

# DENEY ADI: MANYETİK DUYARLILIK FARKINA GÖRE ZENGİNLEŞTİRME (KURU)

**1. DENEYİN AMACI:** Kuru çalışan manyetik ayırıcı kullanarak minerallerin manyetik özelliklerine göre zenginleştirilmesi, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve sunumu hakkında bilgi ve beceri edinmek.

## 2. GENEL BİLGİLER

Minerallerin farklı manyetik özelliklerinden faydalanarak yapılan zenginleştirmeye “**Manyetik Zenginleştirme/Ayırma**” denmektedir. Manyetik zenginleştirmenin temel kullanım alanları şunlardır:

- Cevher içerisinde bulunan veya sonradan karışmış olan demirli parçaların (tramp demir) temizlenmesi. Bu parçalar kırıcı başta olmak üzere diğer ekipmanlara zarar verebilir.
- Demir cevherlerinin zenginleştirilmesi (örneğin; manyetit-kuvars veya manyetit-hematit cevherlerinin zenginleştirilmesinde)
- Titanyum cevherlerinin zenginleştirilmesi
- Endüstriyel hammaddelerden demirin uzaklaştırılması
- Diğer...

Cevher içindeki minerallerin manyetik özelliğine bağlı olarak yüksek manyetik duyarlılığa sahip minerallerin zenginleştirilmesinde **düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar**, düşük manyetik alınganlığa sahip mineralleri ayırmak için ise **yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar** kullanılır. Manyetik zenginleştirme işleminin yapıldığı ortam sulu ise bu tür ayırmaya “**yaş ayırma**”, ortam hava ise “**kuru ayırma**” denilir. İri tane boyutları için **kuru ayırma**, ince tane boyutlarında ise **yaş manyetik ayırma** kullanılır.

### Manyetik ayırmanın temelleri

Doğada bulunan mineraller içerdikleri elementlerin tür ve miktarlarına göre farklı manyetik özellik gösterir. Minerallerin sahip oldukları manyetik duyarlılık/alınganlık dereceleri üçe ayrılabilir:

1. Diyamanyetizm (zayıf mıknatıslık)
2. Paramanyetizm (kuvvetli mıknatıslık)
3. Ferromanyetizm (çok kuvvetli mıknatıslık)

Mineraller gösterdikleri mıknatıslık özelliklerine göre “*diyamanyetik, paramanyetik veya ferromanyetik mineral*” olarak isimlendirilir. Manyetik duyarlılık/alınganlık “*kütlesel manyetik duyarlılık,  $\chi$  (SI birim sisteminde  $m^3/kg$ )*” veya “*hacimsel manyetik duyarlılık,  $\kappa$  (SI, birimsiz)*” olarak ifade edilebilir.

**Diyamanyetizm:** Manyetik bir alana konulan katı maddede elektriksel değişme sonucu oluşan mıknatıslığa diyamanyetizm denir. Diyamanyetik malzemenin mıknatıslığı çok zayıf olup manyetik alınganlığı/duyarlılığı negatif (-) işaretlidir. Kuvars, kalsit, sfalerit, galen ve manyezit diyamanyetik minerallerdir.

**Paramanyetizm:** Paramanyetik maddeler pozitif (+) fakat küçük manyetik duyarlılığa sahiptir. Rutil, ilmenit, götit, dolomit ve pirit paramanyetik minerallerdir.

**Ferromanyetizm:** Ferromanyetik maddelerin manyetik alınganlıkları pozitif (+) olup çok yüksek değerlere sahiptir. Demir, manyetit ve pirotin ferromanyetik özellik gösterir.

Uygulamada yukarıdaki sınıflandırma yerine aşağıdaki üçlü sınıflandırma tercih edilir:

**Kuvvetli manyetik mineraller:** Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılarla (örn. 0,15 Tesla) zenginleştirilebilir. Ferromanyetik mineraller bu gruba girer. Bu minerallerin manyetik duyarlılıkları  $10^{-4}$  m<sup>3</sup>/kg'dan büyüktür.

**Zayıf manyetik mineraller:** Bu mineraller daha yüksek manyetik alan şiddetinde (1 Tesla'ya kadar) zenginleştirilebilir. Kuvvetli paramanyetik mineraller bu gruba dâhildir. Bu minerallerin manyetik duyarlılıkları  $10^{-7}$  ile  $5 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg arasında değişir.

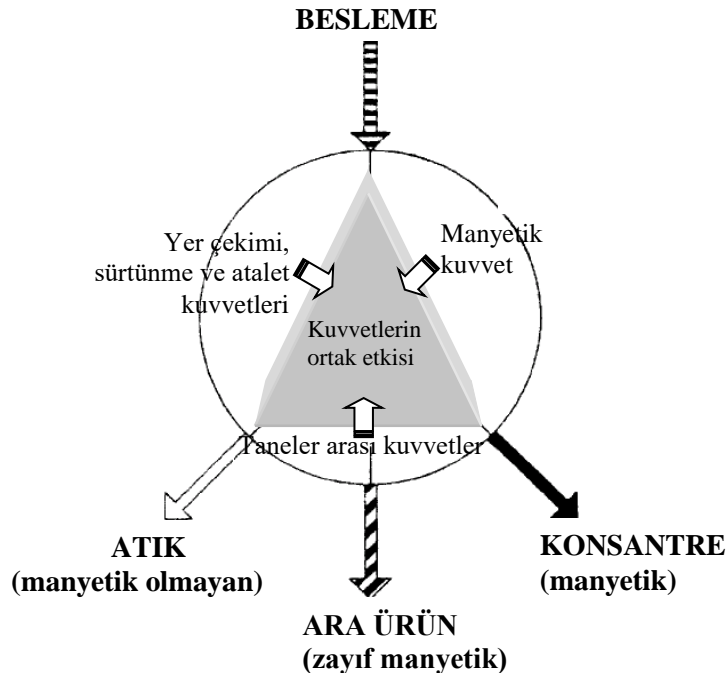
**Manyetik olmayan mineraller:** Bu tür mineraller konvansiyonel manyetik ayırıcılarla zenginleştirilemezler. Çok zayıf paramanyetik mineraller ve diyamanyetik mineraller bu grubun içindedir. Bu minerallerin manyetik alınganlıkları  $10^{-7}$  m<sup>3</sup>/kg'dan küçüktür.

Tablo 1. Bazı minerallerin manyetik duyarlılıkları

	Mineral	Kimyasal formülü	Kütlesel manyetik duyarlılık, $\chi$ ( $10^{-8}$ m <sup>3</sup> /kg)
<b>Kuvvetli manyetik mineraller</b>	Demir	Fe	50.000 den 2.000.000 a kadar
	Manyetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	20.000 50.000
	Pirotin	Fe <sub>1-x</sub> S (x=0-0,2)	10 30.000
<b>Zayıf manyetik mineraller</b>	İlmenit	FeTiO <sub>3</sub>	20 150
	Volframit	(Mn,Fe)WO <sub>4</sub>	35 120
	Hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25 380
	Götit	FeOOH	26 280
	Limonit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	10 40
<b>Manyetik olmayan mineraller</b>	Rutil	TiO <sub>2</sub>	1 5
	Zirkon	ZrSiO <sub>4</sub>	1,67
	Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	0,6 10
	Pirit	FeS <sub>2</sub>	0,3 20
	Kalsit	CaCO <sub>3</sub>	-4,8
	Sfalerit	ZnS	-3,2
	Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-1 -41
	Kuvars	SiO <sub>2</sub>	-0,6

Manyetik zenginleştirmeyi kontrol eden en önemli kuvvet manyetik kuvvet olmakla birlikte diğer kuvvetler de (yerçekimi, sürtünme, merkezkaç vs.) ayırma sürecini etkiler. Manyetik ayırmaya etki eden kuvvetler etki büyüklüğüne göre şöyle sıralanır:

1. Manyetik kuvvetler ( $F_{\text{manyetik}}$ ),
2. Yerçekimi, merkezkaç, sürtünme ve atalet kuvvetleri,
3. Taneler arası itici veya çekici elektrostatik kuvvetler.



Şekil 1. Minerallerin manyetik olarak ayrılmasında etkili olan kuvvetler

Etkin bir manyetik ayırma için manyetik kuvvetin büyüklüğü diğer kuvvetlerin toplamından büyük olmalıdır ( $F_{\text{manyetik}} \gg F_{\text{diğer}}$ ).

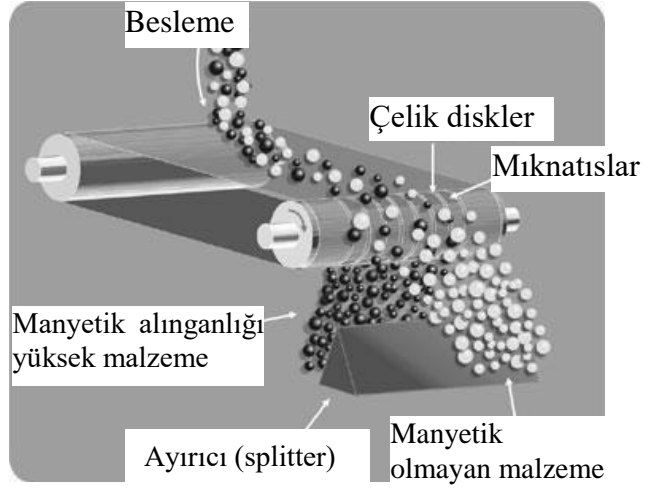
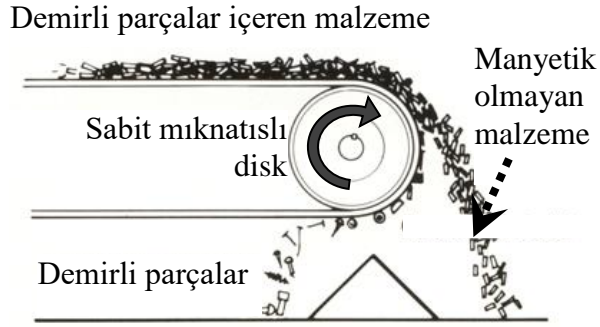
### Manyetik ayırma yöntemleri (Kuru)

Ortamın hava veya su olmasına göre ve uygulanan manyetik alanın düşük veya yüksek olmasına göre dört tip manyetik ayırmadan söz edilebilir. Manyetik alan şiddetinin birimi SI birim sisteminde Tesla(T)'dir (1 Tesla=10<sup>4</sup> Gauss). Manyetik alan şiddeti 1 Tesla'ya kadar düşük alan şiddetli, 1 Tesla üstünde ise yüksek alan şiddetli manyetik ayırma koşulları oluşmaktadır. Manyetik ayırma yöntemleri ve uygulama tane boyu aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir (1mm=10<sup>3</sup>µm):

Manyetik ayırma yöntemi	Uygulama tane boyu (mm)
Düşük alan şiddetli ayırma (Kuru)	0,1-15
Yüksek alan şiddetli ayırma (Kuru)	0,1-3
Düşük alan şiddetli ayırma (Yaş)	0,05-3
Yüksek alan şiddetli ayırma (Yaş)	0,005-0,5

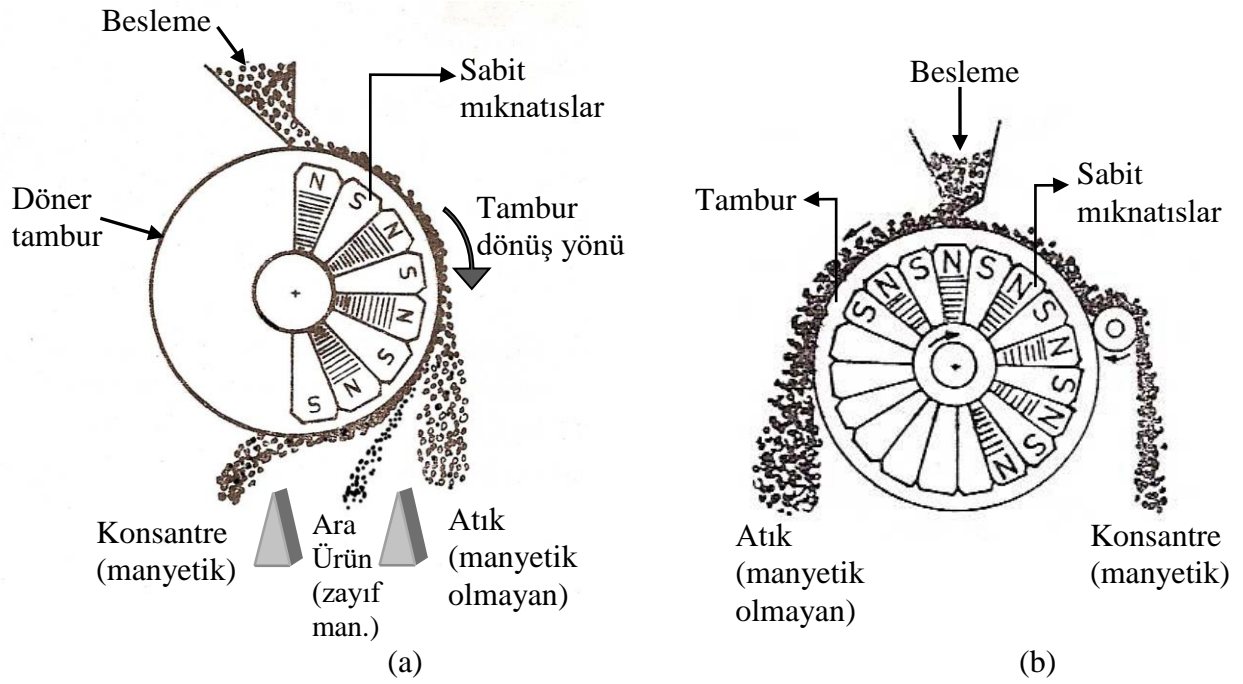
**Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar (Kuru):** Demirli parçaların cevherden uzaklaştırılmasında ve kuvvetli manyetik minerallerin ön zenginleştirmesinde kullanılır.

- **Bant tipi manyetik ayırıcılar:** Bu tür manyetik ayırıcılar genellikle cevher üretimi sırasında cevhere karışan demir/çelik parçalarını uzaklaştırmak amacıyla kullanılır.



Şekil 2. Bantlı manyetik ayırıcı

- **Tambur tipi manyetik ayırıcılar:** En yaygın kullanılan manyetik ayırıcı çeşididir. Bu tür ayırıcılar mıknatısın hareketli olup olmasına göre sabit mıknatıslı ve döner mıknatıslı ayırıcılar olarak sınıflandırılır.



Şekil 3. (a) Sabit mıknatıslı (b) Döner mıknatıslı tambur tipi manyetik ayırıcı

**Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar (Kuru):** Zayıf manyetik minerallerin (kuvvetli paramanyetikler) zenginleştirilmesinde kullanılır. Döner diskli, tamburlu ve bantlı tür ayırıcı tipleri vardır.