



## Manyetitli sahil kumlarının zenginleştirilmesi Beneficiation of beach magnetite sand

Münevver TEL<sup>1</sup>, Eyüp SABAH<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.  
m\_e\_1989@hotmail.com, esabah@aku.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 22.02.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 29.04.2015

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.67699

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

*Bu çalışmada, manyetitli sahil kumundan, yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıda optimum şartlarda demir kazanımı amaçlanmıştır. Kuru manyetik ayırıcıda gerçekleştirilen zenginleştirme testlerinde besleme tane boyutu, besleme hızı, rulo dönüş hızı, manyetik alan şiddeti ve bölücü bıçak açısının, zenginleştirme verimi ve konsantrinin Fe tenörü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Optimum kuru manyetik zenginleştirme şartlarında, -0.212+0.106 mm fraksiyonunda yer alan ve tenörü %48.41 Fe olan sahil kumu numunesinin, 750 Gauss'luk bir manyetik alandan geçirilmesi ile %54.41 Fe tenörlü konsantre %63.46 Fe kazanma verimi ile elde edilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Sahil kumu, Manyetik ayırma, Manyetit

### Abstract

*In this study, beneficiation of beach magnetite sand was investigated by applying high intensity dry magnetic separator. The effect of feed particle size, feed rate, roll rotation speed, induced magnetic field intensity, and separator knife angle on Fe grade and recovery of the magnetite concentrate were investigated. As a result of dry magnetic separation at about 750 Gauss magnetic field conducted with -0.212+0.106 mm size fraction under optimum conditions, a magnetite concentrate assaying 54.41% Fe was obtained with 63.46% recovery where the beach sand sample contained %48.41 Fe.*

**Keywords:** Beach sand, Magnetic separation, Magnetite

## 1 Giriş

Günümüzde sanayinin temel girdilerinden birisini oluşturan demir cevherleri, demir-çelik endüstrisinin en önemli hammaddesi olup ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Çünkü bir ülkenin demir çelik üretimi ve tüketimi yani kişi başı ham çelik tüketimi, o ülkenin ekonomik gücüyle ve gelişmişliği ile yakından ilişkilidir. O nedenle demir yataklarının potansiyeli, işletilebilme ve değerlendirilebilme olanakları ülkeler için çok önem arz etmektedir.

2000 yılında 848 milyon tonluk toplam dünya ham çelik üretimi içerisinde, 14.3 milyon tonluk üretimi ve %1.7 oranındaki üretim payı ile 17. sırada yer almış olan ve 2013 yılına kadar üretimini istikrarlı bir şekilde arttırmak suretiyle 9 basamak birden yükselerek, 1.55 milyar tonluk dünya ham çelik üretimi içerisinde, 34.7 milyon tonluk üretimi ve %2.2 oranındaki üretim payı ile 8. sıraya yerleşen Türkiye, 2013 yılında 434 kg seviyesindeki kişi başı ham çelik tüketimi ile İngiltere, İspanya, Hollanda, Polonya, Danimarka gibi pek çok AB ülkesi ve AB ortalamasının üzerinde bir seviyede yer almıştır [1]. Türkiye, 2011 ve 2012 yıllarında, en büyük 10 çelik üreticisi arasında üretimi en hızlı artan ülke konumunu elde etmesine ve son 10 yıllık dönemde Çin ve Hindistan'ın ardından üretimini en hızlı arttıran üçüncü ülke konumunda olmasına rağmen yıllık demir ihtiyacının yaklaşık 4-4.5 milyon tonluk kısmını yurtiçi kaynaklardan geri kalan 8-8.5 milyon tonu ise yılda 1.16-1.2 milyar dolar (2013 yılı rakamları) döviz ödeyerek ithalatla karşılamaktadır. Nitekim, 2000 yılında 4.14 milyon ton demir cevheri ithal edildiği ve bunun için 115.5 milyon dolar [2] ödendiği dikkate alındığında, son 13 yıl içinde bu rakamların tonajda 2 kat, parasal değer olarak ise 10 kat arttığı görülmektedir. Buna, 2013 yılında 7.5 milyar dolar tutarındaki 19.7 milyon ton hurda demir ithalatı da ilave edildiğinde, Türkiye'nin, dünyanın en büyük hurda ithalatçısı konumuna neden ve nasıl ulaştığı daha rahat anlaşılmaktadır.

Tüm bu veriler, ülkemizde sanayinin lokomotifi olan demir-çelik sektörünün toplam ham çelik üretimi içerisinde yalnızca %29 oranında paya sahip olan entegre tesislerin [1] artan demir cevheri ihtiyaçlarının azami ölçüde ülke kaynaklarından karşılanmasının ülke ekonomisi açısından önemine ve hurdaya alternatif girdiler üretilmesine yönelik çalışmalara hız kazandırılmasının gereğine işaret etmektedir. Ancak bunun önündeki en büyük sorun, ülkemizde yüksek tenörlü (%50 Fe ve üzerinde) direkt şarja müsait demir cevheri rezervinin az olmasıdır. Bu durum Türkiye'de 1.2 milyar ton görünür+muhtemel rezerve sahip düşük tenörlü demir cevheri [3] yataklarının değerlendirilmesini zorunlu kılmakta, pek çok ülkede (Kanada, Norveç, İsveç, Sovyet Rusya, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri vs.) olduğu gibi, %25-35 demir ihtiva eden manyetit ve takonitlerin işletilmesi ekonomik olmaktadır [4]-[6].

Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Limonit (2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O), Götit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. H<sub>2</sub>O), Siderit (FeCO<sub>3</sub>) ve Pirit (FeS<sub>2</sub>) mineralleri şeklinde bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından ağır mineral yönünden etüd edilmiş, ekonomik olabilecek tenör ve rezerve sahip plaser manyetit minerali içeren sahil kumları Türkiye demir madenciliğine yararlı olabilecek bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İnce boyutta olan Manyetitli kumlardan, ön hazırlık işlemine gerek duyulmadan bir dizi zenginleştirme ile (gravite, manyetik, elektrostatik vs.) [7]-[10] titanyum ve demir üretimi mümkün olabilmektedir. Avustralya ve Güney Afrika basta olmak üzere dünyanın pek çok ülkesinde (Norveç, Yeni Zelanda, Japonya) demir üretiminin bir kısmı sahil kumlarından kazanılmaktadır [11]. Ülkemizde, Doğu Karadeniz sahilindeki plaj kumları MTA Enstitüsü tarafından, ağır mineral yönünden etüd edilmiş, iki aşamalı gravimetrik ve manyetik ayırma yöntemleri uygulanarak %9-10 Manyetit tenörlü sahil kumundan %57-58 Fe ve %5.5-6.9 TiO<sub>2</sub> içeren konsantre elde edilmiştir [12],[13]. Batı Karadeniz sahilinde Kilyos bölgesinde bulunan manyetit, ilmenit, rutil, zirkon, kuyars, feldspat

içerikli sahil kumlarının değerlendirilmesi amacıyla Önal [14] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sahil kumları iki aşamalı gravite zenginleşirmesine tabi tutularak ağır minerallerden ayrıştırılmış, flotasyon işlemi ile kalker uzaklaştırılarak feldspat konsantresi (%65.78 SiO<sub>2</sub>, %17.86 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; %8.91 K<sub>2</sub>O ve %4.08 Na<sub>2</sub>O) elde edilmiş, kuvars ve demir ihtiva eden malzeme yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıdan geçirilerek %97 SiO<sub>2</sub> tenörlü kuvars konsantresi kazanılmış, %10.8 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren demirli malzeme ise manyetit olarak ayrılmıştır. Premaratne ve Rowson [15] tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırmada ise manyetik zenginleştirme tekniği ile sahil kumundan titanyum kazanılmıştır. Sahil kumu dışında, manyetit veya manyetit içeren düşük tenörlü cevherler ile tesis artıklarından manyetik ayırma yöntemiyle demir kazanmaya ilişkin ulusal ve uluslararası ölçekte yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [16]-[19].

Bu çalışmada %29.32 Fe içerikli sahil kumunun -0.212+0.106 mm fraksiyonuna, basit ve uygulanabilir olması nedeniyle manyetik ayırma ile demir zenginleştirme tekniği uygulanmış, işletme parametrelerinin konsantr %Fe tenörü ve zenginleştirme verimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

## 2 Materyal ve yöntem

### 2.1 Materyal

Bu araştırmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü cevher hazırlama laboratuvarına özel bir şirket tarafından getirilen siyah sahil kumu kullanılmıştır. Tamamı 1 mm altında olan 25 kg numune, Jones Riffle numune bölücüsünde numune azaltma işlemine tabi tutulduktan sonra etüvde kurutularak analizler ve zenginleştirme deneylerine hazır hale getirilmiştir.

### 2.2 Yöntem

Sahil kumunun mineralojik analizi ve içerdiği mineraller X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve optik mikroskop ile belirlenmiş, XRD analizleri Çanakkale Seramik Fabrikaları fizik laboratuvarında yaptırılmış, optik mikroskop görüntüleri ise Nikon SMZ 800 model stereo mikroskopta gerçekleştirilmiştir.

Zenginleştirme öncesi fraksiyonel numunelerin, sonrasında ise konsantr ve artığın kimyasal analizleri Rigaku ZSX Primus marka XRF cihazında yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan sahil kumunun yoğunluğu piknometre yöntemi ile tespit edilmiştir. Yaş elek analizlerinde Retsch AS200 marka titreşimli elek kullanılmış, manyetik ayırmada verimin yüksek olabilmesi için malzemenin birbirine yakın boyutlarda sınıflandırılmış olması gereği de dikkate alınarak -1.0+0.5; -0.5+0.212; -0.212+0.106; -0.106 mm fraksiyonlarında sınıflama yapılmış ve her fraksiyona ait %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %Fe dağılımları belirlenmiştir.

Zenginleştirme deneylerinde, farklı manyetik duyarlılıktaki mineral tanelerinin uygun manyetik alan içinde birbirinden ayrılması esasına dayanan manyetik ayırma yöntemi kullanılmış ve deneyler Outotec MLH(13)115-5 model yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıda gerçekleştirilmiştir. -0.212+0.106 mm arası fraksiyonlarında gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerine ait çalışma parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

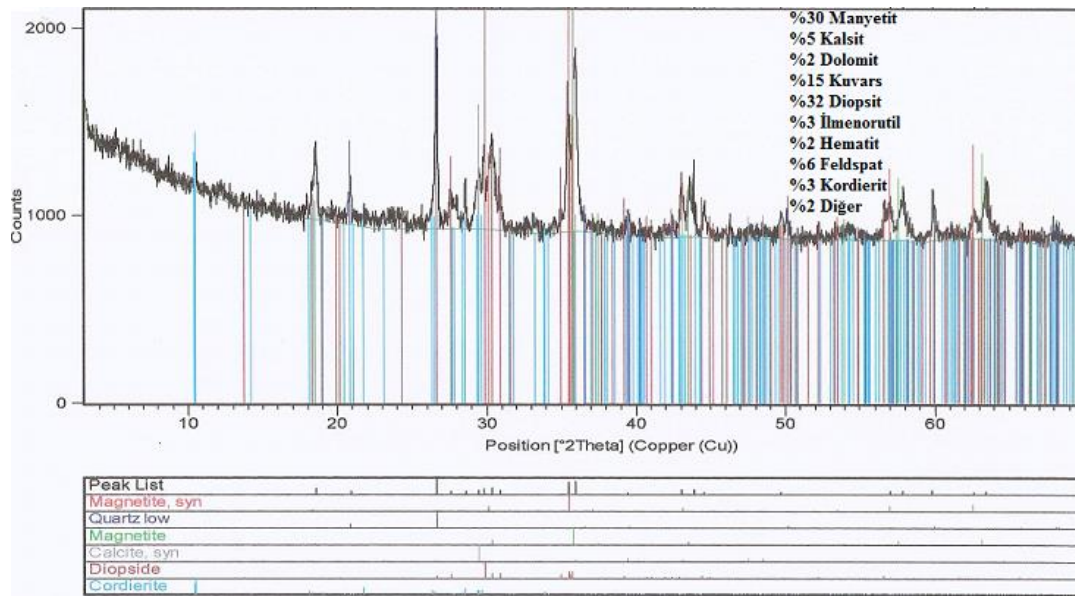
Tablo 1: Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı çalışma parametreleri.

Tane Boyutu (mm)	Besleme Hızı (Hz)	Rulo Dönüş Hızı (D/D)	Manyetik Alan Şiddeti (Gauss)	Bıçak Açısı (°)
-0.212+0.106	28	30	500	22
	45	40	750	25
	60	50	1000	27
	74	60	-	33
	100	70	-	-

## 3 Sonuçlar ve tartışma

### 3.1 Karakterizasyon sonuçları

XRD yöntemiyle yapılan yarı kantitatif mineralojik analiz sonucuna göre sahil kumu; manyetit ve diyopsit (kalsiyum magnezyum silikat) ile birlikte az miktarda kalsit, dolomit, kuvars, ilmenit, rutil, hematit, feldspat, kordiyerit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 1).



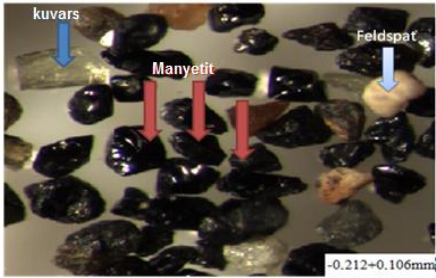
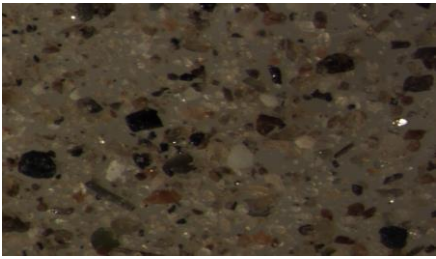


Şekil 1: Sahil kumuna ait XRD (X-ışınları kırınım) deseni.

Sahil kumunun çeşitli fraksiyonlarına ait stereo mikroskop görüntülerinden (Şekil 2), demir mineralinin manyetit olduğu, manyetitin de ağırlıklı olarak -0.212+0.106 mm fraksiyonunda toplandığı ve bunu -0.5+0.212 mm fraksiyonunun izlediği görülmektedir.

Nitekim, çeşitli elek fraksiyonlarına uygulanan demir analizleri; yukarıda belirtilen fraksiyonlarda demir yüzdelерinin yüksek olduğunu, kuvars, kalsit ve feldspattan oluşan gang minerallerinin ise -0.106 mm fraksiyonunda toplandığını göstermektedir (Tablo 2).

Piknometrede yapılan dört ölçümün aritmetik ortalaması alınmak suretiyle yoğunluğu 3.20 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenen besleme malzemesine ait fraksiyonel metalürjik denge tablosundan (Tablo 3)'te görüleceği gibi, ortalama Fe tenörü

Tane Boyutu (mm)	Görüntü
-1+0.5	
-0.5+0.212	
-0.212 + 0.106	
- 0.106	

Şekil 2: Sahil kumu elek fraksiyonlarına ait stereo mikroskop görüntüleri.

%29.32 olan sahil kumunda, demir mineralleri %63 oranında -0.5+0.106 mm aralığında yoğunlaşmaktadır. 0.106 mm altında kalan malzeme miktarı ve Fe tenörü ise düşüktür. İri boyutlu malzeme olarak tanımlanan +0.5 mm boyut grubunda yer alan malzeme oranı %32.65 olup, Fe tenörü %17.46'dır (Tablo 3). Fe içeren mineraller ve özellikle manyetit, yoğun olarak -0.212+0.106 mm fraksiyonunda toplandığı ve bu aralıkta yer alan malzeme yüksek oranda (%48.41) Fe içeriğine sahip olduğu için, manyetik zenginleştirme deneylerinde -0.212+0.106 mm aralığında yer alan malzeme kullanılmıştır.

Tablo 2: Sahil kumu elek fraksiyonlarının kimyasal analiz sonuçları.

Bileşim (%)	Fraksiyonlar (mm)			
	-1+0.5	-0.5+0.212	-0.212+0.106	-0.106
SiO <sub>2</sub>	36.61	23.39	12.37	38.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>14.80</b>	<b>25.60</b>	<b>44.00</b>	<b>15.60</b>
Fe	<b>17.46</b>	<b>32.82</b>	<b>48.41</b>	<b>14.51</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.24	8.15	8.24	5.77
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.67	16.90	23.80	3.04
CaO	13.30	7.50	2.08	11.65
MgO	7.45	7.39	6.14	9.63
Na <sub>2</sub> O	0.57	0.34	0.16	0.67
K <sub>2</sub> O	0.50	0.44	0.32	0.91
TiO <sub>2</sub>	1.03	1.87	2.72	1.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.04	0.03	0.09
MnO	0.88	1.66	1.66	0.50
SO <sub>3</sub>	0.05	0.03	0.04	0.22
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.06	-
NiO	0.06	0.08	0.12	0.18
ZnO	0.04	0.07	0.12	0.04
SrO	0.01	0.01	-	0.02
ZrO <sub>2</sub>	-	0.01	0.01	0.03
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.17	-	-
A.Z	9.56	4.42	0.93	14.90

Tablo 3: Boyut dağılımına bağlı metalürjik denge tablosu.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık g	%	Fe (%)	Fe Dağılımı (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Dağılımı (%)
-1.0+0.5	315.5	32.65	17.46	19.36	14.80	20.12
-0.5+0.212	546.0	56.50	32.82	63.00	25.60	60.22
-0.212+0.106	103.2	10.67	48.41	17.55	44.00	19.55
-0.106	1.7	0.18	14.51	0.09	15.60	0.12
<b>Toplam</b>	<b>966.4</b>	<b>100.0</b>	<b>29.32</b>	<b>100.0</b>	<b>24.02</b>	<b>100.0</b>

### 3.2 Zenginleştirme

Rulo tipi manyetik ayırıcılarda, verimli bir ayırma için rulo dönüş hızı ile besleme hızı arasında iyi bir konfigürasyonun sağlanması, bant üzerine beslenen malzemenin tek tabanlı (monolayer) olması ve böylece, kalın tabakalı besleme karşılaşılan mekanik sıkışma (manyetik olmayan tanelerin manyetik taneler altında sıkışıp yanlışlıkla manyetik kısma geçmesi) olayının önlenmesi gerekmektedir [8]. Bu amaçla zenginleştirme işlemi öncesinde, manyetik ayırıcının rulo dönüş ve titreşim genliği optimize edilmiştir (Tablo 4). Ayrıca, besleme bandından gelen malzemenin manyetik alandan geçerken tam olarak taranabilmesi ve rulo tarafından çekilmesi için besleyici titreşim hızının rulo dönüş hızına yakın veya ondan küçük olması gerekmektedir. Bu nedenle, optimum rulo dönüş hızı ve titreşim genliği olarak, manyetik ayırıcıya beslenen malzemenin %58.35'inin manyetik üründe toplanma şartlarını sağlayan 40 D/D besleme hızı ve 45 Hz titreşim genliği esas alınmıştır.



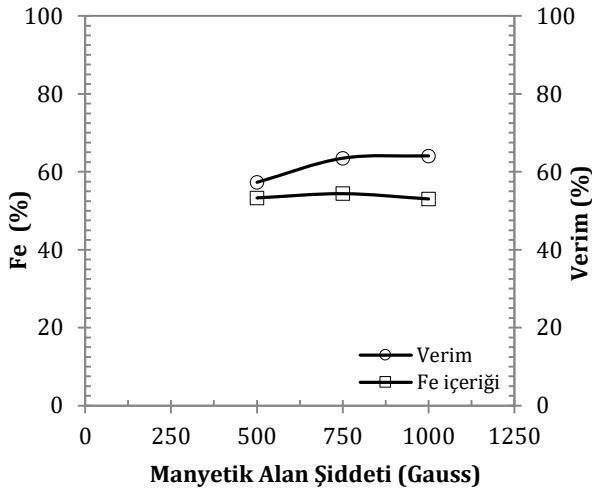
Tablo 4: Rulo dönüş ve titreşim hızı optimizasyonu.

Rulo Dönüş Hızı (D/D)	Rulo Dönüş Hızı (D/D)							
	20	30	40	50	60	70	80	100
28	58.68	<b>60.04</b>	59.48	59.20	58.18	58.08	56.27	54.29
45	54.10	57.36	<b>58.35</b>	57.54	56.70	56.42	55.14	53.59
60	52.17	53.81	54.86	<b>55.24</b>	55.12	54.53	53.91	52.52
74	47.03	48.48	50.21	50.74	<b>52.67</b>	50.68	50.74	49.08
100	40.34	41.64	43.01	44.12	44.57	<b>44.97</b>	44.55	43.39

\*Koyu yazılı olan rakamlar, maksimum değerler.

### 3.2.1 Manyetik alan şiddetinin etkisi

Bu deneylerde, besleme hızı 45 Hz, merdane dönüş hızı %40, bıçak açısı 25° olarak sabit tutulmuş, -0.212+0.106 mm aralığındaki sahil kumu numunesi kullanılarak, manyetik alan şiddeti 500-1000 gauss (0.17-0.34 amper) arasında değiştirilmiştir.



Şekil 3: Manyetik alan şiddetinin konsantre tenörü ve verime etkisi.

Şekil 3'ten de görüldüğü gibi, manyetik alan şiddeti artışının gerek konsantre Fe tenörü ve gerekse verime çok fazla bir etkisi olmamış, ancak verimdeki kısmi yükseliş ve konsantre Fe tenörü dikkate alınarak optimum manyetik alan şiddeti 750 Gauss olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda yapılan manyetik ayırma sonucu elde edilen konsantrenin Fe içeriği %54.41 olup, verim ise %63.46'dır. Verimdeki kısmi artışa rağmen konsantrenin Fe tenöründeki düşüş, manyetik topaklaşmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Bir başka ifade ile, sahil kumunda bulunan manyetik partiküller yüksek manyetik duyarlılığa sahip olduğu için manyetik alan içinde manyetizma kazanır ve bir mıknatıs gibi birbirlerini çekerek aglomerasyona uğrarlar ve bunun sonucunda topaklanma meydana gelir. Söz konusu aglomera partiküller, manyetik alan şiddeti artışına bağlı olarak aralarına manyetik olmayan partikülleri de hapsederek manyetik topaklaşmayı meydana getirir. Bu şartlar altında konsantrenin Fe içeriği düşerken selektivite azalır ve verim artar [20]-[21]. Ayrıca bağlı tanelerin varlığı da dikkate alındığında, konsantre içinde manyetik duyarlılığı olmayan safsızlıkların artması ile Fe tenöründe azalma meydana gelir. Nitekim, çalışılan 500, 750 ve 1000 Gauss'luk manyetik alan şiddetlerinde, manyetik olmayan ürünün (artığın) %Fe içerikleri (43.07; 40.62; 41.87) dikkate alındığında (Tablo 5), bağlı tanelerin mevcudiyeti ve bunların artıktaki bol miktarda değerli metal kaçağına neden olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5: Manyetik alan şiddetinin etkisi.

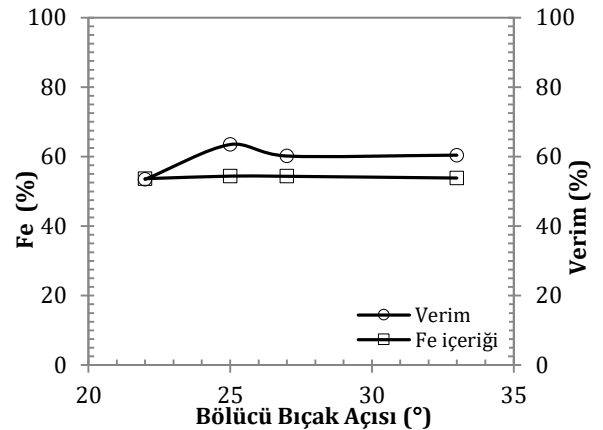
Manyetik Alan Şiddeti (Gauss)	Ürünler	Ağırlık		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Verimi (%)	Fe Verimi (%)
		g	%				
500	Konsantre	62.9	52.06	59.91	53.32	70.89	57.34
	Artık	57.9	47.94	26.71	43.07	29.11	42.65
	Beslenen	120.8	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0
750	Konsantre	68.1	56.46	57.46	54.41	73.65	63.46
	Artık	52.5	43.54	26.65	40.62	26.35	36.54
	Beslenen	120.6	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0
1000	Konsantre	70.8	58.46	57.57	53.05	76.49	64.06
	Artık	50.3	41.54	24.89	41.87	23.21	35.94
	Beslenen	121.1	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0

### 3.2.2 Bölücü bıçak açısının etkisi

Bölücü bıçak açısının optimizasyonu için yapılan deneylerde besleme hızı 45 Hz, merdane dönüş hızı %40, manyetik alan şiddeti 750 gauss (0.24 amper) olarak sabit tutulmuş, bıçak açısı 22°-33° arasında değiştirilmiştir. Tablo 6 ve Şekil 4, bıçak açısı artışının konsantre Fe tenörüne kayda değer bir etkisinin olmadığını, ancak, özellikle düşük (22°) ve yüksek (27° ve 33°) bıçak açılarında verimin kısmen azaldığını göstermektedir. Bölücü bıçak, yüksek açılarda ruloya nispeten daha uzak bir pozisyon aldığından düşük duyarlılığa sahip malzeme artığa yönelmekte; düşük açılarda ise ruloya yaklaştığından, genel fizik yasalarına göre ince tanelere etkiyen merkezkaç kuvvetin düşük olması nedeniyle, konsantre kirlenmesi meydana gelmektedir. Verim artışı dikkate alınarak optimum bıçak açısı 25° seçilmiş ve bu şartlarda %63.46 verimle, tenörü %54.41 Fe olan konsantre elde edilmiştir.

Tablo 6: Bölücü bıçak açısının etkisi.

Bıçak Açısı (°)	Ürünler	Ağırlık		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Verimi (%)	Fe Verimi (%)
		g	%				
22	Konsantre	56.9	49.42	57.20	53.65	64.24	53.44
	Artık	61.0	50.58	31.10	43.29	35.76	46.56
	Beslenen	120.6	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0
25	Konsantre	68.1	56.46	57.46	54.41	73.65	63.46
	Artık	52.5	43.54	26.65	40.62	26.35	36.54
	Beslenen	120.6	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0
27	Konsantre	64.6	53.43	57.90	54.36	70.31	60.16
	Artık	56.3	46.57	28.05	41.29	29.69	39.84
	Beslenen	120.9	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0
33	Konsantre	66.4	55.06	57.90	53.85	72.45	60.41
	Artık	54.2	44.94	26.97	43.26	27.55	39.59
	Beslenen	121.1	100.0	44.00	48.41	100.0	100.0

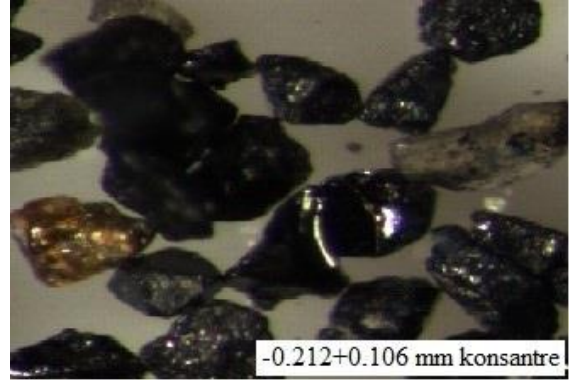


Şekil 4: Bölücü bıçak açısının konsantre tenörü ve verime etkisi.

Sonuç itibarıyla; %48.41 Fe içeren -0.212+0.106 mm fraksiyonu sahil kumunun kuru manyetik ayırıcıda zenginleştirilmesiyle, optimum şartlarda (besleme hızı 45 Hz, merdane dönüş hızı 40 D/D, manyetik alan şiddeti 750 gauss ve bölücü bıçak açısı 25°) %63.46 verimle %54.41 Fe tenörlü konsantre (Şekil 5) elde edilmiştir. Aynı şartlarda açığa çıkan artığın (Şekil 6) Fe içeriği ise %40.62 olup, oldukça yüksektir. Ünye sahil kumlarından demir kazanımına yönelik olarak yapılan çalışmalarda, 0.088-0.250 mm boyut aralığında %9-10 manyetit tenörlü numuneler iki aşamalı gravimetrik ayırmaya tabi tutulduktan sonra yine iki aşamalı olarak yaş manyetik ayırma prosesinden geçirilmiş ve %57-58 Fe ve %5.5-6.5 TiO<sub>2</sub> içeren manyetit konsantreleri elde edilmiştir [12],[13].

Sahil kumu ve bu kumdan elde edilen manyetit konsantresinin özellikleri (Tablo 7) ile artığın içerdiği bağlı taneler dikkate alınarak önerilen proses akım şeması Şekil 7'de verilmiştir. Ülkemizde demir cevherleri için ekonomik değerlendirilebilirlik sınırı %25 Fe [22], Kuzey Amerika ülkelerinde (ABD, Kanada ve Meksika) ise %19.5 Fe olup [23], -1+0.5 fraksiyonundaki malzeme işletilebilir sınırın altında (%17.46 Fe) demir içerdiğinden zenginleştirme işlemine tabi tutulmamıştır. İşletilebilir demir tenörüne (%32.82 Fe) sahip -0.5+0.212 mm fraksiyonun ise, bağlı tanelerden dolayı öğütme ile serbestleştirme işleminden sonra Humprey spirali ve/veya manyetik ayırma ile zenginleştirilebilir. -0.212+0.106 mm fraksiyonundaki malzeme kuru manyetik ayırma ile zenginleştirildikten sonra elde edilen artığın demir içeriği (%40.62 Fe) ve miktarı da dikkate alınarak, artığın serbestleşme boyutuna kadar öğütülüp iki veya üç aşamalı manyetik zenginleştirme işlemine [24] tabii tutulduğunda çok daha yüksek verim ve tenör ile manyetit konsantresi elde edilebilir. Davy [25], beslenen malzemede ağırlıkça %40'dan fazla manyetik ürün bulunduğunda, bir başka ifadeyle fazla miktarda manyetik mineral içeren malzemelerde optimum koşullarda bir zenginleştirme ve daha ekonomik bir ayırma için çok aşamalı manyetik ayırmanın gerekli olduğunu bildirmektedir.

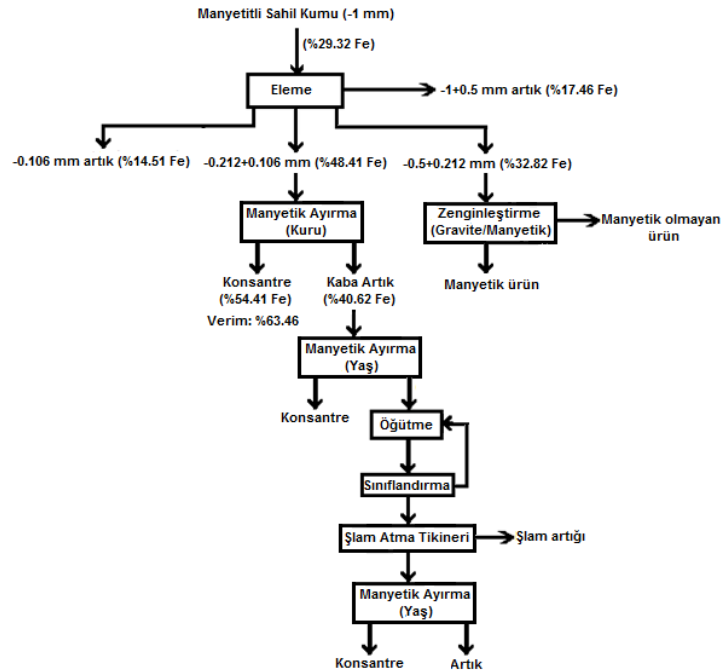
Elde edilen konsantre manyetit Fe içeriği ve boyut aralığı dikkate alınıp, 1993-1998 yılları arasında Erdemir tarafından satın alınan yerli demir cevherlerinin ortalama kimyasal analizleri (Tablo 8) göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapıldığında, konsantrenin satılabilir nitelikte olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5: Optimum şartlarda elde edilen konsantrenin görünümü.



Şekil 6: Optimum şartlarda açığa çıkan artığın görünümü.



Şekil 7: Önerilen proses akım şeması.

Tablo 7: Beslenen malzeme ve konsantreye ait kimyasal analiz sonuçları.

(%)	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	A.Z.
Beslenen	8.06	44.0	48.41	8.76	23.80	2.91	7.22	0.16	0.32	2.72	0.02	0.93
Konsantre	4.72	57.46	54.41	6.12	20.69	0.92	5.58	0.07	0.05	3.15	0.02	0.00

Tablo 8: Erdemir tarafından 1993-1998 yılları arasında satın alınan yerli demir cevherlerinin ortalama kimyasal analiz verileri [26].

YATAK	TON	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	S	CaO+MgO	Cu	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Zn	Nem %
BİZMİŞEN	83.112	53.32	9.50	0.04	2.59	1.08	0.07	1.25	0.07	0.42	0.08	9.70
BEĞMİR	357.734	52.60	16.2	0.15	1.51	0.02	0.21	0.28	0.01	0.09	0.00	6.78
DEVECİ	790.469	50.79	6.21	0.01	1.20	5.68	0.00	1.91	0.04	0.26	0.04	14.83
H. ÇELEBİ	11.551	49.44	4.82	0.01	1.19	5.11	0.01	4.90	0.03	0.22	0.16	14.43
MENTEŞ	647.405	55.63	6.74	0.02	0.63	1.08	0.01	1.08	0.00	0.17	0.00	9.84
OTLU KİLİSE	317.840	53.58	7.45	0.05	1.63	1.45	0.03	1.24	0.04	0.34	0.07	10.89
ŞAMLI	150.730	59.07	7.79	0.03	1.13	0.18	0.75	4.07	0.56	0.13	0.03	2.06
ŞIRZI	16.040	49.79	4.80	0.01	1.07	4.82	0.01	4.37	0.01	0.11	0.12	11.96
TOP. ORT.	2 374 881	53.36	8.22	0.04	1.19	2.49	0.09	1.50	0.06	0.22	0.03	10.72

#### 4 Kaynaklar

- [1] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği. "Türkiye Demir ve Demirdışı Metaller Meclisi Sektör Raporu". Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Ankara, Türkiye, 221, 2014.
- [2] Devlet Planlama Teşkilatı. "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu". Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 2739, 2007.
- [3] Potada Eriyen. "Demir Mi? Demir-Çelik Sektörü Mü?". [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi135/d135\\_3848.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi135/d135_3848.pdf) (20.02.2015).
- [4] Miller, JR. "Garnir cevherinde empürüteler". *Madencilik*, 9(6), 8-16, 1970.
- [5] Van Uffelen, M. "Beneficiation Testing Confirms 120Mt~167Mt DSO Grade Product Potential at Spearhole". Dynasty Resources Limited's News, West Perth, Australia, Scientific Report, ASX Release, 2011.
- [6] Meadows, N. "IMX Resources Announces Significant Improvement in Mt Woods Magnetite Metallurgical Performance". IMX Resources NL, West Perth, Australia, Scientific Report, 2013.
- [7] Arvidson, BR. "The many Uses of Rare-Earth magnetic separators for heavy mineral sands processing". *International Heavy Minerals Conference*, Fremantle, WA, 18-19 June 2001.
- [8] Ekmekçi, Z. "Yüksek alan şiddetli sürekli mıknatıslı manyetik ayırıcılar: Özellikleri ve uygulamalar". *Madencilik*, 29(3), 39-46, 1990.
- [9] Kahriman, A, Kurşun, İ. "Avrupa Birliği üyelik sürecinde doğal kaynaklarımızın önemi". *Türkiye Günlüğü*, 70, 71-72, 2002.
- [10] Svoboda, J, Fujita, T. "Recent developments in magnetic methods of material separation". *Minerals Engineering*, 16(9), 785-792, 2003.
- [11] Hacifazlıoğlu, H. "Silis kumunun zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler ve flotasyon ile manyetik ayırma yöntemlerinin demir giderimim bakımından karşılaştırılması". *Madencilik*, 50(3), 35-48, 2011.
- [12] Akın, S, Yalçın, O, Kayadelen, M. "Çarşamba-Ünye sahil kumlarından demir kazanma olanakları". *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi*, Ankara, Türkiye, 19-22 Şubat 1975.
- [13] Köksoy, M. "Doğu Karadeniz plaser magnetit yatakları". *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi*, Ankara, Türkiye, 19-22 Şubat 1975.
- [14] Önal, G. "Kilyos bölgesi kumlarının değerlendirme olanaklarının araştırılması". *Türkiye Madencilik ve Teknik 7. Kongresi*, Ankara, Türkiye, 16-20 Şubat 1981.
- [15] Premaratne, WAPJ, Rowson, NA. "The processing of beach sand from sri lanka for the recovery of titanium using magnetic separation". *Physical Separation in Science and Engineering*, 12(1), 13-22, 2003.
- [16] Arol, Aİ, Aydoğan, A. "Recovery enhancement of magnetite fines in magnetic separation". *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects*, 232(2-3), 151-154, 2004.
- [17] Başaran, G. Beneficiation Studies on the Fine Iron Ore Tailings of Divrigi Concentrator. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1988.
- [18] Kumar, DR, Srinivas, RD, Ram, RPS. "Magnetic separation studies for a low grade siliceous iron ore sample". *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(1), 1-5, 2013.
- [19] Yedilbayev, AI, Yugay, VD, Kubeyev, RU, Muzgina VS. "Development of technology for iron ores of bapy deposit beneficiation". *11<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium*, Belek-Antalya, Turkey, 21-23 October 2008.
- [20] Svoboda, J. "The effect of magnetic field strength on the efficiency of magnetic separation". *Minerals Engineering*, 7(5-6), 747-757, 1994.
- [21] Güngör, K. Production of Heavy-Media-Quality Magnetite Concentrate From Kesikköprü Iron Ore Tailings. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2010.
- [22] Temur, S. *Metalik Maden Yatakları*. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, Nobel Yayınevi, 2000.
- [23] Cebeci, Y, Aslan, N, Canbazoglu, M. "Demir cevherlerinin zenginleştirilmesi". *Madencilik Bilim ve Teknolojisi Dergisi*, 1(1), 165-184, 1993.
- [24] McNab, B, Jankovic, A, David, D, Payne, P. "Processing of Magnetite iron ores-comparing grinding options". *Iron Ore Conference*, Perth, WA, 27-29 July 2009.
- [25] Davy, M. "Rare earth magnets in mineral sands processing". *9<sup>th</sup> Industrial Minerals International Congress*, Sydney, Avustralia, 25-28 March 1990.
- [26] Devlet Planlama Teşkilatı. "Madencilik ÖİK Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Demir Çalışma Grubu Raporu". Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 2624, 2001.