

Demir Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

Dr. Turgut YALÇIN (*)
As. Gündüz ATEŞOK

ÖZET

Demir-çelik endüstrimizin gittikçe büyüyen hammadde gereksinimi ile birlikte, ülkemizde bulunan düşük tenörlü demir cevherlerinin zenginleştirilerek değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Düşük tenörle cevherlerin değerlendirilmesinde inceleme konusu olabilecek zenginleştirme yöntemleri bu yazıda ele alınarak ayrı ayrı açıklanmış 1« değişik özellikteki demir cevherlerine ait uygulama örnekleri sunulmuştur.

ASBTRACT

With the increasing demand of our Iron-and-Steel industry for raw material, attentions are drawn to the evaluation of the low grade iron ores available in our country. In this paper, methods of evaluating the low grade ores are discussed, and examples are given on the industrial application of these methods to the various types of iron ores.

1. GİRİŞ

Demir, modern endüstrinin temel hammaddesini oluşturmakta olup, yerkabuğunun % 5.1'ini teşkil ederek, oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra en çok bulunan dördüncü element durumundadır. Ancak, çok değişik bileşikler halinde mevcut olan demirin ekonomik olarak başlıca manyetit ve hematit, daha az oranda da limonit ve siderit cevherlerinden üretimi mümkün olabilmektedir.

Geçmişte, İzabenin gerektirdiği özelliklere sahip demir cevherleri doğrudan doğruya ocaklardan

üretilmekteydi. Fakat, endüstrinin demir ihtiyacında meydana gelen çok büyük artışlar ve tabiiatta bulunan yeterli vasıftaki cevherlerin tükenmeye başlaması, düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi gereğini doğurmuştur. Bu gereksinmeye bilhassa 1950 yılından sonra rastlanmaktadır. Örneğin, Birleşik Amerika'da mevcut 33 zenginleştirme tesisinden 26'sı, Kanada'da mevcut 13 zenginleştirme tesisinden de tamamı 1950'den sonra kurulmuştur (7). Ayrıca, Tablo I'de verilen rakamlarda, demir cevheri zenginleştirmesinin kazandığı önemi belirtmektedir (8). Bu tablodan, 1973 yılında ABD'nin mineral endüstrisinde harcanan enerji dağılımını saptamak mümkündür. Buna göre, demir cevherleri için harcanan 30.7 milyar kWh'lik enerjinin 22.5 milyar kWh' demir cevherlerinin zengin-

(*) İTÜ Maden Fakültesi

TABLO!
ABD'nin Mineral Endüstrisinde 1973 Yılında
Harcanan Enerjisi (milyon kWh)

Sektör	Madencilik	Zenginleştirme	İzabe	Diğer	Top
Yüksek Fırın	—	—	547	—	547
Demir Cevheri	3	22	—	5	31
Toplam	76	105	694	423	1300

E/MJ, June 1975, p. 89

(estirilmesinde kullanılmıştır. Bütün cevherler için yapılan zenginleştirme işlemlerinde harcanan toplam enerji ise 105 milyar kWh'dir.

1972'den sonraki 10 yıl içinde konsantre tenöründeki dünya ortalamasının % 65 Fe olacağını beklediği belirtilmiştir. Birleşik Amerika'da 1971 yılında İhraç edilen demir cevherlerinin % 92'si zenginleştirilmiş ve elde edilen konsantrelerin % 61.7'si % 65 Fe içermiştir (6).

2. DEMİR CEVHERİNİN HAZIRLANMASI

Metal üretimi için yüksek fırınlara beslenecek cev-

herlerin belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekir. Fiziksel özellikler daha ziyade cevherdeki tane boyutları ile, kimyasal özellikler de cevherin içerdiği Fe, P, Ti, silis ve alkali gibi değerlerin yüzde oranları ile ilgilidir.

Ocaklardan çıkan lan demir cevherlerini izabeye uygun hale getirmek için yapılan "cevher hazırlama" işlemlerini önce iki gruba ayırabiliriz (Şekil D.

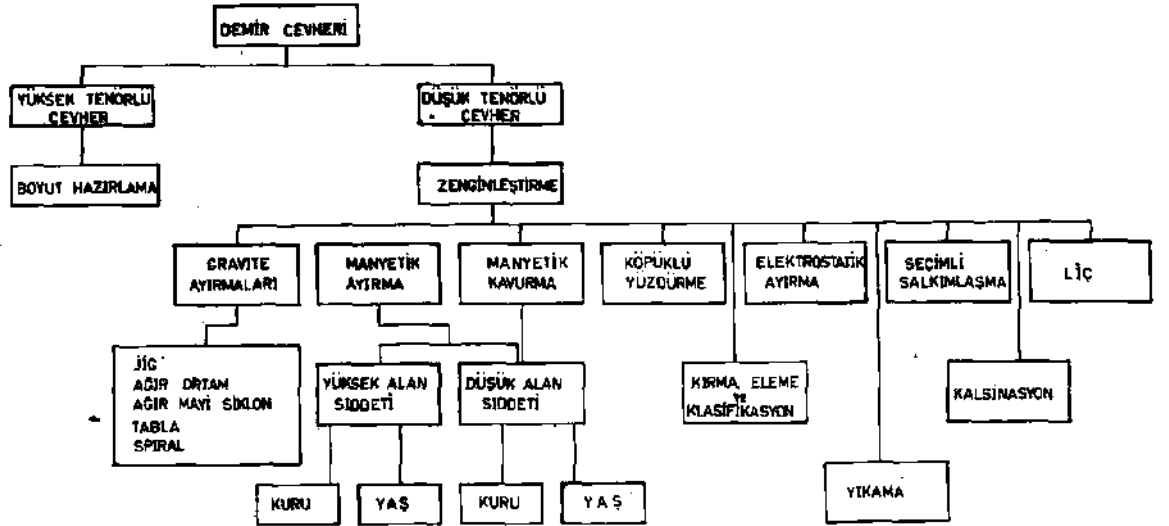
1. Yüksek tenörlü cevherler için yapılan işlemler.
2. Düşük tenörlü cevherler için yapılan işlemler.

2.1. YÜKSEK TENÖRLÜ CEVHERLER İÇİN YAPILAN HAZIRLAMA İŞLEMLERİ

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 (2).

Cevherler ocaktan üretildikleri şekilde, 1-1.25 m. boyutlarına kadar parçalar ihtiva edebilir. Bu nedenle, ocak cevheri gerekli kırma kademelerinden



Şekil: 1- Demir Cevherlerinin Hazırlanmasında Uygulanan İşlemler.

geçirileceği... tane boyutu altına indirilir. Kıvrılmış 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, petetleme olumlu yönde etkilenmektedir. Fakat % 85'in üzerinde, pelet teme yönünden herhangi bir fayda sağlanmamakta, hatta bilhassa yaş peletlerin kurutulması sırasında bazı mahsurlar doğmaktadır (2).

Boyut hazırlama işlemlerinin yapıldığı tesis ile, İzabe tesisinin farklı yerlerde olması halinde, nakliyat esnasında meydana gelen ufalanmalardan dolayı, yüksek fırına verilmeden önce malzemenin tekrar elenmesi yararlıdır.

2.2. DÜŞÜK TENÖRLÜ CEVHERLER İÇİN YAPILAN HAZIRLAMA İŞLEMLERİ

Düşük tenörlü cevherler, İzabeye 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
- Köpüklü yüzdürme
- Elektrostatik ayırma
- Manyetik kavurma ve bunu izleyerek düşük alan şiddetli manyetik ayırma.
- Seçimli salkımlama (Selektif flokülasyon)
- Uç

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

2.2.1. Manyetik Ayırma

Demir ve gang mineralleri arasındaki manyetik

Özellik farkından yararlanarak yapılan ayırmadır. Demir metali için alınan 100 bazına göre, bazı minerallerin manyetik alan içinde çeki lebi lir lik dereceleri Tab (o 2'de gösterilmiştir (3).

Tablodan görüldüğü gibi, mineraller manyetik alan içinde, çeki lebi lirlik derecelerine göre; kuvvetli manyetik, zayıf manyetik ve manyetik olmayan şeklinde üç gruba ayrılmaktadır. Demir minerallerinin manyetik özellikleri çok değişken olup, bunlardan manyetit 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 çek i lebi lirlik 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 (5).

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 manyetitli 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 teşekkül eder. Manyetik ayırmayı izleyecek işlemlerde bu tane kümeleri mahzur teşkil ettiği takdirde, manyetik ayırmadan sonra, malzemenin manyetizmasından arındırılması gerekir.

2.2.1.1. Düşük Alan Şiddetli Manyetik Ayırma

Manyetit (Fe_3O_4) mineralinin gang minerallerin

TABLO 2
Bazı Minerallerin Demir Bazına Göre Manyetik Alan İçindeki Çekilebilirlik Dereceleri

Mineral	Manyetik	İçinde Çekilebilirlik	
Demir (Fe)		100.00	
Manyetit (Fe_3O_4)		40.2	Kuvvetli Manyetik
Ilmenit ($FeTiO_3$)		24.7	
Pirofit ($Fe_0.8S_{1.2}$)		6.7	
Siderit ($FeCO_3$)		1.8	Zayıf Manyetik
Hematit (Fe_2O_3)		1.3	
Limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)		0.8	
Kuars (SiO_2)		0.4	
Rutil (TiO_2)		0.4	
Pirit (FeS_2)		0.2	Manyetik Olmayan
Bornit (Cu_5FeS_4)		0.2	
Kalsit ($CaCO_3$)		0.03	

A.R. Bailey, A Textbook of Metallurgy, 1967.

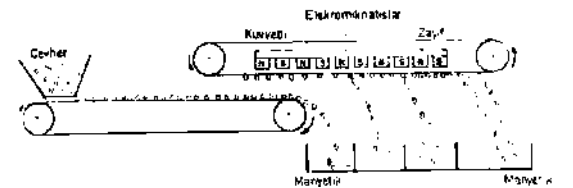
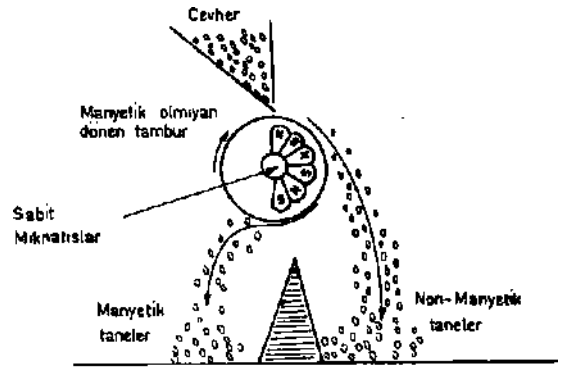
den ayrılmasında, genellikle düşük alan şiddetli (500-1200 örsted) manyetik ayırma işlemi uygulanır. Manyetik ayırma, 6 mm'den iri boyutlarda kuru, 150 meş (100 mikron)'dan küçük-boyutlarda da yaş olarak yapılır. Bu iki boyut arasında ise, manyetik ayırma kuru veya yaş olarak yapılabilir.

Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırmada, genellikle iç kısmına sabit mıknatısların yerleştirildiği döner bir tambur kullanılır (Şekil 2). Cevher bu tambur yüzeyine beslenir. Manyetik olmayan taneler, tambur yüzeyinden belirli bir yörünge ile fırlatılırken, manyetik taneler tambur yüzeyinde tutularak bir süre taşına- 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 konsantride istenen kaliteye göre değişir.

Bazen, nihai konsantrenin kalitesini yükseltmek için, manyetik ayırma ile birlikte, başka zenginleştirme işlemleri de tatbik edilebilir. Manyetik ayır-

mayı izleyerek, en çok kullanılan son kademe, işlemini köpüklü yüzdürme teşkil etmektedir.



Şekil 2. Kuru manyetik ayırıcılar.

2.2.1... Aiksek 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 yaş 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 hematitli 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 (9).

2.2.2. Gravite Ayırtılan

Gravite ayırmaları, demir ve gang mineralleri ara-

sındaki yoğunluk farkından yararlanarak yapılan ayırmalardır. Demir mineralleri ile demir cevherlerinde bulunan bazı gang minerallerinin yoğunluklarının verildiği Tablo 3'den görüldüğü gibi, manyetit ve hematit'le, gang mineralleri arasında gravite ayırması için yeterli yoğunluk farkı mevcuttur (21). Limonit ve sideritin yoğunlukları daha düşüktür. Bu bakımdan, bunların silis'den ayrılabilirliği kolay olmakla beraber, diğer yüksek yoğunluklu gang minerallerinden gravite ile ayrılmaları daha güçtür.

2.2.2.1. 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 kazan ilabilmesi için, genellikle tekrar işleme tabi tutulurlar.

0.2-5 mm boyutlarındaki cevher ağır mayi siklonlarında zenginleştirilebilir. Siklonda, etkin ayırma yoğunluğunun kullanılan ağır mayi yoğunluğundan daha yüksek olması nedeni ile, bu sistemde ağır ortam için manyetit kullanılabilir.

TABLO 3
Demir ve Bazı Gang Minerallerinin Özgü Ağırlıkları

Mineral	Formül	Yoğunluk gr/cm ³
Manyetit	Fe ₃ O ₄	5.18
Hematit	Fe ₂ O ₃	4.90 - 5.30
Limonit	2Fe ₂ O ₃ .3H ₂ O	3.60 - 4.00
Siderit	FeCO ₃	3.70 - 3.90
Pirit	FeS ₂	4.80 - 5.10
Silis	SiO ₂	2.65
Apatit (Flor)	Ca ₅ F(PO ₄) ₃	3.17 - 3.23
Apatit (Klor)	Ca ₅ Cl(PO ₄) ₃	3.17 - 3.23
Aktinolit	Ca ₂ (Mg, Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂	2.90 - 3.20
İlmenit	FeO.TiO ₂	4.50 - 5.00
Rutil	TiO ₂	4.20

H. H. Read, 'Rutley's Elements of Mineralogy', 1962

2.2.2.2. 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.

2.2.2.3. Tabla ile Zenginleştirme

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

2.2.2.4. 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'da ki Iron Ore Co.'ye ait Carol zenginleştirme tesisinde, yılda 17 milyon ton tüvenan işleyerek 7 milyon ton konsantre üretmek için 3456 adet spiral kullanılmaktadır (2). Bununla beraber spirallerin işletme ve bakım masrafları düşüktür. Spiral ile zenginleştirme genellikle kademeli olarak uygulanır.

2.2.3. Kırma, Eleme ve Klaafikasyonla 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 (9666.5 Fe) hematit elde ediliyor. Geri kalan cevher 25 mm altına indirildikten sonra, 0.6-25 mm boyutları arasındaki malzeme çeşitli yıkama ve eleme işlemleriyle % 65 Fe tenörüne yükseltiliyor. 25 mm altındaki cevherin % 87.5'unu teşkil eden -0.6 mm malzemesi ise zenginleştirmek üzere Jones ayırıcılarına veriliyor(9).

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 (7).

Bazı cevherlerin ince boyutlarında yapılan klasifikasyonlarla da Fe tenöründe bir miktar artış sağlanabilmektedir.

2.2.4. Köpüklü Yüzdürme

Son yıllarda yüksek alan şiddetli düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılardaki gelişmeler oldukça İleri bir düzeye ulaşmış olmasına rağmen, manyetik ayırma tekniğindeki gelişmeler tane boyutu ile sınırlı kalmıştır. Buna karşın seçimli salkımlama 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 fiziko-kimyasal bir işlemdir.

Genellikle demir cevherlerinde bulunan oksit minerallerinde, oksitln katyonu ve oksijen iyonu ile birlikte, H* ve OH "İyonları 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 sözkonusudur.

Demir cevheri yataklarında en çok bulunan gang mineralleri kuvars, çört, 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 araştırma 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 (11, 13).

Sonuç olarak; kuvars asidik pH'larda anyonik toplayıcılarla, bazik pH'larda hem katyonik hem de anyonik (canlandırıldıktan sonra) toplayıcılarla yüzdürülebilir.

Kalsit ise, püüp 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 gangü oluşturuyor ise, bastırılması zorunludur (13, 15).

Demir minerallerinin köpükle yüzdürülmesi 25-30 yıldan beri dünya üzerinde çeşitli kuruluş ve araştırma üniteleri tarafından araştırılmaktadır. 1960'lerden sonra, demir cevherlerinin zenginleştirilmesi nde köpüklü yüzdürme ana zenginleştirme yöntemi olarak ele alınmaya başlanmıştır.

Genel olarak demir cevherlerinin zenginleştirilmesi nde eski çalışmalar, doğrudan yüzdürme yöntemiyle yapılmıştır. Günümüzdeki çalışmalar da seçimli demir mineralleri bastırma işleminin geliştirilmesiyle 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, (12, 14).

Serbestleştirme tane boyutunun çok küçük olduğu cevherlerde (%80'i -325 mesh) 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 kullanılabilirler (13, 14, 15).

2.2.5. Elektrostatik Ayırma

Bu ayırma sisteminde, demir oksit ve gangü mineral-

leri arasındaki elektrik geçirgenliği farkından yararlanır. Daha ziyade çok temiz konsantrite 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 SİO₂ içeren süper konsantrite elde edilebileceği ve prosesin ekonomik olacağı saptanmıştır (17).

Elektrostatik ayırmaya, 30 mikron altı ayrılmış olan, spiral, köpükle yüzdürme ve manyetik ayırma konsantrilerini beslemek suretiyle en iyi sonuçların alındığı belirtilmektedir.

2.2.6. Yıkama

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

2.2.7. 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.

2.2.8. Kalsinasyon

Cevherdeki karbon dioksit 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, kullanımı azalmıştır.

İngiltere'de % 33 Fe içeren bir cevherin tenörü, sinlerden sonra % 42'ye yükselmiştir (2).

2.2.9. Seçimli Salkunlaşma

U.S. Bureau of Mines tarafından yapılan araştırma- lar sonucu demir cevherlerinin seçimli sal kimi aşma

yoluyla zenginleştirilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Seçimli salkımlaşma ile elde edilen konsantreler, daha sonra köpüklü yüzdürme 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 (10).

Tilden zenginleştirme tesisinde, tüvenan cevher otojen öğütücülerle, kademeli olarak % 80'i 500 meş altına geçecek şekilde inceltirilir. Daha sonra, çöktürme tanklarında yapılan seçimli salkımlaşma ile, malzemenin % 20'si atılmakta ve çöken malzeme köpüklü yüzdürmeye verilmektedir. Salkımlaşma maddesi olarak pişmiş mısır nişastası ve ki-reç kullanılmaktadır.

2.2.10. Uç

Diğer zenginleştirme yöntemlerine cevap veremeyen 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 ten örün e yükseltilmiştir (20).

Fransa'da yapılan bir çalışmada da, % 40-50'lik alkali ile 125°C - 140°C'da 0.5-3 saatte, % 30-50 oranında bir zenginleştirme sağlanmıştır. Bu şekilde, silis, alümina ve fosforun büyük bir kısmı ayrılabilir (20).

3. ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEN ÖRNEKLER

Literatürde çok sayıda demir cevheri zenginleştirme örnekleri izlenebilmektedir. Bunlardan bir gruplama yapıldığında, şu şekilde bir genel sonuç ortaya çıkmaktadır.

Manyetit cevherleri için

1. Manyetit ayırma
2. Manyetit ayırma +- Köpüklü yüzdürme

Manyetit, Hematit karışımı cevherler için

1. Manyetik ayırma + köpüklü yüzdürme
2. Manyetik ayırma + spiral

Hematit cevherler için

1. Spiral (çok ince dağılımlı olmayan cevherler)
2. Köpüklü yüzdürme (çok silisli olmayan cevherler)
3. Jig (1 mm. üstünde)
4. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırma (Çok ince dağılımlı ve çok silisli cevherler)

3.1. ÖRNEK: 1

İsveç'teki STORA KOPPERBERG Zenginleştirme Tesisi: Bu zenginleştirme tesisinde manyetit ve hematit karışımı bir cevher işlenmektedir, önce cevherdeki manyetit, manyetik ayırma ile alındıktan sonra, geri kalan hematit humphrey spiralinde kazanılmaktadır (20).

Tüvenan cevher 25 mm altına kırıldıktan sonra çubuklu değirmene beslenerek 2 mm altına indirilmekte ve bunu izleyerek sabit mıknatıslı bir yaş manyetik ayırıcıya verilmektedir. Bu kademede, saatte beslenen 150 ton cevherden % 64 Fe tenörlü 70 ton konsantre elde edilmektedir. Yaş manyetik ayırıcıdan çıkan artık 80 adet 5 kıvrımlı spirale beslenmekte ve buradan bir ara ürün alınarak, % 7.5 Fe, % 2 P ihtiva eden bir artık atılmaktadır. Ara ürün 3 kıvrımlı spirale verilerek % 63 Fe tenörlü, saatte 30 ton konsantre alınmaktadır. 3 kıvrımlı spiralden çıkan artık, 5 kıvrımlı spiral devresine geri gönderilmektedir. Spiraller % 25-30 pülp yoğunluğunda çalışmaktadır. Her spiral 1.5 ton/saat kapasitede olup, 0.84 m² alan işgal etmektedir.

3.2. ÖRNEK: 2

Brezilya'da CAVE Zenginleştirme Tesisi: 1972 yılında düşük tenörlü hematit cevherlerinin zenginleştirilmesi amacıyla kumlan bu zenginleştirme tesisi için önce köpüklü yüzdürme ve humphrey spirali yöntemleri incelenmiş, fakat 1 mm altındaki cevherin çok fazla silis ihtiva etmesi nedeni ile köpüklü yüzdürme, yüksek oranda 150 meş altında malzeme olması nedeni ile de spiral ile zenginleştirmenin başarılı olmadığı görülmüştür (9). Kuru manyetik ayırma da incelenmiş, fakat bu sistemin başarılı olması için malzemenin birkaç boyut grubuna ayrılması gerektiğinden, yüksek maliyetler ortaya çıkmıştır.

Araştırmalar neticesinde, en iyi sonuçların Jones yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla elde edil-

diği belirlenmiş ve tesise bu ayırıcılardan 28 adet yerleştirilmiştir. 130 ton/saat kapasiteli ve herbiri 100 ton ağırlığında olan bu ayırıcılarda, 96 45 Fe içeren 0-0.6 mm boyutundaki malzemeden 96 67.6 Fe tenorla konsantrde elde edilmektedir.

Brezilya'da Cave zenginleştirme tesisinin dışında, Conceicao ve Fabrica zenginleştirme tesislerinde de Jones yksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıların kullanılması planlanmıştır.

33. ÖRNEK: 3

ABO'de EMPIRE Zenginleřtirme Tesisi: 1964 yılında kundan bu tesiste, dūřuk tenörüü manyetit cevherlerinden, kademeli manyetik ayırma ve köpüklü yzdzürme yöntemiyle, yılda 3.5 milyon ton 9664.5 Fe ve 96 6.5 SK₂ ięerikli konsantrde üretilmektedir (7).

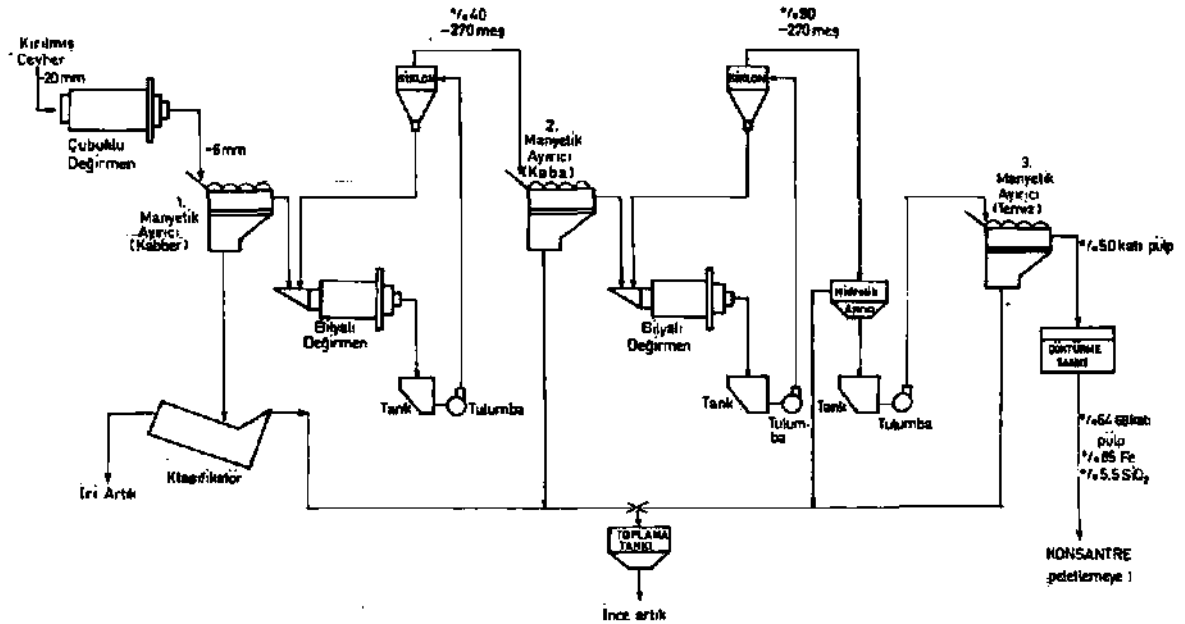
Otojen öğütme ile 20 rheş (0.841 mm) altına indirilen cevher önce bir manyetik ayırıcıya verilerek bir ön artık atılmaktadır. Manyetik konsantrde bir siklonla kapalı devre halinde ęalıřan bir ęakıl değirmeninde 96 92-93*0 500 meş altına geçecek şekilde öğütüldükten sonra, şlamı atılarak 96 62 Fe tenörüüne yükselen malezeme ikinci kademe manyetik ayırıcılara verilir. Bu ayırıcılarda alınan 96 6 4 3

Fe tenörüü konsantrde, köpüklü yzdzürmeye tabi tutularak 96 66.5 Fe tenörüüne yüksdtilir. Köpüklü yzdzürme konsantrde disk filtrelerinden geğirilerek, % 103 rutubetine indirilir.

3.4. ÖRNEK: 4

ABD'de MINNTAC Zenginleştirme Tesisi: (şekil 3). 1967 yılında kurulan ve yılda 123 milyon ton konsantrde üreten bu tesis, Dę kademeli manyetik ayırma sisteminin uygulandığı tipik bir örnektir (7).

96 22 Fe tenörüü bir manyetit cevheri ęeřitli kırma ve öğütme işlemleri ile 6 mm altına indirildikten sonra, 1. kademe manyetik ayırıcılara verilerek, girenin üçte biri gang olarak atılmaktadır. 1. ayırıcıdan alınan manyetik ürün bilyalı değirmenlerde % 40'ı 270 meş altına geçecek şekilde öğütüldükten sonra 2. kademe manyetik ayırıcılara gelir. Burada da bir nihai artık ile bir manyetik ürün elde edilir. Manyetik ürün tekrar bilyalı değirmenlerde 96 90'ı 270 meş altına geçecek şekilde öğütülmektedir. Öğütülmüş malzeme 3. kademe manyetik ayırıcılara verilmektedir. Bu ayırıcılarda elde edilen temiz konsantrde, 96 50 katı pülp yoğunluğunda koyulaştırma tanklarına basılır. Tankın artımdan 96 65 Fe, 96 5.5 SiO₂ içeren, 96 64-68 pülp yoğunluğunda konsantrde elde edilmektedir.



şekil 3. ABD'deki MINNTAC Zenginleştirme Tesisi

3.5. ÖRNEK: 5

Düşük tenörlü-problemlerli demir cevherlerinin yüzdürülmesine en güzel örnekler, ABD'ni n Superior gölü yakınlarındaki takonitlerdir. Tahmini rezervi 15 milyar ton olduğu saptanmıştır. 150'den fazla pilot tesis çalışması yapılmıştır. Bu cevherler % 30-40 Fe, % 40-50 SiO₂ içermekte, hematit, martrt, göth ve çok az miktarda magnetit ile kuvars ve çörtlerden oluşmuştur. Cevher minerallerinin serbestleşmesi 44 mikron altında olduğundan, bu cevherlerin y üzdürül me sinde anyonik toplayıcıların kullanılabilmesi için şlamın atılması ve demir minerallerinin seçimli olarak bastırılması zorunluluğunu doğurmuştur. Zenginleştirme sonucunda, % 80 verimle % 65 Fe'lik konsantreler düşük SK₂ içeriği ile kazanılmıştır.

3.6. ÖRNEK: 6

ABD'deki TILDEN Zenginleştirme Tesisi: Bu demir zenginleştirme tesislerinde, Michigan ve Minnesota yataklarının cevherleri işlenmektedir. 200 milyon ton rezervi olan cevher, hematit (% 801), m art it, götit ve az manyetit İhtiva etmektedir. # 3 6 Fe ve % 45 SiO₂ içeren cevher seçimli salkımlaşma karıştırma tanklarında şlamı alınarak köpüklü yüzdürme yöntemi ile zenginleştirilmiştir. Neticede % 65 Fe içeren cevher kazanılmıştır. Cevherin gangı silisid'ir (10).

Bu tesisin akım şeması Bureau of Mines of Cliffs Iron Co. tarafından uzun bir süre araştırıldıktan sonra tespit edilmiştir.

3.7. ÖRNEK: 7

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; (9)

1, Germano Demir Cevheri: Esas minerali hematit'dir. Yanında kuvars mevcuttur. Tüvenan cevherde % 39-52 arasında bulunan Fe, gerek anyonik gerekse katyonik yüzdürme ile, % 67.5 Fe, % 85-90 verimle alınmıştır. Ancak işlem öncesi cevher şlamlarının atılması şart koşulmuştur.

2. Sarmarco Demir Cevheri: Cevher mineralleri hematit ve götit'dir. Gang minerali ise a'lis'dir. % 53 Fe içeren cevherden katyonik köpüklü yüzdürme ile, % 67.5 Fe içeren konsantre alınmıştır.

3.8. ÖRNEK; 8

Loren (Fransa) sedimanter - ooİtik demir cevherlerinin ters yüzdürme yöntemi ile yapılan zenginleştirme çalışmaları oldukça başarılıdır. Loren cevherleri, kuvars, kalsit, şeyi ve limonit oolitlerinden oluşmuş olup, kimyasal bileşimi şu şekildedir; Fe: % 28.6, SiO₂: % 25,8, CaO: % 6.25, Al₂O₃: % 9.2.

Loren oolitlerinden köpüklü yüzdürme sonucu, % 40 Fe ve % 9 SK₂ içeren konsantre % 69 Fe verimiyle kazanılabilmiştir.

Yukarıdaki verilen örneklere ek olarak ayrıca, Kuzey Amerika ülkelerinde 1974 yılına kadar kurulmuş olan demir cevheri zenginleştirme tesisleri özellikleri ile birlikte Tablo 4 ve 5'de liste halinde verilmiştir (7).

KAYNAKLAR

1. ATAK, S., Çamdağ Demir Cevherinin Zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi, 1975, s. 451.
2. BALL, D.F., Dartnell, J., Agglomeration of Iron Ores, American Elsevier Publishing Co., İne, New York, 1973.
3. BAILEY, A.R., A Textbook of Metallurgy, 1960.
4. Bureau of Mines, Information Circular, 1975. IC 8665. Wet Chemical Methods for Analyzing Taconite, Iron Ore and Metallurgical Products.
5. Engineering and Mining Journal, Sep. 1971, s. 142.
6. Engineering and Mining Journal, March 1972, s.96.
7. Engineering and Mining Journal, Nov. 1974, s. 100,106,136,142.
8. Engineering and Mining Journal, June 1975, s.89.
9. Engineering end Minin Journal, Nov. 1975, s.79.

10. Engineering and Mining Journal, Oct. 1975, s.79
11. FUERSTENAU, M.C., Anionic Flotation of Oxides and Silicates, 1976.
12. FUERSTENAU, M.C., Selective Flotation of Iron Oxide, Trans, AIME, June, s. 200, 1967.
13. GAUDIN, A.M., Flotation, 1932, s. 375.
14. GLEMBOTSKY, V.A., Reagents for Iron Ore Rotation, Mineral Processing, Cannes, 1963, s.371.
15. GLEMBOTSKY, V.A., Flotation, Primary Source, New York, s. 151-157, 1972.
16. GILCHRIST, J.D., Extractive Metallurgy, 1967 17JMetal Abstracts, 1970. s.737.
18. Mining Engineering, March 1978, s. 242.
19. ÖZBAYOĞLU, G., Düşük Tenörlü Oolitlik Demir cevherlerinin Fkrtasyonu, Madencilik, 1977, s. 18
20. PRIOR, E.J., Mineral Processing, 1965.
21. READ, H.H., Rutley's Elements of Mineralogy 1962.
22. TAGGART, A.F., Handbook of Mineral Dressing, 1945.

TABLO.4 - BİRLEŞİK AMERİKA DEMİR CEVHERİ ZARFIYILARININ İSTATİSTİKİ.

Tesisin Adı	Üretim Başlangıç Yılı	Tuvana Üretimi t/g	Tuvana Tenörü % Fe	Cevher Cinsi	Konsantr Üretimi t/g	Konsantr Tenörü % Fe	İzlenileştirme Yöntemi
Black River Falls Mine, Wisc.	1969	9.000	33	Manyetik	3.000	67	Manyetik Ayırma
Butler Facomite Hawthorn, Minn.	1967	22.800	21.8	Manyetik	7.100	66	Manyetik Ayırma
Gardner Mine Colorado, Minn.	1933	29.450	38.1	Güçlü Hematit	8.100	56	Yıkama, Ağır Ortam
Gardner City Mine, Utah.	1946	6.000	39.8	Manyetik Hematit	4.000	58	Ağır Ortam, Manyetik Ayırma
Gonstock Mine, Utah.	1953	4.700	51.9	Hematit Manyetik	—	—	—
Hagle Mountain Mine, Calif.	1948	30.000	34	Hematit Manyetik	18.000	60	Yıkama, Jig, Ağır Ortam, Manyetik Ayırma
Empire Iron Mine Co., Mich.	1964	45.000	33	Manyetik	16.920	66.5	Manyetik Ayırma Kapsül Yıkama
Erie Mine Co., Minn.	1957	90.000	32	Manyetik	29.600	62.5	Manyetik Ayırma
Evaleth Facomite Co., Minn.	1965	17.000	23.5	Manyetik	5.567	67.1	Manyetik Ayırma
Grace Mine, Morgantown, Pa.	1958	7.025	41.8	Manyetik	4.900	66.4	Manyetik Ayırma

Tablo.4 - BİRLEŞİK AMERİKA DEMİR ÇEVREKİ ZARFIYIŞTIRMA TESİSLERİ.

Tesisin Adı	Üretim Başlangıç Yılı	Yıllık Üretim t/g	Yıllık Demir % Fe	Çevre Gırdı	Konsantr Üretim t/g	Konsantr Demir % Fe	Zarfiyıştırma Yöntemi
Gröbe-Nelson mine, Minn.	1966	6.000	48	Hematit	3.600	54	Yıkama, Jig Ağır Ortam
Groveland mine, Mich.	1959	14.250	35	Hematit Manyetik	5.850	61	Manyetik Ayırma Küçük Yüzdürme
Hill Annex mine, Minn.	1917	20.000	36.6	Gütit Hematit Limonit	6.000	59.7	Yıkama, Ağır Ortam, Siklon, Spiral.
Hull-Rust mine, Minn.	1965	4.000	—	Hematit	3.200	54	Yıkama
Jackson County Iron Co., Wisc.	1969	7.200	36	Manyetik	2.700	67.8	Manyetik Ayırma
Lind-Greenway mine, Minn.	1953	20.000	30	Gütit Hematit Limonit	5.800	58.7	Yıkama, Jig Ağır Ortam
MacIntyre Development, N.Y.	1942	5.000	28	Manyetik	1.000	62.6	Manyetik Ayırma
Mather Mine, Mich.	1943	7.300	54.7	Hematit Martit	—	—	—
McKinley Mine, Minn.	1968	17.000	56.5	Gütit Hematit Limonit	12.000	60	Yıkama
Meramec Min. Co., Sullivan Mo.	1961	8.500	45	Manyetik	5.500	69	Manyetik Ayırma Küçük Yüzdürme
Mintac Plant, Minn.	1967	110.000	22	Manyetik	35.000	65	Manyetik Ayırma
National Steel Pallet Plant, Minn.	1967	24.000	31	Manyetik	7.200	67.2	Manyetik Ayırma
Novada-Barth Corp. Nev.	1960	1.200	60	Hematit Manyetik	—	—	—
Pilot Knob Pallet Co., Mo.	1968	5.979	34.6	Manyetik	5.616	65	Manyetik Ayırma Küçük Yüzdürme
Pioneer Pellet Plant Mich.	1965	—	—	Hematit Martit	4.800	60.8	Ağır Ortam
Republic mine, Mich.	1956	24.200	36	Hematit Manyetik	10.400	65.4	Küçük Yüzdürme
New York Division, Star Lake, N.Y.	1944	9.600	23.2	Manyetik Martit	2.730	66.3	Manyetik Ayırma Spiral
Rena Mine, Minn.	1974	3.600	—	Hematit	2.400	52	Yıkama
Reserve Mine Co., Minn.	1955	85.000	24	Manyetik	28.500	64.6	Manyetik Ayırma
Tilden Mining Co., Mich.	1974	36.800	36	Hematit	12.300	65.6	Küçük Yüzdürme Seçimli Salkımlama
UB, pipe, Foundary Co., Ala.	1954	—	48	Gütit	1.000	50.0	Ağır Ortam Küçük Yüzdürme
Whitney Mine Hibbing, Minn.	1973	20.300	—	Gütit Hematit	13.500	52.6	Yıkama Ağır Ortam

TABLO.5.- KANADA ve MEKSİKA DEMİR CEVHERLERİ ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİ.

KANADA.

Tesisin Adı	Üretime Başlangıç Yılı	Tıvınan Üretimi t/g	Tıvınan Tenörü % Fe	Cevher Cinsi	Konsantr Üretimi t/g	Konsantr Tenörü % Fe	Zenginleştirme Yöntemi
Adams Mine Ont.	1966	12.250	19.5	Manyetit	3.400	68.4	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme
Griffith Mine, Ont.	1968	14.500	24	Manyetit	4.000	66	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme
Hilton mines Que.	1957	8.500	34	Manyetit	2.450	67	Manyetik Ayırma
Iron Ore Co. of Canada, Carol Lake.	1962	125.000	38.5	Hematit Manyetit	59.000	65.5	Spiral Manyetik Ayırma
Iron Ore Co. of Canada, Schefferville	1954	37.000	52	Hematit Manyetit	--	--	--
Iron Ore Co. of Canada, Seven Island	1954	--	--	Hematit Manyetit	16.400	62.5	Küpüklü Yüsdürme
Harmorator Mining Co., Ont.	1955	4.000	28	Manyetit	1.500	65	Manyetik Ayırma
National Steel Co., Canada, Ont.	1957	5.395	26.5	Manyetit	1.874	65.5	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme
Quebec Cartier Mining Que.	1959	48.000	34.2	Hematit	24.000	66	Gravite Ayırması
Sherman mine, Ont.	1968	12.400	23	Manyetit	3.500	67.8	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme
Texada Mines, Gillies Bay, B.C.	1952	3.600	38	Manyetit Kalkosit	2.000	65	Küpüklü Yüsdürme
Wabush mines, Que.	1965	50.000	35	Gütit Manyetit	16.200	65.8	Gravite Ayırması Elektrostatik Ayırma
Westfrob mines, Tasu, B.C.	1967	4.800	47.5	Manyetit	3.200	69.5	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme

MEKSİKA.

Cerro de Mercado mine, Mex.	--	--	--	Hematit Manyetit	5.000	69	Ağır Ortam
Hercules Mine, Coahuila.	1971	3.000	60	Hematit Manyetit	--	--	--
La Perla Minas de Fierro Chihuahua.	1958	7.500	48	Hematit Manyetit	5.000	59	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme Ağır Ortam, Jig
La perla Minas de Fierro, Camargo, Chi.	1937	8.000	45.5	Hematit	3.000	58.6	Manyetik Ayırma Küpüklü Yüsdürme
Las Encinas, S.A. pihuahua Jalisco.	1955	6.000	60	Manyetit Hematit	5.000	69	Manyetik Ayırma
Pena Colo., Colima, Mex.	1974	9.600	43	Manyetit Hematit	4.300	67	Manyetik Ayırma