YER ÇEKİMİ ETKİSİ İLE ÇALIŞAN DİNAMİK MEMBRAN REAKTÖRDE ELEK BOYUTUNUN ÇIKIŞ SUYU KALİTESİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF MESH SIZE ON EFFLUENT WATER QUALITY IN A GRAVITY-DRIVEN DYNAMIC MEMBRANE REACTOR

İbrahim UYANIK
Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Melikgazi, Kayseri, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-4850-6708

Hatice ELBİR
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Melikgazi, Kayseri, Türkiye
ORCID NO: 0000-0003-0939-2613

Adem YURTSEVER
Doç. Dr. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul, Türkiye
ORCID NO: 0000-0001-6512-5232

Erkan ŞAHİNKAYA
Prof. Dr.İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, Kadıköy, İstanbul, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-9898-9173

ÖZET

Bu çalışmada, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB) atıksu arıtma tesisinden (AAT) alınan arıtma tesisi çamuru ile gravite tahrikli dinamik membran reaktörde dinamik tabaka oluşumu incelenmiştir. KOSB AAT'de ön çöktürme ve son çökeltme çamuru olmak üzere iki tür çamur üretilmektedir. Çalışmada, bu arıtma çamurlarının farklı gözenek boyutlarına (75, 150, 200 µm) sahip paslanmaz çelik destekli ağ modülü üzerine ön biriktirilmesi için 10 L hacimli pleksiglas silindirik reaktör kullanılmıştır. Daha sonra çamur biriktirilen modül yerçekimi etkisi ile çalışan başka bir reaktöre yerleştirilerek çıkış suyu kalitesi incelenmiştir. Bulanıklık (NTU) ve askıda katı madde (SS) cinsinden ölçülen atık su kalitesinin sırasıyla <0,01 NTU ve 20 mg/L değerlerine ulaştığı gözlendi. Arıtma çamurunun yerçekimi etkisi ile çalışan dinamik membran reaktörlerinde sert ve stabil bir kek tabakasının oluşmasının, diğer kirleticilerin ve mikropartiküllerin giderimi için umut verici sonuçlara yol açabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yer çekimi, dinamik membran, çelik elek, arıtma çamuru, su kalitesi

ABSTRACT

In this study, dynamic layer formation with treatment plant sludge taken from Kayseri Organized Industrial Zone (KOSB) wastewater treatment plant (WWTP) in a gravity-driven dynamic membrane reactor was investigated. KOSB WWTP generates two types of sludge: pre-sedimentation and final clarifier sludge. In the study, a plexiglass cylindrical reactor with a volume of 10 L was used to pre-deposite these treatment sludges on a stainless steel supported

mesh module with different pore sizes (75, 150, 200 μ). Then, the sludge deposited module was placed in another reactor working with the effect of gravity, and the effluent quality was examined. It was observed that the effluent quality measured in terms of turbidity (NTU) and suspended solids (SS) reached values of <0.01 NTU and 20 mg/L, respectively. It has been seen that the formation of a rigid and stable cake layer for dynamic membrane reactors working with the effect of gravity of sewage sludge can lead to promising results for the removal of other pollutants and microparticles.

Keywords: gravity, dynamic membrane,steel screen,treatment sludge, water quality

GİRİŞ

Membranlı arıtma sistemleri, suyun kirleticilerden ayrılmasını sağlamak için kullanılan en yenilikçi sistemlerden biridir (Ersahin et al., 2012). Atıksuların arıtılması ve yeniden kullanımı konusunda membran teknolojileri her geçen gün daha verimli hale gelmektedir (Peters, 2010). Bu teknoloji, dinamik membranlar kullanılarak uygulandığında özellikle daha düşük enerjilerde işletilebilmesi nedeniyle, çevresel sürdürülebilirlik ve suyun temizlenmesi konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır (Le & Nunes, 2016). Düşük basınca sahip reaktör tasarımları ile daha az enerji tüketilmesinin yanı sıra, daha az kimyasal kullanımı, esneklik ve uzun vadeli işletme şartlarının sağlanması gibi birçok avantaja sahip olan dinamik membranlar biyoreaktörlerde (DMBR); daha yenilikçi ve etkili tasarımlar kullanılarak atıksudaki kirleticiler uzaklaştırılmaya çalışılır (Hu et al., 2017). Bu tasarımlardan biri de yer çekimi etkisinin kullanılarak dinamik tabaka oluşumunun sağlanmasıdır (Yang et al., 2022). Hala geliştirme aşamasında olduğu düşünülen dinamik membranlarda farklı sektörler için kullanım alanları oluşturulmaktadır (Paçal et al., 2019; Vergine et al., 2020; Yurtsever et al., 2021). Yer çekiminin membranlarda sürücü basınç kuvveti olarak kullanılması da pompa ihtiyacını ortadan kaldırmasının yanı sıra, sabit basınç ve değişken akıda suyun arıtılmasını sağlar (Chu et al., 2012). Yer çekimi etkisi ile çalışan membran sistemler genellikle tuzlu suların arıtılmasında bir ön arıtım ya da düşük kirlilik yüküne sahip atıksularda genel arıtım amacıyla kullanılabilmektedir (Pronk et al., 2019). Yer çekimi etkisi ile çalışan bir dinamik membran tasarımı oldukça nadir uygulamalara sahiptir. Çünkü, yer çekimi etkisi ile çalışan bir membran genellikle düşük basınçla, dinamik bir membran ise yüksek por çapıyla çalışmaktadır. Bu iki özellik birlikte düşünüldüğünde, genellikle düşük su kalitesi ve düşük akıyla çalışması beklenmektedir. Düşük basınçta (yerçekimi) ve yüksek por çapında klasik membranların tam tersi bir durum oluştuğu için arıtma beklentisi sınırlanmaktadır. Ancak, son yıllarda yapılan birkaç çalışma, bu tip membran sistemlerde umut verici sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (Pu et al., 2022; Yang et al., 2022). Membran biyoreaktörler kullanılarak yapılan bu çalışmalarda, çıkış suyu kalitesinin evsel atıksular için aktif karbon ajanı da kullanılarak 2 NTU'ya kadar düşürülebildiğini göstermiştir (Yang et al., 2022). Ön-birikim yapılarak da dinamik tabaka oluşturulan çalışmalar bulunmakta olup; metal tuzları, polimerler, aktif karbon ve fiberler gibi birçok ajan kullanılmaktadır (Pronk et al., 2019). Ancak arıtma çamurlarının ön-birikim oluşturması ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurlarının membrane biyoreaktörde paslanmaz çelik elek üzerinde oluşturduğu dinamik tabaka incelenmiştir. Daha sonra, yer çekimi etkisi ile çalışan bir reaktörde çıkış suyu kalitesinin değişimi izlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, 8-10 L hacminde bir reaktör pleksiglas malzemeden silindirik olarak tasarlanmıştır. Bu reaktör içerisinde kullanılacak olan membran modül 13 cm x 13 cm

boyutlarında ve çift taraflı tasarlanmış olup aktif su çekiş alanı yaklaşık 0,017 m^2'dir. Modülde filtrasyon işlemi için 200, 150 ve 75 µm elek çapına sahip paslanmaz çelik düz plaka monofilament ağ filtre kullanılmıştır. Reaktör içerisine karıştırıcı (IKA, C-MAG HS10, Çin) ve havalandırma ilave edilerek sistem içerisinde çamurun çökmemesi sağlanmıştır. Yapılan modül reaktör içerisine yerleştirilmiş ve vakumlama işlemi önceden belirlenen akıda vakum yapan bir peristaltik pompayla (Watson-Marlow, SCI223, ABD) sağlanmıştır. Süzüntü sürekli olarak aynı reaktöre beslenmiştir. Tabaka oluşmaya başladığı zaman basınçtaki artışlar ani tabaka oluşumunu göstermekte olup çıkış suyu kalitesi de izlenerek sistemin çalışmasına veya durdurulmasına karar verilmektedir. Reaktörde; i) vakum basıncı 200 mbar'ı aştığında, ii) atık su bulanıklığı 10 NTU'nun altında olduğunda, iii) atık su kalitesinin en az bir saat boyunca iyileşmemesi durumlarında sistem durdurulmuştur. Sistemin durdurulması ile çamur ile kaplanan modüller nazikçe ayrılmıştır. Çıkarılan modüller aşağıda detayları verilen ve yer çekimi (YÇ) etkisiyle çalışan farklı bir reaktörde 50 cm su seviyesi (basınç) ile çalıştırılarak, çıkış suyu kalitesi açısından incelenmiştir. Vakum ile çalışan reaktör ve deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmektedir.



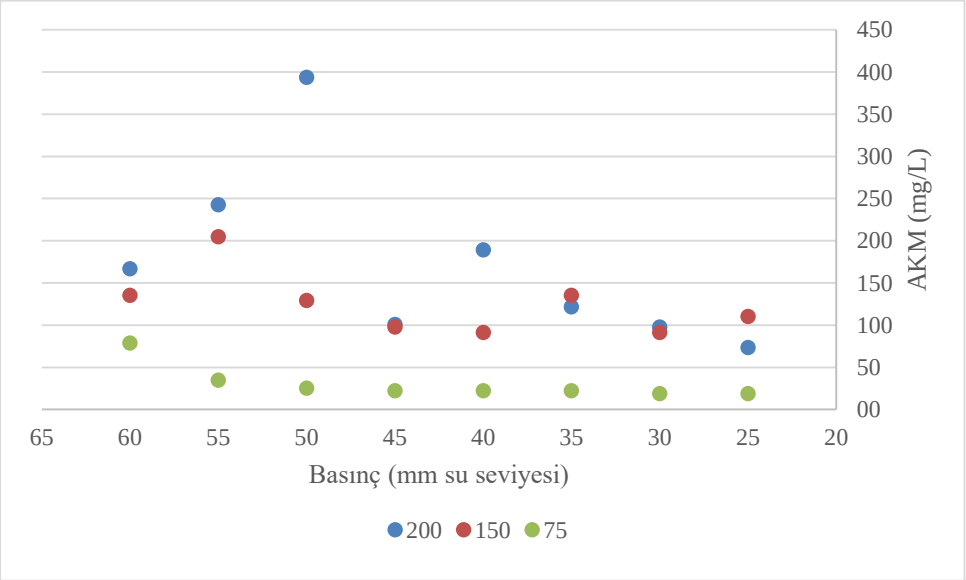
Şekil 1. Vakum ile çalışan reaktör düzeneği ve çalışmada kullanılan paslanmaz çelik ağa sahip modül.

Yer çekimi etkisi ile çalışan reaktör, dikdörtgen ve pleksiglas malzemeden 10 L olarak tasarlanmıştır. Membran için gerekli olan basınç kot farkı kullanılarak elde edilmiştir. Bu reaktör, vakum ile çalışan reaktörde ön birikim yapılan çamur tabakası ile kaplanmış modül ile bir süre sabit basınçta (sabit su seviyesi), çıkış suyu sürekli reaktöre beslenerek, daha sonra azalan basınçta, çıkış suyu deşarj edilerek, çalıştırılmıştır. Reaktör, musluk suyu ile seyreltilmiş çamur ile doldurularak akı ve su kalitesi izlenmiştir. Dolayısıyla reaktör işletimi sabit basınç-değişken akı prensibine göre çalışmaktadır. Bu sayede elektrik ve enerji tasarrufu olmaktadır. Çalışmalarda sabit basınçtaki akı değişimleri gözlemlenmiştir. DM'den süzülen su, çıkış suyu tankında toplanmakta ve daha sonraki analizler ve akı ölçümü için işlemler yapılmaktadır. Bu numunelerin bulanıklık, spektrofotometre (Hach DR5000, Germany) ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) askıda katı madde (AKM), pH ve iletkenlik değerleri ölçülmektedir. Deneylerde günlük olarak da işlemlere başlamadan çamur kalitesini öğrenmek için reaktörden numuneler alınmıştır. Çamura besleme yapılarak süzüntüdeki KOİ değerinin 200-500 mg/L aralığında kalması sağlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Vakum reaktöründe tüm elek çaplarında çıkış suyu kalitesi zamanla basınç artışı nedeniyle kötüleşmiş olup AKM 1000 mg/L'nin üzerine çıkmıştır. Ancak yüzeyi kalın bir kek tabakası ile kaplanan modülün GD reaktörde yer çekimi etkisi ile çalışılmış olup çıkış suyu kalitesinin sabit basınçta iyileştiği görülmüştür. Ön çöktürme ve son çöktürme çamuru karıştırılarak çalışıldığı zaman daha hızlı ve sıkı bir tabaka oluşumunun sağlandığı görülmüştür. Şekil 2'de farklı elek çaplarında, zamanla ve basınç değişimi ile çıkış suyundaki AKM konsantrasyonunun değişimi

görülmektedir. Yer çekimi etkisi ile çalışan reaktördeki sonuçların görüldüğü grafikte, sistem çalıştırılmaya başladığında, çıkış suyu kalitesinin önce biraz düştüğü ardından iyileşmeye başlayarak çıkış suyu AKM konsantrasyonunun düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin, tabaka oluşumunun elek üzerinde oluşmaya devam ettiği ve zamanla tüm eleğin çamurla kaplanması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. Farklı elek çaplarında yer çekimli dinamik membran reaktör (YÇ-DMR) çıkış AKM değerlerinin değişimi

DMBR'de basınç artışı 200 mbarı geçince sistem durdurularak, modül YÇ-DMR'ye konulduğu zaman çıkış suyu akısının düşmesi söz konusu olsa da, en düşük akı değeri 5 LMH olarak elde edilmiştir. YÇ-DMR'ye konulacak modüllerde literatürde en az 10 cm basınç sağlansa da, bu çalışmada maksimum 50 cm olmak üzere azalan basınçta çalışılmıştır. Basınç artışının fazla olması durumunda çıkış suyu elde edilemeyeceği için güvenli tarafta kalınması gerekmektedir. YÇ-DMR'de daha önce DMBR'de çamurla kaplanmış olan modülün başlangıçta yüzeyindeki çamurun sistem çalıştırılmadan önce suya geçtiği, ancak elekten su geçtikten sonra, suya geçen çamurun tekrar elek üzerinde toplanmaya başladığı ve çıkış suyu kalitesinin bir süre sonra iyileşmeye başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3).

DMBR reaktörden modül çıkarıldığı zaman yüzeyde gözle görülür bir tabaka olmadığı ama GD reaktöre konulduğunda yüzeyinde tabaka olduğu gözlemlenmiştir. Anlık olarak çıkış suyundan numune alınmıştır ve anlık SS değerine bakılmıştır.



Şekil 3. GD membran reaktörde filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası reaktörün görüntüleri. 1. Resimde oğun bir çamur ve bulanık bir su görülürken, 2. Resimde reaktör içindeki modül net olarak görülebilmektedir. 3. ve 4. Resimde ise tabakanın tamamen modül üzerinde kaplandığı ve reaktördeki suyun berraklaştığı ortaya çıkmıştır.

Ayrıca çıkış suyu kalitesinin DMBR'de iyileşmediği durumlar olmuştur. Bu durumda, kısmi olarak tabaka oluşsa da modül YÇ-DMR'ye konularak yeniden çıkış suyu sonuçlarına bakılmıştır. DMBR'de çıkış suyunda çok yüksek AKM konsantrasyonları elde edilmesine rağmen, YÇ-DMR'de çıkış suyu sonuçlarının iyileştiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin DMBR'de sabit akıda ve havalandırma sağlanan reaktör ile çalışılmasının hidrodinamik etkisinin olduğu düşünülmektedir. YÇ-DMR'nin işletilmesinde başlangıçta sağlanan yüksek akı ile çamur floklarının elek üzerine gitme eğilimi, elek üzerinde hızlı bir tabaka oluşumuna neden olduğu, alttan karıştırılan reaktörün de flokların elek üzerinde düzgün bir şekilde oluşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Şekil 4'te elek üzerinde oluşan çamur tabakaları gösterilmiştir.



Şekil 4. DMBR'de oluşan kek tabakası (solda ilk iki fotoğraf), YÇ-DMR'de oluşan kek tabakası (sağdaki iki fotoğraf). DMBR'de modülün iki yüzünde, ya daha kalın ya da daha ince kek tabakası oluşturduğu, YÇ-DMR'de ise modülün her iki yüzünde ince ve düzgün kek tabakası oluştuğu gözlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, atıksu arıtma tesisi çamurunun paslanmaz çelik elek modüller kullanılarak dinamik filtrasyon ile tabaka oluşturması incelenmiştir. AAT çamurları nispeten yüksek por çapına sahip eleklerde dahi düzgün bir kek tabakası oluşturduğu gözlenmiştir. Çamur tabakasının oluşumuna, reaktördeki; akı, basınç, hidrodinamik koşullar ve havalandırma şartları

gibi işletme şartlarının bütüncül bir etkisinin olduğu ve yer çekimi etkisi ile çalışılması durumunda daha düzgün ve elek yüzeyi üzerinde eşit kalınlıkta bir kek tabakası ile kaplanabildiği tespit edilmiştir. YÇ-DMR'de akı ve hidrodinamik koşulların yanı sıra, daha düşük reaktör içi AKM konsantrasyonlarının daha iyi çıkış suyu kalitesi sğladığı tespit edilmiştir. DMBR'de ise sabit akı ve sürekli havalandırma şartlarına rağmen, çıkış suyu kalitesinin, modülün yüzeyindeki yoğun kek tabakası ve basıncın etkisiyle, düştüğü gözlemlenmiştir.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is funded by TUBITAK (122Y255).

KAYNAKLAR

Chu, H., Dong, B., Zhang, Y., & Zhou, X. (2012). Gravity filtration performances of the bio-diatomite dynamic membrane reactor for slightly polluted surface water purification. Water Science and Technology, 66(5), 1139-1146.

Ersahin, M. E., Ozgun, H., Dereli, R. K., Ozturk, I., Roest, K., & van Lier, J. B. (2012). A review on dynamic membrane filtration: materials, applications and future perspectives. Bioresource technology, 122, 196-206.

Hu, Y., Yang, Y., Wang, X. C., Ngo, H. H., Sun, Q., Li, S., Tang, J., & Yu, Z. (2017). Effects of powdered activated carbon addition on filtration performance and dynamic membrane layer properties in a hybrid DMBR process. Chemical Engineering Journal, 327, 39-50.

Le, N. L., & Nunes, S. P. (2016). Materials and membrane technologies for water and energy sustainability. Sustainable Materials and Technologies, 7, 1-28.

Paçal, M., Semerci, N., & Çallı, B. (2019). Treatment of synthetic wastewater and cheese whey by the anaerobic dynamic membrane bioreactor. Environmental Science and Pollution Research, 26, 32942-32956.

Peters, T. (2010). Membrane technology for water treatment. Chemical Engineering & Technology, 33(8), 1233-1240.

Pronk, W., Ding, A., Morgenroth, E., Derlon, N., Desmond, P., Burkhardt, M., Wu, B., & Fane, A. G. (2019). Gravity-driven membrane filtration for water and wastewater treatment: a review. Water research, 149, 553-565.

Pu, Y., Fu, Z., Li, T., Chen, Y., & Zhou, Z. (2022). A Novel Anaerobic Gravity-Driven Dynamic Membrane Bioreactor (AnGDMBR): Performance and Fouling Characterization. Membranes, 12(7), 683.

Vergine, P., Salerno, C., Berardi, G., Pappagallo, G., & Pollice, A. (2020). The Self-Forming Dynamic Membrane BioReactor (SFD MBR) as a suitable technology for agro-industrial wastewater treatment. New biotechnology, 56, 87-95.

Yang, Y., Deng, W., Hu, Y., Chen, R., & Wang, X. C. (2022). Gravity-driven high flux filtration behavior and microbial community of an integrated granular activated carbon and dynamic membrane bioreactor for domestic wastewater treatment. Science of the Total Environment, 825, 153930.

Yurtsever, A., Basaran, E., Ucar, D., & Sahinkaya, E. (2021). Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment. Science of the Total Environment, 751, 141572.