

---

# HEMATİTİN MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN YÜKSEK ALANLI MANYETİK AYIRMA İŞLEMLERİNDEKİ ETKİSİ

---

AU BAŞDAĞ (\*)

## ÖZET

*Sıcaklık, manyetik alan şiddeti ve safsızlık içeriğinin bazı yapay ve doğal hematit numunelerinin manyetik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, hematitin bilhassa sıcaklık ve manyetik alan şiddetine bağlı manyetik özelliklerinin laboratuvar ve pilot çaptaki zenginleştirme testlerine ek olarak araştırılmasının dizayn edilecek zenginleştirme tesisinden yüksek proses performansı elde edilebilmesi açısından önemli olduğunu göstermiştir.*

## ABSTRACT

*The effects of temperature, magnetic field intensity and impurity content upon the magnetic properties of some artificial and natural hematite samples have been investigated. The data obtained reveal that the temperature- and field-dependent magnetic properties of hematite should be studied in conjunction with the laboratory and pilot scale separation tests so that a rational design of separating plant providing a high plant performance could be realized.*

\* Dr. Müh., TDÇİ Divriği Konsantratör ve Pelet Tesisi İşletme Müdürü, SİVAS

## 1 GİRİŞ

Özellikle yüksek alanlı ve yüksek alan değişimli (high gradient) manyetik zenginleştirme yöntemlerindeki son gelişmeler düşük tenörlü demir cevherlerinin önemini daha da artırmıştır. Yüksek verimli bir manyetik ayırma için cevheri oluşturan minerallerin manyetik özelliklerinin önceden tesbit edilmesi tercih edilmesi gereken bir yöntemdir. Literatürde çizelge halinde verilen değerlerin direkt olarak alınması dizayncıları çoğu kez hatalı sonuçlara götürebilir. Zira mineraller her zaman sabit bir yapıya sahip değildir. Pirotit (Fe-xS) ve limenitte (Fe-\* Ti-\* O<sub>3</sub>) olduğu gibi gerçek stokiyometriden küçük ölçüdeki sapmalar dahi minerallerin manyetik özelliklerinde büyük değişikliklere yolaçabilir (1). Buna ek olarak az miktarlardaki ferromanyetik safsızlıklar sözkonusu mineralin gerçek manyetik karakterini saklayabilir.

Hematit demir cevheri yataklarında sık görülen gang minerallerinden bazıları (örneğin, demirli silikatlar) hematit mineralininine yakın manyetik alınganlığa sahiptir. Bunun yanında ferromanyetik safsızlıklar içeren diamanyetik gang mineralleri (örneğin, kuvars) özellikle düşük alan şiddetlerinde hematitinkinden daha yüksek bir manyetik alınganlığa sahip olabilirler. Bu tür cevherlerde uygun manyetik alan şiddeti ve ortam sıcaklığının seçilmesi manyetik ayırma verimlerinin artmasına neden olabilir. Zira sıcaklık ve manyetik alan şiddetinin hematitin manyetik özellikleri üzerindeki etkisi uzun zamandır bilinmektedir. Ancak bu özellikler cevher hazırlama alanında şimdiye değin pek dikkate alınmamış olup, genel eğilim laboratuvar ve pilot çaptaki testlerden ayırma verimlerinin saptanması şeklinde olmuştur.

Genel olarak, herhangi bir mineralin manyetik ayırma yöntemleri ile zenginleştirilmesi düşünüldüğünde bu mineralin önemli manyetik özellikleri üzerinde bazı verilerin elde edilmesi gerekli olacaktır. Bu özellikler şunlardır:

- a) Manyetiklenme derecesi
- b) Safsızlıkların manyetik özellikler üzerindeki etkisi
- c) Sıcaklık değişimlerine karşı manyetik özelliklerdeki duyarlılık
- d) Manyetik alınganlığın karakteri (örneğin, alan şiddetine bağlı manyetik alınganlık v.s.)
- e) Manyetiklenme eğrilerindeki kritik noktalar
- f) Cevher yatağındaki diğer minerallerin manyetik özellikleri ile farklılıklar veya benzerlikler.

Bu düşüncelerin ışığı altında bu bildiriye çalışmada ferromanyetik ve diğer safsızlıklar içeren çeşitli hematit numunelerinde man-

yetik alan şiddeti ve sıcaklık değişmelerinin manyetik özellikler üzerindeki etkisiyle beraber yukarıda belirtilen diğer hususların da araştırılması olmuştur.

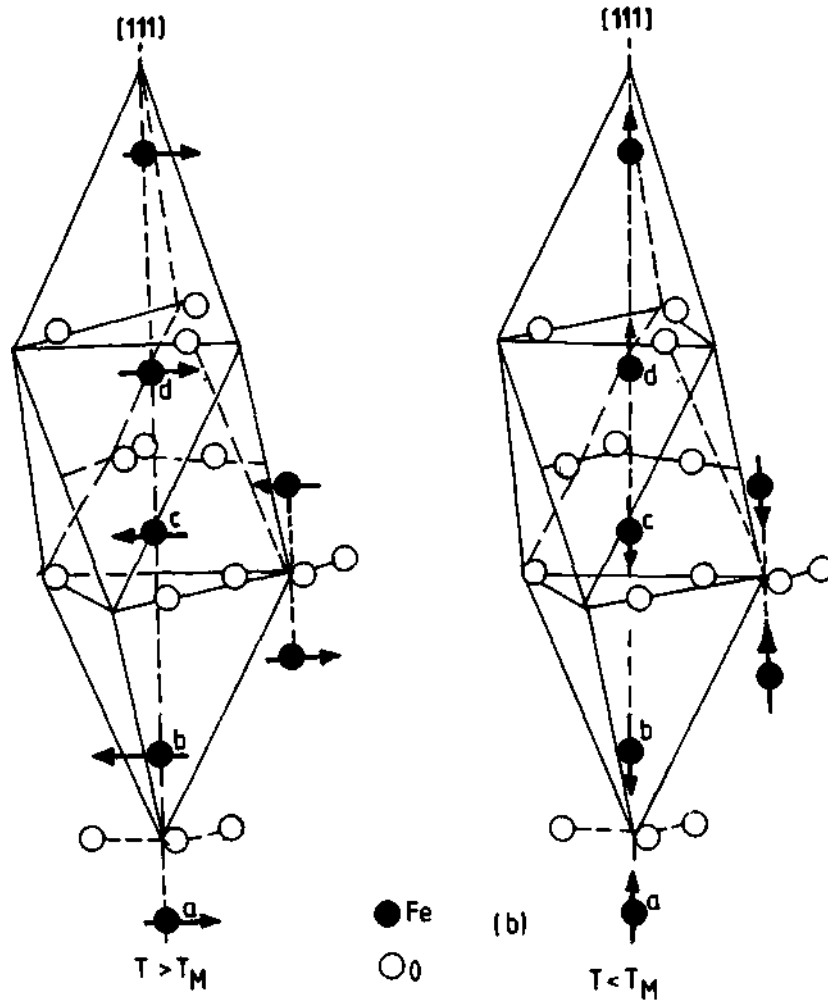
## 2 HEMATİT MİNERALİNİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Hematitin Manyetik Yapısı

Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) zayıf ferromanyetik özellik gösteren antiferromanyetik bir mineraldir (2). Kristal yapısı rombohedral olup demir ve oksijen atomları bu yapıda O-Fe-O-Fe-O sırasında trigonal eksenine (111) dik tabakalar halinde dizilmişlerdir. (111) düzlemdeki demir atomları bir manyetik alanın etkisi altında kendiliğinden belirli bir yönde manyetikleşerek doyuma (magnetic saturation) ulaşırlar. Ancak oksijen atomlarının oluşturduğu bir tabaka ile birbirinden ayrılmış olan komşu iki tabakayı oluşturan demir atomlarının manyetiklenme yönü birbirine zıttır. Bu da antiferromanyetik bir dizilidir.

Hematitin 260°K'nin üzerinde zayıf bir ferromanyetik olduğu, pigment saflılığındaki  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerinde Morin (3) tarafından gösterilmiştir. Özgül manyetik alınganlık 260°K'nin üzerinde  $130 \times 10^6$  emu/g/0e iken bu sıcaklığın altında  $20 \times 10^6$  emu/g/0e değerine düşmüş olup bu sonuncusu hematitin paramanyetik alınganlığına karşılık gelmektedir (4). Bu da zayıf ferromanyetikliğin Morin sıcaklığının (260°K) altında kaybolduğu anlamına gelmektedir. Morin sıcaklığının daha sonra Shull ve arkadaşları (5) tarafından nötron difraksiyonu yardımıyla bulunmuştur (Şekil 1). Dzyaloshinsky (6) 260°K'nin üzerinde Fe atomlarının manyetik momentlerinin birbirine paralel olmayıp, çok az miktarda bir antiparalellik bulunduğunu saptamış ve hematitin içerdiği zayıf ferromanyetikliğin buna bağlanmıştır. Née'l ve Pauthenet'in (7) tek hematik kristali üzerinde yapmış olduğu araştırmalar özgül manyetik alınganlıkla oluşan değişimin trigonal eksen boyunca taban düzlemindekine nazaran çok daha belirgin olduğunu göstermiştir (Şekil 2).

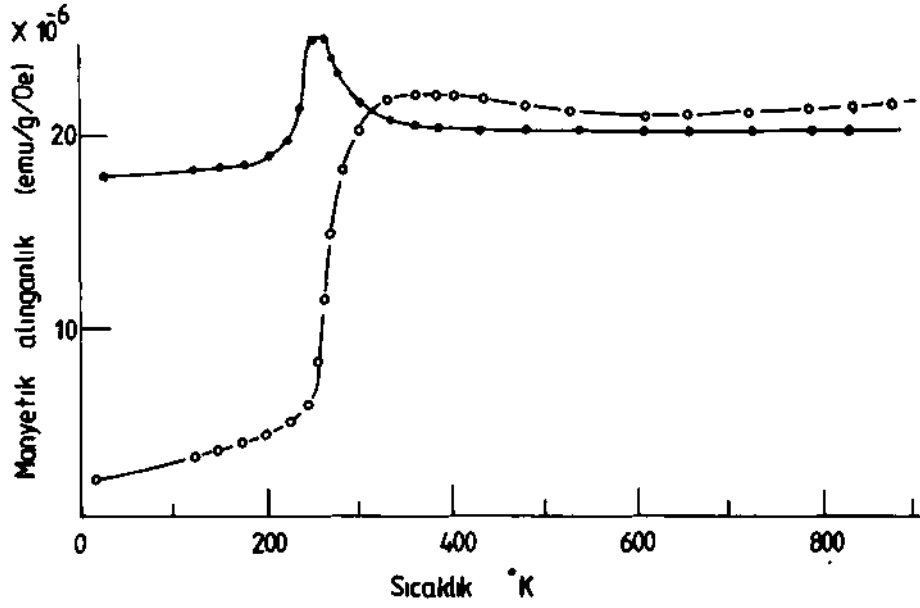
Daha sonra doğal hematit üzerinde yapılan çalışmalar (8, 9) bu zayıf ferromanyetikliğin izotropik ve anizotropik olarak iki kısımdan oluştuğunu göstermiştir. İzotropik kısmın kristal hatalarından veya ferromanyetik safsızlıklar nedeniyle meydana geldiği, Morin sıcaklığının altında ve üstünde hematik kristalinin bütün eksenleri boyunca gözlemlendiği, anizotropik kısmın da hematitin kendi özelliği olduğu, Morin sıcaklığının (260°K) üzerinde sadece (111) düzlemi içinde gözlemlendiği ve kristal asimetrisinden kaynaklandığı bulunmuştur.



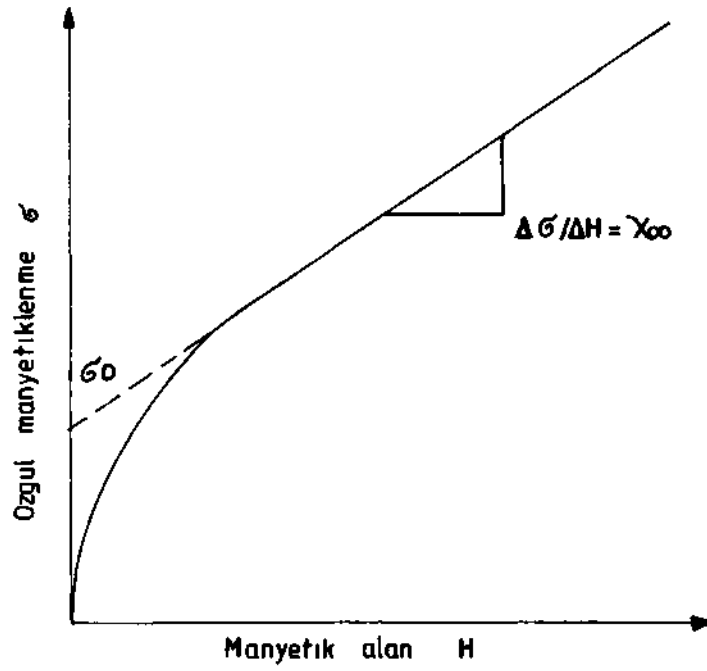
Şekil 1 — Hematitin (a — Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kristallografik ve manyetik yapısı (5)  
 (a) Morin sıcaklığının ( $T^M = 260^{\circ}\text{K}$ ) Üstünde  
 (b) Morin sıcaklığının altında  
 (Oklar Fe<sup>+3</sup> atomlarının manyetik yönlerini göstermektedir.)

## 2.2. Hematitin Manyetik özelliklerini Niteleyen Parametrelerin Tanımı

Hematit, bugüne kadar cevher hazırlamacılar tarafından genellikle paramanyetik bir mineral olarak bilinmiş, içerdiği zayıf manyetik karakter son zamanlara kadar tanınmamıştır. Bu özellik hematiti manyetik alınganlığı manyetik alan şiddetine bağlı maddeler arasına sokmuştur. Bu tür maddeler için tipik özgül manyetiklenme-manyetik alan eğrileri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2 — Hematitin özgül manyetik alınganlığında sıcaklığın etkisiyle değişmesi  
 (1) Taban düzleminde (111)  
 (2) Trigonal eksen (111) boyunca (7)



Şekil 3 — Zayıf ferromanyetizme haiz antiferromanyetik maddelere (örneğin hematit) at  $\delta$  - H eğrisi

Bu eğri;

$$b = b_0 + (X_{\infty}) (H) \text{ formülüyle ifade edilir (10).}$$

Burada  $b$ ,  $b_0$ ,  $X$  ve  $H$  sırasıyla ölçülen özgül manyetiklerime, kendiliğinden manyetiklenme, paramanyetik alınganlık ve manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Bu tür eğriler genellikle özgül manyetik alınganlıkları nölçülmesinde çizilmekte olup  $X_{\infty}$  ve  $b_0$  parametreleri ile karakterize edilir.  $X_{\infty}$  sonsuz manyetik alan şiddetindeki özgül manyetik alınganlığı,  $b_0$  ise eğrinin linear (doğrusal) kısmının ordinat ile kesiştiği değerdir. Alınganlık ile manyetik alan arasındaki bağıntı (1) eşitliğinin her iki tarafını  $H$  ile bölmek suretiyle aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$X = X_{\infty} + \frac{b_0}{H} \quad (2)$$

### 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 DeneYlerde Kullanılan Numuneler

DeneYlerde 4 adet doğal hematit numunesiyle 1 adet yapay a-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesi kullanılmış olup, bu numunelerin özellikleri şöyledir:

<i>Numune Adı</i>	<i>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
1. Yapay — Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (CG)	99.99
2. Böbreğimsi hematit (KH)	96.3
3. Sert-mavi hematit (HB)	92.7
4. Spekular hematit (SH)	93.6
5. Hematit konsantresi (FL)	89.6

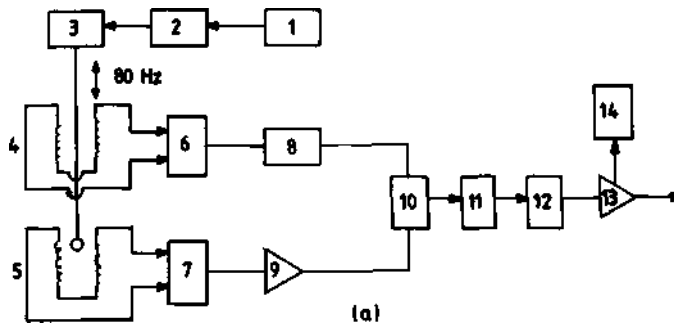
Bu numuneler üzerinde;

1. 290°K (17°C) sıcaklığında Manyetik alan şiddeti 1100-16000 oersted arasında değiştirilmek suretiyle özgül manyetiklenme ölçümleriyle,

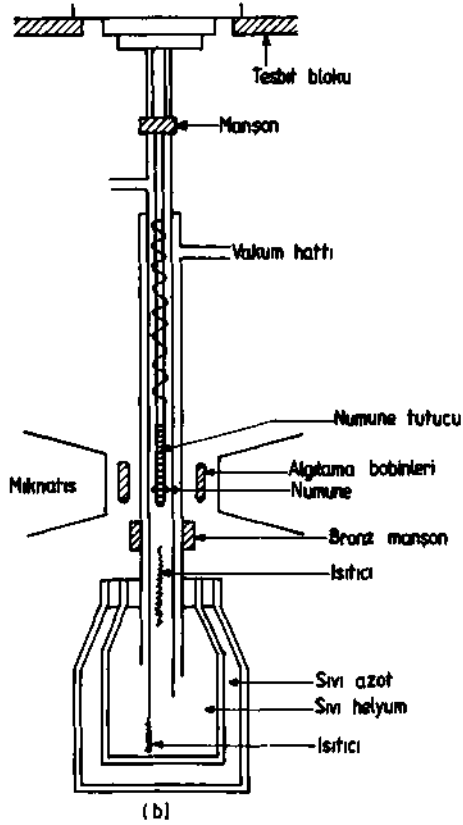
2. Manyetik alan şiddeti 4.5 ve 10 kOe değerinde 25°K ile 300°K arasında özgül manyetik alınganlık ölçümleri yapılmıştır.

#### 3.2 DeneY Aygıtı

DeneYlerde Titreşimli Numune Magnetometresi (Vibrating Sample Magnetometer) kullanılarak toz halindeki numunelerin özgül manyetiklenmesi ölçülmüştür. DeneY cihazı Şekil 4'de gösterilmiştir. Yaklaşık 100 g ağırlığındaki numune tufnol bir kapsüle doldurularak



- 1-Oijlatöp
- 2-Güç ampl.
- 3-Motor
- 4- Referans bobini
- 5-AlgHama bobini
- 6-Faz kontrol
- 7-Hassasiyet kontrol
- 8-Faz değıştirici
- 9-AC ampl.
- 10--
- 11- f Toplama sistemi
- 13-DC ampl.



Şekil 4 – Titreşimli numune magnetometresi (a) ve helyum gazı kirostatı (b)

titreşim transdücerinin ucundaki numune tutucuya yerleştirilir. Numune algılama bobinlerinin içinde manyetik alana dik olarak 80 Hz'lik bir frekansla titreştirilir. Numune manyetik alanının titreşiminden dolayı algılama bobinlerine bir e.m.f. (elektromotor kuvvet) endüklenir. Bu e.m.f.'nin değeri numunenin manyetik momenti ile orantılıdır.

Bütün ölçümler helyum gazı kirostatı içerisinde yapılmıştır. Böylelikle 4°K'den oda sıcaklığının üstüne kadar ölçümler yapmak mümkün olmuştur. Cihazın kalibrasyonu elipsodik şeklindeki bir nikel numunesi ile yapılmış olup, kalibrasyon hatası  $\pm$  % 2'yi geçmemiştir.

Algılama bobinleri içinde endüklenen elektromotor kuvveti;

$$E = K \cdot S$$

Burada K kalibrasyon sabitini ve 6 ise birim kütle başına manyetik momenti ifade eder. Eğer değişik iki numunenin e.m.f.'leri ölçülürse (nikel ve manyetik momenti bilinmeyen bir numune);

$$E_1 = K_i \cdot \theta_1 \quad (\text{nikel için})$$

$$E_2 = K_2 \cdot \theta_2 \quad (\text{bilinmeyen numune için})$$

$$\frac{K_i \cdot E_2}{K_2 \cdot E_1} = f \cdot \theta_1$$

$$f = \text{çevirim faktörü}$$

Bu lineer denklem bilinmeyen manyetik momentin hesaplanmasını sağlar.

### 3.3. Deneyler

#### 3.3.1. Manyetik Alan Şiddetinin Etkisi

290°K (17°C) sıcaklıkta artan manyetik alan şiddetinin bir fonksiyonu olarak yapılan özgül manyetiklenme ölçümleri bütün numuneler için Şekil 3'de gösterildiği şekilde eğriler vermiştir. (Şekil 5). Özgül manyetik alınganlık (2) eşitliği ile de gösterildiği gibi manyetik alan şiddetinin artmasıyla azalmıştır.

Özgül manyetiklenme ölçümlerinin yapıldığı tüm numuneler düşük alan şiddetlerinde kendiliğinden manyetiklenmişlerdir. Bu da hematitin temel antiferromanyetik yapısının üstünde içerdiği zayıf ferromanyetik özelliğinin bir belirtisidir. Kendiliğinden manyetiklenmenin değeri kullanılan numunelerdeki bilhassa ferromanyetik safsızlıklara bağlı olarak değişmektedir (Çizelge 1).



Çizelge 1 — Manyetik özellikleri karakterize eden parametrelerle ferromanyetik safsızlık içeriğinin ilişkisi

Numune	% FesOt	60	X.x, X 10*
CG	0.00	0.055	31.6
KH	0.11	0.05	26.0
HB	0.62	0 07	37,5
SH	1.36	0.17	24.0
FL	2.16	1.12	30.0

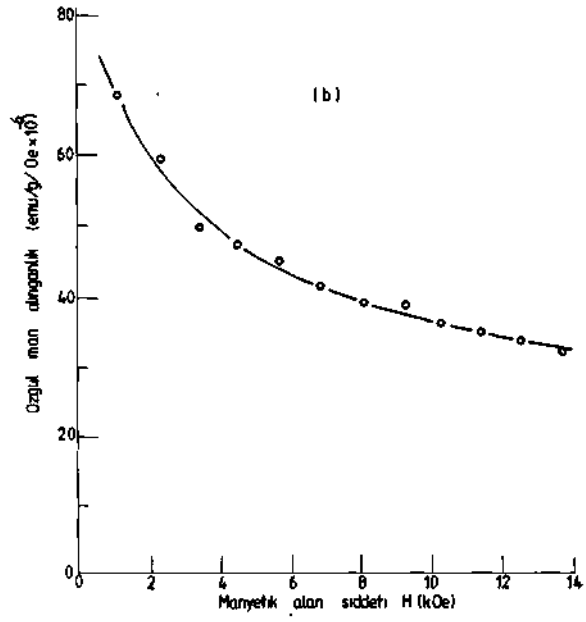
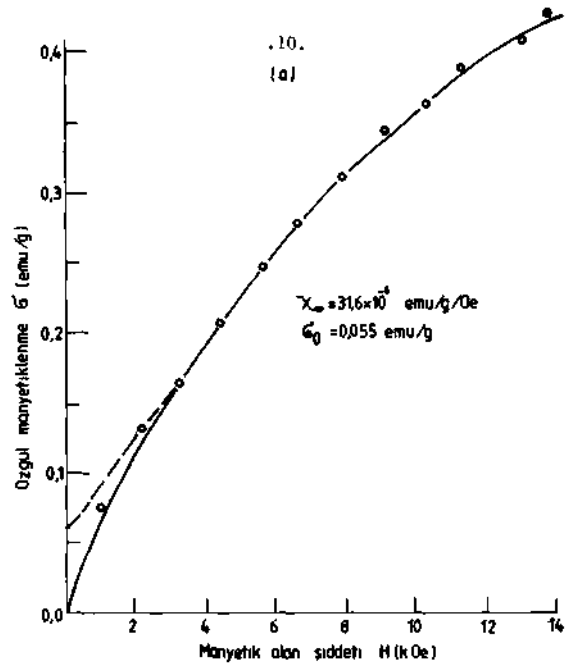
Çizelge 1'de görüleceği üzere  $Fe_3O_4$  miktarındaki artış sadece kendiliğinden manyetiklenmede (60) bir artışa neden olmakta, paramanyetik alınganlık oldukça dar bir aralıkta ( $24 \times 10^6 - 37.5 \times 10^6$  emu/g/Oe) sabit kalmaktadır. Diğer bir deyişle kendiliğinden manyetiklenme ferromanyetik safsızlıklardan etkilenirken paramanyetik alınganlık etkilenmemektedir. Bu hematit mineralinin kendi özelliğidir. Hemen hemen hiç ferromanyetik safsızlık içermeyen CG ve KH numunelerinde gözlenen ferromanyetizmin hematitin manyetik yapısından kaynaklandığı ve  $Fe^{+3}$  iyonlarının antiparalel manyetik momentlerinden veya kristal yapısındaki düzensizlikler nedeniyle ortaya çıktığı sonucuna varılır.

Şekil 5 ve 6'da verilen özgül manyetik alınganlık-manyetik alan eğrileri manyetiklenme eğrilerinin sabit bir eğime haiz olduğu bölgede (2) eşitliğine uyarlar. Yani manyetik alınganlık sadece harici olarak tatbik edilen manyetik alan şiddetine bağlıdır. Buna göre, alınganlık ilk önce çok seri bir şekilde azalmakta ve bu düşüş yüksek alan şiddetlerinde aşamalı konuma gelmektedir.

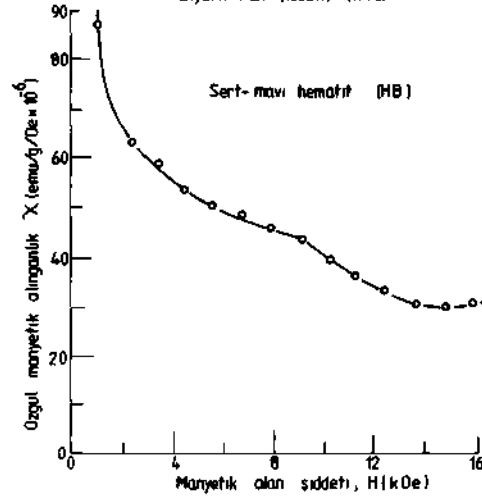
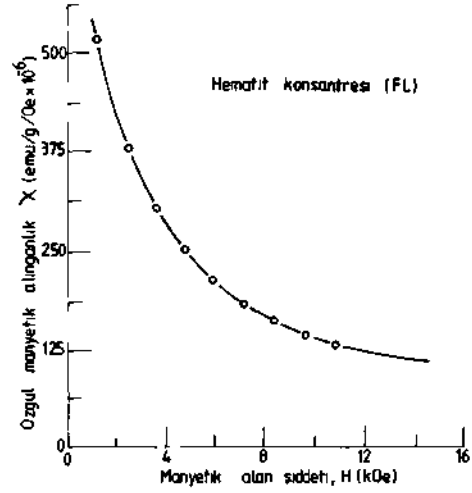
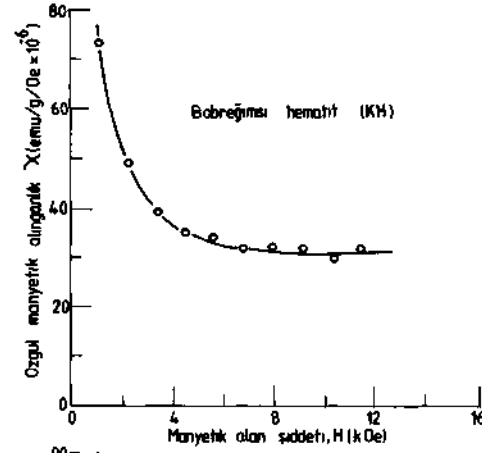
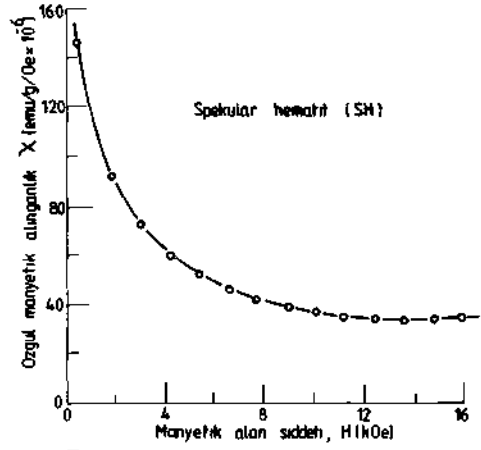
Manyetiklenme mekanizmasında veya manyetik yapıda herhangi bir değişikliğin olmadığı bölgede X-H eğrileri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilmektedir (4).

$$X = \frac{a}{H^b} \quad (3)$$

Burada a ve b sabit sayılar olup, her numuneye göre değişmekte ve o numunenin ferromanyetik safsızlık içeriğine bağlı olmaktadır, b sabiti 0 ile 1 arasında değişmekte olup, b=0 durumunda manyetik alınganlık (X) alan şiddetinde bağımsız olmakta ve a sabitine eşit olmaktadır. Bu durum "gerçek" paramanyetik maddeler için geçerlidir. b=1 olduğu ise  $X \cdot H = a$  olmakta bu da ferromanyetik elementlerin anizotropik manyetiklenme eğrilerine tekabül etmektedir (örneğin, metalik demirin (100) eksenini veya metalik kobaltın (0001) eksenini doğrultusundaki manyetiklenmesi). a sabiti düşük alan şid-



Şekil 5 — Manyetik alanın kimyasal reaktif saflığındaki hematitin  
(a) özgül manyetiklenmesi (b) özgül manyetik alinganlığı  
üzerindeki etkisi



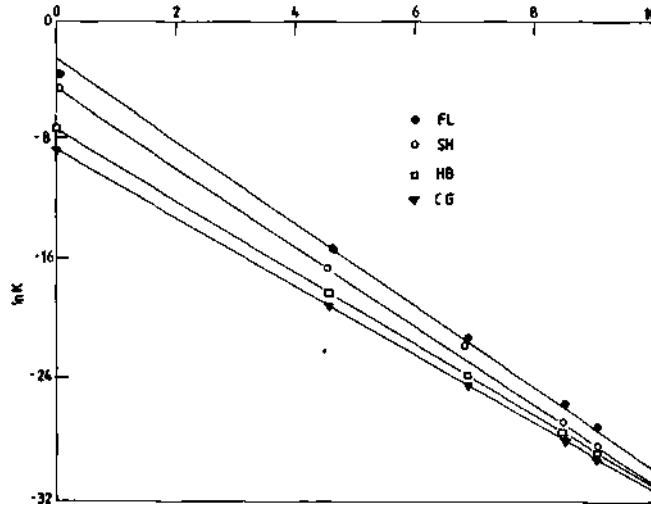
Şekil: 6 — Manyetik alan şiddetinin tabii hematit numunelerinin özgül manyetik alınganlıkları üzerindeki etkisi

değerinde etkili olup Çizelge 2'den görüleceği gibi numunenin ferromanyetik safsızlık miktarıyla ilgilidir, b sabitinin etkisi ise yüksek alan şiddetlerinde daha belirgindir.

Çizelge 2 — 3 Eşitliğindeki a ve b parametreleri ile ferromanyetik safsızlık içeriğinin ( $Fe_3O_4$ ) ilişkisi

Numune	% $Fe_3O_4$	$a \times 10^*$	b
CG	0.00	5.06	0.284
KH	0.11	33.50	0.547
HB	0.62	14.93	0.396
SH	1.36	121.30	0.628
FL	2.16	172.70	0.496

Ferromanyetik safsızlıkların manyetik alınganlık üzerindeki etkisini daha açık bir şekilde açıklamak için (3) eşitliğinin temsil ettiği eğrinin eğrilik (curvature) değerleri manyetik alanın fonksiyonu olarak hesaplanarak log-log ölçeğinde çizilmiştir (Şekil 7). Eğrilik bir eğrinin birim uzunluğunda oluşan yon değişim miktarı olarak tanımlanır. Şekil 7'den görüleceği gibi numunenin ferromanyetik safsızlık içeriği arttıkça  $\ln K - \ln H$  eğrilerinin eğimi de artmaktadır. Diğer bir deyişle numunelerdeki ferromanyetik safsızlık miktarı arttıkça manyetik alan şiddetinin artmasıyla hasil olan manyetik alınganlıktaki azalma o denli fazla olmaktadır.



Şekil 7 — Hematit numunelerinin  $\ln K = a/h^b$  eğrilerinin (curvature) mukayesesi

### Ö.3.2. Sıcaklığın Etkisi

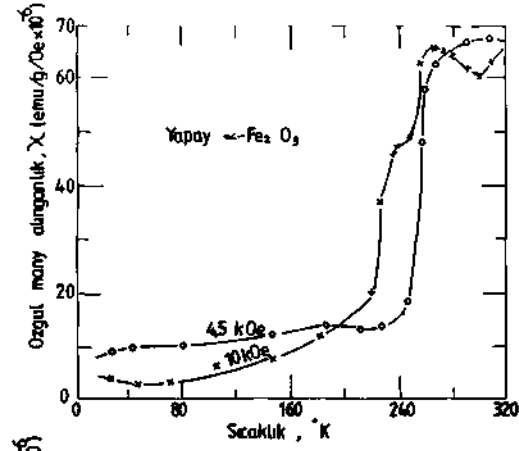
Doğal hematit numuneleri ve bu numuneler üzerinde yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde baz teşkil etmesi amacıyla, kimyasal reaktif saflığındaki hematit numunesi üzerinde değişik alan şiddetlerinde (4,5 kOe ve 10 kOe) 25°K ile 300°K sıcaklıkları arasında manyetiklenme ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler daima numuneler ısıtılırken alınmıştır.

Şekil 8 (a)'da yapay hematit için verilen özgül manyetik alınganlık-sıcaklık (X - T) eğrisinden görüleceği üzere 260°K'nin üstünde manyetik alınganlık, sıcaklıktan bağımsız olup 4,5 kOe manyetik alan şiddetinde  $67 \times 10^{-6}$  emu/g/Oe değeri civarında sabittir. Bu değer 250° sıcaklığında  $15 \times 10^{-6}$  emu/g/Oe değerine düşmüş olup, sıcaklığın daha da düşmesiyle manyetik alınganlıktaki azalma daha yavaş olmaktadır. Manyetiklenmenin (ve dolayısı ile manyetik alınganlığın) 260°K'nin altında azalmasının nedeni hematitin kristal yapısındaki  $Fe^{3+}$  atomlarının devin yönlerinin (spin directions) değişmesidir. Şekil 1'de gösterildiği gibi Morin değişiminin üstünde demir atomlarının devin yönü (111) düzlemi içinde antiferromanyetik devin ekseninden çok az kaçık bir pozisyonda iken, Morin değişiminin altında trigonal eksene (111) paralel halde antiferromanyetik bir diziliş içindedirler. Bu nedenle kendiliğinden manyetiklenme Morin değişiminin altında kaybolmakta ve teorik olarak manyetik alınganlığın paramanyetik alınganlığa eşdeğer olması gerekmektedir. 10 kOe manyetik alan şiddetindeki ölçümler değişimin daha geniş bir sıcaklık aralığında (260°K - 220°K) oluştuğunu ve 4.5 kOe olan şiddetindekinden daha az keskin bir eğri verdiğini göstermektedir. Şekil 8 (b) ve (c)'de sıcaklık değişiminin böbreğimsi hematit ve speküler hematitin manyetik alınganlıkları üzerindeki etkisi görülmektedir. Tabii numunelerdeki manyetik değişim daha geniş bir sıcaklık aralığında oluşmakta olup yapay hematit numunesininkinden daha az belirgindir. 4.5 kOe manyetik alan şiddetinde sıcaklık aralığı böbreğimsi hematit için 270°K - 220°K iken speküler hematit için 290-230°K iken speküler hematit için 290-230°K'dir.

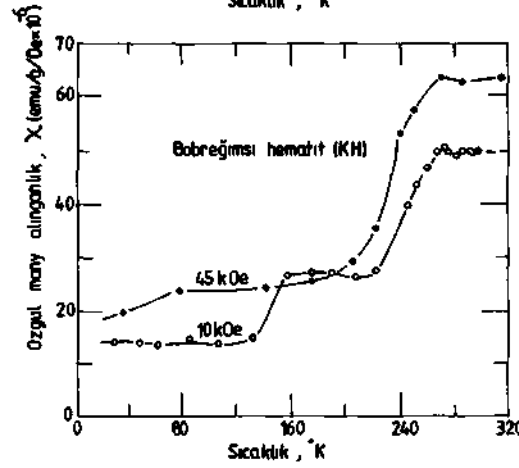
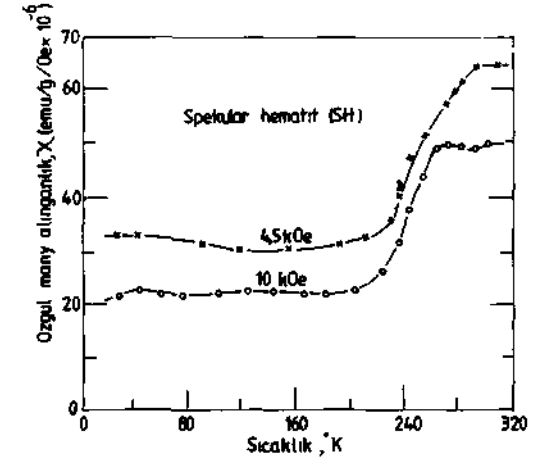
Doğal numunelerde meydana gelen bu daha az belirgin değişim hematit kristal kafesindeki iyon safsızlıkları ile açıklanabilir (örneğin, böbreğimsi hematitin yapısında % 0.2 MgO, % 0.4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 0.2 MnO ve % 0.15 CaO gibi safsızlıklar bulunmaktadır). Zira Al, Mn, Cr, Ga gibi hematitin kristal kafesinde bulunan elementlerin Morin değişimini daha tedrici bir hale getirdiği daha önce saptanmıştır (8).

Yapay hematit numunesinin Morin değişiminin altındaki özgül manyetik alınganlığı 10 emu/g/Oe iken böbreğimsi hematitin  $24 \times 10^{-6}$  ve speküler hematitin  $30 \times 10^{-6}$  emu/g/Oe'dir.

Bu fark doğal numunelerin bünyesinde bulunan ferromanyetik safsızlıklar veya kristal hataları nedeniyledir. Zira bunların herikisi



(a)

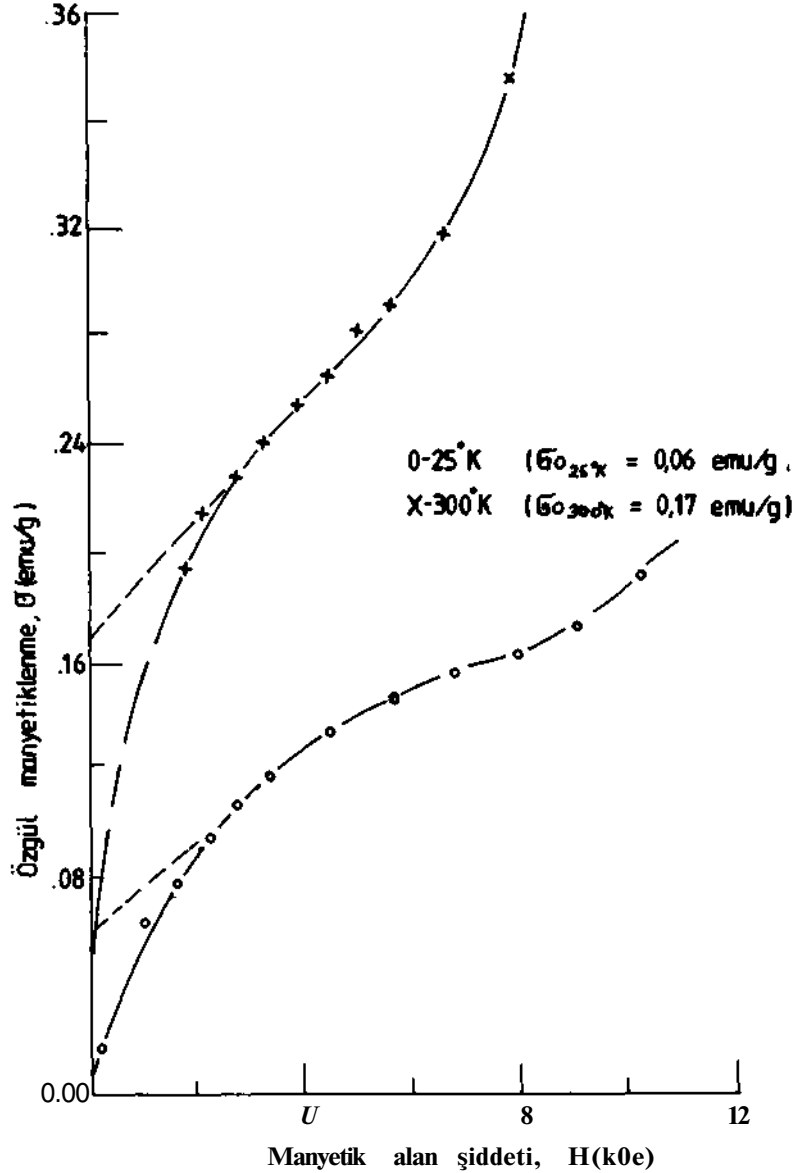


(b)

Şekil 8 — Sıcaklığın ve manyetik alan şiddetinin (a) yapay hematitin, (b) bobreğimsi hematitin (c) spekular hematitin ozgul manyetik alinganlığı üzerindeki etkisi

de hematitin sahip olduğu zayıf ferromanyetikliğin izotropik bileşeni oluşturmaktadır.

Şekil 8'de verilen X-T eğrilerindeki diğ er ilginç görünüm manyetik alan şiddetinin 4.5 kOe değerinden 10 kOe değerine çıkmasıyla manyetik değışim sıcaklığında görülen düşüştür. Bu düşüş yapay hematitte 10° iken speküler hematitte 25° ye kadar çıkmaktadır. Fakat bcbreğimsi hematitte gözle görülür bir düşüş belirlenememiştir.



Şekil 9 — Speküler hematit numunesinin manyetiklenme İzotermleri

Sekil 9 speküler hematit numunesinin 25°K ve 300°K sıcaklıklarındaki izotermal eğrilerini vermektedir. 300°K de spontane manyetiklenme (60 0.17 emu/ iken sıcaklığın 25°K'e düşmesiyle bu değer 0.06 emu/g değerine düşmüştür. Ancak paramanyetik alınganlık hemen hemen sabit kalmıştır. (300°K'de  $17.2 \times 10^{-6}$  emu/g/Oe ve 25°K'de  $23.3 \times 10^{-6}$  emu/g/Oe). 60 parametresinin sıcaklığın azalmasıyla değerini yaklaşık % 65 oranında yitirmesi bu numunede magnetik (y ~ Fe2O3) gibi ferromanyetik safsızlıkların çok az miktarda olabileceğinin bir ifadesidir.

#### 3.4. Deney Sonuçlarının Pratik Uygulamalardaki önemi

Hematitli demir cevherlerinin manyetik yöntemlerle zenginleştirilmesi genellikle karosel tipli yüksek alanlı yaş manyetik separatörler veya rotor tipli yüksek alanlı kuru manyetik separatörlerle yapılmaktadır.

Yüksek alanlı yaş manyetik separatörler dizayn edilirken istenilen ayırma veriminin elde edilebilmesi için gözönüne alınması gereken iki kuvvet vardır;

1. Manyetik çekim kuvveti,
  2. Suyun sürüklenme kuvveti.
- Manyetik çekim kuvveti (F<sub>m</sub>),

$$F_m = f(m, X, H, \frac{dH}{dx}) \text{ formülüyle verilir.} \quad (4)$$

Burada m, x, H ve  $\frac{dH}{dx}$  sırasıyla, partikül kütlesini, özgül manyetik alınganlığı, manyetik alan şiddetini ve manyetik alan değişimini ifade eder. Bir tanenin suyun sürüklenme kuvvetine karşı uyguladığı direnç (F<sub>r</sub>),

$$F_r = f(\rho, \rho_1, v, D, \mu) \text{ formülü ile tanımlanır.} \quad (5)$$

Burada  $\rho$ ,  $\rho_1$ , v, D ve  $\mu$  sırasıyla tane yoğunluğunu, akışkan yoğunluğunu, akışkan hızını, tane çapını ve akışkan vizkozitesini ifade eder.

İstenilen ayırmanın temini için manyetik alan içerisindeki manyetik çekim kuvvetinin suyun sürüklenme kuvvetini yenmesi gerekir (4). Formülündeki H ve dH/dx değerleri manyetik separatörün, m



ve X değerleri ise zenginleştirilerek cevherin karakteristik özellikleridir. Bu nedenle ayırma verimini artırmak ancak H veya  $dH/dx$  değerindeki artış ile mümkün olur. Ancak yüksek manyetik alan şiddeti paramanyetik minerallerin manyetik olarak ayrılması için gerekli olmasına rağmen manyetik alınganlıklar manyetik alan şiddetine bağlı zayıf manyetik nitelikteki minerallerin (örneğin, hematit) manyetik yöntemlerle verimli bir şekilde kazanılmaları için tek başına yeterli olamamakta ve yüksek alan değişimi de ( $dH/dx$ ) gerekli olmaktadır. Zira daha önce de belirtildiği gibi bu tür maddelerin manyetit alınganlıkları alan şiddetinin artmasıyla azalmaktadır. Alan değişimini artırmak için genel olarak uygulanan yöntem metalik demirin ferromanyetik özelliklerinden yararlanmaktır. Eğer bir manyetik alana bir demir parçası yerleştirilirse, bu kendi manyetiklenmesi nedeniyle 20.000 gauss şiddetine kadar ilave bir manyetik alan yaratabilir CIII. Demire şekil vermek suretiyle yüksek değişimli bir manyetik alan kolayca elde edilir. Bugünün yüksek alanlı yaş manyetik ayırıcılarında bu, ayırma bölgesinde matriks olarak nitelenen şekilli demir parçalarıyla sağlanır. Matriks olarak bilya, çubuk, bükülmüş çubuk, oyuklu plaka ve çelik lifleri en çok kullanılan malzemelerdir. Bir matriksin mümkün olan en yüksek alan değişimini ve toplam alanını sağlaması, iyi bir temizlemeye olanak tanıyacak geçirgenlikte olması gerekir.

Yüksek alanlı kuru manyetik séparatörlerde (4) formülünde verilen manyetik çekim kuvvetine, yer çekimi ve santrifüj kuvveti karşı koymaktadır. Bu nedenle manyetik ayırmanın gerçekleşmesi için manyetik alan içinde iken manyetik çekim kuvvetinin, gravite + santrifüj kuvvetlerinin kombinasyonundan daha büyük olması gerekir. Bu tür separatörlerde yüksek alan değişimi ince dilimli yumuşak manyetik malzemeden yapılmış rotorlar vasıtasıyla sağlanır.

Özellikle ferromanyetik safsızlıkları fazla cevherlerin zenginleştirilmesinde manyetik alan şiddetinin artırılması yerine alan değişimini artıracak önlemlerin alınması istenilen verimin elde edilmesinde rol oynayacak en büyük unsur olacaktır.

Bölüm 3.3'de gösterildiği şekilde manyetik değişim sıcaklığı bazı hallerde oda sıcaklığı değerine ulaşabilmekte ve bu sıcaklıktan 10-20°C'lik bir azalma ile manyetik alınganlık yaklaşık 1/3 oranında değer kaybetmektedir. Bu bilhassa soğuk iklimlerde kurulacak manyetik zenginleştirme tesislerinin dizaynında gözönüne alınması gereken önemli bir husustur. Gözardı edildiği takdirde önemli ölçüde verim kayıplarına yolaçabilir.

#### 4. SONUÇ

1. Hematit manyetik alınganlığı manyetik alan şiddetine bağlı zayıf ferromanyetik özellik gösteren antiferromanyetik bir mineraldir.

Yani manyetik alınganlık artan manyetik alan şiddetiyle azalmaktadır. Bu azalmanın derecesi cevherin içerdiği manyetik safsızlıklara da bağlı olup, bu safsızlıklar miktarındaki artış manyetik alan şiddetinin manyetik alınganlık üzerindeki olumsuz etkisini daha da artırmaktadır. Bu nedenle hematitli cevherlerin manyetik yöntemlerle zenginleştirilmesinde sadece manyetik alan şiddetini artırmak ayırma verimini her zaman artırmayabilir.

2. Hematit 260°K sıcaklığı civarında manyetik bir değişime uğrar. 260°K'nm altında manyetik alınganlık ferromanyetik safsızlık içeriğine bağlı olarak en fazla 6 kez azalabilir. Bunun nedeni düşük sıcaklıklarda hematitin manyetik yapısında meydana gelen değişimdir. Manyetik alınganlıktaki bu azalma çeşitli safsızlıklar içeren tabii hematit numunelerinde daha az olmakta ve manyetik değişim bölgesi daha geniş bir sıcaklık aralığına dağılmaktadır. Bu değişim bazı hallerde oldukça yüksek sıcaklıklarda (+• 17°C) başlamakta olup, bilhassa soğuk iklimlerde yapılacak manyetik ayırma işlemlerinin verimini düşürebilir.

3. Zayıf manyetik minerallerin yüksek alanlı manyetik separatörlerle zenginleştirilmesinde sadece yüksek alan şiddeti yeterli olmayıp, yüksek alan değişimi de gerekli olmaktadır. Bu nedenle yüksek alanlı manyetik separatörlerin dizaynında alan şiddetinin değiştirilebilmesinin yanında alan değişiminin belirli sınırlar içinde kolaylıkla değiştirilebilmesinin temini (örneğin, kolayca değiştirilebilir değişik inceliklerde matris malzemesinin bulundurulması) cevher karakteristiklerinden meydana gelebilecek ayırma verim kayıplarını önleyecektir.

#### KAYNAKLAR

1. NAGATA, T., Rock Magnetism, Maruzen Company Ltd. - Tokyo 1961
2. NEE' L, L., Annales de Physique, 3, 137-198, 1948
3. MORIN, F.J., Physical Review, Vol. 78, 1950, pp. 819-820
4. BAŞDAĞ, A., Ph. D Thesis, Leeds University, England, 1982
5. SHULL, CG. et. al., Physical Review, Vol. 83, No. 2. 1951, pp. 333-345
6. DZYALOSHINSKY, I., Journ. Phys. Chem. Solials, 1958, Vol. 4, pp. 241-245
7. NEE' L, L. and PAUTHENET, R., CR. Acade'mie des Sciences, Paris, 234, 1952, pp. 2172-2173
8. TASAKİ, A., et al., Journ. Phy. Soc. Japon, Vol. 17, Supp. B-1, 1962, pp. 235-238
9. TASAKİ, A., et al., Journ, Phy. Soc. Japon, Vol. 15, 1960, pp. 1535
10. PASTRANA, J.M. and HOPSTOCK, D.M., Trans. AIME, Vol. 262, 1977, pp. 1-5
11. LAWVER, J.E. and HOPSTOCK, D.M., Min. Sei. Eng. Vol. 6, 1974, pp. 154-172