayırım Mekanizması Görünümü	33
Şekil 1.17.	Bir Jigin Şematik Olarak Görünümü.....	35
Şekil 1.18.	Feldspat Yataklı Jigin Kesit Görünümü	38
Şekil 1.19.	Kelsey Jiginin Tesis Ölçekli Görünümü.....	39
Şekil 1.20.	Farklı Özgül Ağırlık ve Büyüklükteki Tanelerin Akan Su Tabakası	42

Şekil 1.21. Akan Su Tabakası İçindeki Katı Hareketi Üzerindeki Eşik Etkisi.....	42
Şekil 1.22. Wilfley Sarsıntılı Masasının Şematik Görünümü.....	44
Şekil 1.23. Deister Sarsıntılı Masasının Şematik Görünümü	44
Şekil 1.24. Knelson Ayırıcısı ve Şematik Görünümü.....	47
Şekil 1.25. Falcon Konsantratörü Çalışma Prensibi	49
Şekil 1.26. Gravite Ayırıcılarının Efektif Çalışma Boyut Aralıkları	50
Şekil 1.27. MGS Çalışma Prensibi Kesit Görünümü	50
Şekil 1.28. MGS Ünitesinin Şematik Görünümü	51
Şekil 1.29. Laboratuvar/Pilot Ölçekli Bir MGS Ünitesi.....	53
Şekil 1.30. Manyetik Ayırmada Etkin Kuvvetler	56
Şekil 1.31. Manyetik Ayırıcıların Çalışma Prensibi	57
Şekil 1.32. İğne Uçlu Elektrod Kullanılması Durumunda Ayrılma	59
Şekil 1.33. Elektrostatik Ayırma Prensibi	59
Şekil 1.34. Flotasyon Hücresinin Şematik Görünümü	61
Şekil 1.35. Kolon Flotasyonu Düzeneği.....	64
Şekil 1.36. Jet Flotasyon Hücresinin Şematik Görünümü	65
Şekil 2.1. Çalışma Bölgesi Yer Bulduru Haritası	71
Şekil 2.2. Guleman Yöresinin Coğrafi Konumunu Gösterir Harita ve Guleman Peridotit Biriminin Genel Konumu, Kayaç Gruplarının Dağılımı ve Bazı Kesimlerin Peridotit Birimi İçindeki Yerleri.....	74
Şekil 2.3. Guleman Bölgesi'nin Genel Tektonostratigrafik Kesiti	77
Şekil 2.4. Guleman Grubu'nun Stratigrafik Dikme Kesiti	79
Şekil 2.5. Batı Kef Krom Yatağında Etkili Fayların Şematik Görünümü	81
Şekil 2.6. Guleman Grubu'na Ait Harzburjitlerin Mikroskop Görünüm	83
Şekil 2.7. Guleman Grubu'na Ait Parçalanmış Olivin Kristallerinin Mikroskop Görünümü	85

Şekil 2.8.	Olivinlerin Alterasyonu Sonucu Serpantin Minerallerinin Mikroskop Görünümü	86
Şekil 2.9.	Rut-Taşlıtepe Kesimindeki Önemli Krom Zonlarının Stratigrafik (İstifsel) ve Yapısal Konumları	88
Şekil 2.10.	Sori Dağ ve Kef Dağ Kromit Kütlelerinin ve Guleman Ofiyolitinin Jeolojik Haritası.....	89
Şekil 2.11.	Kef Dağ Kromit Kütlelerinin İlerleyen Akıntı Modeline Göre Oluşumu	94
Şekil 2.12.	Batı Kef Krom Ocağı'nın Şematik Görünümü.....	96
Şekil 2.13.	Batı Kef Krom Yatağının İstifsel (Stratigrafik) ve Yapısal Konumu	97
Şekil 2. 14.	Batı Kef Krom Yatağının Merkez ve Doğu Bölümleri Arasında Geçiş Gösteren Yüzey Jeoloji Haritası.....	98
Şekil 2.15.	Batı Kef Dağı Kromit Damarının Kesit Görünümü	99
Şekil 3.1.	Kef Konsantre Tesisi Fiili Çalışma Esası Akım Şeması	107
Şekil 5.1.	Temsili Artık Numunesinin Prosesten Alındığı Yeri Gösterir Şema	120
Şekil 5.2.	Numune Hazırlama Akış Şeması.....	121
Şekil 5.3.	Tane Boyut Dağılımlarını Gösteren % Miktar (a) ve % Kümülatif Elek	130
Şekil 5.4.	Deneylerde Kullanılan Pilot Ölçekli C900 Laboratuvar Tip Mozley MGS Cihazı.....	135
Şekil 5.5.	MGS Deneylerinden Alınan Konsantre Örnekleri	140
Şekil 6.1.	MGS Ön Zenginleştirme 5 No'lu Deney Sonuçlarına Ait Akım Şeması	144
Şekil 6.2.	MGS Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarına Ait Kütle Bilançosu	149
Şekil 6.3.	MGS Deney Sonuçlarına Ait Nihai Akım Şeması ve % Dağılım	152

Şekil 6.4. MGS 2 nolu Zenginleştirme Deneyi Konsantre Numunesi	
Mikroskop Görüntüleri.....	153



SİMGELER VE KISALTMALAR

SO ₂	:	: Kükürt dioksit
SO ₄	:	: Hata faktörü
MAM	:	: Marmara Araştırma Merkezi
Z	:	: Zenginleştirme Oranı
Cr ₂ O ₃	:	: Kromit
µm	:	: Mikron metre
XRD	:	: X-Ray Işın Kırınımı Analizi
XRF	:	: X-Ray Fluorescence
λ	:	: Dalga Boyu
d ₁₀	:	: Malzemenin yüzde %10'unun geçtiği elek açıklığı
d ₅₀	:	: Malzemenin yüzde %50'sinin geçtiği elek açıklığı
d ₉₀	:	: Malzemenin yüzde %90'ının geçtiği elek açıklığı
pH	:	: Hidrojen potansiyeli
DTA	:	: Diferansiyel Termal Analiz
MGS	:	: Multi Gravite Separatör
DTA	:	: Diferansiyel Termal Analiz
K	:	: Konsantrenin ağırlığı
L / lt	:	: Litre



1. GİRİŞ

Maden ocaklarından tüvanan olarak üretimi gerçekleştirilen metal madenleri, arz-talep dengesindeki talep ivmesine bağlı olarak ihtiyaçları karşılamak üzere metal elde etme proseslerine gönderilmekte veya endüstrinin gereksindiği iş kollarına satılmaktadır. Yüksek tenörlü cevherlerin üretimlerinin yer yuvarda giderek azalması ve piyasa ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalması ya da ihtiyaca cevap olunamaması, düşük tenörlü cevherlerin yeniden değerlendirilmesi ve zenginleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Cevher hazırlama ve zenginleştirme prosesleri de bu ihtiyaçlardan kaynaklı, kaçınılmaz bir gerçek olarak kendini dayatmakta ve bir sektör olarak, varlığı her geçen gün daha büyük önem kazanmaktadır.

Hammaddeyi tüketim alanının teknolojik ihtiyacına uygun hale getirmek ve kullanılmasını mümkün kılmak gibi teknolojik nedenler ile üretildiği haliyle ekonomik olan ya da olmayan cevherlerin cevher hazırlama ile ekonomik değerinin artırılması gibi ekonomik nedenler cevher zenginleştirmeyi gerektiren nedenleri teşkil etmektedir (Kahraman, 2012).

Zenginleştirme yöntemi, cevherde mevcut değerli ve değersiz tüm minerallerin cinsine, fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklara ve boyut dağılımlarına bağlı olarak seçilmektedir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme proseslerini Bayat (2007) tarafından hazırlanan ve Ek 1.1’de verilen çizelgede görüleceği şekilde sınıflamak mümkündür.

1.1. Genel Bilgiler

Doğada en yaygın olarak bulunan, ekonomik değer taşıyan ve krom yatağının temelini teşkil eden tek krom minerali ‘‘Kromit (Cr_2O_3)’’tir. Koyu kahverenginden yağlı siyaha kadar çeşitli renklerde olabilir. Kübik oktahedral sistemde kristalleşir.

Mohs Skalasına göre sertliği 5,5'tir. Yoğunluğu 4,3-4,6 gr/cm³ arasında değişir (Turgut, 1995).

Kromit minerallerinin bileşimi birbirlerinden oldukça farklılıklar göstermektedir. Ancak genel olarak $[R_2OR_3O_3]$ formülü ile ifade edilebilirler.

Burada;

R_2 : Mg, Fe

R_3 : Cr, Al, Fe'dir.

Teorik olarak kromit içinde ağırlıkça %68 Cr_2O_3 ve %32 FeO bulunur. Oysa kromit doğada böyle bulunmamaktadır. Nedeni ise +2 değerli element olarak demirin yerine magnezyum, +3 değerli element olarak da kromun yerine alüminyum ve demirin girmesidir. Ayrıca silikat mineralleri ile de çok sıkı birlikte büyüme gösterebilirler. Kromit spinellerindeki çeşitli bileşenlerin dağılımı;

Cr_2O_3	:	%13,9 – 68 / Genelde %33 – 55
Al_2O_3	:	%0 – 30
MgO	:	%10,44 – 32,5
Fe_2O_3	:	%0 – 30
FeO	:	%0,6 – 18

Kromit mineralleri az miktarda az miktarda Pt, Ni, Ca, Zn, Mn, V, Ti'da içerebilmektedir. Bu değişimlerden dolayı üç farklı kalitede kromit cevheri tanımlanmaktadır. Özellikleri değişken olabilmektedir (Güney, 1990).

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 yüzde (%) miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği %68'dir (DPT, 2001).

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile ilgili sınırlamalar söz konusudur. Teknolojik gelişmelere uygun olarak cevherin kimyasal bileşiminden kaynaklanan kullanım sınırlamaları giderek daha esnek hale gelmektedir. Kimyasal cevher olarak tanımlanan yüksek demirli krom cevheri, gelişen teknolojiyle artık metalürji sanayiinde de kullanılabilmektedir (DPT, 2001).

1.1.1. Krom Yatakları

1.1.1.1. Stratiform Tip Kromit Yatakları

Dünya krom yataklarının %90'ı bu tiptedir. Yataklar Bushveld ve Stillwater sınıfı magmatik komplekslerin genellikle alt kısımlarında oluşmuş tabakalar halindedir. Bu komplekslerin yakın çevre kayaçları, ana gabroik magmanın ultrabazik farklılaşma ürünleri olan dunit, peridotit ve piroksenitlerdir. Söz konusu kayaçlardan oluşan tabakalar geniş yatay uzanım, düzenlilik ve kompleksler içinde sabit konumlar gösterirler. Yataklardaki kromit genellikle demir yönünden zengindir (Kırınkoğlu, 1992).

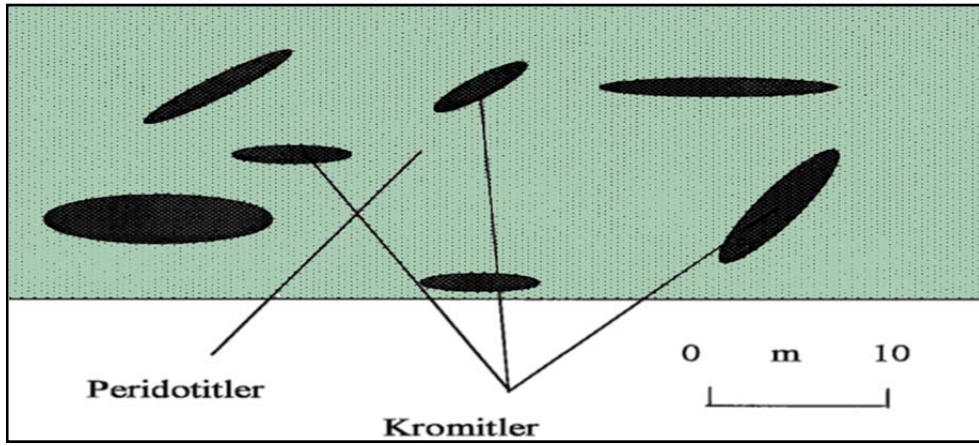
1.1.1.2. Podiform Tip Kromit Yatakları

Bunlar merceksi veya kabaca düzlemsel cepler halinde olup, rezervleri birkaç kilogramdan, birkaç milyon tona değişir. Üretimin büyük kısmı 100.000 ton ve daha fazla cevher içeren oluşumlardan yapılmaktadır. Tüm dünyada 1.000.000 ton ve daha fazla rezerve sahip olduğu bilinen bu tür yatak sayısı bir düzineden azdır. Birçok podiform yatak, yüksek krom tipinde olmakla birlikte, bunlar aynı zamanda yüksek alüminyumlu kromit için de tek kaynaktır (Güney, 1990).

Podiform yataklar, Alpin tipte, düzgün olmayan peridotit kütleleri veya peridotit-gabro komplekslerinde oluşmuşlardır. Genellikle Urallar ve Filipin ada yayı gibi orojenik kuşaklarda bulunurlar. Birçok büyük komplekste kromit yatakları, peridotit ve gabro arasındaki dokanağa yakın durumdadır. Yantaşın bileşimi dunitten gabroya kadar değişir ve stratiform tiplerin ortalama bileşimi

gabroya yakın olmasına karşılık, Alpin intrüzyonlar peridotite yakındır (Güney, 1990).

Peridotitler içine yerleşmiş podiform tipli kromit merceklerinin şematik görünüm ise Şekil 1.1’de verilmektedir.



Şekil 1.1. Peridotitler İçine Yerleşmiş Podiform Tip Kromit Merceklerinin Şematik Görünümü (Zedef, 1995)

1.1.2. Krom Cevheri Mineralleri

Krom içeren 25 civarında mineral vardır. Ama en önemlileri; kromit, uvarovit ve kemererittir (Arık ve ark., 2012).

Kromit en yaygın krom mineralidir. Ekonomik olarak işletilebilen tek krom minerali de kromit (Cr_2O_3)’tir. Yakutun kırmızı rengi, zümrütün yeşil rengi ve diğer birçok minerallerin renkleri genelde çeşitli kromoksitlerinden gelmektedir (Arık ve ark., 2012).

Kromitin bileşimindeki farklılıklar rengini, kristolografik yapısını ve görünümünü değiştirmede için tenör hesaplamada tahmin etkili bir yöntem değildir, analiz gerekmektedir (Arık ve ark., 2012).

Teorik mineralojik formülü FeCr_2O_4 olmakla birlikte, doğada bulunduğu haliyle formülü; $[(\text{Mg,Fe})^{++}(\text{Cr,Al,Fe})^{+++}]_2\text{O}_4$ olan spinel grubu bir mineraldir.

Özgül ağırlığı yüksek (20°C 'de $4,5 \text{ gr/cm}^3$) ve Mohs Skalasına göre sertliği 8 olan bir mineraldir. Rengi parlak siyah, çizgi rengi kahverengidir (Arık ve ark., 2012).

1.1.3. Kromit Cevherinin Yantaşıları

Kromitteki gang minerallerin oranı %5 – 25 arasında değişir. Kromit cevherinin sıcaklığa dayanıklılığı, düşük sıcaklıkta (1.650°C) eriyen yantaşılarının (Çizelge 1.1) miktarına ve türüne bağlıdır. Saf kromit ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) oksidasyon ve redüklenmeden dolayı, genellikle ergimeden dekompoze olur (Gence, 1985).

Çizelge 1.1. Kromitin Yantaşıları (Deniz, 1992)

Kromit Yantaşıları	Kimyasal Formülü	Sertlik (Mohs)	Yoğunluk (gr/cm^3)
Serpantin	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3 – 4	2,6
Olivin	$2(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	7	3,2 – 4
Kloritler	$5(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	-
Feldspatlar	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	-	-
Proksen Diopsit	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	-	-
Enstatit	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-
Bronzit	$(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	-	-

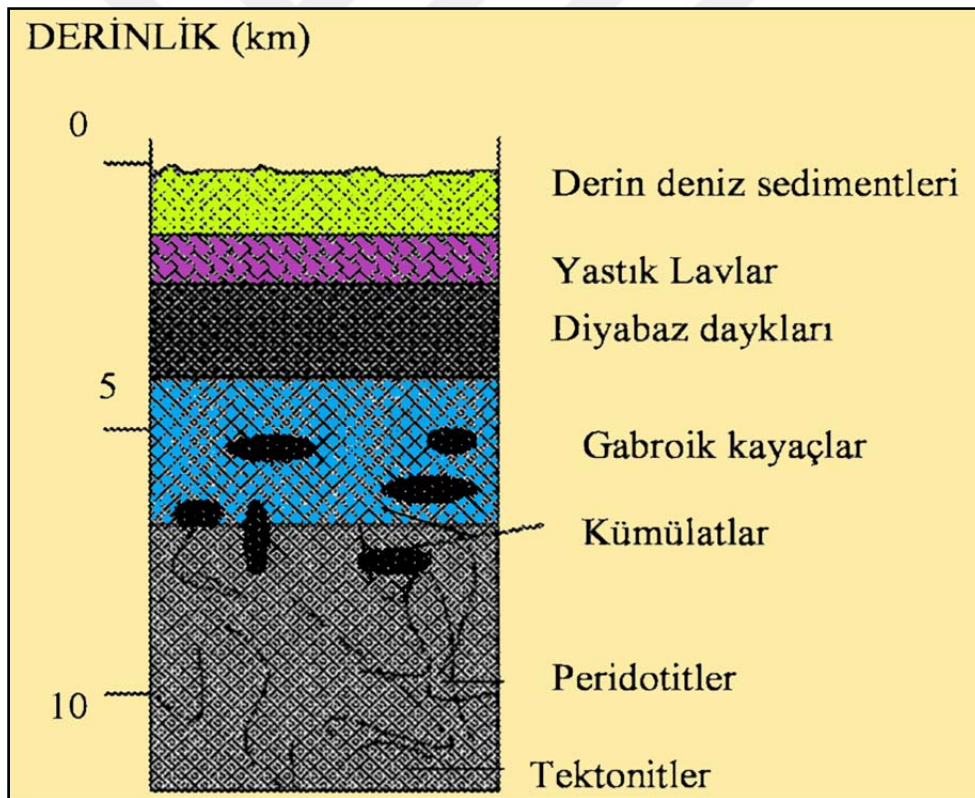
1.2. Krom Yataklarının Bulunuşu ve Oluşumu

Arık ve ark. (2012), yeryüzünde çok sayıdaki krom yataklarının ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, kromitin peridotitler içinde kristalleşmenin başlangıç aşamasında, farklılaşma sonucunda ayrılarak kristalleştiği saptamıştır.

Alpin tipi cevherler, Cr/Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayiinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üççeyreğinde kromit üretimi daha çok Alpin

tipi yataklardan yapılmıştır. Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranı düşük, FeO içeriği yüksek olan stratiform tip yataklardan üretilen cevher ise, 1970'li yıllara kadar genelde kimya sanayiinde kullanılmıştır. Ancak Alpin tip yataklarda rezerv belirleme güçlüğü ve uzun vadeli ticari bağlantıların yapılmaması gibi nedenler, stratiform tip yataklara ait krom cevherinin özellikle metalürji sanayiinde kullanımına imkân sağlayan teknolojileri geliştirmeyi zorlamış; elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak da bu tip yataklardan yapılan krom cevheri üretimi giderek artma eğilimi göstermeye başlamıştır (DPT, 2001).

İdeal bir ofiyolitik dizilişte kayaç gruplarının konumunu gösterir şema Şekil 1.2'de verilmektedir.



Şekil 1.2. İdeal Ofiyolit Sıralamasında Kayaç Gruplarının Dizilişi (Coleman, 1977)

1.3. Dünya Krom Yatakları ve Rezervleri

Dünya krom üretimi, %40 Güney Afrika, %15 Kazakistan, %13 Hindistan, %10 Türkiye ve diğerleri şeklindedir. Dünya yıllık krom üretimi 22 milyon ton civarında gerçekleşmektedir (Arık ve ark., 2012). 2015 yılında dünya krom parça ve konsantre üretimi bir önceki yıla göre %0,5 gerileme ile 28,9 milyon ton olmuştur (<https://www.alsermaden.com>).

Güney Afrika'nın krom pazarında en büyük paya sahip olmasının nedeni, stratiform tipi krom yataklarının Alpin tipi krom yataklarına göre çok fazla boyutlarda olmasıdır. Fakat stratiform yataklarda krom yüzdesi Alpin tipi krom yataklarına göre düşük olduğu için pek tercih edilmemektedir. Alpin tipi krom yatakları, Alpin orojenik kuşağı boyunca gözlenirken, stratiform tip yataklar farklı yerlerde dağılım göstermektedir (Şekil 1.3) (Arık ve ark., 2012).



Şekil 1.3. Önemli Stratiform Tip Krom Yatakları ve Alpin Tipi Krom Yataklarının Dağılımı (Stow, 1987'den değiştirilerek)

Dünyada mevcut rezervlerin %75'inin Güney Afrika'da, %9'unun Zimbabwe'de, %7'sinin Kazakistan'da ve geriye kalan %9'unun diğer 27 dolayında ülkede bulunduğu tahmin edilmektedir. Dünya krom üreticisi ülkeler göz önüne alındığında, bu ilk üç ülke dışında kalan diğer ülkelerde bulunan rezervlerin daha küçük rezervler olduğu bilinmektedir (DPT, 2001).

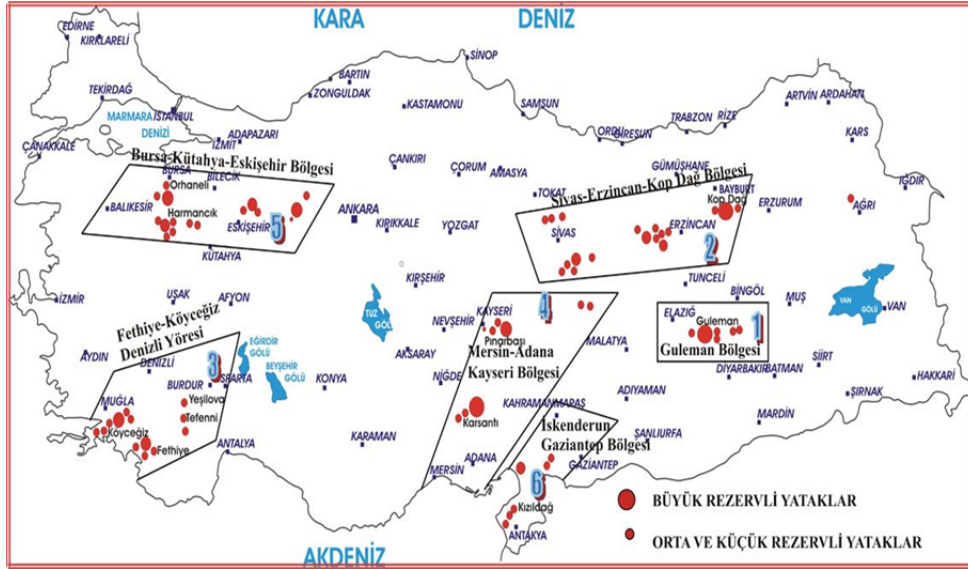
1.4. Türkiye Krom Yatakları, Rezervleri ve Üretimi

Türkiye, krom yatakları bakımından oldukça zengin ve dünya krom üretiminde önemli yer tutan bir ülke konumundadır. Ülkemizde kromit yatakları, alpin tipli olup genellikle düzensiz dış şekilli, masif, saçınımlı-banlı iç yapılar gösteren yataklar şeklinde gelişmiştir (Arık ve ark., 2012).

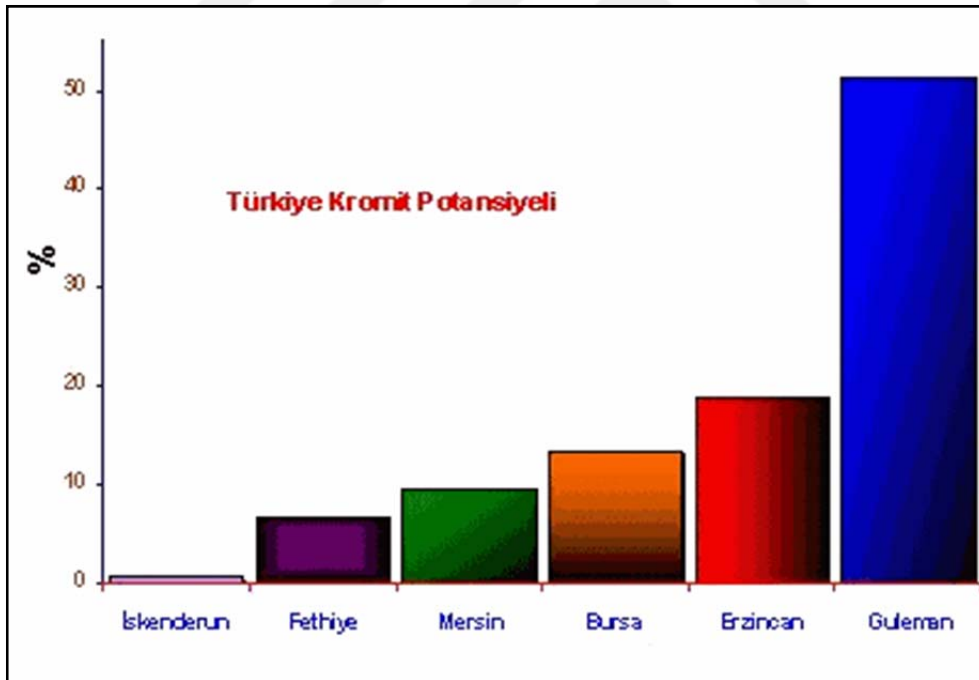
Türkiye'de krom üretim yatakları 7 bölgede yoğunlaşmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şekil 1.4).

- a) Elazığ (Guleman) Bölgesi
- b) Muğla-Denizli-Burdur Bölgesi (Ilıkdere-Kaymakam, Kandak, Biticealan, Andızlık ve Anik Yatakları)
- c) Bursa-Eskişehir Bölgesi (Orhaneli Yatağı)
- d) Tokat-Erzincan Bölgesi (Artova, Kızıldağ ve Kopdağı Yatakları)
- e) Kayseri-Sivas Bölgesi (Pınarbaşı, Kangal ve Beypınarı Yatakları)
- f) Mersin-Adana Bölgesi (Dereocak, Kavasak, Dorunca, Kızılyüksek ve Yatakdıç Yatakları)
- g) Antakya-Kahramanmaraş Bölgesi (Arık ve ark., 2012).

Yukarıda sıralanan bölgelerin dışında, dağınık şekilde bulunan diğer bazı krom yataklarının varlığı da bilinmektedir. Türkiye'de 800 kadar tek veya grup halinde krom yatağı ve krom cevheri zuhuru olduğu düşünülmektedir (Şekil 1.5) (Kıdıman, 2009).



Şekil 1.4. Türkiye Krom Yataklarının Harita Görünümü (www.haritaburada.com)



Şekil 1.5. Türkiye’de Mevcut Kromit Potansiyeli (Bayat, 2006)

1.5. Krom Tüketim Alanları

Kromit, kromun ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral olup kimyasal içeriklerine göre (Cr_2O_3 , Al_2O_3 ve Cr/Fe oranlarına göre) üç ana grupta toplanmaktadır (Çizelge 1.2) (Arık ve ark., 2012).

Çizelge 1.2. Krom Cevherinin Sınıflandırılması (Şirvancı, 1998)

Cevher Sınıfı	Jeolojik Yatak Türü	Kimyasal Yapı (ağırlık olarak) Cr/Fe (%)	Esas Kullanım Alanı
Yüksek - Krom	Podiform + Stratiform	%46-55 Cr_2O_3 Cr/Fe: 2/1	Metalürjik
Yüksek - Demir	Stratiform	%40-46 Cr_2O_3	Metalürjik, Kimyasal
Yüksek - Alüminyum	Podiform	%33-38 Al_2O_3	Refrakter

Günümüzde kromitin %79'u metalürji, %8'i refrakter malzeme, %13 kadarı da kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Demir ile olan alaşımına ferrokrom denir (buna 'çelik' de denir). Ferrokromun %90'ı başlıca paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler %12-40 arasında krom içermektedir. Krom, çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde ilave edilmektedir. Bu özelliği nedeniyle krom, savunma sanayiinin vazgeçilmez hammaddelerinden biridir ve bu açıdan stratejik öneme sahiptir (Arık ve ark., 2012).

Kimyasal kromit konsantrelerinin ince taneli ve yüksek Cr_2O_3 tenörlü olması istenmektedir. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özelliği ile uçak ve gemi sanayiinde yaygın olarak, kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik

asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır. Cevher içindeki kromitin özelliklerine göre hangi alanda kullanılacağı belirlenir (Arık ve ark., 2012).

1.5.1. Metalürji Sanayii

Demir krom alaşımları, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımlıdır. Krom alaşımının sertliğini, cer ve manyetik kabileyetlerini, yüksek hararetle dayanma özelliklerini artırmaktadır. Demir krom alaşımları, zırh, levha, mermi, keski aletleri, tansmisyon parçaları, yüksek hararete ve aşınmaya maruz makinaların yapımında kullanılmaktadır. Metalürjik kromitin özellikleri şunlardır (DPT, 2001):

- %48 Cr_2O_3 içeriği
- $\text{Cr/Fe} = 3/1$ oranı
- Düşük miktarda SiO_2
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} < \%25$

Metalürjik amaçlar için sert parça cevherler tercih edilse de az karbonlu kromlu çelik imalinde konsantre tozlar da kullanılabilir (Çınarlıdere, 2012).

Ferrokrom üretimi ana hammaddesi olarak kullanılan krom cevheri için ABD ulusal stoklar idaresi cevher satın alma şartnamesinde (kuru baz olarak) şu şartlar ileri sürülmektedir (Gence, 1985).

- Cr_2O_3 : %48
- SiO_2 : %8 (max)
- C/Fe : 3/1
- S : %0,08 (max)
- P : %0,04 (max)

Bu krom %70 Cr tenörlü ferrokrom üretiminde kullanılmaktadır. Al_2O_3 tenörünün %11-13 olması istenmektedir (Gence, 1985).

1.5.2. Kimya Endüstrisi

Kimya sanayinde kullanılan kromitin özellikleri şunlardır:

- $Cr_2O_3 > \%44$
- $SiO_2 < \%5$

Kimya sanayinde, erime kolaylığı nedeniyle toz cevher tercih edilmektedir. Kimyasal krom cevherini en çok Güney Afrika temin etmektedir (Çınarlıdere, 2012).

Kimya sanayinde krom bileşikleri deri işlemeciliği, boya maddeleri üretimi, organik maddelerin oksidasyonu, pas önleyiciler, yağ, sabun ve mumların ağartılması, tekstil maddelerinin boyanması, kibrit sanayii, yangın önleyici malzemelerin imali, fotoğrafçılık, analitik ayraçlar, emaye ve seramik endüstrileri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın, 2001).

1.5.3. Refrakter Sanayii

Refrakter malzeme endüstrisinde Cr_2O_3 içeriği %32'den daha fazla, $Cr_2O_3+Al_2O_3$ içeriği %60'tan fazla, Al_2O_3 içeriği minimum %20 olan ve %6'dan daha az SiO_2 , %1'den daha az CaO içeren cevherler kullanılmaktadır. Kromit, ergime noktası yüksek hararete asit ve bazların etkilerine dayanım göstermektedir. Harç halindeki ya da tuğla şeklindeki izabe fırınlarının iç yüzeylerinin örülmesinde kullanılmaktadır (Çınarlıdere, 2012).

Refrakter kromit konsantrlerinde aranan özellikler şöyledir:

Cr_2O_3 oranı en az %30

Al_2O_3 oranı en az %20
 Cr_2O_3 ve Al_2O_3 oranı en az %60
Cr / Fe oranı 3 / 1 'den küçük olmalıdır.
FeO oranı en fazla %15
CaO oranı en fazla %2
 SiO_2 oranı en fazla %5

Refrakter tuğla sanayinde daha çok krom - manyezit tuğlalarının yapımında kullanılan kromit konsantrelerinin Al_2O_3 ve MgO'ce zengin (çünkü bunlar kromitin ergime sıcaklığını artırır) FeO'ce fakir (Fe sıcaklık değişimlerine çok hassastır) olması istenir (Şatır, 1996).

Kromit mineralinin yukarıda belirtilen üç sanayii kolu dışında başka kullanım alanları da bulunmaktadır (Şatır, 1996).

1.6. Kromit Mineralinin Zenginleştirilmesi

Boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırmayı izleyen ve cevher içindeki değerli mineral gruplarını, değersizlerden ayırmayı amaçlayan işlemlerin tümüne 'zenginleştirme (konsantrasyon)' adı verilmektedir (Kahraman, 2012).

Bir cevheri oluşturan çeşitli minerallerin birbirinden ayrılması, mineraller arasındaki fiziksel ve kimyasal özellik farklarına dayanılarak geliştirilen zenginleştirme yöntemleri ile mümkün olmaktadır (Kahraman, 2012).

Mineralojik yapıları ve kimyasal bileşimleri bakımından farklı iki veya daha fazla katı maddenin birbirlerinden ayrılabilmesi için aşağıdaki iki şartın olması gerekmektedir:

1. Cevher tanelerinde, konsantre edilecek mineralin veya minerallerin tamamen serbest halde bulunması veya bu serbestleşmenin kırma ve öğütme yoluyla kolayca elde edilebilmesi,

2. Serbestleşmiş olan saf minerallerin fiziksel özelliklerinin (yoğunluk, manyetik çekilme, elektrik iletkenliği) veya kırılma yüzeylerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin farklı olması.

Yukarıdaki şartlar oluşunca ayrılma ve konsantrasyonun verimli oluşu aşağıdaki iki faktörle tespit edilmektedir.

- a) Ayrılan kısımda veya kısımlardaki konsantre edilmesi istenen mineralin oranı (konsantrenin tenörü),
- b) Orijinal ham cevherdeki kıymetli mineralden konsantreye geçen kısım (randıman) (Tolun, 1960).

Zenginleştirme yöntemi seçimi yapılırken, konsantre edilecek cevher numunesi üzerinde şu incelemeler yapılmalıdır:

- a) Cevherin içerdiği minerallerin tanımlanması: Optik veya elektron mikroskobu, XRD, XRF, DTA ve kimyasal analiz yöntemleri ile belirlenmesi,
- b) Tanımlanan minerallerin özelliklerinin saptanması,
- c) Zenginleştirmede yararlanılacak özellik farklılıklarının belirlenmesi,
- d) Tane serbestleşme boyutunun saptanması,
- e) Uygun yöntem/yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir (Kahraman, 2012).

Cevher zenginleştirmede, fiziksel özellik farklılıklarına dayalı dört temel zenginleştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar:

1. Boyuta göre sınıflandırma ve ayıklama (triyaj) ile zenginleştirme
2. Özgül ağırlık farkı (gravite) ile zenginleştirme
3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme
4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme şeklindedir (Kahraman, 2012).

1.7. Kromit Zenginleştirme Yöntemleri

Günümüzün teknolojik olanakları ile %5-10 Cr_2O_3 içeren kayalardan istenilen kalitede kromit konsantreleri üretmek mümkündür. Ancak şu anda ekonomik olarak %30'un üzerinde Cr_2O_3 içeren yataklar işletilmektedir. Konsantrenin Cr/Fe oranı ise bir cevherleşme derecesidir. Dolayısıyla bunun zenginleştirilme ile değiştirilmesi olanaksızdır. Şu anda işletilebilen kromit yataklarından üretilen kromit konsantrelerinin bu doğal Cr/Fe oranları da günümüzün teknolojik kullanım gereksinimleri için yeterlidir (Tahtakıran, 2008).

Buna göre günümüzde uygulanan kromit zenginleştirme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tavuklama (Triyaj)
2. Yoğunluğa göre zenginleştirme
 - 2.1. Jiglerde zenginleştirme
 - 2.2. Sallantılı masalarda zenginleştirme
 - 2.3. Humprey Spirallerinde zenginleştirme
 - 2.4. Multy Gravity Seperator (MGS)
3. Manyetik zenginleştirme
 - 3.1. Yüksek alan şiddetli kuru manyetik zenginleştirme
 - 3.2. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik zenginleştirme
4. Flotasyonla zenginleştirme (Özdağ, 2001).

Zenginleştirme işlemlerinde kromit cevherinin serbestleşme boyutu gang minerallerinin cinsine (serpantin, olivin vd.) ve cevher özelliğine (metalürjik, refrakter) bağlıdır. Serbestleşme boyutu, bu zenginleştirme yöntemlerinin hangisinin ve hangilerinin kullanılacağını belirleyen en önemli parametredir (Deniz, 1992).

1.7.1. Boyuta Göre Sınıflandırma ve Elle Ayıklama (Triyaj, Tavuklama) İle Zenginleştirme

Boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme;

1. Boyut küçültmeden sonra sınıflandırma ile zenginleştirme
2. Yıkama ve dağıtmadan sonra sınıflandırma ile zenginleştirme olmak üzere iki şekilde olmaktadır (Çizelge 1.3) (Özkan, 2012).

Ayıklama ile zenginleştirme;

1. Elle Ayıklama (Triyaj)
2. Otomatik olmak üzere iki şekilde olmaktadır (Özkan, 2012).

Elle ayıklamaya tabi tutulacak cevherlerde aranan özellikler şu şekildedir:

1. Ayrılması istenen mineraller arasında belirgin renk, parlaklık, şekil ve ağırlık farkı bulunmalıdır.
2. Elle ayıklanacak cevherlerde tane boyutu -30+3 cm olmalıdır.
3. Tanelerin iyi tanınması için ayıklama öncesinde cevherin yıkanması gerekmektedir (Özkan, 2012).

Çizelge 1.3. Boyuta Göre Sınıflandırma İle Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Dayanıklılık - Gevreklik Yapı ve Kırılış Şekli Isı ile Dağlama	Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme		
	Eleme		-200+0,5
	Siklon		-1+0,02
		Eleme	-100+0,1
		Klasifikasyon	-2+0,05
		Hidrosiklon	-1+0,001



Şekil 1.6. Triyaj Bandı Tesis Görünümü (Yıldırım, 2009)

Triyaj yöntemi, öğütmeye gerek duyulmaması, ilk yatırım giderlerinin az olması ve enerji sarfiyatının düşük olması gibi avantajlar sağlamaktadır. Buna karşılık işçi giderlerinin fazla olması, kromit kaybının yüksek olması ve belirli bir tane boyutunun (+50 mm) dışında uygulanamaması gibi sakıncaları bulunmaktadır (Çizelge 1.4) (Ağaçayak, 2004).

Çizelge 1.4. Ayıklama ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Renk, parlaklık, fluoresans, radyoaktivite, manyetizma, iletkenlik, özgül ağırlık, X-Işını	Ayıklama (Triyaj) ile Zenginleştirme		
	Elle Ayıklama		-300 +30
	Otomatik Ayıklama		-200 +5

Elle ayıklamanın yapıldığı yerlerde aşağıdaki şartların bulunması gerekmektedir.

- Kromit ve gang minerallerinin 50 mm veya daha iri boyutlarda serbestleşmesi,
- Aralarındaki farkın kolayca ayırt edilebilmesi,
- İşçilik giderleri düşük olması,
- Yoğunluğa göre veya manyetik ayırma yöntemlerinin ekonomik veya mümkün olmaması (Özdağ, 2001).

1.7.2. Yoğunluk Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemleri

Kromit zenginleştirmesinde yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemleri 30 - 2 mm arasında serbestleşebilen cevherlere uygulanır. Ancak içeriğinde yan kayaç olarak yüksek oranda peridotlar ve bilhassa olivin veya harzburjit içeren cevherlerin yoğunluğa göre zenginleştirilmeleri mümkün değildir. Bunun nedeni olivinin yoğunluğunun (3,5 - 4,2 g/cm³) kromitin yoğunluğuna (4,5 g/cm³) çok yakın olmasıdır. Yoğunluğa göre zenginleştirme yönteminin uygulanabilirliği; besleme malının Cr₂O₃ yüzdesi, besleme malının serbestleşme tane iriliğine ve yan kayaç minerallerinin cinsine bağlıdır. Bu tip tesislerdeki zenginleştirme verimi genellikle %65-80 arasındadır. Cevher tenörlerine bağlı olarak zenginleştirme oranı (Z) 4:1-5:1'e kadar yükselebilir (Çilingir, 1988).

Gravite ile zenginleştirmenin verimliliği konsantrasyon kriterine bağlıdır (Çizelge 1.5). Taggart tarafından geliştirilen zenginleştirme (konsantrasyon) kriteri (K), özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmenin hangi boyutlarda ve yöntemlerle yapılacağı hakkında belirleyici olmaktadır (Ağaçayak, 2004).

Buna göre:

$$K = \frac{\rho_A - \rho_S}{\rho_H - \rho_S} \quad (1.1)$$

- ρ_A : Ağır mineralin özgül ağırlığı (gr/cm³)
 ρ_H : Hafif mineralin özgül ağırlığı (gr/cm³)
 ρ_S : Akışkan ortamın özgül ağırlığı (gr/cm³)
 K : Konsantrasyon kriteri

Yoğunluğa göre zenginleştirmede Konsantrasyon Kriteri (K) serpantin için 2'nin üzerinde olduğu için iyi bir ayırım beklenirken, olivinde ise bu rakam 2'den daha az olduğundan ayırım zor olmaktadır. Cevher iri tanelerde (30-5 mm) serbestleşiyorsa önce jiglerde zenginleştirilerek kaliteli kromit konsantreleri elde edilmeye çalışılır. Jig artıkları ise öğütülerek sallantılı masalara gönderilir. Cevherin serbestleşmesi 3 milimetrenin altında ise cevherin tamamı sallantılı masalarda zenginleştirilir (Özdağ, 2001).

Çizelge 1.5. Taggart Konsantrasyon Kriterine Göre Uygulanacak Gravite Yöntemi Seçimi (Özdağ, 2001)

Konsantrasyon Kriteri	Uygulama Tane Boyutu	Gravite Yöntemi
$K > 2,5$	Ayırma çok küçük boyutlara kadar kolayca uygulanabilir.	Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri,
$2,5 > K > 1,75$	Ayırma kolaydır. Ancak 0,1 mm'ye kadar uygulanabilir.	Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri,
$1,75 > K > 1,50$	Ayırma güçleşir.	Alt uygulama boyutu 1 mm'dir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.
$1,50 > K > 1,25$	Ayırma oldukça güçtür.	10 mm büyüklüğündeki tanelere ağır ortam ve jig kullanılabilir.
$K < 1,25$	Ayırma mümkün değildir.	Ancak akışkan özgül ağırlığı artırılarak ayırma yapılabilir.

Yoğunluğa göre kromit zenginleştiren tesislerde en yaygın olarak jigler ve sallantılı masalar kullanılmakla birlikte son yıllarda 0,1 mm'nin altındaki cevherleri kazanmak amacıyla Multy Gravity Separatörler (MGS) yaygınlaşmaya başlamıştır (Turgut, 1995). MGS'nin çalışma prensibi, sallantılı masa yüzeyinin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması şeklinde tanımlanabilmektedir. MGS'de zenginleştirme, bir ucu açık olan tamburun belirli bir hızla döndürülmesi ile mineral tanelerine karşı etkili olan yer çekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında, tanelerin tambur yüzeyinde yarı katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile ayrılmasının gerçekleşmesi esasına dayanmaktadır (Aslan ve Canbazoğlu, 1995).

Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmede, mineral tanelerinin akışkan ortamlardaki hareket hızları ve davranışlarına;

- Mineral tanelerinin özgül ağırlığı,
- Mineral tanelerinin şekil ve büyüklüğü,
- Akışkan ortamın akış rejimi,
- Akışkan ortamın viskozite ve yoğunluğu gibi özellikleri ve içinde zenginleştirme yapılan aygıtın yapı ve çalışma şekli gibi faktörler etki etmektedir (Özkan, 2012).

Akışkan bir ortam içerisinde bulunan bir taneye etkiyen kuvvetler şunlardır:

- Yerçekimi kuvveti,
- Akışkanın kaldırma kuvveti,
- Tane ve akışkanın özelliklerine bağlı direnç kuvvetlerinden

etkilenmektedir (Özkan, 2012).

Tanenin hareket denklemi:

$$m \cdot g - m' \cdot g - F_D = m(d \cdot v / d \cdot t) \quad (1.2)$$

şeklindedir.

m : Tanenin kütlesi

m' : Tane ile aynı hacimdeki akışkanın kütlesi

g : Yerçekimi ivmesi

F_D : Direnç kuvveti

v : Tanenin hareket hızı

d : Tane çapı

Tanenin hareket (çöküş) hızı arttıkça, akışkan tarafından uygulanan direnç kuvveti de artmaktadır (Özkan, 2012).

Cevher zenginleştirme işlemlerinde, değişik boyut ve özgül ağırlıktaki çok sayıda tanenin bir arada hareketi söz konusudur. Bu durumda mineral tanelerinin çökelmelerini etkileyen başlıca değişkenler;

- Pülpin katı oranı,
- Görünür özgül ağırlığı,
- Görünür viskozitesi şeklindedir (Özkan, 2012).

Pülpte Katı Oranı < %15 ise *Serbest Çöküş*,

Pülpte Katı Oranı > %15 ise *Engelli Çöküş* meydana gelmektedir.

Zenginleştirme işlemlerinde *Engelli Çöküş* koşulları geçerli olmaktadır (Özkan, 2012).

Özgöl ağırlık farkı ile zenginleştirmede;

1. Durgun ortam (Ağır Ortam)
2. Düşey hareketli akışkan ortam (Jig)
3. Tabaka halinde akan akışkan ortam (oluk, spiral, masa vb.)

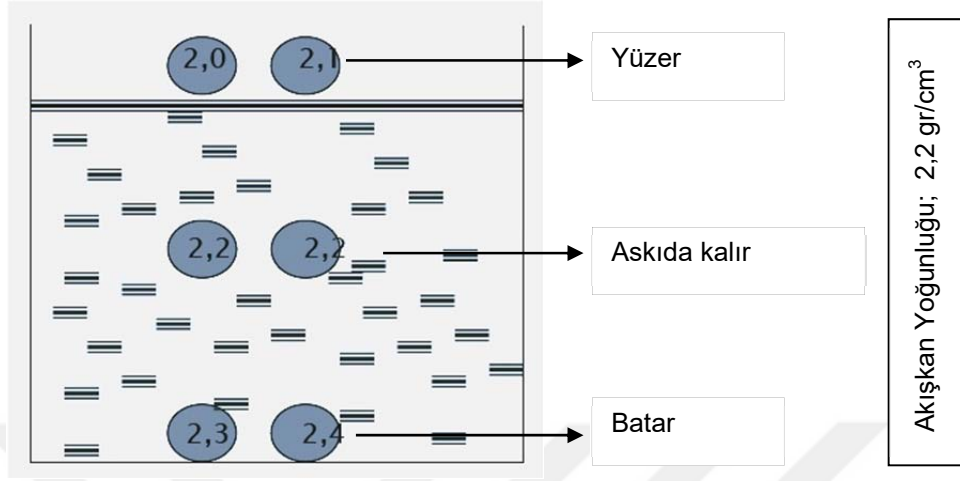
olmak üzere genellikle üç çeşit akışkan ortam kullanılmaktadır (Özkan, 2012).

1.7.2.1. Ağır Ortam Ayırması İle Zenginleştirme

İri boyutlu mineral tanelerinin aralarındaki özgül ağırlık farklılığına dayanılarak ağır bir akışkan ortam içerisinde, yüzme ve batma yoluyla birbirinden ayrılması ile yapılan zenginleştirme işlemine ‘ağır ortam’ veya ‘ağır sıvı ayırması ile zenginleştirme’, bir diğer ifade ile ‘yüzdürme-batırma ile zenginleştirme’ denilmektedir (Özkan, 2012).

Ağır ortam ayırmalarında yerçekimi ile buna karşı koyan ve ortam viskozitesinden kaynaklanan direnç kuvveti, mineral tanelerinin birbirinden ayrılmasında etkin olan kuvvetlerdir (Özkan, 2012).

Ağır ortam banyolarında genellikle Laminer akış koşulları bulunduğundan mineral tanelerinin hareketinde Stokes Yasası geçerli olmaktadır (Şekil 1.7) (Özkan, 2012).



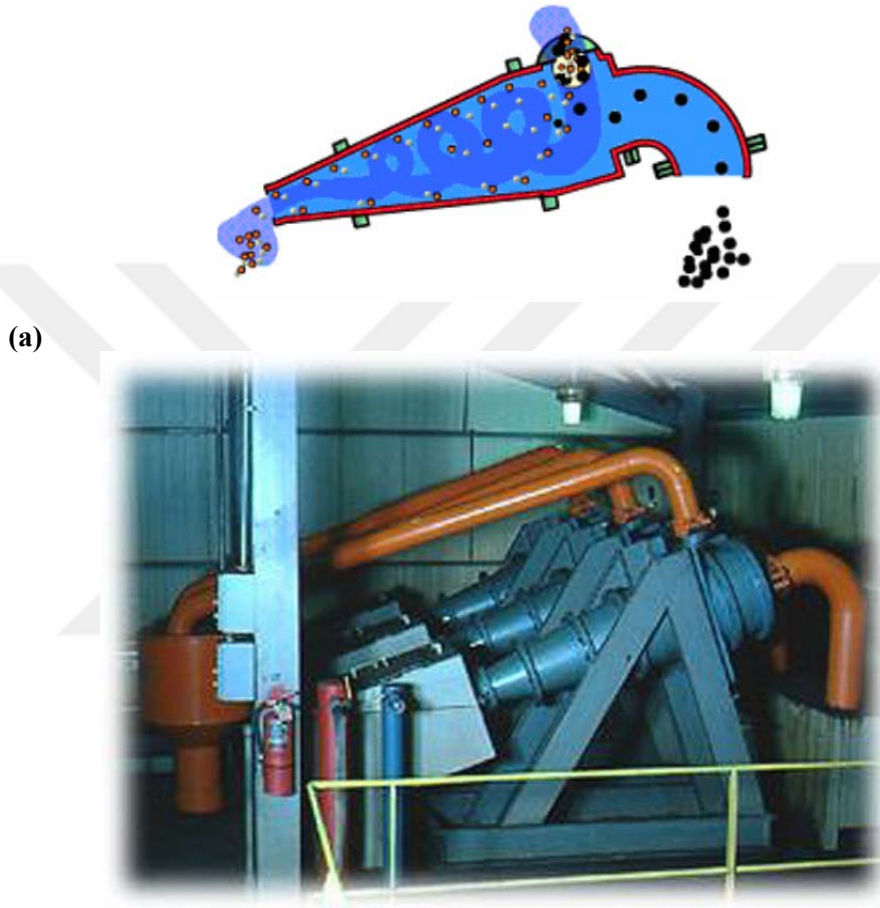
Şekil 1.7. Stokes Yasası'na Göre Özgül Ağırlıkları Farklı Mineral Tanelerinin Hareket Şekli (Özkan, 2012)

Ağır ortam ayırma yöntemi statik (3 milimetreden daha iri malzemelerde) ve dinamik (0,5 mm'ye kadar) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik yöntemde tambur veya koni şeklinde banyolar kullanılırken, dinamik sistemde siklon veya Stripa Teknesi kullanılmaktadır (Özkan, 2012). Başlıca uygulama şekilleri;

- Tek bir banyo içerisinde ayırma
- Banyonun kontrollü olarak karıştırılması ile ayırma
- Farklı özgül ağırlıklı banyolardan oluşan bir dizide ayırma
- Üst yüzeyi ile dibi arasında özgül ağırlığı değişen tek bir banyoda ayırma (Cyanamid Prosesi)
- Hidrolik olarak genişletilmiş bir ayırma ortamı kullanarak ayırma (Change ve Stripa Prosesleri)
- Merkezkaç kuvvetinden yararlanarak ayırma (ağır ortam siklonu)
- Diğerleri şeklindedir (Özkan, 2012).

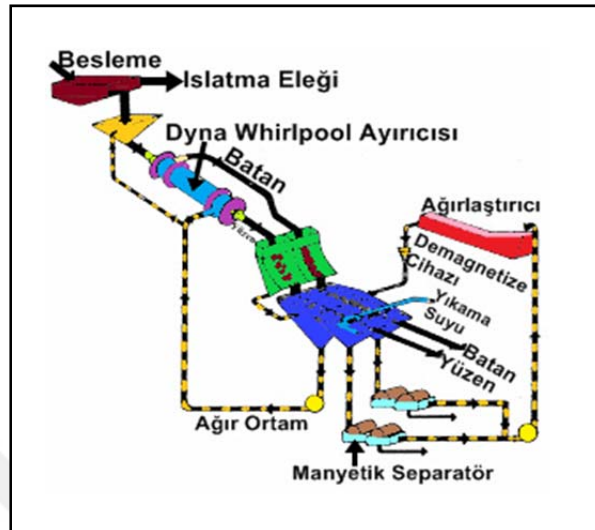
Ağır ortam ayırması ile zenginleştirmede 1950'li yıllardan sonra gelişme kaydedilmiştir. Santrifüj kuvvetinin uygulandığı ağır ortam ayırıcılarında, ortam

akışkanlığı düşürülebildiği için, statik ayırıcılara göre daha küçük boyuttaki (-20+0,5 mm) mineraller yıkanabilmektedir (Şekil 1.8 a-b) (Önal ve Güney, 1988).



(a)
(b)
Şekil 1.8. Ağır Ortam Siklonunun Şematik (a) ve Tesis (b) Görünümü (Oruç, 2006)

Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi, hidrosiklonların çalışma prensibine benzemektedir. Ağır ortam siklonlarına güzel bir örnek olan Dyna Whirlpool ayırıcısı, esas itibariyle Larcodems ayırıcısına benzemektedir (Şekil 1.9 a-b). Giriş ve çıkışlar, gövdenin her iki ucunda ve gövdeye teğet durumdadır. Kapasiteleri 100 ton/saat'e kadar ulaşabilmektedir (Önal ve Güney, 1988).



(a)



(b)

Şekil 1.9. Dyna Whirlpool Ayırıcısının Şematik (a) ve Tesis Ölçekli (b) Görünümü Oruç, 2006)

Diğer bir ağır ortam siklonu, Tri-Flo ayırıcısıdır (Şekil 1.10). Tri-Flo ayırıcısı da Dyna Whirlpool ayırıcısı gibi silindirik bir gövdeye sahiptir. Ancak bu

sistemdeki fark, tek ayırma cihazı ile iki veya üç kademe ürün alınmasıdır. Çok kademeli ağır ortam ayırması ile hata faktörü değeri daha da düşürülmüştür. İki veya daha fazla yoğunlukta ayırma yaparak, değişik niteliklerde ürünler elde edilebilmektedir (Oruç, 2006).



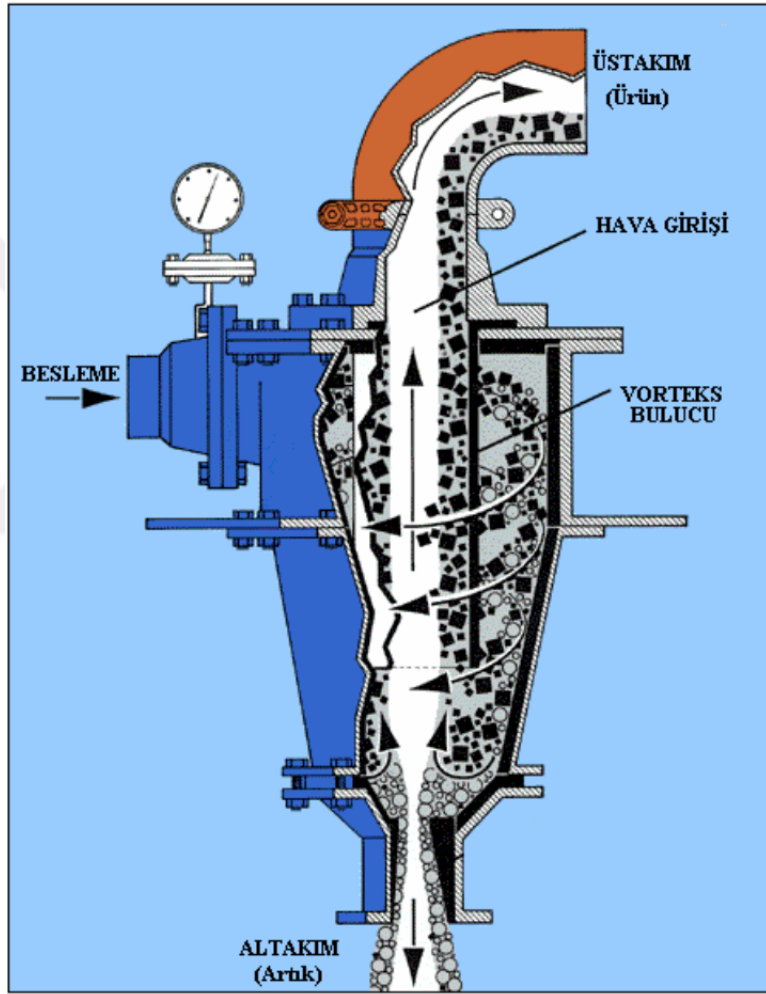
Şekil 1.10. Tri-Flo Ayırıcısının Tesis Ölçekli Görünümü (<https://triflo.com>)

1.7.2.2. Hidrosiklon İle Zenginleştirme

Santrifüj kuvvetinden faydalanılarak, ince parçaların kuru (aero-siklon) veya sulu ortamda (hidrosiklon) tane büyüklüklerine göre sınıflandırılmalarını ve şlamın koyulaştırılmasını sağlayan düzendir. Bu düzende, iri veya yoğun parçacıklar siklon kabının alt ucundan, ince veya yoğunluğu az parçacıklar ise siklon kabının üst kısmından ayrılmaktadır (Maden Terimleri Sözlüğü, 2012).

Hidrosiklon; tanelerin çökme hızlarını arttırmak için merkezkaç kuvvetini kullanarak sürekli şekilde çalışan aygıtlardır. 1890 yılından beri

kullanılmakla birlikte cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerine 1955'ten sonra girmiştir. Boyuta göre sınıflandırma işlemlerinde tercih edilen hidrosiklonlar, genelde 150-5 μm arası boyutundaki tanelerin zenginleştirilmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Şekil 1.11) (Özdağ, 1993).



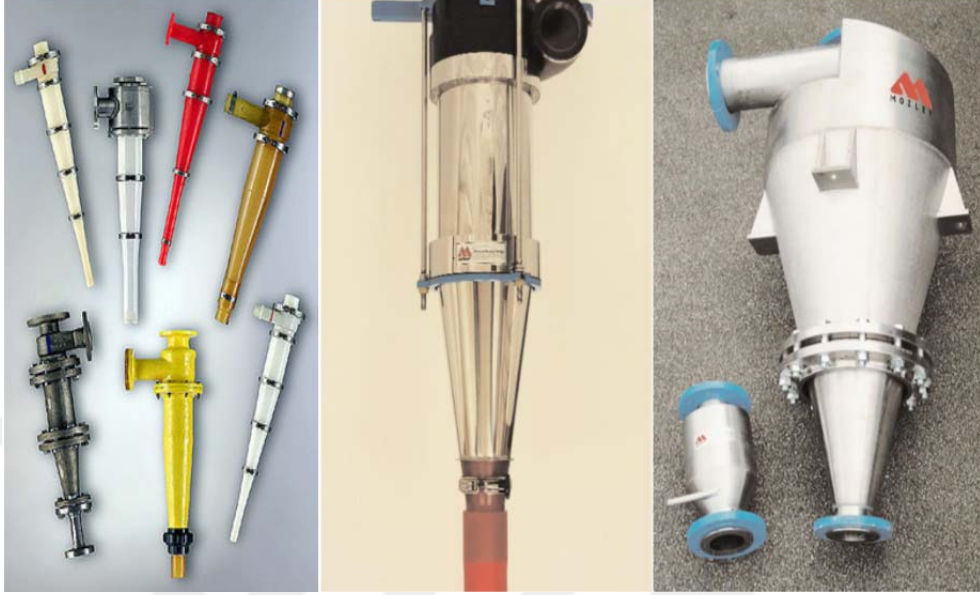
Şekil 1.11. Hidrosiklonun Yapısı ve Akışkanın Hareketi (Oruç, 2006)

Literatürde de belirtildiği üzere; özellikle ince tane boyutlarında yapılan ayırma işlemleri için etkili olan hidrosiklonların başlıca kullanım alanları şu şekilde sınıflandırılabilir (Oruç, 2006);

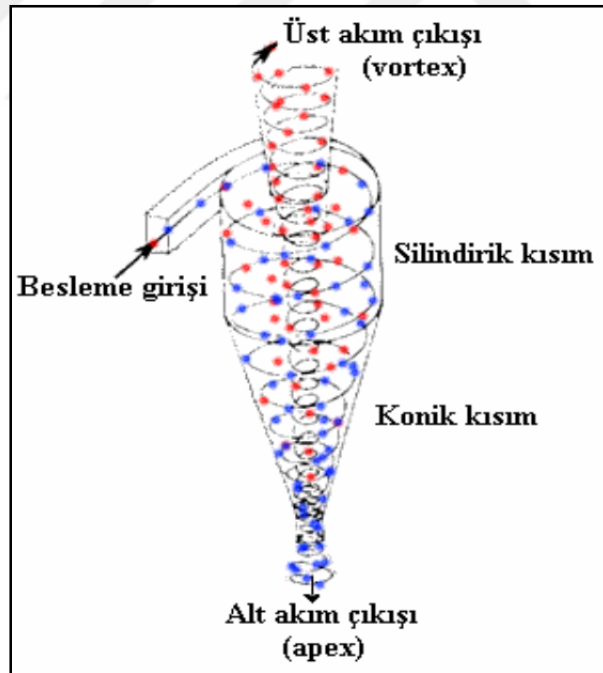
- Selektif (seçimli) sınıflandırma (classification)
- Koyulaştırma (thickening)
- İnce tanelerden arındırma-şlam atma (desliming)
- İri tanelerden arındırma (degritting)
- Kapalı devre öğütme sistemleri
- Katı kazanımı
- Fraksiyonlara ayırma (fractionation)
- Zenginleştirme
- Sıvı kazanımı
- Ters akıntı ile yıkama (counter current washing)
- Gaz temizleme
- Yakma sistemleri
- Atomize etme
- Toz sınıflandırma.

Siklon boyu, tane boyutunun küçülmesi ile doğru orantılı olarak azalır. Siklon yarıçapı 10 milimetreden 2,5 m'ye kadar değişirken ayırma boyutu 2 μm 'den 250 μm 'ye, kapasitesi 0,1 m^3/saat 'ten 7.200 m^3/saat 'e kadar değişebilmektedir (Şekil 1.12) (Ateşok, 2004).

Hidrosiklona teğetsel olarak basınç altında yapılan besleme, süspansiyona dönme hareketini kazandırır. Şekil 1.13'te hidrosiklonun çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir (Trawinski, 1977).

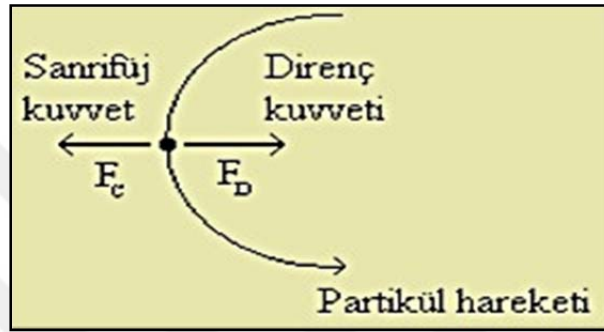


Şekil 1.12. Farklı Çap ve Tipteki Siklon Çeşitleri (Sabah ve Cengiz, 2006)



Şekil 1.13. Hidrosiklon Akım Diyagramı (Oruç, 2006)

Klasik hidrosiklon teorisinde, siklon içindeki akış yörüngesinde partiküller dışarı doğru santrifüj kuvvet (Eşitlik 1.3) ve içeriye doğru direnç kuvvet (Eşitlik 1.4) olmak üzere iki esas zıt kuvvetin (Şekil 1.14) etkisi altındadır. Meydana gelen santrifüj kuvvet, partiküllerin çökme hızlarını artırır ve böylece taneler boyut ve özgül ağırlıklarına göre sınıflandırılmış olurlar (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 2002).



Şekil 1.14. Tanecik Hareketi (Oruç, 2006)

$$\text{Yerçekimi altında hareket} : \pi d^3/6(\rho_k - \rho)g \quad (1.3)$$

$$\text{Santrifüj kuvvet altında hareket} : \pi d^3/6(\rho_k - \rho) V^2_T/r \quad (1.4)$$

Siklonlarda tasarım ve çalışma parametreleri çok değişken ve her bir parametre kompleks yapıda olduğundan, istenilen ayırmayı gerçekleştirecek siklonun tam olarak seçimi oldukça zordur. Bu nedenle üretici firmalar siklonu tanımlarken genellikle gerekli kapasiteyi (m^3/saat) ve bu kapasiteye uygun değişebilen giriş, üst çıkış ve alt çıkış açıklıklarını belirtmektedirler. Siklonda ayırmaya etki eden faktörler esas olarak yapıya ait değişkenler ve işletme şartlarına ait değişkenler olmak üzere iki ana başlık altında açıklanabilmektedir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 2002).

Hidrosiklon performansına etki eden faktörleri ilk olarak Dahlstrom (1949) formülize etmiştir. Daha sonra Morgan (1975) süspansiyondaki tanelerin

yoğunluğunu $2,65 \text{ gr/cm}^3$ ve suyun yoğunluğunu da 1 gr/cm^3 kabul ederek Dahlstrom'un formülünü aşağıdaki şekilde düzenlemiştir (Eşitlik 1.5) (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 2002).

$$d_{50} = \frac{47 \cdot (I \cdot V)^{0.68}}{F^{0.53}} \quad (1.5)$$

d_{50} = Ayırma tane boyutu, μm

I = Süspansiyon besleme açıklığı çapı (feed inlet), cm

V = Üst çıkış açıklığı (vortex finder), cm

F = Akış hızı (flow rate), lt/dk.

d_{50} teorik olarak partiküllerin yarsının üst çıkışa, diğer yarısının da alt çıkışa geçtiği tane boyutu olarak kabul edilmiştir. Formülde de görüldüğü gibi besleme açıklığı ve/veya üst çıkışın çapı küçüldüğü zaman d_{50} değeri de küçülmektedir. Hidrosiklonun sınıflandırılabilceği azami pülp hacmi Eşitlik 1.6'da verilmiştir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 2002).

$$Q = 9.4 \times 10^{-3} \times \sqrt{P} \times D^2 \times m^3 / h \quad (1.6)$$

P : Giriş – Çıkış Basınç Farkı (kPa)

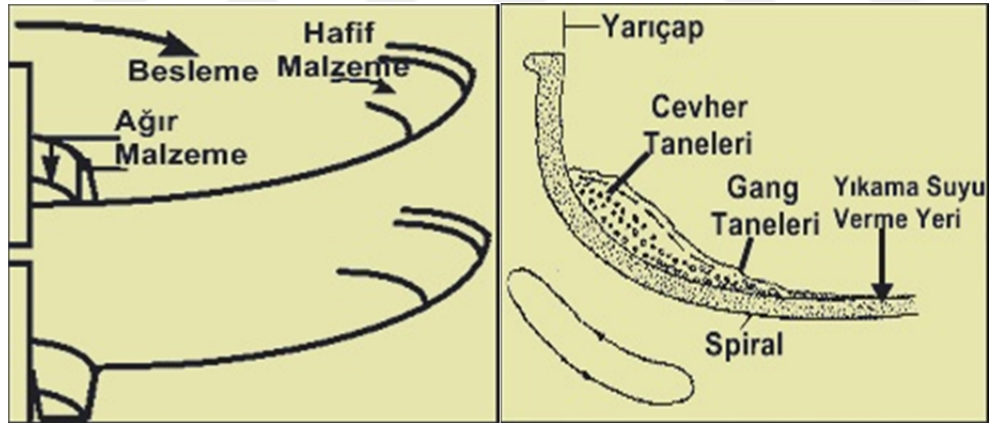
D : Siklon Çapı (cm)

1.7.2.3. Spiral İle Zenginleştirme

Sarsıntı masalarının rakibi olarak Humphrey Spiral Co tarafından imal edilen spirallerin en büyük avantajı enerji sarfiyatına ihtiyaç duymaksızın zenginleştirme yapabilmesidir. Buna karşılık masalarda elde edilen konsantreler daha temizdir (Tolun, 1960).

Spiral, dikey bir şekilde, yukarıdan aşağıya doğru inerken 5-6 defa kıvrılmış olan helezon şeklinde bir oluktur. Pülp bu oluktan akarken, ağır mineraller dibe çökmekte ve hafif mineraller ise oluğun dış kenarına doğru ayrılarak suyun akışına kapılmaktadırlar. Oluğun belirli yerlerindeki deliklere bağlı borularla konsantre (ağır mineraller) alınmakta ve artık (hafif mineraller) alt ucundan dışarı akmaktadır (Tolun, 1960).

Spiraller, düz (Rheolaveur) veya dairesel (Reichert-Wickers) olmak üzere farklı şekillerde olabilmektedirler. Spiral içerisinde taneler, hidrodinamik ve gravite kuvvetlerinin yanı sıra, merkezkaç kuvvetinin de etkisi altındadır. İri ve ağır taneler oluğun iç kısmında toplanırken, hafif ve ince taneler merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hatvenin (Şekil 1.15) dış kısmına doğru hareket eder. Ağır mineral tanelerinden oluşan ürün, spiralın merkezinden geçen toplama borusuyla dışarıya alınırken, konsantre ve ara ürün, boşaltma ucundan dışarıya alınmaktadır (Acarkan ve Önal 1994).

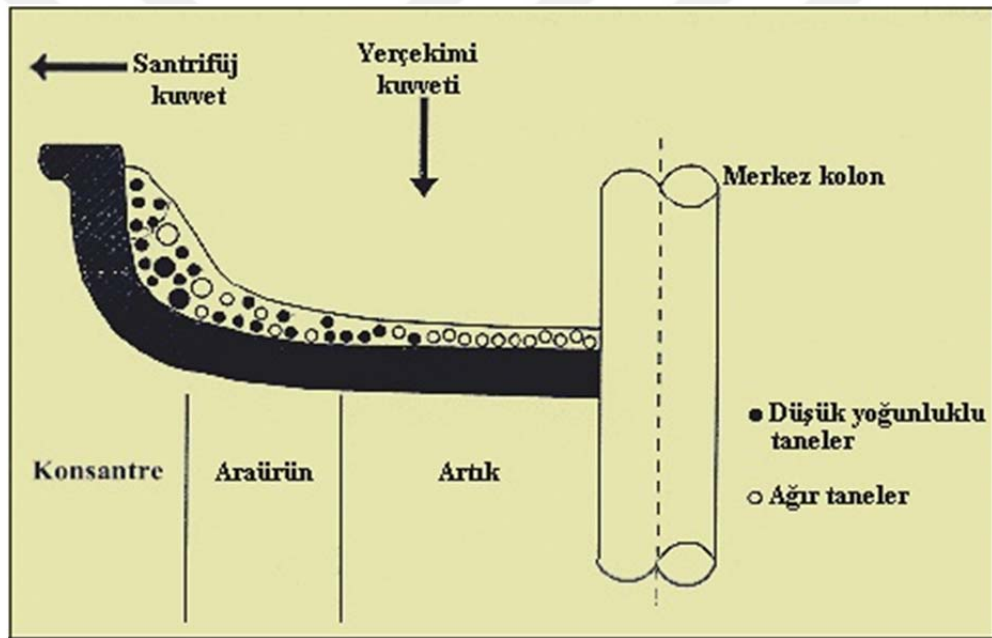


Şekil 1.15. Yoğunluğa Bağlı Olarak Bir Spiral Hatvesinde Zenginleşme Olayı (Oruç, 2006)

Humphrey Spirali, film tabakası şeklindeki su akışı içerisinde ayrımın gerçekleştiği bir sistemdir. Bu cihazda ayırım mekanizması yerçekimi ve merkezkaç

kuvvetleri etkisiyle, Şekil 1.16'da gösterildiği gibi meydana gelmektedir. Zenginleştirme işlemi sırasında şlam oranı, tane iriliği ve özgül ağırlık farkı önemli parametrelerdir (Kemal ve Aslan, 2000).

Kompakt yapısı, hareketli olmaması, fazla bakım gerektirmemesi gibi özellikleri nedeniyle ve son yıllardaki yeni dizayn değişiklikleriyle cevher zenginleştirme tesislerinde yeniden yaygın hale gelmeye başlamıştır. Tane boyutu 3 mm'den 0,075 mm'ye kadar olan ince taneli cevherlerin zenginleştirilmesinde tercih edilebilmektedir (Kemal ve Aslan, 2000).



Şekil 1.16. Spiral Kesiti Üzerinde Ayırım Mekanizması Görünümü (Oruç, 2006)

Reichert spirali, çok dönümlü helisel bir oluk olup, başta Avustralya olmak üzere dünyada pek çok cevher hazırlama tesisinde 3 mm altı ince taneli cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ateşok ve Yamak, 1992). Bu spirallerin, Humprey Spirallerinden ayrıldığı en önemli nokta, konsantreyi almak

için kullanılan ayırma bıçaklarının olması ve bu bıçakların tesis özelliğine göre istendiği biçimde ayarlanabilmesidir.

Reichert spirallerinde çalışma şartlarına bağlı olarak spiral ayırma yoğunluğu 1,5-2 gr/cm³ arasında değişmektedir. Bir Reichert spiralinin kapasitesi saatte 3 ton civarındadır (Ateşok ve Yamak, 1992).

Spiralin klasik yöntemlere (siklon, jig, flotasyon vb.) oranla daha çok tercih edilmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Daha fazla temiz ürün elde etmek mümkündür.
- Bakım ve işletme yönünden daha elverişlidir.
- Korozyona ve erozyona karşı direnç gösterir.
- İşletme ve bakım masrafı daha düşüktür (Oruç, 2006).

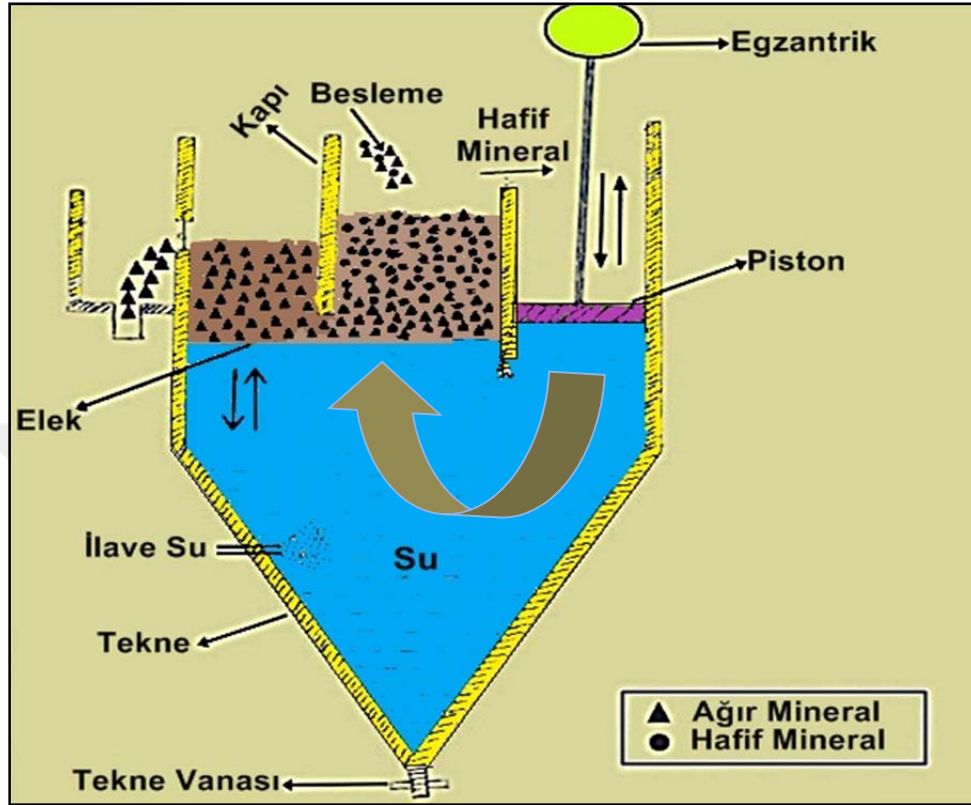
1.7.2.4. Jig İle Zenginleştirme

Farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin, düşey hareketli bir akışkan ortamdan yararlanarak, tabakalar halinde ayrılması ile yapılan zenginleştirmeye, ‘düşey hareketli akışkan ortamda zenginleştirme’ veya ‘jig ile zenginleştirme’ adı verilmektedir (Özkan, 2012).

Jiglerde akışkan ortam olarak çoğunlukla su, bazen hava, nadiren de ağır bir sıvı kullanılmaktadır (Özkan, 2012).

Jiglerde, akışkan ortam içerisinde ve elek üzerinde bulunan iri boyutlu mineral taneleri, akışkan ortama verilen aşağıdan yukarı (basma) ve yukarıdan aşağı (emme) hareketinin etkisiyle farklı tabakalar oluşmaktadır (Özkan, 2012).

Ağır mineraller alt tabakada yer alırken, hafif mineraller üst tabakada yer almaktadır. Farklı tabakaların ayrı ayrı jigden dışarı alınması sonucunda zenginleştirme işlemi tamamlanmış olur (Şekil 1.17) (Özkan, 2012).



Şekil 1.17. Bir Jigin Şematik Olarak Görünümü (Özkan, 2012)

Jig ile zenginleştirmede etkili olan başlıca kuvvetler;

- Yerçekimi,
- Hidrodinamik kuvvetler,
- Hareket halindeki tanelerin potansiyel enerjilerinin kinetik enerjiye dönüşümünden kaynaklanan kuvvetler şeklindedir (Özkan, 2012).

Bu kuvvetlerin şiddet ve yönleri, dolayısıyla da ayırmaya olan etkileri, cevher, jig hareketi ve jig yapısal özelliklerine bağlıdır.

- Cevher özellikleri; tane boyutu, tane şekli ve özgül ağırlık (Çizelge 1.6),
- Jigin hareket özellikleri; pülsasyon hızı, ivmesi ve genliği,
- Jigin yapısal özellikleri; tabaka kalınlığı, jig boyutları, bölme adedi, tabakaların jigden boşalma şekli, kaldırma suyu miktarı ve hareket mekanizması şeklidir (Özkan, 2012).

Çizelge 1.6. Özgül Ağırlık Farkı ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Özgül Ağırlık, Yapı ve Kırılış Şekli, Sürtünme, Isı ve Gözeneklilik Değişimi	Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme		
	Jig		-5+0,2
	Sarsıntılı Masa		-0,5+0,1
		Ağır Ortam Koni ve Tambur	-100+1
		Ağır Ortam Siklon	-30+0,5
		Jig	-25+0,1
		Sarsıntılı Masa	-2+0,05
		Humprey Spirali	-2+0,1
		MGS	-0,1+0,01
		Reichert Konisi ve Spirali	-2+0,02

(I) Jig Performansını Etkileyen Çalışma Özellikleri

Besleme ile ilgili olanlar:

- Besleme oranı

- Besleme pülp yoğunluğu ve viskozitesi
- Besleme boyut dağılımı (Tanrıverdi, 2002).

Makine ile ilgili olanlar

- Rotasyon hızı (ya da gravitasyonel alana neden olmak)
- Pülsasyon hızı ve genliği
- Tank (ragging) tipi, spesifik gravite ve boyut dağılımı
- Tank yatağı derinliği
- Elek içi boyutu
- Kafes suyu ekleme oranı (Tanrıverdi, 2002).

a) Çalışma Avantajları

- Yüksek verim ve konsantre tenörü
- İnce minerallerin geri kazanımı
- Tek kademede ürün elde edilebilmesi
- Sürekli çalışma
- Düşük güç harcama
- Yıkayarak ayırma vasıtasıyla ince şlam prosesi
- Çevre dostu olması (kimyasal reaktifler kullanılmaması) (Tanrıverdi, 2002).

b) Avantajları

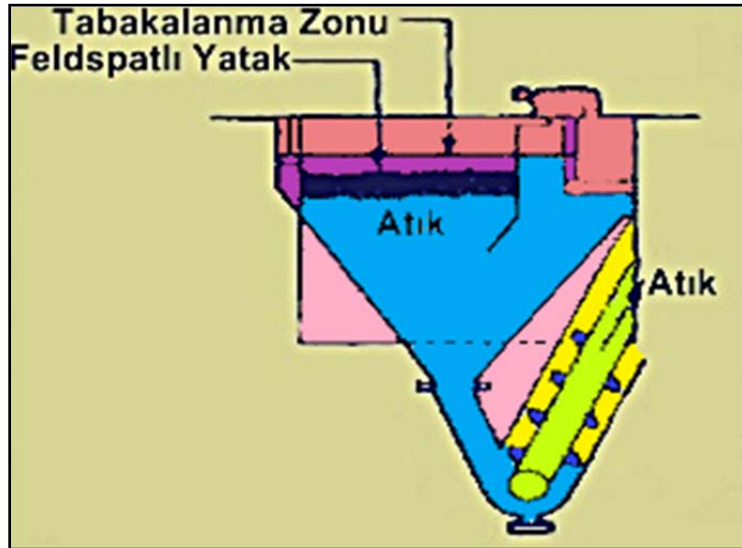
- Çok ince tane boyutunda ayırma yapılabilir (tipik:38 µm).
- Düşük yoğunluklu mineraller için kullanılabilir.
- İnce tane boyutuna rağmen yüksek kapasite (Tanrıverdi, 2002).

c) Dezavantajları

- Mekanik olarak kompleks yapıdadır, sık sık kontrol ve bakım gerektirmektedir.
- Cihazı tıkamaması için beslemem malının cihaz içinde bulunan elekten daha ince boyutta elenmesi gerekmektedir.
- Yeni cihazlarda cihazın eleğinin otomatik olarak temizlenmesine rağmen, günlük elek temizliği gerektirmektedir.
- Sağlam montaj, yardımcı elek ve donanımlar gerektirmektedir. Bu sebepten yatırım ve işletme giderleri yüksektir (Tanrıverdi, 2002).

(II) Feldspat Yataklı Jigler

Baum Jigi gibi basınçlı hava ile çalışan cihazlardır. Bu jiglerde elek üzerinde 3-5 cm boyutunda feldspattan oluşmuş yapay bir yatak bulunmaktadır. Cihaz ismini buradan almıştır (Şekil 1.18). Daha çok kömür hazırlama tesislerinde kullanılan feldspat yataklı jiglerin kapasiteleri saatte 100 tona kadar çıkabilmektedir (Oruç, 2006).



Şekil 1.18. Feldspat Yataklı Jigin Kesit Görünümü (Oruç, 2006)

(III) Kelsey Jigi (Centrifugal Jigs)

Santrifüj kuvveti ve gravite kuvvetleri ile ayırma sağlayıp, konvansiyonel jig teknolojisi prensibine göre çalışan Kelsey Jigi (Şekil 1.19); küçük gravite farklarında ve ince cevherlerde başarı ile kullanılmaktadır. Konvansiyonel jig özelliklerine ek olarak çok ince partiküllerde gravite alan değişikliği görülmektedir (Tanrıverdi, 2002).

İşletme parametreleri;

- Dönme hızı,
- Titreşim frekansı/kompartman suyu/genlik/elek cinsi ve ebadı (hepsi ayırmayı konvansiyonel jiglerdeki gibi etkiler) şeklindedir (Tanrıverdi, 2002).



Şekil 1.19. Kelsey Jiginin Tesis Ölçekli Görünümü (Tanrıverdi, 2002)

Kelsey jigine sabit merkezli bir boru ile beslenen malzeme gravite kuvveti nedeniyle, besleme sırasındaki partiküller tank yatağına doğru hızlandırılıp, yatak olarak yer değiştirmektedir. Besleme ürünü nedeniyle sürekli yataklanma artar. Engelli çöküş prensibine göre çalışan bir cihazdır (Tanrıverdi, 2002).

Basınçlı su, elek arkasındaki kafes serileri içine gönderilmekte ve bu su besleme tankına çarparak, tank içindeki akışkan parçacıklar tabakalaşarak sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma, birleştirme ve engelli çöküş prensibi ile tank yatağı içinde gerçekleşmektedir (Tanrıverdi, 2002).

Yoğunluğu yüksek olan partiküller kafes sisteminden konsantre olarak elek içinden geçmektedir ve daha sonra boru ağzından konsantre olarak alınmaktadır. Yatak titreşimi esnek jig membranın hareket kolları vasıtasıyla hareket ettirilmesi suretiyle sağlanmaktadır (Tanrıverdi, 2002).

1.7.2.5. Sallantılı Masa İle Zenginleştirme

Küçük boyutlu mineral tanelerinin, yataya yakın eğimdeki bir yüzey üzerinde, ince bir tabaka halinde akan akışkan ortam içinde, özgül ağırlık farklarına göre ayrılmaları yoluyla yapılan zenginleştirmeye, ‘tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme’ denilmektedir (Özkan, 2012).

Tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme yönteminde kullanılan aygıtlar;

Ayırıcı yüzeyi sabit: eşikli oluk, daralan oluk, Reichert Konisi, Humprey Spirali,

Ayırıcı yüzeyi hareketli: sarsıntılı masa, Bart Mozley Masası olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Özkan, 2012).

Günümüzde özellikle sarsıntılı masa ve spiral, başlıcaları krom, demir, şelit, kalay, barit olmak üzere birçok cevherin zenginleştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadır (Özkan, 2012).

Tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirmede, özgül ağırlık, şekil, boyut ve hacim gibi mineral özellikleri ile akışkanın viskozite ve özgül ağırlığına bağlı olan hidrodinamik kuvvetler etkilidir (Özkan, 2012).

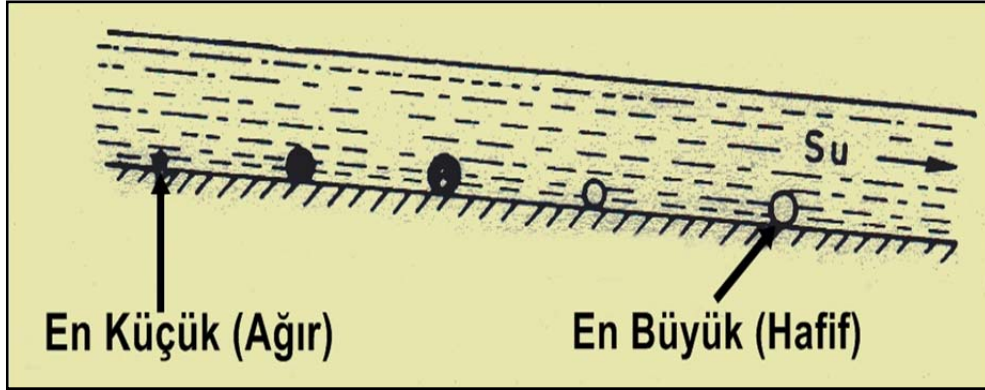
Ayrıca;

- Akışkan tabakasının kalınlığı,
- Çeşitli derinliklerde farklı olan akış hızının yanı sıra; üzerinde akış olan yüzeyin özellikleri,
- Yüzeye verilen hareketin şekli de minerallerin ayrılmasını etkilemektedir.

Keza, aygıtlarda akışkan olarak çoğunlukla su nadiren hava kullanılmaktadır (Özkan, 2012).

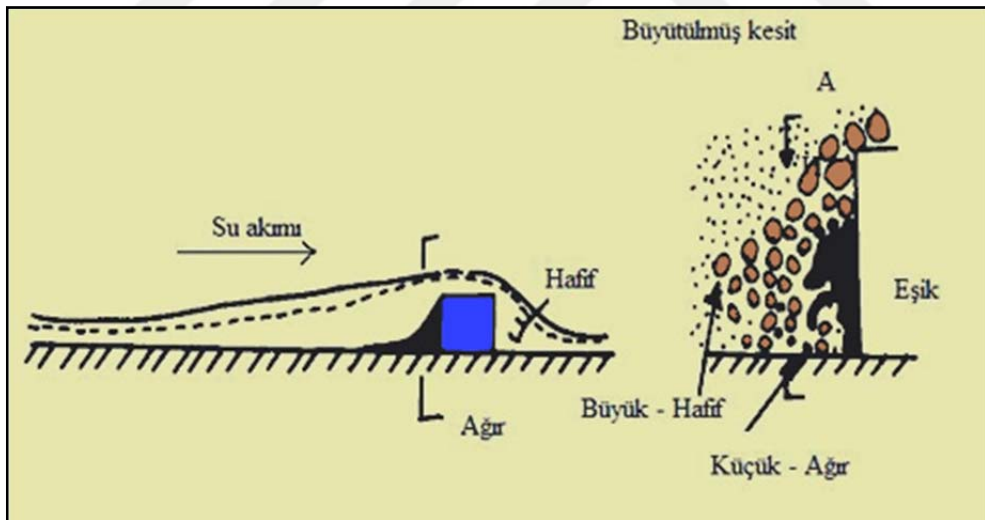
Az eğimli düzgün bir yüzey üzerinde akmakta olan bir su tabakasının kalınlığı ve akış hızının bağlı olduğu faktörler:

- Akmakta olan suyun hacmi,
- Üzerinde akış olan yüzeyin genişliği,
- Suyun, akışın olduğu yüzeye eriştiği anda, akış doğrultusundaki hızı,
- Akışın olduğu yüzeyin eğimi,
- Akışa karşı olan engeller (akan tabaka içinde yan akımlar, akan suyun yüzeyinde rüzgâr etkisi, akışa karşı olan viskoz direnç, akan su ile akışın olduğu yüzey arasındaki sürtünme, suyun akan bakaya düzgün olarak girmemesi) şeklindedir (Şekil 1.20) (Özkan, 2012).



Şekil 1.20. Farklı Özgül Ağırlık ve Büyüklükteki Tanelerin Akan Su Tabakası İçinde Dizilişleri (Özkan, 2012)

Şekil 1.21’de görüldüğü gibi, eşiklerin önünde jigdekine benzer şekilde tabakalanma olmakta, ağır taneler eşik dibinde toplanırken, hafif taneler eşiği aşarak suyla birlikte akmaktadır (Bayat, 2007).



Şekil 1.21. Akan Su Tabakası İçindeki Katı Hareketi Üzerindeki Eşik Etkisi (Bayat, 2007)

Ayırıcı yüzeyi sabit olan aygıtlar, düşük verimle çalışmalarına rağmen, basit yapıları, ucuzlukları ve kolay işletilmeleri nedeniyle, zenginleştirme

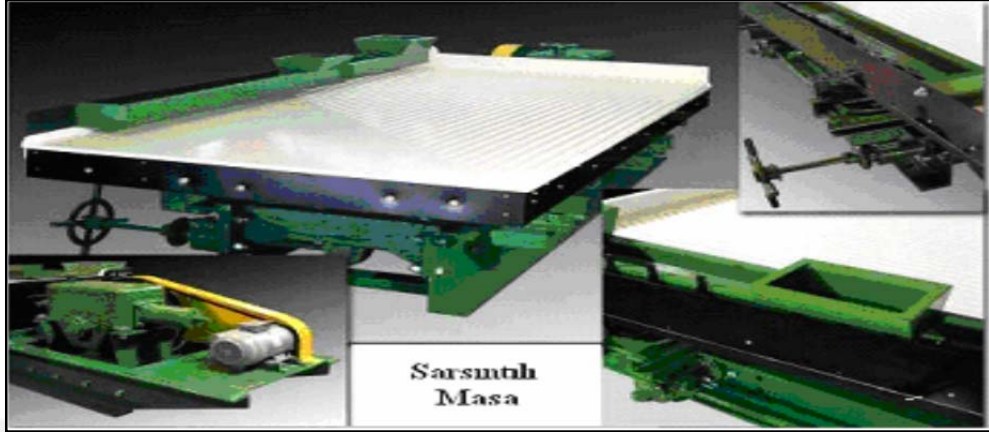
işlemlerinde kullanılırlar. Bu gruba giren başlıca aygıtlar; sabit oluklar ve masalardır (Özkan, 2012).

- Sabit Oluk,
- Eşikli Oluk,
- Daralan Oluk,
- Spiral Oluk (Humprey Spirali),
- Sabit Masa (Özkan, 2012).

Ayırıcı yüzeyi hareketli olan aygıtlarda, ayırıcı yüzey uygun bir mekanizma ile çeşitli şekillerde hareket ettirilmektedir. Başlıcaları;

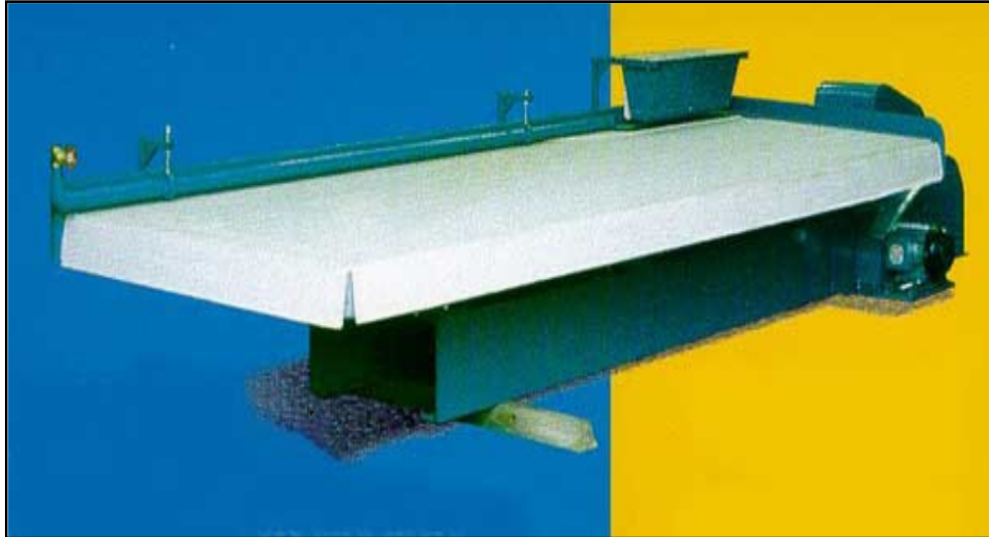
1. Hareketli Oluklar
 - Revolver (kömür için)
 - Vanner (ağır mineraller için)
 - Denver-Buckman (ağır mineraller için)
2. Sarsıntılı Masalar
 - Wilfley Masası
 - Deister Masası
 - Barty-Mozley Masası
 - Havalı Masa ve Çapraz Bantlı Ayırıcısı
3. MGS (Multi Gravite Ayırıcısı) (Özkan, 2012).

İnce taneli krom mineral tanelerinin zenginleştirilmesinde daha ziyade Deister veya Wilfley Sallantılı Masaları (Şekil 1.22) kullanılmaktadır (Oruç, 2006).



Şekil 1.22. Wilfley Sarsıntılı Masasının Şematik Görünümü (Oruç, 2006)

Deister masalarda (Şekil 1.23) maksimum besleme tane boyutu 12,5 mm olmasına rağmen, en alt besleme boyutu sıfır milimetreye kadar inebilmektedir. Besleme kapasitesi genellikle 10-12 ton/saat olup, çift katlı masalarda kapasite 24 ton/saat'e kadar çıkabilmektedir. Deister masaların fazla yer işgal etmemesi için çift veya üç katlı olarak tasarlanmış şekilleri de bulunmaktadır. Deister masaların iki veya üç katlı olanlarına Concenco adı verilmektedir (Oruç, 2006).



Şekil 1.23. Deister Sarsıntılı Masasının Şematik Görünümü (Oruç, 2006)

1.7.2.6. Knelson Ayırıcısı İle Zenginleştirme

Knelson konsantratörü, Kanada Burnaby Şirketi, Lee Mar enstitüsü tarafından 1978-1986 yılları arasında geliştirilmiş ve Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada’da patenti alınmıştır. Konsantratörleri santrifüj kuvveti esasıyla işlem yapan, ayırma ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılan konik tipli zenginleştirme cihazlarıdır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

Knelson konsantratörü santrifüj kuvvetinin esas olduğu çanak tipli bir cihaz olup, yüksek hızla dönen oluklu bir konik kısımdan oluşmaktadır. %0-70 katı oranında cevher cihazın, cihazın üst kısmından beslenmektedir. Artık, cihazın çıkış kısmından suyla beraber sürekli olarak atılırken, Batch tipi konsantratörlerde; konsantre temizleme işlemine kadar konik kısımda birikmekte, sürekli çalışan modellerde ise belli aralıklarla otomatik olarak cihaz dışına alınmaktadır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

Santrifüj ayırıcısında oluşturulan santrifüj kuvvet (F_C) şu şekilde ifade edilmektedir (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

$$F_C = \left(\frac{\pi}{6} \right) \cdot (d_p)^3 \cdot (\delta_s - \delta_l) \cdot \vec{r} \cdot \omega^2 \quad (1.7)$$

F_C : Santrifüj kuvvet, (gr.cm.s⁻²)

d_p : Tanenin çapı, (cm)

δ_s : Tanenin yoğunluğu, (gr.cm³)

δ_l : Ortamın yoğunluğu, (gr.cm³)

ω : Tanenin açısal hızı, (radyan.sn⁻¹)

r : Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki
değiştirme mesafesi (cm)

Merkezkaç kuvvetiyle etkilenen tane boyutu, oluşturulan santrifüj kuvvete bağlıdır. Santrifüj film tabakasında askıda kalan kritik tane boyutu aşağıda verilmektedir (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

$$d_{cr} = k_o \sqrt[4]{\frac{g}{w^2 r}} \quad (1.8)$$

d_{cr} : Kritik tane boyutu, (cm)

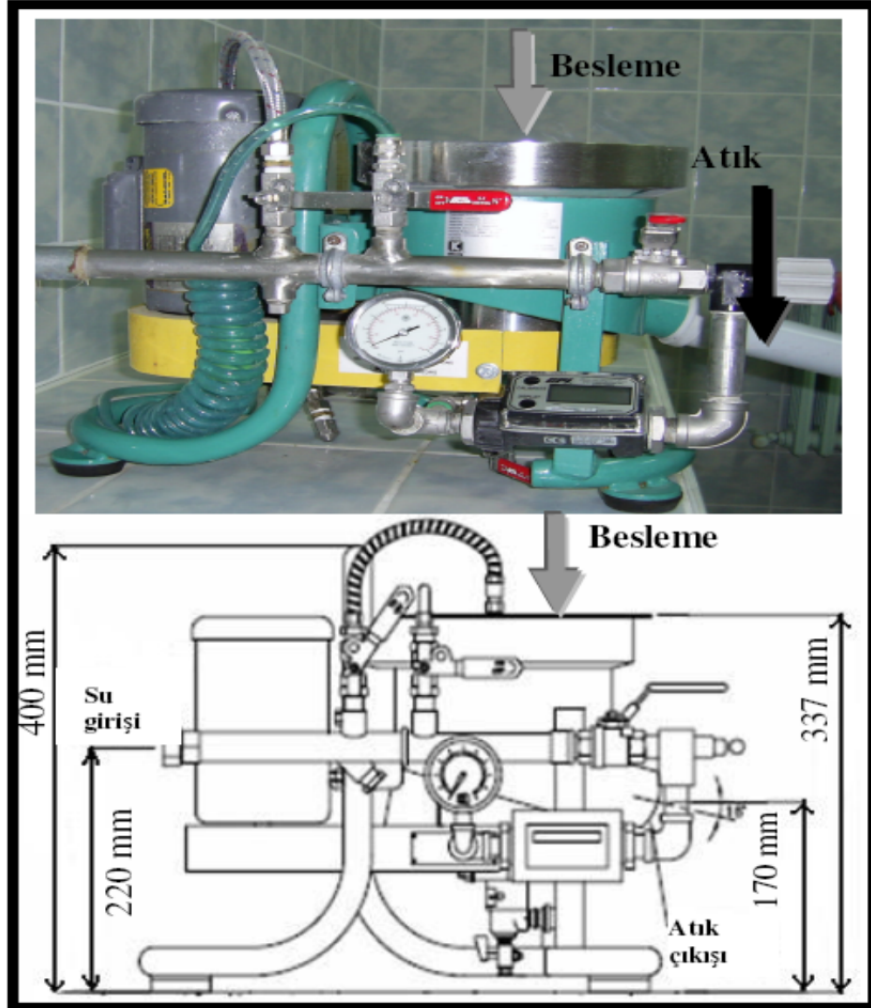
k_o : Oransal sabit

w : Tanenin açısal hızı, (radyan.sn⁻¹)

g : Gravite kuvveti, (m.sn⁻²)

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

KC dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üstten beslenen pülpten santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır taneler konsantre olarak yatağın oluklarına takılır. Gang mineralleri ise atık olarak pülpün üst akısıyla birlikte atılır. Besleme standart model Knelson konsantratörün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla gravite olarak yapılmaktadır. Besleme %0-70 pülp yoğunluğunda yapılabilir. Konsantratör haznesinin dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur (Knelson ve Jones, 1993). KC'nin ana operasyon değişkenleri; yıkama suyu miktarı, besleme pülp yoğunluğu ve alıkonma süresidir (Kıdıman, 2009). Laboratuvar tip bir Knelson ayırıcısının şematik görünüm Şekil 1.24'te verilmektedir.



Şekil 1.24. Knelson Ayırıcısı ve Şematik Görünümü (Laboratuvar Tip) (Alp ve ark., 2004; Celep ve ark., 2004)

1.7.2.7. Falcon Konsantratörü İle Zenginleştirme

Falcon cihazı temel olarak bir ayırma oluğu ile devamlı çalışan bir santrifüjün kombinasyonudur (Şekil 1.25). Çok yüksek dönme hızı ve buna bağlı olarak yüksek gravite kuvveti nedeni ile farklı yoğunlukta olan çok küçük tanelerin ($10\ \mu\text{m}$) ayırımında kullanılmaktadır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

Cihazın dönen kovaasına beslenen pülp, kova içinde yukarı doğru akarken içindeki ağır taneler merkezkaç kuvvetinden hafif tanelere kıyasla daha fazla etkilenmektedir. Bunun sonunda ağır taneler kovanın yüzeyine doğru hareket ederken hafif taneler pülp kısmının üst tabakasında cihazı terk ederler. Ayırma pülp tabakasının alt bölgesinde biriken ağır tanelerin, cihazın toplama yarıklarından dışarıya alınması ile gerçekleşmektedir. Konsantre akımı kontrollü bir şekilde açılıp kapanan valfler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Artıklar, ana pülp akımı ile cihaz dışına alınmaktadır ( i ek ve Tanrıverdi, 2002).

1) Falcon Cihazı   letme Parametreleri

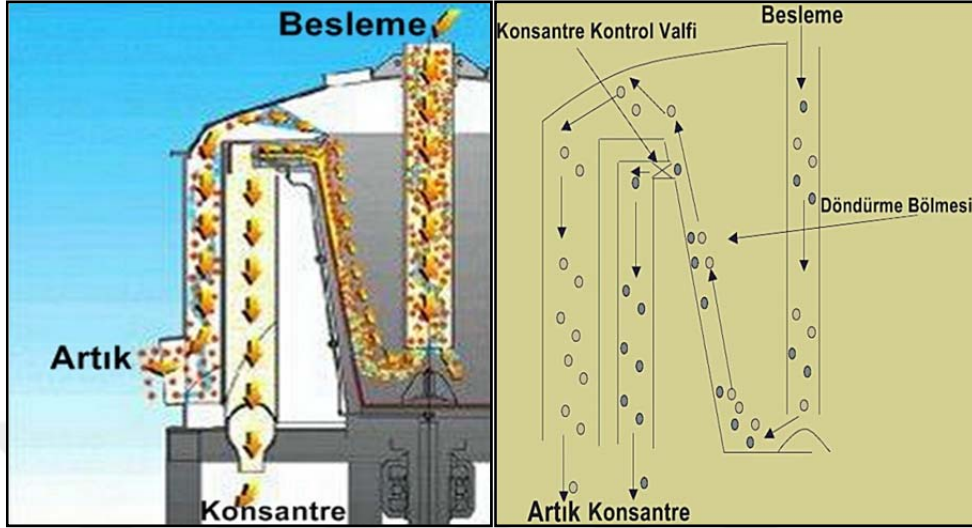
- Dönme hızı (yüksek dönüş hızı gravite kuvvetini ve bu sayede malzeme üzerine etki eden ayırma gücünü arttırmaktadır)
- Konsantre orifislerinin (valf) açma/kapama frekansı (yüksek frekans, sık açılma ve kapama konsantre ağırlık miktarını arttırmaktadır)
- Besleme debisi ve yoğunluğu ( ok yüksek debi ve yoğunluk ayırmayı olumsuz yönde etkilemektedir) ( i ek ve Tanrıverdi, 2002).

2) Avantajları

- 15-20  m'ye ayırım
- Mekanik olarak basit ve sağlam
- Yüksek kapasite
- Kolay kullanım ( i ek ve Tanrıverdi, 2002).

3) Dezavantajları

- Düşük zenginleştirme faktörü (1-2 arası)
- Ayırma yüzeyleri görüşe açık değil
- Besleme malında bulunan konsantre orifis (valf)  apından büyük olan tanelerin ayırıcı öncesi elenmesi gerekmektedir ( i ek ve Tanrıverdi, 2002).



Şekil 1.25. Falcon Konsantratörü Çalışma Prensibi (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002)

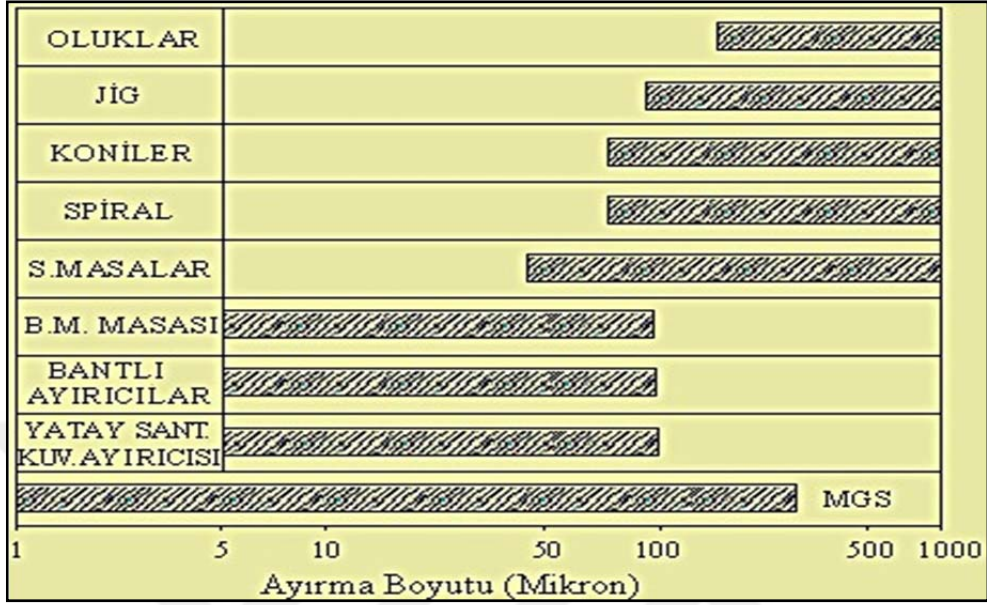
1.7.2.8. MGS (Multi Gravite Ayırıcısı) İle Zenginleştirme

Multi Gravity Mozley Concentrator (MGS), bilinen yatay sallantılı masa yüzeyinin döner bir tambur haline dönüştürülmüş olduğu bir cihaz olarak tanımlanabilir. Masalarla kıyaslandığında çok daha ince tane boyutunda ve daha yüksek kapasitede ayırım yapabilen bir cihazdır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

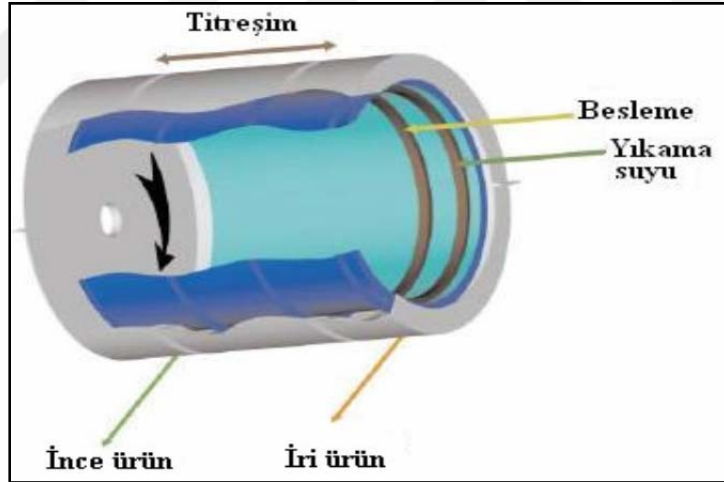
MGS diğer merkezkaç ayırıcılardan birkaç önemli husus ile ayrılmaktadır:

1. Ayırımın gerçekleştiği ince akışkan tabaka,
2. Üst üste binen iki titreşim (ek kesme ve tane hareketi oluşumunu sağlar),
3. Özel dizayn edilmiş küreyiciler (kazanılan ağır mineralleri taşır),
4. Nispeten düşük tambur hızları,
5. Sığ koni açılarıdır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

Gravite ayırması yapan bazı cihazların efektif çalışma boyut aralıkları MGS ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 1.26'da, MGS çalışma prensibinin kesit görünümü ise Şekil 1.27'de verilmektedir.



Şekil 1.26. Gravite Ayırıcılarının Efektif Çalışma Boyut Aralıkları (Özgen, 2009)



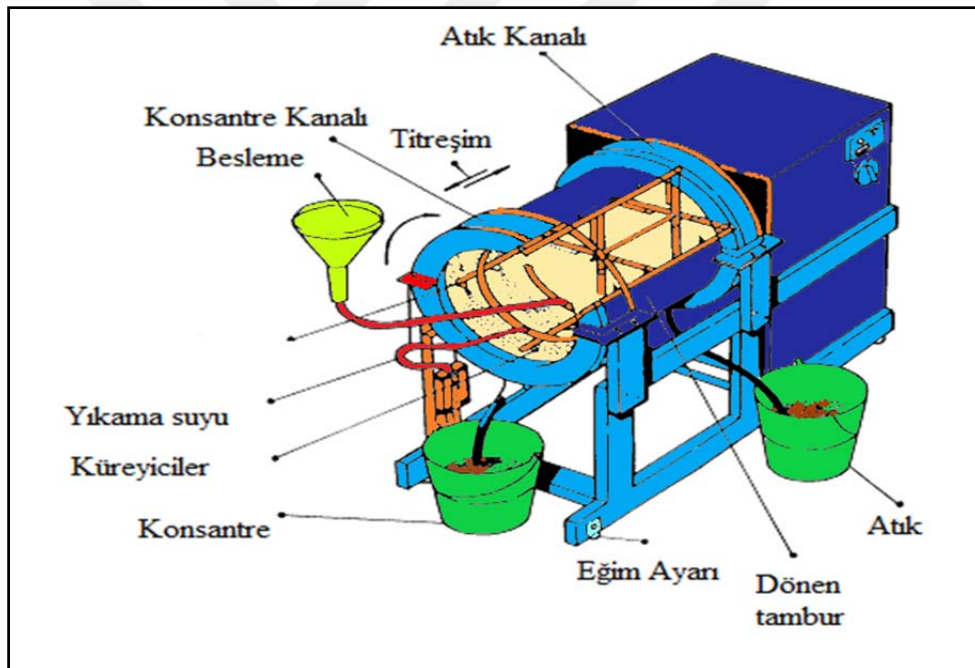
Şekil 1.27. MGS Çalışma Prensibi Kesit Görünümü (Netcogroup) (Oruç, 2006)

Çalışma sırasında, ağır partiküller yüksek santrifüj kuvvetinin etkisi ile tambur cidarına doğru hareket eder ve karşı sallantı etkisiyle yarı katı bir tabaka oluşturur. Sıyırıcılar ağır tabakayı tamburun yüksekte bulunan ağızdaki konsantre

çıkış oluşuna taşır. Hafif partiküller yıkama suyunun akışı ile tamburun diğer ağzından artık olarak taşınır (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002).

MGS ünitesinde (Şekil 1.28); tambur dönüş hızı (100-280 devir/dakika), tambur eğim açısı (0^0 - 9^0), titreşim genliği (10/15/20 mm), titreşim frekansı ($4/4,8/5,7$ sn⁻¹), yıkama suyu miktarı (0-9 lt/dk), besleme katı oranı, beslenen malzemenin tane boyutu ve özgül ağırlık farkı önemli parametrelerdir (Aslan ve ark., 1999).

MGS tamburu saat yönünde 150-300 dev/dk hızla döndürülmekte ve tambura eksenel doğrultuda sunizoidal titreşim verilmektedir (Acarkan ve Önal, 1994).



Şekil 1.28. MGS Ünitesinin Şematik Görünümü (Chan ve ark., 1994)

Gövdeye verilen bu titreşim hareketi sayesinde; akışkan içindeki taneciklerin yoğunluklarına göre davranmalarında yardımcı olarak tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olur. Özel olarak tasarlanmış küreyiciler tambur

yüzeyinde hareket ederlerken, tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte ve böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler, küreyiciler tarafından tamburun yukarı doğru eğimi (1^0-5^0) boyunca taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınmaktadır (Chan ve ark., 1994).

Pilot ölçekli MGS ünitesi; bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda, 0,5 m çapında, tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6 ila 24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşacak şekilde 150-300 dev/dk hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda eksenel doğrultuda 4-6 cm.sn⁻¹ frekansla, 12-25 mm arasında değişen sinüzoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir (Chan ve ark., 1994).

Tambur hareketini sağlayan konsantrik (eşmerkezli) şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite bulunmaktadır. Çalışma sırasında küreyiciler, katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına doğru hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS ünitesi; %10-50 katı oranında 0,2 ton/saat kapasite ile çalışabilmektedir (Chan ve ark., 1994).

Mozley firmasının ürettiği laboratuvar/pilot ölçekli bir Multi Gravity Seperator cihazının (C900) (Şekil 1.29) teknik özellikleri ve çalışma parametreleri aşağıdaki şekildedir (Çiçek ve Tanrıverdi, 2002):

- | | |
|-----------------------|--|
| ➤ Net ağırlık | : 350 kg |
| ➤ Boyutları | : 162*71*109 cm |
| ➤ Motor gücü | : 1*0,37 kW Elektrik motoru
1*0,55 kW Elektrik motoru |
| ➤ Kapasitesi | : 0,2 ton/saat (kuru baz) |
| ➤ Besleme tane boyutu | : 1 µm - 500 µm |
| ➤ Katı oranı | : %10-50 |

- Tambur dönme hızı : 100 – 280 d/dk
- Tambur salınım frekansı : 4/4,8/5,7 sn⁻¹
- Tambur salınım genliği : 10/15/20 mm
- Tambur eğim açısı : 0° – 9°
- Yıkama suyu miktarı : 0 – 10 L/dk



Şekil 1.29. Laboratuvar/Pilot Ölçekli Bir MGS Ünitesi (Afyon Kocatepe Üni. Lab.)

1) Avantajları

- Çok ince tane boyutunda (75/10 µm) yüksek ayırma performansı,
- Yüksek zenginleştirme faktörü (tipik 1-20 arası) (Falconer, 2003).

2) Dezavantajları

- Düşük kapasite,
- Mekanik olarak kompleks ve pahalı olması,
- Boyutlarına bağlı olarak fazla yer kaplaması,

- Zenginleştirmenin gerçekleştiği alanın ve ayırma yüzeylerinin görünür olmayışı,
- Operatör esaslı bir cihaz olduğu için kullanım esnasında daha fazla dikkat ve titizlik gerektirmesi,
- Cihaza beslenecek malzeme boyutunun 0,5 mm altı olması ve iri malzemelerde eleme işlemini gerektirmesi (Falconer, 2003).

1.7.3. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme

Farklı manyetik duyarlıdaki (susceptibility) bireysel mineral tanelerinin, uygun bir manyetik alan içinde, başlıca manyetik kuvvet olmak üzere, yerçekimi, sürtünme, merkezkaç v.b. kuvvetlerin bileşik etkilerine dayanılarak, birbirinden ayrılması yolu ile gerçekleştirilen zenginleştirilmeye “manyetik ayırma ile zenginleştirme” denir (Özkan, 2012).

Manyetik ayırma, demirin uzaklaştırılması ve manyetit içeren demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde, 1849’dan beri bilinen ve kullanılan, eski bir yöntemdir. 1910’da yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma gelişmiştir. 1960’ta Jones tarafından geliştirilen, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılarla 0,1 mm’den daha ufak taneler zenginleştirilebilmiştir (Özkan, 2012).

Ancak kuvvetli bir elektromanyetik alanda çekilebilen veya hafif manyetik olan mineraller oldukça çoktur. Bunların en önemlileri sırasıyla (güçlü olandan zayıfa doğru); ilmenit, pirotin, siderit, hematit, volframit, manganez oksitleri, kromit, rutil, monazit ve demirli silikatlar (biotit, hornblend, grena, epidot vs.) dır. Diğer taraftan kuvvetli elektromanyetik bir ayırıcıda bile çekilemeyen mineraller, manyetik olmayan mineraller grubuna girer. Bunlardan bazıları; kuvars, pirit, feldspat, antimonit, galen ve kalsittir (Tolun, 1960).

Manyetik ayırıcılar ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlar yaş ve kuru ayırıcılardır. Yaş ayırma, kuvvetli manyetik ve ince (10 meş altı) taneciklerin (Çizelge 1.7)

ayrılmasında kullanılmaktadır. Kurucu ayırıcılar ise başlıca tambur, endüksiyonlu silindir ve karşı kayış olmak üzere üç tipte toplanmaktadır (Tolun, 1960).

Çizelge 1.7. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Manyetik Duyarlılık, Isı ile Manyetikliğin Değişimi	Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme		
	Düşük Alan Şiddetli		-100+0,1
	Yüksek Alan Şiddetli		-10+0,1
	Nadir Topraklı Manyetik Ayırma		-100+1
		Düşük Alan Şiddetli	-3+0,001
		Yüksek Alan Şiddetli	-3+0,001

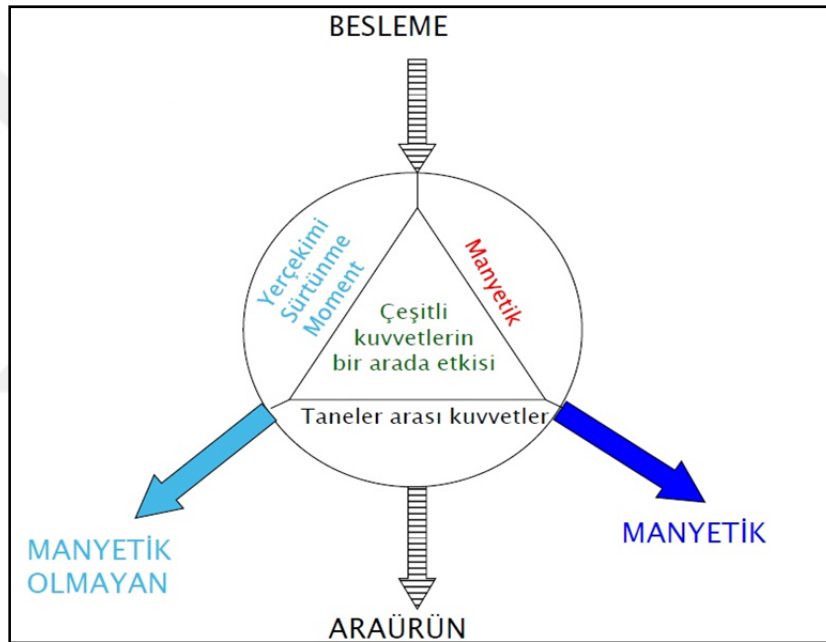
1.7.3.1. Katıların Manyetik Özellikleri

Katıların manyetik özellikleri, dış yörüngelerdeki elektronların dönüş (spin) hareketleri ile atom ve elektronlardaki devamlı manyetik momentlerden kaynaklanmaktadır (Özkan, 2012).

Katılarda yapay ve doğal olmak üzere iki tür mıknatıslık bulunur. Yapay mıknatıslık manyetik bir alanın etkisiyle, geçici olarak kazanılır. Doğal mıknatıslık ise kendiliğinden oluşur ve kalıcıdır (Özkan, 2012).

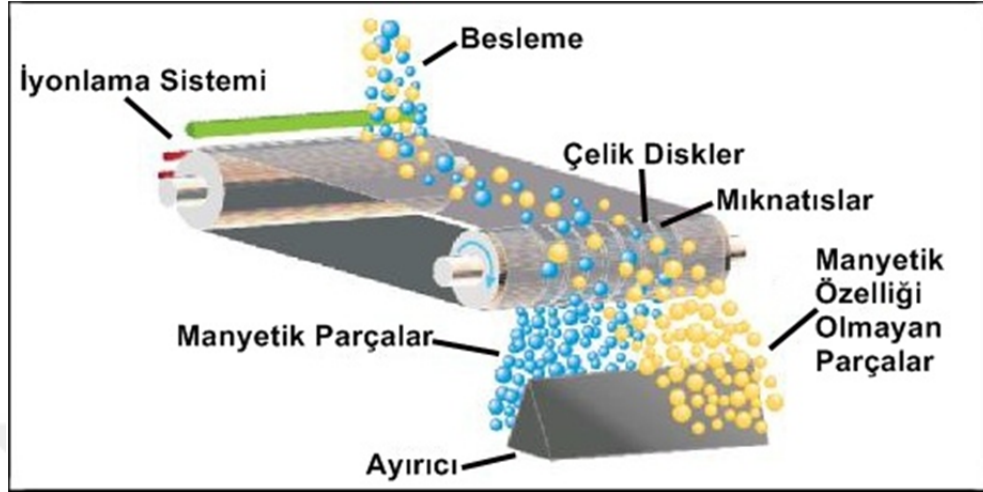
1.7.3.2. Manyetik Ayırmada Etkin Kuvvetler

Mineral taneleri manyetik alandan kuru veya sulu bir akış şeklinde geçmekte ve manyetik alanın bir mineral tanesine etkisi 1 (bir) saniyeden daha az bir zaman aralığında gerçekleşmektedir. Manyetik alanda hareket eden bir mineral tanesi; manyetik çekim kuvvetinden başka moment, yerçekimi, sürtünme, hidrolik ve taneler arası itici veya çekici kuvvetlerin etkisindedir (Şekil 1.30) (Özkan, 2012).



Şekil 1.30. Manyetik Ayırmada Etkin Kuvvetler (Özkan, 2012)

Cevher hazırlamada kullanılan manyetik ayırıcılar, kullanılış amacına, uygulanan manyetik alan şiddetine, ayırımın kuru veya yaş olarak yapılmasına ve ayırıcının yapısal özelliklerine bağlı olarak sınıflandırılabilir (Şekil 1.31) (Özkan, 2012).



Şekil 1.31. Manyetik Ayırıcıların Çalışma Prensibi (Gence, 1985)

Belirli bir kimyasal bileşimi olmayan ve spinel grubuna bağlı bir oksit olan kromitin, içerdiği demir oranına bağlı olarak, manyetik duyarlılığı değişmektedir. Kromitin belli başlı gang mineralleri olan olivin ve serpantin de içerdikleri demir oranına bağlı olarak farklı manyetik duyarlılık göstermektedirler (Güney, 1990).

1.7.4. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

Esas olarak elektrostatik kuvvetlere dayanan bu yöntemde, 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 ya da nötr (yüksüz) hale getirilebilirler (Özkan, 2012).

Mineral tanelerine kazandırılan statik elektrik yükü,

- Tane büyüklüğü,
- Di-elektrik sabiti,
- Kutuplaşma,

- Sıcaklık gibi etkenlere bağlı olarak değişmekte ve minerallerin birbirlerinden ayrılmasında etkili olmaktadır. Ayrıca sürtünme ve yerçekimi kuvvetleri ayırmada etkilidir (Özkan, 2012).

Elektrostatik zenginleştirme yöntemi genel olarak, mineral tanelerine (Çizelge 1.8) elektrik yükü kazandırmaya ve farklı yüklenen tanelerin birbirinden ayrılması esasına dayanmaktadır (Özkan, 2012).

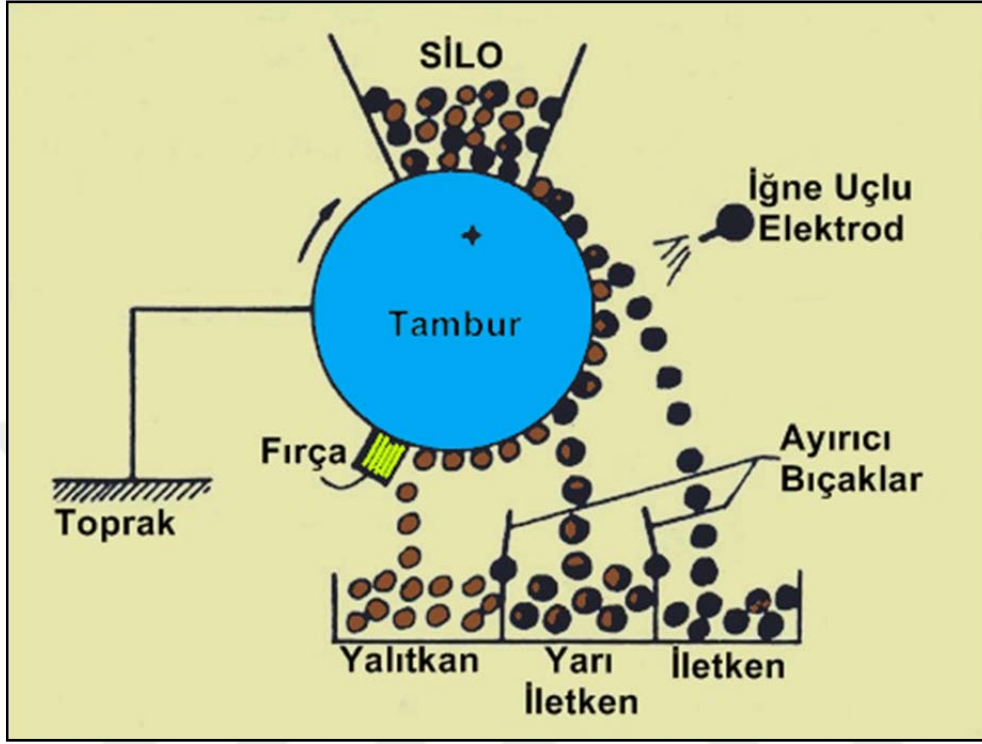
Çizelge 1.8. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirmede Yararlanılan Mineral Özellikleri ve Uygulama Boyutları (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Elektrik İletkenlik	Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme		-3+0,1

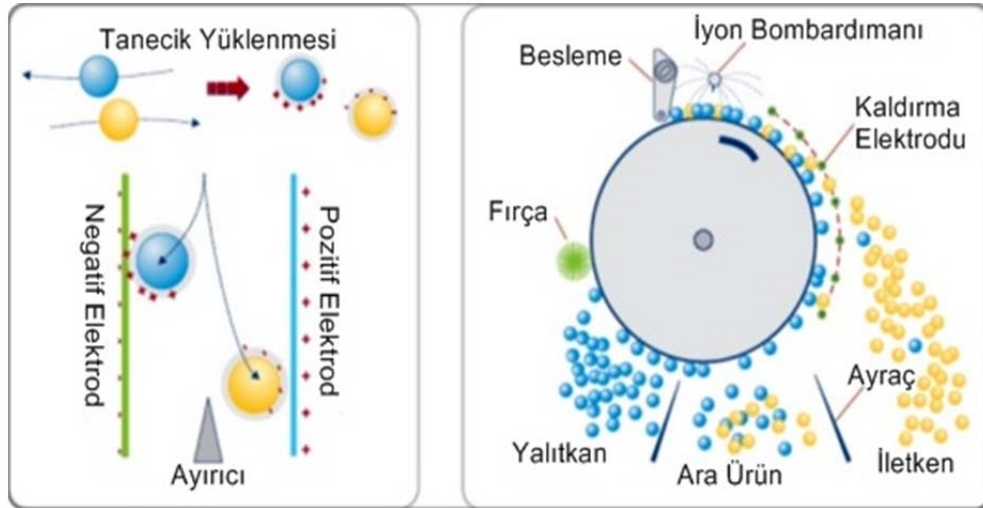
Bu cihazlarda, elektrik alanını oluşturan elektrodlardan biri, topraklanmış ve belirli bir yönde dönen bir tambur, diğeri de belirli bir elektrik yükü olan elektrod (gaz tüpü) veya yüksek gerilim altında (18.000 volt'tan büyük) fıskiye şeklinde iyon boşalması sağlayan iğne uçlu elektrodur. Gaz tüpü ve iğne uçlu elektrodlar birlikte de kullanılabilir (Özkan, 2012).

İğne uçlu elektrod kullanılması durumunda gerçekleşen ayrılma prensibine ait şema Şekil 1.32'de verilmektedir.

Elektrostatik ayırma prensibini 1985 yılında yaptığı çalışmada Gence, Şekil 1.33'te görüldüğü şekilde şematize etmektedir.



Şekil 1.32. İğne Uçlu Elektrod Kullanılması Durumunda Ayrılma (Özkan, 2012)



Şekil 1.33. Elektrostatik Ayırma Prensibi (Outokumpu Technology) (Gence, 1985)

1.7.5. Yüzey Özellikleri Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemleri

Kromit (Fe, Mg) O, (Cr,Al,Fe)₂ O₃ bileşiminde olan spinel grubu bir mineraldir. Spineller, izometrik tetrahedral ve oktahedral yapıdadırlar. İki değerli iyonlar eğer tetrahedral yapıda ise bu spinellere *normal spinel*, oktahedral yapıda ise *ters spinel* adı verilmektedir. Bu bakımdan kromitler, hem kimyasal bileşimi hem de kristal yapısı bakımından farklılıklar göstermektedirler. Kromitlerdeki bu yapı farklılığı, mineral yüzey özelliklerini de etkilemektedir (Güney, 1990).

Yararlanılan mineralin yüzey ve ara yüzey mineral özellikleri ve uygulama boyutları Çizelge 1. 9’da verilmektedir.

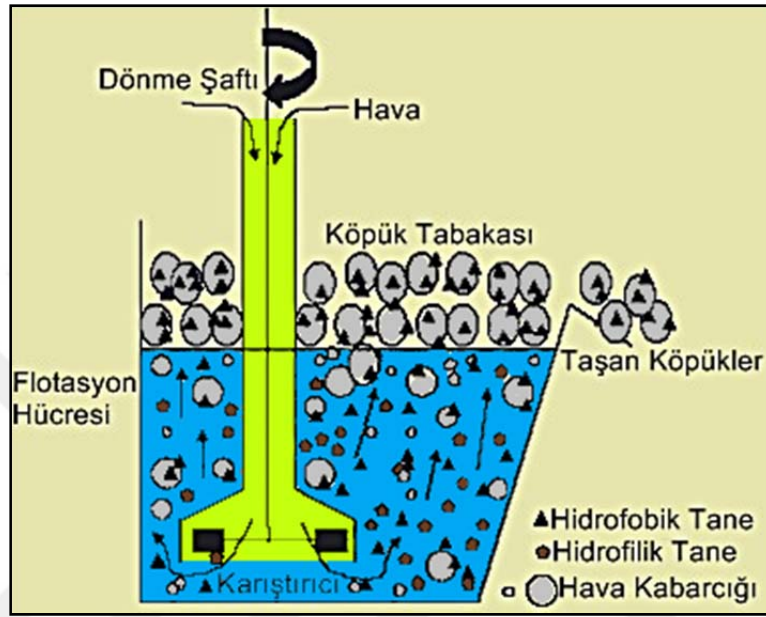
Çizelge 1.9. Yüzey Özellikleri Farkı Esasına Dayanan Zenginleştirme Yöntemlerinde Yararlanılan Mineral Özellikleri (Özkan, 2012)

Yararlanılan Mineral Özellikleri	Zenginleştirme Yöntemleri		Uygulama Boyutu (mm)
	Kuru İşlemler	Yaş İşlemler	
Yüzey ve Ara Yüzey Özellikleri	Salkımlaştırma ve Dağıtma (Flokülasyon ve Dispersiyon)		
		Seçimli Salkımlaştırma	-0,02
	Flotasyon (Yüzdürme)		-0,3+0,01
		Köpük Flotasyonu	-0,3
		Tabla Flotasyonu	-1
		Kolon Flotasyonu	-0,1
	Amalgamlaştırma		-2

1.7.5.1. Flotasyon İle Zenginleştirme

Flotasyon yöntemi; esas itibariyle minerallerin yüzey ve ara yüzey özellikleri farkı esasına dayanmaktadır. Uygun reaktiflerle muamele edilen tane yüzeylerinin sergiledikleri hidrofobluk ya da hidrofillik özelliklerine göre yapılan

bir zenginleştirme işlemidir. Bir flotasyon hücresinin şematik görünümü Şekil 1.34'te verilmektedir (Oruç, 2006).



Şekil 1.34. Flotasyon Hücresinin Şematik Görünümü (Oruç, 2006)

Kromitin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 1930-1950 yılları arasında 0,2 mm altına öğütülen %20-40 Cr_2O_3 içerikli krom cevherleri, toplayıcı olarak yağ asitleri ve kontrol reaktifleri olarak da sodyum silikat, fosfatlar, metafosfatlar, floridler, kompleks floridler, fluosilikatlar kullanılarak yüzdürülmeye çalışılmış ancak başarılı sonuçlar alınamamıştır (Güney, 1990).

1950'den sonra katyonik kollektörler kromit flotasyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Schranz ve Göksaltık (1955), kromit, olivin, serpantin içeren Kefdağ kromitlerinin aminlerle flotasyonunu araştırmışlar ve serpantin pH:3-12 aralığında, olivinin nötr pH'da, kromitin ise hem alkali hem de asidik pH'da yüzdüğünü ortaya koymuşlardır. Kullandıkları yöntemde önce pH:12'de gang minerallerini, daha sonra asit ortamda 300 gr/ton amin kullanarak kromiti

yüzdürmüşlerdir. Alkali ortamda uzun süreli kıvamlandırmanın gang flotasyonundaki kromit kaçağını azalttığı ve ikinci aşamadaki kromit flotasyonunu kolaylaştırdığı ayrıca saptanmıştır (Güney, 1990).

Ayrıca küçük boyutlu tanelerin sıvı-buhar arayüzeyinde kalarak hava kabarcığı ile karşılaşmalarını flotasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Kolloidal boyuttaki tanelerde, moleküler kuvvetler ve elektriksel çift tabaka kuvvetleri oldukça etkin durumdadır. Bu kuvvetler taneciğin diğer taneciklerle ve köpük ile etkileşimini kontrol etmektedir. Örneğin elektriksel çift tabaka kalınlığı fazla ve potansiyeli büyük ise taneler disperse olmakta, eğer çift tabaka kalınlığı az veya hiç yoksa o zaman taneler koagüle olmaktadır. Oluşan koagüleler hidrofobik karakterli olmaları durumunda, köpüğe yapışarak, aglomerasyon olayını meydana getirmektedir (Güney, 1990).

1) Küçük Boyutlu Tanelerin Flotasyonunda Kullanılan Yeni Yöntemler

Küçük boyutlu tanelerin flotasyonunda en önemli olay, tanecik ile kabarcık arasındaki karşılaşma olasılığının artırılmasıdır. Karşılaşma olasılığının artırılması genel olarak üç şekilde sağlanmaktadır;

- Köpük miktarı sabit tutularak tanelerin salkımlaştırılması
- Köpük miktarının artırılması
- Tanelerin hücrede kalmas süresinin artırılması veya ters akım prensibiyle taneciğin köpükle karşılaşma olasılığının artırılmasıdır (Güney, 1990).

Bu amaçla çeşitli flotasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar floto-flokülasyon, çözülmüş gaz flotasyonu, elektroflotasyon, jet flotasyonu ve kolon flotasyonudur (Güney, 1990).

Flotasyon işlemi sırasında oluşan şlamla kaplanma olayı, daha iri boyutlu taneye, küçük boyutlu tanelerin yapışmasıdır. Bu yapışma, moleküller arası çekim kuvvetleri ile gerçekleşmektedir. Genelde flotasyon sırasında zararlı olan şlamla kaplama, küçük boyutlu değerli minerallerin, aynı mineralin iri boyutlu tanesine yapışması durumunda yararlı olmaktadır. Bu durum Carrier Flotasyonu ve ultraflotasyon yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır (Güney, 1990).

Küçük boyutlu tanelerin flotasyonunda yağ fazının önemi oldukça büyüktür. Kullanılan yağın miktarına bağlı olarak, çok çeşitli flotasyon yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Güney, 1990).

Kromit flotasyonunda karşılaşılan en önemli güçlük selektivitenin sağlanamamasıdır. Selektiviteyi etkileyen iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Kromit ve kromitin gang mineralleri olan olivin ve serpantin benzer yüzey özelliklerine sahip olmaları ve kromit için kullanılan toplayıcılar ile kolayca yüzebilmeleri,
- Küçük boyutlu tane (şlam) oranı arttıkça, selektivitenin azalmasıdır (Güney, 1990).

Konvansiyonel flotasyon yöntemleri günümüzde artık etkisini yitirmiş olmakla birlikte, gelişmiş flotasyon yöntemleri (kolon flotasyonu, jet flotasyonu, taşıyıcılı flotasyon, biyoflotasyon...) daha fazla kullanılmaktadır (Oruç, 2006).

a) Yüksek Sıcaklık Flotasyonu:

Pülp sıcaklığının küçük boyutlu tane flotasyonunda önemli etkiye sahip olduğu gerçeğinden yola çıkarak geliştirilmiştir. Sıcaklık altında yapılan flotasyonunun etkilerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

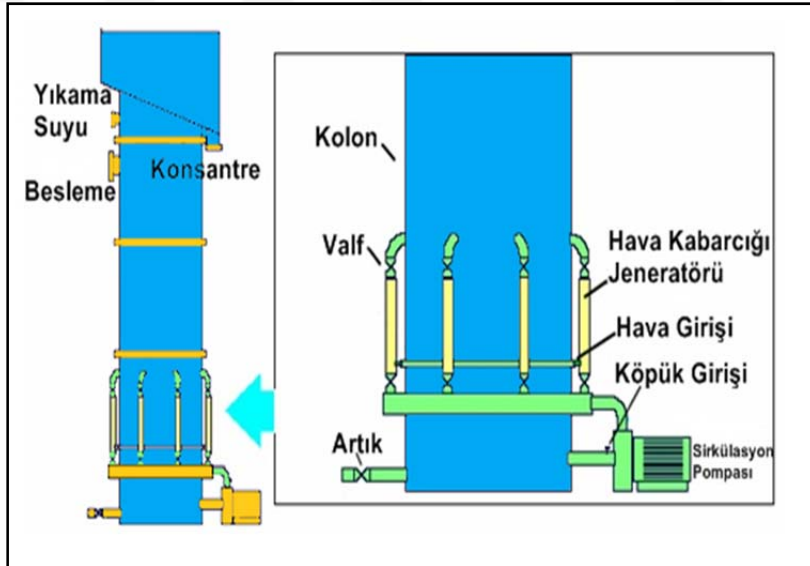
- Sıcaklık artışıyla toplayıcı adsorpsiyonu artmaktadır.
- Köpük miktarında artış olmaktadır.
- Canlandırma etkisi olmaktadır (Oruç, 2006).

b) Carrier Flotasyonu (Ultraflotasyon):

Uygun bir kıvamlandırma zamanı ile küçük boyutlu taneleri daha iri boyutlu tanelere yapıştırıp daha sonra köpük ile bu taneleri toplama esasına dayanmaktadır. İri taneler sisteme dışarıdan konulacağı gibi sistemde varolan iri boyutlu tanelerden de yararlanılmaktadır (Oruç, 2006).

c) Kolon Flotasyonu:

Bol miktardaki hava kabarcığı yukarıya doğru yükselirken, malzeme akışı aşağıya doğru olmaktadır. Besleme, genelde kolon yüksekliğinin 2/3'ü kadar yukarıdan yapılmaktadır. Şlamla kaplanmış taneler, köpük taşıma bölümünde yıkama suyu verilmek suretiyle temizlenmektedir (Şekil 1.35) (Oruç, 2006).

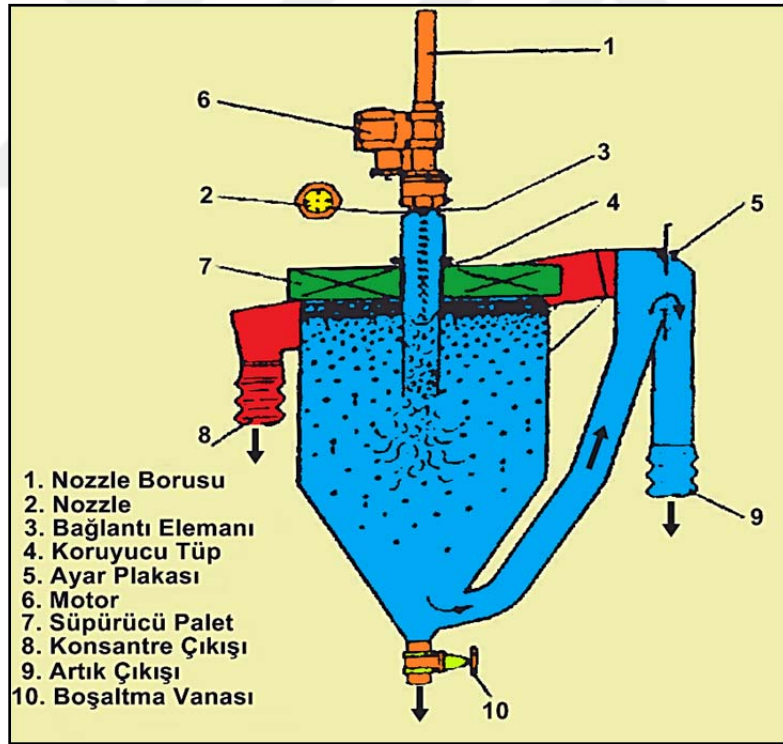


Şekil 1.35. Kolon Flotasyonu Düzenegi (Oruç, 2006)

Kolon flotasyon sisteminde, klasik flotasyonda olduğu gibi mekanik karıştırma pervane ile yapılmamakta; buna karşın pnömatik karıştırmayı sağlayan üretim sistemi ve yıkama suyu ilavesi yer almaktadır (Önal ve Güney, 1988).

d) Jet Flotasyonu:

Girdaplı (Türbülans) ve durgun (Laminer) akış bölümlerini içerecek biçimde geliştirilen jet flotasyonu, çok küçük boyuttaki tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kıvamlandırılmış pülp, bir pompa aracılığı ile bir enjektöre beslenmekte, enjektörden çıkan pülp bol miktarda köpük oluşturmakta ve pülpü karıştırmaktadır. Karıştırma işlemi sırasında tanecik-köpük kontağı sağlanmakta ve flotasyon gerçekleşmektedir (Şekil 1.36) (Güney, 1990).



Şekil 1.36. Jet Flotasyon Hücresinin Şematik Görünümü (Oruç, 2006)

e) Yağ Flotasyonu ve Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonu:

Küçük boyutlu tanecikleri hava-su arayüzeyi yerine moleküller arası çekim kuvvetlerinin etkin olduğu hava-yağ arayüzeyine toplama esasına dayanmaktadır. Kullanılan nötr yağların kısa zincirli olması tercih edilmektedir (Güney, 1990).

f) Floto-Flokülasyon (Agglomer Flotasyon):

Bu yöntem çok küçük boyutlu tanelerin, belli miktarda yüzey aktif maddeler kullanarak agglomer edilmesi ve daha sonra bu agglomerelerin köpüğe yapıştırılıp yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır (Güney, 1990).

Khavaski ve arkadaşları, suda çözünebilir polimerler kullanarak, çok küçük taneleri salkımlaştırmışlar ve daha sonra bunları yüzdürmüşlerdir (Güney, 1990).

g) Elektroflotasyon:

Elektroflotasyon, elektroliz yöntemiyle, 0,02-0,1 mm çapında çok küçük boyutlu köpüklerin üretilmesi esasına dayanmaktadır. Küçük köpükler ile 0,01 mm boyutundaki taneciklerin flotasyonu mümkün olabilmektedir (Güney, 1990).

Flint ve Howart (1971), Mika ve Fuerstenau (1969), köpük yüzey alanının artırılması ile taneciklerin köpük ile karşılaşma olasılığının arttığını ileri sürmüşlerdir. Elektroflotasyon konusundaki ilk çalışmalar, Glembotsky tarafından başlatılmıştır. Elektroflotasyonda köpük, elektroliz işlemi sırasında açığa çıkan H_2 ve O_2 gazları ile üretilmektedir (Güney, 1990).

h) Vakum ve Basınç Altında Flotasyon:

Gaz kabarcıklarının seçimli olarak hidrofobik mineral yüzeyinde toplama esasına dayanmaktadır. Klasik flotasyondaki köpük ile taneciğin karşılaşma durumu, bu yöntemde söz konusu değildir. Taneciğin çatlak ve porlarındaki kapanlanmış havanın, basınç değişimleri ile büyüyerek taneciği yüzdürmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntem su arıtma tesislerinde sınırlı bir şekilde

uygulanmaktadır. Mineral zenginleştirilmesinde de araştırılmaktadır (Güney, 1990).

i) Çökelti (Presibite) Flotasyonu:

Çökelti flotasyonu, yüksek moleküllü çökeleklerin yüzdürülmesi tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntemin, küçük taneli minerallerin zenginleştirilmesine uygulanması dolaylı şekilde olmaktadır. İlk kez 1932 yılında, Miami Copper Company tarafından uygulanmıştır. Ayrıca Wie ve Fuerstenau belli bir toplayıcı kullanarak, CuS çökeleklerinin flotasyonunu ve bunun elektromekaniğini incelemişlerdir (Güney, 1990).



2. TARİHÇE VE COĞRAFİK KONUM

Guleman (Elazığ) Yöresi, krom yatakları yönünden Türkiye'nin en önde gelen kesimidir. Yörede madencilik çalışmaları 1936 yılında başlamış olup halen yoğun biçimde sürdürülmektedir. Cevher üretimine ait ilk kayıtlar 1941 yılına aittir. Bu ilk kayıtlara göre Guleman'da 1941 yılında Tosin ocağından 66.478 ton, Saysin ocağından 7.518 ton olmak üzere toplam 73.996 ton cevher üretilmiştir. Derlenen bilgilere göre 1936-1981 yılları arasında Etibank sahalarından toplam 6.300.000 ton krom cevheri üretilmiştir (Engin ve ark., 1982).

Bu yörede, özel kuruluşlarca yapılan üretim miktarı derlenememiştir. Kayıtlardan izlenebildiği kadarıyla Türkiye'nin 1942-1979 yılları arasındaki dönemde yaptığı krom cevheri üretimi toplamı 22.183.406 tondur. Buna göre toplam Türkiye üretiminin %30 kadarı Guleman yöresinden yapılmıştır (Engin ve ark., 1982).

Başlangıçta mostra madenciliği ve açık işletme yöntemleriyle nispeten kolaylıkla yapılan madencilik çalışmaları, bu yöntemlerle alınabilecek cevherin azalması sonucunda 1950 yılından başlayarak yeraltı madencilik çalışmaları yörede giderek hız kazanmıştır. Bugün düşük tenörlü birkaç küçük zuhurda zaman zaman yapılan mostra madenciliği çalışmalarının dışında yörede bütün üretim yeraltı madenciliği yöntemleriyle sürdürülmektedir (Engin ve ark., 1982).

Guleman ve yakın çevresi, çok sayıda araştırmacının yerel ve bölgesel nitelikli çalışmalarının konusunu oluşturmuştur. Yöreye gösterilen bu ilgi, krom yataklarından ayrı olarak Guleman Peridotit Birimi'nin levha tektoniği kavramı yönünden Afrika ve Avrasya levhalarının sınır kuşağı üzerinde oluşu ve Guleman'ın hemen güneyinde Maden başta olmak üzere yörede bakır yataklarının bulunuşundan kaynaklanmaktadır (Engin ve ark., 1982).

Guleman krom yataklarını konu alan çalışmalar, Helke (1939, 1955, 1962), Kovenko (1940), Wijkerslooth (1947), Borchert (1952, 1962), Petrascheck (1958,

1959), Thayer (1964); Kendiroğlu (1972), İskit (1973), Ortalan ve Erdem (1977), Koç ve İzmir (1977), Turmuş (1977), Özkan (1977, 1982), Engin (1979), Engin ve Sümer (1982) ve Balcı ve diğerleri (1982) şeklinde sıralanabilmektedir (Engin ve ark., 1982).

Kromit, bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde 0,5 cm'den 50 m'ye kadar kalınlıklara sahip olup Türkiye'de ofiyolitik seriler içerisinde geniş alanlara yayılmaktadır. Elazığ-Guleman Bölgesi, kromit cevherleşmeleri açısından Türkiye'nin önemli bölgelerinden biridir. Buradaki başlıca ana cevherleşmeler Altındağ, Gölalan, Tenkella, Kefdağ, Kapin-Şabata, Dereboyu, Lasir ve Rut cevherleşmeleridir. Çalışmanın konusu olan Kefdağı bölgesi; Batı Kef ve Doğu Kef kromit cevherleşmeleri olmak üzere iki ana bölgeye ayrılmaktadır (Dursun, 2010).

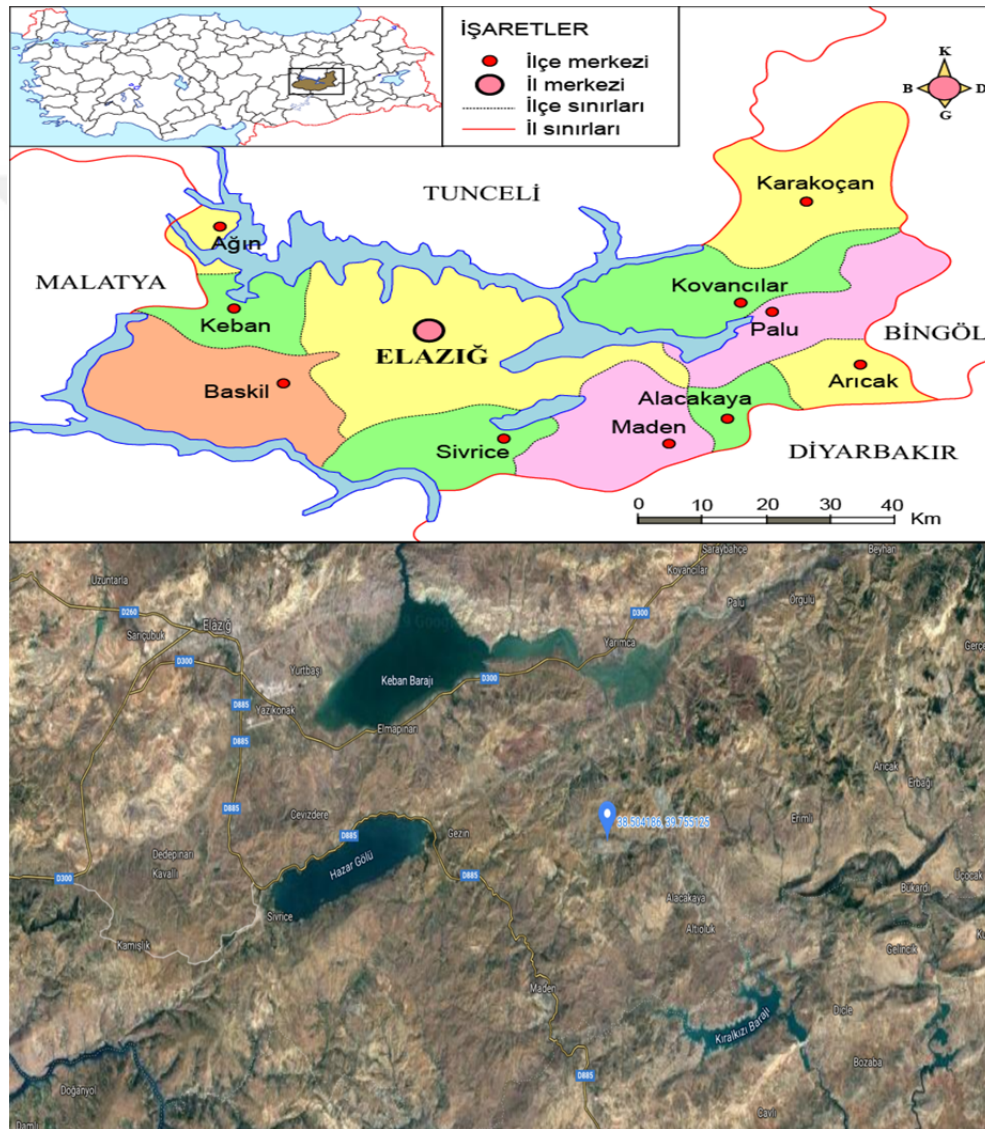
Kefdağ ve Soridağ (Guleman) kromit kütleleri, birincil oluşum özellikleri korunabilmiş ender podiform tipi yataklardır (Üşümezsoy, 1986).

Çalışma alanı, Elazığ İli'nin yaklaşık 90 km güneydoğusunda Alacakaya İlçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölgeye ulaşım, Elazığ-Bingöl karayolunun 50. kilometresinden güneye ayrılan bir yol ile ya da Maden İlçesi'nden kuzeydoğuya ayrılan bir yol ile sağlanmaktadır. Cevherleşme bölgesindeki ocaklara ulaşım ise Etibank (Eti Krom A.Ş.) tarafından açılmış stabilize yollarla sağlanmaktadır (Dursun, 2010).

Guleman kromit yataklarının olduğu bölgedeki önemli yükseltiler; Mustafa T. (1.776 m), Aslantaşı T. (1.650 m), Künofan T. (1.720 m), Kırmızıtaş T. (1.990 m), Büyük Sori Dağı (1.767 m), Rut Tepe (1.711 m), Taşlı T. (1.395 m), Güvenli T. (1.457 m), Kapin T. (1.268 m), Şabata T. (1.370 m) ve Sori Sarıkaya T. (1.467 m)'dır (Dursun, 2010).

Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde kalan çalışma bölgesi (Şekil 2.1), karasal iklimin etkisi altındadır. Bölgede kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçmektedir. Bölgede kış aylarında don olayı ve sıkça kar tipileri

görülmektedir. Çalışma bölgesi bitki örtüsü bakımından oldukça fakirdir. Karasal iklimin neticesi olarak bölgede soğuk havalara dayanıklı olan meşe ağaçları bulunmaktadır. Yöre halkının çoğu, geçimini madencilik ve hayvancılıkla sağlamaktadır (Dursun, 2010).



Şekil 2.1. Çalışma Bölgesi Yer Bulduru Haritası (<https://www.google.com.tr/maps>)

2.1. Genel Jeolojik Konum

Krom yataklarının içinde bulunduğu Guleman Peridotit Birimi, Elazığ'ın 50 km güneydoğusunda bulunmaktadır. 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasında Guleman Peridotit Birimi Üst Kretase flişleri olarak adlandırılan birim içinde ada halinde görülmektedir (Dursun, 2010).

Guleman Yöresi'ndeki kayaç birimleri geniş çerçevede incelendiğinde, başlıca üç yapısal birime ayrılabilir:

- Otokton birimler,
- Neotokton birimler,
- Allohton birimler (Dursun, 2010).

Yörede otokton birimi Lice Formasyonu temsil etmektedir. Bu birim, içinde yer yer kireçtaşı katkıları içeren silttaşı-kumtaşı araldanmasından oluşan fliş fasiyesindeki kayaçlardan oluşmuştur. Volkanik fasiyes içermezler, yaşı Alt Miyosen olarak saptanmıştır (Dursun, 2010).

Yataya yakın az eğimli, gevşek çimentolu konglomeralar, kumtaşları ve traverten özelliğindeki kireçtaşları, neotokton birimleri oluşturmaktadır. Bu birimlerin yaşı, benzer özellikteki yaşı bilinen kayaçlarla denkleştirilmesi sonucu, Pliyosen olarak saptanmıştır (Dursun, 2010).

Bölgesel nitelikli bazı çalışmalarda, söz konusu birimlerin litoloji ayrıntıları ve stratigrafi konumları verilmektedir (Perinçek, 1979; Özkan, 1984).

Yörede allohton birimleri ofiyolit grubu kayaçlar oluşturmaktadır. Bu grup içinde ultrabazik kayaçlar geniş alanlar kapladığından, ofiyolit grubu kayaçlar bu yazıda Guleman Peridotit Birimi olarak anılmaktadır (Özkan, 1984; Perinçek, 1979).

Guleman Peridotit Birimi üzerine taban konglomerası olarak nitelendirilen sığ denizel çökellerle başlayıp üste doğru kireçtaşı olistolitleri ve bazik volkanit

mercekleri içeren kumtaşı, marn, çamurtaşı, kırmızı-yeşil kireçtaşı aralanmasıyla devam eden Üst Kretase - Orta Eosen yaşlı allokon çökel birimler gelmektedir. Bu birim Ercan ve diğerleri (1970) tarafından bütünüyle Alt Fliş, Erdoğan (1977) tarafından Maden Grubu, Sungurlu (1980) tarafından da Ergani Grubu olarak adlandırılmıştır. Aynı birim bazı çalışmacılar tarafından ise daha ast bölümlere ayrılarak haritalanmıştır (Özkan, 1984; Perinçek, 1979).

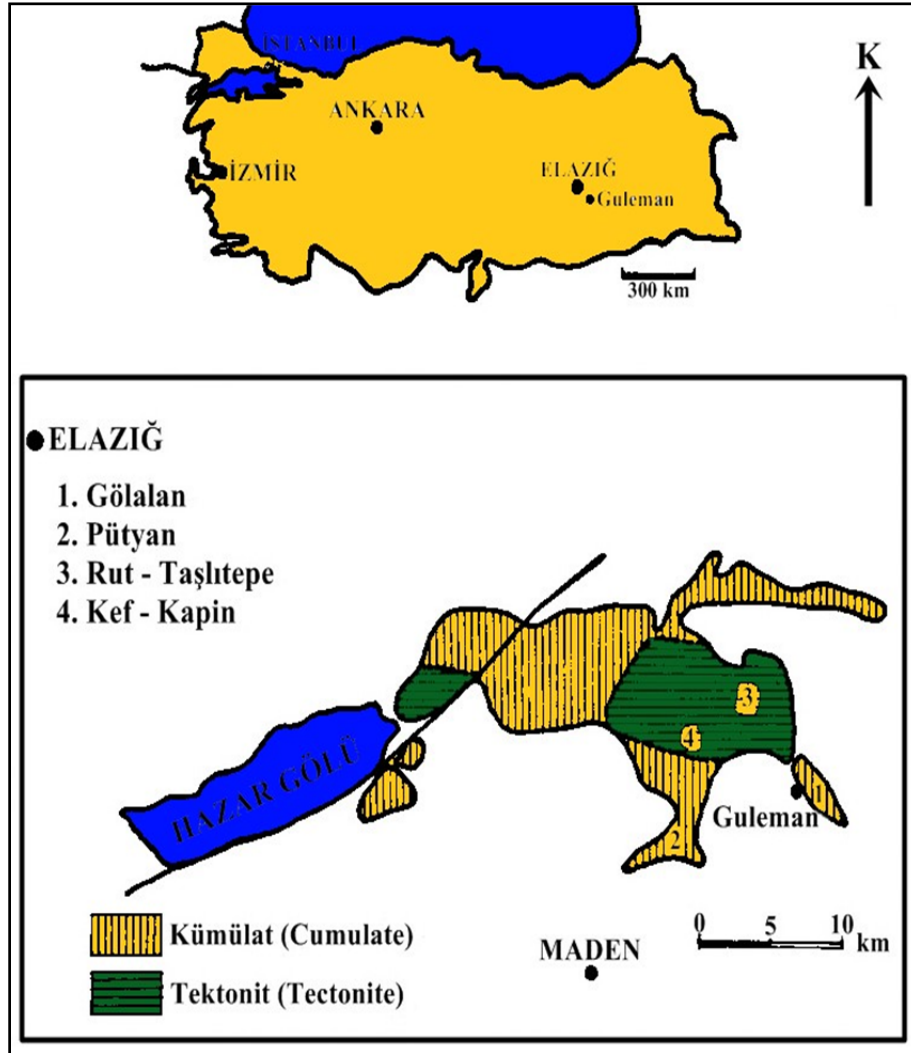
Metamorfikler çevrede başlıca kalkışist ve çeşitli filiklerden oluşmaktadır. Bunların tektonik dilimler halinde Guleman Peridotit Birimi üzerinde bulundukları ve Mesozoyik yaşlı oldukları kabul edilmektedir (Özkan, 1984).

2.1.1. Guleman Peridotit Birimi

Guleman Peridotit Birimi doğu-batı genel uzanımına sahip olup, 200 km² kadar bir alan kaplamaktadır. Peridotit biriminin güneydoğu ucunda bulunan Gölalan kesimi ile Kefdağ'ın güneyinde, güneye doğru uzanan Pütyan kesimi peridotit biriminin doğu-batı genel uzanımına aykırı bulunmaktadır (Şekil 2.2) (Engin ve diğ., 1982).

Guleman Peridotit Birimi'ni oluşturan kayaçlar, tektonitler ve kümülatlar olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadır. Tektonit grubunu harzburgit ve dünit, kümülat grubunu ise dünit, verlit, piroksenit, troktolit, gabro oluşturmaktadır. Sınırlı oranda da dolerit ve plajiyogranit gibi dayklar bulunmaktadır (Engin ve diğ., 1982).

Kümülat grubu kayaçlar genelde oldukça hırpalanmış olarak peridotit biriminin çevresini düzensiz bir kuşak biçiminde çevrelemektedir. Peridotit birimi içinde kümülatlar 70 km², tektonitler ise 130 km² kadar bir alan kaplamaktadırlar (Şekil 2.2). Kümülat grubu kayaçlar birbirleriyle aralanmalı olmalarına karşın, sınır ilişkileri genelde yırtılmalar (sheared) sonucu bozulmuştur (Engin ve diğ., 1982).



Şekil 2.2. Guleman Yöresinin Coğrafik Konumunu Gösterir Harita ve Guleman Peridotit Biriminin Genel Konumu, Kayaç Gruplarının Dağılımı ve Bazı Kesimlerin Peridotit Birimi İçindeki Yerleri (Engin ve diğ., 1982)

Kayaçları oluşturan mineral toplanmalarının kendi aralarında ardalanmasından oluşan bantlanmaların genelde litoloji sınırlarına uygunluğu gözlenebilmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Yukarıda da belirtildiği gibi tektonitler genelde peridotit biriminin merkezî kısmını oluşturmaktadır. Tektonitler ve kümülatlar arasındaki sınır ilişkisi faylıdır. Uzay görüntülerinde de tektonit-kümülat sınırı oldukça belirgin olarak izlenebilmektedir. Serpartinleşme yer yer ileri aşamada olmasına karşın, genelde tektonitler kümülatlara oranla tazedirler (Engin ve diğ., 1982).

Guleman Bölgesi, Türkiye'nin önemli yapılarından biri olan Güney Doğu Anadolu Bindirme kuşağı üzerinde yer alması nedeniyle bölgedeki kayalar çoğunlukla alloktondur (Özsoy, 2001). Otokton birim olarak Lice Formasyonu (Alt Miyosen); allokton birimler olarak da Guleman Grubu (Jura-Alt Kretase), Hazar Karmaşığı (Üst Meastrihtiyen-Alt Eosen) ve Maden Karmaşığı (Orta Eosen) bulunmaktadır (Şekil 2.3) (Engin ve diğ., 1982).

2.1.2. Otokton Birimler / Lice Formasyonu (Alt Miyosen)

Bölgedeki tek otokton birim Alt Miyosen yaşlı Lice Formasyonu'dur. Filiş özelliğindeki Lice Formasyonu, Güneydoğu Anadolu Bindirmesi'nin denizel bir klastik istif olarak yaygın şekilde yüzeylemektedir (Perinçek, 1979). Kumtaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşı litolojisindeki Lice Formasyonu Diyarbakır İline bağlı Ergani İlçesinin güneyinde kaba kumtaşı litolojisi sunar ve yaklaşık kalınlığı 150 metredir. Ergani'nin kuzeyinde ise ince kireçtaşı arakatmanlı, düzgün şeyl ve marn aralanması olarak görülür. Kuzeye doğru Guleman bölgesinde ise kireçtaşı arakatmanları seyrekleşir ve şeyl-kumtaşı aralanmasından ibaret filiş görünümünü alır (Arıkal ve Taşan, 1986).

2.1.3. Allokton Birimler

2.1.3.1. Guleman Grubu (Jura - Alt Kretase)

Guleman Grubu genelde harzburjit ve dunitlerden oluşmaktadır. Jura-Alt Kretase yaşlı bu birim Lice Formasyonu üzerine tektonik dokunakla gelmektedir. Ofiyolit istif tam olarak sergilemeyen Guleman Grubu, tektonitlere ve kümülatlara

ait kayaçlar içermektedir. Kümülatlar dünit-verlit-piroksenit ar dalanması, gabro seviyesi ve çok az oranda kromit kütleleri içerir. Tektonitler; harzburjit, dünit ve podiform kromit kütlelerini içermektedir. Guleman Grubu ofiyolitik seri içerisinde diyabaz ve bazik volkanik kayaçların görülmemesi nedeniyle eksik bir ofiyolitik istiftir (Özkan, 1984; Bingöl, 1986).

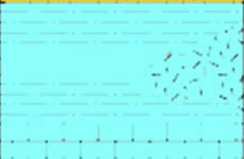
2.1.3.2. Hazar Karmaşığı (Üst Meastrihtiyen - Alt Eosen)

Üst Meastrihtiyen-Alt Eosen yaşlı bu birim Guleman Grubu üzerine uyumsuzlukla gelir. Kumtaşı, şeyl, marn ve kireçtaşı ar dalanmasından oluşmaktadır. Birimin tabanında konglomera, üst kısımlarına doğru kumtaşı-kiltaşı-marn-killi kireçtaşı – sileksit - radyolarit ve pembe-kırmızı renkli fosilli kireçtaşları gelmektedir. Ayrıca bu birim içerisinde; bazalt, diyabaz, tuf ve andezit gibi volkanik ara katkılar da görülür. Filiş şeklindeki birimin yaşı içerdiği fosillerle belirlenmiştir (Arıkal ve Taşan, 1986).

2.1.3.3. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)

Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Hazar Karmaşığı üzerine uyumlu olarak gelir. Bu birim karbonatlı kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı, yastık lavlar, andezit-bazalt, aglomera ve tuf litolojisinde izlenir. Kireçtaşları içerisinde Nummulit fosilleri gözlenmiştir (Arıkal ve Taşan, 1986).

Perinçek (1980), Maden Karmaşığı içerisindeki kireçtaşı bloklarının sığ ortamda çökeldiğini daha sonra havzanın derin kısmına olistolit olarak yerleştiklerini belirtmiştir. Birim içerisindeki volkanik kayaçlar ise Aktaş ve Robertson (1984)'ın volkanik kayaçlarda yaptığı jeokimyasal değerlendirmeler neticesinde kuzeye dalımlı bir yitim zonu üzerinde, yay önü bölgede oluştuğunu belirtmektedir.

YAŞ	GRUP	BİRİM	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
ORTA EOSEN	MADEN KARMAŞIĞI	Alt Volkanik ve Üst Volkanik ve Sedimentler	> 200 m		Mafik volkanitler (andezit-bazalt), aglomera ve tuf
			1000-3000 m		Yanal ve düşey girik mafik volkanikler karbonatlı kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı
ÜST MEASTRIHTİYEN ALT EOSEN	HAZAR KARMAŞIĞI		> 2250 m	 	Fosilli kireçtaşı Yer yer volkanik ara katkılı Kumtaşı-kiltaşı-şeyl-marn-killi kireçtaşı ar dalanması
					Konglomera
JURA-ALT KRETASE	GULEMAN GRUBU	Bantlı Gabro	100-900 m		Bantlı gabbro ve pegmatitik dayklar
		Peridotit	> 3000 m		Komit cevherleşmeleri Dünit, harzburgit, lertzolit ve piroksenit yığış ımları
ALT MİYOSEN	LİCE FORM.	FİLİŞ	> 150 m		Seyrek kireçtaşı arakatmanlı, şeyl-kumtaşı ar dalanması

Şekil 2.3. Guleman Bölgesi'nin Genel Tektonostratigrafik Kesiti (Erdoğan, 1982)

2.2. Çalışma Bölgesinin Jeolojisi

2.2.1. Tanım

Guleman Grubu kayaçlar Elazığ Alacakaya İlçesi'nin kuzeydoğusunda geniş yayılımlar sunmaktadır. Bu birim üzerinde çalışmalar yapan farklı araştırmacılar değişik isimler kullanmışlardır. Özkaya (1975), bu birim için “Guleman Ultrabazik ve Serpantinitleri” tanımını kullanmıştır. Genelde birçok araştırmacı bu birim için “Guleman Ofiyoliti” terimini kullanmıştır (Engin ve diğ., 1982).

Perinçek (1979), Erdoğan (1982) ve Bingöl (1986) ise birimi “Guleman Grubu” olarak isimlendirmişlerdir.

Engin ve diğ. (1982), Guleman bölgesindeki bazik ve ultrabazik kayaçlar üzerine yaptığı çalışmalarda birimi tektonitler ve kümülatlar olarak iki alt birime ayırmış ve “Guleman Peridotit Birimi” olarak adlandırmışlardır.

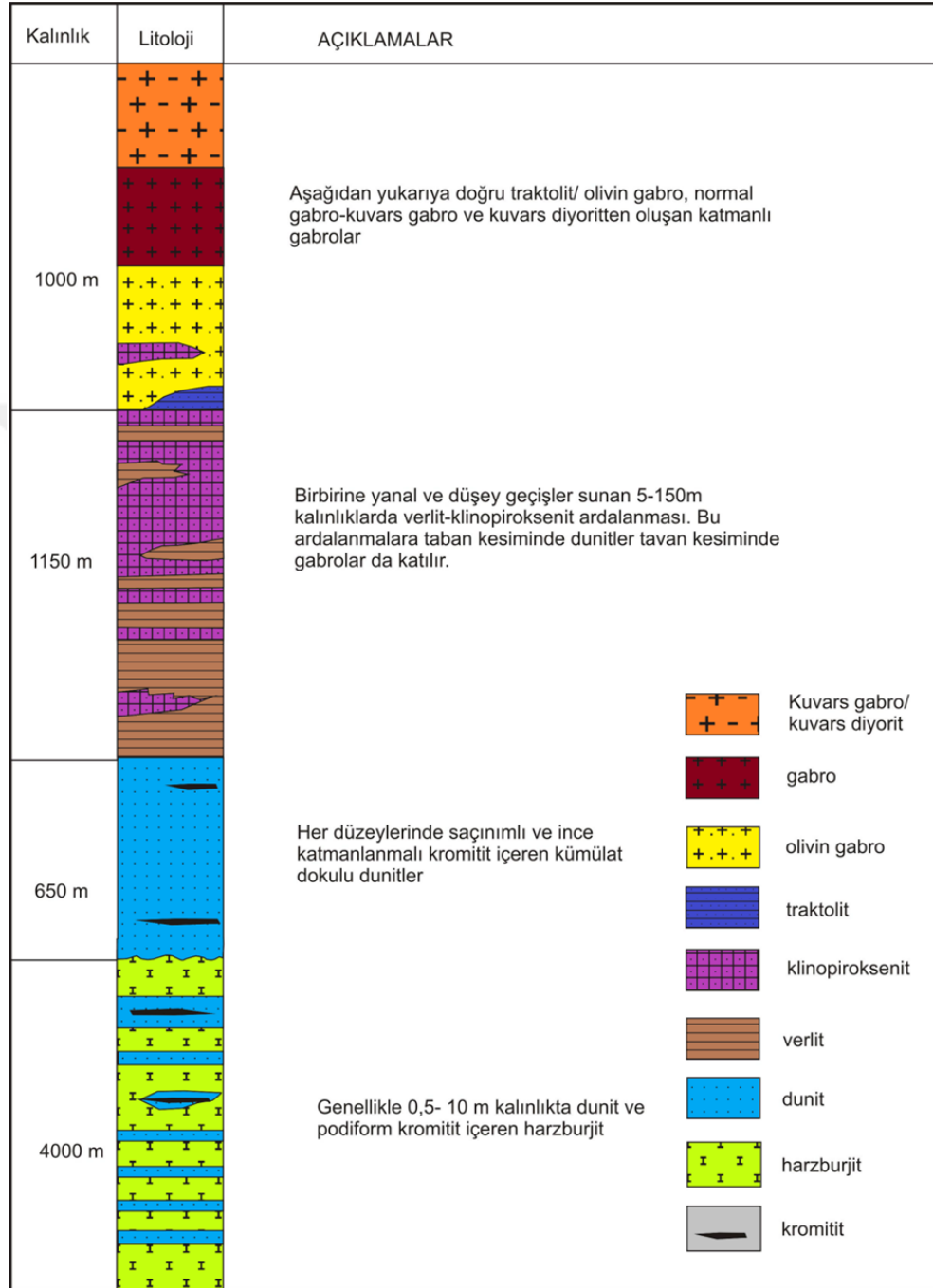
2.2.2. Dağılım ve Konum

Guleman Grubu'na ait kayaçlar Elazığ ilinin güneydoğusunda, Alacakaya İlçesi civarında yaygın olarak gözlenir. Yaklaşık 200 km²'lik bir alan kaplayan bu birim tektonitlerden ve kümülatlardan oluşmakta olup, tektonitler kümülatlara oranla daha geniş yayılımlara sahiptir (Engin ve diğ., 1982).

Çalışma alanını kapsayan Batı Kef - Doğu Kef bölgesinde Guleman Grubu'nun tektonit birimine ait kayaçlar görülmektedir (Engin ve diğ., 1982).

2.2.3. Litoloji

Guleman Grubu eksik bir ofiyolit istifi olup birim içerisinde levha dayk karmaşığı ve bazik volkanik kayaçlar gözlenmemektedir (Şekil 2.4) (Özkan, 1984).



Şekil 2.4. Guleman Grubu'nun Stratigrafik Dikme Kesiti (Özkan, 1984)

Guleman Grubu'nun tabanında başlıca dünit, harzburjit ardalanmasından oluşan ultramafik tektonitler ve bunların üzerinde dünit, verlit, piroksenit ve gabro gibi kayalardan oluşan kümülat birimi yer alır. Çalışma bölgesini oluşturan Kef bölgesinde tektonitlere bağlı olarak harzburjit, kümülatlara bağlı olarakta dünitler görülmektedir. Bu kayalar arazide oldukça sert bir topoğrafya sergilerler (Dursun, 2010).

Alterasyon yaygın olmamakla birlikte yer yer de olsa gözlenmektedir. Bunun yanında alterasyon sonucu serpantinlerde oluşmuştur. Fay zonları ile kırık ve çatlaklarda kalınlıkları 5-10 cm arasında değişen manyezit oluşumları gözlenmektedir. Doğu Kef bölgesinde yer altı maden ocaklarının üretim bölgelerinde rastlanmaktadır (Dursun, 2010).

2.2.4. Tektonizma

Ofiyolitlerin yerleşmesinde etkili olan tektonizma, Guleman Grubu üzerinde de etkili olmuştur. Guleman ofiyolitinin faylanarak kıvrımlanması ve yine bu kayalarda izlenen kırık ve fayların hepsi ofiyolit yerleşmesi esnasında ve sonrasındaki kabuk hareketleri ile olmuştur (Özkan, 1984).

Batı-Doğu Kef Krom yatağı genel olarak kuzey- güney doğrultulu sıkışma fazına bağlı kuvvetli bir tektoniğin etkisinde kalmış ve iki büyük tektonik dilime ayrılmış durumdadır (Şekil 2.5) (Çakır, 1994).

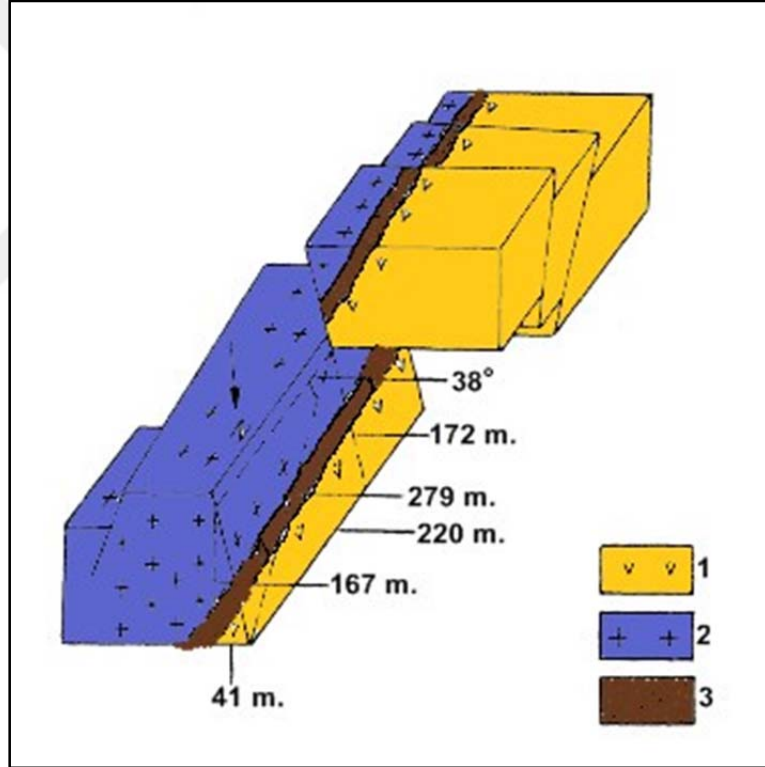
Batı-Doğu Kef bölgesinde kromit cevherleşmeleri yaklaşık D-B doğrultulu ve 80-85° ile güneye eğimlidir. Bu bölgede cevherleşmeler genel olarak doğu batı uzanımlı fayların arasında bulunmaktadır (Dursun, 2010).

Çalışma bölgesindeki fayların büyük çoğunluğu cevher doğrultusu ile uyumludur. Bu büyük fayları kesen 5-20 m aralığında etkisi olan doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır (Dursun, 2010).

Batı-Doğu Kef bölgesinde kromit cevherleşmelerinin kalınlıkları 2-50 m arasında değişkenlik gösterdiğinden bölgede cevher takibinde fayların olumsuz etkileri minimum seviyededir (Dursun, 2010).

İnceleme alanındaki peridotit birimi içerisinde dünit, harzburgit ve kromit bantlanmalarında önemli sayılmayacak bazı bükülmelerin dışında kıvrımlanma olayına rastlanılmamaktadır (Dursun, 2010).

Kef Dağı'nda yüzeyde yapılan arazi incelemelerinde kromit cevherleşmesini sınırlandıran Kef Fayı'nın genel olarak doğu - batı doğrultulu, 70-85 derece arasında güneye eğimli olduğu belirlenmiştir (Dursun, 2010).



Şekil 2.5. Batı Kef Krom Yatağında Etkili Fayların Şematik Görünümü 1. Harzburgit Tektonit 2. Dünit Kümülat 3. Cevher (Çakır, 1994)

Çalışma bölgesinde kromit kütlesi Guleman tektoniğinde harzburjit - dünit dokanağına yakın yer almaktadır. D-B uzanımlı bu kromit kütlesi Doğu Kef ve Batı Kef kromit kütlelerine ayrılmaktadır. Batı Kef kromit kütlesi yüzeyde 1.000 m kadar izlenmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Sahadaki kromit kütlesi batıda saçılmış bir kuşak ile başlamakta, doğuya doğru giderek 50 m kalınlığa ulaşmaktadır. Merkezi kesimde masif ve bantlı cevherin yer aldığı kromit kütlesi çevreye doğru saçılmış cevhere dönüşmektedir. Cevher yüzeylenimi doğuya doğru tekrar incelmekte ve saçılmış cevhere dönüşerek son bulmaktadır (Engin ve diğ., 1982).

2.3. Petrografi

Kef Dağı bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde alınan sistematik yan kayaç örneklerinden ince kesitler yapılmış ve bunların mikroskopta incelenmesi sonucu Guleman Gurubu'na ait tektonitler içerisinde oluşan harzburjit ve dünit oldukları görülmüştür. Bu yan kayaçların alterasyonu sonucu, serpantin mineralleri oluşmuştur. Bu serpantinleşme sonucunda demiroksitler açığa çıkmıştır (Dursun, 2010).

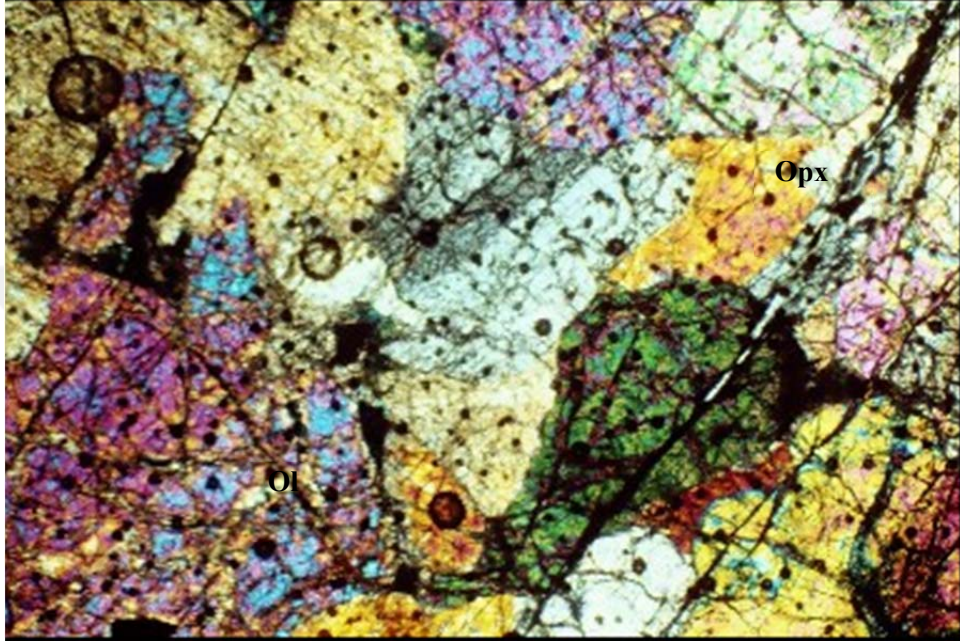
Batı Kef krom yatağı tektonitlerle kümülatlar arasında ve kümülatların tabanında yer alır. Tektonit-kümülat geçişi, tabantaşı-cevher sınırı ile birlikte net olarak gerçekleşmektedir (Çakır, 1994).

2.3.1. Harzburjitler

İnceleme alanında; kromit cevherleşmelerinin taban taşı olarak adlandırılan kuzey kesiminde görülen kayaç grubudur. Esas olarak olivin ve ortopiroksen minerallerinden oluşmuştur (Şekil 2.6). Daha az oranda klinopiroksen, opak mineraller ve ikincil mineraller görülmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Olivin harzburjitler içerisinde egemen mineral olup hacim olarak kayacın yaklaşık %85'ine yakın kısmını kaplamaktadır. Olivinler genellikle parçalanmış

fakat az oranlarda iri kristalli olivinler (3-5 mm) de görülmektedir (Engin ve diğ., 1982).



Şekil 2.6. Guleman Grubu'na Ait Harzburgitlerin Mikroskop Görünüm Ol: Olivin, Opx: Ortopiroksen (Dursun, 2010)

Özkan (1982) ve Üşümezsoy (1990) harzburgitleri oluşturan olivinlerin %85-90 forsterit içeren krizolit bileşiminde olduklarını belirtmişlerdir. Olivinler içerisinde plastik deformasyon izleri görülmektedir. Olivinler yüksek çift kırma rengine sahip olduklarından, mikroskopta canlı ve parlak renklerde görünürler (Çakır 1994).

İnceleme alanındaki olivinler hem porfiroklastlar hemde matriksi oluşturan küçük mineraller halinde porfiroklastik doku şeklinde bulunması tektonitlere has bir özelliktir. Boullier'e (1975) göre, üst mantonun yüksek deformasyon hızına sahip dinamik zonlar içerisinde oluştuğu ileri sürülmüştür (Çakır 1994).

Harzburjitler içerisinde olivinlerden sonra hacim olarak %10-12'lik alan kaplayan ortopiroksenler görülür. Bu mineraller genelde öz şekilsiz bazen de yarı öz şekilli olarak bulunmaktadırlar. Ortopiroksenler genelde tek yönde iyi gelişmiş dilinimlere sahiptirler. Ancak az olarak bazı kristallerde iki yönde ve aralarındaki açı 90 derece olan dilinimler de izlenmektedir. İnceleme alanında çalışan daha önceki araştırmacılar ortopiroksen bileşimlerinin %89-90 enstatit olduğunu saptamışlardır (Dursun, 2010).

Klinopiroksenler, kayaç içerisinde çok az olarak (%1-2) izlenmektedir. Bu mineraller öz şekilsiz ve küçük kristaller halinde bulunmaktadırlar. Tek yöndeki dilinim izlerine göre 15–35° arasında bir sönme açısına sahiptirler (Dursun, 2010).

Piroksen minerallerinde deformasyon sonucu oluşmuş eğilme ve bükülmeler görülmektedir. Harzburjitler içerisinde opak mineraller ve ikincil serpantin mineralleri de tespit edilmiştir. Kromit minerali yaklaşık %1-2 oranında bulunur. Genelde foliyasyon düzlemine paralel uzama gösteren porfiroklastlar halinde gözlenmektedir (Dursun, 2010).

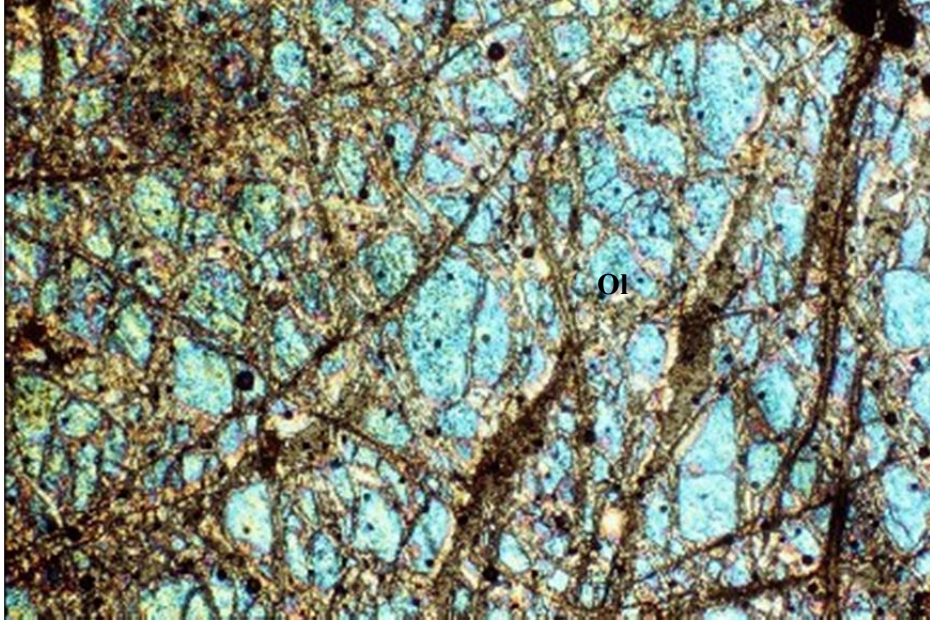
2.3.2. Dünitler

Çalışma bölgesinde cevherleşmenin tavan taşı kısmında, güney kesimlerinde daha çok görülmektedirler. Genellikle 3-8 mm, yer yer birkaç santimetreyi aşan boyutlarda iri olivinleri ve alışılmışın üzerinde kromit içermesiyle tipiktir (Engin ve diğ., 1982).

Olivin minerali bu kayacın %95-98'ni oluşturmaktadır. Ayrıca az miktarlarda (%3-5) opak mineraller de içermektedirler. Olivinler mikroskopta yer yer özşekilli, öz şekilsiz iri kristaller ve parçalanmış küçük kristaller halinde bulunmaktadırlar (Şekil 2.7) (Engin ve diğ., 1982).

Fosterit içerikleri %94-96 arasında bulunmuştur. İri olivin kristallerinde plastik deformasyon sonucu uzamalar, kristal içi kaymalara bağlı olarakta kingbantlar oluşmuştur (Engin ve diğ., 1982).

Dünitler içerisinde %3-5 oranında ortopiroksen minerali saptanmıştır. Bu mineraller öz şekilsiz iri kristalli ve tek yönde iyi gelişmiş dilinimlere sahiptirler (Engin ve diğ., 1982).



Şekil 2.7. Guleman Grubu'na Ait Parçalanmış Olivin Kristallerinin Mikroskop Görünümü Ol: Olivin (Dursun, 2010)

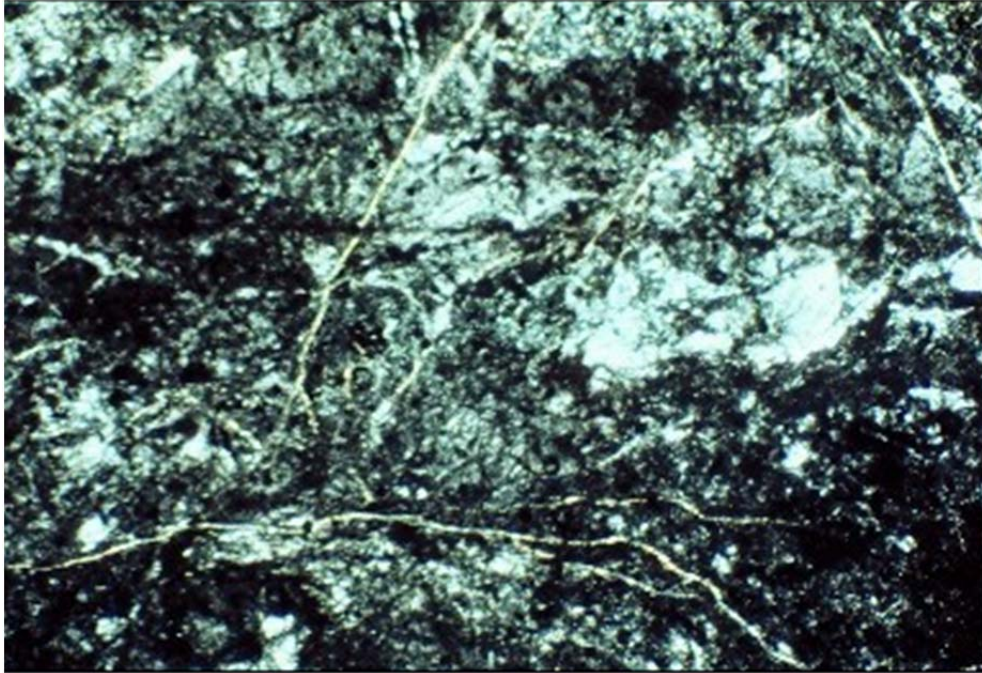
Bu kayalarda olivinlerin alterasyonu sonucu lizardit ve krizotil türü mineraller, ortopiroksenlerin alterasyonu sonucu ise bastit mineralleri gelişmiştir (Üşümezsoy,1990).

2.3.3. Serpantinitler

Serpantinitler, peridotitik kayaların yüzeysel koşullar ve hidrotermal şartlar altında geçirmiş oldukları alterasyon sonucu oluşmuşlardır. Çalışma alanındaki peridotitik kayalarda serpantinleşme çok yaygın değildir. Ancak yer yer olivin ve ortopiroksen minerallerinde serpantinleşme gözlenmektedir (Dursun, 2010).

Mikroskobik incelemeler sırasında olivin ve ortopiroksen minerallerinin kenardan itibaren serpantinleştikleri görülmekte ve kristalin orta kısımlarında kalıntı halinde birincil minerallerin varlığı izlenmektedir. Bazı örneklerde ise bu mineraller tamamen serpantin minerallerine dönüşmüşlerdir. Ortopiroksenlerin alterasyonuna bağlı olarak bastit mineralleri oluşmuştur. Ayrıca bu minerallerin alterasyonu sırasında demiroksitler açığa çıkmıştır. Bu demiroksitler piroksenlerin dilinim izlerine paralel olarak yerleşmişlerdir (Dursun, 2010).

Olivinler, lizardit ve krizotil türü serpantin minerallerine de dönüşmüşlerdir. Bu dönüşüm sonucu serpantinlerde ağ dokusu gelişmiştir. Genellikle bu dokunun merkezi kısımlarında olivin tanelerine rastlanmaktadır. Ancak bazı örneklerde ise olivinler tamamen serpantinit minerallerine dönüşmüşlerdir (Şekil 2.8) (Dursun, 2010).



Şekil 2.8. Olivinlerin Alterasyonu Sonucu Serpantin Minerallerinin Mikroskop Görünümü (Dursun, 2010)

2.4. Krom Yatakları

Yeraltı ve yerüstü verilerinin değerlendirilmesinden, Guleman Peridotit Birimi içinde beş yüzden fazla krom zuhuru bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Bu zuhurların bazıları çeşitli boyutta birbirleriyle bağlantısı olmayan bağımsız zuhurlar olduğu gibi, bazıları da kısa kesintilerle devamlılık gösteren zuhurlardır (Engin ve diğ., 1982).

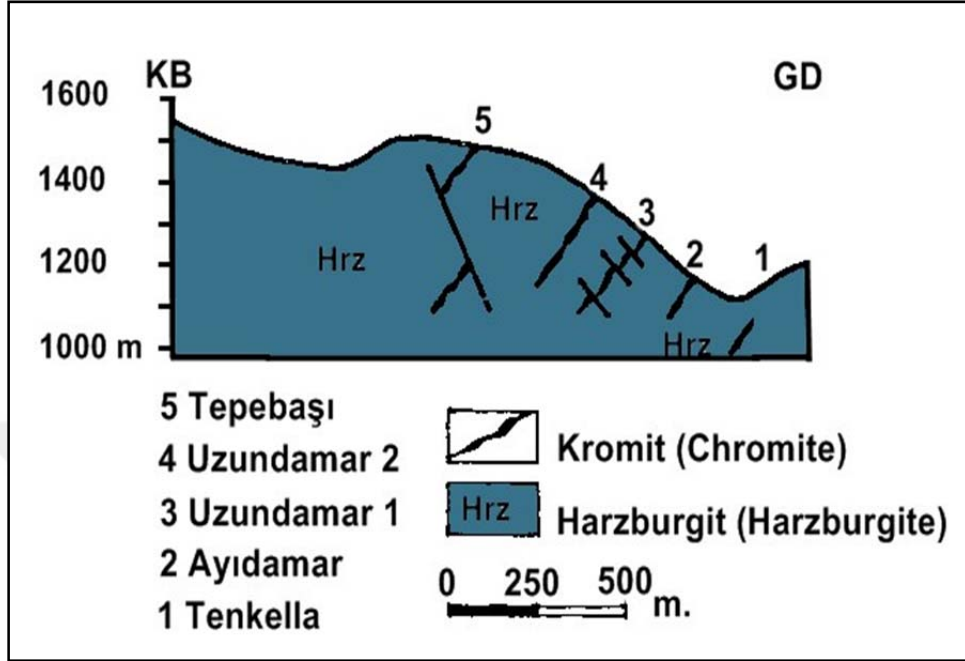
Bu zuhurların boyları birkaç santimetreden birkaç yüz metreye ulaşan boyuttaki mercıklere kadar değişiklik göstermektedir. Peridotit birimindeki krom zuhurları, hem tektonit hem de kümülat grubu kayalar içinde bulunmaktadır. Fakat bütünüyle tektonit içinde veya tektonit kümülat sınırına yakın yerlerde bulunan krom zuhurlarının kümülatlar içinde bulunan zuhurlara oranla daha büyük ve de daha yüksek Cr_2O_3 tenörlü olduğu genel olarak söylenebilmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Krom yatakları, litoloji özellikleri, yapısal durum ve coğrafi dağılım göz önüne alınarak Guleman Peridotit Birimi;

- a. Gölalan
- b. Pütyan
- c. Rut-Taşlıtepe
- d. Kefdağ-Kapın-Şabate gibi bazı bölümlere ayrılabilir (Engin ve diğ., 1982).

Rut-Taşlıtepe kesimindeki önemli krom yataklarının istifsel ve yapısal konumları Şekil 2.9'da görülmektedir (Engin ve diğ., 1982).

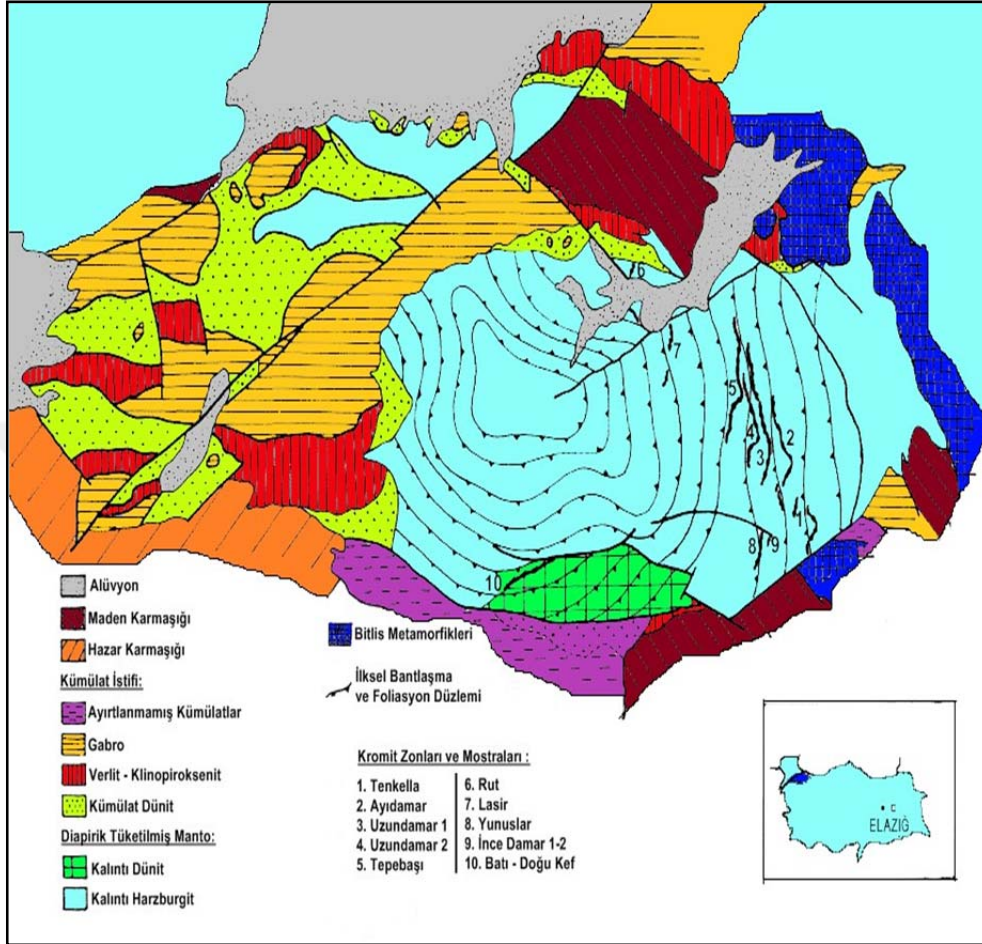
Engin ve diğerleri (1982) tarafından hazırlanan ve Guleman krom yataklarının bazı özelliklerinin karşılaştırıldığı çizelge, Ek 2.1 olarak Ekler bölümünde sunulmaktadır.



Şekil 2.9. Rut-Taşlıtepe Kesimindeki Önemli Krom Zonlarının Stratigrafik (İstifsel) ve Yapısal Konumları (Engin ve diğ., 1982)

Bu krom zuhurlarının bazıları çeşitli boyutta birbirleri ile bağlantısı olmayan bağımsız, bazıları da kısa kesintilerle devamlılık gösteren zuhurlardır. Bu kromit kütlelerinin doğrultu boyları birkaç santimetreden birkaç yüz metreye kadar değişir (Şekil 2.10). Guleman Grubu içindeki krom yatakları hem tektonitler hem de kümülatlar içerisinde gözlenir. Fakat tektonitler içerisinde ve tektonit - kümülat sınırında daha yoğundur (Özkan, 1984).

Kefdağı kromit cevherleşmesi Guleman tektoniğinde harzburgit - dunit dokanağına yakın yer alır. Kef Dağı kromit damarı ortalama 10 m, yer yer 50 m kalınlık göstermekte ve bazı bölümlerde cevher içerisinde büyük kütleler halinde yan kayaçların olması, tek damar olan kromit cevherleşmesinde iki damar olarak izlenmektedir. Peridotit içindeki Kef Dağ kromit damarı kromitçe zengin ve fakir cevherlerden meydana gelmiştir (Dursun, 2010).



Şekil 2.10. Sori Dağ ve Kef Dağ Kromit Kütlelerinin ve Guleman Ofiyolitinin Jeolojik Haritası (Üşümezsoy, 1986)

2.4.1. Kef Dağı – Kapin – Şabate Kesimi

Bu kesim Guleman Peritotit Birimi'nin güneyinde Kef Tepe'nin (1.754 m) güney yamaçları ile Deriken Dere arasındaki kısmı içine almaktadır. Krom yatakları yönünden Rut-Taşlıtepe kesiminden sonra yörenin en önde gelen kesimidir. Krom yataklarının özellikleri ve jeoloji konumları göz önüne alınarak söz konusu saha Batı Kef, Doğu Kef, Altındağ, Kapin, Şabate gibi bölümlere ayrılabilir (Engin ve diğ., 1982).

Dünit ve harzburgit bu kesimde rastlanan başlıca kayaç çeşitleridir. Kayaçlar genelde oldukça tazedirler, serpantinleşme özellikle fay zonlarında fazladır. Dünit, harzburgit ve yer yer de kromitleri kesen piroksenit dayklarına az da olsa bazı yerlerde rastlanmaktadır. Piroksenit dayklarının kalınlığı birkaç santimetre ile 20-30 cm arasında değişmekte olup, doğrultuları boyunca yüzeyde en fazla 10-15 m kadar izlenebilmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Dünit, Kef Tepe'nin (1.754 m, 1.485 m) güney yamaçlarında 5 km² kadar bir alan kaplamaktadır. Rut-Taşlıtepe kesimindeki harzburgitlerin batıya devamları buradaki harzburgitleri oluşturmaktadır. Harzburgitler dunitlere karşın daha keskin topografyaları, az da olsa üzerlerinde bulunan meşe ağaçları ve çalılıklarla belirgindirler. Dünit alanları ise daha yumuşak topoğrafyalı ve bitki örtüsü bakımından çok fakirdirler (Engin ve diğ., 1982).

Dünitler kızılsımsı boz renkli, oldukça tazedirler. Kayacı oluşturan olivinlerin iri taneli boyları çoğu kez birkaç santimetreyi aşan büyüklüktedir. Dilinim izleri çoğu el numunesinde belirgin izlenebilmektedir. Kayaçlar içinde toplu iğne başı görünümünde olan kromit tanecikleri yaygın olarak bulunmaktadır. Kayaç içindeki kromit oranı değişiklikler göstermesine karşın, oran genellikle %1'in altına inmemektedir. Dünit içinde kromit oranının %5-10 olduğu kesimler oldukça yaygındır (Engin ve diğ., 1982).

Dünit içindeki kromitler çoğu yerde bantlı yapıya sahiptir. Bantların kalınlıkları birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında değişmektedir. Kromit bantlarının birkaç metre kalınlıkta zonlar halinde doğrultuları boyunca yüzlerce metre izlenebildikleri kesimler sahada yer yer görülmektedir. Çoğu numunelerde kromit tanelerinin belirgin uzanım kazandıkları (yapraklanma) ve bunların kromit toplanımlarından oluşan bantlanmalara paralel oldukları çalışmalar sırasında ortaya konmuştur (Engin ve diğ., 1982).

Küp sistemde kristallenen kromitin belirli bir yönde uzama göstermesi ilksel kristallenme aşamasında kazanılmış bir yapı olarak tanımlanamaz. Söz

konusu kromit uzanımlarının dünitlerde izlenen kromit bantlarına paralel oluşu, bantlanma ve yapraklama oluşumları arasındaki beraberliği; diğer bir deyişle bantlı yapının kazanılması sırasında karşı kalınan deformasyonları ortaya koymaktadır (Engin ve diğ., 1982).

Bu kesimde harzburgitler sözü edilen dünit sahasını doğu, kuzey ve batıdan çevrelemektedir. Fay zonları dışında kalan kesimlerde harzburgitler genelde oldukça tazedirler. Kayacı oluşturan mineraller olivin, rombusal piroksen, monoklinal piroksen ve kromittir. Daha önce de belirtildiği gibi harzburgitler içindeki piroksen minerallerinin oranı %10-20 civarındadır. Piroksen minerallerinin çoğunun rombusal piroksen olmasına karşın, bazı numunelerde monoklinal piroksen oranının rombusal piroksen oranına yaklaştığı gözlenmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Serpantinleşmiş numunelerde kayaç tanımlanmasında güçlükler olmamasına karşın, taze numunelerde olivinlerdeki dilimin izlerinin piroksenlerinki ile karıştırılması sonucu tanımlamalarda bazı durumlarda güçlüklerle karşılaşılabilir (Engin ve diğ., 1982).

Harzburgitler içinde yer yer dünit bant ve mercekleri izlenebildiği gibi, dünit olarak tanımlanan saha içinde de dunit-harzburgit sınırına yakın kesimlerde 10 m kadar kalınlığı olan harzburgit bant ve mercekleri bulunmaktadır. Bu harzburgitlerin diğer harzburgitlere göre monoklinal piroksen oranı bakımından daha zengin oldukları dikkat çekmektedir (Engin ve diğ., 1982).

Dunitlerle harzburgitler arasındaki sınır ilişkisi Batı Kef kesiminde ilksel, Doğu Kef kesiminde ise faylıdır. Batı Kef kesiminde harzburgitler içinde olivin ve piroksence zengin kısımların ardalanması sonucu oluşan bantlanmalar ile dunit-harzburgit ilksel sınırı ve dünitler içinde kromit toplanımlarından oluşan bantlanmalar birbirleriyle uyumludurlar (Engin ve diğ., 1982).

Dünit-harzburgit sınırı boyunca dünit içinde yer yer ince piroksen toplanmalarının iç yapıya paralel geliştikleri gözlenmiştir. Harzburgit-dünit geçiş

zonu olarak nitelendirilebilecek bu kesimin genişliği, bazı yerlerde 100 m kadardır (Engin ve diğ., 1982).

Doğu Kef bölümünde dünit-harzburgit sınırı D-B yönlü bir fayı izlemektedir. Fay zonu ortalama 65° ile kuzeye eğimli olup, fayın harzburgit tarafı (kuzey tarafı) dünit tarafına oranla çok daha fazla hırpalanmıştır. Bu kesimin en önemli yapısal unsurlarından biri olan söz konusu fay zonu, bol kayma yüzeyli, siyah-koyu yeşil renkli serpantin ve breşlerle dikkat çekmektedir. Fay zonunun güney sınırı kuzey sınırına oranla daha kesin izlenebilmektedir. Zonun en belirgin olduğu yerlerde genişlik 10-40 m arasında değişiklik göstermektedir. Bu fay zonu içinde ve çevresinde saç örgüsü örneğinde olduğu gibi fay zonundan ayrılan, sonra tekrar birleşen faylar göze çarpan özelliklerdendir. Ayrıca özellikle dünit içinde söz konusu fay zonuna paralel gelişmiş çok sayıda fay bulunmaktadır (Engin ve diğ., 1982).

Batı Kef kesiminde harzburgitlerdeki bantlanmalar ile dünitlerdeki bantlanmalar birbirleriyle uyumludur. Doğu Kef kesiminde ise dünitlerdeki bantlanmalar kendi aralarında uyum içinde olmalarına karşın, harzburgitlerdeki bantlanmalar uyumsuz ve dağınık bir örnek sergilemektedirler (Engin ve diğ., 1982).

Engin ve diğerleri (1982) tarafından hazırlanan ve Batı Kef ile Doğu Kef kromitlerinin mineralojik, yapısal ve kimyasal özellikleri ve iletme durumu ile ilgili karşılaştırmaları gösterir çizelge Ek 2.2’de verilmektedir. Bu karşılaştırma değerlendirildiğinde iki bölge kromitleri arasında hemen hemen hiç fark görülmemektedir. Sadece cevherin tenöründe ve kullanım alanında farklılık mevcuttur. Doğu - batı uzanımlı bu kromit cevheri kütlesi Doğu Kef Dağı ve Batı Kef Dağı kromit cevherleşmeleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Dursun, 2010).

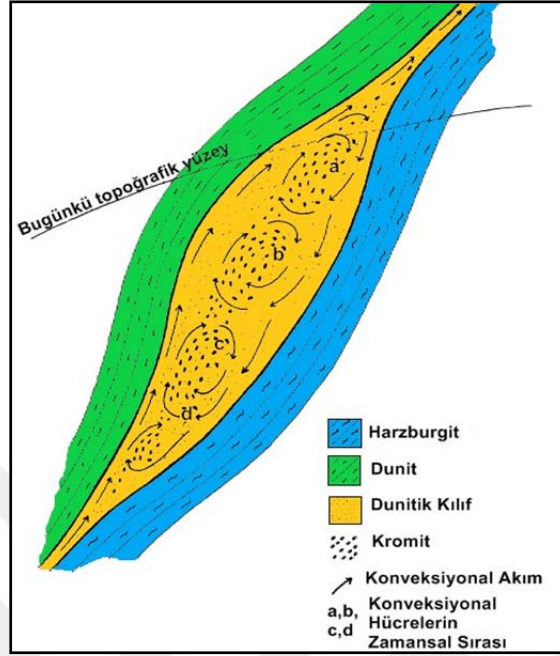
2.4.1.1. Doğu Kef Kromit Horizonu

Batı Kefte harzburgitler içinde uzanıp Doğu Kef kesiminde dünit-harzburgit sınırını izleyen büyük fay zone içinde büyüklü küçüklü 60 kadar krom mostrası bulunmaktadır. Söz konusu mostraların bazıları gruplar, bazıları ise tek mostra halindedir. Fay zone boyunca bazı mostralar zonun dünit kesiminde bulunmasına karşın, büyük bölümü harzburgit içinde ve büyük fay zoneunun güney kenarına yakın kesimlerde bulunmaktadır. Rakamsal olarak vermek gerekirse, 60 krom merceğinin sekiz kadarı dünit, geri kalanı harzburgit içindedir (Üşümezsoy, 1986).

Yüzeyde izlenen krom merceklerinde saptanan en fazla uzunluk 35 m, en fazla kalınlık 4,5 m kadardır. Mostraların bulunduğu en fazla yükselti 1.610 m, en düşük yükselti ise 1.380 m'dir. Doğu Kef'teki cevher, genelde masif ve çok breşiktir. Cevher merceklerinin yantaşıla ilişkileri karmaşık ve bütünüyle mekaniktir. Fay zoneunda ve harzburgitler içinde bulunan krom merceklerinin yan kayaçla ilişkileri mekanik olmasına karşın, cevher merceğinin yan kayaçla ilksel ilişki içinde bulunduğu zamana ait dünit kılıfının parçalarını cevherle birlikte görmek çoğu kez olasıdır (Şekil 2.11) (Üşümezsoy, 1986).

Cevher merceklerinin konumu yer yer yerel dönüşler sergilemesine karşın, doğrultu ve eğimleri genelde içinde bulundukları fay zoneunki ile uyumludur. Cevher mercekleri fay zone içinde olduğundan devamlılıkları konusunda önceden yargıda bulunabilmek pek olası görülmemektedir (Engin ve diğ., 1982).

Doğu Kef kesiminde yapılan galerili aramalarda cevherin varlığı 1.377 m ve 1.416 m galerilerinde saptanmıştır. İçinde cevher varlığı saptanan 1.416 m galerisi yüzeyde mostraları içeren zoneun (1.550 m) 135 m kadar daha altında bulunmaktadır. Bu da fay zone içindeki cevher merceklerinin eğim yönündeki devamlılıkları konusunda bir fikir verebilmektedir. Yeraltında krom merceklerinde en fazla uzunluk 350 m, en fazla kalınlık ise 50 m (güncel değerler) kadar ölçülmektedir (Engin ve diğ., 1982).



Şekil 2.11. Kef Dağ Kromit Kütlesinin İlerleyen Akıntı Modeline Göre Oluşumu (Üşümezsoy, 1986)

Bu kesimdeki krom merceklerinden yapılan analizlerde numunelerin Cr_2O_3 oranlarının %38,30 – 43,98 arasında değiştiği saptanmıştır. Burada sözü edilen dünit-harzburgit faylı sınırı boyunca bulunan krom mostralardan ayrı olarak özellikle Doğu Kef'in doğusu ile Altındağ arasında kalan kesimde dünit içinde kromit toplamlarının giderek arttığı, ince kromit bantları içeren zonların varlığı gözlenmiştir. Bu zonların sınırları dereceli geçişli olup, genişliği en fazla 30 m, uzunluğu da çeşitli kesintilerle 650 m kadardır (Engin ve diğ., 1982).

Asıl zon mm-cm kalınlığında saçılmış kromit bantlarından oluşmakla beraber, zon içinde yer yer kalınlığı bir metreye varan masif bantlar da bulunmaktadır. Kromitlerde ölçülen bantlanmalar peridotitin (dunit) iç yapısını oluşturmakta ve çevre ile uyum içinde bulunmaktadır. İç yapıda büyük düzenlilik olmasına karşın, tek bir kromit bantı zon içinde doğrultusu boyunca yine de 4-5 metreden fazla izlenememektedir (Engin ve diğ., 1982).

2.4.1.2. Batı Kef Kromit Horizonu

Kefdağ bölümünde madencilik çalışmalarının 1939 yıllarında başladığı bilinmesine karşın, elde edilebilen ilk üretim rakamları 1952 yılına aittir. Etibank'ın kayıtlarına göre, 1952-1981 yılları arasındaki dönemde Batı Kef Yatağı'ndan toplam 1.000.000 ton kadar cevher üretilmiştir (Engin ve diğ., 1982).

Batı Kef Krom Yatağı, Batı Kef kesiminde 1.000 m uzunluğunda mostraya sahip olup, dünit içinde dünit-harzburgit sınırı boyunca uzanmaktadır. Krom yatağının sınırı boyunca izlenen dünit zonunun (kılıfının) genişliği bazı yerlerde 4-5 m olmasına karşın, çoğu yerde bu genişlik 40-50 cm kadardır. Krom yatağının doğrudan harzburgite yaslandığı görünümünde olan yerlerde de 4-5 cm genişlikte de olsa ince dünit zonunun varlığı izlenmektedir. Krom yatağının güney kenarını, kalınlığı 2.500 m kadar olan Kef yöresi asıl dünit birimi oluşturmaktadır (Kef dünit) (Engin ve diğ., 1982).

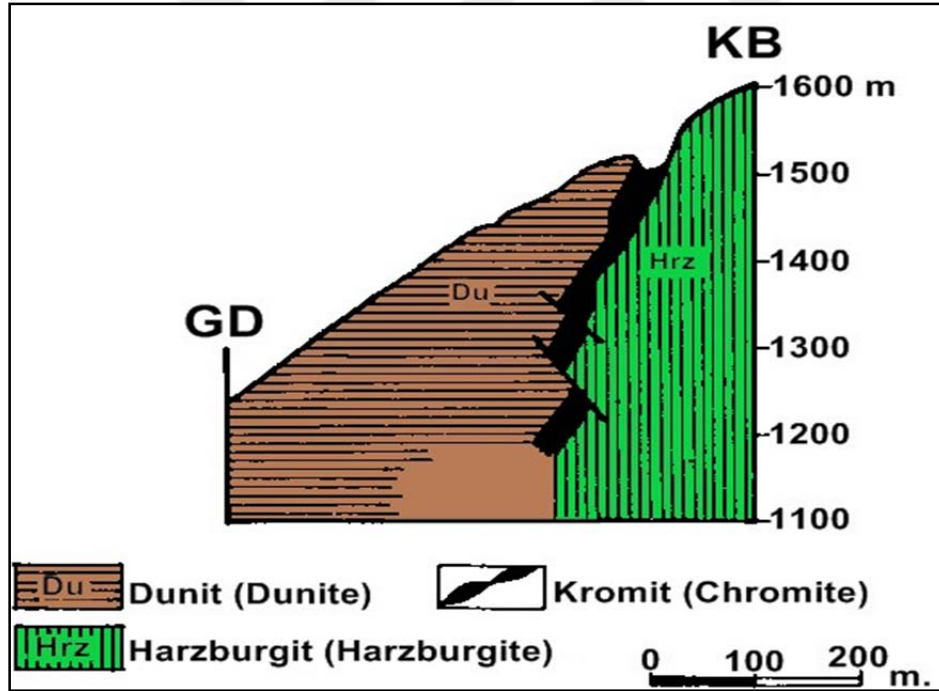
Batı Kef Krom Yatağı batı uçta saçılmış özellikte başlamakta, doğuya doğru giderek genişlemekte ve zon içindeki kromit oranı da artmaktadır. Mostra genişliği en fazla 50 m olan krom yatağı saçılmış ve bantlı tip cevher içermektedir. Asıl niteliği bu olmasına karşın, yatak içinde yer yer ve özellikle iç kısımlarda kromit toplanımlarının artarak masif nitelikli krom bant ve merceklerinin oluştuğu izlenmektedir. Düşük tenörlü cevherin değerlendirilemediği yıllarda söz konusu masif cevher bant ve mercekleri seçme yöntemiyle işletilmiştir (Engin ve diğ., 1982).

Cevher-yantaş ilişkisi bazı yerlerdeki küçük yırtılmalar dışında bütünüyle ilkseldir. D-B doğrultulu olan cevher yatağı zon boyunca KD-GB ve KB-GD yönlü faylarla kesilmiştir. Her iki fay sistemi de cevher zonunda atımlara neden olmakla beraber, KB-GD doğrultulu fay sistemi daha hâkim ve etkin olarak belirlemektedir (Engin ve diğ., 1982).

Batı Kef krom mostrası doğuya doğru daha saçılmış özellik kazanmakta ve genişliği de azalmaktadır. Mostranın doğu ucunun nasıl bittiği konusu oldukça

Batı Kef krom yatağının mostralarının izlenebildiği en düşük yükselti 1.448 m, en fazla yükselti 1.580 m'dir. Cevher yatağının yeraltında bilinen en fazla kalınlığı 50 metredir. Yatağın eğim yönündeki devamlılığı yapılan sondajlarla 1.186 m yükseltisine kadar kontrol edilmiştir (Engin ve diğ., 1982).

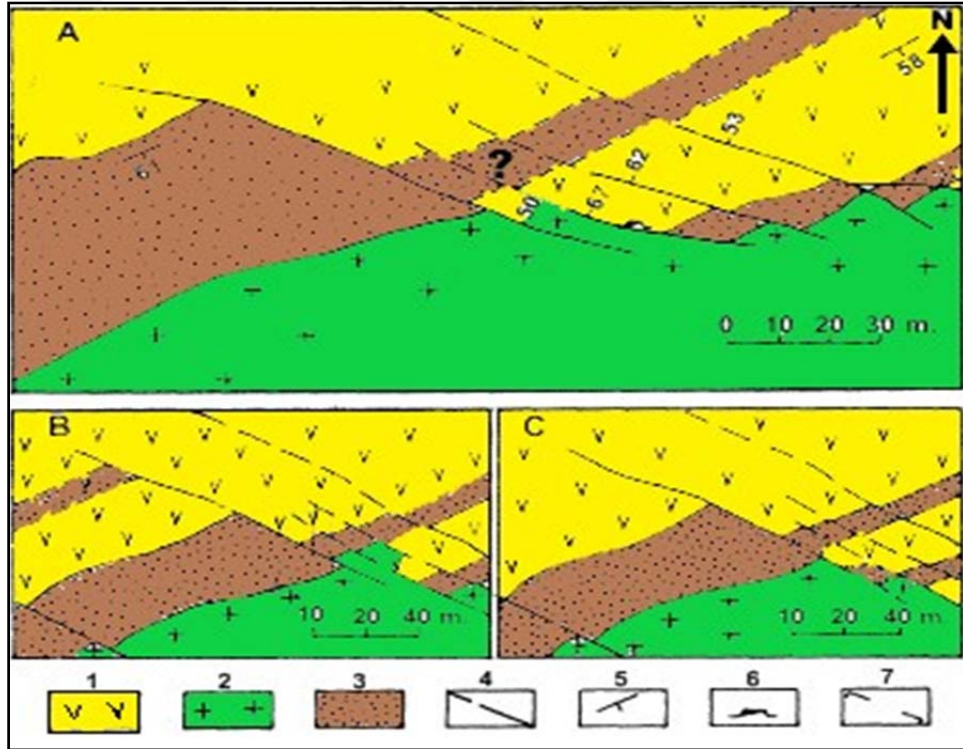
Krom yatağının eğimi 55° alınarak mostranın bulunduğu en yüksek noktaya göre hesaplama yapıldığında, cevher yatağının eğim yönündeki devamlılığı 500 m, mostranın bulunduğu en düşük yükselteli noktaya göre ise devamlılık 350 m kadar olmaktadır. Bu verilere göre Batı Kef Krom Yatağı, doğrultu boyunca 1.000 m, eğim yönünde ise ortalama 425 m devamlılık göstermektedir (Engin ve diğ., 1982). Galeri ve sondaj verilerinden de yararlanılarak hazırlanan Batı Kef krom yatağının konumunu gösteren jeoloji kesiti Şekil 2.13'te verilmektedir.



Şekil 2.13. Batı Kef Krom Yatağının İstifsel (Stratigrafik) ve Yapısal Konumu (Engin ve diğ., 1982)

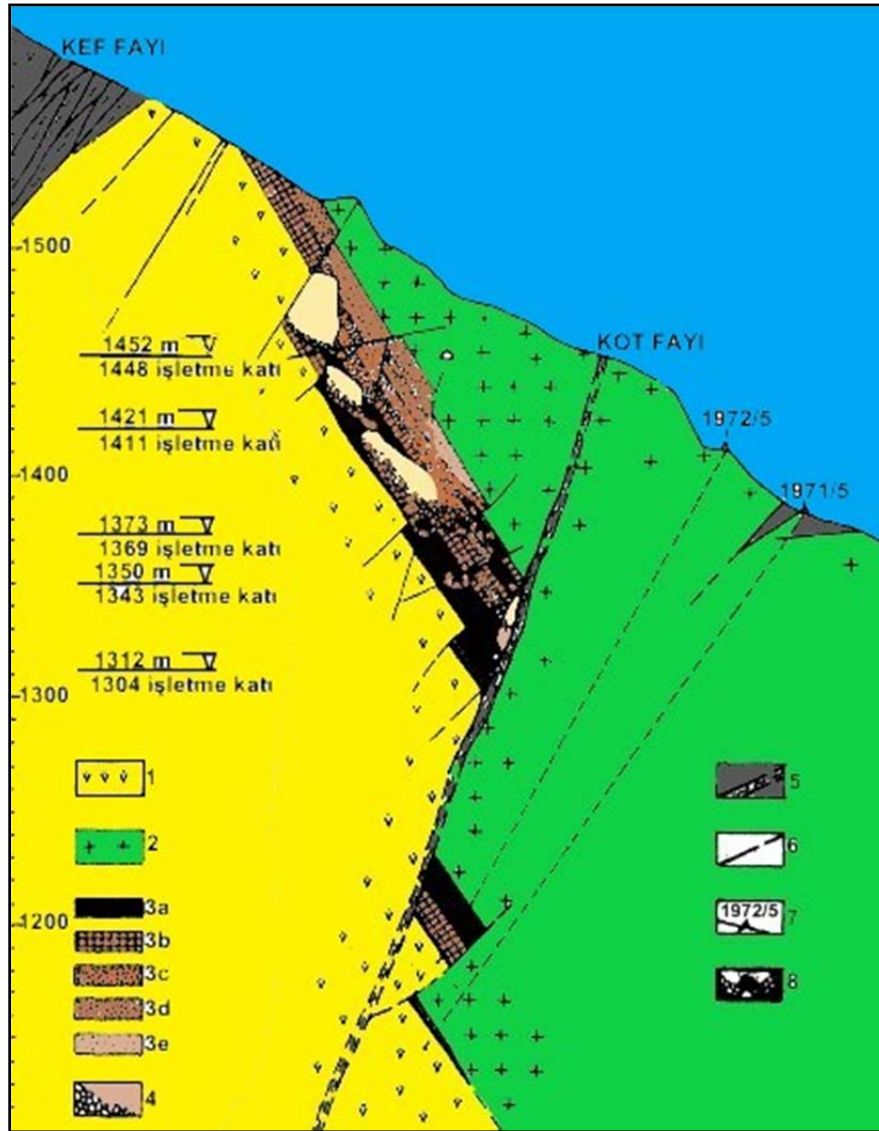
Krom yatağının tenörü %13,27-46,54 Cr_2O_3 arasında değişiklik göstermektedir, fakat İskit (1973), yatağın ortalama tenorunu %32,90 olarak vermektedir.

Büyüklikleri, uzun mesafelerde devamlılıkları ve bazı yapısal özelliklerinin dışında Guleman Krom Yatakları, Alpin tip krom yataklarının özelliklerini sergilemektedir (Thayer, 1960; 1964, 1969; Borchert, 1964; Engin ve Hirst, 1970). Bazı yataklar kalın dünit, bazıları da ince bir dünit kılıfı ile birlikte harzburgit içinde çeşitli yapısal konumlarda bulunmaktadır (Şekil 2.14) (Engin ve diğ., 1982).



Şekil 2. 14. Batı Kef Krom Yatağının Merkez ve Doğu Bölümleri Arasında Geçişini Gösteren Yüzey Jeoloji Haritası (Engin ve Sümer, 1987) 1.)Harzburgit 2) Dünit 3) Cevher 4) Fay 5) Tabaka Düzlemi Doğrultu ve Eğimi 6) Galeri Giriş 7) Kesit İzi

Galeri ve üretim boşluklarının da içinde yer aldığı Batı Kef Dağı kromit damarının kesit görünümü Şekil 2.15'te sunulmuştur.



Şekil 2.15. Batı Kef Dağı Kromit Damarının Kesit Görünümü 1) Harzburgit Tektonit 2) Dünit Kümülat 3) Zon Cevherleri 4) Kırılmış Cevher 5) Şistleşmiş Fay Zonu 6) Fay 7) Sondaj 8) Galer ve Üretim Boşlukları (Çakır, 1994)

2.5. Cevher Dokusu

Batı – Doğu Kef bölgesindeki cevherler genellikle masiftir. Ancak az oranlarda saçınımlı ve bantlı dokular da görülmektedir (Dursun, 2010).

2.5.1.Masif Kromit

Kef bölgesinde genellikle harzburjitler içerisinde bulunan kromit cevherleşmelerinin kalınlaştığı kesimler masif yapıdadır. Genelde metalürjik karakterli bir cevherleşme izlenirken inceleme alanının özellikle doğu bölgesinde refrakter özelliğe sahip kromitler bulunmaktadır. Cevher iri taneli olup, taneler göz ile fark edilebilir boyuttadır. Çalışma alanındaki kromit cevherleşmelerin yaklaşık %90'ı masiftir (Dursun, 2010).

2.5.2.Saçınımlı - Bantlı Kromit

İnceleme alanında bu tip cevherleşmeler özellikle Batı Kef Kromit yatağının üst bölgelerinde görülür. Makroskopik olarak en iri taneler 3 mm, en küçük olanlar ise 0,5 mm civarındadır. Bantlı kromitler bölgede genelde saçınımlı kromitlerle birlikte görülmektedir (Dursun, 2010).

Bantlı kromitler genelde dünitlerle veya saçınımlı kromitlerle aralanmalıdır. Saçınımlı kromitler ise genellikle dünitler içerisinde görülmektedir. Kromit cevherlerinin her iki yanında da dışa doğru dünitlerden harzburjitlere geçiş olmaktadır. Dünit zarfının genişliği birkaç santimetreden, 1-1,5 m'ye kadar değişmektedir (Dursun, 2010).

Bu tip cevherlerde genelde şerit halinde saçınımlı kromit ve dünit bandı birbirini takip eder. Bazen de dünit bandı olarak gözlenen kısım dikkatli incelendiğinde, çok az miktarda kromit içerdiği görülmektedir (Dursun, 2010).

2.6.Cevher Mineralojisi

Kef Dağı Bölgesinden alınan örneklerden yapılan parlak kesitler, üstten aydınlatmalı maden mikroskobunda incelenerek, cevherleşmenin minerolojik ve dokusal özellikleri ortaya konmuştur (Dursun, 2010).

Kef Dağı Bölgesindeki ana cevher minerali kromit olup, kromitin yanında çok az miktarda ise nikel mineralleri de bulunmaktadır. Bunlar; millerit ve pendlandit olarak görülmektedir (Dursun, 2010).

2.6.1.Kromit (FeCr_2O_3)

Çalışma alanındaki kromitler makro ölçekte; masif ve saçınımlı-bantlı olmak üzere iki ayrı tipte görülmektedir. Bu cevher tiplerinin mikroskobik incelemeleri sonucu ise farklı dokular sergiledikleri görülmüştür. Arazideki masif kromitler cevher mikroskobunda, deformasyon şiddetinin miktarına bağlı; poligonal sınır ilişkili-özşekilli kromit tanelerinden, özşekilsiz-kataklastik dokulu kromit tanelerine kadar farklı tane özelliğinde görülmektedir. Saçınımlı-bantlı cevherleşmelerde cevher dokusu da özellikle fay zonları ve çevresinden alınan kromit örneklerine benzer özellik göstermektedir. Bu örneklerde kromit taneleri, ufalanmış ince taneli kromitler şeklinde görülmektedir. Tenörü nispeten düşük olan bu cevher tipinde kromit tanelerinin arası ve çatlakları harzburjit ve serpantinitler ile dolmuştur. Bazı kromit tanelerinde, tanelerin kenarları ve çatlak sistemleri boyunca kapantı halinde silikat mineralleri gözlenmektedir (Dursun, 2010).

2.6.2.Pentlandit ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$)

Kromit cevherleşmesi içerisinde en çok görülen nikel minerali pentlandittir. Açık sarı rengi ve yüksek reflektivitesi ile kromit minerali ile farklılık göstermektedir. Hem kromit tanelerinin içerisinde hem de mineral sınırlarında görülmektedir. Kristal şekilleri özşekilsiz ve farklı büyüklüktedir (Dursun, 2010).

2.6.3. Millerit (NiS)

Kromit taneleri içerisinde iğnemsî yapıda izlenmektedir. Mikroskopta pentlanditten ayırmak oldukça güçtür. Anizotropi özellik göstermesi ile pentlanditten ayırt edilir. Pentlanditten daha beyaz rengi ve yüksek reflektivitesi ile ayrılmaktadır (Dursun, 2010).

2.7. Cevher Tenörü

Kef Bölgesi kromit cevherleşmelerinden alınan örneklerin iki ayrı bölgeye ait analiz sonuçları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre Kef Bölgesi kromit cevherlerinin ortalama tenörü %39 Cr_2O_3 ’tir (Dursun, 2010).

Çizelge 2.1. Kef Bölgesinde İki Farklı Bölgeye Ait Kromit Örneklerinin Ortalama % Oksit Değerleri (Dursun, 2010)

Bölge Adı	Örnek Sayısı	Cr_2O_3	FeO (Toplam)	Al_2O_3	SiO_2	MgO	CaO
Batı Kef	N=16	34,43	28,09	12,03	9,45	25,98	0,15
Doğu Kef	N=19	43,57	27,16	16,68	3,69	18,62	0,14
Ortalama	N=18	39,00	27,63	14,36	6,57	22,30	0,15

2.8. Ekonomik Jeoloji

Bölgede madencilik çalışmaları 1936 yılında başlamıştır. Cevher üretimine ait ilk kayıtlar 1941 yılına aittir. Bu ilk kayıtlara göre, 1936-1981 yılları arasında Etibank sahalarından toplam 6.300.000 ton krom cevheri üretilmiştir (Engin ve diğ., 1982). 1981-2000 yılları arasında ise yaklaşık 3.500.000 ton krom cevheri üretilmiştir. 2000-2005 yılları arasında krom sahası özelleştirme kapsamında olduğu için üretim faaliyetleri yapılamamıştır. Bölge; 2005 yılında özel şirkete

devredilmesi ile birlikte üretim faaliyetleri yeniden başlamıştır. 2005-2009 yılları arasında ise yaklaşık 3.000.000 ton cevher üretilmiştir (Özsoy, 2001).

Bölgede görülen kromit cevherleşmesi metalürjik ve refrakter karakterlidir. Kromit cevherinin kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılması ve sanayideki kullanım alanları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kromit Cevherinin Sanayideki Kullanım Alanları ve Bu Alanlara Ait Özellikler (Özsoy, 2001)

	Kullanım Oranı (%)	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	P ve S İçeriği	% FeO	% Fe ₂ O ₃	% SiO ₂	Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% CaO
Metalürji	68	> 48	> 3	< 1	-	-	< 6	-	-	-
Kimya	17	> 44	-	-	-	< 14	< 3	-	-	-
Refrakter	18	18	-	-	18	-	< 6	> 60	> 20	< 1

Kef Bölgesinde yeraltı ve açık işletme yöntemleri ile cevher üretimi yapılmaktadır. Batı Kef cevheri 1.300 m kotuna kadar açık işletme yöntemi ile 1.300 m kotundan altta bulunan cevherler ise yeraltı işletme yöntemi ile üretilmektedir. Doğu Kef Bölgesi’nde üretim, tamamen yeraltı üretim yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Doğu Kef Bölgesi hem rezerv hem de tenör açısından şu an ki en büyük yeraltı ocaklarını barındırmaktadır. Kef Bölgesi’nde yılda yaklaşık 600.000 ton kromit cevheri üretilmektedir (Özsoy, 2001).



3. KEF KONSANTRATÖRÜ

Batı Kef Konsantre Tesisi, açık işletme ve diğer sahalardan gelen, ortalama tenörü %25 Cr_2O_3 olan düşük tenörlü cevherin ortalama tenörünü minimum %42 Cr_2O_3 tenörüne çıkarmayı hedeflemektedir. Bunun için cevherin kırılıp öğütülerek serbestleşme boyutuna getirilmesi gerekmektedir (Eti Krom, 2011).

Tesiste kısaca şu işlemler gerçekleştirilmektedir. Açık ocaktan çıkan iri ve düşük tenörlü cevher kırıcılarda kırıldıktan sonra iki adet çubuklu değirmene eşit miktarda beslenmekte ve çubuklu değirmenden çıkan malzeme ise akım şeması içinde siklonlara gönderilmektedir. Burada siklonun ince ve iri malzeme çıkışı farklı zenginleştirme yöntemlerine tabi tutulmaktadır. Bu durum iki farklı sistem gibi düşünülebilir (Eti Krom, 2011).

Değirmen siklonu iri malzeme çıkışından alınan pülöp kıvamındaki iri malzeme, sulu titreşimli elekte elenerek içindeki çok iri taneler elek üstünden alınıp yeniden değirmene beslenmektedir. Elek altına geçen malzeme ise zenginleştirme işlemi için Reichert konilerine gönderilmektedir. Burada üç adet batarya halinde Reichert koniler bulunmaktadır. Malzeme Reichert konilerine beslenmeden önce son kez siklondan geçirilerek ince malzeme tiknere gönderilmektedir (Eti Krom, 2011).

Buradaki iri malzeme birinci koniden geçirildikten sonra üç ürün elde edilmektedir. Konilerden alınan birinci ürün konsantredir ve direk filtreye gönderilmektedir. İkinci ürün ise ara ürün (düşük konsantre) olup üçüncü koniye beslenmekte ve buradan yine üç ürün elde edilmektedir. Buradaki konsantre direk filtrasyona, ara ürün tekrar kendine ve artık ise spirallere beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

Değirmen siklonu ince malzemesi ise tiknerde çökertilmekte ve çökelen malzeme buradan manyetik separatörlere beslenmektedir. Buradan alınan iki

üründen biri olan düşük konsantre şlam masalarına beslenirken, diğer ürün olan artık ise direk artık barajına gönderilmektedir (Eti Krom, 2011).

Şekil 3.1’de Kef Konsantre Tesisine ait fiili çalışma akım şeması verilmektedir.

3.1.Kef Konsantre Tesisi Fiili Çalışma Esası

3.1.1.Kırma Ünitesi

Ocaklardan gelen düşük tenörlü tüvanan cevher, maksimum açıklığı 600 mm olan ızgaralardan geçirilerek paletli besleyici bankerine beslenir. Paletli besleyicinin besleme hızı çeneli kırıcının kapasitesine göre ayarlanabilmektedir (Eti Krom, 2011).

Tesiste kullanılan çeneli kırıcı Lokomo marka çeneli kırıcıdır. Bu kırıcının besleme açıklığı 1.250x900 mm olup çıkış açıklığı ise 100 ile 250 mm arasında ayarlanabilmekte ve tesiste şuan 150 mm çıkış açıklığıyla çalışmaktadır. Çeneli kırıcının besleme kapasitesi 120 ton/saattir (Eti Krom, 2011).

Çeneli kırıcıda kırılan malzeme LOKOMO marka çift katlı titreşimli eleğe bantlar vasıtasıyla beslenir. Titreşimli eleğin kapasitesi sirküle eden yükler dâhil 350 ton/ saattir. Titreşimli eleğe beslenen cevher 3 fraksiyonda sınıflandırılır. Bu fraksiyonlar (+45 mm), (- 45+20mm) ve (-20 mm)’dir (Eti Krom, 2011).

Lokomo marka titreşimli eleğin elek yüzey alanı toplam 2x8 m²’dir. Titreşimli eleğin birinci katındaki elek açıklığı 45x45 mm ve ikinci katının elek açıklığı 20x20 mm’dir (Eti Krom, 2011).

Titreşimli eleğin elek üstü ürünü olan +45 mm tüvanan cevher, bantlar vasıtasıyla Lokomo Gyrotory kırıcıya beslenmekte ve tüvanan cevherin, tekrar burada boyutu küçültülmektedir (Eti Krom, 2011).

Gyratory kırıcının besleme açıklığı 270 mm olup, çıkış açıklığı 25–50 mm’ye ayarlanabilmektedir (Eti Krom, 2011).

Gyratory kırıcısının ortalama kapasitesi 106 ton/ saattir. Bu kırıcı tesiste sekonder kırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu kırıcıda boyutu küçültülen tüvanan cevher bantlar vasıtasıyla tekrar Lokomo titreşimli eleğe gönderilmektedir (Eti Krom, 2011).

Titreşimli eleğin ikinci katının elek üstü ürünü olan (-45 mm) – (+20 mm) boyutlu tüvanan cevher SYMONS konik kırıcıya beslenmektedir. Konik kırıcının besleme boyutu 89 mm olup çıkış açıklığı 6-19 mm olarak ayarlanabilmektedir. Symons konik kırıcı, tesiste 3. kırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu kırıcıda kırılan cevherde tekrar bantlar vasıtasıyla titreşimli eleğe gönderilmektedir ve bu şekilde sistem kapalı devre olarak çalışmaktadır (Eti Krom, 2011).

Lokomo titreşimli eleğin besleyen ana bant üzerine yerleştirilmiş olan elektrostatik ayırıcı sayesinde ocaklardan gelen metal parçaları sistemden uzaklaştırılmakta ve böylece kırıcı astarlarında bu metallerden dolayı oluşacak hasarlar ortadan kaldırılmaktadır (Eti Krom, 2011).

Lokomo titreşimli eleğin nihai ürünü olan -20 mm tüvanan cevher, değirmen besleme silosu olan 15.000 tonluk beton siloya bantlar vasıtasıyla gönderilmekte ve burada değirmenlere beslenmek üzere stok edilmektedir (Eti Krom, 2011).

3.1.2.Öğütme Ünitesi

Öğütme ünitesi, birbirine paralel iki devreden oluşur ve her bir devre birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Siloda -20 mm kırılmış olarak depolanan tüvanan cevher, silo altlarında vibratörlü besleyiciler ve band kantarları sayesinde istenilen tonajda çubuklu değirmenlere beslenmektedir. Tesiste kullanılan çubuklu değirmenler Morgardshammar marka, 2,7x4,5 m boyutunda değirmenlerdir. Bu değirmenlerin her biri 300.000 ton / yıl kapasiteye sahip olup

%75 katı oranında çalışmaktadır. Değirmenlerde kullanılan astar tipi, çelik astardır. Bu değirmende çubuk sarfiyatı ton başına 400 gr'dır. Değirmende öğütülen malzeme değirmen çıkış boğazındaki tromel elekten geçerek elek altı pülp tanklarına beslenmektedir. Pülp tanklarında yoğunluğu ayarlanan pülp boyut kontrolü ve homojenliğin sağlanması ve şlam ayırımının yapılması için hidrosiklonlara beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

Hidrosiklonların üst akımı (şlam boyut) tiknere beslenmekte ve burada çökelen ince boyuttaki cevherler, şlam masalarında zenginleştirilerek konsantre elde edilmektedir (Eti Krom, 2011).

Hidrosiklonların alt akımı (iri boyut) Lokomo marka tek katlı yaş eleme yapan 500 µm'lik eleğe beslenir. Bu eleğin elek açıklığı 11,5x0,5 mm dir. Eleme işleminden sonra elek üstü tekrar değirmene beslenir. Elek altı ise pülp tanklarında yoğunluğu ayarlandıktan sonra tekrar hidrosiklondan geçirilerek, hidrosiklonun üst akımı tiknere gönderilirken alt akımı ise I. Reichert konisine beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

3.1.3.Gravite Zenginleştirme Ünitesi

Gravite zenginleştirme ünitesinin ilk adımını Reichert konileri oluşturmaktadır. Değirmenlerde öğütülen kromit cevheri pülp tanklarında yoğunluğu ve hidrosiklonlar vasıtasıyla boyutları sınıflandırıldıktan sonra reichert konilerine beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

Reichert konileri tamamen gravite ile ayırım yapan ekipmanlardır (Eti Krom, 2011).

1) I. Reichert Konisi

Beslemesi	: Değirmenden gelen yük
Ürün	: %44 Cr ₂ O ₃
Ara ürün	: 3. Reichert konisine

Artık : 2. Reichert konisine

2) II. Reichert Konisi

Beslemesi : 1. Reichert konisi artığı + sallantılı masaların ara ürünü + 2. Reichert spiralinin artığı
Ürün : %37 Cr_2O_3 sallantılı masalara beslenir.
Ara ürün : Kendisine beslenir.
Artık : %15 Cr_2O_3 tenör atık barajına gönderilir.

3) III. Reichert Konisi

Beslemesi : 1. Reichert konisinin ara ürünü + kendi ara ürünü + 3. Reichert spiralinin ara ürünü
Ürün : %44 Cr_2O_3
Ara ürün : Kendine besler.
Artık : 1. ve 2. Reichert spiralinin beslemesi

Reichert konilerinden sonra gravite zenginleştirilmesinin ikinci adımı Reichert Spiralleri ile zenginleştirilmedir. Spiraller mekanik olarak hiçbir parçası hareket etmeyen ekipmanlardır. Spirallerin kademeli olarak zenginleştirilmesi sonucu konsantre tenörü 1. ve 2. spiralde %42'lik cevher, 3. spiralde ise %44 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmektedir (Eti Krom, 2011).

4) I. ve II. Reichert Spiralleri

Beslemesi : 3. Reichert konisinin artığı
Ürün : %42 Cr_2O_3 ve 3. spiralin beslemesi
Artık : 2. Reichert konisine gönderilmektedir.

5) III. Reichert Spirali

- Beslemesi : 1. ve 2. Reichert spiralinin ürünü
Ürün : %44Cr₂O₃ ve 3. spiralin beslemesi
Artık : 3. Reichert konisine beslenmektedir.

Gravite ile zenginleştirmenin 3. adımını sallantılı masalar oluşturmaktadır. 2. Reichert konisinin ürünü olan %37 Cr₂O₃ tenörlü cevher, Deister marka üç katlı sallantılı masalara beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

6) Sallantılı Masalar

- Beslemesi : 2. Reichert konisinin ürünü
Ürün : %40 Cr₂O₃
Ara ürün : 2. Reichert konisine
Atık : Artık barajına gönderilmektedir.

7) Şlam Ayırma Ünitesi

Değirmen devresindeki hidrosiklonların üst akımları ve birinci Reichert konisinin üstündeki hidrosiklonların üst akımları tiknere beslenir. Tiknerin üst akımı atık barajına gönderilirken, alt akımı ise tesise beslenmektedir (Eti Krom, 2011).

Tiknerin alt akımı önce SALA marka yüksek alan şiddetli yağ manyetik separatörden geçirilmektedir. Bu ürün hidrosiklonlara beslenmek suretiyle hidrosiklonların alt akımından alınarak, DEISTER marka üç katlı şlam masalarında zenginleştirilmekte ve şlamdan %40 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmektedir (Eti Krom, 2011).

8) Filtrasyon

Tesiste üretilen;

- I. Reichert konisinin ürünü,
- 3. Reichert konisinin ürünü,
- 3. Reichert spiralinin ürünü (%44 Cr_2O_3),
- Deister sallantılı masasını ürünü,
- Deister şlam masasının ürünü (%40 Cr_2O_3) olan konsantreler, tenörlerine göre ayrı ayrı Larox marka tambur filtrelerde filtre edilerek stoklanmaktadır (Eti Krom, 2011).

3.2.Kef Konsantre Tesisi Artık Barajı

Etibank Genel Müdürlüğü Kef Konsantratör Tesisi için gerekli su temini, krom konsantratör artığını depolamak ve artık suların çevre akarsularını kirletmesini önlemek için katı atık barajı projelendirilmiştir (Aydın, 2001).

Sulu artık içindeki krom konsantratörü artığı, katı maddelerin depolanması için bir artık barajı yapılması en uygun çözümdür. Bu atık barajının su depolama ve dinlendirme özelliklerinden de faydalanarak, artık suyun tesislere geri döndürülerek, su temini açısından rezerv olarak kullanılması da mümkündür. Konsantratör tesisleri yakın çevresi su temini açısından incelendiğinde, ek rezerv olarak kullanılmasına karar verilen artık baraj suyu dışında Bahro Deresi ve Yunuslar Galerisi iki doğal kaynak olarak görülmektedir (Aydın, 2001).

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Doğan (1969), Etibank'a ait Batı Kef yatağındaki düşük tenörlü cevherlerin konsantre edilmeden satışının mümkün olmadığını tespit etmiştir. Bu düşük tenörlü cevherler zenginleştirme sonrası Cr_2O_3 tenörünün %46 veya daha yukarı yükseltilmesi halinde Cr_2O_3 ve Al_2O_3 yüzdelerinin toplamı %60'ın üstüne çıktığında iyi bir refrakter özellik gösterdiği de belirtilmiştir. Ayrıca Cr/Fe oranı da 2,80-2,90 civarında kaldığından, metalürjik krom cevheri olarak pazarlanması da mümkün olabileceği de belirtilmiştir. Batı Kef cevheri yaş olarak öğütüldükten sonra sallantılı masada zenginleştirilerek $\text{Cr}_2\text{O}_3 > \%46$ veya daha yüksek tenörlü konsantreler elde edilmiştir.

Önal ve ark. (1976), krom zenginleştirme tesislerinin ince tane boyutlu artıklarının, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yöntemi ile değerlendirme olanaklarını araştırmışlardır. Fethiye-Üçköprü ve Kavak tesislerinin artıkları ile yapılan deneylerde, pülp yoğunluğu, manyetik alan şiddeti ve tane boyutunun kromit ayrılmasına etkileri incelenmiştir. -0,1 mm tane boyutundaki Fethiye-Üçköprü artığından, %48,56 Cr_2O_3 tenörlü konsantrenin yaklaşık %80 verimle, Kavak artığından ise (-0,037 mm) %48,02 Cr_2O_3 tenörlü konsantrenin %56 civarında bir verimle elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Yapa ve Atak (1984), Kefdağ konsantratör artıklarının flotasyonla zenginleştirilmesi ile ilgili yaptığı çalışmada; mineralojik etüdler ve tane serbestleşmesi deneyleri sonucunda tüvanan cevherde (-0,149 mm) %85,77'sinin serbestleştiği tespit edilmiştir. Artıklarda ise gangın (-0,149 mm) %77,07 'si serbestleşmektedir. Dört kademeli temizleme sonucunda %20,25 Cr_2O_3 tenörlü konsantratör artıklarından %20-22 verimle %40 Cr_2O_3 tenörlü konsantreler alınmıştır. Son kademe temizlemede flotasyon süresi arttıkça verim artmakta ise de konsantre tenörü düşmektedir.

Gence (1985), Elazığ-Kefdağ kromitlerinin sallantılı masa ve flotasyon kullanılarak zenginleştirilme olanaklarını araştırmıştır. Sallantılı masa ile yapılan çalışmalarda konsantre, ara ürün ve artık olmak üzere her fraksiyon için üç ayrı ürün alınmıştır. Ara ürün ve artıklar (-0,074 mm) için saptanan en iyi koşullarda flotasyona tabi tutulmuş olup elde edilen sonuçlar sallantılı masa sonuçları ile birleştirilerek %47,37 Cr₂O₃ tenörlü ve %81,73 verimli konsantre elde edilmiştir. Konsantrenin Cr₂O₃ tenörünü yükseltmek amacıyla en iyi koşullarda elde edilen konsantre, temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur. Temizleme flotasyonu sonucunda %48,84 Cr₂O₃ tenör ve %89,61 verimli bir konsantre elde edilmiştir. Çalışmalar sonucunda Elazığ-Kefdağ kromitlerinin sallantılı masa ve flotasyon yöntemi ile endüstrinin ihtiyaçlarına uygun konsantre haline getirilebileceği anlaşılmaktadır.

Öztürk ve ark. (1988), Elazığ Ferrochrom curufundaki, ferrochrom ve kromitin gravite zenginleştirilmesi ile geri kazanılmasını araştırmışlardır. Yapılan gravite testleri sonucunda %64,87 verimle ortalama %34,92 Cr₂O tenörlü konsantre üretilirken, artık tenörü %6,50 Cr₂O olmuştur.

Çilingir (1990), 5.000–6.000 ton/yıl kapasiteli Kef Konsantre Tesisinde %30–33 Cr₂O₃ tenörlü, olivin içeren ve ince tanede serbestleşen cevher, -0,3 mm'ye öğütüldükten sonra yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılardan geçirilmiş, orta ürün bilyalı değirmende -0,1 mm'ye öğütüldükten sonra alçak ve yüksek alanlı ayırıcılardan geçirilerek kromit kayıpları en az düzeye indirgenmiştir.

Güney ve Önal (1990), Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi artıklarından küçük boyutlu kromitin zenginleştirilmesi ile ilgili flotasyon çalışması yapmışlardır. Klasik, Kolon ve Jet Flotasyonu yöntemleri kullanılarak gerek laboratuvar gerekse pilot ölçekli flotasyonu ve yöntemlerin karşılaştırılması ilk kez bu tez kapsamında araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, Jet Flotasyonu yönteminin, Klasik ve Kolon Flotasyon yöntemine oranla, gerek flotasyon kapasitesi gerekse verim açısından üstün olduğu saptanmıştır. Kolon Flotasyon

yönteminde ise diğer iki yönteme oranla daha yüksek Cr_2O_3 içerikli konsantre elde edilebildiği, ancak krom kazanma veriminin düşük olduğu saptanmıştır.

Özdağ ve ark. (1994), Multi-Gravite Ayırıcısı ile şlam ve masa artıklarından kromitin geri kazanılması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Şlam ve masa artığından alınan sırasıyla %19,6 ve %16,6 Cr_2O_3 tenörlü numuneler üzerinde yıkama suyu miktarı, salınım genliği, salınım frekansı, eğim açısı ve tambur dönme hızı gibi bazı kritik değişkenlerin etkileri her iki örnek üzerinde incelenmiştir. MGS performansını etkileyen en önemli değişkenin tamburun dönme hızı olduğunu; şlam ve masa artıklarından sırasıyla %56,8 ve %53,8 Cr_2O_3 tenörlü konsantreler %60 ve %48,3 kazanma verimiyle elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Aslan (1996), MGS ile yaptığı kromit zenginleştirme çalışmalarında; tambur dönüş hızı ve eğim açısının en etkin işletme parametreleri olduklarını, diğer değişkenler olan yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı, titreşim genliği ve titreşim frekansının ise ayırmayı daha az etkilediklerini belirtmiştir. Zenginleştirme tane boyutunun ise ayırmada, cevher özelliği olarak çok önemli bir parametre olduğu, ince boyutlarda ayırmanın iyi, iri boyutlarda ise ayırma hassasiyetinin azaldığını tespit etmiştir. Belirlediği optimum çalışmada parametreleri ile yapılan zenginleştirme deneylerinde, %24 Cr_2O_3 içerikli besleme malından %51,18 Cr_2O_3 tenörlü konsantreyi %94,04 metal kazanma randımanı ile elde etmiştir.

Sönmez ve Turgut (1997), düşük tenörlü Karaburhan kromitlerinin gravimetrik yöntemlerle zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalarından ortalama %26 Cr_2O_3 tenörlü Karaburhan cevherini zenginleştirebilmek amacıyla, kromit ve yantaşları arasındaki yoğunluk farkından yararlanarak gravimetrik zenginleştirme yöntemlerini uygulamışlardır. Önce sallantılı masa sonra MGS ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde; +0,425 mm, -0,425 + 0,210 mm, -0,210 mm olmak üzere üç farklı boyut grubunda zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Her boyut grubu için optimum frekans ve masa eğimi belirlenmiştir. Sallantılı masada ortaya çıkan ara ürün MGS'de zenginleştirilmiştir. Ayrıca -0,210

mm tane iriliğindeki ince boyutlu cevherin MGS'de zenginleştirilebilirliği araştırılmış ve optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda , + 0,425 mm tane iriliğinde olumlu sonuçlar alınamamıştır. – 0,425 + 0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %75,31 verimle, %50,64 Cr_2O_3 tenörlü konsantre; -0,210 mm tane iriliğindeki cevherden %58,83 verimle, %44,97 Cr_2O_3 tenörlü konsantreler kazanılmıştır. Ara ürünlerin MGS'de iki kademedede zenginleştirilmesiyle %43,79 verimle %48,18 Cr_2O_3 tenörlü konsantre, - 0,210 mm tane iriliğindeki cevherin iki kademedede zenginleştirilmesi sonucunda ise %71,45 verimle, %48,20 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. Sallantılı masa ve MGS sonuçları birleştirildiğinde, toplam metal kazanma verimi %79,79, kazanılan konsantrelerin ortalama tenörü ise %49,75 Cr_2O_3 olmaktadır.

Çiçek ve ark. (1998), Etibank-Üçköprü Karagedik konsantratörünün ince gravite artıklarından MGS kullanılarak, %48 Cr_2O_3 tenörlü bir konsantre %13,2 ağırlık ve %51,6 Cr_2O_3 verimi ile kazanılmasını araştırmışlardır.

Samanlı (1998), Etibank-Üçköprü Karagedik kromit atıklarının tenörü yükseltilecek kazanım test sonuçları araştırılmıştır. Ortalama %12 Cr_2O_3 tenörlü yaklaşık -1.0 mm boyutlu numune, 0,106 mm elekten yaş olarak elendikten sonra sallantılı masa artıklarının tenörü -0,106 mm boyutunda %20,6 Cr_2O_3 'e yükseltilmiştir. MGS deney sonuçları ise, 180 dev/dak tambur dönüş hızı, 4 lt/dak. yıkama suyu ve 4° eğimde, %48,8 Cr_2O_3 tenör ve %65,9 verimle satılabilir kromit konsantresi elde edilmiştir.

Gence (1999), Elazığ-Kefdağ yöresi kromitlerinin Multi-Gravite Ayırıcı ile zenginleştirilebilme olanaklarını araştırmıştır. Zenginleştirme çalışmalarının sonuçları %52,14 Cr_2O_3 içeren satılabilir konsantrenin %69,57 verimle elde edilebileceğini göstermektedir. Optimum deney koşulları; yıkama suyu: 3 lt/dk, genlik: 15 mm, çalkalama hızı: 4,8 cps, açı: 4° ve tambur hızı: 220 rpm olarak belirlenmiştir.

Özkan ve ark. (2001), yapılan çalışmalarda ince kromit artıklarını zenginleştirmek amacıyla Üçköprü madeninden alınan %12,8 Cr_2O_3 içerikli temsili numunelerin MGS ünitesinde zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda optimum koşulların eğim: 2° , frekans: 5,7 dev/sn, genlik: 15 mm ve tambur hızı: 230 dev/dk olduğu tespit edilmiş ve - 0,038 μm 'lik fraksiyonda %47 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %72 verimle elde edilmiştir.

Aydın (2001), Elazığ Guleman Kef Konsantre Tesisine ait katı artık barajında biriktirilen yüksek tenörlü kromit artıklarının sallantılı masa ve manyetik ayırıcı kullanılarak geri kazanılmasını araştırmıştır. Kef Konsantre Tesisinin on yıllık bir sürede barajda stoklanan artıklarını değerlendirmek amacıyla, alınan temsili numuneler üzerinde yapılan elek analizi sonucunda malzemenin %57,4'ünün 0,3 mm üzerinde ve %20,98 Cr_2O_3 tenörlü, geri kalan %42,6'sının ise 0,3 mm altında ve %21,21 Cr_2O_3 tenörlü olduğu tespit edilmiştir. Serbestleşme boyutunu tespit etmek amacıyla bir dizi deney yapılmış ve en uygun boyutun -0,3 mm olduğu belirlenmiştir. Deneyler -0,1 mm fraksiyonun sallantılı masa ile zenginleştirmeye uygun olmadığını göstermiş, bu nedenle masa ile zenginleştirme deneyleri -0,3+0,1 mm aralığında yapılmıştır. Sallantılı masa deneyleri sonucunda, optimum şartlarda %34,08 Cr_2O_3 'lük konsantre %90.00'lık verimle elde edilmiştir. %4,34 Cr_2O_3 içerikli malzeme ise artık olarak atılmıştır. Elde edilen konsantre, yüksek alan şiddetli döner diskli kuru manyetik ayırıcıya beslenmiş ve % 45,21 Cr_2O_3 içerikli nihai konsantre %87,46'lık metal randımanıyla elde edilmiştir.

Çiçek ve Cöcen (2009), santrifüj etkili Mozley separatörünün (MGS) düşük tenörlü (%9,3 Cr_2O_3) kromit cevherlerinin ince fraksiyona (-0,1 mm) uygulanabilirliği araştırılmıştır. Elek metal analizleri, deneyler için 1 mm altına öğütülen cevherin %83,9'unun +0,106 mm boyutunda ve %16,12 Cr_2O_3 tenörlü olduğu tespit edilmiştir. +0,1 ve -0,1 mm tane fraksiyonları sırasıyla sallantılı masa ve MGS için besleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Sallantılı masa deneylerinde düşük kromit veriminde satılabilir kaba bir konsantre elde edilmiş ancak masa ara

ürünlerinin bir kısmı 0,1 mm altına öğütüldükten ve MGS ile zenginleştirildikten sonra sallantılı masa ve MGS kombinasyonu ile %46,22 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %66,1 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Yıldırım (2009), Çorum-Alaca yöresi düşük tenörlü krom cevherlerinden, kullanım alanlarına uygun konsantrelerin hazırlanması amacıyla, yaş ve kuru manyetik ayırma, sallantılı masa, manyetik ayırma+sallantılı masa ve MGS ile zenginleştirme olanakları araştırılmıştır. Çorum-Alaca düşük tenörlü kromit cevherinin mikroskopla yapılan tane serbestleşme boyutunun 0,300 mm altında olduğu ve cevherin mineralojik analizinde kromit, serpantin ve manyezit mineralleri içerdiği tespit edilmiştir. Sallantılı masa, sallantılı masa+manyetik ayırma ve MGS yöntemlerinin her üçünde de ekonomik kromit konsantreleri üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu ve optimum çalışma koşullarında %26,91 Cr_2O_3 içerikli düşük tenörlü cevherden sallantılı masa yardımıyla %50,10 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %85,28 metal kazanma randımanı ile elde edilmiştir.

Kıdıman (2009), Kahramanmaraş Sarıgül Köyü Çakıobası mevkiinden temin edilen düşük tenörlü kromit numunesinin gravite ile ayırma yöntemlerinden Knelson Konsantratörü+MGS, sallantılı masa ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılarak zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan XRD analizleri sonucunda cevherdeki başlıca minerallerin magnesiakromit, kromit ve demir-silikat olduğu belirlenmiştir. Deneylerde en uygun zenginleştirme yönteminin MGS olduğu tespit edilmiş ve optimum çalışma şartlarında %17,26 Cr_2O_3 tüvenan cevherden %38,46 Cr_2O_3 içerikli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen MGS konsantresinin mevcut piyasa koşullarında ekonomik olmadığı fakat gösterdiği refrakter özellik sebebiyle konsantrenin döküm sanayiinde kullanım olanağının bulunduğu belirlenmiştir.

5. MATERYAL VE METOD

5.1. Materyal

Bu araştırmada zenginleştirme işlemleri için kullanılacak olan ince taneli kromit artık numunesi, Eti Krom Kef Konsantre Tesisi tam yük çalışır halde iken II. Reichard Konisinin artık barajına devreden yükünden (%18-22 Cr_2O_3) temin edilmiştir. Temsili numunenin alındığı yer şekil 5.1’de verilmektedir. Koni çıkışından alınan yaklaşık 250 kg miktarındaki temsili artık numunesi kurutulduktan sonra konileme/dörtleme yöntemiyle yaklaşık 115 kg’a azaltılmış ve bu numune, .. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama laboratuvarlarına getirilmiştir.

Cevher hazırlama laboratuvarlarına getirilen temsili numuneden ayrıca numune azaltma yöntemleri kullanılarak karakterizasyon çalışmaları için de örnekler alınmıştır. Mineralojik ve kimyasal analizler için biri 500 gr, diğeri ise 1.500 gr olmak üzere TBTAK MAM Malzeme Enstitüsüne ve TBTAK MAM Kimya Enstitüsüne temsili örnekler gönderilmiştir. Temsili artık numunesi, numune bölücüye konularak ikiye bölünmüş ve bunun 25 kg’ı etiketlenerek 2. arşiv numunesi olarak arşive kaldırılmıştır. Kalan yarısı ise zenginleştirme deneylerinde kullanılmıştır. Yaklaşık 25 kg miktarındaki bu numunenin tamamı 100 μm ’lik elekten geçirilerek elek altı alınıp, elek üstü, bilyalı değirmende kuru öğütme yapılarak numunenin tamamı 100 μm ’nin altına ininceye kadar bu işleme devam edilmiştir (MGS test numunesi). Bilyeli değirmen çalışma koşulları; 1 kg malzemeye 10 kg bilye ve 10 dk kuru öğütme olarak tasarlanmıştır.

Numune hazırlama akım şeması şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Numune Hazırlama Akış Şeması

5.2. Metod

5.2.1. Serbestleşme Tane Boyutu

Cevher hazırlamadaki boyut küçültme işlemlerinin önemli nedenlerinden biri cevheri oluşturan minerallerin birbirinden serbest hale getirilmesidir. Değerli minerallerin, değersiz minerallerden (gangdan) veya değerli minerallerin birbirinden, yüksek verim ve yüksek tenörle ayrılabilmesi ancak yeterli ölçüde bir serbestleşmenin sağlanabilmesi ile mümkündür.

Kırılmış ve öğütülmüş cevherde bulunan bir mineralin toplam miktarına göre serbest tanelerin yüzdesine mineralin serbestleşme derecesi denir. Diğer bir ifadeyle, bir mineralin serbestleşme derecesi, bu mineralin toplam miktarının yüzde kaçının serbest taneler halinde bulunduğunun ifadesidir.

$$\text{SerbestleşmeDerecesi}(\%) = \frac{\text{Serbest}(A)\text{MineralMiktarı}}{\text{Toplam}(A)\text{MineralMiktarı}} \times 100 \quad (5.1)$$

Farklı miktarda iki mineral içeren bir cevher modelinde, minerallerin serbest kalma derecesi, matematik formüller aracılığı ile de hesap edilebilmektedir. Mineralleri X tane büyüklüğündeki küplerden oluşan bir cevherin, Y büyüklüğünde küpler halinde kırıldığı varsayılırsa:

A: Miktarı çok olan mineral

B: Miktarı az olan mineral

X: Cevher içindeki mineral faz boyutu

Y: Boyut küçültmeden sonra elde edilen tane boyutu

$$n = \frac{A\text{MineraliMiktarı}}{B\text{MineralMiktarı}} \quad (5.2)$$

ve

$$k = \frac{X}{Y} \quad (5.3)$$

olduğunda, miktarı az olan mineralin serbest kalma derecesi:

$$S_B = \left(\frac{k-1}{k} \right)^3 \quad (5.4)$$

Miktarı çok olan mineralin serbest kalma derecesi ise:

$$S_A = \frac{nk^2 - 3k - 2}{nk^2} \quad (5.5)$$

formülleri ile yaklaşık olarak hesap edilebilir.

Bir mineralin serbestleşme derecesi esas olarak ufalama derecesine, mineral tane boyutuna ve cevher içindeki mineralin bulunma oranına bağlıdır. Bunların yanında hata payları da önemli bir yer tutmaktadır.

Serbest kalma derecesi ‘S’ ile cevherdeki mineral faz boyutu–kırılmış tane boyutu arasındaki ilişki:

- Boyut küçültmeden sonra elde edilen tanelerin boyutu, cevherdeki mineral faz boyutlarından daha küçük değilse, miktarı az olan mineral hiç serbest kalmayabilir.
- Miktarı az olan mineralin serbest kalabilmesi için boyut küçültmenin bazı özel durumlar dışında, faz boyutunun çok altında olması gerekir.
- Minerallerden birinin miktarı diğerine göre çok fazla ise (n büyükse), boyut küçültme ile elde edilen taneler, mineral faz boyutundan büyük olsa bile, miktarı çok olan mineral önemli ölçüde serbest kalabilir.
- Miktarı çok olan mineral, az olan minerale göre daha fazla serbest kalır.
- En uygun koşullar altında, boyut küçültme iki katına çıkarıldığında serbest kalma derecesi %20 oranında artabilmektedir.

Ekonomik serbestleşme derecesinin bağlı olduğu faktörler:

- a) Cevherin değerli mineral içeriği
- b) Değerli mineralin faz boyut dağılımı

- c) Değerli mineralin ekonomik değeri
- d) Zenginleştirme tesisinin kapasitesi

Serbestleşme boyutunun saptanması aşağıdaki şekillerde yapılabilir.

- a) Zenginleştirme Yöntemi
- b) Tane Sayım Yöntemi
- c) Optik Mikroskop ile Sayım Yöntemi
- d) Bağlılık Faktörü

Serbestleşme derecesi ve serbestleşme tane iriliği iki temel yöntemle saptanabilmektedir.

Bunlardan ilki, zenginleştirilecek cevherden alınan temsili numunelerin değişik tane boyutlarına indirilerek, her bir numune ile zenginleştirme deneyleri yapılarak en uygun verim ve tenör değerlerinin yakalandığı tane boyutunun serbestleşme tane iriliği olarak seçilmesine dayanan zenginleştirme yöntemidir.

Bu yöntem genellikle özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemlerinin uygulanmasına karar verilen minerallere uygulanır.

İkinci serbestleşme derecesi tayini yöntemi ise, tane boyutu fraksiyonlarına ayrılmış temsili cevher numunelerinin ince ve parlak kesitleri alınarak optik mikroskop veya X-ışını mikroanaliz cihazları yardımıyla tane sayımı esasına dayanır. Bu yöntemde her bir tane boyutu fraksiyonunda serbest ve bağlı taneler tek tek sayılarak istatistiksel yöntemlerle serbestleşme derecesi bulunur.

Temsili artık numunesi üzerinde yapılan çalışmalarda serbestleşme derecesini tespit etmek için binoküler mikroskop kullanılarak tane sayım yöntemi uygulanmıştır. Bu sayma işlemi kromit, kuvars ve feldspat minerallerinin tekli serbest taneler ile bileşik tanelerin mikroskopta sayımı şeklinde gerçekleştirilmiş ve gözlem hatasını düzeltmek için de bağlılık faktörü (kenetlenme faktörü) 1,4 olarak alınmıştır. Bu metoda göre ufalama sonucu oluşan taneler ilk önce muhtelif

elek frekans serisi ile sınıflandırılmış, sonra her tane sınıfı mikroskop altında incelenip serbest ve bileşik tanelerin tek tek sayılmasıyla serbestleşme yüzdesi bulunmuştur. Temsili numunenin serbestleşme dereceleri aşağıda Çizelge 5.1 olarak sunulacaktır. Serbestleşme derecesi hesaplama yöntemi Eşitlik 5.6.'ya, hedef mineralin elek aralıklarına göre serbestleşme yüzdeleri ise Eşitlik 5.7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Hedef} \\ \text{Mineralin} \\ \text{Serbestleşme} \\ \text{Derecesi}(\%) \end{array} \right) = \frac{\text{HedefMineralinSerbestTaneSayısı}}{(\text{H.M.SerbestTaneSayısı}) + (\text{H.M.BağlıTaneSayısı} \times 1,4)} \times 100 \quad (5.6)$$

$$S_{Krom} = \frac{Serbest_{Krom}}{Toplam_{Krom}} \quad (5.7)$$

Tane sayma yönteminde, farklı boyutlardaki mineral tanelerinin serbestleşme dereceleri bulunmakta ve en uygun serbestleşme derecesini veren tane iriliği serbestleşme boyutu kabul edilmektedir.

Çizelge 5.1. Temsili Numunenin Serbestleşme Derecesi

Elek Boyutu (mm)	Serbestleşme Derecesi (%)		
	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım
- 0,710 + 0,500	19,23076923	16,55629139	31,79650238
- 0,500 + 0,355	39,10068426	42,55319149	47,9616307
- 0,355 + 0,250	64,1025641	62,35385814	64,1025641
- 0,250 + 0,180	75,92675301	71,17437722	63,58381503
- 0,180 + 0,090	74,43591533	86,73818763	76,92307692
- 0,090 + 0,063	90,85252022	92,23073316	88,50820842
- 0,063 + 0,045	94,33174722	94,73137815	96,03340292
- 0,045 + 0,038	91,03840683	89,21330089	83,13539192
-0,038	85,42445275	89,19382504	84,9448762

Temsili numunenin elek fraksiyonlarına göre fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2. Temsili Numunenin Elek Fraksiyonlarına Göre Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

<u>Fiziksel Özellikler</u>		<u>Kimyasal Bileşim</u>						
Tane Boyutu (mm)	% Ağırlık	% Cr ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% MgO	% CaO	Cr / Fe
-0,710 +0,500	12,82	23,81	15,62	14,98	10,33	31,88	0,39	1,49
-0,500 +0,355	13,19	22,27	15,68	15,64	9,97	33,08	0,37	1,39
-0,355 +0,250	16,00	17,62	15,67	17,65	8,92	36,79	0,36	1,10
-0,250 +0,180	14,19	15,97	15,79	18,22	8,57	38,10	0,35	0,99
-0,180 +0,090	30,44	17,11	15,68	17,60	8,73	37,56	0,32	1,07
-0,090 +0,063	6,75	20,97	15,58	15,87	9,61	34,65	0,33	1,32
-0,063 +0,045	5,96	23,25	15,56	14,82	10,04	32,99	0,34	1,46
-0,045 +0,038	0,21	25,50	15,77	13,59	10,68	31,12	0,34	1,58
-0,038	0,45	29,92	16,15	11,23	11,91	27,45	0,34	1,81
Toplam	100,00							

Çizelge 5.1'den görüleceği üzere serbestleşme boyutunu tespit etmek için yapılan deneylere göre olası zenginleştirme işlemi için tenör ve verim açısından en uygun tane boyutunun -0,063+0,045 mm olduğu anlaşılmaktadır. Bu tane

fraksiyonunda kromit tanelerinin yaklaşık %95'i gang minerallerinden ayrılıp işlenmeye hazır durumdadır. Bu hesabın yapılmasıyla şu soruların cevaplanması hedeflenmektedir:

- Boyut küçültme işlemine tabi tutulan kromit minerallerinin birbirinden ne derece ayrıldığı ve yeniden boyut küçültme işlemine tabi tutulmasının gerekli olup olmadığı,
- Cevher içindeki minerallerin cinsi, yapısı ve tane büyüklüğünün ne olduğu,
- Verimli bir zenginleştirme yapılabilmesi için zenginleştirme işleminde kullanılacak yöntemin ne olacağı sorularıdır.

5.2.2. Numunelerin Karakterizasyonu

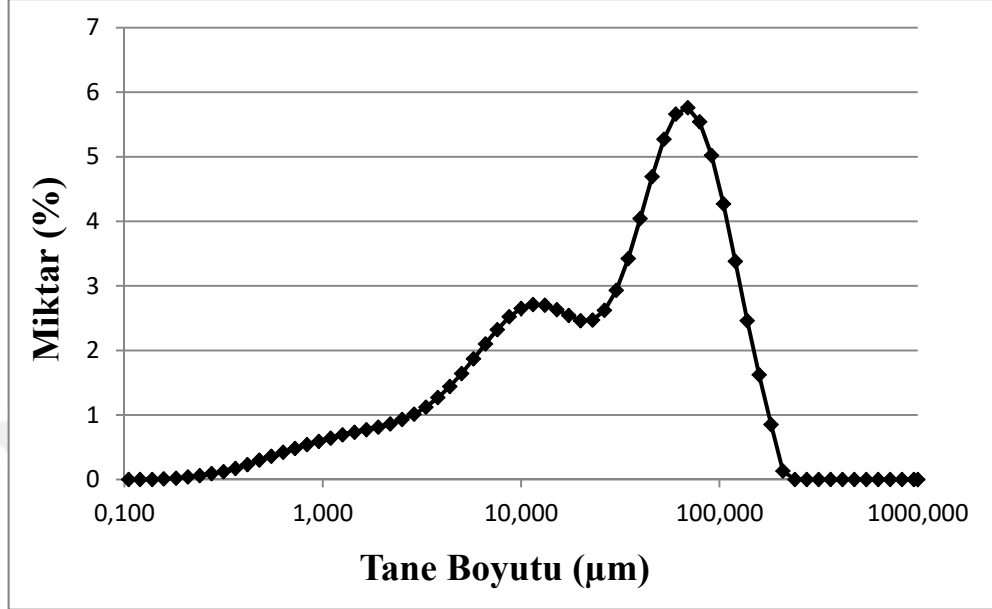
Deneylerde kullanılan numunelerin elek analizleri, Eti Krom A.Ş. Kimya Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Tane irilik dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizlerinde – 0,710+ 0,038 mm elek açıklıklarına sahip elekler kullanılmıştır. Temsili numunenin tane irilik dağılımı Çizelge 5.3'te verilmiştir.

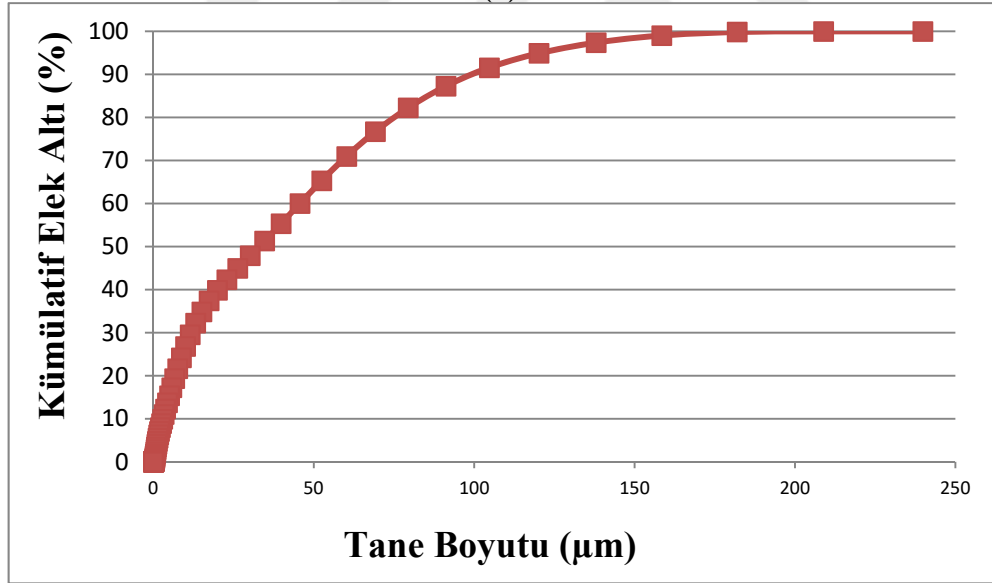
Çizelge 5.3. Temsili Numunenin Tane Boyut Dağılım Özellikleri

Tane Boyutu (mm)	Miktar (gr)	% Ağırlık
-0,710+0,500	93,50	12,82
-0,500+0,355	96,20	13,19
-0,355+0,250	116,72	16,00
-0,250+0,180	103,50	14,19
-0,180+0,090	222,00	30,44
-0,090+0,063	49,23	6,75
-0,063+0,045	43,50	5,96
-0,045+0,038	1,50	0,21
-0,038	3,25	0,45
Toplam	729,40	100,00

MGS testlerinde kullanılacak olan numunenin tane irilik dağılımı ise TÜBİTAK MAM Kimya Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Burada tane boyut analizi ‘‘Malvern Mastersizer 2000’’ cihazında Lazer Işık Saçınım Tekniği (Laser Light Scattering Technique) ile yapılmıştır. Ölçüm kuru sistem cihazı ile yapılmış ve ortalama tane boyutu 32,988 μm (Malvern Mastersizer 2000, ISO 13320-1) olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



(a)



(b)

Şekil 5.3. Tane Boyut Dağılımlarını Gösteren % Miktar (a) ve % Kümülatif Elek Altı (b) Analiz Grafikleri

d10: 2,932 μm

d50: 32,988 μm

d90: 99,240 μm

Numunenin Yüzey Alanı Değeri: 0,96 m²/gr

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nde temsili numunenin mineralojik ve kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Kalitatif faz (mineralojik) analiz, SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda = 1.5405$ Angstrom) kullanılarak yapılan XRD testleri sonucunda numunelerde saptanan mineralojik bileşikler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kalitatif Faz Analiz Sonucu Temsili Numunede Tespit Edilen Bileşikler

Bileşik	Bileşik Formülü	2 θ
Magnezi kromit	(Mg,Fe)(Cr,Al) ₂ O ₄	Mg = 45,28 Fe = 57,50 Cr = 69,34 Al = 144,69
Forsterit	Mg ₂ SiO ₄	Mg = 45,28 Si = 109,50
Ringwoodit	Fe ₂ (SiO ₄)	Fe = 57,50 Si = 109,50
Klinokrizotil	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Mg = 45,28 Si = 109,50
Magnezyum Kromat	Mg(CrO ₄)	Mg = 45,28 Cr = 69,34
Klinoklor	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Cr) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Mg = 45,28 Fe = 57,50 Al = 144,69 Si = 109,50 Cr = 69,34

Yukarıdaki çizelgeden de görüleceği üzere numunenin temel bileşenlerinden biri olan Clinochrysotile, bir asbest bileşiğidir ve numune asbest içermektedir.

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nde, Philips PW-2404 model dalgaboyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı (XRF) ile yapılan yarıkantitatif element analizi sonucunda numunede elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmektedir.

Çizelge 5.5. Yarı kantitatif Element Analizi Sonucu Temsili Numunede Tespit Edilen Element ve Oksitler

% Element	% Oksit
Al = 3,275	Al ₂ O ₃ = 6,187
Ca = 0,189	CaO = 0,264
Cl = 0,009	Cl = 0,009
Co = 0,016	CoO = 0,020
Cr = 11,206	Cr₂O₃ = 16,378
Fe = 5,920	Fe ₂ O ₃ = 8,464
Mg = 25,444	MgO = 41,861
Ni = 0,239	NiO = 0,304
O = 41,505	-
S = 0,096	SO ₃ = 0,241
Si = 12,208	SiO ₂ = 26,116
Ti = 0,056	TiO ₂ = 0,093
V = 0,027	V ₂ O ₅ = 0,047
Zn = 0,111	ZnO = 0,014

Ayrıca temsili numunenin elek fraksiyonlarındaki metal dağılımlarını tespit edebilmek için elek fraksiyonlarının kimyasal analizleri de yapılmıştır. Sonuçlar, aşağıda Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Temsili Numunenin Elek Fraksiyonlarına Göre Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellikler						
Tane Boyutu (mm)	% Ağırlık	% Cr ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% MgO	% CaO	Cr/Fe
-0,710 +0,500	12,82	23,81	15,62	14,98	10,33	31,88	0,39	1,49
-0,500 +0,355	13,19	22,27	15,68	15,64	9,97	33,08	0,37	1,39
-0,355 +0,250	16,00	17,62	15,67	17,65	8,92	36,79	0,36	1,10
-0,250 +0,180	14,19	15,97	15,79	18,22	8,57	38,10	0,35	0,99
-0,180 +0,090	30,44	17,11	15,68	17,60	8,73	37,56	0,32	1,07
-0,090 +0,063	6,75	20,97	15,58	15,87	9,61	34,65	0,33	1,32
-0,063 +0,045	5,96	23,25	15,56	14,82	10,04	32,99	0,34	1,46
-0,045 +0,038	0,21	25,50	15,77	13,59	10,68	31,12	0,34	1,58
-0,038	0,45	29,92	16,15	11,23	11,91	27,45	0,34	1,81
Toplam	100.00							

1) Örnek Rasyo Hesaplaması

-0,710 mm + 0,500 mm Aralığı İçin Örnek Rasyo Hesaplaması :

Cr'nin Atom Ağırlığı = 52

O'nun Atom Ağırlığı = 16

Fe'nin Atom Ağırlığı = 56

$$Cr = \frac{Cr_2}{Cr_2O_3} = \frac{(2 \times 52)}{[(2 \times 52) + (3 \times 16)]} = \frac{104}{152} = 0,6842$$

$$\% Cr_2O_3[-0,710 \text{ mm} + 0,500 \text{ mm}] = 23,81$$

$$\% Cr = \% Cr_2O_3 \times 0,6842 = 23,81 \times 0,6842 = \mathbf{16,29}$$

$$Fe = \frac{Fe_2}{Fe_2O_3} = \frac{(2 \times 56)}{[(2 \times 56) + (3 \times 16)]} = \frac{112}{160} = 0,7$$

$$\% Fe_2O_3[-0,710 \text{ mm} + 0,500 \text{ mm}] = 15,62$$

$$\% \text{ Fe} = \% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \times 0,7 = 15,62 \times 0,7 = \mathbf{10,93}$$

$$Rasyo(Cr / Fe)_{[-0.710mm+0.500mm]} = \frac{16,29}{10,93} = 1,49(\%1,49)$$

5.2.3.MGS

Deneylerde kullanılan pilot ölçekli MGS ünitesi (Şekil 5.4), bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda 0,5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Bu tambur, iç yüzeyi üzerinde 6 ile 24 G değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşacak şekilde ve 150-300 dev/dk hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda eksenel doğrultuda 4-6 cm/sn frekansla, 12-25 mm arasında değişen sinuzoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir.

Tambur hareketini sağlayan eş merkezli şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite bulunmaktadır. Çalışma sırasında küreyiciler, katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına doğru hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS Ünitesi, %10-50 katı oranında 0,2 ton/saat kapasite ile çalışabilmektedir.

1) Çalışma Prensibi

Uygun katı oranında hazırlanan pülp, belirli bir basınçla hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye beslenir. Bir anlamda besleme sırasında oluşacak türbülans etkisi azaltılmaktadır. Yıkama suyu ise tamburun üst çıkış ucuna yakın bir noktadan verilir. Pülp, tambur yüzeyinde spiral şeklinde akmaktadır.

Ağır veya yüksek özgül ağırlıklı mineraller, akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetin etkisiyle adeta yarı katı formda bir tabaka oluşturmaktadır. Akışkan tabakanın üst yüzeyleri ise büyük oranda katı taneler içermeyen su tabakası formundadır.



Şekil 5.4. Deneylerde Kullanılan Pilot Ölçekli C900 Laboratuvar Tip Mozley MGS Cihazı (Afyon Kocatepe Üniv. Lab.)

Gövdeye verilen titreşim hareketi vasıtası ile; akışkan tabakanın içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır. Özel olarak dizayn edilmiş küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederken taneciklerden oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşmaya imkân sağlamaktadır.

Tamburun iç yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, düşük yoğunluklu taneler ise yıkama suyunun etkisiyle alt çıkıştan alınır.

Taneler üzerinde etkin olan merkezkaç kuvvet, klasik sarsıntılı masalar üzerindeki etkin yerçekimi kuvvetinden defalarca büyüktür. Bu nedenle özgül ağırlıkları farklı tanelerin ayrılması da hızlandırılmış olmakta, dolayısıyla işlem gören miktar için gerekli ayırma yüzey alanı azalmaktadır.

MGS ünitesinin ana parçasını bir tarafı açık, diğer tarafı kapalı olan bir silindir oluşturur.

Multi-Gravite ayırıcısının yapı unsurları şunlardır:

- Giderek daralan tambur,
- Sürekli işlem,
- Basit sinüzoidal dalga hareketi şeklindeki eksenel titreşim,
- Taşıyıcı kollar.

MGS Ünitesinde;

- tambur dönüş hızı,
- titreşim büyüklüğü,
- yıkama suyu miktarı,
- tambur eğim açısı,
- besleme miktarı ve hızı,
- pülpte katı oranı önemli işletme parametreleridir.

2) Tambur Dönüş Hızı

Tambur dönüş hızının artması, ayırma işlemini iki yönden etkiler. İlk olarak, pülp akışını eksenel doğrultuda tamburun alt çıkış ucuna doğru hızlandırır. İkinci olarak da tanelerin atalet kütlelerini arttırarak tambur yüzeyine yapışmasını ve adeta katı yüzey oluşmasını sağlar. Diğer parametreler sabit tutulduğunda, tambur dönüş hızının artması ile ağır mineral miktarı artarken, tenör düşmektedir.

3) Titreşim Yoğunluğu

Tambur çalışması sırasında titreşim frekansı 3 - 6 dk/sn, titreşim genliği ise 3,8 – 12,5 cm arasında değiştirilebilmektedir. Denemelerde düşük frekans, yüksek genlik ya da yüksek frekans, düşük genlikte çalışmanın iyi sonuçlar verdiği

gözlenmiştir. Titreşim hareketi sonucu olarak; ayırma sırasında taneler üzerinde ek kesme kuvveti uygulanmış olmaktadır. Diğer parametreler sabit tutulduğunda, titreşim yoğunluğunun artırılması ile verim düşerken mineral içeriği yükselmektedir.

4) Yıkama Suyu Miktarı

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

5) Tambur Eğim Açısı

Tambur eksenini ile yatay arasındaki eğim açısı, malzemenin özelliğine bağlı olarak 0-5 derece arasında değişmektedir. İnce boyutlu ve düşük yoğunluklu mineraller için küçük; iri boyutlu ve yüksek yoğunluklu mineraller için büyük eğim açıları çalışılmalıdır.

6) Pülp Yoğunluğu ve Besleme Hızı

Beslenecek malzemenin pülp yoğunluğu %10-50 arasında değişmektedir. Daha yüksek yoğunluklarda ise, yıkama suyu miktarları ile pülp yoğunluğu ayarlanabilmektedir.

Ayırma kapasitesi tambur çapı ile bağlantılıdır. Pilot ölçekli MGS ünitesinde 0,2 ton/saat; endüstriyel ölçekli iki tamburlu (twins drum) MGS ünitesinde ise 2 ton/saat kapasiteye ulaşılmaktadır. Aynı miktardaki malzemenin klasik sarsıntılı masada ayrılması için MGS'nin yüzeyinden 6 kat fazla bir ayırma yüzeyine sahip olması gerekmektedir.

7) Deneylerin Yapılışı

MGS ön zenginleştirme deneyleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi laboratuvarlarında pilot ölçekli C900 Laboratuvar Tipi Mozley MGS cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Deney tasarımı, Box-Behnken 3 faktör, 3 seviye toplam 15 deney olarak yapılmıştır. Box-Behnken Dizaynı, tam ya da kısmi faktöriyel dizaynları içermeyen bağımsız bir karesel dizayndır. Aynı zamanda en az işlem gerektiren dizayn biçimidir. Her faktör için 3 seviyeye ihtiyaç vardır. Tam ya da kısmen döndürülebilen bu dizaynın geometrisi işlem aralığında küre oluşturmaktadır.

İkinci derece model parametrelerinin tahmininde kullanılan üç seviyeli tamamlanmamış çok etkenli tasarımlardan, dönersel tasarımların bir çeşidi olan Box-Behnken tasarımları, 1960 yılında Box ve Behnken tarafından geliştirilmiştir. Box-Behnken tasarımlarında her bir etken üç düzeye sahiptir. Box-Behnken tasarımları merkezsiz bileşik tasarımlara kıyasla daha ekonomik bir tasarım sınıfıdır. Box-Behnken tasarımlarının avantajlarından bir tanesi küresel bir tasarım olması ve sadece üç düzeyde verilere sahip olmasıdır. Box-Behnken tasarımları, tamamlanmamış bir blok tasarımının uygun bir şekilde iki düzeyli çok etkenli bir tasarımla birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkarlar (Baş, 2010).

Sabit Parametreler;

Katı Oranı = %15 (10 L Pülp için 1.690 gr besleme)

Besleme Hızı = 1 L/dk

Yıkama Suyu Hızı = 3 L/dk

Zenginleştirme işlemine tabi tutulacak besleme malı ile %15 katı oranında pülp hazırlanır. Her deney tasarımına uygun tambur eğim açısı ve tambur dönüş hızı ayrı ayrı olmak üzere ayarlanır. Tambur dönüş hızı, cihazın arkasında bulunan devir çizelgesine göre ayarlanmaktadır. Yıkama suyu istenilen debide ayarlanarak

sisteme verilir. Tambur cihazın arkasında bulunan açma butonu ile açılır ve titreşim motoru çalıştırılır. Hazırlanan pülp, ‘peristaltik pompa’ yardımı ile belirli debide sisteme beslenir. Besleme malı bittiğinde kapama düğmesi ile tambur durdurulur, titreşim motoru kapatılır ve sisteme verilen yıkama suyu kesilir. Konsantre, artık ve varsa ara ürün ayrı ayrı toplama kaplarından alındıktan sonra tambur, pompa ve ilgili aparatlar yıkanıp temizlenerek sonraki deneyler için hazır hale getirilir. Deney tasarımında kullanılan tambur dönüş hızları, tambur eğimleri ve titreşim genlikleri Çizelge 5.7’de, MGS deneyleri sonucu alınan konsantre örnekleri ise Şekil 5.5’te sunulmaktadır.

Çizelge 5.7. MGS Ön Zenginleştirme Deney Tasarımı

Deney No	Tambur Dönüş Hızı (dev/dk)	Tambur Eğimi (Derece)	Titreşim Genliği (mm)
1	200	3	15
2	170	3	20
3	230	0	15
4	200	3	15
5	200	6	20
6	170	0	15
7	170	6	15
8	200	3	15
9	230	3	20
10	200	0	10
11	200	6	10
12	170	3	10
13	230	3	10
14	200	0	20
15	230	6	15



Şekil 5.5. MGS Deneylerinden Alınan Konsantre Örnekleri

6. BULGULAR VE TARTIŞMA**6.1. Numunenin Mineralojik Özellikleri**

Gence (1985), Batı Kef ocaklarından daha önce aldığı temsili numuneler üzerinde yapmış olduğu ince kesit ve parlatmaların polarizan ve binoküler mikroskopta incelenmesinde esas mineral olarak kromit, olivin ve az miktarda piroksen saptamıştır. İnce kesitlerin ve parlatmaların mikroskopta incelenmesinde saptanan özellikler aşağıda verilmiştir.

1) Kromit: Genellikle yuvarlak taneler halinde görülmekte ve boyutları 0,025–0,350 mm arasında değişmektedir. İç yansıma rengi kırmızımsı–kahverengidir. Parlatmalarda yapılan incelemelerde HCl, HNO₃, H₂SO₄’ün tesir etmediği görülmüştür.

2) Olivin: Boyutları 0,025–0,275 mm arasında değişmektedir. Olivinin hidrotermal olarak ayrışması sonucu yer yer serpantin oluşmuştur. Taneler yuvarlaktır ve dilinimi andıran çok sayıda kırıklar mevcuttur.

3) Piroksen: Boyutları 0,025–0,150 mm arasında değişmektedir. Genellikle ksenomorf taneler şeklinde görülmektedir. Birbirlerine dik iki prizmatik (87° – 93°) dilinim mevcuttur.

Yapılan incelemeler sonucunda ana mineral olarak kromit, gang mineralleri olarak da olivin ve serpantin tespit edilmiştir. Bu minerallere ait özellikler aşağıda verilmiştir.

a) Kromit [(FeO, Cr₂O₃)]

Kromit donuk ve yağimsi parlaklıktadır. Masif veya taneli şekilde bulunmaktadır. İnce kesitte kahverengimsi, kırmızımsı veya şeffaf taneler şeklinde

görülmektedir. Çatlaklı bir yapı gösterir ve tanelerin içlerinde olivin izlenmiştir. Kromit parlatmalarda siyahtan griye değişen renkler göstermektedir.

b) Olivin [(Fe,Mg)₂ SiO₂]

Cam parıltılı, kırılan yüzeyi biraz yağimsı, saydam ve yarı saydamdır. Olivin minerali ince kesitlerde renksiz, polarize ışıktaki gri-yeşil, kırmızı renkte görülmektedir.

c) Serpantin [3MgO.2SiO₂ – 2H₂O]

Daima mikro kristalin olarak sık, ince yaprağımsı, lifsel yapıda bulunur. Yeşilin çeşitli tonlarında ve sarımsı, kırmızımsı kahverengi ve siyahımsı olur. Kısmen veya tamamen olivinin yerini almış ve onun içinde uyumsuz durumlar gösterir. İnce kesitte polarize ışıktaki mavi-sarı renkte görülmekte ve krizotil minerallerinden oluşmuşlardır. Krizotil, ince uzun lif şeklinde olup ipliksel dokuludur.

6.2.MGS ile Zenginleştirme

Deney tasarımı, Box-Behnken 3 faktör, 3 seviye toplam 15 deney olarak yapılmıştır. Yapılan ön zenginleştirme deneylerinin detayları ve değişken parametreler ise 5. Bölüm, Çizelge 5.7’de verilmiştir.

MGS testlerinde aşağıda belirtilen parametreler sabit tutulmuş, tambur dönüş hızı, tambur eğim açısı ve titreşim genliği gibi parametreler ise deneylere göre değişken tutularak zenginleştirme işlemi için optimum koşullar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sabit Parametreler;

Katı Oranı = %15 (10 L Pülp için 1.690 gr besleme)

Besleme Hızı = 1 L/dk

Yıkama Suyu Hızı = 3 L/dk

Yapılan MGS deneyleri sonucunda elde edilen konsantre ve artık ürün miktarları Çizelge 6.1’de, deneysel çalışmalara ait laboratuvar görüntüleri ise Ek 6.1 ve 6.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.1. MGS Deneyleri Sonucu Alınan Konsantre ve Artık Ürün Miktarları

Deney No	Konsantre (gr)	Ara Ürün (gr)	Artık (gr)
1	1.257,2	-	45,4
2	1.159,4	-	162,1
3	1.484,3	-	54,9
4	1.257,2	-	45,4
5	1.096,8	92,1	73,5
6	1.288,2	-	52,7
7	1.107,3	-	179,5
8	1.257,2	-	45,4
9	1.412,3	-	64,5
10	1.508,6	-	39,4
11	1.202,1	-	65,3
12	1.305,8	-	48
13	1.416,3	-	50,9
14	1.277,5	-	41,1
15	1.288	-	43,8

Yapılan ön zenginleştirme deneylerinde optimum koşulları belirlemek, deneylerin stabilitesini arttırmak ve verim hesaplamalarında hata payı düşük bir sonuca ulaşmak için kontrol değerleri olarak, 4 ve 8 No’lu deney koşulları 1 No’lu deney koşulları ile aynı tutulmuş ve deney sonuçları ortak değerlendirilmiştir. Ayrıca sadece 1, 3 ve 5 No’lu deneylerden ara ürün almak mümkün olmuş ve bunlardan 1 ve 3 No’lu deneylere ait ara ürünler kimyasal analiz için

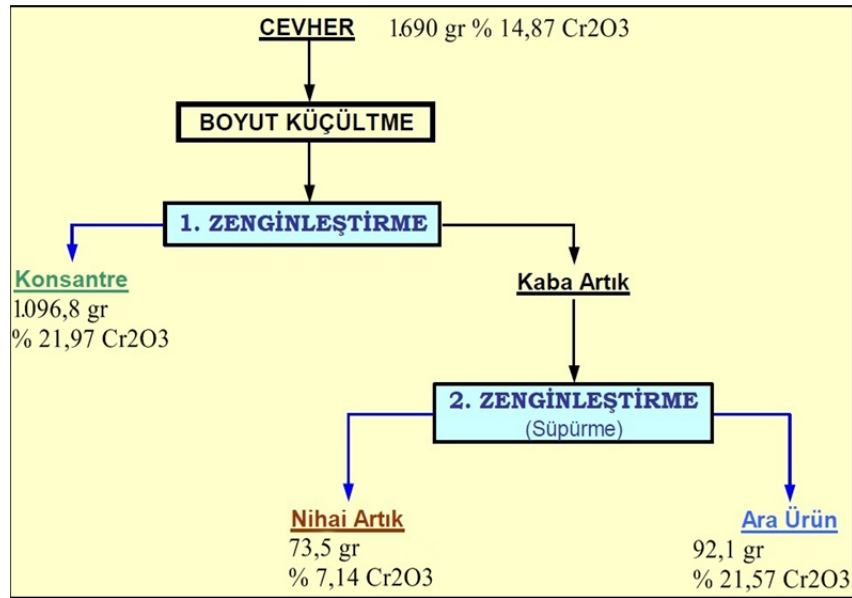
kullanıldığından numunelerden geriye tartıya konulacak bir miktar kalmamış olduğundan ağırlıkça miktarı tabloya yazılamamış ve bu sebepten hesaplamaların tamamında mevcut ara ürün miktarları konsantre ve artıklar arasında dağıtılmıştır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği ABD cevher hazırlama ve zenginleştirme laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen konsantre ve artık numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2 ve 6.3’de detaylı olarak verilmektedir.

Gerek cevher hazırlama tesislerindeki zenginleştirme işlemlerinin denetimi gerekse laboratuvarında yapılan zenginleştirme deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi, yapılan işlemlerin ne derece etkili olduğu ve işlemlerin ekonomisi açısından önem arz etmektedir.

Söz konusu değerlendirme ya zenginleştirme formülleri denilen formüller kullanılarak ya da metalürjik denge çizelgeleri oluşturularak yapılmaktadır.

5 No’lu MGS ön zenginleştirme deney sonuçlarına ait akım şeması Şekil 6.1’de verilmektedir.



Şekil 6.1. MGS Ön Zenginleştirme 5 No’lu Deney Sonuçlarına Ait Akım Şeması

Çizelge 6.2. MGS Ön Zenginleştirme Deneylerinden Alınan Konsantrelerin Kimyasal Analiz Sonuçları

15.	14.	13.	12.	11.	10.	9.	8.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.	Numune Adı
Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	Deney	
20,22	20,13	19,29	21,23	21,15	21,38	20,58	20,23	21,71	21,75	21,97	20,23	22,69	23,50	20,23	% Cr ₂ O ₃
15,97	15,94	15,73	15,76	15,87	16,03	16,07	15,68	15,82	16,07	16,16	15,68	16,24	16,35	15,68	% Fe ₂ O ₃
14,37	14,35	14,16	14,18	14,28	14,43	14,46	14,11	14,24	14,46	14,54	14,11	14,62	14,72	14,11	% FeO
16,65	16,79	17,11	16,30	16,33	16,17	16,57	16,76	15,64	15,93	15,77	16,76	15,33	14,87	16,76	% SiO ₂
9,59	9,35	9,38	9,47	9,54	9,46	9,35	9,35	10,45	9,65	9,90	9,35	10,06	10,43	9,35	% Al ₂ O ₃
34,17	34,39	35,10	33,90	33,75	33,59	34,04	34,61	33,02	33,23	32,82	34,61	32,28	31,43	34,61	% MgO
0,40	0,39	0,39	0,35	0,36	0,37	0,39	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,39	0,42	0,36	% CaO
13,83	13,77	13,20	14,53	14,47	14,63	14,08	13,84	14,85	14,88	15,03	13,84	15,52	16,08	13,84	% Cr
11,18	11,16	11,01	11,03	11,11	11,22	11,25	10,98	11,07	11,25	11,31	10,98	11,37	11,45	10,98	% Fe
7,01	7,03	7,12	7,11	7,06	6,99	6,97	7,14	7,08	6,97	6,93	7,14	6,90	6,85	7,14	(Fe ³⁺)
3,90	3,90	3,96	3,95	3,92	3,88	3,87	3,97	3,93	3,87	3,85	3,97	3,83	3,81	3,97	(Fe ²⁺)
7,83	7,89	8,04	7,66	7,68	7,60	7,79	7,88	7,35	7,49	7,41	7,88	7,21	6,99	7,88	% Si
5,07	4,95	4,96	5,01	5,05	5,00	4,95	4,95	5,53	5,10	5,24	4,95	5,32	5,52	4,95	% Al
20,50	20,63	21,06	20,34	20,25	20,15	20,42	20,77	19,81	19,94	19,69	20,77	19,37	18,86	20,77	% Mg
0,28	0,28	0,28	0,25	0,26	0,26	0,28	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,28	0,30	0,26	% Ca
38,27	38,28	38,42	38,17	38,16	38,10	38,21	38,30	38,10	38,05	38,01	38,30	37,90	37,78	38,30	% O
1,24	1,23	1,20	1,32	1,30	1,30	1,25	1,26	1,34	1,32	1,33	1,26	1,37	1,40	1,26	Cr/Fe
2,73	2,78	2,66	2,90	2,87	2,92	2,85	2,80	2,69	2,92	2,87	2,80	2,92	2,91	2,80	Cr/Al

Çizelge 6.3. MGS Ön Zenginleştirme Deneylerinden Alınan Artıkların Kimyasal Analiz Sonuçları

15. Deney	14. Deney	13. Deney	12. Deney	11. Deney	10. Deney	9. Deney	8. Deney (Kontrol)	7. Deney	6. Deney	5. Deney	4. Deney (Kontrol)	3. Deney	2. Deney	1. Deney	Numune Adı
1,21	2,44	2,15	2,09	3,12	4,59	5,35	12,40	6,98	5,26	7,14	12,40	8,80	10,19	12,40	% Cr ₂ O ₃
16,45	16,36	16,43	16,51	16,44	16,50	16,69	15,78	16,36	16,78	16,74	15,78	16,76	16,23	15,78	% Fe ₂ O ₃
14,81	14,72	14,79	14,86	14,80	14,85	15,02	14,20	14,72	15,10	15,07	14,20	15,08	14,61	14,20	% FeO
27,55	26,91	27,16	27,05	26,63	25,78	25,28	22,74	24,67	25,15	24,25	22,74	23,43	23,04	22,74	% SiO ₂
6,86	6,96	6,92	6,93	7,01	7,14	7,35	7,60	7,26	7,63	7,74	7,60	7,91	7,86	7,60	% Al ₂ O ₃
43,43	42,64	42,87	42,87	42,31	41,50	40,75	36,98	40,61	40,21	39,43	36,98	38,21	38,54	36,98	% MgO
1,43	1,62	1,41	1,48	1,42	1,41	1,51	1,44	1,04	1,90	1,62	1,44	1,80	1,05	1,44	% CaO
0,83	1,67	1,47	1,43	2,13	3,14	3,66	8,48	4,78	3,60	4,89	8,48	6,02	6,97	8,48	% Cr
11,52	11,45	11,50	11,56	11,51	11,55	11,68	11,05	11,45	11,75	11,72	11,05	11,73	11,36	11,05	% Fe
6,81	6,85	6,82	6,78	6,81	6,79	6,71	7,10	6,85	6,67	6,69	7,10	6,68	6,90	7,10	(Fe ³⁺)
3,78	3,80	3,79	3,77	3,78	3,77	3,73	3,94	3,80	3,71	3,72	3,94	3,71	3,83	3,94	(Fe ²⁺)
12,95	12,65	12,77	12,71	12,52	12,12	11,88	10,69	11,59	11,82	11,40	10,69	11,01	10,83	10,69	% Si
3,63	3,68	3,66	3,67	3,71	3,78	3,89	4,02	3,84	4,04	4,09	4,02	4,18	4,16	4,02	% Al
26,06	25,58	25,72	25,72	25,39	24,90	24,45	22,19	24,37	24,13	23,66	22,19	22,93	23,12	22,19	% Mg
1,02	1,15	1,00	1,05	1,01	1,00	1,07	1,02	0,74	1,35	1,15	1,02	1,28	0,75	1,02	% Ca
40,92	40,73	40,80	40,77	40,65	40,42	40,28	39,47	40,13	40,23	40,00	39,47	39,73	39,70	39,47	% O
0,07	0,15	0,13	0,12	0,19	0,27	0,31	0,77	0,42	0,31	0,42	0,77	0,51	0,61	0,77	Cr/Fe
0,23	0,45	0,40	0,39	0,58	0,83	0,94	2,11	1,24	0,89	1,19	2,11	1,44	1,68	2,11	Cr/Al

Zenginleştirme formülleri ve metalürjik denge çizelgelerinden faydalanılarak yapılan hesaplamalar, ön zenginleştirme deneylerinin tamamı için ayrı ayrı hesaplanmış, bu hesaplamalar sonucunda bulunan zenginleştirme oranı, metal kazanma verimi ve metal kaybına ait değerler aşağıda tablo olarak Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. MGS Ön Zenginleştirme Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney No	Zenginleştirme Oranı (Z)	Metal Kazanma Verimi (% V)	Metal Kaybı (% j)
1	1,03	97,86	2,14
2	1,14	94,30	5,70
3	1,04	98,57	1,43
4	1,03	97,86	2,14
5	1,06	97,97	2,03
6	1,04	99,02	0,98
7	1,16	95,03	4,97
8	1,03	97,86	2,14
9	1,05	98,84	1,16
10	1,03	99,44	0,56
11	1,05	99,20	0,80
12	1,04	99,64	0,36
13	1,04	99,60	0,40
14	1,03	99,61	0,39
15	1,03	99,80	0,20
Ortalama	1,06	98,38	1,62

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Zenginleştirme laboratuvarlarında yapılan ön zenginleştirme deneylerinden

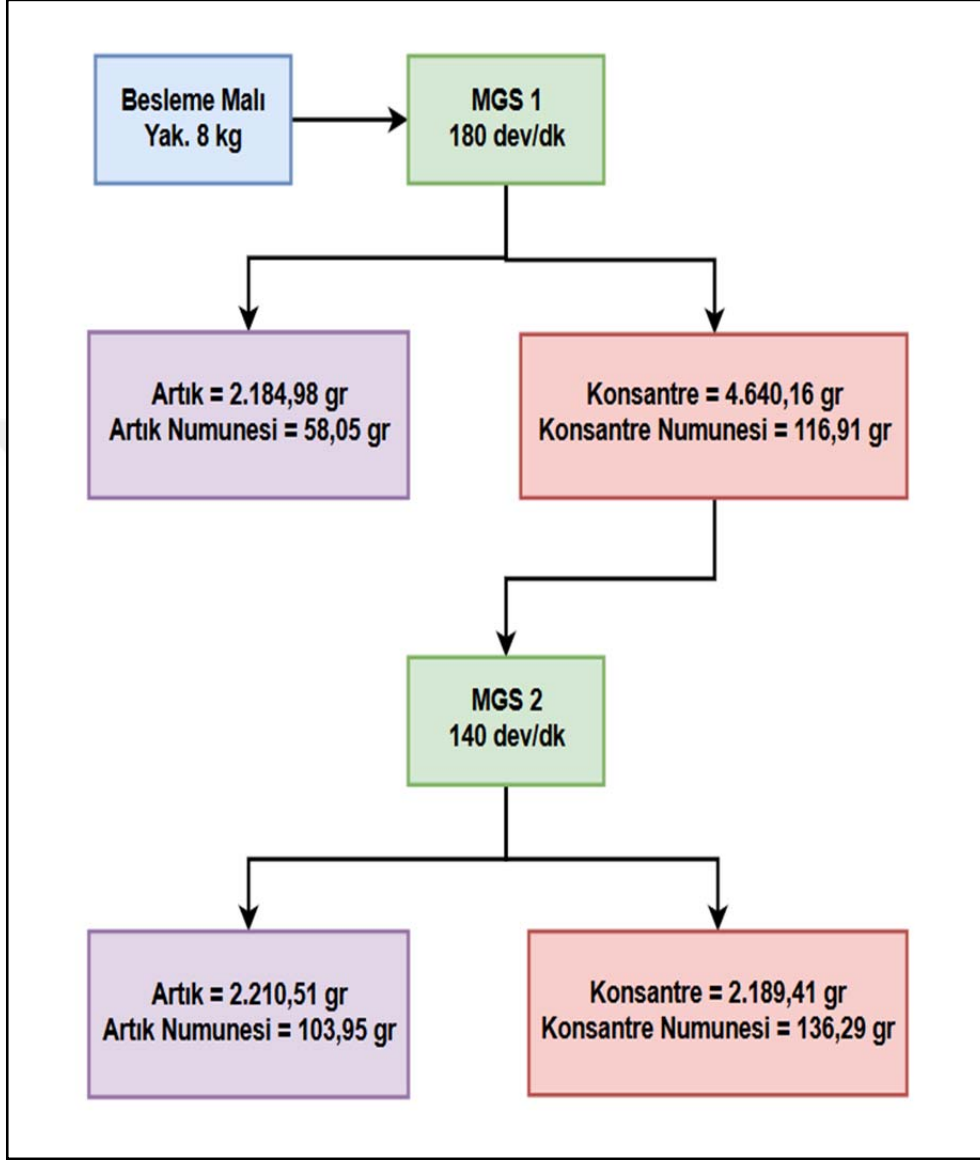
beklenen yeterli zenginleştirme sonuçlarının elde edilememiş olması nedeniyle, nihai zenginleştirme deneyleri için çalışma numunesinden konileme/dörtleme yöntemiyle alınan 8 kg temsili numune, yeniden MGS testlerine tabi tutulmak üzere Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarına getirilmiştir.

Burada yapılan MGS testlerinde C900 laboratuvar tipi MGS cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan 8 kg temsili numunedan %15 katı oranında pülplü oluşturulmuş ve devri ayarlanabilir bir pompa ile 2,5 L/dk besleme hızı ile cihaza beslenmiştir.

MGS deneylerinde 4⁰ tambur eğimi, 2,5 L/dk besleme hızı ve 5 L/dk yıkama suyu hızı parametreleri sabit tutulmuştur. Bunun nedeni, hem deneysel çalışmalarda kullanılacak numune miktarının parametre belirleme çalışmaları için yeterli olmayacağı hem de kullanılan MGS cihazında daha önce yapılan kromit numunesi zenginleştirme deneylerinde belirlenen asgari çalışma koşullarının uygun olacağı görüşünün hâkim olmasıdır. Tambur dönüş hızı değişken parametre olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir.

Numuneye öncelikle 180 dev/dk tambur devrinde bir test yapılmış ve bu deney sonunda elde edilen konsantre, ikinci deney için besleme malı olmak üzere 140 dev/dk tambur devrinde ikinci MGS testi yapılmıştır. Nihai zenginleştirme deneylerine ait kütle bilançosu Şekil 6.2’te verilmektedir.

MGS deneyleri esnasında akan ürünlerden numune almak üzere yatak oluşumu için besleme yapılmaya başlandıktan sonra bir dakika süre ile beklenilmiştir. Yatak oluşumunun ardından yani MGS cihazının konsantre ağzından malzeme gelmeye başladığı andan itibaren her 10 saniyede bir 4 saniye süre boyunca cihazın konsantre ve artık ağzından numune alınmış ve bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır.



Şekil 6.2. MGS Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarına Ait Kütle Bilançosu

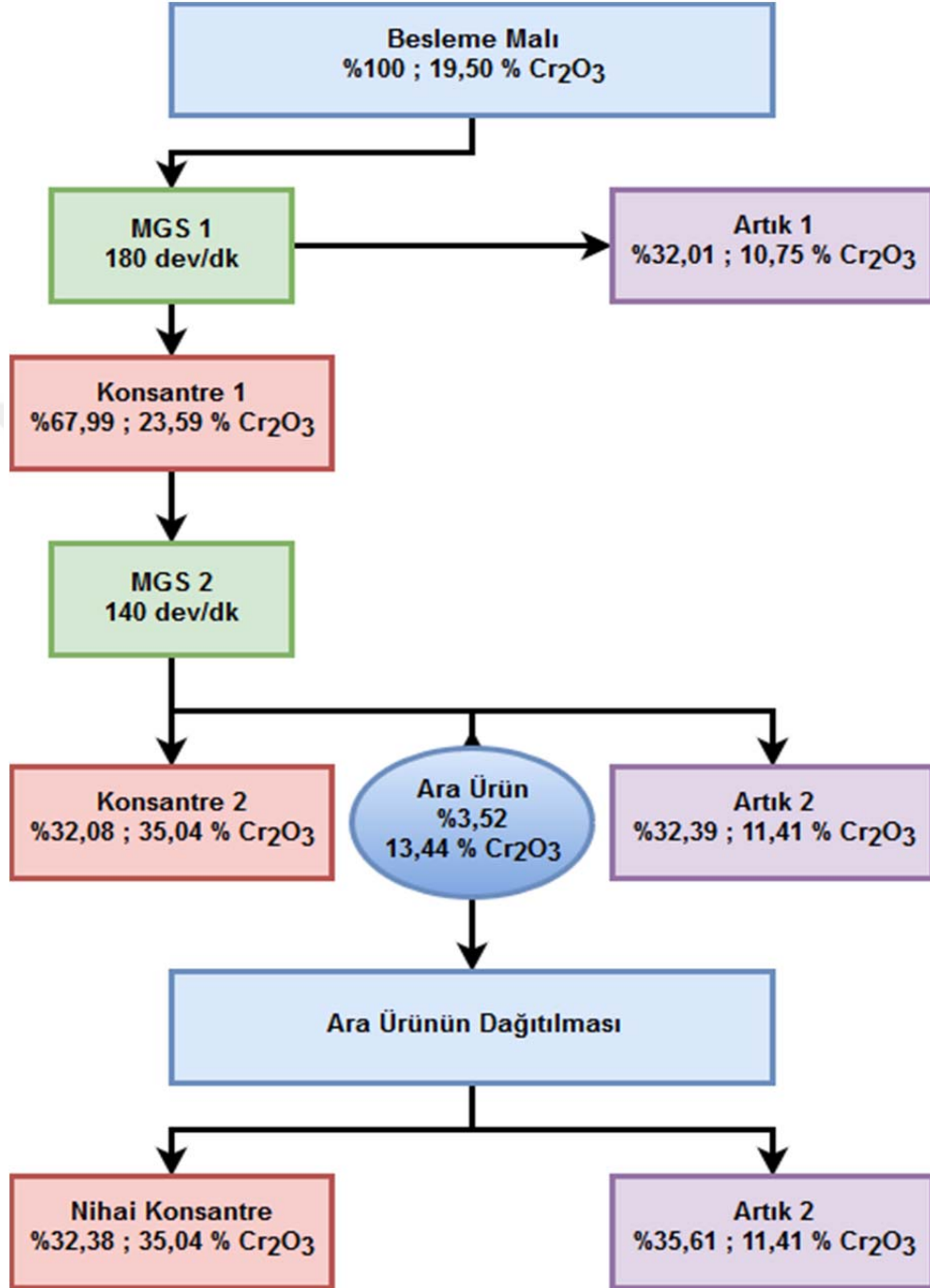
Yapılan testler ışığında, MGS 1 deneyi için 4.640,16 gr konsantre numunesinden 116,91 gr ve 2.184,98 gr artık numunesinden 58,05 gr temsili numune, MGS 2 deneyi için 2.189,41 gr konsantre numunesinden 136,29 gr ve 2.210,51 gr artık numunesinden 103,95 gr temsili numune alınmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen konsantre, ara ürün ve artık numuneleri ile MGS besleme malı numunesi kimyasal analiz için Eti Krom AŞ Kimya Laboratuvarlarına getirilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler önce 105 °C sıcaklıkta Nüve marka etüvde kurutularak mevcut nem uzaklaştırılmış ve bu numuneler RESCH marka halkalı ve diskli öğütücü yardımı ile tane boyutu 200 mesh (0,074 mm) boyutuna öğütülmüştür. 200 mesh boyutundaki bu numuneler Alman menşeli HERZOG marka press makinesi ile 200 kN/m² basınç altında tablet haline preslenmiştir. Hazırlanan tabletler Japon menşeli RIGAKU marka PRIMUSS II model X-Ray cihazı ile X ışınına dayalı spektrometrede analiz edilerek, Çizelge 6.5'te verilen kimyasal analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Cihaz kalibre edilirken, kızdırma kaybı yani ateş zayıyatı (KK), %3.00 olarak cihaza manuel girilmiştir.

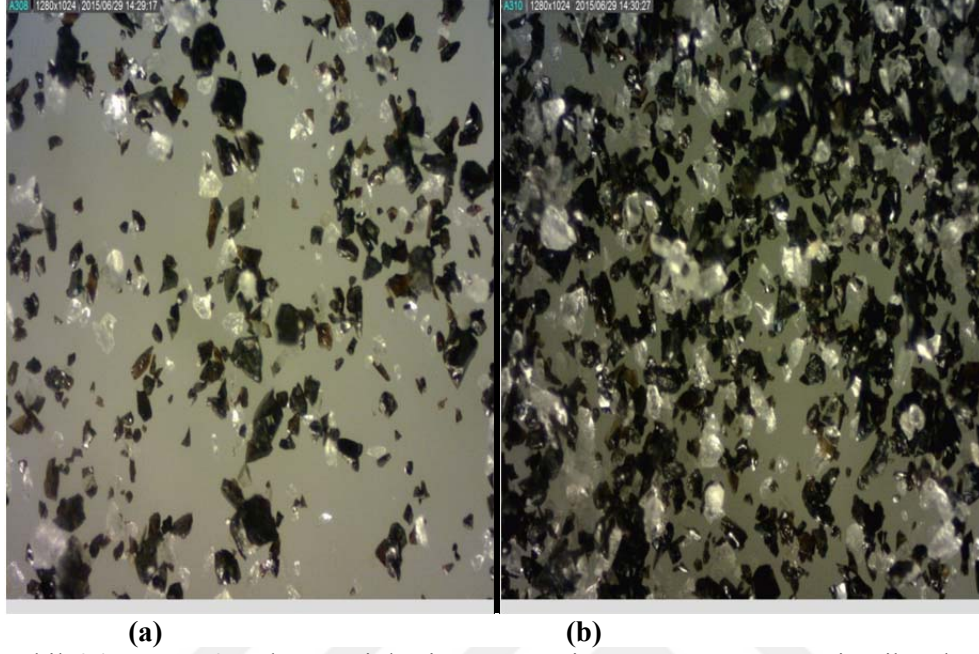
Nihai MGS deney sonuçlarına ait akım şeması ve % dağılım oranları Şekil 6.3'de, 2 nolu nihai MGS zenginleştirme deneyinde elde edilen konsantre numunesine ait mikroskop görüntüleri Şekil 6.4'de, 1 nolu nihai MGS zenginleştirme deney sonuçlarına ait tesise uyarlanan metalürjik denge çizelgesi Çizelge 6.6'da, 2 nolu nihai MGS zenginleştirme deney sonuçlarına ait tesise uyarlanan metalürjik denge çizelgesi Çizelge 6.7'de ve nihai MGS zenginleştirme deneylerine ait sonuçların değerlendirilmesi ise Çizelge 6.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.5. MGS Nihai Zenginleştirme Deneyleri Kimyasal Analiz Sonuçları

	Besleme Malı	MGS 1 Konsantre	MGS 1 Artık	MGS 2 Konsantre (Nihai)	MGS 2 AraÜrün	MGS 2 Artık
% Cr ₂ O ₃	19,50	23,59	10,75	<u>35,04</u>	13,44	11,41
% Fe ₂ O ₃	10,38	11,80	8,14	14,02	8,74	8,09
% FeO	9,34	10,62	7,33	12,62	7,87	7,28
% SiO ₂	21,98	19,85	34,35	11,23	31,11	33,06
% Al ₂ O ₃	9,35	9,19	3,75	12,35	4,70	3,96
% MgO	40,77	34,54	55,05	24,22	51,17	54,08
% CaO	1,66	0,43	0,92	0,22	0,77	0,90
% Cr	13,34	16,14	7,36	23,97	9,20	7,81
% Fe	7,27	8,26	5,70	9,81	6,12	5,66
(Fe ³⁺)	10,79	9,49	13,76	7,99	12,81	13,84
(Fe ²⁺)	5,99	5,27	7,64	4,44	7,12	7,69
% Si	10,33	9,33	16,14	5,28	14,62	15,54
% Al	4,95	4,86	1,98	6,53	2,49	2,09
% Mg	24,46	20,72	33,03	14,53	30,70	32,45
% Ca	1,18	0,31	0,65	0,16	0,55	0,64
% O	42,08	39,75	48,08	36,75	46,24	47,29
Cr/Fe	1,84	1,95	1,29	2,44	1,50	1,38



Şekil 6.3. MGS Deney Sonuçlarına Ait Nihai Akım Şeması ve % Dağılım



Şekil 6.4. MGS 2 nolu Zenginleştirme Deneyi Konsantre Numunesi Mikroskop Görüntüleri (a) 1. Görüntü (b) 2. Görüntü

Çizelge 6.6. MGS 1 Nihai Zenginleştirme Deneyi Sonuçlarına Ait Tesise Uyarlanan Metalürjik Denge Çizelgesi

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		% Cr_2O_3	DAĞILIM	
	gr (1)	% (2)		gr (4)	% (5)
KONSANTRE	4.640,16 (K)	67,99	23,59 (k)	1.094,61	82,33
ARTIK	2.184,98 (A)	32,01	10,75 (a)	234,88	17,67
BESLENEN CEVHER (Hesaplanan)	6.825,14 (B)	100.0	19,48 (b)	1.329,49	100.0

Çizelge 6.7. MGS 2 Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarına Ait Tesise Uyarlanan Metalürjik Denge Çizelgesi

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		% Cr ₂ O ₃ (3)	DAĞILIM	
	gr (1)	% (2)		gr (4)	% (5)
KONSANTRE	2.189,42 (K)	49,76	35,04 (k)	767,17	75,26
ARTIK	2.210,51 (A)	50,24	11,41 (a)	252,22	24,74
BESLENEN CEVHER (Hesaplanan)	4.399,93 (B)	100.0	23,17 (b)	1.019,39	100.0

Çizelge 6.8. MGS Nihai Zenginleştirme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney Adı	Zenginleştirme Oranı (Z)	Metal Kazanma Verimi (% V)	Metal Kaybı (% j)
MGS 1	1,47	82,34	17,66
MGS 2	2,01	75,26	24,74
Ortalama	1,74	78,80	21,20

Yukarıda da değinildiği üzere belirlenen optimum çalışma parametreleriyle yapılan zenginleştirme deneylerinde en iyi sonuç MGS 2 No'lu nihai zenginleştirme deneyinde alınmıştır. Buna göre, %19,50 Cr₂O₃ içerikli besleme malından %35,04 Cr₂O₃ tenörlü konsantre numunesi; 2,01 zenginleştirme oranı ve %75,26 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Elazığ Eti Krom AŞ Kef Konsantre Tesisi II. Raichard Konisi baraj artığından (%18-22 Cr_2O_3) temin edilen ince taneli kromit numunesinin, gravite ayırma yöntemlerinden MGS (Multi Gravite Seperator) ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Kromit, gang mineralleriyle yeterli yoğunluk farkına sahip olduğu için bu yöntem ile zenginleştirmenin doğru olacağı düşünülmüştür.

Alınan temsili numunenin yapılan ilk kimyasal analizinde %18,73 Cr_2O_3 tenörlü, ikinci kez yapılan temsili numune kimyasal analizinde ise %14,87 Cr_2O_3 tenörlü olduğu tespit edilmiştir.

Numunenin yapılan kalitatif faz analizi sonucunda başlıca Magnesi Kromit $[(\text{Mg},\text{Fe})(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4]$, Forsterit $[\text{Mg}_2\text{SiO}_4]$, Ringwoodit $[\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)]$, Klino Krizotil $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, Magnezyum Kromat $[\text{Mg}(\text{CrO}_4)]$ ve Klino Klor $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Cr})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ bileşiklerini içerdiği görülmüştür.

Tane dağılımının ayırmada belirleyici olduğu, ince boyutlarda ayırma işleminin iyi, iri boyutlarda ise ayırma hassasiyetinin azaldığı tespit edilmiştir.

Serbestleşme tane boyutu, mevcut gravite zenginleştirme yöntemleri için çok ince olan kromit cevherlerinin serbestleşme tane boyutuna indirilerek MGS’de yüksek tenör ve randımanla yeniden zenginleştirilebileceği ve bu prosesin tesis çapında geniş bir uygulama alanına sahip olabileceği düşünülmektedir.

Serbestleşme tane sayımlarından görüldüğü üzere, Kef kromit cevherinde kromit ve gang minerallerinin (olivin ve serpantin) farklı yoğunlukta olması ve yapılan çalışmalar ile kristallerinin tane büyüklüğü göz önüne alındığında, kromitin serbestleşme boyutu yaklaşık olarak 250 μm altında gerçekleşmektedir. Buradan hareketle, aşırı şlam oluşumunu engellemek için bir üst boyut frekansı olan 350-300 μm aralığı seçilebilir. Çünkü 250 μm ve altında serbestleşme derecesi artarken şlam oluşumu gelişeceği için zenginleşme güçleşecektir. Bu durum, zenginleştirme

ekipmanlarını daha karmaşık bir hale getireceğinden, ekonomik olarak çok da avantajlı olmayacağı anlaşılmaktadır.

Mevcut gravite zenginleştirme tesislerine eklenecek bir MGS sistemi ile şlam boyutundaki kaçakların değerlendirilerek, genel tesis randımanının yükseltilebileceği öngörülmektedir.

Tesis artışı üzerinde yapılan MGS testlerinde de görüldüğü üzere ön zenginleştirme deneylerinde ekonomik anlamda bir zenginleşme gerçekleşmemiştir (%20–24 Cr_2O_3). Bunun nedeni numunedeki serbestleşme boyutunda değerli tanelerin az olmasından kaynaklanabilir. Ama yine de az da olsa bir zenginleşme gerçekleştiğine göre içerisinde kaçak serbest taneleri barındırması muhtemeldir.

Eldeki veriler genel olarak değerlendirildiğinde, yapılan işlemler tesis adaptasyonunda düşünülürse, daha yüksek tenörlü bir konsantre elde edebilmek için;

1. Öncelikle malzemeyi ön zenginleştirmeden geçirerek içerisindeki serbest kaçak taneleri alıp (Cr_2O_3) bunların öğütmeye girmeden zenginleşmesini sağlanmalıdır.
2. Ön zenginleştirmede serbest atık taneleri uzaklaştırmak, zenginleşme verimi açısından öncelik teşkil edecektir.

Bu iki işlemten sonra elde kalan ara ürünün %90'ını bağlı taneler oluşturacaktır. Diğer ürünlerin sistemin başında uzaklaştırılması, zenginleştirme sisteminin kapasitesinin küçülmesine ve yatırım maliyetlerinin azalmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Elde edilen ara ürünü değirmende öğüterek hedef boyut $-350 \mu\text{m}$ 'ye getirip, hidrosiklonlar vasıtasıyla da $63 \mu\text{m}$ ve altını üst akımla uzaklaştırmak suretiyle, şlam boyuttaki malzemeyi ayırmak, zenginleştirmeyi olumlu yönde etkileyecektir. Bu adımdan sonra MGS uygulamak düşünülebilir.

Numuneyi sınıflandırarak, sallantılı masalarda dar boyutta zenginleştirme yapabilmek için elde kalan malzeme hidrosizera beslenip daha sonra birinci kademe masalara getirilerek buradan ürün, ara ürün ve atık elde edilebilir. Ürün konsantre silosuna, atık ise sistemi atık olarak terk ederken, ara ürün, 2. grup masalara beslenebilir. Bu işlem sonunda da ürünler konsantre silosuna, atıklar atık olarak sistemi terk ederken ara ürün geri kendine beslenebileceği gibi 3. bir masa grubuna da beslenebilir. Şlam boyuttaki malzemeler ise zenginleştirme akım şemasının bu bölümünde, tiklerde yoğunlaştırılıp birkaç kademe ile MGS'ye beslenebilir.

Hali hazırda tesise ek olarak kurulan yeni birim 3'lü seri Deister muadili sallantılı masalar yardımıyla %18-22 Cr_2O_3 tenör ve -500μ boyutlu besleme malından %40-42 Cr_2O_3 tenörlü konsantre elde edilebilmektedir. Bu konsantre, metalürjik özellikte olup, briket tesisinde işlenerek ferrokrom yapımında kullanılmaya uygundur.

MGS ile yapılan zenginleştirme çalışmalarında tambur dönüş hızı ve eğim açısının en etkili işletme parametreleri olduğu, yıkama suyu miktarı, besleme katı oranı, titreşim genliği ve frekans gibi değişkenlerin ise ayırmada daha az etkili oldukları tespit edilmiştir.

Sabit ve değişken parametrelere bağlı olarak yapılan MGS ön testleri sonucunda beklenen zenginleştirme oranına ulaşamamış, piyasada ekonomik değer taşıyabilecek bir ürün elde edilememiştir. MGS ile kromit cevherinin zenginleştirilmesinde verim ve tenör açısından belirlenen optimum işletme parametreleri; Katı Oranı = %15 (10 Lt Pülp için 1.690 gr. besleme malı), Besleme Hızı = 1 L/dk ve Yıkama Suyu Hızı = 3 L/dk sabit parametrelerine bağlı, tambur dönüş hızı 170 d/dk, tambur eğimi 3° , titreşim genliği 20 mm ve besleme tane boyutu ise $-100 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir.

Belirlenen optimum çalışma parametreleriyle yapılan ön zenginleştirme deneylerinde, %14,87 Cr_2O_3 içerikli besleme malından %23,50 Cr_2O_3 tenörlü

konsantre numunesi; 1,14 zenginleştirme oranı ve %94,30 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Elde edilen bu zenginleştirme oranı (%23,50 Cr_2O_3), piyasa şartları gereği satılabilir değer arz etmediğinden ve beklenen zenginleştirme oranı elde edilmediğinden, ikinci kez Dokuz Eylül Üniversitesi Cevher Zenginleştirme Laboratuvarları'nda tekrarlanan MGS zenginleştirme deneylerinde ise en iyi sonuç MGS 2 nolu deneyde elde edilmiştir. MGS deneylerinde 4⁰ tambur eğimi, 2,5 L/dk besleme hızı ve 5 L/dk yıkama suyu hızı parametreleri sabit tutulmuştur. 180 dev/dk tambur devrinde yapılan MGS 2 test sonucuna göre, %19,50 Cr_2O_3 içerikli besleme malından %35,04 Cr_2O_3 tenörlü konsantre; 2,01 zenginleştirme oranı ve %75,26 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Optimum değer çalışma parametreleriyle yapılan zenginleştirme işlemleri sonunda, %19,50 Cr_2O_3 içerikli besleme malından %35,04 Cr_2O_3 tenörlü nihai konsantre; 3,09 zenginleştirme oranı ve %58,18 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Yapılan MGS deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde, bu cevherin ince fraksiyonları için MGS'nin daha ideal bir zenginleştirme ekipmanı olacağı düşünülmektedir. Ancak konsantre tenörü göz önüne alınarak değerlendirildiğinde beklenen oranda zenginleştirmenin gerçekleşmemesi, önceki çalışmalarda yapılan literatür araştırmaları da göz önüne alınarak, cevherin yüksek oranda demir içeriğine sahip olması ve (-100 μm) yeterli serbestleşmenin olmaması sonuçlarına bağlanabilmektedir.

Temsili numunenin %8'i aşan Al_2O_3 içeriğinin, piyasada zenginleşmeye engel teşkil ettiği kanaati de böylece güçlenmektedir. Ayrıca cevherin içeriğinde bulunan gang minerallerinden olivinin yoğunluğunun yüksek olması da zenginleştirmeyi olumsuz yönde etkileyen bir parametre olarak düşünülmektedir.

Diğer yandan, cevher numunesini oluşturan bileşiklerden biri olan Magnesi Kromit $[(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4]$ içeriği ise refrakter özelliği nedeniyle piyasada ekonomik bir değer arz etmektedir.





KAYNAKLAR

- Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E., 2004a. Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator. SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266.
- _____, 2004b. Recovery of Gold From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Centrifugal Gravity Concentrators. 10. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 27-33.
- Arık, F., Daş, B., Öztürk, A., Altay, O., 2012. Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri. Selçuklu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Arıkal, R.T., Taşan, N., 1986. Guleman Krom Yatakları. Etikrom A.Ş. Yayını, 86/01, Elazığ, 98s.
- Aslan, N., Canbazoglu, M., 1995. İnce Boyutlu Krom Cevherlerinin Multi-Gravity Separatör İle Zenginleştirilmesinin Araştırılması. Türkiye 14. Madencilik Kongresi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Arslan, V., 1999. Toz Kömür Zenginleştirilmesindeki Yeni Gelişmeler. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Ed. Güven Önal ve Hayrünnisa Dinçer, Nisan, Ankara, 139-152.
- Atesok, G. ve Yamak, N., 1992. Zonguldak Merkez Lavvarı -0,5 mm Kömürünün Reichert Spirali ile Zenginleştirilmesi. Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 165-180.
- Ateşok, G., 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul.
- Aydın, M.E., Kahraman, F., 2001. Evalution Of Chromite Tailings Of Etibank – Kef Concentration Plant. IX. Balkan Mineral Processing Congress, Istanbul, Turkey.

- Aydın, M.E., Kasım 2001. Etibank Guleman Kef Konsantratör Tesisi Kromit Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi 106523, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Ağaçayak, T., 2004. Topraktepe (Yeşilıdağ-Beyşehir-Konya) Kromitlerinin Araştırma Yöntemlerinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 3 – 4.
- Baş, C., 2010. Cevap Yüzeyi Tasarımları ve Sınır Ağları Yaklaşımı. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayat, O., 2006. Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor). Çukurova Üniversitesi, Adana, 1 – 2.
- Bayat, O., Şubat 2007. Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, Adana, 12 – 13.
- Bingöl, A.F., 1986. New Findings on the Structural Setting of the Chromites in the Guleman Ophiolitic Massive (Eastern Taurus). The Journal of Fırat Uni., Science and Technology, Elazığ, 1, 37-46.
- Chan Billy, S. K., Mozley, R. H., Childs, G. J. C., Mart 1994. Çeviren; Yüce A.E., Multi Gravite Ayırıcı, Madencilik Dergisi, Cilt 34, Sayı 1, 33 – 41.
- Coleman, R.G., 1977. Ophiolites Ancient Oceanic Lithosphere Springer Verlag, New York, U.S.A.
- Çağatay, A., 1968. Şark Kromit Havzasında Yapılan Ekonomik Jeoloji Çalışmaları ve Heazlewooditli Kefdağ Kromitlerinin Mineralojik Etüdü. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, Ü., 1994. Batı Kef Krom Yatağı'nın (Guleman-Elazığ) Jeolojik Özellikleri. H.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Böl., Türkiye Jeoloji Bülteni, Ankara, C.37, Sayı 2, 15-29.
- Çetinkaya, F., 2004. Kavak-Krom Artıklarının Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

- Çiçek, T., Tanrıverdi, M., 2002. Cevher Hazırlama II, Cevher Zenginleştirmede Son Yıllarda Geliştirilmiş Gravite Cihazları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh.-Mim Fak., İzmir.
- Çiçek, T., Cöcen, İ., 6-8 Mayıs 2009. Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Zenginleştirilmesi. 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi - IMCET09, Antalya.
- Çilingir, Y., 1998. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh.-Mim Fak., MM/MAD-90 EY 198 İzmir, Cilt 1.
- Deniz, V., 1992. Burdur-Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Doğan, Z.M, 1969. Guleman Kefdağı Krom Cevherinin Konsantrasyonu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Doğan, Z.M, 1975. Olivinin Kromitten Flotasyonla Ayrışması. Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik 4. Kongresi, Ankara.
- Dursun, A., 2010. Batı Kef ve Doğu Kef (Guleman-Elazığ) Cevherleşmelerinin Mineralojik Olarak Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Engin, T., Balcı, M., Sümer, Y., Özkan, Y.Z., 1982. Guleman Elazığ Krom Yatakları ve Peridotit Birimi'nin Genel Jeoloji Konumu ve Yapısal Özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Maden Etüd Dairesi, Ankara.
- Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçlar. T.J.K. Bülteni, 25, 45-59.
- Eti Krom AŞ ve Ferrokrom Madenciligi, 2011. Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Falconer, A., 2003. Gravity Separation: Old Technique/New Methods. Physical Separation in Science and Engineering, Volume 12, No:1, pp. 31-48.

- Gence, N., 1985. Elazığ-Kefdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gence, N., Özdağ, H., 1986. Elazığ Kefdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, Eskişehir, Cilt:3, Sayı:1.
- Gence, N., 1990. Elazığ-Kefdağı Kromitlerinin Multi Gravite Separatör İle Zenginleştirilmesi. TÜBİTAK, Ankara.
- Gence, N., 2001. Kalsine Manyezit Cevherinin Sallantılı Masa ve Multi Gravity Separator İle Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Güney, A., 1990. Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- İpekoglu, Ü., Tanrıverdi, M., 2002. Cevher Hazırlama. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 238, Genişletilmiş 4. Baskı, İzmir.
- Kahraman, F., 2012. Cevher Zenginleştirme. <http://madenmuhendis.blogspot.com/p/cevher-zenginlestirme.html>.
- Karadeniz, M., 1996. Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları, Çevreye Etkileri, Önlemler. İstanbul Ofset Basım Yayınevi, İstanbul, 39 – 90.
- Kemal, M., Arslan, V., 2000. Farklı Kül Oranlarındaki Kömürlerin Yıkabilme Özelliğinin Tespitinde M-CM Yönteminin Kullanımı. Madencilik Bülteni, Cilt 45, Sayı 2, Sayfa 17-25.
- Kıdıman, F.B., 2009. Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kırıkoğlu, M.S., 1992. Maden Yatakları. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Krom Raporu, 2010. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Maden Etüd Dairesi, Ankara.
- Kromit Zenginleştirme Tesisi Fizibilite Raporu, 2011. Fırat Kalkınma Ajansı, Elazığ Ticaret ve Sanayi Odası, Elazığ.

- Knelson, B. ve Jones, R., 1993. A New Generation of Knelson Concetrators a Totally Secure System Goes on Line. Mineral Engineering, 7, 201-207.
- Kurşun, H., 1993. Karanlıkdere Düşük Tenörlü Kromit Cevherinin Optimum Zenginleştirme Koşullarının Araştırılması Çalışmaları. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 55.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001. Metal Madenler Alt Komisyonu, Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Ankara, DPT: 2626 - ÖİK: 637, 1 – 8, 11 – 14.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Mart 2006. Dokuzuncu 5 Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013), DPT Müsteşarlığı, Ankara.
- Maden Terimleri Sözlüğü, 2012. www.cevherhazirlama.com
- Oruç, F., 2006. Kil İçerikli Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarından Temiz Kömür Üretimi ve Atık Kilin Tuğla Üretiminde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri, Maden Mühendisliği ABD, Afyon.
- Outokumpu Technology, Physical Separation Solutions.
- Önal, G., Gürkan, V., Acarkan, N., 1994. Krom Zenginleştirme Tesisleri Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma İle Değerlendirilmesi, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Önal, G., 1985. Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Önal, G., 1988. Türkiye’de Krom Madenciliği. İstanbul.
- Önal, G., Güney, A., 1988. Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. Özgün Ofset Matbaacılık.
- Özdağ, H., 1993. Cevher Hazırlama 1, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir, 151.
- Özdağ, H., Uçbaş, Y., & Koca, S., 1993. Enrichment of Chromite Ore by Means of Multi-Gravity Separator. Geosound, 167-176.

- Özdağ, H., 2001. Cevher Hazırlama Ders Notları. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Özgen, S., 2009. Process Development Studies on Recovery of Clean Coal From Ultra Fine Hardcoal Tailings Using Enhanced Gravity Separator. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri, Maden Mühendisliği ABD, Afyon.
- Özkan, Ş.G., 2012. Cevher Hazırlamanın Temel Prensipleri. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Özkan, Y.Z., 1982. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeoloji ve Petrolojisi. Yerbilimleri Dergisi, 3-4/ 6, 33-39.
- Özkan, Y.Z., 1984. Guleman Ofiyolitinde Metamorfizma Etkileri. MTA Dergisi, 47-57.
- Özsoy, S., 2001. Ayıpınarı (Guleman-Elazığ) Krom Cevherleşmesinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 51s (yayınlanmamış).
- Perinçek, D., 1979. The Geology of Hazro-Korudag-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Region. Guide Book, T.J.K., Ankara.
- Sabah, E., Cengiz, İ., 2006. Cevher Hazırlama I (Laboratuvar Deney Föyleri). Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Afyonkarahisar, 37 sayfa Baskıda).
- Samanlı, A., 1998. Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 63.
- Sarıçimen, H., 1975. Krom Cevherlerinin Sanayiideki Yeri. Fethiye, Muğla.
- Şatır, M., 1996. Etibank-Elazığ (Guleman) Şark Kromları İşletmesi Kef Konsantratörünün İyileştirme Çalışmaları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Taggart, A.F., 1951. Elements of Ore Dressing John Wiley and Sons., Inc. New York, 44 – 48.

- Tahtakıran, E., 2008a. Krom Cevheri, Ferrokrom Ve Paslanmaz Çelik ile İlgili İstatistiksel Bilgiler Ve Yorumlar. Mühendisler ve Mimarlar Odası, Maden Mühendisleri Odası Web Sayfası, www.maden.org.tr.
- _____, 2008b. Ülkemiz Krom Cevherlerinin Metalürjik Özellikleri, Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Tanrıverdi, M., 2002. Cevher Hazırlama. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Tanrıverdi, M., Çiçek, T., 2014. Cevher Zenginleştirmede Son Yıllarda Geliştirilmiş Gravite Cihazları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Tolun, R., 1960. Minerallerin Ayrılma Prensipleri ve Maden Sanayiindeki Tatbikatı. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1.
- Trawinski, H., 1977. Hidrosiklonların Teorisi, Uygulama Alanları, Ayrım Sınırına Etki Eden Faktörler ve Çalışma Prensipleri. Türkçe Çeviri (Rahman Turgut Arık), TMMOB Madencilik, Ocak, Cilt XVI, Sayı 1, 1-16.
- Turgut, B., 1995. Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 64.
- Üşümezsoy, Ş., 1986. Kefdağ ve Soridağ (Guleman) Kromit Kütlelerinin Oluşumu Üzerine Yeni Bir Yaklaşım. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, İstanbul, Sayı 29, 47-60.
- Yamık, A., Çilingir, Y., 1990. Fethiye Yöresinden Alınan Örnek Kromit Cevherinin Sallantılı Masa ve Manyetik Separatörle Laboratuvar Çapta Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Isparta Müh. Fak. Dergisi, Sayı:5.
- Yıldırım, İ., Ateşok, G., Çelik, M., 1995. Laboratuvar-Pilot Tip Multi Gravite Cihazı İle Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi. Türkiye 14. Madencilik Kongresi, ISBN 975-395-150-7, 443 – 448.

- Yıldırım, Ç., 2009. Çorum Yöresi Düşük Tenörlü Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Yüce, A.E., Güney, A., Önal, G., Mayıs 2005. Üçköprü Krom Artıklarından Geri Kazanım ve Atık Alanının Rehabilitasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Zedef, V., 1995. Maden Yatakları Ders Notları. Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya.
- <https://www.gemsa-magnet.com> (Erişim Tarihi: 24.06.2019)
- <https://www.haritaburada.com> (Erişim Tarihi: 25.06.2019)
- <http://madenmuhendis.blogspot.com/> (Erişim Tarihi: 26.06.2019)
- <https://www.triflo.com> (Erişim Tarihi: 26.06.2019)
- <https://www.google.com.tr/maps/> (Erişim Tarihi: 27.07.2019)
- <https://www.alsermaden.com/> (Erişim Tarihi: 02.08.2019)

ÖZGEÇMİŞ

27.07.1981 tarihinde Varto'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Varto'da, lise eğitimini ise Mersin Mezitli Lisesi'nde tamamladı. 1999 yılında İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'ne birincilikle yerleşti. 2004 yılında buradan mezun olarak çalışma hayatına atıldı ve 2007 yılında Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Rafineri-Petrokimya Bölümü'nü 2. üniversite olarak kazandı.

2014 yılında üniversite sıralarına dönmek üzere sınava girdi ve 3. üniversite olarak Dicle Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji Bölümü'nü birincilikle kazanıp kayıt yaptırdı. Burada yaklaşık bir sene eğitime devam edip örgün öğretime düzenli devam edemediği için okuldan ayrılmak zorunda kaldı.

2015 yılında yeniden sınava girdi ve 4. üniversite olarak Fırat Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Gazetecilik Bölümü'nü birincilikle kazanıp 2019 yılında birincilikle de mezun olurken, gazetecilik eğitiminin yanısıra Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Tezsiz Yüksek Lisansı'nı da derece ile bitirdi.

14 yıldır devam ettiği yeraltı maden mühendisliği, daimi nezaretçi, iş güvenliği uzmanlığı ve şantiye şefliği görevlerinin yanında yeni bir şeyler öğrenmek adına okumaktan imtina etmeyen Yavaş, ekonomi, felsefe alanları ile yarım bıraktığı sosyoloji eğitimini tamamlamakla da eğitim ve öğrenim hayatını taçlandırmayı planlamaktadır. Hali hazırda yeraltı maden işletmesi şantiye şefliği görevine devam etmektedir.



EKLER



EK 1.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Proseslerinin Sınıflandırması (Bayat, 2007)

A. Boyut Küçültme ve Serbestleştir-me	1. Kırma		
	2. Öğütme		
B. Zenginleştir-me	1. Ayıklama		
	2. Özgül ağırlık farkı (gravite) ile zenginleştirme yapan prosesler	(a) Yüzdürme - Batırma	(i) Ağır sıvı ayırımı (ii) Ağır ortam ayırımı
		(b) Su ile zenginleştirme prosesleri	(i) Jig (ii) Masa (iii) Koni (iv) Sınıflandırıcılar 1- Hidrolik 2- Mekanik 3- Siklon
		(c) Hava ile zenginleştirme prosesleri	(i) Masa (ii) Elutriatör (iii) Siklon
	3. Manyetik Ayırma	(a) Kuru	(i) Düşük alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli
		(b) Yaş	(i) Alçak alan şiddetli (ii) Yüksek alan şiddetli (iii) Yüksek dönüşümlü şiddetli
	4. Elektrostatik Ayırma		
	5. Flotasyon		
	6. Seçimli Flokülasyon (Salkımlaştırma)		
	7. Amalgamasyon		

	8. Pirometalürji	(a) Kavurma (b) Klorürleme (c) Kalsinasyon
	9. Hidrometalürji	(a) Liç (b) Çökeltme (c) İyon değişimi (d) Sıvı - sıvı ayırımı
C. Yardımcı İşlemler	1. Sınıflama	(a) Eleme (b) Klasifikasyon
	2. Katı - Sıvı Ayırımı	(a) Şlam atımı (b) Sedimentasyon (c) Santrifüj (d) Filtrasyon (e) Kurutma
	3. Dağıtma	
	4. Karıştırma	
	5. Numune alma	
	6. Malzeme işleme	
	7. Otomatik kontrol	
	8. Aglomerasyon	(a) Sinterleme (b) Peletleme (c) Klinkerleme (d) Yumrulaştırma (e) Sertleştirme-katılaştırma

EK 2.1. Guleman Krom Yataklarının Bazı Özelliklerinin Karşılaştırılması (Engin ve diğ., 1982)

	Hakim Yan Kayaç Tipi	Serpantinleşme	Kütle Tipi ve Sayısı	Krom Kütlelerinin Boyutu	Tenör % Cr_2O_3	Krom Kütlelerinin Konumu	Kimyasal Bileşim Türü	İşletme Yöntemi	Yapısal Durum
Pütyan Krom Yatağı	Serpantinit	İkisel kayacın türü tanınmayacak kadar ileri	Birbirinden bağımsız kütleler 15 zühur var	Ortalama 7,5m x 1,5m x 2,5m	Ortalama %45	D-B Doğrul-tulu			
Rut-Lasir-Ayıpınarı Krom Yatağı	Harzburjit hakim, az dünit	Az	Mercek Şekli kütleler	Ortalama 20m x 1,5m x 7m	Masif nodüllü, saçılmış cevher, %3 7,46-54,43	K-G Uzanımlı 35-40° batıya eğimli	Metallurjik	Açık ve kapalı	K-G doğrultulu 35-40° ile batıya eğimli iç yapı düzeni var, kromitlerde yapraklanma gözlenir
Şabata Krom Yatağı	Harzburjit hakim olup birleşmiştir. az oranda Dünit var	Çok az. Fay zonların da gözlenebilir	8 tane kadar krom merceği	En çok boyu 30m, kalınlığı 2,5m	Masif yer yer nodüllü cevher. %26,65-50,64	KB-GD uzanımlı, 60° GB'ya eğimli	Metallurjik	Kapalı	Bantlanmalar KB-GD ve GB'ya eğimli
Kapın Krom Yatağı	Harzburjit	Harzburjitler ileri derecede serpantinleşmiş ve breşleşmiş	Büyük küçüklü 30 zühur. Belirgin üç sıra halinde bulunur.	En çok 15m uzunluk, 4m genişlik	Masif ve kırılğan cevher, %41,38-51,65	KB-GD uzanımlı, 60° ile GB'ya eğimli	En alt kotdaki zon refrakter	Açık	Yapraklanma KD-GB 40-70° ile GD'ya eğimli
Doğu Kef Krom Yatağı	Harzburjit ve dünit	İleri derecede, fay zonlarında nisbeten daha çok	Büyük küçüklü 60 zühur. 8'i dünit, gerisi harzburjit içinde	Yüzeyde izlenen krom merceklerinde en çok 35m uzunluk, 4,5m kalınlık	Masif ve çok breşik, %38,30-43,98	D-B 80-85°G		Kapalı	
Batı Kef Krom Yatağı	Harzburjit yer yer dünit	Az fay zonlarında lokal olarak gözlenir.		Mostrada en çok 50m genişlik, yer altında en çok 45m kalınlık.	Saçınımlı bazen masif, ortalama %30,06-en az %13 en çok %37	D-B 80-85°G		Açık ve Kapalı işletme	Yan kayaçlar bazı küçük yirtılmalar hariç tümüyle ikisel sınırlı. K55°D/76°B konumlu Kef oblik ters fayı krom kütlelerini iki ana kısma ayırır.

EK 2.2. Batı Kef ve Doğu Kef Kromit Cevherleşmelerinin Bazı Özelliklerinin Karşılaştırılması (Engin ve diğ., 1982)

		BATI KEF BÖLGESİ	DOĞU KEF BÖLGESİ
Yan Kayacın Minerolojisi ve Petrografisi	Yankayacın Türü	Taban taşı Harzburjit Tavan taşı dünit	Harzburjit
	Görülen Mineraller	Olivin, Ortoproksen	Olivin, Ortoproksen
	Serpantinleşme Durumu	Serpantinleşme az fay zonlarında daha fazla	Serpantinleşme az fay zonlarında daha fazla
	Dokusal Özellikleri	Olivinlerde deformasyon izini gösteren kink bantlar görülmektedir. Kristal taneleri özşekilsiz ve çatlaklı haldedir	
	Metamorfizması Derecesi	Düşük sıcaklık yüksek basınç koşullarında metamorfizma gelişmiştir. Mineral yapılarına bol oranda H ₂ O ve CO ₂ girişi olmuştur	
Cevherin Konumu ve İçeriği	Cevher Kütlesinin Boyutu ve Şekli	Kef Bölgesi kromit kalınlığı en çok 50 m uzunluğu yaklaşık 1000 m Doğu ve Batı Kef olmak üzere ikiye ayrılmıştır	
	Cevherin Doğrultu ve Eğimi	D-B doğrultulu 80-85° ile G'ye eğimlidir	D-B doğrultulu 80-85° ile G'ye eğimlidir
	Cevher Tenörü	%42,37-%24,25 Cr ₂ O ₃	%48,73-%33,78Cr ₂ O ₃
Cevherin Minerolojisi	Cevher Mineralleri	Kromit çok az oranda Nikel mineralleri (Pentlandit-Millerit)	Kromit çok az oranda Nikel mineralleri (Pentlandit-Millerit)
	İkincil Mineraller	Oksit mineralleri olarak Hematit	Oksit mineralleri olarak Hematit
	Cevherin Makro Dokusu	Masif - Saçınımlı kromit	Masif kromit
	Cevherin Mikro Dokusu	Çatlamış ufalanmış krom taneleri var. Kataklastik ve çek-ayır doku baskın olarak görülür	

Cevherin Kimyası			
	Cr ₂ O ₃ İçeriği	%42,37 - 24,25	%48,73 - 33,78
	Al ₂ O ₃ İçeriği	%13,22 - 9,48	%19,33 - 13,37
	Fe ₂ O ₃ İçeriği	%16,39 - 13,42	%15,79 -13,75
	Cr/Fe Oranı	Ortalama 1,99	Ortalama 1,69
	Cr/Al Oranı	Ortalama 3,72	Ortalama 3,38
	Kromitin Sınıflandırılması	Alpin Tipi	Alpin Tipi
	Kromitin İsimlendirilmesi	ferri kromit, ferrikrom pikotit, ferriyalümkromit subferriyalümkromit,	ferri kromit, ferrikrom pikotit, ferriyalümkromit subferriyalümkromit,
Yapısal Durum	Bölgesel Tektonizma	K-G yönünde sıkıştırma gerilmesi etkili olmuştur. Bindirmeler ve tektonik sınırlar çoktur	
	Önemli Fay ve Konumu	KOT (Kef Oblik Ters FaY) KD -GB doğrultulu bu fay 150 m atımı vardır	
	Tektonizma Derecesi	Makro ve mikro ölçekte çok fazla tektonizma söz konusudur	
İşletme Durumu	İşletme Yöntemi	Yer altı ve Açık İşletme	Yer altı İşletmaciliği
	Bugünkü İşletme Durumu	Üretim çalışmaları devam ediyor	Üretim çalışmaları devam ediyor

EK 6.1. Afyon Kocatepe Üniversitesi Cevher Zenginleştirme Laboratuvarlarında Yapılan Deneysel Çalışmalara Ait Görüntüler (2015)



EK 6.2. Afyon Kocatepe Üniversitesi Cevher Zenginleştirme Laboratuvarlarında Yapılan Deneysel Çalışmalara Ait Görüntüler (2015)

