

Sünger filtre ile çamur yoğunlaştırma

Orhan GÖKYAY^{1*}, Ayşen ERDİNÇLER²

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi, 34724, Göztepe, İstanbul, Türkiye

² Çevre Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi 34342, Bebek, İstanbul, Türkiye

Özet

Arıtma çamurlarının bertarafı, atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli problemlerden biri olmaya devam etmektedir. Birçok ülkede akuatik ortamın korunmasında büyük bir rol oynayan küçük ölçekli işletmelerde çamur bertarafının mekanik yöntemlerle verimli ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Pek çok küçük ölçekli tesis atık çamurlarını işleyememekte ve oluşan atık çamurlarını başka tesislere göndermektedir. Bu çalışmada, sünger filtre kullanımı ile küçük işletme tesislerinde sıvı-katı ayırımının (susuzlaştırma işleminin) sağlanması ve çamur yoğunlaştırılmasında yaygın olarak kullanılan cazibeli çamur yoğunlaştırıcı, çözülmüş hava ile yüzdürme vb. konvansiyonel mekanik ekipmanlarla elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sünger ile çamur yoğunlaştırma, yavaş kum filtresine oldukça benzer nitelikte fakat kum yerine sünger malzemenin kullanıldığı bir filtrasyon sistemidir. Çalışmada kullanılan çamur haftalık olarak İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisi'nin çamur geri dönüş hattından temin edilmiştir. Çamur sisteme peristaltik bir pompa yardımı ile filtre üzerinden farklı debilerde beslenmiştir. Çamurun katı-sıvı ayırımında, katı kısım sünger filtrenin üzerinde bir katman (çamur keki) yaratmış, sıvı kısım ise alttan drene edilmiştir. Biyolojik çamurun başlangıçtaki katı madde konsantrasyonu yüzde 0.8 ile 1.6 arasında değişmiştir. Sünger ile yoğunlaştırma işleminden sonra elde edilen katı madde konsantrasyonunun yüzde 4.1 ile 6.4 arasında olduğu gözlenmiştir. Drene edilen sıvı fazda ise kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam yüzebilir katı madde (TYKM) miktarı ölçülmüş ve yerel kanala deşarj standartları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çamur katı-sıvı ayırıştırması, çamur susuzlaştırması, sünger filtrasyonu, küçük ölçekli arıtma tesisleri.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Orhan GÖKYAY. orhan.gokyay@marmara.edu.tr; Tel: (216) 348 02 92.

Bu makale, 04-06 Kasım 2009 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenen 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu'nda sunulan bildiriler arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 19.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.03.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Sludge thickening by foam filtration

Extended abstract

Sludge processing and disposal is one of the most essential and important steps in wastewater treatment, due to the huge amount of sludges (biosolids) produced as a residue of the biological wastewater treatment plants. Inappropriate sludge treatment causes to serious environmental problems. Thickening and dewatering are the common processes for sludge treatment; sludge is reduced or disposed directly or after insulation, etc. Considering the overall cost of wastewater treatment including biosolids treatment, the efficiency of the solid-liquid separation process is a key factor in wastewater treatment (Dentel, 2001). The cost of the dewatering step in municipal treatment plants, including conditioning agents, typically accounts for 30-50% of the annual operating costs (Mikkelsen ve Keiding, 2001). Sludge dewatering was also pointed out as one of the most expensive processes (Burris, 1979, Bruus vd., 1992). Therefore, many researchers (Krofta ve Wang, 1986; Tokunaga vd., 1986; Vesilind, 1995) focused on improving the efficiency of the dewatering and thickening system.

In small-scale wastewater treatment facilities, it is difficult to carry out the sludge treatment on site. In many cases the excess sludge is transported to the other sludge processing facilities. Sludge volume reduction is an important issue in terms of transport costs and energy saving. It is then worthy to develop a sludge thickening and dewatering system specific for small-scale wastewater treatment facilities.

Gravimetric thickening, dissolved air flotation and centrifugation are the most common processes used for sludge thickening; Gravimetric thickening is commonly used in wastewater and water treatment facilities because of the simple structure and low energy requirements of the apparatus. On the other hand, the gravimetric thickening process requires a large volume thickening tank and long operation period. In addition, the supernatant from the gravimetric thickening tank contains a high level of SS and returning to water treatment is a necessary process for small-scale facilities. Some other mechanical thickening processes may not be applicable for small-scale facilities due to their high costs and low working rates.

Foam filtration is based on catching the solid particles in the pores of the filter and using these blocked pores to form a sludge layer over the filter medium and make the sludge itself a filter medium and percolate only water under the filter medium, then decrease the sludge volume. The pore sizes changes between 200 – 250 μ and they don't follow a regular pattern in 10mm thick foam, this fact enhances solid caking. Also water can percolate from the pores easily.

Two phenomena take place simultaneously during thickening. They are namely retention of solids in the foam and expulsion of water. This is affected by various parameters; the major factors being gradation of solids in the sludge, water content of sludge, and opening size of foam. Another important aspect that needs to be taken care during thickening is the permeability of the foam. Permeability of the media does not remain constant throughout the process. It decreases with time. Decrease in permeability of a media is the result of clogging of pores. Clogging is a function of gradation and therefore the decrease in permeability is also a function of gradation.

This study introduce the foam filtration as a new liquid-solid separation technique for the small scale treatment plants instead of the conventional equipments like gravity sludge thickener and dissolved air flotation systems. The foam thickening is a filtration operation simulating the slow sand filtration except the sponge medium instead of sand medium. In this study, the biological sludge samples were taken from the return sludge line of Istanbul Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant. The sludges were fed to the filter from the top by using a peristaltic pump at different flow rates. Solid part of the sludge was retained on the surface of the filter forming a layer (sludge cake) at the top of the mesh and the liquid part was drained from the bottom. The initial solids concentrations of the biological sludge ranged from 0.8 to 1.6 percent before the thickening. The solid concentrations of the biological sludge samples thickened by foam filtration were found to be in a range of 4.1 to 6.4 percent. COD and TSS of the filtrates obtained from the foam filtration of sludge were also analyzed and compared with respect to the discharge standards given at the related Regulation.

Keywords: Liquid-solid separation of sludges, sludge dewatering, foam filtration, small-scale treatment plants.

Giriş

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının uygun olmayan şekillerde işlenmesi ve bertarafı, çeşitli çevresel problemler doğurmaktadır. Yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemleri, çamur arıtımı için günümüzde kullanılan en yaygın yöntemlerdendir. Bu işlemler sonucunda çamurun hacmi azaltılır, daha sonra çamur direkt olarak veya gerekli işlemlerin uygulanmasından sonra uygun şekilde bertaraf edilebilir. Bu arıtma çamurlarının bertarafı atıksu arıtma maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Dentel, 2001). Evsel atıksu arıtma tesisleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, kullanılan kimyasal maddelerin bedeli ile birlikte, çamurların yoğunlaştırma ve susuzlaştırma maliyetlerinin yıllık işletme maliyetlerinin ortalaması olarak %30-50'sini oluşturduğunu göstermektedir (Mikkelsen ve Keiding, 2001). Çamur susuzlaştırma işlemi, atıksu arıtım tesislerinde gerçekleştirilen en maliyetli işlemlerden biridir (Burris, 1979, Bruus vd., 1992). Bu nedenlerden dolayı yakın zamanda çok sayıda araştırmacı (Krofta ve Wang, 1986; Tokunaga vd., 1986; Vesilind, 1995) çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemlerinin verimi üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Küçük ölçekli tesislerde arıtma çamurlarının bertarafı incelendiğinde, çamur işleme uygulamalarının oldukça zorlukla gerçekleştirilebildiği, çoğunlukla elde edilen bu çamurların işlenmek üzere başka tesislere iletildiği görülmektedir. Bu yüzden çamur hacminde elde edilecek azalmalar, hem taşıma maliyeti hem de enerji tasarrufu açısından büyük önem taşımaktadır. Yaşanan bu sıkıntı ve zorluklar, akuatik ortamın korunmasında da önemli bir rol oynayan küçük ölçekli tesislere özel olarak çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma yöntemlerinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Cazibeli çamur yoğunlaştırma, hava ile yüzdürme ve santrifüjleme yöntemleri arıtma çamurlarının yoğunlaştırılmasında sıklıkla başvurulan en yaygın yöntemlerdendir. Bu yöntemler arasında özellikle cazibeli çamur yoğunlaştırma, gerek basit yapısı gerekse daha az enerji ihtiyacı nedeni ile tesislerde en çok kullanılan yöntem-

dir. Bununla birlikte bu yöntemin uygulanması için gerekli alan ihtiyacı çok fazla olup, işlem süresi ise oldukça uzundur. Ayrıca, çöktürme tankındaki üst faz çok miktarda askıda katı madde içermektedir. Bu katı maddelerin geri devri ve tekrar işlenmesi ise ekstra bir maliyet gerektirmektedir. Benzer şekilde diğer mekanik yöntemlerin de küçük ölçekli tesislerde kullanımı, hem ekonomik yönden hem de verimsiz çalışma oranları bakımından pek mümkün olmamaktadır.

Sünger filtreler, arıtma çamurlarının katı – sıvı faz ayırımında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu şekilde büyük çöktürme tankları yerine kullanılabilen bu filtrelerin kullanımıyla, arıtma çamuru hacminin azaltılması ve bu işlemin daha kolay gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Sünger filtre ile arıtma çamurlarının yoğunlaştırılması işlemi, katı parçacıkların süngerin gözeneklerinde tutulması ve tıkanmış gözenekler yardımı ile süngerin üzerinde bir çamur katmanı meydana getirmek suretiyle, çamurun kendisini bir medya olarak kullanarak suyun süzülmesini sağlamak esasına dayanmaktadır. Bu şekilde arıtma çamuru hacminde de önemli bir azalma sağlanır. Gözeneklerin büyüklüğü 200 – 250 µm arasında değişmektedir ve düzenli bir yol izlememektedir. Çamur suyu gözeneklerden kolaylıkla geçerek çamur kekinin oluşmasını daha kolaylaştırmaktadır. Yoğunlaşma esnasında, katıların sünger içinde tutulması ve suyun drene edilmesi işlemleri eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu işlemler çamurlarda katıların geçişi, çamurun su muhteviyatı ve süngerin gözenek büyüklükleri gibi çeşitli parametrelerden etkilenmektedir. Göz önünde bulundurulması gereken bir diğer etken ise süngerin geçirgenliğidir. Ortamın geçirgenliği işlem sırasında aynı kalmamakta, giderek azalmaktadır. Geçirgenliğin azalmasının sebebi ise gözeneklerin tıkanmasıdır. Tıkanma geçişmenin bir fonksiyonudur ve bu nedenle geçirgenlikteki azalma da bu geçişmenin bir fonksiyonudur. Bununla birlikte, süngerin gözenek büyüklüğü ve çamurun su muhteviyatı yoğunlaşma işleminde etkili diğer önemli faktörlerdendir.

Sünger filtre ile yoğunlaştırma işlemi, yavaş kum filtre işleminin kum yerine sünger medya kullanılarak gerçekleştirilmiş şeklidir. Yavaş kum filtreleri kullanılmaya başladıktan bir kaç hafta sonra olgunlaşma safhasına girmektedirler. Bu safha sonucunda, üst katmanda jelatin benzeri sık bir mikroorganizma yapısı oluşmaktadır. Oluşan mikroorganizma katmanı en çok askıda ve koloidal maddenin ortamdan alındığı yerdir (Droste, 1997). Yavaş kum filtrelerinde, filtreleme hızı tipik olarak 1 ile 8 m³/m².gün arasındadır. (Geyer ve Okun, 1968). Bu çalışmada gerçekleştirilen sünger ile yoğunlaştırma işleminde ise filtrasyon hızının 0.36 ile 1.62 m³/m².gün arasında değiştiği gözlenmiştir. Sünger ile yoğunlaştırma işleminde, tutulan askıda katı maddeler ve koloidal maddeler süngerin üstünde gözenekler tılandıktan sonra bir katman oluşturarak filtreleme işleminin verimini artırmaktadır. Deneylerin bu kısmında “süzme sırasında tıkanma (straining)” gerçekleşmektedir. Partiküller, eğer granüler bir ortamda gözenek açıklığından büyük ise veya ağ filtrenin gözeneklerinden büyük ise süzme mekanizması ile tutulmaktadır. Buna ek olarak, eğer partiküller gözenek açıklığından küçük ise, yüzeyde tutulan partiküllerin oluşturduğu katmanda tutulabilmektedirler. Ayrıca, yüksek konsantrasyonda katı madde içeren ortamlarda, partiküllerin aynı anda gelerek gözenekleri tıkanma olasılığı da bulunmaktadır (Montgomery, 1985).

Bu işlemin uygulanmasında, süzme sırasında tıkanma (straining) mekanizmasını en aza indirecek filtre malzemesinin seçilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, çamurların sünger filtre ile yoğunlaştırılmasında straining en önemli mekanizmadır. Bakteriyel çamurların flok büyüklüğü 0.1 ile 2.0 mm arasında değişmekteyken, sünger filtrenin gözenek büyüklüğü ise 0.2 ile 0.25 mm arasındadır (http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/archiv/news_60/en60e_manser.pdf, 2006). Bu nedenle, gözenek açıklığından küçük floklar filtrenin üst yüzeyinde değil, filtre üzerinde oluşan çamur katmanında tutulmaktadır. Sünger filtrenin değişen gözenekli yapısı straining mekanizmasının oluşmasına ve partiküllerin tutulma veriminin artmasına neden olmaktadır. Tutulma verimi arttıkça da filtrede toplanan katı madde konsantrasyonu artmaktadır.

Granüler ortam ile filtrasyon yapılan durumlarda, yük kayıplarının hızla artması nedeni ile süzme sırasında tıkanma mekanizması çok fazla tercih edilmemektedir (Ives, 1982). Buna karşın, gözeneklerin tıkanması sonucunda ortaya çıkan “süzme sırasında tıkanma mekanizması” sünger ile yoğunlaştırmada oldukça istenen bir durumdur; çünkü bu şekilde filtre üzerinde hızlı bir şekilde çamur katmanının oluşması sağlanabilmektedir. Çamur katmanı ne kadar hızlı oluşursa, toplanan çamurun konsantrasyonu da o hızla artış göstermektedir.

Bu çalışmada sünger filtrenin küçük ölçekli tesislerde yoğunlaştırma işlemlerinde kullanılması araştırılmış ve bu amaçla ham çamur ve çıkış suyu karakterleri ve ulaşılan çamur kek konsantrasyonu incelenmiştir.

Materyal ve yöntem

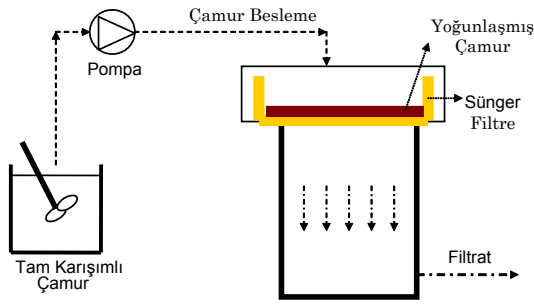
Çalışma kapsamında yürütülen çamur yoğunlaştırma deneyleri, iki aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşama 30 dakikalık yükleme ve 15 dakikalık bekleme süresinden oluşmaktadır. Bekleme süresi boyunca pompa durdurulmuştur. İkinci aşama ilk aşamaya benzemektedir ancak 30 dakikalık yükleme süresini 30 dakikalık bekleme süresi takip etmiştir. Toplam süre 105 dakikadır. Süreler küçük ölçekli tesislerde uygulanabilirlik amacıyla seçilmiştir. Bu deneyler sırasında, katı madde yükleme değerleri 4.6 ile 22.2 kg/m².gün arasında gerçekleşmiştir. Çamur numuneleri her 15 dakikada bir alınmış ve katı madde konsantrasyonları ölçülmüştür. Çamur besleme akımları ise 40 mL/dk ile 180 mL/dk arasında kademeli arttırılarak uygulanmıştır.

Deneylerde kullanılan biyolojik çamur numuneleri haftalık olarak 30’ar litrelik bidonlarda İstanbul’da bulunan Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi’nin son çöktürme tanklarından sonraki geri dönüş hattından alınmıştır. Tesis günlük 125000 m³/gün debi ile işletilmekte olup tesiste biyolojik fosfor giderimini takiben nitrifikasyon ve denitrifikasyon evreleri bulunmaktadır. Kullanılan biyolojik çamur numunelerindeki başlangıç katı madde konsantrasyonu %0.8 ile %1.6 arasında değişmektedir.

Sünger ile yoğunlaştırma deneylerinde laboratuvar ölçekli bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 1). 40 cm x 40 cm x 15 cm ebatlarında (en-boy-derinlik) galvaniz bir kaidenin içine 10 mm kalınlığında polietilen sünger yerleştirilmiştir. Sistem, çamur tam karışimli haldeyken yukarıdan değişik akımlarda beslenmiştir.

Yapılan deneylerin sonunda, sünger filtre elle sıkılarak basit bir susuzlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçları ise deneyin 120. dakikası olarak verilmiştir.

Çamur yoğunlaştırma sonucunda elde edilen filtrat kalitesinin, İSKİ kanala direk deşarj standartlarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş ve filtratın TAKM ve KOİ değerleri standart metotlara uygun olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Laboratuvar düzenekinin şematik görünüşü

Deneysel çalışma sonuçları

Katı madde yükü ve çamur besleme akımı

Deneyler esnasında 40 mL/dk ile 180 mL/dk arasında değişen 8 ayrı çamur besleme debisi kullanılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi gerçekleştirilen deneyler sonucunda sünger filtre ile yoğunlaştırma deneylerinde elde edilen sonuç katı madde konsantrasyonları %4.1 ile %6.4 arasında değişmiştir. Klasik cazibeli yoğunlaştırıcılarda katı madde yüklemesi 24.4 ile 34.2 kg/m².gün arasında değişirken elde edilebilen sonuç katı madde konsantrasyonları %2 ila %3 arasında olabilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1997). Sünger filtre ile yoğunlaştırma işleminde elde edilen en az

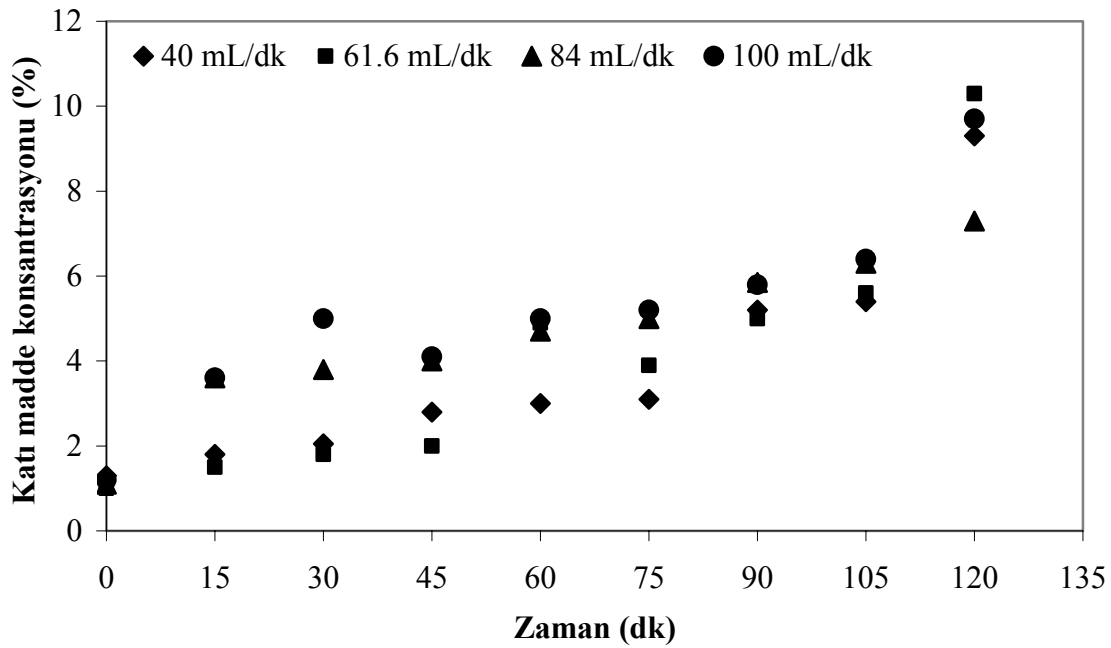
değer ise %4.1'dir. Deneylerde uygulanan katı madde yükü klasik cazibeli yoğunlaştırıcılara göre daha düşüktür ama bu sistemin küçük ölçekli tesislerde kullanılmak üzere tasarlandığı unutulmamalıdır. Katı madde yüküne karşılık çamur hacminde elde edilen azalma karşılaştırıldığında, optimum katı madde yükünün bu sistem için yaklaşık olarak 15 ila 16 kg/m².gün olarak gerçekleştiği görülmektedir. Elle susuzlaştırma işlemi, çamur yoğunlaştırma işlemi sonunda süngerin basitçe elle sıkılması sureti ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, gerçek sahada bir pres ile çok daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Elle susuzlaştırma sonuçlarına bakıldığında çamur hacminde %80-90 seviyelerinde azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Süzme sırasında tıkanma mekanizması, sünger filtre ile yoğunlaştırma araştırmalarında en önemli faktör olarak kabul edilmiştir. Bu mekanizmanın etkisi yapılan deneylerde görülmüştür. Değişik çamur besleme akımlarında elde edilen katı madde konsantrasyonlarının zamana karşı değişimi Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

Değişik araştırmacıların belirttiğine göre partikül büyüklüğünün ortamın gözenek büyüklüğüne oranı 0.2'den büyük ise, partiküllerin tutulmasında süzme sırasında tıkanma en önemli mekanizma haline gelmektedir (Herzig vd., 1970; Boller, 1980). Sünger filtrenin ortalama gözenek büyüklüğü 0.25 mm olduğundan bu oran 0.4 ile 8.0 arasında ölçülmüştür. Oran 0.2'den büyük olduğu için süzme sırasında tıkanma gerçekleşmiş, sünger filtre ile yoğunlaştırma oluşmuştur. Diğer araştırmacıların belirttiğine göre (Maroudas ve Eisenklam, 1965a,b; Tien vd., 1979) partikül büyüklüğü 0.1 mm'den büyük ise, straining en etkin tutulma mekanizması olmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi straining (süzme sırasında tıkanma) mekanizması deneylerin ilk başında çalışmaya başlamıştır. İlk baştan itibaren gözenekler tıkanmış ve sünger üzerinde oluşan katı madde konsantrasyonu zamanla artmıştır. 120. dakikada görülen değerler elle susuzlaştırma sonucunda elde edilen değerlerdir. Yoğunlaştırma işlemi sonrasında uygulanan bu yöntem, sünger filtre ile yoğunlaştırma yönteminin sağladığı artı değerlerden biridir. Çok basit şekilde uygulanan bu yöntem

Tablo 1. Sünger filtre ile yoğunlaştırma deneyleri özet tablosu

Çamur besleme debisi (mL/dk)	Katı madde yükü (kg/m ² .gün)	Başlangıç katı madde konsantrasyonu (%)	Sonuç katı madde konsantrasyonu (%)	Çamurun hacmen azalması (%)	Sıkma sonrası hacmen azalma (%)
40	4.6	1.3	5.4	76	86
61.6	5.6	1.0	5.6	80	90
84	8.0	1.1	6.3	82	85
100	11.7	1.2	6.4	81	88
120	16.9	1.6	5.3	70	84
140	19.4	1.5	4.1	62	80
160	22.2	1.5	4.8	69	82
180	13.3	0.8	4.7	83	Uygulanmadı



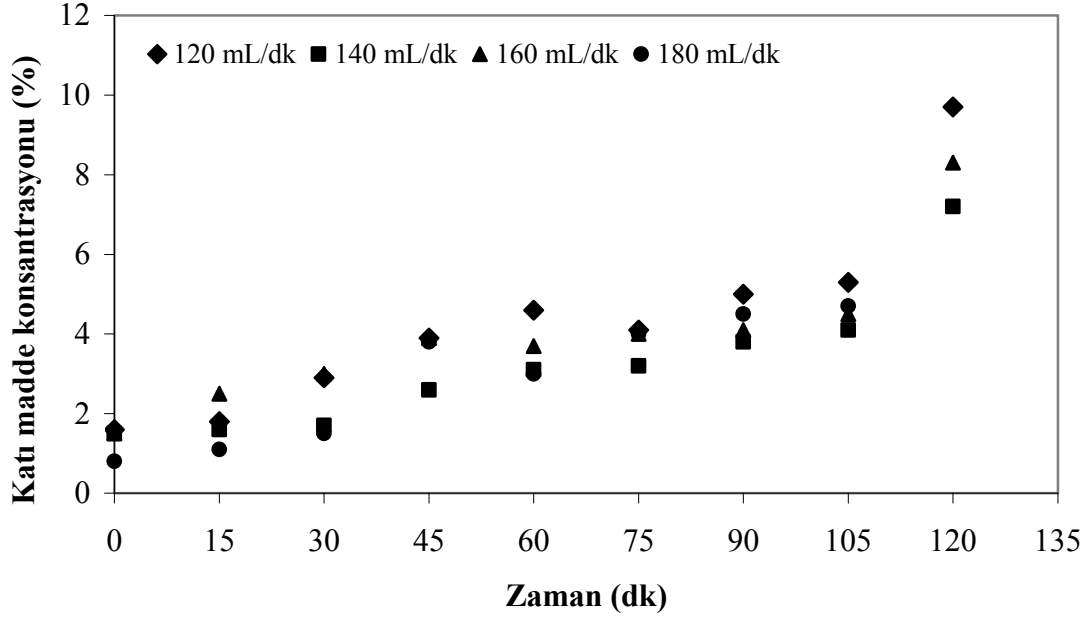
Şekil 2. Sünger filtre ile yoğunlaştırma işleminde çamurdaki katı madde konsantrasyonunun 40 mL/dk ile 100 mL/dk arasında ki besleme debileri için zamana göre değişimi

sonucunda, sonuç katı madde konsantrasyonları ortalama olarak 1.5 ile 2.0 kat arasında değişen değerlerde artmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'ten de görüldüğü gibi, başlangıçtan itibaren sünger filtre üzerinde ölçülen katı madde konsantrasyonu zamanla artmıştır. Kullanılan besleme yönteminden kaynaklı olarak sünger üzerinde oluşan katı madde konsantrasyonunda genelde 45. dakika sonunda bazı düşüşler gözlenmiştir. Bunun sebebi 45. dakikada başlayan ikinci faz çamur beslemesidir. Bu dakikadan itibaren sisteme verilen yeni çamur akımı, süngerin üzerinde bulunan çamur balk

konsantrasyonunun azalmasına sebep olmaktadır fakat bu etki 60. dakikaya yaklaşırlık etki-sini azaltmış ve filtre üzerindeki katı madde konsantrasyonu dengeye gelmiştir.

Sünger ile yoğunlaştırma, ağ filtreleme yöntemine de çok benzemektedir. Ağ filtre ile yoğunlaştırmada sünger yerine paslanmaz çelikten bir ağ kullanılır ve katı madde tutulması bu ağ üzerinde gerçekleşir. Park'ın (2004) araştırmasında filtre üzerinde oluşan çamur kekinin oluşmasına katı madde yükünün etkisi olduğunu savunmaktadır. Buna göre, ilk fazda çamur keki oluşmaya başlar, eğer katı madde yükü çoksa (>15 kg/m².gün)



Şekil 3. Sünger filtre ile yoğunlaştırma işleminde çamurdaki katı madde konsantrasyonunun 120 mL/dk ile 180 mL/dk arasında ki besleme debileri için zamana göre değişimi

elde edilen sonuç katı madde konsantrasyonu ile başlangıç katı madde konsantrasyonu değerleri birbirine yakındır, eğer katı madde yükü az ise ($<15 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{gün}$) elde edilen sonuç katı madde konsantrasyonu ile başlangıç katı madde konsantrasyonu değerleri arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Bu deneyler sırasında Park'ın sonuçları ile uyumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Katı madde yükünün az olduğu Şekil 2'de, sonuç katı madde konsantrasyonu ile başlangıç katı madde konsantrasyonu değerleri arasındaki fark 4-5 kat olduğu gözlenmiştir. Katı madde yükünün daha fazla olduğu Şekil 3'te ise sonuç katı madde konsantrasyonu ile başlangıç katı madde konsantrasyonu değerleri arasındaki fark 2-3 kat arasında değişmiştir.

Şekil 3'te fark edileceği üzere 180 mL/dk debi ile yapılan çamur beslemesinde elle susuzlaştırma işlemi yapılmamıştır. Bunun yerine sünger filtrenin sağladığı bir başka kolaylıktan yararlanılmak istenmiştir. Sünger filtre ile yoğunlaşmış çamuru susuzlaştırmak için güneş ışığının yararını görmek amaçlanmıştır. Bunun için güneşli bir havada, yoğunlaştırma sonucunda elde edilen çamur keki direkt olarak 24 saat boyunca güneşin altına bırakılmıştır. Sünger filtre ile yoğun-

laştırma işlemi sonunda katı madde konsantrasyonu %4.7 olarak ölçülmüştür. Bu aşamayı takip eden güneş altında geçen 24 saat sonunda filtre üzerindeki çamur kekindeki katı madde konsantrasyonunun %54'e ulaştığı görülmüştür. Buradan da anlaşılacağı gibi sünger filtre ile yoğunlaştırılan çamurun susuzlaştırılması oldukça kolay ve verimlidir.

Filtrat kalitesi

Yapılan tüm yoğunlaştırma deneylerinde, KOİ ve TAKM parametreleri göz önünde bulundurularak filtrat kalitesinin İSKİ'nin arıtma tesisleri için deşarj limitlerine uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Genelde, konvansiyonel yoğunlaştırıcılarının filtrat kalitesi kanala direkt olarak deşarja olanak sağlayamamaktadır. Buna ek olarak, filtratı geri döndürerek arıtma tesisine vermek ekstra enerji harcaması ve ekipman maliyeti yüzünden ekonomik değildir. Ayrıca konvansiyonel yoğunlaştırıcıların kötü kalitedeki filtratını tesise geri döndürmek, var olan tesise de ek bir yüküdür. Tablo 2'de İSKİ'nin atıksu deşarj limitleri verilmektedir. Bütün analiz sonuçları bu tabloya göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen filtrat kalitesi ölçümleri Tablo 3'te sunulmuştur. Bütün tesislerin tam bir arıtmaya

ulaştığı varsayıldığında, elde edilen tüm filtrat kalitesi değerlerinin hem KOİ hem de TAKM bakımından İSKİ limit değerlerinin çok altında olduğu Tablo 3'te görülmektedir. TAKM baz alındığında, gerçekleşen en az TAKM giderimi %98.3 en fazla ise %99.7'dir. KOİ giderimine bakarsak, en az giderim %91.2, en fazla ise %99.1'dir. Park (2004) yaptığı araştırmada 0.1 mm gözenekli ağ filtre ile yoğunlaştırma sonrasında filtrat kalitesini TAKM parametresine göre ölçmüştür. Ham çamurun TAKM değerleri 3000 ile 9000 mg/L arasında değişmiş, elde edilen TAKM giderimi ise %88.2 ile %97.8 arasında değişmiştir. Daha büyük gözenekli bir filtre kullandığında ise (0.2 mm) sonuçların kötüleştiği görülmüştür. Sünger ile yoğunlaştırmada baş faktör olan straining mekanizması daha iyi bir filtrat kalitesi elde edilmesini sağlamıştır. Sünger filtrenin üst kısmında tutulamayan partiküller süngerin iç kısımlarında tutulabilmiştir.

Tablo 2. İSKİ atıksu deşarj limitleri

	Birim	Tam bir arıtmaya ulaşan tesisler	Derin deniz deşarjı ile sonuçlanan tesisler
TAKM	(mg/L)	500	350
KOİ	(mg/L)	4000	600

Tablo 3. Sünger filtre ile yoğunlaştırma sonucunda elde edilen filtrat kalitesi değerleri

Besleme akımı (mg/L)	Ham çamur KOİ (mg/L)	Filtrat KOİ (mg/L)	Ham çamur TAKM (mg/L)	Filtrat TAKM (mg/L)
40	9950	689	11520	195
60	11200	185	9766	65
80	27850	447	10600	180
100	7250	640	11760	135
120	11000	55	12440	20
140	11500	110	13220	75
160	18100	190	13280	50
180	17600	160	7730	40

Sonuçlar

Bu çalışmada sünger ile yoğunlaştırma, küçük ölçekli tesislerde kullanılabilecek yeni bir yön-

tem olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sünger filtre ile yoğunlaştırmada straining mekanizması önemli bir rol oynamıştır. Filtrelerde yük kaybına yol açtığı için istenmeyen straining, burada çabuk çamur keki oluşumu için gereklidir.
- Sünger filtre ile yoğunlaştırma sonucunda elde edilen sonuç katı madde konsantrasyonları geleneksel yoğunlaştırıcılara göre daha yüksektir.
- Sünger filtre ile çamur yoğunlaştırma işleminde, filtreye uygulanacak optimum katı madde yükünün 8 ile 15 kg/m².gün aralığında olduğu gözlemlenmiştir.
- Filtre üzerindeki çamur kekinin oluşması bütün denemeler boyunca oluşmaya devam etmiş ve konsantrasyonu giderek artmıştır.
- Sünger filtre ile yoğunlaştırılan çamur çok basit ekipmanlarla susuzlaştırılabilir hatta ekipman kullanmadan yapılan güneş ışınları ile susuzlaştırma çok başarılı sonuçlar vermiştir.
- Yoğunlaştırma sonucunda elde edilen filtratın kalitesi çok iyi olup direkt olarak kanala deşarja izin vermektedir.

Son olarak, gerçek ölçekli tesislerde, sistemin kullanımı için iki adet tank ve üzerlerine yerleştirilmiş kayan bir banta iliştilmiş sünger filtre düşünülmektedir. Sistem 120 dakika çalışacak ve süre bittiğinde çamur beslemesi diğer tanka yönlendirilecektir. Sünger üzerindeki çamur kekinin ise, banttın bir konteynıra aktarılması planlanmıştır. Sünger filtre ile yoğunlaştırma küçük ölçekli tesisler için iyi bir çözüm olabilir. Bulunan sonuç katı madde konsantrasyonları ve filtrat değerleri geleneksel yoğunlaştırıcılara göre daha iyidir.

Kaynaklar

- Boller, M., (1980). Flocculation filtration for wastewater treatment, *Doktora Tezi*, Swiss Technical University.
- Bruus, J.H., Nielsen, P.H. ve Keiding, K., (1992). On the stability of activated sludge flocs with implications to dewatering, *Water Research*, **26**, 1597-1604.

- Burris, B.E., (1979). The energy aspects of sludge thickening and dewatering methods, *Energy Conservation and Design of Water Quality Control Facilities*, 89-99.
- Dentel, S.K., (2001). Conditioning, thickening, and dewatering; research update/research needs, *Water Science and Technology*, **44**, 10, 9-18.
- Droste, L.R., (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Fair, G.M., Geyer, J.C. ve Okun D.A., (1968). *Water and wastewater engineering*, **2**, Water Purification and wastewater treatment and disposal, John Wiley & Sons, Inc, Toronto.
- Herzig, J.R., (1970). Flow of suspension through porous media, application to deep filtration. *Industrial & Engineering Chemistry*, **62**, 5-8.
- İSKİ Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliđi, (2007).
- Ives, K.M., (1982). Mathematical model and design methods in solid liquid separation: Deep bed filtration, *NATO Advanced Study Institute*.
- Krofta, M. ve Wang, L.K., (1986). Sludge thickening and dewatering by dissolved air flotation, *Floatpress*, RP PB-88-200589, 48-54.
- Maroudas, A. ve Eisenklam, P., (1965a). Clarification of suspensions: a study of particle deposition in granular media: Part I: Some observations on particle deposition, *Chemical Engineering Science*, **20**, 867-873.
- Maroudas, A. ve Eisenklam, P., (1965b). Clarification of suspensions: a study of particle deposition in granular media: Part II: Theory of clarification, *Chemical Engineering Science*, **20**, 875-888.
- Metcalf ve Eddy, (1997). *Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse*, McGraw Hill, New York.
- Mikkelsen, L.H. ve Keiding, K., (2001). Effects of solids concentration on activated sludge deflocculation, conditioning and dewatering, *Water Science and Technology*, **44**, 2-3, 417-425.
- Montgomery, J.M., (1985). *Water treatment principles and design*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Park, M.S., Kiso, Y., Jung, Y.J, Simase, M., Wang, W.H., Kitao, T. ve Min, K.S., (2004.) Sludge thickening performance of mesh filtration process, *Water Science and Technology*, **50**, 8, 125-133.
- Tien, C. ve Turian, R.M., (1979). Simulation of the dynamic behaviour of deep bed filters, *Journal of American Institute of Chemical*, **25**, 3, 385.
- Tokunaga, K., Yamagichi, N., Miyamoto, H., Nakano, I. ve Kobayashi Y., (1986). Studies of the relations between thickening/conditioning of sewage sludge and filter press dewatering, *World Congresss 3 Chemical Engineering*, **3**, 1921-195A.
- Vesilind, P.A., (1995). Sludge thickening, dewatering and drying: the removal of water by mechanical and thermal process, *Proceedings*, 27th Mid-Atlantic Industrial Waste Conference, 395-404.
-
- http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/archiv/news_60/en60e_manser.pdf, 2006, (Ekim, 2008)