

## CEVHER ZENGİNLEŞTİRME HAKKINDA ANA BİLGİLER

Klaus OREL\* ) ve Ümit İMRE\*\* )

### ÖZET :

Bu makalede cevher zenginleştirme branşının kısa tarihçesi, ana gayesi, tatbik olunan esas metodlar verilmiş ve ekonomik problemlerine özetle değinilmektedir.

### ABSTRACT :

This article only summarizes the methods and processes of mineral dressing practice, its historical origin, its objectives and economic justification.

### Girls :

Gelişmekte ve sanayileşmekte olan her memleketin ekonomisine direkt olarak tesir eden faktörlerin en başında gelen madencilik branşının ana gayesi çeşitli sanayi dallarının ihtiyaç duyduğu mineralleri bulup yer üstüne çıkartmaktır. Yeraltında bulunan cevherler bazen yüksek tenörlü olabilirler; bu gibi cevherler çok basit ameliyelere tâbi tutularak çeşitli endüstri dallarına ve metalurjik tesislere doğrudan doğruya satılabilirler. Diğer taraftan, bir çok yeni bulunan veya bilinen rezervler vardır ki, tenörleri bu endüstriyel tesislerin şartlarına uymadığı için işletilemezler. Ne zaman ki yüksek tenörlü cevherler tükenmeye yüz tutarlar ve ne zaman ki dünya piyasalarının belirli minerallere karşı talepleri çeşitli sebeplerle (harp, ekonomik bloke, yeni sanayiler, vs., gibi) artar, o zaman düşük tenörlü rezervlerin işletilmeleri bahis konusu olabilir ve işte o zamandır ki bir cevher zenginleştirme tesisine şiddetle ihtiyaç duyulur. Kısaca, cevher zenginleştirme, topraktan çıkartılan cevherin umumiyetle gang minerallerinden müteşekkil olan "Artık" (Tailing) kısmını atarak, genel olarak kıymet ifade eden mineralini bir araya toplamak ve yüksek tenörlü bir "Konsantre" (Concentrate) elde etme tekniği ve ilmi olarak tarif edilebilir. Yukarıda bahsi geçen metalurjik tesislere yalnız yüksek tenörlü konsantrenin gönderilmesi hem pahalı nakliye masraflarını azaltmakta ve hem de metalurjik metodların tatbikini kolaylaştıraca-

ğından önemli ekonomik avantajlar sağlanmaktadır. Ayrıca, zenginleştirilmeden kullanılması imkânsız olan çeşitli düşük tenörlü rezervlerin işletilmesini sağlayarak memlekette gerek yeni iş sahaları açması, gerek yeni mineralleri millî servete ilave etmesi ve gerekse ancak hariçten satın alınabileni bu gibi minerallere döviz harcanmasını önlemesi hasebiyle cevher zenginleştirme branşı ayrıca bir önem kazanmaktadır. Bugünlerde, bilhassa Türkiye için.lüzumunu hissettiren bu geniş konunun burada yalnız kısa bir tanıtılması yapılacak ve kullanılan önemli metodların ancak ana prensipleri, gayeleri ve kısaca kullanılış yerlerinden bahsedilecektir.

### Tarihçesi :

Tarihin ilk çağlarından itibaren insanlığı meşgul eden madencilik ve alakalı konsantrasyon metodları bilhassa son asırda büyük gelişmeler kaydetmişlerdir. Eski medeniyetlerde tatbik edilen teknikler hakkında pek fazla malumat bulunmamaktadır. Bunun sebebi, eski Yunan ve Romalıların bu nevi günlük işleri (büyük bir ihtimalle) "adı" adederek, bunları tamamiyle esirlerin elinde bırakmalarında aranabilir. Mamaafih, "Tavuklama" (Hand—picking) muhakkak ki tatbik edilmekteydi; diğer metodlar daha ziyade tabiatda hergün görülüp kopye edilen çeşitli işlemlerdi. Irmak ve dereler içinde ve yahut şiddetli yağmurlardan sonra taş, toprak ve çakılın sular ile taşınması hafiflerin ağızlara kadar gitmesine rağmen ağır ve yan yollarda yığılması herhalde ilk gravimetrik konsantrasyon metodlarının bulunmasına ilham olmuştur. Meselâ, dibine ağır

\*) Maden Yük. Müh.

\*\*) Dr. Müh.; Maden - Mineral Yük. Müh.  
M.T.A. Enstitüsü

maddelerin birikebilmesini sağlayan çeşitli engellerin konulduğu eyimli bir tahta yalak yıkama işleminin yapıldığı en iptidai vasıta olup en eski çağlarda dahi kullanılmaktaydı. Meşhur "Golden Fleece" efsanesinden anlaşıldığına göre altın taneciklerinin yağlı yüzeylere yapışması ve dolayısıyla diğerlerinden ayrılması o zamanlardan bilinmekteydi. Bir Alman doktoru ve ilim adamı olan Georgius Agricola'nın 1556 yılında bastırıldığı meşhur kitabı "De Rei Metallica", eski ve kendi zamanının "modern" aletlerini ve kullanılışlarını tam tafsilatıyla vermesinden dolayı fevkalade enteresan ve önemli bir literatürdür. Buradan öğrenildiğine göre, o tarihlerde kırma işlemi büyük balyozlar ve düşücü kırıcılar (Stamp mills) vasıtasıyla yapılmaktaydı. Gene bugün kullanılan jiglerin en iptidai ve elle çalışır tipleri o zamanlardan bilinmekteydi.

Güç makinalarının XIX. yüzyılda icadı her endüstri sahasında olduğu gibi, tabiatıyla mineral zenginleştirme teknikleri üzerinde de geniş etkiler yarattı. Zaten yeni yeni gelişmeye başlayan endüstri kollarının gittikçe artan ham madde ihtiyaçları madencilik ve bilhassa cevher zenginleştirme branşlarında daha yeni ve modern metod ve vasıtaların bulunması lüzumunu hissettirmeye başladı. Burada önemli bir kaç misal vermek icap ederse: bugün dahi kullanılmakta olan ve ilk olarak 1858 de tatbik edilen "Blake Çeneli Kırıcısı" (Blake Jaw Crusher), Hartz jigi, Cornvall'da kullanılan "Merdaneler" (Crushing Rolls), 1880'lerde "Wilfley Sallantılı Masası" (Wilfley Shaking Table) ve 1904 de bugünün en önemli konsantrasyon metodu olan "Flotasyon" un (Flotation) doğuşu gösterilebilir. Bu yeni buluşlara dayanarak gerek öğütme ve gerekse klasifikasyon tekniklerinde büyük gelişmeler kaydolunmuştur. Ayrıca, ilk önce kömür tesislerinde tatbik edilen "Ağır Sivili Ayırma" (Dense Media Separation) tekniği 1940'larda en önemli demir cevheri zenginleştirme metadlarından biri olmuştur. Daha yeni olarak, ince taneli parçaların klasifikasyonunda ve şlam atmada (de-sliming) kullanılan "Hidrosiklon" un (Hydrocyclone) icadı ve Ağır Sivili Ayırma metodu ile beraber tatbikatı, özgül ağırlıkları aralarında pek fazla fark olmayan minerallerin müessir bir şekilde ayrılmalarını sağlamıştır. Değirmenlerde çelik bilyalar yerine cevherin kendini "kırıcı ortam" olarak kullanma ve dolayısıyla "Otojen" (Autogenous) kırma metodu, İmm. altındaki tanelerin endüst-

riyel olarak eleklenmelerini mümkün kılan "Elek Bantları" (Sieve Bent) çok yakın tarihlerde bulunup kullanılan ve cevher zenginleştirme sahasında inkılaplar yaratan bir iki misal olarak verilebilirler. Gün geçtikçe artan bir miktarda işletilmeye başlanan düşük tenörlü cevherlerin meydana koyduğu çeşitli güçlükleri yenebilmek için cevher hazırlama sahasında da devamlı gelişmelerin ve yeni buluşların yer alması icap etmektedir. Fiziksel ve kimsayal teknik imkânların yetersiz kaldığı hallerde ise hidrometalurji metodlarına baş vurmak lâzım gelmektedir.

#### Cevherin Hazırlanışı :

Madenden çıkartılan cevherin içerisinde, umumiyetle gang ve kıymetli minerallerin birbiri içerisine karışmış ve dağılmış olduğu bilindiğine göre, herhangi bir ayırma yapabilmek için bahis mevzu mineral tanelerinin serbest hale geçirilmesi icap etmektedir. Bu "serbestleşme" (liberation) "kırma ve öğütme" (comminution) işlemleri ile tahakkuk ettirilir. Kırma ve öğütme işlemleri üç keyfi bölüme ayrılabilir :

- 1) "Primer Kırma"da (Primary Crushing) madenden gelen cevher 100—150 mm. indirilir,
- 2) Sekc^ıder Kırma" da (Secondary Crushing) (1)'den gelen madde 10—15 mm. indirilir.
- 3) "Öğütme" (Grinding) safhasında (2) den gelen madde flotasyon işlemine uygun olacak inceliğe (takriben 0,2 mm.) kadar indirilir.

Bu sınıflandırmada safhalar arasında çekilen sınırlar kat'i değildir, fakat, belki bir veya iki müstesna ile bu safhaları bir operasyonda bitirecek kırıcı da mevcut değildir. Bilâkis, büyüklüğü 1,5 mm. olan bir tanenin flotasyon için lüzumlu inceliğe indirilmesi için dört veya beş kırma ve öğütme safhasından geçirilmesi icap etmektedir.

Kırma işlemi normal olarak kuru, ince öğütme ise yaş olarak yapılmaktadır. Mamacı, lüzumu hasıl olduğu takdirde, ince öğütme işlemleri de kuru madde üzerinde tatbik edilebilirler. Kırma ve öğütme ameliyeleri genel olarak cevher zenginleştirme tesislerinde en pahalı işlemleri teşkil ederler. Takribi olarak, herhangi bir flotasyon tesisinde, yalnız bu ameliyelerin işlenen cevherin tozu başına 25 kw—saatlik bir güç sarfiyatı yapması

ve bu enerjinin yalnız çok az bir miktarının faydalı işe harcanıp gerisinin ısı, ses, vs., şeklinde kaybı bu alanda çok acil yeniliklere ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Dünyanın çeşitli köşelerinde sayısız araştırma konusu olarak incelenmesine rağmen kırma işleminin ortaya attığı ana problemlerin dahi henüz kabullenilmiş teorik cevapları mevcut değildir.

Primer kırma ameliyesi için umumiyetle "Çeneli Konkasör"ler (Jaw Crusher) veya "Dönen Konkasör"ler (Gyratory Crushers) kullanılır. Bunların çalışma prensipleri fin-dik kırıcıların andırmaktadır. Cevher, birbirine eğimli iki yüzey arasına, üstte bulunan "Ağız" (Gape) açıklığından girer ve kırıldıktan sonra alttaki "Boğaz" (Throat) dan çıkar. Kırılma bir yüzeyin diğerine nisbeten hareket ettirilmesiyle olur ve arada kalan cevher parçaları yüksek basınca dayanamayıp ezilirler. Elde edilen mamulün büyüklüğü boğazı ayar ederek kontrol edilebilir. Anlaşılacağı gibi, Çeneli Konkasörlerde yalnız bir yüzeyin diğerine yaklaşmasıyla "faydalı" (kırma işlemi olarak) bir iş yapılmaktadır. Dönen konkasörlerde ise hafif bir konik olan kırma yüzeyi, bir eksantriğe bağlı olarak döner ve kendisi ile makina çerçevesi arasında kalan cevheri devamlı olarak kırar.

Sekonder kırıcıları sınıflandırmak icap ederse üç bölüme ayrılabilirler; bir kısmı yukarıda bahsi geçen konkasörler üzerinde yapılan değiştirmeler sonucu hasil olan tek kollu—çeneli konkasör, Şymons konik konkasörü gibi makinalardır. Diğer bir sınıfı merdaneler teşkil eder. Ayrıca "Sadmeli Konkasör" (Impact Crusher) ve "Çekiçli Değirmen" (Hammer—mill) gibi özel makinalar da bu gurup kırıcılar arasındadır.

Cevherin öğütülmesi önceleri un değirmenleri prensibini takip ederek değirmen taşları arasında yapılmaktaydı. Bugün ise bütün öğütme işlemleri yatay bir eksen etrafında dönen silindir veya silindrokonik değirmenler vasıtasıyla yapılmaktadır. Değirmenler içerisine konan çelik bilya veya çubuklar değirmenin dönmesi esnasında cevheri sürtünme ve sadme ile ezerek istenen tane büyüklüğüne indirirler.

Kırma ve öğütme ameliyelerinin müessir bir şekilde yapılabilmesi, bu işlemlerin kırılan taneleri çeşitli karakteristiklerine göre sınıflandıran aletlerle, ortak çalıştırılmalarıyla mümkün olabilir. Bu sınıflandırma elekler yardımıyla tanelerin büyüklüğüne göre ya-

pılabilir. Veyahut ta klasifikatörler vasıtasıyla taneler kütle, şekil ve sıvı içinde düşme hızlarına göre sınıflandırılabilirler. Bugün modern tesislerde, 80 mm. — 1 mm. kadar olan tanelerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması "Titreşimli Elekler" (Vibrating Screens) vasıtasıyla yapılmaktadır. Titreşim sayısı dakikada 600 — 3600 .arasında değişen bu makinalarda elek olarak kullanılan yüzeyler ya üzerlerinde istenen eb'adda delikler bulunan levhalardan yapılır veyahut da telden örülmüş elekler kullanılır. Eleklerde metrekaeye düşen kapasite elek açıklıklarına bağlı olduğu gibi cevherin de karakterine bağlıdır.

Klasifikatörler, eleklerde esas olan tane büyüklüğüne göre sınıflandırma yerine, tanelerin yukarıda bahsedilen fiziksel karakteristiklerine dayanarak "ayıklama" (sorting) yaparlar. Bu işlem normal olarak su ile yapıp Spitzkasten, Çökme Konileri (Settling Cones), hidrosiklonlar ve spiral klasifikatörler (spiral classifiers)'de su akımı genellikle yataydır. Hidrolik klasifikatörlerde ise maddelerin sınıflandırılması devamlı ve dikey olan bir su akımı vasıtasıyla olur. Basit değişmelerle bazı klasifikatörler çeşitli pülplerin sularının atılmasında kullanılabilirler, mese-lâ, siklon ve Dorr Koyulaştırıcısı gibi. Hava klasifikatörlerinde ise, isminden de anlaşılacağı üzere, ayıklayıcı ortam olarak hava tatbik edilmekte ve genel olarak kuru öğütme ameliyelerinde ve tesislerinde toz toplama işlemlerinde kullanılmaktadır.

Çeşitli konsantrasyon ameliyelerinin muvaffakiyetli bir şekilde yürütülmesi ancak müessir kırma ve öğütme metodları ile kabil olmaktadır. Bilhassa flotasyonda, minerallerin optimum olarak serbestleşmelerini sağlamak fakat fazla miktarda "unlaşma" (over—grinding)'ya yer vermemek öğütme ameliyesinin başlıca gayesidir. Aksi halde meydana gelen şlam (slime) operasyonları zorlaştırmakta ve lüzumundan çok fazla reaktif kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten, kırma ve öğütme makinaları umumiyetle elek veya klasifikatörlerle kapalı devre halinde çalıştırılırlar ve ancak istenen incelikte ve evsftaki kısımlar müteakip ameliyelere gönderilip, ancak kalın taneler tekrar kırılmak üzere kırıcılara iade edilirler.

#### **Konsantrasyon Ameliyeleri :**

Kırma ve öğütme ameliyeleri ile istenen efsafa indirilen cevher taneleri haiz olduk-

lan çeşitli karakteristiklere dayanarak Tablo 1. de gösterilen konsantre metodlarına tâbi tutulabilirler.

Tablo 1.

Karakter	Konsantre Metodu
Renk ve parlaklık	Tavuklama
Ebad Yüzey Şekil	Gravimetrik konsantrasyon (Ağır Sivil Ayırma, Jig, yalak, masa, spiral, vs.)
iyonlaşma Yapışma yoluyla yüzey kontaminasyonu Emilme yoluyla yüzey değişimi	Flotasyon (Aynı zamanda amalgamasyon)
Manyetizm	Manyetik ayırma
Elektrik iletkenliği	Elektrostatik ayırma
Kimyasal reaksiyon Çözülme yoluyla ekstraksiyon	Hidrometalurjik ameliyeler

Cevheri teşkil eden gang ve kıymetli mineral tanelerinin haiz oldukları farklı özgül ağırlık, kütle, şekil ve ebadlarından dolayı bir sıvı ortam içinde gösterildikleri farklı davranışlar gravimetrik ayırma metodlarına esas teşkil etmektedirler. Bu sıvı ortam sabit bir hızla dikey olarak aşağıdan yukarı doğru hareket edebilir (hidrolik klasifikatör), devamlı olarak bir aşağı bir yukarı hareket edebilir (jig), yatay olarak akabilir (yalaklar, spiraller, masalar, vs.) veyahut da küçük, ağır taneli parçacıklardan müteşekkil ve dolayısıyla görünür yoğunluğu yüksek olan bir ortam teşkil edebilir (Ağır sivil ayırma).

Farklı özgül ağırlıkları olan bir mineral karışımının, açıklıkları en küçük mineral tanesinden daha küçük bir elek üzerine yerleştirildiği ve devamlı olarak bir su tankının içine batırılıp çıkarıldığı düşünülürse, çeşitli tanelerin özgül ağırlıklarına göre bir tabakalaşma (stratification) meydana getireceği, daha evvel de bahsedildiği gibi, Agricola zamanından beri bilinmektedir. Eleğin aş-

ğı batırılması esnasında mineral yatağı serbestleşmekte ve taneler su içinde hareket ederek, klasifikasyonda olduğu gibi, kütlelerine bağlı olarak çeşitli pozisyonlar almakta, eleğin sudan çıkarılması ile de bu taneler birbirleri üzerinde tabakalaşmadadırlar. Dolayısıyla özgül ağırlıkları yüksek olan taneler genellikle alt tabakalara yerleşmekte ve bir separasyon elde edilmektedir (Hancock Jigi). Bu işlem, tabiatıyla, eleği sabit tutup suyu ritmik olarak hareket ettirmekle de elde edilebilir (Harz, Baum, Diyafram jigleri gibi.).

Gravimetrik konsantrasyon metodlarının genellikle kullandıkları prensip cevher tanelerinin kavisli veya düz bir yüzey üzerinde akan ince bir su filmi içinde ayrılmalarıdır. Böyle bir yüzey üzerinde akan su filmi içinde su hızı her yerde aynı olmayıp dipte sifira yaklaşmakta filmin üzerinde ise en yüksek değerini almaktadır. Bu kondisyon<sup>1</sup> arda yüzey üzerine konan kırılmış cevher taneleri arasında hafif olanlar aşağılara taşınmakta ağırlar ise yüzey üzerinde birikmektedirler. Birikmeyi artırmak için yüzey üzerine ve filmin akışına dik olarak çeşitli engeller konulabilir (yalaklar), konsantrasyon kuvvetlerini daha müessir hale getirmek için sentrifüj kuvveti sisteme ilave edilebilir (Humphrey Spiralleri), veya konsantrasyon yüzeyi yüzeyi filmin akışına dik olarak sallandırılabilir (Sallantılı Masalar).

Bugün endüstride kullanılan Ağır Sıvı Ayırma metodunda, ekonomik sebebler yüzünden, hakiki ağır sıvıların kullanılması yerine umumiyetle çok ince öğütülmüş manyetit, ferrosilikon veya kurşunun su içinde dağılması ile meydana gelen ve ağır sıvı özelliklerini taşıyan ortamlar kullanılmaktadır. Bahis mevzu maddelerin su içinde dağılmaları dikkatli bir şekilde kontrol edilerek ortamın yoğunluğu istenen şekilde ayarlanabilirse, orijinal cevher içticideki minerallerden özgül ağırlığı bu yoğunluktan fazla olan madde batacak ve hafif olanı yüzerek bir ayırım elde edilmiş olacaktır.

Flotasyon metodu son 50 sene içinde bulunup geliştirilmiş olan bir teknik olup bugün, demir hariç olmak üzere, diğer ana metal minerallerin konsantrasyonunda en önemli cevher zenginleştirme yoludur. Çalışma prensibi mineral ve gang tanelerinin kütlelerinden ziyade yüzeylerinin hava veya su ile temaslarında gösterdikleri farklı davranışlara dayanmaktadır. Gereği kadar kırılmış olan cevher çeşitli kimyasal maddeler ile bir müd-

det karıştırılarak (conditioning) yüzeylerin su ve havaya karşı farklı özellikler göstermesine çalışılır. Böyle bir tanka şayet hava kabarcıkları gönderilirse lüzumlu şekilde yüzeyleri hazırlanan maddelerden gang veya kıymetli mineral taneleri hava kabarcıklarına yapışarak yükselmeye başlarlar. Diğer taraftan su ile ıslatılabilen yüzeyler hava kabarcıklarına takılmayarak dipte kalırlar ve dolayısıyla bir ayırım elde edilir. Mineral taşıyan hava kabarcıkları tankın yüzeyine çıkarak köpük (froth) yaparlar ve bu köpük bazen tanktan taşarak, fakat normal olarak otomatik kollarla pülpün yüzeyinden temizlenir.

Hemen hemen bütün cevherlerin yüzeyleri yeni olarak öğütüldüklerinde su ile ıslatılabileceğinden hava kabarcığına yapışması istenen mineral tanelerinin yüzeylerini çeşitli hidrokarbon bileşimleri kullanıp suni olarak ıslanmaz hale getirmek icap etmektedir. Kolektör (collector) ismi verilen bu nevi reaktifler, iyonlaşarak mineral yüzeylerine yapışan bir poler gruptan ve bir de değişik uzunlukta olabilen ve poler olmayan hidrokarbon zincirlerinden müteşekkildir. Poler olmamaları hasebiyle hidrokarbon zincirleri su tarafından ıslatılmazlar ve dolayısıyla poler gruplarının bağlanmış oldukları ve normal olarak ıslanabilen yüzeyler ıslanmaz hale gelmiş olurlar. Sülfür minerallerinin flotasyonunda kullanılan kolektörler normal olarak ksantat (Xanthates), tiokarbonat (thiocarbonates, tiofosfat: aeroflot, vs., gibi d'ört veya daha fazla karbon atomu taşıyan organik tio asit tuzlarıdır. Yağ asitleri ile bunların alikali tuzları (sabunlar), sulfonlar ve sülfatlar normal olarak metalik olmayan mineraller ile metal oksitlerin flotasyonunda, diğer taraftan aminler ise silikat ve suda eriyen tuzlar için kolektör olarak kullanılırlar. Kolektörlerin kullanıldığı miktarlar mineralin cinsine göre fark göstermekte genel olarak işlenen cevherin tonu baş na 50—150 gram arasında değişmektedir. Asit ortamların aşındırıcı etkilerinden dolayı sanayide kullanılan flotasyon tesislerinde bazik ortamlar tercih edilmektedir.

Kolektörlerin yanı sıra, mineral yüzeylerini modifiye ederek bunların karakterlerini değiştirmek amacıyla başka reaktifler de kullanılmaktadır. Bu reaktifler, meselâ, kullanılan kolektörün istenen mineral yüzeyine bağlanmasını hızlandırabilirler (canlandırıcı—actifiers), bunun aksi olarak belirli mineral yüzeylerine kolektör bağlanmasını ön-

leyebilirler (bastırıcı—depressants) veya "pH regülatör"ü olarak pülpdeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu kontrol edebilirler. Anlaşılabileceği gibi, bu nevi reaktifleri kullanmadan "kademeli flotasyon" (differential flotation) yapılması imkansızlaşmaktadır; mesela, kurşun—çinko—kalsit'ten müteşekkil bir cevherde önce kurşunun alınabilmesi için diğer minerallerin bastırılması icap eder.

Flotasyonda kullanılan diğer bir reaktif de köpürtücüler (frothers) olup flotasyon makinası içinde hava kabarcıklarının meydana getirilmesini kolaylaştırmak ve bunların uzun ömürlü olmasını sağlamak için kullanılırlar. Köpürtücüler, kolektörler gibi, poler ve olmayan hidrokarbona gruplarını ihtiva eden bileşimlerdir, fakat su—hava kesiminde bu grupların pozisyonları kolektörlerdekinin aksidir. Çam yağı (pine oil), kresilik asit (cresylic acid) ve yüksek değerli alkoller umumiyetle köpürtücü olarak kullanılırlar.

Flotasyon metodunda minerallerin ayrılması hususi şekilde hazırlanmış ve herbirine selül (celi) denen makinalarla yapılır. Eu makinalar genellikle pülpün makinaya verilmesini ve dibe çökmesini önleyecek vasıtalarla, dipte birikmiş olan yüzdürülmeyen maddenin zaman zaman dışarıya alınmasını sağlayacak tertibatları ihtiva ederler. Aynı zamanda havanın pülpün içine alınması, dağıtılması ve meydana gelen köpüğün muntazam olarak alınabilmesi de gene bu makinaların özelliklerindedir. Flotasyon makinaları umumiyetle birbirlerinin aynı olan ve seri halinde bağlanmış selüllerden teşekkül ederler; köpükler bir araya toplanarak temizlenme safhasına geçirilirken, herbir selülün dibinde birikmiş olan maddeler de bir yandaki selüle verilerek içerisinde kalmış olan minerallerin yüzdürülmesine çalışılır.

Bazı cevherlerin zenginleştirilmesi ihtiva ettikleri minerallerin hususi fiziksel karakteristiklerinden faydalanarak yapılabilir. Bu nevi konsantrasyon teknikleri başında manyetik ve elektrostatik metodlar gelmektedir. Mamaafih, elektrostatik metod'un tabii sahası olup sahil kumları, tungsten cevheri zenginleştirilmesi vs., de kullanılmaktadır. Manyetik ayırmada, isminden de anlaşılacağı üzere, manyetik kuvvetler esas olarak alınmakta, yer çekimi ve sürtünme kuvvetleri de ayırmaya yardım etmektedirler. Para-ve bilhassa ferro - manyetik' -minerallerin konsantrasyonunda kullanılan prensip homojen olmayan bir manyetik saha teşkil ede-

rek manyetik minerallerin bu saha içindeki en şiddetli noktaya doğru hareket etmeleri, manyetik olmayan minerallerin ise tesirsiz kalmalarıdır. Cevheri teşkil eden minerallerin manyetik özelliklerine dayanarak değişik makinalar kullanılabilir; ferro—manyetik mineral "düşük—şiddetli ayırıcı" larda (low — intensity separators), para—manyetik mineraller "yüksek—şiddetli ayırıcı" larda (high—intensity separators) konsantre edilirler. Hematit ve limonit gibi bazı demir mineralleri düşük manyetik özelliklerinden dolayı, önce kavruarak (Roasting) ferro—manyetik hale sokulmakta ve ondan sonra düşük şiddetli ayırıcılar vasıtası ile konsantre edilmektedirler.

Modern cevher zenginleştirme teknikleri bazı hidrometalurjik metodları da ihtiva etmektedir. Altın ve gümüş cevherlerinin siyanürasyon usulü ile (Cyanidation) zenginleştirilmesi yanında, malahit, azurit, demirli olmayan metal oksit cevherleri de "leaching" yolu ile konsantre edilmektedir. Bu "çözülme yolu ile ekstraksiyon" (solvent extraction) tekniği bilhassa uranyum cevherlerinin zenginleştirilmesinde tatbik edilmektedir. Bu günlerde "Leaching", flotasyon ile dahi birleştirilmekte ve mesela sülfütlü ve oksitli bakır cevherleri için LPF Leach — Precipitate — Flotation) denen teknik kullanılmaktadır.

Çeşitli konsantre metodlarının tatbik edileceği tane büyüklüklerini özet olarak gösterir cetvel Tablo 2. de verilmiştir.

Tablo 2.

Konsantrasyon Metodları	Tane büyüklükleri (mm)
Tavuklama	25 mm üzerinde
Jig	Kömür 150 — 10 (5) Cevher 40 — 2 ve 2 — 0,1
Masalar	3 — 0,06
Ağır Sivili Ayırma	Kömür 250 — 10 Cevher 40 — 2
Flotasyon	Kömür 1 — 0,02 Cevher 0,2 — 0,01
Kimyasal Amedliyeler	0,2 altında

Kömür hazırlanmasından (coal preparation) burada yalnız kısaca bahsedilirse ; kullanılan metodlar cevher zenginleştirmede kullanılan metodlara benzemekte fakat kullanılan ana terimlerin izahları değişmektedir. Şöyle ki, umumiyetle metal madenciliğinde kıymetli

olan mineraller işletilen cevherin küçük bir yüzdesini teşkil etmekte ve bunların normal olarak özgül ağırlıkları gang minerallerinden fazla olmaktadır. Şayet sallantılı masalar misal olarak alınır, cevher zenginleştirmede kıymetli ve ağır minerallerin geldiği konsantre kısmından kömür hazırlamada ancak kömürün pisliliği gelmektedir. Normal olarak gravimetrik usullerin kullanıldığı kömür yıkanmasında oluklar (launders) Rheolaveur jigler (Baum jig ve modifikasyonları) ve ağır sivili ayırma metodları tatbik edilmektedir. Kömür hazırlamada göz önünde bulundurulacak en önemli unsur, kömürün yalnız kalorifik değerine göre değil aynı zamanda tane büyüklüğüne de dayanarak satılması ve dolayısı ile hazırlanmanın çeşitli safhalarında mümkün olduğu kadar az kırılmasına dikkat edilmesidir. Bugün, cevher zenginleştirmeden ayrı bir branş haline gelen kömür hazırlaması aslında her zaman cevher zenginleştirme ile teşriki mesai yapmakta ve birinde yapılan bir yenilik diğerine uygulanarak ilerlemek kaydedilmektedir. Meselâ, siklon ilk defa kömür hazırlama sahasında tatbik edilmişse de bugün tam olarak cevher zenginleştirmenin bir aleti olmuştur. Diğer taraftan flotasyon metodu ilk önce cevher zenginleştirmede kullanılmış, fakat bugün, az da olsa, kömür hazırlama sahasında da tatbik edilmiştir.

#### Ekonomik Yönü İle Cevher Zenginleştirme:

Buraya kadar izah edilen çeşitli konsantre metodlarının müşterek ana gayeleri, cevher mineralleri arasında bir ayırım yaparak, çoğunlukla kıymetli maddeleri ihtiva eden bir konsantre ile genellikle gang minerallerinden müteşekkil bir artık elde etmektir. Dolayısıyla, bahis mevzu işlemlerin muffederecesini tayin etmek için zenginleştirilmeye getirilen cevher (feed) ile yukarıda bahsedilen konsantre ve artık arasında bir bağlantı kurmak icap etmektedir. Maalesef bugüne kadar tek bir rakam ile ifade edilen böyle genel bir bağlantı bulunamamış olup "Randıman" (Recovery) ve "Konsantrasyon Nisbeti" (Ratio of Concentration) beraber kullanılmaktadır. Randıman, konsantrede bulunan toplam metal miktarının orjinal cevherdeki metal miktarına oranının yüzdesidir. Konsantrasyon nisbeti ise orjinal cevher ağırlığının elde edilen konsantrasyon ağırlığına bölümü ile elde edilip hakikatte bir ton konsantre için lâzım gelen orijinal cevher miktarını vermektedir. Umumiyetle Avrupa-

da, konsantre nisbeti yerine bir ton orjinal cevherden elde edilen konsantrenin miktarı (yüzde olarak) olan "verim" (Yield) kullanılmaktadır. Bu tariflere dayanarak aşağıda verilen elementer formüller yazılabilir :

$$F = C + T$$

$$Ff = Cc + Tt$$

$$R = \frac{Cc}{Ff} = \frac{c}{f} \cdot 100 = Y \frac{c}{f}$$

$$Y = \frac{F}{C} \cdot 100 = \frac{f}{c - t} \cdot 100$$

Burada F,C ve T sırasıyla orjinal cevherin, konsantrenin ve artığın ağırlıklarını; f, c,t gene aynı sıra ile bu maddelerin tenörlj-rini ; R randımanı; K konsantre nisbetini ve Y verimi göstermektedir.

Herhangi bir cevher zenginleştirme ameliyesi sonucunda elde edilen konsantrenin tenoru yükseltildikçe normal olarak (daha t-z miktarda konsantre elde edileceğinden), konsantre nisbeti de artar fakat operasyonun randımanı, artıktaki fazlaşan metal kaybından dolayı, gittikçe düşer. Göz önünde bulundurulması icap eden bir husus, umumiyetle maksimum randımanın her zaman maksimum kâr getirmeyeceğidir. Dolayısıyla, her zenginleştirme ameliyesinde, konsantre tenoru satışa müsait olacak şekilde ayarlanarak, randıman ve konsantre nisbeti arasında optimum bir kondisyon aranmalıdır.

Bir cevher zenginleştirme tesisinin kurulması hakkında karar verilmeden evvel cevherin pozisyonu, mineral kompozisyonu, rezervi gibi çeşitli hususlarının gerek teknik ve gerekse ekonomik yönden gayet dikkatli incelenmesi icap etmektedir. Rezerv hakkında genel bir asgari limit mevcut değilse de 30 000 - 50 000 ton altında bulunan bir cevher yatağıyla çalışabilecek bir tesis düşünmek zordur. Normal olarak, averaj tenörlü bir cevherle çalışacak olan bir tesisin en az 3 - 5 senelik bir çalışma ömrü olması icap etmektedir. Diğer önemli bir husus da elde edilecek konsantrelerin satış imkânlarıdır. Bunlar arasında yalnız nakliye problemleri değil, aynı zamanda - ve hatta daha önemli olarak - bu pazarların kabul edecekleri asgari tenörler ile konsantre içinde bulunabilecek yabancı maddeler için ön koşulan ceza ve primler hakkındaki bilgiler gelmelidir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar müsbet netice verdiği takdirde cevherin bir cevher zenginleştirme laboratuvarında işlenerek müstakbel tesisin muhtevası hakkında bir ön fikir edinmek icap etmektedir. Çoğu tesisler bu nevi laboratuvar çalışmaları yapılmadığından, kurulduklarında, lâzım gelen ameliyeleri tamamlayamamakta ve ikinci bir tesisin kurulmasına sebep olmaktadır. Gerek tesislerin ilk kurulma safhalarında ve gerekse kurulduktan sonra normal çalışma sürelerinde dikkat edilecek en önemli unsurlardan birisi de genel olarak "numune alma" da (sampling) gösterilecek ihtimamdır. Bir cevher yatağından getirilen numüne eğer bu depoziti tam olarak temsil etmiyorsa hem laboratuvar çalışmaları boşuna olacaktır ve hem de böyle bir çalışmanın vereceği neticeler üzerinde kurulacak olan tesis iş göremeyecektir. Maleseyle bugün, tesis masraflarile mukayese ile çok cüz'i olan tam numune alma masraflarından kaçınılmakta ve bu iş daima en acemi ellere bırakılmaktadır. Gerek modern madencilik sahasında ve gerekse modern cevher zenginleştirme alanında çeşitli ameliyelerden geçen cevher hakkında tam bilgiye sahip olmak bu işletmelerin müessir olarak çalıştırılabilmesi için en önemli husus olarak kabul edilmektedir.

Cevher zenginleştirme laboratuvarlarına gönderilen numuneler önce kimyasal ve mineralojik analize tabi tutulurlar. Bunlardan birincisi cevherin metal muhtevası hakkında bilgi verirken ikincisi cevheri teşkil eden mineralleri isimlemekte ve serbestleşme büyüklüklerini vermektedirler. Tesbit edilen minerallerin genel olarak çeşitli karakteristیکlerinin incelenmesi icap etmektedir. Aynı bir mineral değişik cevherlerde değişik özellikler gösterebilir; kimyasal olarak eser miktarda bulunan bir element bütün cevher zenginleştirme metotlarını değiştirecek nitelikte olabilir. Meselâ, kromit teorik olarak  $FeO \cdot Cr^2$ 'dür, fakat umumiyetle Al ve Mg ihtiva eder ve gerek Cr muhtevası ve gerekse Fe:Cr oranı cevherden cevhere değişir. Bunlara göre, bazıları gravimetrik metotlarla zenginleştirilebilir, diğerleri flotasyona uygun gelirler ve hatta bir kısmı manyetik ayırmaya tabi tutulabilirler.

Buraya kadar izah edilen çeşitli genel prensiplere dayanarak ve cevherin çeşitli fraksiyonlarda gösterdiği serbestleşme limitlerini göz önünde tutarak çeşitli konsantrasyon metodları denenmelidir. Okurlara bir yardım olmak üzere Tablo 3 de, bilhassa Tür-

TABLE 3  
KIYMETLİ MİNERALLER

Mineral	Kimyasal formül	Tenör	Sertlik	Özgül ağırlık	Gang mineraller	Yıkama	Klasifikasyon	A.S.A. (DMS)	Jig	Spiral	Masa	Flotasyon	Manyetik	Elektrostatik	Leaching	Kavurma	Direk Metalurji	Normal Konsantrasyon Tenörleri
Sb	Stibnit	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sb % 71,8	2,0	4,5—4,6	As, Fe Sülfür silikatlar			X		X	X						% 60—65 Sb
Ba	Barit	BaSO <sub>4</sub>	BaO % 65,7	3,0	4,3—4,6	Fe oksitler Kalsit, silikat						X						% 93—95 BaSO <sub>4</sub>
Ca	Kalsit	CaCO <sub>3</sub>	CaO % 56	3,0	2,7	Silikat, kuvars						X						% 100 CaCO <sub>3</sub>
	Jips	CaCO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	CaO % 32,6	1,5—2,0	2,3	Kalsit, silikat, kil	X									X		
Cu	Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	Cu % 34,6	3,5—4,0	4,1—4,3	Fe Sülfür silikatlar						X						% 20 değişken
	Malahit	CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	Cu % 57,5	3,5—4,0	4,0	Silikat, kalsit									X			değişken
Cr	Kromit	FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu % 46,2	5,5	4,3—4,6	Silikat				X	X	X					X	% 48 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hg	Zencefre	Hgs	Hg % 86,2	2—2,5	8,0—8,2	Fe Sülfür, As, Sb		X	X			X			X			Met. Hg.
C	Kömür			1		Kül, pirit						X						değişken
Co	Kobalt			1		As, Fe, sülfür						X						değişken
F	Florit	CaF <sub>2</sub>	F % 48,9	4,0	3,0—3,3	Kalsit, silikat					X	X						% 72/%97 CaF <sub>2</sub>
C	Grafit	C	C % 100	1—2	2,2							X						% 80 C
Fe	Hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe % 70	5,5—6,5	4,9—5,3	Silikat			X	X	X	X	X			X		% 50 Fe
	Pirit	FeS <sub>2</sub>	Fe % 46,7	6,0—6,5	5,0			X	X	X	X	X						% 50 Fe
	Manyetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fe % 72,4	5,5—6,5	5,2			X	X	X	X	X						% 50 Fe
	Siderit	FeCO <sub>3</sub>	Fe % 48,3	3,5—4	3,9	Kalsit, dolomit		X	X	X			X					% 35 Fe
Pb	Galen	PbS	Pb % 86,6	3	7,4—7,6	Silikat, kalsit, pirit						X				X		% 40-60 Pb
	Anglezit	PbSO <sub>4</sub>	Pb % 68,3	2,8—3	6,1—6,4	Silikat, kalsit, pirit					X	X						% 40-60 Pb
	Serusit	PbCO <sub>3</sub>	Pb % 77,5	3,0—3,5	6,5	Silikat, kalsit, pirit					X	X						% 40-60 Pb
Mn	Mangenez	MnO <sub>2</sub>	Mn % 63,2	1—2,5	4,8	Silikat, alüminat					X	X						% 48 Mn
P	Fosfat	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % 32,1	5	3,2	Silikat kalsit	X	X			X	X				X		% 30 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Si	Kum	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> % 100			Kil, Oksit olmayanlar	X	X			X	X		X				% 99,89 SiO <sub>2</sub>
S	Sülfür	S	S % 100									X						
	Talk	H <sub>2</sub> Mg <sub>3</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	Mg % 19,2			Kalsit, silikat	X	X				X						% 55 WO <sub>3</sub>
			Si % 29,6															
W	Şelit	CaWO <sub>4</sub>	W % 63,9			Sülfür, silikat					X	X	X	X				
Zn	Sralarit	ZnS	Zn % 67,1			Kalsit, silikat pirit vs.						X						% 60 Zn
	Simitsonit	ZnCO <sub>3</sub>	Zn % 52									X			X			
	Kalamın	H <sub>2</sub> (Zn <sub>2</sub> O) SiO <sub>4</sub>	Zn W 67,5									X						

kiye cevherlerini enterese eden minerallerin genel özellikleri ile zenginleştirilebilir yolları özet olarak verilmiştir. İşaretlenen metodlar normal olarak endüstride kullanılanlar olup herhangi bir mineral için hususi zenginleştirme yolları da mevcut olabilir. Eskiden bir sanat olarak addolunan çeşitli metodlar şimdi ilmi araştırma çerçevesi içine girmişlerdir. Daha evvelden de üzerinde durulan numulna alma metodlarının inkişaf ettirilmesi bu nev'i tesislerin otomatikleşmesine fırsat vermiştir. Ekonomik yönden cevher zenginleştirme müstakil bir çahşma alanı olmayıp, bir taraftan maden ocağının diğer taraftan

da metalurjik tesislerin veya satış pazarlarının kondisyonlarıyla koordine edilmek mecburiyetindedir. Diğer bir deyişle, cevher zenginleştirme, yeraltında başlayan ve bir fabrikada son bulan seri halindeki üretimin bir ünitesidir; dolayısıyla seri imalât prensiplerine ve günün kaidelerine uyarak otomatikleşmek ve günün buluşlarla modernleşmek istidad'ındadır. Bu yazının girişinde izah edilen sebeplerle Türkiye'de de bu sahanın derhal geliştirilmesi ve genişletilmesi sayam tavsiye olup bu işlemlerin ilmi ve ekonomik prensipler dahilinde yapılması ümit olunur.

#### REFERANSLAR :

- Guadin, A. M.; Principles of Mineral Dressing 1939 McGraw Hill Book Comp., N.Y.
- Gaudin, A. M.; Flotation - 2nd edition 1957 McGraw Hill Book Comp., N. Y.
- Certh - Hamann - Slazmann; Leitfaden der Erzaufbereitung 1952 Universitätsdruckerei Bonn.
- Kirchberg, H.; Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe 1953 Wilhelm Gronau Verlag, Jena.
- Klassen, V. I.; Introduction to the Theory of Flotation 1963 Butterworth, London.
- Lidell, D. M.; Handbook of Non - ferrous Metallurgy 1945 McGraw Hill Book Camp., N.y.
- Michell, F. B.; The practice of Mineral Dressing 1950 Mine & Quarry Engng., London
- Mitchell D. R.; Coal Preparation 2 nd edition 1950 AIME, New York.
- Newton, J.; Extractive Metallurgy, 1959 John Wiley & Sons, Inc., N. Y.
- Pryor, E. J.; Mineral Processing, 1960 Mining Publications Ltd., London
- Rabone, P.; Flotation Plant Practice, 1957 Mining Publications Ltd., London.
- Roe, L. A.; Iron Ore Beneficiation, 1957 Mineral Publ. Comp., Lake Bluff.
- Richard & Locke; Textbook of Ore Dressing, 1940 McGraw Hill Book Comp., N.Y.
- Sinclair, J.; Coal Preparation & Power Supply at Collieries, 1962 Pitmans & Sons Ltd., London.
- Sutherland - Wark.; Principles of Flotation 2nd edition 1955 Australian I. M. M., Melbourne.
- Taggart, A. F.; Elements of Ore Rressing, 1951 John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- Taggart, A. F.; Handbook of Mineral Dressing 1945, John Wiley & Sons, Inc., N. Y.
- Testut, R.J.; Préparation des minerais 1958, Société Industrie Mineral, Paris.
- Fuerstenau D. W. Editor; Froth - Flotation, 50 th Anniversary Volume 1962, American Inst, of Mining. Met. and Petroleum Engineers, New York.
- Schubert, H.; Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe in 3 Banden, 1 Band 1964, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.