

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELAZIĞ BÖLGESİ MANGANLI DEMİR CEVHERİNİN
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ş. Sıla KARA

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELAZIĞ BÖLGESİ MANGANLI DEMİR CEVHERİNİN
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ş Sıla KARA
(505111106)**

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Olgaç KANGAL
Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim
Programı : Herhangi Program**

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111106 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ş. Sıla KARA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELAZIĞ BÖLGESİ MANGANLI DEMİR CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Murat Olgaç KANGAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hayrünnisa ATEŞOK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Ocaklarda hayatını kaybeden maden emekçilerine...

ÖNSÖZ

Türk toplumunun çağdaşlaşması yolunda attığı adımlar ile bizlere Türkiye CUMHURİYETİ'ni armağan eden; başardıklarıyla bu satırları yazabilmemizi sağlayan, düşünceleri ve eylemleri çağının çok ötesine geçmiş olan Ulu Önder Mustafa Kemal ATATÜRK'e teşekkürlerimi gururla sunarım.

Bu tezi almamı sağlayan ve tezimi Cevher Hazırlama Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirmemi sağlayan Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma ARSLAN'A teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans eğitimine başladığım dönemde Bölüm Başkanı görevini yapmakta olan, her türlü konuda deneyimlerini bizlerle paylaşarak bizleri yetiştiren Sayın Prof. Gündüz ATEŞOK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Maden Mühendisliği bölümünde lisans eğitimimi alırken Cevher Hazırlama alanına ilgi duymamı sağlayıp bu dala yönelmemi sağlayan,engin bilgilerinden yararlanma fırsatı bulduğum Sayın Prof. Neset ACARKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim süresince edindiğim mesleki ve teorik bilgileri uygulama imkanı bulduğum bu çalışmada, istediğim tez konusunu seçmemi sağlayan ve tez süresince yardımlarını bir an olsun esirgemeyen, her türlü konuda desteğini her zaman hissettiğim değerli tez danışmanım Doç. Dr. M. Olgaç KANGAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Onur GÜVEN ve Arş. Gör. Ünzile YENİAL'a ve her türlü konuda yardım ve desteğini unutmayacağım Özgün BULUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamım boyunca her türlü destek ve ilgiyi benden esirgemeyip her zaman yanımda olan; Atatürk ilke ve inkılaplarını bana aşılayıp her zaman bilimin ışığında ilerlememi nasihatlayan annem Aygül KARA ve babam Hasan KARA'ya ve hayatımın her döneminde desteğini hissettiğim kardeşim Aslı YERLİ, çok değerli eşi Özgen YERLİ'ye ve 11 aydır varlığı ile bana şans getiren Derin YERLİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, omzumda elinin varlığını bana her zaman hissettiren, her anlamda kendime örnek olarak aldığım çok sevgili kuzenim Prof. Dr. Özlem YAVAŞ ATA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımda her alanda desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Jeoloji Mühendisi Erdem ÖZTÜRK'e, Avukat Zeynep DOĞDU'ya; yaklaşık 20 seneye varan dostlukları ile bana güç veren Gıda Mühendisi Nursen TÜRKER ve Elektronik Mühendisi Çağrı ESATOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2015

Ş. Sıla Kara
(Maden Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	viivii
İÇİNDEKİLER	iiix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Mangan Hakkında Genel Bilgiler	5
2.2 Önemli Mangan Yatakları ve Oluşumları	8
2.2.1 Volkanik ve volkano-sedimanter birimler içindeki mangan yatakları.....	8
2.2.2 Ofiyolitik ve epiofiyolitik kayalar ile ilgili yataklar	8
2.2.3 Taneli tortul kayalarla ilişkili (nikopol tipi) mangan yatakları	8
2.2.4 Karbonatlı kayalarla ilişkili (Morocco tipi) mangan yatakları.....	8
2.2.5 Okyanus tabanlarındaki güncel Mn'lı yumrular	9
2.2.6 Bataklık ve göl ortamlarında oluşmuş mangan yatakları.....	9
2.2.7 Kimyasal kalıntı tipi mangan yatakları	9
2.3.Türkiye Mangan Yatakları	10
2.4 Manganın Ekonomik Önemi	13
2.5 Kullanım Alanları.....	18
2.6 Mangan Cevherinin Zenginleştirme Yöntemleri.....	20
2.6.1 Elle ayıklama ile mangan zenginleştirilmesi.....	21
2.6.2 Mekanik özellik farklarına dayalı zenginleştirme.....	21
2.6.3 Yıkama ve sınıflandırma ile mangan zenginleştirilmesi	21
2.6.4 Boyut küçültme ile mangan zenginleştirilmesi	21
2.6.5 Gravite ile mangan zenginleştirilmesi.....	22
2.6.6 Flotasyon ile mangan zenginleştirilmesi	22
2.6.6.1 Mangan oksitler.....	23
2.6.6.2 Mangan karbonatlar	25
2.6.6.3 Mangan silikatlar.....	25
2.6.7 Manyetik özellik farklarına göre mangan zenginleştirilmesi	25
2.7 Demir Hakkında Genel Bilgiler	27
2.7.1 Demir cevherleri	28
2.7.2 Demir yataklarının oluşumu.....	29
2.7.2.1 Titanlı demir yatakları.....	30
2.7.2.2 Pnömatolitik demir yatakları.....	31
2.7.2.3 Skarn tipi demir yatakları.....	31
2.7.2.4 Volkano sedimanter demir yatakları	32
2.7.2.5 Hidrotermal demir yatakları.....	32
2.7.2.6 Sedimanter demir yatakları	33

2.7.2.7 Plaser demir yatakları	34
2.7.2.8 Kalıntı (lateritik) demir yatakları	35
2.7.3 Demirin sınıflandırılması	36
2.7.4 Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri	38
2.7.5 Türkiye demir cevheri üretimi ve rezervleri	40
2.7.6 Demirin zenginleştirilmesi	43
2.7.6.1 Yüksek tenörlü cevherler için yapılan hazırlama işlemleri	43
2.7.6.2 Düşük tenörlü cevherler için yapılan hazırlama işlemleri	44
2.8 Demir-Çelik Endüstrisi	50
2.8.1 Dünya çelik üretimi	50
2.8.2 Dünya Çelik Ticareti	55
2.8.3 Türkiye’de durum	57
2.8.4 Sektörün Türkiye’nin Dış Ticaretindeki Yeri	60
3. KONUSLA İLGİLİ DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	63
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
4.1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Kimyasal Analiz Etüdləri	72
4.2 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Mineralojik Analiz Etüdləri	72
4.4 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Zenginleştirme Deneyleri	79
4.4.1 REMS ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri	79
4.4.1.1 -13+9 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	80
4.4.1.2 -9+6 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	80
4.4.1.3 -6+3,36 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	81
4.4.1.4 -3,36+1 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	81
4.4.1.5 -13+9 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	90
4.4.1.6 -9+6 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	90
4.4.1.7 -6+3,36 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	90
4.4.1.8 -3,36+1 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	91
4.4.1.9 -13+9 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	100
4.4.1.10 -9+6 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	100
4.4.1.11 -6+3,36 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	100
4.4.1.12 -3,36+1 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri	100
4.4.1.13 -13+9 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri	110

4.4.1.14 -9+6 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri	111
4.4.1.15 -6+3,36 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri	113
4.4.1.16 -3,36+1 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri	114
4.4.2 Jig ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri	130
4.4.3 Multi-Gravite Ayırıcısı (MGS) ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri	135
4.4.4 Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırıcısı ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri	138
5. SONUÇLAR	141
KAYNAKLAR	1445
ZGEMİş	1477

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1:	Önemli mangan mineralleri.....	7
Çizelge 2.2:	Türkiye mangan cevheri rezervleri.....	12
Çizelge 2.3:	ABD’de manganın kullanım alanları.....	19
Çizelge 2.4:	Demir cevheri 2010 yılı üretimi ve rezervleri, (milyon ton).....	39
Çizelge 2.5:	2012-2013 yıllarındaki Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri (ham cevher ve demir içeriği) (milyon ton).....	39
Çizelge 2.6:	Bölgeler itibariyle ham çelik üretimi (bin ton).....	53
Çizelge 2.7:	En fazla ham çelik üreten ülkeler (bin ton).....	54
Çizelge 2.8:	En büyük çelik ihracatçısı 10 ülke (2011).....	56
Çizelge 2.9:	En büyük çelik ithalatçısı 10 ülke (2011).....	56
Çizelge 2.10:	Türkiye’nin ham çelik kapasitesi, üretimi ve kapasite kullanım oranı.....	58
Çizelge 2.11:	Demir çelik ihracatının Türkiye ihracatındaki payı.....	61
Çizelge 2.12:	Demir çelik sektörünün hammadde ithalatının Türkiye’nin toplam ithalatındaki payı (%).....	61
Çizelge 4.1:	Tuvenan Numunenin ICP Yöntemiyle Yapılan Komple Kimyasal Analiz Sonuçları.....	72
Çizelge 4.2:	Tamamı 13 mm altındaki malzemenin fraksiyonel analizi.....	77
Çizelge 4.3:	Tamamı 1 mm altındaki malzemenin fraksiyonel analizi.....	77
Çizelge 4.4:	-13+9 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	82
Çizelge 4.5:	-9+6 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	84
Çizelge 4.6:	-6+3,36 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	86
Çizelge 4.7:	-3,36+1 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	88
Çizelge 4.8:	-13+9 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	92
Çizelge 4.9:	-9+6 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	94
Çizelge 4.10:	-6+3,36 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	96
Çizelge 4.11:	-3,36+1 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	98
Çizelge 4.12:	-13+9 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	102
Çizelge 4.13:	-9+6 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	104

Çizelge 4.14:	-6+3,36 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	106
Çizelge 4.15:	-3,36+1 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	108
Çizelge 4.16:	-13+9 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin İncelendiği REMS deney sonuçları.....	116
Çizelge 4.17:	-9+6 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin İncelendiği REMS deney sonuçları.....	116
Çizelge 4.18:	-6+3,36 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	117
Çizelge 4.19:	-3,36+1 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.....	117
Çizelge 4.20:	REMS deneyleri birleştirilmiş sonuçları.....	118
Çizelge 4.21:	REMS deneylerinin ürünlerinin birleştirilmiş sonuçları.....	119
Çizelge 4.22:	-1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa deney sonuçları...	124
Çizelge 4.23:	-1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa birleştirilmiş deney sonuçları.....	125
Çizelge 4.24:	-1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa ürünlerinin birleştirilmiş deney sonuçları.....	127
Çizelge 4.25:	-13 mm boyutunda REMS+Sarsıntılı Masa deney sonuçları.....	127
Çizelge 4.26:	-13 mm boyutunda REMS+Sarsıntılı Masa birleştirilmiş deney sonuçları.....	128
Çizelge 4.27:	-3,36 mm gerçekleştirilen REMS deneyi sonuçları.....	129
Çizelge 4.28:	-3,36 mm gerçekleştirilen REMS deneyi birleştirilmiş sonuçları...	129
Çizelge 4.29:	Nihai deney sonuçları.....	129
Çizelge 4.30:	Nihai deney birleştirilmiş sonuçları.....	129
Çizelge 4.31:	-13 mm boyutunda gerçekleştirilen jig deneyi sonuçları.....	131
Çizelge 4.32:	-1 mm boyutunda gerçekleştirilen sarsıntılı masa deneyi sonuçları.	132
Çizelge 4.33:	Jig+Sarsıntılı Masa deneyi birleştirilmiş sonuçları.....	133
Çizelge 4.34:	Jig+Sarsıntılı Masa deneyi ürünlerin birleştirilmiş sonuçları.....	134
Çizelge 4.35:	MGS deney koşulları.....	136
Çizelge 4.36:	-0,106 mm boyutunda gerçekleştirilen MGS deney sonuçları.....	137
Çizelge 4.37:	-0,038 mm boyutunda gerçekleştirilen MGS deney sonuçları.....	138
Çizelge 4.38:	Jones manyetik ayırıcısı deney koşulları.....	138
Çizelge 4.39:	-0,106 mm boyutunda gerçekleştirilen jones manyetik ayırma deney sonuçları.....	140
Çizelge 4.40:	-0,074 mm boyutunda gerçekleştirilen jones manyetik ayırma deney sonuçları.....	140

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Türkiye mangan yatakları.....	11
Şekil 4.1:	Topalan Uşağı yatağından numune alımı-1.....	69
Şekil 4.2:	Topalan Uşağı yatağından numune alımı-2.....	69
Şekil 4.3:	Topalan Uşağı yatağından numune alımı-3.....	70
Şekil 4.4:	Topalan Uşağı yatağından numune alımı-4.....	70
Şekil 4.5:	Topalan Uşağı yatağından numune alımı-5.....	70
Şekil 4.6:	Temsili numune alım işlemi.....	71
Şekil 4.7:	Temsili numuneye ait mikrofotograflar.....	73
Şekil 4.8:	Temsili numuneye ait mikrofotograflar.....	74
Şekil 4.9:	Temsili numuneye ait X-ışınları kırılım desenleri.....	76
Şekil 4.10:	Temsili numunenin zenginleştirme boyutlarındaki elek analiz Eğrileri.....	78
Şekil 4.11:	Tamamı 13 mm altındaki malzemenin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı.....	78
Şekil 4.12:	Tamamı 1 mm altındaki malzemenin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı.....	79
Şekil 4.13:	Yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcı (REMS).80	
Şekil 4.14:	-13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).....	83
Şekil 4.15:	-9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).....	85
Şekil 4.16:	-6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).....	87
Şekil 4.17:	-3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).....	89
Şekil 4.18:	-13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).....	93
Şekil 4.19:	-9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).....	95
Şekil 4.20:	-6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).....	97
Şekil 4.21:	-3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).....	99
Şekil 4.22:	-13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).....	103
Şekil 4.23:	-9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).....	105
Şekil 4.24:	-6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).....	107
Şekil 4.25:	-3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).....	109
Şekil 4.26:	-9+6 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.....	110

Şekil 4.27:	-9+6 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.....	112
Şekil 4.28:	-6+3,36 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.....	113
Şekil 4.29:	-3,36+1 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.....	114
Şekil 4.30:	-1+0,5 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.....	121
Şekil 4.31:	-0,5+0,3 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.....	122
Şekil 4.32:	-0,3 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.....	123
Şekil 4.33:	REMS konsantreleriyle -3,36 mm boyutunda gerçekleştirilen manyetik ayırma deney akım şeması.....	128
Şekil 4.34:	Multi-gravite ayırıcısı (MGS).....	136
Şekil 4.35:	MGS deneyi akım şeması.....	137
Şekil 4.36:	Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırıcısı (DP40 Jones Tip).....	139
Şekil 4.37:	Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırma deney akım şeması....	139
Şekil 5.1:	Zenginleştirme nihai akım şeması.....	144

ELAZIĞ BÖLGESİ MANGANLI DEMİR CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Metaller arasında en çok kullanılan demir ve çelik günlük yaşantımızın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte tarihte insanların demiri, altın, bakır ve tunçtan çok daha sonra kullanmaya başladıkları bilinmektedir. Günümüzde demir, sanayinin temel hammaddesini oluşturmakta ve ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ülkelerin ekonomik gelişmişlik göstergeleri kişi başına düşen gayri safi milli hasıla yanı sıra kişi başına düşen demir-çelik tüketimi ile de ölçülebilmektedir. Geçmişte, yüksek fırında aranan özelliklere sahip demir cevheri doğrudan maden ocaklarında yapılan üretimle karşılanmıştır. Ancak sanayide demire olan gereksinimin hızla artması ve yüksek fırına doğrudan yüklenebilir özellikteki cevherin giderek azalması, düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır.

Tez kapsamında yapılan zenginleştirme deneylerinden önce cevherin kimyasal ve mineralojik incelemesi yapılmıştır. Tuvenan cevher üzerinde gerçekleştirilen komple kimyasal analiz sonuçlarına göre, temsili numune, %39,10 Fe_2O_3 , %13,10 MnO ve %24,20 SiO_2 içermektedir. Numune üzerinde gerçekleştirilen mineralojik incelemeler sonucunda, numune ana bileşen olarak %30-60 oranında hematit içerdiği belirlenmiştir. Kil mineralleri %15-30 oranında iken kuvars, feldspat ve karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit) düşük oranlardadır. %10 oranında da mangan içerikli mineraller tesbit edilmiştir.

Zenginleştirmeye giren malzemelerin boyutları olan ve tamamı 13 mm boyutunun altına indirilmiş numunenin d_{80} boyutu yaklaşık 9 mm olarak belirlenirken; tamamı 1 mm altındaki numunenin d_{80} boyutu ise yaklaşık 0,8 mm olarak tesbit edilmiştir.

REMS (Yüksek Alan Şiddetli Sabit Mıknatıslı Kuru Manyetik Ayırıcı) ile yapılan deneylerde tane boyutu, ön bıçak açısı, arka bıçak açısı ve tambur dönüş hızı irdelenmiştir. Öncelikle tambur dönüş hızı etkisi incelenmiş olup optimum değerler saptandıktan sonra optimum arka ve ön bıçak açılarını saptamak amaçlı deneyler yapılmıştır.

REMS ile -13+9 mm boyut grubunda gerçekleştirilen ve tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde en uygun hız 80 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %48,40 olarak bulunmuştur.

-9+6 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 70 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %48,40; verimi ise %70 olarak bulunmuştur.

-6+3,36 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 80 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu

boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %47,70 olarak bulunmuştur. Bu değerde Fe_2O_3 kazanma verimi ise %72,7 olarak hesaplanmıştır.

Son boyut grubu olan -3,36+1 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde ise Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız gene 80 devir/dakikada bulunmuştur. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %50,85; Fe_2O_3 kazanma verimi ise %81,4 olarak hesaplanmıştır.

-13+9 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 110 derecede elde edilmiştir.

-9+6 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 100 derecede elde edilmiştir.

-6+3,36 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 110 derecede elde edilmiştir. Bu grupta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %47,70 iken Fe_2O_3 kazanma verimi %72,7 olarak hesaplanmıştır.

3,36+1 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 110 derecede elde edilmiştir.

-13+9 mm boyut grubunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde 70 derecelik arka bıçak açısı en iyi değer olarak optimize edilmiştir.

-9+6 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 60 derecede elde edilmiştir.

-6+3,36 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 70 derecede elde edilmiştir.

-3,36+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 50 derecede elde edilmiştir. Bu fraksiyonda %50,85 Fe_2O_3 içeren bir manyetik ürün %81,4 verim ile elde edilmektedir.

CONCENTRATION OF ELAZIĞ MANGANIFEROUS IRON ORE

SUMMARY

The element iron (Fe) is one of the most abundant on earth, but it does not occur in nature in useful metallic form. Iron ore is the term applied to a natural iron-bearing mineral in which the content of iron is sufficient to be commercially usable. Metallic iron, from which steel is derived, must be extracted from iron ore. By definition, steel is a combination of iron with a small amount of carbon. Thousands of products having various chemical composition, forms, and sizes are made of iron and steel by casting, forging, and rolling processes. Iron and steel comprise about 95 percent of all the tonnage of metal produced annually in the United States and the world. On the average, iron and steel are by far the least expensive of the world's metals. In some applications no other materials are suitable, such as steel framing for large buildings, because of strength requirements.

Iron ores are rocks and minerals from which metallic iron can be economically extracted. The ores are usually rich in iron oxides and vary in color from dark grey, bright yellow, deep purple, to rusty red. Ores carrying very high quantities of hematite or magnetite (greater than ~60% iron) are known as "natural ore" or "direct shipping ore", meaning they can be fed directly into iron-making blast furnaces. Iron ore is the raw material used to make pig iron, which is one of the main raw materials to make steel. 98% of the mined iron ore is used to make steel. Indeed, it has been argued that iron ore is "more integral to the global economy than any other commodity, except perhaps oil.

Steel was known in antiquity, and may have been produced by managing bloomeries and crucibles, or iron-smelting facilities, in which they contained carbon. The earliest known production of steel are pieces of ironware excavated from an archaeological site in Anatolia (Kaman-Kalehöyük) and are nearly 4,000 years old, dating from 1800 BC. Horace identifies steel weapons like the *falcata* in the Iberian Peninsula, while Noric steel was used by the Roman military.

Steels are alloys of iron and carbon, widely used in construction and other applications because of their high tensile strengths and low costs. Carbon, other elements, and inclusions within iron act as hardening agents that prevent the movement of dislocations that otherwise occur in the crystal lattices of iron atoms.

When iron is smelted from its ore, it contains more carbon than is desirable. To become steel, it must be reprocessed to reduce the carbon to the correct amount, at which point other elements can be added. In modern facilities, this liquid is then continuously cast into long slabs or cast into ingots. Approximately 96% of steel is continuously cast, while only 4% is produced as ingots.

World crude steel production growth slowed down to its lowest level of 1,2% since 2009 and increased from 1529 billion tons to 1548 billion tons. The growth came

mainly from Asia and North America while crude steel production in the EU and South America decreased in 2012 compared to 2011. The role of China in world crude steel production rise continued to ease in 2012 as the crude steel production of China increased by just 3.1% to 717 million tons. Production drops in some regions like EU, CIS, South America has drawn back the world crude steel production growth rate to 1.2 % level. Among the top steelmakers, production of Japan, Germany, Brazil, Ukraine and Italy slumped compared to 2011.

The sharpest production drop in 2012 was in EU 27 due to the downward trend in steel consumption as a result of the continued effects of the debt crisis on the investments and steel demand in the Europe. Crude steel production of the EU which dropped by 4.7 % compared to 2011, stayed 20 % below its production in the pre-crisis period of 2007. In addition to the EU, CIS, North America and South America are the regions which have not been able to reach their pre-crisis levels yet.

Large steel producers like Japan, USA, Russia, Germany, Ukraine, Italy, France and Spain have also produced less steel compared to 2007. During the last five years, highest production growth were seen in China (46%), India (43%), Turkey (39%) and South Korea (35%). With the support of those countries, global crude steel production increased by 15 % compared to the pre-crisis period.

Despite production growth in 2012, average capacity utilization ratio of the world steel industry in 2012 declined to 78,8% compared to 80,7% in 2011. The declining tendency in the capacity utilization ratio of the world steel industry throughout the year from 80% level in the first quarter to 73% in December dragged down the annual capacity utilization in 2012.

In this study, processing of manganese ores taken from Elazığ was investigated applying Shaking Tables, MGS (Multi Gravity Separator), Dry Magnetic Separator, Wet Magnetic Separator and Flotation. Sample characterization by Chemical analyses showed that the presence of a variety of minerals mainly; Quartz, Manganite and Hematite.

Chemical and mineralogical investigations of the ore were performed before the enrichment experiments. The chemical analysis revealed 39,1% Fe_2O_3 , 13,10% MnO and 24,20% SiO_2 in the ore. On the other hand, mineralogical inspection revealed that the ore consists of 30-60% hematite; 15-30% of clay minerals; 10% of minerals containing manganese; low percentage of quartz, feldspar and carbonate minerals.

Particle size, the angle of front side knife, the angle of back side knife and the velocity of magnetic drum were investigated in the experiments with Elazığ Topalan Uşaklı region iron ores.

In REMS experiments, firstly the velocity of magnetic drum is investigated in four fraction as -13+9 mm, -9+6 mm, -6+3.36 mm and -3.36+1 mm. In the fraction of -13+9 mm, the optimum velocity was found as 80 rpm consisting of 48,40% Fe_2O_3 . In the fraction of -9+6 mm, the optimum velocity was 70 rpm. Iron was obtained with 70% efficiency and consisting of 48,40% Fe_2O_3 . In the fraction of -6+3,36 mm, the optimum velocity was 80 rpm with the 47,70% Fe_2O_3 and 72,7 % efficiency.

In the fraction of -3,36+1 mm; the velocity of magnetic drum was 80 rpm, and the iron was obtained with the efficiency of 81,4% and consisting of 50,85% Fe_2O_3 .

After maintaining the velocity of magnetic drum, the angle of front side knife was investigated. In -13+9 mm fraction, the optimum angle was 110 degree. In the fraction of -9+6 mm, the most efficiency was obtained at 100 degree. In -6+3,36 mm fraction, the optimum angle was 110 degree. The angle of front side knife was found 110 degree as optimum degree in 3,36+1 mm fraction.

Then the angle of back side knife was investigated in the experiments. In -13+9 mm fraction the optimum angle was 70 degree while in -9+6 mm fraction it was 60 degree. In -6+3,36 mm fraction optimum back-side knife angle was 70 degree while it was observed as 50 degree in -3,36+1 mm fraction.

1. GİRİŞ

Teknolojinin her geçen gün ilerlemesinin sonucu olarak yeraltı kaynaklarına olan ihtiyaç da buna paralel olarak artmaktadır. Bu bakımdan yeraltı kaynaklarının emniyetli, ekonomik bir şekilde çıkarılması ve ülke ekonomimize kazandırılması büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizin kalkınması için yeraltı kaynaklarımızın işletilmesi, sektörün sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Hammaddelerin üretim unsurları içindeki önemi ve vazgeçilmezliği dikkate alındığında, ülkelerin kalkınmalarının ve sanayilerinin geleceklerini güvence altına almaları, yeterli hammadde kaynaklarına sahip olmaları ve bunları üretmelerine bağlıdır.

Ülkemiz maden çeşitliliği ve maden potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Günümüzde ve gelecekte yurtiçi kaynaklara bağlı olarak mineral zenginliklerimizden ne ölçüde yararlanabileceğimizin bilinmesi, ileriye dönük sanayileşme projeksiyonları açısından son derece önemlidir. Son yıllarda görülen sanayideki teknolojik gelişmelere bağlı olarak bilinen madenler dışında her türlü kayacın ekonomik önem kazandığı günümüzde, yer yapısının özelliklerini ortaya koyacak jeolojik araştırmaların önemi artmıştır. Diğer taraftan tüm maden kaynaklarımızın modern araştırma yöntemleri ile aranması da önem arz etmektedir. Bu çalışmaların etkin bir şekilde yürütülmesi ülkemizin jeolojik ve jeofizik etütlerinin yapılarak temel özelliklerinin belirlenmesi madencilik sektörünün alt yapısını oluşturacak aynı zamanda üretilen bilgiler diğer sektörlerinde kullanımına sunulacaktır.

Ülkemizin sadece zengin maden kaynaklarına sahip olması yeterli değildir. Bu madenlerin zaman geçirilmeksizin etkin bir biçimde işletilmesiyle yaratılan katma değer ekonomiyeye kazandırılması gerekmektedir. Maden ve mineral kaynaklarımızın en verimli şekilde kullanımı, bu kaynakların atıl durumda bırakılmaması ve en kısa sürede üretilerek sanayiye sunulması, kurulacak Maden Bakanlığının en önemli çalışma alanlarından biri olmalıdır.

Madenciliği diğer sektörlerden ayıran özellikler kısaca şunlardır;

- Madenler yenilenemeyen kaynaklardır.
- Madencilik sektörü, sanayi başta olmak üzere, ekonominin diğer sektörlerinin temel hammadde ihtiyaçlarını sağlamaktadır.
- Madencilik sektörü ekonomik kalkınmayı başlatan “öncü sektör” konumundadır.
- Madencilikte, diğer sektörler gibi yer seçme şansı yoktur, madenin bulunduğu yerde işletilmesi zorunludur.
- Madencilğin her aşaması riskli, yatırımın geri dönüş süreci uzundur.
- Madencilik geniş istihdam imkanları yaratan bir sektördür.
- Madencilik genellikle, kırsal kesimlerde yapıldığından göçü önleyici özelliğe sahiptir.

Ülkemizde madencilik sektörü uzun yıllardan bu yana yeterli desteği göremediği gibi göz ardı edilmiş, üretim, verimlilik ve teknolojik açıdan diğer ülkelerle rekabet edecek seviyeye ulaşamamıştır. Ülkemizin kalkınabilmesi için madencilik sektörünün de ülke ekonomisi içindeki gerçek yerini alması zorunludur. Sektör ve bağlı sanayi geliştiğinde ihracat yolu ile ödemeler dengesinde olumlu yönde gelişmeler olacak, istihdam sorununa belirli oranda çözüm gelecek, yaratılan kaynaklarla diğer sektörlerin desteklenmesi sağlanacaktır. Sektörde doğrudan istihdam edilen 1 maden işçisi, madencilğe bağlı oluşan yan sektörlerde dolaylı olarak 10 kişiye istihdam yaratmaktadır. Bu da 1.5 milyon kişiye iş, kırsal kesimlerden göçün önlenmesi, yan sektörlerin gelişmesi, ülkenin alt yapısında iyileşme anlamına gelmektedir(Madencilik Bülteni, 2004).

Gelişmekte ve sanayileşmekte olan her ülkenin ekonomisini doğrudan etkileyen faktörlerin en başında gelen madencilik faaliyetlerinin amacı çeşitli sanayi dallarının ihtiyaç duyduğu mineralleri bulup yer üstüne çıkartmak ve tüketicinin hizmetine sunmaktır. Yeraltında ve yerüstünde bulunan cevherler bazen yüksek tenörlü olabilirler; bu gibi cevherler çok basit işlemler uygulanarak çeşitli endüstri dallarına ve metalurjik tesislere doğrudan satılabilirler. Diğer taraftan, birçok yeni bulunan veya bilinen rezervler vardır ki tenörleri bu endüstriyel tesislerin şartlarına uymadığı için henüz ekonomik olarak işletilememektedirler. Gelecekte eğer yüksek tenörlü cevherler tükenmeye yüz tutar ve dünya piyasalarının belirli minerallere karşı talepleri çeşitli sebeplerle (harp, ekonomik bloke, yeni sanayiler, vb.) artarsa düşük tenörlü

cevherlerin işletilmeleri söz konusu olacaktır ve düşük tenörlü mineraller için cevher zenginleştirme tesisine şiddetle ihtiyaç duyulacaktır. Kısaca, cevher zenginleştirme, topraktan çıkartılan cevherin özellikle gang minerallerinden oluşan “Artık” kısmını atarak, genel olarak kıymetli mineralini bir araya toplamak ve yüksek tenörlü bir “Konsantre” elde etme tekniği olarak tarif edilebilir (Orel ve İmre, 1967).

Maden cevherleri ocaktan elde edildikten sonra ergitmeye (izabe) veya sanayiinin diğer bölümlerine satılır. Zengin maden cevherlerinin azalması ve sanayinin standart ham maddeler talep etmesi neticesinde düşük tenörlü cevherlerin yapısında bulunan kıymetli minerallerin ayrılarak, standart şartlara uygun konsantreler halinde sanayiye arz edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan işlemlere, cevher hazırlama veya zenginleştirme (veya maden zenginleştirme) işlemleri denilmektedir (Tolun, 1960).

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Mangan Hakkında Genel Bilgiler

Mangan (Mn), atom numarası 25, atom ağırlığı 54,94 olan bir elementtir. Metalik bir element olan mangan, doğal olarak oksit, silikat ve karbonat halinde bulunmakla birlikte yer kürede %0,1 oranında bulunmaktadır. MnO_2 ise en önemli bileşiğidir. Günümüz teknolojisinin en önemli hammaddelerinden biri olan manganın özellikleri ise;

- Bileşiklerinde +1, +2, +3, +4, +5, +6 ve +7 değerliklerini alabilir.
- Mangan, gümüş parlaklığında, sert ve kırılgan bir metaldir.
- Toz haline getirilebilir.
- MnO , indirgen atmosferde, daha yüksek oksidasyon sayısındaki oksitlerin, metalin oksitlenmesiyle veya ısı ile kısmen indirgenmesiyle elde edilir.
- +2 değerlikli oksidi oldukça bazik olup, zayıf asitlerde, mangan tuzlarını verecek şekilde çözünür.
- Manganın, +2 ve +6 değerlikli tuzları, çözeltiler içinde, diğer tuzlardan daha kararlıdır.

Mn^{+2} , Mn^{+3} ve Mn^{+4} olmak üzere üç önemli iyonu bulunan mangan'ın en yaygın iyonu Mn^{+2} olup, yüzeysel ortam koşullarında Ca^{+2} iyonuna; derin ortam koşullarında ise Fe^{+2} iyonuna benzer özellikler ve dağılımlar göstermektedir.

Manganın clark sayısı, çeşitli kayaç türlerindeki ve ortamlardaki bollukları aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Krauskopf, 1979; Rose ve Burt., 1979).

Clark sayısı : 1.000 mg/L

Ultramafik kayaçlarda : 1.040 mg/L

Mafik kayaçlarda : 1.500 mg/L

Granitik kayaçlarda : 390 mg/L

Kireçtaşlarında : 1.100 mg/L

Şeylerde : 850 mg/L

Toprakta : 320 mg/L

Bitki kl : 6.700 mg/L

Akarsular : 15 mg/L

Deniz suyunda : 50 mg/L

Normal hava Şartlarına karşı dayanıklı olan saf mangan , ergime noktasının (1244 °C) stndeki sıcaklıklarda, fosfor, kükürt ve oksijenle kolayca bileşikler yapar. Sahip olduğu bu özellikten dolayı metallerin reoksidasyonunda ve kkrtszleŐtirilmesinde de kullanılır. Başta demir olmak üzere, silisyum, bakır, alüminyum, magnezyum, çinko, titan ile çeşitli özelliklerde alaşımlar yapar. Bu alaşımlar arasında en çok kullanılanları ferromangan (%78 Mn), silikamangan (%65-70 Mn) alaşımlarıdır.

Magmanın kristallenmesi sırasında mangan, Fe⁺² iyonu ile birlikte mafik minerallerin yapısına girme özelliği göstermektedir ve özellikle amfibol grubu minerallerin ve biyolitlerin yapısında zenginleŐmektedir. Bileşiminde mangan bulunan 300'den fazla mineral vardır. Bu minerallerden başlıcaları izelge 2.1'de verilmiştir.

Pirolusit, Manganit, Rodokrosit, Wad, Kriptomelan, Hollandit, Koronadit ve Psilomelan yzeyssel koşullarda oluşan mangan mineralleri olup Rodonit ve Braunit metamorfizma geçirmiş Mn yataklarında görülmektedir. Derin ortam koşullarında Hausmanit ve ender olarak Jakopsit minerali gözlenir. İçerdiği mangan miktarına göre mangan cevheri; manganlı demir (%5-10 Mn), demirli mangan (%10-35 Mn) ve mangan cevheri (%35'den fazla Mn) olarak sınıflandırılırlar. Kullanım alanlarına göre; metalurjik mangan cevheri (%46-48 Mn), batarya sanayi mangan cevheri (%78-85 MnO₂), kimya sanayi mangan cevheri (%74-84 MnO₂) ve diğer amaçlarda kullanılan mangan cevheri olarak sınıflandırılır (DPT, 1996).

Çizelge 2.1: Önemli mangan mineralleri.

Mineralin Adı	Kimyasal Formülü	Renk	Mn, %	Sertlik	Yoğunluk (ton/m³)
Pirolusit	MnO ₂	Çelik grisi-siyah	63.2	6-7	5
Ramsdellit	MnO ₂	Koyu gri-siyah	63	3	4,7
Polianit	MnO ₂	Siyah-çelik grisi	-	6-6,5	5
Manganit	Mn ₂ O ₃ .H ₂ O	Siyah-çelik grisi	62	4	4,3
Kriptomelan	KMn ₈ O ₁₆	Siyah-çelik grisi	45-60	5-6	4,3
Psilomelan	BaMn ₉ O ₁₈ 2H ₂ O	Siyah-koyu gri	35-60	5-6	4,4-4,7
Hausmanit	Mn ₃ O ₄	Kahverengi-siyah	72	4.8	4,7-5
Braunit	3Mn ₂ O ₃ .MnSiO ₃	Kahverengi-siyah	50-60	6-6,5	4,7-4,9
Bixbit	(Mn,Fe) ₂ O ₃	Siyah	30-40	6	5
Jakopsit	MnFe ₂ O ₄	Siyah	24	6	4,8
Hollandit	BaMn ₈ O ₁₆	Siyah-çelik grisi	24	6	4,5-5
Koronadit	PbMn ₈ O ₁₆	Siyah-çelik grisi	24	5,2-5,6	4,5-5
Rodokrosit	MnCO ₃	Kırmızı-pembe-kahve	48	3,5-4,5	3,3-3,6
Rodonit	MnSiCO ₃	Pembe	42	5,5-6,5	3,4-3,6
Alabandit	MnS	Demir siyahı	Değişken (63,2)	3,5-4	3,95
Wad	Değişik	Siyah-esmer siyah	Değişken (63,2)	5-6	3-4,28

2.2 Önemli Mangan Yatakları ve Oluşumları

2.2.1 Volkanik ve volkano-sedimanter birimler içindeki mangan yatakları

Küçük boyutlu mangan yatakları yaygın olarak Andezitik ve bazaltik volkanik kayaların yer aldığı volkanik ve volkanosedimanter birimler içinde gözlenmektedir. Genellikle düzensiz dış şekilli ve masif içyapılı kütleler şeklinde olup yer yer, tabakalı, stratabound, stokvork ve damar tipi gibi değişik yataklanma şekilleri gösterebilmektedirler (Bayat, 2010).

2.2.2 Ofiyolitik ve epiofiyolitik kayalar ile ilgili yataklar

Bazaltik ve gabroik kayaların hâkim olduğu kesimlerde, hidrotermal süreçlerden kimyasal kalıntı tipi süreçlere kadar oldukça değişik süreçlerle oluşmuş, küçük boyutlu zenginleşmeler şeklinde mangan yatakları gözlenmektedir. Hidrotermal süreçlerle oluşmuş olanları, volkanosedimanter görünümlü olmayıp, genellikle düzensiz dış şekilli ve devamlılıkları fazla olmayan zenginleşmeler şeklindedirler. Kimyasal kalıntı tipi yatakları ise, çok daha düzensiz dış şekilli ve devamlılıkları fazla olmayan, demir içerikleri yüksek, örtüler şeklindedirler (Bayat, 2010).

2.2.3 Taneli tortul kayalarla ilişkili (nikopol tipi) mangan yatakları

Bu yataklar özellikle Mn içeriği yüksek andezitik ve granitoyitik kayalarla kaplı bölgelerle kıyısı olan sığ sulu, denizel (deniz kıyısı) ortamlarda oluşmaktadırlar. Bu yataklarda Mn cevherleşmesi, yan kayaların tabakalanma düzlemleri ile uyumlu bantlar ve tabakalar şeklindedir. Kalınlıkları genellikle çok ince (1 m'den az) devamlılıkları ise çok fazladır (100'lerce km). Bazen birden fazla bant veya mercak üst üste gelebilmektedir (Bayat, 2010).

2.2.4 Karbonatlı kayalarla ilişkili (Morocco tipi) mangan yatakları

Bu Mn yatakları karbonatlı ve karasal detritik kayalardan oluşan kırmızı renkli birimler içinde gözlenmektedirler. Bu yatakların tipik örnekleri Fas'ta gözleendiği için "Morocco Tipi" Mn yatakları olarak adlanmaktadırlar. Tip kesitlerinde en altta kırmızı renkli karasal taban seviye, orta manganlı karbonat (Dolomit - Kireçtaşı - Kil taşı - Jips) seviyesi ve en üstte kırmızı renkli karasal örtü seviyesi şeklinde üç farklı seviye olarak ayırmak mümkündür (Bayat, 2010).

2.2.5 Okyanus tabanlarındaki güncel Mn'lı yumrular

İlk olarak 1872-1876 yılları arasında yapılan osenografik incelemeler sırasında saptanan bu yumrular, günümüzde henüz işletilemeyen oldukça büyük bir potansiyel durumundadır. Yapılan incelemeler, deniz tabanındaki sedimanlar içinde derinliğe bağlı olarak yumruların zenginleşmesinde önemli bir farklılaşmanın bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca nodüllerin oluşumunun 1 milyon yıl kadar sürdüğü ve bu süre içinde deniz tabanında açıkta kaldıkları düşünülmektedir. Akıntılarla olan ilişkileri ise, ortama Eh'ı yüksek suların getirilmesi ve sediman çökelme oranının düşürülmesi şeklinde açıklanmaya çalışılmaktadır. Yumrular, genellikle değişken veya disk şekilli, ender olarak ta küresel şekillidir. Yüzeyleri oldukça pürüzlü, içleri ise kolloform yapılıdır. Büyüklükleri 1 cm ile 10'larca cm arasındadır. Yapılan kimyasal analiz çalışmaları yumruların ortalama Mn içeriklerinin %15 ile %19 arasında değiştiğini, ayrıca Fe içeriklerinin %23'e kadar, Ni içeriklerinin %0,85'e kadar, Cu içeriklerinin %0,71'e kadar ve Co içeriklerinin %0,29'a kadar çıkabildiğini göstermektedir (Bayat, 2010).

2.2.6 Bataklık ve göl ortamlarında oluşmuş mangan yatakları

Her ne kadar Tersiyer ve daha yaşlı örnekleri varsa da bu yatakların büyük çoğunluğu güncel oluşumlar şeklindedir. Kuzey yarım kürenin buzullarla ilişkili tundra bölgelerinde oluşmuşlardır. Genellikle küçük boyutlu ve ekonomik açıdan fazla önemli olmayan yerel zenginleşmeler şeklindedirler (Bayat, 2010).

2.2.7 Kimyasal kalıntı tipi mangan yatakları

Magmatik kristallenme sırasında Mn minerallerinin oluşumu çok ender olup, Mn mafik minerallerin yapısına girerek tutuklanmaktadır. Bu mineralleri içeren mafik ve ultramafik kayaların tutuklanması sırasında Fe ve Al üst seviyelerde tutuklanırken, hareketliliği daha yüksek olan manganın genellikle ortamdan uzaklaştığı, ancak Eh'ın oksidan, pH' ın ise bazik olduğu bozunma bölgelerinde Mn iyonlarının da bozunma zonunun taban seviyelerinde oksitli minerallerini oluşturarak kalıntı tipi oluşumlar şeklinde zenginleşebildiği görülmektedir. Bu tip Mn yataklarının en iyi örnekleri Brezilya'da, Güney ve Batı Afrika'da ve Hindistan'da bulunmaktadır (Bayat, 2010).

2.3.Türkiye Mangan Yatakları

Türkiye mangan potansiyeli olarak %0,11'lik bir paya sahiptir. Türkiye'deki yataklarda Mn tenörü fazla yüksek değildir. Demirli-mangan (%10-35 Mn) cevherleri rezervlerin büyük bir bölümünü oluşturur. Manganlı demir cevheri demirçelik fabrikalarında sinterde kullanılarak mangan cevheri kullanımından tasarruf sağlar. Türkiye'de manganlı demir (%5-10 Mn) cevheri de bulunmaktadır. Türkiye'de bulunan mangan cevheri, genelde metalurjik mangan cevheri grubunda değerlendirilebilir.

Zonguldak Ereğli çevresindeki manganlar Üst Kretase andezit volkanizmasına bağlı volkano-sedimanter oluşumlardır. Cevherleşme Üst Kretase aglomeralarının üzerindeki tüfit ve kumtaşları içerisinde. Bu bölgedeki çok sayıda zuhurlardan en önemlisi Ereğli- Ramazanlı-Kızılamba sahasıdır.

Kastamonu-Tosya çevresindeki cevherleşmeler Liyas ve Liyas öncesi yaşlı volkanik ve sedimanter kayaç istifinde, daha çok pelajik kireçtaşı ve çörtler içerisinde yeralan volkano sedimanter oluşumlardır.

Doğu Karadeniz bölgesindeki cevherleşmeler Üst Kretase dasit ve andezit volkanizmasına bağlı olarak oluşmuş volkano sedimanter kökenlidir. Yörede çok sayıda zuhur vardır.

Güneydoğu Anadolu yöresindeki cevherleşmeler, radyolaritler içerisinde ve radyolaritler ile aralanmalı olarak oluşmuş volkano sedimanter karakterdeki oluşuklardır.

Ankara çevresindeki cevherleşmeler Üst Kretase yaşlı ofiyolit karmaşığının radyolaritleri ve Tersiyer volkanizmasının tüfleri içinde volkano sedimanter olarak oluşmuşlardır, önemsizdirler.

Trakya bölgesindeki mangan cevherleşmeleri Eosen yaşlı kireçtaşları üzerine transgressif olarak gelmiş Oligosen yaşlı marnlar içerisinde sedimanter olarak oluşmuşlardır. En önemlileri İstanbul-Çatalca Binkılıç ve İnceğiz sahalarıdır. Ancak tenörleri düşüktür.

Erzincan çevresindeki cevherleşmeler daha çok hidrotermal kökenli yataklar olup bu yataklarda ülkemizin en kaliteli Mn cevheri vardır. Çöpler, Dilli ve Kekik pınarı zuhurları bunların en önemlileridir.

Bursa-Bilecik ve Balıkesir Bölgesi'nde volkanodesimanter ve metamorfik mangan cevherleşmeleri yer almaktadır. Ancak ekonomik değerleri yoktur.

Güneybatı Anadolu bölgesi, sedimanter kökenli yatakların bulunduğu en önemli bölgedir. Buradaki mangan yataklarının birçoğu geçmiş yıllarda işletilmiştir. Yörede bulunan Denizli-Tavas-Ulukent yatağı 4 milyon tonluk rezervle Türkiye'nin en büyük yatağıdır (DPT, 1996).

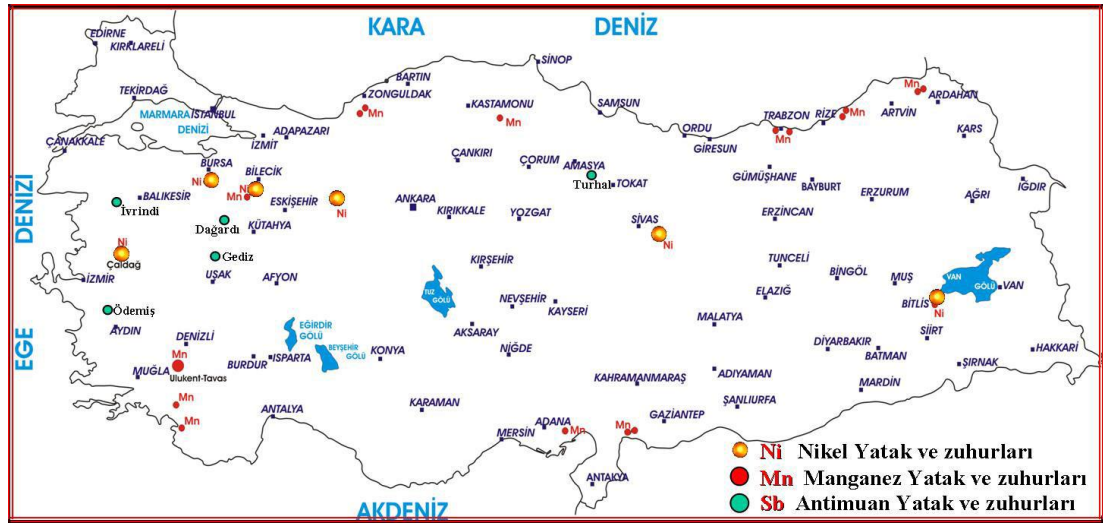
Ülkemizde mangan madenciliği diğer metalik madenlere göre oldukça düşük olup bilinen yataklar genellikle küçük boyutlu ve kalitesi düşük yataklar şeklindedir. Ülkemizdeki Mn yataklarını; Ofiyolitik karışıklar içindeki Mn yatakları,

Toros Kuşağı'ndaki karbonat istifi içinde siyah şeyllerle ilişkili yataklar,

Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki volkanitlerle ilişkili yataklar ve

Trakya havzasındaki sedimanter yataklar şeklinde gruplamak mümkündür.

Türkiye mangan yataklarının dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Türkiye mangan yatakları.

Çizelge 2.2'de Türkiye mangan rezervleri yer almaktadır. Türkiye mangan rezervleri görünür+muhtemel 4.561.750 ton olup en önemli mangan rezervi 4 milyon ton ile Denizli Tavas'ta bulunmaktadır. Ayrıca, ülkemizde belirli bölgelerde yaygın olarak mangan cevher yatakları bulunmaktadır. Ancak tenör ve rezervleri Dünya mangan yatakları ile kıyaslandığında küçüktür (DPT, 2001).

Çizelge 2.2: Türkiye mangan cevheri rezervleri (DPT, 2001).

Yatak Adı	İli ve İlçesi	Rezerv Görünür+Muhtemel (x1.000 ton)	Tenör (%Mn)	Metal İçeriği (ton)	Açıklama
Dokuz tekne	Adana-Selimiye	76.5	20.0	15.30	25 Fe + 18.14 SiO ₂
Kontromtaşı	Artvin-Ardanuç	10.0	38.5	3.85	6.30 Fe + 1.38 SiO ₂
Paşalık	Artvin-Ardanuç	8.0	21.0	1.68	13.0 Fe + 19,0 SiO ₂
Baçlı	Artvin-Borçka	20.0	42.17	8.43	5.6 Fe + 10 SiO ₂
Seçkiyat	Artvin-Borçka	28.8	34.09	9.82	1.67 Fe + 21,5 SiO ₂
Korucular	Artvin-Borçka	187.5	42.8	8.02	
Korucular	Artvin-Borçka	202.5	22.9	4.64	
Çavdarlı	Artvin-Şavşat	30.0	31.78	9.53	8.99 Fe + 10,2 SiO ₂
Ulukent	Denizli-Tavas	4.000	33.86	1354.4	5.53 Fe + 18.2SiO ₂
Çağırangözü	Denizli-Tavas	5.0	57.85	2.89	
Erdoğmuş	Denizli-Tavas	9.2	40-45	3.86	
Dilli	Erzincan-Kemaliye	24.0	43.93	10.54	0.73 Fe + 2.58 SiO ₂
Dostallı	Gaziantep-Burç	2.5	45.3	1.13	22.30 SiO ₂
Karlıca	Gaziantep-Burç	8.4	34.73	2.91	
Zülfikar	Gaziantep-Burç	30.0	32.62	9.78	36.29 SiO ₂
Y.Kalecik	Gaziantep-Musabeyli	9.0	30-48	3.6	15.40 SiO ₂
K.Mustafapaşa	Gaziantep-Musabeyli	145.0	53.65	7.78	21.50 SiO ₂
Suçikan	Muğla-Fethiye	5.0	32.9	1.65	
Mendos	Muğla-Fethiye	23.0	49.35	11.35	
Çancıkorun	Rize-Fındıklı	5.0	46.90	2.35	4.70 SiO ₂
Çayırüzü	Rize-Çamlıhemşin	4.5	40.0	1.8	
Çubuklu	Trabzon-Araklı	18.0	45.0	8.1	
Kızırmaz	Trabzon-Araklı	3.6	49.23	1.77	
Çağlayan	Trabzon-Maçka	1.5	45.3	0.68	4 Fe
Küçük yaz	Trabzon-Maçka	37.5	51.0	1.92	3 Fe
Ocaklı	Trabzon-Maçka	28.0	35.0	9.80	3 Fe
Kızılamba	Zonguldak-Ereğli	19.0	35.0	6.65	
Düzpelit	Zonguldak-Ereğli	5.0	25.0	1.25	
TOPLAM		4.561.75		15.76	

2.4 Manganın Ekonomik Önemi

Günümüzdeki mangan madenciliği ve endüstrisi çeşitli nedenler ile oldukça geri kalmış ve kaderine terk edilmiştir. Mangan madenciliği ile günümüzde yalnız özel sektör ilgilenmektedir. Bu madencilik konusuna devletin ilgisi oldukça azdır.

Yapılmış olan çeşitli araştırmalar ekonomik olan mangan minerallerinin genellikle oksitlerden ibaret olduğunu ortaya koymuş ve bunların pirolusit, psilomelan, manganit ve wad olduğunu belirlemiştir.

Mangan cevherleri genellikle kriptokristalin, masif ve amorf bileşikler halinde toprağımsı görünümündedirler. Renkleri çoğunlukla kahverengi-siyah'tır. Türkiye gelişim düzeyi içinde ortaya çıkacak yüksek tenörlü mangan oksit cevheri (metalürjik cevherler, kimyevi dereceli cevherler ve batarya endüstrisine uygun dereceli cevherler) ihtiyacını mümkün olduğu kadar yurt içinden karşılamaya gayret edecektir. Türkiye, bir ölçüde buna öncelikle bu döviz dar boğazında mecburdur. Aynı zamanda kalkınması için gerekli sermaye birikiminin önemli bir bölümü ancak kendi öz kaynaklarının kullanımı şeklinde mümkün olacaktır. Türkiye'de bilinen mangan yatakları yurdun hemen hemen her yöresine dağılmış olan küçük rezervli yataklardır. Çeşitli dezavantajları nedeniyle bu düşük mangan oksit yataklarının %90'ı çalıştırılmamakta olup ancak %10'unun özel sektör işleticileri tarafından sadece zengin Mn içeren kısımları alınmakta, diğer kısımları atılmaktadır. Keza; birkaç küçük işletmede ise, tenör yükseltmek gayesi ile triyaj yöntemi tatbik edilmekte ve çıkarılan cevherin ortalama %90'ı zayi edilmektedir.

Mangan genelde metalürji, kimya ve batarya endüstrisinde kullanılan önemli bir cevherdir. Çelik yapımında kullanılan yardımcı metallerin en önemli olanıdır; oksijeni ve kükürdü giderme amaçları için çeliğe mangan katılır. Böylece çelik haddelenme ve dövülme özelliklerini kazanır. Ayrıca mangan; çeliğe yüksek bir çekme mukavemet ve uzama kabiliyeti kazandırır. Bu nedenle, özellikle manganlı çelikler; demiryolu raylarında, bağlantılarında, kesişme noktalarında, makaslarda ve bunun gibi yerlerde kullanılır.

Kimya endüstrisinde mangan önemli bir yer tutar. Kimya laboratuvarlarında geniş bir şekilde kullanımı olan KMnO_4 bunun en güzel örneğidir. Yine, pil endüstrisinde de mangan cevherinin yeri önemlidir. Pilin çalışmasında anot karbon kutbun çevresinde

sıvanmış olarak bulunan MnO_2 bir polarizatör görevi görmektedir. Anotta bulunan MnO_2 , pilde akımın devamlılığını sağlar. Doğada doğal olarak bulunup ta O_2 verebilen ve MnO_2 'den daha ekonomik olan bir madde bulunamamıştır.

Türkiye'de uzun yıllardan beri mangan yatakları aranmış ve halen aranmaktadır. MTA Enstitüsü ve bazı araştırmacıların çalışmaları sonucu, bugüne kadar ortaya çıkarılmış olan rezervler hemen hemen yurdun her yöresine dağılmış olarak göze çarpmaktadır. Halen var olan bilgiler; birkaç kısa araştırma ile prospeksiyon yapan araştırmacıların izlenimlerini kısaca veren yüzeysel raporlardan oluşmaktadır. Elde olunan bilgiler, yurdumuzda halen bilinen bütün mangan yatak tiplerinin var olduğunu ortaya koymuştur. Ancak özellikle tenörlerin ve bazı durumlarda da rezervlerin düşüklüğü nedeniyle birçok mangan sahası işleticileri tarafından terk edilmiştir.

Günümüzde Türkiye'de mangan madenciliği ile uğraşan ve mali yönden önemsiz sayılabilecek 35'e yakın özel firma bulunmaktadır. Bu sayı, dış satım ve tüketim olanaklarına göre yıldan yıla değişmektedir. Söz konusu bu işletmelerde üretim genellikle açık ocak işletmesi şeklinde yapılmaktadır. Cevherlerin istenilen tenöre getirilebilmesi için daha çok elle ayıklama yöntemi kullanılmaktadır. Türkiye'de mevcut tüm ocaklarda işletme yaz aylarında yapılabilmektedir. Fakat birkaç yeraltı ve yerüstü işletmesi hariç, kış aylarında üretim yapılamamaktadır.

Türkiye'de mangan madenciliği, yurdumuzun mangan gereksinimini karşılayamamaktadır. Bunun nedenleri;

- Yurdumuzda mangan işleten şirketler genellikle mali yönden zayıf, yatırım yapmaktan çekinen küçük şirketlerdir.
- Yurt içi tüketicileri uzun vadeli anlaşmalardan sakınmaktadırlar.

Bağlantılar genellikle yıllık yapılmaktadır. Bu durum ise, işletmeciyi olumsuz yönde etkilemekte ve uzun vadeli yatırımlardan kaçınmaktadır. Bugünkü durumda dünyanın en büyük mangan üreticisi Rusya olup Ukrayna ve Kafkasya'daki önemli yataklardan, dünya üretiminin yarısını oluşturan 18 milyon ton/yıl civarında mangan üretilmektedir. Söz konusu cevherler ortalama %28-33 oranında Mn içerirler. Diğer önemli mangan yatakları Hindistan'ın merkez bölgesinde, Altın Sahilinde, Güney Afrika'da, Brezilya'da ve Fas'ta işletilmektedir. Dünyadaki mangan cevherlerinin büyük bir çoğunluğu ortalama %30 Mn içerdiklerinden; metalürji, kimya ve pil endüstrisi için gereken Mn içerikli cevherler, cevher hazırlama ve metalurji yöntemleri

ile elde edilmektedir. Dünyada mangan oksit cevherlerinin ortalama %10-12'si kimya ve pil, %10'u ise metalürji endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu rakamlar yurdumuz tüketim değerlerine de uymaktadır.

Yurdumuzdaki mangan oksit cevherlerinin ortalama Mn içeriği %30-35 civarındadır. Demir-çelik endüstrisinde yüksek fırına gerekli durumlarda ilave edilen mangan cevheri gereksinimi doğrudan doğruya bu tür (%35'lik) cevherlerden karşılanabilmektedir. Metalürji endüstrisinin diğer alanlarının, istediği koşullardaki mangan cevherleri, doğrudan yurdumuzda bulunan yüksek içerikli tüvanan cevherlerden ya da elle ayıklama yoluyla içerikleri yükseltilecek cevherlerden sağlanmaktadır. Halen kimya ve batarya endüstrisinin istediği içerikteki mangan cevherlerinin %80'i ve ferromangan tüketimimizin ise tamamı yurt dışından dış alımla karşılanmaktadır.

Türkiye mangan madenciliği öncelikle iç tüketim ve dış satım etkenlerine bağlıdır. Genel olarak mangan cevherlerinin en çok kullanıldığı sektör, %90-95'e yaklaşan bir oranla demir-çelik endüstrisidir. Geri kalan %5-10'u kimya ve batarya endüstrisine düşmektedir. Bu nedenle, Türkiye mangan gereksinimi ve tüketimi, ham demir üretimine doğrudan doğruya bağlıdır. Ülkemizde ferromangan gereksiniminin tümü, halen dış alımla karşılanmaktadır. Bu endüstri kolunda tüketilen ferromanganın çok az bir miktarı yerli üretimdir. Ancak bu miktar dikkate alınamayacak kadar az bir rakamdır. Yurdumuzda kimya ve batarya endüstri kollarında gereksinim duyulan mangan cevheri miktarı, %50-55 Mn bazına göre 5-6 bin ton civarındadır. Türkiye mangan üretiminin geleceği ve dolayısıyla mangan dış satımı için uluslararası mangan pazarının durumu büyük önem taşımaktadır. Bugünkü dünya mangan pazarını şu şekilde tanımlamak olanaklıdır:

- i. Dünya mangan ticareti tamamen Rusya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Brezilya, Hindistan, Çin ve Gana gibi büyük üretici ülkelerin hâkimiyeti altında bulunmaktadır. Ayrıca, ortalama 1 milyon ton mangan üretimi ile bu büyük üreticiler grubuna son yıllarda Avustralya'da girmiştir.
- ii. Son yıllardaki dünya mangan işletmeciliğindeki gelişim; cevher kalitesinin düzeltilmesi, işletme ve ocakların büyümesi, küçük işletmelerin bu yüzden kapanması yönünde olmuştur. Hemen hemen hepsinde açık işletmelerle mangan çıkarılan bu büyük ocaklar, yalnızca çok sayıdaki küçük işletmeleri ezmekle ve onların kapasitelerini yüklenmekle kalmamışlar,

son yılların yükselen dünya mangan gereksinimini ve tüketimini karşılamayı başarmışlardır.

- iii. Bilinen dünya mangan rezervleri, üretim eşit kaldığı takdirde 80-100 yıldan kısa bir süre gereksinmeye yetecektir.
- iv. Dünya mangan pazarındaki ticaret daha çok kısa vadeli anlaşmalarla olmaktadır. Elleriindeki cevher kalitesi yüksek olan büyük şirketler, mangan pazarlarını ellerinde tutmaktadırlar.
- v. Üretimin genellikle tüketime göre fazla olması nedeniyle dünya mangan pazarı bir “alıcı pazar” karakterini taşır ve bu durum daha uzun bir süre bu özelliğini taşıyacağını göstermektedir. Sık sık mangan fiyatlarının düşmesi bu olayı doğrulamaktadır.
- vi. Gerek metal halindeki mangan ve gerekse ferromangan, son yıllarda alıcılar tarafından tüvenan mangan cevherlerine göre daha çok tercih edilmektedir.

Halen mangan cevheri satan ülkeler için, mangani cevher olarak değil, metal haline getirdikten sonra ya da ferromangan ürettikten sonra satışa çıkarma zorunluluğu doğmuştur. Bugün hiçbir ülke %40-45 Mn içeriğinden daha az mangan içeren ve aktivitesi belirli bir değerin altında olan mangan cevherlerini satın almamaktadır.

Türkiye hiçbir zaman ve hiçbir şekilde rekabet şansına sahip değildir. Bu nedenle, Türkiye’nin öncelikle kendi mangan gereksinimini kendi karşılamak amacına yönelmesi zorunluluğu doğmaktadır. Bugünkü Türkiye mangan madenciliği yıllık %35 Mn bazına göre (Demir-çelik, ferromangan, kimya ve pil endüstrileri toplamı olmak üzere) yaklaşık olarak 100.000 ton tahmin edilen kendi gereksinimini karşılayabilecek durumda bile değildir. Nedenleri de şu şekilde sıralanabilir:

- i. Şimdiki durumda var olan yataklarımızda bulunan mangan cevherlerimizin Mn içeriği kabul edilebilir sınırlarda olmayıp, doğrudan kullanma olasılığı bulunmamaktadır.
- ii. Yurdumuzda mangan madenciliğini ellerinde tutan firmalar, kapasitelerinin çok küçük olması nedeniyle genellikle mangan madenciliğini ancak en uygun koşullar (yüksek fiyat, az masraf gibi) altında yapabilmektedirler.
- iii. Mangan üreticilerine, tüketiciler tarafından uzun vadeli ve sabit bir alım miktarı garantilenmediği için, işletme ve yatırım planlaması bu üreticilerin

mali güçlerinin dışında bulunmaktadır. Hiçbir mangan üreticisi uzun vadeli bir yatırıma yönelmemektedir.

Bu bilgiler çerçevesinde sonuç olarak şunlar söylenebilir;

- i. Bilinen mangan yatakları içinde rezervleri ve yatak özellikleri nedeniyle, yurdumuzun gittikçe artan Mn gereksinimini karşılayabilecek durumda olan şimdilik Trakya mangan yataklarıdır. Diğer mangan yatakları, genellikle küçük rezervlere sahip, yurdumuzun hemen hemen her yöresine dağılmış bulunan yataklardır. Bu durumda, Türkiye'deki mangan prospeksiyon çalışmalarını bitirilmemiş olan Trakya'ya yönetmek zorunlu görülmektedir.
- ii. Türkiye şimdilik mangan cevheri ithal edici bir ülkedir. Bu nedenle daha önce de belirtilen etkenler ışığında öncelikle iç tüketim göz önüne alınarak planlamalar yapılmalıdır.
- iii. Bugünkü Türkiye mangan madenciliği, şimdiki mali olanaklarının ve genel üretim/tüketim potansiyeli ile bu gereksinimi karşılayabilecek güçte ve kapasitede değildir. Bazı önlemler alınarak öngörülen üretim hedeflerine ulaşmak olanaklıdır. Ancak bu suretle mangan madenciliğinde uzun vadeli üretim planları yapılabilir, yatırım kararları alınabilir ve rasyonel çalışma olanakları hazırlanabilir.
- iv. Genel olarak, endüstride kullanılabilme olanakları çerçevesinde, Trakya mangan cevherleri zenginleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Trakya Bölgesi'nde merkezi uygun bir yerde zenginleştirme tesisi kurulması gerekmektedir. Bu tesiste, demir-çelik, ferromangan, kimya ve batarya endüstri kollarında kullanılabilecek nitelikte mangan konsantreleri üretilenilecektir.
- v. Türkiye ferromangan gereksiniminin tümünü dışarıdan sağlamaktadır. Bir ferromangan tesisinin kurulması, Türkiye için zorunlu hale gelmiştir. Trakya mangan cevherlerinin cevher hazırlama yöntemleri ile kolaylıkla %45 Mn içeriğine getirilebileceği düşünülürse bir ferromangan tesisi için hammadde sorunu mangan cevheri açısından yok demektir.
- vi. Bir ferromangan tesisinin kuruluşunda, ucuz elektrik enerjisi, en uygun kuruluş yeri ve özellikle demir-çelik endüstrisinin gelişimi göz önünde tutulmalıdır (Atak, 1974; CYANAMID, 1980; Bayat, 2010).

2.5 Kullanım Alanları

Türkiye'de mangan kullanım alanları Dünyadaki kullanım alanlarıyla paralellik göstermektedir. Ülkemizde üretilen manganın % 95'e yakını demir-çelik sektöründe kullanılmaktadır. Diğer önemli kullanım alanı pil-batarya ve kimya sanayiidir. Az miktarda kullanıldığı bir diğer alan elektolitik çinko üretimidir. Demir-çelik sektöründe manganın %95'i manganlı demir alaşımları olup demirsiz manganda ise manganın %95'i ferromangan halindedir (DPT. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK. Raporu, 2001).

Mangan sahip olduğu özelliklerden dolayı metalurji, kimya ve batarya sektöründe kullanılan en önemli yardımcı metallerden biridir. Çeliğin üretimi sırasında ham demirin içinden oksijenin ve kükürdün atılmasını kolaylaştırdığı için çeliğe mangan katılmaktadır. Böylece çeliğe haddelenme ve dökülme özelliklerini kazandırır. Mangan çeliğe ayrıca yüksek bir çekme mukavemeti ve uzaman kalibiyeti kazandırır. Bu nedenle manganlı çelikler demir yolu çivisi olarak demiryolu raylarında, bağlantılarında, kesişme noktalarında, makaslarda ve makine dişlisi, otomobil jantı, silah namlusu, koruyucu zırh levhaları, köprü ve binalar için özel yapı malzemesi yapımında kullanılmaktadır.

Mangan kimya endüstrisinde de önemli bir yere sahiptir. $KMnO_4$ kimya laboratuvarlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Diğer yandan suni gübre, cam, seramik, refrakter, çimento, ilaç, petrokimya ve elektronik endüstrisinde de kullanılmaktadır.

Pil endüstrisinde ise; pilin çalışmasında anot karbon kutbun çevresinde sıvanmış olarak bulunan MnO_2 pilde devamlılığı sağladığı için, mangan cevherinin yeri önemlidir.

Mangan katkı maddesi olarak bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar başlıklar olarak;

- Demir-çelik sektörü
- Pil-batarya sanayi
- Uranyum üretimi

- Cam ve seramik endüstrisi
- Kaynak sanayi
- Ziraat sektörü
- Kimya sanayi
- İlaç sanayi
- Oto boyası üretimi
- Petrokimya üretimi
- Elektronik endüstrisi
- Fotoğrafçılık

gösterilebilir.

Manganın kullanım alanları oranlarıyla birlikte Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3: ABD'de manganın kullanım alanları (DPT, 2001).

Ürün / Alan	Oranı (%)
Mangan Metal	
Çelik (Alaşım Çelikleri Dahil)	19
Alüminyumlu Alaşımlar	68
Diğer Alaşımlar	13
Ferro Mangan	
Çelik (Alaşım Çelikleri Dahil)	97
Pik Demirler	3

Kullanım alanlarına göre mangan cevheri 4 ana gruba ayrılır.

- Metalurjik mangan cevheri %48-50 Mn içerir.
- Batarya sanayi mangan cevheri %78-85 MnO₂ içerir.
- Kimya sanayi mangan cevheri %74-84 MnO₂ içerir.
- Diğer amaçlarda kullanılan mangan cevheri

Pek çok uygulamada maliyet ve teknoloji ikame işlemini etkilemekte olup ekonomik nedenlerden dolayı kimyasallar ve pillerdeki küçük uygulamalarda kısıtlı ikameler olabilmektedir. Dolayısıyla manganın belli başlı kullanım alanlarında ikamesi bulunmamaktadır. Fakat demirli ve demirsiz hurdanın ve çelik hurdasının işlemi sırasında ikincil bileşen olarak önemli miktarda mangan kazanılmaktadır.

(DPT, 2001). (VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu, 1996).

Dünyada yıllık tüketilen yaklaşık 25 milyon ton mangan cevherinin; %90'ı metalurji sanayinde geri kalanı ise batarya üretiminde ve kimya sanayinde kullanılmaktadır. En çok kullanılan mangan çeşitleri ferromangan (%78 Mn), silikomangan (%65-70) alaşımlarıdır. Diğer yandan, genel mangan çelikleri %1,5 ve özel mangan çelikleri %14'ün üzerinde mangan içerir (DPT, 2001).

Metalurjik Mangan Konsantreleri:

Mn : %44'ten fazla (%44-60 Mn)

Mn/Fe : 6'dan fazla

Fosfor : %0,15-0,2'den az (her % Mn için %0,003'den az fosfor)

Cu+Pb+Zn : %0,1-0,3'den az

Al₂O₃+SiO₂ : %15'den az

Tane iriliği : 100 mm'den ince olmalıdır.

pH ve Kimyasal Konsantreler:

Kuru pil, kimyasal madde, renksiz cam yapımında kullanılan Mn konsantreleri, aktif oksijeni fazla peroksitli bilhassa pirolusit, manganit ve vernadit içermelidir. Bu konsantrelerde;

MnO₂ : En az %70-85

Mn : En az %53

Fe : En fazla %3

SiO₂ : En fazla %3-5

Al₂O₃ : En fazla %3

P : En fazla %0,1-0,2

Ni, Co, As : En fazla %0,05

2.6 Mangan Cevherinin Zenginleştirme Yöntemleri

Mangan konsantrelerini zenginleştirmekteki amaçlar; Mn tenörünü ve Mn-Fe oranını yükseltmek ve istenilmeyen zararlı elementleri (fosfor, silis, Al₂O₃, Cu, Zn, Pb, As)

konsantreden uzaklaştırmaktır. Mangan, demir-mangan, manganlı demir cevherlerinden; oluşum şekillerine göre basit zenginleştirme yöntemleriyle (ufalama, eleme, klasifikasyon, akıntıda yıkama, elle ayıklama) satılabilir konsantreler üretilmektedir. Fakat bu basit yöntemlerin Mn kazanma verimleri %60-80 civarında olmaktadır. Bu nedenle bu yöntemler, rezervin yeterli olması hallerinde gravite zenginleştirme, manyetik zenginleştirme, flotasyon yöntemleriyle desteklenmektedir.

2.6.1 Elle ayıklama ile mangan zenginleştirme

Elle ayıklama yöntemi iri tanede serbestleşebilen, yüksek mangan tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesinde, küçük kapasiteli ocaklarda, işçiliğin ucuz olduğu yörelerde uygulanmaktadır. Konsantre tenörleri cevher yapısına ve çalışanların durumuna bağlı olarak değişmektedir. Mn kazanma verimleri düşüktür. Yatırım maliyetleri yok denecek kadar azdır. İleri aşamadaki cevher zenginleştirme işlemlerine yardımcı ön zenginleştirme işlemi olarak da uygulanmaktadır (Önal ve Ateşok, 1994).

2.6.2 Mekanik özellik farklarına dayalı zenginleştirme

Kil minerallerini yan kayaç olarak içeren mangan cevherlerine veya kırılabilir mangan mineralleri içeren ve yan kayacı zor kırılan mineralleri içeren cevherlere uygulanmaktadır.

2.6.3 Yıkama ve sınıflandırma ile mangan zenginleştirme

Killi, topraklı kayaç su ile yıkanıp aşındırılarak, ince gang yıkama yalaklarından taşınırken, ağır Mn mineralleri yalakların altlarından alınır. Yumuşak ve kırılabilir mangan minerallerini içeren cevherlerde şlamdaki mangan kayıpları büyük boyutlara ulaşabilir. Cevherdeki iri taneli gang mineralleri konsantreyi kirletmekte ve tenörü düşürmektedir. Yatırım maliyeti az bir zenginleştirme yöntemi olmasına rağmen, zenginleştirmede istenilen başarı elde edilememektedir.

2.6.4 Boyut küçültme ile mangan zenginleştirme

Kırma-öğütme-sınıflandırma işlemleri sonucu gang minerallerinin ve mangan minerallerinin farklı tane sınıflarında toplanmaları halinde uygulanmaktadır. Bol killi, pirolusit, vernadit minerallerinin zenginleştirilebilmesiyle, satılabilir konsantreler üretilmektedir. Ayrıca ileri aşamadaki zenginleştirme işlemlerinde (gravite,

manyetik, flotasyon zenginleştirmesi) zarar verecek şlamın atımında bir ön zenginleştirme yöntemi olarak uygulanmaktadır (Önal ve Ateşok, 1994).

2.6.5 Gravite ile mangan zenginleştirmesi

Ekonomik mangan minerallerinin çoğunun yoğunlukları 3 g/cm³'ten yüksektir. Yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri iri tanede serbestleşen taneleri zenginleştirebildiklerinden ve iri taneli konsantrelerde metalurji sanayinde tercih edildiklerinden gravite zenginleştirilmesi mangan cevherlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilhassa pirolusit, braunit, hausmanit, mangan cevherlerine gravite zenginleştirmesi uygulamaktadır. Ayrıca oluşum nedeniyle yoğunlukları 3,2 g/cm³'ten fazla olan wad, psilomelan ve rodokrozit cevherleri de zenginleştirilebilmektedir. Serbestleşme tane irilikleri ve cevher hazırlamada ulaştıkları, tane iriliklerine, tesis kapasitelerine bağlı olarak aşağıdaki yöntemler kombine olarak uygulanabilmektedir (Önal ve Ateşok, 1994).

- Ağır ortamda yüzdürme batırma 50-5 mm
- Jiglerde zenginleştirme 30-1 mm
- Ağır ortam siklonlarında zenginleştirme 10-20 mm
- Humphrey spirallerinde zenginleştirme 6-0,3 mm
- Sallantılı masalarda zenginleştirme 2-0,05 mm
- MGS -0,01 mm

2.6.6 Flotasyon ile mangan zenginleştirmesi

Diğer zenginleştirme yöntemlerine oranla verimliliği nedeni ile flotasyon (köpüklü yüzdürme) yöntemi son 25-30 yıldan beri bütün dünya ülkelerinde düşük tenörlü mangan cevherlerinin zenginleştirilmesi amacı ile özel bir dikkat toplamıştır. Yurdumuzdaki mangan cevherlerinin büyük bir çoğunluğunun toprak görünüşlü oksit cevheri tipinde oluşları, kırma-öğütme işlemleri sırasında bol miktarda ince malzeme meydana getirmeleri, mangan mineralleri ile gang minerallerinin çok iyi karışmış olmaları ve tane serbestleşmesi için öğütme işleminin gerekli olması nedeniyle, flotasyon yöntemi zenginleştirme yöntemleri arasında yurdumuz mangan oksit cevherlerinin değerlendirilmesinde en önemli yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Mekanik özellik farkına, yoğunluk farkına, manyetik özellik farkına

dayalı zenginleştirme yöntemi uygulanan tesislerin artıklarındaki (şlam artığı ve diğer artıklar), mangan kaçaklarını azaltıp tesisin genel verimini yükseltmek için, bu artıklardan flotasyon yöntemiyle mangan konsantreleri kazanılır. Ayrıca yukarıdaki yöntemlerle zenginleştirilemeyecek özellikte, mangan oluşumu içeren cevherler ekonomik olması koşuluyla yalnız başına flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedirler.

2.6.6.1 Mangan oksitler

Cevherler içindeki dağılım oranları yönünden oksit cevherleri flotasyon yönteminde ön plana geçmiştir. Mangan oksitler genellikle sabun flotasyonu ile iyi sonuç vermektedirler. Bu genelleme, cevher çok az miktarda gang şlamı veya zararlı çözünabilir tuzlar içerdiği zaman özellikle doğru kabul edilebilmektedir. Ancak bu ideal durum, dünya mangan cevherlerinde seyrek görülmektedir (Ateşok, 1977).

Mangan oksitler gözenekli olduklarından flotasyonlarında fazla yağ asidi ve sabun gerektirirler. Kristal yapıdaki mangan oksitler, amorf yapıdaki mangan oksitlere göre daha kolay yüzerler. Ayrıca mangan oksit mineralleri ince tanede serbestleştiklerinden veya zenginleştirmeye hazırlama aşamasında çok ince taneye ufalandıklarından flotasyonlarında güçlükler ortaya çıkmaktadır (Önal ve Ateşok, 1994).

Oksit flotasyonunda en büyük sorun belirli gang mineralleri ve mangan minerallerinin şlamlaşmaya yönelmesidir. Kil ve demir oksitler yaygın olarak mangan oksit mineralleriyle birlikte ve şlamı oluştururlar. 10 ya da 20 mikrondan daha ince boyutlu olan şlam, flotasyona olumsuz yönde etki etmektedir. Öncelikle bu sorunu ortadan kaldırmak için şlamsızlaştırma yapmak gerekir. Şlamı alınmış örnekte flotasyon selektivitesi daha da artar. Ancak şlamsızlaştırma yararlı olmasına karşın, şlamla birlikte giden mangan genellikle çok fazladır. Bu nedenle, zararlı şlamı atmak için yapılan şlamsızlaştırma işlemi her zaman ekonomik olmayabilir. Oksit mangan cevherlerinden elde edilen şlamların flotasyon etütleri eski S.S.C.B.'de geniş bir şekilde yapılmıştır (Ateşok, 1977).

Chkalov (Rusya) zenginleştirme tesisinde mangan şlamlarının (20 mikron altı) flotasyonu; emülsol, motorin ve talloil (1:4:1) emülsiyonu ile sağlanmıştır. Benzer bir çalışma Mkheidze T.A. ve arkadaşlarınca 20 mikron boyutu altındaki mangan şamlarına uygulanmış, emülsiyon karışımı için, talloil, motorin ve alkali sülfat kullanılmıştır. Ancak mangan verimi konsantrede çok düşüktür (Mkheid, 1974).

Ayrıca son yılların yeni bir gelişimi olan elektroflotasyon yöntemi, Glembotsky tarafından 10 mikron altında bulunan mangan şamlarına uygulanmış, cevher içinde bulunan kil mineralleri yüzdürülmüştür (Glembotsky, 1973). Genellikle mangan oksit flotasyonunda anyonik toplayıcılardan olan oleik asit kullanılmaktadır (Ateşok, 1977).

Bu toplayıcı emülsiyon durumunda ya da sabun olarak kullanılmaktadır. Ancak çeşitli araştırmacılar zaman zaman çalışmalarında petrol ürünlerine de yer vermişlerdir. Mangan oksitlerin flotasyonunda nötr pH'taki pulpa gaz yağı ilave edilerek, mangan oksit minerallerindeki porların yağ ile dolarak kapanması sağlanır. Yağ ile muamele edilmiş cevherdeki mangan oksitleri yağ asidi ve sabunla toplanarak yüzdürülür. Kullanılan gaz yağı gözenekleri kapatarak fazla toplayıcı sarfiyatını önlediği gibi, fazla köpük oluşumunu da engeller (Atak, 1974).

Şamlı mangan oksit cevherlerinin flotasyonu oldukça yaygındır. Arkansas'taki (A.B.D.) Batesville mangan cevherlerine çok yaygın biçimde uygulanmıştır. Chiatura (Rusya) mangan cevherlerinin büyük bir çoğunluğu flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedir. %12,4 Mn içeren tüvenan cevher, flotasyon sonucunda %28 Mn içerikli olarak %45 verimle kazanılmaktadır (Vitovtiev, 1974).

Grushev (Rusya) ve Küba'da bulunan flotasyon tesislerinde, gang mineralleri olarak kuvars, silikatlar ve kil mineralleri içeren mangan oksit cevherleri başarıyla zenginleştirilmektedir. Şamlı mangan oksitlerin flotasyonunda gang içeriği önemli rol oynamaktadır. Kil, demir oksitler, silis ve silikat mineralleri içeren mangan cevherlerinin flotasyonu oldukça basit sayılır (Bondarenko, 1973).

Gang mineralinin demir minerallerinden, manyetit ve hematit minerallerinin ise mangan minerallerinden ayrılması olanaklıdır. Limonit ise genellikle ayrılmayabilir. Limonit'in mangan minerallerinden flotasyon işlemi sırasında ayrılmayışının nedeni; her ikisinin de hidrate mineral olmaları gösterilebilir (Ateşok, 1977).

Kalsit gangi içeren cevherlerin flotasyonu şimdiki bilgilerle olanaksız görülmektedir. Bu tür mangan oksit cevherlerine ters flotasyon uygulanmaktadır. Mangan oksitlerin flotasyonu olanaksızdır. Mangan oksitlerin flotasyonunda kalsit gangi da, mangan mineralleri ile birlikte yüzerler. Bu nedenle, ilk kademedeki ters flotasyon uygulanarak kalsit alınır. Daha sonra gerekirse, pH düşürülerek mangan oksitler yağ asitleri ile yüzdürülür. Mangan oksitlerden kalsit gangını flotasyonla seçerek ayırmada, mangan oksitlerin yüzmesini önlemek için, yeterli miktarda sodyum hidroksit ve sodyum

silikat kullanılır. Kalsitin flotasyonu için emülsifiye edilmiş oleik asit genellikle kullanılan toplayıcıdır (Ateşok, 1977).

2.6.6.2 Mangan karbonatlar

Karbonat mineralleri özellikle rodokrozit içeren mangan cevherleri, oksitlerden çok daha fazla flotasyona uygundur. Bu cevherler genellikle zararlı şlam içermezler, daha basit flotasyon koşullarında kolaylıkla kazanılabilirler. Anaconda, Montana (A.B.D.) cevherinde sülfürler ve silikatlarla birlikte $MnCO_3$ vardır. Flotasyonla mangan karbonat kolaylıkla alınabilmektedir. Keza, Chiatursk (S.S.C.B.) mangan karbonat cevherleri petrol rafineri ürünleri ile flotasyona tabi tutulmuş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Eigeles, 1974).

Rodokrozit flotasyonla kolayca zenginleştirilerek yüksek tenörlü konsantreler üretilmektedir. Na_2CO_3 (500 g/t) ile pH'ı ayarlanan pulptaki gang mineralleri, (2000 g/t) sodyum silikatla bastırılarak, (2000 g/t) sabun ile rodokrozit yüzdürülüp yüksek tenörlü mangan konsantresi üretilir. Cevherde metalik sülfür mineralleri varsa, önce sülfür mineralleri bakır sülfatla canlandırılarak potasyum amil-ksantat (25 g/t) ile yüzdürüldükten sonra, mangan karbonat flotasyonu uygulanır (Gaudin ve Ergunalp, 1946).

2.6.6.3 Mangan silikatlar

Mangan silikat cevherleri genellikle flotasyona uygun değildir. Bu konuda yayınlanmış bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Ancak uygun koşullarda katyonik toplayıcıların rodoniti ($MnSiO_3$) silikat minerallerinden ve diğer gang minerallerinden seçerek alabileceği bilinmektedir.

2.6.7 Manyetik özellik farklarına göre mangan zenginleştirilmesi

Dünya genelinde teknolojiye gelişmeler ve artan rekabet koşullarına ek olarak hızla artan pazar talebi, cevher endüstrisinde daha kaliteli ürünlerin daha düşük maliyetle üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüzde başta endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesi olmak üzere pek çok sanayi kolunda kullanılan manyetik ayırıcılar, yoğun olarak yürütülen çalışmalara bağlı olarak giderek daha yüksek verimlerle çalıştırılmakta ve artan kullanım alanları bulmaktadır.

Yüksek alınganlıklı veya yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılar, kimya, biyokimya,

evre, nükleer ve diğ r endüstri kollarında da karmaşık problemlere çözümler getirebilmektedir. Bu kadar eski ve bu denli yaygın pratik kullanım alanı bulmuş  ysek alan şiddetli manyetik ayırma yönteminin fiziksel temellerinin, ayırmada etkili olan parametrelerin ve bu parametreler arasındaki ilişkilerin incelenebilmesi ise son 20 senedir mümkün olmuştur.

Bir manyetik ayırıcının kullanılma amacı, manyetik alınganlıkları ferromanyetiklerden diamanyetiklere kadar geniş bir aralıkta yer alan ve boyutları milimetrelerden mikrometrelere kadar değişebilen taneleri kazanmak veya uzaklaştırmaktır. Bunun yanında, cevher hazırlamada manyetik alınganlıkları arasında fazla bir fark olmayan ancak aralarında geniş bir boyut farkı bulunan çok farklı minerallerin de zenginleştirilmesi gerekebilmektedir. Bu tür tanelerin kazanımı için farklı şekillerde oluşturulan ve bir uygulamadan diğ rine etkin olarak uyarlanabilen manyetik alan şiddetine gereksinim duyulmaktadır. Manyetik bir taneyi ayırabilmek için gereken manyetik kuvvet sadece mineralin fiziksel özellikleri ve manyetik indüksiyona değil, manyetik alan gradyanının büyüklüğüne de bağlıdır. Bu yüzden  ysek seimlilikte bir ayırım yapabilmek için manyetik indüksiyon ve alan gradyanının titizlikle belirlenmesi ve uygun şekilde ayarlanması teknik ve ekonomik bir zorunluluktur. Demir cevherlerinin zenginleştirilmesiyle artan manyetik ayırıcıların kullanımı, düşük alınganlıkl  cevherlerin zenginleştirilmesi ve düşük alınganlıkl  gang minerallerinin cevherlerden uzaklaştırılabilmesi gibi zorunluluklara  ysek alınganlıkl  ve  ysek gradyanlı ayırıcıların zenginleştirilmesiyle ivme kazanmıştır.  ysek alan şiddetli  ysek gradyanlı rulo tip kuru manyetik ayırıcılar, mıknatıs teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak birçok sektörde tercih edilir olmuştur.

Bazı cevherlerde, manganca fakir olan ferromanyetik duyarlılığa sahip minerallerle, manganca zengin paramanyetik duyarlılığa sahip mangan minerallerinin birlikte bulunduğu görülür. Bu tip cevherlere  ysek alan şiddetinde manyetik zenginleştirme uygulandığında fakir-zengin, ağır-hafif mangan mineralleri topluca  ysek kazanma verimleri ile konsantreye alınabilmektedir. Fakat bu konsantrelerin tenörleri fazla olmamaktadır. Böyle cevherlere önce yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme uygulandığında yoğunlukları  ysek ($3,5 \text{ g/cm}^3$ 'ten fazla) mangan mineralleri konsantreye geçerek zengin mangan konsantreleri oluşturmaktadır. Fakat $3,3 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha düşük yoğunluğa sahip, manganca fakir mangan mineralleri atığa katıklarından

yoğunluğa dayalı zenginleştirmesinin (jig, sallantılı masa) kazanma verimleri yetersiz olmaktadır. Bu durumda önce yoğunluk zenginleştirmesiyle yüksek mangan tenörlü konsantre, sonra bu yöntemin artıklarını yüksek alan şiddetli manyetik zenginleştirme uygulanarak biraz daha az tenörlü bir konsantre üretilerek, mangan kayıpları çok düşük düzeylere indirilmektedir. Mangan cevherlerinin manyetik zenginleştirilmesi 5000-25000 Gauss şiddetindeki yüksek manyetik alanlarda gerçekleştirilir (Bayat, 2010).

Manyetik ayırma ile ilgili son yeniliklerden biri de kalıcı mıknatıslığa sahip yüksek alan şiddetli yüksek gradyanlı rulo tipi kuru manyetik ayırıcıların geliştirilmesi olmuştur. Bu ayırıcılar indüklenmiş tambur tipi ayırıcılara göre daha kuvvetli ve nisbeten iri taneler üzerindeki etkili kullanımları nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmuş ve özellikle endüstriyel hammaddelerin zenginleştirmesinde tercih edilir olmuştur (Arvidson, 1988).

2.7 Demir Hakkında Genel Bilgiler

Demir; atom numarası 26, atom ağırlığı 55,85 olan baz metal grubu bir elementtir. Periyodik cetvelde Co ve Ni ile birlikte VIII B grubunun birinci sütununu meydana getirirler. Bu grupta Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu ve Zn elementleri bulunur. Bunların bir kısmı endojen, bir kısmı da eksojen cevher oluşumlarında genellikle demire eşlik ederler.

Elementlerin jeokimyasal sınıflandırmasında demir siderofil elementler grubuna dahil edilmektedir. Siderofil elementler en son halkasından bir önceki halkası doygun olmayan elementlerdir. Demir kalkofilik derecesi (kükürde karşı ilgisi) bakımından ise mangandan sonra en zayıf kalkofil metaldir. Yani demir sülfid minerallerinin çözünme yetenekleri oldukça fazladır. Dolayısıyla demir sülfidler çözünürken Ag, Cu, Hg, Pb, Cd, Mo, Ni, Co, Zn ve W elementlerinin diğer bileşiklerini sülfide dönüştürerek çöktürebilmektedir.

Jaeger tarafından yapılan sınıflamada ise demir ayrı bir familya olarak ele alınmaktadır. Bu familyadaki elementler iç elektron halkaları doygun olmayan oksijen ve kükürt ile eşdeğer kombinasyonlar verirler. Silisyum yardımıyla titanla, fosfor yardımıyla da vanadyumla bileşik oluştururlar (Gümüş, 1979).

Yerkabuğunda en fazla bulunan ilk dört elementten biri olan demir alüminyumdan sonra en yaygın metaldir. Klark konsantrasyonu %5,4'tür. Ultramafik kayalarda

%9,4, mafik kayalarda %8,7, granitik kayalarda %1,4, kireç taşlarında %0,4, kumtaşlarında %1, şeylerde de %4,7 ortalama değerleri vermektedir (Gökçe 1995).

Fe^{+2} ve Fe^{+3} olmak üzere iki farklı iyonla sahiptir. Endojen ortamlarda Fe^{+2} , eksojen ortamlarda Fe^{+3} iyonu daha yaygındır. Demire nabit olarak çok ender rastlanır. Tabiatla kendiliğinden oluşabilen 400'den fazla demir minerali belirlenmiştir. Bunlar; oksitler, karbonatlar, sülfidler, silikatlar, fosfatlar, arsenatlar ve tuzlar olmak üzere 7 grupta toplanabilirler. 15 kadar demir minerali yaygın olup bunlardan manyetit, hematit, götit, siderit ve demir hidroksit (limonit) cevher olarak işletilmektedir. Demir sülfid minerallerinin zaman zaman demir cevheri olarak değerlendirilebilmesine rağmen bunlar esas itibari ile kükürt cevheri şeklinde alınmakta ve talî olarak demir elde edilmektedir.

2.7.1 Demir cevherleri

Demir, oksitlendiğinden tabiatla nabit olarak ender bulunur. Nabit demire dünyada bir iki yerde rastlanmaktadır. Bunlar arasında Grönland adasında Ovifak'ta bazaltlar içinde büyük kitleler halindeki demirin bileşiminde az miktarda karbon, kükürt ve nikel vardır. Amerika'da Arizona'da bulunan nabit demir içinde elmasa rastlanmaktadır. Ayrıca Yeni Zelanda'da serpantinler içinde nikel ile karışık olarak nabit demir bulunmuştur. Zaman zaman düşen meteoritlerde de nabit demire rastlanmaktadır. Bu demirlerin bileşiminde %20'ye kadar çıkan nikel ve az miktarda krom, kobalt, silisyum, fosfor bulunur. Nabit demir 1500 °C'de ve HCl'de erir.

Manyetit: Demir siyahı renginde, yağlı metal parlaklığında, porselen üzerinde siyah çizgi bırakan, gevrek yapılı, kuvvetli manyetik özellik gösteren bir mineraldir. Sertliği 5,5 ve yoğunluğu 4,9-5,2 arasındadır. Saf halde %72 demir ihtiva edebilir. Kübik sistemde kristaller verir. Yoğun HCl'de yavaş, üfleçte güç erir. Oksitleyici alevde manyetik hassasiyetini kaybederek spekülait'e dönüşür.

Hematit: Kırmızı renkli, mat, porselen üzerinde kırmızı ve kahverengi kırmızı renk bırakan bir mineraldir. Yoğunluğu 4,6-5,3 arasında değişir. Saf halde %70 Fe ihtiva eder. Doğada kütle halinde, lifli, pullu, toprakimsi ve oolitik olarak bulunur.

Spekülait (Olijist): Demir siyahı renginde, kuvvetli metal parlaklığında, porselen üzerinde kırmızı ve kahverengi kırmızı çizgi bırakan gevrek yapılı bir mineraldir. Sertliği 6,5 ve yoğunluğu 5,2-5,3 arasındadır.

Limonit: Koyu kahverenginden açık sarıya kadar çeşitli renklerde, mat, porselen üzerinde kahverengi-sarı kahverengi bir çizgi bırakan gevrek bir mineraldir. Sertliği 5-5,5, yoğunluğu 3,8-4,3 arasındadır. Saf limonitte %82 Fe ve %14 su vardır.

Siderit: Sarımsı beyaz renkte, mat, porselen üzerinde beyaz veya açık gri renk bırakan gevrek ve çok iyi dilinimi olan bir mineraldir. Sertliği 4-4,5 ve yoğunluğu 3,7-3,9 arasında olup saf halde %48'e varan Fe ihtiva eder.

Demir cevherleri oksitler, sülfürler, sülfatlar ve karbonatlar olmak üzere dört grupta toplanırlar.

1- Oksitler

- Manyetit ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)
- Hematit (Fe_2O_3)
- Olijist (Fe_2O_3)
- Götite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- Limonit ($\text{H}_2\text{Fe}_2\text{O}_4(\text{H}_2\text{O})\text{X}$)

2- Sülfürler

- Pirotin (FeS)
- Pirit (FeS_2)
- Markazit (FeS_2) (rombik)

3- Sülfatlar

- Melenterit (FeSO_4)

4- Karbonatlar

- Siderit (FeCO_3)

Bunların dışında Mispikel (FeAs), Lollenjit (FeAs_2), İlmenit (FeTiO_3), Vivianit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), Skorodit ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Düfrenit ($\text{H}_6\text{Fe}_4\text{P}_2\text{O}_{14}$), Farmakosiderit, Sideretin, Arseniyosiderit, Şamozit (bileşiminde %60,5 FeO bulunan alüminyumlu bir demir silikatıdır) gibi demir mineralleri vardır.

Bunlar içerisinde demir çelik sanayiinde en fazla kullanılan manyetit, hematit, limonit ve siderittir. Pirit ve markazit kükürt içerikleri dolayısıyla sülfirik asit imalinde kullanılmaktadırlar.

2.7.2 Demir yataklarının oluşumu

Demirin minimum işletme tenörüne ulaşabilmesi için zenginleşme katsayısı on gibi küçük bir değer olduğunda erken magmatik evreden sedimanter ve rezüdüel

zenginleşmeye kadar hemen her ortamda konsantre olarak yatak oluşturabilmektedir. Demir yataklarını oluşum mekanizmaları ve bulunuş tiplerine göre 9 gruba ayırmak mümkündür.

- 1- Erken magmatik evrede oluşan titan demir yatakları
- 2- Kontak metazomatik süreçlerle gelişen pinömatolitik demir yatakları
- 3- Kontak metazomatik süreçlerle gelişen skarn tipi demir yatakları
- 4- Hidrotermal demir yatakları
- 5- Volcano sedimanter kökenli demir yatakları
- 6- Sedimanter kökenli minette tipi oolitlik demir yatakları
- 7- Sedimanter kökenli jaspilit ve demirli kuvarsit tipi bantlı demir formasyonları
- 8- Plaser demir yatakları
- 9- Kalıntı (lateritik) demir yatakları

Bunların dışında erken magmatik evrede ultramafik kayalarla ilgili olarak oluşan stratiform manyetit yatakları, bataklik tipi süperjen demir yatakları ve metamorfik demir yataklarından bahsetmek mümkündür (Temur, 1997).

2.7.2.1 Titanlı demir yatakları

Bazik ve ultrabazik kayaların içinde yer alırlar. Vanadyum konsantrasyonları çok yüksektir. Esas olarak anortozit ve noritlere nadiren de peridotitlere bağlı olarak ortaya çıkarlar. Serpantinlerin içinde de titanlı manyetit yatakları vardır. Gabro, norit ve doleritlerin içindeki manyetik zenginleşmeleri daha asidik birleşmeli kayalara göre daha fazla sayıda ve daha büyük rezervlidirler.

Titanlı demir yatakları merccekler, ince damarlar, düzensiz kütleler veya ender olarak yan kayalarla ardalanmalı bantlar şeklindedirler. Masif, bantlı veya saçılımlı cevherler halindedir. Titanlı demir yatakları

- 1 – Gabro ve gabronitlerin içindeki ilmenit-manyetit zenginleşmeleri ve
- 2- Gabro ve anortozitlerin içindeki ilmenit, ilmenit-hematit ve rutil-ilmenit cevherleşmeleri olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Bunların rezervleri birkaç milyar tona kadar ulaşabilir. Jeolojik zaman içinde titanlı demir yatakları sayı ve rezerv olarak azalmaktadır. Büyük rezervli yatakların çoğu Pre-Kambriyen yaşlı ultrabazikbazik kayaların içinde yer almaktadır. Bunlara Kanada Kalkanı, Baltık Kalkanı, Apalaşlar ve Hindistan'daki yatakları örnek verilebilir. Kaledoniyen evresinin bazik kayalarında Güney Afrika ve Norveç'te Hersiniyen evresinde Urallarda titanlı

manyetit yatakları oluşmuştur. Daha geç evrelerde büyük titanlı demir yatağı oluşumuna rastlanmaktadır (Temur, 1997).

2.7.2.2 Pnömatolitik demir yatakları

Genellikle asidik bileşimli sokulum kayaçlarının kenar zonlarında veya kontaktında oluşurlar. Stokwerk yapıları yaygındır. Magma kütlesinin yan kayaçlarının karbonatlı olmaması ile skarn tipi demir yataklarından ayrılırlar. Hidrotermal evre yataklarına geçiş gösterirler veya aynı yatak içinde daha geç oluşumlu hidrotermal evre mineralizasyonları bulundurabilirler. Pnömatolitik demir yatakları genellikle ağır minerallerce zengin, alkali bileşimli magmatik kayaçlarla ilişkili olarak ve ada yaylarının yakın kesimlerinde bulunmaktadır. Bundan dolayı bu yatakların oluşumu kıta kenarlarında gelişen dalma batma kuşaklarındaki magmatik süreçlere bağlanmaktadır. Ultrabazik-bazik bileşimli bir okyanusal kabuk üzerindeki Na ve Ca bakımından zengin sedimanlarla birlikte kıtasal kabuğun altına dalarken derine gömülen kısımları ergimektedir. Böylece uçucu bileşenler ve ağır minerallerce zengin alkali bileşimli bir magma gelişmektedir. Magma Benioff zonu boyunca yükselirken demir oksit ve apatit bakımından zengin eriyiklerden meydana gelen kısım siyenit ve keratofir bileşimli silikatlı kısımdan ayrılarak yan kayaçların içinde demir yataklarının oluşumunu sağlamaktadır. Ortamın oksidasyon potansiyelinin düşük olması durumunda manyetit, yüksek olması durumunda hematit yatakları oluşur.

Bu yatakların ana mineralleri hematit ve manyetittir. Kobaltit, nikkolit, eritrin ve kalkopirite genellikle rastlanır. Yaygın gang mineralleri ise epidot, diyopsit, aktinolit ve tiremolittir. Yan kayaçları hemen her zaman skapolitleşmiştir. Skapolitleşme alüminyum silikatların karbonat, sülfat veya klor bakımından zenginleşmeleridir (Temur, 1997).

2.7.2.3 Skarn tipi demir yatakları

Genellikle asidik bileşimli sokulum kayaçlarına bağlı yüksek sıcaklıklı çözeltilerin karbonatlı yan kayaçları metazomatozu ile magmatik sokulumun kontağında veya yakın kesiminde ortaya çıkan demir yataklarıdır. Türkiye’de en önemli demir yataklarının bir çoğu skarn tipindedir. Skarn tipi demir yataklarının ana cevher mineralleri manyetit ve hematittir. Manyetitlerin bir kısmı da martitleşerek hematite dönüşmüş olarak gözlenir. Bu tip yakalarda kalkopirirt, arsenopirit, pirotin ve pirit bulunur. Galenit, sfalerit ve fahlerzin de parajenez girebilir. Titan minerallerine

hemen hiç rastlanmaz. Gang mineralleri olarak granatlar, epidot, tremolit, hedenberjit, florit ve turmalin yer alır. Skapolit, pnömatolitik demir yataklarına göre çok azdır (Temur, 1997).

2.7.2.4 Volkano sedimanter demir yatakları

Deniz altı volkanizması sırasında ortama katılan endojen demirin oksit mineralleri halinde çökmesi şeklinde oluşurlar. Denizel sedimanter demir yataklarından farklı olarak cevherli zonlar veya yan kayaçları volkanik malzemeleri ile ardalanmalı olarak bulunurlar ve yayılımları daha sınırlıdır. Sık sık fasiyes değişimleri gösterirler.

Volkano-sedimanter demir yatakları daha çok bazik, nötr ve asidik bileşimli volkanizma ile ilişkilidirler. Hemen her jeolojik devirde bu tip yataklara rastlanmaktadır. Bunların bir kısmı da metamorfizma geçirmişlerdir. Rejional metamorfizma geçirmiş olan çört bantlı demir yataklarına Algoma Tipi, metamorfik olmayanlara ise Lahndil Tipi demir yatakları denir (Temur, 1997).

2.7.2.5 Hidrotermal demir yatakları

Daha çok asidik bileşimli magmalardan kaynaklanan ve demir bakımından zengin veya hareketleri sırasında zenginleşen hidrotermal çözeltilerin, genellikle karbonatlı kayaçları kat ederken soğuma, seyrelme, Eh, pH gibi jeokimyasal şartların değişmesi ve yan kayaç reaksiyonları ile oluşturdukları demir yataklarıdır.

Hidrotermal demir yataklarında en önemli cevher mineralleri siderit ve hematittir. Daha düşük oranlarda götit bulunur. Hematit ve götit miktarının artması oluşum sıcaklığının düştüğünü işaret eder. Parajenezde değişik oranlarda pirit, sfelirit, galanit, kalkopirit gibi sülfid minerallerinin bulunması olağandır. Başlıca gang mineralleri kuvars, rodokrasit, fluorit ve kalsittir. Schneiderhöhn, hidrotermal siderit damarlarını **Siegerland Tipi**, hematit damarlarını ise **Harz Tipi** olarak adlandırmaktadır. Yatakların oluşum mekanizması, sıcaklığı ve yan kayaçların bileşimine göre cevher geometrileri değişir. Damar tipi cevherleşmeleri çok yaygındır. Boşluk dolgusu, düzensiz kütle ve baca şekilli yataklar bulunabilir. Cevher içinde boşluk dolgusu yapıları ve ornatma dokuları çok yaygındır. Yan kayaçlarında genellikle kloritleşme, serisitleşme, silisleşme, karbonatlaşma gibi alterasyonlar gelişir. Yatakların karbonatlı kayaçların içine yerleşmesi durumunda yan kayaçlarında ornatma süreçleri ile dolomitleşme ve ankeritleşme gibi alterasyonlar saçılımı manyetit oluşumları ortaya

çıkar. Birçok hidrotermal demir yatağında cevherleşmeler kontak metazomatik yatakların yan kolları olarak ortaya çıkmaktadır (Temur, 1997).

2.7.2.6 Sedimanter demir yatakları

Sedimanter demir yatakları bilinen en büyük rezervli demir oluşumlarıdır. Karalarda gelişen yüzey alterasyonu sırasında açığa çıkan demirin yüzey suları vasıtasıyla sedimantasyon havzalarına kadar taşınması ve buralarda çökmesiyle oluşurlar. Ayrıca demir metalinin kaynağı olan yaşlı birincil maden yatakları, yüzey sularına katılan hidrotermal çözeltiler veya denizaltı hidrotermal çözelti beslenmeleri gibi varsayımlarda ileri sürülmektedir.

Demir oksidasyon ortamlarında çok stabil bir elementtir. Bu yüzden yüzey alterasyonu sırasında açığa çıkan veya diğer kaynaklardan gelen demirin oksidasyon şartlarında yüzey suları tarafından çözülmesi ve sedimantasyon havzasına kadar taşınması oldukça zordur. Çok büyük rezervlere sahip olan demir yataklarındaki demirin kaynağının ise bu yolla açıklanması için yapılan çalışmalara göre demir ancak Fe^{+2} şeklinde ve karbonatlı sular, hümik asit, diğer organik asitler veya sülfatlı çözeltiler tarafından uzak mesafelere taşınabilmektedir. Fe^{+3} ise olduğu çökelmekte veya karbonatlı çözeltiler tarafından Fe^{+2} 'ye dönüştürülerek taşınabilmektedir. Ayrıca organik kolloidal taneler veya killer demir iyonlarını absorbe ederek demire hareketlilik kazandırmakta Fe^{+3} bileşiklerinin de daha uzun mesafelerde taşınabilmesini sağlamaktadır.

Taşınma sırasında çözeltilerin karbonatlı kayalarla reaksiyonu, evaporasyon, mikroorganizma faaliyetleri veya taşıyıcı çözeltilerin CO_2 basıncının düşmesi ile demirin çözünürlüğü düşer ve demir hidroksit çökelişi gerçekleşir. Bu engellerden kurtulan demir sedimantasyon havzalarına ulaşarak deniz suyu içinde konsantre olur. Deniz suyunun doygunluk düzeyine ulaşması, karbondioksit basıncının azalması, oksidasyon ve hidroliz gibi kimyasal olaylar, bakteri faaliyetleri veya tabandaki kil ve silis ile reaksiyonları sonucu demir çöker. Sedimanter demir yatakları esas olarak kıyı fasiyesinde, taban eğiminin düşük olduğu ortamlarda çöker. Ayrıca göl ortamlarında da bir miktar demir çökelişi gerçekleşir. Karalardan denize doğru demir çökelişi artmakta, kıyı fasiyesinden uzaklaştıkça da azalmaktadır.

Denizel sedimanter demir yatakları oluşum ortamları, yan kayaları ve oluşum ortamları esas alınarak üç gruba ayrılabilir.

- 1- Demirli jaspilit veya demirli kuvarsitler

- Superior Tipi demir formasyonları
- Algoma Tipi bantlı demir formasyonları

2- Oolitik demir yatakları

- Clinton Tipi bantlı demir formasyonları
- Minette Tipi oolitik demir yatakları
 - a. Hematitli
 - b. Limonitli

3- Organik madde bakımından zengin ortamlarda oluşan siderit yatakları

İtibaritik demir yataklarının oluşumları Prekambriyen sonunda tamamlanmıştır. Paleozoyikle birlikte Minette Tipi olarak tanımlanan oolitik denizel sedimanter demir yatakları dönemi başlamıştır (Temur,1997).

2.7.2.7 Plaser demir yatakları

Yüzey şartlarında ayrışma ve taşınma işlemlerine karşı dayanıklı olan demir mineralleri birincil yatakların üzerinde, yakın kesimlerinde, akarsu yataklarında veya sahillerde birikerek plaser demir yataklarının oluşumunu sağlamaktadır. Plaser demir yataklarında daha çok manyetit ve hematit gibi birincil mineraller depolanarak yeterli konsantrasyonlara ulaşabilmektedir. Ayrıca götit, şamozit, rodokrasit ve limonit birikmeleri de plaserler için önemli olabilmektedir.

İlmenit ve titanomanyetit gibi demir mineralleri plaser yatakların ortaya çıkmasında sertlik, özgül ağırlık, yüzey şartlarında ayrışmaya karşı direnç bakımından oldukça elverişli olmalarında rol oynar.

Bazik ve ultrabazik kayalar gibi demir konsantrasyonu yüksek kayaların yüzey ayrışması süreçleri ile ortaya çıkan ikincil demir mineralleri kalıntı yatakları olarak ekonomik boyutlara ulaşabilmelerine rağmen bunların plaser ortamlarına taşınarak zenginleşmeleri pek mümkün olmamakta veya düşük konsantrasyonlarda birikebildiklerinden yatak özelliği kazanmamaktadır. Plaser demir yatakları daha çok birincil demir yataklarının yakınında ve bu yataklardan kaynaklanan birincil veya ikincil minerallerin konsantrasyonu ile gelişmektedirler. Bunun çok tipik örneği Divriği demir yataklarıdır (Temur, 1997).

2.7.2.8 Kalıntı (lateritik) demir yatakları

Özellikle sıcak ve hümik iklimlerde yüzey ayrışmasına maruz kalan kayalar kimyasal olarak önemli derecede parçalanır ve taşınırlar. Birçok kayaç yapıcı mineral, cevher ve gang mineralleri atmosferik şartlarda çözünerek yüzey veya yer altı sularına katılır ve ortamdan uzaklaşırlar. Yüzey ayrışması 60-70 metre derinliğe kadar ilerleyebilir. Demir mineralleri veya demir bulunduran kayaç yapıcı silikat minerallerinin yüzey ayrışması sırasında bu ortamda stabil bir element olan demir silisle birlikte yerinde kalarak veya kısmen taşınarak depolanır.

Tropikal veya subtropikal iklimlerde, peneplenize veya oldukça düzgün topografik yüzeylerde kimyasal ayrışmaya maruz kalan kayaç ve demir minerallerinden açığa çıkan demirin, diğer bileşenlerin yıkanarak ortamdan uzaklaşmasına bağlı olarak zenginleşmeleri sonucu ortaya çıkan ve bir miktar silis bulunduran demir hidroksit birikimlerine laterit denir. Demir bakımından ekonomik öneme sahip olan lateritlerde lateritik demir yataklarını meydana getirirler. Lateritik demir yataklarının oluşumuna imkan veren kayaç ve mineralizasyonlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

Pirit ve diğer sülfid mineralleri kolaylıkla ayrışarak amorf demir hidroksit, götit ve hematite dönüşürler. Bu durumda açığa çıkan kükürt sülfirik asite dönüşerek ayrışma işlemlerini hızlandırır. Masif pirit kütlelerinin ayrışması ile biriken limonitler işletilebilecek tenör ve rezerve ulaşabilmektedir. Genellikle küçük yataklar verirler ve zararlı bileşenlerce zengindirler.

Siderit ve ankerit gibi demir karbonat mineralleri yüzey ayrışması sırasında kolaylıkla çözünerek kaliteli demir hidroksitlerin birikmesine imkan verirler. Tenörleri genellikle çok yüksek ve zararlı bileşen oranları çok düşüktür.

Demir bakımından zengin karbonatlı kayaların yüzey alterasyonları sonucu orta kalitede, kil ve silis bakımından zengin, kükürt oranları düşük lateritik demir yatakları ortaya çıkar. Bunlar yüzey sularında hızlı çözünebildiklerinden dolayı lateritleşmeler daha kolay gelişir. Karbonatlı kayalardaki demir ilksel sedimanter zenginleşme ürünü olabileceği gibi kireçtaşlarının demir mineralleri tarafından ornatılması ile de kazanılmış olabilir. Dissemine demir bulunduran kireçtaşlarından türeyen lateritler daha yüksek tenörlüdür ve nodül, konkresyon gibi yapılar yaygındır. Yapılan hesaplamalara göre %0,5 demir ihtiva eden 33m kalınlığındaki bir kireçtaşı kütlesinden ancak 15 cm kalınlığında laterit türeyebilmektedir.

Bazik ve ultrabazik kayaçların yüzey ayrışması ile önemli rezervler veren lateritik demir yatakları ortaya çıkmaktadır. Ultrabazik kayaçları meydana getiren minerallerin başlıca bileşenleri Fe, Mg ve silisdir. yüzey alterasyonu sırasında Mg kolaylıkla çözünerek yüzey suları tarafından kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir. Silis ise ya yerinde kalarak zenginleşmekte ya da kısmen taşınarak lateritlerin yakınındaki silifiye zonları meydana getirmektedir. Sıcak ve yağışlı iklimlerde pH değerinin 3'e kadar düşmesi durumunda silis çözünerek ortamdan uzaklaşabilmektedir. Bu durumda yerinde kalan demir, hidroksit bileşikleri halinde kaliteli lateritik demir yataklarını meydana getirmektedir. Bazik kayaçlardan türeyen lateritler ise yüksek oranda kil ve boksit içerirler. Kaliteleri genellikle düşüktür.

Demir bakımından zengin silisli sedimanter kayaçlardan da lateritik demir yatakları türeyebilir. Ancak bunlar genellikle silis ve kil bakımından zengin olup düşük kalitededirler.

Lateritik demir yataklarının minimum işletme tenörleri %45 Fe'dir. Genellikle silis veya kil bakımından zengin oldukları için işletilmeleri zordur. Bu yüzden birçok ülkede kalıntı demir oluşumları potansiyel rezerv olarak kabul edilmektedir. Cr, Ni ve Al konsantrasyonlarının yüksek olması cevherin metalurjik işlemlerinde problem çıkarmaktadır. Fakat cevherin eritilmesi sırasında problem olan kükürt ve fosfor miktarlarının çok düşük olması önemli avantajlarıdır (Gümüş, 1999).

2.7.3 Demirin sınıflandırılması

Demir çelik sektörünün ana hammaddesi demir cevheridir. Bir madenin cevher olarak değerlendirilebilmesi için işletilmesi ve kullanılmasının ekonomik olması gerekmektedir. Çelik sanayiinde kullanılan demir cevherlerinin harman tenörünün en az %57 Fe olması arzu edilmektedir. Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Götite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Siderit (FeCO_3) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır.

Demir madenciliğinde kullanılan tanımlar şu şekilde açıklanabilir:

Tuvenan cevher: Ocaktan doğal halde çıkarılmış ve hiçbir işleme tabi tutulmamış cevherdir.

Parça cevher: Kırılıp elendikten sonra ayrılan 10-150 mm boyutları arasındaki cevherdir.

Toz cevher: 0-10 mm boyutları arasındaki cevherdir.

Sinterlik cevher: 0,15 mm elek altı en çok %10; 6,35 mm elek üstü en çok % 5 olan 0,15- 6,35 mm boyutları arasındaki cevherdir.

Pelet: Zenginleştirme amacı ile belirli boyuta öğütülmüş ve sinterlenemeyecek boyuttaki cevher konsantresinin aglomera edilerek 4-16 mm arasında boyutlandırılmış, belirli bir ısısal işlem ile yüksek fırında kullanılabilecek dayanıma getirilmiş şeklidir.

Sinterlik konsantre cevher: Zenginleştirilmiş 2-25 mm boyutlarında cevherdir.

Kalibre cevher: 10-30 mm boyutlarındaki cevherdir.

Safsızlıklar: Cevher içinde istenmeyen maddelerdir. Bazen bu safsızlıkları zenginleştirme yöntemleri ile ekonomik olarak cevher bünyesinden uzaklaştırmak mümkün değildir. Cevher bünyesinde bulunan bu safsızlıkların başlıcaları; SiO_2 , Al_2O_3 , S, Cu, As, Ti, P, Na_2O , K_2O , Pb, Zn gibi element ve bileşiklerdir.

Bu safsızlıkların yüksek fırındaki etkileri aşağıda belirtilmiştir:

SiO_2 : Cevher içindeki SiO_2 fazlalığı metalurjik proses sırasında fazla miktarda curuf oluşumuna sebep olur. Bu silisi nötralize etmek için ilave edilen kireç taşı, sıvı demir verimliliğini düşürür, yüksek fırında curuf miktarını ve yakıt tüketimi artırır.

Al_2O_3 : Alüminanın %0,8-1,5 arasında olması istenir. Alümina yüzdesinin fazla olduğu durumlarda gerekli sıvı demirin akışkanlığını sağlamak için, yüksek fırın ısısının artırılması gerekir. Bu da yakıt tüketiminin artmasına neden olur.

S: Yüksek fırın işletmeciliğinde pik demirin bünyesine giren çok küçük oranlardaki S bile çeliğin kırılganlığını artırır. Cevher, kömür ve manganez bu kükürdün kaynağı olabilir. Kükürt yüzdesini düşürmek için yüksek fırın harmanına CaCO_3 ve SiO_2 ilave edilmesi gerekir. Bu da yüksek fırın verimliliğini olumsuz yönde etkiler.

Alkaliler: Yüksek fırına şarj malzemesi ile giren alkaliler, fırın cidarlarına yapışarak kabuk oluşturup yüksek fırın hacmini azaltır. Bu arada yapıştıkları yüksek fırın tuğlalarının içine doğru nüfus ederek bu tuğlaların refrakterlik özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

Çinko: ZnO , fırın üst cidarlarında tabakalaşma yapmasının yanı sıra, fırın tuğlası içindeki alümina ile reaksiyona girerek tuğlanın şişmesine neden olur. Çinkonun varlığı, yüksek fırında indirgenmesi zor ve üretim kayıpları meydana getiren fayalit ve gersenit gibi bileşiklerin oluşmasına neden olur. Cevher içinde çinkonun %0,2'den az olması istenir. Kurşun: Kurşun demir cevherlerinde nadir olarak bulunur. Pik demire geçmez, fakat refrakter tuğlaya olumsuz yönde etki eder.

Titanyum: Titanyum, demir cevherinde ilmenit FeTiO_2 ve rutil TiO_2 olarak bulunur. Cevherde ortalama TiO_2 % 1 den az ise bu cevher yüksek fırında herhangi bir problem yaratmadan kullanılabilir.

Arsenik: Arsenik oranının fazlalığı çeliğin soğukta kırılabilirliğini artırırken kaynak yapılabilirliği azaltır. Normal çelikte %0,15-0,25 arası ve su vermede %0,05-0,10 arsenik kabul edilebilir sınırlardır.

Bakır: Bakır oranının %0,3-0,4'ün üzerine çıkması durumunda çeliğin haddelenmesi ve şekil verilmesi sırasında, çeliğin yüzeyinde bakırca zengin, ergime derecesi düşük bir alaşım oluşur ve bu alaşım hadde sınırlarından geçerek yüzeyde küçük çatlaklar meydana getirir (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı).

2.7.4 Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri

Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) verilerine göre, 2010 yılında dünya demir cevheri üretimi, 2009 yılındaki seviyesine kıyasla, yüzde 17,6 oranında artışla, 1 milyar 827 milyon tona yükselmiştir. 2011 yılında ise, global demir cevheri üretimi, tüm zamanların en yüksek seviyesi olan 1 milyar 920 milyon tona ulaşmıştır. UNCTAD verilerine göre, 2011 yılında dünyanın en büyük demir cevheri üreticileri olan Brezilya'da yerleşik Vale ile Avustralya'da yerleşik Rio Tinto ve BHP Billiton, global demir cevheri üretiminin yüzde 34,7; global deniz aşırı demir cevheri ticaretinin ise, yüzde 57,3 oranındaki kısmını gerçekleştirmiştir.

2002-2011 yılları arasında yüzde 104 oranında artış gösteren ve kesintisiz her yıl yükselen global demir cevheri ticareti, 2011 yılında 1 milyar 115 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2011 yılında, toplam dünya demir cevheri ihracatının yüzde 49,5 oranındaki bölümü gelişmekte olan ülkeler tarafından gerçekleştirilmiştir. 2011 yılında, en büyük 3 üretici kuruluşun, toplam dünya deniz aşırı demir cevheri ticaretindeki payının yüzde 57,3 seviyesinde gerçekleşmiş olması, demir cevheri piyasasındaki konsolide yapıyı ortaya koymaktadır. En büyük demir cevheri üreticileri arasında yer alan Avustralya, Brezilya, Çin ve Hindistan'ın toplam dünya üretimi içerisindeki payı yüzde 73 seviyesinde gerçekleşmiştir. Diğer büyük demir cevheri üreticileri arasında, Rusya, Ukrayna, Güney Afrika, ABD, Kanada ve İran yer almaktadır. Dünya demir cevheri rezervlerinin yüzde 73'ü Avustralya, Brezilya, Rusya, Çin ve Hindistan'da bulunmaktadır.

2010 yılında gerçekleştirdiği 315 milyon ton ile dünyanın en büyük üçüncü demir cevheri üreticisi konumunda bulunan Çin Halk Cumhuriyeti, dünya demir cevheri

tüketiminin %51,6'sını tek başına gerçekleştirmiştir (Onuncu Kalkınma Planı). Çizelge 2.4'de Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri verilmiştir.

Çizelge 2.4: Demir cevheri 2010 yılı üretimi ve rezervleri, (milyon ton) (OECD, 2012).

Ülke	Üretim	Rezerv
Avustralya	433	17.000
Brezilya	375	16.000
Çin	315	7.200
Hindistan	212	4.500
Rusya	101	14.000
Diğer Dünya	291	21.300
Toplam	1.827	80.000

2012 ve 2013 yıllarındaki Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri (ham cevher ve demir içeriği olarak) ise Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5: 2012-2013 yıllarındaki Dünya demir cevheri üretimi ve rezervleri (ham cevher ve demir içeriği) (milyon ton) (S.Geological Survey, 2014).

	Üretim		Rezerv	
	2012	2013	Ham cevher	Demir içeriği
ABD	54	52	6,900	2,100
Avustralya	521	530	35,000	17,000
Brezilya	398	398	31,000	16,000
Kanada	39	40	6,300	2,300
Çin	1,310	1,320	23,000	7,200
Hindistan	144	150	8,100	5,200
İran	37	37	2,500	1,400
Kazakistan	26	25 2,	500	900
Rusya	105	102	25,000	14,000
Güney Afrika	63	67	1,000	650
İsveç	23	26	3,500	2,200
Ukrayna	82	80	6,500	2,300
Venezuela	27	30	4,000	2,4000
Diğer ülkeler	96	88	14,000	7,100
Dünya	2,930	2,950	170,000	81,000

2.7.5 Türkiye demir cevheri üretimi ve rezervleri

1985 yılında Türkiye'nin ilk demir cevheri zenginleştirme, 1986 yılında da Pelet tesisi devreye alınmıştır. Bu tesislerde 1985 yılından bu yana yaklaşık %55-56 Fe tenörlü manyetit demir cevheri zenginleştirilerek, sinter tesisleri için % 63 Fe tenörlü sinterlik konsantre, yüksek fırınlar içinde de % 67 Fe tenörlü pelet üretilmektedir.

Divriği B Kafa demir cevheri yatağından, demir-çelik fabrikalarının gereksinimleri doğrultusunda yılda ortalama 500.000 ton civarında %56-58 Fe tenörlü hematit demir cevheri üretilerek entegre tesislere sevkedilmektedir(Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı).

Türkiye'de bugüne değin yaklaşık 900 adet demir oluşumu saptanmış, bunlardan ekonomik olabileceği düşünülen 500 kadarının etüdü yapılmıştır. Ülkemizde entegre demir-çelik fabrikalarında kullanılabilecek özellikteki demir cevheri rezervleri Sivas-Erzincan, KayseriAdana, Malatya, Kırşehir-Ankara ve Balıkesir bölgelerinde yer almaktadır. Günümüzde, entegre demir-çelik fabrikalarında kullanılabilir ve ortalama demir tenörü %55 civarında olan yataklardan devlet ve özel sektör tarafından yılda yaklaşık 5 milyon ton üretim gerçekleştirilmektedir. Demir cevheri üretimimizin yaklaşık 2 milyon tonu Divriği-Hekimhan A.Ş.'nin sahip olduğu tesislerinde zenginleştirilmekte, bu tesislerden yılda yaklaşık 1 milyon ton civarında pelet, 700.000 ton sinterlik konsantre ve ayrıca C plaseri ve B kafa tozlarından da 300.000 ton sinterlik konsantre üretilmektedir.

Ülkemizde silis, kükürt, bakır, karbonat, alumina, titan, fosfor, arsenik içeren ve sektörde maliyeti, kaliteyi ve üretimi doğrudan etkileyen sorunlu demir cevheri yataklarımız mevcuttur. Demir tenörleri % 20-54 arasında olan bu yataklar Malatya-Sivas-Erzincan-Bingöl, KayseriKahramanmaraş, Balıkesir-Aydın, Ankara-Kırşehir bölgelerinde yer almaktadır. Bu sorunlu yataklardan Fe içeriği % 39, Mn içeriği % 4 olan Malatya -Hekimhan siderit cevherinden yılda 500-600.000 ton üretilerek özellikle İsdemir'de % 20 oranlarında sinter harmanında kullanılmaktadır.

Demir cevheri, demir metali ve çelik yapımı dışında en çok çimento ve yoğun ortam hazırlamada, daha az miktarlarda ferro alaşımlar, boya sanayii, yoğunluğu yüksek beton aglomerası ve hayvan yemlerinde kullanılır.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü' nün yaptığı arama çalışmaları sonucunda ülkemizde belirlenen 900 civarında demir oluşumunun büyük bir kısmı Sivas, Kayseri,

Malatya, Erzincan, Adana, Ankara, Balıkesir ve Sakarya illerinde yer almaktadır. Divriği, Hasan Çelebi, Deveci, Çamdağ, Bizmişen, Avnik, Attepe gibi önemli demir yatakları Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü çalışmaları sonucunda bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonrası belirlenen demir cevheri rezervleri demir çelik fabrikalarının kullanımları esas alınarak 3 grupta toplanmıştır:

İşletilebilir demir cevheri rezervi

Bugüne kadar hemen hepsinde belirli düzeyde sınırlı arama çalışmaları ve üretim yapılmış yataklardır. Cevher tenörleri %51-62 Fe arasında değişmektedir. 23 adet yatağın bulunduğu zamanki rezervleri 137 milyon ton civarındadır.

Sorunlu demir cevheri rezervi

Bu tür yatakların arama çalışmaları yapılmış ve görünür+muhtemel rezerv potansiyeli belirlenmiş, ancak entegre tesislerin istemedikleri bazı safsızlıkları içermesi nedeniyle yataklar belirli dönemlerde kısmen işletilmiştir. Bugün için bu yatakların önemli bir bölümü çalışmamaktadır. Cevher tenörleri %19-54 Fe arasında değişmektedir .

Potansiyel demir cevheri rezervi

Ülkemizde yeteri kadar arama faaliyetleri yapılmamış 27 adet sahada toplam yaklaşık 320 milyon ton potansiyel rezerv belirlenmiştir. Bu yatakların tenörleri %14-52 Fe arasında değişmektedir. Bu yatakların hemen hemen tamamı entegre tesislerin kabul edemeyeceği sınırlar içerisinde safsızlıklar içermektedir. Kesin olarak cevher rezervi belirlenip teknolojik sorunları çözülmeden işletilmeleri mümkün değildir.

Türkiye demir cevheri oluşum ve yatakların genel dağılımına bakıldığında coğrafik dağılım yönünden; Kayseri-Adana, Balıkesir-Kütahya, Sivas-Malatya ve Kırşehir-Yozgat bölgelerinde, metal demir içerik dağılımları yönünden ise Hekimhan ve Divriği Havzaları'nda yoğunlaşmalar görülmektedir.

Türkiye demir yataklarının bölgesel dağılımları aşağıda verilmiştir:

a) Sivas-Malatya-Erzincan Bölgesi

Bu bölge, halen işletilmekte olan demir yataklarının büyük bir bölümünü içermesi, rezervlerin büyüklüğü ve gelecekte değerlendirilebilecek düşük tenörlü rezervleri de içermesi nedeniyle Türkiye'nin en büyük demir cevheri bölgesi olup bu bölgeden yüksek tenörlü, doğrudan beslemeye uygun cevher üretimi yapılmaktadır. Bu bölge

uzun yıllardan beri sürdürdüğü Türkiye' nin demir madenciliği merkezi olma özelliğini gelecekte de sürdürecektir.

Divriği A+B kafa, Ekinbaşı, Dumluca, Bizmişen, Kurudere, Çetinkaya, Otlukilise, Deveci, Karakuz, Sivritepe, Hasançelebi bölgenin önemli demir cevheri yataklarıdır.

b) Kayseri-Adana Bölgesi

Türkiye' nin ikinci derecede önemli demir cevheri bölgesidir. Bölge cevheri genelde yüksek tenörlü, doğrudan beslemeye uygun cevherler olup yıllardan bu yana demir-çelik fabrikalarının gereksinimlerinin önemli bir kısmını karşılamaktadır. Attepe, Kızıl, Menteş, Karaçattepe, Mağarabeli (Koruyeli), Elmadağbeli, Ayıdeliği, Karakızoluğu, Karamadazı, Tacin demir yatakları bu bölgede bulunmaktadır.

c) Ankara-Kesikköprü Bölgesi

Bölge Ankara - Bala, Kırıkkale - Keskin arasındaki alanı kapsar. Bölgeden Karabük Demir- Çelik Tesislerine uzun yıllardan bu yana cevher sağlanmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü' nün son yıllarda bölgede yaptığı etüt ve arama çalışmalarıyla rezerv miktarlarında önemli artış olmuştur. Madentepe, Büyükocak, Camiisağır, Camiikebir yatakları bu bölgede bulunmaktadır.

d) Batı Anadolu Bölgesi

Batı Anadolu demir yatakları genellikle yüksek tenörlü olmalarına karşın safsızlıklar içerir. Bu yataklardan üretilen cevherler, diğer cevherlerle harmanlanarak içerdikleri safsızlıklar uygun seviyeye düşürülebilmekte, sınırlı olarak doğrudan beslemeye uygun hale getirilebilmektedir. Şamlı cevheri Cu, Eymir cevheri As, Ayazmant cevheri Cu ve S gibi safsızlıklar içermektedirler. Ayazmant, Büyük ve Küçük Eymir, Şamlı Çavdar ve Hortuna sahaları bu bölgede bulunmaktadır.

e) Diğer Bölgeler

Yukarıda söz edilen bölgelerin dışında kalan demir yatakları ülkenin değişik bölgelerine yayılmıştır. Bu yataklardan en önemlisi Bingöl-Genç-Avnik yatağıdır. Yatak önemli miktar da rezervi olmasına karşın, fosfat içeriği nedeniyle sorunludur. Ayrıca Sakarya-Karasu-Çamdağ karbonatlı ve silisli cevher yatağı, yüksek alüminalı Payas yatağı, İçel yöresindeki düşük tenörlü yataklar, fosfat içerikli Bitlis-Meşesırtı-Öküzyatağı, Adıyaman-Çelikhan fosfat içerikli Bulam, düşük tenörlü Kahraman Maraş-Beritdağı ve Yozgat-Sarıkaya gibi demir cevheri yatakları da

sorunlu olup içerdikleri safsızlıklardan arıtılması için zenginleştirme prosesi gerektirmektedirler (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı).

2.7.6 Demirin zenginleştirilmesi

Metal üretimi için yüksek fırınlara beslenecek cevherlerin belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekir. Fiziksel özellikler daha ziyade cevherdeki tane boyutları ile, kimyasal Özellikler de cevherin içediği Fe, P, Ti, silis ve alkali gibi değerlerin yüzde oranları ile ilgilidir.

Ocaklardan çıkarılan demir cevherlerini izabeye uygun hale getirmek için yapılan “cevher hazırlama” işlemleri iki gruba ayrılabilir;

1. Yüksek tenörlü cevherler için yapılan işlemler.
2. Düşük tenörlü cevherler için yapılan işlemler.

2.7.6.1 Yüksek tenörlü cevherler için yapılan hazırlama işlemleri

Yüksek tenörlü cevherler, izabeye verilmeden önce kimyasal yapılarında herhangi bir değişiklik gerektirmeyen cevherlerdir. Bu tür cevherlerde yalnızca boyut hazırlama işlemine ihtiyaç vardır. Yüksek fırına beslenen malzemede tane boyutunun alt sınırı 10 mm'dir. Üst sınır ise cevherin yapısına bağlı olarak, 25 mm'den 100 mm'ye, hatta 125 mm'ye kadar değişir. Sert ve sıkı cevherlerde küçük tane boyutları gerekir. Gözenekli cevherlerde ise daha iri boyutlara çıkılabilir (Ball, 1973). Cevherler ocaktan üretildikleri şekilde, 1-1.25 m. boyutlarına kadar parçalar ihtiva edebilir. Bu nedenle, ocak cevheri gerekli kırma kademelerinden geçirilerek istenilen tane boyutu altına indirilir. Kırılmış cevherlerde ayrıca eleme ve klasifikasyonla boyut sınıflandırması yapılarak, sinter için uygun olan -10 mm+150 mikron boyutunda ve pelet için uygun olan -150 mikron boyutunda malzemeler hazırlanır. İdeal sinterlik malzeme boyutu 0.150 mm-6 mm arasındadır. Fakat üst sınır 10 mm'ye kadar çıkarılabilir. Fazla olmamak şartı ile - 0.150 mm malzemesi de bulunabilir. İdeal peletlik malzeme en az 200 mikron altında ve asgari % 60 oranında -44 mikron malzemesi ihtiva eder. -44 mikron malzeme oranı %85'e doğru çıktıkça, peletleme olumlu yönde etkilenmektedir. Fakat % 85'in üzerinde, peletleme yönünden herhangi bir fayda sağlanmamakta, hatta bilhassa yaş peletlerin kurutulması sırasında bazı mahsurlar doğmaktadır (Ball, 1973). Boyut hazırlama işlemlerinin yapıldığı tesis ile, izabe tesisinin farklı yerlerde olması

halinde, nakliyat esnasında meydana gelen ufalanmalardan dolayı, yüksek fırına verilmeden önce malzemenin tekrar elenmesi yararlıdır.

2.7.6.2 Düşük tenörlü cevherler için yapılan hazırlama işlemleri

Düşük tenörlü cevherler, izabeye verilmeden önce demir içeriğinin yükseltilmesi gereken cevherlerdir. Bunlar cevherde bulunan gangın uzaklaştırılması suretiyle zenginleştirilirler. Bunu yapabilmek için, cevheri demir ve gang minerallerinin serbest taneler halinde bulunabilecekleri boyuta indirmek gerekir. Boyut küçültme işlemlerini izleyerek, cevherin özelliklerine bağlı olarak, aşağıdaki zenginleştirme yöntemlerinden bir veya birkaçı uygulanır.

Manyetik ayırma

Gravite ayırması

Flostasyon

Elektrostatik ayırma

Manyetik kavurma ve bunu İzleyerek düşük alan şiddetli manyetik ayırma

Seçimli salkımlaşma (Selektif flokülasyon)

Liç

Bu yöntemlerin dışında yıkama ve kalsinasyon ile de bazı cevherler bir ölçüde zenginleştirilebilmektedir.

Manyetik ayırma

Demir ve gang mineralleri arasındaki manyetik özellik farkından yararlanarak yapılan ayırmadır. Mineraller manyetik alan içinde, çekilebilirlik derecelerine göre; kuvvetli manyetik, zayıf manyetik ve manyetik olmayan şeklinde üç gruba ayrılmaktadır. Demir minerallerinin manyetik özellikleri çok değişken olup, bunlardan manyetik kuvvetli manyetik, siderit, hematit ve limonit zayıf manyetik ve pirit manyetik olmayanlar grubundadır. Demir cevherlerinde bulunan silis gibi önemli gang mineralleri ise manyetik olmayanlar grubunda yer almaktadır. Minerallerin manyetik alan içinde çekilebilirlik derecelerinin yanında, cevher tanelerinin boyutu, özgül ağırlığı, şekli ve saflık derecesi gibi değişkenler de manyetik ayırmada rol oynar. Demir cevherlerine manyetik ayırma uygulamasının oldukça eski bir mazisi vardır. 1872 yılında William Fullarton bu konuda bir İngiliz patenti çıkartmış ve 1849 yılında

da Birleşik Amerika'da bir manyetik ayırıcı ile ilgili patent çıkmıştır (Engineering and Mining, 1971). Manyetik ayırma, düşük veya yüksek alan şiddetlerinde yaş veya kuru olarak uygulanabilir. Kuvvetli manyetik demir mineralleri için düşük alan şiddetleri yeterli olmakta, zayıf manyetik demir mineralleri için ise yüksek alan şiddetleri gerekmektedir. Yapımı ve işletmesi basit olan düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar, çok yaygın olarak manyetiteli cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek alan şiddetindeki ayırmaların geçmişteki uygulamaları daha kısıtlı kalmış, fakat Jones ayırıcısının geliştirilmesinden sonra, son zamanlarda bu şekildeki ayırmaların da pratik uygulamalarına geçilmiştir. Manyetik ayırmaya giren bilhassa küçük boyutlu malzemelerde, genellikle tane kümelenmeleri oluşur. Manyetik ayırmayı izleyecek işlemlerde bu tane kümeleri mahzur teşkil ettiği taktirde, manyetik ayırmadan sonra, malzemenin manyetizmasından arındırılması gerekir.

Düşük alan şiddetli manyetik ayırma

Manyetit (Fe_3O_4) mineralinin gang minerallerinden ayrılmasında, genellikle düşük alan şiddetli (500-1200 örsted) manyetik ayırma işlemi uygulanır. Manyetik ayırma, 6 mm'den iri boyutlarda kuru, 150 meş (100 mikron)'dan küçük boyutlarda da yaş olarak yapılır. Bu iki boyut arasında ise, manyetik ayırma kuru veya yaş olarak yapılabilir. Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırmada, genellikle iç kısmına sabit mıknatısların yerleştirildiği döner bir tambur kullanılır. Cevher bu tambur yüzeyine beslenir. Manyetik olmayan taneler, tambur yüzeyinden belirli bir yörünge ile fırlatılırken, manyetik taneler tambur yüzeyinde tutularak bir süre taşınır ve manyetik alandan çıktıklarında tambur yüzeyinden ayrılarak düşerler. Manyetik ayırma, genellikle ara öğütme işlemleri ile birlikte, kademeli olarak yapılır. Uygulanacak işlemler dizisi ve kademe sayısı cevherin özelliklerine ve nihai konsantrede istenilen kaliteye göre değişir. Bazen, nihai konsantrenin kalitesini yükseltmek için, manyetik ayırma ile birlikte, başka zenginleştirme işlemleri de tatbik edilebilir. Manyetik ayırmayı izleyerek, en çok uygulanan son kademe işlemini flotasyon teşkil etmektedir.

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırma

Yüksek alan şiddetli (12.000-22.000 örsted) manyetik ayırıcılar hematit gibi zayıf manyetik demir mineralleri için uygundur. Çok kuvvetli elektromıknatıslara ihtiyaç göstermesi ve kapasitelerinin düşük (6 ton/saat'den az) olması nedeni ile bu tür ayırıcılar, geçmiş yıllarda yalnızca kısıtlı olarak ve kuru cevherler için kullanılmıştır.

İlk defa 1960 yıllarında imal edilmeye başlanan Jones tipi yüksek alan şiddetli yaşı manyetik ayırıcılar son yıllarda bir hayli geliştirilmiş ve uygulama alanına girmiştir. Bugün Jones ayırıcıları 0.1 ton/saat'den 200 ton/saat'e kadar değişen kapasitelere sahiptir. Jones ayırıcıları, bilhassa çok geniş düşük tenörlü hematit cevher rezervlerinin bulunduğu Brezilya'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu ülkede 1973 yılında kurulan bir zenginleştirme tesisinde, herbiri 130 ton/saat kapasiteli, 100'er ton ağırlığında 28 adet Jones ayırıcısı çalışmaktadır. Aynı ayırıcılar Brezilya'daki birkaç tesise daha yerleştirilmektedir (Engineering and Mining Journal, 1979).

Gravite ayırması

Gravite ayırmaları, demir ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkından yararlanarak yapılan ayırmalardır. Limonit ve sideritin yoğunlukları manyetit ve hematite göre daha düşüktür. Bu bakımdan, limonit ve sideritin silis' den ayrılabilmesi kolay olmakla beraber, diğer yüksek yoğunluklu gang minerallerinden gravite ile ayırmaları daha güçtür.

Ağır ortam ayırması

Ağır ortam banyoları kullanarak yapılan zenginleştirme işlemleri genellikle 6-40 mm boyutları arasında uygulanır. Bu sistemlerde ağır ortamın hazırlanmasında genellikle ferrosilikon kullanılır. Ağır ortam banyolarından alınan artıklar, içlerindeki demirin kazanılabilmesi için, genellikle tekrar işleme tabi tutulurlar. 0.2-5 mm boyutlarındaki cevher ağır ortam siklonlarında zenginleştirilebilir. Siklonda, etkin ayırma yoğunluğunun kullanılan ağır ortam yoğunluğundan daha yüksek olması nedeni ile, bu sistemde ağır ortam için manyetit kullanılabilir.

Jig ile zenginleştirme

Demir cevherlerinde jig ile zenginleştirme yöntemi 1.0-40.0 mm boyuttan arasında uygulanabilir. Jig' den en iyi sonuçların alınabilmesi için, cevherin jig'e dar boyut sınırları içinde beslenmesi gerekir.

Sarsıntılı masa ile zenginleştirme

Bu yöntem demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde çok az kullanılmaktadır. Masaların yatırım ve işletme masrafları yüksek olup, tek başına bir masanın kapasitesi de düşüktür (1-2 ton/saat).

Humphrey spirali ile zenginleştirme

Bu yöntem, 0.1-13 mm boyutları arasındaki malzemeler için uygun olup, hematit cevherlerinin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek başına bir spiralin kapasitesi düşük olduğundan, bir tesiste çok sayıda spirale gerek duyulur ve bu bakımdan yatırım masrafı yüksektir, örneğin; Kanada'daki Iron Ore Co.'ye ait Carol zenginleştirme tesisinde, yılda 17 milyon ton tüvenan işleyerek 7 milyon ton konsantre üretmek için 3456 adet spiral kullanılmaktadır (Ball, 1973). Bununla beraber spirallerin işletme ve bakım masrafları düşüktür. Spiral ile zenginleştirme genellikle kademeli olarak uygulanır.

Kırma, eleme ve klasifikasyonla zenginleştirme

Bazı cevherleri belli bir boyutun altına indirdikten sonra, elemek suretiyle yüksek tenörlü bir fraksiyon elde edilebilmektedir. Örneğin, Brezilya'da bir ocaktan yılda üretilen 46 milyon ton hematit cevherinin 18 milyon tonu yüksek tenörlü olup, geri kalan 28 milyon ton 40 mm'den elenerek 40 mm üstünde 2 milyon tonluk yüksek tenörlü hematit elde edilmektedir. Geri kalan cevher 25 mm altına indirildikten sonra, 0.6-25 mm boyutları arasındaki malzeme çeşitli yıkama ve eleme işlemleriyle % 65 Fe tenörüne yükseltilmekte, 25 mm altındaki cevherin % 87.5' unu teşkil eden -0.6 mm malzemesi ise zenginleştirmek üzere Jones ayırıcılarına verilmektedir (Engineering and Mining Journal, 1975). Bazı cevherler, çok iri boyutlarda yapılan ön elemelerle elek üstünden iri artık atılmasına müsaittirler, örneğin, ABD'deki Mc Kinley zenginleştirme tesisinde, tüvenan cevher 125 mm'den elenerek, elek üstü artık olarak atılmaktadır (Engineering and Mining Journal, 1974). Bazı cevherlerin ince boyutlarında yapılan klasifikasyonlarla da Fe tenöründe bir miktar artış sağlanabilmektedir.

Flotasyon

Son yıllarda yüksek alan şiddetli ve düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılardaki gelişmeler oldukça ileri bir düzeye ulaşmış olmasına rağmen, manyetik ayırma tekniğindeki gelişmeler tane boyutu ile sınırlı kalmıştır. Buna karşın seçimli salkımlaşma ile desteklenen köpüklü yüzdürme tane boyutu engelini aşmıştır. Köpüklü yüzdürme, ortama verilen kimyasal maddelerle yüzdürülmesi istenen mineral yüzeylerinin hava kabarcıklarına yapışmasına, diğer mineral yüzeylerinin de suyla ıslanmasına dayanan fizikokimyasal bir işlemdir. Genellikle demir cevherlerinde

bulunan oksit minerallerinde, oksitln katyonu ve oksijen iyonu ile birlikte, H^{+1} ve OH^{-1} iyonları da daha belirli olarak potansiyeli tayin eden iyonlardır. Çözeltilinin pH'sı hematit mineralinin yüzey yükünü belirlediğinden, pH en önemli değişkendir. $pH=6.7$ 'nin altında hematit yüzeyleri pozitif, üzerinde ise negatif yüklüdür. Katı yüzeyleri pozitif yüklü ise anyonik, negatif yüklü ise katyonik toplayıcıların etkinliği söz konusudur. Demir cevheri yataklarında en çok bulunan gang mineralleri kuvars, killer, gametler, klorit ve kalsit'dir. özellikle kuvars ve çört takonit tipi cevherleşmelerin başlıca gang mineralleridir. Bu mineraller içerisinde, diğerlerine göre yapılarının basitliği nedeniyle yüzey kimyası açısından en çok araş tırma konusu olmuş olan mineraller, kuvars, kalsit ve killerdir. Pülp içerisinde, kuvars yüzeylerinde oluşan silisik asidi ortamın pH'sı kontrol eder. Kuvars'in bu özelliği, bazik pH'larda anyonik toplayıcılarla, örneğin yağ asitleri ile yüzdürülmesine olanak sağlar. Aynı zamanda, kuvars'in $pH=2$ 'den büyük tüm pH' larda yüzey yükünün negatif olması, katyonik toplayıcılarla da yüzdürülmesine neden olur. Ancak, ortamda kuvars yüzeylerini değiştirebilecek düzeyde metal katyonlarının olmaması gerekir (Fuerstenau, 1976; Gaudin, 1932).

Sonuç olarak; kuvars asidik pH'larda anyonik toplayıcılarla, bazik pH'larda hem katyonik hem de anyonik (canlandırıldıktan sonra) toplayıcılarla yüzdürülebilir. Kalsit ise, pülp içerisinde yüzeyleri asidik pH'larda pozitif, bazik pH'larda negatif yüklüdür. Zayıf asidik ve zayıf bazik pH'larda yağ asitleri ile yüzdürülebilir. Kalsit'in yüzdürülmesinde kullanılan tüm toplayıcılar aynı zamanda demir minerallerini de yüzdürürler. Demir minerallerinin doğrudan yüzdürülmesi yapılırken, kalsit eğer gangı oluşturuyor ise, bastırılması zorunludur (Gaudin, 1932; Glembotsky, 1972.). Demir minerallerinin köpükle yüzdürülmesi 25-30 yıldan beri dünya üzerinde çeşitli kuruluş ve araştırma üniteleri tarafından araştırılmaktadır. 1960'lardan sonra, demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde köpüklü yüzdürme ana zenginleştirme yöntemi olarak ele alınmaya başlanmıştır. Genel olarak demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde eski çalışmalar, doğrudan yüzdürme yöntemiyle yapılmıştır. Günümüzdeki çalışmalar da seçimli demir minerallerinin ters yüzdürme yöntemiyle yapılmaktadır.

Anyonik toplayıcılarla Yüzdürme: Anyonik toplayıcılar iyonlaştıklarında ortama negatif yüklü aktif iyonlar veren toplayıcılar olup, demir cevherlerinin

yüzdürülmesinde en çok kullanılan yağ asitleridir (Fuerstenau, 1967; Glembotsky, 1963).

Serbestleşme tane boyutunun çok küçük olduğu cevherlerde (%80'i -325 meş) veya doğal olarak şlam boyutunda (0-20 mikron) mineraller içeren cevherlerde yağ asitlerinin doğrudan yüzdürme işleminde toplayıcı olarak kullanılması olanaksızdır.

Katyonik Toplayıcılarla Yüzdürme: Oksit minerallerinin yüzdürülmesinde geniş kullanım alanı bulan bu toplayıcıların mineral yüzeyleri ile tepkimesi elektrostatik yoldan olduğundan, mineral yüzeylerine soğurulması çok kısa sürelerde oluşur. Katyonik toplayıcıların bir avantajı da, su sertliğine karşı duyarlı olmamalarıdır. Deniz suyu ile bile kullanılabilmeleri olmasıdır (Gaudin, 1932; Glembotsky, 1963; Glembotsky, 1972).

Elektrostatik ayırma

Bu ayırma sisteminde, demir oksit ve gang mineralleri arasındaki elektrik geçirgenliği farkından yararlanılır. Daha ziyade çok temiz konsantre üretimi için uygundur ve bir zenginleştirme işleminin en son kademesinde yer alır. Henüz pratik uygulaması fazla gelişmemiş olan elektrostatik ayırma yöntemi üzerinde çok sayıda laboratuvar ve pilot çalışması yapılmış ve bu yöntemle % 85-90 Fe randımanı ile, %0.02-0.2 SiO₂ içeren süper konsantreler elde edilebileceği ve prosesin ekonomik olacağı saptanmıştır (JV Metal Abstracts, 1970). Elektrostatik ayırmaya, 30 mikron altı ayrılmış olan, spiral, köpük yüzdürme ve manyetik ayırma konsantrelerini beslemek suretiyle en iyi sonuçların alındığı belirtilmektedir.

Yıkama

Bazı cevherleri, yalnızca su fiskeyeleri altında veya log yıkayıcılarda yıkayarak, killi ve kumlu malzemeleri atmak suretiyle, zenginleştirmek mümkün olabilmektedir.

Manyetik kavurma

Hematit, hafif indirgen atmosferde ve 600-800° C de kontrollü olarak ısıtıldığında, manyetite dönüşür. Bu işlemi izleyerek de düşük alan şiddetli manyetik ayırma uygulanabilir. Kavurma işlemi fazla miktarda ısı gerektirdiğinden bu proses genellikle ekonomik değildir.

Kalsinasyon

Cevherdeki karbondioksit ve bünye suyu gibi uçucu maddeler ısıtmak suretiyle atılabilir. Böylece cevherde Fe tenörü yükselmiş olur. Geçmişte, bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktaydı. Bugün ise, sinter ile daha etkili sonuçlar alınabildiğinden, kullanılışı azalmıştır. İngiltere'de % 33 Fe içeren bir cevherin tenörü, sinlerden sonra % 42'ye yükselmiştir (Ball, 1973).

Seçimli Salkımlaşma (Selektif flokülasyon)

U.S. Bureau of Mines tarafından yapılan araştırmalar sonucu demir cevherlerinin selektif flokülasyon yoluyla zenginleştirilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Seçimli salkımlaşma ile elde edilen konsantreler, daha sonra flotasyon ile temizlenmektedir. ABD'de 1974 yılında kurulan Tilden zenginleştirme tesisinde bu yöntem uygulanmakta ve % 35 Fe tenörlü hematit cevherlerinden yılda 4 milyon ton %65 Fe tenörlü peletlik konsantre üretilmektedir (Engineering and Mining Journal, 1975). Tilden zenginleştirme tesisinde, tüvenan cevher otojen öğütücülerle, kademeli olarak %80'i 500 meş altına geçecek şekilde inceltir. Daha sonra, çöktürme tanklarında yapılan seçimli salkımlaşma ile, malzemenin % 20'si atılmakta ve çöken malzeme köpüklü yüzdürmeye verilmektedir. Salkımlaştırma maddesi olarak pişmiş mısır nişastası ve kireç kullanılmaktadır.

Liç

Diğer zenginleştirme yöntemlerine cevap vermeyen demir cevherlerinin liç yoluyla zenginleştirilmesi hususunda ABD'de bazı pilot çalışmalar sürdürülmüş ve bu çalışmalarda % 35 Fe içeren cevherler bir saat sıcak NaOH ile liç ederek % 65 Fe tenörüne yükseltilmiştir (Prior, 1965). Fransa'da yapılan bir çalışmada da, % 40-50'lik alkali ile 125-140°C'da 0.5-3 saatte, % 30-50 oranında bir zenginleştirme sağlanmıştır. Bu şekilde, silis, alümina ve fosforun büyük bir kısmı ayrılabilir (Prior, 1965).

2.8 Demir-Çelik Endüstrisi

2.8.1 Dünya çelik üretimi

Dünya çelik üretimi, 1998-2008 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde, istikrarlı bir şekilde artış göstermiştir. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren, dünya çelik üretimindeki artışın Çin Halk Cumhuriyeti kaynaklı olarak şekillendiği görülmektedir. 2000-2007

dö- neminde, dünya çelik üretimi yüzde 58,8 oranında artışla, 848 milyon tondan, 1 milyar 347 milyon tona ulaşmıştır. Aynı dönemde, Çin'in çelik üretiminin, yüzde 280 oranında artışla, 129 milyon tondan 490 milyon tona ulaşması, dünya çelik üretiminde gerçekleşen 499 milyon tonluk artışın 361 milyon tonuna tekabül eden yüzde 72'sinin Çin'den kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Çin hariç tutulduğunda, dünya çelik üretimindeki artış yalnızca yüzde 19 seviyesinde kalmıştır.

2007 yılında 1 milyar 347 milyon ton seviyesinde gerçekleşen dünya ham çelik üretimi, 2008 yılının ikinci yarısında ortaya çıkan global finans krizinin de etkisiyle, 2008 yılında yüzde 1,3 oranında düşüşle, 1 milyar 329 milyon tona, 2009 yılında ise, yüzde 7,3 oranında düşüşle, 1 milyar 232 milyon tona gerilemiştir. Dünya çelik üretimindeki global finans krizi kaynaklı gerilemeye rağmen, Çin'in üretimi artış eğilimini sürdürmüş ve 2007 yılındaki 490 milyon ton seviyesinden, 2008 yılında 512 milyon, 2009 yılında ise, 577 milyon tona yükselmiştir.

2010 ve 2011 yıllarında, özellikle Kuzey Amerika ve AB başta olmak üzere, geliş- miş ülkelerin kriz sonrasındaki hızlı toparlanmalarının da etkisi ile dünya çelik üretimi yeniden hızlı bir büyüme sürecine girmiştir. 2000-2007 döneminde, üretimini her yıl yüzde 20'ler civarında arttıran Çin Halk Cumhuriyeti'nin üretimi ise, sonraki yıllarda yavaş- lamaya başlamış ve 2011 ile 2012 yıllarında tek haneli artış oranlarında kalmıştır. Ancak son yıllardaki yavaşlamaya rağmen, Çin'in dünya çelik üretimi içerisindeki payı, 2000 yılındaki yüzde 15 seviyesinden, 2012 yılında yüzde 46 seviyesine kadar yükselmiştir.

2000-2007 yılları arasında, 190-210 milyon ton aralığında dalgalanan AB'nin ham çelik üretimi ise, 2008 ve 2009 yıllarında toplam yüzde 34 oranında gerilemiştir. 2010 yılından itibaren toparlanma eğilimine girmiş olmasına ve 2011 yılı itibariyle üretimini 177 milyon tona çıkartabilmesine rağmen, 2011 yılının sonlarında Euro bölgesinde ortaya çıkan borç krizinin etkisiyle, 2012 yılında AB'nin çelik üretimi 169 milyon ton seviyesine gerilemiştir. 2012 yılında AB, BDT ve Güney Amerika'daki düşüşün de etkisiyle, dünya çelik üretimindeki artış oranı yüzde 1,2 gibi oldukça düşük bir seviyede gerçekleşmiştir. Dünya çelik üretimindeki güçlü artışa karşılık, AB'nin çelik üretimindeki düşüş nedeniyle, 2000 yılında yüzde 22,8 seviyesinde bulunan AB bölgesinin toplam dünya ham çelik üretimi içerisindeki payı, 2012 yılı itibariyle yüzde 10,9 seviyesine gerilemiştir. Dünya, bölgeler itibariyle, Ham çelik üretimi Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

2012 yılı itibariyle, dünyada en fazla ham elik etimi gerçekleştiren ülkeler sıralamasında, dünya etimi içerisindeki yüzde 46,3 oranındaki payı ile Çin Halk Cumhuriyeti ilk sırada yer alırken, Çin’i yüzde 6,9 oranındaki payı ile Japonya, yüzde 5,7 oranındaki payı ile ABD, yüzde 5,0 oranındaki payı ile Hindistan ve yüzde 4,6 oranındaki payı ile Rusya takip etmiştir. 2000 yılında dünyanın 17. Avrupa’nın ise, 5. en büyük elik üreticisi konumunda bulunan Türkiye, 2011 yılı itibariyle dünyanın 10. Avrupa’nın ise, 2. en büyük elik üreticisi konumuna ulaşmıştır. 2012 yılında üretimini en hızlı arttıran ülke konumunu koruyan Türkiye, Brezilya ve Ukrayna’yı da geride bırakarak, 8. sıraya yükselmiştir. En fazla ham elik üreten ülkeler izelge 2.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.6: Bölgeler itibariyle ham çelik üretimi (bin ton) (Worldsteel, 2013).

Kıtalar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	% değişim 2012/2011	%pay 2011
AB (27)	206.903	210.179	198.195	139.366	172.630	177.376	169.367	-4,5	10,9
Diğer Avrupa	28.205	30.608	31.710	29.076	33.585	38.966	37.862	-2,8	2,4
BDT	119.906	124.169	114.345	97.645	108.200	112.554	111.179	-1,2	7,2
Kuzey Amerika	131.789	132.618	124.494	82.578	111.565	119.434	121.872	2,0	7,9
Güney Amerika	45.298	48.232	47.354	37.776	43.873	48.312	46.929	-2,9	3,0
Afrika	18.695	18.675	16.997	15.326	16.621	14.326	15.700	9,6	1,0
Orta Doğu	15.376	16.452	16.646	17.656	19.590	20.935	24.200	15,6	1,6
Asya	674.126	757.285	783.040	810.405	915.839	988.170	1.012.700	2,5	65,4
Okyanusya	8.691	8.783	8.424	6.014	8.149	7.248	5.805	-19,9	0,4
Dünya	1.248.991	1.347.002	1.341.205	1.235.841	1.430.052	1.529.200	1.547.800	1,2	100,0

Çizelge 2.7: En fazla ham çelik üreten ülkeler (bin ton) (Worldsteel, 2013).

Ülkeler	2011	2012	% değişim (2012/2011)	2012 % pay
Çin	695.000	716.540	3,1	46,3
Japonya	107.601	107.640	-0,1	6,9
ABD	86.398	88.598	2,5	5,7
Hindistan	73.590	76.720	4,3	5,0
Rusya	68.852	70.608	2,5	4,6
G.Kore	68.519	69.345	1,2	4,5
Almanya	44.284	42.661	-3,7	2,8
Türkiye	34.107	35.885	5,2	2,3
Brezilya	35.221	34.682	-1,5	2,2
Ukrayna	35.332	32.911	-6,9	2,1
İtalya	28.735	27.310	-5,0	1,8
Tayvan	20.178	20.660	2,4	1,3
Meksika	18.101	18.180	0,4	1,2
Fransa	15.784	15.607	-1,1	1,0
İran	13.197	14.463	9,6	0,9
Kanada	12.967	13.730	5,9	0,9
İspanya	15.504	13.628	-12,1	0,9
İngiltere	9.478	9.756	2,9	0,6
Polonya	8.779	8.366	-4,7	0,5
Avusturya	7.474	7.421	-0,7	0,5
Dünya	1.529.200	1.547.800	1,2	

2.8.2 Dünya Çelik Ticareti

Son yıllarda, dünya çelik üretimi ve ticaretinde, global piyasalardaki belirsizliklerden ve kriz etkilerinden kaynaklanan dalgalanmalar artış göstermiştir. Örneğin, 2001-2008 döneminde, dünya çelik ihracatı yüzde 45'in üzerinde artış gösterirken, 2008-2009 döneminde yüzde 25 oranında gerileme yaşanmıştır. Piyasa 2008-2009 yıllarında düştüğü dip noktadan toparlanmaya çalışırken, çelik ticaretini sınırlandırmaya yönelik önlemler, hükümetler tarafından kullanılmaya devam edilmektedir.

2011 yılında 413 milyon ton seviyesinde gerçekleşen dünya çelik ticareti, halen kriz öncesi olan 2007 yılındaki 444 milyon tonluk seviyenin yüzde 7 altında bulunmaktadır. Global finans krizinin etkilerinin derinden hissedildiği 2009 yılında, dünya çelik ihracatının yüzde 25 oranında düşüşle, 326 milyon tona gerilemiş olması, kriz dönemlerinde talep düşüşünün de etkisiyle, sınır ötesi ticaretin yavaşladığını ve ihtiyaçların yerel piyasalardan karşılanması eğiliminin ağırlık kazandığını göstermektedir. 2009 yılında yüzde 28,3 seviyesine kadar gerilemiş bulunan dünya nihai mamul ihracatının üretime oranı, 2011 yılı itibarıyla yüzde 31,1 seviyesine kadar yükselmekle birlikte, kriz öncesi seviyelerin altında seyretmeye devam etmektedir.

Dünya çelik tüketimindeki dalgalanmalar ve bölgesel talep koşulları, zaman zaman Çin'in dünyanın büyük çelik ihracatçıları sıralamasında ilk sıraya yükselmesine neden olmaktadır. Dünya çelik üretim ve tüketiminin yarısına yakınına gerçekleştiren Çin, iç piyasasında meydana gelen daralmalarda, ihraç pazarlara yönelmektedir. 2011 yılında uzun yıllar sonra Çin'in yeniden en büyük çelik ihracatçısı olması, iç talebindeki artışın, üretimdeki artıştan daha hızlı bir şekilde yavaşlamış olmasından kaynaklanmaktadır.

En büyük çelik ihracatçısı Çizelge 2.8'de; en büyük çelik ithalatçısı 10 ülke ise Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.8: En büyük çelik ihracatçısı 10 ülke (2011) (Worldsteel, 2013).

Ülke	Milyon ton
Çin	47,9
Japonya	40,7
Güney Kore	28,9
Almanya	26,4
Ukrayna	26,0
Rusya	24,7
İtalya	17,2
Türkiye	17,0
Belçika	16,4
Fransa	14,2

Çizelge 2.9: En büyük çelik ithalatçısı 10 ülke (2011) (Worldsteel, 2013).

Ülke	Milyon ton
ABD	26,9
Almanya	24,9
Güney Kore	22,8
İtalya	17,5
Çin	16,3
Fransa	14,7
Belçika	13,3
Tayland	12,5
Türkiye	10,3
Vietnam	9,3

Dünya genelinde, demir çelik üretiminde kullanılan hammaddelerin ticaretinde, tamamen iç içe geçmiş bir yapı bulunmaktadır. Bütün ülkeler, ihtiyacından fazla üretim gerçekleştirdiği hammaddelerde dahi, diğer ülkelere ithalat yapmaktadır. Örneğin, dünyanın en büyük demir cevheri ve kok üreticisi olan Çin Halk Cumhuriyeti, aynı zamanda dünyanın en büyük demir cevheri ithalatçısı konumunda bulunmaktadır. Demir cevheri ithalatını Avustralya, Brezilya ve Hindistan'dan gerçekleştiren Çin, koklaşabilir kömür ithalatını Avustralya'dan ve hurda ithalatını ABD'den yapmaktadır. Brezilya ve Hindistan, demir cevherinde önemli bir ihracatçı

olmalarına rağmen, koklaşabilir kömürde oldukça sınırlı rezervlere sahip bulunmaktadır. Net hurda ihracatçısı konumunda bulunan AB ve Japonya, demir cevheri ve koklaşabilir kömürde ithalata bağımlıdır. Kanada ve ABD, demir cevherinde önemli miktarda ihracata karşılık, yüksek miktarlarda ithalat da yapmaktadır. Bu açıdan, diğer girdiler de dikkate alındığında, demir çelik üretiminde kullanılan girdilerde, dünya üzerinde tamamen kendi kendine yetebilen bir ülke yoktur.

Fiziksel anlamda, dünyada hammadde yetersizliği bulunmamaktadır. Çelik üretiminde kullanılan pek çok hammaddede mevcut rezervler, mevcut üretim seviyesi ile, sektörün ihtiyacını onlarca yıl karşılayabilecek düzeydedir. Hammadde arzının talep seviyesinin altında kalması durumlarında, yükselen fiyatlar üretim artışını teşvik ederek, arz dengesinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Diğer taraftan, giderek ağırlaştırılan çevre standartları ve koşulları, madencilik faaliyetlerini de zorlamaktadır. Ancak kısa vadede, piyasaya yapılan müdahaleler ile ticareti kısıtlayıcı önlemlerin, çelik üreticileri üzerinde daha fazla zarar oluşturma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir.

2.8.3 Türkiye’de durum

Sektörde, ham çelikten üretim yapan kuruluşların, Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz olmak üzere, temel olarak 4 bölgede kümелendiği gözlenmektedir. 2012 yılı itibariyle sektörde kurulu olan 30 tesisin, 10’u Akdeniz Bölgesi’nde, 8’i Marmara bölgesinde, 7’si Ege Bölgesi’nde, 3’ü Karadeniz Bölgesi’nde, 2’si de İç Anadolu Bölgesi’nde yerleşiktir.

2012 yılı itibariyle, söz konusu tesislerden 10 tanesinin ham çelik kapasitesi 2 milyon ton ve üzerinde, 8 tanesinin kapasitesi 1-2 milyon ton arasında, 6 tanesinin kapasitesi 500 bin-1 milyon ton arasında ve 6 tanesinin kapasitesi de 50 bin-500 bin ton arasındadır.

Türkiye’nin ham çelik kapasitesi, üretimi ve kapasite kullanım oranı Çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.10: Türkiye'nin ham çelik kapasitesi, üretimi ve kapasite kullanım oranı (DÇÜD, 2013).

Demir-Çelik sektörü firmaları	Kapasite (Bin ton)	2011 Üretim (Bin ton)	KKO, %	Kapasite (Bin ton)	2012 Üretim (Bin ton)	KKO, %
Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A. Ş.	485	400	82	485	322	66
Çebitaş Demir Çelik Endüstrisi A.Ş.	750	357	48	750	296	39
Çemtaş Çelik Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.	172	134	78	172	114	66
Çolakoğlu Metalurji A.Ş.	3.000	2.350	78	3.000	2.605	87
Diler Demir Çelik Endüstrisi ve Ticaret A.Ş.	1.500	1.314	88	1.500	1.394	93
Ede Demir Çelik Paz. San. ve Tic. Ltd. Şti	780	260	33	780	260	33
Ege Çelik Endüstrisi Sanayi ve Ticaret A.Ş.	2.000	862	43	2.000	995	50
Ekinciler Demir ve Çelik Sanayi A.Ş.	1.000	825	83	1.150	941	82
İçdaş Çelik Enerji Tersane ve Ulaşım San. A.Ş.	5.268	4.223	80	5.268	4.083	78
İzmir Demir Çelik Sanayi A.Ş.	1.500	1.273	85	1.500	1.432	95
Kaptan Demir Çelik End. ve Ticaret A.Ş.	1.350	1.258	93	1.350	1.274	94
Kroman Çelik Sanayi A.Ş.	1.500	1.331	89	2.500	1.376	55
Mmk Metalurji Sanayi ve Liman İşletmeciliği A.Ş.*	2.400	460	19	2.400	789	33
Nursan Metalurji Endüstrisi A.Ş.	1.200	1.057	88	1.200	1.103	92
Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş.*	700	466	67	700	527	75

Çizelge 2.10 (devamı): Türkiye'nin ham çelik kapasitesi, üretimi ve kapasite kullanım oranı (DÇÜD, 2013).

Demir-Çelik sektörü firmaları	Kapasite (Bin ton)	2011 Üretim (Bin ton)	KKO, %	Kapasite (Bin ton)	2012 Üretim (Bin ton)	KKO, %
Platinum Demir Çelik San. ve Tic.A.Ş.*	200	65	33	200	122	61
Sider Dış Ticaret A.Ş.	720	510	71	720	538	75
Sidemir Demir Çelik İşl. A.Ş.	550	392	71	550	335	61
Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş.	2.000	1.570	79	2.000	1.563	78
Yazıcı Demir-Çelik San.ve Turizm Tic.A.Ş.	1.000	1.060	106	1.100	1.062	97
Yeşilyurt Demir Çelik End. ve Liman İşl. Ltd. Şti.	1.000	659	66	1.000	625	63
Yolbulan ve Baştuğ Metalurji Sanayi A. Ş*	2.000	1.433	72	2.000	1.514	76
Diğer EO*	5.360	3.016	56	6.060	3.290	54
EO Kapasitesi** 36.435		25.275	74	38.385	26.560	71
Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş	3.850	3.373	88	3.850	3.236	84
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.	5.300	4.092	77	5.300	4.631	87
Kardemir Karabük Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş.	1.500	1.367	91	1.500	1.458	97
BOF	10.650	8.832	83	10.650	9.325	88
Toplam	47.085	34.107	76	49.035	35.885	75

*Denem üretimi yapan kuruluşlarla, diğer EAO grubu içinde yer almalarına rağmen, KKO hesaplarına dahil edilmemiştir.

**EO: EAO ve İO'yu kapsamaktadır.

2000 yılında 848 milyon tonluk dünya ham çelik üretimi içerisinde, 14,3 milyon tonluk üretimi ve yüzde 1,7 oranındaki üretim payı ile 17. sırada yer almış olan ülkemiz, 2012 yılına kadar, üretimini istikrarlı bir şekilde arttırarak, 9 basamak birden yükselmiş, 1,55 milyar tonluk dünya ham çelik üretimi içerisinde, 35,9 milyon tonluk üretimi ile 8.sırada, AB ülkeleri arasında ise 2. sırada yer almıştır. 35,9 milyon tonluk üretimi ile, toplam dünya ham çelik üretiminde yüzde 2,3 oranında paya sahip olan ülkemiz, 2011 yılından sonra, 2012 yılında da büyük çelik üreticileri arasında üretimini en hızlı arttıran ülke konumunu elde etmiştir.

2.8.4 Sektörün Türkiye'nin Dış Ticaretindeki Yeri

Demir çelik sektörü, Türkiye'nin toplam ihracatının yüzde 10'undan fazla bir kısmını gerçekleştirmektedir. 2008 yılında dünya piyasalarındaki talep canlılığından kaynaklanan fiyat artışları nedeniyle, bir önceki yıla kıyasla yüzde 67 oranında artışla, 20,5 milyar dolara ulaşan sektörün ihracat değeri, toplam ülke ihracatındaki payını yüzde 15,5 seviyesine kadar yükseltmiştir. Ancak 2009 yılında, krizle birlikte uluslararası piyasalarda talebin daralması ve buna paralel olarak fiyatların düşmesi nedeniyle, yüzde 41 oranında gerileyen sektörün ihracatı, kademeli bir şekilde yükselme eğilimi göstermektedir. 2012 yılında, Türkiye'nin toplam ihracatındaki keskin artış nedeniyle, çelik ürünleri ihracatındaki artışa rağmen, sektörün toplam ihracat içerisindeki payı yüzde 11,2 seviyesine gerilemiştir.

Demir çelik sektörünün ihracatının Türkiye ihracatındaki payı Çizelge 2.11'de gösterilmiştir.

Temel hammaddelerden hurdada %70, demir cevherinde ise, %50 civarında ithalata bağımlı olan demir çelik sektörü, diğer girdilerden ferro alyaj ve koklaşabilir kömürde yüzde 100'e yakın oranlarda ithalat zorunluluğu içerisinde bulunmaktadır. 2012 yılında, 12,9 milyar dolar düzeyinde gerçekleşen çelik sektörünün hammadde ithalatı, Türkiye'nin toplam ithalatının %5,5 oranındaki kısmını oluşturmuştur. Demir çelik sektörünün hammadde ithalatının, Türkiye'nin toplam ithalatındaki payı Çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11: Demir çelik ihracatının Türkiye ihracatındaki payı (DÇÜD, 2013).

Milyon Dolar	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Demir Çelik Sektörü İhracatı	7.600	9.406	12.239	20.456	12.007	13.286	16.632	17.152
Türkiye Toplam İhracatı	73.476	85.535	107.272	132.027	102.143	113.883	134.915	152.537
Demir Çelik Sektörü Payı (%)	10,3	11,0	11,4	15,5	11,8	11,7	12,3	11,2

Çizelge 2.12: Demir çelik sektörünün hammadde ithalatının Türkiye'nin toplam ithalatındaki payı (%) (DÇÜD, 2013).

Milyon Dolar	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
DÇ Sektörü Hammadde İthalatı	4.390	5.496	7.826	12.237	6.908	10.058	13.416	12.930
Türkiye İthalatı	116.774	139.576	170.063	201.964	140.928	185.544	240.839	236.544
Hammadde İthalatının Payı (%)	3,8	3,9	4,6	6,1	4,9	5,4	5,6	5,5

3. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Su ve ark. (2008), düşük tenörlü mangan cevherlerinden indirgeyici olarak melas kullanılmış ve sülfürik asit liçi yapılarak manganın geri kazanımı araştırılmıştır. Deneylerde sülfürik asit ve melas konsantrasyonun, sıcaklık ve liç süresinin etkileri incelenmiştir. Sonuçlar yüksek oranda mangan kazanımının yanı sıra Al ve Fe'nin de kazanıldığını göstermiştir. Optimum koşullarda; 1,9 mol/L H₂SO₄, 60 g melas, 0,147 mm'nin altında malzeme kullanılarak 90 °C'de 120 dakika liç süresinde deneyler yapılmış ve %97 verimle Mn kazanılmıştır. Bunun yanı sıra %21,5 verimle Al ve %32,4 verimle Fe kazanılmıştır (Su ve diğ., 2008).

Tian ve ark. (2010), düşük tenörlü mangandioksit cevherlerinden indirgeyici olarak mısır koçanı kullanılmış ve sülfürik asit liçi yapılarak manganın geri kazanımı araştırılmıştır. Deneylerde mısır koçanı miktarı sülfürik asit konsantrasyonu, liç süresi ve malzeme miktarının etkileri incelenmiştir. Optimum koşullarda; 75 µm boyutunda 10 g mangandioksit cevheri 3 g mısır koçanı kullanılarak, 1,9 mol/L sülfürik asit konsantrasyonunda 85 °C sıcaklıkta, 60 dakika liç süresi uygulanarak deneyler yapılmış ve %92,8 verimle mangan kazanılmıştır. Demir kazanma verimi %24,6'yı geçmemektedir (Tian ve diğ., 2010).

2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Hakkari-Şemdinli Bölgesi Mangan Cevherlerinin Gravimetrik Yöntemlerle Zenginleştirilmesi" konulu proje çerçevesinde numune üzerinde gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerinde gravimetrik yöntemler kullanılmıştır. Tamamı 9 mm altında farklı fraksiyonlarda gerçekleştirilen jig deneyleri sonucunda, tamamı 1 mm ve 0,5 mm altında farklı fraksiyonlarda gerçekleştirilen sarsıntılı masa ve MGS deneyleri sonucunda ve tamamı 0,1 mm altına indirilmiş numunede gerçekleştirilen MGS deneyleri sonucunda yeterli zenginleşmenin olmadığı ve dolayısıyla da satılabilir bir mangan konsantresi elde edilemediği saptanmıştır (İTÜ Proje Raporu, 2011).

2011 yılında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen “Düşük Tenörlü Mangan Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması” konulu yüksek lisans tezi kapsamında Antalya'dan alınan mangan cevherine sarsıntılı masa, MGS (multi gravite ayırıcı) yöntemleri, Yahyalı (Kayseri) Bölgesi'nden alınan mangan cevherine ise sallantılı masa, MGS, flotasyon, liç ve manyetik ayırma deneysel çalışması yapılarak her iki cevherin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda sarsıntılı masa deneyleri sonrasında her iki numune için iri tane boyutlarında direkt olarak satılabilir kalitede mangan konsantresi elde etmek mümkün olmamıştır. Ancak Antalya numunesinin -0,106 mm tane boyutunda yapılan sallantılı masa testlerinde elde edilen masa konsantresinde belirli bir zenginleşme sağlanmıştır (%62,89 Mn). MGS deneysel çalışmasında tespit edilen optimum koşullarda (-0,106 mm, tane boyutu, 4° eğim, 3 L/dak yıkama suyu, 2.2 L/dak besleme hızı ve 180 dev/dak tambur dönme hızı) yapılan deneyler sonucunda, Antalya numunesinin %48,96'sı konsantre ve %51,04'ü artık olarak alınmıştır. Bu cevherden %41,24 Mn ve %78,71 verim ile MGS konsantresi elde edilmiştir. Kayseri numunesi ile yapılan MGS testleri sonrasında konsantre elde etmek mümkün olmamıştır. Kayseri numunesi ile yapılan flotasyon deneyleri olumsuz sonuçlanmıştır. Kayseri numunesi kullanılarak REMS ile yapılan kuru manyetik ayırma deneylerinde (-2,80+1) mm, (-1+0,5) mm ve (-0,5+0,150) mm olmak üzere 3 farklı tane fraksiyonu kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre direkt olarak satılabilir kalitede mangan konsantresi elde etmek mümkün olmamıştır. Kayseri numunesi kullanılarak yapılan kimyasal liç deneylerinde katı oranı, sıcaklık ve H₂O₂ konsantrasyonunun liç işleminde etkili olmadığı sadece HCl asit derişiminin ve liç süresinin etkili olduğu belirlenmiştir (Şimşek, 2011).

Amerika'da bulunan Butler-Cooley Demir işletmesi zenginleştirme tesisinin kapasitesi 22×10^3 t/g'dür. %21,80 Fe tenörlü manyetit cevheri kırıldıktan sonra beş hat olarak kurulmuş konsantre tesisine beslenmektedir. Her hat semiotojen kuru öğütme değirmeni, havalı ayırıcı, siklon, kuru ve yaş manyetik ayırıcıdan oluşmuştur. Bu devrelerde üretilen kuru konsantre dört adet bilyalı değirmene, değirmen sonrası siklonlara gönderilmektedir. Belirli boyuta indirilen cevher son kademe manyetik ayırıcılarda zenginleştirilerek peletlik konsantre üretilmektedir. Son kademe manyetik ayırıcıların konsantreleri 63 mikron açıklıklı iki kademeli elekten geçirilmektedir. Elek üstü değirmene beslenmekte, elek altı da peletlenmek üzere ayrılmaktadır. Eleme ile

konsantre içindeki Si oranı %0,5'e düşmekte, sonuçta tesiste %68 Fe ve %0.5 SiO₂ tenörlü peletlik konsantre üretilmektedir.

Erie Mining Company Demir işletmesi zenginleştirme tesisinde ise ilk kademe kaba zenginleştirmede iki tamburlu 850 gauss manyetik alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Konsantre bilyalı değirmen sonrası ikinci kademe manyetik ayırıcılara ve sonrası siklona basılmaktadır. Siklonun ayırma boyutu 75 mikron olup üst akımı susuzlandırma manyetik ayırıcılarına, ayırıcının konsantresi de 80 mikronluk bir eleğe gönderilmektedir. Elek üstü susuzlandırma, elek altı da dört adet üç tamburlu son kademe manyetik ayırıcılardan geçirilmektedir. Son kademe manyetik ayırıcı konsantresi de boyutlandırma eleği, ince öğütme değirmeninde 45 mikrona öğütülüp manyetik ayırıcılarda zenginleştirilerek peletlenecek konsantre haline getirilmektedir. Tesiste kullanılan ayırıcılar sırası ile 850, 800, 350 ve 150 gauss manyetik alan şiddetindedir. İlk kademe zenginleştirmede eş akışlı, ikinci kademe zenginleştirmede ters dönüşlü, son kademe zenginleştirmede de ters akışlı manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Konsantre tesisine beslenen 72x10³ ton/gün %23,75 Fe tenörlü cevher tesiste birkaç kademe 75 mikrona öğütülüp sınıflandırılarak düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılarla, cevher sırası ile %37 Fe tenöründen %63,50 Fe'e kadar zenginleştirilmektedir. Bu ve benzeri tesislerde zenginleştirme hatlarından biri mevcut prosesin daha da iyileştirilmesi, kullanılan proses ekipmanının teknolojik olarak geliştirmesi, yeni proses ekipman ve zenginleştirme yöntemlerinin denenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Bunun sonucu cevher hazırlama tesisleri hiç bir zaman ilk devreye alındığı gibi olmayıp akım şemaları sürekli değiştirilmektedir (Devaney F.D., Weiss N.).

Brezilya'da bulunan Samarco demir madeninin zenginleştirme tesisinde kırma ve öğütme sonrası cevher içindeki şlam siklonlarda alındıktan sonra klasik flotasyon işlemi ile cevher içindeki silisten temizlenmektedir. Flotasyondan sonra cevher diğer tesisten gelen konsantre ile karıştırılıp öğütülerek kolon flotasyonu ile ikinci kez zenginleştirilmektedir. Tesiste zenginleştirilen 15x10⁶ t/y konsantre cevher yaklaşık 400 km uzunluğundaki boru hattı ile Atlantik Okyanusu kıyısındaki pelet tesisine pompalanmaktadır. Bu hat zaman olarak %99 verimlilikle çalışan dünyanın en uzun pülp hattıdır. Boru hattında 2 pompalama ve 2 basınç kontrol istasyonu mevcut olup hattın 1.200 m³/s pülp 6 km/h hızla basılmaktadır. Pompalanan pülp Ponta Ubo tesislerinde disk filtrelerde susuzlandırılmakta, daha sonra da peletlenmektedir.

Groveland Demir işletmesinde zenginleştirme her biri 620 t/s kapasiteli 3 hat ile 220 t/s kapasiteli araştırmaya yönelik çalışmaların yapıldığı 1 hattan oluşmuştur. İşletmede yan kayaç olarak çört, kuvars olan, çörtle çimentolanmış silikatlı %34,5 Fe tenörlü manyetit ve hematit cevheri üretilmiş ve 5×10^6 t/y kapasiteli tesiste zenginleştirilmiş, %64,4 Fe, %6,4 SiO₂ tenörlü, 45 mikron 2.1×10^6 t/y peletlik konsantre üretilmiştir. Tesiste zenginleştirme amacı ile düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar, flotasyon, elutriatör kullanılmıştır. Proses sonrası %82,7 Fe kazanımla %61,2 Fe, %9,73 SiO₂ tenörlü konsantre üretilmiştir. -150 mikronun altına öğütülmüş konsantre elutriasyon koyulaştırıcıdan gönderilerek SiO₂ tenörü %6,4'e düşürülmüştür.

Kanada'da bulunan Griffith Demir cevherinin zenginleştirme tesisinde her birinde otojen değirmen, iri boyutta zenginleştirme, birinci ve ikinci kademe manyetik ayırıcılar olan iki hat bulunmaktadır. İkinci kademe devrede siklon, hidrolik sınıflandırıcı, elekler, çakıl değirmen, manyetik ayırıcılar ve flotasyon hücrelerinden oluşmuştur. Birinci kademe öğütmede yaş öğütmeli otojen değirmen mevcut olup değirmenlerin üst çıkışına üst perdesi 19.0x38.0 mm açıklı, alt perdesi de 3.15 mm olan iki katlı titreşimli elek yerleştirilmiştir. +38.0 mm boyutundaki malzeme manyetik tamburlu bantlı ayırıcılardan geçirilerek manyetik olan kısım çakıl değirmende öğütülmek ve çakıl olarak kullanılmak üzere ikinci kademe devresine gönderilmektedir. Manyetik olmayan kısım atık olarak devreden alınmaktadır. -38.0 mm+3.15 mm aralığındaki malzeme de diğer bir manyetik tamburlu bantlı ayırıcıdan geçirilerek manyetik malzeme otojen değirmene geri gönderilirken manyetik olmayan kısım atık olarak ayrılmaktadır. -3.15 mm boyutundaki elek altı malzeme 6 adet tek tamburlu yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmektedir. Ayırıcıda tesise beslenen cevherin ağırlıkça %24 ü atık olarak ayrılırken konsantresi siklona, siklonun alt akımı otojen değirmene, üst akımı da 4'e bölünerek her biri 2 tamburdan oluşmuş manyetik ayırıcılara gönderilmektedir. Konsantre ağırlığı tesise beslenen cevherin %55-58'i; tenörü de %45-47 Fe'dir.

Amerika'da bulunan Minntac Demir işletmesinde tesise beslenen manyetit cevherinin Fe tenörü %22 civarındadır. Tesiste cevherden üç kademe yaş manyetik ayırıcılarla %65 tenörlü konsantre elde edilmektedir. 5 paralel hattan oluşan tesiste yaklaşık 50.10^6 t/y, %22 Fe tenörlü takonit cevheri zenginleştirilerek 15.10^6 t/y peletlik konsantre üretilmektedir. Cevher tesiste -53 mikron olacak şekilde öğütüldükten sonra

düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılarda üç aşamalı olarak zenginleştirilmektedir.

Savage River Zenginleştirme tesisinde ilk kademe kırma işlemi konili kırıcılar ile yapılmaktadır. Tesis iki hattan oluşmuştur. Her hatta 9.5 mm açıklı ızgaralı yaş öğütmeli otojen değirmen mevcuttur. Otojen değirmenlerin çıkışı 25mm*5mm delik açıklı titreşimli bir eleğe verilmektedir. Elek üstü malzeme manyetik tamburlu bantlı ayırıcıdan geçirilmekte, manyetik özellik taşıyan cevher değirmene geri gönderilirken manyetik olmayan kısım da atık olarak ayrılmaktadır. Elek altı malzeme ise çift tamburlu yaş manyetik ayırıcılara beslenmektedir. Manyetik ayırıcıda tesise beslenen cevherin ağırlıkça yaklaşık %40'ı atık olarak ayrılmaktadır. Manyetik konsantre de 2.36 mm'lik eğimli bir elekten geçirilmekte, elek üstü otojen değirmene geri,elek altı da ince öğütme değirmenine gönderilmektedir. İnce öğütme değirmenleri siklonlarla kapalı devre çalışmaktadır. Üst akım atık koyulaştırıcısına yönlendirilirken %45 katı içeren alt akım da 3 tamburlu yaş manyetik ayırıcıya gitmektedir. Ayırıcının konsantresi 45 mikronluk bir elekten geçirilmekte, elek altı konsantre koyulaştırıcısına elek üstü de ince öğütme değirmenine geri gönderilmektedir. Elek altı -45 mikronluk konsantre tesise beslenen cevherin ağırlıkça %48'i civarında olup %68-69 Fe içermektedir.

Brezilya milli demir cevherlerinin pek çoğu ABD' deki Colorado School of Mines araştırma laboratuvarlarında geniş bir şekilde araştırılmıştır. Katyonik ve anyonik köpüklü yüzdürme yöntemleri bu cevherlere de uygulanmıştır. Bunlardan ilki Germano demir cevherinin esas minerali hematitdir. Yanında kuvars mevcuttur. Tüvenan cevherde % 39-52 arasında bulunan Fe, gerek anyonik gerekse katyonik flotasyon ile, % 67.5 Fe, % 85-90 verimle alınmaktadır. Ancak işlem öncesi cevher şamlarının atılması şart koşulmuştur. Tesise beslenen diğer bir cevher olan Sarnarco cevherinin ana demir mineralleri hematit ve götit'dir. Gang minerali ise silikatlı minerallerden oluşmaktadır. % 53 Fe içeren cevherden katyonik esaslı flotasyon ile %67.5 Fe içeren konsantre alınmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Elazığ Bölgesi manganlı demir cevherinin zenginleştirilmesi konulu bu tez kapsamında öncelikle 04-07 Mart 2014 tarihleri arasında Elazığ'da bulunan saha üzerinde numune alımına yönelik etüdler gerçekleştirilmiştir. Numune alımı işlerinde Topalan Uşağı Bölgesi'nden toplam yaklaşık 400 kg numune alınmış ve İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Laboratuvarları'na naklettirilmiştir. Yataktan alınan cevherin alınış aşamaları Şekil 4.1-Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Topalan Uşağı yatağından numune alımı-1.



Şekil 4.2 : Topalan Uşağı yatağından numune alımı-2.



Şekil 4.3 : Topalan Uşığı yatağından numune alımı-3.



Şekil 4.4 : Topalan Uşığı yatağından numune alımı-4.



Şekil 4.5 : Topalan Uşığı yatağından numune alımı-5.

İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Laboratuvarları'na gelen yaklaşık 400 kg olan numune öncelikle 13 mm boyutunun altına indirilmiş ve boyutu küçültülen bu numuneden konileme-dörtleme yöntemiyle temsili numune alım işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Temsili numune alım işlemi.

4.1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Kimyasal Analiz Etüdları

Deneylerde kullanılacak olan numunenin komple kimyasal analizi ALS Laboratory Group Analytical Chemistry & Testing Service Laboratuvarları'nda Inductively Coupled Plasma (ICP) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Tuvenan numunenin analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

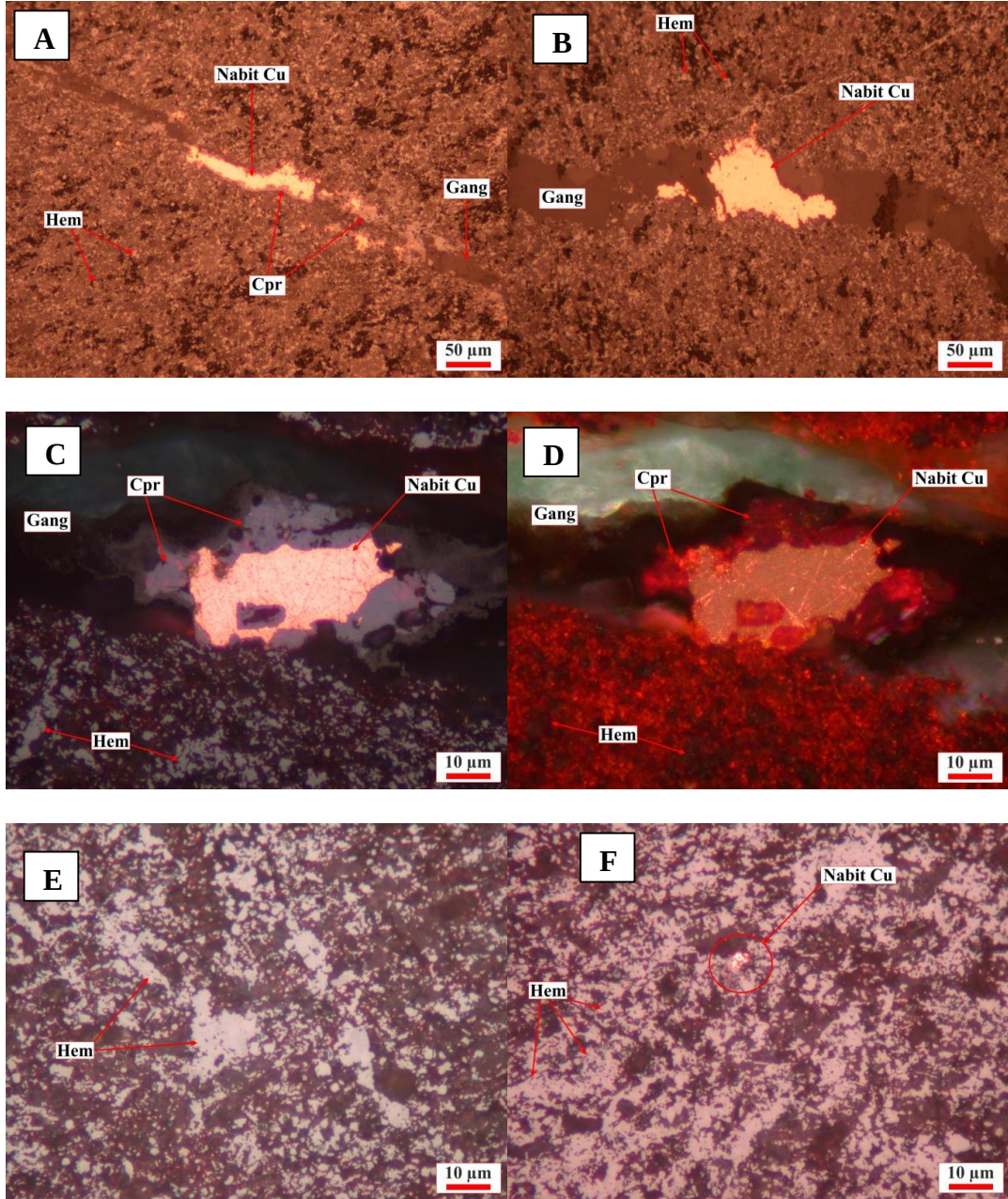
Çizelge 4.1 : Tuvenan numunenin ICP yöntemiyle yapılan komple kimyasal analiz sonuçları.

Bileşen	%
SiO ₂	24,20
Al ₂ O ₃	5,87
Fe ₂ O ₃	39,10
CaO	8,37
MgO	1,87
Na ₂ O	0,15
K ₂ O	0,21
Cr ₂ O ₃	0,02
TiO ₂	0,24
MnO	13,10
P ₂ O ₅	1,15
SrO	0,14
BaO	0,05

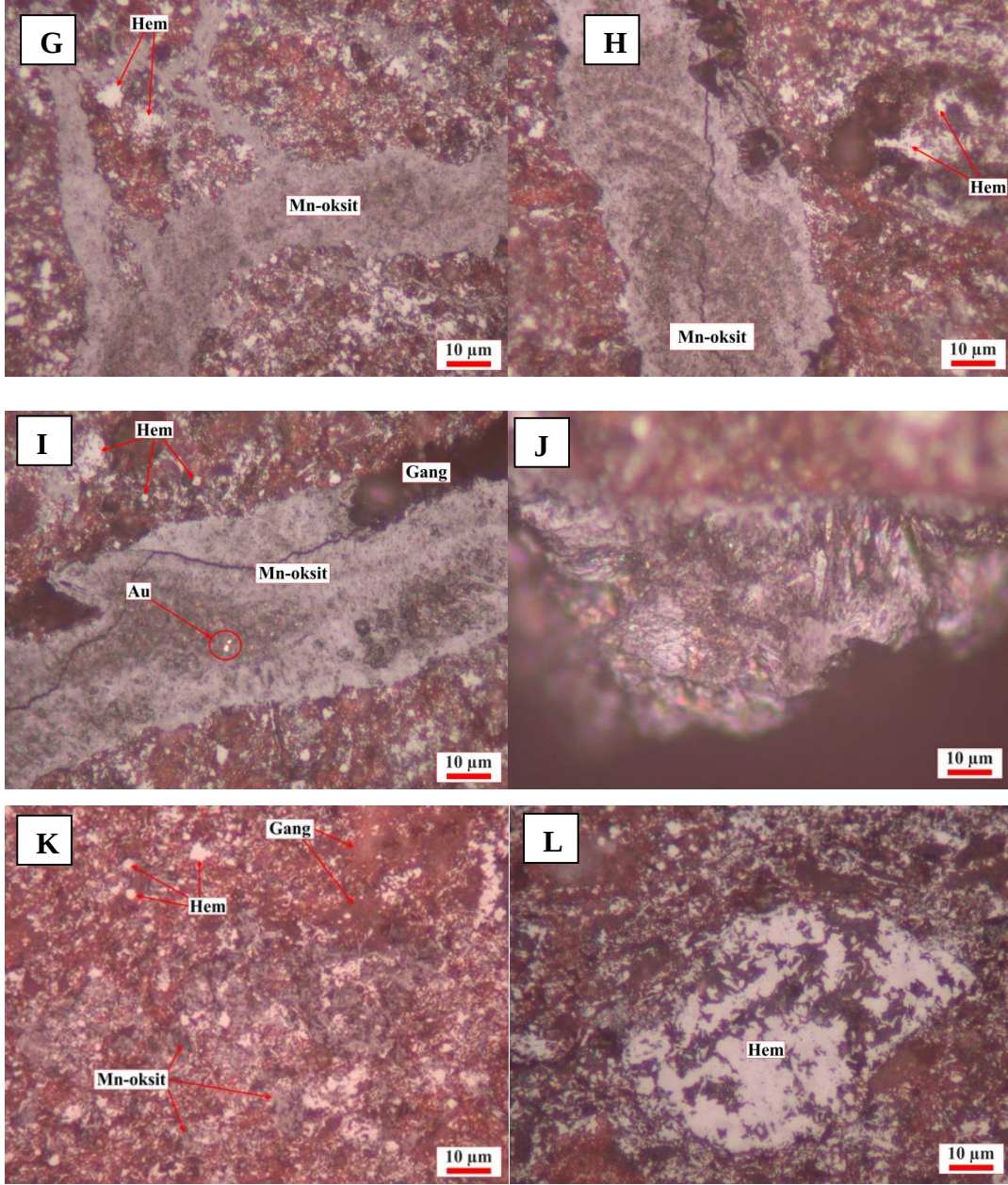
Tuvenan cevher üzerinde gerçekleştirilen komple kimyasal analiz sonuçlarına göre, temsili numune, %39,10 Fe₂O₃, %13,10 MnO ve %24,20 SiO₂ içermektedir.

4.2 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Mineralojik Analiz Etüdları

Topalan Uşığı yatağından alınan temsili numune üzerinde yatağı oluşturan mineraller saptanmaya çalışılmış, bu çalışma kapsamında ayrıntılı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilerek aşağıda kısaca özetlenmiştir.



Şekil 4.7 : Temsili numuneye ait mikrofotoğraflar. (A, B, C, E ve F // N, D ise +N de çekilmiştir. Ayrıca C,D, E ve F yağ objektifiyle görüntülenmiştir. Cpr: Küprit, Hem: Hematit).



Şekil 4.8 : Temsili numuneye ait mikrofotograflar. (Tüm fotoğraflar // N’de ve yağ objektifiyle görüntülenmiştir. Hem: Hematit).

Numune yaygın olarak hematit kristallerinden oluşmakta Şekil 4.7, A, B, E ve F. Hematitler genellikle küçük kristallerden oluşmakta (>10 mikron). Yer yer kristal kümeleri halinde birleşen kristaller 10 mikrondan büyük kristal kümeleri oluştururlar. Hematit kristalleri olasılıkla kuvars gang ile çevrenmiştir. Hematit içerikli bölüm kayacın en az %40’lık bölümünü oluşturmaktadır Şekil 4.7 E ve F.

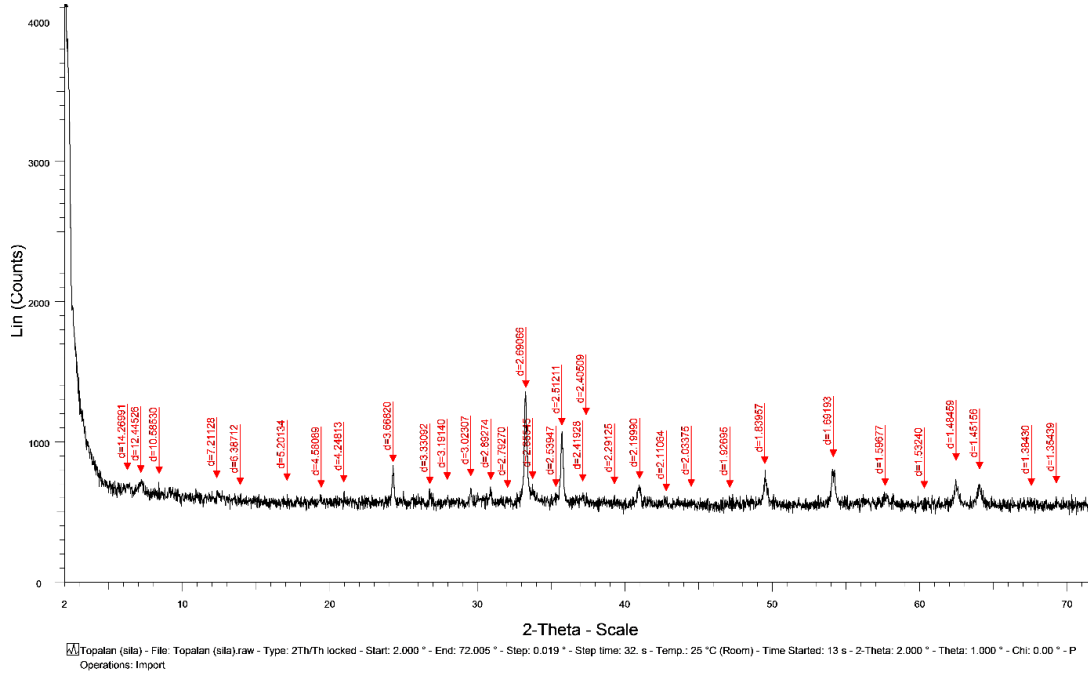
Bakır mineralleri hem çatlak dolgusu olarak hemde daha az oranda saçınım halde gözlenmektedir. Bakır mineralleri başlıca nabit bakır ve küpritten oluşmaktadır. Kuvars ve hematit matriks içinde saçınım halde bulunan nabit bakır ve küprit daha ince taneli kristallerden (>5 mikron) oluşmaktadır. Çatlak dolgusu olarak gözlenen bakır mineralleri yer yer 50 mikrona ulaşan kristaller halinde gözlenmektedir. Nabit bakır, yaygın olarak küprit tarafından çevrelenip, kuşatılarak ornatılmıştır (Şekil 4.7, C ve D). Bu iki mineralin birlikteliği, Eh-pH diagramlarında pH'ın alkali olduğu ve oksidasyon potansiyelinin negatif değerlerde olduğu bölgeye karşılık gelir. Bu nedenle küprit ve nabit bakır dışında sulfid mineralleri (kalkozin-kovellin, kalkopirit, bornit vb) olasılıkla oksidasyon zonu altındaki daha derin düzeylerde gözlenecektir.

Mangan oksit ve demir oksit minerallerinin yaygın olarak gözleendiği bir örnek. Mangan oksitler hem çatlak dolgusu, hem de saçınım halde örnek içinde yer almaktadır. Farklı zamanlarda gelişen ve çatlakları dolduran mangan oksit damarcıkları birbirlerini kesmektedir (Şekil 4.8 G). Çatlak dolguları içinde de düşük sıcaklıkta kolloidal çökelmeyi gösteren kolloform dokular gözlenmektedir (Şekil 4.8 H). Mangan-oksit damarları içinde bir kaç yerde altın parçalarına rastlanmıştır (Şekil 4.8 I). Genellikle tüm birincil mangan cevherleri piroluzit (MnO_2) ve psilomelana $(Ba,H_2O)_2Mn_5O_{10}$ dönüşme eğilimindedir. Bu nedenle oksidasyonun ilerlemiş aşamalarında cevherde en yaygın bulunan mangan mineralleri bu iki mineraldir. Piroluzit ve psilomelan bu örnekte az oranda gözlenmektedir. Numune içinde birnessit $(Na,Ca,K)_x(Mn,Mn)_2O_4 \cdot 1.5H_2O$ (Şekil 4.8 J), manganit ($MnO(OH)$) ve braunit en yaygın mangan mineralleridir.

Mangan-oksit damarcıklarının içinde bulunduğu kaya, başlıca demiroksitler (baskın olarak hematit), mangan-oksitler ve gang minerallerinden (kuvars, kalsit) oluşmaktadır. Manganoksitler kaya içinde saçınmış halde 100 mikrona ulaşan kristal kümeleri halinde de gözlenmektedir (Şekil 4.8 K). Hematit kristalleri oldukça ince taneli olmakla beraber (>10mikron) yer yer 100 mikrona yaklaşan porfiroblast benzeri kristal kümeleri oluşturmaktadır (Şekil 4.8 L).

Temsili numunenin İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde X-Işınları Difraksiyon (XRD) metodu ile gerçekleştirilen mineralojik bileşimleri XRD analizleri Bruker D8 Advance Model X-Işınları Difraktometresinde, $CuK\alpha$ radyasyon ve Ni filtre kullanılarak ve sayım 40 Kv, 40 mA şartlarında ve çekim hızı $2-72^\circ 2\theta$ arasında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Mineral

oranları standartlı XRD-Modal Analiz yöntemi ile tahmin edilmiştir. Numuneye ait XRD paternleri Şekil 4.9’da verilmektedir.



Şekil 4.9: Temsili numuneye ait X-ışınları kırılım desenleri.

Temsili numunenin mineralojik bileşimi (XRD) incelendiğinde; Topalan Uşağı Bölgesi’nden alınan numunenin içerikleri aşağıda verilmektedir.

- Hematit (%55-60)
- Feldspat (Plajiolaz) (% <5)
- Kuvars (% <5)
- Kil Mineralleri (Smektit+İllit/İllit-Mika Karışık Katman+Klorit/Kaolinit) (%15-20)
- Kalsit (%5-10)
- Dolomit (% <5)
- Mangan İçerikli Mineral Muhtemelen Psilomelan. Ancak, gerek amorf madde (muhtemelen Vad tipi oluşum), gerekse düşük şiddetli pik örtüşmeleri nedeniyle tam olarak tanımlanması olanaksız. Mangan Oksit veya Mangan Hidroksit bileşimli minerallerden (fazlardan) birisi de olabilir (% 10-15).

Bu değerlerden yola çıkıldığında, numune ana bileşen olarak hematit içermektedir. Bu mineralin oranının %30-60 aralığında olması beklenir. Kil mineralleri belirgin oranda

vardır (%15-30). Kuvars, feldspat ve karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit) düşük oranlardadır. Mangan içerikli bir mineral vardır ve muhtemelen psilomelan türüdür. Oranı %10 mertebesinde. Ancak, bu fazın XRD ile tam bir tanımlaması yapılamamaktadır. Muhtemelen mangan oksit/hidroksit bir faz olabilir. Numuneler amorf madde içerirler.

4.3 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Fiziksel Analiz Etüdları

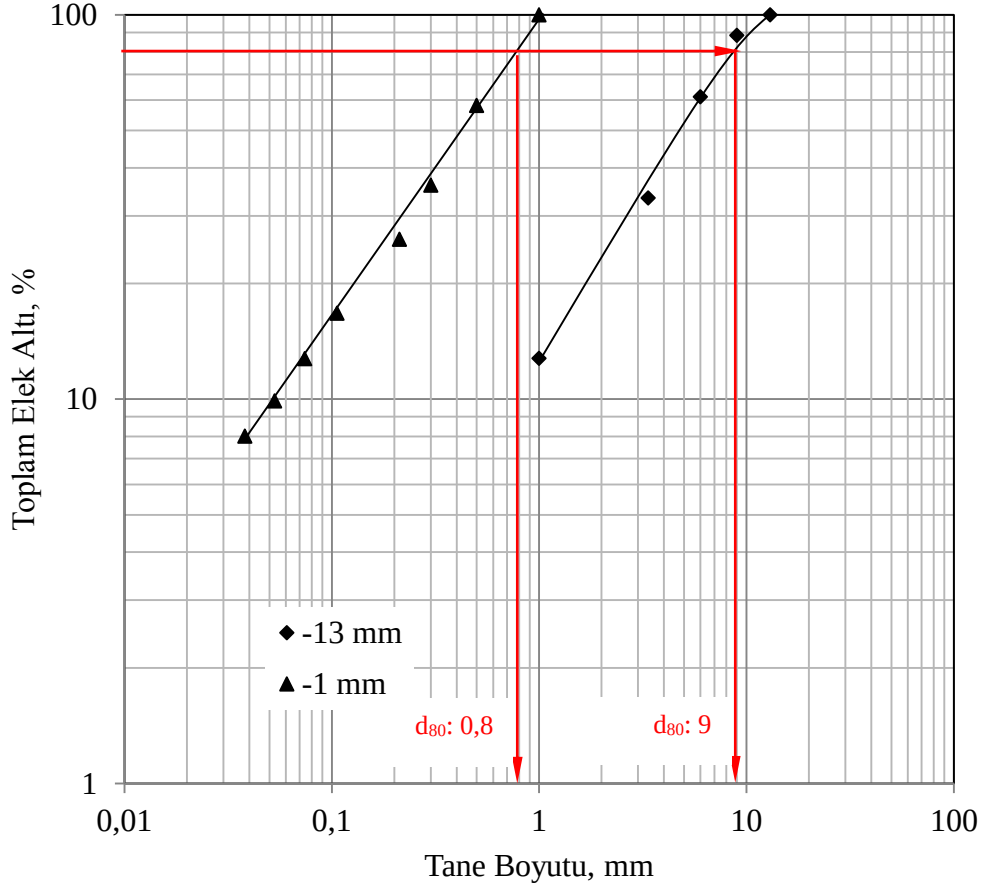
Topalan Uşığı numunesinin zenginleştirme boyutları olan -13 mm ve -1 mm boyutlarında elek analizleri yapılmış ve farklı boyut gruplarında Fe₂O₃, MnO ve SiO₂ açısından herhangi bir yoğunlaşma olup olmadığını belirlemek adına ALS Laboratory Group Analytical Chemistry & Testing Service Laboratuvarları'nda Inductively Coupled Plasma (ICP) yöntemiyle fraksiyonel analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de, toplam elek altı eğrileri ise Şekil 4.10'da, fraksiyonel bazdaki Fe₂O₃ içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.11 ve 4.12'de verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Tamamı 13 mm altındaki malzemenin fraksiyonel analizi.

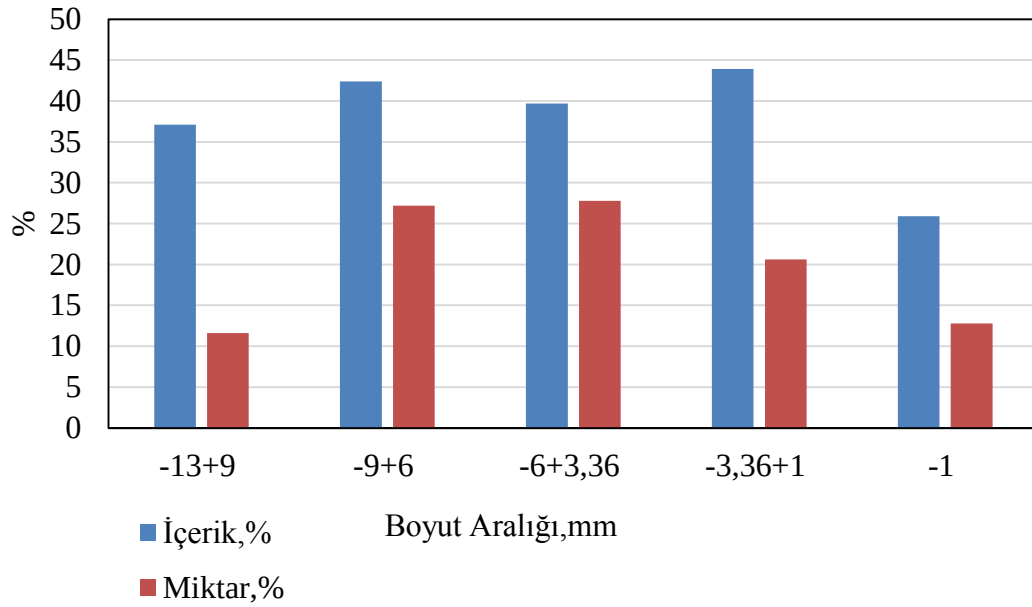
Boyut Aralığı, mm	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Dağılım	İçerik	Dağılım	İçerik	Dağılım
-13+9	11,6	13,75	11,7	37,10	11,0	26,90	10,8
-9+6	27,2	14,10	28,2	42,40	29,4	22,10	24,6
-6+3,36	27,8	13,25	27,0	39,70	28,1	26,20	29,7
-3,36+1	20,6	15,30	23,1	43,90	23,0	20,00	16,8
-1	12,8	10,50	9,9	25,90	8,5	30,80	16,1
Toplam	100,0	13,62	100,0	39,25	100,0	24,49	100,0

Çizelge 4.3 : Tamamı 1 mm altındaki malzemenin fraksiyonel analizi.

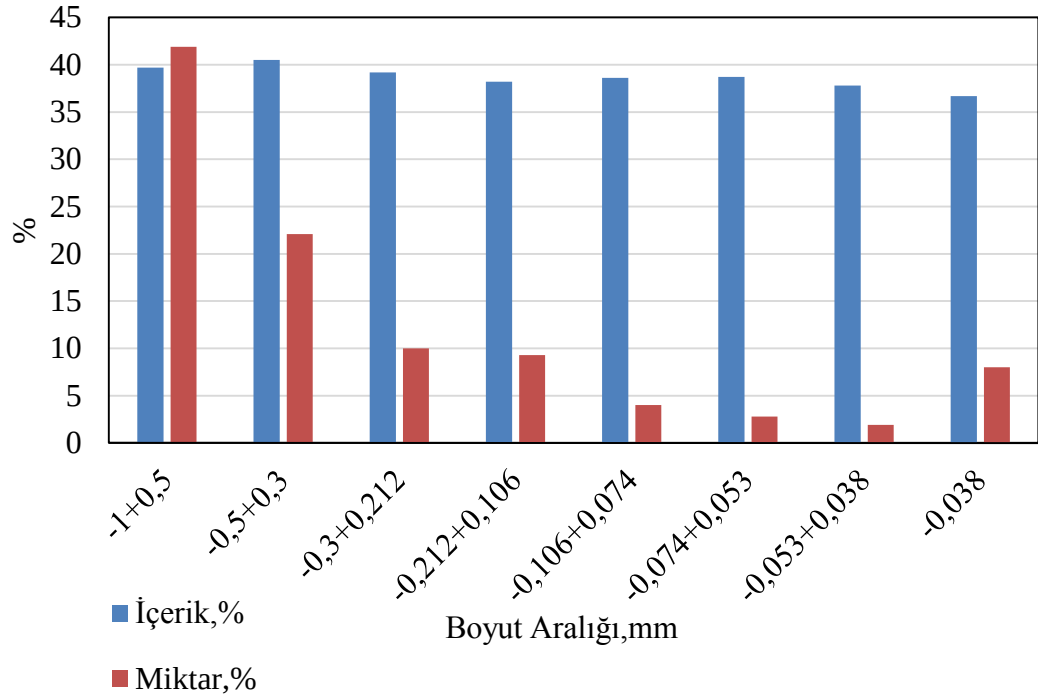
Boyut Aralığı, mm	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Dağılım	İçerik	Dağılım	İçerik	Dağılım
-1+0,5	41,9	10,65	41,2	39,70	42,2	25,80	44,1
-0,5+0,3	22,1	11,05	22,5	40,50	22,7	26,20	23,7
-0,3+0,212	10,0	11,50	10,6	39,20	10,0	22,30	9,1
-0,212+0,106	9,3	11,10	9,6	38,20	9,1	21,50	8,2
-0,106+0,074	4,0	11,35	4,2	38,60	3,9	22,20	3,6
-0,074+0,053	2,8	11,45	3,0	38,70	2,8	22,70	2,6
-0,053+0,038	1,9	11,05	1,9	37,80	1,8	22,00	1,7
-0,038	8,0	9,50	7,0	36,70	7,5	21,30	7,0
Toplam	100,0	10,83	100,0	39,34	100,0	24,47	100,0



Şekil 4.10: Temsili numunenin zenginleştirme boyutlarındaki elek analiz eğrileri



Şekil 4.11: Tamamı 13 mm altındaki malzemenin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı.



Şekil 4.12: Tamamı 1 mm altındaki malzemenin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı.

Şekil 4.10'dan görülebileceği üzere, tamamı 13 mm boyutunun altına indirilmiş numunenin d_{80} boyutu yaklaşık 9 mm olarak belirlenirken; tamamı 1 mm altındaki numunenin d_{80} boyutu ise yaklaşık 0,8 mm olarak tesbit edilmiştir.

4.4 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Zenginleştirme Deneyleri

Deneylerde ilk olarak 13 mm boyutunda REMS (Yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcı) ve Jig deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra REMS ve jig ile zenginleştirmede zenginleştirmeye girmeyen -1 mm'lik fraksiyon üzerinde sarsıntılı masa deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ince boyutlarda (-106, 74 ve 38 mikron) Multi-Gravite Ayırıcısı ve yüksek alan şiddetli Jones manyetik ayırıcısı ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.4.1 REMS ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri

Tamamı 13 mm altında olan numune ile gerçekleştirilen REMS (Rare Earth Magnetic Separator) deneylerinde ilk olarak malzeme -13+9 mm, -9+6 mm, -6+3.36 mm ve -3.36+1 mm boyut gruplarına ayrılmış ve her bir fraksiyonda besleme hızı, bant hızı, arka ve ön bıçak açıları ve temizleme kademelerinin etkilerini görmek amacıyla manyetik ayırma deneyleri; REMS'de zenginleştirmeye sokulmayan -1 mm'lik

fraksiyonda ise sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.13’de yüksek alan şiddetli REMS görülmektedir.



Şekil 4.13: Yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcı (REMS).

4.4.1.1 -13+9 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-13+9 mm fraksiyonunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde ilk olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 70° ve ön bıçak açısı 110° olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.4’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.14’de verilmektedir.

-13+9 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 80 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %48,40 olarak bulunmuştur.

4.4.1.2 -9+6 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-9+6 mm fraksiyonunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 60° ve ön bıçak açısı 100° olarak sabit

tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.5’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.15’de verilmektedir.

-9+6 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 70 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %48,40; verimi ise %70 olarak bulunmuştur.

4.4.1.3 -6+3,36 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-6+3,36 mm fraksiyonunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 70° ve ön bıçak açısı 110° olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.6’da, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.16’da verilmektedir.

-6+3,36 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 80 devir/dakikada elde edilmiştir. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %47,70 olarak bulunmuştur. Bu değerinde Fe_2O_3 kazanma verimi ise %72,7 olarak hesaplanmıştır.

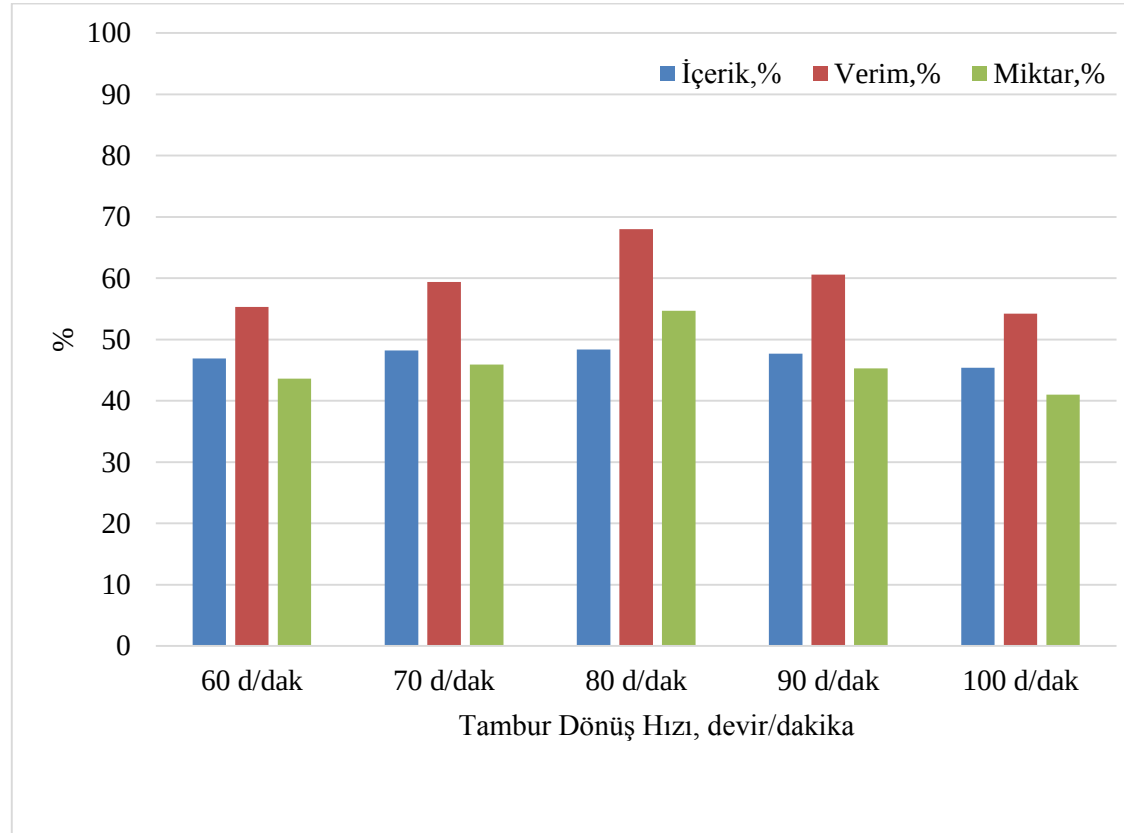
4.4.1.4 -3,36+1 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-3,36+1 mm fraksiyonunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 50° ve ön bıçak açısı 110° olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.7’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.17’de verilmektedir.

Son boyut grubu olan -3,36+1 mm boyut grubunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği deneylerde ise Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız yine 80 devir/dakikada bulunmuştur. Bu boyutta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %50,85; Fe_2O_3 kazanma verimi ise %81,4 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 : -13+9 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

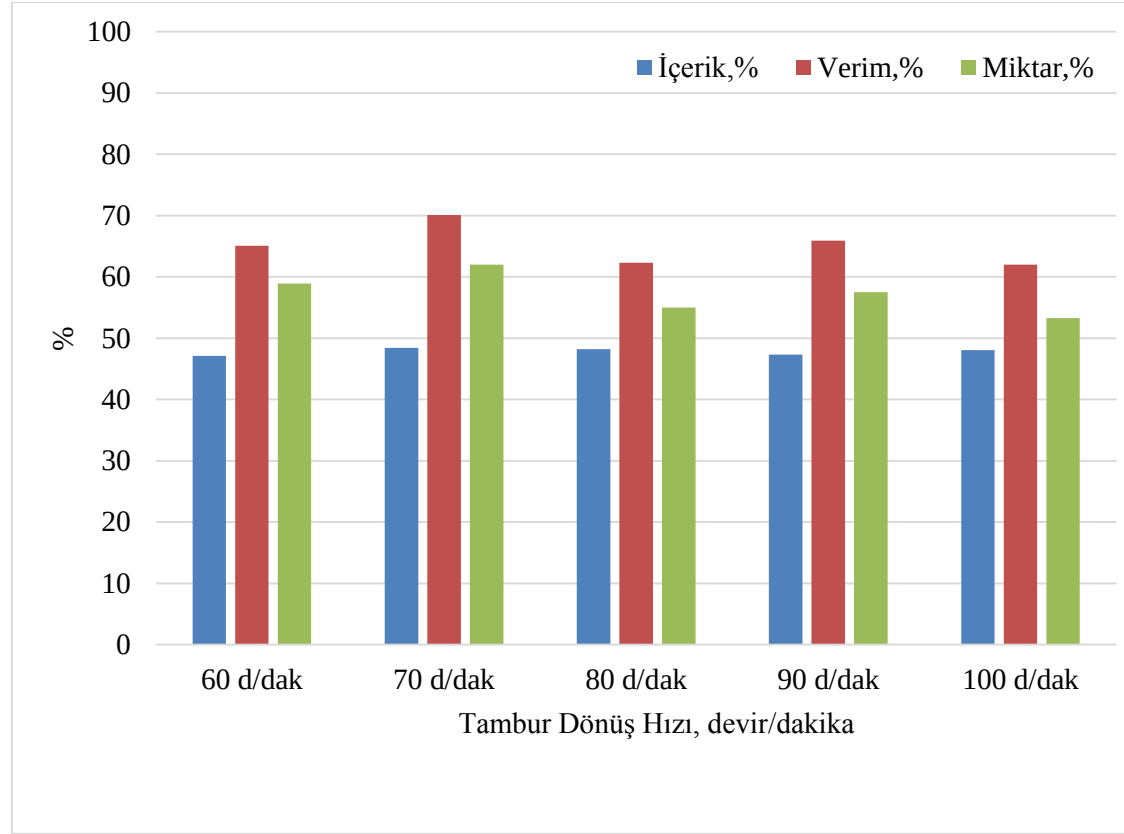
Boyut Aralığı, mm	Tambur Dönüş Hızı, d/dak	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	60	Manyetik Ürün	43,6	18,20	60,2	46,90	55,3	11,30	19,2
		Ara Ürün	28,6	13,25	28,8	42,00	32,5	13,40	15,0
		Manyetik Olmayan Ürün	27,8	5,20	11,0	16,15	12,2	60,50	65,8
		Toplam	100,0	13,17	100,0	36,94	100,0	25,60	100,0
	70	Manyetik Ürün	45,9	18,60	63,2	48,20	59,4	10,50	18,0
		Ara Ürün	24,7	14,65	26,8	41,90	27,8	14,20	13,1
		Manyetik Olmayan Ürün	29,4	4,61	10,0	16,20	12,8	62,70	68,9
		Toplam	100,0	13,51	100,0	37,23	100,0	26,77	100,0
	80	Manyetik Ürün	54,7	18,75	73,8	48,40	68,0	10,27	23,3
		Ara Ürün	22,5	12,55	20,3	39,50	22,8	15,70	14,6
		Manyetik Olmayan Ürün	22,8	3,57	5,9	15,75	9,2	65,70	62,1
		Toplam	100,0	13,90	100,0	38,97	100,0	24,16	100,0
	90	Manyetik Ürün	45,3	18,70	65,4	47,70	60,6	10,80	17,3
		Ara Ürün	20,4	13,80	21,7	39,90	22,8	15,60	11,2
		Manyetik Olmayan Ürün	34,3	4,88	12,9	17,25	16,6	59,00	71,5
		Toplam	100,0	12,96	100,0	35,67	100,0	28,31	100,0
	100	Manyetik Ürün	41,0	18,40	57,4	45,40	54,2	11,60	16,2
		Ara Ürün	19,1	15,20	22,1	38,90	21,6	15,65	10,2
		Manyetik Olmayan Ürün	39,9	6,73	20,5	20,75	24,2	53,90	73,6
		Toplam	100,0	13,13	100,0	34,31	100,0	29,27	100,0



Şekil 4. 14: -13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).

Çizelge 4.5 : -9+6 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

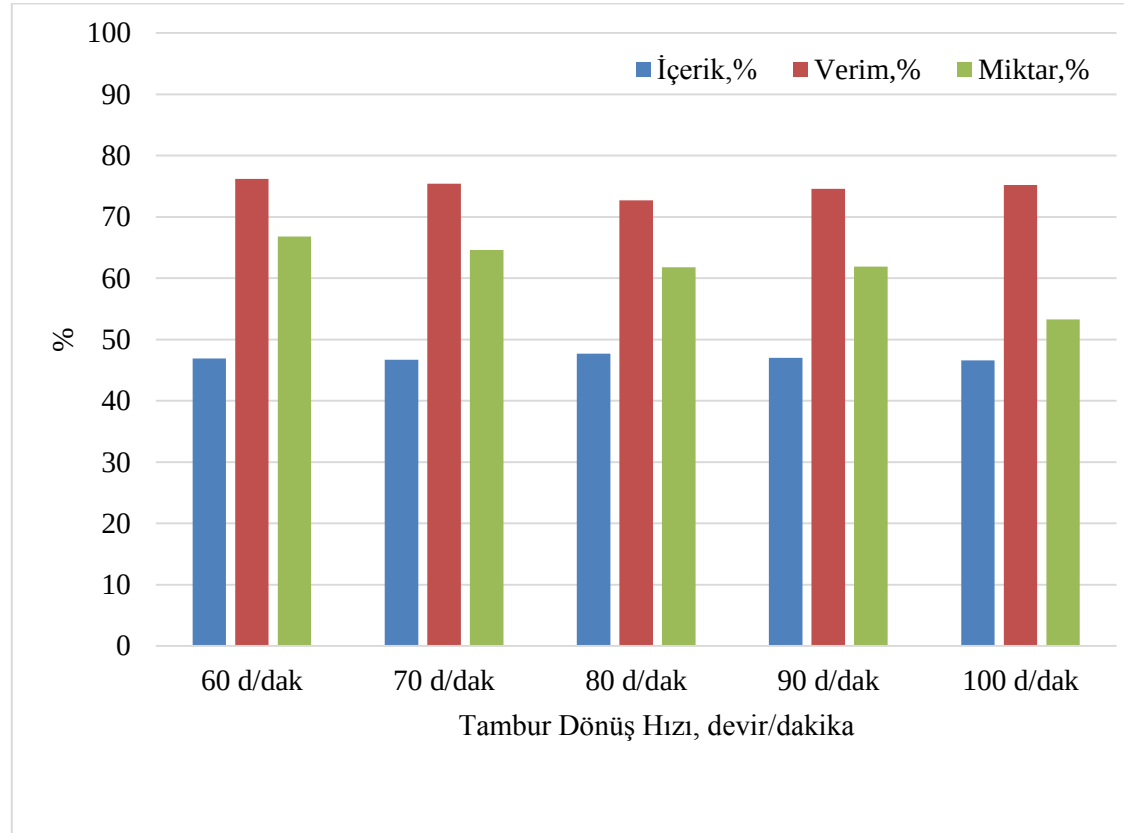
Boyut Aralığı, mm	Tambur Dönüş Hızı, d/dak	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-9+6	60	Manyetik Ürün	58,9	17,75	73,4	47,10	65,1	12,70	33,5
		Ara Ürün	33,0	10,35	24,0	41,30	32,0	28,50	42,1
		Manyetik Olmayan Ürün	8,1	4,62	2,6	15,25	2,9	66,90	24,3
		Toplam	100,0	14,25	100,0	42,61	100,0	22,30	100,0
	70	Manyetik Ürün	62,0	18,20	77,6	48,40	70,1	11,85	34,1
		Ara Ürün	28,3	10,05	19,6	40,20	26,6	26,72	35,0
		Manyetik Olmayan Ürün	9,7	4,24	2,8	14,55	3,3	68,62	30,9
		Toplam	100,0	14,54	100,0	42,79	100,0	21,57	100,0
	80	Manyetik Ürün	55,0	17,85	71,9	48,22	62,3	12,50	29,7
		Ara Ürün	30,9	10,68	24,1	45,10	32,7	22,50	30,0
		Manyetik Olmayan Ürün	14,1	3,86	4,0	14,95	5,0	66,10	40,3
		Toplam	100,0	13,66	100,0	42,56	100,0	23,16	100,0
	90	Manyetik Ürün	57,5	17,25	73,8	47,30	65,9	12,75	28,5
		Ara Ürün	22,9	11,27	19,2	45,44	25,2	22,30	19,9
		Manyetik Olmayan Ürün	19,6	4,82	7,0	18,75	8,9	67,80	51,6
		Toplam	100,0	13,45	100,0	41,28	100,0	25,71	100,0
	100	Manyetik Ürün	53,3	17,75	69,6	48,05	62,0	12,30	24,2
		Ara Ürün	23,2	12,35	21,1	46,80	26,3	19,70	16,9
		Manyetik Olmayan Ürün	23,5	5,36	9,3	20,50	11,7	67,90	58,9
		Toplam	100,0	13,59	100,0	41,29	100,0	27,08	100,0



Şekil 4. 15: -9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).

Çizelge 4.6 : -6+3,36 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

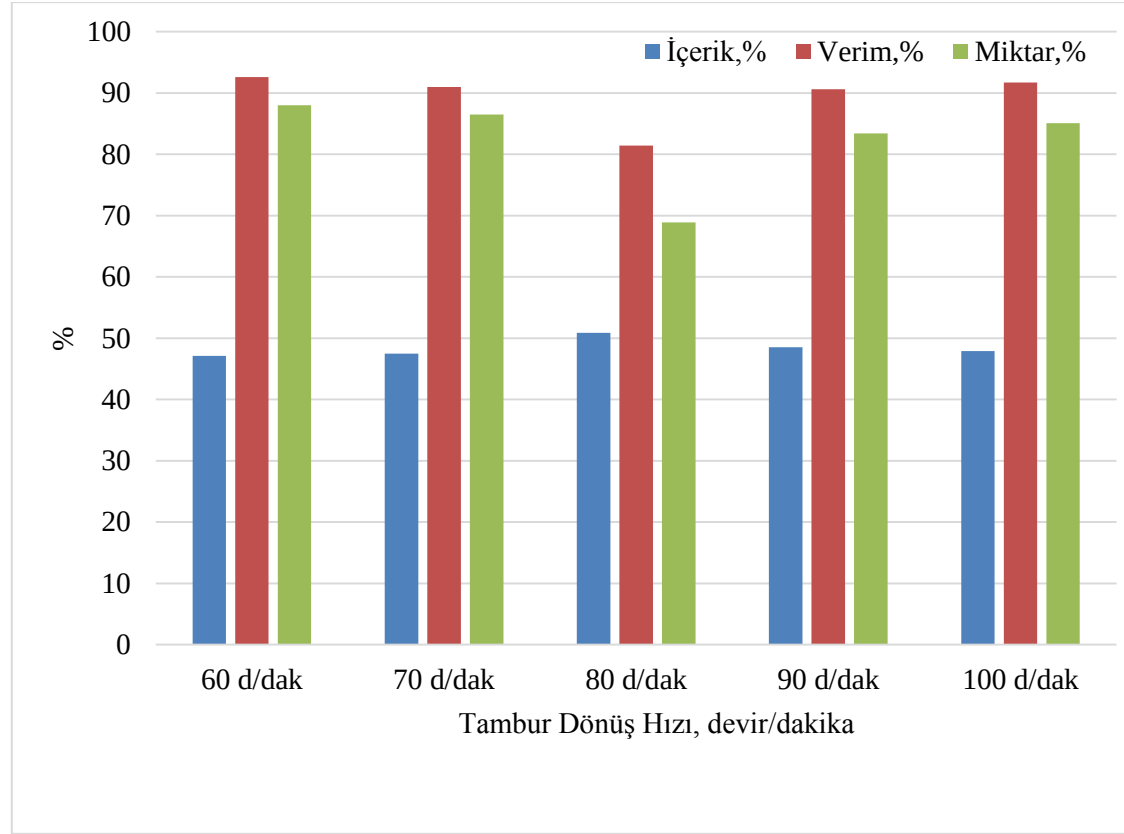
Boyut Aralığı, mm	Tambur Dönüş Hızı, d/dak	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-6+3,36	60	Manyetik Ürün	66,8	16,95	81,2	46,90	76,2	14,20	35,7
		Ara Ürün	18,0	11,23	14,5	40,60	17,8	37,30	25,2
		Manyetik Olmayan Ürün	15,2	3,98	4,3	16,25	6,0	68,00	39,0
		Toplam	100,0	13,95	100,0	41,10	100,0	26,55	100,0
	70	Manyetik Ürün	64,6	16,80	79,6	46,70	75,4	12,70	30,7
		Ara Ürün	18,0	12,10	15,9	38,95	17,5	36,40	24,5
		Manyetik Olmayan Ürün	17,4	3,51	4,5	16,40	7,1	68,80	44,8
		Toplam	100,0	13,64	100,0	40,03	100,0	26,73	100,0
	80	Manyetik Ürün	61,8	17,50	79,0	47,70	72,7	11,00	25,7
		Ara Ürün	20,9	11,68	17,8	39,55	20,3	35,60	28,1
		Manyetik Olmayan Ürün	17,3	2,52	3,2	16,30	7,0	70,50	46,2
		Toplam	100,0	13,69	100,0	40,56	100,0	26,44	100,0
	90	Manyetik Ürün	61,9	16,90	80,4	47,00	74,6	12,30	28,1
		Ara Ürün	15,4	10,94	12,9	38,90	15,3	35,00	19,9
		Manyetik Olmayan Ürün	22,7	3,84	6,7	17,25	10,0	62,10	52,0
		Toplam	100,0	13,02	100,0	39,00	100,0	27,10	100,0
	100	Manyetik Ürün	63,2	16,00	80,9	46,60	75,2	13,80	31,5
		Ara Ürün	13,9	10,51	11,7	37,80	13,4	34,50	17,3
		Manyetik Olmayan Ürün	22,9	4,03	7,4	19,50	11,4	62,00	51,2
		Toplam	100,0	12,50	100,0	39,17	100,0	27,71	100,0



Şekil 4. 16: -6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).

Çizelge 4.7 : -3,36+1 mm boyutunda tambur dönüş hızının etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Tambur Dönüş Hızı, d/dak	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-3,36+1	60	Manyetik Ürün	88,0	16,30	91,9	47,10	92,6	17,75	80,7
		Ara Ürün	9,5	12,39	7,5	32,10	6,8	22,80	11,2
		Manyetik Olmayan Ürün	2,5	3,48	0,6	10,54	0,6	63,50	8,1
		Toplam	100,0	15,60	100,0	44,75	100,0	19,35	100,0
	70	Manyetik Ürün	86,5	16,95	92,0	47,50	91,0	17,30	78,6
		Ara Ürün	10,2	11,61	7,4	36,85	8,3	18,00	9,7
		Manyetik Olmayan Ürün	3,3	2,74	0,6	9,95	0,7	68,20	11,7
		Toplam	100,0	15,94	100,0	45,19	100,0	19,03	100,0
	80	Manyetik Ürün	68,9	17,55	84,2	50,85	81,4	10,21	36,4
		Ara Ürün	17,9	10,77	13,4	37,70	15,7	17,10	15,8
		Manyetik Olmayan Ürün	13,2	2,61	2,4	9,65	3,0	70,10	47,8
		Toplam	100,0	14,37	100,0	43,08	100,0	19,36	100,0
	90	Manyetik Ürün	83,4	15,42	90,7	48,50	90,6	15,46	65,6
		Ara Ürün	10,8	10,66	8,2	32,76	8,0	26,00	14,4
		Manyetik Olmayan Ürün	5,8	2,78	1,1	10,95	1,4	68,32	20,0
		Toplam	100,0	14,18	100,0	44,63	100,0	19,65	100,0
	100	Manyetik Ürün	85,1	15,80	92,7	47,90	91,7	16,80	69,1
		Ara Ürün	8,7	10,20	6,1	35,10	6,8	25,90	10,8
		Manyetik Olmayan Ürün	6,2	2,90	1,2	10,85	1,5	66,70	20,1
		Toplam	100,0	14,51	100,0	44,49	100,0	20,70	100,0



Şekil 4. 17: -3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (tambur dönüş hızı için).

4.4.1.5 -13+9 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-13+9 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde ilk olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.8’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.18’de verilmektedir.

-13+9 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en uygun hız 110 derecede elde edilmiştir.

4.4.1.6 -9+6 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-9+6 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 60° ve tambur dönüş hızı 70 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.9’da, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.19’da verilmektedir.

-9+6 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 100 derecede elde edilmiştir.

4.4.1.7 -6+3,36 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-6+3,36 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.10’da, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.20’de verilmektedir.

-6+3,36 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 110 derecede elde edilmiştir. Bu grupta elde edilen manyetik ürünün Fe_2O_3 içeriği %47,70 iken Fe_2O_3 kazanma verimi %72,7 olarak hesaplanmıştır.

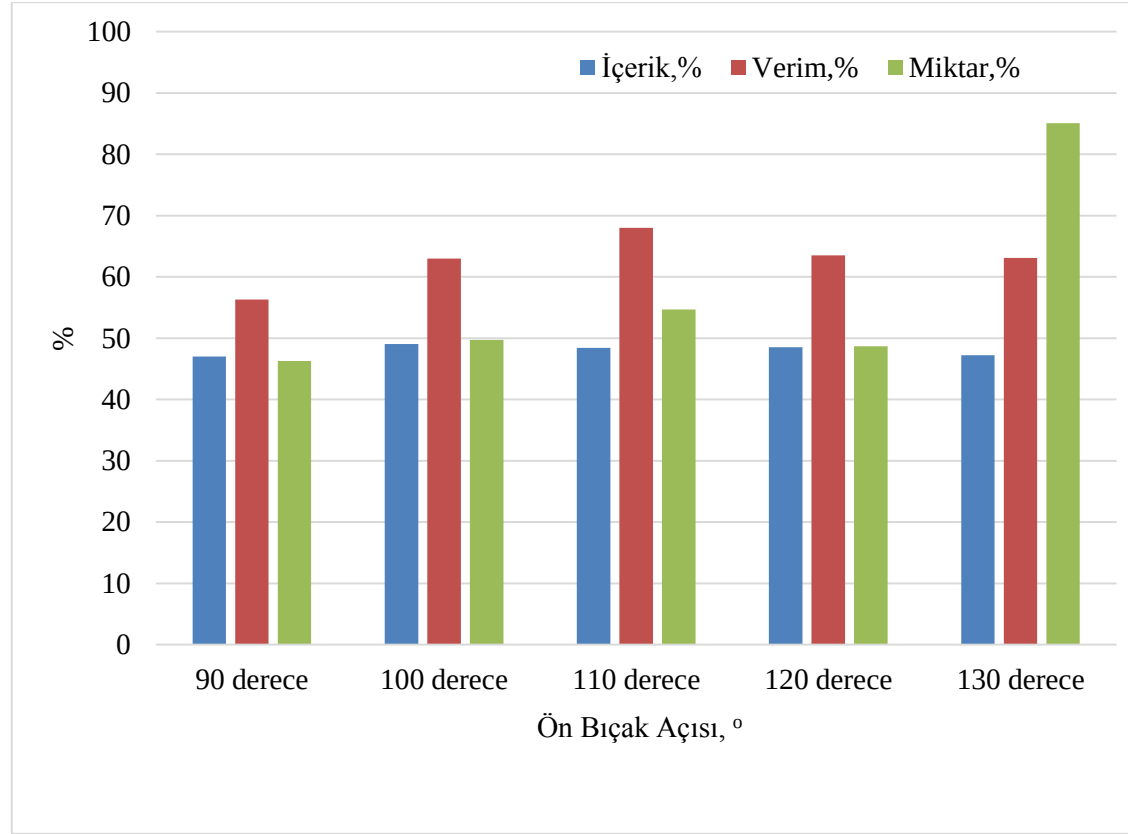
4.4.1.8 -3,36+1 mm boyutunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-3,36+1 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, arka bıçak açısı 50° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.11’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.21’de verilmektedir.

-3,36+1 mm boyut grubunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde Fe_2O_3 içeriği ve verimi açısından en iyi değer 110 derecede elde edilmiştir.

Çizelge 4.8 : -13+9 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

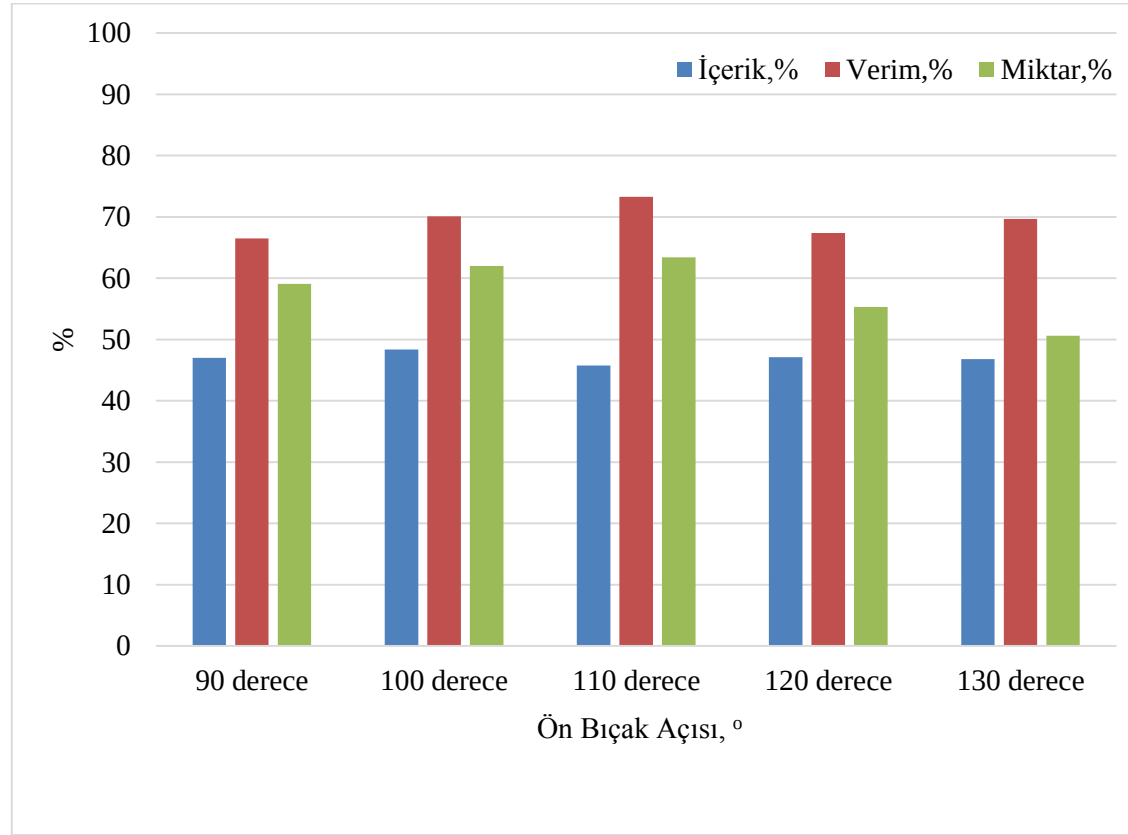
Boyut Aralığı, mm	Ön Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	90	Manyetik Ürün	46,3	17,56	59,0	47,00	56,3	14,60	27,4
		Ara Ürün	52,6	10,68	40,7	31,80	43,2	32,70	69,6
		Manyetik Olmayan Ürün	1,1	3,55	0,3	16,75	0,5	66,20	3,0
		Toplam	100,0	13,79	100,0	38,67	100,0	24,69	100,0
	100	Manyetik Ürün	49,7	17,75	65,6	49,02	63,0	12,30	24,3
		Ara Ürün	36,1	11,15	30,0	33,33	31,2	26,60	38,1
		Manyetik Olmayan Ürün	14,2	4,15	4,4	15,80	5,8	66,60	37,6
		Toplam	100,0	13,44	100,0	38,65	100,0	25,20	100,0
	110	Manyetik Ürün	54,7	18,75	73,8	48,40	68,0	10,27	23,3
		Ara Ürün	22,5	12,55	20,3	39,50	22,8	15,70	14,6
		Manyetik Olmayan Ürün	22,8	3,57	5,9	15,75	9,2	65,70	62,1
		Toplam	100,0	13,90	100,0	38,97	100,0	24,16	100,0
	120	Manyetik Ürün	48,7	16,75	62,3	48,50	63,5	11,50	18,7
		Ara Ürün	17,7	13,85	18,7	37,24	17,7	26,00	15,3
		Manyetik Olmayan Ürün	33,6	7,41	19,0	20,80	18,8	59,10	66,0
		Toplam	100,0	13,10	100,0	37,21	100,0	30,05	100,0
	130	Manyetik Ürün	50,6	16,45	63,9	47,20	63,1	12,40	21,1
		Ara Ürün	14,2	13,65	14,9	36,50	13,7	25,50	12,2
		Manyetik Olmayan Ürün	35,2	7,87	21,2	24,90	23,1	56,40	66,7
		Toplam	100,0	13,04	100,0	37,84	100,0	29,73	100,0



Şekil 4. 18: -13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).

Çizelge 4.9 : -9+6 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

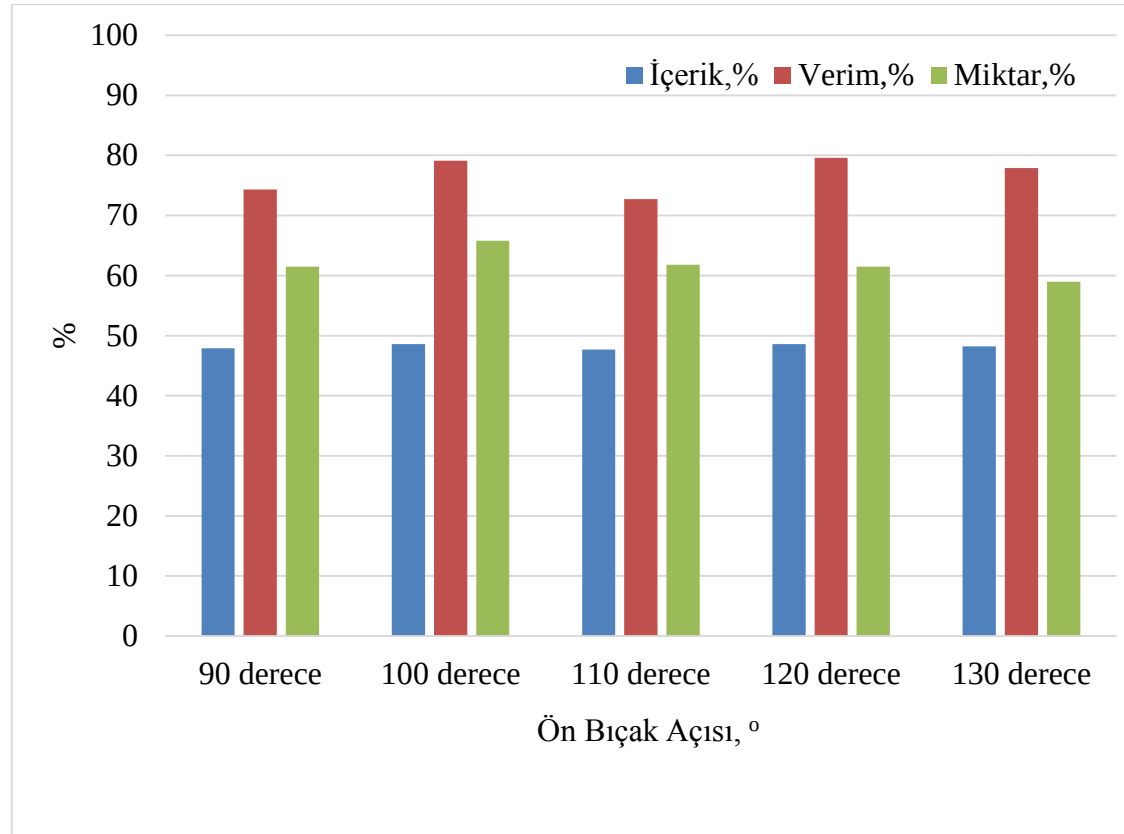
Boyut Aralığı, mm	Ön Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-9+6	90	Manyetik Ürün	59,1	17,40	75,7	47,00	66,5	13,80	33,2
		Ara Ürün	38,5	8,27	23,4	35,10	32,3	38,50	60,3
		Manyetik Olmayan Ürün	2,4	5,21	0,9	19,50	1,1	66,80	6,5
		Toplam	100,0	13,60	100,0	41,76	100,0	24,57	100,0
	100	Manyetik Ürün	62,0	18,20	77,6	48,40	70,1	11,85	34,1
		Ara Ürün	28,3	10,05	19,6	40,20	26,6	26,72	35,0
		Manyetik Olmayan Ürün	9,7	4,24	2,8	14,55	3,3	68,62	30,9
		Toplam	100,0	14,54	100,0	42,79	100,0	21,57	100,0
	110	Manyetik Ürün	63,4	16,75	80,0	45,75	73,3	13,40	32,3
		Ara Ürün	18,1	11,25	15,4	39,00	17,9	27,20	18,8
		Manyetik Olmayan Ürün	18,5	3,31	4,6	18,85	8,8	69,40	48,9
		Toplam	100,0	13,27	100,0	39,55	100,0	26,26	100,0
	120	Manyetik Ürün	55,3	16,80	71,3	47,10	67,4	13,70	34,2
		Ara Ürün	12,7	12,52	12,2	38,60	12,7	29,45	16,9
		Manyetik Olmayan Ürün	32,0	6,71	16,5	24,00	19,9	33,90	48,9
		Toplam	100,0	13,03	100,0	38,63	100,0	22,17	100,0
	130	Manyetik Ürün	57,1	16,85	72,3	46,80	69,7	14,50	36,0
		Ara Ürün	8,8	13,45	8,9	33,10	7,6	28,20	10,8
		Manyetik Olmayan Ürün	34,1	7,37	18,8	25,53	22,7	35,90	53,2
		Toplam	100,0	13,32	100,0	38,35	100,0	22,99	100,0



Şekil 4. 19: -9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).

Çizelge 4.10 : -6+3,36 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

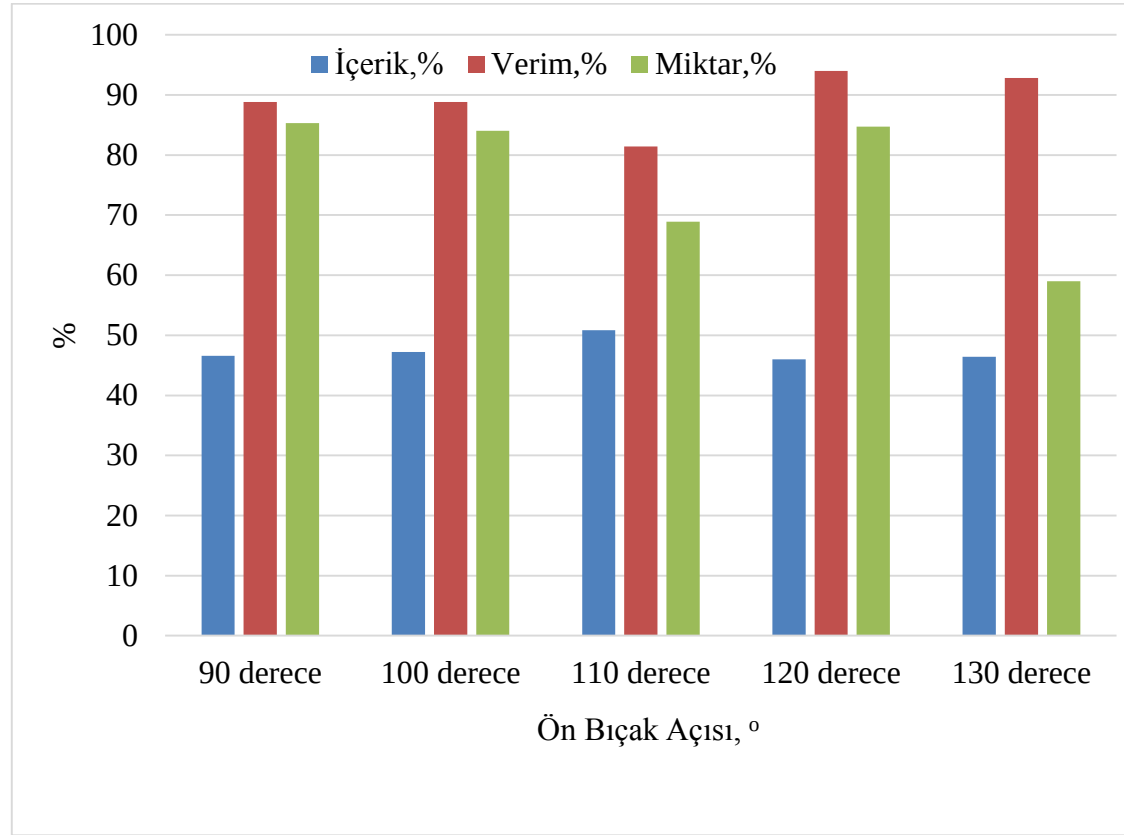
Boyut Aralığı, mm	Ön Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-6+3,36	90	Manyetik Ürün	61,5	16,90	73,9	47,90	74,3	14,80	38,2
		Ara Ürün	37,7	9,63	25,8	26,70	25,4	37,80	60,0
		Manyetik Olmayan Ürün	0,8	5,52	0,3	14,71	0,3	55,10	1,8
		Toplam	100,0	14,07	100,0	39,64	100,0	23,79	100,0
	100	Manyetik Ürün	65,8	17,25	79,8	48,60	79,1	14,20	38,3
		Ara Ürün	25,8	9,38	17,0	28,57	18,2	37,50	39,7
		Manyetik Olmayan Ürün	8,4	5,45	3,2	13,15	2,7	64,32	22,0
		Toplam	100,0	14,23	100,0	40,46	100,0	24,41	100,0
	110	Manyetik Ürün	61,8	17,50	79,0	47,70	72,7	11,00	25,7
		Ara Ürün	20,9	11,68	17,8	39,55	20,3	35,60	28,1
		Manyetik Olmayan Ürün	17,3	2,52	3,2	16,30	7,0	70,50	46,2
		Toplam	100,0	13,69	100,0	40,56	100,0	26,44	100,0
	120	Manyetik Ürün	61,5	16,90	79,4	48,60	79,6	11,60	26,6
		Ara Ürün	10,7	10,20	8,3	33,40	9,5	32,90	13,1
		Manyetik Olmayan Ürün	27,8	5,79	12,3	14,75	10,9	58,10	60,3
		Toplam	100,0	13,09	100,0	37,56	100,0	26,81	100,0
	130	Manyetik Ürün	59,0	16,75	75,8	48,20	77,9	11,40	23,4
		Ara Ürün	7,8	10,45	6,2	30,00	6,4	34,00	9,2
		Manyetik Olmayan Ürün	33,2	7,07	18,0	17,25	15,7	58,30	67,4
		Toplam	100,0	13,05	100,0	36,53	100,0	28,74	100,0



Şekil 4. 20: -6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe₂O₃ içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).

Çizelge 4.11 : -3,36+1 mm boyutunda ön bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ön Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-3,36+1	90	Manyetik Ürün	85,3	16,20	88,2	46,60	88,8	15,00	63,0
		Ara Ürün	14,3	12,80	11,7	34,55	11,1	50,70	35,8
		Manyetik Olmayan Ürün	0,4	5,40	0,1	16,10	0,1	59,30	1,2
		Toplam	100,0	15,68	100,0	44,77	100,0	20,30	100,0
	100	Manyetik Ürün	84,0	16,80	88,8	47,20	88,8	14,10	62,4
		Ara Ürün	15,0	11,51	10,9	32,35	10,9	43,00	34,1
		Manyetik Olmayan Ürün	1,0	5,32	0,3	13,70	0,3	64,90	3,5
		Toplam	100,0	15,89	100,0	44,63	100,0	18,96	100,0
	110	Manyetik Ürün	68,9	17,55	84,2	50,85	81,4	10,21	36,4
		Ara Ürün	17,9	10,77	13,4	37,70	15,7	17,10	15,8
		Manyetik Olmayan Ürün	13,2	2,61	2,4	9,65	3,0	70,10	47,8
		Toplam	100,0	14,37	100,0	43,08	100,0	19,36	100,0
	120	Manyetik Ürün	84,7	16,35	91,8	46,00	94,0	12,90	55,7
		Ara Ürün	6,8	11,81	5,3	20,10	3,3	43,10	15,0
		Manyetik Olmayan Ürün	8,5	5,10	2,9	13,10	2,7	67,40	29,3
		Toplam	100,0	15,09	100,0	41,45	100,0	19,62	100,0
	130	Manyetik Ürün	82,2	16,85	90,7	46,40	92,8	13,28	51,8
		Ara Ürün	6,5	11,90	5,0	21,35	3,4	41,10	12,6
		Manyetik Olmayan Ürün	11,3	5,78	4,3	13,75	3,8	66,20	35,6
		Toplam	100,0	15,28	100,0	41,08	100,0	21,07	100,0



Şekil 4. 21: -3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe₂O₃ içeriği ve miktarı (ön bıçak açısı için).

4.4.1.9 -13+9 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-13+9 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde ilk olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 110° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.12’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.22’de verilmektedir.

-13+9 mm boyut grubunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği deneylerde 70 derecelik arka bıçak açısı en iyi değer olarak optimize edilmiştir.

4.4.1.10 -9+6 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-9+6 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 100° ve tambur dönüş hızı 70 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.13’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.23’de verilmektedir.

-9+6 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 60 derecede elde edilmiştir.

4.4.1.11 -6+3,36 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-6+3,36 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 100° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.14’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.24’de verilmektedir.

-6+3,36 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 70 derecede elde edilmiştir.

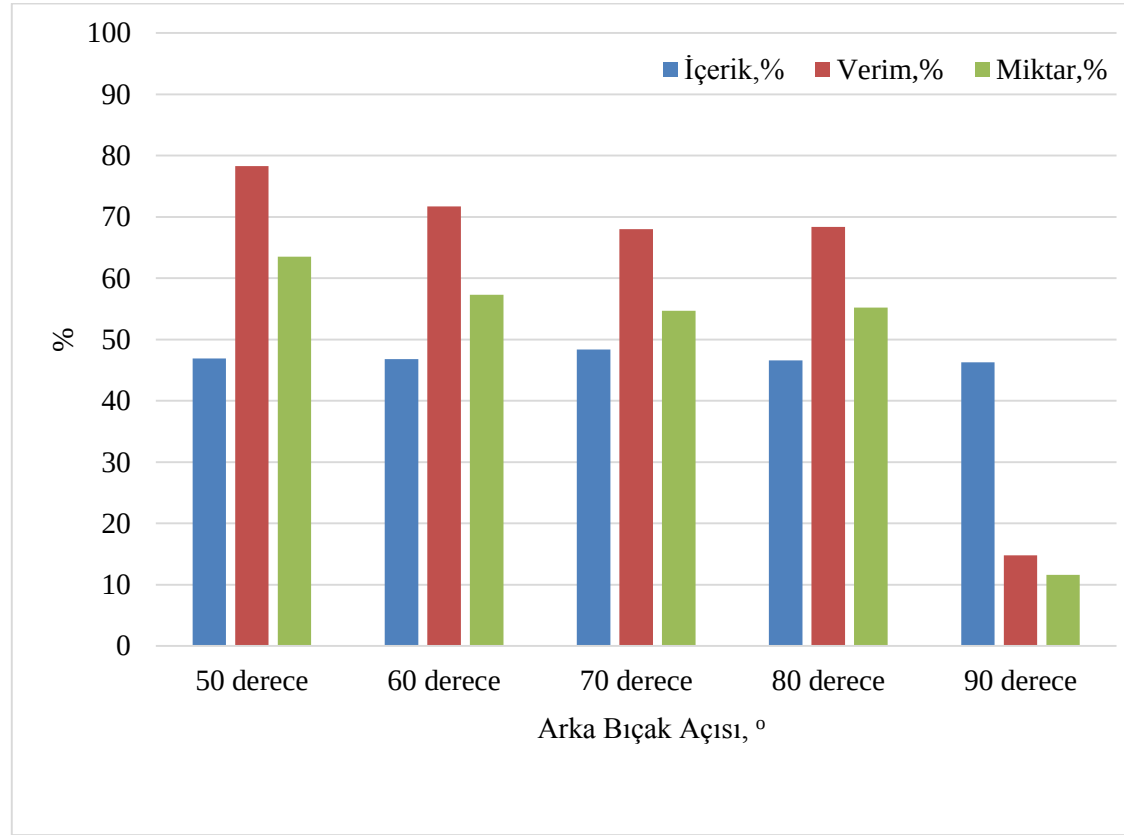
4.4.1.12 -3,36+1 mm boyutunda arka bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-3,36+1 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 110° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 4.15’de, fraksiyonel bazdaki Fe_2O_3 içerikleri ve miktarları ise Şekil 4.25’de verilmektedir.

-3,36+1 mm boyut grubunda gerçekleştirilen deneyin sonucunda ise en iyi sonuç 50 derecede elde edilmiştir. Bu fraksiyonda %50,85 Fe₂O₃ içeren bir manyetik ürün %81,4 verim ile elde edilmektedir.

Çizelge 4.12 : -13+9 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

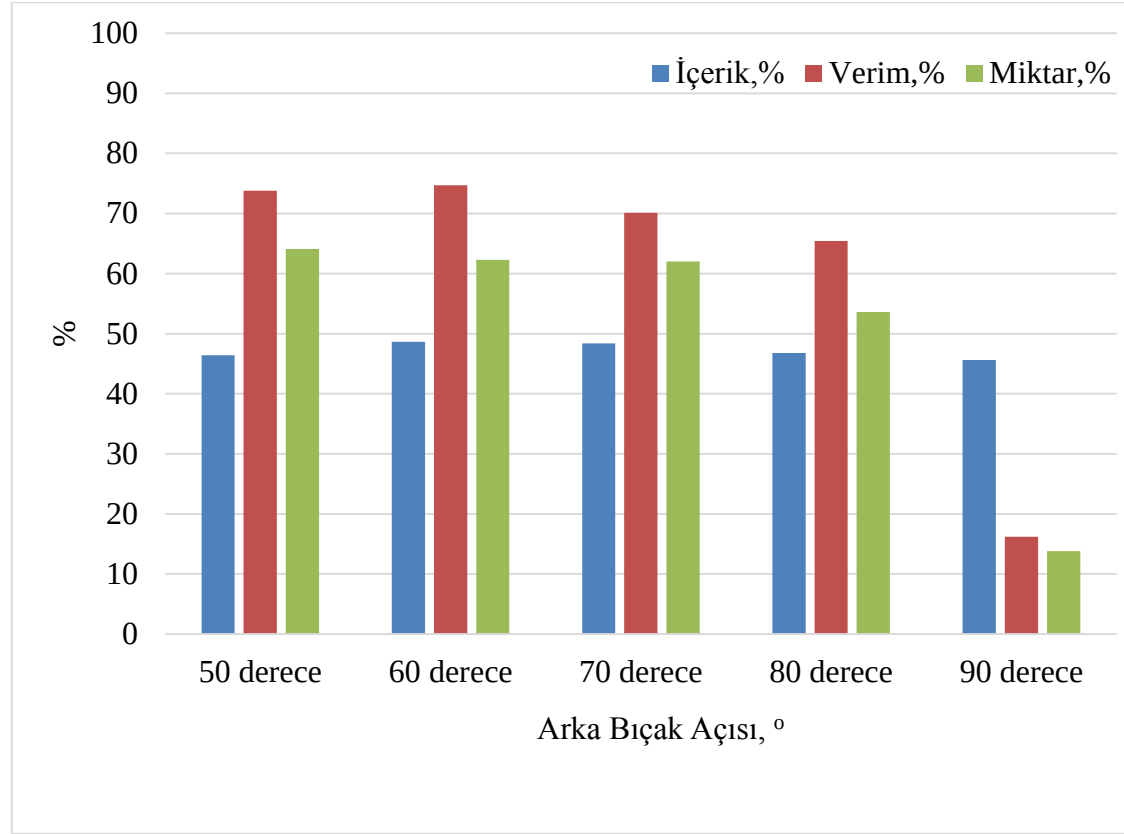
Boyut Aralığı, mm	Arka Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	50	Manyetik Ürün	63,5	17,10	80,1	46,90	78,3	14,10	32,9
		Ara Ürün	15,1	10,30	11,5	31,20	12,4	33,50	18,5
		Manyetik Olmayan Ürün	21,4	5,30	8,4	16,55	9,3	61,80	48,6
		Toplam	100,0	13,55	100,0	38,03	100,0	27,25	100,0
	60	Manyetik Ürün	57,3	17,35	72,1	46,80	71,7	13,50	28,0
		Ara Ürün	22,9	12,40	20,6	32,30	19,8	29,70	24,6
		Manyetik Olmayan Ürün	19,8	5,08	7,3	16,00	8,5	66,20	47,4
		Toplam	100,0	13,79	100,0	37,39	100,0	27,63	100,0
	70	Manyetik Ürün	54,7	18,75	73,8	48,40	68,0	10,27	23,3
		Ara Ürün	22,5	12,55	20,3	39,50	22,8	15,70	14,6
		Manyetik Olmayan Ürün	22,8	3,57	5,9	15,75	9,2	65,70	62,1
		Toplam	100,0	13,90	100,0	38,97	100,0	24,16	100,0
	80	Manyetik Ürün	55,2	17,15	68,8	46,60	68,4	13,80	27,7
		Ara Ürün	25,6	12,70	23,6	32,80	22,3	28,60	26,7
		Manyetik Olmayan Ürün	19,2	5,44	7,6	18,20	9,3	65,20	45,6
		Toplam	100	13,76	100,0	37,61	100,0	27,46	100,0
	90	Manyetik Ürün	11,6	16,85	14,8	46,30	14,8	14,90	6,2
		Ara Ürün	65,9	15,04	74,7	40,56	73,6	17,90	42,4
		Manyetik Olmayan Ürün	22,5	6,18	10,5	18,75	11,6	63,60	51,4
		Toplam	100,0	13,26	100,0	36,32	100,0	27,82	100,0



Şekil 4. 22: -13+9 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe₂O₃ içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).

Çizelge 4.13 : -9+6 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

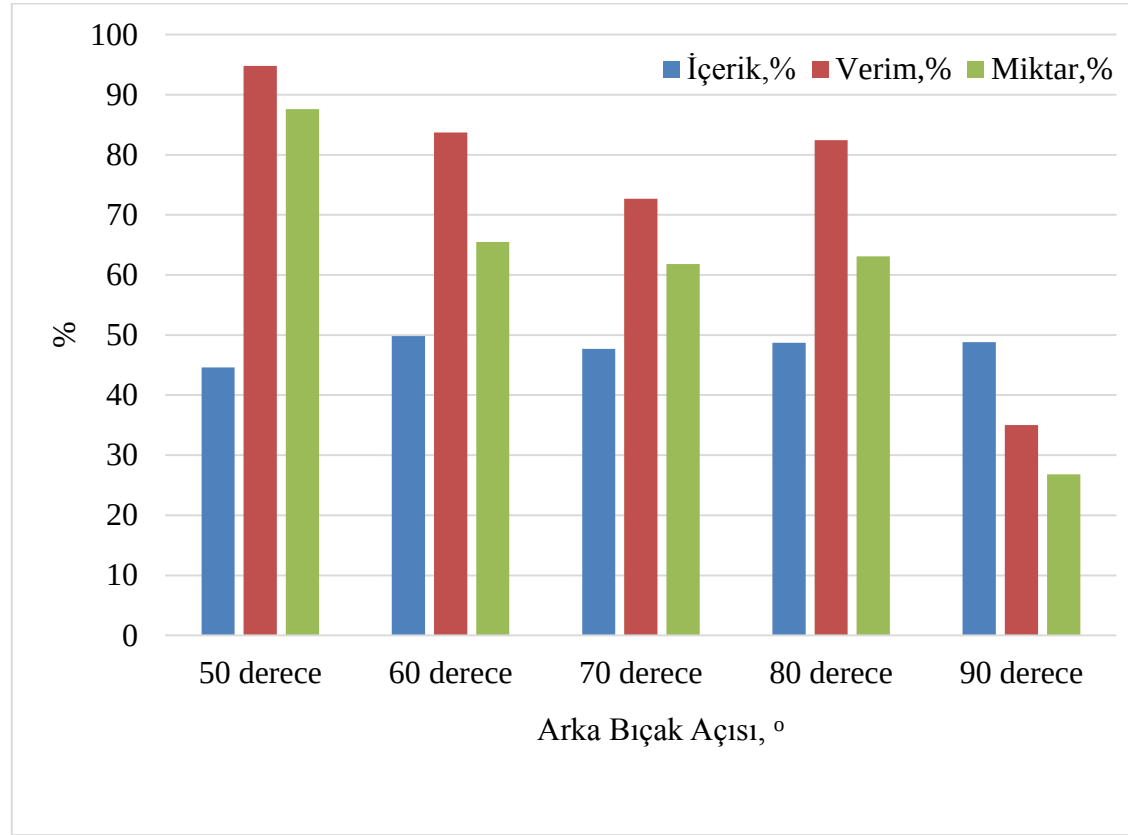
Boyut Aralığı, mm	Arka Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-9+6	50	Manyetik Ürün	64,1	16,15	78,4	46,40	73,8	14,30	36,8
		Ara Ürün	16,8	11,65	14,8	42,90	17,9	25,60	17,3
		Manyetik Olmayan Ürün	19,1	4,66	6,8	17,40	8,3	59,70	45,9
		Toplam	100,0	13,19	100,0	40,26	100,0	24,89	100,0
	60	Manyetik Ürün	62,3	17,25	79,8	48,67	74,7	13,70	33,3
		Ara Ürün	18,5	11,25	15,5	41,00	18,7	23,20	16,8
		Manyetik Olmayan Ürün	19,2	3,31	4,7	13,85	6,6	66,40	49,9
		Toplam	100,0	13,46	100,0	40,55	100,0	25,60	100,0
	70	Manyetik Ürün	62,0	18,20	77,6	48,40	70,1	11,85	34,1
		Ara Ürün	28,3	10,05	19,6	40,20	26,6	26,72	35,0
		Manyetik Olmayan Ürün	9,7	4,24	2,8	14,55	3,3	68,62	30,9
		Toplam	100,0	14,54	100,0	42,79	100,0	21,57	100,0
	80	Manyetik Ürün	53,6	16,45	68,1	46,80	65,4	14,40	28,7
		Ara Ürün	21,8	13,10	22,1	41,50	23,6	23,80	19,3
		Manyetik Olmayan Ürün	24,6	5,17	9,8	17,15	11,0	56,80	52,0
		Toplam	100,0	12,94	100,0	38,35	100,0	26,88	100,0
	90	Manyetik Ürün	13,8	16,90	18,0	45,60	16,2	13,80	6,3
		Ara Ürün	62,6	14,75	71,4	45,30	73,3	22,90	47,5
		Manyetik Olmayan Ürün	23,6	5,81	10,6	17,20	10,5	58,90	46,1
		Toplam	100,0	12,93	100,0	38,70	100,0	30,15	100,0



Şekil 4. 23: -9+6 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe₂O₃ içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).

Çizelge 4.14 : -6+3,36 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

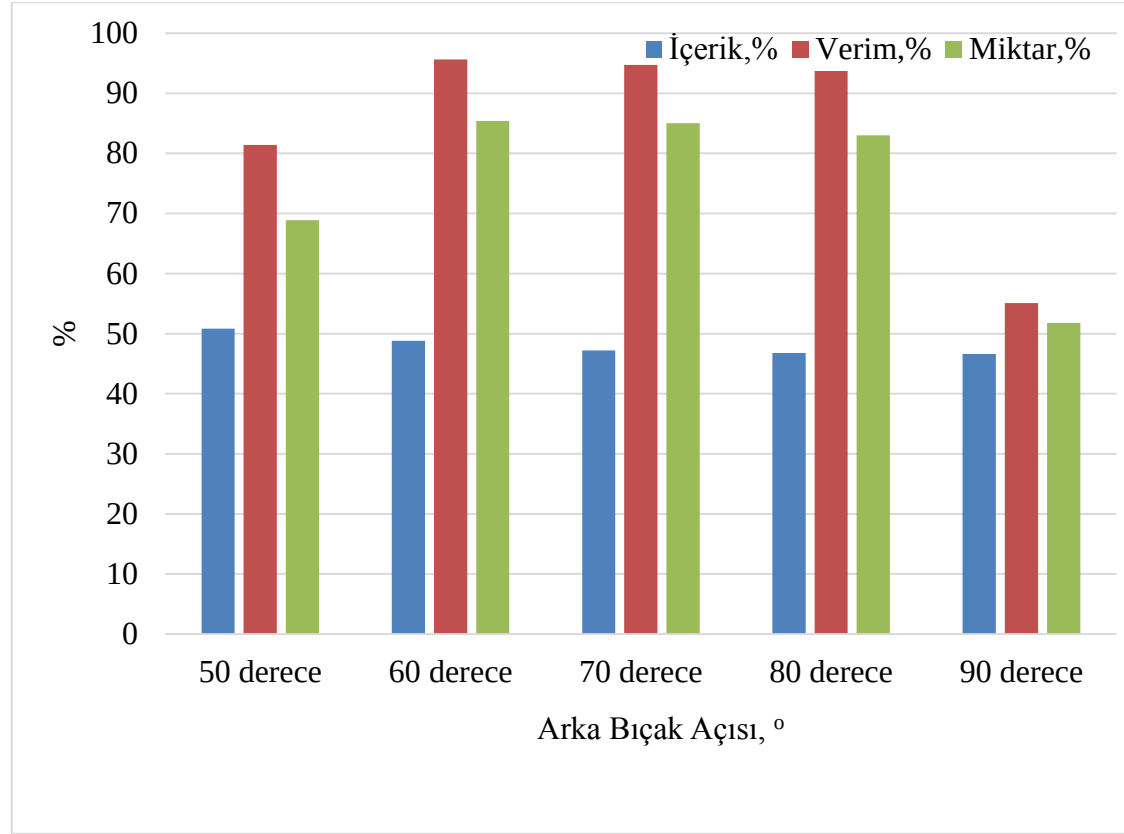
Boyut Aralığı, mm	Arka Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-6+3,36	50	Manyetik Ürün	87,6	14,75	94,8	44,60	94,8	17,60	67,9
		Ara Ürün	10,4	6,16	4,7	18,10	4,5	58,20	26,5
		Manyetik Olmayan Ürün	2,0	3,68	0,5	14,40	0,7	63,90	5,6
		Toplam	100,0	13,64	100,0	41,25	100,0	22,73	100,0
	60	Manyetik Ürün	65,5	17,10	86,9	49,80	83,7	11,10	29,5
		Ara Ürün	17,8	6,36	8,8	22,45	10,3	43,60	31,5
		Manyetik Olmayan Ürün	16,7	3,33	4,3	14,20	6,1	57,70	39,0
		Toplam	100,0	12,89	100,0	38,99	100,0	24,66	100,0
	70	Manyetik Ürün	61,8	17,50	79,0	47,70	72,7	11,00	25,7
		Ara Ürün	20,9	11,68	17,8	39,55	20,3	35,60	28,1
		Manyetik Olmayan Ürün	17,3	2,52	3,2	16,30	7,0	70,50	46,2
		Toplam	100,0	13,69	100,0	40,56	100,0	26,44	100,0
	80	Manyetik Ürün	63,1	16,95	84,2	48,70	82,4	11,50	28,2
		Ara Ürün	20,6	6,85	11,1	21,40	11,8	42,40	34,0
		Manyetik Olmayan Ürün	16,3	3,64	4,7	13,30	5,8	59,80	37,8
		Toplam	100,0	12,70	100,0	37,31	100,0	25,73	100,0
	90	Manyetik Ürün	26,8	15,60	33,8	48,80	35,0	10,90	11,8
		Ara Ürün	56,3	13,10	59,8	38,50	58,1	21,00	47,9
		Manyetik Olmayan Ürün	16,9	4,65	6,4	15,30	6,9	58,70	40,3
		Toplam	100,0	12,34	100,0	37,33	100,0	24,68	100,0



Şekil 4. 24: -6+3,36 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe₂O₃ içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).

Çizelge 4.15 : -3,36+1 mm boyutunda arka bıçak açısı etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

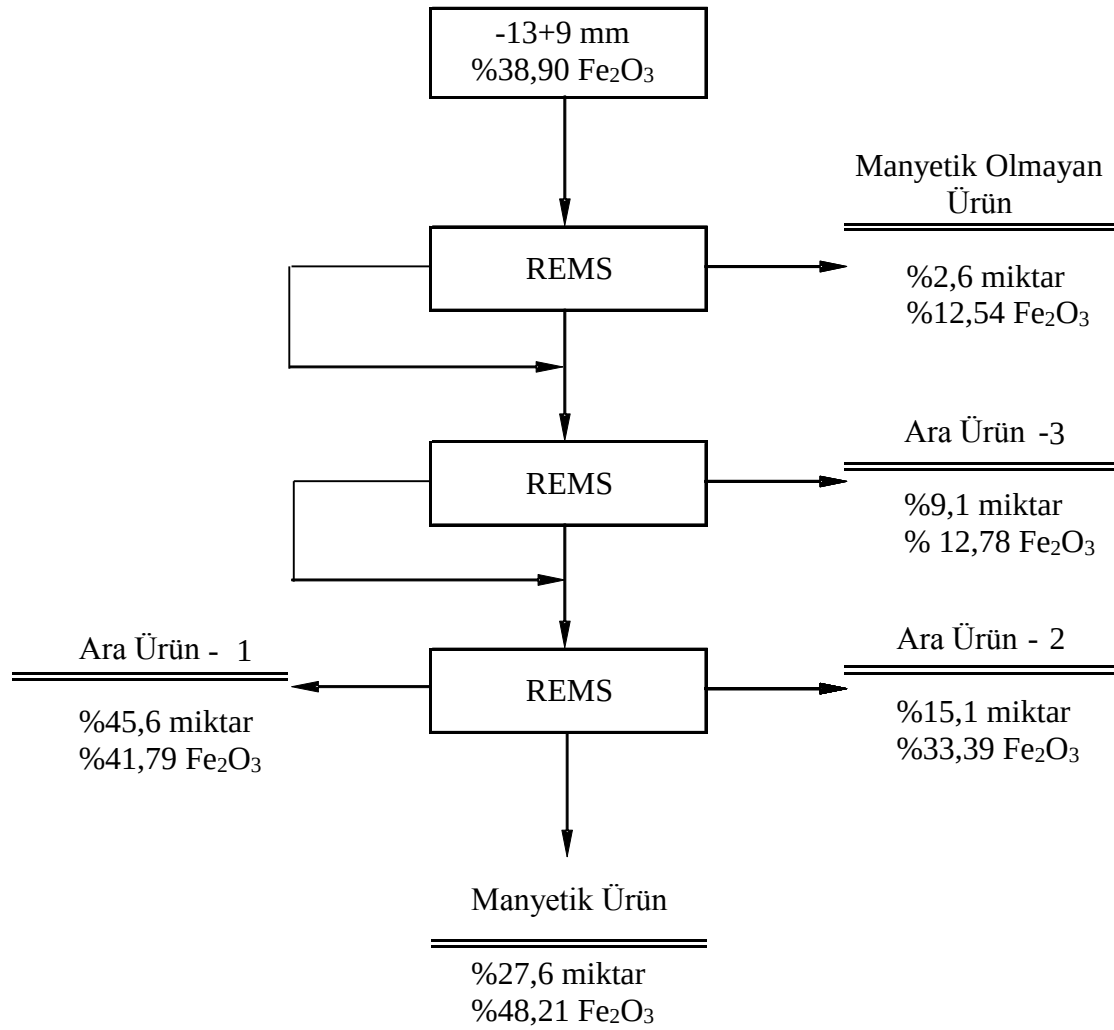
Boyut Aralığı, mm	Arka Bıçak Açısı, °	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-3,36+1	50	Manyetik Ürün	68,9	17,55	84,2	50,85	81,4	10,21	36,4
		Ara Ürün	17,9	10,77	13,4	37,70	15,7	17,10	15,8
		Manyetik Olmayan Ürün	13,2	2,61	2,4	9,65	3,0	70,10	47,8
		Toplam	100,0	14,37	100,0	43,08	100,0	19,36	100,0
	60	Manyetik Ürün	85,4	16,18	92,9	48,80	95,6	12,00	52,5
		Ara Ürün	11,8	7,50	6,0	13,35	3,6	63,10	38,2
		Manyetik Olmayan Ürün	2,8	6,16	1,1	12,90	0,8	66,00	9,3
		Toplam	100,0	14,88	100,0	43,62	100,0	19,52	100,0
	70	Manyetik Ürün	85,0	15,60	91,3	47,20	94,7	13,90	58,7
		Ara Ürün	11,9	8,80	7,2	15,20	4,3	53,00	31,2
		Manyetik Olmayan Ürün	3,1	7,20	1,5	13,60	1,0	65,70	10,1
		Toplam	100,0	14,52	100,0	42,33	100,0	20,13	100,0
	80	Manyetik Ürün	83,0	15,80	90,2	46,80	93,7	14,80	57,2
		Ara Ürün	13,8	8,73	8,3	15,60	5,2	51,80	33,4
		Manyetik Olmayan Ürün	3,2	6,77	1,5	14,00	1,1	64,10	9,4
		Toplam	100,0	14,54	100,0	41,45	100,0	21,48	100,0
	90	Manyetik Ürün	51,8	15,25	57,6	46,60	55,1	15,10	40,9
		Ara Ürün	45,4	12,23	40,5	42,30	43,9	21,10	50,1
		Manyetik Olmayan Ürün	2,8	9,01	1,8	15,80	1,0	61,30	8,9
		Toplam	100,0	13,70	100,0	43,79	100,0	19,11	100,0



Şekil 4. 25: -3,36+1 mm boyutunda elde edilen manyetik ürünlerin Fe_2O_3 içeriği ve miktarı (arka bıçak açısı için).

4.4.1.13 -13+9 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri

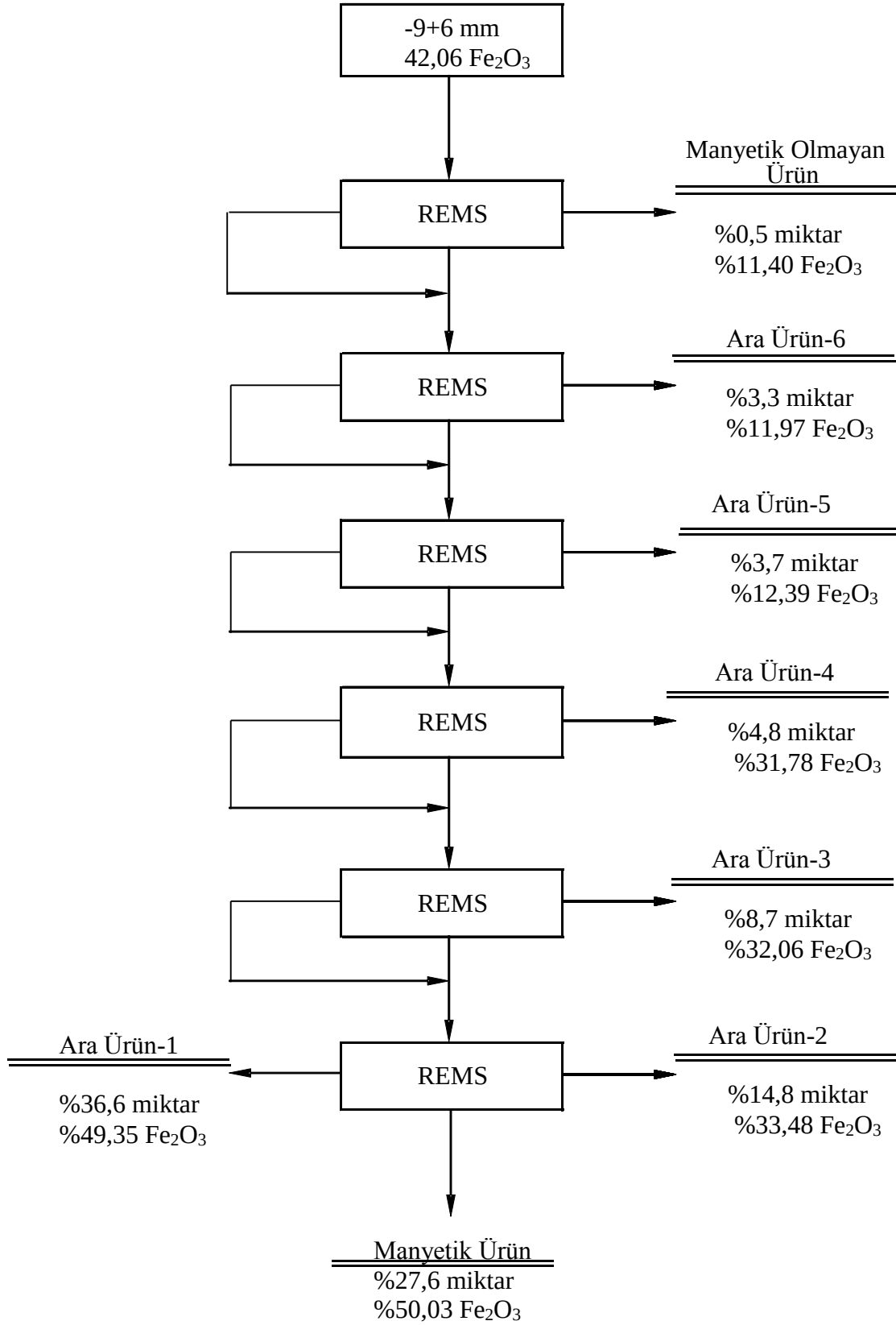
-13+9 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde ilk olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 110°, arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney akım şeması Şekil 4.26’da, sonuçları ise Çizelge 4.16’da verilmektedir.



Şekil 4.26: -13+9 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.

4.4.1.14 -9+6 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri

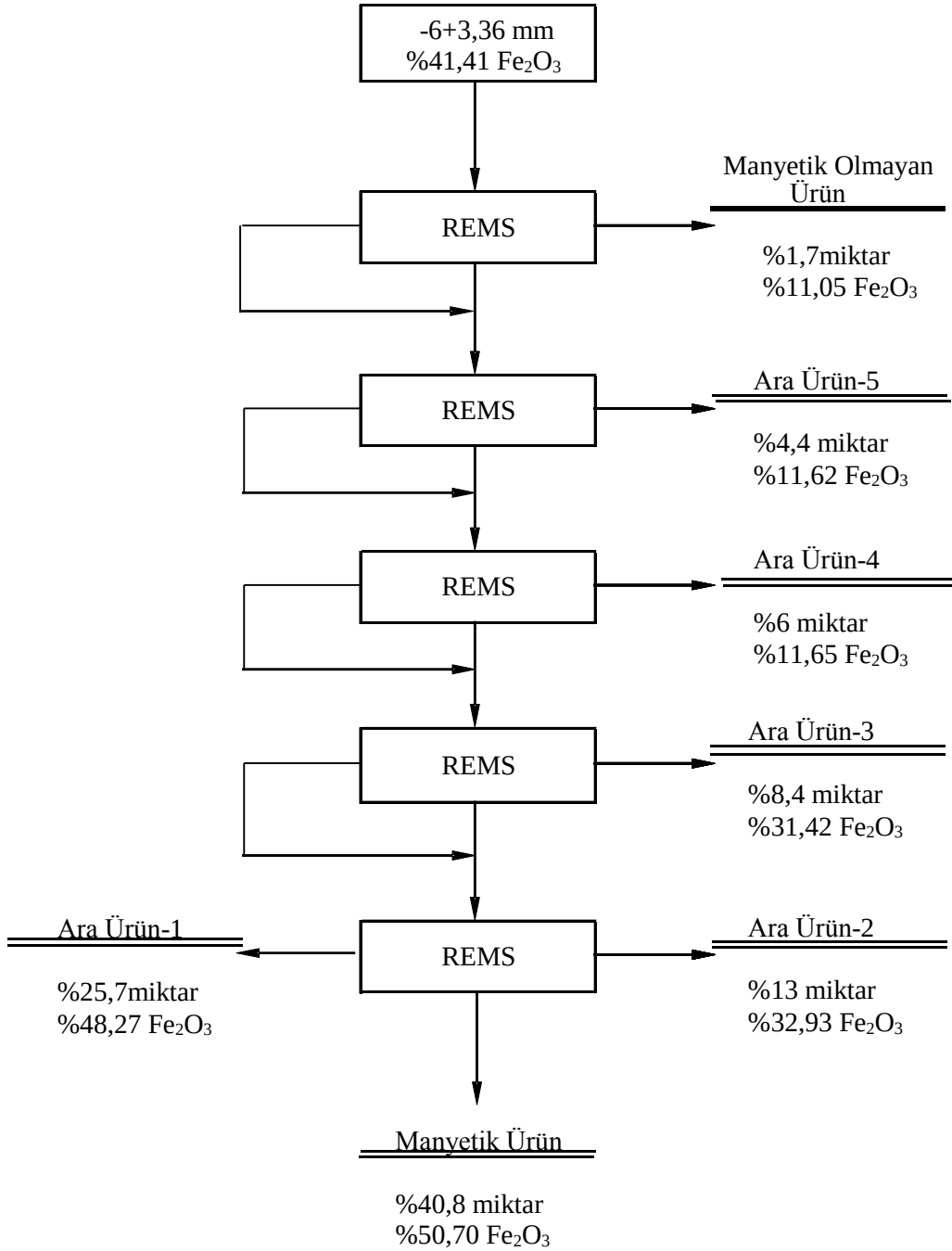
-9+6 mm fraksiyonunda  n bı ak a ısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3,  n bı ak a ısı 100 , arka bı ak a ısı 60  ve tambur d n ş hızı 70 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney akım şeması şekil 4.27’de, sonu ları ise  izelge 4.17’de verilmektedir.



Şekil 4.27: -9+6 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.

4.4.1.15 -6+3,36 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri

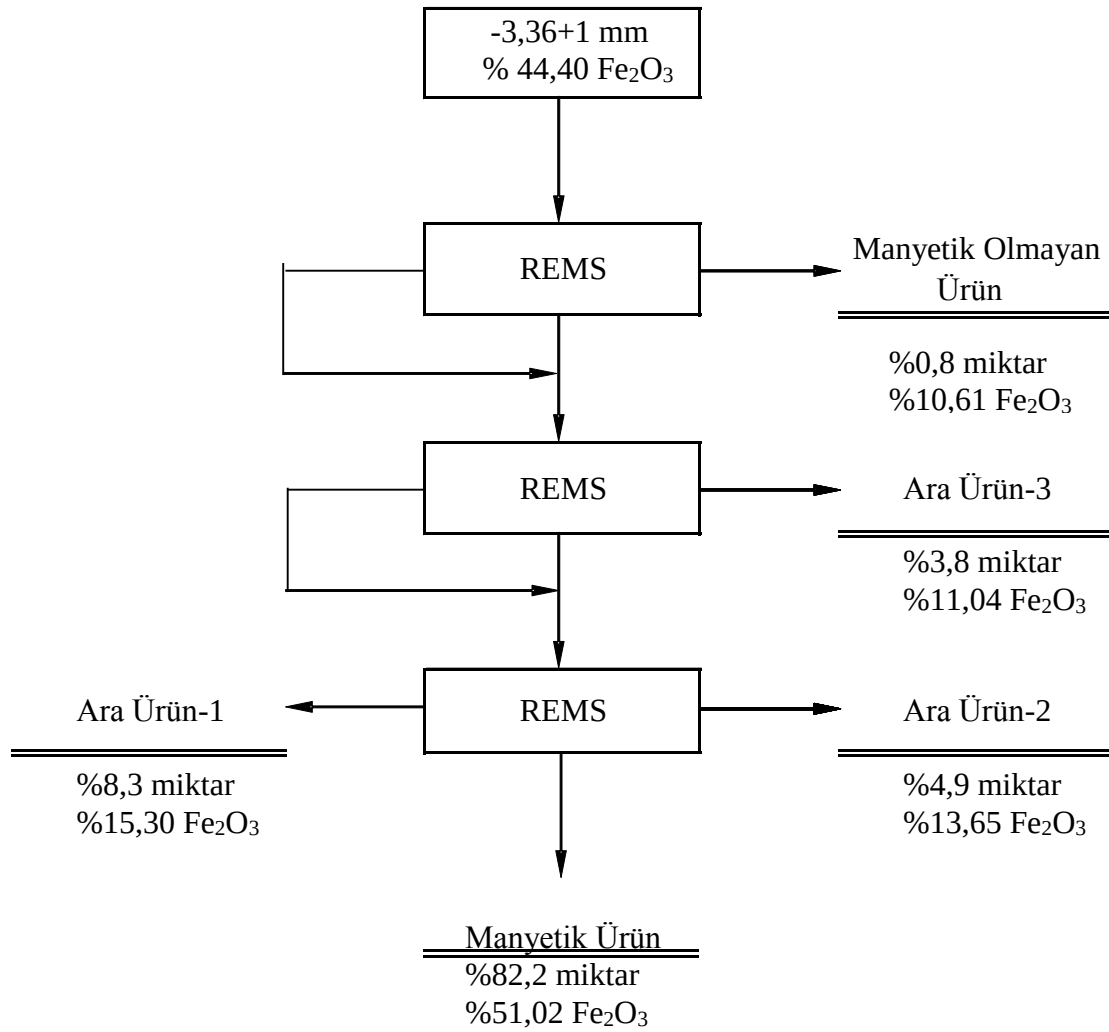
-6+3,36 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 100°, arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney akım şeması Şekil 4.28’de, sonuçları ise Çizelge 4.18’de verilmektedir.



Şekil 4.28: -6+3,36 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.

4.4.1.16 -3,36+1 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deneyleri

-3,36+1 mm fraksiyonunda ön bıçak açısının etkisinin incelendiği REMS deneylerinde olarak titreşim 3, ön bıçak açısı 110°, arka bıçak açısı 50° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Deney akım şeması Şekil 4.29’da, sonuçları ise Çizelge 4.19’da verilmektedir.



Şekil 4.29: -3,36+1 mm boyutunda yapılan REMS deneyi akım şeması.

-13+9 mm, -9+6 mm, -6+3,36 mm ve -3,36+1 mm boyut gruplarında gerçekleştirilen temizleme kademeli deneylerin birleştirilmiş sonuçları Çizelge 4.20’de, ürünlerin birleştirilmesiyle oluşturulan sonuçlar ise Çizelge 4.21’de verilmektedir.

Birleştirilmiş manyetik ürün; -13+9 mm boyut grubunun manyetik ürünü,-9+6 mm boyut grubunun manyetik ürünü ve ara ürün-1 isimli ürünü, -6+3,36 mm boyut grubunun yine manyetik ürün ve ara ürün-1 isimli ürünü ve -3,36+1 mm grubundan ise manyetik ürünü içermektedir.

Birleştirilmiş ara ürün; -13+9 mm boyut grubundan ara ürün-1 ve ara ürün-2 isimli ürünleri, -9+6 mm grubundan ara ürün-2, ara ürün-3 ve ara ürün-4 isimli ürünleri; -6+3,36 mm boyut grubundan ara ürün-2 ve ara ürün-3 isimli ürünleri ve son olarak -3,36+1 mm boyut grubundan ise ara ürün-1 ve ara ürün-2 isimli ürünleri içermektedir.

Birleştirilmiş manyetik olmayan ürün ise -13+9 mm boyut grubundan ara ürün-3 ve manyetik olmayan grubu, -9+6mm boyut grubundan ara ürün-5, ara ürün-6 ve manyetik olmayan ürünü,-6+3,36 mm grubundan ara ürün-4, ara ürün-5, manyetik olmayan ürün isimli ürünleri ve -3,36+1 mm boyut grubundan da ara ürün-3 ve manyetik olmayan ürünü içermektedir.

Birleştirme ürünlerin Fe_2O_3 içeriği, tenörü, baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.16 : -13+9 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	Manyetik Ürün	27,6	18,32	37,7	48,21	34,2	13,27	14,7
	Ara Ürün-1	45,6	12,75	43,4	41,79	49,0	18,94	34,6
	Ara Ürün-2	15,1	12,54	14,1	33,39	13,0	32,97	20,0
	Ara Ürün-3	9,1	5,53	3,8	12,78	3,0	63,82	23,3
	Manyetik Olmayan Ürün	2,6	4,80	1,0	12,54	0,8	70,21	7,4
	Toplam	100,0	13,39	100,0	38,90	100,0	24,95	100,0

Çizelge 4.17 : -9+6 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-9+6	Manyetik Ürün	27,6	17,69	35,1	50,03	32,8	11,33	13,7
	Ara Ürün-1	36,6	17,60	46,5	49,35	43,0	12,57	20,1
	Ara Ürün-2	14,8	7,99	8,5	33,48	11,8	35,42	22,8
	Ara Ürün-3	8,7	7,59	4,8	32,06	6,6	37,72	14,3
	Ara Ürün-4	4,8	7,32	2,6	31,78	3,7	39,85	8,4
	Ara Ürün-5	3,7	5,37	1,4	12,39	1,1	60,63	9,9
	Ara Ürün-6	3,3	4,36	1,0	11,97	0,9	66,11	9,4
	Manyetik Olmayan Ürün	0,5	3,61	0,1	11,40	0,1	68,54	1,4
	Toplam	100,0	13,88	100,0	42,06	100,0	22,92	100,0

Çizelge 4.18 : -6+3,36 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-6+3,36	Manyetik Ürün	40,8	17,41	51,5	50,70	50,0	10,74	18,5
	Ara Ürün-1	25,7	16,94	31,6	48,27	30,0	11,21	12,1
	Ara Ürün-2	13,0	8,35	7,9	32,93	10,3	37,43	20,5
	Ara Ürün-3	8,4	9,44	5,7	31,42	6,4	39,49	14,0
	Ara Ürün-4	6,0	4,30	1,9	11,65	1,7	68,62	17,3
	Ara Ürün-5	4,4	3,33	1,0	11,62	1,2	68,90	12,8
	Manyetik Olmayan Ürün	1,7	2,96	0,4	11,05	0,4	69,37	4,8
	Toplam	100,0	13,79	100,0	41,41	100,0	23,72	100,0

Çizelge 4.19 : -3,36+1 mm boyutunda temizleme kademesinin etkisinin incelendiği REMS deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-3,36+1	Manyetik Ürün	82,2	17,41	92,3	51,02	94,5	9,74	42,1
	Ara Ürün-1	8,3	8,65	4,6	15,30	2,9	59,24	25,8
	Ara Ürün-2	4,9	6,65	2,1	13,65	1,5	60,68	15,7
	Ara Ürün-3	3,8	3,45	0,9	11,04	0,9	68,27	13,5
	Manyetik Olmayan Ürün	0,8	2,13	0,1	10,61	0,2	69,37	2,9
	Toplam	100,0	15,51	100,0	44,40	100,0	19,02	100,0

Çizelge 4.20 : REMS deneyleri birleştirilmiş sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	Manyetik Ürün	3,8	18,32	5,0	48,21	4,5	13,27	2,2
	Ara Ürün-1	6,2	12,75	5,8	41,79	6,5	18,94	5,2
	Ara Ürün-2	2,1	12,54	1,9	33,39	1,7	32,97	3,0
	Ara Ürün-3	1,2	5,53	0,5	12,78	0,4	63,82	3,5
	Manyetik Olmayan Ürün	0,4	4,80	0,2	12,54	0,1	70,21	1,1
-9+6	Manyetik Ürün	8,3	17,69	10,6	50,03	10,3	11,33	4,1
	Ara Ürün-1	11,0	17,60	13,5	49,35	13,4	12,57	6,1
	Ara Ürün-2	4,4	7,99	2,6	33,48	3,7	35,42	6,9
	Ara Ürün-3	2,6	7,59	1,5	32,06	2,1	37,72	4,3
	Ara Ürün-4	1,5	7,32	0,8	31,78	1,2	39,85	2,6
	Ara Ürün-5	1,1	5,37	0,5	12,39	0,3	60,63	3,0
	Ara Ürün-6	1,0	4,36	0,3	11,97	0,3	66,11	2,8
	Manyetik Olmayan Ürün	0,1	3,61	0,1	11,40	0,1	68,54	0,4
	Manyetik Ürün	10,4	17,41	13,2	50,70	13,1	10,74	4,9
	Ara Ürün-1	6,6	16,94	8,1	48,27	7,9	11,21	3,2
-6+3,36	Ara Ürün-2	3,3	8,35	2,0	32,93	2,7	37,43	5,4
	Ara Ürün-3	2,1	9,44	1,5	31,42	1,7	39,49	3,7
	Ara Ürün-4	1,5	4,30	0,4	11,65	0,4	68,62	4,6
	Ara Ürün-5	1,1	3,33	0,3	11,62	0,3	68,90	3,4
	Manyetik Olmayan Ürün	0,4	2,96	0,1	11,05	0,1	69,37	1,3
	Manyetik Ürün	16,8	17,41	21,2	51,02	21,3	9,74	7,2
	Ara Ürün-1	1,7	8,65	1,1	15,30	0,6	59,24	4,4
-3,36+1	Ara Ürün-2	1,0	6,65	0,5	13,65	0,3	60,68	2,7
	Ara Ürün-3	0,8	3,45	0,2	11,04	0,2	68,27	2,3
	Manyetik Olmayan Ürün	0,2	2,13	0,1	10,61	0,1	69,37	0,5
	-1	10,4	10,5	8,0	25,90	6,7	24,49	11,2
	TOPLAM	100,0	13,78	100,0	40,27	100,0	22,80	100,0

Çizelge 4.21 : REMS deneylerinin ürünlerinin birleştirilmiş sonuçları.

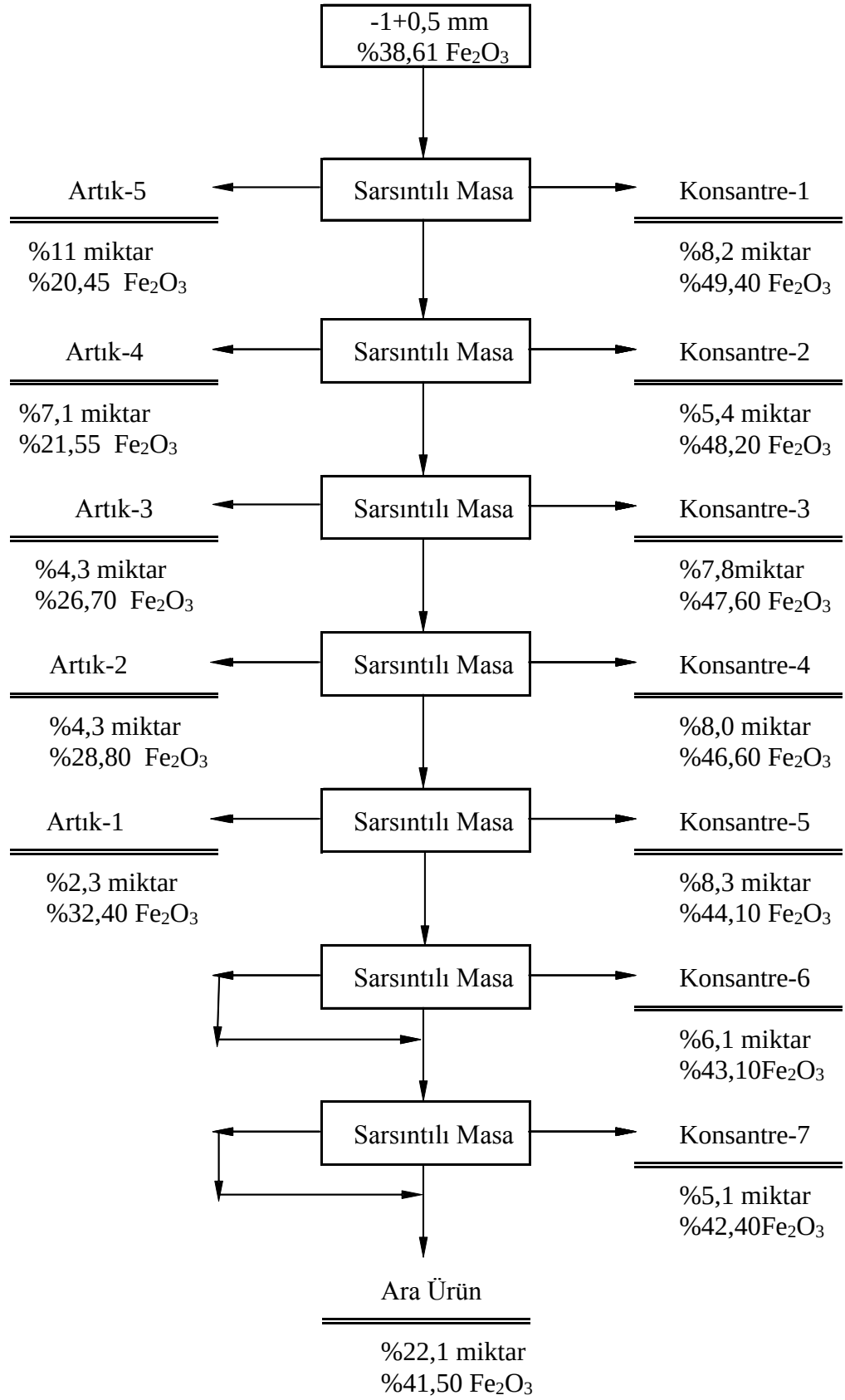
Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13	Manyetik Ürün	56,8	17,49	72,1	49,99	70,5	11,11	27,7
	Ara Ürün	24,9	9,65	17,5	33,08	20,5	34,94	38,2
	Manyetik Olmayan Ürün	7,9	4,32	2,5	11,89	2,3	66,54	22,9
	-1 mm	10,4	10,50	7,9	25,90	6,7	24,49	11,2
	Toplam	100,0	13,77	100,0	40,27	100,0	22,80	100,0

-13 mm boyutuna indirilen malzemenin -13+9 mm, -9+6 mm, -6+3,36 mm ve -3,36+1 mm boyut gruplarında gerçekleştirilen REMS deneyleri sonrası manyetik ayırma deneyine girmeyen fraksiyonu olan -1 mm boyutu -1+0,5 mm, -0,5+0,3 mm ve -0,3 mm fraksiyonları sarsıntılı masa deneyine tabi tutulmuş ve deney akım şemaların sırasıyla Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir. Sarsıntılı masa deneylerinden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.22’de, birleştirilmiş sonuçlar, Çizelge 4.23’de ve sarsıntılı masanın ürünlerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 4.24’de verilmiştir.

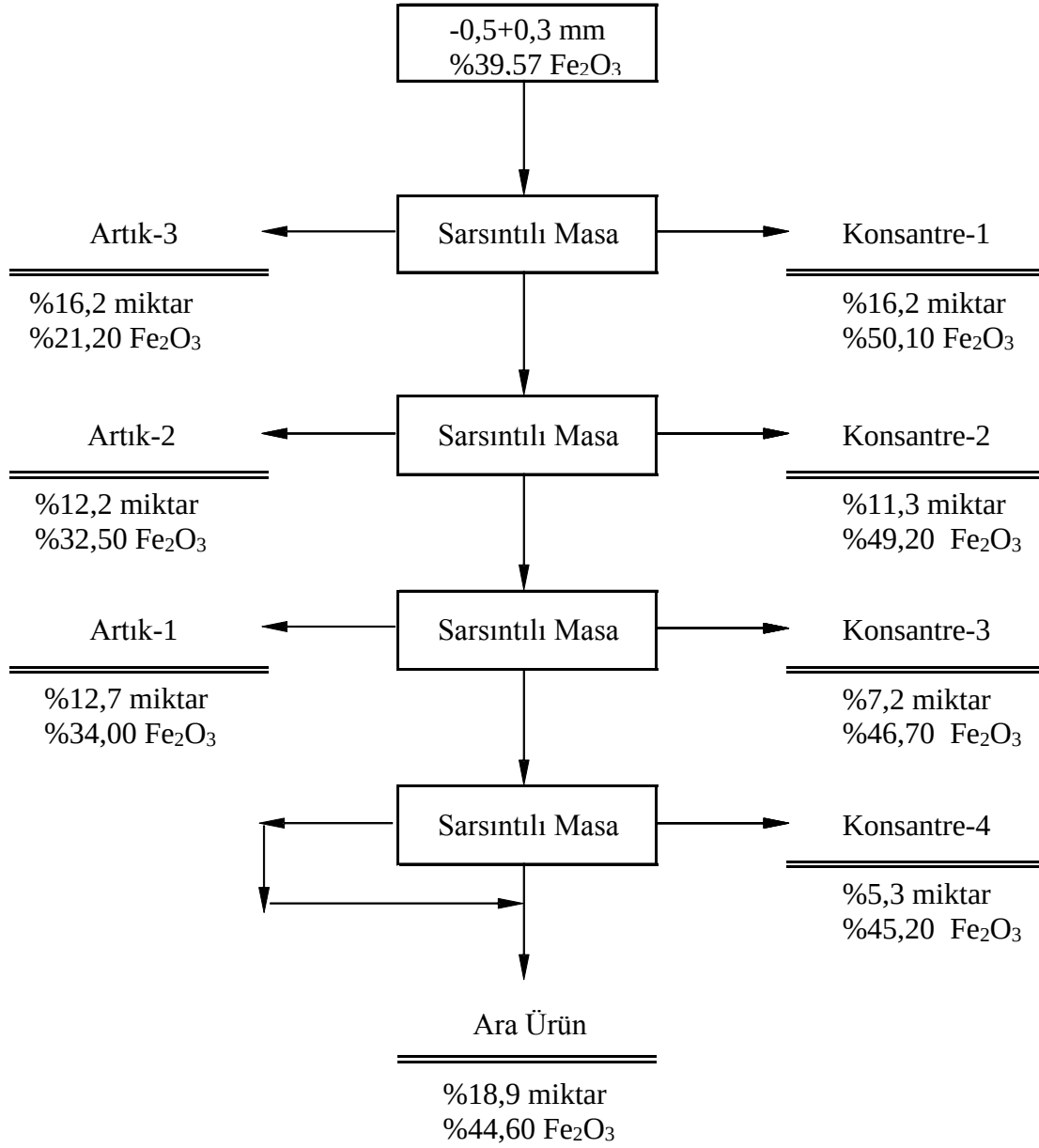
Tablo 4.25 ise, tamamı -13 mm altına indirilmiş temsili numunenin iri boyutta REMS ve ince boyutta sarsıntılı masa deneylerinin sonuçlarını göstermektedir. Fe_2O_3 içeriklerine bağlı olarak REMS’in manyetik ürünü ile sarsıntılı masanın konsantre niteliğindeki ağır ürününün, iki deney grubunda elde edilen ara ürünlerin ve REMS’in manyetik olmayan ürünü ile sarsıntılı masanın artık niteliğindeki hafif ürününün birleştirilmesiyle ise Çizelge 4.26 oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde farklı boyut gruplarında gerçekleştirilen REMS deneylerinin manyetik ürünleri birleştirilip tamamı 3,36 mm altına indirilmiş ve bu boyut fraksiyonunda 3 kademeli REMS deneyi yapılmıştır. Deneylerde -13+9 mm boyut grubunda elde edilen “Manyetik Ürün”, -9+6 mm boyut grubunda “Manyetik Ürün ve Ara Ürün-1”, -6+3,36 mm boyut grubunda “Manyetik Ürün ve Ara Ürün-1” ve -3,36+1 mm boyut grubunda ise “Manyetik Ürün”ler kullanılmıştır. Bu ürünler birleştirildiğinde elde edilen malzemenin Fe_2O_3 içeriği %49,57, MnO içeriği %17,08 ve SiO_2 içeriği ise %11,73 olarak hesaplanmıştır.

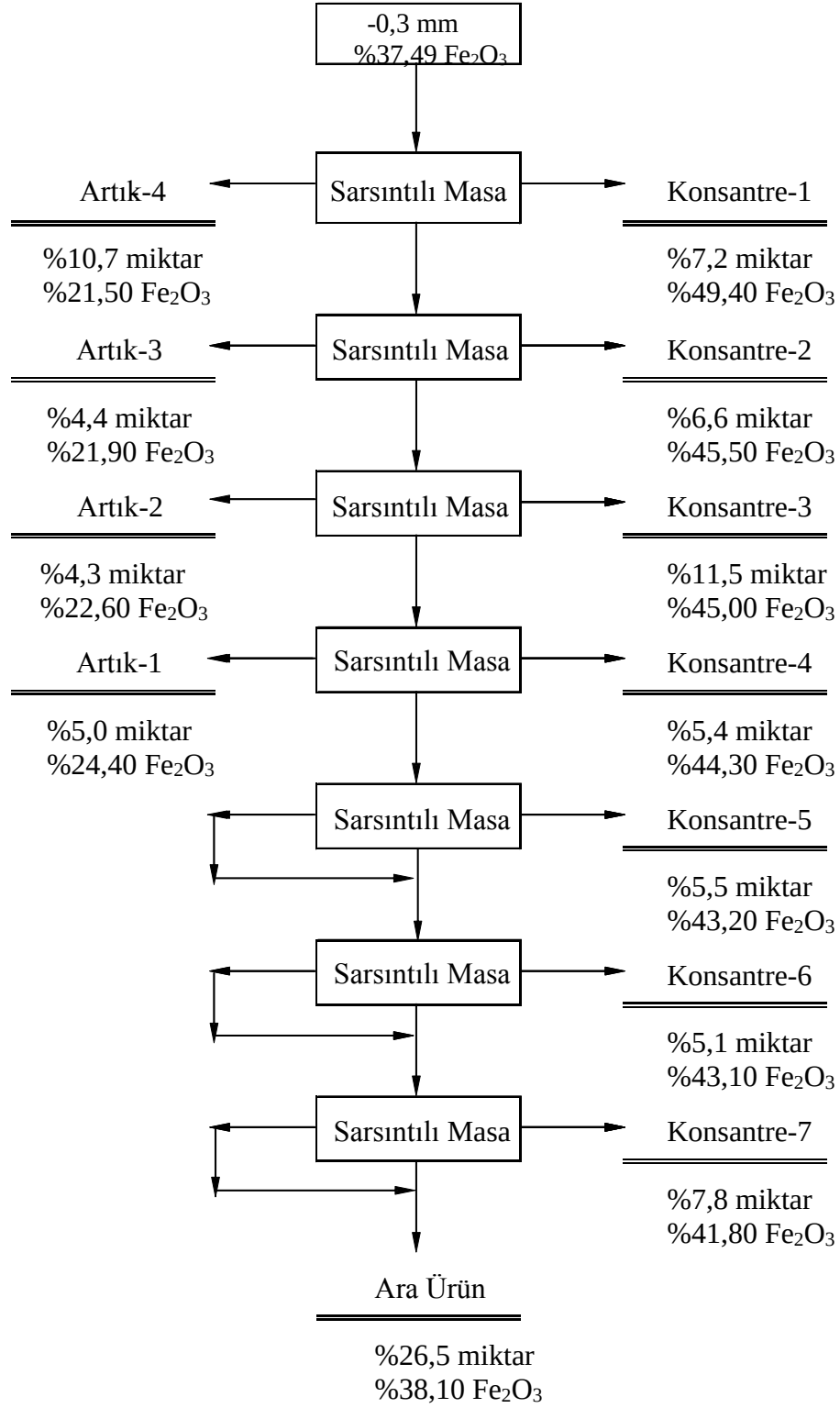
3 kademeli temizleme devreli REMS deneyinin akım şeması Şekil 4.33’de; deney sonuçları Çizelge 4.27’de ve birleştirilmiş sonuçlar ise Çizelge 4.28’de verilmektedir.



Şekil 4.30: -1+0,5 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.



Şekil 4.31: -0,5+0,3 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.



Şekil 4.32: -0,3 mm boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deneyi akım şeması.

Çizelge 4.22 : -1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-1+0,5	Konsantre-1	8,2	15,05	11,4	49,40	10,4	13,70	4,3
	Konsantre-2	5,4	14,35	7,2	48,20	6,8	15,60	3,3
	Konsantre-3	7,8	14,00	10,1	47,60	9,6	16,00	4,8
	Konsantre-4	8,0	13,40	9,9	46,60	9,7	16,90	5,2
	Konsantre-5	8,3	13,10	10,0	44,10	9,4	20,10	6,4
	Konsantre-6	6,1	12,75	7,2	43,10	6,8	20,30	4,8
	Konsantre-7	5,1	12,55	5,9	42,40	5,6	20,60	4,1
	Ara Ürün	22,1	10,40	21,3	41,50	23,8	21,80	18,6
	Artık-1	2,3	9,65	2,1	32,40	1,9	33,80	3,0
	Artık-2	4,3	8,18	3,2	28,80	3,2	37,80	6,2
	Artık-3	4,3	6,54	2,6	26,70	3,0	43,00	7,1
	Artık-4	7,1	6,18	4,1	21,55	4,0	44,50	12,2
	Artık-5	11,0	4,85	5,0	20,45	5,8	46,90	20,0
	Toplam	100,0	10,80	100,0	38,61	100,0	25,93	100,0
-0,5+0,3	Konsantre-1	16,2	15,20	21,0	50,10	20,5	12,10	7,3
	Konsantre-2	11,3	14,45	13,9	49,20	14,1	16,50	6,9
	Konsantre-3	7,2	14,00	8,5	46,70	8,4	16,80	4,5
	Konsantre-4	5,3	14,05	6,4	45,20	6,1	18,40	3,6
	Ara Ürün	18,9	11,70	18,9	44,60	21,3	21,80	15,3
	Artık-1	12,7	10,00	10,8	34,00	10,9	39,70	18,8
	Artık-2	12,2	8,86	9,2	32,50	10,0	41,10	18,6
	Artık-3	16,2	8,19	11,3	21,20	8,7	41,40	25,0
	Toplam	100,0	11,74	100,0	39,57	100,0	26,90	100,0
-0,3+Şlam	Konsantre-1	7,2	15,05	9,6	49,40	9,5	13,60	4,2
	Konsantre-2	6,6	14,25	8,3	45,50	8,0	14,40	4,0
	Konsantre-3	11,5	13,30	13,6	45,00	13,8	14,70	7,2
	Konsantre-4	5,4	12,85	6,2	44,30	6,4	15,80	3,7
	Konsantre-5	5,5	12,25	6,0	43,20	6,3	17,30	4,1
	Konsantre-6	5,1	12,05	5,5	43,10	5,9	18,00	4,0
	Konsantre-7	7,8	11,45	7,9	41,80	8,6	18,70	6,2
	Ara Ürün	26,5	10,50	24,7	38,10	26,9	22,10	25,0
	Artık-1	5,0	9,20	4,1	24,40	3,3	38,00	8,1
	Artık-2	4,3	8,73	3,3	22,60	2,6	39,80	7,3
	Artık-3	4,4	8,12	3,2	21,90	2,6	40,40	7,6
	Artık-4	10,7	8,05	7,6	21,50	6,1	40,90	18,6
	Toplam	100,0	11,26	100,0	37,49	100,0	23,40	100,0
	Şlam	100,0	9,65	100,0	36,90	100,0	21,40	100,0

Çizelge 4.23 : -1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa birleştirilmiş deney sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-1+0,5	Konsantre-1	3,7	15,05	5,1	49,40	4,8	13,70	2,0
	Konsantre-2	2,4	14,35	3,2	48,20	3,0	15,60	1,5
	Konsantre-3	3,5	14,00	4,4	47,60	4,3	16,00	2,2
	Konsantre-4	3,6	13,40	4,4	46,60	4,4	16,90	2,4
	Konsantre-5	3,7	13,10	4,4	44,10	4,3	20,10	3,0
	Konsantre-6	2,7	12,75	3,2	43,10	3,1	20,30	2,2
	Konsantre-7	2,3	12,55	2,6	42,40	2,5	20,60	1,9
	Ara Ürün	9,9	10,40	9,4	41,50	10,7	21,80	8,7
	Artık-1	1,0	9,65	0,9	32,40	0,9	33,80	1,4
	Artık-2	1,9	8,18	1,4	28,80	1,4	37,80	2,9
	Artık-3	1,9	6,54	1,1	26,70	1,3	43,00	3,3
	Artık-4	3,2	6,18	1,8	21,55	1,8	44,50	5,7
	Artık-5	4,9	4,85	2,2	20,45	2,6	46,90	9,3
	Konsantre-1	2,4	15,20	3,3	50,10	3,2	12,10	1,2
	Konsantre-2	1,7	14,45	2,2	49,20	2,2	16,50	1,1
-0,5+0,3	Konsantre-3	1,1	14,00	1,4	46,70	1,3	16,80	0,7
	Konsantre-4	0,8	14,05	1,0	45,20	0,9	18,40	0,6
	Ara Ürün	2,8	11,70	3,0	44,60	3,3	21,80	2,5
	Artık-1	1,9	10,00	1,7	34,00	1,7	39,70	3,0
	Artık-2	1,8	8,86	1,5	32,50	1,5	41,10	3,0
	Artık-3	2,4	8,19	1,8	21,20	1,3	41,40	4,0
	Konsantre-1	2,1	15,05	2,9	49,40	2,8	13,60	1,2
	Konsantre-2	2,0	14,25	2,5	45,50	2,3	14,40	1,1
	Konsantre-3	3,4	13,30	4,1	45,00	4,0	14,70	2,0
	Konsantre-4	1,6	12,85	1,9	44,30	1,9	15,80	1,0
-0,3+Şlam	Konsantre-5	1,6	12,25	1,8	43,20	1,8	17,30	1,1
	Konsantre-6	1,5	12,05	1,7	43,10	1,7	18,00	1,1
	Konsantre-7	2,3	11,45	2,4	41,80	2,5	18,70	1,7
	Ara Ürün	7,9	10,50	7,6	38,10	7,9	22,10	7,0
	Artık-1	1,5	9,20	1,2	24,40	1,0	38,00	2,3
	Artık-2	1,3	8,73	1,0	22,60	0,8	39,80	2,1
	Artık-3	1,3	8,12	1,0	21,90	0,7	40,40	2,1
	Artık-4	3,2	8,05	2,3	21,50	1,8	40,90	5,2
	Şlam	10,7	9,65	9,4	36,90	10,4	21,40	9,2
	Toplam	100,0	10,96	100,0	38,21	100,0	24,85	100,0

Birleştirilmiş konsantre; -1+0,5 mm boyut grubunun konsantre-1, konsantre-2, konsantre-3, konsantre-4, konsantre-5, konsantre-6, konsantre-7 ve araürünü, -0,5+0,3 mm boyut grubunun konsantre-1, konsantre-2, konsantre-3, konsantre-4 ve araürünü ve -0,3 mm+şlam boyut grubunun ise konsantre-1, konsantre-2, konsantre-3, konsantre-4, konsantre-5, konsantre-6, konsantre-7 ve araürünü içermektedir.

Birleştirilmiş ara ürün; -1+0,5 mm boyut grubundan artık-1 isimli ürünü, -0,5+0,3 mm boyut grubundan artık-1 ve artık-2 isimli ürünü, -0,3mm+şlam grubundan ise ara ürün isimli ürünü kapsamaktadır.

Son olarak birleştirilmiş artık ise -1+0,5 mm boyut grubunun artık-2, artık-3, artık-4 ve artık-5 isimli ürünlerinden, -0,5+0,3 mm boyut grubunun artık-3 isimli ürününden ve -0,3mm+şlam boyut grubunun artık-1, artık-2, artık-3 ve artık-4 isimli ürünlerinden oluşmaktadır.

Ürünlerin birleştirilmesinde Fe₂O₃ içerikleri, bir başka deyişle tenörleri, baz alınmıştır.

Çizelge 4.24 : -1 mm boyut grubuna uygulanan sarsıntılı masa ürünlerinin birleştirilmiş deney sonuçları.

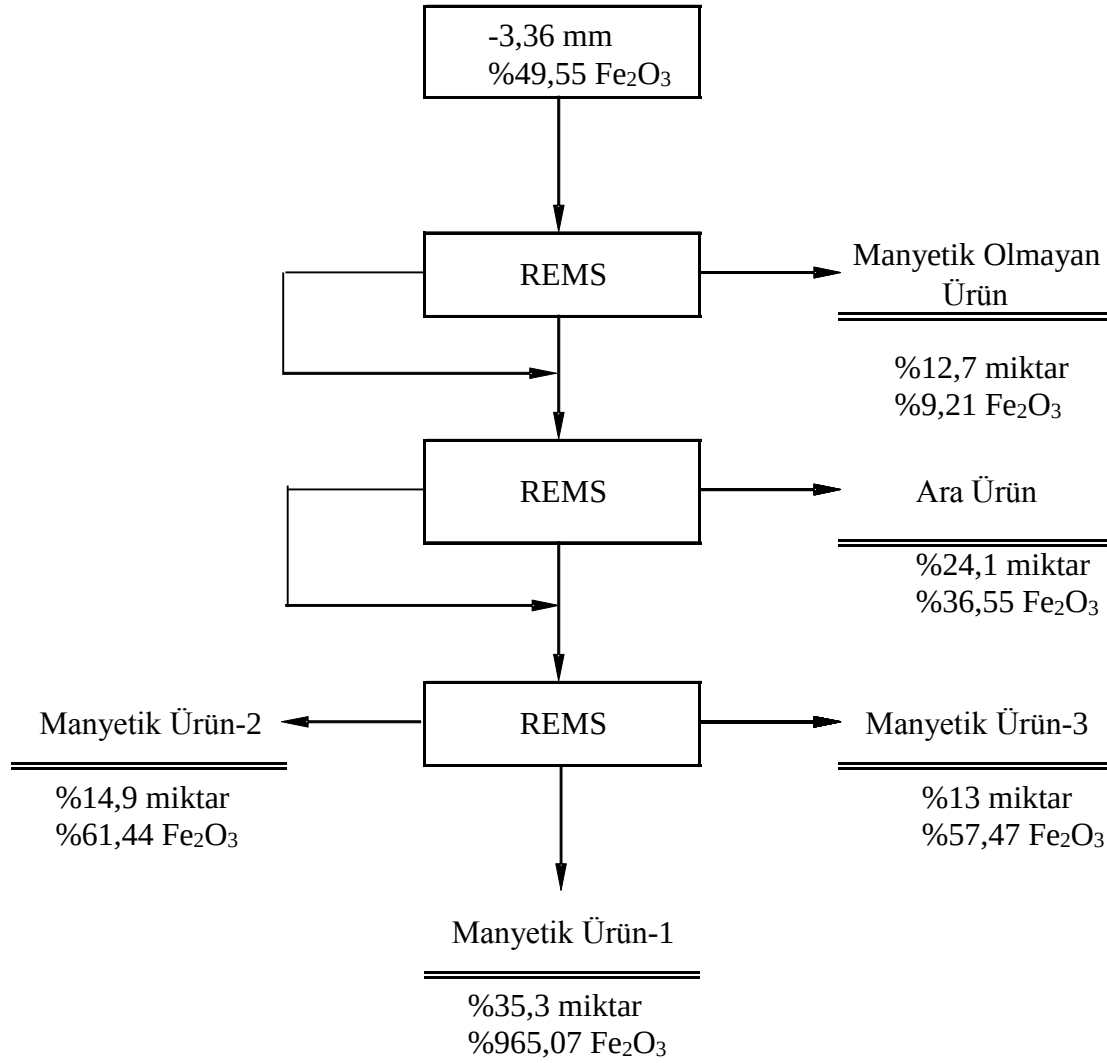
Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-1	Konsantre	55,1	12,93	65,0	45,11	64,9	17,77	39,4
	Ara Ürün	12,6	10,14	11,7	36,27	12,0	28,46	14,5
	Artık	21,6	7,06	13,9	22,64	12,8	42,48	36,9
	Şlam	10,7	9,65	9,4	36,90	10,3	21,40	9,2
	Toplam	100,0	10,96	100,0	38,28	100,0	24,85	100,0

Çizelge 4.25 : -13 mm boyutunda REMS+Sarsıntılı Masa deney sonuçları.

Yöntem	Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
REMS	-13+1	Manyetik Ürün	56,8	17,49	71,9	49,99	68,3	11,11	27,6
		Ara Ürün	24,9	9,65	17,4	33,08	19,8	34,94	38,1
		Manyetik Olmayan Ürün	7,9	4,32	2,5	11,89	2,3	66,54	22,9
Sarsıntılı Masa	-1+0,038	Konsantre	5,7	12,93	5,4	45,11	6,2	17,77	4,5
		Ara Ürün	1,3	10,14	1,0	36,27	1,2	28,46	1,6
		Artık	2,3	7,06	1,2	22,64	1,2	42,48	4,2
		Şlam	1,1	9,65	0,8	36,90	1,0	21,40	1,1
		Toplam	100,0	13,82	100,0	41,56	100,0	22,84	100,0

Çizelge 4.26 : -13 mm boyutunda REMS+Sarsıntılı Masa birleştirilmiş deney sonuçları.

Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
Konsantre	62,5	17,08	77,2	49,57	74,5	11,73	32,1
Ara Ürün	26,2	9,69	18,4	33,29	21,0	34,66	39,8
Artık	10,2	4,89	3,6	14,16	3,5	60,67	27,1
Şlam	1,1	9,65	0,8	36,90	1,0	21,40	1,0
Toplam	100,0	13,83	100,0	41,58	100,0	22,84	100,0



Şekil 4.33: REMS konsantreleriyle -3,36 mm boyutunda gerçekleştirilen manyetik ayırma deney akım şeması.

Çizelge 4.27 : -3,36 mm gerçekleştirilen REMS deneyi sonuçları.

Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
Manyetik Ürün-1	35,3	18,45	39,7	65,07	46,4	1,10	3,2
Manyetik Ürün-2	14,9	17,27	15,6	61,44	18,4	1,77	2,2
Manyetik Ürün-3	13,0	16,72	13,2	57,47	15,0	5,24	5,7
Ara Ürün	24,1	15,21	22,3	36,55	17,8	18,27	36,7
Manyetik Olmayan Ürün	12,7	11,88	9,2	9,21	2,4	49,09	52,2
Toplam	100,0	16,43	100,0	49,55	100,0	11,99	100,0

Çizelge 4.28 : -3,36 mm gerçekleştirilen REMS deneyi birleştirilmiş sonuçları.

Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
Manyetik Ürün	63,2	17,80	68,5	62,59	79,8	2,11	11,1
Ara Ürün	24,1	15,21	22,3	36,55	17,8	18,27	36,7
Manyetik Olmayan Ürün	12,7	11,88	9,2	9,21	2,4	49,09	52,2
Toplam	100,0	16,43	100,0	49,55	100,0	11,99	100,0

REMS deneyi ve sarsıntılı masa deneyinden elde edilen ürünlerin nihai deneyin verileriyle birleştirilmesiyle elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.29'da, birleştirilmiş sonuçlar ise Çizelge 4.30'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.29 : Nihai deney sonuçları.

Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
Manyetik Ürün	39,5	17,80	52,4	62,59	59,5	2,11	3,6
Ara Ürün	15,1	15,21	17,1	36,55	13,3	18,27	12,0
Manyetik Olmayan Ürün	8,0	11,88	7,1	9,21	1,8	49,09	17,0
Ara Ürün	26,2	9,69	18,9	33,29	21,0	34,66	39,6
Artık	10,1	4,89	3,7	14,16	3,4	60,67	26,7
Şlam	1,1	9,65	0,8	36,90	1,0	21,40	1,1
Toplam	100,0	13,41	100,0	41,54	100,0	22,97	100,0

Çizelge 4.30 : Nihai deney birleştirilmiş sonuçları

Ürünler	Miktar, %	MnO, %		Fe ₂ O ₃ , %		SiO ₂ , %	
		İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
Konsantre	39,5	17,80	52,4	62,59	59,5	2,11	3,6
Ara Ürün	41,3	11,71	36,1	34,50	34,3	28,69	51,6
Artık	18,1	7,96	10,7	11,97	5,2	55,52	43,7
Şlam	1,1	9,65	0,8	36,90	1,0	21,40	1,0
Toplam	100,0	13,41	100,0	41,54	100,0	22,97	100,0

4.4.2 Jig ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri

Tamamı 13 mm altında olan numune ile gerçekleştirilen jig ile zenginleştirme deneylerinde ilk olarak malzeme -13+9 mm, -9+6 mm, -6+3,36 mm ve -3,36+1 mm boyut gruplarına ayrılmış ve her bir fraksiyonda deneyler yapılmış; -1 mm fraksiyonunda ise sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Jig ile zenginleştirme deneyi sonrası elde edilen sonuçlar izelge 4.31’de, -1 mm’lik fraksiyonda gerçekleştirilen sarsıntılı masa deneyi sonuçları izelge 4.32’de, birleştirilmiş sonuçlar izelge 4.33’de ve ürünlerin birleştirilmiş sonuçları ise izelge 4.34’de verilmektedir.

Bu birleştirilmiş ürünlerden ağır ürün; jig deneylerine tabi tutulan -13+9 mm boyut grubunun ağır ürün isimli ürününü, -9+6 mm boyut grubunun ağır ürün ve ara ürün isimli ürünlerini, -6+3,36 mm boyut grubunun ağır ürün isimli ürününü, -3,36+1 mm boyut grubunun ağır ürün ve tekne ürünü isimli ürünlerini içermekle birlikte Sarsıntılı masa deneylerine tabi tutulan -1+0,5 mm boyut grubunun konsantre-1, konsantre-2, konsantre-3, konsantre-4 ve konsantre-5 isimli ürünlerini ve -0,5 mm+şlam boyut grubunun ise konsantre-1, konsantre-2, konsantre-3, konsantre-4 ve konsantre-5 isimli ürünlerinden oluşmaktadır.

Birleştirilmiş ürünlerden ara ürün ise; jig deneylerine tabi tutulan -13+9 mm boyut grubunun ara ürün ve hafisi ürünlerinden,-9+6 mm boyut grubunun hafif ürününden, -6+3,36 mm boyut grubunun ara ürün ve hafif ürünlerinden, -3,36+1 mm boyut grubunun de ara ürün ve hafif ürünlerinden başka Sarsıntılı masa deneylerine tabi tutulan -1+0,5 mm boyut grubunun ara ürününden ve -0,3 mm+şlam boyut grubunun da gene ara ürün isimli ürününden oluşmaktadır.

Son olarak birleştirilmiş hafif ürünü ise yine jig deneylerine tabi tutulan boyut grubundaki numunelerden bir katkı olmayıp sadece sarsıntılı masa deney ürünleri oluşturmaktadır. -1+0,5 mm boyut grubunun artık-1 ve artık-2 isimli ürünü alınırken yine aynı şekilde -0,5+şlam boyut grubundan da artık-1 ve artık-2 isimli ürünler alınarak birleştirilmiş hafif ürün oluşturulmuştur.

rnlerin hangi nitelikte olduğu belirlenirken bir önceki adımlarda olduğu gibi gene Fe₂O₃ içerikleri baz alınıp değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.31 : -13 mm boyutunda gerçekleştirilen jig deneyi sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13+9	Ağır Ürün	28,7	18,02	37,4	42,65	32,9	17,70	18,9
	Ara Ürün	22,5	15,20	24,7	36,90	22,3	24,14	22,5
	Hafif Ürün	48,8	10,75	37,9	34,10	44,8	33,52	60,9
	Toplam	100,0	13,83	100,0	37,16	100,0	26,86	100,0
-9+6	Ağır Ürün	40,0	17,05	48,6	45,65	43,8	15,90	27,9
	Ara Ürün	30,7	14,88	32,6	42,00	31,0	23,00	30,9
	Hafif Ürün	29,3	9,00	18,8	35,75	25,2	32,10	41,2
	Toplam	100,0	14,02	100,0	41,63	100,0	22,83	100,0
-6+3,36	Ağır Ürün	47,2	16,40	58,8	42,10	50,8	18,44	33,9
	Ara Ürün	30,3	10,65	24,5	38,40	29,7	26,80	31,6
	Hafif Ürün	22,5	9,75	16,7	34,00	19,5	39,40	34,5
	Toplam	100,0	13,16	100,0	39,16	100,0	25,69	100,0
-3,36+1	Ağır Ürün	45,9	17,35	55,7	44,30	50,2	15,60	31,5
	Ara Ürün	26,0	11,43	20,8	39,10	25,1	26,92	30,8
	Hafif Ürün	25,2	11,32	20,0	34,80	21,6	31,98	35,4
	Tekne Ürünü	2,9	17,00	3,5	42,80	3,1	17,80	2,3
	Toplam	100,0	14,28	100,0	40,51	100,0	22,73	100,0

Çizelge 4.32 : -1 mm boyutunda gerçekleştirilen sarsıntılı masa deneyi sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-1+0,5	Konsantre-1	11,3	15,85	16,6	49,40	15,2	12,60	5,5
	Konsantre-2	6,5	15,28	9,2	48,80	8,7	13,45	3,4
	Konsantre-3	6,2	14,80	8,4	43,86	7,3	14,74	3,5
	Konsantre-4	9,9	14,50	13,3	42,47	11,4	15,60	5,9
	Konsantre-5	5,5	14,05	7,1	40,54	6,0	17,80	3,7
	Ara Ürün	27,0	12,45	31,0	39,30	28,8	22,57	23,3
	Artık-1	7,1	5,66	3,7	26,10	5,0	41,20	11,2
	Artık-2	26,5	4,38	10,7	24,40	17,6	42,86	43,5
	Toplam	100,0	10,83	100,0	36,82	100,0	26,10	100,0
-0,5+Şlam	Konsantre-1	8,3	16,65	12,7	48,90	10,7	12,90	4,2
	Konsantre-2	12,0	15,80	17,5	47,10	15,0	13,42	6,3
	Konsantre-3	7,4	15,55	10,6	45,95	9,0	14,14	4,1
	Konsantre-4	6,0	14,30	7,9	44,82	7,2	16,20	3,8
	Konsantre-5	5,7	13,65	7,1	41,14	6,2	19,60	4,4
	Ara Ürün	33,4	10,55	32,4	38,10	33,8	23,60	34,8
	Artık-1	12,2	4,85	5,5	25,63	8,3	42,96	20,6
	Artık-2	15,0	4,60	6,3	24,74	9,8	43,50	25,6
	Toplam	100,0	10,86	100,0	37,68	100,0	25,45	100,0
Şlam		100,0	9,09	100,0	36,50	100,0	21,60	100,0

Çizelge 4.33 : Jig+Sarsıntılı Masa deneyi birleştirilmiş sonuçları.

Zenginleştirme Yöntemi	Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
				İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
JİG	-13+9	Ağır Ürün	3,3	18,02	4,5	42,65	3,6	17,70	2,4
		Ara Ürün	2,6	15,20	3,0	36,90	2,4	24,14	2,6
		Hafif Ürün	5,7	10,75	4,6	34,10	4,9	33,52	7,8
	-9+6	Ağır Ürün	10,9	17,05	13,9	45,65	12,6	15,90	7,1
		Ara Ürün	8,4	14,88	9,3	42,00	8,9	23,00	7,9
		Hafif Ürün	8,0	9,00	5,4	35,75	7,2	32,10	10,5
	-6+3,36	Ağır Ürün	13,1	16,40	16,1	42,10	13,9	18,44	9,9
		Ara Ürün	8,4	10,65	6,7	38,40	8,2	26,80	9,3
		Hafif Ürün	6,3	9,75	4,5	34,00	5,4	39,40	10,1
	-3,36+1	Ağır Ürün	9,4	17,35	12,2	44,30	10,5	15,60	6,0
		Ara Ürün	5,3	11,43	4,6	39,10	5,3	26,92	5,9
		Hafif Ürün	5,2	11,32	4,4	34,80	4,5	31,98	6,8
	-1+0,5	Tekne Ürünü	0,6	17,00	0,8	42,80	0,7	17,80	0,4
		Konsantre-1	0,6	15,85	0,7	49,40	0,7	12,60	0,3
		Konsantre-2	0,4	15,28	0,4	48,80	0,5	13,45	0,2
		Konsantre-3	0,4	14,80	0,4	43,86	0,4	14,74	0,2
		Konsantre-4	0,6	14,50	0,6	42,47	0,6	15,60	0,4
		Konsantre-5	0,3	14,05	0,3	40,54	0,3	17,80	0,2
		Ara Ürün	1,6	12,45	1,4	39,30	1,5	22,57	1,4
		Artık-1	0,4	5,66	0,2	26,10	0,3	41,20	0,7
		Artık-2	1,5	4,38	0,5	24,40	0,9	42,86	2,7
		Konsantre-1	0,5	16,65	0,6	48,90	0,6	12,90	0,3
		Konsantre-2	0,7	15,80	0,8	47,10	0,8	13,42	0,4
SARSINTILI MASA	-0,5+Şlam	Konsantre-3	0,4	15,55	0,5	45,95	0,5	14,14	0,2
		Konsantre-4	0,3	14,30	0,4	44,82	0,4	16,20	0,2
		Konsantre-5	0,3	13,65	0,3	41,14	0,3	19,60	0,3
		Ara Ürün	1,9	10,55	1,5	38,10	1,9	23,60	1,9
		Artık-1	0,7	4,85	0,3	25,63	0,5	42,96	1,2
		Artık-2	0,9	4,60	0,30	24,74	0,5	43,50	1,5
		Şlam	1,3	9,09	0,89	36,50	1,2	21,60	1,2
		Toplam	100,0	13,38	100,00	39,60	100,0	24,39	100,0

Çizelge 4.34 : Jig+Sarsıntılı Masa deneyi ürünlerin birleştirilmiş sonuçları.

Boyut Aralığı, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-13	Ağır Ürün	50,3	16,44	61,8	43,56	55,3	17,69	36,5
	Ara Ürün	44,9	10,74	36,1	36,39	41,3	30,53	56,2
	Hafif Ürün	3,5	4,68	1,2	24,95	2,2	42,88	6,1
	Şlam	1,3	9,09	0,9	36,50	1,2	21,60	1,2
	Toplam	100,0	13,37	100,0	39,59	100,0	24,39	100,0

4.4.3 Multi-Gravite Ayırıcısı (MGS) ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri

İngiliz Teknoloji Grubu desteğiyle Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiş ve endüstriyel ölçekte kullanımı gerçekleştirilen bir gravite ayırıcısı olan Multi-Gravite Ayırıcısı, sallantılı masa düzeninin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir. Bu tamburun belirli hızla döndürülmesiyle mineral tanelerine karşı etkin olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yan katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler kat taneleri tamburun dar, açık dış ağzına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS ünitesi %20 katı oranında 0,2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir. MGS ünitesinden ayırma işlemi ise uygun katı oranındaki pulp, belirli bir basınçla hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye beslenir. Bir anlamda besleme sırasında oluşacak türbülans etkisi azaltılmaktadır. Yıkama suyu ise tamburun üst çıkış ucuna yakın bir noktadan verilir. Ağır veya yüksek özgül ağırlıklı mineraller akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle adeta katı halde tabaka oluşturmaktadır. Akışkan tabakanın üst yüzeyleri ise büyük oranda katı taneler içermeyen sulu durumda hafif mineralleri kapsar (Yıldırım ve ark, 1995).

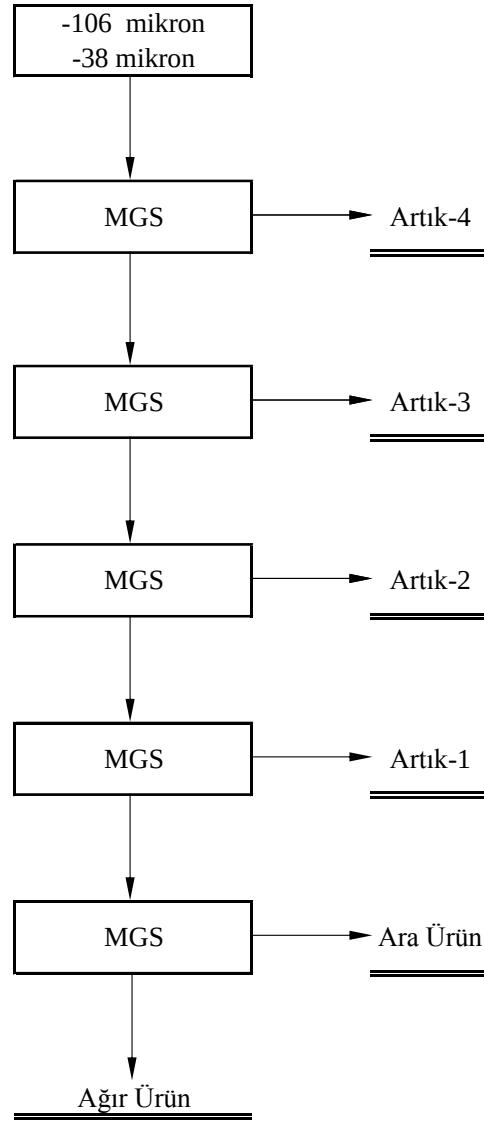
Malzemenin ince boyutlarındaki davranışını belirlemek üzere temsili numune üzerinde özgül ağırlık farkına göre ayırma yapan Multi-Gravite Ayırıcısı (Şekil 4.34) ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Tamamı 0,106 mm ve 0,038 mm boyutlarına öğütülen malzeme ile Çizelge 4.35’de koşulları, Şekil 4.35’de akım şeması verilen MGS ile yapılan deney sonuçları sırasıyla Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.34: Multi-gravite ayırıcısı (MGS).

Çizelge 4.35 : MGS deney koşulları.

Parametre	I. Kademe	II. Kademe	III. Kademe	IV. Kademe
Tambur Dönüş Hızı, rpm	240	180	180	140
Yıkama Suyu, L/dakika	3	3	5	5
Besleme Hızı, L/dakika	3	3	3	3
Eğim, derece	4	4	4	4
Genlik, L/dakika	15	15	15	15



Şekil 4.35: MGS deneyi akım şeması.

Çizelge 4.36 : -0,106 mm boyutunda gerçekleştirilen MGS deney sonuçları.

Boyut, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-0,106	Ağır Ürün	57,0	16,51	70,6	44,65	62,5	16,78	40,8
	Ara Ürün	3,5	12,92	3,4	40,02	3,4	28,51	4,2
	Artık-1	19,1	9,50	13,6	37,88	17,8	30,79	25,1
	Artık-2	3,8	9,33	2,7	36,42	3,4	31,40	5,1
	Artık-3	4,0	8,20	2,5	34,75	3,4	31,88	5,4
	Artık-4	12,6	7,60	7,2	30,50	9,5	35,67	19,3
	Toplam	100,0	13,31	100,0	40,70	100,0	23,41	100,0

Çizelge 4.37 : -0,038 mm boyutunda gerçekleştirilen MGS deney sonuçları.

Boyut, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-0,038	Ağır Ürün	37,6	18,27	52,2	47,52	44,5	14,01	22,3
	Ara Ürün	0,9	15,52	1,1	39,76	0,9	24,67	1,0
	Artık-1	37,4	11,54	32,8	37,84	35,2	26,41	41,9
	Artık-2	5,3	10,23	4,1	33,78	4,5	30,04	6,8
	Artık-3	6,0	7,63	3,5	32,14	4,8	32,53	8,2
	Artık-4	12,8	6,52	6,3	31,69	10,1	36,48	19,8
	Toplam	100,0	13,17	100,0	40,18	100,0	23,59	100,0

4.4.4 Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırıcısı ile gerçekleştirilen zenginleştirme deneyleri

Deneyisel çalışmaların yapıldığı Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı (Jones Tip) Şekil 4.36’da verilmektedir. Bu tip ayırıcılarda; çok düşük manyetik duyarlılığa sahip minerallerin çok küçük boyutlarda yaş olarak ayrılması yapılabilmektedir. Alan şiddetleri 30.000 Gauss’a kadar çıkabilmektedir. Jones manyetik ayırıcısında, elektromıknatıs kutupları arasında ve düşey bir eksen etrafında dönen diskler bulunmaktadır. Yüksek manyetik alan, diskin çevresine düşey olarak yerleştirilmiş oluklu plakalar üzerinde oluşturulmaktadır. Aygıtta %2-40 pülpte katı oranında besleme yapılabilmektedir.

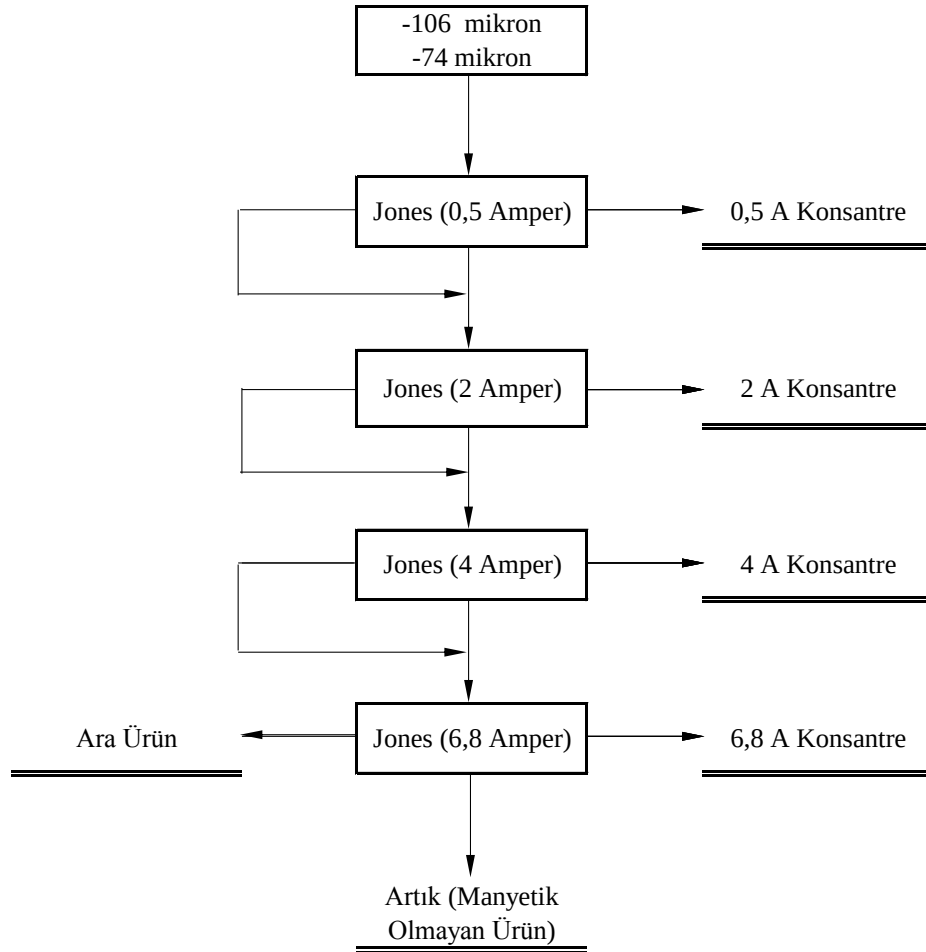
Yüksek oranda demir mineralleri içeren Topalan Uşağı cevheri üzerinde Fe₂O₃ tenörünü arttırmak için temsili numuneye yüksek alan şiddetli Jones manyetik ayırma işlemi uygulanmıştır. Tamamı 0,106 mm ve 0,074 mm boyutlarının altına indirilen malzeme ile gerçekleştirilen manyetik ayırma deneylerinin akım şeması Şekil 4.37’de, koşulları Çizelge 4.38’de, deney sonuçları ise sırasıyla Çizelge 4.39 ve Çizelge 4.40’da verilmiştir.

Çizelge 4.38 : Jones manyetik ayırıcısı deney koşulları.

PKO	%15
Besleme Hızı	50 L/saat
Ara Ürün Yıkama Suyu	80 L/saat
Plaka Sayısı	6
Gap Sayısı	4
Gap Aralığı	0.45 mm
Akım Değişimi	0,5; 2; 4; 6,8 Amper



Şekil 4.36: Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırıcısı (DP40 Jones Tip).



Şekil 4.37: Yüksek alan şiddetli jones manyetik ayırma deney akım şeması.

Çizelge 4.39 : -0,106 mm boyutunda gerçekleştirilen jones manyetik ayırma deney sonuçları.

Boyut, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-0,106	0,5 A Konsantre	8,1	17,65	10,9	49,90	10,3	10,50	3,6
	2 A Konsantre	46,1	16,64	58,4	47,75	55,8	12,30	24,2
	4A Konsantre	12,0	12,55	11,5	41,08	12,5	18,50	9,5
	6A Konsantre	3,5	9,45	2,5	35,20	3,1	39,80	5,9
	Ara Ürün	0,9	8,55	0,6	27,78	0,6	43,20	1,6
	Artık	29,4	7,21	16,1	23,80	17,7	44,10	55,2
	Toplam	100,0	13,13	100,0	39,45	100,0	23,46	100,0

Çizelge 4.40 : -0,074 mm boyutunda gerçekleştirilen jones manyetik ayırma deney sonuçları.

Boyut, mm	Ürünler	Miktar, %	MnO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-0,074	0,5 A Konsantre	8,4	18,92	12,2	50,05	11,0	9,25	3,2
	2 A Konsantre	15,2	17,84	20,9	49,87	19,8	10,12	6,3
	4A Konsantre	15,1	14,54	16,9	45,37	18,0	14,47	9,0
	6A Konsantre	12,2	11,02	10,3	38,84	12,3	23,58	11,8
	Ara Ürün	22,4	10,88	18,7	34,06	19,9	27,42	25,2
	Artık	26,7	10,25	21,0	27,25	19,0	40,55	44,5
	Toplam	100,0	13,02	100,0	38,29	100,0	24,33	100,0

5. SONUÇLAR

Elazığ Bölgesi Topalan Uşağı Yatağı'nda bulunan yüksek manganlı demir cevherlerinin zenginleştirilmesi konulu yüksek lisans tezinde aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

Tuvenan cevher üzerinde gerçekleştirilen komple kimyasal analiz sonuçlarına göre, temsili numune, %39,1 Fe_2O_3 , %13,10 MnO ve %24,20 SiO_2 içermektedir.

Numune üzerinde gerçekleştirilen mineralojik incelemeler sonucunda, numune ana bileşen olarak %30-60 oranında hematit içerdiği belirlenmiştir. Kil mineralleri %15-30 oranında iken kuvars, feldspat ve karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit) düşük oranlardadır. %10 oranında da mangan içerikli mineraller tesbit edilmiştir.

Zenginleştirmeye giren malzemelerin boyutları olan ve tamamı 13 mm boyutunun altına indirilmiş numunenin d_{80} boyutu yaklaşık 9 mm olarak belirlenirken; tamamı 1 mm altındaki numunenin d_{80} boyutu ise yaklaşık 0,8 mm olarak tesbit edilmiştir.

REMS ile gerçekleştirilen deneylerde -13+9 mm, -9+6 mm, -6+3,36 mm ve -3,36+1 mm olmak üzere 4 farklı boyut grubu üzerinde ön bıçak açısı, arka bıçak açısı, temizleme kademe sayısı ve tambur dönüş hızı parametreleri teker teker irdelenerek optimum şartlar sağlanmıştır.

-13+9 mm fraksiyonunda 3 kademeli temizleme ile birlikte; titreşim 3, ön bıçak açısı 110° , arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika şartlarında manyetik ürün % 48,21 Fe_2O_3 içerikte olup % 34,2 verim ile elde edilmiştir.

-9+6 mm fraksiyonunda 6 kademeli temizleme ile birlikte; titreşim 3, ön bıçak açısı 100° , arka bıçak açısı 60° ve tambur dönüş hızı 70 devir/dakika şartlarında manyetik ürün % 50,03 Fe_2O_3 içerikte olup % 32,8 verim ile elde edilmiştir.

-6+3,36 mm fraksiyonunda 5 kademeli temizleme ile birlikte; titreşim 3, ön bıçak açısı 100° , arka bıçak açısı 70° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika şartlarında manyetik ürün % 50,70 Fe_2O_3 içerikte olup % 50,0 verim ile elde edilmiştir.

-3,36+1 mm fraksiyonunda 5 kademeli temizleme ile birlikte; titreşim 3, ön bıçak açısı 110°, arka bıçak açısı 50° ve tambur dönüş hızı 80 devir/dakika şartlarında manyetik ürün % 51,02 Fe₂O₃ içerikte olup % 94,5 verim ile elde edilmiştir.

REMS konsantreleriyle -3,36 mm boyut grubunda gerçekleştirilen 3 kademeli zenginleştirme deneylerinde en iyi sonuç %65,07 Fe₂O₃ içeriği ve %46,4 verim ile alınmıştır.

REMS deneylerine girmeyen -1 mm lik malzeme ile, -1+0,5 mm; -0,5+0,3 mm ve -0,3 mm olmak üzere 3 farklı boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deney sonuçlarına irdelendiği zaman en iyi sonucun -0,5+0,3 mm lik boyut grubundan alındığı ve %50,10 Fe₂O₃ içeriğine ve %20,5 verime sahip olduğu gözlenmiştir.

-13 mm boyut grubunda 4 farklı fraksiyon üzerinde yapılan jig deney sonuçlarına göre %45,65 lik Fe₂O₃ içerik ve % 43,8 lik verim ile en iyi sonucun -9+6 mm boyut grubunda olduğu gözlenmektedir.

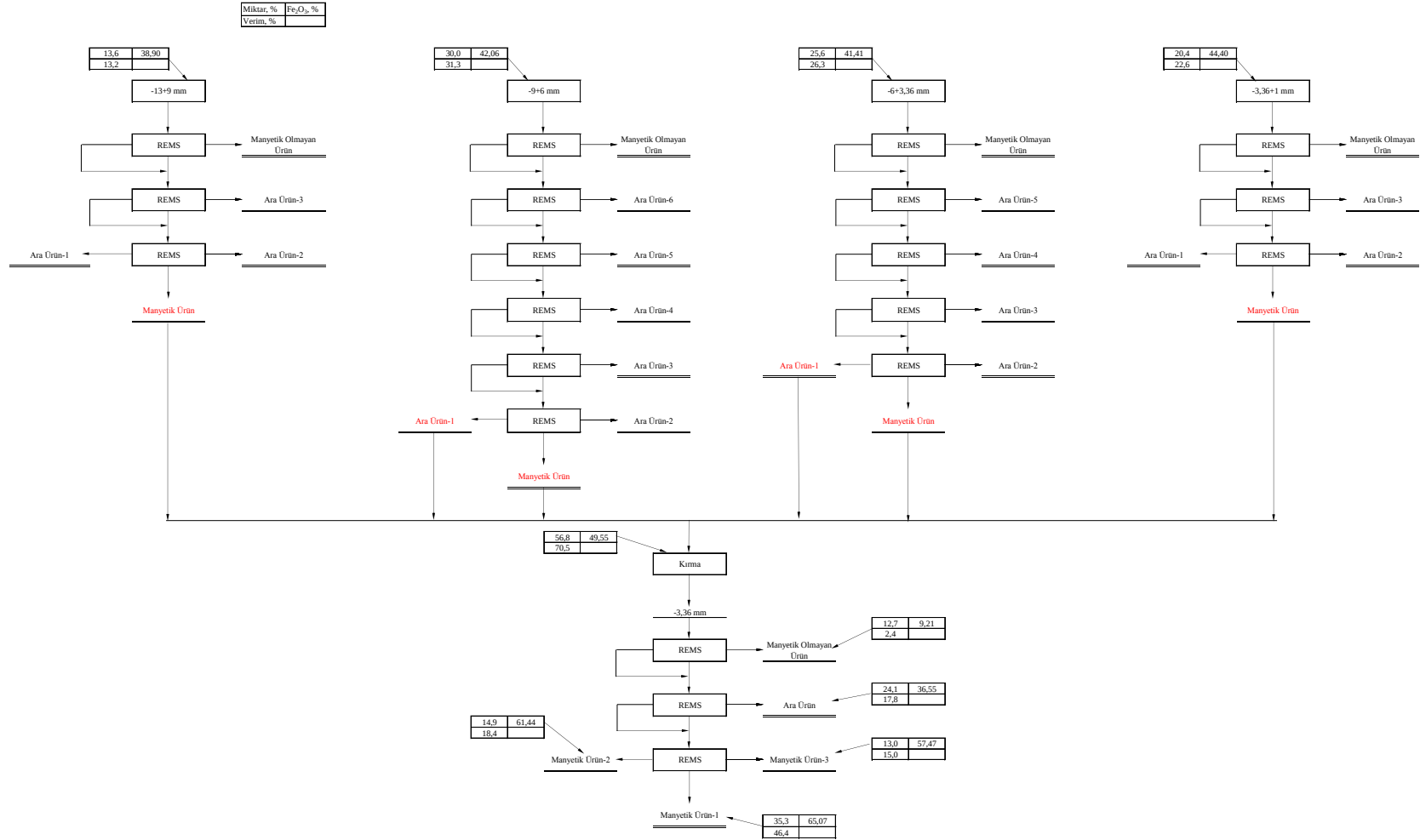
Jig deneylerine tabi tutulmayan -1 mm'lik fraksiyondaki numune -1+0,5 mm ve -0,5 mm olmak üzere 2 farklı gruba ayrılıp, gerçekleştirilen sarsıntılı masa deney sonuçları incelendiği zaman en iyi sonucun % 49,40 Fe₂O₃ içeriği ve %15,2 lik verimle -1+0,5 mm lik boyut grubundan alındığı görülmektedir.

-0,106 mm ve -0,038 mm boyut grubuna uygulanan MGS deney sonuçlarına göre; -0,106 mikron boyut grubunda %44,65 Fe₂O₃ içeriğinin % 62,5 lik bir verimle alındığı; -38 mikronda ise %47,52 Fe₂O₃ içeriğinin % 44,5 lik verimle alındığı görülmektedir.

Son olarak Jones deneyleri irdelendiği zaman -0,106 mm boyutunda 0,5 amperde %49,90 Fe₂O₃ içeriğinin ve %10,5 lik verimle alındığı; -0,074 mm boyutunda ise %50,05 Fe₂O₃ içeriğinin %11 lik verimle alındığı fark edilmiştir.

Elazığ Bölgesi Topalan Uşağı bölgesinden alınan numuneye gerçekleştirilen REMS, jig, sarsıntılı masa, Jones ve MGS deney sonuçlarına göre oluşturulan akım şeması Şekil 5.1'de gösterilmektedir. 4 farklı boyut grubunda gerçekleştirilen REMS deneylerinin manyetik ürünleri birleştirilmiştir. Fe₂O₃ içeriği baz alınarak birleştirilen manyetik ürün; -13+9 mm boyut grubundan manyetik ürün isimli ürün, -9+6 mm boyut grubundan manyetik ürün ve ara ürün-1 isimli ürün, -6+3,36 mm boyut grubundan manyetik ürün ve ara ürün-1 isimli ürün ve son olarak -3,36+1 mm boyut grubundan ise manyetik ürün isimli üründen oluşmaktadır.

Birleştirilen bu manyetik ürünlerin tamamı 3,36 mm altına indirilmiş ve bu boyut fraksiyonunda 3 kademeli REMS deneyi yapılmıştır. Gerçekleştirilen REMS deneyinden alınan manyetik ürün %65,07 Fe₂O₃ içeriğine ve %46,4 verimine sahip olup miktarca %35,3'dür.



Şekil 5.1: Zenginleştirme nihai akım şeması

KAYNAKLAR

- Arvidson, B. R.** (1988). Advances in Fine Particle Dry High- Intensity Magnetic Separation, 27th Annual Conference of Metallurgist of CIM, (Preprint), Montreal, 10 Sf.
- Atak, S.** (1974). Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması. İ.T.Ü. Yayını, 101 Sf., İstanbul.
- Ateşok, G., Kangal, M. O., Baştürkçü, H., Özer, M., Bakan, S.** (2011), Hakkari-Şemdinli Bölgesi Mangan Cevherinin Gravimetrik Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Proje Raporu, Sf. 74.
- Chan Billy S. K., Mozley R. H., Childs G. J. C.** (1994). Çeviren; Yüce A.E., Multi Gravite Ayırıcı, *Madencilik Dergisi*, Mart, Cilt 34, Sayı 1, Sf. 33-41.
- CYANAMID** 1980. Mineral Dressing Division, Mangan Mineralleri Bülteni.
- Demir Çelik Üreticiler Derneği (DÇÜD) verileri**, 2013
- DPT**, (1996). Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Ankara.
- DPT**, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Ankara.
- Krauskopf, K. B.** (1979). Introduction to Geochemistry (2. Baskı), McGraw-Hill and Kogakusha, 617 Sf.
- Organisation for Economic Co-operation and Development**, 2012
- Onuncu Kalkınma Planı**, 2014
- Önal, G. ve Ateşok, G.** (1994). Cevher Hazırlama El Kitabı.
- Rose, A. W. and Burt, D. M.** (1979). Hydrothermal Alterations: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Sec. Ed., (Ed: H.L. Barnes), John Wiley & Sons, New York, Sf. 173-235.
- Su, H., Wen, Y., Wang, F., Sun, Y., Tong, Z.** (2008). Reductive leaching of manganese from low-grade manganese ore in H₂SO₄ using cane molasses as reductant, *Hydrometallurgy* 93, 136–139.
- Şimşek, S.** (2011). Düşük Tenörlü Mangan Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi.
- X. Tian, X. Wen, C. Yang, Y. Liang, Z. Pi, Y. Wang** (2010). Reductive leaching of manganese from low-grade manganese oxide ores using corncob as reductant in sulfuric acid solution, *Hydrometallurgy* 100 157-160.
- Temur, S.** (1997). Metalik Maden Yatakları. Konya Selçuk Üniversitesi Yayınları, 161-190.

U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries,2014

Worldsteel verileri, 2013

Yıldırım İ., Ateşok G., Çelik M. (1995). Laboratuvar-Pilot Tip Multi Gravite Cihazı İle Kömür-Su Karışımları İçin Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, ISBN 975-395-150-7, Sf. 443-448.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : **Ş. Sıla Kara**
Doğum Yeri ve Tarihi : **Kayseri 09.04.1984**
E-Posta : **karasila84@yahoo.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı