

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOMA TERMİK SANTRALİ KÖMÜR KÜLLERİNİN
MANYETİK SÜSEPTİBİLİTE TAYİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsrafil ŞABİKOĞLU

Anabilim Dalı : Fizik

Programı : Katıhal Fiziği

MANİSA 2003

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOMA TERMİK SANTRALİ KÖMÜR KÜLLERİNİN
MANYETİK SÜSEPTİBİLİTE TAYİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsrafil ŞABİKOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.06.2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 13.06.2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nurdoğan CAN
Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. F. Serap EREEŞ
Yrd.Doç.Dr. Turgay KARALI

MANİSA 2003

İçindekiler

Bölüm		Sayfa
	Şekil Listesi	V
	Çizelge Listesi	VI
	Teşekkür	VII
	Özet	VIII
	Abstract	IX
1.	Giriş	1
1.1	Manyetik Süseptibilite (Alınganlık)	2
1.2	Diamanyetizma	4
1.3	Paramanyetizma	5
1.4	Ferromanyetizma	7
1.4.1	Ferromanyetizma ve Antiferromanyetizma	8
1.4.2	Ferrimanyetizm	8
1.4.3	Antiferromanyetizma	8
1.5	Histerisis Eğrisi	9
1.6	Domen ve Domen Duvarları	10
1.7	Süperparamanyetizma	12
1.8	Kritik Tanecik (Grain) Boyutu	13
1.8.1	Tanecik Etkileşmeleri	15
1.8.2	Tanecik Boyutu ile Frekansa Bağlı Alınganlık	16
1.9	Frekansa Bağlı Alınganlık	17
2.	Kömür Küllerine Giriş	19
2.1	Kömür Külleri	21
2.2	Küllerin Sınıflandırılması	21
2.3	Küllerin Özellikleri	21
2.3.1	Küllerin Zeolitasyonu	22
2.3.2	Zeolitlerin Özellikleri	23
2.3.3	Zeolitlerin Sınıflandırılması	24
3.	Temel Manyetik Mineraller	24
3.1	Minerallerin Manyetik Alınganlığa Etkisi	25
3.2	Kömür Külünün İçerdiği Mineraller	25
4.	Deneysel Yöntem	28

4.1	Örneklerin Toplanması	29
4.2	Örneklerin Ölçülmesi	29
4.3	MS2B Sensörünün Teknik Özellikleri	31
4.3.1	Sistemin Kalibrasyonu	31
5.	Sonuç ve Değerlendirme	32
5.1	Sonuçların Değerlendirilmesi	36
	Kaynaklar	38
	Özgeçmiş	39

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Manyetik alanda bir demir çubuk	2
Şekil 1.2 Ferromanyetik, ferrimanyetik, antiferromanyetik ve mükemmel olmayan antiferromanyetik manyetik momentlerin dizilimi.	9
Şekil 1.3 Manyetik histerisis döngüsü.	10
Şekil 1.4 a) Polikristal örnekte domen düzeni. b) Domen duvarında spinlerin 180° yavaş yavaş dönmeleri.	11
Şekil 1.5 Konumun fonksiyonu olarak domen duvarı enerjisi	12
Şekil 1.6 Dış manyetik alan uygulandığında domen duvarının hareketi.	12
Şekil 1.7 Eksensel oran ve grain (tanecik) uzunluğu olarak magnetit graininin multidomen, kararlı tek-domen ve superparamanyetik bölgeleri. Grain uzunluğundaki ufak bir değişme, superparamanyetik /tek-domen sınırında ki durulma zamanında büyük değişiklikler meydana getirir.	14
Şekil 1.8 Dört yaygın grain (tanecik) biçimi.	15
Şekil 1.9 Manyetik alınganlığın magnetit mineralinin grain (tanecik) büyüklüğü ile değişmesi	17
Şekil 1.10 Farklı frekanslara karşılık gelen manyetik alınganlık değerleri.	18
Şekil 2.1 Zeolit kanallarının görünümü.	22
Şekil 4.1 Soma Termik Santralinin genel görünümü.	29
Şekil 4.2 Kullanılan ölçüm sisteminin görünümü.	30
Şekil 5.1 Örneklerin alınganlık değerlerinin yüksek ve alçak frekanstaki görünümleri.	32
Şekil 5.2 Frekansa bağlılık.	33

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Bazı asal Gazların deneyle ölçülen alınganlıkları,	5
Çizelge 1.2 Bazı katılar için hesaplanan alınganlık değerleri.	5
Çizelge 1.3 Frekansa bağılı alınganlık verilerinin yorumlanması. $\% \chi_{fd}$ ile yaklaşık superparamanyetik madde konsantrasyonu.	19
Çizelge 2.1 Kömürleşme derecesi sınıflaması	20
Çizelge 2.2 Kömürlerin tanıtıcı özellikleri.	20
Çizelge 2.3 Farklı zeolitler için CEC.	23
Çizelge 2.4 Si/Al oranına göre zeolitlerin sınıflandırılması	24
Çizelge 3.1 Bazı minerallerin manyetik özellikleri	26
Çizelge 4.1 Soma bölgesi kömür rezerv durumu	28
Çizelge 4.2 Bazı kalibrasyon malzemelerinin kütle ve hacim alınganlık değerleri	31
Çizelge 5.1 Ölçüm sonuçları	34

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırlama sürecinde katkılarını esirgemeyen, danışman hocam sayın Doç. Dr. Nurdoğan CAN 'a ve örneklerin ölçümünde yardımcı için çalışma arkadaşım sayın Arş. Gör. Mehmet AYVACIKLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Termik santrallerde yakıt olarak, büyük çoğunlukta kömür kullanılmaktadır. Kullanılan kömürler özelliklerine göre manyetik alandan etkilenirler. Kömürlerin yanmasıyla ortaya çıkan küllerde manyetik alandan etkilenmektedir. Kömürde yanmayan maddelerin manyetizasyonu, küllerin manyetik alandaki tepkileriyle ölçülebilir. Dolayısıyla çoğunluğu çevreye atılan küllerin kirlilik oranları bulunabilir. Kömürlerdeki kurşun, çinko, kadmiyum, karbon, kükürt, magnezyum, nikel, demir gibi maddeler, manyetik alandan etkilenmektedir. Küllerde de bu maddelerden bulunabilmektedir. Kömür ve küllerin manyetik özellikleri araştırılarak bu özellikleri incelenebilir.

Bu çalışmada Soma Termik Santrali külleri incelenerek manyetik süseptibilite değerleri çıkartılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kül, Manyetik Süseptibilite, Soma Termik Santrali

ABSTRACT

Power plants coal is widely used as fuel. The coal used is influenced from the magnetic area according to their specialities. The ashes that occur when the coal is burned are also influenced by the magnetic area. The magnetization of the material that does not burn in the coal may be measured using the reaction of the ashes in the magnetic area. Thus, the pollution rate of the ashes, most of which are spread to the environment, may be determined. The elements in the coal such as lead, zinc, cadmium, carbon, sulphur, magnezium, nickel and iron are influenced by the magnetic area. These elements may be found in the ashes, too. This may determined with a close study the magnetic features of the coal and ashes.

In this study, the ashes in the Soma Power Plant are examined and their magnetic susceptibility values are determined.

Keywords : Ash, Magnetic Susceptibility, Soma Power Plant

1. Giriş

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmenin dünya enerji talebini hızla arttırması sonucunda, kömür ve petrol gibi yakıtların kullanımı günümüze kadar önemini korumuştur. Petrol rezervlerinin dünyanın belli başlı yerlerinde ve kömüre göre sınırlı olması, zaman zaman dünya ekonomisinde politik pazarlıklara ve dolayısıyla krizlere , bu da haklı olarak dünya milletlerinin daha güvenilir enerji kaynaklarına veya kendi öz kaynaklarına yönelmelerine neden olmuştur.

Bu çerçevede ülkemizde de enerji taleplerini önemli ölçüde karşılayabilecek olan kömür, en yaygın doğal kaynak olarak ekonomik biçimde işletilebilmelidir.

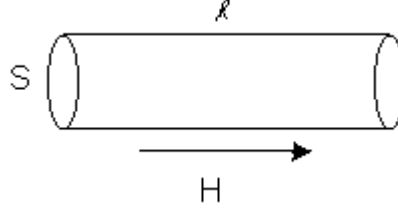
Çevremizde , enerji kaynağı olarak kullanılan maddelerden biri de kömürdür. Kömürler ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yol oynar. Ülkemizdeki çeşitli elektrik santrallerinde, elektrik üretiminde kaynak olarak kömür kullanır. Tüm ülke çapında ısınma kaynağı olarak kömür yine önde gelen kaynaklardandır. Topraktaki maddeler manyetik alandan etkilendikleri gibi kömür ve küllerde manyetik alandan etkilenmektedirler. Bu etki, maddenin içerdiği metal miktarına göre değişmektedir. Kömürler içerdikleri minerallere göre süseptibiliteden (alınanlık) etkilenirler. Aynı şekilde kömür külleri de içerdiği minerallere göre süseptibilite (alınanlık) değeri alırlar. Kömürde oksitlenmiş metallerin (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , ve TiO_2) incelenmesiyle süseptibilitesi (alınanlığı) belirlenebilir.

Toprakta, nehirlerde, kayalardaki tozun, sedimentlerin ve bitkilerin içinde bulunan mineraller manyetik alınanlığın bir göstergesidir. Topraktaki manyetik alınanlığın büyüklüğü, toprak içinde bulunan mineral ve elementlerin özellikleri ile yakından ilgilidir. Maddenin, manyetik minerallerin miktarları ve alınanlığa katkıları birbirinden farklıdır.

Çevremizdeki birçok madde, yıllardır bilim adamları tarafından incelenmekte ve manyetik alınanlık değerleri çıkartılmaktadır. Bu amaçla kullanılan Bartington Instruments MS2 Manyetik Süseptibilite (alınanlık) ölçüm sistemi, bir çok araştırma merkezlerinde kullanılmaktadır. Manyetik alınanlık cihazları malzemedeki "manyetizasyon geçirgenlik" değerini ölçer. Bu değer toprağın, kayaların, tozun ve küllerin içinde hangi minerallerin bulunduğu bir göstergesidir. Manyetik alınanlık ölçümleri benzer bilgilerin sağlandığı X-ışını saçılımı veya ağır mineral analizi gibi diğer mineralojik tekniklerden daha kolay daha ucuz ve daha kısa bir sürede gerçekleştirilir. Bu sistem, numune içindeki hangi minerallerin bulunduğunu, bunların yoğunluklarını bulmada, farklı tipteki malzemelerin sınıflandırılmasında, numunenin çevreye etkisinde kullanılabilir. Bu sistem, numune içindeki hangi minerallerin bulunduğunu, bunların yoğunluklarını bulmada, farklı tipteki malzemelerin sınıflandırılmasında, numunenin çevreye etkisinde kullanılabilir.

1.1 Manyetik Süseptibilite (Alınganlık)

Kesiti S , uzunluğu ℓ olan yumuşak bir demir çubuk, H şiddetindeki bir manyetik alana konulsun. Çubuk bir mıknatıs haline gelecek ve manyetik alan doğrultusunu alacaktır.



Şekil 1.1 Manyetik alan içinde bir demir çubuk.

N kutbunun oluştuğu noktada çubuğun S kesimine eşit bir yüzeyden daha önce geçmekte olan ϕ akısı şimdi ϕ' değerine yükselecektir; çubuğun geçirgenliği μ olmak üzere,

$$\phi' = \mu\phi = \mu HS \quad (1.1)$$

yazılabilir. Manyetik akının $\phi' - \phi$ kadar artması; çubuğun kutup şiddeti P olan bir mıknatıs haline geçmesinden ileri geldiğine göre

$$4\pi P = \phi' - \phi \quad (1.2)$$

yazılabilir.

(1.1) yerine yazılarak,

$$P = \frac{\mu - 1}{4\pi} HS \quad (1.3)$$

elde edilir. Her iki taraf ℓ ile çarpıldığında $V = \ell S$ çubuğun hacmi ve $M = P\ell$ olmak üzere, kazandığı manyetik moment,

$$M = \frac{\mu - 1}{4\pi} V \cdot H \quad (1.4)$$

şeklindedir. Mıknatıslanan maddenin cinsine bağlı olan

$$\chi = \frac{\mu - 1}{4\pi} \quad (1.5)$$

değerine *Manyetik Alınganlık (Süseptibilite)* adı verilir. *Ferromanyetik* ve *paramanyetik* cisimler için $\chi > 0$, *diyamanyetik* cisimler için ise $\chi < 0$ dır. M manyetizasyonu birim hacimdeki manyetik moment olarak tanımlanır. Birim hacimde manyetik alınganlık ise, birim sistemlerine göre

$$\chi = \frac{\mu - 1}{4\pi} \text{ (cgs); } \quad \chi = \mu - 1 \text{ (SI)} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıda belirtildiği gibi, katılar manyetik özelliklerine göre üç gruba ayrılır:

a) *Diamanyetik*

b) *Paramanyetik*

c) *Ferromanyetik, antiferromanyetik, ferrimanyetik.*

Kuzey ve güney kutbu bulunan bir çiftte manyetik çift veya "*manyetik dipol*" denir. Bir çiftkutup (dipol) için P kutup şiddeti ve kuzey kutuptan güney kutba doğru yönelmiş şiddeti P olan uzunluk vektörü ile tanımlanan manyetik çiftkutup momenti,

$$M = Pl \quad (1.7)$$

ile belirlenir. Açısal momentumu olan herhangi bir yüklü parçacığın daima bir manyetik momenti vardır. Atom teorisine göre bu manyetik moment üç kaynaktan oluşur.

Bunlar sırası ile;

- a. Elektronun kendi eksenini etrafındaki dönme (spin) hareketinden ileri gelen "*spin açısal momentum*".
- b. Atomun en dışındaki yörünge elektronlarının çekirdek etrafında dolanmalarından ileri gelen "*yörünge açısal momentum*".
- c. Uygulanan manyetik alanın uyandırdığı yörünge açısal momentumundaki değişimlerdir.

Manyetik momentin ilk iki kaynaktan oluşmasına *paramanyetizma* ve bu özelliği taşıyan maddelere de *paramanyetik maddeler* denir. Manyetik momentin üçüncü kaynaktan oluşmasına *diamanyetizma* ve bu özelliği taşıyan maddelere *diamanyetik maddeler* denir.

Atomların elektronik yapılarına bağlı olarak maddeler kalıcı manyetik momente sahip olabilir. Diamanyetizma dışındaki diğer manyetik özellikler kalıcı manyetik momentten kaynaklanır.

Materyallerin manyetik özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Farklı atomların manyetik momentlerinin birbirleriyle etkileşimi çok küçük veya sıfır ise madde paramanyetiktir. Manyetik alan uygulanmadıkça atomik manyetik momentler gelişmiş yönde yönelmiştir ve madde bir bileşke manyetik momente sahip değildir.
- Atomik momentlerin etkileşimi çok büyük ise maddeler üç gruba ayrılır;
 1. Atomik momentler birbirlerine paralel olarak dizilmişse, bu maddelere *ferromanyetik maddeler* denir. Manyetik alan uygulanmasa da bileşke manyetik momente sahiptir.
 2. Bazı maddeler birçok küçük manyetik guruplardan oluşurlar. Grupların manyetik momentleri birbirlerine eşitseler ve ikiye ikiye birbirleriyle zıt yönde yönelmiş iseler madde sıfır manyetik momente sahip olacaktır. Böyle maddelere *antiferromanyetik maddeler* denir.
 3. Grupların manyetik momentleri eşit değilse ve birbirlerine göre zıt yönde yönelmişse madde bir bileşke manyetik momente sahip olur. Bu maddelere *ferrimanyetik maddeler* denir.

1.2 Diamanyetizma

Diamanyetizma temel bir manyetik özelliktir. Diğer manyetik özelliklerle karşılaştırıldığında oldukça zayıftır ve diğer tüm manyetik davranışlar tarafından yutulma eğilimindedir. Elektronun yörüngesel hareketi ile uygulanan manyetik alanın etkileşmesi sonucu oluşur ve çok zayıf negatif mıknatıslanma ile sonuçlanır. Manyetik alan kaldırıldıktan sonra hemen yok olur. Elektronun manyetik spin hareketi diamanyetizmaya katkıda bulunmaz. Bilinen çoğu mineraller (kuartz, kalkit, su, grafit, fendispat ve soy gazlar) diamanyetizma gösterirler.

Diamanyetizma olayları atomik boyutlarda incelenmelidir. \mathbf{L} açısal momentumuna sahip bir çiftkutup (bu bir atomun elektronu da olabilir) bir \mathbf{H} manyetik alanın içersine konulursa, bu alan elektronun manyetik momentine bir kuvvet çifti ile tesir eder ve böylece açısal momentumun vektörüne alan doğrultusu etrafında presesyon hareketi yaptırır, Bu olaya *Larmor presesyonu* denir. \mathbf{L} vektörü \mathbf{H} manyetik alan etrafında

$$\omega_L = \frac{e}{2mc} H \quad (1.8)$$

açısal frekansı ile presesyon yapar. Burada ω_L Larmor frekansı olarak bilinir. Yörüngesinde dönen bir elektronun açısal frekansı yaklaşık olarak $10^{14} - 10^{15} \text{ rad s}^{-1}$ olduğuna göre Larmor frekansının bundan çok küçük olduğu görülmektedir.

(1.8) bağıntısında, elektronun yörüngesinin biçiminin uygulanan manyetik alan ile değişmediği kabul edilmiştir. Böylece \mathbf{L} nin manyetik alandan bağımsız olduğu düşünülmüştür. Halbuki yörünge düzlemi sabit değildir ve \mathbf{H} etrafında presesyon yapar. Elektron yüklü bir parçacık olduğundan bu presesyon hareketi, manyetik alana zıt yönde bileşeni olan bir manyetik moment oluşturur. (1.6) bağıntısından da faydalanarak bir tek elektronun oluşturduğu akım yörüngesinin manyetik çiftkutup momentinin,

$$\left(\mu_{uy}\right)_H = -\frac{e^2}{4\pi mc^2} H \langle r'^2 \rangle \quad (1.9)$$

olduğu bulunur.

Burada $\left(\mu_{uy}\right)_H$ \mathbf{H} manyetik alan boyunca uyandırılmış manyetik momentin izdüşümü, $\langle r'^2 \rangle$ ise yörüngesinin \mathbf{H} manyetik alana dik bir düzlem üzerindeki izdüşümünün yarıçapının ortalamasının karesidir. Bu işlem birim hacimde n atom (her biri z elektrona sahip) bulunan bir katı için yapılırsa birim hacim ve Oersted başına uyandırılmış manyetik moment miktarı olarak tanımlanan diamanyetik alınganlık,

$$\chi_{\text{dia}} = -nz \left(\frac{e^2}{6mc^2} \right) \langle r^2 \rangle \quad (1.10)$$

bulunur. Bu bağıntı *klasik Langevin bağıntısı* olarak bilinir. Burada atomlardaki yük dağılımının küresel simetriye sahip olduğu kabul edilmiştir. Buna göre,

$$\langle r^2 \rangle = \frac{3}{2} \langle r' \rangle^2 \quad (1.11)$$

dir. Burada $\langle r^2 \rangle$ elektronların çekirdeğe olan uzaklıklarının karelerinin ortalamasıdır. Bu da gösteriyor ki, diamanyetik alınganlık atomlardaki yük dağılımına bağlıdır. Dikkat edilmesi gerekli diğer bir noktada bu alınganlığın eksi olmasıdır (Özer, A., 1985; Hristov, H., 1988; Kittel, Ch., 1996).

Diamanyetik alınganlığı kolayca gözlenen maddeler, atomik enerji kabukları tamamıyla dolu atomlardır. Bunlara örnek olarak asal gazları gösterebiliriz. Bunlardan birkaçı için deneysel olarak bulunan molar alınganlık değerleri Çizelge 1.1 de ve (1.10) bağıntısı kullanılarak bazı katılar için hesaplanan yaklaşık alınganlık değerleri Çizelge 1.2 de verilmiştir (Özer, A., 1985).

Çizelge 1.1 Bazı asal gazların deneyle ölçülen alınganlıkları.

	He	Ne	Ar	Kr	Xe
$\chi_m (\times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol})$	-1.9	-7.2	-19.4	-28.0	-43.0

Çizelge 1.2 Bazı katılar için hesaplanan alınganlık değerleri.

	Li ⁺	K ⁺	Cs ⁺	I ⁺
$\chi_m (\times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol})$	-1.9	-7.2	-19.4	-28.0

Dikkat edilirse χ_m değerleri iyondaki elektron sayısı ile artmaktadır.

Diamanyetizmanın genel özellikleri:

1. Diamanyetik alınganlık daima eksidir. Çünkü (1.10) bağıntısındaki $\sum \langle r_i^2 \rangle$ daima artıdır.
2. Diamanyetizma bütün maddelerde görülür.
3. Diamanyetik alınganlık açık olarak sıcaklığa bağlı değildir. Ancak çok küçük değişmeler $\sum \langle r_i^2 \rangle$ nin sıcaklığa çok az bir şekilde bağlı olmasıyla açıklanabilir.

1.3 Paramanyetizma

Paramanyetik davranış bireysel atomlar, iyonlar veya moleküller yada sürekli temel manyetik çiftkutup momenti elde ettikleri zaman oluşur. Bu tip manyetik çiftkutuplar kendilerine manyetik alan uygulandığında bu alanın yönüne paralel olacak şekilde sıraya dizilirler ve zayıf artı mıknatıslanma eğiliminde bulunurlar. Bununla birlikte termal düzensizlikten dolayı alan bir kez hareket ettirildikten sonra paramanyetik manyetizasyonu kaybolur. Manyetik alan altında

paramanyetik maddeler diamanyetik maddelerin zıt yönünde hareket ederler. Birçok doğal mineral (demir karbonatları, manganez, alüminyum, FeCl_3 , vs.) paramanyetikdir. (Mn^{+2} , Fe^{+2} ve Fe^{+3}) iyonları tamamıyla doldurulmamış iç elektron kabukları genellikle doğal materyallerin paramanyetik davranışlarından sorumludur. Çünkü bu iyonlar serbest spin momentleri ile çiftlenmemiş elektronlara sahiptirler. Manyetik alan böyle paramanyetik bir materyale uygulandığı zaman spin momentleri uygulanan alanın yönüne paralel yönelmeye ve düzene girme eğilimindedirler. Bununla beraber içindeki manyetik enerji çok azdır. Termal çalkantı bu manyetik düzeni devamlı olarak bozma girişimindedir. Bu işlem manyetik düzen ve termal çalkantı arasında bir dengeye varır. Böyle bir denge hem uygulanan manyetik alanın, hem de mutlak sıcaklığın bir fonksiyonudur. Bir paramanyetik materyalin manyetizasyonu ferromanyetik materyalin manyetizasyonundan daha zayıftır ama paramanyetik etkiler diamanyetik etkilerden daha baskındır.

Paramanyetizmayı daha detaylı olarak inceleyecek olursak, paramanyetizmanın, kalıcı manyetik momente sahip olan maddelerin bir özelliği olduğu gözlenir. Elektronik paramanyetizmanın bulunduğu sistemler şöyle sıralanabilir.

1. Tek sayıda elektrona sahip tüm atomlar, moleküller ve yapı örgü bozuklukları. Örneğin: serbest sodyum atomları, nitrik oksit (NO) gazı, diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) gibi serbest organik radikaller; alkali halojenürlerdeki F- merkezleri.
2. İç enerji kabukları kısmen dolu serbest iyon ve atomlar. Örneğin: geçiş elementleri ($Z = 21 - 29$). 3d enerji kabuğunda eşleşmemiş elektronları olanlar.
Nadir toprak elementleri ($Z = 58 - 71$), 4f enerji kabuğunda eşleşmemiş elektronları olanlar.
Uran ötesi elementler ($Z = 90 - 103$), 5f ve 6d enerji kabuklarında eşleşmemiş elektronları olanlardır.
3. Çift sayıda elektrona sahip birkaç bileşik. Örneğin: Oksijen molekülleri .
4. Metaller. İletim elektronları paramanyetik özelliğe sahiptir.

Birim hacimde n tane atomu olan bir madde alalım. Her atomun manyetik momentleri μ olsun ve birbirleriyle etkileşmelerinin çok zayıf olduğunu kabul edelim. Klasik teori manyetik momentlerin gelişigüzel serbestçe yönlendiklerini öngörür. Madde, bir H manyetik alanı içerisine konulursa her bir atomik manyetik moment kendini H boyunca yönlendirmeye çalışır. Termik düzensizlik manyetik momentlerin bu yönelme çabalarına karşı koyar. Böyle bir sistemde, birim hacim başına manyetik moment miktarı olarak tanımlanan mıknatıslanma (manyetizasyon) M , nin termik dengedeki değeri *Langevin – Debye* teorisi ile bulunur. Polarizasyon, (polarizasyon) \bar{p} için teorisinin uygulanması P yerine μ ve E yerine H koyularak yapılırsa,

$$M = n\mu L(x) \quad (1.12)$$

şekline gelir. Burada $x = \frac{\mu H}{kT}$ ve $L(x)$ Langevin fonksiyonu

$L(x) = \coth x - 1/x$ dir ve $x \leq 1$ için $L(x) \approx \frac{x}{3}$ verir. Böylece,

$$M = \frac{n\mu^2 H}{3kT} \quad (1.13)$$

olur. Bir elektron için $\mu \cong 10^{-4}$ erg/Oe yani bir Bohr magnetonudur. Oda sıcaklığında ve normal laboratuarda elde edilebilen manyetik alan (yaklaşık 10^4 Oe) için,

$$\frac{\mu H}{kT} \approx 2 \times 10^{-3}$$

olur. Görüldüğü gibi (1.13) bağıntısı M için çok uygundur ve $\mu H/kT \ll 1$ için manyetik alınganlık,

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{n\mu^2}{3kT} = \frac{C}{T} \quad (1.14)$$

olur. Burada $C = \frac{n\mu^2}{3k}$ dir ve *Curie sabiti* olarak bilinir. (1.14) bağıntısına *Curie yasası* denir ve

bu bağıntı ile verilen alınganlığa da Langevin paramanyetik alınganlığı denir. Görüldüğü gibi sıcaklıkla ters orantılıdır. Curie yasasına uyan maddeler kalıcı manyetik momente sahip olan maddelerdir ve birincil bir yaklaşımla bu maddelere normal paramanyetik maddeler denir.

1.4 Ferromanyetizma

Ferromanyetik maddeler, dia ve paramanyetik maddelerden çok farklı özellikler taşımaktadırlar. Bu maddelerde χ çok büyük değerler almakta, başka bir deyişle bu tür bir madde manyetik alan olmasa bile, sıfırdan farklı daima kalıcı bir manyetik momente sahiptir. Ferromanyetik davranışlar yalnız kristal yapıya sahip katılara özgüdür. Curie sıcaklığına kadar ısıtılan katılarda bu özellik kaybolur ve paramanyetik özellik sergilemeye başlarlar. Bu tür maddelerde (Örn. Fe, Ni, Co) Weiss'e göre atom miktatsızların karşılıklı etkileşimlerden doğan doyma bölgeleri (Weiss bölgeleri) mevcuttur. Bu bölgelerde bir grup atom, manyetik momentleri aynı doğrultuda olacak şekilde yönelmiştir. Ferromanyetik malzemeler Fe_3O_4 esas alınarak birtakım başka katkı maddeleri ile çok ufak toz taneciklerinin sıcak presleme teknolojisiyle üretilmektedirler. Çok yaygın kullanım alanları vardır. Manyetik bantlar ve diskler bu uygulama alanlarından birkaçıdır.

1.4.1 Ferrimanyetizma ve Antiferromanyetizma

Burada inceleyeceğimiz esas doğal manyetit mineraller ferromanyet ve mükemmel olmayan antiferromanyetik olarak bilinen türlerdir. Doğal materyallerdeki ferri ve antiferromanyetik davranışlar özellikle demir ve manganez gibi elementlerin (birinci geçiş sırasındaki) tam dolmamış 3d kabuklarında elektronların spin manyetik momentinden kaynaklanır.

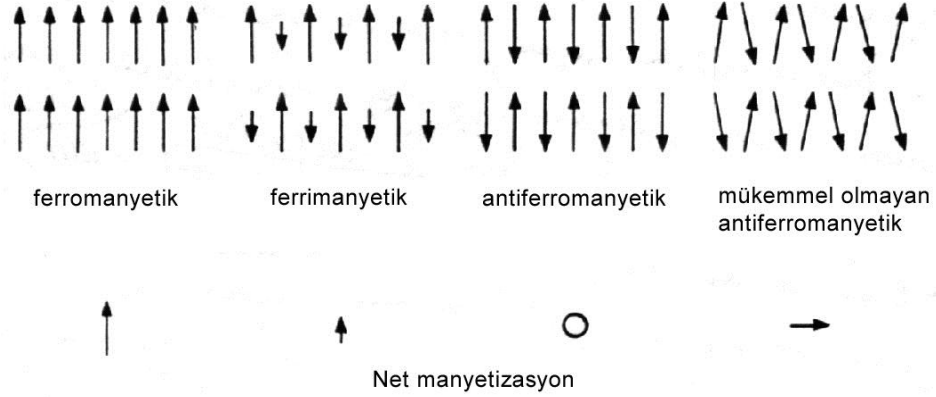
1.4.2 Ferrimanyetizma

Ferrimanyetizm dışarıya doğru Ferromanyetizmaya çok benzemektedir. Gerçekte manyetik ölçüm tekniklerini kullansak bile bu iki özelliği birbirinden ayırmak çok güçtür. Ferromanyetik materyaller, Neel veya Curie ısısı olarak adlandırılan bir kritik ısının altında kalıcı bir manyetizasyon taşırlar ve ferromanyetik maddeler gibi bu ısının üzerinde paramanyetiklerdir.

Feritlerin manyetik davranışları onların belirli kristal yapılarına bağlıdır. Feritler genellikle farklı büyüklüklerdeki anti paralel manyetik momentlere sahip iki çeşit manyetik alan ve bir spin düzeni içeren sıkı paketlenmiş FCC yapı demir oksitlerdir. Bundan dolayı bir feritin temel manyetik momentleri anti paralel bir mantıkta düzenli şekilde zorunlu kılınırlar, fakat net bir manyetizasyonun öncü olan zıt yöndekini aşan bir yönde moment toplamını işaret eder. Feritlerdeki örgü momentlerindeki dengesizlik belki de iki çeşit yerdeki farklı iyonik yoğunluğa veya manyetik yerleşimin iki çeşidi arasındaki klistografik benzerliğe uygundur. Feritler, düşük elektriksel iletkenliği ve bir çok endüstriyel uygulamalara sahiptirler. Örneğin, Mn karışımli feritler bilgisayar hafızalarında kullanılırlar. Manyetit doğal bir feritirin örneğidir.

1.4.3 Antiferromanyetizma

Antiferromanyetik materyallerde birbirine antiparalel olan iki manyetik alt örgü vardır fakat onların manyetik momentleri aynıdır ve böylece materyal madde sıfır büyüklüğünde doğal manyetizasyon gösterir. Antiferromanyetik maddelerde düzen Neel ısısında termal çalkantı tarafından yıkılır. Bununla beraber temel antiferromanyetik düzenlemelerin değişimi net doğal bir manyetizasyonu götürebilir. Bu şekildeki iki mükemmel olamayan bu gibi antiferromanyetik madde ferromanyetik madde gibi davranır ki bu da safsızlık veya örgü hataları gibi heterojenliklerden ve gerçek antiferromanyetik antiparalellizimin biraz değişiminden ortaya çıkan spin yönelmesinden meydana gelebilir. Şekil 1.2 de spin yönelmeleri örneklenmiştir. Spin yöneliminden kaynaklanan verilen antiferromanyetik yapıya doğal kristallerden hematit minerali verilebilir.

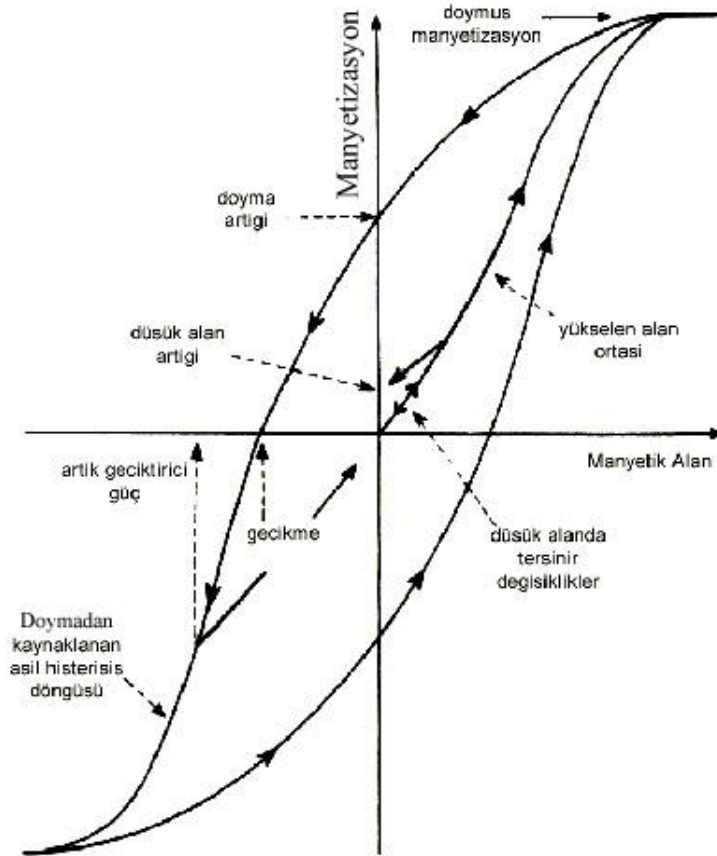


Şekil 1.2 Ferromanyetik, ferrimanyetik, antiferromanyetik ve mükemmel olmayan antiferromanyetik manyetik momentlerin dizilimi.

1.5 Histerisis Eğrisi

Bir demir çubuğun manyetik durumu hem çubuğun geçirdiği evrelere hem de ona uygulanan manyetik alana bağlıdır. Bir demir çubuğa, küçük bir alan uygulandığında çubuğun manyetizasyonunun arttığı ve bu alanın kaldırıldığında manyetizasyonun sıfır olduğu bulunmuştur. Bununla beraber belirli bir kritik alanın üzerinde daha güçlü bir alan uygulandığında oluşan manyetik davranışta önemli değişiklikler bulunmuştur. Şimdi manyetizasyon çok daha düşük alanların tam doğrultusunda daha fazla tersine çevrilebilir değildir. Bunun yerine alan hareketinde *histerisis* olarak adlandırılan bir olay gelişir. Manyetik alanın hareketi ile birlikte manyetizasyondaki değişiklikler alanın artışı takip eden sürede oluşan biçimden farklıdır. Bu şekilde manyetizasyon değişiklikleri alanın arkasında geri kalır. Bunlara ilaveten alanın tam hareketinde örneğin sıfır alanda demir artık daha fazla mıknatıslanmamıştır fakat kalıcı manyetizasyona sahip olduğu bulunmuştur. Ara alanlarda artan manyetik alanla beraber manyetizasyonda keskin bir şekilde artar ve alanın yüksek kalması sonucu manyetizasyon eğrisi düz bir hal alır. Tamamen bir döngü elde edebilmek için bir yöndeki alanın ters yönündeki en uç noktaya manyetik alanın uygulanmasıyla döngü oluşur ve tekrar geri döner. Histerisis döngüsünün çok iyi anlaşılmasını sağlayacak bu özellikler arasındaki iç ilişkiler ve histerisis parametreleri, materyalleri karakterize etmek için kullanılabilir. Histerisis döngüsünün en önemli parametrelerinden beş tanesi, Manyetizasyonun doymu M_s , büyük manyetik bir alanın varlığında ($H > 1T$) mıknatıslanmaya sebep olur. Bu alanın kaldırılmasıyla manyetizasyon tamamıyla sıfıra inmez. Kalan manyetizasyon, doymuş kalıcı manyetizasyon olarak adlandırılır (M_{RS}). İlk kez kullanılan manyetik alana eşit fakat ters doğrultudaki manyetik alan uygulanmasıyla, oluşan manyetizasyon sıfıra düşebilir. Manyetizasyonu gerçekte sıfır yapan ters alan geciktirici kuvvetin (coercivity) 'nin doymu olarak adlandırılır. Bir alanın varlığında yapılan ölçümlerde onun arkası gelen geri çekilmelerden

sonra kalıcı manyetizasyon bırakmamak için çok daha büyük ters alanlara ihtiyaç vardır. Bu ters alan geciktirici kuvvetin kalıntısı olarak adlandırılır $(B_0)_{CR}$. Belli bir maddenin genel histerisis eğrisi Şekil 1.3 te gösterilmiştir. Bu şekil, ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının uygulanan alanın şiddetine olduğu kadar maddenin geçmişteki durumuna bağlı olduğunu gösterir. Ferromanyetik bir madde için “belleğe sahiptir” denir, çünkü dış alan ortadan kaldırıldığında madde mıknatıslanmış olarak kalır. Şekil 1.3 ün büyüklüğü, ferromanyetik maddenin özelliklerine ve uygulanan maksimum alanın şiddetine bağlıdır. Şekil 1.3 ün orijinindeki birincil manyetizasyon eğrisinin gradyenti alınganlığı verir. Şekil 1.3 ün, mıknatıslanma eğrisinin içinde kalan alan, maddeyi histerisis döngüsünden geçirmek için gereken işi gösterir. Mıknatıslanma süresince maddenin kazandığı enerji, dış alanın kaynağından ileri gelir.

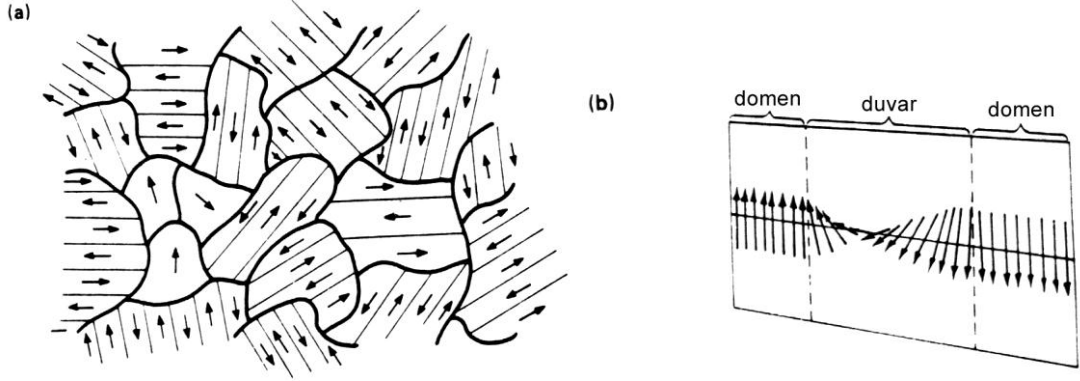


Şekil 1.3 Manyetik histerisis döngüsü.

1.6 Domen ve Domen Duvarları

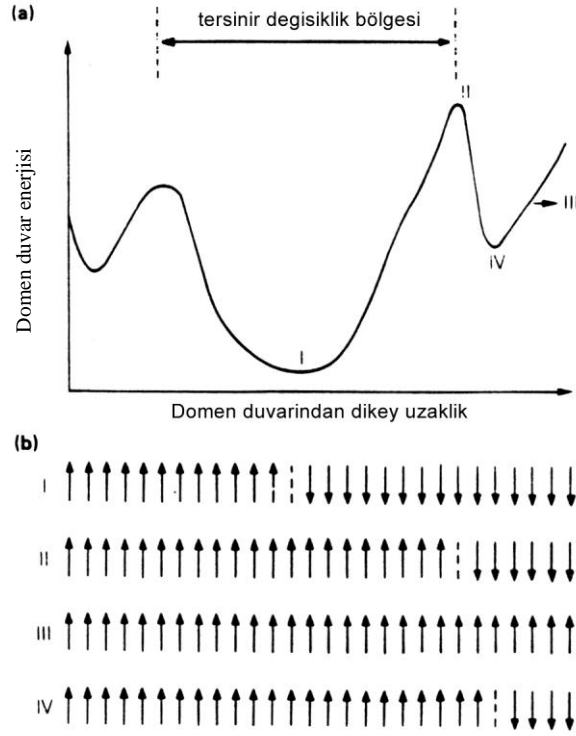
Ferromanyetiklerin histerisis özellikleri manyetik domenlerin düzenlenmeleri ile bağlantılıdır. Sonuç olarak manyetik domenler doğal manyetik materyallerin manyetik

özelliklerinin kontrolünde önemli bir rol oynar. Manyetik domen fikri 1907'de Weiss tarafından önerilmiştir. Bu fikir, bir demanyetizasyon durumunda doğal manyetizasyonla bir materyalin nasıl var olabileceğini açıklamak için kullanılır. Her biri bir doğrultuda doğal olarak manyetize edilmiş bölgeler veya birçok domene materyalin bölünebileceğini ve bu domenlerin farklı yönlerde manyetize edilebileceğini önermektedir (Şekil 1.4a da görüldüğü gibi). Böylece domen manyetizasyonunun toplamı sıfır olacaktır. Daha sonra 1930'larda Bloch manyetik domenlerin sınırlı kalınlıktaki bölgelerle ayrılabilceğini ileri sürdü. Şekil 1.4b de sistematik olarak görülebileceği gibi kısıtlı sınır bölgeleri domen yada bölge duvarı olarak bilinir.

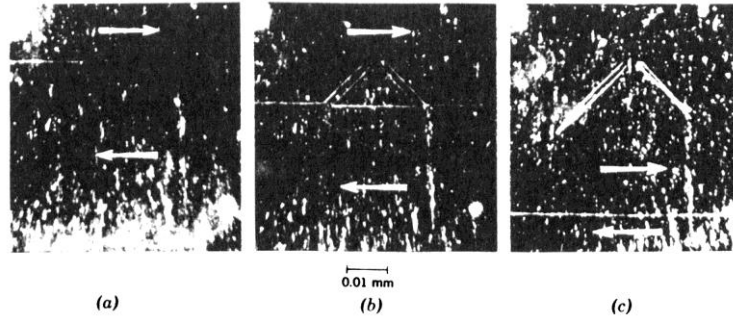


Şekil 1.4 a) Polikristal örnekte domen düzeni. **b)** Domen duvarında spinlerin 180° yavaş yavaş dönmeleri.

Manyetik domenlerin oluşmasının nedeni düşük toplam enerji durumu üretmeleridir. Domenler bunu farklı, birbiriyle rekabet eden enerjiler arasındaki dengeyi oluşturarak bu durumu başarabilirler. Aşağı yukarı bir mikrometre ölçüsündeki domenler tarafından en başarılı denge sağlanabilir. Domen duvarının kalınlığı zıt etkilerin arasındaki bir uyumdur. Bu durumda enerji dengesi bazılarının kalınlığı 10^{-7} den 10^{-8} metreye aşağı yukarı 100 atomluk içinde manyetik spinlerin yönleri devamlı bir domenden yakından domene değişen bir bölgeye götürür. Şekil 1.5 te, domen duvar enerji durumları şekil 1.6 da ise, domen duvarının hareketi görülmektedir.



Şekil 1.5 Konumun fonksiyonu olarak domen duvarı enerjisi. (a) Domen duvarı enerjisi, kristal hataları ve mükemmel olamayan yapı ile duvarın birbirini etkilemesine bağlıdır. (b) Duvarın dört pozisyonu için spin düzenlerinin şematik diyagramı.



Şekil 1.6 Dış manyetik alan uygulandığında domen duvarının hareketi.

1.7 Süperparamanyetizma

Ferro ve ferrimanyetik tanecikler, aşağı yukarı $0,001 - 0,01 \mu\text{m}$ çaplı, aşırı derecede küçük oldukları zaman onların manyetik enerjileri gibi olan aynı büyüklüğün aynı düzeninde enerjilere sahip olan termal titreşimlere sahiptirler. Enerjilerin bu eşitliğinin bir sonucu bu çok

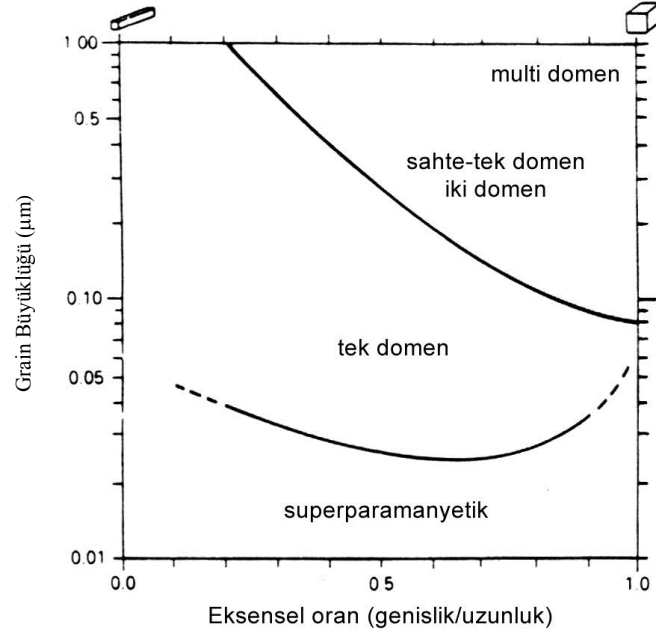
ince (ultrafine) tanecik (grain) manyetik materyaller sabit artık manyetizasyona sahip değildir ve onların manyetizasyonunda devamlı olarak termal yeniden yönelmelere uğrarlar ve histerisileri göstermez. Bununla beraber uygulanan alanın varlığında görülebilir bir manyetizasyon örneğindeki gibi onlar ortalama bir manyetik sıraya sahiptirler.

Bu ultrafine taneciklerin davranış tipleri superparamanyetik olarak adlandırılır. Paramanyetik davranışa benzer fakat daha güçlüdür. İlginçtir ki çokludomen taneciklerin ve düzgün tek-domenlerle karşılaştırılabilir mineralojik eşit miktardan daha fazlası süperparamanyetik taneciklerin alınganlıklarına dönmesi ilginçtir (Bean ve Livingstone). Bu, doğal bir örnekteki süperparamanyetik taneciklerin küçük oranının varlığında örneğin alınganlığı üzerinde önemli etkisi olduğu anlamına gelir. Süperparamanyetik davranış güçlü bir şekilde ısıya bağlıdır. Gerçekte oda sıcaklığında süperparamanyetik şekilde davranan tanecikler uygun şekilde soğutulduğunda onlar kararlı tek domen taneciğinin bilinen ferro veya ferrimanyetik özelliklerini gösterirler.

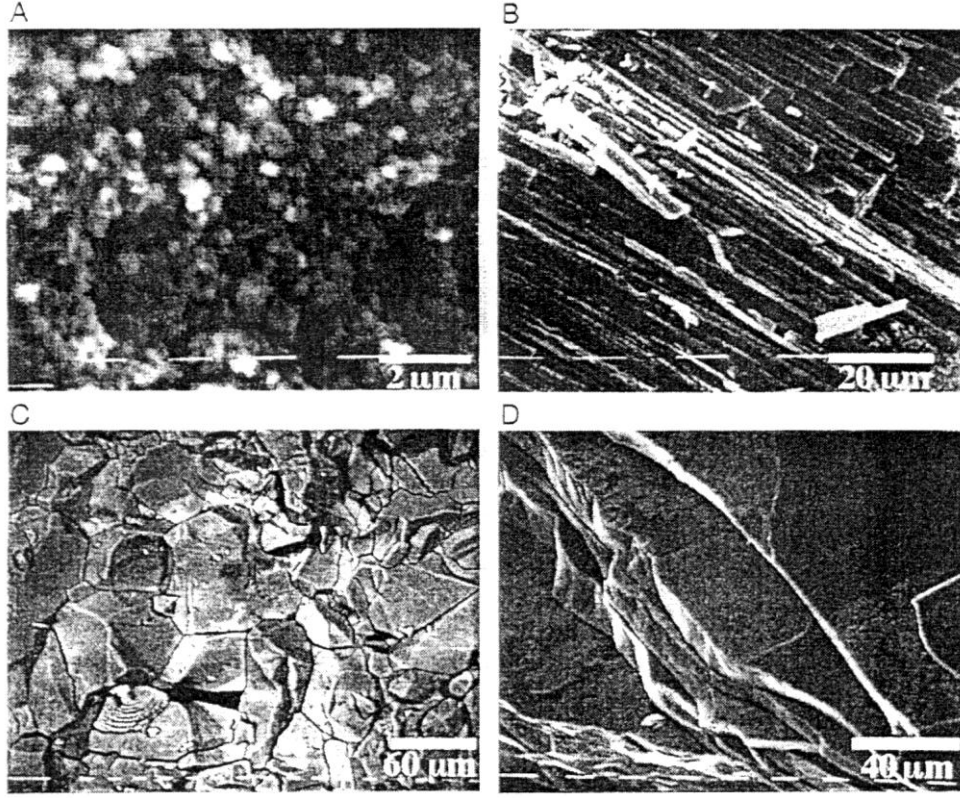
1.8 Kritik Tanecik (Grain) Boyutu

İki önemli tanecik sınırı vardır.

Son derece ince süperparamanyetik tanecikler ve küçük kararlı tek domen tanecikler arasındaki ayırım ve çoklu domen ve kararlı domenler arasındaki ayırımdır. Şekil 1.7 de tanecik şeklinde magnetit için bu kritik tanecik şekillerine bağlılığını gösterir. Süperparamanyetik tek domen sınırı, normal sıcaklıkta yaklaşık 0,03 μm çaplı magnetit tanecikte görülür. Multidomen ve tek domen davranışı arasındaki kesin sınırı kestirmek güçtür. Bir muhtemel sınır ve onun tanecik şekliyle varyasyonları Şekil 1.7 de çizilmiştir. Teorik hesaplamalar çapı 1 μm yi geçen magnetit taneciklerinin kesinlikle çoklu domen olacaklarını göstermiştir. Küresel tanecikler uzunlamasına taneciklerden daha küçük boylarda çoklu domen olurlar. Hematit, magnetite göre daha geniş çoklu domen - tek domen geçişine sahip olduğu bulunmuştur. Esasen, çünkü hematit daha düşük manyetizasyon doyumludur. Bu geniş kritik tanecik boyutu 0,1 cm üzerindedir. Bu hematit tanecikleri doğada büyük çoğunlukla tek domen olarak bulunur .



Şekil 1.7 Eksensel oran ve tanecik uzunluğu olarak magnetit taneciğinin multidomen, kararlı tek-domen ve superparamanyetik bölgeleri. Tanecik uzunluğundaki küçük bir değişme, superparamanyetik/tek-domen sınırında ki durulma zamanında büyük değişiklikler meydana getirir.



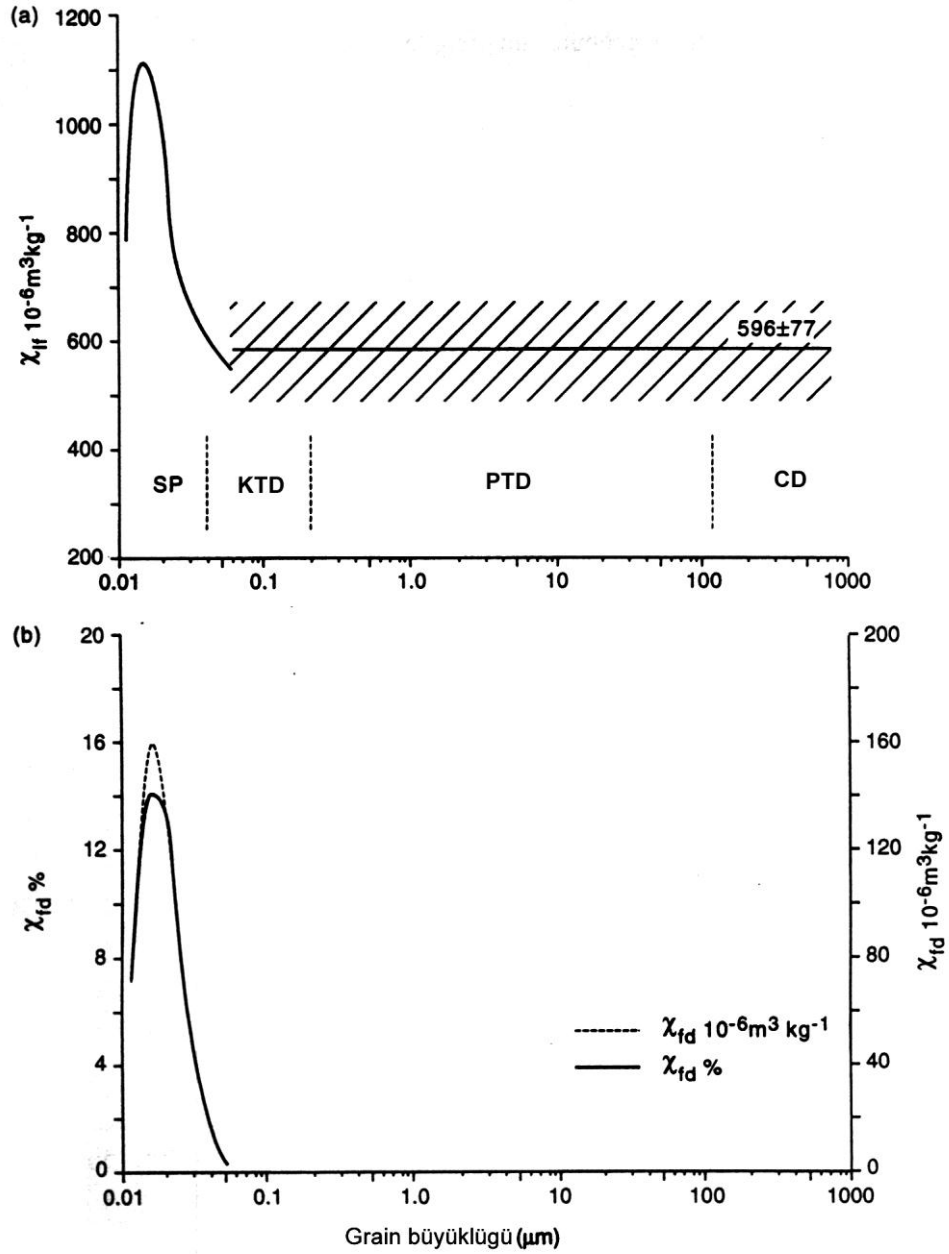
Şekil 1.8 Dört yaygın tanecik (grain) biçimi: (a) Son derece ince tanecik. (b) Kalem tipi tanecik. (c) eşit boyutlu kalın tanecik. (d) Düzlemsel tanecik.

1.8.1 Tanecik Etkileşmeleri

Eğer manyetik domenler birbirine çok yakın sıralanıyorsa daha sonra aralarından manyetostatik etkileşim ortaya çıkar ve aşağı yukarı alanın manyetik davranışını değiştirir. Böylece manyetostatik tanecik etkileşimleri daha az şişkin geciktirici olma eğilimindedir. Gerçekte geciktirici kuvvetin artan paketleme ile düzenli bir şekilde azaldığı bulunmuştur. Burada paketlenme manyetik parçacıklar tarafından işgal edilen hacmin parçasıdır. Manyetik grupların manyetizasyon ve demanyetizasyon eğrilerinde etkileşimler tarafından değiştirilir. Tanecik etkileşimlerinde manyetizasyon daha zor yapılma eğiliminde, tam tersine de manyetizasyon ise daha kolay olma eğilimindedir. Tanecik etkileşimlerinin etkisinin diğer bir örneğinde, manyetostatik enerjideki değişimler yüzünden tek domen veya çoklu domen sınırlara kritik tanecik büyüklüğünün etkileşimler tarafından artırılmasıdır. Sonuç olarak manyetik toplamın alınganlığı manyetik etkileşimler tarafından düşürülür. Özellikle süperparamanyetik tanecikleri içeren etkileşimler alınganlığı düşürmektedir.

1.8.2 Tanecik Boyutu ile Frekansa Bağlı Alınganlık

Toprak içindeki manyetik özelliklerin büyük bir kısmı ferrimanyetik maddeler tarafından oluşturulur. Ferrimanyetik partiküllerin manyetizasyon açısından farklı bölgelerden oluştuğunu ve bu bölgelere *domen* adı verildiğini ilk bölümde incelemiştik. Yaklaşık 100 μm çaplı bir magnetit taneciğini *çokludomen* (CD) olarak adlandırılır. Çünkü enerjisi birden fazla domen içerme eğilimindedir. 0,2 μm den küçük tanecikler ise içlerinde sadece tek bir domen bulundurmaya izin verdiklerinden dolayı tek domen (TD) olarak adlandırılırlar. 0,2 – 110 μm arasında birden fazla domen bulundurmaya elverişli ancak tek domenin manyetik özelliklerini gösteren domenlere *pseudo – tek domen* (PTD) olarak adlandırılır. Şekil 1.9 da alınganlıktaki önemli değişimlerin kristal büyüklüğü ve domen yapısını göstermektedir. Büyüklükleri 0,03 μm den küçük tanecikler süperparamanyetik (SP) olarak adlandırılmaktadır ve alınganlık değerleri $1000 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ değerini geçer. Süperparamanyetik tanecikler dışında tanecik çapları 0,09-6000 μm arasında çeşitlilik gösteren çokludomen, psuedo - tek domen ve kararlı tek domen (KTD) taneciklerin süseptibiliteleri yaklaşık $3.1 \pm 0,4 \text{ SI}$, kütle süseptibilite eşdeğeri de $596 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ($\pm 77 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) civarındadır. SP taneciklerin farklı frekanslar altında alınan manyetik alınganlık ölçümlerine verdiği cevap bize tanecik boyutu hakkında bir bilgi verir (Dearing J. 1999).



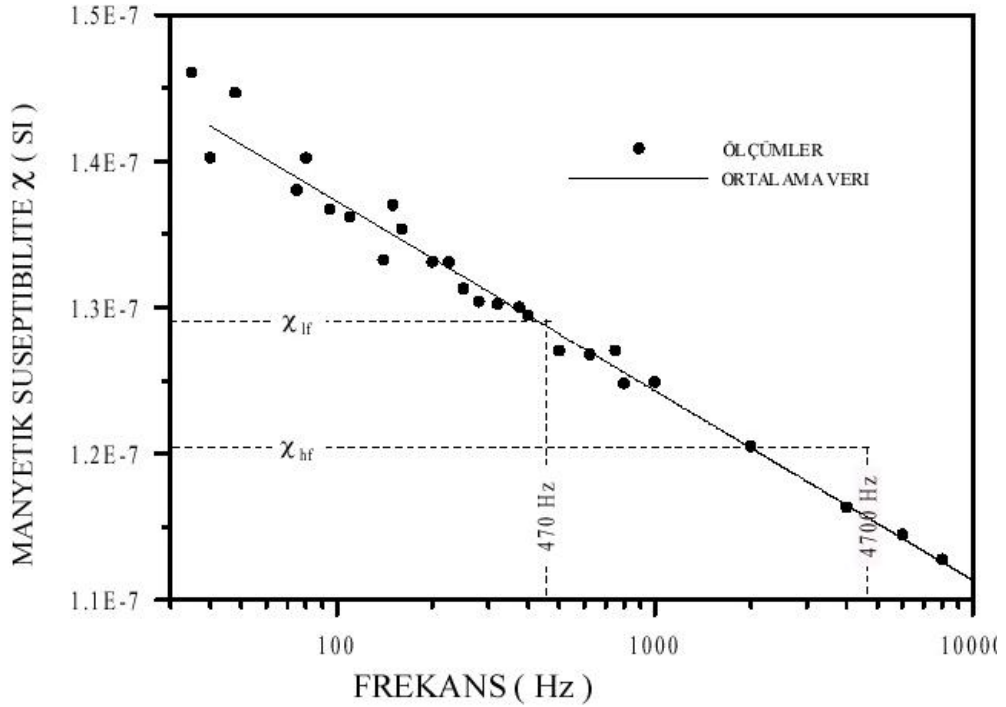
Şekil 1.9 Manyetik alınganlığın magnetit mineralinin tanecik büyüklüğü ile değişmesi, **a)** Düşük frekans altında gösterilen çizgili bölge 0,09-6000 μm lik tanecikler için Heider 1996 tarafından gerçekleştirilmiştir. **b)** % frekans değişimi ile tanecik büyüklüğü arasındaki ilişkiyi gösteren grafik. (Mayer 1988).

1.9 Frekansa Bağlı Alınganlık

$\sim 0,03 \mu\text{m}$ den küçük süperparamanyetik kristallerin manyetik davranışı zamanla hızlı bir değişme göstermektedir. Bu kristaller manyetik alana yerleştirildiklerinde ve bu alandan

çekildiklerinde çok kısa, 1/10000s gibi bir sürede kazandıkları manyetizasyonu kaybederler. Çünkü bu maddelerdeki termal enerji, manyetik alanın sebep olduğu enerjiyi yenmeye yetecek kadar şiddetlidir.

Frekansa bağlı manyetik alınganlık ölçümü örneği iki farklı frekansta ölçerek bu olaydan yararlanır. Düşük frekans (0,465 kHz) süseptibilite ölçümleri (standart süseptibilite ölçümü χ_{lf}) kararlı tek domen kristaller ile süperparamanyetik kristallerin tamamen süseptibiliteye katkıda bulunmalarına izin verirken yüksek frekansta bu katkı olmaz. Yüksek frekans, süperparamanyetik ve kararlı tek domen tanecikleri kristal boyundan daha küçük domen sınırlarına kaydırıcı etki yapar. Böylece kararlı paramanyetik domen gibi davranan süperparamanyetik tanecikler süseptibilite değerinin düşmesine sebep olur (Şekil 1.10). İki farklı frekansta alınan ölçümlerin arasındaki fark, bize süperparamanyetik minerallerin bulunduğunu ve miktarını göstermektedir. $\% \chi_{fd}$ (yüzde frekans değişimi – bağılılığı) karşı χ_{lf} yada χ_{fd} grafiği; tanecik büyüklüğü ve domen durumu, manyetik özellikleri sınıflandırmaya minerallerin kaynağını bulmaya yardımcı olur.



Şekil 1.10 Farklı frekanslara karşılık gelen manyetik alınganlık değerleri görülmektedir. Farklı frekanslarda alınan değerlere göre bir doğru çizilmiş ve alınganlığa etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 te frekansa bağlı verilerin gösterimi verilmiştir.

Çizelge 1.3 Frekansa bağlı alınganlık verilerinin yorumlanması. $\% \chi_{fd}$ ile yaklaşık superparamanyetik madde konsantrasyonu.

Düşük $\% \chi_{fd}$	<2.0	Hemen hemen superparamanyetik tanecik yok (<%10)
Orta $\% \chi_{fd}$	2.0 – 10.0	Süperparamanyetik tanecikler ile süperparamanyetik olmayan taneciklerin bir karışımı, yada 0,005 μm den küçük aşırı ince tanecikler
Yüksek $\% \chi_{fd}$	10.0 – 14.0	Hemen hemen tümü süperparamanyetik tanecik (>%75)
Oldukça Yüksek $\% \chi_{fd}$	>14.0	Nadiren görülen bir değer, hatalı ölçüm, anizotropy, zayıf örnek yada kirlenmiş örnek

2. Kömür Küllerine Giriş

Yeterli miktarda yanıcı organik bileşikler ihtiva eden doğal halde veya bazı değişimlerden sonra yakacak olarak kullanılabilen kayalara mineral yakıtlar adı verilir. Mineral yakıtların ortak özellikleri organik kökenli olmaları, belirli oranlarda C, H, O ve N içermeleridir. Bu yakıtlar farklı jeolojik devirlerde bitkisel ve hayvansal canlı organizmaların ölümüyle oluşmuşlardır. Bozunan canlı organizma bitkisel ise linyit veya taş kömürü, hayvansal ise genellikle petrol oluşmuştur. Bazı kömürler hem bitkisel hem de hayvansal bozunma ürünleri içerirler. Oluşum yaşına ve jeolojik etmenlere göre oksijen, hidrojen ve karbon içeriği bakımından farklılıklar gösteren kömürler oluşur. Kömürleşmede zamanın dışında biyolojik faktörler, hidroliz, oksidasyon, yer kabuğu katmanlarının basıncı ve sıcaklık önemli rol oynar. Kömürleşme derecesine göre türleri şöyledir:

- Antrasit, % 87-94 karbon içerir ve yandığında 9000-9500 kcal/kg ısı verir,
- Taş kömürü, % 75-87 karbon içerir ve yandığında 7000-9000 kcal/kg ısı verir,
- Linyit, % 55-75 karbon içermektedir ve yandığında 4000-7000 kcal/kg ısı verir (TSE, 1971).

Kömürleşme Derecesi Sınıflaması Çizelge 2.1 de verilmiştir. Bu sınıflandırmada karbon içeriği temel değişkendir. Yüksek ranklı (kömürleşme derecesi yüksek) kömürlerde uçucu madde içeriği, düşük ranklı (kömürleşme derecesi düşük) kömürler de ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.2 de ise kömürlerin tanıtıcı özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Kömürleşme derecesi sınıflamasız

RANK (Kömürleşme Derecesi)	UÇUCU	KARBON	KALORİFİK	
	MADDE İÇERİĞİ % Ağırlık, Islak - Külsüz	İÇERİĞİ % Ağırlık, Islak - Külsüz	DEĞER Btu/Lb, Mineral maddesiz	NEM İÇERİĞİ % Ağırlık
1. LİNYİT	69 - 44	76 - 62	8300 - 6300	52 - 30
2. ALT BİTÜMLÜ	52 - 40	80 - 71	11500 - 8300	30 - 12
3. BİTÜMLÜ				
a) Yüksek Uçuculu-B	50 - 29	86 - 76	13000 - 10500	15 - 2
b) Yüksek Uçuculu-C				
c) Yüksek Uçuculu-A	49 - 31	88 - 78	14000	5 - 1
d) Orta Uçuculu	31 - 22	91 - 86	14000	5 - 1
e) Düşük Uçuculu	22 - 14	91 - 86	14000	5 - 1
4. ANTRASİT	14 - 2	99 - 91	14000	5 - 1

(Tsai, S.C., Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization, Elsevier, New York, 1982)

Çizelge 2.2 Kömürlerin tanıtıcı özellikleri.

LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl değer; 4610 KCal/Kg'ın altında	Isıl değer; 4610-6390 KCal/Kg arasında	Isıl değer; 5390-7700 KCal/Kg arasında	Isıl değer; 7000 KCal/Kg'ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

(Mervit, Roy D., Coal Exploration, Mine Planning and Development)

2.1 Kömür Külleri

Katı mineral bir yakıt olan kömürün yapısında çeşitli minerallerden oluşan inorganik maddeler yer alır. Kömür külü kömürün yanması sonucu oluşan oksitlenmiş yanmayan artıktır ve mineral madde içeriği ile yakından ilişkilidir.

Kömür külleri, uçucu küller (baca külleri) ve ezilmiş yakıt külleri olarak çevremizde bulunmaktadır. Bunlar genelde termik santrallerde kullanılan kömürlerden ve çevremizde kullanılan yakıtlardan ortaya çıkan küllerdir. Ortaya çıkan küller, çevremiz için ciddi tehlikelere neden olmakla beraber, bazı işlemlerden geçirilerek faydalı ürünlerde elde etmekte de kullanılmaktadır.

Kazanlarda yanan kül parçacıkları birkaç 10 ile birkaç 100 mikrometre büyüklükte dirler. Gri ve tonları renktedirler ve kül bileşimini oluşturan birinci madde oksittir (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , ve TiO_2) ve bunun dışında şu maddelerde içermektedir ; Ba, Cu, Sr, Ni, Cr, Zn, Cd, Mo, V, Hg, Se, Pb, As ...

2.2 Küllerin Sınıflandırılması

Küllerini aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz:

F sınıfı: Antrasit kömürü ya da adi maden kömüründen meydana gelen uçucu küllerdir. Bunlar genelde üç oksitten oluşurlar. Si_2O_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 . Bu maddeler küllerde %70 den daha fazla bir miktarda yer almaktadır. CaO ise %5 den daha az olmaktadır. Bu küller yüksek miktarda yanmamış karbon içerirler ve reaktif değillerdir.

C sınıfı: bu küller linyit ya da daha alt adi maden kömürlerinden meydana gelmektedir. Bunların % 20 sinden fazlası CaO ve yüksek miktarda kalsiyum içerir. Kırmızı (volkanik) toprak özelliği ve yapıştırıcı özelliği gösterirler. Düşük miktarda yanmamış karbon içerirler ve yüksek derecede reaktifdirler. (Sing and Kolay 2001)

2.3 Küllerin Özellikleri

Hindistan'da yapılan araştırmaya göre (Sing and Kolay 2001), yılda yaklaşık 80 milyon ton kül açığa çıkmaktadır. Bu rakamın önümüzdeki yıllarda 100 milyon tonu geçmesi beklenmektedir. Açığa çıkan bu kadar kül, ya yok edilmeli yada işlenmeli ve kullanılmalıdır. Bununla beraber, küllerin nicelikleri ve özellikleri, kullanılan kömürün niceliklerine göre değişir. Kömürün ezik olması, yanma teknikleri, kazan üniteleri sistemleri, toplama sistemleri gibi durumların değişikliğine göre özellikler etkilenecektir. Küllerin verimli kullanılabilmesi onların

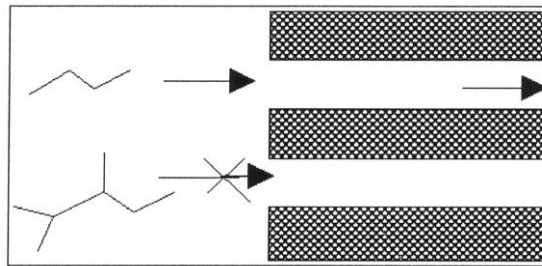
fiziksel, kimyasal ve minerolojik özelliklerinin bilinmesiyle gerçekleşir. Oluşan bu küllerin sadece %5-10 kadarı işlenebilmektedir.

Kömür külleri çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Asfalt yapımı, çimento yapımı, mayın boya malzemesi, kirli su arıtma, tarım toprağı işleme bunlardan bazılarıdır. Küllerin çevreye zararını minimuma indirmek için, bunların bir şekilde işlenip kullanılması gerekmektedir. Küllerin yukarıdaki durumlarda kullanılabilmesi için küle bir takım özelliklerin kazandırılması gerekmektedir. Küllerin, içeriklerine göre farklı şekillerde işlenmesi, farklı alanlarda kullanımını sağlamaktadır. Bu bağlamda, bazı araştırmacılar çeşitli çalışmalar ve kritik değerlendirmeler yapmışlar, yaptıkları çalışmaların etkisiyle küllerin işleme, toplama, yoketme, geri dönüştürme şekilleri için çeşitli metotlar ortaya koymuşlardır. Bu metotlardan birisi de su ile karıştırmadır. Bu uygulamada, göl veya gölcüklere bırakılan küllerin fiziksel, kimyasal, minerolojik özelliklerinde büyük değişim olmaktadır. Bu yöntemde, kül, su ve alkaliler ile karıştırdığında tepkime vermekte (Na_2O K_2O), başlıca kül içerikleri tepkimeye uğramaktadır (SiO_2 , Al_2O_3). Tepkimeye uğrayan küller zeolit halini alırlar. Bu zeolitler, yapıları değiştirilebilir durumdadırlar ve su ile karıştırılmış olan hidrat alüminyum silikat yapıdadırlar. Kül zeolitizasyonu olan bu durumlar, fiziksel, kimyasal ve minerolojik özelliklerinin değişimini gözlemlemede güvenilir bir durumdadırlar. Bu özellikler katyon değişim kapasitesi (CEC) olarak verilir.

2.3.1 Kül Zeolitasyonu

Küller su ile karıştırıldıklarında, sudaki alkalilerle bir etkileşmeye maruz kalırlar (Na_2O ve K_2O). Dolayısıyla başlıca kül içerikleri tepkimeye uğrarlar (SiO_2 Al_2O_3). Bu durumda küllerde zeolitlenme meydana gelir. Kül zeolitasyonu olan bu durum, küllerin fiziksel, kimyasal özelliklerini değiştirmektedir.

Zeolitler doğada varolan yada sentetik yolla oluşmuş minerallerdir. Doğal zeolitler deniz ve göl diplerinde oluşan alkali suların ağır reaksiyona girmesi şeklinde biçimlenmektedir. Genelde zeolitler, alkali (1A) yada toprak alkali metal grubundan, hidratlanmış alüminyum silikat şeklindedirler (sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum da içerebilmektedir). Bunlar tek biçimli yarıçap gözenekli, düzenli iç boşluklu kararlı ve birbirinden farklı yapı ve biçimdedirler. Zeolit kanalları (boşlukları) Şekil 2.1 de görünmektedir.



Şekil 2.1 Zeolit kanallarının görünümü.

Bunlar mikroskobik büyüklükte ve moleküler boyuta sahiptirler. Bunlara moleküler elekler denir. Bu kanalların boyu ve şekilleri adsorblama yöntemleri için , metallerin özelliklerinde olağanüstü bir etkileri vardır ve bu özellik diğer ayırma yöntemlerine yol gösterir. Boşlukların ana etken maddesi iyonlar, su yada diğer moleküllerdir. Bunlar yeteri kadar serbest hareket edebilen iyon değişimi ve tersinir dehidrasyona (kurutma) sahiptirler (100C nin altında serbest hareket edebilir, 250 C de su kaybı olur, oda sıcaklığında tersinir adsorblanma olur) . Bu olay kimyasal birleşme ve belirli zeolit kristal yapısına bağlıdır.

Genelde zeolit kimyasal formu şu şekildedir ;



Burada, M, tek düze (aynı zincir yapı) iyonlar (Na, K, Li gibi) ,D, iki düzeyli iyonlar (Mg, Ca, Sr, Ba gibi) ve m, uygun su molekülü numarası ($n/2 < m < n$) dir.

2.3.2 Zeolitlerin özellikleri

Zeolitler alüminyum silikat kristaldirler, bunlar tetrahedral yapıda olup bütün boşluklar, iyonlar ve su molekülleri ile doludur. Genelde zeolit yoğunluğu 2,0-2,3 g/cm³ dolaylarındadır. Bununla birlikte baryum, zeolitçe zengindir ve yoğunluğu 2,5-2,8 g/cm³ arasındadır. CEC (katyon değişim kapasitesi), farklı endüstriyel alanlar için sınıflandırmada kullanılabilir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Farklı zeolitler için CEC

Zeolit	CEC (mequiv/100g)
Natrolite	530
Analcime	450
Levynite,Chabazite,Gmelinite	400
Edingtonite,Faujasite	390
Harmotome	
Heulandite	330
Stilbite	320
Mordenite	230

2.3.3 Zeolitlerin sınıflandırılması

Barrer R.M (Sythesis of zeolits, 1984) zeolitleri on sınıfta gruplandırmıştır (Analcite, Chabazite, Clathrate, Faujssite, Heulandite, Lanmantite, Mordenite, Natrolite, Pentasil, Philipsite). Bu gruplanma molekül eleme kabiliyetlerine ve ortak yapı birimi varlıklarına göre yapılmıştır. başka bir sınıflandırma yolu ise Si/Al oranına göre sınıflandırmadır. Çizelge 3.4 te farklı Si/Al oranlarına göre, zeolitlerin fiziksel özellikleri gösterilmektedir (Sing and Kolay 2001)

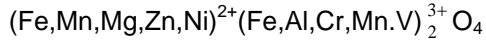
Çizelge 2.4 Si/Al oranına göre zeolitlerin sınıflandırılması

Si/Al Oranı artışı Azalması	Si/Al Oranı
Daha iyi acit direnci	-
Daha iyi termal denge	-
Daha iyi hidrofobik	Daha iyi hidrofilik
Kutupsal absorpta daha az benzerlik	-

3. Temel Manyetik Mineraller

Magnetite :

Kimyasal Formülü $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ tür. Değişik olarak,



formülleriyle de ifade edilebilir. Siyah renklidir. Maden cevherlerinde de rengi siyahtır. Kristaller genellikle iyi biçimli octahedronlardır. daha az yaygın olarak dodecahedron biçiminde gözükür, nadiren kübik kristaller oluşur. Manyetik alana karşı çok duyarlıdır. Yani "ferromanyetik".

Çeşitleri ;

- Lodestone (Mıknatıs Taşı) ; Magnetite in bir türüdür.
- Titano-magnetite ; Titanyumca zengin magnetite.
- Chrome-magnetite ; Kromca zengin magnetite

Lodestone magnetitite türü yalnızca birkaç bölgede bulunmaktadır ve mıknatıs gibi davranan tek doğal mineraldir. Manyetizasyonunun zayıf olmasına rağmen büyük çivileri çekecek kadar kuvvetlidir. Manyetik özelliklerinden dolayı çok ince demir tozları (genellikle kendisinden oluşan) yüzeyine yapışmıştır. Magnetite eğer yıkanır ya da nemli bir ortamda saklanırsa üzeri sarımsı kahverengi renkte bir pas (oksit) oluşur. Eğer örnek yıkanmak zorundaysa derhal kurutulması gerekir. Paslanmadan korumak için örnekler kuru bir yerde saklanmalıdır.

Benzer minerallerden magnetite den farklılıkları :

- **Franklinite** : Manyetik alanla zayıf etkileşir.

- **Spinel** : manyetik alanla etkileşmez, beyaz bir cevhere sahiptir.
- **Ilmenite** : daha hafif bir cevhere sahiptir.
- **Chomite** : kahverengimsi bir cevherdir.

Magnetit yaygın olarak Calcite, Phlogopite, Talc, Pyrite, Ilmenite, Hematite, Apatite. Garnet, Cholorite ile birlikte oluşur.

Limonit Kimyasal formülü $2\text{Fe}_2\text{O}_3 - 3\text{H}_2\text{O}$ dir. Sulu demiroksit olarak anılır. Çeşitli demir hidroksitleri karışımıdır. Amorfür. Yarı metalimsi parlaktır. Kısmen rombusal telsel kütleler halindedir. Sertliği 5 – 5,5 , özgül ağırlığı 3,6 - 4,0 dir. Limonit önemli bir demir cevheridir. Genellikle üzüm taneleri gibi yada lifli bir yapı gösterir. İçinde %60 kadar demir vardır. Limonit doğada çok yaygın olarak bulunan bir mineraldir. Manyetit, hematit, siderit, pirit gibi demirli minerallerin ayrışmasından meydana gelir. Oluşma biçimine göre yapısı, yumrulu, kılı, ışınal, topraklı olabilir.

Siderit : Kimyasal formülü FeCO_3 tür. Sarımsı renklidir. Kahverengi olabilir, camsı ve parlaktır. Sertliği 4, özgül ağırlığı 3,8 dir. Kristalleri heksogonal hemiedridir. Siderit sıcak asitle köpürür. Çok vavgın bir mineraldir. Hidrotermal yada sedimentlerde olarak oluşur.

3.1 Minerallerin Manyetik Alınganlığa Etkisi

Manyetik süseptibilitenin büyüklüğü maddenin içinde bulunan mineral ve elementlerin özellikleriyle yakından ilgilidir. Madde de bulunan manyetik minerallerin miktarları ve süseptibiliteye olan katkıları birbirinden farklıdır (Çizelge 3.1). Örneğin magnetit ferromagnetik, hematite paramagnetiktir. Dolayısıyla manyetik alana karşı tepkileri de farklı olmaktadır. Ayrıca hem paramagnetik hem de diamagnetik materyallerin olduğu bir madde de bulunmaları durumunda madde baskın olan özelliği gösterecektir.

3.2 Kömür Külünün İçerdiği Mineraller

Kömürün yakıt olarak kullanıldığı santrallerde, kömür yanma boyunca magnetit ve hematit mineraller edinir. Kömürdeki pirit, markasit ve sideritin oksitlenmesi buna neden olmaktadır. Pirit en önemli kömür mineralidir. Yanmamış fosil yakıtlar temelde magnetit değildir. Bunlar ağırlık başına 10 ppm magnetitdirler. Bununla birlikte, fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan ürünler ise magnetit açıdan zengin olabilirler. Bunlarsa ağırlık başına 500-10.000 ppm magnetit içerirler. Kömür kül halinde iken 160.000 ppm magnetit içerebilmektedir (Flanders 1994). 1000 C° ve daha yüksek sıcaklıkta pirit, pyrrhatite ve sülfür gazından ayrışır. Her sıcaklık artışında, demirin oksitlenmesi , küresel manyetik parçacıklar oluşmasıyla Fe ve S iyonları

pyrrhatite te dönüşmektedirler. Kömürdeki her %1 S ağırlık artışı, kömür külünde demir oksitlenmesini %7 artmasına neden olmaktadır. Demir oksitler tek başlarına toksit (zehir) içermezler ve zararlı değildirler. Fakat genelde demir oksitler zararlı ağır metallerle bir arada bulunmaktadır. Endüstride eski yöntemlerin kullanılması, taşıma ve depolamadaki eksiklikler bu zehirli ağır metallerin bir arada bulunmasına olanak sağlamaktadır. Küllerde çevreye çeşitli şekillerde dağılabildiğinden ciddi derecede zehirli madde çevreye yayılabilmektedir. (A. Kapicka, E. Petrovsky, S.Ustjak, K. Machackova, 1999)

Çizelge 3.1 Bazı minerallerin manyetik özellikleri (Dearing J.,1999.)

Mineral/ malzeme	Kimyasal formülü	Demir (%)	Manyetik kütle süseptibilitesi($10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)
Ferromanyetik metaller			
Iron	αFe	100	276000
Cobalt	Co		204000
Nickel	Ni		68850
Ferrimanyetik			
Magnetite	Fe_3O_3	72	
(0,012-0,069 μm)			513 – 1116
			500 – 1000
(0.09-2000 μm)			596 \pm 77
(1-250 μm)			440 – 716
			390 – 580
Maghemite	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	70	410, 440
			286 - 371
Titanomagnetite	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$		169 - 290

Mineral/ malzeme	Kimyasal formülü	Demir (%)	Manyetik kütle süseptibilitesi($10^{-6}m^3kg^{-1}$)
Antiferromanyetik			
Haematite	αFe_2O_3	70	1.19 - 1.69 0.58 - 0.78 0.49 - 0.65 0.27, 0.31, 0.6, <0.63
Goethite	$\alpha FeOOH$	63	0.35, 0.38, 0.7, < 1 .26
Paramanyetik (20 °C)			
Ilmenite	$FeTiO_3$	37	1.7, 2
Ulvospinel	Fe_2TiO_4		
Olivine	$4[(Mg,Fe)_2SiO_4]$	<55	0.01 - 1.3
Siderite	$FeCO_3$	48	1 .0
Biotite	Mg,Fe,Al silikat	31	0.05 - 0.95
Pyroxene	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$	<12	0.04 - 0.94
Chamosite	klorit oksiti		0.9
Nontronite	Demirce zengin toprak	0.863	
□mhibole	MU,Fe,Al silikat		0.16 - 0.69
Epidote	Ca,Fe,Al silikat	31	0.25 - 0.31
Pyrite	FeS_2	47	0.3
Lepidocrocite	$\gamma FeOOH$	63	0.5 - 0.75. 0.69
Prochlorite	Mika benzeri mineral		0.157
Vermiculite	Kompleks silikat		0.152
Illite	$KAl_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$		0.15
Bentonite	Kompleks silikat		0.058
Smectite	Kompleks silikat		0.05, 0.027
Chalcopyrite	$CuFeS_2$	30	0.03
Attapulgit	Kompleks silikat		0.02
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$		0.011
Diamanyetik			
Kalsit	$CaCO_3$		-0.0048
Alkali-feldspar	Ca,Na,K,Al silicate	-0.005	
Plastik		-0.005	
Quartz	SiO_2	-0.0058	
Organik madde		-0.009	
Su	H_2O	-0.009	

Tuz	NaCl	-0.009
Kaolinite	Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	-0.019

4. DENEYSSEL YÖNTEM

Soma Termik Santrali, bulunduğu konum itibariyle, çevresine yayılmış bir çok kömür ocaklarından, bantlarla kömür taşınarak enerji üretmektedir. Bu ocaklarda genellikle Linyit kömürü çıkmakta ve verimi düşük olmaktadır. Çizelge 4.1 de Soma bölgesinde çıkarılan kömür rezervleri görünmektedir.

Çizelge 4.1 Soma bölgesi kömür rezerv durumu (x1000 ton)

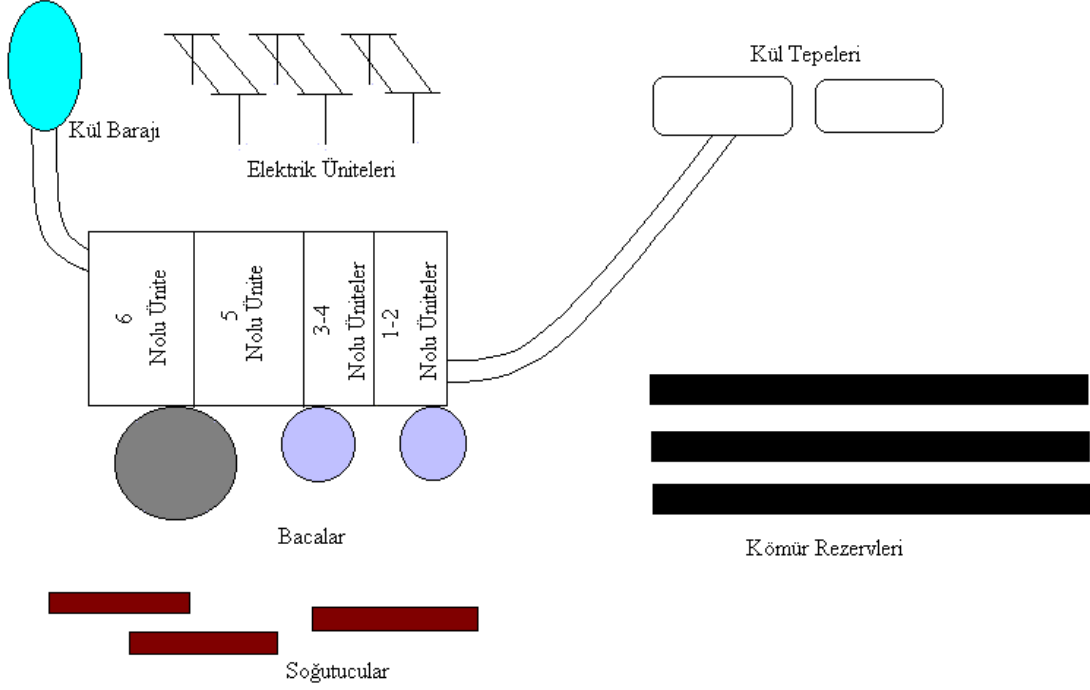
İlçe	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	Genel Toplam
Soma- Eynez	271.109	14.314	22.794	308.217	308.217
Soma- Evciler	46.461			46.461	46.461
Soma- Merkez	27.450	4.800		32.250	32.250
Soma- Merkez	2.926			2.926	2926
Soma- Darkale	7.339	18.503		25.842	25.842
Soma- Işıldere	41.081			41.081	41.081
Soma- Işıklardere	29.200			29.200	29.200
Soma- Türkiyale		3.216		3.216	3.216
Akçaavlu, Dualar		9.345		9.345	9.345
Gördes- Çitak		5.000		5.000	5.000
Soma- Deniz 1	48.476			48.476	48.476
Soma- Deniz 2	103.663			103.663	103.663
Soma- Kozluören	3.614	4.393	1.000	18.007	18.007

(MTA Genel Müdürlüğü)

Soma Termik Santrali 6 üniteden oluşmaktadır. 1 – 2 nolu üniteler ilk yapılan ünitelerdir. Bunlardan sonra 3 – 4 üniteleri ve son olarak 5 – 6 üniteleri inşa edilmiştir. 5 ve 6 nolu üniteler sonradan inşa edildiklerinden , teknolojik olarak daha yenidirler. Termik santralde günde ortalama 10000 ton kömür yakılmaktadır. Bu kömürler çeşitli ocaklardan santrale karışmış

şekilde gelmektedir. Ortaya çıkan taban küllerin büyük bir kısmı baraj gölüne atılmaktadır. Uçucu küller ise filtrelerden geçerek havaya atılmaktadır.

Santralin genel görünümü Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



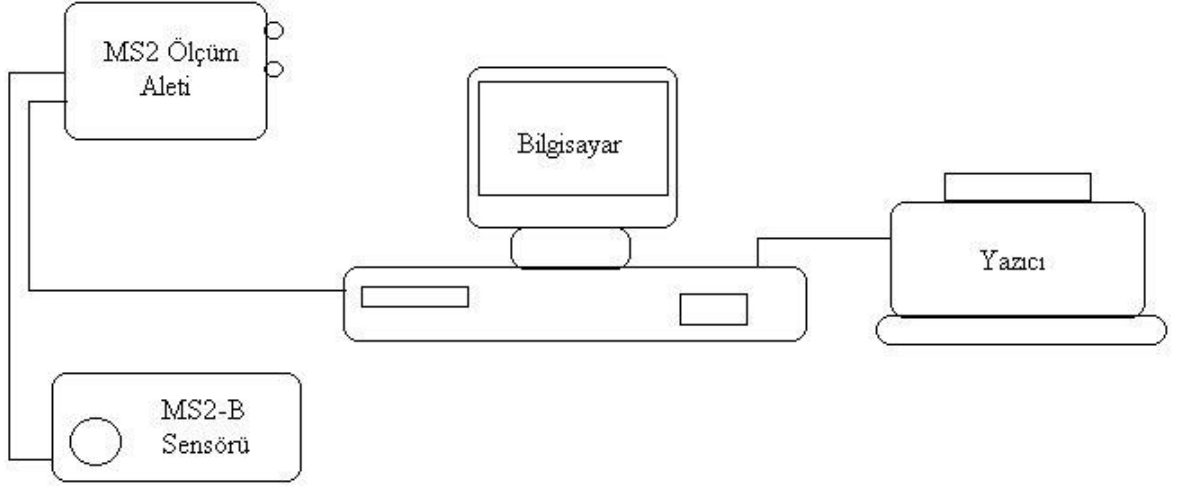
Şekil 4.1 Soma Termik Santralinin Genel Görünümü.

4.1 Örneklerin Toplanması

Soma Termik Santrali altı farklı kül boşaltma ünitesine sahiptir. Her boşaltma ünitesinden küller, su ile karışarak kül barajına gitmektedir. Her boşaltma ünitesi de kendi arasında farklı filtrelemeye sahiptir. Örnekler, her ünitenin farklı filtrelerinden toplanmıştır. Ünitelerden toplanan küller taban külü olup bütün örnekler cam kavanozlara toplanmıştır. 4 ve 5 nolu ünitelerin uçucu külleri de toplanıp alınganlık değerleri bulunmuştur.

4.2 Örneklerin Ölçülmesi

Kül örneklerinin ölçümü Bartington MS2 ve MS2-B ile yapılmıştır . Ölçüm sisteminin şeması Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Kullanılan ölçüm sisteminin gösterimi.

MS2 ölçüm sistemi yüksek gerilimle çalışan elektronik aygıtlardan, motor ve diğer manyetik alan oluşturan araçlardan, ölçüm alanı yakınındaki metal eşyalardan ve titreşimden etkilenebileceğinden dolayı , ölçüme başlamadan önce bu etkiler ortadan kaldırılmıştır. Kül örnekleri küçük silindirik kaplarda tartılmış ve ölçümleri alınmıştır. Deney sırasında laboratuvar sıcaklığı oda sıcaklığında tutulmuş ve sıcaklığın değişmemesi sağlanmıştır. Ölçümlerin alınmasında kullanılan MultiSus bilgisayar programı ile numune kabının diamanyetik etkisi, havanın ölçümlere olan etkisinin düzeltilmiş ve kütle alınganlığı hesaplanmıştır. Kütle alınganlığı (χ) kullanılarak grafikler çizilmiştir. MS2 ölçüm sistemi ile boyutsuz hacim alınganlığını (κ) ölçebileceği gibi,

$$\chi_{if} = \kappa / \rho$$

bağıntısıyla χ kütle alınganlığına geçmek mümkündür. Burada ρ örneğin yoğunluğudur (kg m^{-3}). Dolayısıyla χ kütle alınganlık birimi ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) olmaktadır.

Örneklerin alınganlık ölçümleri, düşük frekansta ve yüksek frekansta alınmış, ölçüm frekansı ile alınganlık değişimi yüzdesi de hesaplanmıştır

Sonuçta elde edilen (frekans değişimi) – (düşük frekans kütle alınganlığı) grafiğinden domen boyutu ve taneciklerin (grain) kaynağı hakkında bir bilgiye ulaşılabilir.

4.3 MS2B Sensörünün Teknik Özellikleri

Örnek Haznesi Çapı	: 36 mm
İşlem Frekansı	: LF 0,465 kHz HF 4,65 kHz
Uygulanan Manyetik Alan	
Genliği	: 250 μ T zirve \pm (LF ve HF)
Maksimum çözünürlük	: 2×10^{-7} CGS (LF vve HF)
Doğruluk	: %1
Sıcaklığa Bağlı Birikme	: $\pm 1^\circ\text{C/hr}$ düzensiz çevre sıcaklığı değişiminde dakikada $\pm 0,5 \times 10^{-6}$ CGS lik bir değişim.
Ölçüm süresi	
CGS de x1 bölgesinde	: 1,2 s
CGS de x1 bölgesinde	: 12 s
Alan Şiddeti	: 80 A/m rms

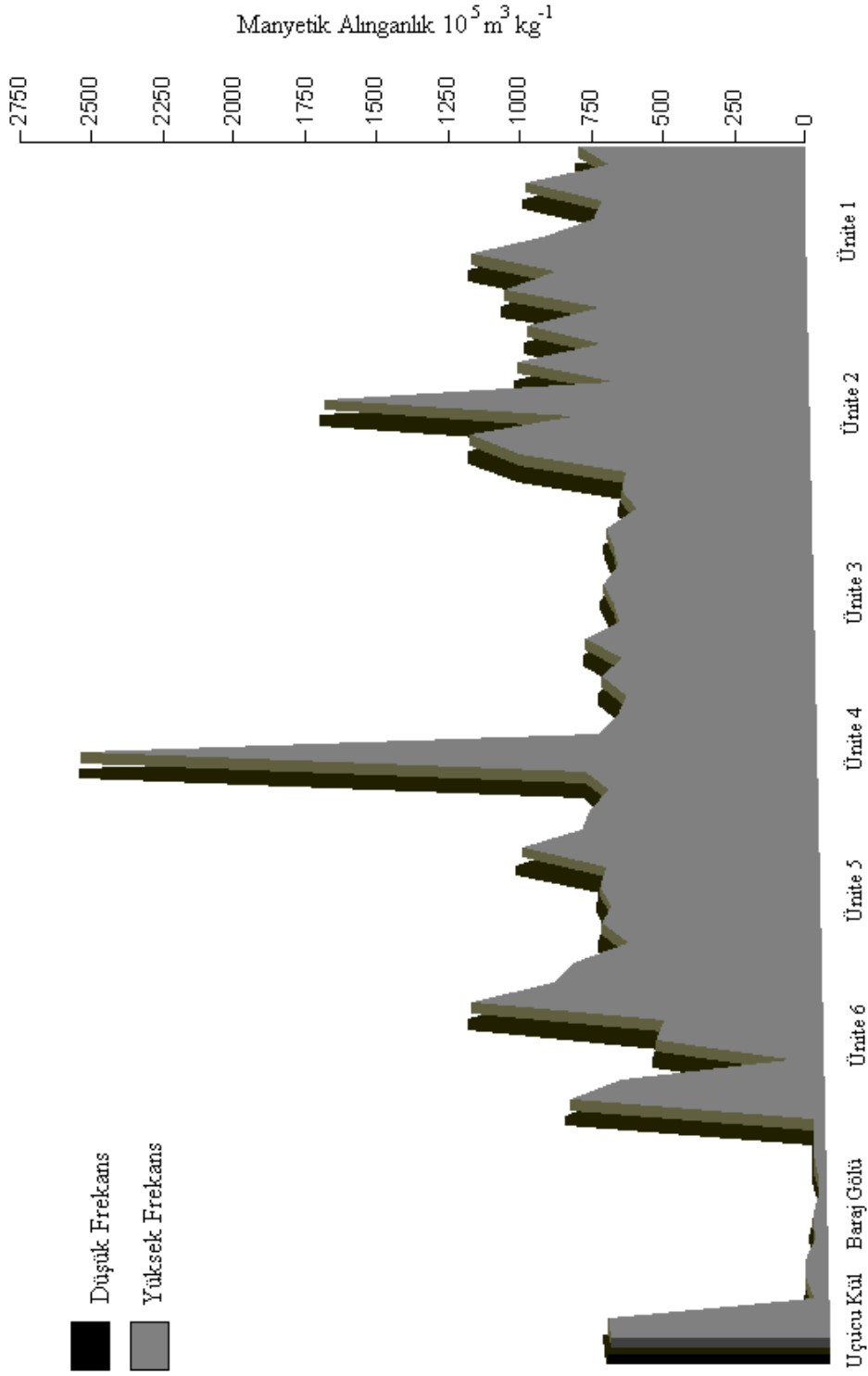
4.3.1 Sistemin Kalibrasyonu

Bartington MS2 Sistemi elektronik olarak kalibre edilmiştir. Ancak ölçümlerin güvenilirliğini test etmek amacıyla çizelge 4.2 de görülen kalibrasyon malzemeleri ile sistemin çalışma verimi test edilmiştir.

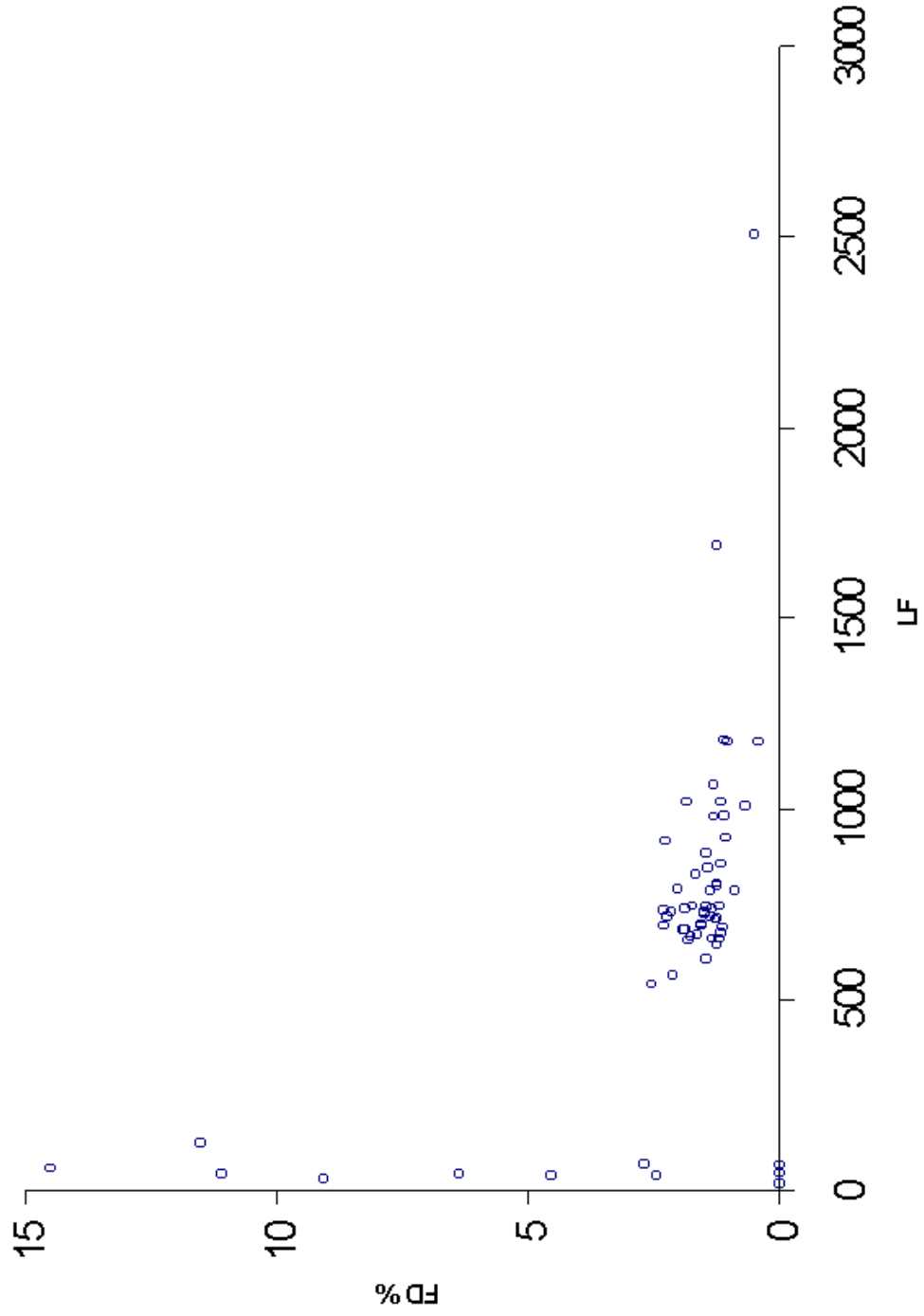
Çizelge 4.2 Bazı kalibrasyon malzemelerinin kütle ve hacim alınganlık değerleri.

Malzeme	Manyetik Davranışı	Kütlesi (g)	Hacim Alınganlığı (κ) (Boyutsuz)
Saf Su	Diamanyetik	10,0	-0,9
%1 Demir içeren kalibrasyon örneği	Ferrimanyetik	12,0	150

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME



Şekil 5.1 Örneklerin alınganlık değerlerinin yüksek ve alçak frekanstaki görüntümleri



Şekil 5.2 Frekansa bağlılık.

Çizelge 5.1 Örneklerin ölçülen alınganlık (süseptibilite) değerleri

Örnek No	Ağırlık (g)	LF $10^{-5} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	HF $10^{-5} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	FD%
1 Nolu Ünite				
1-1	11,81	801,8	791,5	1,25
1-2	11,22	701,9	690,8	1,57
1-3	10,05	988,4	977,7	1,11
1-4	11,5	718,6	709,3	1,25
1-5	11,09	750,8	741,4	1,2
1-6	10,27	929,1	919,1	1,08
1-7	9,68	1182	1170,3	1,02
1-8	8,66	890,7	877,4	1,46
2 Nolu Ünite				
2-1	10,65	1066,7	1052,6	1,31
2-2	9,57	737,6	720,2	2,31
2-3	11,43	985,1	972,1	1,32
2-4	9,27	738	721	2,3
2-5	11,05	1023,9	1011,6	1,17
2-6	9,65	698,7	682,6	2,29
2-7	9,34	1696,1	1675	1,24
2-8	11,6	833	819,8	1,68
3 Nolu Ünite				
3-1	10,48	1179,9	1174,9	0,42
3-2	10,68	1013,4	1006,6	0,69
3-3	11,13	647,4	639,2	1,24
3-4	11,29	664,9	656,3	1,2
3-5	10,29	611	602,4	1,47
3-6	11,19	717,1	708,9	1,26
3-7	12,33	696,7	688,8	1,15
3-8	10,8	679	671,4	1,18
4 Nolu Ünite				
4-1	10,05	732,9	721,5	1,5
4-2	9,68	699,9	688,6	1,57
4-3	9,62	675,8	664	1,63

4-4	11,29	790,1	779,9	1,39
4-5	10,38	673,3	661,8	1,78
4-6	8,44	742,9	728,9	1,89
4-7	10,47	660,8	648,7	1,82
4-8	8,25	686,7	673,5	1,9
5 Nolu Ünite				
5-1	11,03	752,7	743,2	1,2
5-2	10,49	2508,2	2496,2	0,48
5-3	8,5	792,2	785,3	0,88
5-4	9,86	725	715,4	1,38
5-5	8,65	793,2	777,4	2,02
5-6	11,72	812,2	802,1	1,23
5-7	7,84	1024,1	1005	1,86
5-8	10,6	735,9	724,8	1,5
5-9	9,23	751,7	738,7	1,73
5-10	10,85	722,4	706,9	2,22
5-11	11,06	747	736,5	1,47
5-12	11,18	664,3	655	1,36
5-13	9,14	849,6	837,3	1,41
5-14	7,86	920,7	899,5	2,28
5-15	10,51	1185,8	1172,1	1,1
6 Nolu Ünite				
6-1	13,67	546,3	532,7	2,56
6-2	11,20	569,5	557,9	2,11
6-3	12,98	130,1	115,1	11,54
6-4	11,52	689,4	676,1	1,89
6-5	12,07	863,6	853	1,16
Baraj Gölü				
B-1	7,85	44,3	42,3	4,55
B-2	7,87	45,9	40,7	11,11
B-3	7,87	47,2	44,3	6,38
B-4	7,52	22,9	22,9	0
B-5	7,84	33,6	30	9,09
B-6	7,8	62,1	53,2	14,52
B-7	8,08	41,7	40,5	2,44

B-8	7,98	71,4	71,1	0
B-9	7,86	74,8	72,9	2,7
B-10	8,22	51,1	51,1	0
Uçucu Kül				
U-1	9,34	744,6	734,2	1,34
U-2	9,21	734,2	718,3	2,18

5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Örneklerden elde edilen verilerden, 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 nolu ünite taban küllerinin ve 4 – 5 nolu ünite uçucu küllerin alınganlık sonuçlarının büyük çıkması ferromanyetik bir kirlilikten söz edilebileceğinin bir işaretidir. Şekil 6.1 de de görüldüğü gibi özellikle 4 nolu ünitenin alınganlık değerlerinin yüksek olması, taban külleri ve uçucu küllerin çevreye atılmasının bir kirlilik meydana getirmesindedir ki 2 nolu ünitenin de 4 nolu ünite gibi yüksek değerlikli alınganlığa sahip olması, yine taban ve uçucu kül olarak çevreye kirli küllerin atıldığını göstermektedir. Bununla beraber, özellikle çimento yapımında ve çeşitli yapııştırıcı yapımında kullanılan uçucu küllerin alınganlık değerlerinin de diğerlerinden pek farklı olmadığı görülmektedir. Çimento ve yapııştırıcı yapımında ana madde olarak kullanılan 4 – 5 nolu ünite uçucu külleri de ferromanyetik bir kirlilik içermektedir. Baraj gölünden alınan örneklerin alınganlıkların düşük olması ise dikkat çekicidir. Yukarıda da değinildiği gibi, su ile karışan küller zeolit halini alıyor ve kirlilik oranının büyük bir bölümünü kaybediyor. Dolayısıyla çevreye atılan su ile karıştırılmış küller, diğer küllere nazaran daha az kirli olduğu söylenebilir.

Elde edilen ölçümlerin χ_{LF} - $\% \chi_{FD}$ grafiği de alınan örneklerin domen yapısı ve tanecik büyüklüğü hakkında bir fikir edinmemize olanak sağlar. Bu grafik Şekil 6.2 de gösterilmiştir.

Frekansa bağlı manyetik alınganlık ölçümü, örneği iki farklı frekansta ölçerek elde edilir. Düşük frekans (0,465kHz) alınganlık ölçümlerinde (standart alınganlık ölçümü χ_{lf}) kararlı tek domen kristaller ile süperparamanyetik kristallerin tamamen alınganlığa katkıda bulunmalarına izin verirken yüksek frekansta bu katkı olmaz. Yüksek frekans, süperparamanyetik ve kararlı tek domen tanecikleri kristal boyundan daha küçük domen sınırlarına kaydırıcı etki yapar. Böylece kararlı paramanyetik domen gibi davranan süperparamanyetik tanecikler alınganlık değerinin düşmesine sebep olur. İki farklı frekansta alınan ölçümlerin arasındaki fark, bize süperparamanyetik minerallerin bulunduğunu ve miktarını göstermektedir.

Çizelge 1.3 te verilen bilgiler yardımıyla yukarıdaki grafiği incelediğimizde $\% \chi_{fd}$ değerinin en fazla yaklaşık 15 değerine çıktığını görülmektedir. Bu değer için, nadiren görülen değer, hatalı ölçüm ya da zayıf numune denilebilir. Diğer değerlere bakıldığında bir kısmının hemen hemen süperparamanyetik olduğu, diğerlerinin ise süperparamanyetik tanecikler ve süperparamanyetik olmayan taneciklerin bir karışımıdır denilebilir. İki küçük $\% \chi_{fd}$ hemen

hemen hiç süperparamanyetik tanecik olmadığını ifade etmektedir. Grafikten genel olarak örneğin süperparamanyetik olmayan taneciklerden oluştuğu söylenebilir. Dolayısıyla örneklerde kararlı tek domen ve çoklu domenlerden oluşmuş bir karışım mevcuttur.

Kömür küllerinin çevreye olumsuz etkisi dışında çeşitli nedenlerden dolayı kirlilikten de söz edilebilir. Bunları şu şekilde sıralayalım.

a) Arama Safhası: Genel olarak, prospeksiyon, sondaj, galeri, kuyu, yarma ve jeokimyasal örnekleme gibi çalışmalarını kapsayan, kömür madeni arama faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkisi boyutu diğerlerine nazaran daha azdır denilebilir.

b) Açıkocak kömür işletmeciliği: Açıkocak işletmeciliğinin çevreye olan en önemli etkisi, faaliyet alanındaki bitki ve hayvan toplulukları üzerinde olmaktadır. Arazinin doğal görünümünü bozmakta, verimli üst toprağı yoketmekte ve yeryüzü su kaynaklarını kirlletmektedir.

c) Yeraltı Kömür İşletmeciliği: Yeraltı işletmeciliğinin çevreye olan olumsuz etkileri, tarım alanlarında bozulma, yüzeydeki yapıların çatlaması ve yer altı su seviyesinin düşmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır.

d) Cevher Zenginleştirme (Yıkama Üniteleri): Yıkama faaliyetlerinin çevreye olan olumsuz etkileri, kömürlerin kırılması ve elenmesi sırasında toz ve gürültü oluşmaktadır, işlem sonucu ortaya çıkan sıvı atık ve katı atık kirli mineraller içermektedir.

e) Kömürün Yakılması: En önemli kirlilik sorunudur. Özellikle termik santrallarda hava kirletici özelliği fazla olan kükürtoksitler (SO_x) havayı önemli ölçüde kirlletmektedir. Yine kömürün, sanayi ve konut ısıtılmasında kullanılmasıyla ortaya çıkan hava kirliliği de bunlara ektir.

Çevresel manyetizma ile ilgili bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yurtdışında yapılmış, benzer bir çok çalışmada sonuçlarla uygunluk içindedir. Termik Santrallerin, ülkemizde elektrik üretmede önemli bir rol oynaması, çevresel kirlilikte en büyük etkenlerden biri olmasına neden olmaktadır. Soma Termik Santrali kömür ve küllerinin, çevreye olan etkisi bu çalışma ile bir nevi gösterilmektedir. Soma Termik Santrali gibi diğer santrallerde genelde aynı sonucu çıkaracaktır. Bu sonuçlar, insanoğlunu daha temiz bir enerji üretme olanaklarını bulmaya sevkemiş ve çeşitli enerji kaynakları bulunmuştur. Gelecekte de termik santral evresinin son bulacağına inanıyorum.

KAYNAKLAR

1. Ayvacıklı, M., Manyetik Süseptibilite Ölçüm Sisteminin Kurulması ve Kalibrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, 2001.
2. Ertaş, İ. , Denel Fizik Dersleri cilt: II E.Ü. Fen Fakültesi Kitapları Serisi No:55, 1996.
3. Mulay, L.N., 1963, Magnetic Susceptibility, John Wiley & Sons, Usa,1963.
4. Dearing, J., Using the Bartington MS2 System , Environmental Magnetic Susceptibility, 1994
5. Sing, D.N., Kolay, P.K., Simulation of Ash-Water Interaction and its Influence on Ash Characteristics, Energy and Combustion Science , (Article in Press) 2001
6. Kapicka A. , Petrovsky E., Ustjak S., Machackova K., Proxy Mapping of Fly-Ash Pollution of Soils Around a Coal-Burning Power-Plant : a Case Study in the Czech Republic, Journal of Geochemical Exploration, 291-297,1999
7. Kapicka A., Jordanova N., Petrovsky E., Ustjak S., Magnetic Stability of Power-Plant Fly Ash in Different Soil Solutions, Elsevier Science Ltd., 67-3,1999
8. Nathan Y., Dvorachek M., Pelly I., Mimran U. , Characterization of Coal Fly Ash from Israel, Fuel, 205-213, 1999
9. Kletetschka G., Wasilewski P.J., Taylor P.T., Hematite vs. Magnetite as the Signature for Planetary Magnetic Anomalies?, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 259-267, 2000
10. Bitjukova, L., R. Scholger, M. Birke, Magnetic Suceptibility As Indicator Of Environmental Pollution Of Soil In Tallinn, Phys. Chem. Earth (A), Vol. 24, No. 9, pp. 829-835, 1999
11. Dearing, J.A., K. Hay,S.M.J Baban,A.s. Huddleston,E.M.H. Wellington, P.J. Loveland, Magnetic Susceptibility Of Soil : An Evaluation Of Conflicting Theories Using A National Data Set, Geophys. J. Int. 127, 728-734, 1996
12. Dearing, J.A., R.J.L. Dann, K. Hay, J.A.Lees,P.J. Loveland, B.A. Maher, Frequency-Dependent Susceptibility Measurement Of Environmental Materials, Geophys. J. Int., 124, 228-240, 1996
13. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu Raporu, 1996
14. Bayburt S. , Yener G. , Kömürlerde Kül Oranının 2- μ ve Demir Düzeltme Yöntemi ile Ölçülmesi ,DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 2001
15. Serway A. R., Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Third Edition, 1995
16. Flanders P.J., Collection Measurements and Analysis of Airborne Magnetic Particulates from Pollution in the Environment, J. Appl. Phys. 75, 5931-5936, 1994
17. Barrer R.M., Synthesis of Zeolits ,In: Drzaj B, Hocevar S, Pejovnik S, editors, Structures Technology and Applications,p.1-26, 1984

Özgeçmiş

Adı Soyadı	: İsrail ŞABİKOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi	: Elbistan 13.11.1978
İlkokul	: İzmir Kenan Gamsız İlkokulu 1989
Ortaokul	: İzmir Karşıyaka Lisesi 1989 - 1992
Lise	: İzmir Karşıyaka Lisesi 1992 - 1995
Lisans	: Celal Bayar Üniversitesi Fizik BIm. 1996-2000
Yüksek Lisans	: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Anabilim Dalı 2000-2003
Çalışma ve Görevler	: B.E.T.A Kulübü kuruculuğu 1998, Bilgisayar odası bilgisayarlarının düzenlenmesi 1998-2001
Hobiler	: Bisiklete binmek, bilgisayar kullanmak, tenis oyunmak
Hedefler	: Bilgisayar ve çeşitli konuları üstüne uzmanlık, kendi bölümüm üstüne profesörlük.