

FERROMANYETİK DOLGULU YATAKLARIN MIKNATISLANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Teoman KARADAĞ¹, Zehra YILDIZ², Teymuraz ABBASOV³

İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü^{1,3}

e-posta¹: teoman@inonu.edu.tr e-posta³: tabbasov@inonu.edu.tr

İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü²

e-posta²: zyildiz@inonu.edu.tr

ÖZET

Mıknatıslanmış dolgulu yataklar (MDY) elektromanyetik filtrelerin esas çalışma bölgesi olup, dış homojen manyetik alanın etkisiyle mıknatıslanan ferromanyetik granüllerden (küreler, talaşlar, teller vb.) oluşurlar. Bu nedenle MDY'nin manyetik, geometrik ve hidrodinamik özellikleri filtre performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada çeşitli çaplarda ferromanyetik kürelerden oluşturulmuş MDY'nin mıknatıslanma özelliklerinin deneysel incelemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar elektromanyetik filtrenin istatistik verileri ile kıyaslanarak pratik uygulamalar için önerilerde bulunulmuştur.

ABSTRACT

Magnetized packed beds (MDY) are electromagnetic filter's principle work region and formed by ferromagnetic granular (balls, sawdusts, wires etc.) which is magnetized effect's of external homogeneous magnetic field. That's why MDY's magnetic, geometric and hydrodynamic properties affect filter performance in important measurement. In this study MDY's magnetization properties's experimental investigation in which forms various diameter ferromagnetic balls had made. Achieved results was compared with electromagnetic filter's statistics datas and proposed for practic applications.

Anahtar Kelimeler: Mıknatıslanmış dolgulu yatak, ferromanyetik granüller, elektromanyetik filtre.

1. GİRİŞ

Kolloidal sistemlerde istenmeyen katı parçacıklar Fe, Ni, Cu, Cr, Co, Al, Zn, Ti, Zr ve Mn gibi elementlerle birlikte bunların alaşımlarından oluşmaktadır. Sıvı veya gaz halindeki endüstriyel akışkanlara bu parçacıklar, çözeltinin

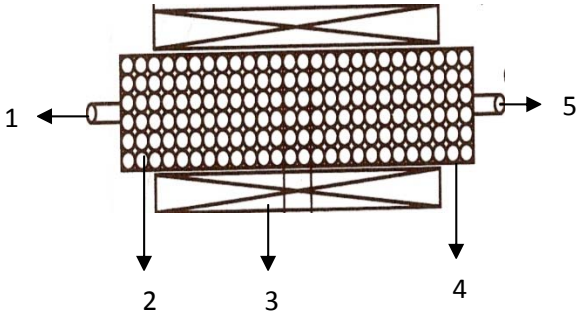
doğal bileşiminde bulunabileceği gibi, temas halinde olduğu bağlantı elemanlarının aşınması sonucunda da karışabilir. Bu karışımın büyük bir kısmını mıknatıslanabilen bileşenlerin (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 vb.) oluşturduğu bilinmektedir. Sıvı veya gazda dağılan bu parçacıkların manyetik alanda manyetize olma özelliğinden yararlanarak dağıldığı fazdan ayrılmasında mıknatıslanmış dolgulu yataklar veya bu yataklardan oluşturulmuş elektromanyetik filtreler kullanılabilir. Dış homojen manyetik alanda mıknatıslanmış ve birbiriyle teğetlenmiş dolgulu yatak elemanlarının dokunma noktaları etrafında yüksek gradyana sahip olan yerel manyetik alanlar oluşur. Taşıyıcı ortamın (sıvı ve gaz) bu bölgelerden geçtikleri durumda içerdikleri mikron boyutlu parçacıklar bu bölgelerde kolaylıkla tutularak biriktirilirler. Böylece taşıyıcı ortamlar içerdikleri manyetik safsızlıklardan etkin olarak temizlenirler. Mıknatıslanmış dolgulu yatak da manyetik parçacıklar tutulurken bu parçacıklar sıvının içerdiği diğer parçacıklarla ve iyonlarla reaksiyona girerek manyetik olmayan safsızlıkların da çöktürülmesine neden olabilir. Bu yüzden mıknatıslanmış dolgulu yataklarda filtreleme işlemleri, geleneksel filtrasyon işlemlerinden daha geniş kapsamlı bir fiziksel ayırma yöntemidir. Ayrıca mıknatıslanmış dolgulu yatağı, klasik filtre yataklarından prensip olarak daha üstün ve farklı kılan özellik, süzgeç elemanlarının (filtre matrisi) ferromanyetik özellikli küreler, çubuklar, plakalar, çelik teller, metal talaşları gibi dayanıklı metal dolgu maddelerinden oluşmasıdır [1-7]. Bu türlü mıknatıslanmış yataklar yüksek filtreleme hızına, sıcaklığa, kimyasal etkilere karşı daha dayanıklıdır. Mıknatıslanmış dolgulu yatakların en önemli karakteristiği ise filtre elemanlarının dış manyetik alanın etkisi ile mıknatıslanma özelliğidir. Mıknatıslanmış dolgulu yataklar hem mıknatıslanmış ve çok dallı bir manyetik devre hem de çok sayıda hava boşluklarından oluşmuş bir manyetik sistemdir. Bu nedenle bu tür ortamların ortalama mıknatıslanma eğrileri (B-H ilişkisi) tüm manyetik malzemelerin mıknatıslanmasından ciddi şekilde farklılaşmaktadır ve ayrıca bilimsel inceleme alanıdır. Literatürde bu konuda sunulan bilgiler esasen tekil ferromanyetik elemanların mıknatıslanma özelliklerine aittir [3,5,6]. Çok sayıda ferromanyetik elemanlardan (kürelerden)

oluşturulmuş dolgulu yatakların mıknatıslanma özellikleri ise literatürde çok az ve yetersiz incelenmiştir [1]. Bu çalışmada çeşitli çaplarda ferromanyetik kürelerden oluşturulmuş MDY'nin mıknatıslanma özelliklerinin deneysel incelemesi yapılmıştır. Böylece literatürde bu konuda bulunan bilgi boşluğunun kısmen de olsa doldurulması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada filtre elemanı olan metal kürelerle doldurulmuş manyetik olmayan paslanmaz malzemelerden yapılmış 3cm x 3cm x 10cm dikdörtgen kesitli gövdenin oluşturduğu elektromanyetik filtrenin dolgulu yataklarının mıknatıslanma özellikleri incelenmiştir. Dolgu malzemesi olarak boyutları 4-12 mm çap aralığında değişen paslanmaz çelik bilyeler kullanılmıştır. Dış manyetik alan yoğunluğu 0-2 T aralığında ayarlanmıştır. Dış mıknatıslayıcı sistem olarak BOXMAG RAPID (UK) elektromanyetik mıknatıslama aygıtı kullanılmıştır. Aygıt DC gerilimi ve akımlarında 0-220 V gerilim, 0-20 A akım aralıklarında ayarlarının yapılmasına imkan vermektedir. Aygıtta çalışma bölgesi olarak 3cm x 3cm x 10cm dik kesit alan hava aralığı kullanılmıştır. Deneylerde ferromanyetik kürelerden oluşturulmuş dolgulu yataklarda radyal yönde 1 mm hava boşlukları oluşturularak yerel noktaların manyetik alan yoğunlukları ölçülmüştür. Ölçümler Lake Shore 400 gaussmetresi ile yapılmıştır.

Elektromıknatıslı dış manyetik sistem ve manyetik olmayan paslanmaz malzemelerden yapılmış olan gövdenin oluşturduğu elektromanyetik filtre ve dolgulu yatağın prensip şeması şekil-1 'de gösterilmiştir.



Şekil-1. Mıknatıslanmış Elektromanyetik Filtrenin Prensip Şeması

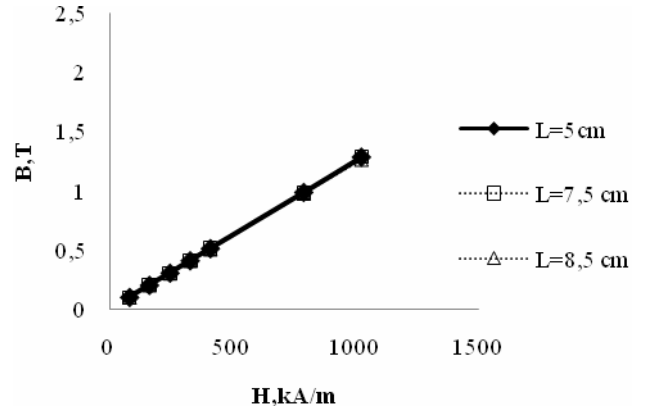
- 1) Giriş borusu, 2) Manyetik alan sistemi, 3) Süzgeç
- 4) Gövde, 5) Çıkış borusu

Mıknatıslanmış dolgulu yatağın manyetik alan yoğunluğunun ortalama değeri manyetik alanda dolgulu yataklar olmadığı durumdaki değerlerle kıyaslanmıştır. Tekel basit dolgulu yatak hücresi modelinden (Lihtenberg Modeli) gidilerek yatağın tümünün mıknatıslanma özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel değerlerle teorik yolla bulunmuş kuramsal model kıyaslanmış ve düzeltme katsayıları kullanılarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Dolgusuz Yatakların Mıknatıslanma Özellikleri

10cm uzunluğundaki aygıtın çalışma bölgesinde mıknatıslanmış dolgu elemanları (küreler) bulunmadığı durumda üç farklı noktada manyetik alan yoğunluğu ölçülmüştür. Şekil-2 de dolgusuz yatağın B(H) mıknatıslanma eğrisi gösterilmiştir. Seçilen üç farklı uzunlukta elde edilen mıknatıslanma eğrileri birbirine benzemektedir. Dolayısıyla aygıtın çalışma aralığındaki manyetik alanın yaklaşık olarak homojen dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Bu dolgulu yatağın herhangi bir noktasında örneğin boşluğun merkezinde ölçümünün yeterli olacağı kanaatine varılmıştır. Deneylerde ferromanyetik dolgulu yatağın mıknatıslanma özelliğinin manyetik alan şiddetinin artmasıyla arttığı gözlenmiştir.

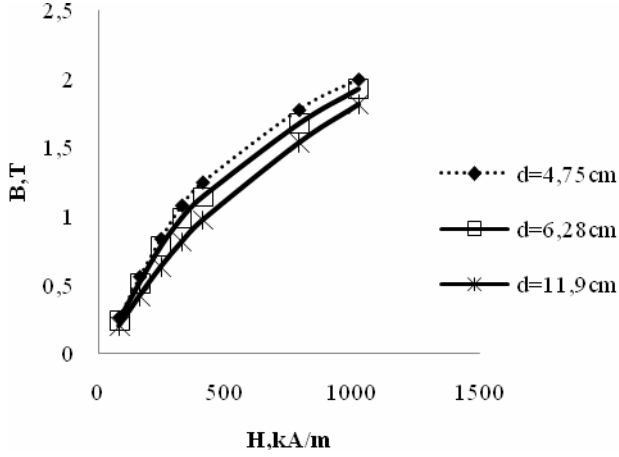


Şekil-2. Mıknatıslanmış dolgulu yatakların olmadığı durumdaki mıknatıslanma eğrisi

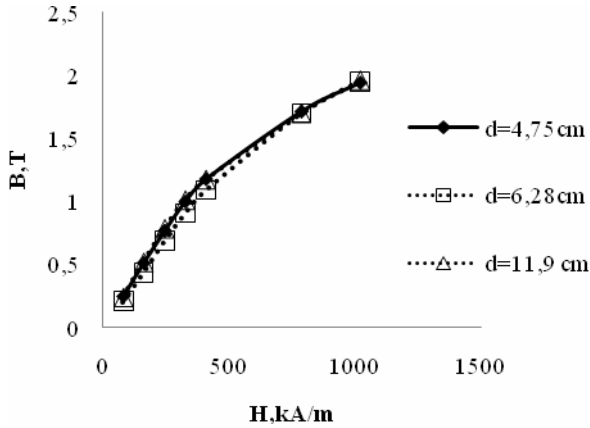
3.2. Dolgulu Yatakların Mıknatıslanma Özellikleri

Dolgulu yataklar çapları 4,75mm, 6,28mm ve 11,9mm olan farklı boyutlu kürelerden oluşturulmuş üç ayrı yatak olarak incelenmiştir. Manyetik alan yoğunluğunun yatağın tabanından 5cm, 7,5cm ve 8,5 cm yüksekliklerindeki değerleri ölçülmüştür. Üç farklı filtre matris çapı için B(H) mıknatıslanma eğrisi şekil-3, şekil-4 ve şekil-5 de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi dolgulu yatağın oluşmasıyla manyetik alan yoğunluğu boşluğa göre yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Buna rağmen dolgu elemanının çapının artışıyla yatağın mıknatıslanma özelliği azalmıştır. Bu değişimin nedeni büyük çaplı dolgulu yataklarda oluşan gözenekliliğin daha fazla olmasıdır. Zira bu durumda manyetik alanın kuvvet çizgileri kürelerin teğet noktaları etrafında çok düşük bir alanda kümeleşmiş olur. Bu olay teğet noktası bölgelerinin dış alanın nispeten büyük değerlerinde doyma durumuna da ulaşabilir. Bu ise teknolojik açıdan dolgulu yatakların etkinliğinin azalmasına neden olur. Deney sonuçlarından görüldüğü gibi çalışmaya tabii tutulan dolgulu yataklarda B-H

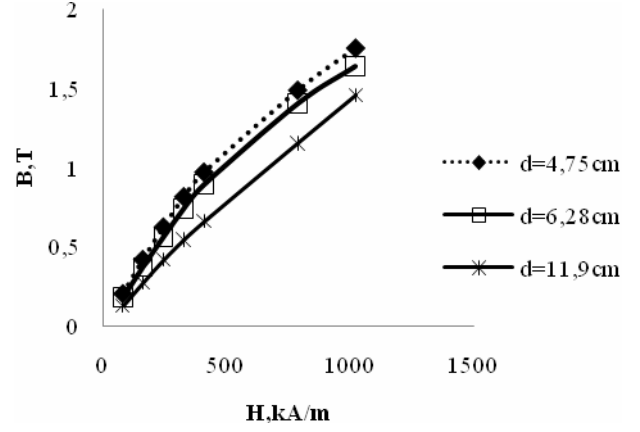
ilişkisi yaklaşık olarak lineerdir. Dolayısıyla bu durumda dolgulu yatağın mıknatıslanması doyma mıknatıslanmasının altındadır ve bu değerler dış manyetik alanın büyük değerlerine bile tekabül etmektedir (1000-1200 kA/m). Diğer taraftan bu olay dolgulu yatakların mıknatıslanma limitinin dolmadığını göstermektedir. Yani, dış homojen manyetik alan, B=2T civarlarına ulaştığı durumda dolgulu yatak mıknatıslanması daha da etkilenmiş olur.



Şekil-3. Mıknatıslanmış dolgulu yatakların mıknatıslanma eğrisi L=5cm



Şekil-4 . Mıknatıslanmış dolgulu yatakların mıknatıslanma eğrisi L=7,5 cm



Şekil- 5. Mıknatıslanmış dolgulu yatakların mıknatıslanma eğrisi L=8,5 cm

4.KURAMSAL

Genelde manyetik alan teorisinde herhangi bir bölgenin alanını analitik hesaplamak için esasen manyetik alan potansiyeli tanımından ve Laplace denkleminde yararlanılır [2]. Bir, iki veya en fazla dört ferromanyetik elemanın dış homojen manyetik alanın etkisiyle oluşturduğu gradyantlı alanların hesaplanması için yukarıda adı geçen hesaplama yöntemi kullanılabilir [4-6]. Fakat yatak elemanlarının sayısının artmasıyla bu yöntemin matematiksel işlemleri daha karmaşık ve çözülemez duruma gelmektedir. Öte yandan, dolgulu yataklarda kullanılan ferromanyetik elemanların (örneğin kürelerin) sayısı yüzbinlerle hatta daha fazlası olabilir. Bu nedenle mıknatıslanmış dolgulu yatakların mıknatıslanma özelliklerini skaler manyetik potansiyel teorisi kullanılarak belirlemek zordur. Bu çalışmada mıknatıslanmış dolgulu yatak hava+çekirdek mıknatıslanma kanallarından oluşmuş manyetik devre elemanı olarak hesaplanmıştır. Mıknatıslanma özelliği olarak kürelerin teğetlenme noktalarından geçen eksenel mıknatıslanma kanallarının farklı mıknatıslanma özelliklerinin olduğu varsayılmıştır [1]. Mıknatıslanma kanallarının birbiriyle örtüşme etkisi ve kanalın non-lineer manyetik geçirgenliği, dolayısıyla da dolgulu yatağın elemanlarının hacimsel dolgu faktörünün B(H) eğrisine etkisi k_d düzeltme katsayısı ile dikkate alınmıştır. Bu durumda mıknatıslanmış dolgulu yatağın esas mıknatıslanma eğrisi aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$B = k_d \mu_0 \frac{\mu}{\mu-1} H \left[\frac{\mu}{\mu-1} \ln \mu - 1 \right]$$

Burada H- dış homojen manyetik alan şiddeti, μ - kürelerin bağlı manyetik geçirgenliği, $\mu_0=4\pi 10^{-7}$ H/m manyetik sabittir.

Deneysel incelemeler göstermiştir ki, çapları (4-12) mm aralığında değişen ferromanyetik kürelerden oluşturulmuş

yatakların $H= (80-250)$ kA/m dış manyetik alanda mıknatıslanması durumunda $k_d=(2-2.5)$ civarlarında olur.

SONUÇ

Elektromanyetik filtrenin performansını iyileştirmek için esas çalışma bölgesini oluşturan mıknatıslanmış dolgulu yatakların manyetik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Dolgusuz duruma göre mıknatıslanmış dolgulu yatakların manyetik alan yoğunluğunda önemli derecede artış gözlenmiştir. Bu olay bütün mıknatıslanmış granül dolgulu yataklarda yer almaktadır ve yatağın gözenekliliği ile orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle mıknatıslanmış dolgulu yatakların genel kuramsal modelini oluşturmak için belli düzeltme katsayıları kullanarak bu çalışmada elde edilen sonuçlardan faydalanılabilir. Mıknatıslanmış dolgulu yatakların mıknatıslanma eğrisini değerlendirme için kanallarla mıknatıslanma modeli göz önüne alınmalıdır [1]. Bireysel mıknatıslanma geçirgenliği nonlineer olarak değişir ve bu değişimi manyetik devre teorisini kullanarak hesaplamak mümkündür. Ölçümler mıknatıslanmış dolgulu yatakların ortalama manyetik geçirgenliğinin değişiminin Lihtenberg yaklaşımına daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Yani dolgu elemanlarının hacimsel yoğunluğunun artmasıyla dolgulu yatağın esas mıknatıslanma eğrisi olan $B(H)$ ilişkisi de artacaktır. Sonuçların değerlendirilmesinden yüksek doluluk oranına sahip mıknatıslanmış dolgulu yatakların elektromanyetik filtrasyonda yüksek verim elde edilmesi için kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ancak mıknatıslanmış dolgulu yatakların doyma mıknatıslanması, kürelerin çapı arttıkça daha üst değerlere ($B=2T$) kayabilir. Bu tür durumlarda mıknatıslanmış dolgulu yatakların veya bu yataklarda oluşturulmuş elektromanyetik filtrelerin etkin kullanımı filtrenin debisi, elektrik enerjisinden tasarrufu ve diğer faktörleri de göz önüne alarak belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Abbasov. Elektromanyetik Filtreleme İşlemleri, Seçkin, Ankara, 2002.
- [2] Svoboda J. Magnetic Techniques for the Treatment of Materials. Kluwer Academic Publishers, USA, 2004.
- [3] T. Abbasov, Magnetic Filtration With Magnetized Granular Beds Basic Principles and Filter Performance, China Particuology, 5 (2007) 71–83.
- [4] J.H.P. Watson, Magnetic Filtration. J. Appl. Phys. 1973, 44
- [5] F.J. Friedlaender, M. A. Takayasu, Study of the Mechanism of Particle Build-Up On Single Ferromagnetic Wires and Spheres. IEEE Trans. Magn. 1982, MAG-18 (3),817-821.
- [6] J.H.P. Watson, S.J.P. Watson. The Ball Matrix Magnetic Separator. IEEE Trans. Magn. 1983. MAG-19 (6),2698-2704.
- [7] T.Abbasov,A.S.Altunbaş. Determination of the Particle Capture Radius In Magnetic Filters With Velocity Distribution Profile In Pores. Separation Science and Technology, 37 (2002) 9, 2037-2053.