



FİLTRE GERİ YIKAMA SİSTEMİNDE TAŞKIN YATAĞIN AKIŞKAN YATAKLA KARŞILAŞTIRILMASI

Ayşe ÇEÇEN ERBİL ve Mustafa TURAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, 34469, İstanbul

Öz: Su ve atıksuların arıtılmasında filtrasyon önemli bir yer tutmaktadır. Filtrelerin temizlenmesi ise filtre malzemesini kaybetmeden filtreyi geri yıkamak suretiyle yapılmaktadır. Teorik ve deneysel çalışmalarda, filtre yatağı akışkanlaştırılarak tortu maddelerden temizlenmesinin mekanizması araştırılmış, geri yıkama yapılan filtrelerin hidrodinamik özellikleri ve bu proses esnasındaki enerji harcanması incelenmiştir. Laboratuvar deneylerinde çıkış suyu bulanıklılığı (T_e) ve geri yıkamada harcanan su miktarı (V_b) belirlenmiştir. Tanecikler üzerinde biriken tortu maddelerinin ayrılması r_d , hidrodinamik kayma gerilmesi (τ_a), türbülans çalkantıları ($C_a^{0.5}/Re$) and ve geri yıkama suyu miktarının (V_b) fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Akışkan yataklarda, porosite 0,75 civarında maksimum kayma gerilmesi ve etkin temizleme sağlanmıştır. Draft tüplü taşkın yataklarda ise teorik çalışmaların sonucunda, akışkan yataktakinden daha yüksek kayma gerilmesi değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Geri yıkama, taşkın yatak, akışkan yatak, hidrodinamik kayma gerilmesi, türbülans parametresi*

COMPARATIVE EVALUATION OF SPOUTED BED AND FLUIDIZED BED IN BACKWASHING OF FILTERS

Abstract Theoretical and experimental studies were performed to evaluate the detachment mechanisms of deposited material by fluidizing the filter media. The hydrodynamic characteristics of a backwashed filter and the energy dissipation during backwashing processes were investigated. Direct measurements of the effluent turbidity, T_e , and the backwash water volume, V_b , were made during backwashing in the laboratory experiments. The detachment rate of deposited material, r_d , was found to vary with hydrodynamic shear (τ_a), turbulence fluctuations ($C_a^{0.5}/Re$) and backwash water volume (V_b). Maximum shear stress causes a maximum detachment of the deposited material from the filter media. Thus, optimum cleaning is obtained at a solids fraction of 0.25-0.3 (or porosity of 0.7-0.75). Calculations show that inside the draft tube of a spout-fluid bed, higher shear stress values are obtained than in a fluidized bed of the same solids fraction. The turbulence dissipation parameter is also higher inside a draft tube than in a fluidized bed.

Keywords: *Backwashing, spouted bed, fluidized bed, hydrodynamic shear stress, turbulence parameter*

GİRİŞ

Filtrasyon işleminin sonlarına doğru, filtre yatağında biriken tortu maddelerinin gözenekleri tıkaş, aşırı yük kaybına ve kısa devreye sebep olması sonucu geri yıkama gerekli hale gelir (Kawamura, 1999). Ayrıca filtre yatağının tıkanması üzerinde, yatak gözeneklerinde biriken farklı tortu maddelerinin karakteristikleri de önemli rol oynamaktadır (Boller ve Kavanaugh, 1995). Geri yıkama prosesi genellikle, akışın ters yönde verilerek filtre yatağının akışkan hale

getirilmesiyle sağlanmaktadır. Bu esnada akış hızı tanecikleri askıda tutacak mertebede olup, hızın artışı yatağın genişleşmesindeki artışa sebeboldur. Geri yıkama, yatak gözeneklerinin genişlemesiyle gözeneklerde biriken tortu maddelerinin temizlenmesinin kolaylaşması sebebiyle tavsiye edilen bir metoddur (Amirtharajah, 1978; Cleasby ve Fan, 1981). Geri yıkamada tanecikler üzerine tesir eden kuvvetler dinamik bir dengeye sahip olup, yerçekimi kuvvetinin (F_g) kaldırma kuvvetinin (F_b) ile farkı sürüklenme kuvvetine (F_d) eşittir:

$$F_d = F_g - F_b \quad (1)$$

Burada $F_g = (\pi d_s^3/6) \rho_s g$, $F_b = (\pi d_s^3/6) \rho g$, $d_s =$ tanecik çapı, $\rho_s =$ tanecik yoğunluğu, $\rho =$ akışkanın yoğunluğu, ve $g =$ yerçekimi ivmesidir. Filtrelerin geri yıkanması, filtre yatağının akışkan hale getirilmesiyle gerçekleşir. Geri yıkanan filtrelerde akış rejimi laminer akım ve türbülanslı akım arasındaki geçiş rejimdedir ($1 < Re_t < 500$) (Amirtharajah, 1978). Küresel olmayan tanecikler için Richardson-Zaki Korelasyonu akışkan yatağın yatak genişleme özelliklerini aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır:

$$U/U_i = \varepsilon^n \quad (2a)$$

$$U_i / U_t = 10 \cdot d_s / D \quad (2b)$$

$$n = (4,45 + 18d_s/D) Re_t^{0,1\psi_a} \quad 1 < Re_t < 500 \text{ için} \quad (2c)$$

$$a = -2,924 \psi^{0,884} Re_t^{-0,363} \quad (2d)$$

(Richardson ve Zaki, 1954; Cleasby ve Fan, 1981). Burada $U =$ yukarı akış hızı, $U_i =$ durdurma hızı, $U_t =$ tanecik çökme hızı, $\varepsilon =$ akışkan yatak porozitesi, $n =$ yatak genişleme katsayısı, $Re_t = \rho U_i d_s / \mu =$ tanecik Reynolds sayısı, $D =$ kolon çapı, $\psi =$ küresellik katsayısı, ve $\mu =$ akışkanın dinamik vizkozitesidir.

GERİ YIKAMADA ENERJİ KAYBI

Akışkan Yataklı Sistem

Askıda katı madde içeren akışlarda enerji denklemi Itakura ve Kishi (1980) tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\tau du/dy = \rho U_*^3 / KL_m + \beta \rho U_*^3 / KL_m + \rho U_*^3 / Ky \quad (3a)$$

Akışkan yataktaki akımlar için enerji denklemi ise aşağıdaki gibi yazılabilir (Turan, 1992) :

$$\tau du/dy = (\alpha_1 \rho U_*^3 / KL_m + \beta \alpha_1 \rho U_*^3 / KL_m + \rho U_*^3 / Ky) \varepsilon^{(n-1)} \quad (3b)$$

Denklem 3b' nin sol tarafı Reynolds gerilmeleri ile üretilen enerjiyi ve eşitliğin sağ tarafı da akımdaki harcanan enerjiyi göstermektedir. Burada $L_m = U_*^3 (K_g (\rho_s / \rho - 1) U_t (1 - \varepsilon)) =$ Monin-Obukhov uzunluğu, $\alpha_1 = U_i / U_o =$ tanecik özelliğine bağlı katsayı (Monin ve Obukhov, 1973; Turner, 1973), $U_* = ((Rg\rho(\rho_s/\rho - 1) (1 - \varepsilon) / 2\rho_a)^{0,5} =$ sürtünme hızı, $\beta =$ taneciklerin rastgele hareket katsayısı, $\rho_a = \rho(1 + (\rho_s/\rho - 1) (1 - \varepsilon)) =$ katı tanecik içeren akışkanın ortalama yoğunluğu, $K = K_o / (1 + 2(1 - \varepsilon)) =$ von Karman Universal sabiti ve $K_o = (0,4)$ saf su için K ' nin değeridir (Hino, 1963). Denklem 3' den, hidrodinamik kayma

gerilmesi elde edilir ve filtre kolonu dik kesiti üzerinde aritmetik ortalamalı olarak hesaplanırsa,

$$\tau_a = \varepsilon^{(n-1)} (a(1 - \varepsilon)^{0,5} + b(1 - \varepsilon)) \quad (4)$$

bulunur. Burada a ve b sabitlerdir. Türbülansın akışkan yatak içinde harcanan enerjiye katkısını belirten C_a katsayısı ve türbülans şiddetinin $((u^2)^{0,5}/U)$ etkisini gösteren türbülans parametresi $(C_a^{0,5}/Re)$ sırasıyla aşağıdaki şekilde verilmektedir (Turan, 1992):

$$C_a = \frac{\tau_a}{\mu G_a} - 1 = \varepsilon^{(n-1)} (a + b(1 - \varepsilon)^{0,5}) / (\mu a_1 (\ln b_1 (1 - \varepsilon)^{0,5} - 1)) - 1 \quad (5)$$

ve

$$C_a^{0,5}/Re \sim ((u^2)^{0,5}/U) \quad (6)$$

Burada $Re = \rho U d_s / \mu =$ akış Reynolds sayısı, a_1 ve b_1 sabitlerdir.

Draft Tüplü Taşkın Yataklı Sistem

Benzer bir analiz taşkın yatak içindeki draft tübünün içinde akan su ve tanecik karışımına da uygulansa, bu durumda Itakura ve Kishi (1980)' nin ifade ettiği enerji denklemi (denklem 3a) orijinal haliyle kullanılabilir. U_* değerlerini hesaplamak için sürtünme hızı $U_* = (\tau/\rho_a)^{0,5} = ((D/4\rho_a)(\Delta P/L))^{0,5}$ denkleminde $\Delta P/L$ terimi yerine draft tübün içinde tanelerin sabit hızla hareket ettiği bölgede ölçülen basınç düşüşü kullanılır. K ve L_m terimlerini hesaplamak için gereken draft tübü içindeki porozitenin (ε) belirlenmesi gerekmektedir. Porozite deneysel olarak ölçülmesi mümkün olmayan bir parametre olup, Grbavcic ve diğ. (1992) ' nin önerdiği şekilde, draft tüpün içindeki dinamik basınç kaybı ile tanelerin askıdaki ağırlığı ve su ve taneler ile yatak cidarı arasındaki sürtünme kayıpları hesaplanarak aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır:

$$-\frac{dP_d}{dz} = (1 - \varepsilon_d)(\rho_p - \rho_f)g + F_w; \quad F_w = F_f + F_p \quad (7)$$

F_f terimi Blasius denkleminde aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_f = 2 f_f \varepsilon_d \rho_f u_d^2 / D_d \quad (8)$$

Filtre Geri Yıkama Sisteminde Taşkın Yatağın Akışkan Yatakla Karşılaştırılması

Burada f_f Reynolds sayısına bağlı olarak

$$f_f = 0.0791 \text{Re}_d^{-0.25}; \quad \text{Re}_d = D_d U_d \rho_f / \mu \quad (9)$$

şeklinde verilmiştir. F_p ise Grbavcic ve diğ. nin (1992) önerdiği şekilde aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$F_p = 0.0622(1 - \varepsilon_d) \rho_p g \quad (10)$$

Draft tüplü taşkın yatakta değişik deneysel şartlar için $-dP_d/dz$ değerleri ölçülmüş ve denklem 7-10' dan draft tüp içindeki porosite (ε) hesaplanmıştır. K ve L_m terimlerinin de hesaplanmasıyla, kayma gerilmesi (τ) denklem 3a' da türbülanslı akımlar için $du/dy=U_*/Ky$, laminer ile türbülanslı akım arasındaki geçiş rejiminde ise $du/dy=2U_*/Ky$ kullanılarak elde edilebilir. Denklem 3a' dan görüldüğü gibi, kayma gerilmesi yatak cidarından olan mesafeyle değişmektedir. Bu durumda kayma gerilmesinin yatağa dik bir kesit üzerinde aritmetik

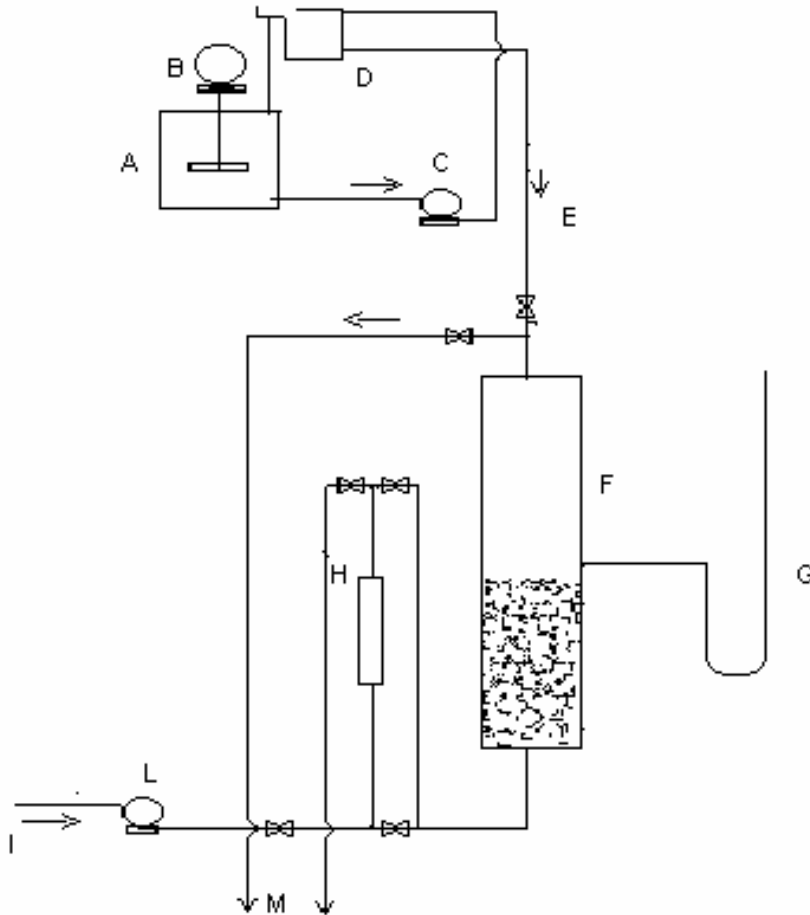
ortalama olarak belirlenmesi daha anlamlı olacaktır. Sonuç olarak ortalama kayma gerilmesi, τ_a , türbülanslı akım durumunda

$$\tau_a = \rho U_*^2 \left[1 + \frac{(1 + \beta)R}{3L_m} \right] \quad (11)$$

geçiş rejiminde ise,

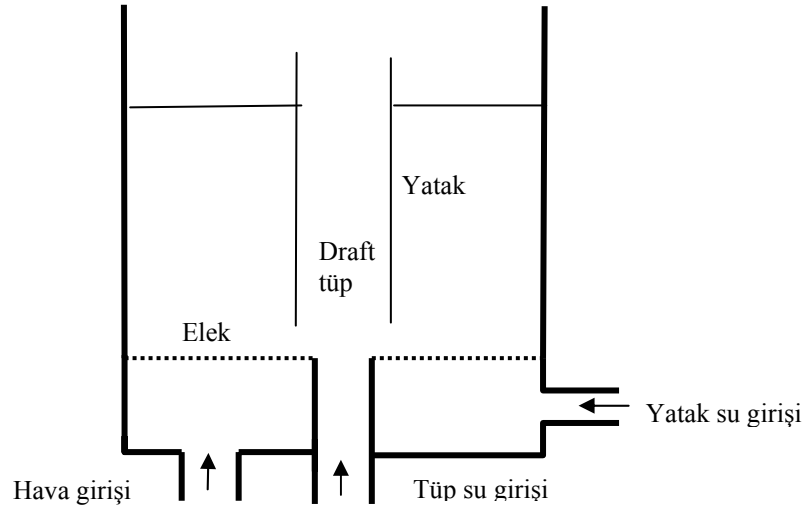
$$\tau_a = \rho U_*^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{(1 + \beta)R}{6L_m} \right] \quad (12)$$

şeklinde elde edilir. Aynı şekilde, aritmetik ortalama hız gradyanı, G_a , türbülanslı akım ve geçiş rejimi için başka yerde hesaplanmıştır (Çeçen and Turan, 2004). Dolayısıyla, denklem 4 ve 5 kullanılarak, türbülansın harcanan enerjiye katkısını belirten C_a katsayısı ve türbülans parametresi ($C_a^{0.5}/\text{Re}$) elde edilmiştir.



A=Besleme tankı, B=Karıştırıcı, C=Pompa, D=Sabit seviye tankı, E=Giriş hattı, F=Filtre, G=Piyezometre tüpü, H=Rotametre, I=Geri yıkama hattı, L=Pompa, ve M=Boşalma hattı.

Şekil 1. Filtrelerde geri yıkama sisteminin şematik gösterimi.



Şekil 2. Draft tüplü taşkın yatak

DENEYSSEL ÇALIŞMA

Kum filtrelerinin geri yıkanmasında, filtre yatağı akışkan hale getirilmektedir. Akışkan yatak deneylerinde, çapı 100 mm ve uzunluğu 1 m olan filtre kolonunda tipik filtre kumu kullanılmış olup, ortalama tanecik çapı 0,545 mm (Elek no. 30/35), yoğunluğu $2,65 \text{ g/cm}^3$, yatağın statik derinliği 20 cm ve porozitesi 0,468'dir (Şekil 1). Deneyde kullanılan sentetik su, musluk suyuna 50 mg/l Topser sarı kili ve 25 mg/l demir klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ilavesiyle hazırlanmış olup, 23 NTU bulanıklılık değerindedir. Besleme tankı 340 lt hacminde olup çökelmeyi önlemek için bir karıştırıcı yerleştirilmiştir.

Akışkan yatak ile taşkın yatağın performansının karşılaştırılmasında, 1,94 mm ve 3 mm çapında cam kürelerle çalışan draft tüplü iki tip taşkın yatağa ait veriler kullanılmıştır (Grbavcic ve diğ., 1992; Çeçen Erbil, 2003a,b). Draft tübün içindeki basınç profilleri farklı deney şartlarında ölçülmüş ve draft tüp içinden geçen su miktarı saptanmıştır. Bu verilerden kayma gerilmesi ve türbülans parametreleri hesaplanmıştır. Şekil 2'de draft tüplü taşkın yatak görülmektedir.

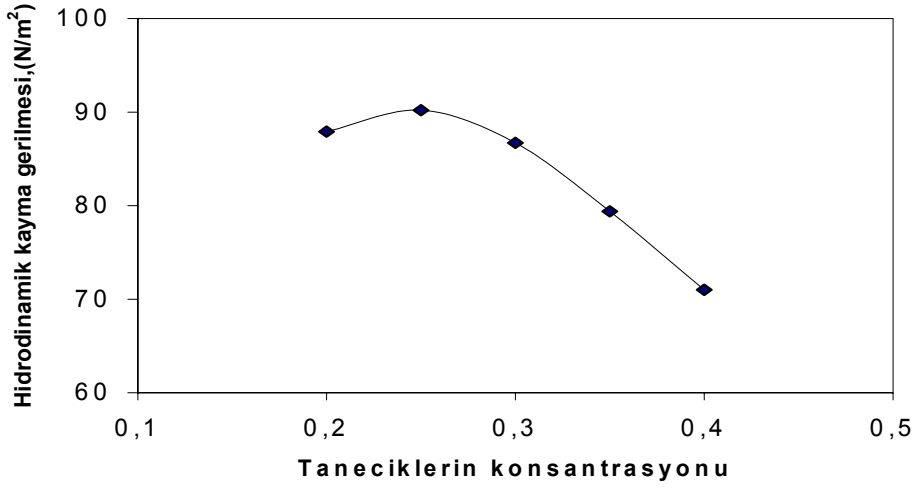
DEĞERLENDİRME

Akışkan Yataklı Sistem

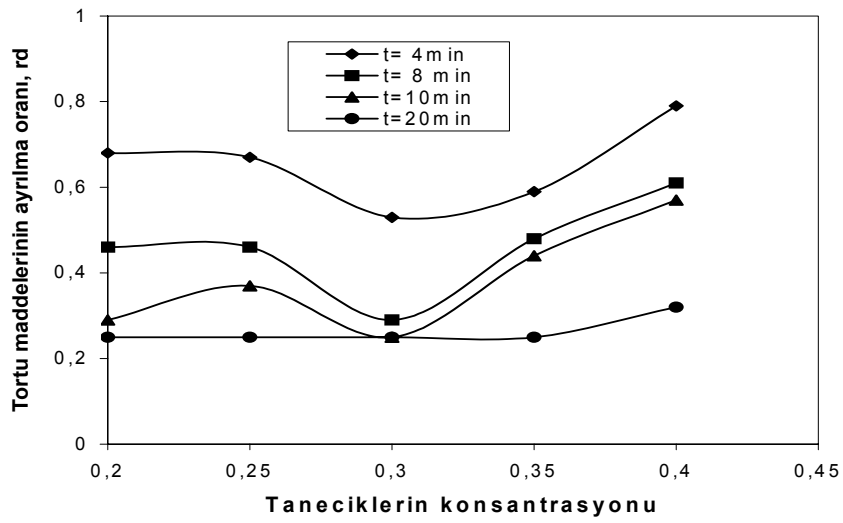
Filtrelerinin akışkan yataklı geri yıkanması yukarı akış hızı U , geri yıkama süresi t_b , harcanan suyun hacmi V_b , çıkış suyu bulanıklılığı T_e , ve akışkanlaşmış filtre malzemesinin tanecik konsantrasyonu $C_v = (1-\epsilon)$ doğrudan ölçülerek bulunmuş, hidrodinamik kayma gerilmesi τ_a , ve türbülans parametresi $C_a^{0,5}/\text{Re}$ ise sırasıyla denklem 4 ve 6'dan hesaplanmıştır. Amitharajah (1978) yaptığı çalışmasında geri yıkama

esnasında filtre yatağının tanecikleri arasında çarpışma ve sürtünme etkilerinin düşük mertebede olup filtre ortamının temizlenmesinde etkin parametrenin hidrodinamik kayma gerilmesi olduğunu öne sürmüştür. Wen ve Yu (1966) akışkan yatak gibi çok tanecikli sistemlerde bir tanecik üzerinde etkili olan sürüklenme kuvvetinin, taneciği çevreleyen diğer tanecikler tarafından etkilendiğini belirtmektedir. Hidrodinamik kayma gerilmesi, akışkanlaşmış filtre taneciklerinin konsantrasyonuna (veya yatak porozitesine) bağlı olarak değişmekte olup, maksimum kesme kuvveti, tanecik konsantrasyonu 0,25 veya porozite 0,75 civarında iken oluşmaktadır (Şekil 3). Filtrede biriken tortu maddelerinin ayrılma oranının r_d , farklı geri yıkama sürelerine (4, 8, 10 ve 20 dakika) bağlı olarak değişimi incelendiğinde, tanecik konsantrasyonu 0,3 (veya porozite 0,7) iken bir minimuma sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4). Dolayısıyla bu değer civarında filtrede kalan tortu maddelerinin en az miktarda olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca filtrede biriken tortu maddelerinin en fazla uzaklaştırıldığı yani optimum temizlemenin yapıldığı tanecik konsantrasyonu, hidrodinamik kayma gerilmesinin maksimum değerlerine karşılık gelmektedir. Türbülans parametresi $C_a^{0,5}/\text{Re}$, geri yıkama esnasında harcanan enerjide türbülansın etkisini gösteren bir parametre olup, türbülans şiddeti ile $((u^2)^{0,5}/U)$ benzerlik gösterir. Hanratty vd (1956) türbülans şiddetinin, akışkan yatak içindeki taneciklerin konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Şekil 5 de görüldüğü gibi türbülans parametresi, taneciklerin konsantrasyonundaki artışla birlikte artmakta veya filtre yatağının genişlemesiyle birlikte azalmaktadır. Filtre yatağının en iyi temizlendiği tanecik konsantrasyonunun 0,3 değerinde, türbülans parametresi 0,9 olmaktadır.

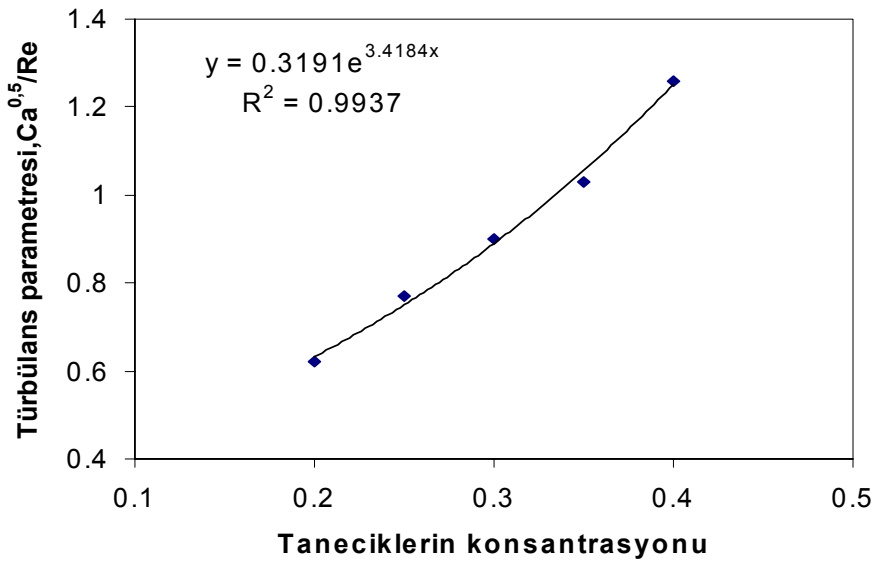
Filtre Geri Yıkama Sisteminde Taşkın Yatağın Akışkan Yatakla Karşılaştırılması



Şekil 3. Hidrodinamik kayma gerilmesinin taneciklerin konsantrasyonuna göre değişimi.



Şekil 4. Tortu maddelerinin ayrılma oranının taneciklerin konsantrasyonuna göre değişimi

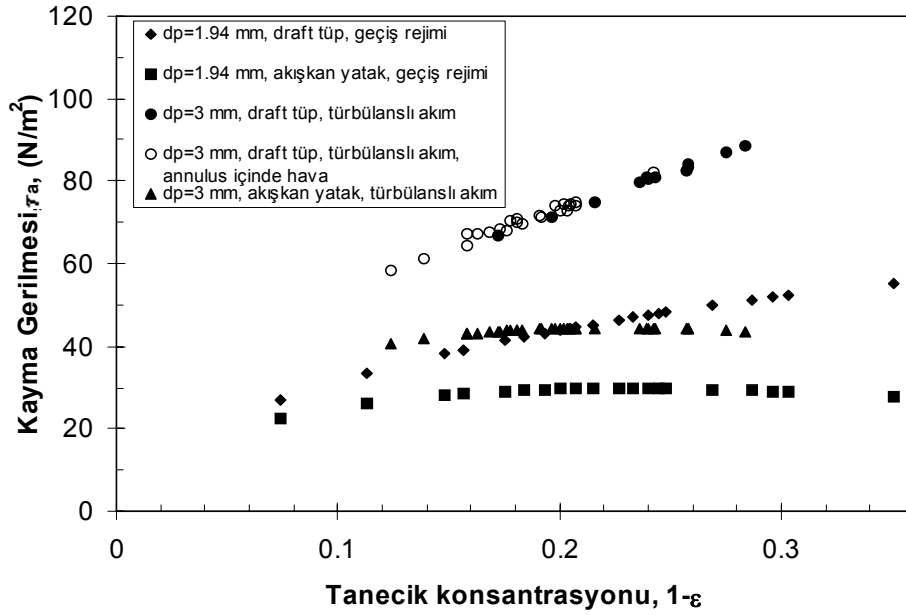


Şekil 5. Türbülans parametresinin taneciklerin konsantrasyonunun fonksiyonu olarak değişimi

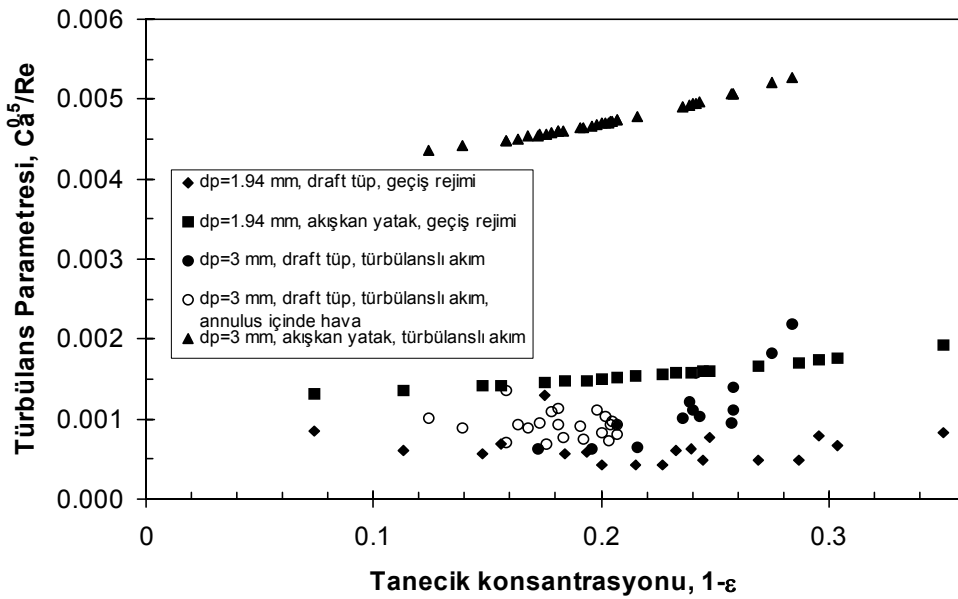
Taşkın yatak içinde draft tübü kullanılarak geri yıkama işleminde kayma gerilmesi ve türbülansın akışkan yatak içinde harcanan enerjiye katkısını belirten C_a katsayısı teorik olarak belirlenmiştir. Akışkan yatakla karşılaştırmak için draft tüple aynı porozitede olduğu farz edilen ve aynı çapta bir akışkan yatak içinde kayma gerilmesi ve türbülans parametreleri hesaplanmıştır. Şekil 6'de akışkan yatak ve draft tüp içinde kayma gerilmesi ile taneciklerin konsantrasyonu arasındaki ilişki gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, kayma gerilmesi, akışkan yatakta draft tüp içinden daha düşüktür.

Ayrıca kayma gerilmesi için optimum bir porozite değeri yoktur, tanecik konsantrasyonu arttıkça kayma gerilmesi değerleri de yükselmektedir.

Draft tüp içinde C_a değerleri aynı porozitede çalıştığı farzedilen bir akışkan yataktan daha yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla, türbülansın yatak içinde harcanan enerjiye katkısı, draft tüp durumunda daha yüksektir. Türbülans şiddetinin etkisini gösteren türbülans parametresi, $C_a^{0.5}/Re$, Şekil 7'de görüldüğü gibi, tanecik konsantrasyonu azaldıkça azalmaktadır. Bu durum hem akışkan yatak hem de draft tübü için geçerlidir ve Hanratty ve diğ. (1956) 'nin bulgularıyla uyumludur.



Şekil 6. Akışkan yatak ve draft tüp içinde kayma gerilmesi ile taneciklerin konsantrasyonu arasındaki ilişki



Şekil 7. Türbülans şiddetinin taneciklerin konsantrasyonuna bağlı değişimi

SONUÇLAR

Gerilme hızı esnasında filtre yatağı akışkan hale getirilmektedir ve akış rejimi, laminar ve türbülanslı akışlar arasındaki geçiş rejimindedir. Ortalama hidrokinamik kayma gerilmesi τ_a , tanecik konsantrasyonunun ($C_v=1-\epsilon$) bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Maksimum hidrokinamik kesme, tanecik konsantrasyonu 0,25 (veya porozite 0,75) iken elde edilmektedir.

Türbülans parametresi $C_a^{0.5}/Re$, türbülans şiddetine benzer olarak geri yıkamada türbülansın etkisini karakterize etmektedir. Türbülans parametresi, tanecik konsantrasyonu ile artmakta, akışkan yatağın genleşmesiyle azalmaktadır. Türbülans parametresi 0,9 ve tanecik konsantrasyonu 0,3 değerlerinde, tortu maddelerinin ayrılma oranı r_d bir minimuma sahiptir.

Draft tübü için yapılan hesaplara göre kayma gerilmesi değerleri akışkan yataktakinden yüksek çıkmaktadır. Ayrıca kayma gerilmesi için optimum bir porozite değeri yoktur, tanecik konsantrasyonu arttıkça kayma gerilmesi değerleri de yükselmektedir. Bu durumda, filtre geri yıkama işlemi için, draft tüplü bir sistemin düşük yatak genleşmelerinde kullanımı uygun olabilecektir.

KAYNAKLAR

Amirtharajah, A.(1978) Optimum Backwashing of Sand Filters. *J. Environ. Engrg, ASCE*, **104**(5), 917-932.

Boller, M.A. and Kavanaugh, M.C. (1995) Particle Characteristics and Headloss Increase in Granular Media Filtration, *Wat Res.*, 1139-1149.

Cecen-Erbil, A. (2003a) Annulus leakage and distribution of the fluid flow in a liquid spout-fluid bed with a draft tube, *Chem. Eng. Sci.*, **58**(20), 4739-4745.

Cecen-Erbil, A. (2003b) Distribution of the fluid flow and annulus leakage in a three-phase spout-fluid bed with a draft tube: effect of the annulus aeration on annulus leakage and particle circulation, *Chem. Eng. Sci.*, (Submitted, in review).

Cecen-Erbil and Turan, (2004) Assessment of the energy dissipation parameters inside the draft tube of a liquid spout-fluid bed, *Environ. Sci. Technol* (Submitted)

Cleasby, J.L.; Fan, K. (1981) Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media. *J. Environ. Engrg, ASCE*, 455-471.

Grbavcic, Z. B., Vukovic, D. V., Jovanovic, S. Dj., Garic, R. V., Hadzismajlovic, Dz. E., Littman, H., and Morgan, M. H. III.(1992) Fluid flow pattern and solids circulation rate in a liquid phase spout-fluid bed with draft tube, *Can. J. Chem. Eng.*, **70**, 895-903.

Hanratty, T.J.; Latinen, G.; Wilhelm, R. H. (1956) Turbulent Diffusion in Particulate Fluidized Beds of Particles. *J. American Inst. Chem. Engrs*, **2**(3), 372-380.

Hino, M. (1963) Turbulent Flow with Suspended Particles. *J. Hydr. Engrg ASCE*, **89** (4), 161-185.

Itakura, T.; Kishi, T. (1980) Open Channel Flow with Suspended Sediments. *J. Hydr. Engrg ASCE*, **106** (8), 1325-1343.

Kawamura, S. (1999) Design and Operation of High-rate Filters. *J. American Wat. Works Assoc.*, **91** (12), 77-90.

Monin, A.S.; Obukhov, A.M. (1973) Basic Relationship of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere, In *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge Univ. Press: Cambridge, England.

Richardson, J.F.; Zaki, W.N. (1954) Sedimentation and Fluidization: Part I. *Trans. Inst. Chem. Engrs*, **32** (1), 35-53.

Turan, M. (1992) Velocity Gradient in Filter Backwashing. *J. Environ. Engrg, ASCE*, **118** (5), 776-790.

Turner, J. S. (1973) *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge Univ.Press: Cambridge, England.

Wen, C.Y.; Yu, Y.H. (1966) Mechanics of Fluidization, *Chem. Engrg. Progress Symp. Series*, **62**, 100-111.