

# MANYETİK AYIRIM YÖNTEMİNİN GELİŞİMİ, GÜNCEL VE GELECEKTEKİ SORUNLARI

M. Salih ÖZEREN (\*)

## ÖZET

Manyetik ayırım yönteminin tarihsel gelişimi eski ve yeni ayırıcılar arasındaki farklar vurgulanarak kısaca anlatılmıştır. Bu yöntemin ince taneli ürünleri işleme zorunlulukları, bu işlemler sırasında taneler arasındaki manyetik ve elektrokinetik etkileşimlerden kaynaklanan sorunlar ve bunların temel nedenleri belirtilmiş, manyetik topraklaşma üzerinde özellikle durulmuştur. Manyetik ayırımda etkinliği olan her türlü parametrenin araştırılmasına olanak sağlayan iki yeni laboratuvar deney aracı tanımlanmıştır. Deneyler pH, sıcaklık ve reaktif ayırtaç kullanımı gibi konuların yaş manyetik ayırım verimliliğini önemli oranlarda etkilediğini ortaya koyarken, manyetik alan gradyantının metal verimini olduğu kadar konsantre tenorunu de etkileyen önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

## ABSTRACT

Historical development of magnetic separation is outlined with emphasis on earlier and recent machines. Reasons for fine particles processing, and the problems resulting from interparticle phenomena are pointed out. Magnetic coagulation is particularly referred to. Two new apparatuses, specially designed to investigate some parameters, including those which have previously been found unimportant in magnetic separation, are described. Tests show that the factors such as pH value, temperature and the addition of certain reagents may affect wet magnetic separation to a considerable extent. It has also been found experimentally that the field gradient is one of the more important parameters that determine the quality of products of magnetic separation.

(\*) Dr. Maden Yük. Muh., Teknoloji Dairesi, MTA; ANKARA.

## 1. GİRİŞ VE TARİHSEL GELİŞİM

Manyetizm olaylarının insan bilincinde yer alması yeryüzünde doğal olarak var olan durağan mıknatısların bulunması ile başlar. Güvenilir kaynaklar günümüzde «yöntaşı» olarak adlandırılan doğal mıknatısların M.ö. 800 gibi çok önceki yıllarda eski Yunanlılar tarafından bilindiğini, üstelik bazı dinsel törenlerde kullanıldıklarını yazmaktadırlar.

Kimyasal formülü  $FeO \cdot Fe_2O_3$ —Demir Ferrit— olan yöntaşları magnetize olmuş manyetit mineralinden ibarettir. Günümüzde dahi bazı manyetik yataklarında rastlanılan yöntaşlarının yermanyetik alanının yada elektriksel atmosfer olaylarının etkisiyle mıknatıslaştıkları sanılmaktadır. Doğada yöntaşlardan ayrı olarak meteoritler arasında da durağan mıknatıslara raslanmıştır.

Doğal mıknatısların insanlık yararına kullanıldığı ilk alan gemiciliktir. Gemiciler pusulasının M.S. 120 yıllarında Çinliler tarafından bilindiğini ortaya koyan belgeler bulunmakla birlikte, gemicilikte etkin ve yaygınca kullanımı M.S. 1250 yıllarında, Avrupalılar tarafından öğrenilmesiyle başlar ve bir dizi coğrafi buluşu izleyerek günümüze dek uzanır.

Doğal mıknatısların ikinci tarihsel işlevinin demir cevherlerinin ayırımında kullanılması olduğunu Agricola'nın 'De Re Metallica' adlı kitabından öğrenmekteyiz. Bir Alman minerologu olan Agricola ilk kez 1556 yılında basılan bu ünlü kitabında mıknatıs yardımıyla cevherlerin içerdikleri demir mineralleri miktarının nasıl saptanacağını anlatmaktadır (1). Bir analiz amacına yönelik olmakla birlikte, Agricola'nın çalışması manyetik separasyonun mineralerin ayırımında ilk uygulaması olmak değerini taşımaktadır, İngiliz bilim adamı John Michell'in 1750 de yayınlanan bir kitabında da (2) çeşitli materyellerin mıknatıs yardımıyla içerdikleri demir ve çelik talaşlarından nasıl ayıklanabileceği ve ayrıca mıknatısların demir cevher yataklarının aramasında da kullanılabileceği bildirilmektedir.

Manyetik separasyonun bir cevher zenginleştirme yöntemi olarak endüstriyel çapta ilk uygulanımı İngiltere'de William Fullarton adına demir cevherlerinin manyetik yollarla temizlenmesi üzerine 1792 yılında alman bir patenle başlar. Bu gelişimi 1840 yıllarından başlayarak alınan bir dizi manyetik ayırıcı patentleri izlemiştir.

tir. Günümüzde kullanılan ayırıcıların ön temsilcilerini de aralarında bulunduran bu araçların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır :

1. Ransom Cook'un elektro - manyetik kuru tamburlu ayırıcısı (1849).
2. John Smith'in durağan mıknatıslı kuru makaralı ayırıcısı (1870).
3. Ball ve Norton'un paralel bantlı kuru ayırıcısı (1890).
4. Wetheril'in yüksek alan şiddetli çapraz bantlı kuru ayırıcısı (1896).
5. Forsgren'in düşük alanlı matriks tipi yaş ayırıcısı (1897).
6. Gröndal'ın yaş tamburlu ayırıcısı (1899).
7. Korda'nın yüksek alan şiddetli indüklenmiş rotor tipi kuru ayırıcısı (1905).
8. Rapid'in yüksek alan şiddetli döner diskli kuru ayırıcısı (1920).
9. Dings ve Roche'nin bantlı yaş ayırıcısı (1922).

Günümüzün manyetik ayırıcıları yukarıda verilenlerin temel ilkelerini korumakla birlikte dizaynları ve yapıldıkları malzeme bakımından geçen 60 yıllık sürenin getirdiği bir takım değişikliklere uğramışlardır. 1931 yılında Japonya'da geliştirilen Al, Ni, Co alaşımı durağan mıknatıslar zamanla yaş tamburlu ayırıcılarda elektro - mıknatısların yerini alarak bir yandan enerji artırımı sağlarken bir yandan da elektrik kesilmelerinin oluşturacağı çekinceleri ortadan kaldırmış böylece de bakımı- ve kullanımını daha kolay, az yer kaplayan ve ilk yatırım giderleri daha düşük olan günümüz yaş tamburlarının standardlaşmasına olanak sağlamıştır.

Alnico V, Alcomax III, ve Magloy I gibi çelik mıknatıslarla tambur yüzeyinden 2 inç uzaklıkta 900 gaussluk bir alan şiddeti elde edilebilmektedir. Elektromıknatıslar, genellikle, bundan daha yüksek bir alan şiddetini gerektiren özel durumlarda yada alan şiddetinin değişen cevher tiplerine göre ayarlanabilmesi zorunluluklarında kullanılmaktadır.

Günümüz durağan mıknatıs üretiminin ağırlıkça yarıdan çoğunu oluşturan ferritler (seramik mıknatıslar) mıknatıs endüstrisi-

nin en önemli gelişimlerinin başında gelmektedir. 2. Dünya Savaşı sırasında Hollanda'da geliştirilen ferritlerin en tipik örnekleri  $Ba Fe_{12} O_{27}$  ve  $Ba Fe_{18} O_{27}$  dir. Ferritler, daha ucuz ve hafif oluşları, ve demagnetizasyona karşı gösterdikleri yüksek direnç nedeniyle, çelik alaşımlara yeğlenmektedir. Modern yaş tamburlarda geniş ölçüde kullanılmaya başlanan tndox V adlı baryum ferrit mıknatısı eşdeğer ağırlıktaki bir Alnicp V mıknatısı ile kıyaslanabilir özelliklere sahiptir.

Son yıllarda nadir toprak elementlerinin kobalt ile yaptığı alaşımlar üzerinde geniş araştırmalar yapılmaktadır. General Electric firmasınınca geliştirilen ve üretimine başlanan  $Sm Co_5$  materyalinin bilinen tüm mıknatıslardan üç kez daha güçlü olduğu rapor edilmiştir (3).

Manyetik ayırıcılarda gerçekleşen değişikliklerin en önemli nedenlerinin başında manyetik ayırım teorisinin giderek daha iyi anlaşılması gelmektedir. 1950 li yıllarda iskandinav ülkelerinde geliştirilen Launla ve Mortsell - Sala, Kanada da geliştirilen Cavanagh kuru tamburlu ayırıcıları ile ince öğütülmüş cevherlerin kuru yöntemlerle zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Bu ayırıcılarda uygulanan yüksek tambur hızının oluşturduğu ileri merkezkaç sistemi ve isteğe göre yönlendirilebilen devinimli (hareketli) mıknatıs birimleri ince tane ayırımını başarılı kılan nedenlerdir.

1960 lı yıllarda ortaya çıkan bir dizi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı manyetik ayırım yöntemini zayıf manyetik cevherlere çok ince tane boylarında da başarılıca uygulanabilir duruma getirmiştir. Bu ayırıcıların hemen hepsi büyük bir elektro-mıknatısın kutupları arasına yerleştirilmiş hareketli bir sistem ve bunun içine konulan ferromagnetik bir materyel içerirler. Matrix adıyla bilinen bu materyalin görevi elektro - manyetik alan şiddetini indüksiyon ile artırmak ve bu arada, toplanan manyetik cevher tanelerine, manyetik alan dışına taşınmaya kadar, yataklık etmektedir. Bu ayırıcıların başlıcaları ve matrix tipleri aşağıda verilmiştir.

1. Carpco - Amax, çelik bilya matriksli, (1964).
2. Jones - Humboldt, çelik levha matriksli, (1964).
3. Gill, indüklenmiş yivli rotor tipi, (1964).
4. Rapid, çapraz çubuklu çelik kafes matriksli, (1972).
5. Carousel, çelik yün ve tel matriksli, (1974).

Çok yüksek bir kapasiteye sahip Carousel ayırıcısının koloidal tane boylarında dahi ayırım yapabilmesi bu aracın kirletilmiş şehir sularının, göl ve nehirlerin bile temizlenmesinde kullanılabilir olduğu fikrini oluşturmuştur. A.B.D. de bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (4).

Manyetik ayırımında yukarıda özetlenen gelişmeler yöntemin bugün ve gelecekteki uygulama alanlarının genişlemesine yol açarak Cu, Pb, Zn gibi bazı metal cevherlerinin özellikle kömürün bile yakın bir gelecekte manyetik yollarla zenginleştirilmesi olanaklarını yaratmıştır (5). Yüksek alanlı yaş manyetik ayırım ince tane uygulamalarında flotasyon ve liçing gibi yöntemlere alternatif olarak gösterilmiş, nitekim 1977 yılında Liberia - Buchanon daki demir flotasyon devresi yerini Jones ayırıcılara terketmiştir (6).

## 2. YÖNTEMİN GÜNCEL SORUNLARI

Manyetik ayırım özellikle son 30 yıl içinde ince taneli materyelleri giderek artan tonajlarda ve giderek daha da küçülen tane boylarında işlemek zorunluluğunda kalmıştır. Genellikle ince ürünlerin işlendiği yüksek alanlı yaş ayırıcıların son 20 yıl içinde birden ortaya çıkmaları söz konusu gereksinimi iyice açıklayıcı niteliktedir, ince tane işleme zorunluluğunun başlıca kaynakları şunlardır :

1. Serbestleştirilmesi aşırı oranda kırma ve öğütme gerektiren demir cevherlerinin ortaya çıkması.
2. Demir - çelik endüstrisinin peletlik konsantrelere olan istemi ve yüksek fiyat ödemesi. Peletleme işlemi % 80 - 90 nı yaklaşık 50 mikronun altında olan bir konsantre gerektirmektedir.
3. Ağır ortam ürünleri manyetit ve ferrosilikonun kömür hazırlama işlemlerinde giderek artan miktarlarda kullanımı. Kömür tesislerinde bu ürünlerin geri kazanılmasında kullanılan yaş tamburlar % 90 nı 43 mikronun altındaki bir ürünü işlemektedirler.
4. Süperkonsantre üretiminin artan istem karşısında artırılması zorunluluğu. Baryum ferrit yapımında kullanılan demir konsantrelerinde % 1 den, doğrudan - indüklenme yoluyla yapılan çelik üretiminde kullanılan konsantrelerde de % 2 den daha az

silika içeriği öngörülmektedir. Bu kalitede bir demir konsantresinin üretimi % 100 ü 50 mikronun altındaki bir önkonsantrenin zenginleştirilmesini gerektirmektedir.

Yukarıda belirtilen konulardan anlaşılacağı üzere manyetik ayırım tekniği günümüzde eksi 50 mikron gibi çok ince ürünleri verimlice işlemeye uymak zorundadır, özellikle süperkonsantre üretiminde ve manyetit ile ferrosilikonun geri kazanılması uygulamalarında aranan ürün kalitesi ancak ideal koşullarda ulaşabilecek bir değerdedir. Bu ideal koşulların araştırılması konusu, konuyla ilgili bir çok kişinin ilgisini toplarken, Birmingham üniversitesinde 1979 yılı sonlarında tamamlanan bir çalışmanın da temelini oluşturmuştur (7).

Manyetik ayırımdan kendi fiziksel sınırlamalarının ötesinde bir performans beklenilmesi bu yöntemin uygulama alanı içindeki etkinliği şimdiye değin akıl gelmeyen bir takım ikincil etkenlere önemlilik kazandırmıştır.

### 3. İNCE TANE AYIRIM GÜÇLÜKLERİNİN KAYNAKLARI

Bilindiği gibi genellikle manyetit ve takonit gibi cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygınca kullanılan durağan mıknatıslı yaş tamburlu ayırıcılar başarılı bir çalışmada % 100 serbestleşmiş bir üründen uygun bir metal verimiyle % 66 Fe ya da % 91 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kalitesinde bir konsantre üretirler. Bu değer başarılı bir çalışmada dahi konsantre içindeki gang minerali kaçağının % 9 gibi önemli bir oranda olabileceğini göstermektedir.

İnce tane ayırım güçlüklerinin kaynaklarının belirlenmesi söz konusu gang minerali kaçağının varoluş nedenlerini de açıklayıcı bir sonuca götürür. Bu kaynakların başında cevher tanecikleri arasında etkin adhezyon kuvvetlerinin tane boyu küçüldükçe görece olarak artarak ayırımı zorlaştırması ve belli bir tane boyundan sonrada tümüyle engellemesi gelmektedir. Ayırım güçlüğüne başladığı tane boyu kuru işlemlerde 73 mikron, yaş tambur uygulamalarında da 35 mikron olarak saptanmıştır. Tane boyunun bu değerlerden aşağıya inmesi cevher taneleri üzerindeki kuvvet dağılımını ayırıcı kuvvetler aleyhine bozarak ya metal kaybına ya da konsantrenin kirlenmesine neden olur. Adhezyon kuvvetlerinin cinsi, büyüklükleri ve etkinlik dereceleri daha çok yüzey kimyası-

v

nın ilgi alanına girmekle birlikte ince tane ayırım güçlüklerinin başlıca nedeni olmalarından dolayı burada da kısaca söz edilecektir!

Bilindiği gibi su içinde dağılmış bulunan tanecikler su molekülleriyle yaptıkları etkileşim sonucu özel bir hareketlilik kazanırlar (Brownian motion). Bu hareketlilik taneciklerin kendi aralarındaki yakınlaşmaları ya da çarpışma oranını artırarak, ancak çok kısa uzaklıklarda etkinlik kazanan, evrensel London - van der Waals kuvvetlerini faaliyete geçirir. Taneleri kuşatan elektrik çift - tabakalar arasındaki itici kuvvetler London - van der Waals çekici kuvvetlerine engel olamadığı durumlarda adhezyon başlar ve aglomerasyon oluşur.

Aglomerasyonu artırıcı yönde etkin diğer bir parametre sıcaklıktır. Sıcaklık yükselmesi su içindeki cevher tanelerinin  $3/2$  k.T formülü ile belirtilen kinetik enerjilerini yükselterek tane hareketliliğini ve çarpışma oranlarını artırıcı ve hızlandırıcı bir etken olmaktadır. Formüldeki k harfi boltzman sabitesini, T ise mutlak sıcaklığı göstermektedir.

Aglomerasyon olayı kuru sistemlerde elektro - statik çekim kuvveti tarafından oluşturulur, işlenen materyelin nemli oluşu mineral yüzeyleri üzerinde elektrik yük birikimini teşvik edici nitelikte olduğundan taneler arası etkileşimi artırıcı bir sonuç doğurur. Burada sözü edilen çekim kuvveti yüzey alanı/kütle kesirine orantılı olarak tane boyu küçüldükçe artmakta ve yaklaşık 20 mikron tane boylarında ortamda var olan ayırıcı kuvvetler, örneğin taşıyıcı manyetik kuvvet, merkezkaç, gravite ve hidrodinamik sürüklenme kuvvetleri kadar etkenlik kazanarak ayırımı engellemektedir.

Yukarıda ana hatları verilen taneler arası etkileşim manyetik ayırım için olduğu kadar diğer cevher zenginleştirme uygulamaları için de geçerli ve önemli bir sorundur. Ne var ki, manyetik ayırım uygulamalarında bunlara ek olarak ve bunlardan daha etkin olarak yer alan tanecikler arası manyetik çekim kuvveti, bu yöntem övgü son derece değişik bir aglomerasyon olayının nedenini oluşturur. Literatürde manyetik koagülasyon, flokülasyon, topaklaşma ve salkımlaşma gibi adlarla anılan bu olay ferromanyetik tanelerin bir manyetik alan içerisinde polarize olması ile küçük mıknatıslar ya da dipoller haline dönüşmeleri ve bu dipollerin zıt kutuplarının birbirlerine bir çekim kuvveti uygulaması ile oluşur.

Manyetik topaklaşma olayının ayırım kalitesini etkilemesi, yukarıda sözü edilen diğer aglomerasyon olaylarında da olduğu üzere, manyetik olmayan tanelerin bu topaklar içerisinde tutsaklanarak (entrapment) konsantreye taşınmaları nedeniyledir. Mıknatıs sisteminin manyetik taneler üzerine uyguladığı taşıyıcı manyetik kuvvet bu tanelerle birlikte onlarca, hatta bazı durumlarda yüzlerce manyetik olmayan taneyi kaldırabilecek güçtedir.

Manyetik topaklaşma olayı konsantre tenorunu olduğu kadar metal verimini de etkilemektedir. Bazı tip ayırıcılarda mıknatıs kutupları arasındaki açıklığın manyetik topaklarla tümüyle kapanması manyetik alanı daraltmakta, mıknatısın çekim gücünü önemli ölçüde azaltmaktadır.

Kutuplar arasının kapanmaması durumlarında gözlenen manyetik zincirler ise, tam aksine, kutupların bir uzanımı olarak davranmakta, manyetik alanı genişleterek metal verimini artırmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalara dayanarak ince taneli ürün işlemlerinde optimize edilmesi gereken parametreler Tablo 1 de verilmiştir, özellikle zayıf alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıların laboratuvar çapta yapılamaması sorunu, etkinlikleri ancak küçük miktarlardaki cevher numuneleri üzerinde ve çok sayıda, iyi kontrol edilebilen bir dizi deneyle saptanabilecek bu parametrelerin ayrınıltıca araştırılmasını engellemiştir. Ne var ki Birmingham üniversitesinde yapılan araştırmalar için özel olarak dizayn edilen bir deney aracının bu sorunu geniş ölçüde çözdüğü ve söz konusu parametrelerin araştırılmasında etkince kullanılabilceği kanıtlanmıştır (7). Bu aracın şekli ve çalışma ilkesi Şekil 1 de gösterilmiştir.

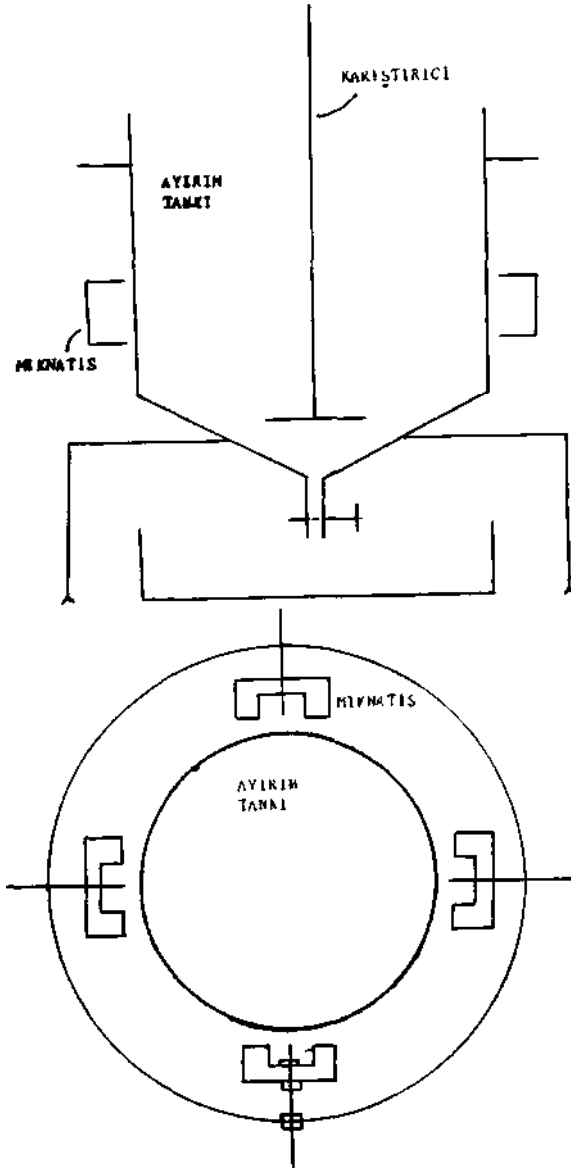
Yukarıda sıralanan parametrelerden alan şiddeti cevher tanelerinin manyetize olmalarını sağlarken, tanelere indüklenen kutup şiddetlerini dolayısıyla taneler arası koagülasyon kuvvetlerinin büyüklüklerini saptayan esas etkeni oluşturur. Böylece oluşan tane zincirlerinin sağlamlığı alan şiddetine doğrudan bağlı olmaktadır. Alan kuvvet çizgilerinin dağılım biçimi (konfigürasyon) ve hareketli mıknatıs sistemi içeren ayırıcılarda manyetik alanın devir sayısı (frekans) manyetik zincirlerin boyutlarını, dağılım biçimini ve hareketliliğini etkilerken bu zincirler içerisinde kaçak olarak var olan gang materyeli miktarını ve bunun serbestleşme olasılıklarını da saptayıcı unsurlardandır.



**TABLO 1**

| <b>Parametre</b>   | <b>İlgili Olay</b>                           | <b>Ortam</b> |
|--|--|--------------|
| Alan şiddeti,<br>Alan gradyanı,<br>Alan konfigürasyonu,<br>Alan frekansı,<br>Besleme oranı,<br>Pulp yoğunluğu,<br>Tane boyu. | Manyetik<br>Koagülasyon.                     | Kuru ve Yaş  |
| pH,<br>Sıcaklık,<br>Zeta potansiyel,<br>Pulp yoğunluğu,<br>Besleme oranı,<br>Tane boyu.                                      | Stabilite,<br>dispersiyon ve<br>flokülasyon. | Yaş          |
| Yüzey elektrik yükler,<br>İletkenlik,<br>Nem oranı,<br>Tane boyu,<br>Besleme oranı.  | Elektrostatik<br>Çekim                       | Kuru         |

Tanelere etki eden taşıyıcı manyetik kuvvetin (tanelere ayırıcının mıknatıs sistemi tarafından uygulanan küvettir) varoluş nedeni alan şiddetinin uzaklıkla değişimini ifade eden alan gradyanıdır. Bu değer besleme ürünü içindeki manyetik taneleri, ayırıcının hareketli toplama yüzeyi üzerine çekerken, taneler arası manyetik çekim kuvvetinin oluşturduğu zincir ve topakları parçalamak ve bunlar içerisindeki tutuklu gang minerallerini serbestleştirmek görevini de görmektedir, ilerde de değinileceği gibi, söz konusu manyetik zincirleşme ve topaklaşma olayları toplama yüzeyi uzaklarında, alan gradyanının ve bu nedenle de taşıyıcı manyetik kuvvetin çok zayıf bölgelerinde oluşmaktadır.



Şekil 1 — Halkalı Manyetik Sistemi

özetlemek gerekir ki manyetik alana ait parametreler manyetik koagülasyon miktarını, fiziksel boyutlarını, gang minerallerine yataklık eden boş hacim yüzdesini, koagülasyon biçimini, örneğin topaksı yada ipliksi bir yapıda olduğunu saptayan ana etkenlerdir

Ne var ki bir çok manyetik ayırıcıdaki mıknatıs sisteminin bu tür etkenler göz önüne alınmadan yapılmış oldukları da bir gerçektir. Endüstriyel ayırıcıların mıknatıs sistemlerinin genellikle metal verimini en üst düzeyde tutacak biçimde yapılmaları daha temiz konsantreli ayırımlar yapmaya olanak vermemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar hem kuru ve hemde yaş sistemlerde aşırı alan şiddeti uygulamalarının kaçak gang minerali oranını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir (7) (8). örneğin manyetit cevherlerinin 100-300 gaussluk bir alanda 600-1000 gaussluk bir alana oranla çok daha başarılıca zenginleştirileceği kanıtlanmıştır.

Daha ayrıntılı araştırmalar tane tutsaklanmasının büyük bir kısmının toplama yüzeyi uzaklarında, cevherin manyetik alana girdiği bölgelerde oluştuğunu göstermiştir (7). Böyle\* bir bölgede taneleri manyetize ederek topaklaşmalarını sağlayacak şiddette ve fakat oldukça homojen bir alan olmasına karşın alan gradyanının çok düşük oluşu nedeniyle taneleri toplama yüzeyine çekerek topaklaşmalarını önleyecek bir taşıyıcı kuvvet yoktur. Bu sorunun söz konusu bölgelerde yüksek gradyanlı mıknatıs üniteleri kullanılarak bir ölçüde çözümlenebileceği düşünülebilir. Cevher tane boyu ile oluşturdukları manyetik zincir uzunlukları arasındaki bir ilişki Tablo 2 de ve verilen bir tane boyu için alan gradyanının konsantre tenörüne olan etkisinde Tablo 3 de görülmektedir.

**Tablo 2 — Tane Boyu - Manyetik Zincir Uzunluğu ilişkisi (ölçmeler 240 gauss şiddetli bir alanda alınmıştır).**

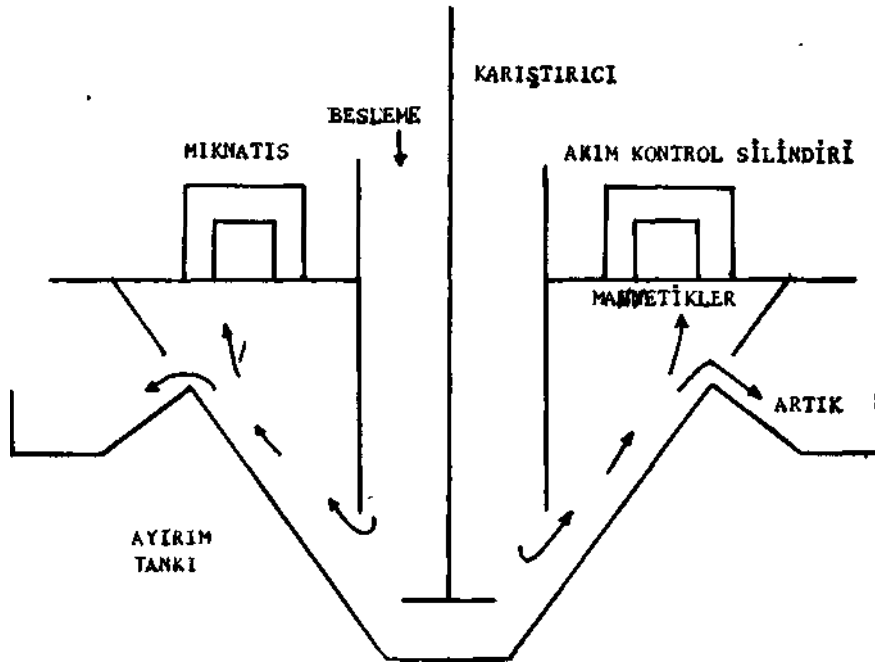
| Tane boyu aralısı (mm) | Meş         | Zincir uzunluğu (mm) |
|------------------------|-------------|----------------------|
| + 6.35                 | + 3         | 0                    |
| - 6.35 + 3.35          | - 3 + 6     | 6                    |
| - 3.35 + 1.20          | - 6 + 14    | 12                   |
| - 1.20 + 0.21          | - 14 + 65   | 28                   |
| - 0.21 + 0.10          | - 65 + 150  | 31                   |
| - 0.10 + 0.05          | - 150 + 300 | 29                   |
| - 0.05 + 0.03          | -           | 20                   |
| - 0.03 (% 75, - 0.02)  | -           | 0                    |

**Tablo 3 — Alan Gradyantının Zincir Uzunluğu ve Ayırım Verimliliğine Etkisi.**

| <b>Etkin alan gradyanı (gauss/cm)</b> | <b>Manyetik zincir uzunluğu (nun)</b> | <b>Konsantre tenoru &lt;%FeO&gt;</b> | <b>Alan Şiddeti (gauss)</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 385                                   | 6                                     | 76.1                                 | 400                         |
| 340                                   | 9                                     | 74.7                                 | 400                         |
| 270                                   | 12                                    | 73.9                                 | 400                         |
| 230                                   | 16                                    | 73.1                                 | 400                         |
| 180                                   | 19                                    | 72.5                                 | 400                         |

Yaş tamburlu ayırıcılarda yüksek metal verimi kazanmak amacı ile tambur gövdesinin belli bir kısmı ayırım tankına dolayısıyla da tank içindeki cevher pulpuna dalık durumdadır. Bu tip ayırıcılarda tambur üzerinde ve yakınlarındaki tane zincirleşmesi alan çizgilerine uyumlu bir dağılım ve ipliksi bir yapı gösterir. Bu durum tambur yüzeyini bir süpürge gibi kaplayan manyetik materyalin, çoğunluğu o anda gang minerallerinden oluşan cevher pulpu ile temasını zorunlu kılmaktadır. Bu koşulların bir sonucu olarak bir çok gang minerali tambur yüzeyindeki materyal tarafından süpürülmek yoluyla da konsantreye geçmektedir. Günümüz yaş tamburlarında gelecekte daha güçlü mıknatıs sistemleri, örneğin nadir - toprak ve kobalt alaşımları, kullanarak tamburların ayırım tankı dışına alınmaları ile bu sorunun çözülebileceği düşünülebilir.

Yukarıda anlatılan fikirlerin kanıtlanması amacıyla dizayn edilen diğer bir araştırma aracının şekli Şekil 2 de verilmiştir. Şekilde anlaşılacağı üzere devir hızı ayarlanabilen mekanik bir karıştırıcı yaklaşık 1 dm<sup>3</sup>lük konik bir kaptaki pulp içindeki katıları disperse ederken aynı zamanda onları pulp yüzeyine de taşımaktadır. Yüzeğe taşınan tanelerden manyetik olanlar yüzeyin hemen üstüne yerleştirilmiş durağan mıknatıslarla kaldırılırken, manyetik olmayanlar yandaki haznelere taşarak belli bir yerde toplanmaktadır. Burada oluşan avantajlar :



Şekil 2 : Yaş Tamburlu Manyetik Ayırıcı.

1. Tane taşınması işlevinin büyük bir kısmının karıştırıcı tarafından yapılması mıknatısların görevini hafifletmekte ve ayırımın çok zayıf mıknatıslarla bile yapılmasını olanaklı kılmaktadır.
2. Suyun yüzey gerilim kuvveti manyetik tanelere yapışık gang minerallerinin konsantreye geçme olasılığını azaltıcı bir etken olmaktadır.
3. Mıknatısların ayırım tankı dışında bulunmaları yaş tamburlarda izlenen süpürme olayına olanak vermemektedir.
4. Hareketsiz mıknatısların hemen altına kurulacak hareketli bir toplama yüzeyi aracın istenildiğinde sürekli çalışır duruma getirilmesini sağlayabilecektir.
5. Araç ince taneli ürünlerin ayırım bölgesine iyi disperse edilmiş olarak girmesini sağladığından yüzey kimyasal parametrelerin neden olduğu topaklaşmanın zararlı etkilerini de geniş ölçüde azaltacak niteliktedir.

Bu araç üzerinde %100'ü 50 mikronun altındaki bir manyetit kuvars karışımının zenginleştirilmesi deneyleri %99 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> saflığında konsantreleri % 95 Fe verimiyle vermiştir, üst tane limiti kullanılan karıştırıcının gücüne bağlı olmakla birlikte 150 mikronun altında çalışılması sedimentasyonu önlemesi nedeniyle genelde daha yararlı bulunmuştur.

#### 4. YAŞ AYIRIMLARDA pH, SICAKLIK VE AYIRIÇ (REAKTİF) ETKİLERİ

Mineral süspansiyonlarının en önemli özelliklerinin başında gelen pH, taneler arası yüzey kimyasal etkileşimin ve bunun sonucu tane tuzaklanmasının kontrol edilmesini sağlayan bir parametredir. Pulp içindeki minerallerin zpc değerlerine göre ayarlanacak optimum bir çalışma pH sınırı konsantr tenörlerinde % 7 ye varan oranlarda bir artış sağlayabileceği Şekil 1 de görülen araç üzerinde yapılan deneylerle saptanmıştır. Burada, miknatis sisteminin askıya alındığı bir durumda cevher pulpu pH regülatörleri ile koşullandırılmış ve daha sonra belli bir süre manyetik alana bağımlı tutulmuştur. Bu süre pulp içindeki tüm manyetik tanelerin toplanmasını sağlayan, ön deneylerle saptanmış bir süredir. Deneyler sonunda elde edilen manyetik materyal içindeki gang miktarındaki değişim değiştirilen tek parametre olan pH nedeniyle oluşmaktadır. Tablo 4 de görüldüğü gibi manyetit - kuvars karışımlarında en iyi sonuçlar pH 3 - 6.5 aralığının dışında elde edilmiştir.

**Tablo 4 — Pulp pH Değerinin Yaş Manyetik Ayırma Etkisi**

| Pulp pH | Kaçak gang (gram) | Konsantr tenörü (%Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> *) | Regülatör |
|---------|-------------------|---|-----------|
| 1.4     | 2.30              | 81.2  | HCl       |
| 3.1     | 2.80              | 78.0  | HCl       |
| 5.0     | 3.10              | 76.2  | HCl       |
| 6.8     | 3.40              | 74.5  | Doğal     |
| 9.1     | 2.60              | 79.2  | NaOH      |
| 9.8     | 2.56              | 79.5  | NaOH      |
| 11.3    | 2.50              | 79.9  | NaOH      |

6-75°C aralığında uygulanan pulp sıcaklığı etkisini araştırma testleri kaçak gang mineralleri miktarının sıcaklık ile doğru orantılı arttığını ve en iyi sonuçların 14 -16 °C da kazanıldığını göstermiştir. 70 °C dolaylarındaki kaçak oranı optimum değerden % 35 oranında fazla olabilmektedir (Tablo 5).

**Tablo 5 — Pulp Sıcaklığının Yaş Manyetik Ayırma Etkisi**

| <b>Pulp sıcaklığı<br/>(°C)</b> | <b>Kaçak gang<br/>(gram)</b> | <b>Konsantre tenörü<br/>(%Fe,O<sub>2</sub>)</b> |
|--------------------------------|------------------------------|---|
| 14 - 16                        | 3.26                         | 75.3  |
| 18 - 20                        | 3.46                         | 74.1  |
| 25 - 27                        | 3.54                         | 73.8  |
| 33 - 35                        | 4.01                         | 71.2  |
| 50 - 55                        | 4.19                         | 70.3  |
| 57 - 61                        | 4.33                         | 69.7  |
| 70 - 74                        | 4.43                         | 69.2  |

Aynı araç üzerinde yapılan deneyler bazı yüzey - etken ayırıcıların (reaktif) cevher pulpuna manyetik ayırım öncesi uygun oranlarda ilave edilmesinin ayırım verimliliğini önemli ölçüde artıracığını ortaya koymuştur. Denenen çeşitli dispersif ayırıcılar arasında en etkilisinin sodyum silikat olduğu, Aerosol OT, kireç ve sodyum heksametafosfat gibi peptik maddelerin ise göreceli olarak daha az etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu deneylerden elde edilen bazı sonuçlar ile, cevher pulpu içerisinde herhangi bir ön işlem sonucu yer alabilecek bazı flokülün maddelerin zararlı etkisi Tablo 6 da verilmiştir.

## 5. SONUÇ

Güncel sorunlar manyetik ayırım uygulamalarında, etkinlikleri şimdiye değin akla dahi gelmeyen bazı parametreleri ön plana çıkarırken, ayırıcıların miknatıs sistemlerinin ince tane ayırımını başarılı kılacak şekilde modifiye edilerek optimum koşulların

**Tablo 6 — Çeşitli Ayraçların Yaş Manyetik Ayırma Etkisi**

| Ayraç<br>(Reaktif)                | % | Miktar  | Konsantre tenörü<br>(% FeO) |
|-----------------------------------|---|---------|-----------------------------|
| —                                 | — | —       | 74.5                        |
| Sodyum silikat                    |   | 0.5 g/l | 77.5                        |
| »                                 |   | 1.0 g/l | 79.0                        |
| »                                 |   | 2.0 g/l | 80.1                        |
| »                                 |   | 5.0 g/l | 81.6                        |
| Na (P <sub>0</sub> ) <sub>6</sub> |   | 0.5 g/l | 76.4                        |
| »                                 |   | 1.0 g/l | 76.2                        |
| Aerosol OT                        |   | % 2     | 76.9                        |
| Kireç                             |   | 1g/1    | 78.2                        |
| Magnoflok                         |   | % 0.1   | 48.2                        |
| Nişasta                           |   | 1g/1    | 66.9                        |

saptanmasını gerektirmektedir. Bu bildiride tanımlanan deney araçları bu parametrelerin araştırılmasında çok sayıda deneyi az miktarlardaki numuneler üzerinde kontrollü ve yinelenabilir olarak yapmakta, oldukça kullanışlı gözükmektedir.

#### REFERANSLAR

1. G. Agricola, 'De Re Metallica', 1556 yılındaki ilk Latin baskısından çeviri, Londra, 1912.
2. J. Michell, 'A treatise of artificial magnet, in which is shown an easy and expeditious method of making them superior to the best natural ones', 1. edition 1750.
3. Mining Journal, Sep. 24 th., 1971, p. 270.
4. IEEE, Vol. Mag. 11, No. 5, p. 1582., Vol. Mag. 14, No. 5, p. 482., Vol. Mag. 14, No. 5, p. 488.
5. USBM, Information circulars : 8351,8359,8360 ve 8383.
6. L. White, Eng. Min. J. April 1978, p. 71.
7. M.S. Ozeren, Ph. D. tezi, Birmingham Üniversitesi, Şubat 1980.
8. O. Pearce, C.I.M.M. Bulletin, 1955.