

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SABİT MIKNATISLARLA GELİŞTİRİLEN YÜKSEK GRADYANLI YAŞ
MANYETİK AYIRICI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ALPAKIN BAŞTAŞ

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Ayhan Sirkeci

Temmuz 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SABİT MIKNATISLARLA GELİŞTİRİLEN YÜKSEK GRADYANLI YAŞ
MANYETİK AYIRICI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve ALPAKIN BAŞTAŞ
505171106**

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci

Temmuz 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505171106 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Merve ALPAKIN BAŞTAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SABİT MIKNATISLARLA GELİŞTİRİLEN YÜKSEK GRADYANLI YAŞ MANYETİK AYIRICI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : ~~Prof. Dr. Ali Ayhan Sirkeci~~
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alim Gül**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sait Kızıgut
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Teslim Tarihi : 10 Haziran 2021
Savunma Tarihi : 5 Temmuz 2021





Aileme ve sevdiklerime ,



ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında cevherin yaş manyetik ayırma yöntemiyle zenginleştirilmesinin sağlanması amacıyla elektromıknatıslı ayırıcılara alternatif bir yöntem olarak sabit mıknatıslı yeni bir makine tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda Kale Seramik A.Ş.'den temin edilen kaolen numuneleri ile çalışılmış, sabit mıknatısların bu cevherlerin zenginleştirilmesindeki etkinliği incelenmiştir.

Bu tezi yapmama olanak sağlayan İ.T.Ü. Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'ne ve Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Gülay Bulut'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü yardımda bulunan, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren çok değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Ayhan Ali Sirkeci'ye çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca beni destekleyen ve her daim yanımda olan, eşim Utku Anıl BAŞTAŞ, arkadaşım Berivan TUNÇ başta olmak üzere tüm İ.T.Ü. Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları ve çalışanlarına ve bana destek olan başta Ece ARICI, Özlem ÖZALTIN, Şehri USLU ve diğer arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, beni yetiştiren ve her zaman destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamında analiz desteği ve numune teminini sağlayan KALE SERAMİK'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Haziran 2021
Baştaş

Merve Alpakın
(Makine Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Manyetik Ayırmanın Temelleri.....	2
1.2.1 Diyamanyetik maddeler	2
1.2.2 Paramanyetik malzemeler	3
1.2.3 Ferromanyetik maddeler	4
1.2.4 Curie sıcaklığı	5
1.2.5 Hysteresis eğrisi	5
1.2.6 Manyetik kuvvetler	6
1.2.7 Manyetik duyarlılık:.....	8
1.2.8 Minerallerin manyetik duyarlılıkları	9
1.2.9 Diğer kuvvetler	13
1.3 Sürekli Mıknatıs Çeşitleri.....	14
1.3.1 AlNiCo mıknatıslar	14
1.3.2 Ferrit mıknatıslar	15
1.3.3 Samaryum-kobalt alaşımlı sürekli mıknatıslar	16
1.3.4 Nadir toprak elementli mıknatıslar	16
1.4 Mıknatısların Manyetik Özelliklerini Etkileyen Faktörler	17
1.4.1 Değişim tipleri.....	18
1.4.2 Çevresel faktörler	18
1.5 Manyetik Ayırma Yöntemleri	20
1.6 Manyetik Ayırıcılar	22
1.6.1 Düşük alan iddetli kuru manyetik ayırıcılar.....	24
1.6.2 Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar	25
1.6.3 Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar	29
1.6.4 Yüksek alan şiddetli aş manyetik ayırıcılar	31
1.6.5 Süper iletken manyetik ayırıcılar	36
1.6.6 Sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcılar.....	36
1.7 Sabit Mıknatıslı Manyetik Ayırıcılarla Yapılmış Çalışmalar	37
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
2.1 Malzeme ve Yöntem	39
2.1.1 Sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcının tasarımı.....	39

2.1.2 Makinenin çalışma prensibi	40
2.1.3 Kullanılan malzemeler ve boyut analizleri.....	41
2.2 Laboratuvar Ölçekli Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deneyleri	43
2.3 Carpcı Tipi Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deneyleri	44
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
3.1 Laboratuvar Ölçekli Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deney Sonuçları	47
3.2 Carpcı Manyetik Ayırıcısı ile Yapılan Deney Sonuçları	48
4. SONUÇ.....	47
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56



KISALTMALAR

2A	: 2 Amper
4A	: 4 Amper
M	: Manyetik ürün
NM	: Non manyetik ürün





SEMBOLLER

H	: Manyetik Alan Yoğunluğu (A/m)
B	: Manyetik Alan Şiddeti
μ_0	: Manyetik Geçirgenlik Sabiti (H/m)
K_w	: Özgül Manyetik Duyarlılık (cm^3/g)
K	: Manyetik Duyarlılık
ρ_s	: Mineral Tanesinin Yoğunluğu (g/cm^3)
M	: Mıknatıslanma Şiddeti
F	: Manyetik Kuvvet (N)
F_x	: X Eksenindeki Manyetik Kuvvet
m	: Tanecik Kütlesi (g)
$(\partial \times H_x / \partial x)$	: Manyetik Alan Gradyanı (A/m^2)
F_m	: Manyetik Kuvvet (N)
d_m	: Mineralin Küre Çapı (m)
d_o	: Matrisin Çapı
K_s	: Mineral Tanesinin Manyetik Duyarlılığı
K_m	: Mineral Tanesinin İçinde Bulunduğu Ortamın Manyetik Duyarlılığı
F	: Yerçekimi Kuvveti (N)
ρ_s	: Mineral Parçasının Yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_f (kg/m^3)	: Mineral Parçasının İçerisinde Bulunduğu Ortamın Yoğunluğu
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
F_d	: Hidrodinamik sürüklenme kuvveti (N)
V	: Mineral parçasının sıvı ortama göre hızı (m/sn)
μ	: Akışkanın viskozitesi ($\text{kg}/\text{m.sn}$)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 :	Bazı Minerallerin Manyetik Duyarlılıkları.....	10
Çizelge 1.2 :	Paramanyetik Minerallerin 20°C'deki Özgül Manyetik Duyarlılığı....	11
Çizelge 1.3 :	Manyetik Ayırma Yöntemi ve Uygulama Tane Boyutu.....	20
Çizelge 1.4 :	Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Manyetik Ayırıcı Tipleri.....	21
Çizelge 2.1 :	Hammadde Karakterizasyonları.....	41
Çizelge 3.1 :	Matriks Olarak 6 mm Bilya Kullanılan Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı ile Yapılan Deney Sonuçları	45
Çizelge 3.2 :	Matriks Olarak 4 mm Bilya Kullanılan Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı ile Yapılan Deney Sonuçları	45
Çizelge 3.3 :	2 Amperde Yapılan Carpco Manyetik Ayırıcı ile Yapılan Deney Sonuçları.....	46
Çizelge 3.4 :	4 Amperde Yapılan Caprco deneyinin metalurjik denge tablosu.....	46



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Diamanyetizma.....	2
Şekil 1.2. Paramanyetizma.....	3
Şekil 1.3. Ferromanyetizma.....	4
Şekil 1.4. Normalize mıknatıslanma şiddeti/sıcaklık grafiği.....	5
Şekil 1.5. Hysterisis eğrisi.....	6
Şekil 1.6. Ferromanyetik minerallerin mıknatıslanma eğrisi.....	8
Şekil 1.7. Sürekli mıknatıslar kuvvet karşılaştırması.....	17
Şekil 1.8. Ferrit ve Alnico mıknatıslarına ait çalışma sıcaklık etkileri.....	19
Şekil 1.9. Ferrit ve Alnico mıknatısların sıcaklığa bağlı değişimleri.....	19
Şekil 1.10. Düşük alan şiddetli bant tipi kuru manyetik ayırıcı.....	23
Şekil 1.11. Tambur tipi manyetik ayırıcı (pilot ölçek).....	24
Şekil 1.12. Çapraz bantlı manyetik ayırıcı.....	25
Şekil 1.13. Döner diskli manyetik ayırıcı.....	25
Şekil 1.15. Permroll manyetik ayırıcısı.....	27
Şekil 1.16. HWedag Permos manyetik ayırıcısı.....	27
Şekil 1.17. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı.....	28
Şekil 1.18. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı 'Metso Carousel'.....	30
Şekil 1.19. Metso Carousel ayırıcısının çalışma prensibi.....	30
Şekil 1.20. WHIMS ayırıcısı.....	31
Şekil 1.21. Jones manyetik ayırıcısı.....	31
Şekil 1.22. Krupp Sol manyetik ayırıcısı.....	32
Şekil 1.23. Roche WHIMS manyetik ayırıcısı.....	32

Şekil 1.24.	Hazne tipi manyetik ayırıcısının çalışma prensibi.....	33
Şekil 1.25.	Endüstriyel ölçekli Ferrous Wheel manyetik ayırıcısı.....	33
Şekil 1.26.	Slon manyetik ayırıcısı.....	34
Şekil 1.27.	Süper iletkenli manyetik ayırıcı.....	35
Şekil 1.28.	Birinci tambur tasarımı mıknatıs dizilimi (SAN-TEZ Proje Raporu).....	36
Şekil 1.29.	İkinci tambur tasarımı mıknatıs dizilimi (SAN-TEZ Proje Raporu).....	36
Şekil 1.30.	Prototipin yandan ve üstten görünümü.....	36
Şekil 2.1.	Carpco manyetik ayırıcısı.....	37
Şekil 2.2.	Sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı.....	38
Şekil 2.3.	Kaolen 1 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer).....	39
Şekil 2.4.	Kaolen 2 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer).....	39
Şekil 2.5.	Kaolen 3 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer).....	40
Şekil 2.6.	Kaolen 4 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer).....	40
Şekil 2.7.	Sabit mıknatıslı yaş manyetik ayırıcının üstten görünümü.....	41
Şekil 2.8.	İnce bilyaların hazneye yerleştirilmesi.....	42
Şekil 2.9.	Numunenin hazırlanması.....	42
Şekil 2.10	Carpco manyetik ayırıcısı.....	43
Şekil 2.11	Carpco yaş manyetik ayırıcısının üstten görünümü.....	43
Şekil 2.12	Manyetik olmayan tanelerin ayrılması.....	44

SABİT MİKNATISLARLA GELİŞTİRİLEN YÜKSEK GRADYANLI YAŞ MANYETİK AYIRICI

ÖZET

Cevherin içerdiği minerallerin manyetik duyarlılıklarına bağlı olarak yüksek manyetik duyarlılığa sahip mineralleri zenginleştirmek için düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar, düşük manyetik duyarlılığa sahip mineralleri ayırmak için ise yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar kullanılır. Manyetik zenginleştirmenin yapıldığı ortam sulu ise bu tür ayırmaya “yaş ayırma”, bu ortam hava ise “kuru ayırma” adı verilir. İri tane boyutları için kuru ayırma, ince tane boyutlarında ise yaş manyetik ayırma kullanılır.

Manyetik ayırıcılar; cevher mineralleri ile artık olarak tanımlanan manyetik olmayan kısımların arasındaki manyetik farkı ortaya çıkarmaktadır. Manyetit-kuars ayrımı en yaygın örnek olarak kullanılabilir ve kalay minerali Kasiterit (SnO_2) bazen yapısında manyetit (Fe_3O_4) veya tungsten [(Fe,Mn)- WO_4] içerir ve bunlar basit manyetik ayırma ile elde edilebilir. Manyetik ayırma, manyetik olmayan bileşenler ile manyetik bileşenlerin ayrılmasına olanak sağlar. Tüm malzemeler bir manyetik alana yerleştirildiğinde, birçok malzeme az da olsa manyetik alandan bir şekilde etkilenir. Malzemelerin mıknatıslar tarafından çekilmesi iki kategoriye ayrılabilir: diamanyetik ve paramanyetik.

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar, genel olarak zayıf manyetik özelliğe sahip demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde, endüstriyel hammaddelerde bulunan manyetik safsızlıkların atılmasında ve yaygın olarak refrakter hammaddelerin demirli minerallerden uzaklaştırılmasında kullanılmıştır.

Yakın tarihte, yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar, özellikle endüstriyel hammaddelerdeki manyetik safsızlıkların uzaklaştırılması konusunda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanımının yıldan yıla artmasıyla beraber ekonomik ve kullanımı daha kolay manyetik ayırıcıların geliştirme çalışmaları artmış, özellikle de nadir toprak elementlerden faydalanarak geliştirilmiş yüksek alan şiddetli sabit mıknatısların yapımından sonra endüstriyel boyutta daha da hızla kullanımı yaygınlaşmıştır.

Elektromanyetik ayırıcılara göre, yüksek alan şiddetli sabit mıknatıslı manyetik ayırıcıların ekonomik olması ve teknik özelliklerinin daha üstün olması sebebiyle kullanım alanı yıldan yıla genişlemiş ve ilk olarak demirli minerallerin refrakter hammaddelerden uzaklaştırılmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada sabit mıknatıslı bir ayırıcı kullanılarak seramik hammaddelerinin Fe içeriğinin azaltılmasına yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırılması için ise Carpco yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda deneyler tekrar edilmiş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu tez kapsamında, N-52 neodyum sabit mıknatıslar kullanılarak ince boyutlarda yaşı olarak zenginleştirme yapılmış, yüksek gradyanlı yaşı manyetik ayırıcının tasarımı içerisinde yüksek manyetik kuvveti elde etmek esas alınmıştır.

Makine tasarımında öncelikle, Solidworks cad programı kullanarak yeni bir tasarım yapılmış, sabit mıknatıslar çift yönlü olarak haznenin sağ ve soluna yerleştirilmiş, daha sonra bu tasarımın prototipi ürettirilmiştir. Bu tasarımlı manyetik ayırıcıda Çanakkale Kale Maden'den temin edilen Fe ihtiva eden dört adet killi numune ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. İki farklı amper değerlerinde aynı deneyler Carpco laboratuvar tipi manyetik ayırıcı kullanılarak tekrar edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneylerde, 2 Amper ve 4 Amper değerlerinde yapılan Carpco yaşı manyetik ayırıcısı deneylerinde, sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaşı manyetik ayırıcı deneylerine göre daha temiz bir kil konsantresi elde edilmiştir. Ayrıca yeni tasarım makinede ince bilyaların kullanımı ile iri bilyalara göre daha temiz bir kil konsantresi elde edilmiştir.



HIGH GRADIAN WET MAGNETIC SEPARATOR DEVELOPED WITH PERMANENT MAGNET

SUMMARY

Depending Depending on the magnetic susceptibility of the minerals contained in the ore, magnetic separators with low field strength are used to enrich minerals with high magnetic susceptibility, and magnetic separators with high field strength are used to separate minerals with low magnetic susceptibility. If the medium where the magnetic enrichment is made is watery, this type of separation is called “wet separation”, and if this environment is air, it is called “dry separation”. Dry separation is used for coarse grain sizes and wet magnetic separation is used for fine grain sizes.

Magnetic separators; they reveal the magnetic difference between ore minerals and non-magnetic parts defined as residues. The magnetite-quartz separation can be used as the most common example, and the tin mineral cassiterite (SnO_2) sometimes contains magnetite (Fe_3O_4) or tungsten $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{-WO}_4]$ in its structure, which can be obtained by simple magnetic separation. Magnetic separation allows the separation of non-magnetic components and magnetic components. When all materials are placed in a magnetic field, many materials are slightly affected. The attraction or repulsion of materials by magnets can be divided into two categories: diamagnetic and paramagnetic.

High-intensity magnetic separators have generally been used to enrich iron ores with weak magnetic properties, to remove magnetic impurities found in industrial raw materials, and to remove refractory raw materials from ferrous minerals. After the production activities of high field intensity permanent magnets made of rare earth elements, various machines have been developed.

Recently, magnetic separators with high field intensity have been widely used, especially for the enrichment of iron ores with weak magnetic properties and for the removal of magnetic impurities from industrial raw materials. With the increase in its use from year to year, the development of economical and easier to use magnetic separators has increased, especially after the construction of high field strength permanent magnets developed by using rare earth elements, their use has become more widespread in the industrial sector.

Compared to electromagnetic separators, the area of use of permanent magnet magnetic separators with high field intensity has expanded from year to year following its economic aspects and technical features, and it was first used in the removal of ferrous minerals from refractory raw materials.

In this study, experiments were carried out to reduce the Fe content of ceramic raw materials by using a permanent magnet separator. In order to compare the test results, the experiments were repeated in the Carpc high gradient wet magnetic separator and the performance evaluation was made.

Within the scope of this thesis, it is based on obtaining high magnetic strength in the design of a high gradient wet magnetic separator that will enrich in thin sizes using N-52 neodymium permanent magnets.

In the machine design, firstly, a new design was made using Solidworks cad program, permanent magnets were placed on the right and left of the chamber in two directions, then a prototype of this design was produced. In this designed magnetic separator, enrichment experiments were carried out with four clayey samples containing magnetite supplied from Çanakkale Kale Maden. The same experiments at two different amperage values were repeated using a Carpcu laboratory magnetic separator and the results were compared.



1. GİRİŞ

Günümüzde yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı; zenginleştirme verimini artırmak, geri kazanım oranını ve konsantre kaybını azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Zenginleştirme işleminde, farklı manyetik özelliklere ve yöntemin etkin manyetik kuvvetine dayanan birçok manyetik ayırma yöntemi, manyetik alan kuvvetinin çarpımı ve manyetik alan kuvvetinin değişim hızına eşit olan vektörler olarak adlandırılır. Manyetik ayırma, "manyetik" ve "manyetik olmayan" parçacıkları, mıknatıs tarafın-dan oluşturulan manyetik alanda çeşitli kuvvetlerin etkisi ile birbirinden ayırma işlemidir. Manyetik alanı oluşturan mıknatıslar üç türe ayrılır: doğal mıknatıslar, yapay mıknatıslar ve elektromıknatıslar. İlk olarak, manyetik ayırıcılarda ferrit adı verilen sürekli mıknatıslar kullanıldı ve daha sonra yüksek alan şiddetine ve yüksek gradyanlara sahip manyetik ayırıcılar geliştirmek için nadir toprak elementleri kullanıldı.

Manyetik ayırmaya bağlı olarak oluşturulan manyetik alan önemli bir rol oynar ve manyetik alanın yoğunluğu, ayrılacak mineralin manyetik duyarlılığına göre değişir. Manyetik duyarlılık farklılığına dayanan manyetik ayırma yönteminde, manyetik kuvvetin etkisi altında tanelerin hareket yönündeki farkı, sürüklenme kuvveti, yerçekimi ve sürtünme kuvvetinin etkisi altında tanelerin farklı doğrultulardaki hareketi kullanılarak gerçekleşir. Manyetik ayırma işleminde, yüksek gradyanlı manyetik ayırma yöntemi özel bir konuma sahiptir, çünkü düşük manyetik duyarlılığa sahip ince partiküllerin yaş yöntemle etkin bir şekilde ayrılması gerekliliğini sağlamakta ve düşük gradyanlı manyetik ayırıcı başarılı olamamaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışma kapsamında yüksek gradyanlı sabit mıknatıslı bir ayırıcı kullanılarak seramik hammaddelerinin Fe içeriğinin azaltılmasına yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırılması için ise Carpco yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda deneyler tekrar edilmiş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2 Manyetik Ayırmanın Temelleri

Manyetik alan içindeki maddelerin yapısındaki elektronlar manyetik kuvvetlerden etkilenir. Bu etki ‘Faraday Kanunu’ olarak bilinir. Manyetik alan içinde kalan maddelerin tepkileri de oldukça farklıdır. Bu tepki; maddenin atom ve molekül yapısı ile atomun etkilendiği manyetik alanın gücüne bağlıdır [11,12].

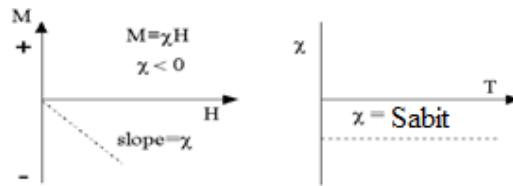
1.2.1 Diyamanyetik maddeler

Elektronların yörünge hareketi, manyetik alan meydana getiren atomik akım döngüleri oluşturur. Bir malzemeye harici bir manyetik alan uygulandığı zaman, bu akım döngüleri uygulanan alana karşı çıkacak şekilde hizalanacaklardır. Genellikle çok zayıf olmalarına karşın diyamanyetizma, bütün maddelerin temel özelliği olarak bilinir. Bu durumun sebebi malzemenin uygulanan manyetik alandan etkilendiğinde yörüngedeki

elektronlarının ortak bir davranış göstermemesinden kaynaklanmaktadır.

Diyamanyetik maddelerin yörüngesel kabuklarının tümü doludur ve çiftlenmemiş elektronlar yoktur. Net manyetik momente sahip olmayan atomlardan meydana gelir. Ancak, manyetik alandan etkilendiği zaman negatif manyetizasyon (mıknatıslık) gösterir ve bu sebeple diyamanyetik malzemelerin duygunluğu (χ) negatiftir.

Diyamanyetik bir malzemenin manyetizasyon (M) – manyetik alan (H) grafiği Şekil 1.1’de ki gibidir. [1,2]



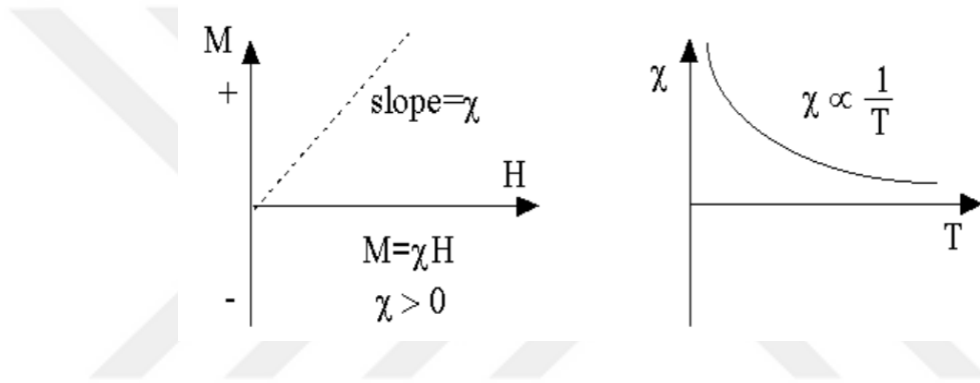
Şekil 1.1. Diamanyetizma

Diamanyetik bir malzeme bir manyetik alana maruz bırakıldığında manyetik momentleri alanın tersi yönünde yönelim gösterirler. Manyetik alan kaldırıldığında manyetik moment tekrar sıfır olur. Diyamanyetik malzemelerin bir diğer karakteristik davranışı duygunluğun (χ) sıcaklığa bağlı olmamasıdır.

1.2.2 Paramanyetik malzemeler

Paramanyetik malzemeler, malzemelerdeki atomlar veya iyonların bazılarının bir ölçüde dolu yörüngelerinde çiftlenmemiş elektronlarının olması sebebiyle manyetik momente sahiptir. Demir atomları çiftlenmemiş elektronlara sahip atomlardan biridir. Manyetik momentleri birbirleriyle etkileşmezler ve manyetik alan ortadan kaldırıldığında manyetizasyonu diyamanyetik malzemelerde olduğu gibi sıfır olur.

Paramanyetik malzemelerin manyetik momentleri manyetik alanın varlığında uygulanan alan ile aynı yönde yönelim gösterirler. Bu yönelim pozitif manyetizasyona ve pozitif doygunluğa sebep olur. Paramanyetik bir malzemenin manyetizasyon (M)-manyetik alan (H) grafiği Şekil 1.2'deki gibidir. [2]



Şekil 1.2. Paramanyetizma

Momentler hizalanırken alanın verimine, sıcaklığın etkilerinin sonucunda karşı koyar. Bu durum sıcaklığa bağlı bir doygunluk ile sonuçlanır (Curie yasası). Bazı malzeme-ler, malzemenin yerleştirildiği manyetik akı yoğunluğu ile orantılı bir mıknatıslanma ortaya çıkarır. Paramanyetik malzemeler için iç mıknatıslanma formülü 2.1'de görüleceği üzere,

$$M = C (B / T) \quad [3]$$

(2.1)

M = İç mıknatıslanma

C = Curie sabiti

B = Manyetik akı yoğunluğu

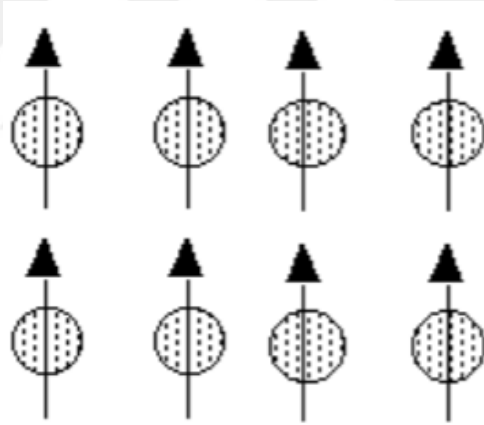
T = Sıcaklık

Tüm atomların benzersiz bir manyetizma kaynağı vardır, çünkü elektronların dönüşü manyetik momentler oluşturmaya yardımcı olur ve elektronların yörüngeleri manyetik alanlar oluşturan akım döngüleri gibi davranır [4].

Paramanyetik malzemeler manyetik alanlara pozitif ve düşük tepkiler verir. Bu malzemeler düşük güçlü bir manyetik alan tarafından çekilir ve alandan çıktıklarında üzerlerinde herhangi bir manyetik etki olmaz.

1.2.3 Ferromanyetik maddeler

Ferromanyetik malzemeler, manyetik alanlara pozitif ve güçlü bir tepki verir. Bu malzemeler manyetik alandan uzaklaşırsalar bile manyetik özelliklerini sürdürürler. Ferromanyetik malzemelerin manyetik özellikleri sadece atomik hareketlerine bağlı değildir. Ferromanyetik malzemelerin yapısında "manyetik alanlar" veya "Weiss domains" olarak adlandırılan küçük bölgelerin varlığı, malzemeyi oldukça manyetik hale getirir. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi her bölgede, tüm bipolar atomlar bir araya toplanır ve aynı yönde düzenlenir [2].



Şekil 1.3. Ferromanyetizma

Ferromanyetik mineraller ısıtıldığında, Curie sıcaklığının üzerindeki manyetik alana paralel manyetizmaları tamamen kaybolur. Doğal demirin Curie sıcaklığı 770 °C'dir.

Ferromanyetik malzemeler bir manyetik alanda manyetize edilir. Manyetik alan, kalıcı güçlü bir manyetik alan veya malzemeden akım geçirilmesiyle sağlanır. Sonuç olarak, tüm manyetik alanlar aynı yönde hizalanır.

Ferromanyetik malzemelerin mıknatıslanma eğrileri ise;

- Doyum mıknatıslanmasının niceliği ve

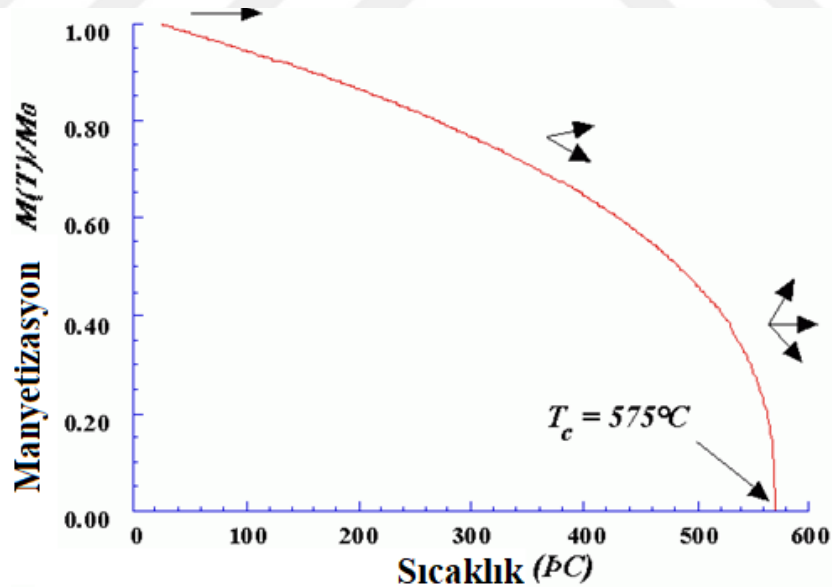
- Demanyetize durumundan doyum noktasındaki değere hangi yolla ulaştığı bilgisini verir.

Eğer doyum noktasına erişmek için küçük manyetik alanlar yeterli geliyorsa, bu tür malzemelere yumuşak (soft) manyetik malzeme adı verilir.

Bazen bazı malzemelerin doyum noktasındaki değere erişmek için ise çok yüksek manyetik alanlar gerekir. Bu türde ki malzemelere de sert (hard) manyetik malzeme adı verilir.

1.2.4 Curie sıcaklığı

Ferromıknatısların elektron değişim kuvveti çok büyük olmasına rağmen, termal enerjileri zamanla değişimlerin üstesinden gelir ve rastgele etkiler yaratırlar. Bu etki Curie sıcaklığı (T_c) adı verilen özel bir sıcaklıkta meydana gelir. Curie sıcaklığının altında ferromanyet düzenli, Curie sıcaklığının üzerinde ise düzensizdir. Curie sıcaklığında doyma manyetizasyonu sıfırdır. Genel olarak, manyetizasyon (M)-sıcaklık (T) diyagramı Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Ayrıca Curie sıcaklığı, mineralleri tanımlamak için kullanılabilecek tanımlayıcı bir parametre ve yapısal özelliktir. Ancak prensipte farklı manyetik mineraller aynı Curie sıcaklığına sahip olabilir.



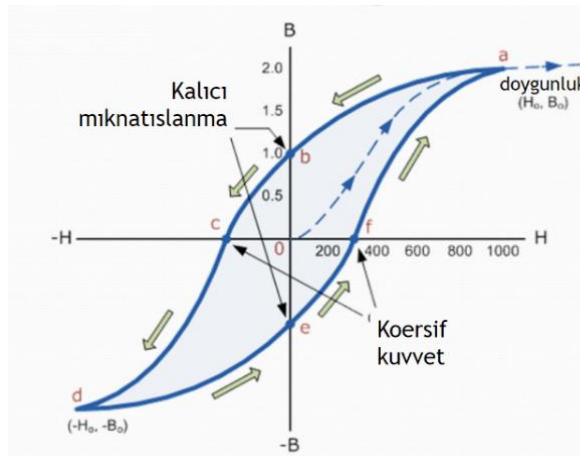
Şekil 1.4. Normalize mıknatıslanma şiddeti /sıcaklık grafiği

1.2.5 Hysteresis eğrisi

Hysteresis döngüsü, ferromıknatısın $M = M(H)$ dahili manyetik alanına tersinmez doğrusal olmayan tepkisini temsil eder. Ferromanyetik alandaki manyetizasyon

sırasını yansıtır. Curie sıcaklığına ek olarak, ferromıknatıs, harici manyetik alan kaldırılrsa bile manyetizasyonunu koruyabilir. Bu davranışa histerezis denir. Bir ferromanyetik malzeme daha önce manyetize edilmemişse ve manyetik yoğunluğu (manyetizasyon) sıfırdan artıyorsa, manyetizasyon eğrisi elde edilebilir. Rowland halkasındaki mıknatıslama akımı ve manyetize edilmemiş ferromanyetik malzeme sargısı sıfırdan manyetik yoğunluk H değerine yükselirse, artık mıknatıslanmanın (B_r) değişimi, $B_r = f(H)$ 1 yolunu izler ve Oa 'yı elde eder. Manyetik alan kuvveti tekrar H_1 'den sıfıra düşerse, değişim 2 yolunu takip eder ve ab eğrisi elde edilir. Burada $H=0$ olmasına rağmen manyetik alanın değeri B_a 'dır. Bu nedenle, bir malzemedeki manyetik alanın değerinin sadece manyetik alanın gücüne değil, aynı zamanda malzemenin özelliklerine de bağlı olduğu anlaşılabılır. Bu durumda malzeme sürekli bir mıknatıs haline gelmektedir.

Şekil 1.5'teki O_b veya O_e manyetik alan değeri, manyetik alan kuvvetinin ($H = 0$) sıfıra düştüğü zamandaki değeridir. Bu değerlere malzemenin kalıcı manyetizasy-onu (B_a) denir. O_c ve O_f manyetik alan şiddeti değerleri, malzeme zıt yönde doygunluğa ulaştıktan sonra manyetik alan değerini sıfıra indirmek için gereken zıt manyetik alan kuvvetidir. Çeşitli histerezis parametreleri yalnızca yapısal özellikler değildir, aynı zamanda parçacık boyutuna, etki alanı durumuna, strese ve sıcaklığa da bağlıdır. Histerezis parametresi partikül boyutuna bağlı olduğundan, doğal nu-munelerin manyetik partikül boyutunu ölçmek için kullanılabilir [5].



Şekil 1.5. Hysteresis eğrisi

1.2.6 Manyetik kuvvetler

Manyetik alan, mıknatısın manyetizma özelliği taşıdığı alandır. İçinden akımın geçtiği iletkenin etrafında bir manyetik alan (H) oluşur. Mıknatısın çevresinde

meydana gelen çizgiler mıknatısın o bölgede oluşturduğu manyetik alan çizgileridir. Manyetik alan çizgilerinin yönü kuzeyden güneye doğrudur.

Manyetik alan şiddeti ‘Gauss’, centimeter-gram-second olarak isimlendirilen CGS sisteminde manyetik alan şiddetidir. 1 Gauss; 1cm²’ye gelen Maxwell biriminde kuvvet olarak tanımlanmıştır. 1960’lı yıllardan sonra Uluslararası Ölçme Sistemi, International Unit System, SI sistemi kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu iki sistem arasında tam bir çevrim ilişkisi yoktur. İki sistem arasındaki ilişki ‘B’ olarak ifade edilen manyetik indüksiyon ya da manyetik akı oranına göre kurulmaktadır. Birim çevirisi şu şekildedir;

$H_{CGS}=H_{IS}(10^{-4})=1 \text{ Gauss} = 0,0001 \text{ Tesla}$ veya $1 \text{ Tesla}=10.000 \text{ Gauss}$ şeklindedir.

Bir manyetik alanın içine manyetiklik özelliğe sahip olan malzeme (mıknatıs) koyulursa manyetik alan şiddeti artar ve kuvvet çizgileri sıklaşır. Malzeme varlığından doğan ek manyetik alan artımına manyetik alan şiddeti (B) denir.

Malzemenin manyetik alan şiddetinin bağlı olduğu faktörler:

- Nem
- Sıcaklık
- Ortamdaki durumu
- Uygulanan alanın frekansı/sıklığı
- Mıknatıslayıcı alan

Boşlukta manyetik alan şiddeti formül 2.2’de görüleceği üzere,

$$B= \mu_0 \times H \quad [3] (2.2)$$

B: Manyetik alan şiddeti

μ_0 : Manyetik geçirgenlik sabitidir. (Henry/metre)(H/m)

H: Manyetik alan yoğunluğu (A/m)

Bir cisim manyetik alan içine koyulduğunda cismin endüklenmesi formül 2.3’te görüleceği üzere,

$$B = \mu_0 (H + M) \quad [3] (2.3)$$

şeklinde ifade edilir.

M: Mıknatıslanma şiddeti

$\mu_0 M$ manyetik kutuplaşmayı verir.

Formül 2.4 ve 2.5'te görüldüğü gibi eğer manyetik alan yoğunluğu küçük ise bir diyamıknatıs ya da paramıknatıstaki manyetizma şiddetinin mıknatıslamaya karşılığı yaklaşık olarak doğrusaldır.

$$M = X \times H \quad [4] (2.4)$$

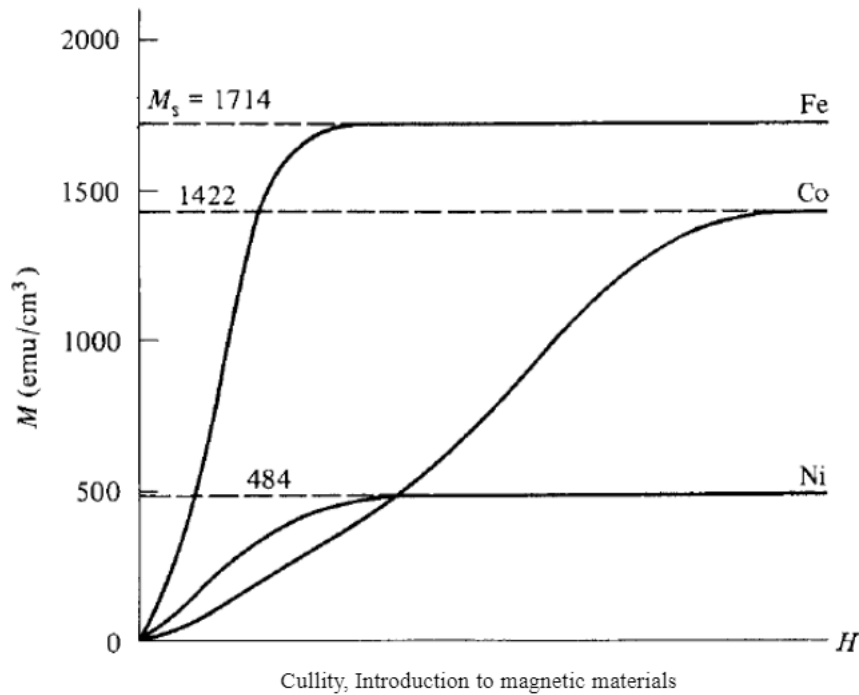
Bu orantı sabiti (X) manyetik duyarlılık olarak adlandırılır.

$$\mu_0 \times (H+M) = \mu_0 \times (1+X) \times H = \mu_0 \times \mu_T \times H = \mu \times H \quad [3] (2.5)$$

Ferromıknatıs gibi sağlam mıknatıslarda manyetizma şiddeti, manyetik alanla doğru orantılı değildir. Manyetik alan yoğunluğu sıfır olsa dahi genel olarak manyetizma sıfırdan farklıdır. Mıknatıslanma şiddeti M, doyum noktasına çok düşük manyetik alan şiddetinde ulaşır.

1.2.7 Manyetik duyarlılık

Ferromanyetik minerallerin mıknatıslanma eğrisi Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Eğrinin eğimi manyetik duyarlılık olarak bilinir.



Şekil 1.6. Ferromanyetik minerallerin mıknatıslanma eğrisi

Formül 2.6 ve 2.7’de görüldüğü üzere manyetik duyarlılık ve özgül manyetik duyarlılık aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$K=M/H \text{ ve} \quad [3] (2.6)$$

$$K_w=K/ \rho \quad [3] (2.7)$$

K_w : Özgül manyetik duyarlılık

K : Manyetik duyarlılık

ρ : Malzemenin yoğunluğu(g/cm^3)

1.2.8 Minerallerin manyetik duyarlılıkları

Doğada bulunan mineraller içerdikleri elementlerin miktarına ve türüne göre farklı manyetik özellik gösterir. Minerallerin sahip oldukları manyetik duyarlılık dereceleri üçe ayrılabilir:

1-Diyamanyetizm (zayıf mıknatıslık)

2-Paramanyetizm (kuvvetli mıknatıslık)

3-Ferromanyetizm (çok kuvvetli mıknatıslık)

Mineraller gösterdikleri mıknatıslık özelliklerine göre “diyamanyetik, paramanyetik veya ferromanyetik mineral” olarak isimlendirilir.

Manyetik duyarlılık ‘kütleli manyetik duyarlılık, χ , (m^3/kg)’ veya ‘hacimsel manyetik duyarlılık, K ’ olarak ifade edilir.

Diyamanyetik mineraller: Diyamanyetik malzemenin mıknatıslığı çok zayıf olup

manyetik duyarlılığı negatif (-) işaretlidir. Kuvars, kalsit, sfalerit, galen ve manyezit diyamanyetik minerallerdir.

Paramanyetik mineraller: Paramanyetik malzemeler pozitif (+) değerli ancak küçük manyetik duyarlılığa sahiplerdir. Rutil, ilmenit, götit, dolomit ve pirit paramanyetik minerallerdir.

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

Genellikle literatürde yukarıda yer alan sınıflandırma yerine aşağıdaki gibi bir sınıflandırma tercih edilir:

Kuvvetli manyetik mineraller: Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılarla zenginleştirilebilir. Ferromanyetik mineraller bu gruba girer.

Zayıf manyetik mineraller: Bu mineraller daha yüksek manyetik alan şiddetinde zenginleştirilebilir. Kuvvetli paramanyetik mineraller bu gruba dâhildir.

Manyetik olmayan mineraller: Bu mineraller konvansiyonel manyetik ayırıcılarla zenginleştirilemezler. Diyamanyetik mineraller ve çok zayıf paramanyetik mineraller bu grubun içindedir.

Çizelge 1.1. de kuvvetli manyetik minerallerin, zayıf manyetik minerallerin ve manyetik olmayan minerallerin kimyasal formülleri ile kütleli manyetik duyarlılıkları χ ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı minerallerin manyetik duyarlılıkları. [2]

	Mineral	Kimyasal formülü	Kütleli manyetik duyarlılık, χ ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
Kuvvetli Manyetik Mineraller	Demir	Fe	50.000'den 2.000.000'a kadar
	Manyetit	Fe_3O_4	20.000 - 50.000
	Pirotin	Fe_{1-x}S ($x=0-0,2$)	10 - 30.000
Zayıf Manyetik Mineraller	İlmenit	FeTiO_3	20 - 150
	Volframit	$(\text{Mn,Fe})\text{WO}_4$	35 - 120
	Hematit	Fe_2O_3	25 - 380
	Götite	FeOOH	26 - 280
	Limonit	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	10 - 40

Manyetik Olmayan Mineraller	Rutil	TiO ₂	1 - 5	Çizelge 1.1. (devam) Bazı minerallerin manyetik duyarlılıkla
	Zirkon	ZrSiO ₄	1,67	
	Kalkopirit	CuFeS ₂	0,6 - 10	
	Pirit	FeS ₂	0,3 - 20	
	Kalsit	CaCO ₃	-4,8	

rı. [2]

	Mineral	Kimyasal formülü	Kütlesel manyetik duyarlılık, χ (10 ⁻⁸ m ³ /kg)
Manyetik Olmayan Mineraller	Sfalerit	ZnS	-3,2
	Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	-1 - 41
	Kuvars	SiO ₂	-0,6

Çizelge 1.2.de seçilmiş bazı paramanyetik minerallerin 20°C'deki X_w özgül manyetik duyarlılığı gösterilmiştir. Bu değerler minerallerin safsızlığı ile yakından ilişkilidir.[7]

Çizelge 1.2. Paramanyetik minerallerin 20°C'deki X_w özgül manyetik duyarlılığı.

Paramanyetik mineraller	Manyetik duyarlılığı X _w ,cm ³ /g	Paramanyetik mineraller	Manyetik duyarlılığı X _w ,cm ³ /g
Geothit FeOOH	250-380x10 ⁻⁶	Malakit Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	100-200x10 ⁻⁶
Hausmanit Mn ₃ O ₄	500-760x10 ⁻⁶	Monazit(Ce,La,Dy)PO ₄	120-250x10 ⁻⁶
İlmenit(Fe,Mn)TiO ₃	200-1500x10 ⁻⁶	Siderit FeCO ₃	380-1500x10 ⁻⁶

Limonit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	250- 760x10 ⁻⁶	Wolframit $(\text{MnFe})\text{WO}_4$	380- 1200x10 ⁻⁶
--	------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

Manyetik ayırma ile zenginleştirmeyi kontrol eden en önemli kuvvet manyetik kuvvettir ve diğer kuvvetler de ayırma sürecini etkiler. Manyetik ayırmaya etki eden kuvvetlerin etki büyüklüğüne göre sıralaması aşağıdaki gibidir:

- i. Manyetik kuvvetler (F_m),
- ii. Yerçekimi, merkezkaç, sürtünme ve atalet kuvvetleri,
- iii. Taneler arası itici veya çekici elektrostatik kuvvetler.

Manyetik ayırmada uygulanan F manyetik kuvveti;

Bu kuvvet manyetik alan içindeki malzemeye x , y ve z eksenleri boyunca etki edecektir. Manyetik alan tarafından bir cisim üzerinde oluşturulan manyetik kuvvetin x eksenini için vektörel eşitliği formül 2.8’de görüldüğü gibi ;

$$F_x = V(K_s - K_m)[H_x \times (\partial H_x / \partial x) + H_y \times (\partial H_y / \partial y) + H_z \times (\partial H_z / \partial z)] \quad [8] \quad (2.8)$$

F_x = Manyetik kuvvet (N)

V = Hacim (cm^3)

K_s = Cismin manyetik duyarlılığı

K_m = Ortamın manyetik duyarlılığı

H = Manyetik alan yoğunluğu (A/m)

$V(K_s - K_m) = (\partial H_x / \partial x) = \text{Manyetik alan gradyanı (A/m}^2\text{)}$

Manyetik alan şiddetinin değişim oranına gradient adı verilir. Bu ifadeden anlaşılmaktadır ki malzemeye etki eden kuvvetin artırılması için matris yüzeyinde oluşturulacak manyetik akı şiddetinin artırılması tek başına yeterli değildir. Bu manyetik alanın gradyanının de olabildiğince yüksek olması gerekmektedir. Kullanılan matriks ile bu gradyanı artırılması amaçlanmıştır.

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılardaki gibi eğer (matriks) ferromanyetik ortam kullanılıyorsa oluşan manyetik kuvvetlerin ifadesi de değişir.

Bizim sistemimizde manyetik kuvveti etkileyen bir de matriks malzememiz kullanılmıştır. Bundan dolayı gradyan daha da artacaktır. Kullandığımız

ferromanyetik ortam bir küre olduğu için, formül 2.9’da görüldüğü gibi manyetik kuvvet:

$$F_m = (8\pi^2/3) \times d_m^3 \times (K_s - K_m) \times (\mu/\mu_0) \times (H + (8\pi/3) \times \mu) \quad [8] (2.9)$$

Burada,

F_m : Manyetik kuvvet (N)

d_m : Mineralin küre çapı (m)

μ_0 : Kullanılan matrisin çapı

K_s : Mineral tanesinin manyetik duyarlılığı

K_m : Ortamın manyetik duyarlılığı

1.2.9 Diğer kuvvetler

Manyetik alanın oluşturduğu çekim kuvvetlerinin dışında manyetik ayırıcılarda çekim kuvvetine karşı koyan kuvvetler de mevcuttur. Bunlardan yerçekimi kuvveti, hidrodinamik sürüklenme (drag force) kuvveti ve merkezkaç kuvvetlerinin manyetik ayırmada önemli bir yeri vardır.

Manyetik ayırıcılarda küresel bir mineral parçası üzerinde etkili olan yerçekimi kuvveti formül 2.10’da verilmiştir:

$$F = (\pi/6) d_m^3 (\rho_s - \rho_f) g \quad [8] (2.10)$$

F =Yerçekimi kuvveti (N)

d_m =Mineral parçasının çapı (m)

ρ_s =Mineral parçasının yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_f = Mineral parçasının içerisinde bulunduğu ortamın yoğunluğu (kg/m^3)

g =Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Hidrodinamik sürüklenme kuvveti Stoke kanununa göre Laminar akış için formül 2.11’de görüldüğü gibi;

$$F_d = 3\pi d_m V \mu \quad [8] (2.11)$$

F_d =Hidrodinamik sürüklenme kuvveti (N)

d_m = Mineral tanesinin çapı (m)

V = Mineral tanesinin sıvı ortama göre hızı (m/sn)

μ = Akışkanın viskozitesi (kg/m.sn)

Eşitlik 2.10'da da görüldüğü gibi yerçekimi kuvveti mineral tanesinin çapının küpü ile orantılıdır ve özellikle iri taneler üzerinde çok daha fazla etkilidir. Hidrodinamik sürüklenme kuvveti tane çapıyla doğru orantılıdır ve iri taneler için daha fazla etkilidir. Bu durumda, iri tanelerin manyetik ayırmasının yapıldığı kuru manyetik ayırıcılarda manyetik kuvvetler yerçekimi kuvvetini yenmelidir. Daha çok ince tanelerin manyetik ayırmasının yapıldığı yaş manyetik ayırıcılarda ise hidrodinamik sürüklenme kuvvetine manyetik kuvvetlerin karşı koyması gerekir.

1.3 Sürekli Mıknatıs Çeşitleri

Sürekli mıknatısların gelişimi ile manyetik ayırıcılardaki en önemli gelişmelerin gerçekleştiği bilinmektedir. 1880'lerden beri sürekli mıknatıs malzemeleri tungsten çeliğinden üretilirken, 1920'li yıllarda krom çeliği, 1930'lu yıllarda Co-Pt ve Fe-Pt, 1960'larda AlNiCo alaşımları ve 1980'lerden sonra Nd-Fe-B alaşımlarını sürekli mıknatıs olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Sürekli mıknatıslar manyetik ayırıcıların yanı sıra elektrik, mekanik, elektronik elektromekanik, atık su temizleme, jeneratör, motor, rüzgar gücü jeneratörleri, klima kompresörleri gibi cihazlarda da kullanılmaya başlanmıştır [9]. Bu denli geniş bir kullanıma sahip oldukları için özellikle NdFeB mıknatısların dünya genelinde kullanımının beş yıl öncesine oranla ton bazında iki katına çıkabileceği ön görülmektedir. [11]

Sürekli mıknatıslar, kimyasal bileşenlerine ve yapılış teknolojilerine göre metal ve seramik grupları olarak ayrılırlar. En yaygın olarak kullanılanlar, AlNiCo mıknatıslar, ferrit mıknatıslar, samaryum kobalt alaşımlı mıknatıslar ve nadir toprak elementli mıknatıslardır.

1.3.1 AlNiCo mıknatıslar

Alnico (Aluminyum-nikel-kobalt alaşımı) mıknatıslar %40 oranında Co içerdikleri için fiyatları demirli mıknatıslara göre daha pahalıdır ve en fazla 500 °C'ye kadar

kullanılabilmektedirler. Toz metalürjisi ya da döküm teknolojisi yöntemiyle üretilmektedirler. Bu mıknatıslar çok serttir ve kırılganlıkları oldukça yüksektir. Bu mıknatısların üretim yöntemleri sıvı alaşımların dökümü veya metal tozların sıkıştırılması ile sınırlı olmaktadır. Üretim teknolojisinde uygulanan ilk işlem Al-Ni-Fe-Co malzemelerinin etrafını saran ince manyetik tanelerin sıcaklık ile çökmesini sağlamaktır. Mıknatıslar üretildikten sonra yüksek koersiviteye sahip olurlar ve eş yönsüz olarak şekillendirilmiş hale gelirler. AlNiCo mıknatısların eş yönlü ya da eş yönsüz olması, şekil verme süreci boyunca manyetik tanelerin yönlendirilip yönlendirilmemelerine bağlıdır [11,12].

1.3.2 Ferrit mıknatıslar

Ferrit mıknatıslar, sürekli mıknatıslar içinde en ucuzlarıdır ve mıknatıslık özelliğini uzun süre sürdürebilmektedirler. Kimyasal yapıları $Ba(Fe_2O_3)$ şeklinde olan ferrit mıknatıslarda baryumun yerini stronsiyum veya kurşun alabilmektedir. En fazla $250^{\circ}C$ 'ye kadar kullanılabilmektedirler. Bu mıknatıslar demir oksit tozları kullanılarak üretilirler. Bu tozlara kristal kafes yapısını geliştirmek için baryum ya da stronsiyum-dan herhangi biri kimyasal yapıya eklenir. Formülü $Mn(Fe_2O_3)$ olmaktadır. (M: Ba veya Sr'dir ve n:5,8-6 arasında olan bir katsayıdır). Baryum veya stronsiyumun herhangi biriyle uygun oranda karıştırılmasıyla beraber Fe_2O_3 bileşiminin üretim süreci başlar. Meydana gelen karışım $1000-1350^{\circ}C$ arasında ısıtılarak toz haline getirilir ve sonra öğütülerek pudra halini alır. Eş yönlü mıknatıslar pudra tanelerinin istenilen şekilde kurutulup pres yöntemiyle sıkıştırılması yoluyla üretilirler. Daha sonra $1100^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtılarak kütle haline getirilirler. Eş yönsüz ferrit mıknatısların üretim yöntemi ise tane boyutu yaklaşık $1\mu m$ olan parçacıkların kullanılmasıyla gerçekleşir. Su ile birlikte toz partikülleri karıştırılır. Bu karışım sıkıştırıldıktan sonra katılaşır ve son halini alır. Sert ferrit mıknatıslar, diğer mıknatıs malzemelere göre çok ucuz olmaları sebebiyle oldukça geniş uygulama alanına sahiplerdir. Sert ve kırılgan olmalarına rağmen korozyona karşı önemli ölçüde direnç gösterirler. Bunlar, seramik mıknatıslar olarak bilinmekte ve manyetik akı yoğunlukları, koersif kuvvet-leri, mıknatıslığının sönümlenmesine karşı gösterdikleri direnç oldukça yüksektir.

AlNiCo mıknatıslara göre akı yoğunlukları daha azdır. Zayıf yapısal karakteristikleri vardır ve enerji üretimi diğer mıknatıslara göre oldukça düşüktür. Buna karşın, mıknatıslar içerisinde en hafif olanlarıdır [11].

1.3.3 Samaryum-kobalt alaşımlı sürekli mıknatıslar

Co bileşimli mıknatısların içerisinde samaryum-kobalt alaşımlı mıknatıslar en yaygındır. Kendi içlerinde SmCo₅ ve Sm₂Co₁₇ olarak iki gruba ayrılırlar ve en son ürün olan Sm₂Co₁₇ alaşımları daha fazla gelişmiştir. Son günlerde, SmCo alaşımlarına en az bir adet nadir toprak elementi katmak mümkün hale gelmekte, böylece çalışma sıcaklığı 500 °C'ye gelebilmektedir. Samaryum doğada az bulunmaktadır ve pahalıdır. Bu durum, SmCo mıknatısların üretim ve kullanımını sınırlandırmaktadır.

1.3.4 Nadir toprak elementli mıknatıslar

Sürekli mıknatıslığa sahip malzemeler artık doğada nadir bulunan bir malzeme kategorisi olmasına rağmen, günümüzde özellikle nadir toprak elementleri, lantanitler ve bazı metal olmayanlar ile mıknatıslanabilir malzemeler olarak metal alaşımları yüksek performans gerektiren alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Son yıllarda en yaygın olarak kullanılan sürekli mıknatıslar, neodyum demir boron mıknatıslar veya kısaca neodimyum mıknatıslardır. Bu tetragonal mıknatısların kimyasal formülü Nd₂Fe₁₄B'dir. Uygulamada manyetik özelliklerini belirleyen faktörler alaşım bileşimi, mikroyapı ve üretim yöntemidir. Nadir toprak mıknatısları, SmCo mıknatısları ve NdFeB mıknatıslarını içerir. Nadir toprak olmayan mıknatıslar maliyetle ilgili uygulamaların çoğunda kullanılsa da, nadir toprak mıknatısları büyük bir maksimum enerji çarpanına sahiptir. Günümüzde nadir toprak elementleri içeren onlarca manyetik malzeme geliştirilmiştir.

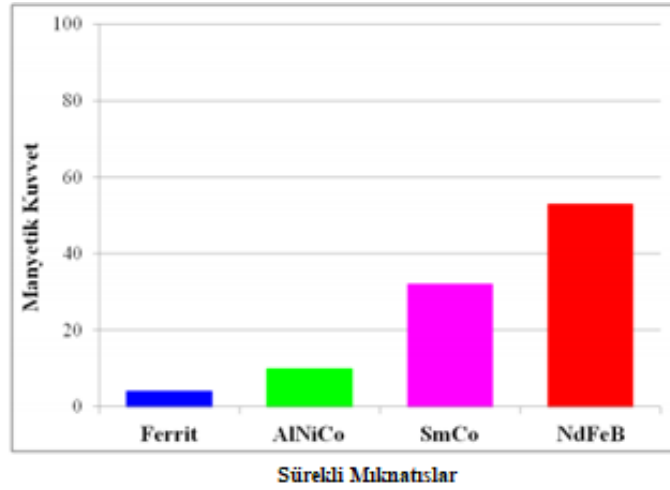
SmCo ve NdFeB mıknatıslar, farklı uygulama alanlarında çok sık kullanılmaya başlayan iki ana nadir toprak mıknatıs ailesidir. SmCo mıknatısların giderici kuvveti, seramik mıknatısların giderici kuvvetine göre 35 kat daha fazladır.

AlNiCo ve seramik mıknatıslar SmCo ve NdFeB mıknatıslara göre genellikle daha gelişmiş fiziksel özelliklere sahiptir. Isıya en dayanıklı mıknatıstır.

AlNiCo mıknatıslar ve seramik mıknatıslar karşın üretim yönteminin kolaylığı açısından neodyum demir bor mıknatıslar en iyi mıknatıslardır. Bu mıknatısların

yüksek enerji üretimi ve manyetik akı yoğunluğu, NdFeB mıknatısların yüksek performans gerektiren servo uygulamalarında kullanımına olanak sağlamıştır. Üretim maliyeti düşük olmasına rağmen korozyon direnci zayıftır. Bu nedenle bazı özel uygulamalarda mıknatısın yüzeyi epoksi reçine gibi manyetik olmayan bir malzeme ile kaplanır. Isı direnci samaryum kobalt mıknatıslarından daha düşüktür. Genel olarak bakıldığında nadir toprak sürekli mıknatıslarının koersif kuvveti ferrit ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Son dönemde neodyum mıknatısların manyetik değeri AlNiCo ile karşılaştırılabilir bir değere ulaşmıştır. Tüm bu özelliklerin sonucunda enerji çarpım değeri, diğer tüm mıknatıslardan çok daha üstünlük göstermektedir [11].

Şekil 1.7.'de sürekli mıknatıslar kuvvet karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 1.7.Sürekli mıknatıslar kuvvet karşılaştırması [13]

1.4 Mıknatısların Manyetik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Bir mıknatısın performansı, çalıştığı çevresel koşullarla doğrudan ilişkilidir. Bu koşullar, manyetik alan düzeyinde mıknatıs malzemesi üzerinde aşağıdaki etkilere sahip olacaktır.

- Her manyetik bölgede bulunan atomların enerji seviyelerindeki değişiklikler
- Manyetik alanın boyutunu, dizilim veya yönü değişimi
- Ardışık manyetik bölgeler arasındaki geçirgenlik değişimi.

Yukarıda bahsedilen tüm durumlar, malzemelerde sürekli değişikliklere neden olacak metalurjik değişikliklerdir. Bu mıknatıslar yeniden manyetizasyon ile geri yüklenemez [14].

1.4.1 Değişim tipleri

Değişim tipleri manyetik alandaki olası değişiklikler 3 farklı kategoriye ayrılabilir. Bunlar; tersine çevrilebilir, yeniden mıknatıslanabilir ve geri döndürülemez veya geri döndürülemez değişimlerdir. Tersinir değişiklikler; çevresel koşullar var olduğu sürece değişiklikler olacaktır. Örneğin belirli bir sıcaklıktaki bir ortama bir mıknatıs yerleştirildiğinde manyetik alan şiddeti azalacaktır. Ancak çevre koşulları eski haline getirildiğinde mıknatıs normale döner. Yeniden manyetize edilebilir değişimler; bir öncekinde olduğu gibi ortam şartlarına geri döndüğünde otomatik olarak eski özelliklerini kazanmamaktadır. Ancak, mıknatısın yeniden manyetize edilmesiyle özelliklerini geri kazanmaktadır. Örneğin, bir mıknatıs kullanıldığı yerden çıkarılıp manyetik bir devreye yerleştirildiğinde manyetik mukavemette kayıplar meydana gelmektedir, yeniden manyetizasyonla geri dönüşüm gerçekleşebilmektedir.

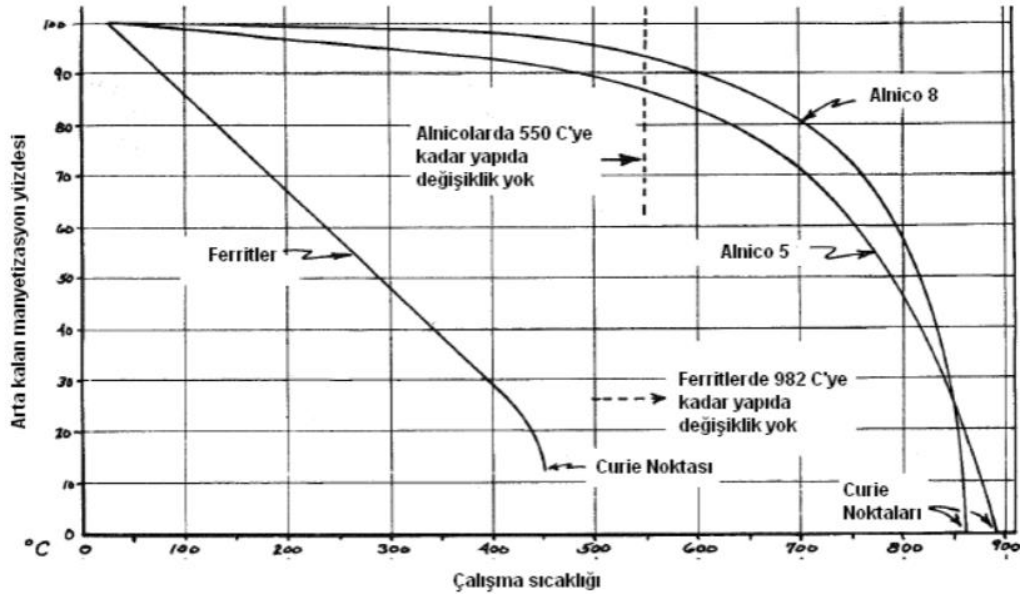
Geri dönüşü olmayan veya tekrardan manyetize olmayan değişimler, performans kaybına neden olan çevresel koşullar ortadan kaldırılrsa dahi kalıcı bir değişim meydana gelmektedir. Yeniden manyetizasyon veya benzer yöntemlerle özellikleri geri kazanmak mümkün değildir. Bu değişikliğe bir örnek, malzemenin Curie sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta tavllanması ve soğutma sırasında herhangi bir alan uygulanmamasıdır. Tavlama, manyetik bölgeler arasındaki geçirgenliği ve bu bölgelerin yönelimini değiştirme etkisine sahiptir [14].

1.4.2 Çevresel faktörler

Zaman, sıcaklık, titreşim, şok, mekanik stres, yapay temas, nükleer radyasyon, dış manyetik alan, manyetik geçirgenlik değişikliği vb. çevresel faktörler manyetik özelliklerde değişikliklere neden olur. Zamanın etkisi; herhangi bir manyetik malzeme zamana bağlı olarak yeniden manyetize edilebilir ve manyetize edilemez değişikliklere uğrayabilir. Termal ve/veya manyetik enerji dalgalanmaları nedeniyle daha az kararlı manyetik bölgeler yeniden düzenlendiğinde, yeniden manyetize edilebilir bir değişiklik meydana gelir. Mıknatıs sıcaklık yönüyle kararlı bile olsa bu koşul karşılanabilir. Kararsız manyetik alan azaldıkça demanyetizasyon etkisi de azalır. Bu fenomene "etki sonrası", "manyetik sürünme", "normal zaman değişimi", "gevşeme etkisi" veya "manyetik viskozite" denir. Birçok çalışmadan sonra, soft manyetik malzemelerin manyetik viskozitesinin, sürekli manyetik malzemelerden

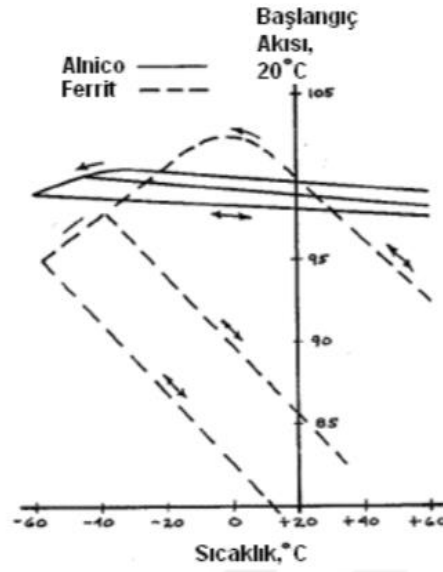
daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Manyetik özelliklerdeki değişim malzemeden malzemeye değişir.

Sıcaklığın etkisi, çalışma sıcaklığı ve ortam sıcaklığı olmak üzere iki yönden bakılması uygun olmaktadır. Ferrit mıknatıslar, 450 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda tersine çevrilebilir şekilde değişmektedir. Öte yandan, 450 °C ile 982 °C arasında yeniden manyetize edilebilir bir değişiklik, 982 °C'nin üzerinde ise önemli bir yapısal değişiklik meydana gelir ve geri dönüşü olmayan bir değişiklik meydana gelir. 450 °C üzerindeki ferrit mıknatıslar, manyetizmalarını tamamen kaybettikleri için kullanılamazlar. Sıcaklık arttıkça, manyetik özelliklerin lineer azalması tasarım sorunlarına neden olabilir. Şekil 1.8, çalışma sıcaklığının ferrit ve AlNiCo mıknatıslar üzerindeki genel etkisini göstermektedir.



Şekil 1.8. Ferrit ve Alnico mıknatıslarına ait çalışma sıcaklık etkileri [14]

Ortam sıcaklığı da yukarıdaki üç tür değişikliğe neden olmaktadır. Mıknatısın kritik sıcaklığının yapısal değişikliklerin meydana geldiği sıcaklıktır. Şekil 1.9, yüksek ve düşük sıcaklıklarda ferrit ve AlNiCo mıknatısların manyetik akı değişikliklerini göstermektedir. Buradan ferrit mıknatısların sıcaklığa AlNiCo mıknatıslardan daha duyarlı olduğu görülebilir.



Şekil 1.9. Ferrit ve Alnico mıknatısların sıcaklığa bağlı değişimleri. [14]

1.5 Manyetik Ayırma Yöntemleri

Manyetik ayırma; kullanılan ayırıcının alan şiddetine göre ‘düşük’ ya da ‘yüksek’, uygulanan yöntemle göre de ‘yaş’ veya ‘kuru’ manyetik ayırma olarak sınıflandırılabilir. Düşük alanlı manyetik ayırıcılar genellikle manyetik özelliği yüksek minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılırlar.

Etkin bir manyetik ayırma için manyetik kuvvetin büyüklüğü diğer kuvvetlerin toplamından büyük olmalıdır ($F_{\text{manyetik}} > F_{\text{diğer}}$). Ortamın hava veya su olmasına göre ve uygulanan manyetik alanın düşük veya yüksek olmasına göre dört tip manyetik ayırmadan söz edilebilir. Manyetik alan şiddeti birimi Tesla(T)’dır. Manyetik ayırma yöntemleri ve uygulama tane boyu aralıkları aşağıdaki Çizelge 1.3’te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Manyetik Ayırma Yöntemi ve Uygulama Tane Boyutu (mm)

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

Yüksek alan şiddetli ayırma (Yaş)	0,005-0,5
-----------------------------------	-----------

Manyetik ayırıcılar “düşük alan şiddetli”, “yüksek alan şiddetli” ve bunların da “kuru” ve “yaş” olarak ayrılmaktadırlar.

- Manyetik alan şiddeti 500-5000 Gauss: Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar olarak adlandırılır.
- Manyetik alan şiddeti 5000-10.000 Gauss: Orta alan şiddetli manyetik ayırıcılar olarak adlandırılır.
- Manyetik alan şiddeti >10.000 Gauss: Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar olarak adlandırılır.

Son 50 yıl içerisinde endüstride yaygın olarak kullanılan manyetik ayırıcı tipleri manyetik alan şiddeti, çalışma ortamı, uygulama tane boyutuna göre Çizelge 1.4.’te gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Manyetik Ayırıcı Tipleri [15].

Manyetik Ayırıcı Tipi (Üretici Firma Adı)	Manyetik Alan Şiddeti (Max.Gauss*)	Çalışma Ortamı (Yaş/Kuru)	Uygulama Tane Boyu (mm)	Endüstriyel Uygulama Alanları
JONES (HWedag)	17 000	Yaş	1-0,020	Hematit, limonit, götit, siderit, kromit, nilkel, çinko ve seramik hammaddeleri.
PERMOS (HWedag)	6 000	Yaş/Kuru	10-0,100	Kömür yıkama tesislerinde manyetitin geri kazanılması, hematit, götit vs. zenginleştirme.
GTML (HWedag)	15 000	Kuru	12-0,500	Manyezit, silikon karbit, refrakterler ve korendom zenginleştirmede.
CAROUSEL (Metso, Eriez)	15 000	Yaş	-1+0,001	Galen, refrakter malzemeler, fosfat, sfalerit, kaolen ve seramik killerin zenginleştirilmesinde
CYCLIC (Metso)	20 000	Yaş	-1+0,001	Kaolen, galen, kalkopirit, sfalerit, silis kumu, kömür, fosfat, seramik hammaddeleri.
CARPCO (----)	17 000	Kuru	-1+0,100	Eskiden endüstriyel minerallerin ve sahil kumlarının zenginleştirilmesi için kullanılmıştır.
GILL (-----)	14 000	Yaş	-1+0,010	Eskiden sahil kumlarının zenginleştirilmesi için Avustralya'da kullanılmıştır.
KRUPP SOL (----)	17 000	Yaş	1-0,020	Eskiden hematit, limonit, kromit gibi minerallerin zenginleştirilmesi için kullanılmıştır.
ROCHE WHIMS (Roche)	20 000	Yaş	-1+0,010	Sahil kumlarının zenginleştirilmesi için uygulamaları vardı.
SLON (Outotec)	15 000	Yaş	-1,3+0,005	Demir cevherleri, ilmenit, manganez, kromit, silis kumu ve feldispatların zenginleştirilmesi.
CRYOFILTER (Outotec)	50 000	Yaş	-0,5+0,000	Koloidal tanelerin ve kaolenin saflaştırılması (beyazlaştırma).
FERROUS WHELL (Eriez)	15 000	Yaş	-1,3+0,005	Demir cevherleri, ilmenit, manganez, kromit, silis kumu ve feldispatların zenginleştirilmesi
PYROMAG (Outotec)	2 500	Eriyik	-	Demir-Çelik ve izabe tesislerinde eriyikten kül, karbon, cüruf ayrımı.
PERMROLL (Bateman, Eriez)	21 000	Kuru	50 – 0,075	Manyezit, elmas, boksit, kromit, hematit, limonit ve diğer endüstriyel hammaddeler için.
REMS (yurt içi ve yurtdışı pek çok firma)	21 000	Kuru	50-0,075	Manyezit, elmas, boksit, kromit, hematit, limonit, şamot, şiferton, asbest, kireçtaşı, talk, bentonit, ilmenit, feldispat zenginleştirme.
Manyetik Filtre (Metso)	15 000	Yaş	-1 +0,005	Boru içerisinden akan muhtelif manyetik minerallerin tutulması.
Eddy-Akımlı Ayırıcı (Eriez)	15 000	Kuru	100+0,1	Geri dönüşümlü, metalik veya metalik olmayan maddelerin birbirinden ayrılmasında. alüminyumun geri kazanılmasında

1.6 Manyetik Ayırıcılar

Manyetik ayırıcıların kullanım alanları;

- Zenginleştirme / ayırma amaçlı kullanım
- Geri kazanım amaçlı kullanım
- Ekipmanları Koruma amaçlı kullanım

Manyetik Manyetik ayırıcıların en geniş kullanım alanı zenginleştirme / ayırma amaçlı kullanım olup başta manyetit cevheri olmak üzere, nadir toprak elementleri,

nikel, elmas, krom, kil ve kil gibi minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [15]. Cevherlerin manyetik ayrımında, ayrımı sağlayan taneciklere etki eden manyetik kuvvettir. Manyetik kuvvetin büyüklüğü yalnızca manyetik alan şiddetine değil, manyetik alan şiddetinin değişim oranı, yani, manyetik alan gradyanının büyüklüğüne de bağlıdır. Bu yüzden yüksek seçimlilikte bir ayırım yapabilmek için en etkin olan manyetik alan şiddeti ve alan gradyanının en yüksek manyetik kuvvet değerini belirleyecek şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Düşük manyetik duyarlığa sahip cevherlerin zenginleştirilmesini gerektiren sistemlerde ve ince tane boyutlarında yapılan ayırımlarda yüksek manyetik gradyan değerleri manyetik alan şiddetinden daha yüksek öneme sahip olmaktadır. Bu nedenle yüksek gradyanlı manyetik ayırıcıların gerek kullanım alanlarının çeşitliliği gerekse manyetik ayırıcı dizaynında yapılan geliştirme çalışmaları hızla artmaktadır.

Manyetik ayırıcıların geri kazanım amaçlı kullanımında en başta akla gelen ağır ortam esaslı kömür yıkama tesislerindeki ferrosiklon veya manyetit geri kazanılma durumudur. Ağır ortamla çalışan kömür yıkama tesislerinde, ağır ortam oluşturuca olarak kullanılan toz manyetit tambur tipi düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar ile geri kazanılmaktadır. Genellikle 5000 Gauss'un altında bir manyetik alan şiddeti yaratan bu ayırıcılar ile manyetit / ferrosilikon çok az kayıpla geri kazanılabilmektedir. Geri kazanım amacıyla gerçekleştirilen bir başka uygulama ise katı atıklardan demirli parçaların endüstriyel atıklardan geri kazanılma durumudur. Özellikle geri dönüşüm sanayisinde demirli parçaların paramanyetik veya diamanyetik malzemelerden ayrılması için kullanılmaktadırlar.

Manyetik ayırıcılar, cevher hazırlama tesislerinde ocaktan gelen cevherin kırıcılardan önce cevhere karışan metal parçaların tesisteki ekipmanlara zarar vermesini önlemek amacıyla koruyucu olarak da kullanılmaktadır.

Manyetik ayırıcılar bu kullanım alanları dışında; gıda, ilaç, kimya, cam, çevre ve tekstil işleri gibi alanlarda da kullanılabilmektedir. Bir örnek vermek gerekirse, son yıllarda kolloidal çamurlu sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması için yüksek alan şiddetli ve yüksek alan gradyanlı manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır.

Kullanılış yeri ve amacına bağlı olarak farklı şekillerde üretilen manyetik ayırıcılarda aranan ortak özellikler:

- Bir nokta ya da bir yüzeyde toplanabilen manyetik alan,

- Manyetik alan şiddetinin kolay ayarlanabil kabiliyeti,
- Mineral tanelerinin düzgün bir akışla manyetik ayırıcıya beslenebilmesi,
- Mineral tanelerinin manyetik alandan hızlarının kolayca ayarlanabilmesi,
- Manyetik olmayan tanelerin manyetik salkımlar arasında kalmasının önüne geçilmesi,
- Ara ürün gerektiren sistemlerde ara ürünün kolaylıkla alınabilmesi,
- Makinenin mekanik bölümlerinin aşınmaya karşı dayanıklı olmasıDüşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar

Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar çoğunlukla koruyucu olarak kullanılmaktadır. Koruyuculuğun dışında yüksek manyetik duyarlılığı olan minerallerin diamanyetik tanelerden uzaklaştırılması amacıyla yaygın olarak tercih edilirler.

i-Bant tipi manyetik ayırıcı: Besleme boyutu maksimum 300 mm'ye kadar çıkabilir. Ayırma alt boyutu genellikle 0,5 mm'nin üstündedir. Bant hızı 2 m/sn'dir. Saatlik kapasiteleri 400 tona kadar çıkabilir. (Şekil 1.10)



Şekil 1.10. Düşük alan şiddetli bant tipi kuru manyetik ayırıcı

ii-Tambur tipi kuru ayırıcılar: Standart hızlı (ortalama 20-45 devir/dk) ya da yüksek hızlı (ortalama 40 – 200 devir/dk) olarak çalıştırılabilirler. Yüksek hızlı kuru manyetik tamburlar, 0,8 mm veya daha ince malzemeden yoğunlaştırılmış bir malzeme elde edilmesi, kuru manyetik konsantrenin elde edilmesi ve manyetik içerikli malzemenin baca tozlarından geri kazanılması maksadıyla kullanılmaktadırlar. Cevherin nem içeriği %5'i geçmemek şartıyla manyetit, franklinit, lōsit gibi ferromanyetik minerallerin ön zenginleştirmesi de tambur tipi ayırıcıların farklı bir kullanım alanıdır. Besleme boyutu 25 mm ile 0,1 mm arasında

değişmektedir ve kapasiteleri tambur çapına bağlı olarak saatte 200 tona kadar çıkarılabilir. (Şekil 1.11)



Şekil 1.11. Tambur tipi manyetik ayırıcı (pilot ölçek)

1.6.1 Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar

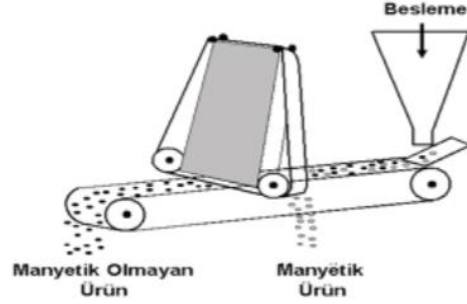
Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıların endüstriyel ölçekte en geniş kullanım alanına sahip olanları; endüklenmiş silindirli manyetik ayırıcılar, çapraz bantlı manyetik ayırıcılar ve döner manyetik ayırıcılardır. Endüi silindirli manyetik ayırıcılar, elektromıknatıs kutuplarının arasına yerleştirilmiş ve yumuşak çelikten imal edilmiş silindirlerin endüklenmesi ile yüksek alan şiddeti oluşturmakta ve bu sayede zayıf manyetik özellik gösteren minerallerin ayrılmasını sağlamaktadırlar. Bu tür ayırıcılar demirli safsızlıkları feldpat, cam kumu, kil, barit ve diğer refrakter malzeme içerisinden ayırmada, ayrıca monazit, kromit, ilmenit, ve volframit gibi zayıf manyetik özellik gösteren minerallerin zenginleştirilmesinde de kullanılırlar.

Silindir sayıları kapasite ve elde edilmek istenen ürünlerin ayırma hassasiyeti değişkenliklerine göre seçilmektedir. Endüstriyel ölçekte üretilen yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılarda manyetik alan şiddeti genellikle 18.000 Gauss olup, 10 meşten daha ince malzeme ile çalışırlar. Silindir çapları 65-130 mm arasındadır. Silindir eni 2 metreye kadar çıkabilmekte ve saatte 20-40 kg cevher zenginleştirmeye tabi tutulabilmektedir [16].

i-Çapraz bantlı manyetik ayırıcılar:

Çapraz bantlı manyetik ayırıcılarda, zenginleşmeye tabi tutulacak malzemenin tabaka kalınlığı düşük olacak şekilde bant yüzeyinde olmasına özen gösterilmelidir. Bant elektromıknatısların kutupları arasından döküş ucuna doğru ilerler. (Şekil 1.12) Elektromıknatısların bantın üstünde bulunan kutupları manyetik akının daha yoğun şekilde cevher taneleri ile temasını sağlamak amacı ile sivri şekilde imal edilmekte

ve daha yüksek manyetik alan şiddetine sahiptirler. Daha yüksek manyetik özellik gösteren mineraller bu kutuplara doğru çekilir ve ayırım gerçekleştirilmiş olur. Endüstriyel ölçekte kullanılan ayırıcılar ortalama 10-30 kg/saat cevher işleyecek kapasitededir. Kapasiteyi etkileyen faktörler; manyetik ayırıcıların besleme bandının ve çapraz bantların hız ve genişlikleridir.[16]



Şekil 1.12. Çapraz bantlı manyetik ayırıcı

ii-Döner diskli manyetik ayırıcılar:

Gerek yapı gerekse çalışma prensipleri olarak çapraz bantlı manyetik ayırıcılara benzerler ancak çapraz bantların yerine döner diskler bulunmaktadır. (Şekil 1.13) Çapraz bantlı ayırıcılara göre en önemli üstünlükleri disklerin besleme bandına çok daha fazla yaklaştıracabilmeleri ve bu mesafenin her disk için ayrı ayrı ayarlanabilmesi kolaylığıdır. Endüstriyel ölçekte üretilen manyetik ayırıcılar ortalama 8000-10000 Gauss manyetik alan şiddetine sahiptirler.



Şekil 1.13. Döner diskli manyetik ayırıcı

Endüstriyel nadir topraklı kalıcı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların (REMS) girmesi sonrasında döner diskli, endü silindirli ve çapraz bantlı yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar kullanımı çok azalmıştır.[15]

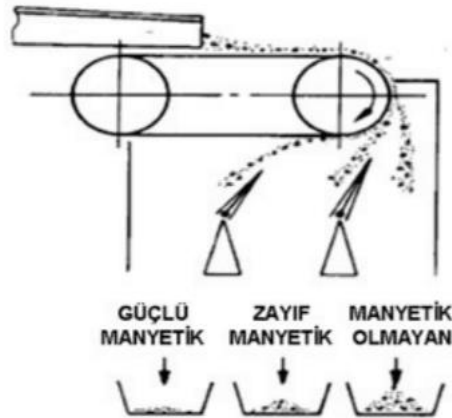
Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar alanında yakın tarihte meydana gelen en önemli gelişme nadir toprak elementi kobalt ya da Fe/Nd/B alaşımı ile üretilen

mıknatıslardır. Yüksek alan şiddetli (max=12.000 gauss) Fe/Nd/B mıknatıslı ayırıcılar ile manyetik ayırmanın uygulandığı tane boyutu mikron mertebelerine kadar düşmüştür. Paramanyetik maddelerin zenginleştirilmesinde ya da safsızlıkların uzaklaştırılmasında da kullanılan bu ayırıcılar düşük ilk yatırım masrafı, hafifliği ve az yer kaplaması sebebiyle endüstride geniş kullanım alanı bulmaktadır [26].

Çeşitli firmalar değişik isim ve tasarım yaklaşımlarıyla daha yüksek manyetik alan gradyanı elde etmeye çalışmışlardır:

- Permroll: Ore Sorters International (OSI)
- Magnaroll: Boxmag Rapid (U.K.)
- Rollmag: Raoul Lenoir (Fransa)
- Permos: KHD Humboldt Wedag
- High Force: Inprosys tarafından üretilmektedir.
- Roll: Eriez (USA)
- Rollap: Fives Cail Babcock (Fransa)

Genellikle en fazla kullanılan başka bir tipi Permroll manyetik ayırıcısıdır ve bu ayırıcının çalışma prensibi Şekil 1.14'te verilmiştir.



Şekil 1.14. RE (Rare-Earth) manyetik ayırıcısının çalışma prensibi

Yüksek alan şiddetli Permroll manyetik ayırıcısı ortalama 40 devir/dakika - 500 devir/dakika arasında değiştirilebilen geniş bir rulo dönüş hızına ve buna bağlı olarak ayarlanabilir kapasite değerlerine sahiptir.

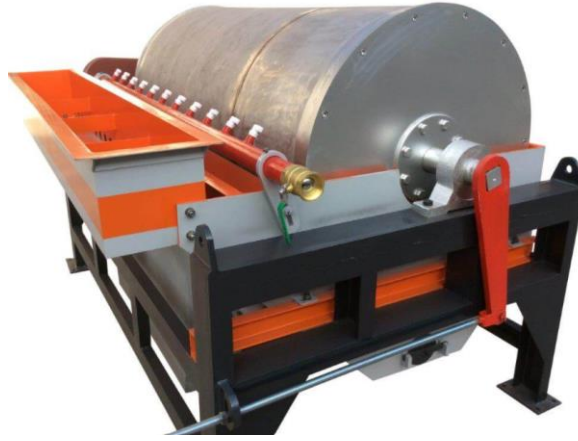
Çok güçlü manyetik özelliği olan tanelerin ayrımı yapılacağı zaman rulo dönüş hızı 700 devir/dakika'ya kadar çıkarılabilmektedir. Manyetik alan şiddeti 21000 Gauss'a kadar yükseltilebilmektedir.

Makineye besleme boyutu 0,075 ile 50 mm arasındadır. Kapasite olarak değerlendirildiğinde saatte 10 tona kadar çıkartılabilmektedir. [19] Şekil 1.15'te Manyezitten serpantin ve demirli minerallerin ayrımında kullanılan bir Permroll ayırıcısı gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Rulo tipi Permroll manyetik ayırıcısı

Kuru tip olarak çalıştırılabilen, orta alan şiddetli manyetik ayırıcı tipi Permos manyetik ayırıcısıdır. Bu ayırıcı yaygın olarak kullanılan yaş tamburlu manyetik ayırıcıdan faydalanarak geliştirilmiştir (Şekil 1.16). Tambur çapları 0,6-3 m arasındadır. Neodyum, Nd-Fe-B demir ve bor alaşımı mıknatıslar kullanılarak üretilmektedir. Manyetik alan şiddetleri 6000 Gauss'tur ve kapasiteleri saatte 50 ton'a kadar çıkabilmekte olup tambur çapına göre değişkenlik gösterir. [18] Paramanyetik maddelerin zenginleştirilmesinde ya da safsızlıkların uzaklaştırılmasında kullanılan bu ayırıcı işletme maliyeti, hafifliği, düşük ilk yatırım, az yer kaplaması gibi avantajlar sağlamaktadır. [17]



Şekil 1.16. HWedag Permos manyetik ayırıcısı

1.6.2 Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar, ortalama olarak 600-700 Gauss arasında manyetik alana sahiptir. Genel kullanım alanı 10 mm veya daha ince tanelerin zenginleştirilmesidir. Bu ayırıcılarda sabit veya elektromıknatıslar kullanılabilir. (Şekil 1.17) Farklı türlerde imal edilen bu ayırıcıların, sektörde en çok tercih edilen hâli kömürden ağır ortamın geri kazanımında çok geniş bir alanda kullanılan tambur tipi olanlardır. Diğer kullanım alanları ise düşük tenörlü manyetitin zenginleştirilmesi pirotinin tutulmasıdır.



Şekil 1.17. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı

Çalışma prensibi çok basittir. Yaş manyetit ve gang mineralleri tambura beslenir ve suyun akışı ile manyetik ayırıcının yüzeyine temas eder. Ayırıcının 3/1 kısmında bulunan sürekli mıknatıs, manyetik parçacıkları tamburun yüzeyine çeker ve tamburun dönüşü ile tambur yüzeyine yapışır. Bir sıyrıcı vasıtasıyla tambur

yüzeyine yapışan taneler, tambur yüzeyinden kazınır. Manyetik ayırıcının haznesine bağlı olan kanaldan manyetik olmayan partiküller alınarak istenilen ayırma sağlanır.

Bu ayırıcılar, endüstriyel ölçekte verimliliği ve kapasiteyi artırmak için seri olarak çalışır. Düşük alan gücü yaş tambur ayırıcı, tambur hızı 25-40 rpm'ye ulaşabilir ve çapı 1000 mm'ye ulaşabilir. Besleme boyutuna göre 1 m tambur genişliği için kapasitesi 10-25 t/saat arasında değişmektedir.

Düşük alan şiddetli yaş tambur ayırıcı hemen hemen tüm endüstrilerde en popüler ayırıcı tiplerinden biridir. Tambur ayırıcının en büyük avantajı yüksek verim ve düşük işletme maliyetidir. Ebat olarak büyük olmasına rağmen kurulumu ve kullanımı son derece uygundur. Yaş manyetik tambur, çamurun tasarımına ve dönüş yönüne göre üç kategoriye ayrılır.

i.Eşakımlı

ii.Tersakımlı

iii.Yarı tersakımlı

Eşakımlı tamburun dönüş yönü, tanktaki hamurun akış yönü ile aynıdır. Manyetik olmayan madde tankın dibine çöker ve boşaltılır. Manyetik malzeme, tambur içindeki mıknatısın etkisi ile tambur yüzeyine yapışır, ayrılır ve bir sıyrıcı yardımıyla tambur yüzeyinden uzaklaştırılır.

Ters akımlı tamburda, pülpün akış yönü, tamburun dönüş yönünün tersidir. Tankın altından manyetik olmayan malzemeler alınır. Manyetik malzeme, ayırıcının besleme tarafındaki oluğa boşaltılır.

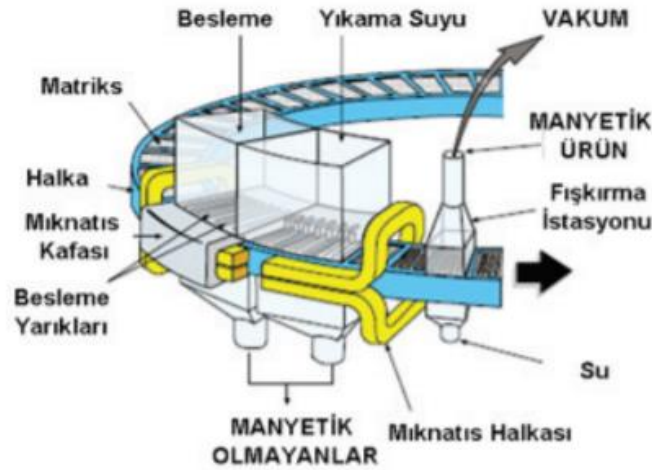
Yarı ters akımlı tamburda, pülp tankın tabanından dışarı alınır, tamburun dönüş yönü ile pülpün tank içindeki akış yönü aynıdır. Manyetik olmayan malzeme tankın dibine çöker ve buradan dışarı alınır. Manyetik malzeme tambur içerisine yerleştirilmiş mıknatıslar sebebiyle tambur yüzeyine yapışır, pülpten ayrılır ve sıyrıcılar kullanılarak tamburun yüzeyinden temizlenir. Manyetik olan malzeme de tambur yüzeyine yapışır ve diğer uçtan dışarı alınır.

1.6.3 Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar

Günümüzde manyetik ayırma alanındaki en büyük gelişme, endüstriyel kullanım gereksinimlerinin gelişmesiyle doğru orantılı olan yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıdır. Bu manyetik ayırıcıları kullanarak, manyetik alan kuvveti 24.000 Gauss'a ulaşmıştır ve birkaç mikrona ayrılabilir. Yüksek alan kuvvetli yaş manyetik ayırıcı, döner disk tipi ve oda tipi olmak üzere iki farklı temele sahiptir. Caroucell manyetik ayırıcı, dikey bir eksen etrafında dönen ve sürekli olarak ayrılabilen dairesel oluk şeklinde bir makinedir. Bu gruptaki en önemli ayırıcılar Krupp Sol, Gill, Jones ve Şekil 1.18'de gösterilen Carousel ayırıcıdır. Çalışma prensibi Şekil 1.19'da gösterilmiştir. Ayırıcının besleme tane boyutu birkaç milimetre ile birkaç mikron arasında olabilir. Saatte 150 tona kadar kapasiteye ve 15000 Gauss'a kadar manyetik alan gücüne sahiptirler. Metso Carousel ünitesi 150 ton/saat kapasiteye ve 70 ton ağırlığa sahiptir. Cihaz 7 metre uzunluğunda, 7,5 metre genişliğinde ve 4,8 metre yüksekliğindedir. Benzer bir çalışma prensibi kullanılarak üretilen döner disk ayırıcı (WHIMS), 20000 Gauss'a kadar manyetik alan gücü üretebilir (Şekil 1.20). Bu tip makineler çok ince kalkopirit, hematit, fosfat, talk, mika, molibden, apatit, apatit, boksit, asbest, spodümen, barit, kalsiyum ve seramik kili gibi minerallerin zenginleştirilmesi için kullanılabilir [20].



Şekil 1.18.Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı ‘Metso Carousel’



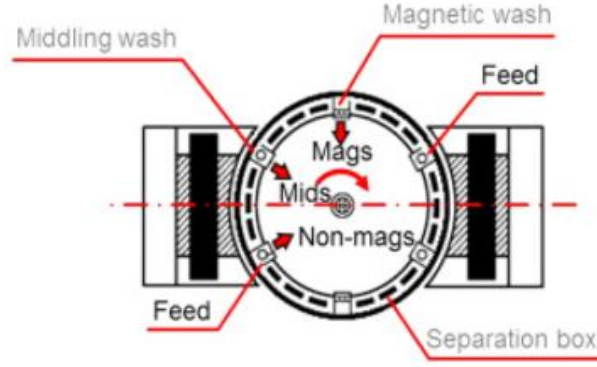
Şekil 1.19. Metso Carousel ayırıcısının çalışma prensibi

Gill ayırıcısında, üzerine oluk şeklinde rotorlu elektro mıknatıs kutuplarının olduğu bölmeden besleme yapılır. Beslenen malzemedeki manyetik özelliğe sahip mineraller olukların yüzeyine tutunurlar ve olukların üzerinde manyetik alan sıfır olduğu anda suyla yıkanarak dışarı alınırlar. Manyetik olmayan mineraller akarak altta toplanırlar [21].

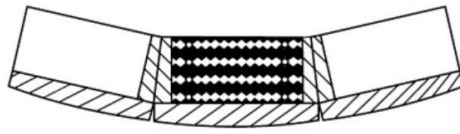


Şekil 1.20. Karosel Tipi WHIMS ayırıcısı

Jones manyetik ayırıcısında rotor yerine oluklu plakalar yerleştirilmiş bu sayede büyük oranda kapasite artışı meydana gelmiştir. Çoğunlukla bu ayırıcılar pek çok zayıf manyetik özelliği olan minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayırma boyutu 1 mm ile 20 mikron arasında değişir ve kapasitesi 120 ton/saat'e kadar çıkabilmektedir (Şekil 1.21) [21].

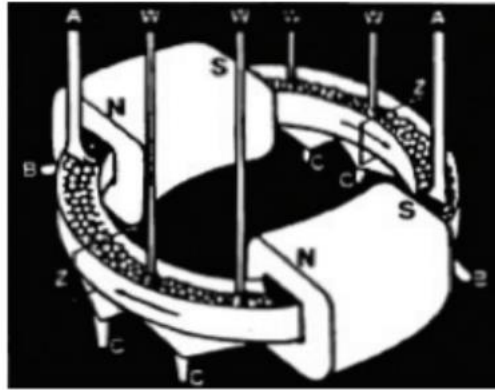


Şekil 1.21.(a) Jones manyetik ayırıcısının üstten görünüşü



Şekil 1.21. (b) Olukların dizilişi

Krupp Sol ayırıcısında, çoğunlukla kullanılan elektromıknatıslar yerine selenoid tasarım kullanılmakta yani, telin merkezinde ferromanyetik malzeme bulunmamaktadır (Şekil 1.22).



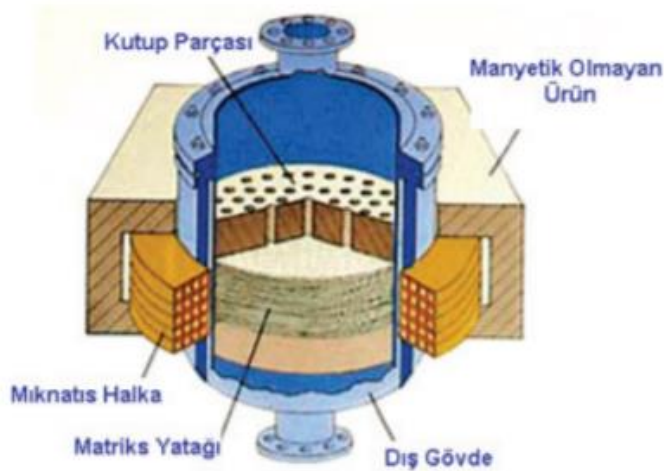
Şekil 1.22. Krupp Sol manyetik ayırıcısı

Bir başka yüksek alan kuvvetli ıslak manyetik ayırıcı türü, toplayıcının beslenmesini sağlayan WHIMS ayırıcısıdır. (Şekil 1.23) Bu türde ayırıcılar genellikle rutil mineralleri için kullanılmıştır ve hala üretimi devam etmektedir. Manyetik alan şiddeti 20000 Gauss'a ulaşabilir [22].



Şekil 1.23.Roche WHIMS manyetik ayırıcısı

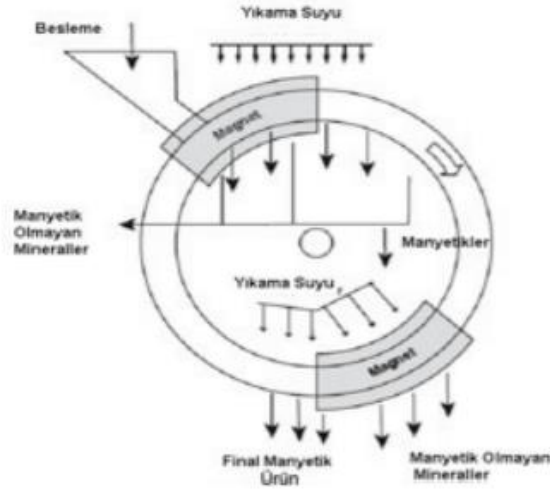
Metso'nun döngüsel (ayrık) manyetik ayırıcısı hazne tipi bir manyetik ayırıcıdır ve çalışma prensibi Şekil 1.24'te gösterilmiştir. Bu ayırıcılarda manyetik olmayan mineraller haznenin çıkışından uzaklaştırılır. Substrat üzerinde tutulan manyetik mineraller, haznede yüksek bir alan gradyanı sağlar ve manyetik alan aralıklı olarak kaldırıldığından ortamdan uzaklaştırılır. Demir ve titanyum bileşiklerini kaolinden ayırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu ayırıcıları kullanmanın en büyük avantajı, yapısındaki düşük demir içeriği nedeniyle diğer manyetik ayırıcılara göre çok hafif olmalarıdır [15].



Şekil 1.24.Hazne tipi manyetik ayırıcısının çalışma prensibi

Endüstriyel ölçekteki Ferrous Wheel ayırıcının çalışma prensibi ise Şekil 1.25'te gösterilmiştir. Dakikadaki devir sayısı uygulama alanına, cevher boyutu ve kapasitesi

ile orantılı olarak değişmektedir. Halka çapı 2,5 metreye çıktığı takdirde kapasitesi 150 ton/saat'tir. Besleme boyutu 1 mm ile 5 mikron arasındadır.



Şekil 1.25 Ferrous Wheel manyetik ayırıcısı çalışma prensibi

Yeni geliştirilen yatay rotorlu ayırıcıda, dikey manyetik ayırıcıya olan seçicilik, titreşim yoluyla iyileştirilir ve matris tıkanması büyük ölçüde önlenir. Öte yandan, bazı cihazlar daha etkili ayırma elde etmek için kağıt hamuru hızını ayarlayabilen alttan kağıt besler [23]. Şekil 1.26'da buna örnek olarak Slon manyetik ayırıcı gösterilmektedir.



Şekil 1.26. Slon manyetik ayırıcısı

Yatay rotor veya dikey yaş manyetik ayırıcı (VMS) genellikle demir cevheri, kromit, silis kumu, ilmenit, manganez ve feldispatın zenginleştirilmesi için kullanılır ve manyetik alan şiddeti 10000-15000 Gauss arasındadır [24].

1.6.4 Süper iletken manyetik ayırıcılar

Süper iletkenlik, akımın en az dirençle karşılaşan bir tel üzerinden iletilmesidir. Bakır, gümüş ve altının çok iyi iletkenleri bile süperiletkenlik göstermezler. Bugün, hiçbir madde oda sıcaklığında süper iletken değildir. Süper iletkenlik, çeşitli malzemeleri 273 °C veya daha düşük sıcaklıklara soğutarak elde edilebilir. Bu sıcaklıkları sağlamak zor ve çok pahalıdır. Bu nedenlerden dolayı süperiletkenlerin kullanım alanı da oldukça sınırlıdır [25]. Powerflux ve Croyofilter adlı iki farklı manyetik ayırıcı geliştirilmiştir. Buradaki düşük sıcaklık, sıvı nitrojen veya çeşitli gazlarla sağlanır. Bu iki cihazın ürettiği manyetik alan yoğunluğunun 50.000 Gauss olduğu ve tüm dünyada (Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya ve Almanya gibi) kaolin saflaştırma uygulamalarında kullanılmaktadır. Endüstriyel ölçekte yaygın olarak kullanılan bir soğutmalı filtre cihazının (şekil 1.27) kullanıldığı özel alanlar; demirli bileşiklerin kolloidal çamurlardan uzaklaştırılması ve kaolen mineralinin renginin parlaklaştırıl-ması veya nikel veya demir gibi emprütelerin giderilmesi gibi olup bu tür ayırıcıların kapasitesi 100 ton/saattir.



şekil 1.27.Süper iletkenli manyetik ayırıcı

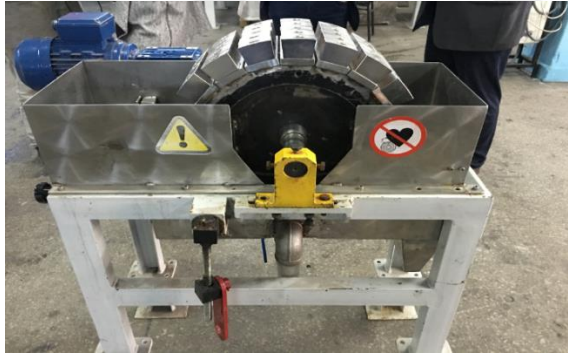
1.6.5 Sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcılar

Sabit mıknatıslı kuru manyetik ayırıcılar yatay bir eksen etrafında dönen ve manyetik olmayan malzemelerden yapılmış bir tamburdan oluşur. Tambur içine sürekli mıknatıslar ve sürekli mıknatıslı elektromıknatıslar yerleştirilir. Sürekli mıknatıslar, kuzey ve güney kutupları dışa bakacak şekilde tamburun 1/2 veya 2/3'ünü bir alan

olarak kaplar. Cevher, bir besleyici veya bant aracılığıyla tambura eşit olarak taşınır. Manyetik parçacıklar tambur yüzeyine yapışarak tambur ile birlikte hareket eder ve bir ayırıcı yardımıyla tambur yüzeyinden uzaklaştırılır. Bitişik mıknatısların farklı kısımları (kuzey-güney yönü) nedeniyle tambura yapışan partiküller dönerek hareket eder ve aralarında sıkışan manyetik olmayan partiküllerin düşmesine neden olur. Manyetik olmayan taneler tambura yapışmaz, hazneye bağlı oluktan çıkarılır.

1.7 Sabit Mıknatıslı Manyetik Ayırıcılarla Yapılmış Çalışmalar

İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü [28] San-Tez Projesi kapsamında sabit mıknatıslarla yüksek gradyanlı tamburlu tip yaş manyetik ayırıcı üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yaş ortamda çalışan tambur içerisindeki N-52 tip Neodyum sabit mıknatısların dizilimleri ve mıknatıs şekilleri optimize edilerek herhangi bir dolgu malzemesi olmaksızın yüksek gradyan değerleri elde edilmiştir. Üretilen manyetik ayırıcının endüstriyel kullanım alanları ve performansını belirlemek amacı ile hematit, krom ve manganez gibi cevherler ile zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.28’de birinci tambur tasarımı, Şekil 1.29’da ikinci tambur tasarımı mıknatıs dizilimi gösterilmiştir.

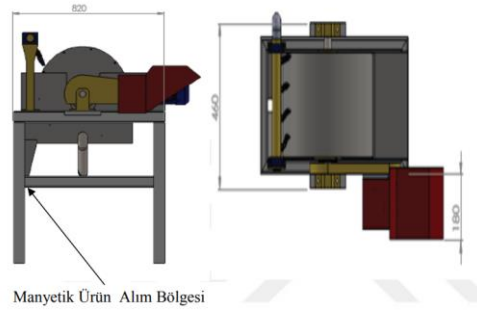


Şekil 1.28. Birinci tambur tasarımı mıknatıs dizilimi (SAN-TEZ Proje Raporu, 2015)



Şekil 1.29. İkinci tambur tasarımı mıknatıs dizilimi (SAN-TEZ Proje Raporu, 2015)

Çalışma sonucunda tambur üzerinde 11.200 Gauss, paslanmaz çelik üzerinde 7500 Gauss manyetik alan şiddeti elde edilmiş olup ANSYS programında yapılan modellemeler sonucunda elde edilen manyetik kuvvet değeri üretilen manyetik ayırıcı endüstride geniş kullanım alanına sahip bir alternatif oluşturmuştur. Tasarlanan manyetik ayırıcının krom ve manganez cevheri zenginleştirilmesinde, hem elde edilen konsantre içeriği hem de verim bakımından endüstride kullanılabileceği teorik olarak kanıtlanmıştır [29]. Protatipin yandan ve üstten görünümü Şekil 1.30’da gösterilmiştir.



Şekil 1.30. Protatipin yandan ve üstten görünümü.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın amacı; içeriğinde demir minerali bulunan numunelerle yapılan deneylerde sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcının performansını değerlendirmek ve kil numunelerinin içerisinde yer alan Fe mineralini uzaklaştırmaktır. Deney sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla Caprco yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda deneyler tekrarlanmıştır.

2.1 Malzeme ve Yöntem

Bu tez kapsamında tasarladığımız sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda ferromanyetik ortam olarak yumuşak demirden imal edilmiş bilyalar kullanılarak gerçekleştirilen deneyler, Caprco yüksek gradyanlı manyetik ayırıcısında tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Caprco manyetik ayırıcının kapasitesi, rotor üzerine yerleştirilen elektromıknatıs kutuplarının sayısı ile belirlenir. Alan kuvveti azaldıkça manyetik kutbun kapasitesi artar. Manyetik alan şiddeti 20000 Gauss kapasitesi ise 1 ton/saattir (Şekil 2.1) [26].



Şekil 2.1 Caprco manyetik ayırıcısı

2.1.1 Sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcının tasarımı

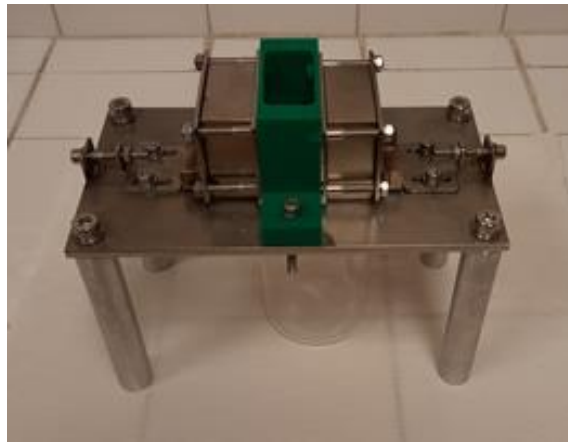
Yüksek gradyan değeri elde edebilmek için makinenin sağ ve sol kutbuna sabit mıknatıslar yerleştirilmiştir. Farklı hazne genişliklerine göre mıknatıslar arası mesafe ayarlanabilmektedir.

Yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılarda zenginleştirme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için, tanecikler üzerine ferromanyetik malzemeler ile aktarılan manyetik kuvvetin, sistemdeki drag kuvveti, yerçekimi kuvveti, eylemsizlik kuvveti (inertial force) ve difüzyonel kuvvetleri yenerek manyetik parçacıkları sistemden ayırması gerekmektedir. Uygulamada yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılar genellikle mikron boyutundaki taneleri zenginleştirmede kullanılmaktadır. Tanelere etki eden kuvvetler:

- Yer çekimi kuvveti
- Hidrodinamik kuvvetler
- Matriks malzeme ile tane arası çekim kuvveti ve mıknatıs ile tane arası çekim kuvveti
- Su iyonlarıyla tanenin etkileşimi (Su içindeki sıcaklık farkından kaynaklanan Brownian hareketi)

2.1.2 Makinenin çalışma prensibi

Hazne içerisine matriks olarak demir bilyalar koyulur. (Şekil 2.2). Bilyalar üzerine yaş olarak hazırlanan içeriğinde manyetik malzeme olan numune beslenir. Manyetik taneler makinenin sağ ve solundaki sabit mıknatıslar etkisinde demir bilyalara yapışır, manyetik olmayan taneler hazne altından toplanır. İkinci aşamada mıknatıslar uzaklaştırılarak hazne içinde bilyalara yapışmış olan manyetik taneler yıkanarak başka bir toplayıcı kaptan toplanır.



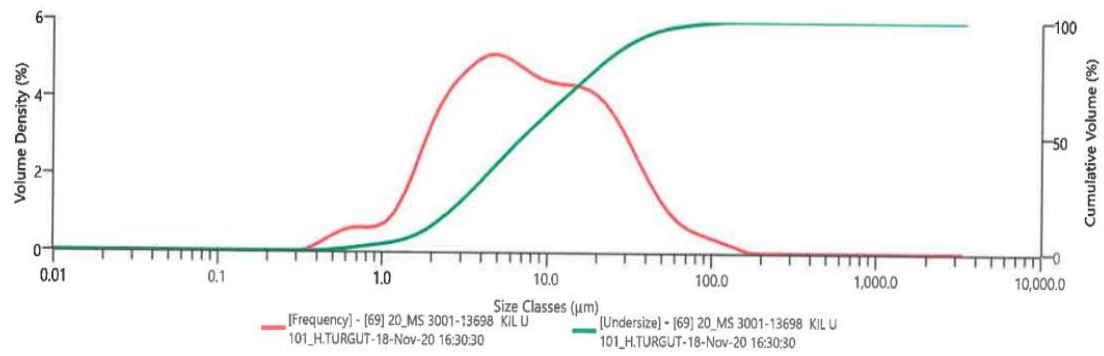
Şekil 2.2. Laboratuvar ölçekli sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı

2.1.3 Kullanılan malzemeler ve boyut analizleri

Malvern Particle Sizer cihazında boyut analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

Kaolen 1 Numunesi

Buna göre numunenin, d_{90} boyutu 31,6 mikron, d_{50} boyutu yaklaşık olarak 7,18 mikron olduğu saptanmıştır.



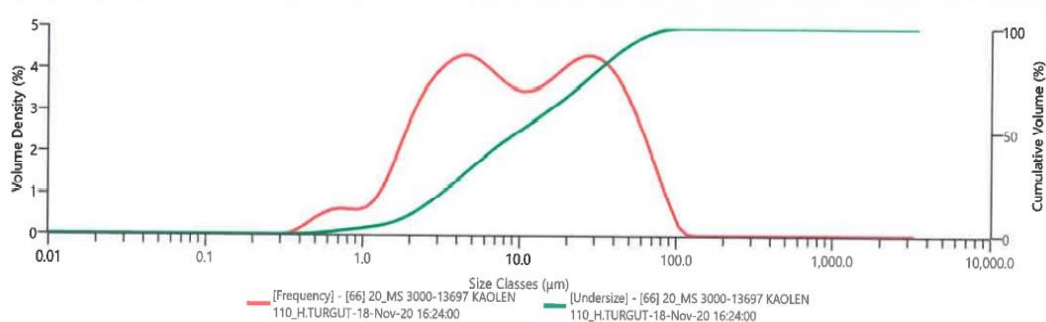
Şekil 2.3 : Kaolen 1 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer)

i.Numunenin kimyasal özellikleri:

Yapılan kimyasal analiz testi sonucunda Kaolen 1 numunesi % 3 Fe, %67,17 oranında da SiO₂ içermektedir.

Kaolen 2 Numunesi

Buna göre numunenin, d_{90} boyutu 47 mikron, d_{50} boyutu yaklaşık olarak 9,88 mikron olduğu saptanmıştır. (Şekil 2.4)



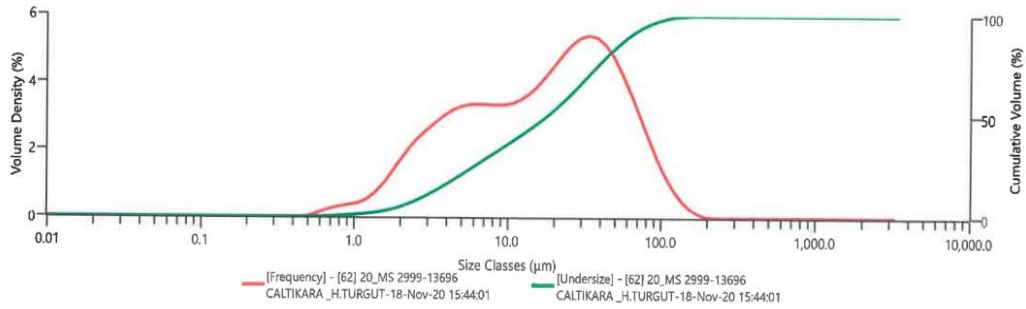
Şekil 2.4 : Kaolen 2 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer)

i.Numunenin kimyasal özellikleri:

Yapılan kimyasal analiz testi sonucunda Kaolen 2 numunesi % 3,81 Fe, %65,08 oranında da SiO₂ içermektedir.

Kaolen 3 Numunesi

Buna göre numunenin, d₉₀ boyutu 62,6 mikron, d₅₀ boyutu yaklaşık olarak 17,9 mikron olduğu saptanmıştır. (Şekil 2.5)



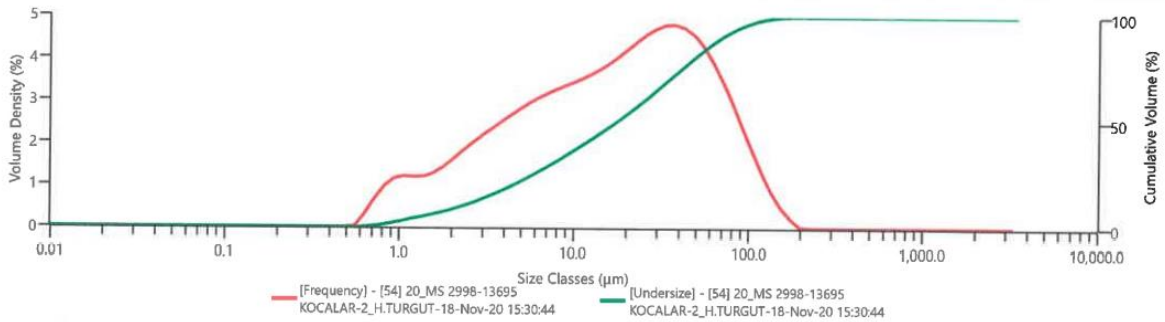
Şekil 2.5 Kaolen 3 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer)

i.Numunenin kimyasal özellikleri:

Yapılan kimyasal analiz testi sonucunda Kaolen 3 numunesi % 3,22 Fe, %74,99 oranında da SiO₂ içermektedir.

Kaolen 4 Numunesi

Buna göre numunenin, d₉₀ boyutu 70,2 mikron, d₅₀ boyutu yaklaşık olarak 17,7 mikron olduğu saptanmıştır. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Kaolen 4 numunesi boyut dağılımı (Malvern Particle Sizer)

i.Numunenin kimyasal özellikleri:

Yapılan kimyasal analiz testi sonucunda Kaolen 4 numunesi % 1,37 Fe, %72,73 oranında da SiO₂ içermektedir.

Çizelge 2.1 de deneyde kullanılan numunelerin kimyasal içerikleri verilmiştir.

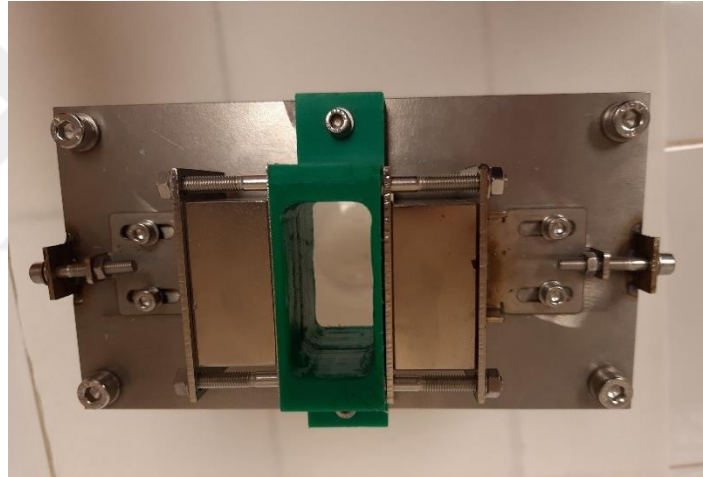
Çizelge 2.1 Hammadde Karakterizasyonları

	K.K	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Toplam	SO ₃
Kaolen 1	6,74	67,17	19,6	1,48	3	0,03	0,48	eser	1,28	99,78	
Kaolen 2	6,14	65,08	20,08	1,27	3,81	0,13	0,35	0,49	2,31	99,66	
Kaolen 3	6,24	74,99	13,27	0,96	3,22	0,02	0,06	eser	0,15	98,91	0,98
Kaolen 4	1,35	72,73	14,28	0,42	1,37	0,62	0,25	3,53	5,31	99,86	

2.2 Laboratuvar Ölçekli Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deneyleri

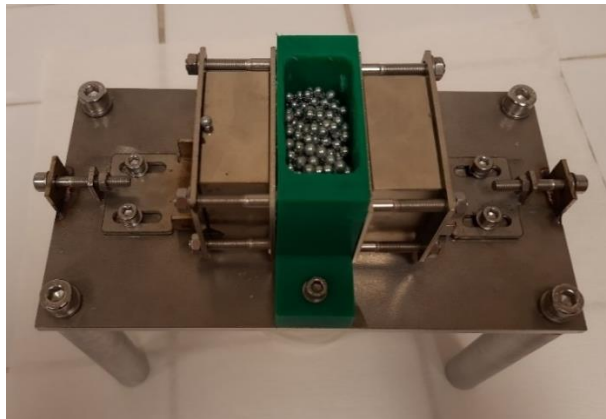
1)Numuneler 100 gram olarak deney için hazırlandı.

2)Manyetik ayırıcının mıknatıs mesafeleri hazne genişliğine göre ayarlandı (Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Sabit mıknatıslı yaş manyetik ayırıcının üstten görünümü.

3)İnce demir bilyalar (Ø 4mm) hazneye yerleştirildi (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. İnce bilyaların hazneye yerleştirilmesi.

4) Numune yaş olarak manyetik ayırıcıya beslendi. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9. Numunenin hazırlanması

5) Manyetik olmayan mineraller manyetik ayırıcının altından toplandı. Manyetik olan mineraller ise bilyalara tutundu.

6) Mıknatıslar uzaklaştırılarak hazne yerinden çıkartıldı ve bilyalara tutunan manyetik taneler yıkama suyu ile ayrıldı ve kurutuldu, tartıldı.

7) İşlem bittikten sonra etüvde kuruyan konsantre (manyetik ürün) ve atık (manyetik olmayan taneler) tartılarak ağırlığı kaydedildi.

8) Ürünlerinin mineral içerikleri uygun kimyasal analiz yöntemi yardımıyla belirlendi.

9) Aynı adımlar iri bilyalar kullanılarak tekrar edildi. (Ø 6mm)

2.3 Carpco Tipi Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deneyi

1) Numuneler 100 gram olarak deney için hazırlandı..

2) Makine 2 Amper olarak ayarlandı (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Carpco manyetik ayırıcısı

3) İri demir bilyalar ($\varnothing$ 6 mm) hazneye yerleştirildi (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Carpco yaş manyetik ayırıcısının üstten görünümü.

4) Numune, slot elektromıknatıs kutupların bulunduğu disk evresindeki boşluğa doldurulmuş olan endüi kutuplar üzerine beslendi.

5) Bilyalar arasında oluşan yüksek şiddetli manyetik alan numune içindeki manyetik tanelerin bilyalar üzerine toplanmasına sebep oldu. Su verilerek manyetik taneler bir tava içerisinde toplandı.

6) Makinenin enerjisi kapatıldı ve su verilmeye devam edilerek manyetik olmayan taneler ayrılarak ayrı bir tavada toplandı. (Şekil 2.12)



Şekil 2.12 Manyetik olmayan tanelerin ayrılması.

7) Tavalarda toplanan manyetik olan ve manyetik olmayan taneler etüvde kurutuldu. Toplanan malzemeler kimyasal analize gönderildi. Aynı deney adımları makine 4 Amper ayarlanarak tekrarlandı.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarlanmış olan sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı ile ince bilyalar ve iri bilyalar kullanılarak iki ayrı deney yapılmıştır.

3.1 Laboratuvar Ölçekli Sabit Mıknatıslı Yüksek Gradyanlı Yaş Manyetik Ayırıcı Deney Sonuçları

İri bilyalar (Ø 6mm) kullanarak sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda yapılan deney sonuçlarının metalurjik denge tablosu Çizelge 3.2’de ki gibidir.

Çizelge 3.1. Matriks olarak 6 mm bilya kullanılan sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı ile yapılan deney sonuçları.

Numuneler	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Fe)	Dağılım (% Fe)
Kaolen 1	Manyetik	1	23,14	6,23
	Nonmanyetik	99	3,52	93,77
	Beslenen	100	3,72	100,00
Kaolen 2	Manyetik	1,94	7,70	5,48
	Nonmanyetik	98,06	2,63	94,52
	Beslenen	100	2,73	100,00
Kaolen 3	Manyetik	1,04	6,45	2,71
	Nonmanyetik	98,96	2,44	97,29
	Beslenen	100	2,48	100,00
Kaolen 4	Manyetik	1,02	13,93	18,56
	Nonmanyetik	98,9	0,63	81,44
	Beslenen	100	0,77	100,00

İnce bilyalar (Ø 4mm) kullanarak sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcıda yapılan deney sonuçları Çizelge 3.2’de ki gibidir.

Çizelge 3.2. Matriks olarak 4 mm bilya kullanılan sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı ile yapılan deney sonuçları.

Numuneler	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Fe)	Dağılım (% Fe)
Kaolen 1	Manyetik	1,04	4,14	1,33
	Nonmanyetik	98,96	3,23	98,67
	Beslenen	100	3,24	100,00
Kaolen 2	Manyetik	1,94	3,26	2,17
	Nonmanyetik	98,06	2,90	97,83

Çizelge 3.2. (devam) Matriks olarak 4 mm bilya kullanılan sabit mıknatıslı yüksek gradyanlı yaş manyetik ayırıcı ile yapılan deney sonuçları.

Numuneler	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Fe)	Dağılım (% Fe)
Kaolen 3	Manyetik	1,00	19,95	4,64
	Nonmanyetik	99,00	4,15	95,36
	Beslenen	100	4,30	100,00
Kaolen 4	Manyetik	1,02	13,33	19,42
	Nonmanyetik	98,98	0,57	80,58
	Beslenen	100	0,70	100,00

3.2 Carpco Manyetik Ayırıcısı ile Yapılan Deney Sonuçları

İri bilyalar (Ø 6mm) kullanarak 2 Amper ve 4 Amperde yüksek gradyanlı carpco yaş manyetik ayırıcıda yapılan deneylerin sonucu aşağıdaki Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. 2 Amperde yapılan Carpco manyetik ayırıcı ile yapılan deney sonuçları.

Numuneler	Ürünler	Ağırlık (%)	İçerik (% Fe)	Dağılım (% Fe)
Kaolen 1	Manyetik	5,00	11,86	18,55
	Nonmanyetik	95,00	2,74	81,45
	Besleme	100	3,20	100,00
Kaolen 2	Manyetik	2,00	3,64	2,25
	Nonmanyetik	98,00	3,23	97,75
	Besleme	100	3,24	100,00
Kaolen 3	Manyetik	4,04	14,19	14,80
	Nonmanyetik	95,96	3,44	85,20
	Besleme	100	3,87	100,00
Kaolen 4	Manyetik	6,06	6,57	46,90
	Nonmanyetik	92,94	0,48	53,10
	Besleme	100	0,85	100,00

Çizelge 3.4. 4 Amperde yapılan Carpco deneyinin metalurjik denge tablosu.

Numuneler	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Fe)	Dağılım (% Fe)
Kaolen 1	Manyetik	8,00	4,05	9,86
	Nonmanyetik	92,00	3,22	90,14
	Beslenen	100	3,29	100,00
Kaolen 2	Manyetik	8,00	11,46	27,71
	Nonmanyetik	92,00	2,60	72,29
	Beslenen	100	3,31	100,00
Kaolen 3	Manyetik	5,00	3,91	6,32
	Nonmanyetik	95,00	3,05	93,68
	Beslenen	100	3,09	100,00
Kaolen 4	Manyetik	4,08	7,43	41,80
	Nonmanyetik	95,92	0,44	58,20
	Beslenen	100	0,73	100,00

4. SONUÇLAR

Yaş ortamda sabit mıknatıslar kullanılarak yeni bir makine tasarlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen bu yeni makinede farklı boyutlarda iri ve ince bilyalar kullanılarak numunelerin bünyelerindeki demiri uzaklaştırmak için deneyler gerçekleştirilmiş, performansının değerlendirilmesi için ise Carpco manyetik ayırıcısında aynı numuneler kullanılarak 2 amper ve 4 amper değerindeki manyetik alanlarda deneyler yapılmış metalurjik denge tablolarıyla sonuçlar paylaşılmıştır.

- Kaolen 1 numunesi ile gerçekleştirilen deneyler

Carpco manyetik ayırıcısında 2 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %5 oranındaki bir manyetik ürün %11,86 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %95 oranındaki bir non manyetik ürün %2,74 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Carpco manyetik ayırıcısında 4 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %8 manyetik ürün %4,05 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %92 oranındaki non manyetik ürün %3,22 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Tasarlanan manyetik ayırıcıda iri bilyalar (Ø6mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda; ağırlıkça %1 manyetik ürün %23,14 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %99 non manyetik ürün % 3,52 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

İnce bilyalar (Ø4mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ağırlıkça %1,04 manyetik ürün % 4,14 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,96 non manyetik ürün %3,23 Fe içeriği ile elde edilmektedir.

Kaolen 1 numunesinde Carpco manyetik ayırıcısında, tasarlanan manyetik ayırıcı sonuçlarına göre nispeten daha temiz bir kil konsantresi elde edilmiştir . İri bilyaların kullanımında ise ince bilyalı deney sonucuna göre daha fazla Fe, Kaolen 1 numunesinden uzaklaştırılmıştır.

- Kaolen 2 numunesi ile gerçekleştirilen deneyler

Carpco manyetik ayırıcısında 2 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %2 oranındaki bir manyetik ürün %3,64 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98 oranındaki bir non manyetik ürün %3,23 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Carpco manyetik ayırıcısında 4 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %8 manyetik ürün %11,46 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %92 oranındaki non manyetik ürün **%2,6** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Tasarlanan manyetik ayırıcıda iri bilyalar (Ø6mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda; ağırlıkça %1,94 manyetik ürün %7,7 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,06 non manyetik ürün **% 2,63** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

İnce bilyalar (Ø4mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ağırlıkça %1,94 manyetik ürün %3,26 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,06 non manyetik ürün **%2,9** Fe içeriği ile elde edilmektedir.

Kaolen 2 numunesinde Carpco manyetik ayırıcısına benzer olarak tasarlanan manyetik ayırıcının iri bilyalar ile yapılan deneylerinin sonuçları birbirlerine yakın çıkmıştır . İri bilyaların kullanımında ise nispeten ince bilyalı deney sonucuna göre daha fazla Fe, Kaolen 2 numunesinden uzaklaştırılmıştır.

- Kaolen 3 numunesi ile gerçekleştirilen deneyler

Carpco manyetik ayırıcısında 2 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %4,04 oranındaki bir manyetik ürün %14,19 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %95,96 oranındaki bir non manyetik ürün %3,44 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Carpco manyetik ayırıcısında 4 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %5 manyetik ürün %3,91 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %95 oranındaki non manyetik ürün **%3,05** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Tasarlanan manyetik ayırıcıda iri bilyalar (Ø6mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda; ağırlıkça %1,04 manyetik ürün %6,45 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,96 non manyetik ürün **% 2,44** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

İnce bilyalar (Ø4mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ağırlıkça %1 manyetik ürün %19,95 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %99 non manyetik ürün **%4,15** Fe içeriği ile elde edilmektedir.

İri bilyaların kullanımında ise nispeten ince bilyalı deney sonucuna göre daha fazla Fe Kaolen 3 numunesinden uzaklaştırılmıştır.

- Kaolen 4 numunesi ile gerçekleştirilen deneyler

Carpco manyetik ayırıcısında 2 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça

%6,06 oranındaki bir manyetik ürün %6,57 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %92,94 oranındaki bir non manyetik ürün ise %0,48 Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Carpco manyetik ayırıcısında 4 amper değerinde yapılan deney sonucunda ağırlıkça %4,08 manyetik ürün %7,43 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %95,92 oranındaki non manyetik ürün **%0,44** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

Tasarlanan manyetik ayırıcıda iri bilyalar (Ø6mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda; ağırlıkça %1,02 manyetik ürün %13,93 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,9 non manyetik ürün **% 0,63** Fe içeriği ile elde edilmiştir.

İnce bilyalar (Ø4mm) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ağırlıkça %1,02 manyetik ürün %13,33 Fe içeriği ile elde edilmiştir. Ağırlıkça %98,98 non manyetik ürün **%0,57** Fe içeriği ile elde edilmektedir.

Tüm deney sonuçlara göre en temiz numune Kaolen 4 numunesi olduğu görülmüş, iri bilyaların ince bilyalara göre daha fazla Fe uzaklaştırdığı tespit edilmiştir.

Beklenildiği gibi 4 amperde yapılan Carpco deneylerinin non-manyetik ürünlerinin 2 amperde yapılan Carpco deneylerinin non manyetik ürünlerinden daha az miktarda Fe içerdiği saptanmıştır.

Performans değerlendirmesi için Carpco yüksek gradyanlı manyetik ayırıcısının Fe uzaklaştırma performansının tasarlanan yeni manyetik ayırıcıdan daha iyi olduğu söylenebilir.

Tüm deneyler sonucunda, endüstride kullanılabilecek bir ürün üretilmemiş, manyetik

içerik istenen ölçüde düşürülememiştir. Bu durumun sebebi numunelerin zenginleştirilebilir safta olmadığı, sınır demir değerlerinin düşük olması olarak gösterilebilmektedir. Bu nedenle manyetik duyarlılığı daha yüksek olan numuneler seçilerek performans deneyleri yeniden gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Crangle, J. 1977. The Magnetic Properties of Solids. Edward Arnold, London.
- [2] Jiles, D. 1990. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials. Chapman & Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- [3] <http://depts.washington.edu/mictech/optics/sensors/week2.pdf>
- [4] Sanver & İşseven, (2007). Akomina Antik Kentinde (BANAZ-UŞAK) Bir Jeofizik Araştırma
- [5] Morris, A. H. 1965. The Physical Principles of Magnetism. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney. Morris, A. H. 1965. The Physical Principles of Magnetism. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney.
- [6] <https://www.wikiwand.com/tr/Manyetizma>
- [7] https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/43687/mod_resource/content/1/Week11.pdf
- [8] <http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.tarakci/>
- [9] Manyetik Ayırma ve Sürekli Mıknatıslar Saruhan Saklar ve Dr. Eren Caner Orhan
- [10] Yavuz, C.T., Prakash, A., Mayo, J.T., Colvina, V.L., 2009, Magnetic separations: from steel plants to biotechnology, Chem. Eng. Sci., 64 (10), 2510–2521.
- [11] Constantinides, S. ve Shaw, S., 2012, Permanent Magnets, the demand for rare earths, 8th International Rare Earths Conference, Roskill raporu
- [12] <https://docplayer.biz.tr/110760944-T-c-selcuk-universitesi-fen-bilimleri-enstitusu.html>
- [13] Kurt, Ü., 2006. Eksenel akılı sürekli mıknatıslı senkron makinalar için yeni tasarım modeli geliştirme. Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [14] Peng L., Yang, Q., Zhang, H., Xu, G., Zhang, M., Wang, J., 2008, Rare earth permanent magnets Sm₂ (Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ for high temperature applications, Journal of Rare Earths, s. 378
- [15] L.R. Moskowitz, 1995, Enviromental Effects, Permanent Magnet Design and Application Handbook, Chapter 11, Krieger Publishing Company, Florida

- [16] Acarkan, N., 2008; “Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ve Teknikleri”, Cevher ve Kömür Hazırlama Tesislerinde İşletme Denetimi ve Verim Artırma Kursu, YMGV Yayını, İstanbul, 51-88
- [17] Önal, G., 1985; “Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları , İstanbul, 86.
- [18] Arvidson, B.R., Fritz, J., 1985; “New Inexpensive High-Gradient Magnetic Separator”, XVth International Mineral Processing Congress, Cannes, 317-329
- [19] Humboldt Wedag, 2009; <http://www.khd.com>
- [20] Bateman, 2009; <http://www.bateman.com>, 29 Mayıs 2010.
- [21] Eriez, 2009; <http://www.eriez.com>, 10 Mart 2010
- [22] Özbayoğlu, G. ve Arol, A.İ. 1994; “Manyetik Ayırma”, Cevher Hazırlama El Kitabı, Ed., G.Önal, G. Ateşok, 173-205.
- [23] Roche Mining, 2005; <http://www.rochemining.com>, 10 Mart 2010
- [24] Cibulka, J., Zurek, F., Kolar, O., Horacek, M., Hencl, V., Suslikov, G.F., Lomovtsev, L.A., Gramm, V.A., Davydov, Yu.A., 1985.”A new concept of high-gradient magnetic separators”, In: Proc. 15th Int. Miner. Proc. Congress, Cannes, France, p. 363.
- [25] Zeng, W., Dahe, X., 2003; “The latest application of Slon vertical ring and pulsating high-gradient magnetic separator”, Minerals Engineering, 16, 6, 563-565.
- [26] Jüngst, K.P., Ries, G., Förster, S., Graf, F., Obermaier, G. Lehmann, W., 1984; “Magnet system for a superconducting magnetic separator Cryogenics”, 24, 11, 648-652.
- [27] Prof. Dr. Güven Önal, Prof. Dr. Gündüz Ateşok, Dr. K. Tahsin Perek; “Manyetik Ayırma”, Cevher Hazırlama El Kitabı, 161-172
- [28] SAN-TEZ Proje Raporu, 2015_ Utku A. Baştaş , “Doğal Mıknatıslarla Geliştirilen Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı Tasarlanması ve Manganez ve Manyetit Cevherleri ile Denenmesi”
- [2] İTÜ, Yüksek lisans bitirme tezi, 2015, Nilüfer Ela Cüce, “Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı Geliştirilmesi ve Krom Cevherleri İle Denenmesi”



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve Alpakın Baştaş

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Isık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Departmanı
- **Yüksek lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Departmanı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **SISTEM TEKNİK INDUSTRIAL FURNACES- Proje Yöneticisi- (01.03.2021-devam)**
TAI-TUSAŞ Motor otolav projeleri, CES Kompozit Savunma Sanayii fırınları projeleri, DOKTAŞ T6-Isı Proses tesisi gibi projeler başta olmak üzere anahtar teslimi ve mühendislik çözümleri kapsamında bir çok farklı projeyi yönetiyorum.
- **ENTE A.Ş- Proje Mühendisi -Yönetim ve Tasarım (20.08.2020-01.02.2021)**
Proje ekibinin liderliğini yaptım. Projelerin yönetilmesi, cevher hazırlama tesislerinin kurulması, üretim hatlarının revizyonu, proje planlama aşamasının yönetilmesi gibi görevleri yürüttüm.
- **KÖSEDAG-İhracat Proje Mühendisi (10.2019-20.08.2020)**
Fransa-İtalya sınır projesinde aktif rol aldım.
- **BOYSİS Makine – Proje Planlama Mühendisi (06.2018 – 10.2019)**
Autocad ve Cinema 4d yazılımları ile boya tesislerinin üretim planlamasını gerçekleştirdim. Yeni kurulan boya tesislerinin fizibilite çalışmaları, fiyatlandırma ve tesis kurulumu ile ilgili aşamalarda aktif rol aldım.
- **DTech – Proje Geliştirme Mühendisi (09.2016- 03.2017)**
DTech firmasında MTU Engine firması için jeneratör konteyneri üzerinde çalıştım, tasarım ve tüm mühendislik hesaplamalarını gerçekleştirdim.
- **NATRON YAZILIM - Proje Mühendisi (10.2014-09.2016)**

Mühendislik alanında Solidworks yazılımının video eğitim setlerini hazırladım ve firma bünyesinde mühendislik eğitimleri verdim.

- ATASAM, Atatürk Üniversitesi - 2 haftalık gönüllü çalışma (2014)
Optik jeneratör türbülansı konusunda GAP Projesi'nde çalıştım.

