IKSAD INSTITUTE
Institute Of Economic Development and Social Research

INTERNATIONAL ISTANBUL MODERN SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS -IV

16-18 DECEMBER 2022

PROCEEDINGS BOOK



EDITED BY
Prof. Dr. Osman ERKMEN

ISBN: 978-625-6404-15-1

INTERNATIONAL ISTANBUL MODERN SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS–IV

PROCEEDINGS BOOK

EDITED BY
Prof. Dr. Osman ERKMEN

By
IKSAD Institute
All rights of this book belong IKSAD Publishing House
Authors of chapters are responsible both ethically and jurisdically
www.istanbulkongresi.org
Issued: 30.12.2022
ISBN: 978-625-6404-15-1

CONGRESS ID
ISTANBUL INTERNATIONAL MODERN SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS –IV

DATE and PLACE
16-18 DECEMBER 2022, ISTANBUL
FACE TO FACE AND ONLINE

ORGANIZATION
IKSAD Institute

HEAD OF CONGRESS
Prof. Dr. Osman ERKMEN

COORDINATOR
Gulnaz GAFUROVA

NUMBER of ACCEPTED PAPERS FROM TURKEY
70

OTHER COUNTRIES
75

PARTICIPANTS COUNTRIES (25):
Türkiye, Azerbaijan, Croatia, Canada, Iraq, Algeria, India, Kazakhstan, Romania, Benin, Russia, Vietnam, Saudi Arabia, Nigeria, Morocco, North Macedonia, Kosovo, Iran, Indonesia, Philippines, Mexico, Pakistan, Algeria, Italy, USA

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process

ÇAMUR FİLTRELENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN AEROBİK DİNAMİK MEMBRAN BİYOREAKTÖR FİLTRASYON VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION THE EFFECT OF SLUDGE FILTERABILITY PROPERTIES ON AEROBIC DYNAMIC MEMBRANE BIOREACTOR FILTRATION EFFICIENCY

Abdullah KIZILET
Doktora Öğrencisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyomühendislik ve Bilimleri Ana Bilim Dalı, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye
ORCID: 0000-0002-6220-897X
Adem YURTSEVER
Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 34320, Avcılar, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0001-6512-5232
Kevser CIRIK
Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye
ORCID:0000-0002-1756-553X
Özer ÇINAR
Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34220 İstanbul, Türkiye
ORCID:0000-0002-3023-0734

ÖZET

Dinamik Membran Biyoreaktörler (DMBR), son yıllarda evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın bir şekilde çalışılmakta olup, bu sistemlerin en büyük dezavantajı membran tıkanmasıdır. Filtrasyona karşı spesifik direnç (SRF), süprenatant filtrelenebilirliği (SF) ve kapiler emme zamanı (CST) gibi çamurun filtrelenebilme özelliğini gösteren parametrelerin incelenmesi membranların tıkanmasının azaltılmasında önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı ise farklı işletim koşullarında çamur filtrelenebilme özelliklerinin DMBR filtrasyonuna olan etkilerinin incelenmesidir. Bu bağlamda, çalışmada değişen SADm değerlerinde (1-, 0.8-, 0.5 m^3-hava /m^2·sa) ve değişen F/M oranlarında (0.095, 0.125, 0.19 g-KOİ/g-TKAKM·gün) MBR/DMBR reaktöre ait çamurun SRF, SF ve CST sonuçlarına yer verilmiştir. Çalışmada SADm düştükçe filtrenebilirlik özelliğinin göstergesi olan SF değeri de düşmüştür, buna bağlı olarak SRF değerinde yükselme gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, SADm değerindeki düşüş çamurun CST sürelerinin artmasına, böylece çamurun filtrelenebilirlik özelliğinin düşmesine neden olmuştur. Düşen SADm değerlerinde, sırasıyla SF sonuçları 1,85 ml/dak, 0,95 ml/dak, 0,5 ml/dak ve benzer şekilde artan F/M oranlarında SF sonuçları 1,82 ml/dak, 1,49 ml/dak ve 1,1 ml/dak olarak gözlemlenmiştir. Düşen SADm değerlerinde, sırasıyla SRF sonuçları $1,7x10^{13}$ m/kg, $3,2x10^{13}$m/kg ve $5.2x10^{13}$ m/kg ve benzer şekilde artan F/M oranlarında $1,7x10^{13}$m/kg, $2,1x10^{13}$ m/kg ve $3,0x10^{13}$ m/kg olarak gözlemlenmiştir. Düşen SADm değerlerinde, sırasıyla CST değerleri 33 sn, 44 sn, 56 sn ve benzer şekilde artan F/M oranlarında 35 sn, 37 sn, 40 sn olarak gözlemlenmiştir. SRF ve CST değerlerinin artması membran tıkanma hızının artmasına neden olmuştur. SRF'nin $1,7x10^{13}$ m/kg olduğu dönemde 20 mbar/gün civarında olan kirlenme hızı, SRF'nin $5.2x10^{13}$ m/kg değerine çıkmasıyla 80 mbar/gün seviyelerine yükselmiştir. Benzer şekilde farklı F/M değerlerinde işletilen son dönemlerde ise CST'nin ortalama 35 sn'den 40 sn'ye çıkması, kirlenme hızının 20 mbar/gün seviyelerinden yaklaşık 100 mbar/gün'e çıkmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, yapılan çalışma göstermiştir ki, çamurun filtrasyon özellikleri

membran tıkanmasını önemli ölçüde etkilemekte olup, çamur filtrelenebilirlik özelliklerinin düşmesi membranlarda daha hızlı tıkanmaya sebep olmaktadır.
Anahtar Kelimeler: DMBR, Çamur Filtrelenebilirlik Özellikleri, SFR, SF, CST
Bilgilendirme: *Bu yayın Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, doktora tez çalışmalarından üretilmiştir.*

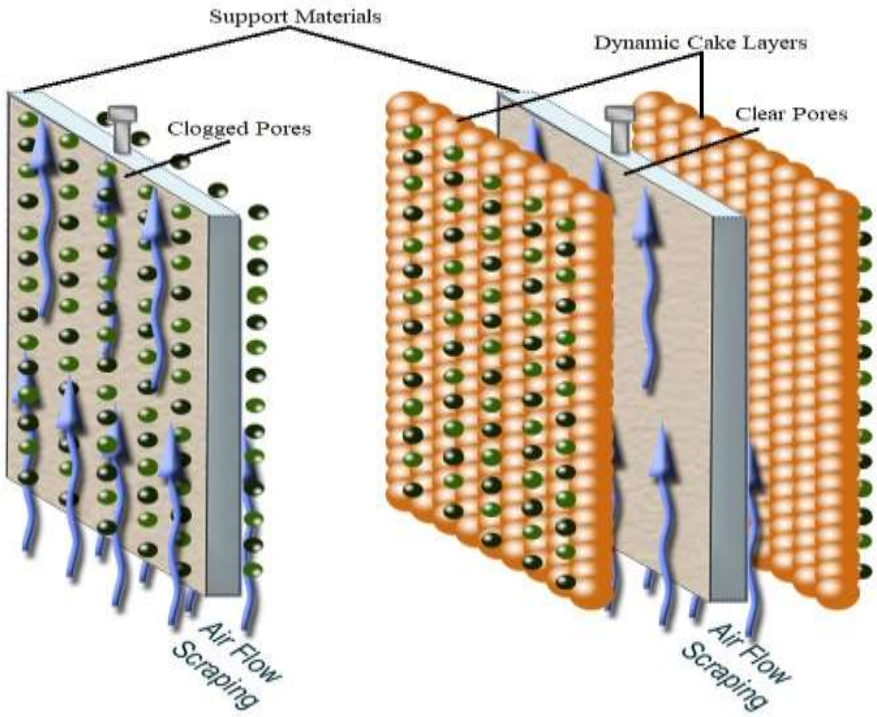
ABSTRACT

Dynamic Membrane Bioreactors (DMBR) have been widely studied in the treatment of domestic and industrial wastewater in recent years. However, these systems have disadvantages such as membrane fouling. It is important to investigate the parameters that indicate the filterability of the sludge, such as specific resistance to filtration (SRF), suprenatant filterability (SF) and capillary absorption time (CST). The aim of this study is to investigate the effects of sludge filtration properties on DMBR filtration under different operating conditions. In this context, SRF, SF and CST results of the sludge belong to the MBR/DMBR reactor at varying SADm values (1-, 0.8-, 0.5 m^3-hava /m^2·sa) and varying F/M ratios (0.095, 0.125, 0.19 g-COD/g-MLSS·day) are included in this study. In the study, as the SADm decreased, the SF values, which are the indicator of the filterability feature, also decreased, and accordingly, an increase in the SRF values were observed. Similarly, the decrease in the SADm value caused an increase in the CST times of the sludge, thus reducing the filterability of the sludge. With decreasing the SADm values, the SF results were 1.85 ml/min, 0.95 ml/min, 0.5 ml/min, respectively, and similarly, with increasing the F/M rates, theSF results were observed as 1.82 ml/min, 1.49 ml/min. and 1.1 ml/min. With decreasing SADm values, the SRF results $1{,}7x10^{13}$ m/kg, $3{,}2x10^{13}$m/kg and $5.2x10^{13}$ m/kg, respectively, and similarly increased the F/M ratios of $1{,}7x10^{13}$m/kg, $2{,}1x10^{13}$ m/kg and $3{,}0x10^{13}$ m/kg were observed. With decreasing the SADm values, the CST values were observed as 33 sec, 44 sec, 56 sec, and similarly with increasing the F/M ratios as 35 sec, 37 sec, 40 sec, respectively. Membrane fouling rate increased with the increase of the SRF and the CST values. The fouling rate, which was around 20 mbar/day when the SRF was 1.7x1013 m/kg, increased to 80 mbar/day when the SRF increased to 5.2x1013 m/kg. In the last periods, which were operated at different F/M values, the average CST has increased from 35 sec to 40 sec, caused the pollution rate to increase from 20 mbar/day to about 100 mbar/day. Consequently, the study demonstrated that the filtration properties of the sludge significantly affect the membrane fouling, and the decrease in the sludge filterability properties causes faster fouling in the membranes.
Keywords: DMBR, Sludge Filterability Properties, SFR, SF, CST
Acknowledgement: *This publication was produced from the PhD thesis studies of Sutcu Imam University, Graduate School of Natural and Applied Sciences.*

GİRİŞ

Son yıllarda, membran biyoreaktörler (MBR'ler), yüksek atık kalitesi, düşük çamur üretimi, düşük ayak izi, yüksek şok yük direnci ve iyi dezenfeksiyon kabiliyeti gibi hizmetlerden dolayı evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında laboratuvar ve kullanılan gerçek amaçlar kullanılmaktadır (Khan vd., 2011). Bununla birlikte, tıkanma sorunu düşük akılaralar da yüksek maliyetlere neden olduğu için bu sistemlerde yaygın olarak kısıtlamaktadır (Cai vd., 2018). Tıkanmanın en büyük Nedeni olan kek oluşumu ise akıyı sınırlayan anahtar factor olarak raporlanmakle birlikte, bu kek tabakasını koruyan bir membran (Dynamic Membrane: DM) gibi davranarak filtre görevi görmektedir (Ersahin vd., 2013). Bu ilkelere bağlı olarak dinamik membran biyoreaktörler (DMBR) konvansiyonel MBR'lere kıyasla daha ucuz olan örgü, filtre bezi ve dokusuz kumaş ya da tekstil ürünü gibi bir destek malzemesi üzerinde kek tabakalarının yüzeyleriyle süzme işleminin gerçekleştirilmesi konseptine dayanarak son

yıllarda çalışılmaktadır (Yurtsever vd., 2021) . Böylece MBR'lerin dezavantajlarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. DMBR ortamlarındaki destek katmanları üzerinde etkili bir kek oluşturma en önemli parametre olup, kek koruyucu çamur özellikleri, işletim koşulları, biyoreaktör dizaynı, destek katmanlarının özellikleri gibi bir çok faktör etkileyen (Isik vd., 2020). Bunlar arasında destek malzemesinin gözenek boyutu ve yapı özellikleri çok önemli bir faktördür çünkü uygun gözenek boyutuna sahip uygun bir destek malzemesi seçimi DMBR'lerin kararlı çalışması için büyük rol oynar (Yurtsever vd., 2020). Bununla beraber son yıllarda giderek artan nüfusun yanı sıra, teknoloji, sanayi, ziraat vb. alanlardaki faaliyetlerin artması, çevre ve ekosistem açısından önemli derecede rol oynayan birçok kirleticinin de artmasına sebep olmuştur. Genellikle bu kirleticilerin atıksulardan ve içme sularından arıtılması çevre mühendisliği prensiplerinin temelini oluşturmaktadır. Çevre mühendisliği arıtma prosesleri genelde karbon, azot ve fosfor giderimi üzerinedir. Atık su arıtımı amacıyla kullanılan membran biyoreaktörler (MBR) gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son 10 yılda artan bir hızla kullanılmaya başlanmıştır. Önümüzdeki yıllarda birçok konvansiyonel atık su arıtma tesisinin teknolojilerini MBR'lara dönüştüreceği ve bunun sonucu olarak son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı tahmin edilmektedir. MBR'ler membran teknolojileri sayesinde arıtılmış su ve biyokütlenin fiziksel olarak ayrıldığı süspansiyon büyüme modundaki biyolojik proseslerdir. Bununla birlikte, membran maliyetleri, artan enerji talebi, tıkanma kontrolü ve düşük akıda biyoreaktör işletme sorunları, membran biyoreaktör sistemlerinin karşılaşmış olduğu başlıca problemler arasındadır. Dinamik membran biyoreaktör sistemleri (DMBR), işletim maliyetinin düşük olması sebebiyle bu sorunların çözülmesinde umut verici bir yaklaşım olabilme ihtimalini getirmiştir. Şekil.1'de kek tabakası oluşumu gösterilmiştir (Kizilet vd. 2022).

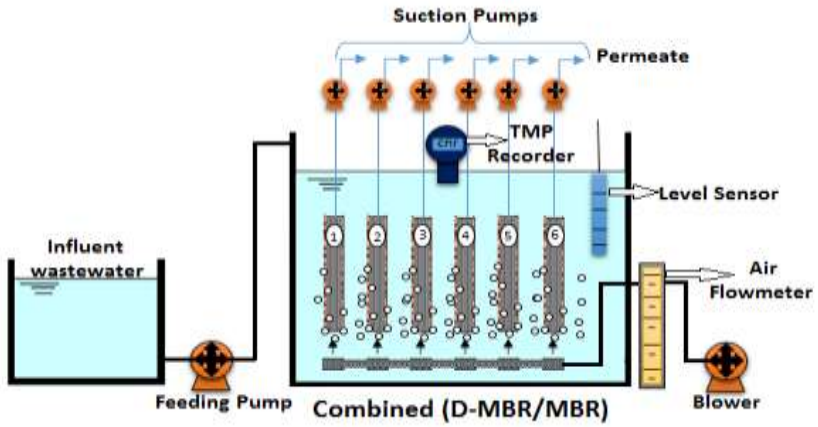


Şekil 1. *DMBR Tıkanıklığa Sebep Olan Kolloidler; (A) Dinamik Kek Tabakası Oluşmadan Önce, (B) Dinamik Kek Tabakası Oluştuktan Sonra (Kizilet vd. 2022)*

MATERYAL ve METOT

Reaktör Konfigürasyonu

Çalışma kapsamında kullanılan reaktörün toplam hacmi 13 L olan şekilde tasarlanmıştır. Aktif çalışma hacmi 7 L olarak belirlenen bu reaktörün 1,3 L' lik kısmını kullanılan membran modüllerin toplam hacmi kaplamaktadır. Laboratuvar ölçekli tasarlanmış bu reaktör Şekil.2' de 1 numara ile gösterilmektedir. D-MBR modülleri, kullanılan tekstil ve membran materyalleri ile kaplanacak şekilde güçlendirilmiş pleksi glas malzemeden yapılmıştır. Tek bir modüle ait toplam aktif yüzey alanı 112,5 cm^2' dir. Bu modüller değişik tekstil materyallerinin ve membran tabakasının denenebilmesi Şekil.2'de 2 numara ile gösterildiği gibi 6 adet tasarlanmıştır . Şekilde gösterildiği gibi tüm modüllerin alt kısmına denk gelecek şekilde 40 cm^3 hacminde difüzörler tasarlanmıştır. Bu difüzörlerin amacı, aerobik şartlar için gerekli olan oksijeni sağlamalarının yanı sıra oluşacak kek tabakasını ile jel tabakası arasındaki hava sıyırma işlemini yapmaktır. Her bir modülden süzüntü suyu çıkışı için kullanılan vakum pompaları 4 numarada gösterilmektedir. Reaktörün aktif çalışma hacmini stabil tutabilmek için 5 numara ile gösterilen 7 L' ye ayarlanmış şekilde seviye sensörü kullanılantır. Sabit, 25 LMH değerinde işletilecek tüm modüllerin membran geçiş basınçları (transmembran pressure – TMP) ise 3 numara ile gösterilen analog manometre ile ölçülecektir. Bunun yanı sıra çok daha hassas TMP' leri kaydedilebilmesi için kayıt fonksiyonlu dijital manometre cihazı (KELLER Druckmesstechnik LEO Record, İsviçre) ve LOGGER-5 yazılımı kullanılantır. Şekil.2. 6 numarada ise reaktör içerisinde aerobik koşulların sağlanması için gerekli minimum havanın, MBR ve D-MBR' lerin spesifik hava ihtiyaçlarının sabit tutulabilmesi ve eş zamanlı gözlemlenmesi için hava debi ölçer kullanılmaktadır. 7 numarada ise modüllerden vakumlama işlemini belirli dakikalarda çalıştırıp belirli dakikalarda durduran flaşör role (start-stop zaman ayarlı) gösterilmektedir.



Şekil 2:

Şekil 2. *Kombine (D-MBR/MBR): (1) Nonwoven, (2) 220 µm D-MBR, (3) (2) 90 µm D-MBR, (4) 30 µm D-MBR, (2) 0.45 µm MBR, (2) 0.22 µm MBR*

Kullanılan reaktör oda sıcaklığında (≈25 ºC de), sürekli sistemde işletilerek, her bir modülün akısı 25 lt/m^2.saat (LMH) olan şekilde vakum pompaları yardımıyla ayarlanmıştır. Reaktör ortalama 1 günlük hidrolik bekleme süresinde (hydraulic retention time-HRT) ve analizler için alınacak çamur numuneleri dışında herhangi bir çamur atılmayacağı için teorik olarak sonsuz katı bekleme süresinde (solid retention time-SRT) işletilmiştir (Günlük analizler için alınan numune miktarları ve reaktör AKm değerini 8000 mg/L'de tutmak için atılan çamur miktarı göz ardı edilerek teorik olarak çamur yaşı sonsuz olarak belitrilmiştir). Aerobik koşulların sağlanması için gerekli olan minimum 2 mg O_2/L oksijen desteğinin yanı sıra,

membran yüzey alanına bağlı olarak spesifik havalandırma ihtiyacı (Specific Air Demand-SAD_m) ve süzüntü akış hızına bağlı olarak spesifik havalandırma ihtiyacı (Specific Air Demand-$SAD_{permeate}$) hava debimetreleri ile ayarlacanacaktır. SAD_m ve SAD_p hesaplamaları Denklem 1' de ve Denklem 2' de gösterilmektedir.

$$SAD_m = \frac{Nm^3 hava}{m^2 saat} \quad \textbf{(1)}$$

$$SAD_p = \frac{Nm^3 hava}{m^3 süzüntü} \quad \textbf{(2)}$$

Bu çalışmada kullanılan her bir modülün aktif yüzey alanı 0,01125 m^2 olan şekilde tasarlanmıştır. Başlangıç olarak SAD_m değeri 1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu bağlamda, tek bir modül için hava debisi Denklem 1 kullanılarak 22,25 L hava/saat, 6 adet modül kullanıldığı için reaktörün toplam debisi ise ortalama 67,5 L hava/saat olarak hesaplanmıştır.

İşletme Koşulları ve Atıksu İçeriği

Biyoreaktör, İstanbul'daki Ambarlı İleri Biyolojik AAT'nin geri dönen aktif çamurundan (RAS) 8000 mg/L başlangıç reaktör biyokütle konsantrasyonu ile çamurla aşılanmıştır. Sistem sürekli olarak çalıştırıldı, burada besleme (reaktör girişi), KOİ eşdeğeri başlangıç için 750 mg KOİ/L olan sentetik evsel atık suydu. ISO 8192:2007 (E) yöntemi esas alınarak mikro ve makro elementler eklenerek modifiye edilen sentetik evsel atıksu içeriği Çınar vd., (2008) tarafından yapılan çalışmadaki bilgiler de dahil olmak üzere Tablo.1'de verilmiştir. . Çalışmada besin hazırlamada musluk suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Modifiye Sentetik Evsel Atıksu

Kimyasallar	**Konsantrasyon (mg/L)**
$C_6H_{12}O_6.H_2O$	750
$NaHCO_3$	2754
NH_4CI	230
K_2HPO_4	37
KH_2PO_4	67
$MnSO_4.H_2O$	0,4289
$ZnSO_4.7H_2O$	0,1053
Na_2SO_3	0,2811
$CuSO_4.5H_2O$	0,0556
$FeSO_4.7H_2O$	5,92
$NiSO_4.6H_2O$	0,1
$CoCl_2.6H_2O$	1

Reaktör farklı işletim koşullarının kek oluşum hızlarına etkisini değerlendirebilmek amacıyla 3 farklı akıda (15 LMH, 20 LMH ve 25 LMH) ve 3 farklı SAD_m değerinde (1, 0,8 ve 0,5 m^3-air/m^2.L) işletilmiştir. Ayrıca organic yükün etksinin belirlenebilmesi için de 3 farklı F/M oranında (0.10, 0.15 ve 0.20) denemeler yapılmıştır. Böylece her bir membran toplamda 7 farklı işletim koşulunda 300 gün boyunca kek oluşum sürecine tabi tutulmuştur. Çalışmaya ait

işletim koşulları tablo 2'de sunulmuştur. Çalışmada öncelikle her bir membran 15 LMH'lik akı ile işletilmeye başlanmış bu süreçte kek oluşum ve basınç ilişkileri incelenmiştir. Daha sonra akı 61 ve 91. günlerde sırasıyla 20 LMH ve 25 LMH'lere çıkarılmıştır. SADm bu aşamalarda 1 m^3-air/m^2.L'de tutulmuştur. Akı teslerinin tamamlanmasından sonar, her bir membrane için maksimum performansın elde edildiği akıda SADm düşürülerek denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde ise SADm değeri 180. ve 210. günlerde sırasıyla 0.8 ve 0.5 m^3-air/m^2.L değerlerine düşürülmüştür. Son olarak ise yine her bir membrane için maksimum performansın elde edildiği akıda ve 1 m^3-air/m^2.L'lik SADm değerinde F/M oranı arttırılarak, filtrasyon ve arıtım performansına etkisi incelenmiştir.

Besin-Food (F) Yükleme Oranı

Besin-Food (KOİ) yükleme oranı veya besin/mikroorganizma (F/M) oranı MBR ve DMBR'lerde gerek SMP gerek se EPS açısından önemli bir parametre olup membran tıkanıklığını doğrudan etkiler. F/M oranı arttıkça olaşan SMP'ler özellikle DMBR'lerde destek tabakasındaki porları tıkama eğilimdedir. F/M oranı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$\frac{F}{M} = \frac{Q * S_O}{X * V}$$

Artan organik yükleme oranı MBR'lardak, giriş KOİ, BOİ ve NH4-N'nin değerlerini sırasıyla 1150'den 2050 mg/lt'ye, 683'den 1198 mg/lt'ye ve 154'den 248 mg/lt'ye çıkardıklarında arıtma verimlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Trusselle vd. (2006), yüksek organik yükleme oranlarında membran kirlenmesinin arttığını belirtmişler ve F/M oranı 4 kat arttırıldığında membran kirlenme hızının 20 kat arttığını raporlamışlardır. Khoshfetrat vd. (2011), organik yükleme oranının 1'den 2,5 kg KOİ/m3.gün'e çıkarılmasının KOİ giderme verimini %90'dan %74'e düşürdüğünü bulmuşlardır.

BULGULAR

Kimyasal Oksijen İhtiyacı -KOİ

Aerobik koşullar altında (SAD_m=1) işletilen reaktörün günlük olarak hazırlanan evsel nitelikli sentetik atıksu içeriğindeki Kimyasal Oksijen İhtiyacı-KOİ Şekil.3'te gösterildiği gibi 750 mg KOİ/L seviyelerindedir. Süzüntü KOİ değerleri tüm farklı periyotlarda (15 LHM, 20 LMH ve 25 LMH akı değerlerinde) süzüntü NTU değeleri ile birebir orantılı olarak değişmektedir. Bunun da sebebi süzüntü sularında bulanıklığa neden olan kolloidal maddelerin yanısıra mikroorganizmaların aynı zamanda kendilerinin de KOİ kaynağı olmalarıdır. Süzüntü sularında elde edilen NTU değerleri mikroorganizmalar kararlı koşullara ulaşana kadar özellikle D-MBR'lerde KOİ profilleri ile birebir örtüşmektedir. Şekil.3'te de gösterildiği üzere; ilk periyot olan 15 LMH akı değerinde işletilen reaktörde Nonwoven D-MBR KOİ profili NTU profilinde de gösterildiği gibi 4. Günün sonlarına doğru kararlı koşullara ulaşmıştır. 15 LMH akı değeri altında ortalama % 88,21 olan KOİ giderimi bulanıklık giderim performası ile ters orantılı olarak 20 LMH akıda % 88,05'e düşmüştür. 3. Periyot olan 25 LMH akıda ise bu değer giderek % 87,41 seviyelerine gerilemiştir. Benzer şekilde 171 µm D-MBR, süzüntü NTU verimliliği ile orantılı olarak her periyot için farklılık göstermiştir. Bu bağlamda sırasıyla 15 LHM, 20 LMH ve 25 LMH akı değerlerinde 171 µm D-MBR için kararlı koşullara ulaştıktan sonra elde edilen ortalama KOİ verimlilikleri; % 87,33, % 87,15 ve % 89,51 olarak gözlemlenmiştir. Benzer şekilde 90 µm D-MBR, 30 µm D-MBR ve 0,45 µm MBR, 0,22 µm MBR KOİ süzüntü değerleri Şekil.7'de gösterilmiştir. Spesifik hava ihtiyacı SADm=1'den SADm=0,8 m3hava/m2.sa'a düşürüldükten sonra önceki iş paketlerinde belirlenen optimum LMH değerinde tüm DMBR ve MBR'ler için elde edilen bulgular göstermiştir ki ortalama %10 ila %15 arasında KOİ giderim verimlerinde düşüş söz konusudur. Bu da aktif çamur sistemlerinin genel karakteristiği olarak bilinmektedir. İş

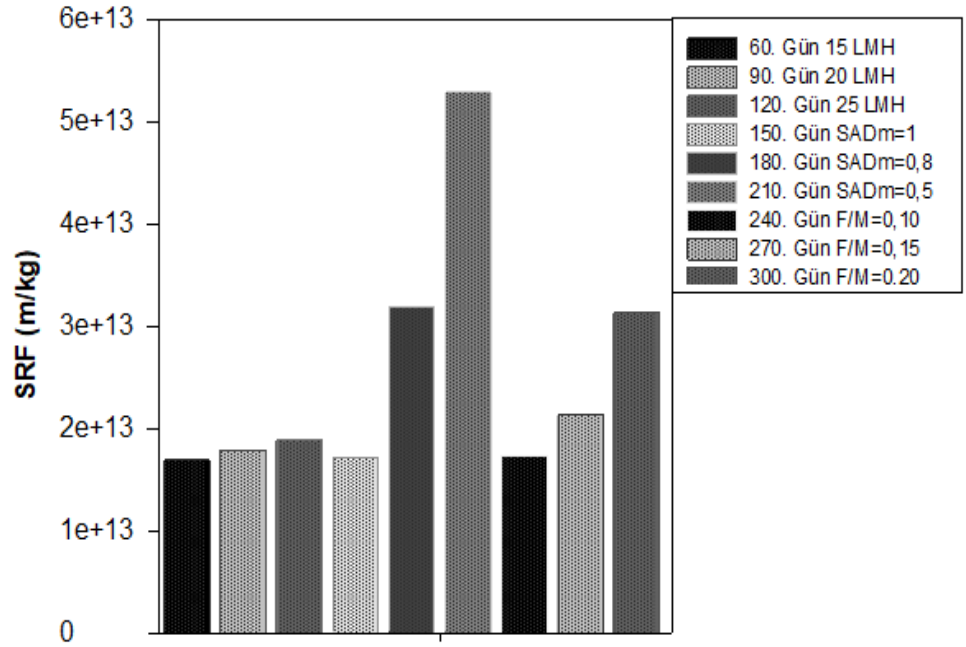
paketinde ise artırılan KOİ değerlerinde KOİ giderim verimlerinin 1000 mg KOİ/L'de %90 seviyelinden % 75 devamında da % 65 seviyelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Kizilet vd. 2022'de detaylı bir şekilde gösterildiği üzere tüm iş paketlerinde ortalam %90 seviyesin KOİ giderimi gözlemlenmiştir.

Günlük Olarak Elde Edilen Basınç-TMP (mbar) Grafikleri

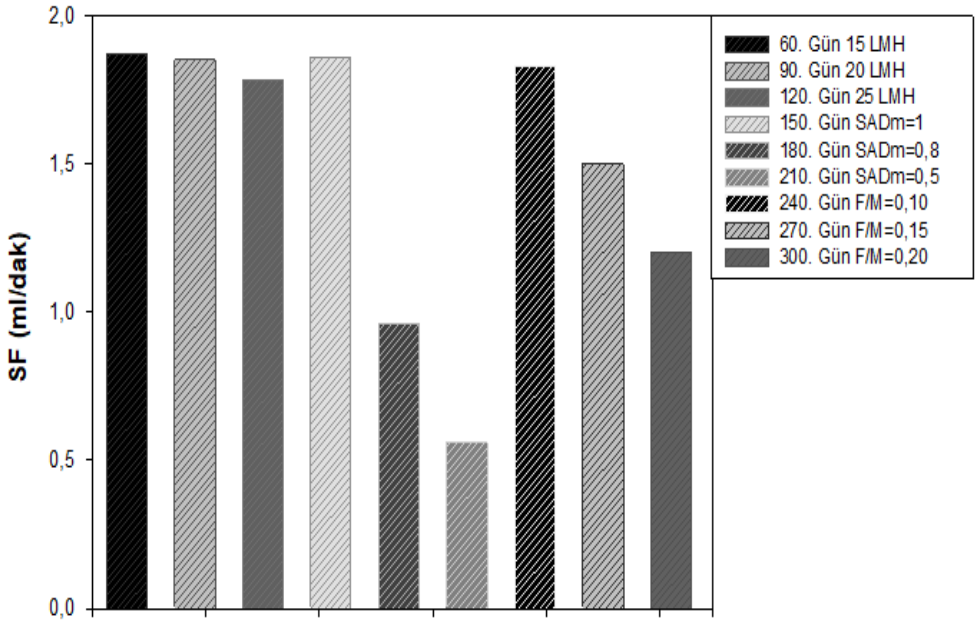
D-MBR ve MBR modüllerde günlük olarak elde edilen Membran Basınçları- Trans Membrane Pressure (TMP) değerleri otomatik olarak her dakika kaydedilmiştir. TMP değerleri gerek günlük gerekse anlık olarak takip edilerek sabit akı altında (15 LMH) membran tıkanıklıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Reaktörde sürekli olarak uygulanan fasılalı çalıştırma (4,5 dakika çekiş-0,5 dakika bekleme) ve aerobik havalandırma yardımı ile kek tabakası kesme gibi fiziksel temizlemelerin yanısıra süngerle yıkama ve hipoklorik asit çözeltisinde bekletme (kimyasal temizleme) gibi temizleme işlemlerine ve sıklıklarına karar verilmiştir. Bu bağlamda tüm modüller için reaktör dışına çıkarılarak fiziksel yıkama (süngerle temizleyip saf suda bekletme) işlemleri TMP değeri 200 ila 300 mbar değerine ulaştığında uygulanmıştır. Literatür bilgilerinden de yola çıkarak belirlenen bu periyotlatrda fiziksel yıkamalar uygulanmıştır. Fakat öngörülen süre zarfında hızlı bir zaman diliminde 200-300 mbar aralığını hızlı bir şekilde geçerse 550-700 mbar değerlerine ulaşıldığında kimyasal yıkama işlemleri uygulanmıştır. Tüm bu TMP değerleri direkt olarak NTU değerleri ile ilişkilidir. Genel olarak arttırılan LMH değerlerinde TMP profillerinde artış gözlemlenmiştir.

SRF & SF (Sludge filterability) Sonuçları

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında SRF ve SF çalışması için reaktör içerisinden 100 ml'ye denk gelecek şekilde çamur numunesi alınmış ve dead-end düzeneği içerisinde filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. SRF için reaktör içerisinden numune doğrudan alınırken, SF için; alınan numune öncelikli olarak santrifüj işlemine (10 dk, 4000 rpm) tabi tutulmuştur. Her iki deneysel çalışmada, numuneler düzenek içerisinde 1 saat süresince saf azot gazı ile filtrasyon işlemine tabi tutulmuş ve filtrasyon sonrası çıkış suyu tartılarak, kümülatif olarak kaydedilmiştir. SF çalışmasının sonucunda, 50.ci saniyeden itibaren 100 gr sıvı çıkışı toplamı kümülatif olarak elde edilmiştir. SRF değeri ise 57 gr da kalmıştır. Değerin SF çalışmasına nazaran daha düşük olmasının sebebi, santrifüj işlemine tabi tutulmamasından kaynaklanmaktadır. Santrifüj işlemi, çamurun dibe çökmesiyle, üst kısımda kalan süpernatant fazının, protein ve karbonhidrat miktarından büyük ölçüde arınmasını ve düşük yoğunlukta bir sıvı eldesini sağlamaktadır. Şekil.3 (SRF) ve Şekil.4 (SF) grafikleri göstermiştir ki 300. Günden sonra ilave edilen SiO_2 den sonra çamur direncinin göstergesi olan SRF değerlerinde azalma buna bağlı olarak da çamur filtrelenebilirlik özelliğini gösteren SF değerlerinde artış olmuştur.



Şekil 3. *Reaktör İçerisindeki Çamurun Değişen İş Paketlerinde SRF Profili*

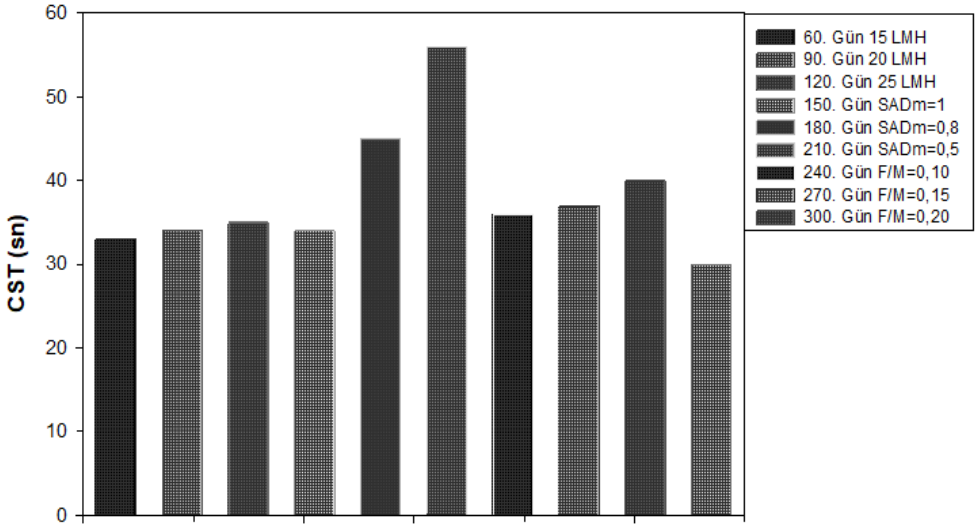


Şekil.4. *Reaktör İçerisindeki Çamur Filtrelenebilirliği-SF Profili*

CST (Kapiler Emme Zamanı) Sonuçları

Şekil.5' te gösterildiği gibi SADm=1 m3hava/m2.sa'de Farklı LMH değelerinde işletilen reaktörde sırasıyla 15, 20 ve 25 LMH' de kapiler emme zamanı girek azalmaktadır. Bu da LHM değerinde artış oldukça çamurun filtrelenme zamanında kısalma yani olumlu yönde düzelme olduğu söylenebilir. Fakat mikroorganizmaların sudan ayrılma hızı olarak da gösterilen CST süresi kek tabakası oluşumu için gerekli olan sürenin ve EPS oluşumunun optimum olmaması nedeniyle özellikle DMBR'lerde filtrasyon özelliğine olumlu etki etmemiştir. Reaktöre verilen hava miktarının azalması ile SADm değeri 1 m3hava/m2.sa' den

öncelikle 0,8 m3hava/m2.sa' e sonraki iş paketinde de 0.5 m3hava/m2.sa ' e düşürülmüştür. Elde edilen bulgular göstermiştir ki; SADm değerindeki düşüş mikroorganizmaların CST süresilerini oldukça arttırmış bu da filtrasyon sonuçlarına olumsuz yansımıştır. Bu rapor döneminde önceki rapor dönemine ilave olarak 210. Gün ve 240. Günde de yapılan CST analizlerinde SADm değeri (0,5) değişmediği için gözle görülür bir değişiklik gözlemlenmemiştir. 270. ve 300. Günler arasında F/m oranı arttırıldığında CST süresinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil.5. *Değişen İş Paketlerinde Kapiler Emme Zamanı Profilleri*

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, piyasada farklı amaçla kullanılan, farklı delik çaplarına ait serigraf ipeği ve örgüsüz kumaş olarak bilinen (Non-woven) destek materyalleri kullanılarak oluşturulan DMBR ve 0,22 µm ve 0,45 µm MBR performanslarının tek bir reaktör içerisinde kıyaslaması ve genel performanslarının değerlendirilmiştir. Artan LMH'lerde SRF ve CST değerlerinde artış gözlemlenmiş SF değerlerinde ise düşüş gözlemlenmiştir. Kademeli olarak düşürülen SADm değerlerinde de benzer sonuçlar çok daha belirgin bir şekilde edilmiş olup artan F/M oranlarında nispeten daha düşük değerlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen tüm bulgular ışığında özellikle kullanılan 30 µm DMBR gerek KOİ, süzüntü bulanıklık ve diğer parametreler de göz önünde tutulduğunda çok iyi bir MBR alternatifi olduğu söylenebilir. Bundan sonraki DMBR çalışmaları yapacak gerek gerçek ölçekli, gerekse laboratuvar ölçekli çalışmalar için 30 µm serigraf ipeği önerilebilir.

KAYNAKLAR

Cai, D., Huang, J., Liu, G., Li, M., Yu, Y., Meng, F., 2018. Effect of support material pore size on the filtration behavior of dynamic membrane bioreactor. Bioresour. Technol. 255, 359–363. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.007

Cinar, Ö., Kertmen, M., Demiroz, K., Yigit, N.Ö., Yas, S., Kitis, M., 2008. Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor. Process Saf. Environ. Prot. 86, 455–460. https://doi.org/10.1016/j.psep.2008.03.001

Ersahin, M.E., Ozgun, H., van Lier, J.B., 2013. Effect of Support Material Properties on Dynamic Membrane Filtration Performance. Sep. Sci. Technol. 48, 2263–2269. https://doi.org/10.1080/01496395.2013.804840

Isik, O., Hudayarizka, R., Abdelrahman, A.M., Ozgun, H., Ersahin, M.E., Demir, I., Koyuncu, I., 2020. Impact of support material type on performance of dynamic membrane

bioreactors treating municipal wastewater. J. Chem. Technol. Biotechnol. 95, 2437–2446. https://doi.org/10.1002/jctb.6426

Judd S., (2011). The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment, ISBN: 978-1856174817, Elsevier.

Khan, S.J., Ilyas, S., Javid, S., Visvanathan, C., Jegatheesan, V., 2011. Performance of suspended and attached growth MBR systems in treating high strength synthetic wastewater. Bioresour. Technol. 102, 5331–5336. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.100

Khoshfetrat, A. B., Nikakhtari, H., Sadeghifar, M., Khatibi, M. S. (2011). Influence of organic loading and aeration rates on performance of a lab-scale upflow aerated submerged fixed-film bioreactor, Process Safety and Environmental Protection, 89, 193-197.

Kızılet A., Yurtsever A., Cırık K., Çınar Ö., (2022). Cake layer reformation rates on self forming dynamic membranes and performance comparison with microfiltration membranes., Science of the Total Environment, 838 (2022) 156384, http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156384.

Kornboonraksa, T., Lee, S. H. (2009). Factors affecting the performance of membrane bioreactor for piggery wastewater treatment Bioresource Technology, 100, 2926-2932.

Trussell, R. S., Merlo, R. P., Hermanowicz, S. W., Jenkins, D. (2006). The effect of organic loading on process performance and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor treating municipal wastewater, Water Research, 40, 2675-2683.

Yurtsever, A., Basaran, E., Ucar, D., Sahinkaya, E., 2021. Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment. Sci. Total Environ. 751, 141572. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141572