

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEĞRE (DOĞANŞEHİR - MALATYA) DEMİR CEVHERİNİN
ZENGİNLEŞTİRME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Tekin KARAAĞAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

HAZİRAN 2019

Tezin Başlığı :Beğre (Doğanşehir-Malatya) Demir Cevherinin
Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması
Tezi Hazırlayan : Tekin KARAAĞAÇ
Sınav Tarihi : 12.06.2019

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

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hikmet SİS**
İnönü Üniversitesi

Eş Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BİRİNCİ**
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Erol KAYA
Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘Beğre (Doğanşehir-Malatya) Demir Cevherinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynaklar bölümünde yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.



Tekin KARAAĞAÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BEĞRE (DOĞANŞEHİR-MALATYA) DEMİR CEVHERİNİN ZENGINLEŞTİRME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Tekin KARAAĞAÇ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

x + 80 sayfa
2019

Danışman: Prof. Dr. Hikmet SİS

Bu çalışmada, Beğre (Doğanşehir-Malatya) yöresinden alınan düşük tenörlü demir cevherinin zenginleştirme olanakları araştırılmıştır. Cevherin %27,43 Fe tenörüne sahip olduğu ve sınır değerlerin üzerinde safsızlık içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bölgedeki demir cevherlerinin tüvenan haliyle doğrudan doğruya demir-çelik endüstrisinde kullanımının mümkün olmadığı ve bu nedenle zenginleştirme işleminin gerekli olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla farklı tane boylarına indirgenmiş tüvenan cevher örnekleri gravimetrik ve manyetik ayırma yöntemleriyle zenginleştirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan zenginleştirme işlemleri sonucunda, gravimetrik ayırmaya kıyasla manyetik ayırma ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Manyetik ayırma deneyleri sonucunda %65,66 Fe tenörlü bir demir konsantresi %78,11 verimle elde edilmiştir. Ayrıca SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O gibi safsızlıklar makul seviyeye indirilebilmiştir. Sonuçta, düşük tenörlü Beğre (Doğanşehir) yöresi demir cevherinin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesiyle demir-çelik endüstrisinde kullanılabilir özellikte bir demir konsantresi elde edilmiştir ve benzer yapıdaki diğer demir cevherleri için de manyetik ayırmanın mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Beğre (Doğanşehir), manyetit cevheri, manyetik ayırma, gravite ayırma

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION ON BENEFICIATION OF IRON ORE FROM BEĞRE (DOĞANŞEHİR-MALATYA)

Tekin KARAAĞAÇ

Inonu University
Graduate School of Naturel and Applied Science
Department of Mining Engineering

x + 80 pages
2019

Supervisor: Prof. Dr. Hikmet SİS

In this study, enrichment possibility of iron ores from Begre (Doğanşehir, Malatya) region was investigated. It was determined that the raw iron ore, with 27.43 % Fe grade, contains high amounts of impurities. It was also determined that the raw ore in the region cannot be used directly in iron-steel plants and needs to be concentrated before using. For this purpose, the sampled raw ore was classified at different sizes and then subjected to different gravimetric and magnetic concentration methods.

The concentration results showed that magnetic separation methods yielded comparably better results than gravimetric methods. An ore concentrate with 65.66 % Fe grade could be obtained with 78.11 % recovery by magnetic separation. Additionally, the impurities, like SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , could be reduced to a reasonable level in the concentrate. Finally, it was concluded that a concentrate meeting iron-steel plant specification could be obtained from this low grade iron ore by magnetic separation and the suggested separation method could be applied to similar ores in the region.

KEY WORDS: Beğre (Doğanşehir), magnetite ore, magnetic separation, gravity separation

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın seçiminde, planlanmasında ve yürütülmesinde öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren, değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hikmet SİS' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarım ve tez yazım aşamasında bilgi ve birikimleriyle bana yardım eden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BİRİNCİ hocama teşekkür ederim. Laboratuvar kullanımında tüm imkanlarını sağlayan Sayın Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU hocama teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca ve tüm tez aşamalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım İbrahim HARİR, Tufan KIYAK, Cumali FIRAT ve Arş Grv. Engin ÖZDEMİR' e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, FYL-2017-857 no' lu proje ile maddi olarak destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tüm bu süreçte benden desteği esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Çalışmam boyunca benden desteği esirgemeyen, en sıkıntılı zamanlarımda bana destek olan ve tüm süreç boyunca sonuna kadar yanımda olan sevgili nişanlım Esin KARAKUŞ' a sonsuz sevgi ve içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Demir Cevherlerinin Sınıflandırılması ve Başlıca Demir Mineraller ..	2
2.2. Demir Cevherlerin Oluşumu, Yatak Tipleri ve Rezervleri.....	5
2.3. Demir Cevherinde Aranan Özellikler	11
2.4. Demir Cevherinde Bulunan Başka Safsızlıklar ve Etkileri	13
2.5. Demir Cevheri Zenginleştirme Yöntemleri	15
2.5.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme	17
2.5.2. Yapısal özellik farklarına dayalı demir cevheri zenginleştirme	17
2.5.3. Gravite ayırma ile zenginleştirme	18
2.5.3.1. Sallantılı masa ile zenginleştirme	18
2.5.3.2. Humphrey spirali ile zenginleştirme	20
2.5.3.3. Falcon Konsantratörü ile Zenginleştirme	21
2.5.4. Manyetik ayırma ile zenginleştirme	22
2.5.5. Flotasyonla demir cevheri zenginleştirilmesi	24
2.6. Demir Cevherinin Zenginleştirilmesine Yönelik Literatür Özeti.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal.....	29
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Cevherin hazırlanması	31
3.2.2. Kullanılan cihazlar	34
3.2.3. Demir analiz yöntemi	36
3.2.4. Metalurjik denge tablosu hesap yöntemi	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	41
4.1. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme Deneyleri.....	41
4.1.1. Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyler	41
4.1.2. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri.	45
4.2. Aşındırma Yıkama + D. A. Ş. Yaş Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme Deneyleri	52
4.3. Sallantılı Masa ile Zenginleştirme Deneyleri	55
4.4. Humphrey Spirali ile Zenginleştirme Deneyleri	61
4.5. Falcon Konsantratörü ile Zenginleştirme Deneyleri	66
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	71
5.1. Sonuçlar	71
5.2. Öneriler.....	72
6. KAYNAKLAR	73
EKLER	76
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Önemli demir mineralleri	4
Şekil 2.2.	Türkiye demir yataklarının dağılım haritası	9
Şekil 2.3.	Falcon konsantratörü çalışma prensibi	22
Şekil 3.1.	Beğre köyünde bulunan manyetit ocağının yer bulduru haritası...	29
Şekil 3.2.	Tüvenan cevherin XRD grafiği	30
Şekil 3.3.	Cevher hazırlama aşamaları	32
Şekil 3.4.	Deneysel çalışma genel akım şeması	33
Şekil 3.5.	D.A.Ş. kuru manyetik ayırma cihazı	35
Şekil 3.6.	Aşındırmalı yıkama düzeneği	35
Şekil 3.7.	Zenginleştirme deneylerinde kullanılan laboratuvar ölçekli sallantılı masa	35
Şekil 3.8.	Demir analizi akım şeması	38
Şekil 4.1.	Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -2,36 mm) .	42
Şekil 4.2.	Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -850 µm) ...	43
Şekil 4.3.	Kuru manyetik ayırma ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi	44
Şekil 4.4.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -850 µm)	46
Şekil 4.5.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -500 µm)	47
Şekil 4.6.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -300 µm)	48
Şekil 4.7.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -150 µm)	49
Şekil 4.8.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -106 µm)	50
Şekil 4.9.	Yaş manyetik ayırma ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi	51
Şekil 4.10.	Aşındırmalı yıkama akım şeması	52
Şekil 4.11.	Aşındırmalı yıkama ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi	55
Şekil 4.12.	Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -150µm)	56
Şekil 4.13.	Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -106µm).....	57
Şekil 4.14.	Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -150 +75 µm).....	58
Şekil 4.15.	Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -75 µm).....	59
Şekil 4.16.	Sallantılı masa ile elde edilen ürünlerin tenör-verim değişimi	60
Şekil 4.17.	Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -150µm)	62
Şekil 4.18.	Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -106µm).....	63

Şekil 4.19.	Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu $-75\mu\text{m}$).....	64
Şekil 4.20.	Humphrey spirali ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi.....	65
Şekil 4.21.	Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu $-150 +106\mu\text{m}$).....	67
Şekil 4.22.	Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu $-106 +53\mu\text{m}$)	68
Şekil 4.23.	Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu $-53 \mu\text{m}$)	69
Şekil 4.24.	Falcon konsantratörü konsantrelerin %Fe tenör grafiği	70



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Önemli demir mineralleri ve bazı özellikleri	3
Çizelge 2.2.	Dünya demir üretimi ve rezervi (milyon ton)	8
Çizelge 2.3.	Türkiye’de bulunan sorunlu demir cevherleri yatakları.....	10
Çizelge 2.4.	Yurtiçi demir cevheri spesifikasyonları	12
Çizelge 3.1.	Tüvenan cevherlerin kimyasal analiz sonuçları	30
Çizelge 3.2.	Elek Analizi Verileri	32
Çizelge 3.3.	Kullanılan cihazlar	34
Çizelge 3.4.	Demir analizi karşılaştırmaları.....	39
Çizelge 3.5.	Metalurjik kütle denkliği tablosu	40
Çizelge 4.1.	Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -2,36 mm).....	42
Çizelge 4.2.	Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -850 µm)	44
Çizelge 4.3.	D.a.ş. Kuru+yaş manyetik ayırma kimyasal analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.4.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -850 µm)	46
Çizelge 4.5.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -500 µm)	47
Çizelge 4.6.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -300 µm)	48
Çizelge 4.7.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -150 µm)	49
Çizelge 4.8.	Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -106 µm)	50
Çizelge 4.9.	D.a.ş. yaş manyetik ayırma sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları	51
Çizelge 4.10.	Aşındırmalı yıkama sonucu verileri	53
Çizelge 4.11.	Aşındırmalı yıkama işleminden geçirilmiş cevherin düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme sonuçları.....	54
Çizelge 4.12.	Aşındırmalı yıkama ürünlerin düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma sonucu kimyasal analiz sonuçları	54
Çizelge 4.13.	Sallantılı masa ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu	60
Çizelge 4.14.	Sallantılı masa ile zenginleştirme sonucu ürünlerin analiz sonuçları	61
Çizelge 4.15.	Humphrey Spirali ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu	65
Çizelge 4.16.	Humphrey spirali ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları	66
Çizelge 4.17.	Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -150µm +106µm)	67
Çizelge 4.18.	Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -106µm +53µm)	68
Çizelge 4.19.	Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -53µm µm)	69
Çizelge 4.20.	Falcon konsantratörü ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
μm	Mikrometre
Al	Alüminyum
Al_2O_3	Alüminyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
cm	Santimetre
Cr	Krom
D	Doğu
dv.	Devir
dk.	Dakika
Fe	Demir
Fe_2O_3	Demir (III) Oksit
FeO	Demir oksit
G	Merkezkaç kuvveti
K_2O	Potasyum oksit
kg	Kilogram
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
°	Derece
°C	Derece Celcius
P	Fosfor
K_2O	Potasyum oksit
S	Sülfür
SiO_2	Silisyum dioksit
XRD	X ışınları difraktometresi
D.A.Ş.	Düşük alan şiddetli

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmenin en önemli ve vazgeçilmez kollarından birisi maden sektörüdür. Bir ülkede bulunan maden potansiyeli ve rezervi bölgenin gelecekte kalkınmasına olanak sağlamakla beraber, uygulanacak olan çeşitli madencilik politikaları açısından da önemlidir.

Yer kabuğunda bolca bulunan demir cevheri insanlık tarihi boyunca çokça kullanılan bir metal olmakla kalmayıp ve aynı zamanda insanlık tarihinde önemli birçok yere sahiptir. Gelişen teknoloji ve sanayileşmede demir çelik endüstrisi önemli ve büyük bir yere sahiptir. Çeliğin hammaddesi olan demir, kullanım alanları olarak endüstriyel açıdan da oldukça önemlidir.

Dünyada elli kadar ülkede demir cevheri üretilmektedir. Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve Rusya dünya demir cevheri üretiminin yaklaşık %80'ini gerçekleştirmektedir. Büyük demir rezervlerinin yanı sıra, ülkemizde ve diğer ülkelerde değişik tenör ve mineralojik yapıda demir rezervleri bulunmaktadır.

Dünya demir cevheri üretimi, arz ve talebi, ülkelerin kalkınmışlık ve sanayileşme düzeyleri ile ülkeler arasındaki ilişkilere göre değişim gösteren çelik arz ve talebi ile doğrudan ilişkilidir. Demir-çelik sektörü, Türkiye ekonomisinde ve sanayisinde lokomotif sektör olma özelliğine sahiptir.

Malatya ili Doğanşehir ilçesinde rezervi tam olarak tespit edilmemiş birçok demir yatağının ve oluşumunun olduğu bilinmektedir. Ancak düşük demir ve yüksek safsızlık içeriğinden dolayı bu yatakların çok az bir kısmı ekonomik olarak değerlendirilebilecek durumdadır. Bu grupta yer alan Beğre yöresi manyetit cevherleri dönem dönem işletilmekte; bununla birlikte nispeten düşük kaliteli bir yatak olması nedeniyle zenginleştirme olanakları son yıllarda gündemde olan bir konudur.

Bu çalışmanın amacı Beğre yöresindeki düşük tenörlü demir cevherinin zenginleştirilerek demir-çelik endüstrisinin istediği özelliklerde bir manyetit konsantresi elde etmektir. Tez kapsamında cevher karakterizasyonu çalışmaları, gravimetrik ayırma ile zenginleştirme, manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Demir Cevherlerinin Sınıflandırılması ve Başlıca Demir Mineraller

Demir doğada oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra en yaygın dördüncü element olarak bulunmaktadır ve yaklaşık olarak yer kabuğunun % 5 ini oluşturur. 300 ün üzerinde çeşitli minerali bulunmaktadır fakat ekonomik açıdan demir cevheri olarak değerlendirilebilenlerin sayısı bu sayıdan çok daha azdır. Ekonomik demir minerallerine ait bazı özellikler Çizelge 2.1 de verilmiştir [1].

Demir, doğada elementer olarak sadece sideritlerin ve eser olarak diğer kondritlerin yapısında bulunur. Demirin elementer hali kimyasal olarak çok reaktiftir ve hızla nemli havada ve yüksek sıcaklıklarda korozyona uğrar. Demirin Fe^{2+} ve Fe^{3+} olmak üzere iki farklı iyonu vardır. Fe^{2+} derin ortam koşullarında, Fe^{3+} ise yüzey ortam koşullarında oluşan minerallerin yapısında bulunurlar [2].

Demir üretiminde en önemli olan demir mineralleri Şekil 2.1 de görüldüğü gibi hematit, manyetit, siderit ve limonittir [3]. Hematitin çok az su içeren türleri hidrohematit olarak adlandırılmaktadır. İlmenit, götit, manyetit ve burnotit gibi minerallerden özellikle kiraz kırmızısı rengi, yüksek sertliği ve manyetik özelliği olmayışı ile ayrılır. Ekonomik öneme sahip hematit yataklarının çoğunluğu sedimanter yataklarda metasomatik oluşumlarla ilişkilidir [4].

Kimyasal bileşimi yaklaşık %72 Fe ve %28 O_2 olan manyetit ise, benzeri olan götit, kromit gibi minerallerden kuvvetli manyetik özelliğiyle ayrılır. 580 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda manyetik özelliği kaybolur [5,6].

Bileşiminde yaklaşık olarak % 63 Fe, % 27 O_2 ve % 10 H_2O olan götit kristal yapısında %5'e kadar manganez demirin yerine geçebilir. Masif türleri çoğu kez adsorbe ya da kapiler su içerir ve zorlukla ergir. İndirgen alevde manyetik özellik kazanır. Kendine has olan dilinimi, ışınsal büyümesi ve diğer kristallenme biçimleriyle limonitten ayırt edilir. Götite yatakları Türkiye'de Malatya, Sivas ve Kayseri bölgesinde bulunmaktadır [2,6].

Çizelge 2.1. Önemli demir mineralleri ve bazı özellikleri [7]

Özellikler	Hematit	Manyetit	Limonit	Siderit
Kimyasal Bileşimi	Fe_2O_3	Fe_3O_4	$\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	FeCO_3
Kristal Biçimi	Levhamsı kristaller, rombohedral, piramidal	Oktaedral kristalli	Masif	Çoğunlukla rombohedral kristalli; levhamsı, prizmatik, masif; orta-ince taneli
İkizlenme	Penetrasyon ikizi tipiktir	(111) yüzeyinde olağan	Yok	{10-11} mükemmel
Sertlik	5-6	5,5 – 6,5	4-5,5	3,5 - 4
Yoğunluk	5,26 g/cm ³	5,175 g/cm ³	2,9-4,3 g/cm ³	3,96 g/cm ³
Renk ve Şeffaflık	Çelik grisi-siyah, opak	Demir siyahı, grimsi silah; opak	Sarı, turuncu, kırmızımsı, kahverengi	Soluk sarımsı, sarımsı gri, soluk yeşil, gri, kül grisi,
Çizgi Rengi	Kırmızı - kırmızımsı kahverengi	Siyah	Sarı	Beyaz
Parlaklık	Metalik	Metalik	Toprağımsı Mat	Camsı
Ayrıcı Özellikleri	Kırmızı çizgi rengi ve sertliği	Kuvvetli manyetiklik (mıknatıs) özelliği	Kristal şeklinin olmayışı, diliminin olmayışı, çizgi rengi	Rengi ve özgül ağırlığının yüksek olması nedeniyle kalsit ve dolomitte ayrılır.
Bulunuşu	Hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda akseuar minerali olarak bulunabilir. Volkanik kayalarda, birçok metamorfik kayada	Sülfür yataklarında, metamorfik kayalarda, pegmatitlerde ve değişik magmatik kayalarda oluşabilen bir demir mineralidir.	Demir içeren yatakların oksidasyon zonlarında bulunan yaygın bir mineraldir.	Masif siderit, tabakalı sedimanter yataklarda, özellikle çamurtaşı ve marnlarda bulunur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.1. Önemli demir mineralleri: [7]

(a) Hematit

(b) Manyetit

(c) Limonit

2.2. Demir cevherlerin oluşumu, yatak tipleri ve rezervleri

Demir cevherleri; magmatik ortamın erken kristalizasyonu, artık kristalizasyon, hidrometazomatik, hidrotermal safhalarında ayrıca tortul ortamda (denizsel tortul, karasal tortul), metamorfik ortamda çok çeşitli oluşum şekilleriyle meydana gelmektedir [8]. Çeşitli ortam şartlarında oluşan demir cevherlerinde bazı önemli büyük farklılıklar görülmektedir Bunlar;

- Ana element olan demir minerallerindeki farklılıklar,
- Faydalı elementler ve türleri,
- Zararlı-İstenmeyen elementler ve türleri,
- Yan kayaç ve yan kayacın özellikleri ile serbestlik tane iriliği.

Türkiye demir cevherleri açısından çok fazla yataklara sahiptir. Özellikle Malatya ili Hekimhan ilçesi demir yatakları bakımından çok zengindir. Tezin çalışma konusu olan manyetit cevheri Doğanşehir ilçesi Beğre yöresinin yatakları skarn tipi yataklardır.

Yurdumuzda, yapılmış çalışmalar sonucu tespit edilmiş olan ve bulunan jeolojik demir yatağı tipleri ve bu tip yataklara uygun olan demir yataklarımıza ait bilgiler aşağıda belirtilen konu başlıkları altında kısaca verilmiştir.

Metamorfik Demir Yatakları: Fakir, primer demir yataklarının yoğun metamorfizması sonucu oluşan bu yatakların kalınlıkları birkaç metreden 50 metreye kadar çıkabilmektedir ve bir yatakta birden fazla cevherleşme tabakasına rastlanır. Bu yataklar oldukça geniş ve uzun tabakalıdır ayrıca, tektonik faaliyetler sonucu büyük kalınlıklara ulaşırlar. Bu nedenle bu yatakların rezervleri bazen milyar tonun üzerinde olabilir. Bu yataklardaki demir tenörleri % 20-40 arasında değişebilmektedir. Daha yüksek tenörlü olanları ise (% 50-65 Fe) ekonomik olarak tercih edilip işletilebilmektedir [1].

Bu metamorfik yataklarda, ince hematit ve martit tabakaları içeren metrelerce kalınlıkta demirli kuvarsit katmanları bulunmaktadır. Bu katmanlarda ise nadiren, siderite, şamozite ve piritte rastlanabilmektedir. Kuvars-kuvarsitli bu demir yataklarında bulunan demir minerallerinin serbestleşme tane irilikleri ise oldukça küçüktür. Dünyada bu tip yataklara ABD de Lake Superior, Hindistan'da Bihar ve

Orisa, Mançurya ile Brezilya'daki Itabiritler örnek olarak verilebilir [8]. Türkiye’de ise Bitlis–Ünaldı ve Süllapdere, Adıyaman–Bulam, Kahramanmaraş–Çakçakdere, Arpacık ve Mendikli, Yozgat–Sarıkaya, Aydın–Çavdar ve Koçarlı, Muğla–Sakarkaya yatakları örnek olarak verilebilir [1].

Sedimanter Demir Yatakları: Bu tür yataklar rezervleri büyük olan önemli demir yataklarıdır. Minerolojik yapıları ise oluşum şartlarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Limonit, götit, hematit içeren oksitli cevher, şamozit, turingit içeren silikatik cevherler ve siderit içeren karbonatlı cevherler olarak bulunurlar. Sahile yakın kesimlerde oksijeni bol sulara oksit cevherleri oluşurken, karbonat cevherleri ise sahilden uzak ve derin sulara oluşurlar. Tabaka bağımlı geniş mercekler şeklindedir. Demir tenörleri homojendir (% 20-50 Fe) ayrıca Mangan ile fosfor tenörleri ise yüksektir. Yan kayaç olarak ise kalsit, kalker, silis, jips ve killeri barındırırlar. Birkaç yüz milyon tonluk rezervler oluşturan bu önemli demir yatağı tipine Fransa'da Lothringen, Kanada'da Wabana, ABD'de Clinton gibi dünyanın birçok yöresinde rastlanmaktadır [8]. Ülkemizde ise bu tip yatağın en önemli örneği Balıkesir–Büyük Eymir yatağıdır [1].

Skarn Tip Yataklar: Değerlendirilebilen demir yataklarından biri olan skarn tipi yataklar, granitoidlerin yan kayaçlarla (karbonatlar, volkanik kayaçlar) kontağından oluşurlar. Bu tip yataklarda genel olarak manyetit, bazen de hematit bulunur. Ayrıca pirit, kalkopirit, bazen arsenopirit ve sfalerit de bulunabilmektedir. Kalker kontaktlarından, demir tenörleri yüksek olan bazik karakterli cevherleşmeler oluşmaktadır. Çatlak şeklinde oluşan kısımlarda, SiO₂ tenörleri ise % 20 lere ulaşabilmektedir. Mercekler, keseler ve çatlak dolguları olarak ortaya çıkan bu yataklarda cevherleşmenin homojendir. Bu tip yataklara örnek olarak Rusya bulunan Magnitnaja Gora ve ABD bulunan Iron Springs Utah örnek olarak gösterilebilir [9].

Yurdumuzun Sivas Divriği A Kafa, Sivas Divriği B Kafa, Çaltı ve İliç, Malatya–Hasançelebi örnek olarak verilebilir [1].

Hidrotermal Yataklar: bu tip demir yataklarının rezervleri 30-40 milyon ton olup rezerv bakımından küçük yataklardır. Gruplandırılacak olursa siderit yatakları, hematit yatakları, manyetit yatakları olarak gruplandırılırlar. Siderit yatakları bazen

önemli yataklar olabilirler fakat yatağın mineralojik yapısı ve yatak içindeki dağılımı detaylı araştırılmalıdır çünkü bu tip yataklarda yalnızca siderite nadiren rastlanmaktadır. Sideritle beraber metal sülfürler (galen, sfalerit, kalkopirit, nikel ve kobalt sülfürler) ortaya çıkar. Ayrıca cevherde yüksek mangan tenörlerine rastlanır. Almanya'daki Siegerland örnek olarak gösterilebilir. Metazomatik siderit yataklarına örnek verilecek olursa Avusturya'daki Erzberg ve İspanya'daki Bilbao yatağı örnek verilebilir [8].

Ülkemizdeki başlıca Hidrotermal yataklar, Batman–Tizi-Örenağı, Malatya–Deveci ve Karakuz, Adana–Aşılık, Niğde–Armutbeli, Sivas–Pınarbaşı, Otlukilise (bir kısmı yığışım cevherlerden oluşur) ve Yellice-Deveci Yatağı araştırmacıların bazıları tarafından volkano sedimanter tipi yataklar olarak yorumlanmaktadır [1].

Volkanik Sedimanter Yataklar: Tenör bakımından düşük, rezerv bakımından ise büyük olan bu yataklar Deniz içerisindeki volkanik oluşmalar şeklinde oluşmuştur. Bulundukları demir minerallerine göre, hematit, siderit, şamozit ve türitingit cevherleri olarak adlandırılmaktadırlar. Hematit cevheri yüksek demir tenörlü (% 50 Fe) olup siderit ve şamozit cevherleri ise düşük demir tenörlü (% 30 - 35 Fe) cevherlerdir. Almanya'da Lahn-Dil bölgesinde rastlanan bu yataklardaki silisyum tenörleri (% 15-30 SiO₂) oldukça yüksektir [8]. Türkiye de ise en önemli volkanik sedimanter yatak Balıkesir–Büyük Eymir yatağıdır [1].

Magmatik Demir Yatakları: Bu yataklardaki rezerv miktarı 10 milyon- 2 milyar ton arasında değişim göstermektedir. Bu tip yataklarda yararlı mineraller olarak; manyetit, titonamanyetit, ilmenit ve hematit bulunur, ayrıca bazen pirit, pirotin, bornit ve kalkopiritede rastlanılmaktadır. Yan kayaç olarak ultrabazik magmatik kayalardan gabro, nowit, piroksenit bulunur. Cevherlerdeki metal tenörleri; % 40-50 Fe, % 7-15 TiO₂, % 1 e kadar vanadium arasında değişir. Magmatik enjeksiyon yatakları olarak adlandırılan, yan kayaçların çatlak veya tabakaları arasında oluşan demir cevherleşmelerinde yüksek oranda flor, klor ve fosfora rastlanır. Bu nedenle manyetit apatit yatakları olarak adlandırılırlar [8].

Plaser Tip Yataklar: Birincil yatakların aşınmasıyla meydana gelen demir cevherine ait parçaların akarsular tarafından taşınması ve genel olarak yatağın

civarında uygun ortamlarda birikmesiyle oluşurlar. Ülkemizdeki çoğu demir yataklarının yakınında bu tip yataklara örnek oluşumlar izlenmektedir [1].

Kıyılara akarsular tarafından taşınarak gelen manyetit, ilmeno-manyetit, hematit ve limonit cevherlerini parçaları, diğer kayaç parçalarıyla beraber kıyılara taşınması ve dalgaların yardımıyla zenginleşerek kıyı boyunca uzanan demirce zengin plaserler oluşturmasıyla oluşurlar. Doğu Karadeniz Plaserlerinde yer alan Samsun-Çarşamba, Perşembe-Efirli, Ordu-Ünye batısı yatakları bu tip yataklanmalardır. Bu yatakların manyetit içerikleri % 3,5 ile % 5,8 arasında değişebilen 150 milyon tondan fazla cevher içermektedirler [1].

Oksidasyon Zonundaki Başkalaşım Yatakları: Pirimer, demir sülfürlerin (pirit, pirotin), demir silikatların, sideritin oksidasyon zonlarında bozunup çözünmesi ve çökmesiyle meydana gelen yatak tipleridir. Bu yatakların içerisinde bozuşmayan sülfür mineralleri ve istenmeyen metal minerallerine rastlanır. Bu oluşumlar demir yatakları olarak küçük rezervli yataklardır [8].

Çizelge 2.2. Dünya demir üretimi ve rezervi (milyon ton) [1]

Ülkeler	Üretim		Rezerv	
	2015	2016	Ham Cevher	Demir İçeriği
ABD	46	41	2.800	790
Avustralya	817	825	52.000	23.000
Brezilya	397	391	23.000	12.000
Kanada	46	48	6.000	2.300
Çin	375	353	21.000	7.200
Hindistan	156	160	8.100	5.200
İran	27	26	2.700	1.500
Kazakistan	21	21	2.500	900
Rusya	101	100	25.000	14.000
Güney Afrika	73	30	1.200	770
İsveç	25	25	3.500	2.200
Ukranya	67	58	6.500	2.300
Diğer Ülkeler	132	120	18.000	9.500
Dünya Toplamı	2.280	2.230	170.000	82.000

Ülkemizde, tenörü düşük olan ve/veya yüksek zararlı bileşen içeren cevherlere sahip 50 kadar sorunlu yatağımız mevcuttur (Çizelge 2.3). Bugünkü verilere göre %15-50 Fe arasında değişen tenörlerdeki bu yataklarda toplam 1,3 milyar ton kaynağın varlığı bilinmektedir. Bu yatakların bazılarında zengin yada uygun kalitedeki cevherleri barından bölümler seçimli madencilik yapılmak suretiyle veya diğer yataklardan temin edilen cevherlerle harmanlanma yaparak zararlı bileşen içerikleri uygun oranlara düşürüldükten sonra bazı dönemler içerisinde kısmen işletilmişlerdir. Büyük çoğunluğunun zararlı bileşenlerinden arıtılması için uygun zenginleştirme yöntemleri geliştirilmeden işletilmeleri mümkün değildir [3].

Çizelge 2.3. Türkiye’de bulunan sorunlu demir cevherleri yatakları[1]

Yatak Adı	Tenör (% Fe)	Rezerv (Bin Ton)	Açıklama
Malatya-Hekimhan-Hasançelebi	19,20	685 000	TiO ₂ , düşük tenör
Malatya-Hekimhan-Karakuz	41,18	17 500	SiO ₂ , Al ₂ O ₃
Sivas-Gürün-Otluklise	31,77	34 000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , düşük tenör
Sivas-Kangal-Çetinkaya	55	500	Düşük tenör
Sivas-Divriği-Dışbudak	41,31	300	SiO ₂ , düşük tenör
Sivas-Divriği-Kızıldağ	28,50	240	SiO ₂ , S düşük tenör
Sivas-Divriği-Çaltı-Kurudere	50	120	S
Sivas-Divriği-Yellice	19,50	125 000	Düşük tenör
Erzincan-Kemaliye-Bizmişen	53,20	21 500	S, düşük tenör
Kayseri-Pınarbaşı-Uzunpınar	51	1500	SiO ₂
Kayseri-Yahyalı-Karamadazı	52	500	Düşük tenör
Ankara-Bala-Kesikköprü	44,72	1800	SiO ₂ , S
Balıkesir-Havran-B.Eymir	53	3350	As
Balıkesir-Ayvalık-Ayazment	52	5600	Cu
Çanakkale-Merkez-Kuşçayırı	35	430	SiO ₂ , Al ₂ O ₃
Bingöl-Genç-Avnik	43,55	40 000	P ₂ O ₅
Bitlis-Meşesirtı-Öküzyatağı	15,50	3100	P ₂ O ₅
Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı-Bulam	28,76	31 000	P ₂ O ₅
Sakarya-Karasu-Çamdağ	18,48	79 000	CaCO ₃ , düşük tenör
Sakarya-Karasu-Çamdağ	31,77	34 000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , düşük tenör
K.Maraş-Elbistan-Nergele	52	4000	As
K.Maraş-Elbistan-Çakçak Dere	40	1200	SiO ₂
Gaziantep-İslahiye-Korudağ	30	80 000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ düşük tenör
Gaziantep-İslahiye-Cabbardağı	30	10 000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ düşük tenör
K.Maraş- Göksun-Beritdağı	52	150	Dekapaj

Çizelge 2.3 devamı

Hatay-İskenderun-Payas	35	68 000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ düşük tenör
Hatay-Kırıkhan-Kastal	33,77	6000	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , TiO ₂ düşük tenör
Yozgat-Sarıkaya-Uzunkaya	14,21	6600	Düşük tenör, dekapaj
Yozgat-Sarıkaya- Atkayası	22	380	Düşük tenör, dekapaj
Yozgat-Sarıkaya-Karabacak	30	4500	Düşük tenör, dekapaj
Yozgat-Sorgun-Yılanpınar	20	30 000	Düşük tenör, dekapaj
Yozgat-Sorgun-Battallar	20	13 000	Düşük tenör, dekapaj
Yozgat-Sorgun-İnüstü	20	42 000	Düşük tenör, dekapaj
Aydın-Söke-Çavdar	42	12 000	Düşük tenör
Afyon-Çay-Sultandere	50,45	465	Dekapaj
İzmir-Torbalı-Hortuna	45,85	2000	As
Kütahya-Emet-Küreci	42	660	SiO ₂
Kütahya-Emet-Çatak	50	1900	S
Kütahya-Emet-Karaağıl	48,85	2000	PbS, Zn
Kütahya-Simav-Göncek	40	140	Dekapaj
Kütahya-Simav-Kalkan	50	500	S, SiO ₂ ,
Eskişehir-Sivrihisar-Karaçam	45	2150	Ni, As
İçel-Gülpınar-Örendüzü	35	11 000	Düşük tenör, dekapaj
TOPLAM		1 383 085	

2.3. Demir Cevherinde Aranan Özellikler

Demir-çelik üretiminde kullanılan parça cevhere, sinterlik konsantre ve peletlere malzemenin türüne, üretim bölgesindeki enerji sunumuna ve diğer etkenlere bağlı olarak çeşitli yöntemler uygulanır. Burada en önemli yeri yüksek fırında ergitme yöntemi alır. Redüklenme işleminde, 1 ton ham demir üretimi için kullanılacak olan cevher, kok, kireç taşı, silis ve enerji sarfiyatı cevher kalitesine göre değişim göstermektedir [8].

%Fe 'si yüksek, % SiO₂ değeri az olan konsantreler kok sarfiyatında tasarruf sağladığından dolayı tercih sebebidir. Parça cevherin ve konsantrenin % 60 Fe oranının üzerindeki her % 1 Fe, fırının üretim kapasitesini % 3 arttırırken kok sarfiyatını % 2 azaltmaktadır. SiO₂ tenörünün azlığı redükleme işlemini daha da ekonomikleştirir. Asidik karakterli konsantreler pek tercih edilmezler. Ayrıca cüruf oluşumunu olumsuz etkiledikleri için bazik eleman olmalarına rağmen K₂O, Na₂O, BaO oranlarının çok çok düşük veya hiç olmaması istenir. Demir konsantrelerin de istenilen yüksek demir tenörü ile beraber bazı faydalı elementlerin olması

durumunda prim ödenirken, istenmeyen bazı elementlerin de belirli oranların altında olması istenir. Bu arzulan ve arzulanmayan durumlar aşağıda belirtilmektedir. Yurtiçi demir cevheri spesifikasyonları parça ve sinterlik cevher olarak Çizelge 2.4 de verilmiştir. [8]

Çizelge 2.4. Yurtiçi demir cevheri spesifikasyonları [10]

İçerik, %	Sinterlik Cevher	Parça Cevher
Fe	55	57
SiO₂	8	7
MgO	3,25	3,25
Al₂O₃	1,50	1,0
S	1,50	0,20
Zn	0,15	0,15
P	0,15	0,15
Pb	0,15	0,15
As	0,15	0,15
Na₂O + K₂O	0,30	0,30
Ni	0,10	0,10
TiO₂	0,35	0,25
Cu	0,15	0,15

Fe tenörü: Konsantrelerdeki faydalı elementlerin bulunuş oranlarına, asitlik-bazlık oranına ve cevher tiplerine göre demir tenörlerinde toleranslar uygulanır. Öyle ki hiçbir zenginleştirme işlemine gerek duyulmadan kullanılan ve yalnızca tane iriliği yönünden bir hazırlama işleminden geçirilen demir cevherleri bulunmaktadır. Bu tarz üretilen parça cevherler zengin cevherler sayılırlar. Fakat genelde zengin cevherler; hakim demir mineralindeki teorik demir yüzdesinin % 80-90' ını içeren cevherlerdir. Buna göre demir konsantrelerinde cevher türüne göre tercih edilen demir tenörleri değişiklikler göstermektedir. Çoğunlukla, Manyetit konsantrelerinin % 55 - 60, Hematit konsantrelerinin % 55-60, Limonit'in % 45, Siderit in ise % 35 in üzerinde Fe içermesi istenmektedir. Konsantrelerden daha yüksek oranda demir tenörleri elde edebilmek amacı ile, bilinen belli başlı nedenlerden dolayı tercih sebebi olduğu için

zenginleştirme olanakları var ise ve uygulanacak olan işlemler ekonomik durumdaysa zengin cevherler daha da zenginleştirilmektedir [8].

(Ni), (Mn), (Cr): Bu elementler redükleme işleminde ham demire geçerek belirli yüzde sınırlarında asil çelik oluştururlar. Asil çelik üretiminde kullanılan konsantrelerde bu elementler üretim için gerekli oranlarda mevcut ise alıcı tarafından primlendirilirler. Özel krom-nikel çeliği üretiminde kullanılan konsantredeki Cr/Ni oranı 1,5/1'i aşmamalıdır. Demir-çelik üretiminde Cr ve Ni'nin % 90'ı ham demire geçtiğinden asil çelik üretiminde kullanılmayacak konsantrelerde Cr-tenörünün % 0,26 dan az ,Ni + Co- tenörünün % 0,026 dan az olması istenir [12].

Mangan: Konsantrede bulunan manganın % 60-70' i çeliğe geçer. Özel mangan çeliği üretiminde kullanılan konsantrelerde % 0,5-1,2 Mn bulunması faydalıdır. Prim ödenir. Gri pik üretiminde mangan istenmez ayrıca konsantrede ise % 0,2 den az mangan bulunması istenir [8].

Vanadium: Az bile olsa demir konsantrelerinde arzu edilen bir malzeme olmakla beraber demir konsantrelerinde % 0,006 dan az olması istenilmekte, % 70-80'i ham demire geçmekte ayrıca ham demirin özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [8].

Kalsiyum: Yüksek fırınlara demir cevheri dışında eklenen bir malzemedir. Cüruf yapıcı özelliyle faydalı ve aranan elementtir [8].

2.4. Demir Cevherinde Bulunan Başka Safsızlıklar ve Etkileri

Demir-çelik üretiminde etkili olan zararlı elementleri aşağıdaki gibi 3 guruba ayırmakta fayda vardır [3]. Bunlar;

- Demir-çelik üretiminde metal fazına karışıp üretilen metalin kalitesini bozan elementler (çinko, kalay, bakır sertliği etkiler, SiO_2 , kükürt, arsenik, fosfor kırılğan yapar).
- Üretim işlemini olumsuz etkileyen elementler (SiO_2 , kurşun, çinko, kalay, sodyum, potasyum, titan),
- Üretiminden dolayı çevre kirlenmesine neden olan elementlerdir. (kükürt, arsenik, kurşun) [8]

SiO_2 : Bilindiği üzere konsantrede bulunan SiO_2 % si ne kadar az olursa konsantrede o kadar değerli olmaktadır. Eğer SiO_2 oranı gereğinden yüksek olur ise cüruf yapıcı

katkı maddeleri fazlalaşacak ve fırın kapasitesini düşürerek daha fazla enerji sarfiyatına neden olmaktadır [8].

Kükürt: Demir konsantrelerindeki katlanılabilir kükürt oranı, yalnızca konsantredeki kükürt tenörüne bağlı olarak değişmez; aynı zamanda demir-çelik üretimi tesisinin kullandığı koktaki kükürt oranına da bağlıdır. Kullanılan koktaki kükürt yüksek oranda ise ($> \%2$), kullanılan konsantrelerin $\% 0,15-0,35$ 'ten yüksek kükürt içermemesi istenir. Düşük oranlı kükürt içeren ($\% 0,5$ ten az) kok kullanıldığında; Örneğin, $\% 50 - 55$ 'ten fazla Fe içeren konsantrelerin $\% 0,75 - 1,0$ kükürt içermesine katlanılabilmektedir. Zira konsantredeki kükürtün büyük bir kısmı üretimde metal fazına geçerek üretiminin kalitesini bozmakta ve kalanı da baca gazında SO_2 olarak çıkarak çevre kirlenmesine neden olmaktadır [8].

Fosfor: Konsantrelerdeki katlanılabilir fosfor tenörü, uygulanan çelik üretim yöntemine ve kullanılan kokun fosfor oranına göre değişir. Yüksek fırın şarjındaki fosforun $\% 90 - 95$ 'i yüksek fırın da metal fazına geçer. Pk yüksek oranda fosfor içeriyorsa çelik üretiminde Thomas yöntemi kullanılarak metal fazından fosfor uzaklaştırılmaya çalışılır. Bu nedenle zenginleştirilerek ayıklanması mümkün ise, demir konsantrelerinin $\% 0,03$ 'ün altında fosfor içermesi istenir. Demir konsantrelerinde; Bessemer yöntemi ile çelik üretildiğinde fosforun $\% 0,03$ 'ü ve Siemens-Martin yöntemi ile çelik üretildiğinde $\% 0,15$ 'i ve Thomas çelik üretim yönteminde de $\% 1,2$ 'i geçmemesi istenir [8].

Arsenik: Konsantrelerdeki arseniğin yaklaşık $\% 60$ 'ı metal fazına geçerek çeliğin kırılganlığını arttırmaktadır. Bu nedenle asil çelik üretiminde kullanılan konsantrelerin hemen hemen hiç arsenik içermemesi istenir. Genelde konsantredeki arsenik tenörü $\% 0,006$ 'dan az olmalıdır [12].

Kalay: Konsantrelerde bulunan kalay, metal fazına geçiş yaparak arzu edilmeyen bir kırılganlık kazandırır ve bu sebep ile konsantrelerde bulunan kalayın $\% 0,01$ 'in altında olması talep edilmektedir. Kalaya genelde manyetit konsantrelerinde rastlanır. [9].

Kurşun-Çinko: Demir-çelik üretimini güçleştireceğinden dolayı talep edilmeyen elementlerdir. Bunların tenörlerinin $\% 0,03$ Zn, $\% 0,05$ Pb nin altında olması istenir. [8]

Titan : Konsantrelerdeki binde mertebesindeki TiO_2 tenörleri demir-çelik üretimini fazla etkilemez, ancak % 0,6 dan yüksek olan TiO tenörleri demir üretiminde cüruf oluşumunu oldukça güçleştirmektedir [8].

Bakır: Demir konsantrelerinin ancak % 0,06'ya kadar bakır içermesine katlanılabilir. Zira bakır metal fazına geçerek çeliğin kalitesini bozmaktadır [8].

Alkaliler: Yüksek fırınlara şarj malzemesiyle beraber giren alkaliler, fırın cidarlarına yapışıp kabuk oluşturdıklarından dolayı yüksek fırınların hacmini düşürürler ve yapıştıkları yüksek fırın tuğlalarının içerisine doğru nüfuz ederek tuğlaların refrakter özelliklerini olumsuz yönde etkilerler [13].

2.5. Demir Cevheri Zenginleştirme Yöntemleri

Demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde birtakım amaçlar vardır, bunlar;

- Fe-tenörünü artırmak,
- Konsantreyi, istenmeyen elementlerden olabildiğince temizlemek veya bu elementleri kabul edilebilir sınırlara kadar düşürmek,
- Fe-dışında bulunan ve değerlendirilebilecek durumda olan kıymetli mineral-mineralleri de ayrı konsantreler haline getirmek,

olarak sıralanabilir [8].

Fe-tenörünü artırmak için uygulanan zenginleştirme işlemleri Fe- tenörü bakımından zengin olan cevherlere de uygulanabilmektedir. Konsantrelerde % 60'ın üzerindeki her % 1'lik Fe-tenörü yüksek fırın kapasitelerini % 2-3 yükseltirken kok tüketimini ise % 1-2 arasında düşürmektedir. Direk redüksiyon yöntemi ile sünger demir üretiminde ise parça cevher ve peletlerdeki Fe- tenörünün % 67'nin üzerinde olması şart koşulmaktadır [8].

Demir cevherlerine uygulanacak olan zenginleştirme yöntemleri seçiminde dikkat edilecek bazı noktalar ise; demir mineralinin türü, serbestleşme tane iriliği, yan kayaç yapısı-özellikleri, zararlı-istenmeyen elementlere ait özellikler belli başlı olarak sıralanabilir. Demir cevherlerine uygulanacak olan cevher hazırlama ve zenginleştirme yönünden faydalı demir minerallerine göre gruplandırılacak olur ise;

- Manyetit cevherleri (kolay zenginleştirilebilir),
- Hematit cevherleri (zenginleştirilebilir),
- Manyetit-hematit cevherleri (zenginleştirilebilir),

- Siderit cevherleri (zenginleştirilebilir),
- Limonit cevherleri (zenginleştirilebilir),
- Titanomanyetit cevherleri (titan- demir)
- Silikatik-demir cevherleri (değerlendirilmeyen),

olarak gruplandırılabilir [8].

İlerleyen zamanlarda demir cevherine olan ihtiyacı sağlamada-karşılamada cevher zenginleştirme yöntemlerinin önemi daha da artacaktır. Zira dünya görünür Fe cevheri rezervi olan 75 milyar tonun hemen hemen 40 milyar tonu ayrıca dünya mümkün demir cevheri rezervi olan 100 milyar tonun ise hemen hemen 65 milyar tonu düşük kalitedeki cevherlerden meydana gelmektedir. Ayrıca bunların dışında gün geçtikçe pahalılaşan enerji (dolayısıyla ulaşım maliyetleri) gelecekteki zengin ve fakir cevherleri yerinde zenginleştirmeyi ve hatta izabeyi gerektirecektir.

Günümüzde, demir cevherlerini zenginleştirmede uygulanan fiziksel ve fizikokimyasal yöntemler aşağıdaki gibidir;

- Tavuklama (triyaaj),
- Yapısal mekanik özelliklere göre zenginleştirme,
- Yoğunluklar arası farklılığa dayalı zenginleştirme,
- Manyetik alanda zenginleştirme,
- Flotasyon yöntemleri ile zenginleştirme,
- Manyetitleştirici kavurma-manyetik seperatör ile zenginleştirme.

Ayrıca demir cevherlerine uygulanan zenginleştirme işlemleri;

- Zengin demir cevherlerine (Fe-mineralinin teorik demirinin % 80'nin den fazla içeren) uygulanan işlemler,
- Fakir demir cevherlerine uygulanan işlemler,

olarak gruplandırılabilir [8].

Zengin demir cevherlerine uygulanan işlemler:

Buradaki amaç, ocaklardan gelen (açık veya kapalı işletmeler) ve 1 metreden daha büyük olan yüksek tenörlü demir cevherlerini yüksek fırın için istenilen ve gerekli olan tane iriliklerine, koruyucu olacak şekilde boyut küçültmektir. Bu amaç çerçevesinde, cevher kademeli olacak şekilde öncelikle çeneli kırıcıdan daha sonra

ise ikincil kırıcıdan ve boyut kontrolü için eleklerden geçirilir. Genel olarak, cevherde bulunan faydalı Fe-minerali cinsine göre $-100 + 5$ mm boyutuna ufalanır. Bu işlem sonucunda -10 mm tane sınıfının olabildiğince az olmasına dikkat edilir. Ufalanmış üründe bulunan ince tane sınıfının oranı yüksek ise (cevherin oluşumundan dolayı da kaynaklanabilmektedir), kırılmış ürün sınıflandırılıp " $-10 + 0.150$ mm" tane sınıfında sinterlik ürün ve " -0.150 mm" tane sınıfında peletlik ürün üretilir. Üretilen ve sınıflandırılmış durumdaki parça demir cevherlerini kullanacak olan yüksek fırın maden ocağı yakınlarında bulunmuyorsa, parça cevherler nakledilirken azda olsa ufalanacağından dolayı; fırınlara besleme yapılmadan önce, tekrardan sınıflandırılıp ince parçalardan kurtarılmalıdır [8].

2.5.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme

Bu zenginleştirme işleminde demir minerallerinin, gang minerallerinden farklı olan renk ve yoğunluk farklılığından yararlanılır. İri taneli cevherleşme gösteren ve iri tanede serbestleşen yatakların küçük kapasiteli üretiminde uygulanabilir. Üretim kapasitesi günümüzde 5-15 bin ton/gün olan tesislerde uygulama olanağı bulunmamaktadır. Özellikle zengin demir cevherlerini iri ganglardan ayırma için kullanılmaktadır [8]. Günümüzde bu şekilde zenginleştirme işlemi fazla tercih edilmemektedir.

2.5.2. Yapısal özellik farklarına dayalı demir cevheri zenginleştirme

Ufalama işlemlerinde, demir minerallerinin gang minerallerden farklı olarak daha iri veya ince kalmaları ve de belirli farklı tane boyutlarında bulunmaları ile bu tip zenginleştirmeye olanak sağlarlar. Örnek olarak, Brezilya'da Rio Doce ocağında yapılan 25 milyon ton/yıl üzerindeki fakir hematit cevheri üretimi 40 mm' lik eleklerle elendiğinde 2 milyon ton % 66 Fe tenörlü + 40 mm iriliğinde parça cevher elde edilir. - 40 mm tane sınıfı -25 mm' ye kademeli olarak ufalanıp sınıflandırıldığında $-25 + 0.6$ mm tane sınıfında % 60-65 Fe tenörlü bir konsantre üretilirken yalnızca -0.6 mm tane sınıfı Jones tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik seperatörlerden geçirilerek zenginleştirilmektedir [8].

Demir cevherlerinin bazıları çokça kil içerebilirler. Bu tür cevherler ise yaş skrayberde karıştırılır, sınıflandırılır ve sonra killlerinden arındırılarak iri ürünlerdeki Fe-tenörünü tüvenan üretimindeki çok üstünde olduğu görülür. [14]

2.5.3. Gravite ayırma ile zenginleştirme

Bu tarz zenginleştirme, genel olarak ağır demir mineralleri ve özellikle hematit içeren cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Esas olarak demir mineralleri ve gang mineralleri arasındaki yüksek yoğunluk farklılığından faydalanılır. Bu zenginleştirmenin uygulanabilmesindeki tek faktör, serbestlik tane iriliğidir ve 0,1 mmden iri tane sınıflarında serbestleşebilen cevherler zenginleştirilebilmekte ayrıca zenginleştirme veriminin % 75 ile % 85 arasında kalması ise bir diğer olumsuzluktur. Cevherin -0,1 mm tane sınıfı ve yoğunluğa göre zenginleştirme artığı, manyetik alanda zenginleştirildiği takdirde kayıplar azaltılabilmektedir [15].

Yoğunluğa dayalı zenginleştirmede en yaygın kullanılan yöntemler şunlardır:

- Sallantılı masa ile demir zenginleştirilmesi
- Humphrey spiralleri ile demir cevheri zenginleştirilmesi
- Ağır ortam - yüzdürme-batırma- konsantratörlerinde demir cevheri zenginleştirilme
- Reichert konileri ile demir cevheri zenginleştirilmesi
- Jiglerle demir cevheri zenginleştirilmesi
- Falcon seperatörü ile demir cevheri zenginleştirme

2.5.3.1. Sallantılı Masa ile Zenginleştirme

Tabaka halinde akışkan ortamda ayırma yapan ve ayırıcı yüzeyi hareketli olan bir cihazdır. Bu cihaz esas olarak üzerinde tabaka halinde akışkan akışı olan dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzeydir. Uygun bir mekanizma yardımıyla masanın uzun eksenine doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri – geri hareket ettirilir [16].

Yapılan ayırmanın etkinliğini yükseltmek amacı ile sallantılı masanın yüzeyi eşiklerle kaplanır. Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından konsantre ürünün kenarına doğru azalarak konsantre kenarında sıfır olmaktadır [17].

Endüstride kullanılan sallantılı masalar iki gruba ayrılırlar bunlar, iri cevher ve ince cevher (şlam) masasıdır. İri cevher masalarının eşikleri sık ve yüksek, ince cevher masalarının eşikleri seyrek ve alçak olup bazen de eşiksizdir. Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur ve böylece hem masa kapasitesinde artış sağlanır hem de etkili bir ayırma yapılabilir [15].

Sallantılı Masadaki Ayırmanın Esası: Masa yüzeyinde bulunan mineral taneleri, tabaka halinde akan akışkan hareketi ile akış yönüne dik olan asimetric hareketin bileşke etkisi altında hareket ederler. Tabaka içerisinde en iri-en hafif olan taneler en hızlı hareket ederek sallantılı masanın hareketi doğrultusunda, en kısa mesafeyi katederler ayrıca akışkan tabaka içerisinde bulunan en ince-en ağır taneler de en yavaş hareket ederek sallantılı masanın hareketi doğrultusunda en uzun mesafeyi katederler [16]. Belirtilen bu durumlardaki hareketlerin birleştirilmesi ile sallantılı masanın yüzeyinde tane boyutu ve de özgül ağırlığa bağlı olarak hareket eden mineral tanelerini içeren 3 ayrı kuşak oluşur bunlar; iri-hafif mineral tanelerinin oluşturduğu kuşak, ince-hafif+iri-ağır mineral tanelerinin oluşturduğu kuşak ve ince-ağır mineral tanelerinin oluşturduğu kuşak. Bu kuşakların sallantılı masa yüzeyinden ayrı ayrı alınmaları ile sallantılı masa ayırması gerçekleşir [17].

Sallantılı masa yüzeyinde yapılan ayırmanın etkinliğini artırmak amacıyla masa yüzeyi 12-15 mm genişlik ve derinlikte eşiklerle kaplanır. Eşikler ya masa yüzeyi oyularak açılan oluklar yada sonradan ilave edilen çıtalardır [16].

Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından konsantre kenarına doğru azalmakta ve konsantre kenarında sıfır olmaktadır. Çalışma şekline bağlı olarak çok değişik eşik tertipleri kullanılabilir. Eşiklerin varlığı akış koşullarını değiştirdiğinden, eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olmaktadır. Bunun sonucunda hem etkili bir ayırma yapılabilmekte, hem de masa kapasitesi artmaktadır [17].

2.5.3.2. Humphrey Spirali İle Zenginleştirme

Küçük boyuttaki mineral tanelerinin yataya yakın eğimde bulunan bir yüzeyin üzerinde, ince bir tabaka şeklinde akan akışkan ortamda aralarındaki özgül ağırlık farklılığına göre ayrılmalarıyla gerçekleştirilen zenginleştirme işlemlerine tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme işlemleri denilmektedir [18].

Tabaka halinde akan akışkan ortamda yapılan ayırma işlemlerinde, sabit oluk, kadifeli oluk, daralan oluk, hareketli oluk, sabit masa, sarsıntılı masa, yuvarlak masa, vanner, koni, spiral gibi birçok farklı çeşit ayırıcı cihazlar kullanılmaktadır. Bunlardan sallantılı masa, koni ve spiral günümüzde en yaygın kullanılanlardır [18].

Humphrey spiralleri, basitçe açıklanacak olursa, bir oluğun, düzenli şekilde spiral olarak kıvrılmasıyla üretilmiştir. Başka bir ifadeyle, Humphrey spiralleri modifiye edilmiş yarı dairesel kesitli, helis şeklinde olan uzun bir oluktan ibarettir. Ortalama hatve çapı 20-30 cm, hatveler arası yükseklik farkı 30-35 cm olmakla beraber bir spiralde en az 5 hatve bulunmaktadır [18].

Humphrey spirallerinde zenginleştirme mekanizması karışık olmakla birlikte, farklı yoğunlukta bulunan mineral tanelerinin ayrılması, tabaka halinde akan su ve merkezkaç kuvvetinin birlikte etkisi söz konusu durayınca bunlara ek olarak, tanelerin farklı terminal çökme hızları, akan malzeme yatağında ara boşluklardan sızma ve engelli çöküş şartlarında ayrılma gerçekleştirilmektedir. [18].

Spiralin üst tarafında bulunan besleme oluğundan homojen olarak beslenen cevher-su karışımı ya da pülp, tabaka halinde spiralin üst tarafından aşağıya doğru akar. Aşağıya doğru akan bu tabakanın kalınlığı, merkezkaç kuvvetinden gelen etkiyle, hatve merkezine yakın olan kısımlarda incedir, merkeze uzak yan kısımlarda ise kalındır. Oluşan bu etki ile iri ve ağır mineral taneleri hatve merkezine yakın olan kısımlarda birikirken, ince ve hafif mineral taneleri ise hatvelerin dış duvarına doğru yönelirler. Ayırma esnasında merkezden yana doğru verilen yıkama suyu ile ağır minerallerin arasına karışan hafif mineraller uzaklaştırılır [15].

Tesislerde bulunan spiraller, kömür zenginleştirmenin yanı sıra krom, demir, tungsten ve kalay cevherleriyle, sahil kumlarındaki zirkon, rutil, monazit gibi ağır minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Spirallerle yapılan zenginleştirme çalışmalarında ürün toplama mandallarının ayar konumlarına göre 3ayrı ürün elde edilmekte olup bunlar konsantre, ara ürün ve artıktır. Tek bir spiralde

yeterli düzeyde konsantre tenörü alınamadığı için paralel ve seri halde bağlı olan birçok spiralden oluşan bataryalar halinde çalıştırılmaktadır [15].

Spirallerde yapısal ve cevhere bağlı olarak çalışma parametreleri bulunmakta olup bu parametrelerin belirlenmesi hem spiral verimi hem de spiral performansı açısından önemlidir.

- Yapısal parametreler: Hatve sayısı, hatve çapı, hatve eğimi, ayırma bıçak ayarı, yıkama suyu miktarı, pülöp besleme hızı
- Cevhere bağlı parametreler: Ayırma yoğunluğu, ayrılacak mineraller arasında yoğunluk farkı, dar tane boyut aralığı, pülpte katı oranı, şlam miktarı

2.5.3.3. Falcon konsantratörü ile Zenginleştirme

Falcon konsantratörü esas olarak, bir ayırma oluğu ile devamlı olarak çalışmakta olan bir santrifüjün kombinasyonu ile işlem yapmaktadır. Çok yüksek dönme hızı ve buna bağlı oluşan yüksek G kuvveti (G Evrensel çekim sabiti $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$) nedeni ile farklı yoğunluklarda bulunan çok ince tanelerin ($10 \mu\text{m}$ 'dan daha küçük taneler) ayırımında kullanılmaktadır [19].

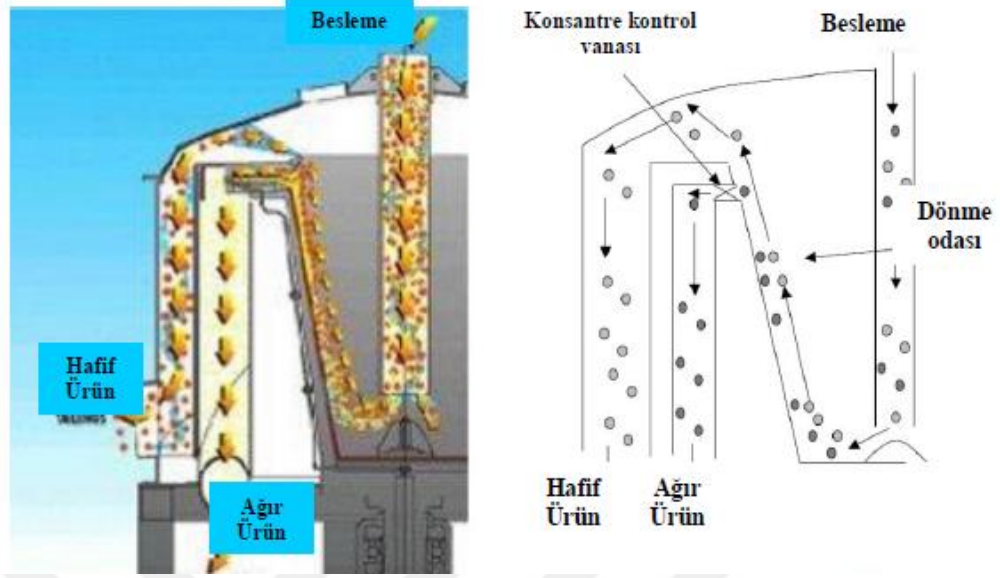
Cihazın dönen kova içerisine beslenen pülöp, kovanın içerisinde yukarı doğru akarken pülöp içerisinde bulunan ağır taneler hafif tanelere oranla merkezkaç kuvvetinden daha fazla etkilenmektedirler. Oluşan bu etki ile kovanın yüzeyine doğru ağır taneler hareket ederken, pülöp kısmının üst tabakasında ise hafif taneler cihazı terk ederler [18].

Ayırma pülöp tabakasının alt bölgesinde biriken ağır tanelerin cihazın toplama yarıklarından dışarıya alınması ile gerçekleşir. Konsantre akımı kontrollü bir şekilde açılıp kapanan valfler yardımıyla sağlanmaktadır. Artıklar ana pülöp akımı ile cihaz dışına alınır (Şekil 2.3).

Falcon konsantratörü çalışma parametreleri

- Dönme hızı: Yüksek dönüş hızı G 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: Çok yüksek debi ve yoğunluk ayırmayı olumsuz yönde etkilemektedir [18].



Şekil 2.3. Falcon konsantratörünün çalışma prensibi

Falcon konsantratörün Kullanımının Avantajları

- 10-20 μm gibi çok küçük boyutlarda gravite ayırımı yapılabilme.
- Mekanik açıdan hem basit hem de sağlamdır.
- Kapasitesi yüksektir.
- Kullanımı kolaydır [19].

Falcon konsantratörün Kullanımının Dezavantajları

- Oldukça yüksek hızdan dolayı zenginleştirme verimi düşüktür.
- Ayırma yüzeylerini görmek mümkün değildir.
- Beslenen malzeme içerisindeki tanelerin boyutu konsantrasyon orifisi (valf) çapından büyük olmamalı ve bu tanelerin Falcona beslenmemesi gerekmektedir [18].

2.5.4. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Demir cevherleri manyetik alanda yaygın olarak, yüksek kapasiteli tesislerde hem kolay hem de ucuz olarak zenginleştirilmektedir. Demir cevherlerinin manyetik zenginleştirilmesinde % 60 - 95 arasında değişmekte olan metal verimlerine

ulaşılabilmektedir. Demir cevherlerinin killi kirlenmemiş olması ve tam serbestlik tane iriliğine kadar ulaşılması durumunda % 95'lik verimlerle, oldukça yüksek tenörlü konsantreler (% 65-69 Fe) elde edilebilmektedir. Manyetit ve ilmenit manyetik alandan kuvvetle etkilenirken hematit, siderit ve limonit çok daha az etkilenmektedir fakat gang mineralleri ise neredeyse hiç etkilenmemektedir. Mineral tanelerinin boyutu ve özgül ağırlıkları manyetik alan içerisinde ayrılabilirliği etkilemektedir. Genel olarak 5 mm'den daha iri olan taneler kuru ortamda, 200 mikrondan daha ince olan taneler ise yaş ortamda ayıklanmaktadır. Manyetit gibi manyetik alandan yüksek etkilenen mineraller düşük manyetik alanlarda (500 - 1500 Gauss arası) zenginleştirilebilirken, hematit gibi düşük seviyede etkilenen mineraller ise yüksek alan şiddetli (10 000 - 25 000 Gauss arasında) manyetik ayırıcılarda zenginleşebilmektedir. Fakat bunların boyutları ise 3 mm'den iri olmamalıdır [20].

6 mm'den ince ve 200 µm'dan iri olarak serbestleşmiş durumda olan manyetit cevherleri yaş yada kuru olarak manyetik alanda zenginleştirilebilir. Manyetik alan konsantratörleri tamburlu veya bantlı olarak çeşitli konstrüksiyonlarda imal edilmişlerdir. 1970'li yıllara kadar zayıf manyetik minerallerin zenginleştirilme işlemi çok güçtü, zira yüksek alan şiddetli konsantratörlerde çok yüksek manyetik alanlar (10 000 Gauss'tan daha fazla) zor üretilebildiği gibi bu konsantratörlerin kapasiteleri de 5-6 ton/saati geçmezdi. Ayrıca çok ince taneler de zor işlenebilirdi. Son yıllarda geliştirilen yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla 20 000 Gaussluk alanlar üretilebilir, 150 ton/saatlik konsantratör kapasitelerine de ulaşılabilmektedir. Rezervi büyük olup, tenörü düşük olan ve çok ince tanelerde serbestleşen hematit yatakları ise Jones ayırıcıları ile işletilme olanağına kavuşmuştur [17].

Manyetik ayırıcılar, uygulanan alan şiddetine ve ayırmanın yapıldığı ortama bağlı olarak başlıca dört ana gruba ayrılırlar. Uygulanmakta olan alanın şiddetine bağlı olarak "Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcılar" ve "Düşük Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcılar" olarak adlandırılırlarken, ayırmanın yapıldığı ortamın ise hava yada su olmasına göre "Kuru" yada "Yaş" yöntem olarak adlandırılmaktadırlar. Hem yüksek alan şiddetli ayırıcılar, hem de düşük alan şiddetli ayırıcılar yaş yada kuru olarak çalıştırılabilir. Yaş yöntemler genel olarak çok ince boyuttaki (100 µm altı) tanelerin zenginleştirilmeleri amacıyla kullanılmakta, kuru yöntemler ise nispeten daha iri boyutlu olan (100 µm üstü) tanelerin zenginleştirilmeleri amacıyla kullanılmaktadır. Buradaki kısıtlama, kuru manyetik ayırmada taneler arasındaki

elektro-statik çekim kuvvetleri ve manyetik alanın etkisi ile tanelerin topaklaşması ile manyetik olmayan minerallerin tutsaklanması ve konsantreye geçerek ayırma verimliliğini düşürmesi şeklinde tanımlanabilir. Her ne kadar yaş manyetik ayırıcılarda da manyetik topaklaşma meydana gelse bile, bu sorun yüksek gausslu manyetik ayırıcıların geliştirilmesi ile çözülmüştür. Özellikle koagüle olan tanelerin etkili zenginleştirilmesinde gaussun büyüklüğü önemli etkiye sahiptir [20].

2.5.5. Flotasyonla demir cevheri zenginleştirilmesi

Demir cevherlerinin tüvenan üretiminde gang minerali olarak kuvars, kalsit, çört, kil, klorit ve granatlar bulunmaktadır. Özellikle killeri ve kuvars demir konsantrelerinin kalitesini bozmaktadır. 40-50 mikronun altında serbestleşebilen yada öğütme anında bu tane iriliklerine ufacanan cevherin diğer zenginleştirme yöntemleri ile değerlendirilmesi güçleştiğinden flotasyon işlemi uygulanır [21]. Aşağıda belirtilen iki nedenden dolayı demir cevherlerinde flotasyon işlemleri uygulanmaktadır bunlar;

- Diğer yöntemlerle üretilen demir konsantrelerinde kalan zararlı elementleri uzaklaştırmak,
- Diğer yöntemlerle zenginleşmeyen çok ince taneli cevherleri zenginleştirmek

Demir cevherlerinde flotasyon işlemi;

- Faydalı demir minerallerini yüzdürerek diğer zararlı mineralleri ise bastırmak (normal flotasyon),
- Kuvars, kalsit, kil gibi zararlı mineralleri yüzdürerek, faydalı olan Fe-minerallerini bastırıp (indirekt flotasyon) birbirlerinden ayırmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır.

Son yıllarda Fe-minerallerini bastırabilen doğal ve yapay reaktiflerin bulunmasıyla, indirekt flotasyon tercih sebebi olmuştur. Her iki flotasyon çalışmalarında gang mineral tanelerinin Fe-iyonlarıyla kirlenmiş olması flotasyon çalışmalarının başarısını olumsuz etkilemiştir. Eğer Kalsit gang minerallerinin büyük kısmını oluştursa, bazik ortamda çalışmak gerekmektedir. Manyetik alanda az etkilenen Fe-minerallerinin zenginleştirilmesi için geliştirilen Jones ayırıcısının geliştirilip başarıyla uygulamaya konulmasından sonra, burada üretilen konsantreleri

iyice arıtarak süper konsantreler üretmek için ters flotasyon uygulaması yaygınlaşmaktadır [22].

2.6. Demir Cevherlerinin Zenginleştirilmesine Yönelik Kaynak Özetleri

Vapur ve Top'un [23] yapmış oldukları bir çalışmada, Feke (Adana) spekülait cevherinde temel safsızlık olarak kuvars mineralini saptamışlardır. Adana/Feke Bölgesi'nden temin ettikleri fiziksel ayırma yöntemleri uygulanarak zenginleştirme çalışmaları yapmışlardır. %62,94 Fe_2O_3 içermekte olan spekülait cevheri 6000 Gaussluk manyetik alan şiddetinde yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yapılarak %92,47 Fe_2O_3 tenöründe konsantre ve %69,91 kazanma veriminin yanı sıra bir diğer metot olan kuru manyetik ayırma deneylerinde ise %75,62 Fe_2O_3 içeren konsantre ve %89,43 verimle elde etmişlerdir, ayrıca gravimetrik zenginleştirme yollarından biri olan sallantılı masa deneylerini de çalışmışlardır. %71,7 Fe_2O_3 tenörüne sahip ve % 75,54 metal kazanma bir konsantre elde etmişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre ise Adana/Feke yöresinden temin ettikleri spekülait cevherinin demir-çelik endüstrisi ve boya sanayinde hammadde olarak değerlendirilebilecek durumda zenginleştirileceğini bildirmişlerdir.

Tel ve Sabah [24] yaptıkları çalışmada, manyetit içeren siyah sahil kumlarından, OutotecMLH (13)115-5 model yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı kullanılarak yapmış oldukları zenginleştirme deneylerinde besleme tane boyutu, besleme hızı, tambur (rulo) dönüş hızı, manyetik alan şiddeti ve bölücü bıçak açısı parametrelerinin zenginleştirme verimine etkisi ve konsantrenin Fe tenörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Cevheri tanımlamak amacı ile yapılan XRD analizine göre sahil kumu; manyetit ve diyopsit (kalsiyum magnezyum silikat) ile beraber az miktarda kalsit, dolomit, kuvars, ilmenit, rutil, hematit, feldspat, kordiyerit minerallerinden oluştuğunu saptamışlardır. Kuru manyetik ayırma deneylerinin optimum şartlarında, -0,212+0,106 mm tane boyutlarında yer alan tenörü %48,41 Fe olan sahil kumu örneklerinin, 750 Gauss'luk bir manyetik alandan geçirilmesi ile konsantredeki Fe tenörünün %54,41'e ve Fe kazanma veriminin ise %63,46 ya ulaştığını bildirmişlerdir.

Şen ve ark [25] yaptıkları çalışmada, temin ettikleri demir cevheri üzerinden yaptıkları analiz sonucu verilere göre yüksek oranda bakır içerdiği tespit etmişler ve farklı zenginleştirme yöntemlerinin kombineli olarak kullanılması sonucu demir cevherinin zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu temin edilen demir cevheri için iri tane boyutlarında zenginleştirilebilecek bir cevher olmadığını bildirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda, tane boyutunun 63 μm 'un altında bulunması ve de düşük akı yoğunluklu tambur tipi yaş manyetik ayırıcıların kullanılmasıyla, doğrudan redüksiyon peletlik konsantre özelliklerinde Fe içeriği %69,5 olan bir demir konsantresinin üretiminin teknik olarak mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Konsantre ağırlık veriminin %65 Fe veriminin %91 civarında olduğunu bildirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda, manyetik ayırıcıdan çıkan artıklara uygulanacak olan flotasyon işlemleri sonucunda bakır içeriği %23 civarında olan bir konsantrenin %80 e yakın bir verim değerleri ile üretilebilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Dinçer ve ark [26] yaptıkları çalışmada, Hekimhan-Karakuz'dan aldıkları demir cevherini 100mm'nin altına kırarak cevher üzerinde yapılan deneyler sonucunda istenilen özellikte demir konsantresi elde edilmişlerdir. Çalışmada -30+6mm boyutundaki cevher ağır ortamda, +6-1mm boyutundaki cevher jig ile ve -1+0,1mm boyutundaki cevher ise yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıda zenginleştirilmişlerdir. Bu çalışma sonucunda %70 metal kazanma verimiyle %41,50 Fe içeren cevherin tenörü yaklaşık %57,5 Fe'ye yükseltilmiş, zenginleştirme deneyleri sonucunda uygulanan ısı işlem (500 °C) ile de bu tenör %59,5 Fe'ye kadar çıkarılabilişlerdir. Ortalama %1,72 olan alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) içeriği, üretilen konsantrelerde %0,2-0,25 civarına düşürülmüşlerdir.

Erten'in [27] yaptığı çalışmasında, Payas bölgesinden aldıkları alüminalı demir cevherinin ortalama %32 Fe, %20 Al_2O_3 , %21 SiO_2 ve %3,2 TiO_2 içeren bir cevher üzerinde yapılan başka bir çalışmada sarsıntılı masada zenginleştirme işlemleri uygulamışlardır. Bu çalışmaları sonucunda başarıya ulaşamamışlardır. Fakat burada dikkate değer olan, sarsıntılı masa artıkları liç işlemine tabi tutulmuş, cevherdeki alüminanın %75-80'ine yakını çözeltiye alınmış, liç artığından da manyetik yolla %61 Fe içeren konsantreler elde etmişlerdir.

Morar ve ark [28] yaptıkları çalışmada, Siderit ve Ankritin cevherlerini kullanmışlardır. Siderit ve Ankritin kavrulmasıyla elde edilen manyetit cevheri üzerinde Corona alan ayırıcısı ile yapılan bir çalışmada %46 Fe içeriği %54 Fe çıkartılırken, silikatları %15'den %7'lere düşürülmüşlerdir.

Olubambi ve Potgieter [29] yaptıkları çalışmada, demir cevheri +4750 μ m ile -75 μ m 12 farklı boyut aralığında laboratuvar ölçekli Denver Jig makinesinde jig işlemine tabi tutulmuş ve AAS kullanılarak üst akım ve alt akımdaki demir yüzdelerinin değerlendirilmesi ile demir cevherinin zenginleştirme sonuçlarına bakılmışlardır. 600 μ m tane boyutunda, ortalama sulu bir pülp ile orta hız ve sarsıntıda işlem yapıldığında demir cevherinin %71 kazanma verimi ile zenginleştirilebileceği belirtmişlerdir.

Youssef ve Morsi [30] yaptıkları çalışmada, düşük tenörlü, yüksek fosforlu ve yüksek alüminalı oolitik hematit cevheri üzerinde çalışmada ince öğütme sonrası H₂ veya CO gibi gazlar redüktant olarak kullanılarak, redüksiyon kavurması yapılmış, ve düşük şiddetli manyetik ayırıcıdan geçirilerek %45,23 Fe tenörlü hematit cevherinden %90 verimle %59,6 Fe tenörlü manyetit konsantresi üretmişlerdir.

Kara [31] yaptığı bir çalışmada, Elazığ bölgesindeki Manganlı Demir Cevherinin Zenginleştirilmesi", tezinde tüvenan cevher üzerinde yapmış olduğu kimyasal analiz sonuçlarına göre, alınan temsili numunenin, Fe₂O₃ oranının %13,10, MnO oranının %39,10 ve SiO₂ oranının ise %24,20 olduğunu bildirmiştir. REMS (yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcı) ile yapmış olduğu çalışmalarda tane boyutunu, ön bıçak açısını, arka bıçak açısını ve tambur dönüş hızını denemiştir. İlk olarak tambur dönüş hızının etkisini incelenmiş ve optimum değerleri saptadıktan sonra ise optimum arka ve ön bıçak açılarını saptamak amacıyla deneyler yapmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda da Fe₂O₃ içeriği ortalama %50 olan ve metal kazanma verimi %75 olan konsantreler elde etmiştir. Ayrıca farklı boyutlara sınıflandırılmış olan cevherlerin de arka ve ön bıçak açılarındaki değişiklik sonuçlarını da incelemiştir.

Atak ve ark [32] yaptıkları çalışmada, Bingöl ve Bitlis'den alınan apatitli manyetit cevheri % 45-50 Fe ve % 3-4 P₂O₅ içerdiğini tespit etmişlerdir. Düşük alan

şiddetli yaş manyetik ayırıcılarla % 68 Fe ve % 0,4 P_2O_5 içeren demir konsantresi elde etmişlerdir. Manyetik ayırma atıkları üzerine yapılan flotasyon çalışmasında ise %35-37 P_2O_5 içeren fosfat konsantreleri elde etmişlerdir.

Perek ve ark [33] yaptıkları çalışmada, Çetinkaya (Sivas) hematit, götit ve limonitten oluşan demir cevherinin alkali sorunu gidermek ve %Fe tenörünün artırılması amacıyla laboratuvar ölçekli jig ile zenginleştirme deneylerini yapmışlardır. Deneyler sonucunda %59,24 Fe ve %0,47 K_2O içeren bir konsantreyi %54 verimle üretmişlerdir. Yaş manyetik ayırma ile yaptıkları deneyler sonucunda, %59,8 Fe ve %0,41 K_2O içeren bir konsantreyi %79,2 verimle üretmişlerdir.

Atak ve ark [34] yaptıkları çalışmalarında, Menteş, Çetinkaya, Otlukilise, Bizmişen ve Taşlıktepe yörelerinden alınan demir cevherlerindeki safsızlıklarının olumsuz etkilerini gidermek amacıyla zenginleştirme deneyleri yapmışlardır. Temsili örneklerle yaş ve kuru eleme, aşındırma yıkama ve özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme deneylerini uygulanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, zenginleştirme işlemleri sonucunda cevherlerin Fe içeriklerinde %2-5 oranında artış, Al_2O_3 , SiO_2 ve alkaliler gibi safsızlıklarının ise istenilen düzeylerin altına indirilebileceği belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

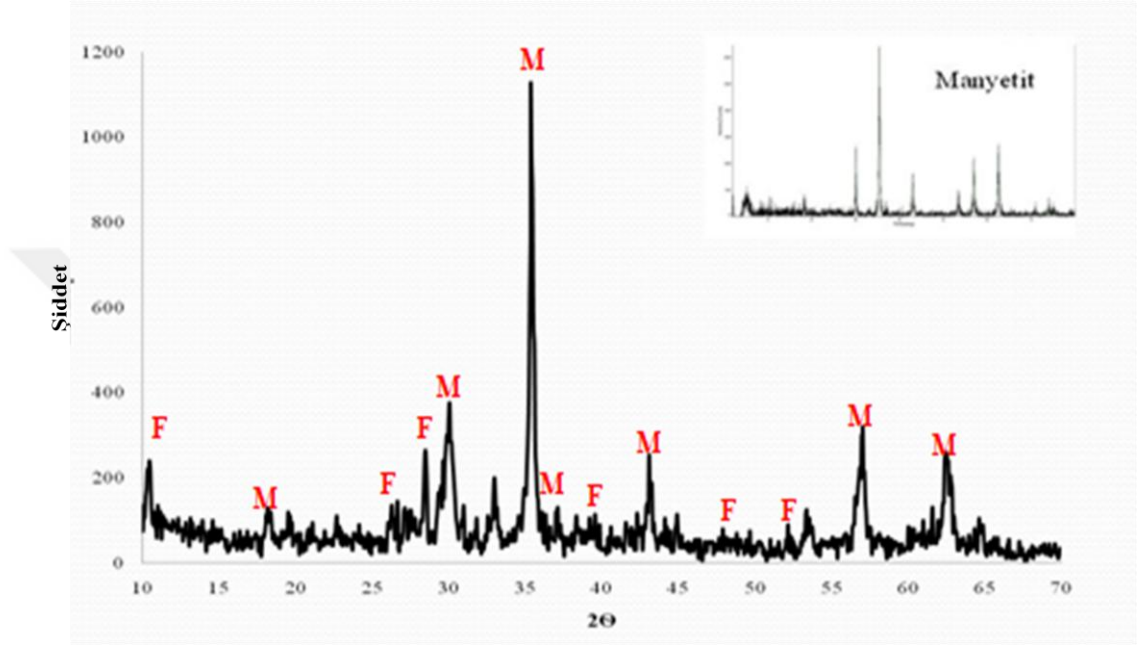
Çalışmada kullanılan demir cevheri Malatya ili, Doğanşehir ilçesi, Beğre köyünden Şekil 3.1 de görülen yer bulduru haritasında verilen yataktan alınmıştır. Alınan temsili numune cevher damardan sahayı temsil edecek şekilde alınmıştır. Ocak yaklaşık 7 basamaktan oluşmaktadır. Örnek olarak alınan cevher %27,43 Fe tenörü manyetit cevheridir. Sahanın genelinde Palezoik yaşlı granitik kökenli kumtaşı formasyonu yayılım göstermektedir.



Şekil 3.1. Beğre köyünde bulunan manyetit ocağının yer bulduru haritası [35]

Granitik kumtaşı formasyonu içerisinde ve mermer biriminin taban kesiminde cevherleşmeler gözlenmektedir. Sahanın değişik kesimlerinde ve sık aralıklarla

mostra vermektedir. Damar ve filonlar şeklinde yataklanma sunmaktadır. Mostra ve zuhurlarının genel konumu KB-GD/35° KD'dur. Faylanma nedeniyle cevher damar ve filonların konumu değişebilmektedir. Damar kalınlığı yaklaşık 10 metredir. Cevherin mineralojik bileşiminde manyetit ve ferroaktinolit mineralleri bulunmaktadır. Ayrıca manyezoferrit ve kordiyerit mineralleri de bulunmaktadır. Tüvenan cevherin XRD grafiği Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. Tüvenan cevherin XRD grafiği (M=Manyetit, F=Ferroaktinolit)

Tüvenan cevherden kareleme yöntemiyle alınan iki eş numunenin (Y-1 ve Y-4 kodlu) kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. Cevherin ortalama Fe tönörünün %27,43 olduğu, yüksek miktarda SiO₂, MgO ve alkali (Na₂O+ K₂O) içerdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1. Tüvenan cevherlerin kimyasal analiz sonuçları

Numune kodu	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
Y-1	27,46	30,27	12,95	10,92	1,86	10,92	1,38	0,10	0,11	0,07
Y-4	27,41	30,19	13,07	10,78	1,83	10,78	1,25	0,14	0,10	0,07
Ort	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	10,85	1,32	0,12	0,11	0,07

3.2. Yöntem

Deneysel çalışmada 6 farklı zenginleştirme yönteminden yararlanılmıştır.

Bunlar;

- Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Aşındırma yıkama ile zenginleştirme
- Sallantılı masa ile zenginleştirme
- Humphrey spirali ile zenginleştirme
- Falcon konsantratörü ile zenginleştirme

Her bir zenginleştirme için farklı boyutlarda ve miktarlarda cevherler hazırlanmıştır.

3.2.1. Cevherin hazırlanması

Ocaktan getirilen tüvenan -20 cm yaklaşık olarak 250 kg manyetit cevheri ilk olarak çeneli kırıcıda 3 cm altına indirilmiştir. Çeneli kırıcıdan çıkan cevher -2,36 mm elekten elendikten sonra +2,36 mm boyutundaki malzeme çekiçli kırıcıya beslenmiştir. Çekiçli kırıcı ızgara açıklığı 2,36 mm olduğundan dolayı çıkan malzeme ile elenmiş malzeme harmanlanmıştır (Şekil 3.3). Harmanlama sonucunda oluklu bölücüyle şahit numune olması için 50 kg stok malzemesi ayrılmıştır. Geriye kalan malzeme 4 hazneli oluklu bölücü ile homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra 4 parçaya ayrılmıştır. Akım şemasında verilen boyutlarda zenginleştirme işlemleri yapılmıştır. Akım şeması Şekil 3.4 de verilmiştir.

Çekiçli kırıcıdan alınan -2,36 mm tane boyutlu cevherin elek analiz sonuçları ile elek fraksiyonlarındaki malzemenin %Fe içeriği Çizelge 3.2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ince tane boylarında demir tenöründe kısmi bir azalmayla birlikte ciddi bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

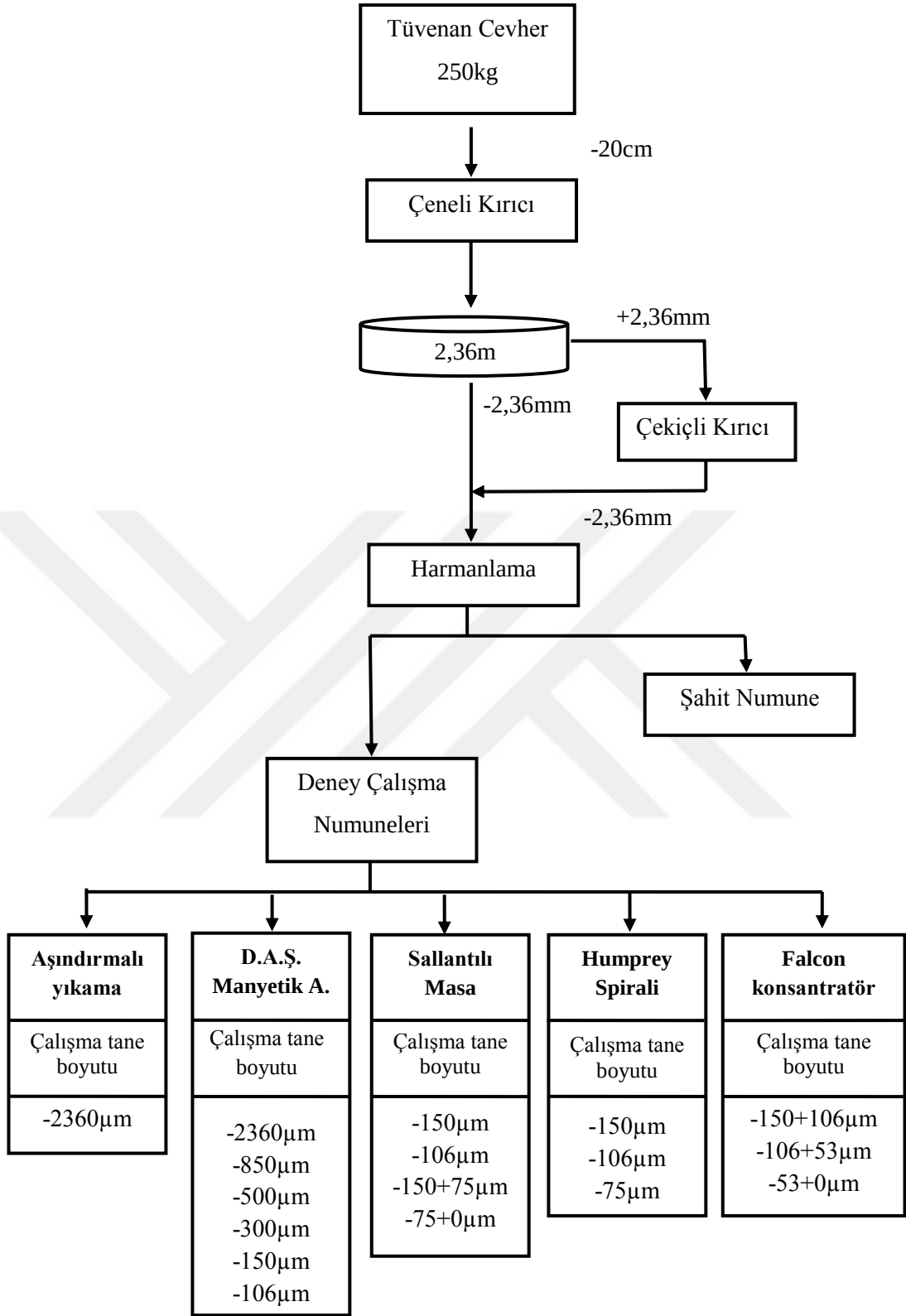


(d)

Şekil 3.3. Cevher hazırlama aşamaları (a) Çeneli kırıcı (b) Çekiçli kırıcı
(c) Harmanlama (d) Örnek alma

Çizelge 3.2. Elek Analizi Verileri

Tane İriliği (μm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Kümülatif Dağılım		Tenör (%Fe)
			E.Ü(%)	E.A(%)	
-2360+1180	151,45	15,15	15,15	100	31,66
-1180+600	221,85	22,18	37,33	84,85	27,27
-600+300	188,70	18,87	56,20	62,67	25,14
-300+150	152,70	15,27	71,47	43,80	33,10
-150+75	121,70	12,17	83,64	28,53	29,33
-75+38	88,80	8,88	92,52	16,36	23,62
-38	74,80	7,48	100	7,48	18,25
TOPLAM	1000	% 100			27,68



Şekil 3.4. Deneysel çalışma genel akım şeması

3.2.2. Kullanılan cihazlar

Çalışmalarda kullanılan alet ve cihazlar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan cihazlar

Cihaz/alet adı	Özellikler (Firma / Model)	Deney Çalışma Koşulları
Çeneli Kırıcı	Ünal Müh. ve Mak. Sanayi	Çene Giriş Açıklığı : 12 cm Çene çıkış Açıklığı : 2 cm
Titreşimli Elek	UTEST	Boyut sınıflandırmada
Çekiçli Kırıcı	Ünal Müh. ve Mak. Sanayi	Çekiçli kırıcı ızgara açıklığı : 2,36mm
Oluklu Bölücü	Ünal Müh. ve Mak. Sanayi	Harmanlama ve Bölme işlemlerinde kullanılmıştır.
D.A.Ş. kuru Manyetik Ayırıcı	BOXMAG RAPID (Şekil 3.5)	Tambur dönme hızı : 36 dev/dk
D.a.ş. yaş Manyetik Ayırıcı	Weidmüller Klippon Products	Tambur dönme hızı : 24 dev/dk Pülpte katı oranı : %10
Aşındırılmalı Yıkama Düzeniği	DENVER (Şekil 3.6)	Cevherin aşındırılması işleminde
Gezegensel Değirmen	FRITSCH Pulverisette 6	Öğütme süresi : 10 dk Gezegensel tambur hızı : 350 dev/dk
Kül Fırını	PROTHERM	Yakma sıcaklığı 850°C
Sallantılı Masa	The Wilfley Mining Machinery (Şekil 3.7)	Masa eğimi : 8° Masa hızı : 110dev/dk
Bilyalı Değirmen	Ünal Müh. ve Mak. Sanayi	Tambur dönüş hızı: 60dev/dk Bilya Sarj oranı : %30
Humphrey Spirali	DENVER Reichert Spirals	Pülpte katı oranı : %15 Bıçak açısı : %20
Falcon konsantratörü	Sepro Mineral Systems	Çalışılan G kuvvetleri : 20G – 30G - 40G – 60G
Hassas Terazî	METTLER TOLEDO	0,0000 hassasiyetle tartımlar yapılmıştır.



Şekil 3.5. D.A.Ş. kuru manyetik ayırma cihazı



Şekil 3.6. Aşındırmalı yıkama düzeneği



Şekil 3.7. Sallantılı masa deneylerinde kullanılan laboratuvar ölçekli sallantılı masa

3.2.3. Demir analiz yöntemi

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ürünlerden örnek alma yöntemiyle 20 gram alınan örnekler gezegensel değirmende öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Yapılan analizler, farklı kurumlarda yaptırılan analiz sonuçlarıyla $\pm\% 1$ hata payıyla yapılmıştır. Şekil 3.8 de demir analizi adımları verilmiştir.

Kullanılan Malzemeler

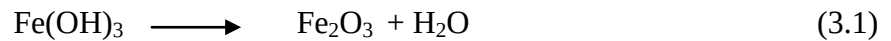
- -38 μm demir örnekleri
- Kral Suyu (Hidroklorik asit ve Nitrik asitin 3:1 oranında karıştırılması)
- %26 lık Amonyak çözeltisi
- 250 ml'lik beher
- 400 ml'lik beher
- Filtre kağıdı
- Porselen kroze
- Cam huni, saat camı
- Kül fırını
- Cam pipet
- Hassas terazi

Denevin Yapılışı

- 0,5 g temsili demir cevheri tartılır ve 250 ml cam beher içerisine alınır.
- Üzerine 40 ml kral suyu eklenir ve üzeri saat camı ile kapatılır.
- Beher ısıtıcı üzerine yerleştirilir ve kaynatılır.
- Beherden çıkan dumanın rengine bakılarak reaksiyon gözlemlenir (Beherden çıkan duman koyu renk de ise reaksiyon devam ediyor, beyaz ise reaksiyon tamamlanmış demektir).
- Reaksiyon devam ediyorsa behere tekrar kral suyu ilave edilir (Beyaz duman çıkana kadar).
- Reaksiyon tamamlanınca üzerine sıcak 200ml saf su ilave edilir.
- Beher tekrar ısıtıcı üzerine alınarak karışım tekrar kaynatılır.
- Beher ısıtıcı üzerinden indirilip ılıması için biraz bekletilir.
- Filtre kağıdını katlayıp cam huni içerisine yerleştirilir.

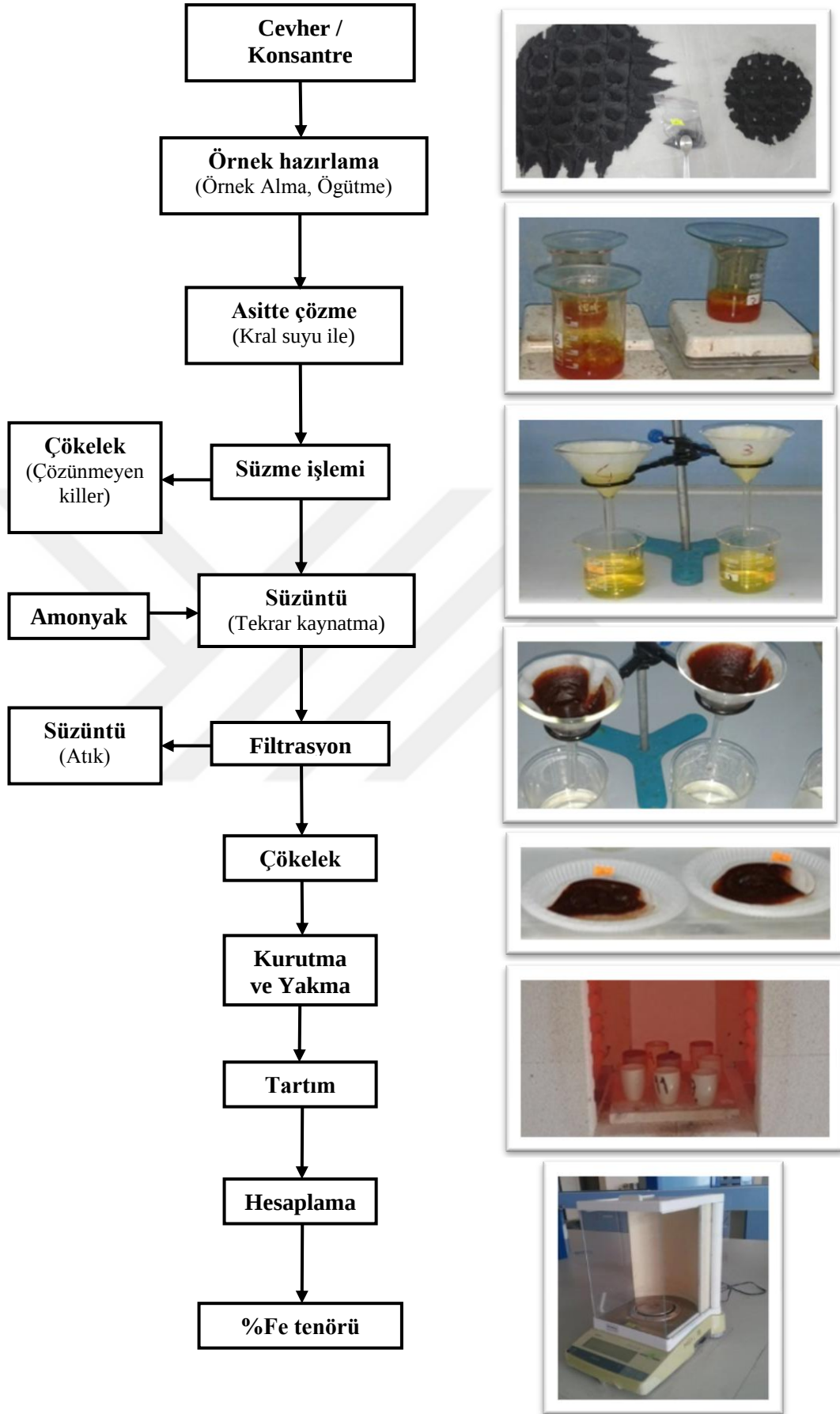
- İkinci 250 ml cam beher huninin altına koyulur ve süzmeye başlanır.
- Birinci beherin içindekiler filtre kağıdına yavaşça süzülür.
- Saf su kullanılarak birinci beher iyice temizlenir.
- İkinci beher ısıtıcı üzerine koyarak kaynatılır.
- İçerisinde sadece katı kalan filtre kağıdı gözlem yapıldıktan sonra atılır.
- Huni saf su ile temizlenerek tekrar filtre kağıdı yerleştirilir.
- İkinci beher ısıtıcıdan indirilir ve üzerine damlalıkla amonyak damlatılır.
- Çözelti doyana kadar amonyak koyulur ve gözlem yapılır (Yaklaşık 25-30ml).
- Huninin altına 400 ml cam beher koyularak çökelen demir içerikli çözelti süzülür.
- İkinci beher ılık su ile iyice yıkanarak filtre kağıdına aktarılır.
- Demir olan filtre kağıdının tamamen süzülmesi beklenir.
- 400 ml lik beher dikkatlice incelenir. (Rengi tamamen berrak değilse içerisinde demir var demektir, gerekiyorsa beher tekrar kaynatıp amonyak katarak demir çöktürülüp ikinci filtre kağıdı üzerine süzülür).
- İkinci filtre kağıdı temiz bir plastik tabağa alınarak, suyu uzaklaştırılır.
- Boş kroze iyice temizlenerek hassas terazide tartılır ve filtre kağıdı içine yerleştirilir.
- Krozeyi önceden 850 °C sıcaklığına ısıtılmış kül fırını içerisine koyulur.
- 30 dk fırın içerisinde kaldıktan sonra dikkatli bir şekilde alınarak soğuması için beklenir (Tamamen soğuduğundan emin olunmalıdır).
- Soğuyan kroze hassas terazide tartılır.
- Örnek deki demir miktarı hesaplanır.

850 °C derece yakma işleminden sonra çökelek deki demir hematit formuna dönüşmüştür.



Örnek ki demir miktarı hesabı :

$$\% \text{ Fe} = \frac{2\text{Fe}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \times \frac{\text{tartım (g)}}{\text{tartılan örnek (g)}} \times 100 \quad (3.2)$$



Şekil 3.8. Demir analizi akım şeması

Demir Analizi Karşılaştırmaları

Yapılan analizlerin doğruluğunu test etmek için 3 farklı firmadan yaptırılan analizler karşılaştırılmaları Çizelge 3.4 de verilmiştir. Firmalardan yaptırılan analizler ICP analiz yöntemiyle yapılmıştır. Atıkların yaş analiz sonuçlarının yüksek çıkmasının nedeni, çözünme işlemi sırasında başka metallerinde çözünerek çökmesi sırasında demire karışmasında kaynaklıdır.

Çizelge 3.4. Demir analizi karşılaştırmaları

Ürün kodu	Enstru mental Analiz (Acme Lab)	Yaş Kimyasal Analiz	Ürün kodu	Enstru mental Analiz (Arge Test)	Yaş Kimyasal Analiz	Ürün kodu	Enstru mental Analiz (Erdemir lab)	Yaş Kimyasal Analiz
	% Fe			% Fe			% Fe	
30a	43,68	45,95	2c-a	52,03	54,30	a2	58,49	57,75
50a	47,08	47,69	3c-a	51,53	53,41	S50a	40,67	41,37
80a	55,74	55,33	4c-a	50,61	52,78	S50c	20,58	20,17
110a	59,68	60,39	5a	51,92	52,78	420b	5,78	7,50
310a	61,54	61,59	a10	55,29	55,08	520b	5,87	8,19
410a	65,78	65,66	a50	56,83	56,56			
510a	65,54	64,96	s120a	49,70	49,93			
Y1	26,51	27,46	f10a	48,64	49,16			
Y4	26,49	27,41	f200a	47,29	49,43			
520b	5,46	8,19						

3.2.4. Metalurjik denge tablosu hesap yöntemi

Zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen değerler metalurjik denge tablosunda hesaplanarak metal kazanma verimleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.5 de verilen tabloda elde edilen ürünlerin yüzdece oranları ve % Fe tenörleri verilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak konsantrelerin metal kazanma verimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. Metalurjik kütle denkliği tablosu

Ürünler	Miktar (%)	Tenör (%Fe)	Verim (%)
Konsantre	K	k	V_K
Atık	A	a	V_A
Besleme	B (100)	b	100

Metal Kazanma Verimi:

$$B.b = K.k + A.a \quad (3.3)$$

$$V(\%) = \frac{K.k}{B.b} \times 100 \quad (3.4)$$

B: Tüvenan cevher miktarı

b: Tüvenan cevherin % Fe tenörü

K: Konsantre cevher miktarı

k: Konsantre cevherin % Fe tenörü

A: Atık cevher miktarı

a: Atık cevherin % Fe tenörü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

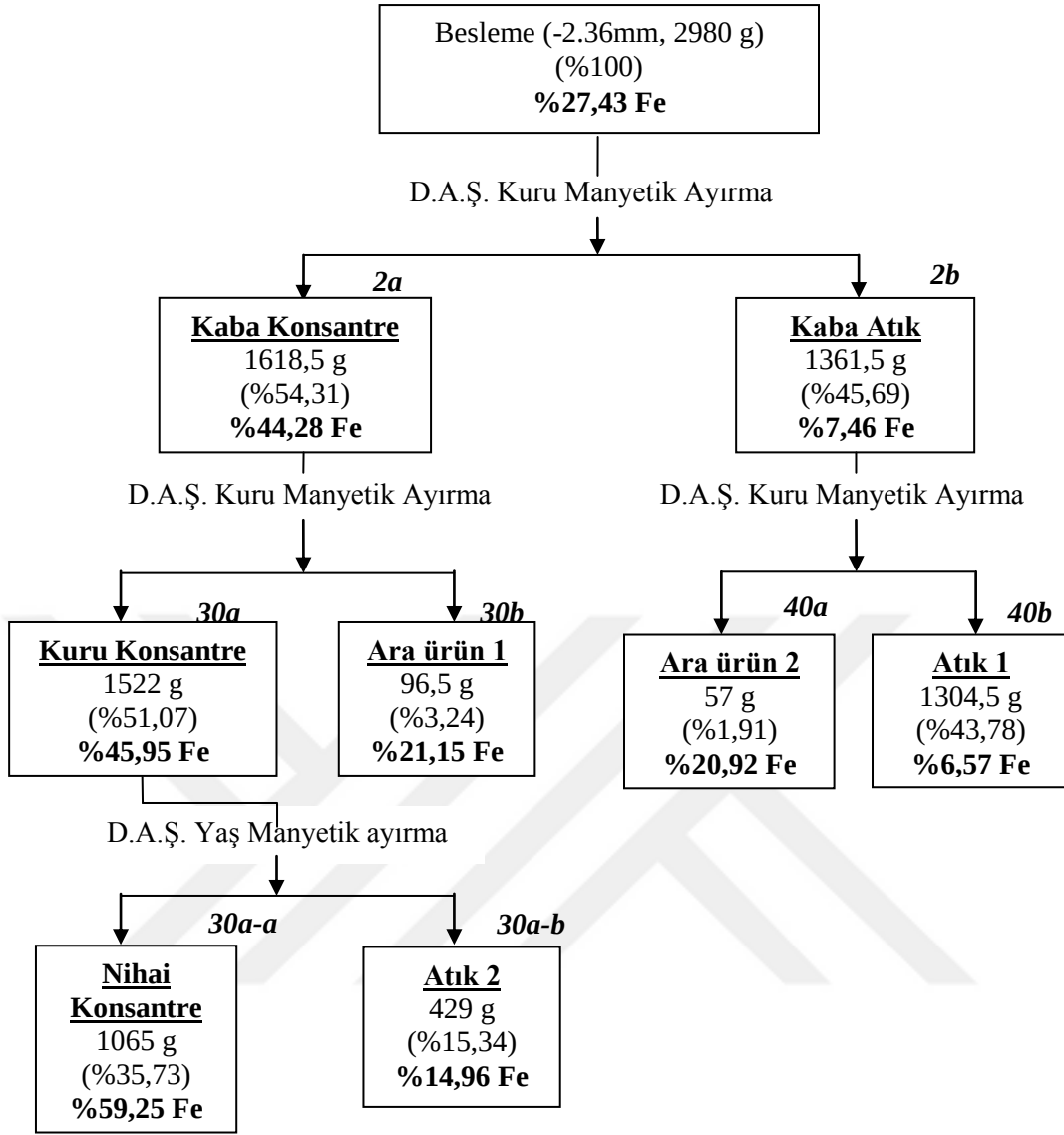
4.1. Manyetik Ayırma Deneyleri

Manyetik ayırma deneyleri manyetit cevheri için en ideal zenginleştirme yöntemidir. Kuru manyetik ayırma ve yaş manyetik ayırma olarak 2 şekilde yapılmıştır. Kuru manyetik ayırmada daha iri boyutlarda zenginleştirme yapılmıştır. Yaş manyetik ayırmada -106 µm boyutuna kadar inilerek zenginleştirme yapılmıştır.

4.1.1. Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri

Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırmada iki boyut çalışılmıştır. Bu boyutlar -2,36mm ve -850µm olarak ayarlanmıştır. Kullanılan cihazdan 2 ürün alınmıştır. Dönen tambur üzerine bırakılan cevherler manyetik ürün ve manyetik olmayan ürün olarak zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Manyetik ayırıcı cihazı 36 dev/dk tambur hızında çalışılmıştır.

İlk olarak cevher kaba zenginleştirme yapılarak çıkan ürünler, D.A.Ş. kuru manyetik ayırmayla temizleme ve süpürme devrelerinde zenginleştirilmiştir. Buradan elde edilen konsantre D.A.Ş. yaş manyetik ayırmada zenginleştirilmiştir. Şekil 4.1 de ürünlerin miktarları, % Fe tenörleri ve ürünlerin kodları verilmiştir. Ürün kodları ekte mevcut olan demir analiz değerlerinde kolaylık sağlaması için verilmiştir. Tüm deneylerdeki yapılan analizler Ek 1'de verilmiştir.

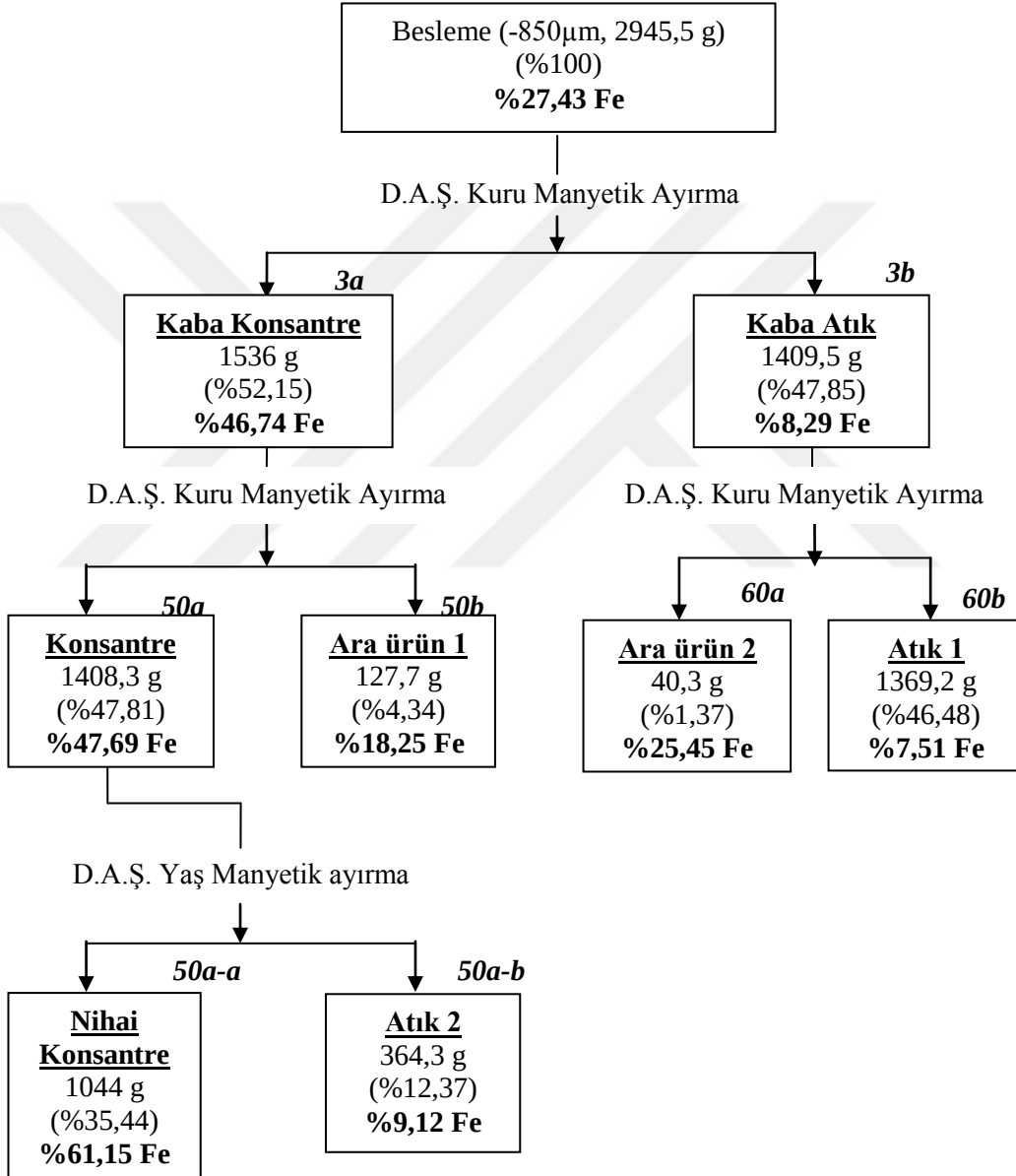


Şekil 4.1. Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -2,36 mm)

Çizelge 4.1. Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -2,36 mm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Nihai Konsantre	30a-a	35,73	59,25	77,18
Ara ürün 1	30b	3,24	21,15	2,50
Ara ürün 2	40a	1,91	20,92	1,46
Atık 1	40b	43,78	6,57	10,49
Atık 2	30a-b	15,34	14,96	8,37
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	2a	54,31	44,28	87,67
Kuru Konsantre	30a	51,07	45,95	85,55

Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1 beraber incelendiğinde, -2,36 mm tane boyutundaki cevherin düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırmayla zenginleştirilmesiyle %45,95 Fe tenörüne sahip %85,55 metal kazanma verimli bir kuru konsantre kazanılabilmektedir. Kuru konsantre daha sonra düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıda zenginleştirilmiştir. Nihai konsantre %59,25 Fe tenör ve %77,18 metal kazanma verimle elde edilmiştir.

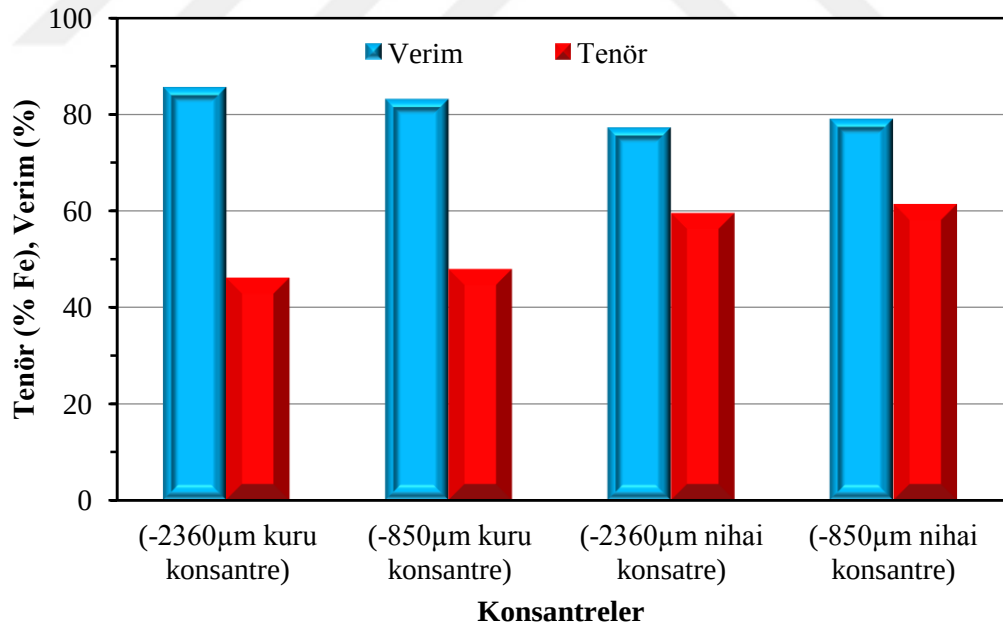


Şekil 4.2. Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -850 µm)

Çizelge 4.2. Düşük alan şiddetli kuru+yaş manyetik ayırma ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -850 µm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Nihai Konsantre	50a-a	35,44	61,15	79,01
Ara ürün 1	50b	4,34	18,25	2,89
Ara ürün 2	60a	1,37	25,45	1,27
Atık 1	60b	46,48	7,51	12,73
Atık 2	50a-b	12,37	9,12	4,10
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	3a	52,15	46,74	88,86
Kuru Konsantre	50a	47,81	47,79	83,30

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2 beraber incelendiğinde, -850µm tane boyutundaki cevherin düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırmayla zenginleştirilmesiyle %47,69 Fe tenörüne sahip %83,30 bir kuru konsantre kazanılabilmektedir. Kuru konsantre daha sonra düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıda zenginleştirilmiştir. Nihai konsantre %61,15 Fe tenör ve %79,01 metal kazanma verimle elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Kuru manyetik ayırma ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi

Yapılan kuru manyetik ayırma deneyleri sonucunda %47,69 Fe tenörlü ve %83 verimle konsantre elde edilmiştir. Elde edilen bu konsantrelerin tenörünü

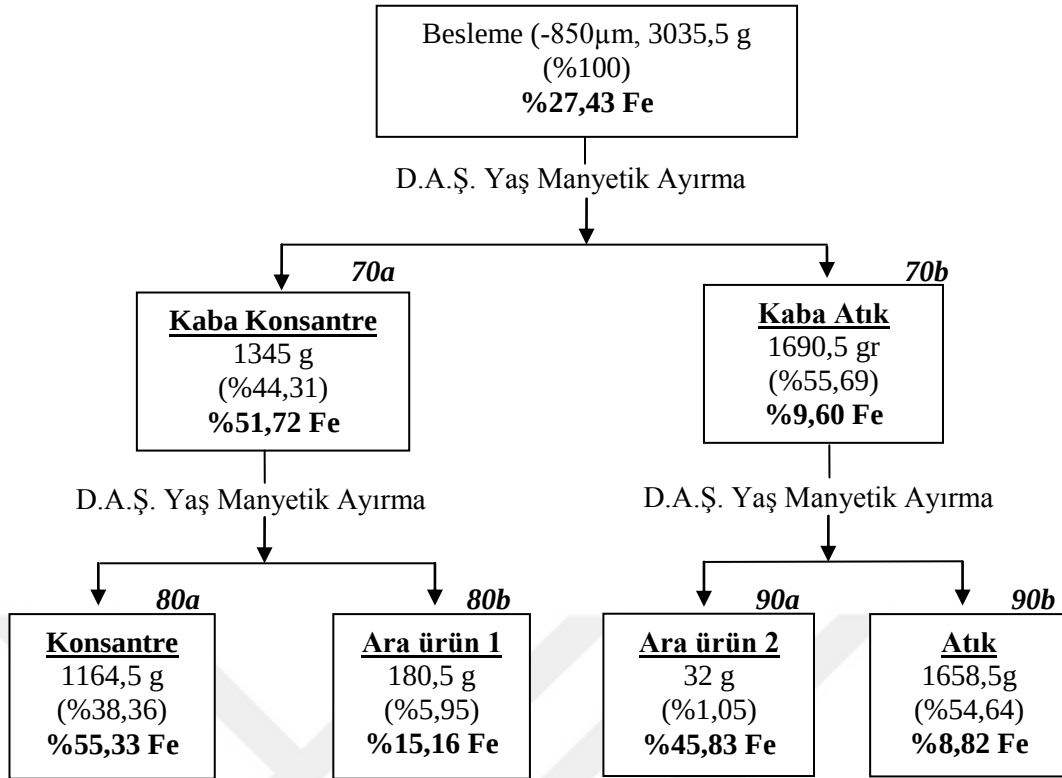
yükseltmek için D.A.Ş. yaş manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Şekil 4.3 de verilen tenör - verim grafiğinde görüldüğü üzere kuru olarak elde konsantreler yaş manyetik ayırma sonrasında % 61,15 tenörlü ve % 79,01 metal kazanma verimiyle elde edilmiştir. Elde edilen kuru konsantrelerin analizleri Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. D.A.Ş. kuru manyetik ayırma kimyasal analiz sonuçları

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
30a	45,95	17,32	9,30	5,44	0,82	0,15	0,03	0,09	0,07
50a	46,74	15,16	8,25	4,72	0,77	0,13	0,02	0,09	0,07
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,11	0,07

4.1.2. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmada 5 boyut çalışılmıştır. Bu boyutlar -850µm, -500µm, -300µm, -150µm ve -106µm olarak ayarlanmıştır. Sistem kapalı devre çalıştığı için konsantre ve atık olarak 2 ürün alınmıştır. Yaş manyetik ayırıcı cihazı 24 dev/dk tambur hızı ve başlangıç pülpte katı oranı %10 olarak belirlenmiştir. Kapalı devre olarak çalışıldığı için tambur temizleme suyu deney süresince pülpte katı oranını düşürmüştür. Kuru manyetik ayırmada olduğu gibi yaş manyetik ayırmada da ilk önce kaba zenginleştirme yapılmıştır. Çıkan kaba konsantre temizleme devresine, kaba atık ise süpürme devresinde zenginleştirilmiştir. Elde edilen tüm ürünler suyu süzildikten sonra 65 °C etüvde kurutulmuştur. Kuruyan örnekler tartımları alındıktan sonra yaklaşık 20 gram analiz için kareleme yöntemiyle örnek alınmıştır.

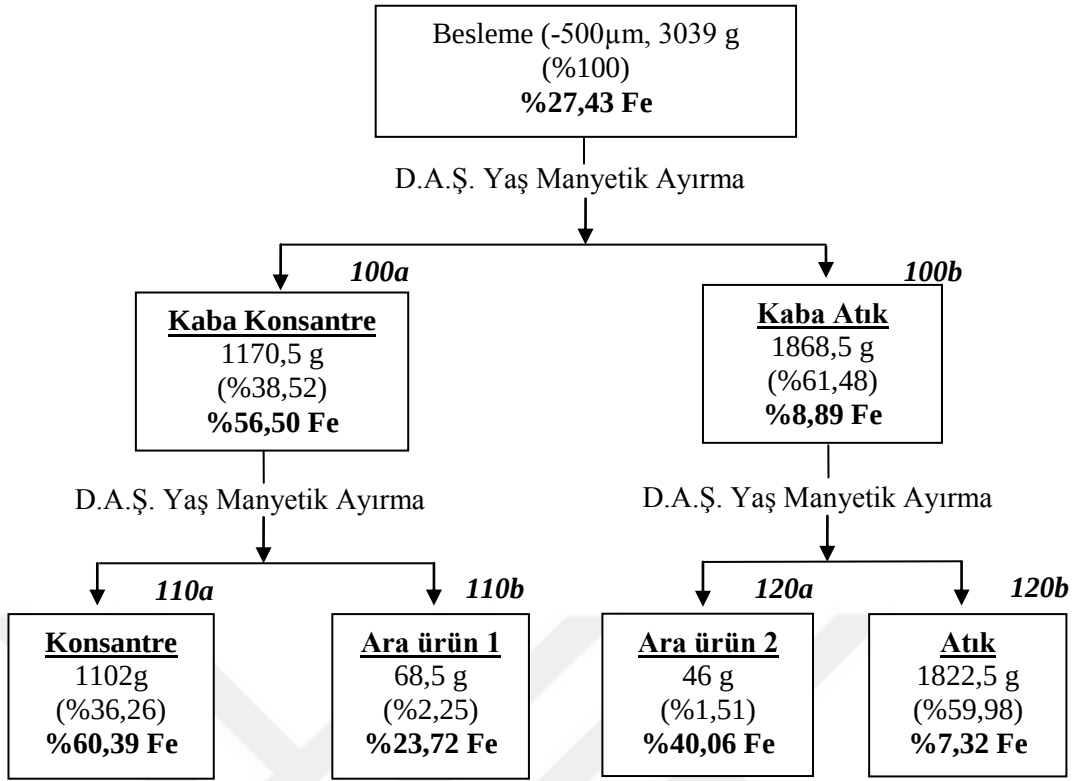


Şekil 4.4. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -850 µm)

Çizelge 4.4. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -850 µm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Konsantre	80a	38,36	55,33	77,38
Ara ürün 1	80b	5,95	15,16	3,29
Ara ürün 2	90a	1,05	45,83	1,77
Atık	90b	54,64	8,82	17,56
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	70a	44,31	51,72	83,55

Şekil 4.4 de -850 µm D.A.Ş. yaş manyetik ayırma deneyinde %55,33 Fe tenörüne sahip ve %77,38 metal kazanma verimli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünlerin Çizelge 4.4 de verilen metalurjik denge tablosunda verimleri hesaplanmıştır.

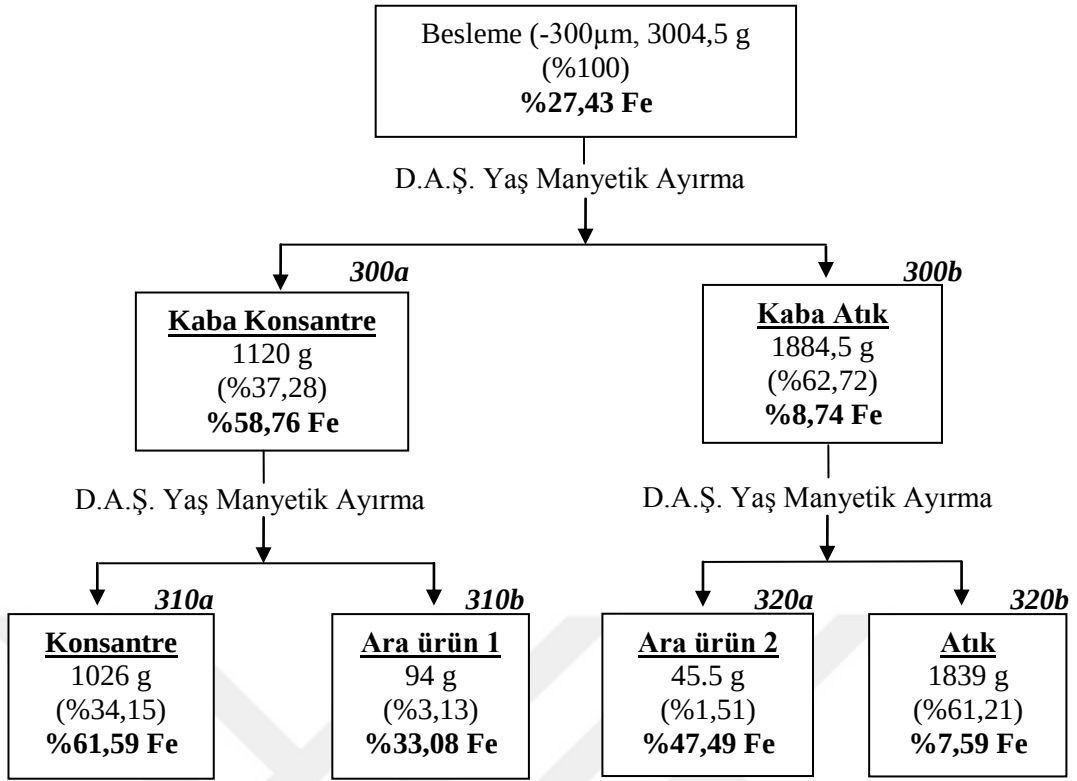


Şekil 4.5. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -500 µm)

Çizelge 4.5. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -500 µm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Konsantre	110a	36,26	60,39	79,83
Ara ürün 1	110b	2,25	23,72	1,95
Ara ürün 2	120a	1,51	40,06	2,21
Atık	120b	59,98	7,32	16,01
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	100a	38,52	56,50	79,34

Şekil 4.5 de -500 µm d.a.ş. yaş manyetik ayırma deneyinde %60,39 Fe tenörüne sahip ve %79,83 metal kazanma verimli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünlerin Çizelge 4.5 de verilen metalurjik denge tablosunda verimleri hesaplanmıştır.

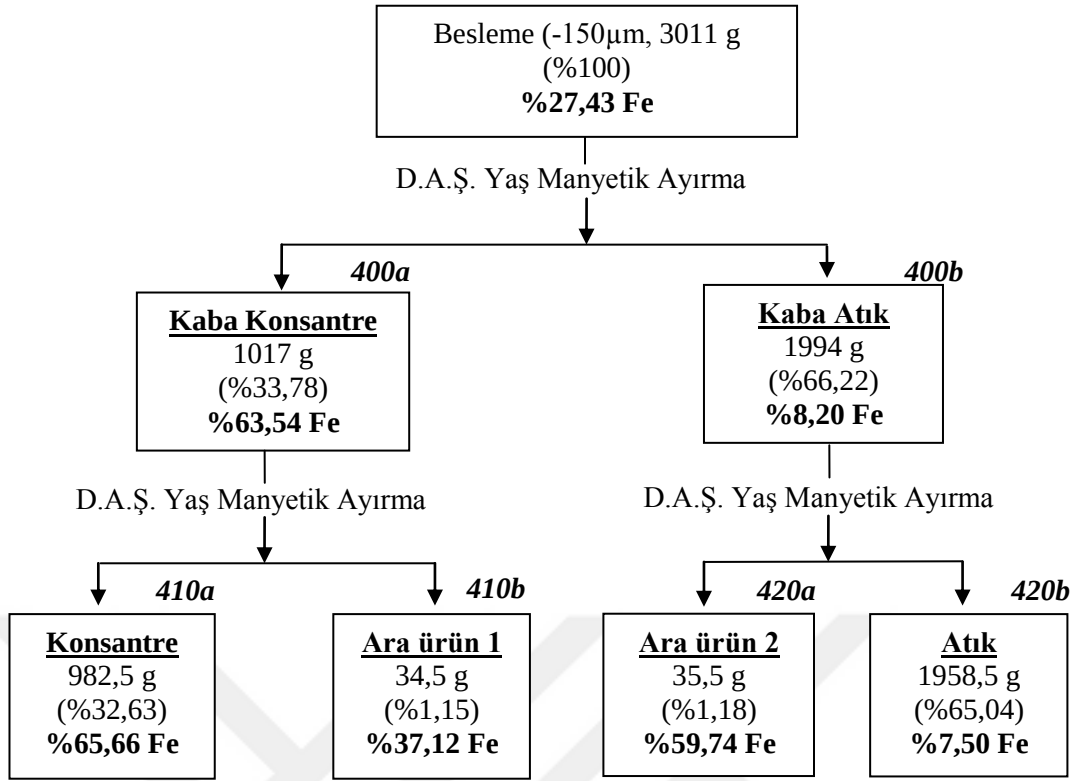


Şekil 4.6. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -300 µm)

Çizelge 4.6. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -300 µm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Konsantre	310a	34,15	61,59	76,68
Ara ürün 1	310b	3,13	33,08	3,77
Ara ürün 2	320a	1,51	47,49	3,17
Atık	320b	61,21	7,59	16,38
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	300a	37,28	58,76	79,86

Şekil 4.6 da -300 µm d.a.ş. yaş manyetik ayırma deneyinde %61,59 Fe tenörüne sahip ve %76,68 metal kazanma verimli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünlerin Çizelge 4.6 da verilen metalurjik denge tablosunda verimleri hesaplanmıştır.

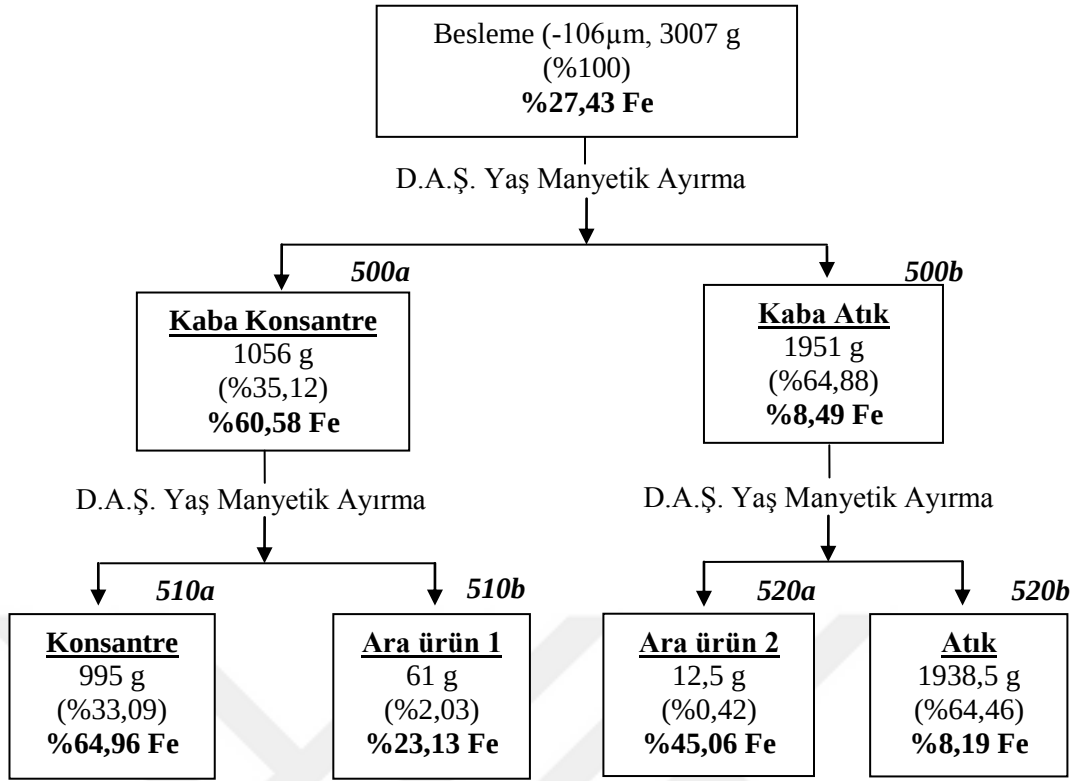


Şekil 4.7. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -150 µm)

Çizelge 4.7. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -150 µm)

Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Konsantre	410a	32,63	65,66	78,11
Ara ürün 1	410b	1,15	37,12	1,55
Ara ürün 2	420a	1,18	59,74	2,57
Atık	420b	65,04	7,50	17,77
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	400a	33,78	63,54	78,25

Şekil 4.7 de -150 µm d.a.ş. yaş manyetik ayırma deneyinde %65,66 Fe tenörüne sahip ve %78,11 metal kazanma verimli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünlerin Çizelge 4.7 de verilen metalurjik denge tablosunda verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme akım şeması ve ürün dağılımı (Besleme tane boyutu -106 µm)

Çizelge 4.8. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya ait metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -106 µm)

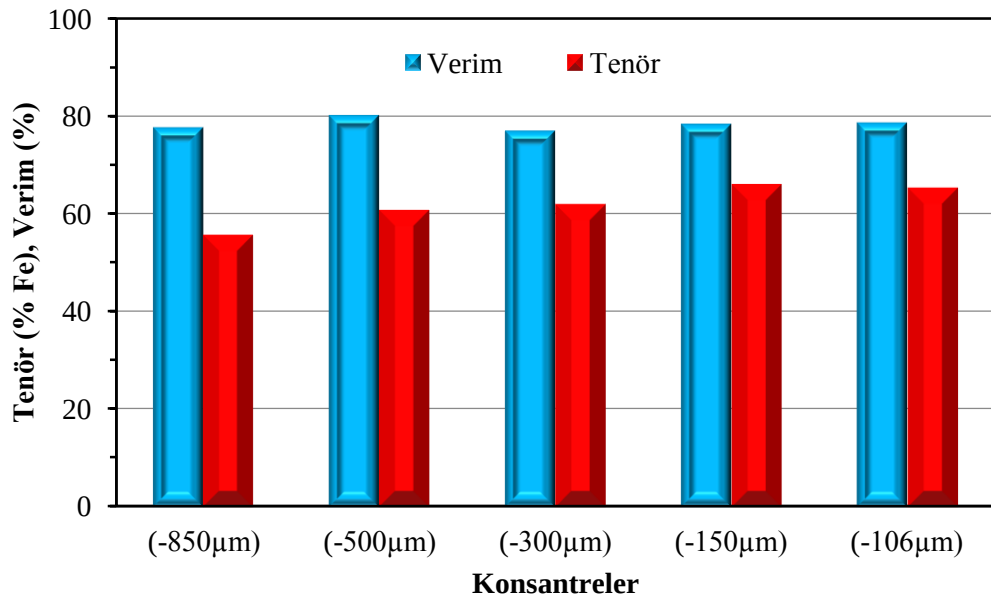
Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
Konsantre	510a	33,09	64,96	78,36
Ara ürün 1	510b	2,03	23,13	1,71
Ara ürün 2	520a	0,42	45,06	0,68
Atık	520b	64,46	8,19	19,25
Besleme	-	100	27,43	100,00
Kaba Konsantre	500a	35,12	60,58	77,56

Şekil 4.8 de -106 µm d.a.ş. yaş manyetik ayırma deneyinde %64,96 Fe tenörüne sahip ve %78,36 metal kazanma verimli konsantre elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünlerin Çizelge 4.8 de verilen metalurjik denge tablosunda verimleri hesaplanmıştır.

Yapılan manyetik ayırma deneyleri sonucunda en yüksek demir tenörü %65.66 Fe ve %78.11 metal kazanma verimine ulaşılmıştır (Çizelge 4.9). Manyetik

ayırma deney sonucunda en ideal sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda Şekil 4.9 da verilen tenör - verim grafiğinde görüldüğü gibi metal kazanma verimi arttıkça tenör düşmüştür. Elde edilen konsantrelerin analizleri Çizelge 4.9 de verilmiştir.

Düşük alan şiddetli manyetik ayırma deneyleri sonucunda en yüksek % Fe tenörü elde edilmiştir. Özellikle ince boyutlara doğru cevher serbestleşmesi arttığı için daha yüksek demir tenörü elde edilmiştir. Deney çalışması sırasında salkımlaşmalar meydana gelmemesi için temizleme işlemi su ile yapılmıştır.



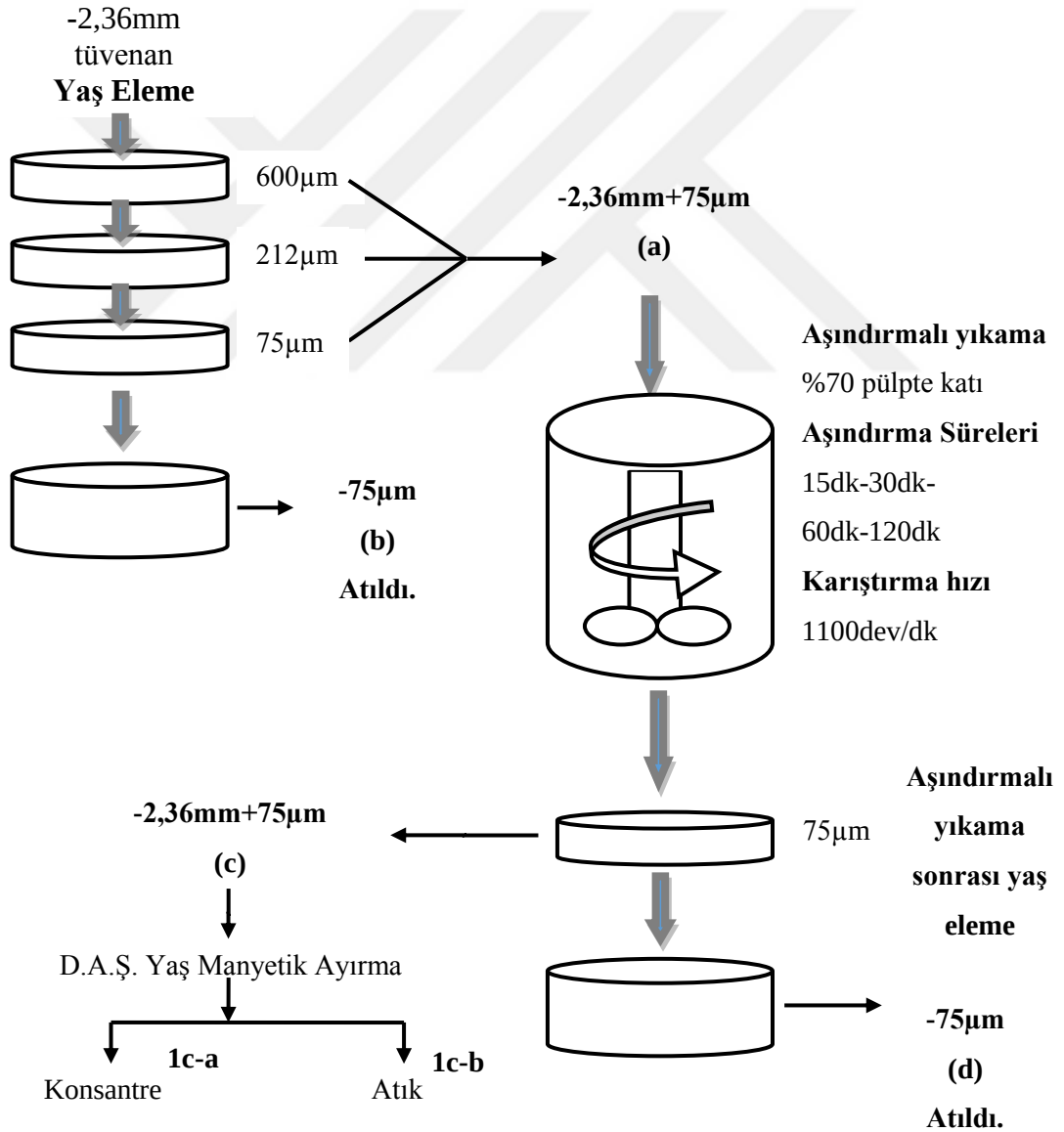
Şekil 4.9. Yaş manyetik ayırma ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi

Çizelge 4.9. D.A.Ş. Yaş Manyetik ayırma sonucu ürünlerin kimyasal analizi

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
80a	55,33	9,16	5,66	2,54	0,40	0,09	0,02	0,10	0,07
110a	60,39	7,36	4,74	1,94	0,33	0,06	0,01	0,10	0,07
310a	61,59	6,16	4,05	1,68	0,30	0,05	0,01	0,11	0,07
410a	65,66	3,40	2,43	0,98	0,26	0,02	0,01	0,10	0,07
510a	64,96	3,56	2,54	0,97	0,25	0,02	0,01	0,11	0,07
520b	8,19	43,80	17,46	15,68	2,51	1,62	0,29	0,10	0,07
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,11	0,07

4.2. Aşındırmalı Yıkama + D. A. Ş. Yaş Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme Deneyleri

Cevher içerisinde bulunan kil mineralleri belirli zamanlarda aşındırmalı yıkama yapılarak, şlam atılması sonucunda elde edilen $-2,36\text{mm} + 75\mu\text{m}$ boyutları arasındaki cevherler manyetik ayırma ile zenginleştirilerek aşındırmalı yıkamanın zenginleştirme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aşındırma süreleri 15dk, 30dk, 60dk ve 120 dk olarak ayarlanmıştır. Yapılan elek analizi sonucunda $-75\mu\text{m}$ boyutunda killerin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aşağıda verilen akım şemasında aşındırmalı yıkama adımları verilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Aşındırmalı yıkama akım şeması

Yapılan aşındırmalı yıkamalar sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki Çizelge 4.10. de verilmiştir. Yapılan deneylerden sonra her bir üründen 20 gram analiz için örnek alınmıştır. İlk besleme 1000 gram örnek alınmıştır. Tüm aşındırılan ürünlere ek olarak hiç aşındırılmadan doğrudan eleme yapılmış olan ürün manyetik ayırma ile zenginleştirilmiştir.

Çizelge 4.10. Aşındırmalı yıkama deney verileri

Kod	Aşındırmalı yıkama öncesi		Aşındırma Süresi (dk)	Aşındırmalı yıkama sonrası	
	-2,36mm+75µm (a)	-75µm (b)		-2,36mm+75µm (c)	-75µm (d)
4	845 g %30,53 Fe	155 g %21,52 Fe	15	760 g %31,91 Fe	65 g %18,96 Fe
3	841 g %30,77 Fe	159 g %21,07 Fe	30	723 g %33,44 Fe	98 g %17,92 Fe
2	838 g %31,55 Fe	162 g % 22,51 Fe	60	695 g %35,39 Fe	123 g %15,67 Fe
1	843 g %30,98 Fe	143 g %22,36 Fe	120	670 g %36,95 Fe	153 g %13,80 Fe
	Genel ort. %30,96 Fe	Genel ort. %21,87 Fe			

Aşındırma süreleri artıkça -2,36 +75 µm boyutundaki %Fe tenörü artmaktadır. Bunun nedeni aşınma sırasında killeri daha fazla dağılarak şlam boyutuna geçmiş olmasıdır. Aşındırmalı yıkamanın etkisini görebilmek için -2,36mm +75µm boyutundaki aşındırılmamış cevher D.A.Ş. yaş manyetik ayırıcıda zenginleştirilmiştir. Aşındırma sonucunda elde edilen -2,36mm +75µm boyutundaki cevherlerde yaş manyetik ayırıcıda zenginleştirilerek elde edilen sonuçlardan aşındırmalı yıkamanın manyetik ayırma üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

Aşındırmalı yıkamanın manyetik ayırma üzerinde az da olsa bir etkisi görülmüştür. Şlamı atılmış malzemeye göre aşındırılmış malzemelerin % Fe tenörleri ve metal kazanma verimleri artmıştır (Çizelge 4.11). Aşındırmalı yıkamanın % Fe tenörüne etkisi yaklaşık olarak % 2 - 4 arasında artış göstermektedir. Özellikle

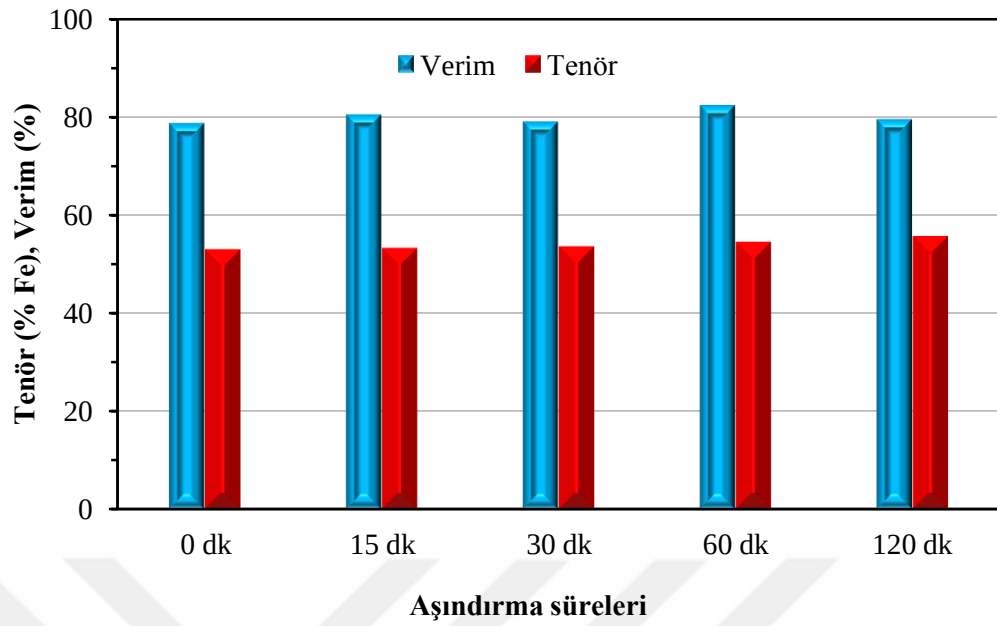
alkalilerin uzaklaştırılmasında etkisi çok fazladır (Çizelge 4.12). Kil mineralleri aşındırma ile kolay dağıldığı için zenginleştirmeye olumlu etkisi olmuştur.

Çizelge 4.11. Aşındırılmalı yıkama işleminden geçirilmiş cevherin düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma zenginleştirme sonuçları

Aşındırma süresi	Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
0 dk (Aşındırılmamış)	Konsantre	5a	45,61	52,78	78,44
	Atık	5b	54,39	13,32	21,56
	Besleme	5	100,00	30,69	100
15 dk Aşındırılmış	Konsantre	4c-a	48,24	53,03	80,17
	Atık	4c-b	51,76	12,55	19,83
	Besleme	4c	100,00	31,91	100
30 dk Aşındırılmış	Konsantre	3c-a	49,29	53,41	78,73
	Atık	3c-b	50,71	10,05	21,27
	Besleme	3c	100,00	33,44	100
60 dk Aşındırılmış	Konsantre	2c-a	53,48	54,30	82,06
	Atık	2c-b	46,52	13,65	17,94
	Besleme	2c	100,00	35,39	100
120 dk Aşındırılmış	Konsantre	1c-a	52,77	55,47	79,22
	Atık	1c-b	47,23	16,26	20,78
	Besleme	1c	100,00	36,95	100

Çizelge 4.12. Aşındırılmalı yıkama + düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
2c-a	54,30	12,19	7,10	3,67	0,41	0,025	0,027	0,11	0,08
3c-a	53,41	13,57	7,42	4,28	0,48	0,026	0,035	0,12	0,09
4c-a	53,03	13,43	7,70	4,05	0,46	0,033	0,028	0,11	0,08
5a	52,78	11,42	6,61	3,44	0,39	0,033	0,030	0,11	0,08
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,11	0,07

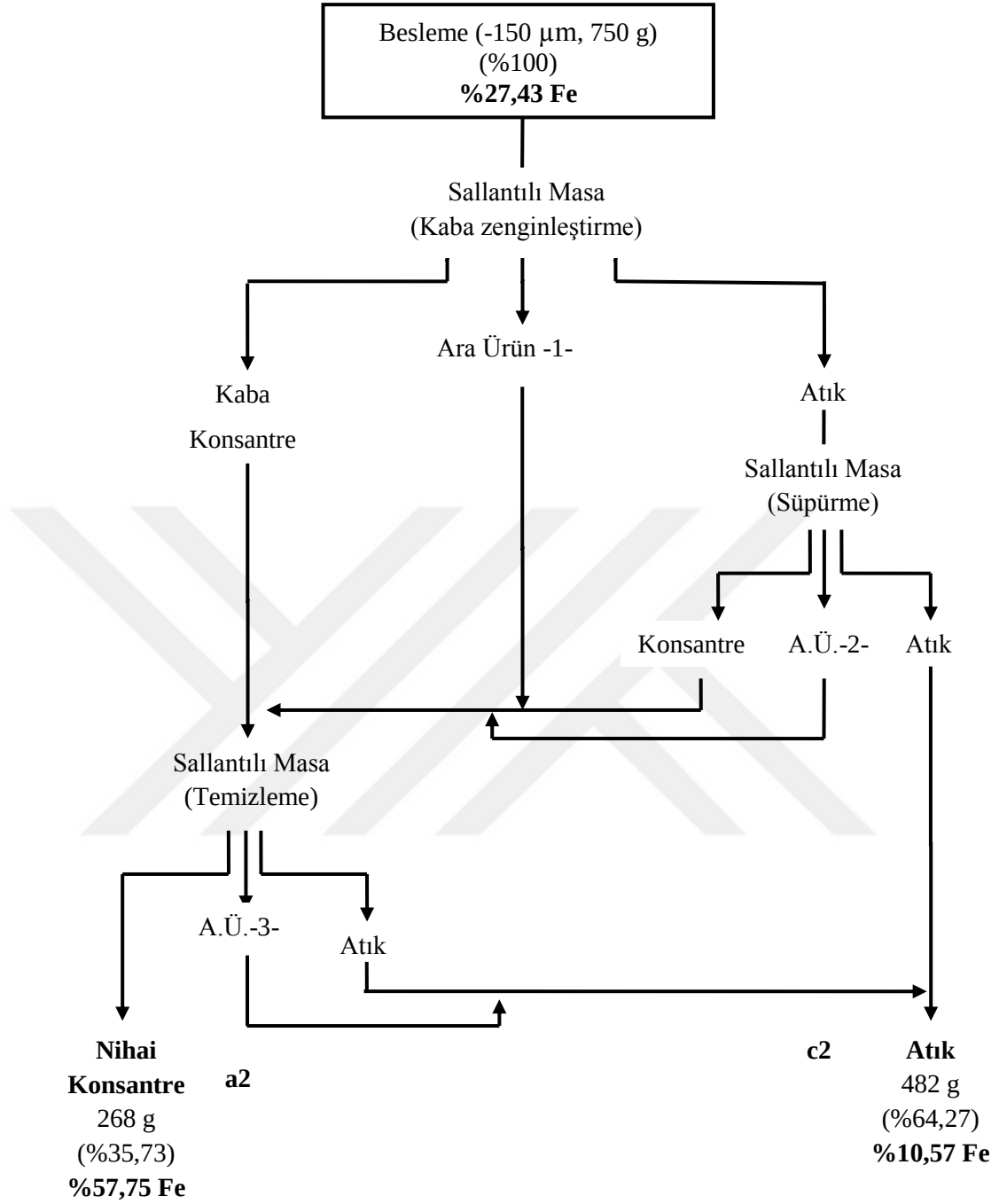


Şekil 4.11. Aşındırılmalı yıkama ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi

4.3. Sallantılı Masa ile Zenginleştirme Deneyleri

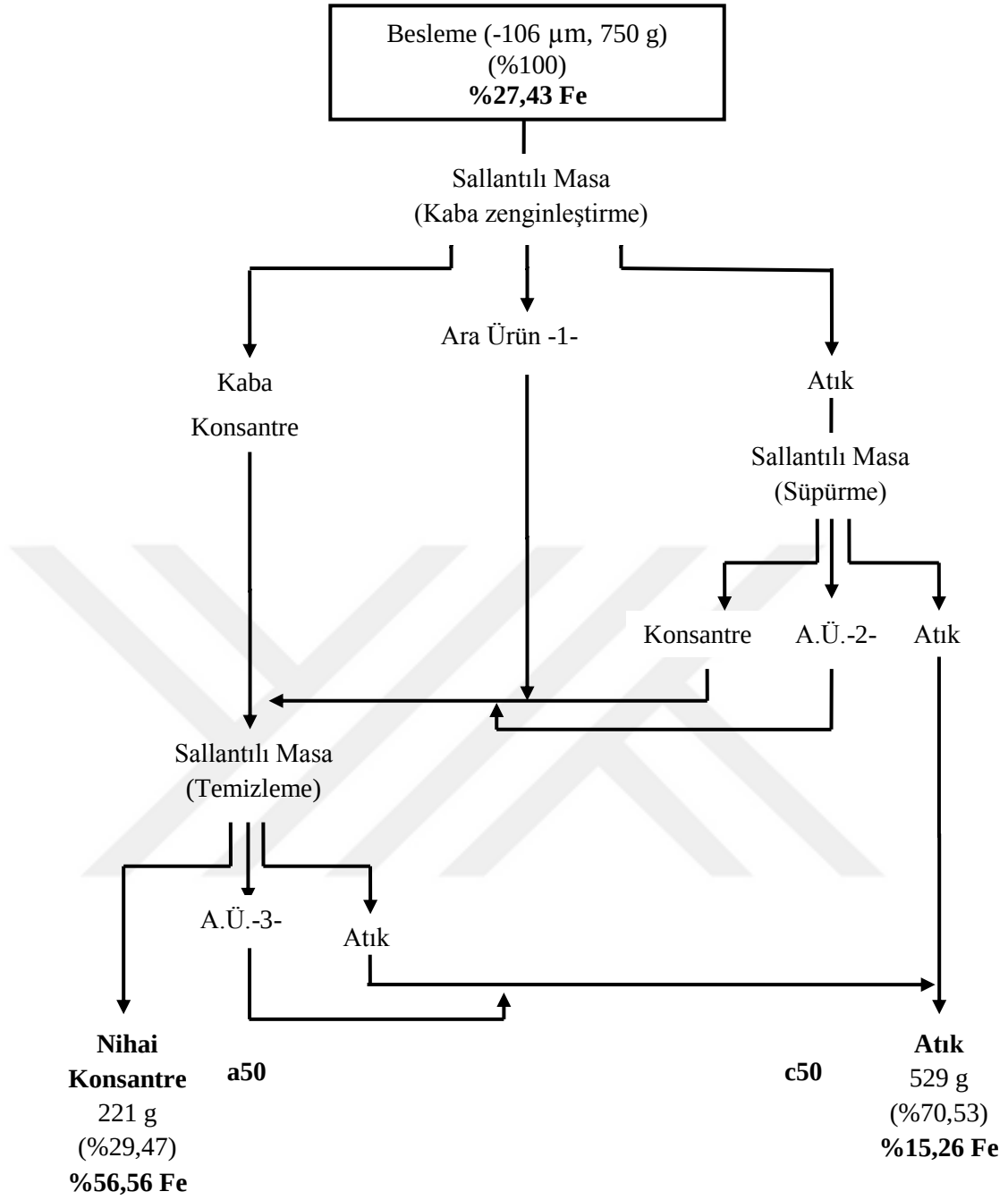
Gravite zenginleştirme yöntemlerinden biri olan sallantılı masa ile zenginleştirme deneyleri cevherin ince boyutta serbestleştiğinden dolayı ince boyutlarda çalışılmıştır. Çalışma boyutları $-150\mu\text{m}$, $-106\mu\text{m}$, $-150\mu\text{m}+75\mu\text{m}$ ve $-75\mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. Deney için hazırlanan malzemeler otomatik besleyiciyle homojen bir şekilde sallantılı masaya beslenmiştir. Otomatik besleyicinin kapasitesi düşük olduğu için ve deneylerin doğruluğundan emin olmak için her bir boyutta aynı iki deney yapılmıştır. Hazırlanan cevherler ilk olarak kaba zenginleştirme ile yapılmıştır. Kaba zenginleştirme sonrası elde edilen ürünler, temizleme ve süpürme devrelerinde zenginleştirilmiştir. Zenginleştirme sonucunda elde ara ürünlerin miktarı az olduğundan nihai konsantrenin tenörünü düşürmemesi amacıyla atığa katılmıştır. Manyetik ayırmadan sonra en iyi sonuçlar sallantılı masada elde edilmiştir. Boyut sınıflandırması yapılan boyutlarda %Fe ve metal kazanma verimleri daha yüksek çıkmıştır.

Otomatik besleyici ile sallantılı masaya beslenen malzeme eşit oranda ve sürekli geldiği için ayırma işlemi en ideal koşullarda yapılmıştır. Sallantılı masa eğimi 8° eğimle ve 110 frekans hızla çalışılmıştır.



Şekil 4.12. Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -150µm)

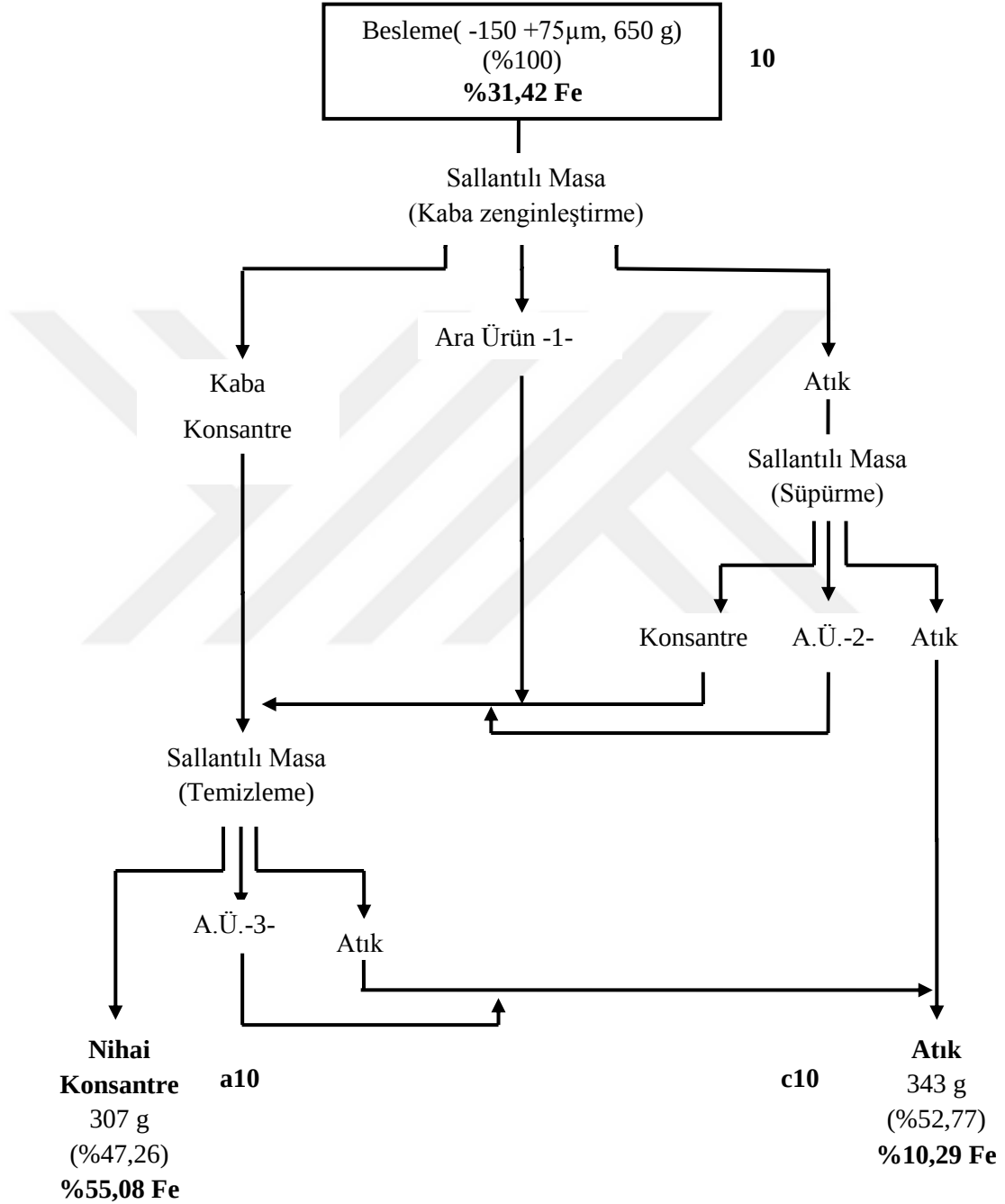
Şekil 4.12 de -150µm boyutunda yapılan çalışmada Kaba zenginleştirme sonrasında ara ürün ve atık birleştirilerek süpürme devresine verilmiştir. Süpürmeden çıkan konsantre ve kaba konsantre temizleme devresinde zenginleştirilmiştir. Elde edilen atıklar ve ara ürün birleştirilerek nihai atık elde edilmiştir. Temizleme devresi sonucunda ise nihai konsantre elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -106µm)

Şekil 4.13 de -106 mikronda boyut inceldiği için cevherin bir kısmı akıntıya kapılarak atığa gitmiştir. Bundan kaynaklı olarak konsantre miktarları -150 mikrona göre düşük çıkmıştır. Atığın tenöründe ki bir miktarda artış bunu göstermektedir. -150µm da olduğu gibi atıklar ve son ara ürün birleştirilerek nihai atık elde edilmiştir. Elde edilen ürünlerden 20gram temsili örnek alınarak analizleri yapılmıştır.

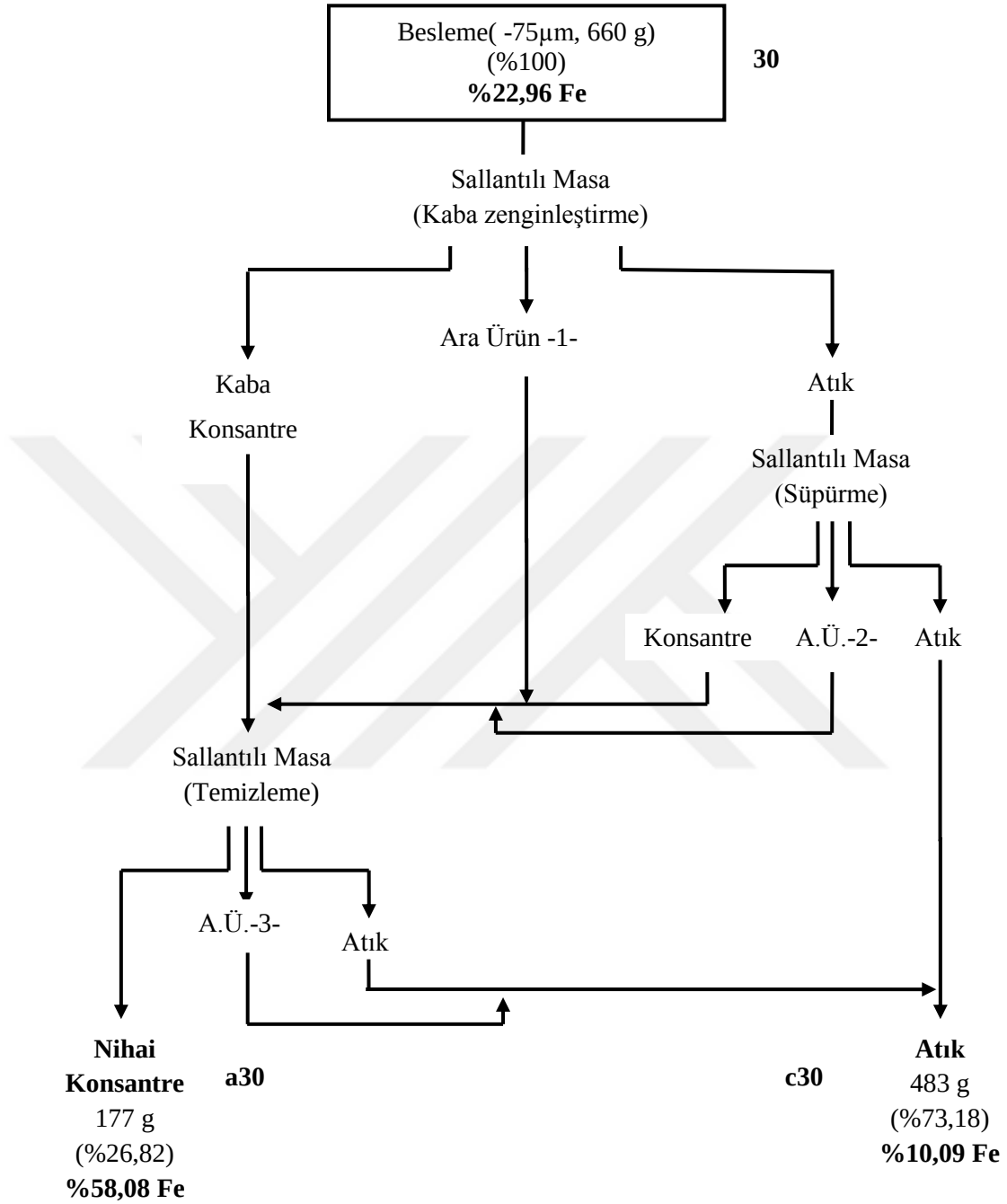
-150 μ m ve 106 μ m deneylerine ek olarak tane boyu sınıflandırılması yapılmış iki boyutta daha zenginleştirme yapılmıştır. Bu boyutlar -150+75 μ m ve -75 μ m olarak ayarlanmıştır. Tüvenan cevher değeri değerleri değiştiği için hazırlanan her bir örnekten tekrar numune alınarak analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.14. Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -150 +75 μ m)

Boyut sınıflandırılması yapılan bu zenginleştirmede taneler büyüklüğü birbirine yakın ve şlam boyutunda cevherin olmamasından dolayı kayıp miktarı az

olmuştur. Şekil 4.14 de -150µm +75µm boyutunda %55,08 Fe tenörüne sahip ve %82,72 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir.

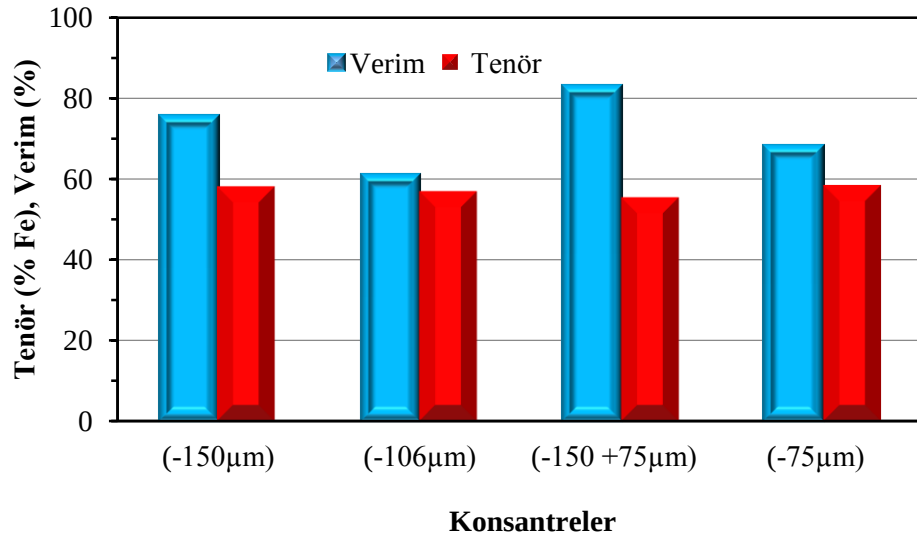


Şekil 4.15. Sallantılı masa zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -75µm)

Şekil 4.15 de -75µm boyutunda yapılan sallantılı masa ile zenginleştirmede %58,08 Fe tenörüne sahip ve %67,84 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Bu boyutta yapılan deneyde şlam boyutunda ki malzemelerden dolayı konsantre miktarı az ve yüksek tenörlü çıkmıştır. Buna karşılık metal kazanma verimi düşmüştür.

Çizelge 4.13. Sallantılı masa ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu

Tane Boyutu	Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
-150 μm	Konsantre	a2	35,73	57,75	75,22
	Atık	c2	64,27	10,57	24,78
	Besleme	-	100,00	27,43	100
-106 μm	Konsantre	a50	29,47	56,56	60,77
	Atık	c50	70,53	15,26	39,23
	Besleme	-	100,00	27,43	100
-150+75 μm	Konsantre	a10	47,23	55,03	82,72
	Atık	c10	52,77	10,29	17,28
	Besleme	10	100,00	31,42	100
-75 μm	Konsantre	a30	26,82	58,08	67,84
	Atık	c30	73,18	10,09	32,16
	Besleme	30	100,00	22,96	100



Şekil 4.16. Sallantılı masa ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi

Çizelge 4.13 de sallantılı masa ile yapılan tüm deneylerin tenörleri ve metal kazanma verimleri verilmiştir. Sallantılı masa deneylerinde en iyi sonuç -150+75 μm boyutunda elde edilmiştir. Şekil 4.16 da sallantı masa ile zenginleştirme deneylerinin tenör - verim grafiği verilmiştir.

Sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme deneylerinde safsızlık değerleri manyetik ayırma göre daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.14). Bazı değerler demir çelik endüstrinin belirlediği red değerlerine yakındır.

Çizelge 4.14. Sallantılı masa ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
a2	57,75	6,09	3,31	3,08	1,13	0,38	0,053	0,11	0,08
a10	55,03	8,49	3,99	3,19	0,42	0,024	0,023	0,11	0,08
a50	56,56	7,08	3,43	2,90	0,32	0,026	0,025	0,11	0,08
c2	10,57	26,69	15,11	13,72	4,38	1,19	0,17	0,12	0,09
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,11	0,07

4.4. Humphrey Spriali ile Zenginleştirme Deneyleri

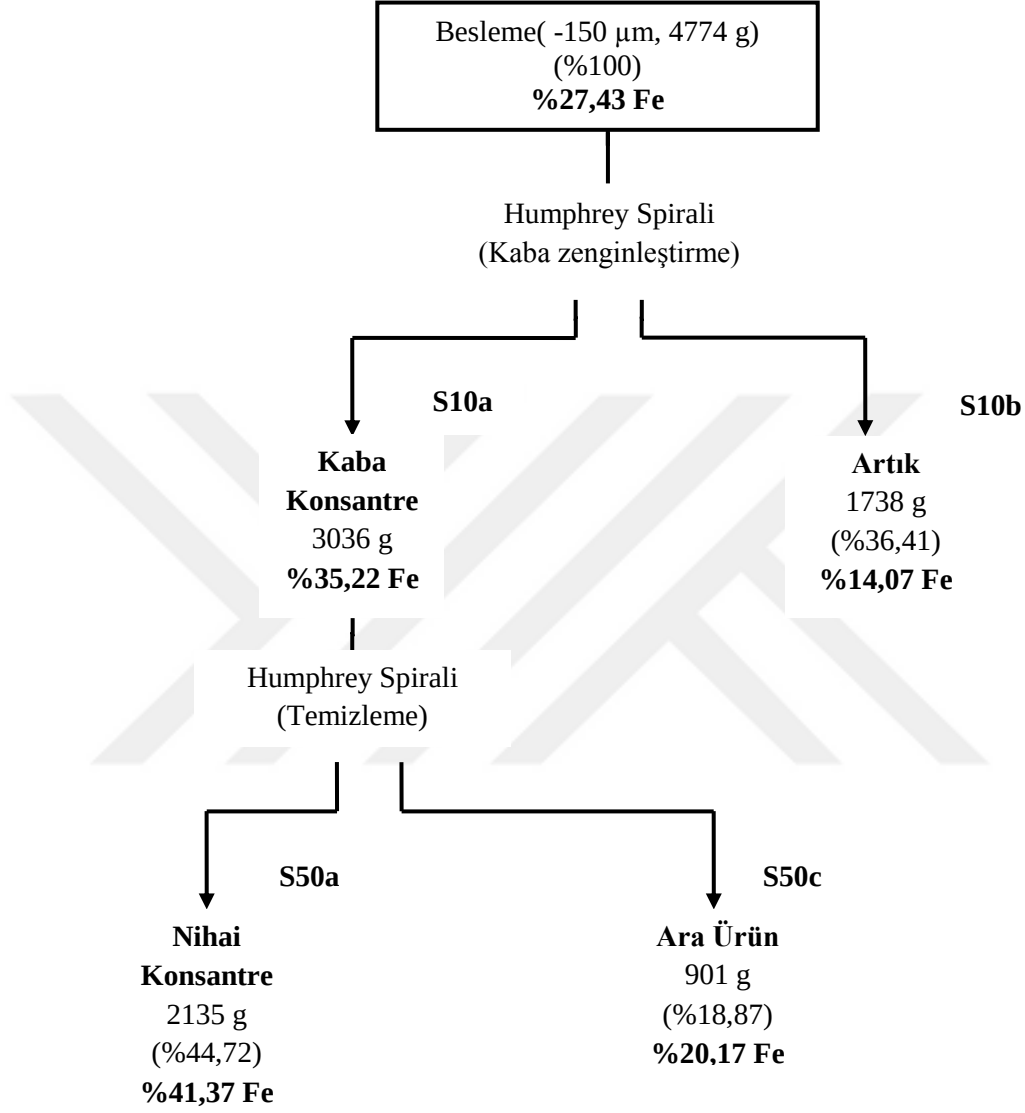
Gravite zenginleştirme yöntemlerden biri olan Humphrey spirali ile zenginleştirme deneyleri cevherin ince boyutta serbestleştiğinden dolayı ince boyutlarda çalışılmıştır. Çalışma boyutları -150µm, -106µm ve -75µm olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan cevherler ilk önce kaba zenginleştirme devresinde zenginleştirilmiştir. Elde edilen kaba konsantre içerisinde bulunan atıklardan dolayı temizleme devresine verilmiştir. Kaba atığa ise hiçbir işlem yapılmamıştır. Temizleme devresi sonucunda nihai konsantre ve kaba atığa göre daha yüksek tenörlü ara ürün elde edilmiştir. Sistem kapalı devre olarak çalıştırılmıştır. Bunun nedeni hatvelerde her zaman su akışını sağlamak ve atık içerisinde giden tüm konsantreleri kazanmaktır. Tüm konsantreler alındıktan sonra sistem kapatılıp atık alınmıştır.

Sistem çalışırken ara ürün alınmamıştır ve ara ürün bölgesi kapatılmıştır. Konsantre alınan kapak yaklaşık 20° lik bir açıyla açık bırakılmıştır. Ayrıca spiralin orta bölgesinde konsantre alınarak ve tüm konsantreler birleştirilmiştir.

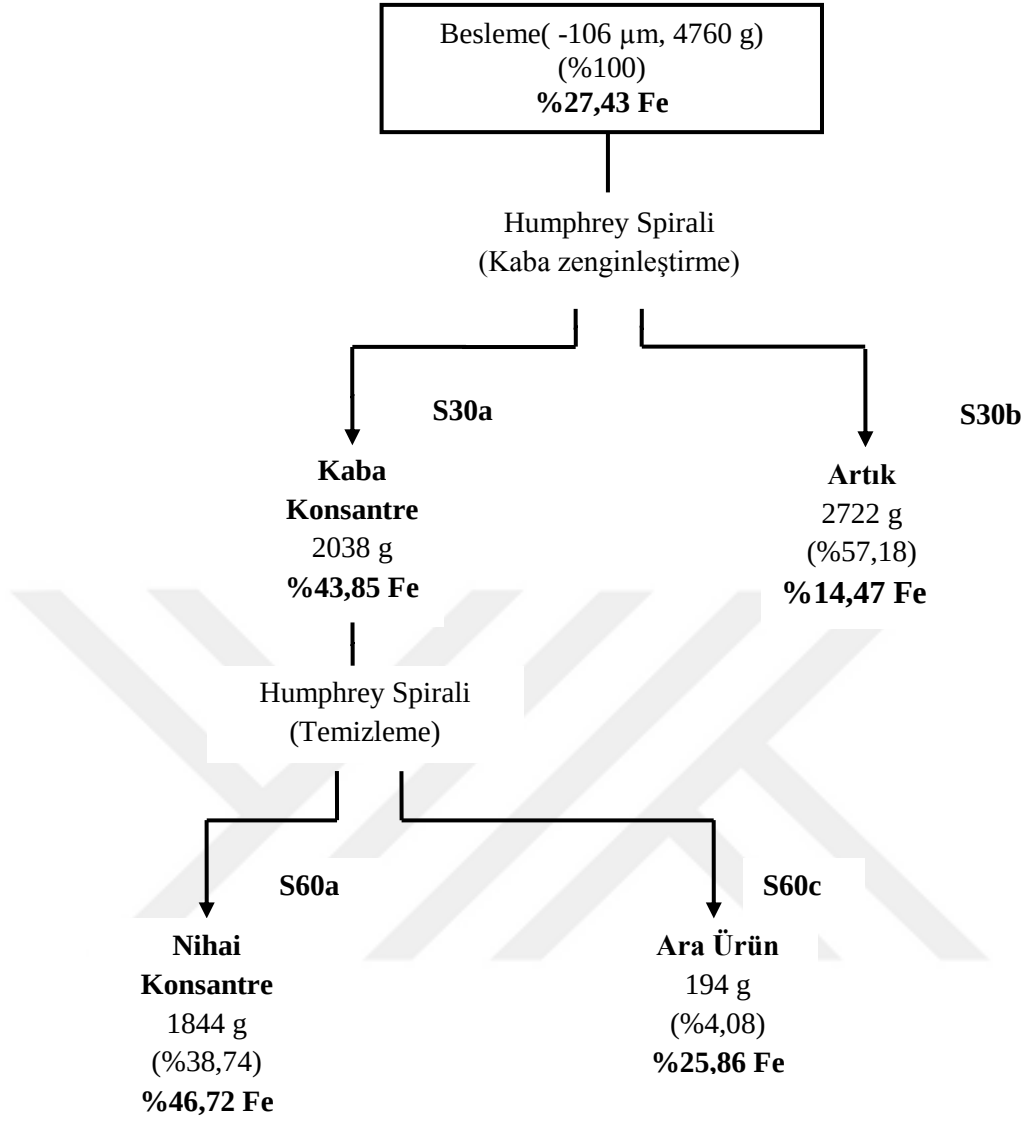
Besleme tenörü bu boyutta daha düşüktür. Elek analizi verilerinde görüldüğü gibi ince boyutta cevher tenörü düşüktür. Bundan kaynaklı olarak konsantre miktarı

da düşük çıkmıştır. Konsantre tenörü tüm sallantılı masa zenginleştirmeleri içerisinde en yüksek bu boyutta çıkmıştır. Metal kazanma verimi de $-150\mu\text{m}+75\mu\text{m}$ boyutuna göre düşük çıkmıştır.



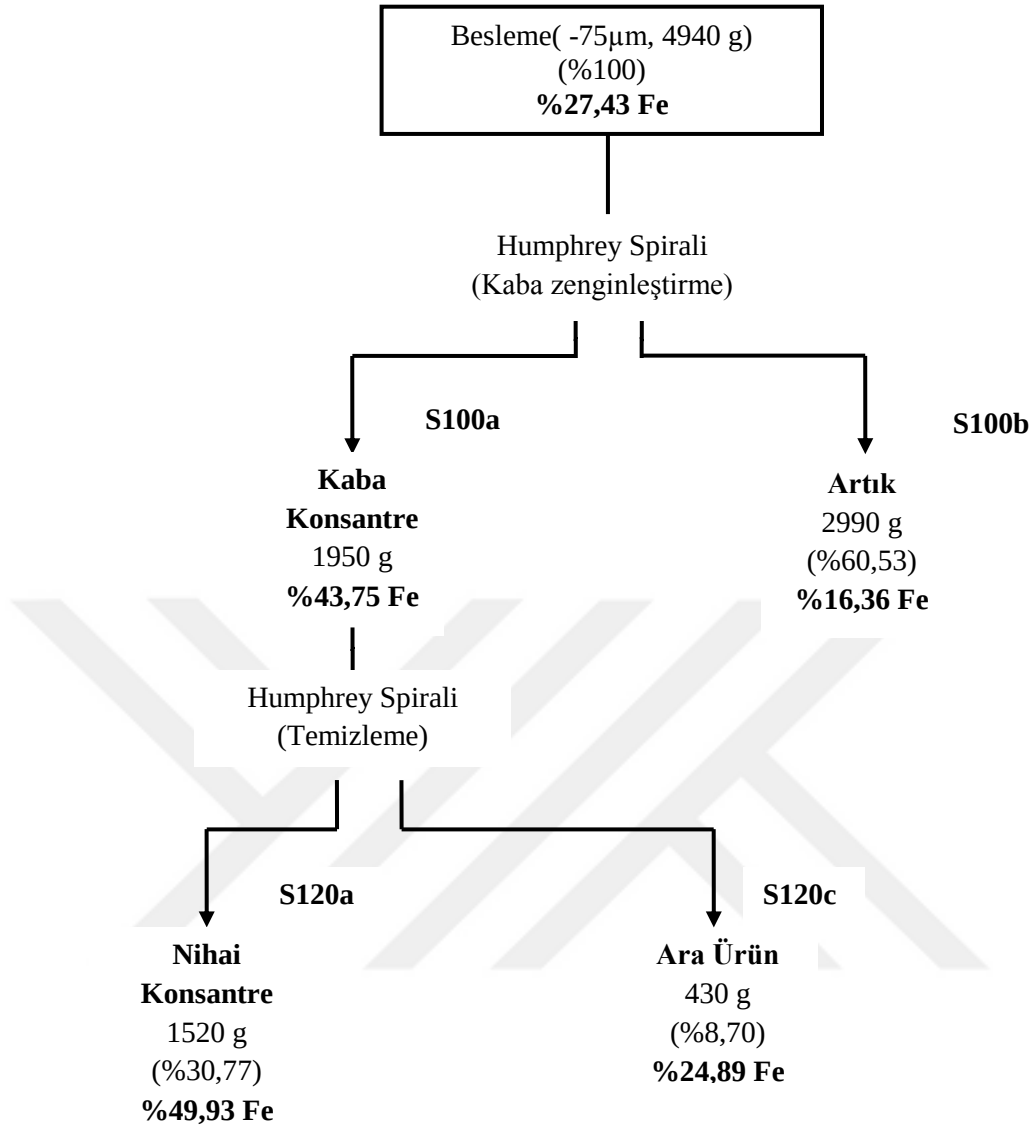
Şekil 4.17. Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu $-150\mu\text{m}$)

Şekil 4.17 de yapılan zenginleştirme işleminde kaba zenginleştirme devresinde malzeme 2 ye bölünerek yapılmıştır. $\%41,37$ Fe tenörüne sahip ve $\%67,45$ metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Buradan elde edilen kaba konsantreler birleştirilerek temizleme devresine verilmiştir. Temizleme devresi sonucunda nihai konsantre ve ara ürün elde edilmiştir. Konsantre tenörü tüm zenginleştirme yöntemleri arasında en düşük değer bu zenginleştirme yönteminde elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -106µm)

Şekil 4.18 de yapılan zenginleştirme işleminde kaba zenginleştirme devresinde malzeme 2 ye bölünerek yapılmıştır. %46,72 Fe tenörüne sahip ve %65,98 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Buradan elde edilen kaba konsantreler birleştirilerek temizleme devresine verilmiştir. Temizleme devresi sonucunda nihai konsantre ve ara ürün elde edilmiştir. Ara ürün miktarı bir önceki deneye göre daha az çıkmıştır. Konsantre tenörü -150µm boyutuna göre artmıştır.

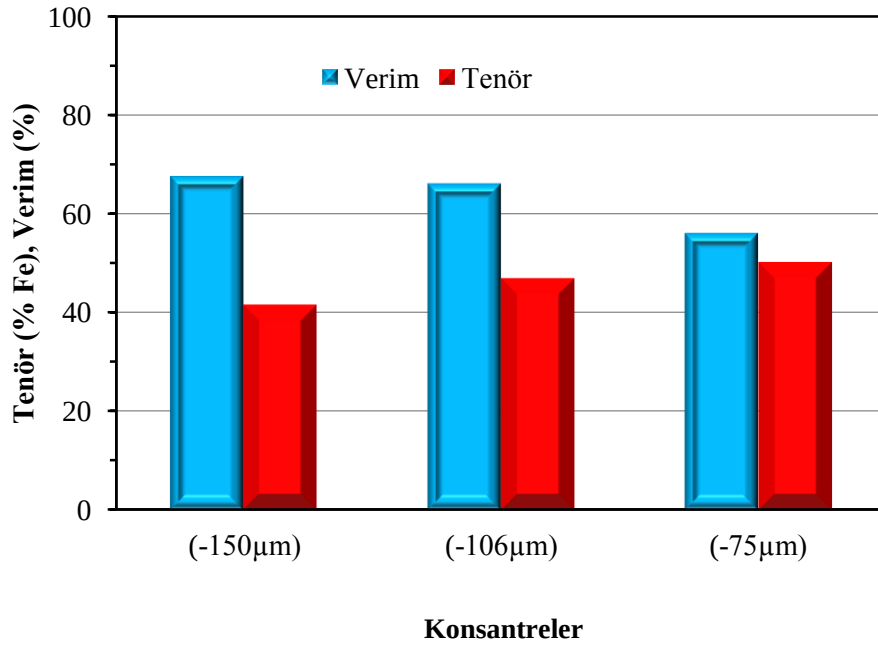


Şekil 4.19. Humphrey spirali zenginleştirme akım şeması (Besleme tane boyutu -75µm)

Şekil 4.19 da yapılan zenginleştirme işleminde kaba zenginleştirme devresinde malzeme 2 ye bölünerek yapılmıştır. %49,93 Fe tenörüne sahip ve %56,01 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Buradan elde edilen kaba konsantreler birleştirilerek temizleme devresine verilmiştir. Temizleme devresi sonucunda nihai konsantre ve ara ürün elde edilmiştir. -75µm boyutunda %50 Fe tenörü elde edilmiştir. Konsantre miktarı ise diğer deneylere göre daha az çıkmıştır.

Çizelge 4.15. Humphrey Spirali ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu

Tane Boyutu (μm)	Ürün	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
-150μm	Konsantre	S50a	44,72	41,37	67,45
	Ara ürün	S50c	18,87	20,17	13,88
	Atık	S10b	36,41	14,07	18,67
	Besleme	-	100,00	27,43	100
-106μm	Konsantre	S60a	38,74	46,72	65,98
	Ara ürün	S60c	4,08	25,86	3,85
	Atık	S30b	57,18	14,47	30,17
	Besleme	-	100,00	27,43	100
-75 μm	Konsantre	S120a	30,77	49,93	56,01
	Ara ürün	S120c	8,70	24,89	7,89
	Atık	S100b	60,53	16,36	36,10
	Besleme	-	100,00	27,43	100



Şekil 4.20. Humphrey spirali ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi

Çizelge 4.15 de Humphrey spirali ile yapılan tüm deneylerin tenörleri ve metal kazanma verimleri verilmiştir. Humphrey spirali deneylerinde en iyi sonuç

-75 μm boyutunda elde edilmiştir. Şekil 4.20 de spiral ile zenginleştirme deneylerinin verim tenör grafiği verilmiştir.

Humphrey spirali ile yapılan zenginleştirme deneylerinde safsızlık değerleri yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.16). Elde edilen değerler demir çelik endüstrinin belirlediği red değerlerine üstündür. Humphrey spirali deneylerinde istenilen sonuçlar elde edilememiştir.

Çizelge 4.16. Humphrey spirali ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
S50a	41,37	14,01	8,73	7,52	2,30	0,78	0,14	0,11	0,08
S120a	49,93	14,84	5,80	5,20	0,69	0,36	0,04	0,13	0,12
S50c	20,17	23,82	15,28	10,89	4,88	1,65	0,16	0,09	0,08
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,12	0,07

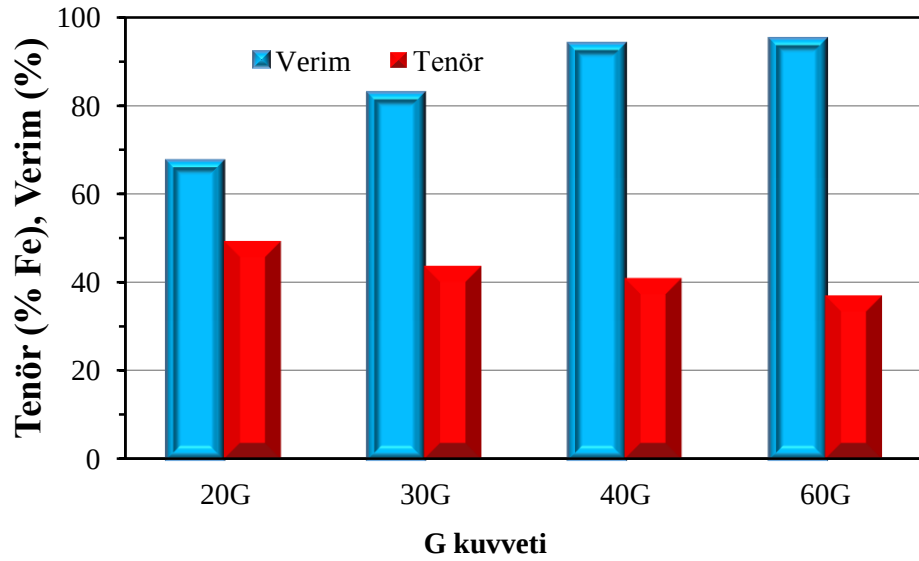
4.5. Falcon Konsantratörü ile Zenginleştirme Deneyleri

Gravite zenginleştirme yöntemlerden biri olan Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri cevherin ince boyutta serbestleştiğinden dolayı ince boyutlarda çalışılmıştır. Çalışma boyutları tüm cevher -150 μm boyutu altına indirildikten sonra, tane boyu sınıflandırılması yapılmıştır. Bu boyutlar -150 +106 μm , -106 +53 μm ve -53 μm olarak ayarlanmıştır. Her deney için 150 gram örnek hazırlanmıştır. Kullanılan cihazın kapasitesinden dolayı alınan örnekler 3 e bölünerek 50 gram şeklinde yapılarak konsantreler ve atıklar birleştirilmiştir. Deneyler 4 farklı G kuvvetinde yapılmıştır. Bu G kuvvetleri; 20G, 30G, 40G ve 60G olarak belirlenmiştir. 60G den sonra yüksek G kuvvetinden dolayı tüm ürünler sistemde konsantre bölümünde kaldığı için daha yüksek G kuvvetlerinde çalışılmamıştır. Öğütme sonrasında her boyuttan örnek alınarak analiz yapılmıştır.

Besleme tenörü %31,19 Fe olan -150 +106 μm boyutunda hazırlanan cevher belirlenen G kuvvetlerinde zenginleştirilmiştir. Çizelge 4.17 de 20G kuvvetinde en yüksek %49,16 Fe tenörüne sahip %67,43 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Bu tenör demir çelik endüstrisinin istediği tenörün altında kalmıştır. Elde edilen verilere göre Şekil 4.21 de ki verim- tenör grafiği çizilmiştir.

Çizelge 4.17. Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -150 +106µm)

G-Kuvveti	Ürünler	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
20G	Konsantre	F10a	43,33	49,16	67,43
	Atık	F10b	56,67	18,16	32,57
	Besleme	F1	100,00	31,59	100
30G	Konsantre	F20a	60	43,56	82,74
	Atık	F20b	40	13,65	17,26
	Besleme	F1	100,00	31,59	100
40G	Konsantre	F30a	72,67	40,80	93,86
	Atık	F30b	27,33	7,12	6,14
	Besleme	F1	100,00	31,59	100
60G	Konsantre	F40a	81,33	36,88	94,95
	Atık	F40b	18,67	8,57	5,05
	Besleme	F1	100,00	31,59	100



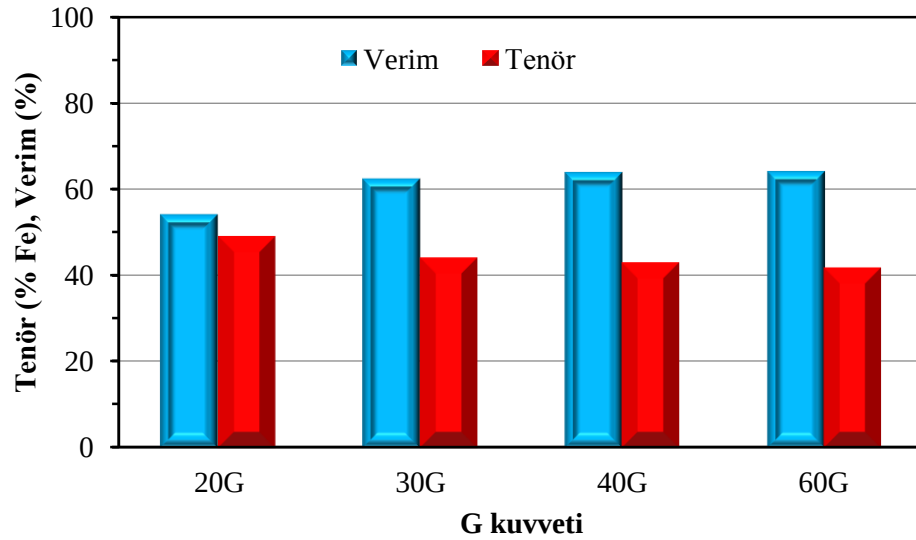
Şekil 4.21. Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu -150 +106µm)

Besleme tenörü %27,72 Fe olan -106µm +53µm boyutunda hazırlanan cevher belirlenen G kuvvetlerinde zenginleştirilmiştir. Çizelge 4.18 de 20G kuvvetinde en yüksek %48,78 Fe tenörüne sahip %53,97 metal kazanma verimli bir konsantre elde

edilmiştir. Bu tenör demir çelik endüstrisinin istediği tenörün altında kalmıştır. Elde edilen verilere göre Şekil 4.22 de ki verim- tenör grafiği çizilmiştir.

Çizelge 4.18. Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -106 +53 μ m)

G-Kuvveti	Ürünler	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
20G	Konsantre	F100a	30,67	48,78	53,97
	Atık	F100b	69,33	18,40	46,03
	Besleme	F2	100,00	27,72	100
30G	Konsantre	F110a	39,33	43,84	62,22
	Atık	F110b	60,67	17,26	37,78
	Besleme	F2	100,00	27,72	100
40G	Konsantre	F120a	41,23	42,72	63,71
	Atık	F120b	58,67	17,15	36,29
	Besleme	F2	100,00	27,72	100
60G	Konsantre	F130a	42,67	41,56	63,97
	Atık	F130b	57,33	17,42	36,03
	Besleme	F2	100,00	27,72	100



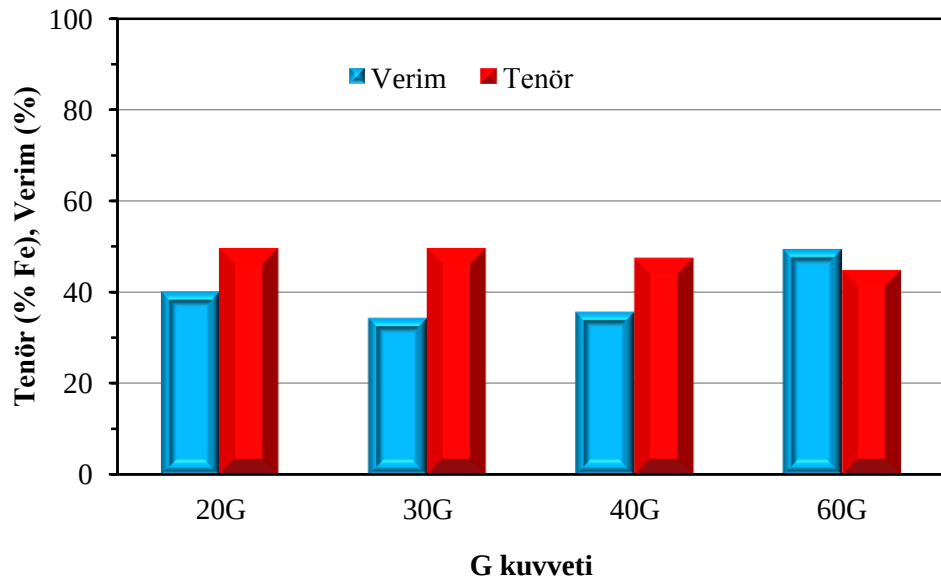
Şekil 4.22. Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu -106 +53 μ m)

Besleme tenörü %23,01 Fe olan -53 μ m boyutunda hazırlanan cevher belirlenen G kuvvetlerinde zenginleştirilmiştir. Çizelge 4.19 da 20G kuvvetinde en

yüksek %49,43 Fe tenörüne sahip %40,09 metal kazanma verimli bir konsantre elde edilmiştir. Bu tenör demir çelik endüstrisinin istediği tenörün altında kalmıştır. Elde edilen verilere göre Şekil 4.23 de ki verim- tenör grafiği çizilmiştir.

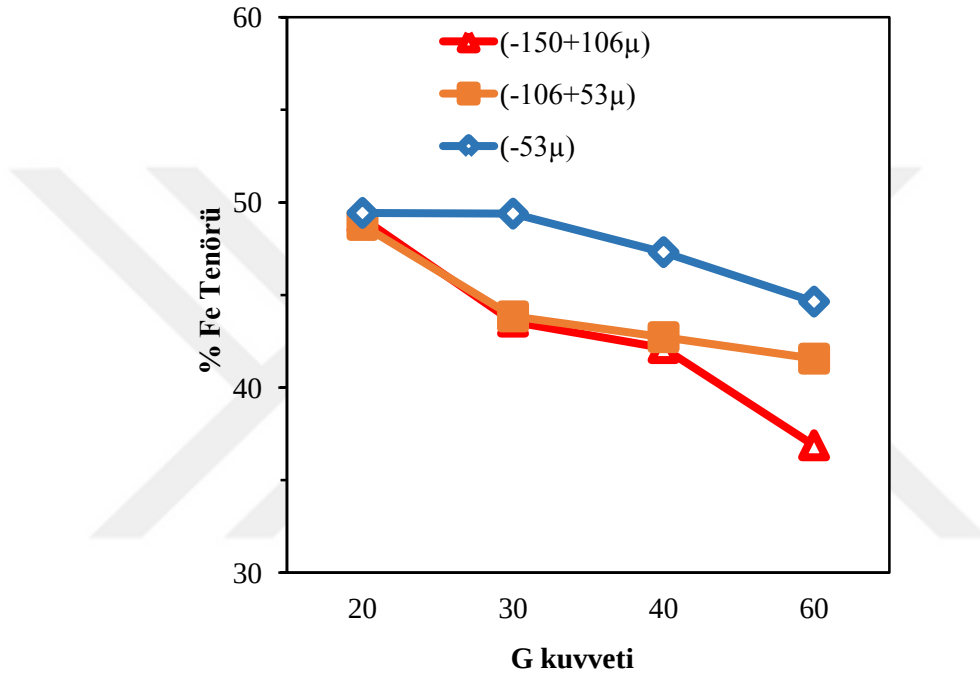
Çizelge 4.19. Falcon konsantratörü ile zenginleştirme deneyleri metalurjik denge tablosu (Besleme tane boyutu -53 μ m)

G-Kuvveti	Ürünler	Ürün kodu	Miktar (%)	Fe (%)	Verim (%)
20G	Konsantre	F200a	18,67	49,43	40,09
	Atık	F200b	81,33	16,95	59,91
	Besleme	F3	100	23,01	100
30G	Konsantre	F210a	16	49,39	34,33
	Atık	F210b	84	18,01	65,67
	Besleme	F3	100	23,01	100
40G	Konsantre	F220a	17,33	47,31	35,63
	Atık	F220b	82,67	23,01	64,37
	Besleme	F3	100	23,01	100
60G	Konsantre	F230a	25,33	44,64	49,31
	Atık	F230b	74,67	15,68	50,69
	Besleme	F3	100	23,01	100



Şekil 4.23. Falcon konsantratörü ile elde edilen konsantrelerin tenör-verim değişimi (Besleme tane boyutu -53 μ m)

Falcon deneyleri sonucunda istenilen tenörde konsantreler elde edilememiştir. Düşük G kuvvetinde yaklaşık % 50 Fe tenörüne ulaşılmıştır. Diğer zenginleştirme deneylerine göre oldukça düşük tenörlü ve metal kazanma verimli konsantreler elde edilmiştir. Şekil 4.24 de elde edilen tüm konsantrelerin G kuvvetine göre karşılaştırılması verilmiştir. Düşük G kuvvetinde % Fe tenörü kısmen daha yüksektir. G kuvveti arttıkça hafif tanelerde falcon konsantratörün çeperine yapışmaktadır. Falcon deneylerde elde edilen en yüksek tenörlü konsantrelerin kimyasal analiz Çizelge 4.20 de verilmiştir.



Şekil 4.24. Falcon konsantratörü konsantrelerin %Fe tenör grafiği

Çizelge 4.20. Falcon konsantratörü ile zenginleştirme sonucu ürünlerin kimyasal analiz sonuçları

Ürünler	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %
F10a	49,16	20,96	8,98	7,38	1,19	0,15	0,05	0,11	0,08
F200a	49,43	17,37	6,89	6,69	0,77	0,06	0,04	0,13	0,12
Besleme	27,43	30,23	13,01	10,85	1,85	1,32	0,12	0,12	0,07

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlarda ve yaptırılan analizlerde projenin öneri aşamasında ortaya koyulan hedeflere ulaşılmıştır. Başlangıçta %27,43 Fe tenörü olan tüvenan cevher zenginleştirme sonucunda %65,66 Fe tenörüne sahip %78,11 metal kazanma verimi ile ulaşılmıştır. Safsızlık olarak bulunan tüm değerler demir çelik endüstrisinde istenilen seviyelerin altına indirilmiştir. Özellikle yüksek alkali içeren cevher yapılan zenginleştirmeler sonrasında %0,38 (K_2O+Na_2O) değerinin altına indirilmiştir.

D.A.Ş. kuru manyetik ayırma deneyleri sonuçlarında istenilen % Fe tenörü elde edilemediği için buradan elde edilen konsantreler yaş manyetik ayırmayla zenginleştirilmiştir. %61,15 Fe tenörlü bir konsantre %79,01 metal kazanma verimi ile elde edilmiştir.

Manyetik zenginleştirme öncesi yapılan aşındırma yıkamanın manyetik ayırmaya etkisi az da olsa bir miktar gözlemlenmiştir. %Fe tenörüne etkisi az olsa bile safsızlıkların giderilmesinde fayda sağlamıştır. Sallantılı masa ile zenginleştirmede %58 Fe tenörüne ulaşılmıştır. Sallantılı masalar manyetik ayırma öncesinde bir ön zenginleştirme işlemi olarak kullanılabilir. Manyetik ayırma ile birlikte zenginleştirme yöntemi olarak kullanılarak çalışılan tesislerin kapasiteleri artırılabilir.

Sallantılı masa deneylerinde boyut sınıflandırılarak yapılan zenginleştirmelerde -150 μ m +75 μ m boyutunda %55 Fe tenörüne sahip %82,72 metal kazanma verimiyle en iyi konsantre elde edilmiştir. İnce boyutlarda konsantre miktarı yaklaşık %25 ve metal kazanma verimi düşük çıkmıştır.

Humphrey spirali ile yapılan zenginleştirme diğer yöntemler kadar etkili bir zenginleştirme olmamıştır. İnce boyutlarda %50 Fe tenörüne ulaşılmıştır. Bu sonuçla spiral sonrasında yapılacak zenginleştirme için iyi bir ön konsantre olarak değerlendirilebilir. Falcon konsantratörü ile humphrey spiralleri benzer sonuçlar vermiştir. Spiralin kapasitesi yüksek olduğu için Falcon konsantratörüne göre daha avantajlıdır.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda Beğre yöresindeki benzerlik gösteren demir cevherlerin ince boyutlarda zenginleştirilmesiyle bölgedeki düşük tenörlü cevherler satışa uygun hale getirilebilecekler ortaya çıkmıştır.

Manyetit cevheri için en çok kullanılan manyetik ayırma ile zenginleştirme öncesinde ek olarak gravite zenginleştirme yöntemleri de kullanılarak tesis kapasiteleri artırılabilir.

Yüksek demir tenörlü ince boyuttaki cevherler peletlenerek piyasa değeri üzerinden satılarak Ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

Azalan yüksek tenörlü demir rezervlerine alternatif olarak Beğre yöresindeki düşük tenörlü demir cevherleri de zenginleştirilebilir.

6.KAYNAKLAR

- [1] S. Tuncel, N. Arı, B. Yoleri ve M. Şahiner, *Dünyada ve Türkiye'de Demir*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2017
- [2] A. Yurdagül, Y. Güngör ve D. Laçın, *Demir Jeokimyası ve Cevher Minerallerinin Özellikleri Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi*, Madencilik ve Mevcut sorunları sempozyumu bildiriler kitabı, İstanbul, 23-25 Haziran 2005, s. 407-415
- [3] M.S. Kırıkoğlu, *Maden Yatakları*, İTÜ Maden Fakültesi Maden Yatakları Jeokimya Anabilim Dalı, İstanbul, 1992 s.120 - 166
- [4] M. Boyrazlı, *Demir Cevheri İçerisindeki Safsızlıkların Olumsuz Etkilerinin Giderilme Yollarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008
- [5] F. Habashi, "*Handbook of Extractive Metallurgy*", Vol I, Willey-Vch, Federal Republic of Germany, 1997, p. 35-60
- [6] H. Kurt, "*Maden Mühendisleri İçin Mineraloji ve Petrografi*" 1. Baskı, Uğur Matbaacılık, Konya, Aralık 1998, 83-92
- [7] Anonim. (2019). <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/mineraller> (Erişim Tarihi: 17.03.2019)
- [8] Anonymous. (2019). https://www.researchgate.net/publication/271909045_Demir_Cevherleri_ve_Zenginlestirme_Yontemleri (Erişim Tarihi: 10.02.2019)
- [9] S. Jankovic, *Economic Geology of Ores*, Springer-Verlag Vienna, NewYork 1977
- [10] Anonim. (2019). http://inonu.edu.tr/media/iys/cmscontent/1189/2018/2/Temel_Metalurji_Ders_Notlar%C4%B1.pdf (Erişim Tarihi: 10.02.2019)
- [11] F.D. Devaney and N.L. Weiss, S.M.E. *Mineral Processing Handbook*, Newyork, 1985
- [12] M.Ş. Erol ve N. Sevinç, *Yüksek Fırınlarda Alkali Kontrolü*, 8. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 6-9 Haziran 1995
- [13] A.F. Taggart, "*Handbook of mineral dressing ores and industrial minerals*", 8. Printing, John Wiley-sons/London, 1964

- [14] G. Önal, *Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1985
- [15] N. Gence, *Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1985
- [16] R. Aydın, *Altın Zenginleştirme İşlemleri, Bitirme Projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2008
- [17] Anonim. (2019)
http://inonu.edu.tr/media/iys/cmscontent/1980/2018/2/2018_Lab_F%C3%B6yleri.pdf (Erişim Tarihi: 12.02.2019)
- [18] Ö. Önel, *Altın Cevherlerinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Örnek Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2011
- [19] M.S. Özeren, *Manyetik Ayırım Yönteminin Gelişimi, Güncel ve Gelecekteki Sorunları*, Madencilik Dergisi, 1981, 339-354
- [20] S. Atak, *"Flotasyon İlkeleri ve uygulaması"*, İ.T.Ü. yayımları 101, İstanbul, 1974.
- [21] TMMOB Maden Mühendisleri Odası Araştırma Komisyonu, *Türkiye'de Demir Cevheri Madenciliği*, Korza Yayıncılık, 114. Sayı Madencilik Bülteni Eki, 2015
- [22] Anonim. (2019).
http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/demir.jpg (Erişim Tarihi: 12.02.2019)
- [23] H. Vapur ve S. Top, *Spekülarit Cevherinin Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31:1 (2016), 293-300
- [24] M. Tel ve E. Sabah, *Manyetiteli Sahil Kumlarının Zenginleştirilmesi*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 22(3), 2016, 220-225
- [25] S.Şen, T. Çiçek ve V.T. Engin, *Bakır İçeren Demir Cevherinin Manyetik Ayırma Ve Flotasyon İle Zenginleştirilmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 12, Sayı 2, 2010, 44-54

- [26] H. Dinçer, G. Ateşok ve G. Önal, “*Hekimhan-Karakuzu Demir Cevherlerinden Konsantre Üretimi*” Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Ankara, Nisan 1989, 379
- [27] M.H. Erten, “*Payas Bölgesindeki Alüminalı Demir Cevherlerinin Teknolojik Araştırılması*”, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, MAG-210, Ankara 1977
- [28] R. Morar, A. Iuga, O. Muntean, and L. Dascalescu, *Iron Ore Beneficiation using roll-type high-intensity electric field separators*, **IEEE Transactions on Industry Applications**, 35:1 (1999), 218-224
- [29] P.A. Olubamb and J.H. Potgieter, *Effectiveness of Gravity Concentration for the Beneficiation of Itakpe (Nigeria) Iron Ore Achieved Through Jigging Operation* **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**, 4:1 (2005), 21-30
- [30] M.A. Youssef, M.B. Morsi, *Reduction Roast and Magnetic Separation of Oxidized Iron Ores for the Production of Blast Furnace Feed*, Canadian Metallurgical Quarterly, 26(5), 419-428, 1998
- [31] Ş. Sıla KARA, *Elazığ Bölgesi Manganeli Demir Cevherinin Zenginleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015
- [32] S. Atak, Y. Kaytaz ve N. Yapa, “Bingöl ve Bitlis Apatitli Manyetit Cevherlerinden Demir Ve Fosfatın Kazanılması” Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, Ankara, Mayıs 1985, 197
- [33] K.T. Perek, G. Bulut, M. Özer ve N. Acarkan, Sivas-Çetinkaya Demir Cevherindeki Alkali İçeriğinin Giderilmesi, Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi, Madencilik ve Mevcut Sorunları Bildiriler Kitabı, 23-25 Haziran, 2005, İstanbul, 386-393.
- [34] S. Atak, A. Altaş, N. Acarkan ve M.S. Çelik, Bazı Demir Cevherlerinin Niteliklerinin İyileştirilmesi, Türkiye 14 Madencilik Kongresi, 1995, 413-418
- [35] Anonim.(2019)
<https://www.google.com.tr/maps/place/Be%C4%9Fre,+Be%C4%9Fre+Mahall esi,+44500+Do%C4%9Fan%C5%9Fehir%2FMalatya/@38.0632831,37.65016,478m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x1532ea94242b1641:0x32bf3d141b10251c!8m2!3d38.052528!4d37.678399> (Erişim Tarihi : 14.06.2019)

EKLER

Ek 1. Manyetik Ayırma % Fe analiz sonuçları

-2360 µm Kuru+yaş manyetik ayırma				
Ürün kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	3 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
2a	42,68	41,83	48,83	44,28
30a	48,63	44,97	44,24	45,95
30b	22,34	23,47	17,63	21,15
40a	20,77	17,26	24,74	20,92
30a-a	60,10	58,67	58,98	59,25
-850 µm Kuru+yaş manyetik ayırma				
3a	47,59	45,50	47,13	46,74
50a	44,03	53,52	45,53	47,69
50b	16,54	20,65	17,56	18,25
60a	23,28	26,83	26,23	25,45
50a-a	60,87	61,57	61,01	61,15
-850 µm Yaş manyetik ayırma				
70a	57,35	47,99	49,82	51,72
80a	55,25	56,85	53,89	55,53
80b	15,94	13,20	16,34	15,16
90a	45,52	45,40	46,56	45,83
-500 µm Yaş manyetik ayırma				
100a	55,29	59,47	54,74	56,50
110a	61,89	59,58	59,71	60,39
110b	23,94	23,76	23,46	23,72
120a	42,03	39,54	38,61	40,06
-300 µm Yaş manyetik ayırma				
300a	60,95	58,96	56,37	58,76
310a	60,03	61,97	62,78	61,59
310b	32,18	30,65	36,40	33,08
320a	51,68	48,65	42,15	47,49
-150 µm Yaş manyetik ayırma				
400a	64,42	61,59	64,62	63,54
410a	64,29	66,36	66,33	65,66
410b	38,35	37,29	35,72	37,12
420a	60,63	58,40	60,20	59,74
-106 µm Yaş manyetik ayırma				
500a	60,10	59,63	62,01	60,58
510a	63,02	66,19	65,67	64,96
510b	22,77	21,26	25,35	23,13
520a	45,63	46,70	-	<u>45,06</u>

Ek 2. Aşındırılmal Yıkama % Fe analiz sonuçları

Aşındırılmal yıkama 4 (15 dk)				
Ürün kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	3 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
4a	30,20	31,71	29,68	30,53
4b	21,01	22,03	-	21,52
4c	31,89	33,72	30,12	31,91
4d	17,54	20,38	-	18,96
Aşındırılmal yıkama 3 (30dk)				
3a	30,25	29,29	32,77	30,77
3b	21,38	20,76	-	21,07
3c	34,72	32,58	33,02	33,44
3d	18,17	17,67	-	17,92
Aşındırılmal yıkama 2 (60dk)				
2a	30,94	31,56	32,15	31,55
2b	21,83	23,19	-	22,51
2c	33,52	36,70	35,95	35,39
2d	14,36	16,98	-	15,67
Aşındırılmal yıkama 1 (120dk)				
a	30,11	28,68	30,55	30,98
b	22,83	21,89	-	22,36
c	38,97	38,37	39,22	36,95
d	12,80	14,80	-	13,80
Manyetik Ayırma Sonuçları				
5	30,29	31,25	30,53	30,69
5a	52,59	52,97	-	52,78
4c-a	53,19	52,87	-	53,03
3c-a	53,92	52,89	-	53,41
2c-a	54,87	53,73	-	54,30
1c-a	54,67	56,27	-	55,47

Ek 3. Sallantılı Masa % Fe analiz sonuçları

Ürün kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	3 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
a2	58,34	56,95	57,96	57,75
a50	57,02	56,05	56,61	56,56
10	31,99	31,02	31,26	31,42
a10	53,85	54,75	56,64	55,08
30	23,24	22,29	23,35	22,96
a30	58,56	57,41	58,27	58,08

Ek 4. Humhprey Spirali % Fe analiz sonuçları

-150 µm				
Ürün kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	3 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
S10a	35,68	35,67	34,32	35,22
S50a	41,72	40,70	41,68	41,37
S50c	20,39	19,95	-	20,17
-106 µm				
S30a	42,38	44,46	44,71	43,85
S60a	47,69	45,99	46,48	46,72
S60c	25,09	26,62	-	25,86
(-75 µm)				
S100a	44,93	44,65	41,67	43,75
S120a	50,20	49,66	-	49,93
S120c	24,42	25,36	-	24,89

Ek 5. Falcon konsantratörü % Fe analiz sonuçları

(-150µm +106µm)				
Ürün kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	3 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
F1	30,88	32,41	31,48	31,59
F10a	48,81	49,39	49,29	49,16
F20a	44,25	42,87	-	43,56
F30a	41,87	40,58	39,95	40,80
F40a	35,21	33,12	33,31	33,88
(-106µm +53µm)				
F2	26,79	28,65	-	27,72
F100a	50,09	48,05	48,19	48,78
F110a	43,59	43,96	43,96	43,84
F120a	43,22	42,22	-	42,72
F130a	42,26	41,02	41,40	41,56
(-53µm +0µm)				
F3	23,50	22,52	-	<u>23,01</u>
F200a	49,52	50,11	48,67	<u>49,43</u>
F210a	49,90	48,87	-	<u>49,39</u>
F220a	47,07	47,52	47,35	<u>47,31</u>
F230a	43,55	44,14	46,22	<u>44,64</u>

Ek 6. Elek analizi %Fe değerleri

Numune kodu	1 (%Fe)	2 (%Fe)	Ortalama (%Fe)
-2000+1180µ	31,76	31,56	31,66
-1180+600 µ	27,27	27,26	27,27
-600+300 µ	24,69	25,59	25,14
-300+150 µ	33,80	32,39	33,10
-150+75 µ	28,93	29,72	29,33
-75+38 µ	25	22,24	23,62
-38 µ	17,34	19,16	18,25



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tekin KARAAĞAÇ

Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya - 1991

Adres : Başharık mahallesi Bıldırcın sokak Karayolları
koop. no:3 kat:1 Battalgazi / MALATYA

E-Posta : tekin.karaagac@hotmail.com

Lisans : İnönü Üniversitesi - Maden Mühendisliği
(Bölüm İkcinciliğı)

Mesleki Deneyimler : Haziran 2015 - Temmuz 2016 Demir madeni
(Mupet Mad.San. İnş. Tic. Ltd Şti.)

Temmuz 2016 - devam (Taş Ocağı)
(İsmert İnş. San. Mad. Tic Ltd. Şti.)