

ELEKTROFİLTRE TASARIMINDA YENİ BİR YAKLAŞIM

A NEW APPROACH IN BATCH ELECTROFILTER DESIGN

Osman ŞAN W
Çetin HOSTEN (••)

Anahtar Sözcükler Elektrofiltre, Atık Su

ÖZET

Yeni tasarımı elektrofiltrede tanelerin büyük çoğunluğu filtre içine yerleştirilen elek tarafından tutulduğundan süzme ortamı üzerinde oluşan kek miktarı azalmış, bunun sonucunda kek-süzme ortamı ara yüzeyinde elektroforetik kuvvetin etkisi artmıştır. Seramik fabrikası atık suyu klasik ve yeni elektrofiltre ile süzölmüş ve yeni elektrofiltrenin enerji kullanımı açısından daha ekonomik olduğu görölmüştür. Deney sonuçları, filtrasyon hızının, modern filtrasyon teorisinde öngöröldüğü gibi, büyük oranda süzme ortamı geçirgenliğince belirlendiğini göstermiştir.

ABSTRACT

In the new design of batch electrofilter, the accumulation of particles on the filter medium was minimized by setting a screen in the filter tube. Thus, the effect of electrophoretic force at the cake-filter medium interface was increased. The experiments conducted on a ceramic refuse slurry showed that the new electrofilter was more energy efficient than the conventional electrofilter. It seemed that the filter medium, permeability controlled the rate of filtration as predicted by the modern filtration theory.

* Yrd. Doç. Dr., A.Ü. Buedk Meslek Yüksekokulu, 11210 BİLECTK

•* Doç. Dr., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA

1. GİRİŞ

İnce boyutlu kil tanelerini süzmede elektrofiltrasyon alternatif bir ayırma yöntemidir. Bu yöntemde, bir doğru akım kaynağı yardımı ile filtrasyon ortamına uygun şiddette ve polaritede elektrik alanı uygulanarak filtre keki oluşumu yavaşlatılmakta, ayrıca ilave bir filtrasyon basıncı sağlanmaktadır. Filtre keki oluşumunu yavaşlatan neden, kil tanelerinin yüzeyindeki elektriksel yüke bağlı olarak tanelerin süzüntü akışına ters yönde gösterdikleri elektroforetik hareketleridir. Diğer taraftan, yüklü yüzeyler arasındaki akışkan hareketi elektroosmotik bir basınç meydana getirir. Bu iki elektrokinetik olgu sonucunda filtrasyon hızında artış olmaktadır. Daha önce yapılan elektrofiltrasyon çalışmalarında (Moulik vd.,1967; Yukowa vd., 1971,1976; Freeman,1982; Bollinger ve Adams,1984; Şan ve Hosten,1991) bu yöntemin süzülmesi zor alan bentonit, kaolen ve kolloidal süspansiyonlarda başarılı olduğu gösterilmiştir.

Elektrofiltrasyon işleminde, kek ve süzme ortamı özelliklerinin elektroosmotik akış hızında önemli bir etkisinin olmadığına inanılır, çünkü osmotik etki bir yüzey işlemidir. Bu akış, teorik olarak, uygulanan elektrik alan şiddeti ile artmaktadır. Buna karşılık tanelerin elektroforetik hareketleri kek oluşumunu etkiler. Uygun şiddette ve polaritede elektriksel alan uygulayarak kek oluşumunu azaltmak mümkündür, böylece daha düşük kek direnci sağlanmaktadır. Elektrofiltrasyon konusunda yapılan çalışmalarda genellikle kek direncini azaltıcı önlemler üzerinde durulmuştur, çünkü klasik filtrasyon teorisinde öngörülen şekli ile (Ruth,1933,1935), filtrasyon hızını kontrol eden esas direncin kek direnci olduğuna inanılmaktadır. Buna karşılık, yeni geliştirilen filtrasyon teorisi (Willis ve Tosun, 1980), filtrasyon hızını kontrol eden esas parametrenin süzme ortamı geçirgenliği olduğunu belirtmektedir. Yazarların (Şan ve Hosten,1992a, 1992b)

kaolin pülpü ile yaptığı filtrasyon deneyleri, bu teoriye uygunluk göstermiştir. Diğer taraftan, Şan (1991) yaptığı elektrofiltrasyon deneylerinde süzme ortamı direncini direkt olarak ölçmüş, elektroforetik kuvvetin özellikle süzme işleminin başlangıç aşamasında etkili olduğunu ve daha geçirgen süzme ortamı oluşturduğunu gözlemiştir. Burada, süzme ortamı gözeneklerinin küçük boyutlu kil taneleri ile tıkanması geciktirilmekte, filtre keki kalınlaştıkça taneler üzerindeki sıkıştırma kuvveti arttığından elektroforetik kuvvetin kek-süzme ortamı ara yüzeyindeki etkisi azalmaktadır. Buradan, elektroforetik kuvvetin ara yüzeydeki etkisini arttıracak yeni bir elektrofiltre tasarımı yapma gereği ortaya çıkmaktadır. Seramik fabrikası atık suyu klasik ve yeni tasarımlı elektrofiltre ile süzölmüş, yeni filtrenin enerji kullanımı açısından daha ekonomik olduğu görölmüştür.

2. TEORİ

Bugüne kadar, filtrasyon üzerine geliştirilmiş iki teori bulunmaktadır. Bunlak klasik ve modern filtrasyon teorileridir. Klasik filtrasyon teorisi Ohm kanununu temel almış ve süzöntü akışına karşı gösterilen direncin kek ve süzme ortamı dirençlerinin toplamına eşit olduğunu kabul etmiştir. Bununla birlikte, süzme hızını belirlemede kek direncinin daha etkili olduğu varsayılmış ve filtre keki için tanımlanan ortalama özgül kek direnci bu varsayıma dayandırılmıştır. Buna karşılık modern filtrasyon teorisi, filtrasyon hızını esas olarak süzme ortamı geçirgenliğinin kontrol ettiği görüşüne dayanmaktadır. Bu iki teörinin karşılaştırması Çizelge 1'de verilmiştir. Denklem 1'den göröldüğü gibi, klasik filtrasyon teorisine göre dt/dV 'nin V 'ye karşılık çizimiyle elde edilen doğrunun eğiminden ortalama özgül kek direnci, $\langle a \rangle$, dt/dV eksenini kestiği yerden ise süzme ortamı direnci, R_m , hesaplanır. Diğer taraftan, modern teoriye göre süzme ortamı geçirgenliği,

K_0 , bu çizimin eğim değerinden bulunmaktadır (Denklemler 2). Birbirinden farklı görüşe ve analiz tekniğine dayalı bu iki teori de günümüzde kabul görmektedir.

Çizelge 1. Filtrasyon Teorilerinin Karşılaştırılması

Klasik Teori	Yeni Teori
$\frac{dt}{dV} = aV + b \dots\dots\dots (1)$	$\frac{dt}{dV} = aV \dots\dots\dots (2)$
burada	burada
$a = \frac{\mu c \langle \alpha \rangle}{A^2 P_H}$	$a = \frac{\mu G}{A^2 \Delta P_C K_0 J_0}$
$b = \frac{\mu R_m}{A P_H}$	

Elektrofiltrasyon teorisi üzerine yapılan çalışmalar sayıca sınırlıdır (Moulik, 1971; Yukowa, 1976; Wakeman, 1982). Bu çalışmalarda, elektroforetik etki ile kek oluşumundaki azalma ve elektroosmosis sonucunda oluşan elektroosmotik basınç ilavesi göz önüne alınarak klasik filtrasyon teorisi uyarlanmıştır. Elde edilen denklemin şekli Denklem 1 ile aynıdır. Ancak a ve b katsayıları elektrofiltrasyon için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$a = \frac{\mu c(E) \langle \alpha \rangle}{A^2 P}$$

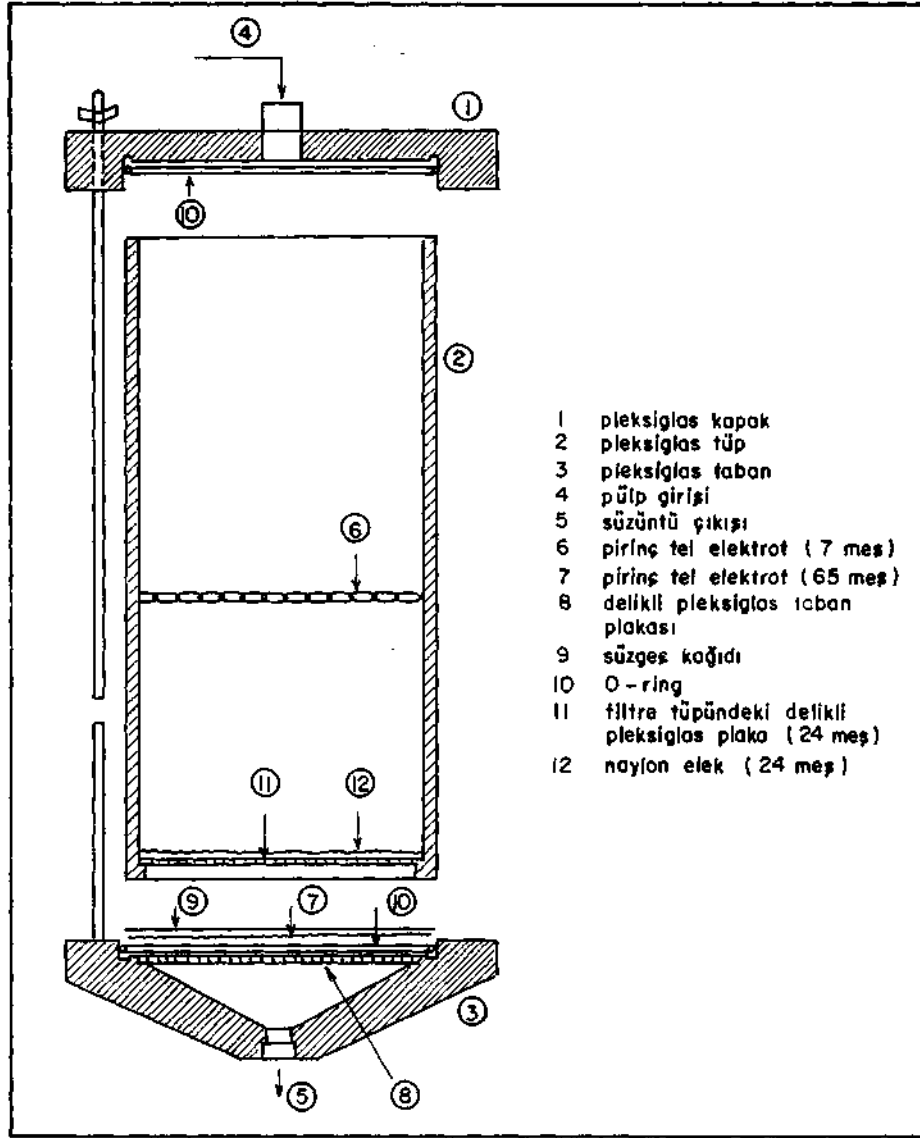
ve

$$b = \frac{\mu R_m}{A P}$$

Burada, P toplam filtrasyon basıncını (hidrolik filtrasyon basıncı ile elektroosmotik basınç toplamı), c(E) ise uygulanan elektriksel alan şiddetine bağlı katı tanecik konsantrasyonunu göstermektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Elektriksel kuvvetin kek-süzme ortamı ara yüzeyindeki etkisini arttırmak üzere tasarlanan elektrofiltrasyon deney düzeneğinin başlıca birimleri üstten beslemeli filtre ünitesi, seyyar karıştırıcı, süzüntü toplama kabı, vakum pompası ve vakum kontrol ünitesi ile bir adet doğru akım kaynağıdır. Şekil 1'de görülen filtrasyon ünitesi, iç çapı 7 cm, yüksekliği 16 cm olan pleksiglas bir boru ile bunun altında pleksiglas malzemeden oluşan taban ve onun üzerinde 65 meş'lik pirine tel elek (katot) ve bundan 7 cm yukarıda 7 meş'lik pirine telden yapılmış diğer elektrot (anot) bulunmaktadır. Yeni filtre ünitesinde ilave olarak, filtre tüpü içine süzme ortamından 4 mm yukarıya delikli bir süzgeç tabanı ile onun üzerine bir elek konmuştur. İri taneler süzgeç tarafından tutulmakta ve oluşan filtre keki filtrasyon işlemi süresince gözenekli bir süzme ortamı sağlamaktadır. Az miktarda ince tane süzgeç altına geçmektedir. Bu yöntem ile kek-süzme ortamı ara yüzeyinde bulunan tanelere etkiyen sıkıştırma kuvveti azaltılmıştır. Böylece, uygulanan elektriksel alanın oluşturduğu elektroforetik kuvvet, süzme ortamı üzerinde biriken taneleri filtrasyon akışına ters yönde daha kolay çekecektir. Bunun sonucunda ise gözenekleri kapanmamış, geçirgen bir süzme ortamı sağlanacaktır.



Şekil 1, Yeni elektrofiltre tasarımı.

Klasik ve yeni elektrofiltre ile yapılan deneysel çalışma şartları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Elektrofiltreasyonda uygulanan elektriksel alan şiddeti belirli bir değere kadar arttırıldığında elektriksel çekim kuvveti (elektroforetik kuvvet) mineral taneleri üzerindeki filtrasyon kuvvetini dengeleyerek kek oluşumunu önler. Ancak bu çalışmadaki deneylerde filtreye uygulanan elektriksel alan filtre keki oluşumunu ortadan kaldıracak düzeyde değildir.

Çizelge 2. Deney Şartları

Konsantrasyon	7 Katı
Vakum	120 mm Hg
Süzgeç Kağıdı	İki Çeşit: 1.Toyo No 5A, gözenek çapı 25 µm 2.Schleicher Schüll 589, gözenek çapı 3 µm (süzgeç kağıdının su akışına etkili yüzey alanı : 3.32×10^{-3} , m ²)
Numune	Bozüyük seramik fabrikası atık suyu, tane özgül ağırlığı 2.7 g/cm ³ , tanelerin 60'lık miktarı 1 µm'den daha küçük ve taneler negatif elektrik yüklüdür.
Elektrik Alan Şiddeti	428 volt/m
Sıcaklık	25°C

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Klasik ve yeni elektrofiltre ile süzülen atık su, süzme işlemi sonunda elde edilen süzüntü miktarı ve harcanan elektrik enerjisi yönünden karşılaştırılmıştır; sonuçlar Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge 3. Klasik ve yeni elektrofiltrenin enerji kullanımını açısından karşılaştırılması

	SÜZÜNTÜ MİKTARI*, $V \times 10^5$, m^3		
	Toyo No5A (25 μm)	Scheicher Schüll 589 Blauband (3 μm)	ENERJİ SARFIYATI (kWh)
FİLTRE	1.55	1.75	
KLASİK ELEKTROFİLTRE	2.15	2.10	0.15
ELEK KOLLANILAN FİLTRE	2.05	2.70	
YENİ ELEKTROFİLTRE	3.00	3.75	0.08

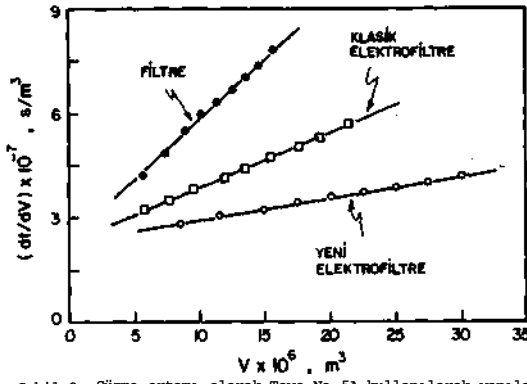
* Filtrasyon süresi : 10 dakika

çizelgeden, yeni elektrofiltre ile daha fazla süzüntü sağlandığı ve aynı zamanda harcanan elektrik enerjisinin de daha düşük olduğu görülmektedir. Yeni elektrofiltre ile sağlanan süzüntü miktarındaki artışın nedeni bu elektrofiltrede daha geçirgen kek-süzme ortamı ara yüzeyinin oluşmasına bağlanmaktadır. Bu elektrofiltrede süzme ortamı üzerinde oluşan kek miktarı, önüne konulan elek tarafından azaltılmıştır. Ayrıca bu elek, taşıyıcı bir plaka üzerinde bulunduğu buradan oluşan filtre keki süzme ortamı üzerinde biriken tanelerden bağımsızdır. Bu nedenle buradaki tanelerin süzme ortamı gözeneklerine baskısı yoktur ve süzme ortamı geçirgenliğini, üzerinde bulunan az miktardaki tane belirlediğinden bu ortamın geçirgenliği yüksektir. Filtre ortamına elektriksel alan uygulanmadığı durumlarda süzüntü miktarındaki artış bu görüşü doğrulamaktadır (Çizelge 3; elek kullanılan filtre). Diğer taraftan, ara yüzeydeki tanelerin miktarlarının az ve

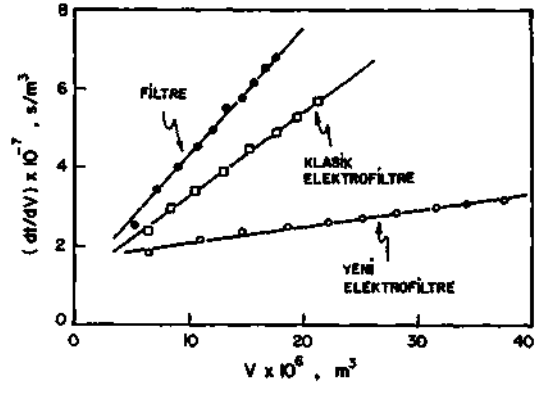
boyutlarının da küçük olması bu taneleri süzme ortamı yüzeyinden elektroforetik kuvvet yardımıyla uzaklaştırmada kolaylık sağlayacaktır. Filtreye bunu gerçekleştirecek oranda elektriksel alan uygulanmamış olsa da bu elektriksel kuvvet tanelerin süzme ortamı gözeneklerine sıkışmasını azaltır. Bunun sonucunda, gözenekleri büyük oranda açık, geçirgen bir süzme ortamı elde edilir. Bu görüş, yeni elektrofiltre ile daha fazla süzüntü sağlanmış olmasıyla doğrulanmaktadır (Çizelge 3) .

Diğer taraftan, yeni elektrofiltrede elektrik enerjisi sarfiyatı daha az olmuştur. Bunun nedeni ise, filtreye yerleştirilen delikli pleksiglas plaka ve Üzerindeki naylon eleğin elektrik akımına karşı daha yüksek direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Sabit voltajda artan direnç daha düşük akım çekilmesine neden olmakta ve enerji sarfiyatının azalması anlamına gelmektedir. Bu sonuç, iletkenliği düşük malzemelerin süzülmesinde elektrofiltrasyon tekniğinin maliyetinin daha düşük olacağını göstermektedir.

Yeni elektrofiltrenin daha geçirgen kek-süzme ortamı ara yüzeyi oluşturması sonucunda filtrasyon hızında gözlenen artış, modern filtrasyon teorisinin süzme mekanizması için ortaya attığı görüşü doğrulamaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, modern filtrasyon teorisine göre filtrasyonu kontrol eden esas parametre kek-süzme ortamı ara yüzeyidir. Buradan, deney sonuçlarının klasik ve modern filtrasyon teorilerine göre analizlerinin karşılaştırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen dt/dV 'nin V 'ye karşılık çizimleri Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir. Bu çizimler doğrusal ilişki vermektedir, dolayısıyla, klasik teoriye göre süzme ortamı direnci bu çizimin dt/dV eksenini kestiği noktadan hesaplanır. Buna karşılık, yeni teoride süzme ortamı geçirgenliği bu çizimin eğim değeri içindedir. Filtrasyon ve elektrofiltrasyon deneyleri dt/dV ekseninde birbirine



Sekil 2. Süzme ortamı olarak Toyo No 5A kullanılarak yapılan filtrasyon/elektrofiltrasyon deneyleri sonunda elde edilen dt/dV ile V arasındaki bağıntı.



Sekil 3. Süzme ortamı olarak Schleicher Schüll 589 kullanılan filtrasyon/elektrofiltrasyon deneyleri ile bulunan dt/dV ile V arasındaki bağıntı.

yakın kesişim verirken, elektrofiltrasyon deneylerinin verdiği eğim normal filtrasyona göre daha düşüktür. Klasik teoriye göre süzme ortamı üzerinde hiçbir etkisi olmadığı gibi beklenmedik bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık, modern teoriye göre analiz, tahmin edildiği gibi, uygulanan elektriksel alanın süzme ortamı geçirgenliğini arttırdığı şeklindedir. Buradan, yeni elektofiltrenin tasarım amacına uygun olarak daha geçirgen kek-süzme ortamı ara yüzeyi sağladığı ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, klasik filtrasyon teorisinin filtrasyon ve elektrofiltrasyon mekanizmalarını açıklamakta yetersiz kaldığı söylenebilir. Buna karşılık, deney sonuçları modern filtrasyon teorisini doğrulamaktadır.

5.SONUÇ

Bu çalışmada, modern filtrasyon teorisi temel alınarak tasarımı yapılan elektrofiltrenin klasik elektrofiltrelere göre daha yüksek katı-sıvı ayırma hızı gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu elektrofiltrede, elektroforetik kuvvetin kek-süzme ortamı ara yüzeyinde daha etkili olması sağlanarak daha geçirgen ara yüzey elde edilmiştir.

SEMBOLLER

A	Kek kesit alanı, m^2
$c, c(E)$	Birim süzüntü hacmi başına kek içinde toplanan katı madde miktarı, kg/m^3
G	Kek miktarı ile filtre edilen süzüntü miktarı arasındaki doğrusal artışın eğimi, m^2
J_0	Kek-süzme ortamı ara yüzeyindeki basınç gradyanı, (boyutsuz)
KQ	Süzme ortamının geçirgenliği, m^2
P	Elektrofiltrasyonda uygulanan toplam filtrasyon basıncı (hidrolik + elektroosmotik), N/m^2
PJJ	Hidrolik filtrasyon basıncı, N/m^2
APÇ;	Kek içindeki basınç düşmesi, N/m^2
R_m	Süzme ortamı direnci, l/m
t	Zaman, s
V	Toplam süzüntü hacmi, m^3
<x>	Ortalama özgül keke direnci m/kg
H	Süzüntü viskozitesi, $N.s/m^2$

KAYNAKLAR

- BOLLINGER, J.M. ve ADAMS, R.J., 1984; "Electrofiltration of Ultrafine Aqueous Dispersions", Chem. Engng. Progress, Mayıs 14, s. 54-60.
- FREEMAN, M.P., 1982; "Vacuum Electrofiltration", Chem. Engng. Progress, s. 74-79.
- MOULIK, S.P., COOPER, F.C. ve BIER, M., 1967; "Forced-Flow Electrophoretic Filtration of Clay Suspensions", J. Colloid and Interface Sei., Cilt 24, s. 427-432.
- MOULIK, S.P., 1971; "Physical Aspects of Electrofiltration", Env. Sei. Technol., Cilt 5, Sayı 9, s. 771-776.
- RUTH, B.F., 1933; "Studies in Filtration II-Fundamental Axiom of Constant-Pressure Filtration", Ind. Eng. Chem., Cilt 25, s. 453-461.

- ŞAN, O., 1991; Analysis of the Constant Pressure Filtration and Electrofiltration Behavior of Kaolin Slurries, Ph.D. Thesis, ODTÜ, Ankara.
- ŞAN, O. ve HOSTEN, Ç., 1991; "Electrofiltration of Clays", V. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.363, Eskişehir.
- ŞAN, O. ve HOSTEN, Ç., 1992a; "Filtrasyonda Süzme Ortamının Önemi", 7. Mühendislik Haftası, Akdeniz Üniversitesi, İsparta, 25-29 Mayıs.
- ŞAN, O. ve Hosten Ç., 1992b; "The Effects of Slurry Concentration and Filtration Pressure on the Cake and Filter Medium Resistances", 4th International Mineral Processing Symposium Proceedings, Vol.2, pp 801-811, Antalya, Türkiye.
- WAKEMAN, R.J., 1982; "Effects of Solid Concentration and pH on Electrofiltration", Filtration and Separation, Temmuz/Ağustos, s. 316-318.
- WILLIS, M.S., ve TOSUN, I., 1980; "A Rigorous Cake Filtration Theory", Chem. Engng. Sei., Cilt 35, s. 2427-2438.
- YUKOWA, H., vd., 1971; "Fundamental Study of Electroosmotic Filtration", J. chem. Engng. Japan, Cilt 4, Sayı 4, s. 370-376.
- YUKOWA, H., vd., 1976; "Analysis of Batch Electrokinetic Filtration", J. Chem. Engng. Japan, Cilt 9, Sayı 5, s. 396-401.