



## BAKIR İÇEREN DEMİR CEVHERİNİN MANYETİK AYIRMA VE FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

(*BENEFICIATION OF A COPPER CONTAINING IRON ORE BY USING MAGNETIC  
SEPARATION AND FLOTATION*)

Sezai Şen\*, Tayfun Çiçek\*, Vedat Taylan Engin\*

### ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada yüksek oranda bakır içeren bir demir cevherinin farklı yöntemlerin bir arada kullanılması ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Söz konusu cevherin içerisindeki bakır ve demir minerallerinin her ikisi de ekonomik olarak önem taşımaktadır. Numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu, 63 mikron altına öğütme ve düşük akı yoğunluklu tambur tipi yaş manyetik ayırıcıların kullanılması ile doğrudan redüksiyon peletlik konsantre özelliklerinde % 69,5 Fe içeren bir demir konsantresinin üretiminin teknik açıdan mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Manyetik ayırma işlemiyle üretilen demir konsantresi içerisindeki Cu ve S elementlerinin tenörleri kabul edilebilir sınırların altına çekilebilmiştir. Konsantre ağırlık verimi % 65, Fe verimi ise % 91 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan çalışmalar manyetik ayırıcı artıklarına uygulanacak flotasyon işlemi sonucunda % 23 civarında bakır içeren bir konsantrenin % 80 civarı verim değerleri ile üretilebilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

*In this study, beneficiation of a high amount of copper containing iron ore by using a combination of different concentration methods was investigated. The ore sample contains copper and iron minerals which are both important in economic terms. The results of the experimental studies including magnetic separation after grinding the ore below 63 micron particle size showed that it is technically possible to obtain an iron concentrate containing 69,5% Fe which is suitable for using in the production of direct reduction pellets. Cu and S grades of the iron concentrate reduced below the critical concentrations by the application of magnetic separation. The yield and recovery values of the iron concentrate was found to be as about 65% and 91% respectively. The experimental work has implied that it is likely to obtain a copper concentrate assaying about 25% Cu with about 80% recovery by the application of flotation to the tailings of magnetic separation process.*

### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Demir, bakır, manyetik ayırma, flotasyon  
Iron, copper, magnetic separation, flotation

---

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

## 1. GİRİŞ

Demir, M.Ö. 4000 yıllarından bu yana kullanılmaya başlanmış, toplumların ekonomik ve sosyal gelişmelerinde doğrudan etkisi olan, endüstrinin temel girdilerinden biridir. 1980'li yılların sonlarında dünyadaki demir-çelik tüketimi 750 milyon t/yıl civarında iken, özellikle 2000'li yılların başından itibaren hızla artışa geçmiştir ve 2008 yılında 1344 milyon t/yıla ulaşmıştır. Günümüzde, gelişen üretim teknolojileri ve endüstrileşme ile beraber artan kişi başına yıllık demir-çelik tüketimi, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. 2006 yılı kişi başına düşen ham çelik tüketimi Dünya'da ortalama 202,2 kg, Türkiye'de ise 328,7 kg olarak gerçekleşmiştir. Bu rakam EU15 olarak adlandırılan AB ülkelerinde 459,4 kg, ABD'de ise 424,5 kg olmuştur. Çin 489,2 milyon tonluk üretimi ile ham çelik üretiminde lider ülke konumunda bulunmaktadır, Türkiye 2008 yılında 26,4 milyon ton çelik üretimi gerçekleştirmiştir (IISI, 2007). 2008 yılı üretim değerleri göz önüne alındığında, demir cevheri üretiminde lider durumda bulunan kuruluşların listesi ve üretim miktarları Çizelge 1'de, dünya demir cevheri rezervi ise Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. 2008 Yılında Dünya Demir Üretiminde Söz Sahibi Olmuş Kuruluşlar (Ericsson ve Löf, 2009)

Sıralama	Kuruluş	Ülke	Üretim miktarı (milyon ton)	Dünya üretimindeki payı (%)
1	Vale	Brezilya	303	17,6
2	Rio Tinto	Birleşik Krallık	150	8,7
3	BHP Billiton	Avustralya	137	7,9
4	State of India	Hindistan	54 (tahmini)	3,1
5	Arcelor Mittal	Birleşik Krallık	46 (tahmini)	2,7
6	Metalloinvest	Rusya	38 (tahmini)	2,2
7	Anglo American	Güney Afrika	36,7	2,1
8	Cliffs Natural Resources	ABD	32,7	1,9
9	System Capital Management	Ukrayna	24,5	1,4
10	LKAB (State of Sweden)	İsviçre	24	1,4
Toplam (Dünya Toplam)			846 (1.725)	49 (100)

Çizelge 2. Dünya Demir Cevher Rezervi (USGS, 2009)

Ülke	Maden Üretimi		Rezerv (rezerv-baz rezerv), 10 <sup>6</sup> ton	
	2007	2008-tahmini	Ham cevher	Fe içeriği
ABD	52	54	6,900 - 15,000	2.100 - 4.600
Avustralya	299	330	16,000 - 45,000	10.000 - 28.000
Brezilya	355	390	16,000 - 33,000	8.900 - 17.000
Kanada	33	35	1,700 - 3,900	1.100 - 2.500
Çin	707	770	21,000 - 46,000	7.000 - 15.000
Hindistan	180	200	6,600 - 9,800	4.200 - 6.200
İran	32	32	1,800 - 2,500	1.000 - 1.500
Kazakistan	24	26	8,300 - 19,000	3.300 - 7.400
Moritanya	12	12	700 - 1,500	400 - 1.000
Meksika	12	12	700 - 1,500	400 - 900
Rusya	105	110	25,000 - 56,000	14.000 - 31.000
Güney Afrika	42	42	1,000 - 2,300	650 - 1.500
İsviçre	25	27	3,500 - 7,800	2.200 - 5.000
Ukrayna	78	80	30,000 - 68,000	9.000 - 20.000
Venezüella	23	20	4,000 - 6,000	2.400 - 3.600
Diğer	47	50	11,000 - 30,000	6.200 - 17.000
Toplam	2.000	2.200	150,000 - 350,000	73,000 - 160,000

Demir-çelik üretiminde; kullanılan parça cevhere ve demir konsantrelerine, konsantre türüne, üretim bölgesindeki enerji sunumuna ve diğer etkenlere bağlı olarak çeşitli yöntemler uygulanır. Bu yöntemler arasında en önemli yeri yüksek fırında ergitme yöntemi almaktadır. Elektrik fırınlarında ergitme yöntemi ve sünger demir üretim yöntemi de diğer önemli demir üretim yöntemleridir. Bütün bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri ve elde edilecek ürünlerin kaliteleri kendilerine özgü kriterlere bağlıdır (Çilingir, 1996; MMO, 2009).

Demir çelik üretiminde kullanılacak olan konsantrelerin demir tenörleri hakim demir minerali türüne göre değişiklik göstermektedir. Manyetik konsantrelerinin % 50 - 55'in üzerinde, hematit konsantrelerinin % 50 - 55'in üzerinde, limonit konsantrelerinin % 45'in üzerinde, siderit konsantrelerinin % 35'in üzerinde Fe içermesi istenir. Demir tenörünün yanında bir diğer önemli kriter ürün kalitesini bozan zararlı elementlerin miktarlarıdır. Örneğin; yüksek fırınlarda, demir konsantresi veya kok kömürü içerisindeki kükürt üretimde metal fazına geçerek üretimin kalitesini bozmaktadır, kullanılan kok kömürünün yüksek oranda (% 2' den fazla) kükürt içermesi durumunda, işlenecek olan demir konsantrelerinin % 0,15-0,35'ten fazla kükürt içermemesi istenmektedir. Eğer kullanılacak olan kok kömürü kükürt içeriği düşük ise (% 0,5' ten az); demir konsantrelerinin % 0,75 - 1,0 kükürt içermesine katlanılabilmektedir (Çilingir, 1996). Bir diğer önemli safsızlık ise demir konsantrelerindeki bakır içeriğidir. Konsantre içerisindeki bakır metal fazına geçerek çeliğin kalitesini bozmaktadır, bu nedenle konsantre bakır içeriğinin % 0,06'yı aşması durumunda problem yaşanmaktadır. Bu nedenle demir çelik üretimi için kullanılacak olan demir konsantrelerinin kullanılacak olan yönteme bağlı olarak bazı temel kriterleri karşılaması gerekmektedir. Bu gibi durumlarda ham demir cevherlerinin zenginleştirme işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Böylelikle Fe içeriği düşük olan cevherlerin tenörleri gerekli minimum tenör miktarına yükseltilebilmekte, konsantre içerisindeki zararlı elementler uzaklaştırılabilmekte veya cevher içerisindeki diğer değerli minerallerde ayrı konsantreler halinde üretilebilmektedirler. Zenginleştirme işlemlerinde kullanılan temel işlemler elle ayıklama, yapısal mekanik özelliklere göre zenginleştirme, yoğunluğa göre zenginleştirme, manyetik alanda zenginleştirme, flotasyon ile zenginleştirme, manyetitleştirici kavurma-manyetik ayırıcı ile zenginleştirme gibi yöntemleri kapsamaktadır (Çilingir, 1996). Bu çalışmada cevherin yapısına ve kendine özgü kriterlerine uygun olarak manyetik ayırma ve sülfür flotasyonu işlemleri kullanılarak demir çelik üretiminde kullanılmaya uygun tenörde demir konsantresi ve satılabilir kalitede bakır konsantresi üretilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Sahadan alınmış olan yaklaşık 10 t ağırlığındaki temsili numune işletmede bulunan çeneli kırıcı kullanılarak kırılmış, numune azaltma işlemleri yapıldıktan sonra yaklaşık 600 kg ağırlığındaki numune Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına getirilmiştir. Numune, 25 mm altına kırıldıktan sonra, homojenleştirilip azaltılmıştır. Azaltılmış olan numuneden 70 kg malzeme şahit olarak arşive kaldırılmış ve yaklaşık 65 kg malzeme zenginleştirme çalışmaları için ayrılmıştır. Testler için ayrılan -25 mm numune; 25-10, 10-2, ve -2 mm tane sınıflarına ayrılmış olup, bu numunelere ait elek ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Ana Numune Elek ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Tane Sınıfı (mm)	Ağ (%)	Fe (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Cu (%)
25-10	53,96	45,26	1,41	18,45	5,90	3,84	0,21	0,62	0,78
10-2	25,41	51,51	1,05	10,63	4,15	3,04	0,11	0,30	0,70
-2	20,63	56,20	0,88	3,70	3,28	2,36	0,05	0,40	0,85
Toplam	100,00	49,11	1,21	13,41	4,91	3,33	0,15	0,49	0,77

Söz konusu manyetit yatağının oluşumu esnasında soğuma safhasını takip eden değişik hidrotermal safhalarda demir cevherleşmesinin bünyesine pirit, bilhassa kalkopirit ve kuvars minerallerinin girdiği gözlenmektedir. Cevherleşme az miktarda klorit ve anfibolü ihtiva etmektedir (gözle görülecek kadar). Çizelge 3'den de görülebileceği gibi malzeme demir tenörü tane boyut aralığına bağlı bir miktar değişim göstermekle birlikte, ortalama tenör % 49,11 olarak tespit edilmiştir. Cevher % 0,77 gibi yüksek bir oranda bakır içermektedir. Cevherin bakır içeriği tane boyutuna bağlı olarak fazla bir değişim göstermemektedir.

## 2.2. Yöntem

Deneysel çalışmaların ilk bölümünde, cevherin manyetik ayırıcılar kullanılarak Fe tenörü açısından zenginleştirilebilirliğinin tespit edilmesi amacıyla farklı tiplerde manyetik ayırma cihazları kullanılmıştır. İkinci bölümde ise cevher içerisindeki bakırın kazanılması, demir konsantresi içerisindeki kükürt içeriğinin düşürülmesi için flotasyon yönteminin etkinliği araştırılmıştır.

Tüm bu işlemler sırasında kullanılan ham cevher ve ürünler Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü kimyasal analiz laboratuvarlarında yaş kimyasal analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş, ayrıca bazı numuneler kontrol amacıyla Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'ye gönderilmiştir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1. Kuru Manyetik Ayırma Testleri

Kuru manyetik ayırma testleri 3 farklı tane sınıfına ayrılmış olan cevher numunelerinden 25-10 mm ve 10-2 mm tane sınıfları kullanılarak yapılmıştır. Her iki tane sınıfı numunesi de ayrı ayrı kuru manyetik ayırma işleminden geçirilmiş elde edilen ürünlerin kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu ürünlere ait analiz sonuçları Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Düşük Akı Yoğunluklu Kuru Manyetik Ayırma Test Sonuçları

Tane Sınıfı (mm)	Ürünler	Ağ* (%)	Fe (%)	Cu (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe Verim (%)	Cu Verim (%)
25-10	Manyetik Ürün	83,10	51,20	0,69	0,80	12,40	4,84	3,49	0,06	0,40	93,99	73,78
	Artık	16,90	16,07	1,21	4,39	48,10	11,10	5,55	0,97	1,70	6,01	26,22
	Toplam	100,0	45,26	0,78	1,41	18,45	5,90	3,84	0,21	0,62	100,0	100,0
10-2	Manyetik Ürün	87,68	56,80	0,62	0,64	4,90	3,32	2,62	0,03	0,14	96,69	77,30
	Artık	12,32	13,83	1,29	4,00	51,50	10,03	6,05	0,70	1,43	3,31	22,70
	Toplam	100,0	51,51	0,70	1,05	10,63	4,15	3,04	0,11	0,30	100,0	100,0

\* Besleme malına göre

İnce kırılmış cevher numuneleri (25-10 ve 10-2 mm tane sınıfları) kullanılarak yapılan düşük akı yoğunluklu kuru manyetik ayırma testleri sonucunda elde edilen konsantrelerin demir tenörlerinin sadece % 5-6 puan civarında yükseltilebildiği gözlenmiştir. Elde edilen konsantrelerin bakır tenörlerinde ise ciddi bir düşüş sağlanamamıştır. Bu işlemin uygulanması ile 25-10 mm tane sınıfındaki numunenin % 16,9'u , % 93,99 demir kazanma verimi ile, 10-2 mm tane sınıfındaki numunenin ise % 12,32 si, % 96,69'luk demir kazanma verimi ile atılabilmektedir. Her iki fraksiyondaki Cu içeriğinin büyük kısmı konsantreye geçmiştir. Bu verilerden de anlaşılacağı gibi, söz konusu tane boyut aralıklarında gerek demir gerekse bakır mineralleri diğer gang mineralleri ile bağlı tane şeklinde bulunmaktadır, bu nedenle daha ince tane boyutlarına öğütme yapıp, sonrasında düşük akı yoğunluklu yaş manyetik ayırma testlerinin yapılması planlanmıştır.

### 3.2. Yaş Manyetik Ayırma Testleri

#### 3.2.1. Davis Tüpü Testleri

Düşük akı yoğunluklu kuru manyetik ayırma yöntemiyle elde edilen konsantreler, -2 mm tane sınıfındaki malzeme ile ana malzemeye göre ağırlık oranları dikkate alınarak birleştirilmiş ve çubuklu değirmen kullanılarak farklı tane boyutlarına öğütülmüştür. Bu numuneler üzerinde Davis tüp test cihazı kullanılarak ince boyutta yaş manyetik ayırma ile zenginleştirilebilirlik testleri yapılmış, en uygun tane iriliği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Davis tüp besleme malı numunesi çubuklu değirmende, kapalı devre öğütme işlemi uygulanarak % 100'ü 63µm, 106µm, 212 µm, 500µm ve 800 µm altına öğütülerek hazırlanmıştır. Üretilen konsantrenin doğrudan redüksiyon peletlik demir konsantresi özelliği taşınması için ince tane boyutundaki malzeme içeriği önem taşımaktadır. Bu nedenle numunelerin -45 mikron tane boyutu miktarları tespit edilmiştir. Hazırlanan bu numuneler ile yapılan Davis tüp test sonuçları Çizelge 5'te sunulmuştur.

Yapılan Davis tüp testleri sonucunda cevherin daha ince tane boyutuna öğütülmesini takiben düşük akı yoğunluklu yaş manyetik ayırma ile daha yüksek Fe tenörlü ve daha az Cu içeren demir konsantrelerinin eldesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde, cevherin 106 mikron tane iriliği altına öğütülmesi ve ardından yapılacak yaş manyetik ayırma işlemi ile pelet üretimi için Fe içeriği ve tane boyutu açısından ideal özelliklere sahip, Cu tenörü açısından sorunlu (% 0,25) bir demir konsantresinin elde edilebilirliği mümkün görünmektedir. Bu tane iriliğindeki Cu içeriğinin yüksek olması nedeniyle, peletlik konsantre üretimi için cevherin 63 mikron tane boyu altına öğütülmesi daha uygun bir seçenek konumundadır. Böylelikle; Cu tenörü % 0,19' a düşürülebilmekte, konsantre Fe tenörü % 67'ye yükseltilmekte, konsantre ağırlık verimi % 74,6 ve Fe kazanma verimi ise % 92,9 civarında gerçekleşmektedir.

Çizelge 5. Davis Tüp Test Analiz Sonuçları

Tane Sınıfı (µm)	-45 µm (%)	Ürünler	Ağırlık (%)	Fe Tenörü (%)	Cu Tenörü (%)	Fe Verimi (%)	Cu Verimi (%)
800	13,90	Konsantr e	58,79	61,60	0,30	67,31	24,91
		Artık	41,21	42,67	1,29	32,69	75,09
		B.M	100,0	53,80	0,71	100,0	100,0
500	17,90	Konsantr e	76,21	61,00	0,33	86,41	35,39
		Artık	23,79	30,74	1,93	13,59	64,61
		B.M	100,0	53,80	0,71	100,0	100,0
212	29,20	Konsantr e	79,30	64,40	0,27	94,92	30,12
		Artık	20,70	13,19	2,40	5,08	69,88
		B.M	100,0	53,80	0,71	100,0	100,0
106	55,50	Konsantr e	75,60	66,40	0,25	93,31	26,58
		Artık	24,40	14,76	2,14	6,69	73,42
		B.M	100,0	53,80	0,71	100,0	100,0
63	75,90	Konsantr e	74,60	67,00	0,19	92,90	19,94
		Artık	25,40	15,03	2,24	7,10	80,06
		B.M	100,0	53,80	0,71	100,0	100,0

### 3.2.2. Yaş Manyetik Ayırma Testleri

Yapılan Davis tüp testleri, cevherin başarılı bir şekilde zenginleştirilebilmesi için 63 mikron tane iriliği altına öğütülmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu testlerde kullanılmak üzere, kuru manyetik ayırma konsantreleri ile ana numunenin manyetik ayırmaya tabi tutulmayan -2 mm elek fraksiyonu ağırlık yüzdelere göre birleştirilerek hazırlanmıştır. Test numuneleri çubuklu değirmende kapalı devre öğütme sistemi uygulanarak tamamı 63 mikron tane boyutu altına öğütülmüş ve ardından düşük akı yoğunluklu tambur tipi bir yaş manyetik ayırıcı kullanılarak zenginleştirme testlerine tabi tutulmuştur. Kullanılan tambur tipi yaş manyetik ayırıcının akı yoğunluğu 800 Gauss'tur. Test sonucu elde edilen konsantr e ve besleme malı örneklerinin elementel analizleri Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'de yapılmış ve Çizelge 6'da sunulmuştur.

Uygulanan iki aşamalı yaş manyetik ayırma testi sonucunda % 69,5 Fe içeren bir konsantr e, % 64,50 ağırlık ve % 91,30 Fe kazanma verimi ile üretilebilmiştir. Bu konsantr e % 0,07 Cu ve % 0,03 S içermektedir. Çok düşük oranda safsızlık içeren bu konsantr e Fe içeriği ve  $(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)$  oranı açısından doğrudan redüksiyon (DR) pelet üretimi için uygun özellikler taşımaktadır.

Çizelge 6. Tambur Tipi Yaş Manyetik Ayırıcıya Beslenen Cevher ve Üretilen Konsantrenin Kimyasal Analiz Sonuçları

Element	Beslenen cevher	Konsantre
Fe	52,80	69,46
SiO <sub>2</sub>	12,35	0,35
Mn	0,104	0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80	0,62
CaO	3,32	0,36
MgO	3,36	0,56
P	0,020	0,005
S	0,611	0,030
Na <sub>2</sub> O	0,198	0,068
K <sub>2</sub> O	0,271	0,020
TiO <sub>2</sub>	0,050	0,042
As	0,006	0,001
Cu	0,704	0,066
Zn	0,026	0,008
Pb	0,007	0,002
Ni	0,010	0,016
Cr	0,002	0,044

### 3.3. Flotasyon Yöntemiyle Manyetik Ayırma İşlemi Artıklarından Bakır Kazanımı

Çalışmaların bu bölümünde kuru manyetik ayırma artıkları çubuklu değirmen kullanılarak 63 mikron tane iriliği altına öğütüldükten sonra ana besleme malı içerisindeki yüzdeler dikkate alınarak yaş manyetik ayırma artıkları ile birleştirilmiştir. Böylelikle manyetik ayırma artıklarını temsil eden numune oluşturulmuş ve bu numuneden flotasyon yöntemiyle bakır konsantresi üretilebilirliği araştırılmıştır. Flotasyon işlemi 400 g besleme malı, % 20 katı oranı, 2,5 l/dk hava miktarı, 1300 dev/dk karıştırma hızı kullanılarak yapılmış ve pH değeri 10'a ayarlanmıştır. Kullanılmış olan reaktifler ve tüketim miktarları Çizelge 7'de sunulmuştur.

Çizelge 7. Flotasyon Testinde Kullanılan Reaktifler ve Tüketim Miktarları

Kaba flotasyon	Temizleme flotasyonu
Na <sub>2</sub> S: 100 g/t	KAX: 25 g/t
KAX: 150 g/t	Aerophine 3418A: 50 g/t
Aerophine 3418A: 150 g/t	
Aerofroth 70: 25 g/t	

Flotasyon işlemi sonucunda; % 1.79 bakır tenörlü artık numunesinden % 81,2 verim değeri ile % 22,9 Cu tenörlü bir konsantre elde edilmiş olup flotasyon artıkları % 0,36 bakır tenörüne sahiptir. Laboratuvar çapta yapılan bu flotasyon testinin sonuçları kullanılarak temizleme devresi artıkları kaba flotasyon devresine geri gönderildiğinde oluşacak metal/kütle balansı Çizelge 8'de görüldüğü üzere hesap ile belirlenmiştir.



Çizelge 8. Tambur Tipi Manyetik Ayırıcı ile Yapılan Deney Sonuçları

Ürün	Sıra no	Ağırlık (%)	Cu (%)	Verim Cu (%)
Beslenen cevher	1	100,0	1,79	100,0
Kaba konsantre (testte elde edilen)	2	10,3	14,4	82,9
Kaba artık (testte elde edilen)	3	89,7	0,34	17,1
Temizleme konsantresi (testte elde edilen)	4	3,9	22,9	50,5
Temizleme artığı (testte elde edilen)	5	6,40	9,1	32,4
Temizleme artık. Kaba artık (hesaplanan)	6	4,0	0,76	2,4
Temizleme artık. Kaba konsantre (hesaplanan)	7	2,4	22,9	30,7
Nihai konsantre (hesaplanan)	8 = 4+7	6,3	22,9	81,2
Nihai artık (hesaplanan)	9 = 3+6	93,7	0,36	18,8

Çizelge 8'den görülebileceği gibi -63 mikron incelikte manyetik ayırma artıklarından flotasyon yöntemi kullanılarak, satılabilir kalitede bir bakır konsantresinin kabul edilebilir metal verimi değerleri ile eldesi mümkün görünmektedir. Çizelge 8'de sunulmuş olan hesaplamalar dikkate alındığında, nihai bakır konsantresi ağırlık verimi tüvenan besleme malına göre % 2,2 olarak gerçekleşmektedir.

#### 4. LABORATUAR TESTLERİ AKIM ŞEMASI VE METAL / KÜTLE BALANSI

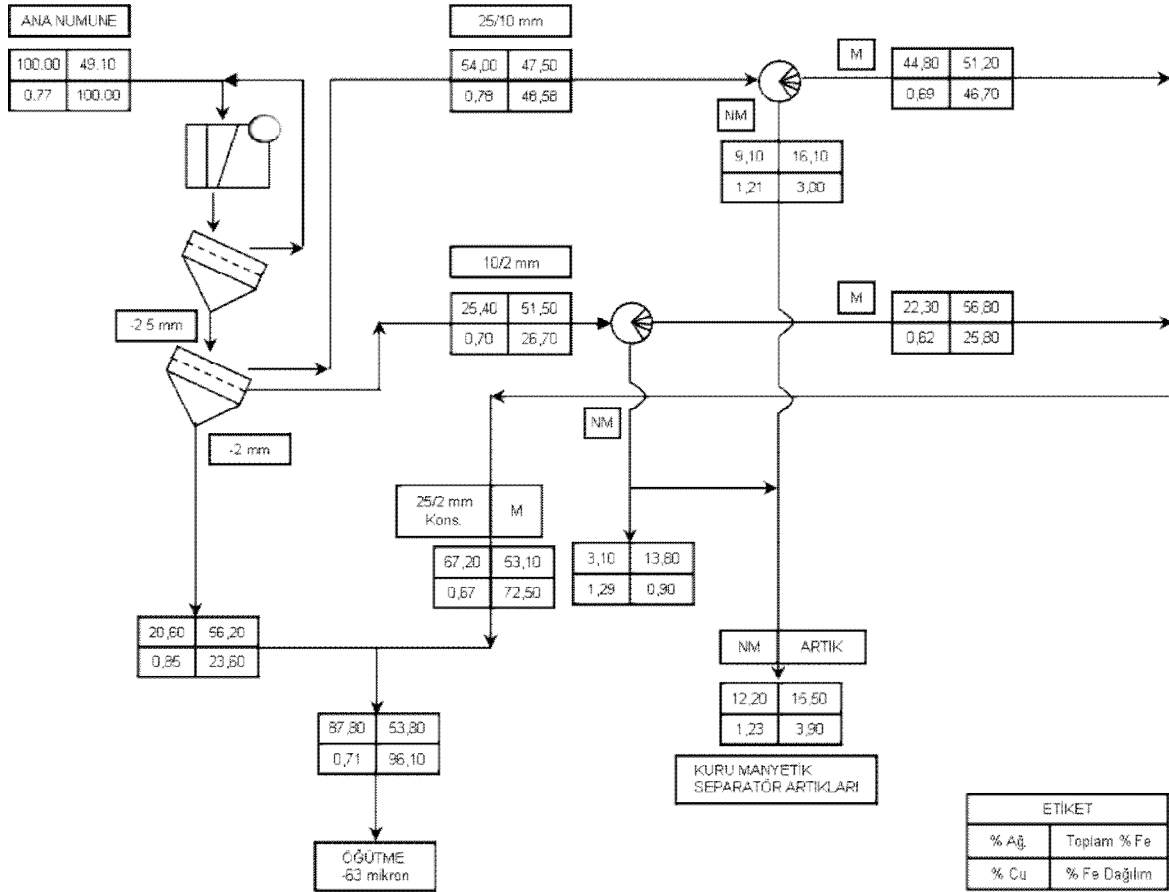
Yapılmış olan laboratuvar çalışmalarının sistematığının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla numune kırma - eleme ve kuru manyetik ayırma testlerine ait akım şeması ve metal/kütle balansı Şekil 1'de, Yaş manyetik tambur ayırıcı ve flotasyon testlerine ait akım şeması ve metal/kütle balansı ise Şekil 2'de verilmiştir.

Bu iki şekil yapılan bütün testleri birbiri ile bağıntılı ve anlaşılır halde göstermek ve zenginleştirme tesisi akım şeması belirlemede kolaylık sağlamak üzere oluşturulmuştur. Laboratuvar testlerinde elde edilen ürün ve artıkların ağırlık yüzdeleri ve kimyasal analiz sonuçları birlikte kullanılarak metal ve kütle balansı akım şeması üzerinde denkleştirilmiştir.

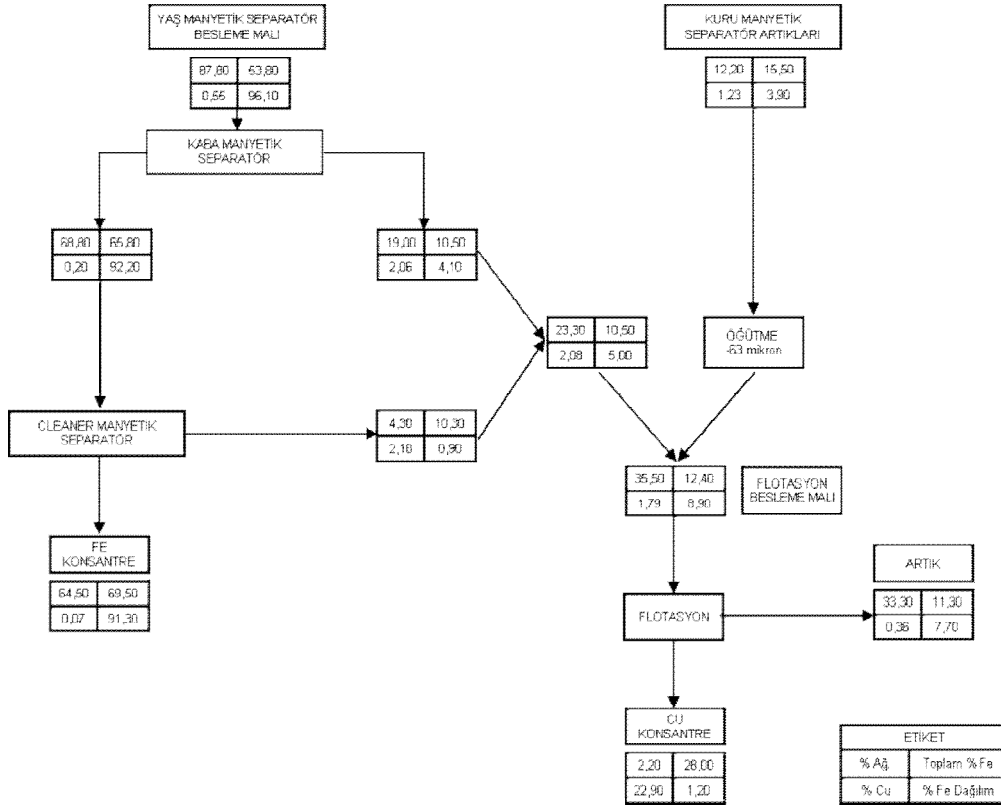
Yaş tamburlu manyetik ayırıcı ve flotasyon ürünleri kimyasal analiz ve ağırlık yüzdeleri kullanılarak besleme malına doğru yapılan hesaplamalarda tambur ayırıcı besleme malı Fe tenörü % 53,8 olarak hesaplanmıştır. Aynı numune Erdemir laboratuvarında yapılan analiz sonuçlarına göre % 52,8 Fe içermektedir. Birçok ara ürün analiz ve ağırlık yüzdeleri üzerinden hesaplanan içerik değeri ile kimyasal analiz sonucu bulunan tenör değeri arasındaki bu fark kabul edilebilir büyüklüktedir.

Söz konusu demir cevheri numunesinin laboratuvar testlerinden elde edilen sonuçlardan yola çıkarak Şekil 3' de verilen tesis akım şeması dizayn edilmiştir. Bu akım şeması nihai ürün olarak doğrudan redüksiyon peletlik bir demir konsantresi ve satılabilir kalitede bakır konsantresi eldesini amaçlamaktadır.

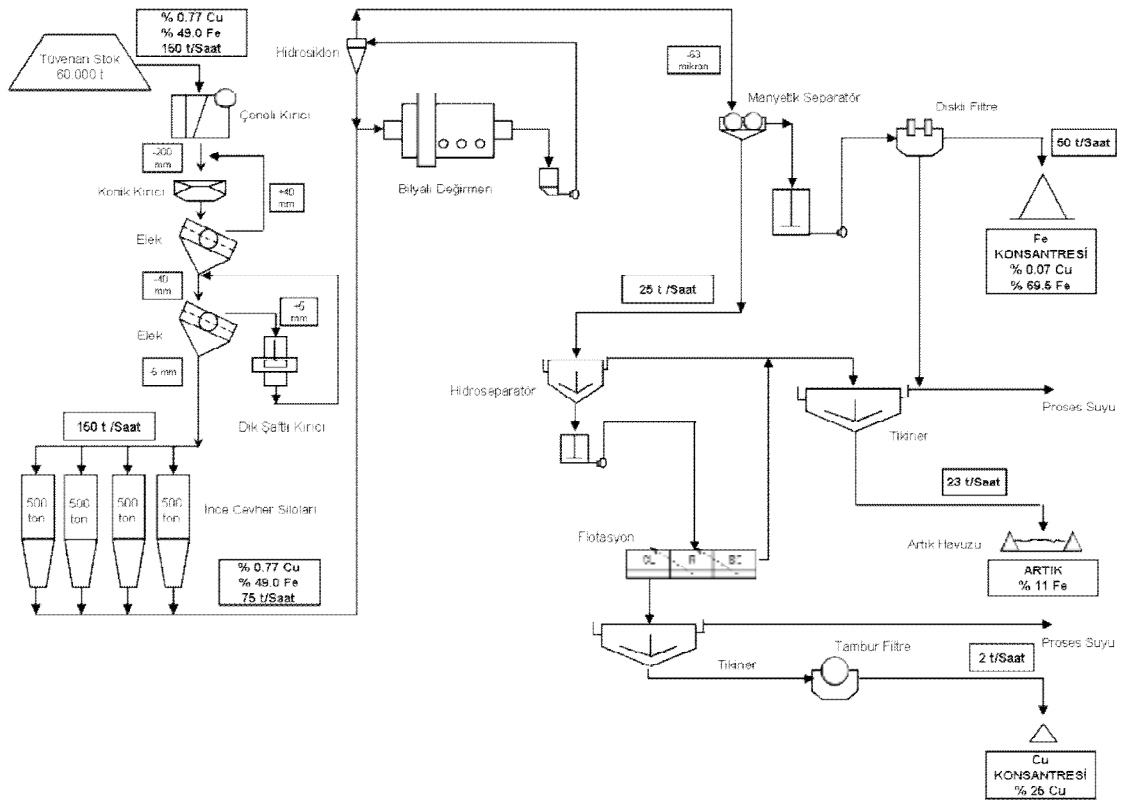




Şekil 1. Kırma ve Kuru manyetik zenginleştirmeyi içeren laboratuvar testleri akım şeması ve kütle - metal balansı



Şekil 2. Flotasyon ve yaş manyetik zenginleştirmeyi içeren laboratuvar testleri akım şeması ve kütle-metal balansı



Şekil 3. Bakır içeren demir cevherinin zenginleştirilmesi için tesis ölçekli akım şeması

## 5. SONUÇLAR

- Çalışmada kullanılan demir cevheri iri tane boyutunda uygulanacak bir zenginleştirme işlemine (parça cevher veya sinterlik konsantre eldesi için) uygun bir cevher değildir.
- Söz konusu cevherden 63 mikron altına öğütme ve düşük akı yoğunluklu tambur tipi yaş manyetik ayırıcılar kullanılarak doğrudan redüksiyon peletlik konsantre özelliklerinde % 69 civarı Fe tenörüne sahip bir konsantre elde etmek teknik açıdan mümkündür. Bu zenginleştirme işleminde, demir konsantresi içerisinde olabilecek en önemli safsızlıklarından olan Cu ve S kabul edilebilir sınırların altına çekilebilmektedir. Peletlik konsantre ağırlık verimi % 65, Fe verimi ise % 91 civarında gerçekleşecektir.
- Manyetik ayırıcı artıklarından klasik sülfür flotasyon yöntemi ile % 81,2 Cu verim değeriyle % 22,9 Cu içeren bir bakır konsantresi üretilebilmiştir.
- Bu cevherin zenginleştirme işleminde kullanılabilecek bir tesis akım şeması Şekil 3'te verilmiştir. Tesis kapasitesi olarak, kırma üniteleri için 150 t/saat (2 vardiya) ve zenginleştirme üniteleri için ise 75 t/saat (3 vardiya) önerilmiştir. Bu tesis akım şeması prensip olarak cevherin -63 mikron tane boyutuna öğütülmesi, düşük akı yoğunluklu yaş manyetik ayırma ve bakır flotasyonu kademelerinden oluşmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Çilingir, Y. (1996): "Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri". İzmir: D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Ericsson M., Löf A. (2009): "China to dictate iron ore pace-reports article", Mining Journal, 10/07/09.
- Maden Mühendisleri Odası, (2009): "Demir Raporu" Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- IISI, (2007): "Steel Statistical Yearbook", Brussels: International Iron and Steel Institute.
- USGS, (2009) "Iron Ore-Mineral Commodity Summaries", U.S. Government Printing Office, St. Louis, s.80-82.