

MANYETİK FİLTASYON İŞLEMLERİNE ETKİYEN TEMEL TEKNOLOJİK PARAMETRELERİN ANALİZİ

Teymuraz ABBASOV¹

Saadetdin HERDEM²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Mühendislik Fakültesi,
İnönü Üniversitesi, 44069, Malatya

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Niğde Üniversitesi, 51100, Niğde

¹e-posta: tabbasov@inonu.edu.tr

²e-posta: sherdem@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler: Manyetik Alan Şiddeti, Manyetik Alınganlık, Manyetik Filtre, Filtre Performansı

ÖZET

Manyetik filtrasyon işlemlerinin özellikleri göz önüne alınarak filtrasyon işlemlerini etkileyen temel parametreler arasındaki bağlantılar incelenmiştir. Bu parametrelerden en önemli olan manyetik alan şiddetinin ve filtreleme hızının değişimlerinin filtre performansına etkisi değerlendirilmiştir. Tutulan parçacıkların manyetik alınganlığının değişiminin dış manyetik alan şiddetinin filtre performansına etkisindeki rolü belirlenmiştir. Bu konuda literatürde sunulan bazı çelişkili sonuçların giderilmesi için parametreler arasındaki bağlantıların gerçek oranları önerilmiştir. Elde edilen sonuçların geçerliliği teorik ve deneysel sonuçların kıyaslanmasıyla gösterilmiştir

1.GİRİŞ

Manyetik filtrasyon yöntemi çeşitli sanayi alanlarında teknolojik sıvı ve gazların mikron ve submikron boyutlu manyetik parçacıklardan etkin temizlenmesi için kullanılmaktadır [1-3]. Manyetik filtrenin (MF) dolgu elemanları ferromanyetik elemanlardan (küre, silindir, metal talaşları vb.) oluşturulur. Dış homojen manyetik alanda mıknatıslanan filtre elemanları etrafında yüksek gradyanlı manyetik alanlara sahip olan bölgeler oluşur. Bu bölgeler parçacıkları yerel tutma bölgeleri veya aktif bölgeler adını alırlar. Teknolojik sıvı veya gaz MF gözeneklerinden geçtiğinde bu atomların içerdiği mikron boyutlu manyetik parçacıklar bu bölgede tutularak birikirler. Filtre elemanları yüksek sıcaklığa, kimyasal ve mekanik etkenlere karşı dayanıklı olduğundan çeşitli fiziko-kimyasal özellikli teknolojik sıvılar ve gazların MF’de etkin temizlenmesi mümkündür [2-3]. Bununla beraber, MF’in mümkün olabilecek birçok sanayi alanlarında uygulanması gecikmektedir. Bu gecikmenin esas nedenlerinden biri de MF’in tamamlanmış bir teorisinin ve tekniksel araçların olmamasıdır. MF teorisi ve pratiğini belirleyen temel

parametre filtrenin temizleme etkinliği veya performansdır.

Filtrasyon işlemlerinin temel parametrelerinin MF performansına etkisi öncelerde incelenmiştir[4-9]. Fakat bütün çalışmalarda bu veya diğer parametrelerin filtre performansına etkisi teker teker incelenmiş ve elde edilen sonuçlar genelleştirilmiştir. Oysa, filtre performansının rejim parametrelerine bağımlılığı bir kompleks sistem oluşturmaktadır. Bu nedenle manyetik filtre performansının bağımlı olduğu salt ölçülebilen parametrelerin değil, filtrasyon işlemi dolayısıyla etkileyen parametrelerin de incelenmesi gerekir. Direkt olarak ölçülmesi mümkün olmayan bu parametrelere parçacıkların manyetik anizotropisi, dış manyetik alanda manyetik alınganlığının değişimi, manyetik sistemin doyma olayı, aktif bölgelerde temizlenen ortamın akış hızı profilinin değişimi, yerel ısı ve faz değişimleri ait edilebilirler. MF’in özellikleri dikkate alındığında bu parametrelerden en önemli olanları sistemin manyetik ve hidrodinamik parametrelerinin değişimlerinin etkisidir. Hidrodinamik parametrelerinin MF performansına etkisi incelenmiştir [10]. MF performansının dış manyetik alan şiddetine bağımlılığı ise halen literatürde çelişkili tartışmalara neden olmaktadır [2,5,9]. Bu belirsizliklerin çözülmesi dolgu yatakları ferromanyetik küre ve metal talaşlarından oluşturulmuş MF için özellikle büyük önem arz etmektedir.

Bu bildiride MF performansının dış manyetik alan şiddetine bağımlılığı incelenmiştir. Bu bağıntının detaylarını belirlemek için dış manyetik alanın etkisiyle tutulan parçacıkların manyetik alınganlığının değişimi de dikkate alınmıştır. Çeşitli durumlar için filtre performansının dış manyetik alan şiddetine bağımlılığı verilmiş, teorik ve deneysel sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Sonuçta MF performansının dış manyetik alan şiddetine ve filtreleme hızına bağımlılıklarının teorik ve deneysel sonuçları

verilmiştir ve bu sonuçların birbiriyle iyi uyum içinde oldukları vurgulanmıştır.

2.MANYETİK FİLTRE PERFORMANSININ TEKNOLOJİK REJİM PARAMETRELERİNE BAĞIMLILIĞI

Manyetik filtrelerin dolgulu yataklarında temizlenen sıvının hidrodinamiği göz önüne alındığında filtre performansı genelde aşağıdaki şekilde belirlenebilir[3].

$$\psi = \lambda [1 - \exp(-\xi)] \quad (1)$$

Burada ψ temizleme katsayısı (karışımın konsantrasyonunun azalma oranı), λ temizlenen ortamın içerdiği karışımda manyetik özellikli parçacıkların oranı, ξ logaritmik temizleme katsayısıdır. Logaritmik temizleme katsayısı genelde filtreleme sisteminin manyetik, geometrik, hidrodinamik, reolojik vb. parametrelerine bağlıdır. Dolgu yatakları ferromanyetik kürelerden oluşturulmuş MF'de logaritmik temizleme katsayısı şu şekilde belirlenebilir[3].

$$\xi = 0,31 \times 10^{-5} \left[\frac{\kappa \mu^{1,38} H^2 (1 - \phi) \delta}{\rho V_f^2} \right] \frac{L}{d} \quad (2)$$

Burada $K(\delta)$ filtrede tutulan parçacıkların ortalama manyetik alınganlığı boyutu; $\mu(d)$ filtre dolgu elemanlarının manyetik geçirgenliği, H dış manyetik alan şiddeti, $V_f(\rho)$ temizlenen sıvının filtreleme hızı (yoğunluğu); L filtrenin aktif bölgesinin uzunluğudur. Denklem 2'den görüldüğü gibi logaritmik temizleme katsayısının (ξ) dış alan şiddetine bağlılığı

$$\xi \approx H^{1,2} \quad (3)$$

şeklinde. Fakat MF'de dolgulu yataklara uygulanan dış manyetik alan esasen zayıf manyetik alandır. $H \leq 200$ kA/m ve manyetik sistem doyma mıknatıslanma olayının altında çalışmaktadır. Bu durumda filtre elemanı olan ferromanyetik kürelerin manyetik geçirgenliği μ ve tutulan parçacıkların manyetik alınganlığı (k) manyetik alan şiddetine (H) bağlıdır. Bu bağıntılardan esasen $\mu(H)$ bağıntısının olduğu varsayılmaktadır [2,6]. Bu bağıntıyı değerlendirmek için $H \leq 200$ kA/m alanlarında elektroteknik amaçlarla kullanılan çelikler için

$$\mu = 5,6 \times 10^5 / H^{0,9} \quad (4)$$

bağıntısından [2] yararlanabiliriz. Burada $\overline{H} = H / 1 \text{ A/m}$ boyutsuz manyetik alan şiddetidir.

Bu bağıntı Dk. 2'de dikkate alırsak logaritmik temizleme katsayısının

$$\xi \approx H^{0,45} \quad (5)$$

olduğu görülmektedir. Hesaplamalar göstermiştir ki bu bağıntı birçok durumda, özellikle sanayi alanlarında kullanılan reel MF'de deneysel sonuçlarla kaba olarak uyum sağlamaktadır. Bu nedenle $\mu(H)$ bağıntısı ile beraber $k(H)$ bağıntısını da göz önüne almak gerekir. Genelde, parçacığın $k(H)$ bağıntısını elde etmek o kadar kolay değildir. Fakat mühendislik hesaplamaları çerçevesinde bu bağıntının yaklaşık ifadesini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$k = k' / (75 \overline{H}^{0,56}) \quad (6)$$

burada k' alınganlık katsayısı olup, örneğin magnetit (Fe_3O_4) için $k' = 1,6 \cdot 10^4$ 'dür. Dk.4 ve 5 Dk 2'de göz önüne alındığında logaritmik temizleme katsayısının manyetik alan şiddetine bağlılığının üssünün

$$\xi \approx H^{0,8} \quad (7)$$

olmasının gerekliliği açıkça görülmektedir. Aslında bu bağıntı dış manyetik alanın manyetik filtrasyon işlemlerinde gerçek rolünü göstermektedir. Bu durumda Dk.2 aşağıdaki gibi olur.

$$\xi = 4,13 \times 10^{-8} \left[\left(\frac{\kappa' (1 - \phi) H^{1,318}}{\rho V_f^2 d} \right)^{-0,6} \frac{L}{d} \right] \quad (8)$$

Kıyaslama amacıyla filtre performansının diğer önemli rejim parametresi olan filtreleme hızına bağlılığını ele alalım[3]. Bu bağıntı Dk.2 ile belirlenir ve

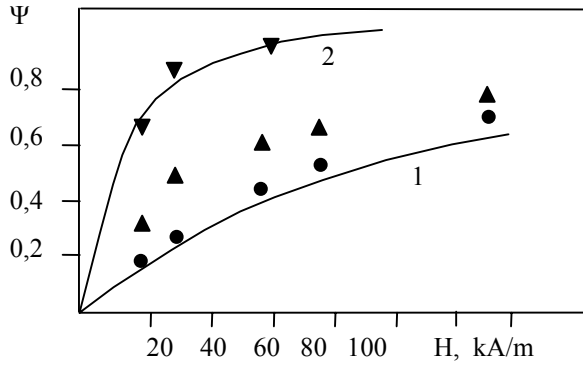
$$1/\xi \approx V_f^{1,2} \quad (9)$$

biçiminde olur. Bu bağıntılar dikkate alınarak logaritmik temizleme katsayısının (dolayısıyla filtre performansının) dış manyetik alan şiddetine (H) ve filtreleme hızına (V_f) bağlılığı şekil 1 ve şekil 2'de gösterilmiştir. Elde edilen teorik sonuçların geçerliliği uygun şekillerin üzerinde gösterilmiş deney sonuçlarıyla kıyaslamadan görülmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

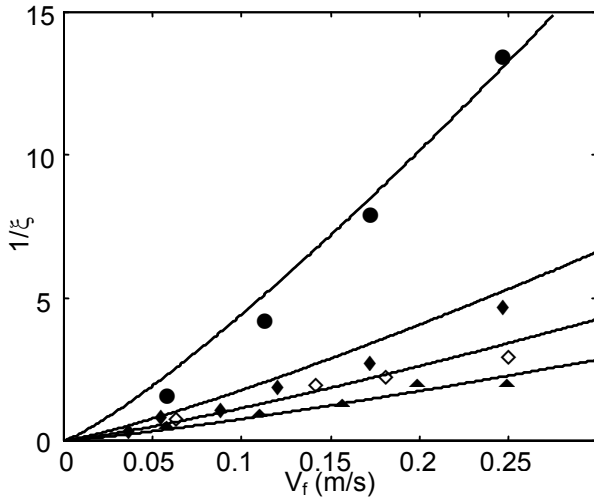
Şekil 1'de Dk.7'ye göre $\xi(H)$ bağıntısı gösterilmiştir. Temizlenen ortam olarak su ve magnetit (Fe_2O_3) parçacıklarından oluşturulmuş yapay süspansiyon kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi manyetik alan şiddetinin artışıyla filtre performansının değişim hızı tutulan parçacıkların boyutları arttıkça onların manyetik alanda yakalanması daha da kolaylaşır. Bu bağıntılardan $\xi \approx H^t$ bağıntısının üslü bir şekilde olduğu görülmektedir. Dk.5 ve Dk.7'den görüldüğü gibi tutulan parçacıkların manyetik alınganlığının

ortalama değerinin ve dış alana göre değişiminin göz önüne alınması durumlarında bile $f=0,45-0,8$ aralığında olur. Bu sonuç Prof. A. V. Sandulyak tarafından gösterilmiş değer aralığıyla ($f=0,4 - 1$) iyi uyum sağlamaktadır. Fakat aynı koşullar çerçevesinde parçacıkların manyetik alınganlığının değişimi dikkate alınmadığında (Dk.5) MF performansının manyetik alan şiddetine bağımlılığı deneysel sonuçlarla iyi uyum içinde olmayabilir. Dolayısıyla dış manyetik alan şiddetinin değişiminin MF performansına etkisinin gerçek rolü hem dolgu yatağın hem de tutulan parçacıkların mıknatıslanma özellikleri dikkate alındığında meydana çıkar. Başka bir deyişle manyetik separatör teorisinde öngörülen matris elamanlarının yalnız iki mıknatıslanma durumu doymuş ve doymamış mıknatıslanması varsayımları [1,9] dolgu yataklar için her zaman geçerli değildir.



Şekil 1 Manyetik Filtre performansının manyetik alan şiddetine bağımlılığı.

1) $\delta < 1 \mu\text{m}$, 2) $\delta > 8 \mu\text{m}$, ● $0,1 < \delta < 1 \mu\text{m}$, ▲ $\delta < 8 \mu\text{m}$, ▼ $\delta > 8 \mu\text{m}$. $d = 5,7 \text{ mm}$, $u = 5,6 \text{ cm/s}$, $L = 4,2 \text{ cm}$.



Şekil-2. İvers logaritmik temizleme katsayısının filtrasyon hızına bağımlılığı: $H=75 \text{ kA/m}$ $d=5,7 \text{ mm}$ $L=84 \text{ mm}$. ●-termik santral kondensatı, ◆-nükleer santral kondensatı, ◇-sıvı amonyak, ▲-hidroelektrik santral suyu.

Elde edilen teorik sonuçların MF performansının filtrasyon işleminin diğer parametrelerine bağıntısının (Dk.2) geçerliliği Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekilde invers logaritmik temizleme katsayısının filtrasyon hızına bağımlılığı gösterilmiştir. Bir çok sanayi alanlarındaki teknolojik sıvıların MF'de temizlenmesinden elde edilen deney sonuçları teorik ve deney sonuçlarının iyi uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Watson, J.H.P., "Magnetic Filtration", J. Appl. Physics, vol.44, pp. 4209-4213. 1973.
- [2] Sandulyak, A.V., *Magnetic Filtration of the liquid and gases*, Ximiya, Moscow, 1988. 136p. (in Russian).
- [3] Abbasov, T., *Elektromanyetik Filtreleme İşlemleri (Teori, uygulama, konstraksiyon)*. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2002.
- [4] Abbasov T., Herdem S., Köksal M. "Performance of high gradient Magnetic filters with Granular Matrix". Separation Science and Technology. vol. 34, pp. 238-252, 1999.
- [5] Herdem S., Abbasov T., Köksal M., "Filtration Model of High Gradient Magnetic Filters with Granular Matrix", Powder Technology, v. 106, no. 3, pp. 176-182.1999.
- [6] Abbasov T., Köksal M., Herdem S., "Theory of High-Gradient Magnetic Filter Performance", IEEE trans. on Magnetics, vol. 35, no. 4, pp. 2128-2132, 1999.
- [7] Abbasov T., "Theoretical interpretation of the filtration process in magnetized packed beds", Powder Technology, vol. 115, no. 3, pp. 215 -220, 2001.
- [8] Abbasov T., Altunbas, A.S., "Determination of the Particle Capture Radius in Magnetic Filters with Velocity Distribution in Pores", Separation Science and Technology, v. 37. no.9, pp. 2037-2053, 2002.
- [9] Svoboda, J., *Magnetic method for the treatment of minerals*. Elsevier Sci., Publishers B.V., 1987.
- [10] Köksal M., Abbasov T., Herdem S. "Mathematical modelling of magnetic filtration processes", International Journal of Applied Electromagnetics and Machanics. vol.17, 2003 (to be published).