

## Mezbaha Atıksularının Membran Biyoreaktörle Arıtılmasında Membran Kirlenme Davranışı

Mustafa ASLAN

Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 63190 Şanlıurfa, Türkiye.  
mustafaaslan63@gmail.com

(Geliş/Received:07.03.2017; Kabul/Accepted: 16.03.2017)

### Özet

Bir anaerobic membran biyoreaktör ile mezbaha atıksularının arıtılmasında membran kirlenme davranışı incelenmiştir. 3L reaktör mezofilik sıcaklık koşulları (35 °C) altında 70 gün işletilmiştir. Sistemde %90-95 aralığında KOI giderimi, %98 üzerinde AKM giderimi, %95 yağ-gres giderimi sağlanmıştır. Yüksek KOI, AKM ve yağ-gres giderimi nedeniyle membranın hızlı bir şekilde kirlendiği belirlenmiştir. Akı azalışının aksine membran kirlenme direnci artmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde yoğun kek oluşumu nedeniyle kirlenme gerçekleştiği gözlenmiştir. Sonuçlar batık anaerobic membrane biyoreaktörle mezbaha atıklarının yüksek verimle giderilebileceğini, ancak hızlı kirlenme sorununun çözülmesi gerektiğini göstermiştir. Bu kirlenme sorununun çözülebilmesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Mezbaha atıksuyu, membran kirlenme, anaerobik membrane biyoreaktör, arıtma verimi

## Membrane Fouling Behavior in Treatment of Slaughterhouse Wastewater by An Anaerobic Membrane Bioreactors

### Abstract

A laboratory scale anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) was examined for the treatment of slaughterhouse wastewater. 3L reactor was operated under mesophilic conditions (35 °C) during 70 days. COD removal was obtained in the range of 90-95% with an output value of around 250-400 mg/L. More than 98% of output suspended solids were removed. 95% of oil and grease were removed. But because of high removing, membrane fouling increased quickly. After 20 day of operation, trans-membrane pressure showed an increase up to 80 Kpa. Membrane fouling resistances showed of behaviors similar to those values. At the same cases, SEM images were seemed to very dense and values of EDX supported those images. The results showed that the established anaerobic submerged membrane bioreactor system was operated with high efficiency for treated slaughterhouse industry wastewater. More research is needed to overcome of the fouling problem

**Keyword:** Slaughterhouse wastewater, membrane fouling, anaerobic membrane bioreactor, treatment efficiency.

### 1.Giriş

Mezbaha atıksuları hayvanların kesilmesi ve işlenmesi sırasında meydana gelir. Atıksu kesim tesisleri, yıkama ekipmanları, kan ve hayvan kesim atıklarından oluşur. Bu su çoğunlukla kan, yağ, gres, saç, tüy, et, hayvansal gübre, kemik, kum ve sindirilmemiş yem ve biyolojik büyüme için yeterli besin maddeleri içeren yüksek organik konsantrasyonları içerir [1,2]. Bu maddeler protein, şeker ve yağdan oluşur. Mezbaha atık suyu, biyolojik olarak parçalanabilir organik maddelerin yüksek konsantrasyonlarını içerdiğinden, atık su için

anaerobik biyolojik arıtma sistemleri kullanılabilir.

Gelişmiş ülkelerde mezbaha atıksularının deşarj edilmesinde çevre ve halk sağlığı koruma açısından mevzuat katı bir şekilde uygulanır [3]. Aerobik arıtmadaki oksijen tüketiminden kaynaklanan yüksek enerji maliyetleri nedeniyle, anaerobik biyolojik arıtma yöntemleri tercih edilmektedir. Anaerobik sistemler yenilenebilir bir biyoenerji kaynağı olan metan üretmekle kalmaz, aynı zamanda arıtma işleminde aerobik sistemlere göre daha az enerji tüketirler. Bunun için son yıllarda, daha uzun çamur yaşlarında (SRT) daha kısa hidrolik bekletme sürelerine izin

veren anaerobik membran biyoreaktörler tercih edilmektedir. Ayrıca membran sistemiyle mikroorganizmaların tamamına yakını sistemde tutulur. Uzun bir SRT, organik bileşenlerin biyoayrışabilirliğini artırır. Bunun sonucunda daha düşük reactor hacimlerine imkan tanır ve daha kaliteli çıkış suyu sağlanmasında etkili olurlar. Bunun birlikte, organik ve inorganik bileşenlerin membrane yüzeyinde birikimi ve/veya adsorbsiyonu sonucu membran kirlenme sorunu oluşur[4-7]. Anaerobik membran biyoreaktörlerde (AnMBRs) ana problem membran kirlenmesidir. Organik maddelerin membran yüzeyinde mikrobiyal jel oluşumu ve inorganik maddelerin yüzeyde adsorbsiyonu sonucu membran gözenekler tıkanabilir [9,10]. Membran kirlenmesi membran yüzeyindeki membran gözeneklerinin tıkanması, bloke olması ve akıntısının sınırlanması olarak açıklanabilir. Bu da artan bir filtrasyon direncine ve dolayısıyla akı düşüşüne neden olur [8]. Membran kirlenmesi kontrolü için çamur özelliği, akı, çapraz akış hızı, geri yıkama, modül geliştirme [9,10], gaz püskürtme [11] gibi çeşitli faktörler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kirlenme sorunu yüksek enerji maliyetlerine ve sistemin verimli çalışmasına engel olduğundan çözülmesi gereken temel bir problemidir. [12,15]. Membran kirlenme biokütle, organik ve inorganik bileşikler [16, 17], çözülmüş organik maddeler [18] ve hücre dışı polimerik maddelerden [19] oluşur. Çözülmüş organik ve hücre dışı polimer maddeler ise protein ve karbonhidratlardan meydana gelir [20]. Bu maddeler membran yüzeyinde birikmesi sonucu kek ve jel oluşturarak gözeneklerin tıkanmasına, neden olur [4, 7, 21]. Ayrıca, akıyı azaltırlar. Membran kirlenmesi, anaerobik membran biyoreaktörünün hidrodinamik ve çamur karakteristikleri, basınç ve çalışma sıcaklığı, membran gözenek boyutları [22], membran modülü geometrisi [7] ve malzeme yapısı [4] ile ilgilidir. Son zamanlarda, birçok araştırma bu bileşenlerin kontrolü amacıyla gerçekleştirilmiştir [7, 23, 25].

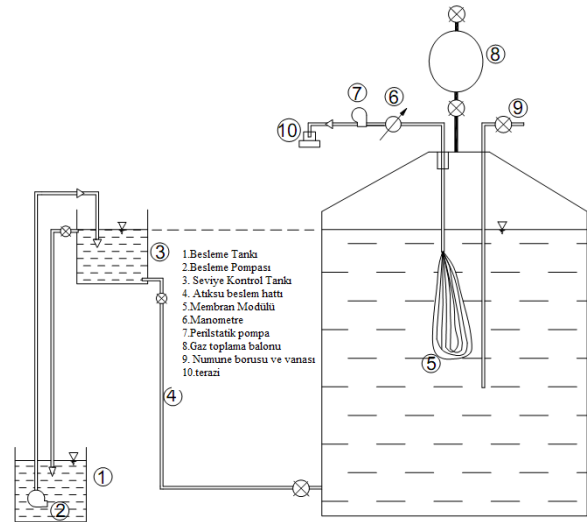
Bu çalışmanın amacı, mezbaha atık suyunun anaerobik batık membran biyoreaktör ile arıtılmasında arıtma verimliliği ve membran kirlenmesini incelemektir. Trans-membran basıncı, akı, toplam membrane direnci ve parçacık boyutu dağılımı açısından detaylı bir

membran kirlenme profili araştırılmıştır. Ayrıca, membran yüzeyleri üzerinde Kek tabakasının SEM görüntüleri ve element analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. AnSMBR sistemi

Besleme kabı ve seviye control tankından oluşan bir batık anaerobic membrane reactor kullanılmıştır. Besleme kabı ve ana reaktör sırasıyla 10 L atık su ve 1,5 L sıvı içermektedir (Şekil 1). Reaktör koyu renkli camdan yapılırken, reaktör seviye kontrol kapı şeffaf Plexiglas'dan yapılmıştır. Giriş gaz toplama balonu ve numunesi, reaktörün üst kısmında bulunmaktadır. Ayrıca sistemde bir manometre var. Süzüntü bir terazi üzerindeki bir kaptaki biriktirildi ve günlük tartıldı.



Şekil 1. Anaerobik membran biyoreaktör sistemi

### 2.2. Atıksu ve Aşı

Mezbaha atıksuları Şanlıurfa'daki bir kesimhane fabrikasından alındı. Amasya'daki Pakmaya'nın anaerobik çamur çürütücü tankından alınan çamur aşısı olarak kullanıldı. Reaktör, 1/3 oranında aşısı/ mezbaha atık suyu karışımıyla doldurulmuştur. Aşılansız çamur ve atık su özellikleri Tablo 1'de gibi belirlenmiştir.

## 2.3. Membran

AnSMBR'de kullanılan içi boş elyaf mikrofiltasyon membranı Zena Membranları şirketinden temin edildi. Gözenek çapı ve etki alanı sırasıyla 0.1µm ve 50 cm<sup>2</sup> dir. İlk olarak, membran lifleri 60 cm uzunluğunda kesildi. Ardından, U şeklinde bir elyaf zar modülü ile 19 cm'lik etkili bir uzunluk, 50 cm<sup>2</sup> modül alanı olacak şekilde hazırlandı.

## 2.4. Analizler

### 2.4.1 Kimyasal Analizler

Çalışma boyunca toplam azot ve toplam fosfor, Nova 60 Spectraquant® (Merck) test kitleri kullanılarak spektrofotometre ile belirlendi. Çalışma pH değerleri çok parametrelili PH metre ile ölçülmüştür. Bazı analizler için TOC, TOC-VCPN ve TNM-1 (Shimadzu, Japonya) ve otomatik örnekleyici (ASI-V, Shimadzu, Japonya) kullanıldı. Alkalinite, KOİ, MLSS, MLVSS periyodik olarak standart yöntemlere göre belirlendi [26].

**Tablo 1.** Sistemde kullanılan atıksu ve aşı özellikleri

Parametre	Birim	Atıksu	Aşı
KOI	mg/L	4000–5000	16000
MLSS	mg/L	1500–2200	7280
TS	mg/L	1600–3000	8100
MLVSS	mg/L	1000–1300	6800
TN	mg/L	150	270
TP	mg/L	5	52
Alkalinite	mgCaCO <sub>3</sub> /L	1500–1800	2450

### 2.4.2. Akı, TMP (trans-membran basıncı) membrane direnci

Süzüntü akıları sürekli bir şekilde terazi ile izlendi ve trans-membran basıncı bir barometre ile tespit edildi. Hidrolikte ayrıntılı bir analiz yapıldı ve toplam direnç, kek ve gözenek tıkanma kirliliği, 2.1'deki Darcy kanununa göre belirlendi:

$$J = \text{TMP} / \eta \times R_t \quad (2.1)$$

Burada J süzüntü akısı (L/m<sup>2</sup>. saat), R<sub>t</sub> toplam membran direnci (1 / m), η filtrasyon suyunun dinamik viskozitesi (Pa.s). 75 günün sonunda akı ve dinamik viskozite belirlendi ve toplam membran direnci hesaplandı.

### 2.4.3. Parçacık boyut dağılımı (PSD) analizi

Çamur örneklerinin PSD'si 0.026-2000 µm'lik bir algılama aralığına sahip bir Malvern Mastersizer 2000 aleti ile belirlendi. Her numune % 0.1-4.5 standart sapma ile üç kez ölçülmüştür.

### 2.4.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) - energy dağıtıcı X-Ray (EDX) spektroskopisi

SEM numuneleri bir gece boyunca 40 °C'de % 3 glutaraldehit içinde sabitlenmiş ve 0.1 M fosfat tamponu ile pH 7.2'de tutulmuştur. Numuneler daha sonra her bir konsantrasyonda 20 dakika süreyle kademeli bir etanol/su serisi (10-30-50-70-90-100%) içinde dehidre edilmiş ve daha sonra 30°C'de 5 saat kurutulmuştur. Sulu karbon, altın splutter kaplamadan (2.5 dakika için 30mA, vakum 0.2 Torr) önce numuneler SEM üzerine konulmuştur. Numuneler taramış ve bir taramalı elektron mikroskobu (JEOL JSM-5610LV) ile fotoğraflanmıştır. Kek tabakasındaki elementler, bir EDX spektroskopisi ile birleştirilmiş bir SEM (model JSM-840A) kullanılarak tespit edilmiştir.

## 3. Sonuç ve Tartışma

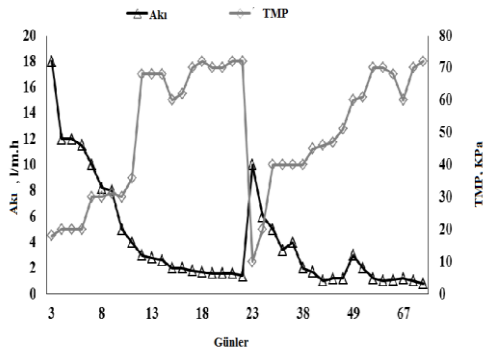
### 3.1 Sistem performansı

MLSS ve MLVSS, sistemde %95-98 aralığına giderildi. Askıda katı madde miktarındaki azalış çoğunlukla çözünmüş katı maddelerden kaynaklanmıştır. KOİ giderimi % 95 olarak belirlenmiştir. Bazı araştırmacılar hem KOİ hem de Toplam Katı Madde gideriminde 12 g/L.gün 'lük organik yük gibi yüksek organik yükleme koşulları altında benzer sonuçlar (%95-98) elde ettiklerini bildirmişlerdir [9, 27, 28]. VFA giderim oranı %35-45 civarında gerçekleşmiştir. Toplam azot ve fosfor giderimi sırasıyla %28 ve %70 civarında olmuştur. Bir anaerobik membrane biyoreaktörle 300-506 mg / l NH<sub>4</sub> + -N 'lü bir mezbaha atık suyunun arıtılmasında çıkış suyundaki azot seviyesi 120-221 mg / l NH<sub>4</sub> + -N olarak rapor edilmiştir [29]. Bu veriler sonuçlarımızı desteklemektedir. Membran reaktör sisteminde yağ-gres uzaklaştırma verimi % 97 seviyesinde gerçekleşmiştir. Yağ giderme, membran yüzeyinde biyolojik bozunum ve tutma gibi

mekanizmalar ile gerçekleştiği varsayılmaktadır. Bu tutulma akı azalışına ve membran kirlenme direncinin artışına sebep olmuştur.

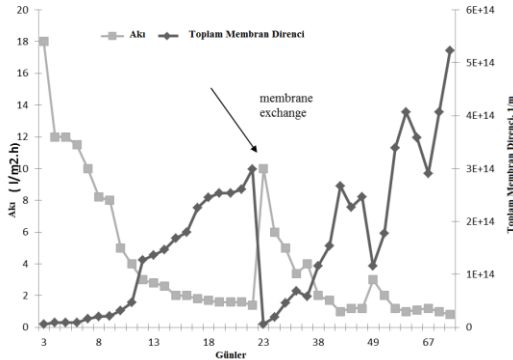
### 3.2. Akı, TMP, membran direncinin değerlendirilmesi

Akı-membran kirlenme ilişkisini belirlemek için trans-membran basıncı ve akı değişimi izlenmiştir (Şekil 2). Membran dirençleri ( $R_{cf}$ ,  $R_p$ ) sürekli olarak hesaplanmış ve grafize edilmiştir (Şekil 3). Membran biyoreaktördeki filtrasyon işleminde, filtrasyonun ilk aşamasında akı hızı hızlı bir düşüş meydana gelmiştir.



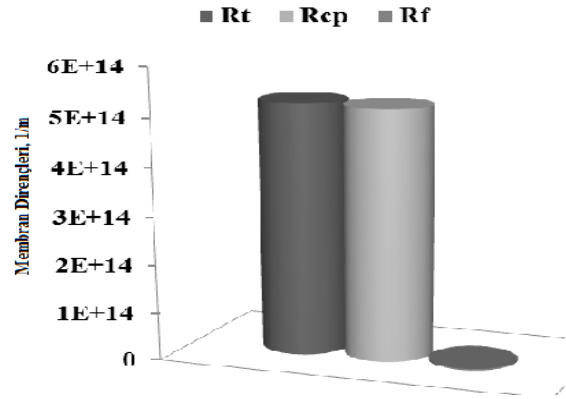
Şekil 2. Sistem işletme sürecindeki akı ve TMP ilişkisi

Akı azalışının aksine toplam membrane direnci aşamalı olarak artış göstermiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, ilk 13 günden sonra trans membran basıncı 50-60 kPa'ya ulaşmıştır. Bu arada toplam membran direnci 23. günde aniden artış göstermiştir. Bu durumda membran yüzeyi yoğun bir şekilde kirlenmiştir.



Şekil 3. Sistem işletme sürecindeki akı ve toplam membran direnci ilişkisi

Trans membran basıncı 80kPa'a ulaştığında sistem durduruldu ve membran değiştirildi. Arıtma sürecinde membran yüzeyinde tek tabakası olduğu gözlemlendi. Kek oluşumunun akı azalışına dolayısıyla membrane kirlenmesine neden olduğu söylenebilir (Şekil 4). Bununla birlikte, membran yüzeyinde kek tabakası oluşumu ile ilgili aksi bir durum bildirilmiştir [25, 30]. Bu sonuçlara göre, Şekil 3'te gösterildiği gibi 13. ve 23. günlerde ani değişiklikler gözlemlenmiştir (Şekil 4). Toplam membrane kirlenmenin büyük bir kısmının kek tabakasından kaynaklı kek direnci ( $R_{cp}$ ) oluşmaktadır. Toplam kirlenmenin çok düşük bir miktarı gözenek tıkanma kaynaklı gözenek tıkanma direncinden ( $R_f$ ) oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni mezbaha atıksuyunun yağ- gres, protein ve karbondihidratlardan oluşan yapısı ile ilişkilendirilebilir. Meydana gelen jeli yağ gres, protein ve şeker gibi organik bileşenler oluşturduğu söylenebilir. Bu durum yoğun bir membran kirlenmesine neden olmuştur.

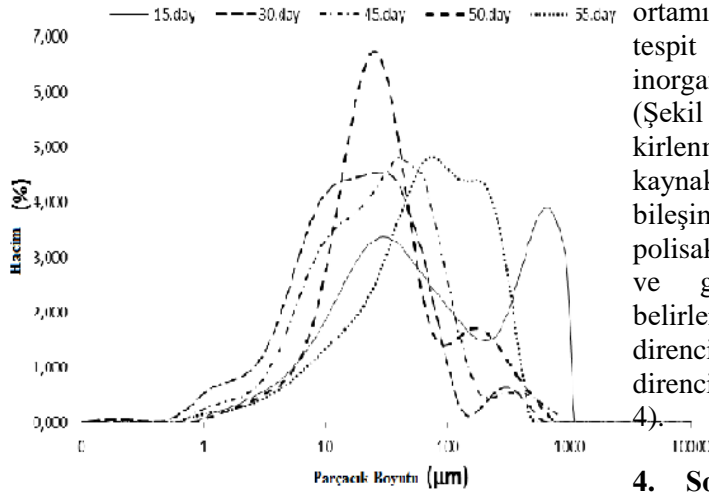


Şekil 4. Membran yüzeyinde oluşan dirençler

### 3.2. PSD

Reactor sisteminde parçacık boyut dağılımı 0.5-1000µm aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada sistemimizde oluşan partikül boyut dağılımına benzer veriler rapor etmiştir [31]. Bunun manası sistemde düşük molekül ağırlıklı çözünmüş tuzun yaygın olduğu anlamına gelir [32]. Bununla birlikte, sistemimizde 5-1000 µm gibi daha büyük ve daha geniş partikül boyutları tespit edilmiştir. Kesim atık suyundaki yüksek protein, nişasta ve şekerlerden elde edilen jel yapısıyla kek oluşturduğu varsayılmaktadır. Bu

nedenle, bu bileşenler, zamanla reaktör sisteminde daha yüksek partikül boyut almalarını sağlamıştır (Şekil 5). Kirlenme direnci bu duruma destek verir (Şekil 4). Membran gözenek direnci ( $R_p$ ) çok düşük bulundu. Ayrıca, membran gözenekleri tıkanırken, akı beklendiği gibi azaldı. Bu duruma bağlı olarak, reaktörde bileşenler güçlü bağlar oluşturdu. Sonuç olarak, partiküler boyut daha büyük olduğu belirlenmiştir. Büyük partikül boyutlarının membrane kirlenmesinin azaltılmasında etkili olduğu bildirilmiştir.[4, 7]. Bununla birlikte, sistemimizde bu durumun tersi bir davranış gözlenmiştir. Bu olayın açıklanmasında kesin sonuç elde etmek için akış, trans-membran basıncı, toplam protein ve polisakaritler yanısıra partikül büyüklüğü dağılımı gibi tüm kirlenme değişkenlerini birlikte değerlendirmek gerekebilir.



Şekil 5. Sıvı karışımındaki tanecik boyut dağılımı

### 3.4 SEM-EDX

Temiz membran SEM görüntüleri ve EDX değerleri aşağıda verilmektedir (Şekil 6a ve b). Membran yüzeyindeki kek tabakalarının SEM görüntüleri (Şekil 7a) AnSMBR'nin daha kompleks ve daha az gözenekli olduğunu ortaya koymaktadır. Kek tabakasının EDX değerleri, kek tabakasının içinde C, K, N, Na, O, Ca, Mg, S ve Fe'nin varlığını gösterir (Şekil 7b). Bu bileşenlerin kek tabakası oluşumunda önemli etkisi vardır. Bu bileşenler ve biyopolimerler membrane yüzeyinde kek oluşumunda güçlü bağlar oluşturur ve membran kirlenmesine neden olur. Reactor sisteminde oluşan floklar süzntü

akılarının artışında etkili olabilir ve membrane daha uzun süreli kullanımına imkan verebilir. Bununla birlikte, reaktör sistemimde, sistem çalışması sırasında partikül büyüklüğü logaritmik olarak artmıştır (Şekil 5). Buna rağmen süzntü akısı azalmıştır. Daha önce bildirilen sonuçların aksine bir durum gözlenmiş ve membrane kirlenmesi artmıştır. İşletme sürecinde 20. günden sonra trans-membran basıncı 80 Kpa'ya kadar bir artış gösterdi.

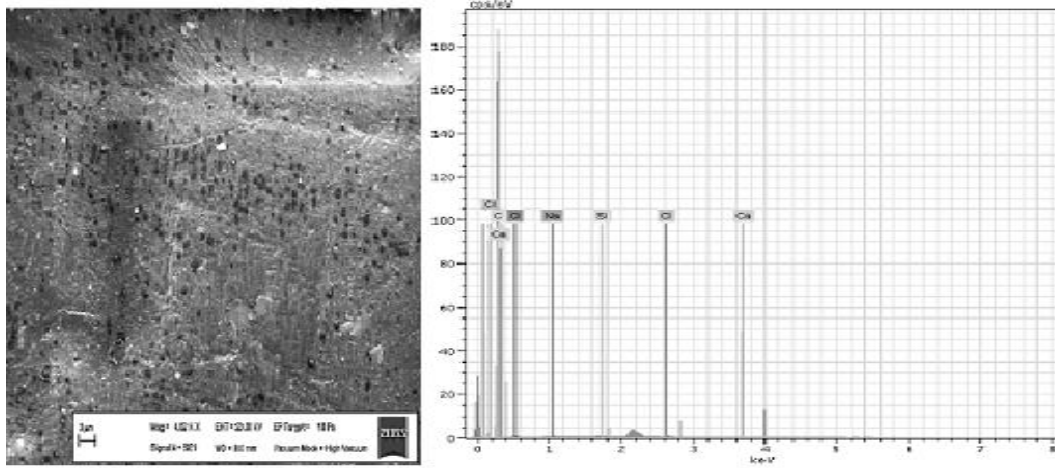
Membran kirlenme direnci, bu değerlere benzer davranışlar göstermiştir. Aynı durumda, SEM görüntüleri de yüksek yoğunluklu jel oluşumu göstermiş ve EDX değerleri bu görüntüleri desteklemiştir (Şekil 7a, b). Kalın kek tabakası, yağ, protein ve polisakarit gibi organik bileşeni oluşturan membran kirlenmesini artmıştır. Ca, Mg, Fe ve diğerlerinden oluşan metal tuzları ve kristalleri gibi anorganik bileşenler, membran yüzeyinde ve reactor ortamındaki sıvı karışımında düşük miktarlarda tespit edilmiştir. Gözenek kirliliğini oluşturan inorganik bileşen ve bu kristaller çok düşüktü (Şekil 4). Bu veriler sonucunda membran kirlenme büyük oranda organik bileşenden kaynaklandığı yorumlanabilir. Atıksuyun bileşimindeki yağ, nişasta, protein ve polisakaritler büyük oranda membran kirlenme ve gözeneklerin tıkanma sebep olduğu belirlenmiştir. Çünkü toplam membran direncinde gözenek tıkanma direnci düşük ve kek direnci ise çok yüksek olduğu belirlendi (Şekil 4).

### 4. Sonuçlar

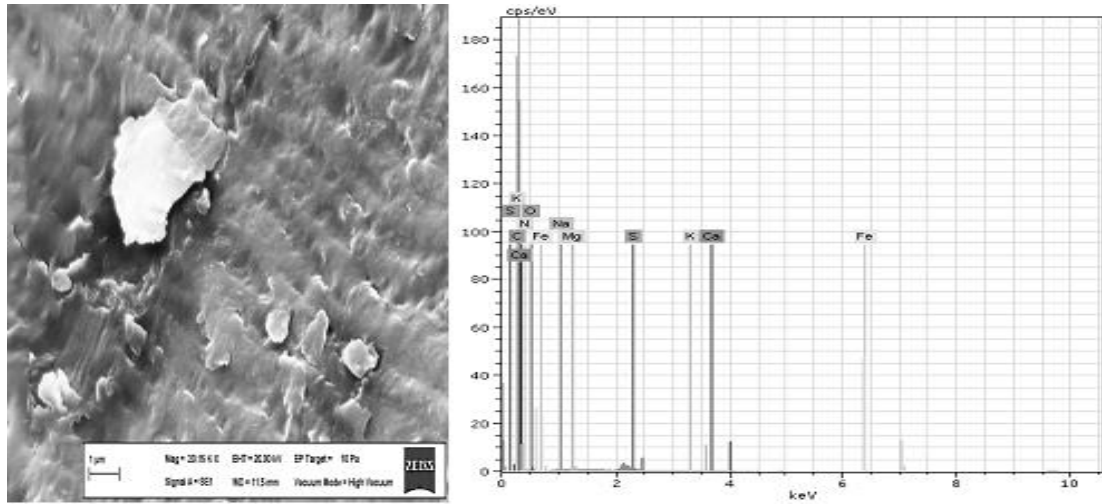
Yüksek kan ve askıda katı içeren bir mezbaha atık suyunun arıtılması için 70 gün boyunca laboratuvar ölçekli bir batık anaerobik membran biyoreaktör işletildi.

Arıtma açısından yüksek KOI, AKM, Yağ-gres giderimi sağlandı.

İşletme sürecinin 20. gün sonra trans-membran basıncı 80 Kpa'ya kadar bir artış gösterdi. Membran kirlenme direnci, yüksek düzeyde gerçekleşti. SEM görüntüleri oldukça yoğun görünüme sahip oldu ve EDX verileri bu yoğunluğu destekler veriler gösterdi. Ayrıca parçacık boyut dağılımı büyük olduğunda da membrane kirlenmesi artış gösterdi.



Şekil 6. a) Temiz membranın SEM görüntüsü ve b) EDX verileri



Şekil 7. a) Kirlenmiş Membranın SEM görüntüsü b) EDX verileri

Sonuçlar, anaerobik batık membran biyoreaktör sisteminin, mezbaha sanayi atıksularının arıtılmasında yüksek verim sağladığı, ancak membran kirlenmesi yüksek düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Kirlenme sorununun çözülmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi BAP proje kapsamında desteklenmiştir.

## 6. Kaynaklar

1. Asselin, M., Drogui, P., Brar, S. K., Benmoussa, H. and Blais, J. F. (2008). Organics removal in oily

water by electrocoagulation process. *J. Hazard. Mater.* **151**: 446-455

2. M.J. Cuetos, X.G.omez, M.Otero, A.Mor'an. (2008). Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW), *Biochemical Engineering Journal.* **40**: 99-106.

3. Ün, Ü. T., Koparal, A. S. & Ögütveren, Ü. B. (2009). Hybrid processes for the treatment of cattle-slaughterhouse wastewater using aluminum and iron electrodes. *J. Hazard. Mater.* **164**: 580-586

4. Meng, F., Chae, S.-R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H.-S., Yang, F., (2009). Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. *Water Res.* **43(6)**: 1489-1512.

5. Gomec, C. Y. (2010). High-rate anaerobic treatment of domestic wastewater at ambient operating

- temperatures: A review on benefits and drawbacks. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, **45(10)**: 1169–1184.
6. Ho, J., and Sung, S. (2010). Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating synthetic municipal wastewater. *Bioresource Technology*, **101(7)**: 2191–2196.
  7. Aslan Mustafa, Saatçi Yusuf, Hanay Özge, Hasar, Halil. (2014). Membrane fouling control in anaerobic submerged membrane bioreactor. *Desalination and Water Treatment*, **52**: 7520–7530
  8. B.Q. Liao, J.T. Kraemer, D.M. Bagley, (2006). Anaerobic membrane bioreactors: applications and research directions, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol*, **36**: 489–530
  9. Mustafa Aslan, Yusuf Saatçi (2014). Impacts of Different Membrane Module Designs in Anaerobic Submerged Membrane Bioreactors. *Clean–Soil, Air, Water*, **42(12)**:1759–1764
  10. Myint AA, Lee W, Mun S, Ahn CH, Lee S, Yoon J. (2010). Influence of membrane surface properties on the behavior of initial bacterial adhesion and biofilm development onto Nanofiltration membranes. *Biofouling*, **26(3)**:313-21
  11. Mustafa Aslan, Yusuf Saatçi, Özge Hanay, Halil Hasar (2014). Effect of biogas sparging with different membrane modules on membrane fouling in anaerobic submerged membrane Bioreactor. *Environ Sci Pollut Res*, **21**:3285–3293
  12. I, Vyrides, Stuckey D C. (2009). Saline sewage treatment using a submerged anaerobic membrane reactor (SAMBR): effects of activated carbon addition and biogas-sparging time. *Water research*, **43(4)**: 933-42.
  13. Alan, Y. H. and Stuckey, D. C. (2010). Treatment of dilute wastewaters using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor. *Journal of Environmental Engineering*, **132(2)**: 190-198.
  14. Huang, Z., Ong, S.L. and Ng, H.Y. (2011). Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-strength wastewater treatment: Effect of HRT and SRT on treatment performance and membrane fouling. *Water Res*, **45(2)**:705-713.
  15. Martinez-Sosa, D., Helmreich, B., Netter, T., Paris, S., Bischof, F., Horn, H., (2011). Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) for municipal wastewater treatment under mesophilic and psychrophilic temperature conditions. *Biores. Technol*, **102**: 10377–10385.
  16. Yoon, S. H., & Kang, I. J. and Lee, C. H. (1999). Fouling of inorganic membrane and flux enhancement in membrane-coupled anaerobic bioreactor, *Separation science and technology*, **34(5)**: 709-724.
  17. K-H. Choo, I-J. Kang, S-H. Yoon, H. Park, J-H. Kim, S. Adiya and C-H. Le (2000). Approaches to membrane fouling control in anaerobic membrane bioreactors. *Water Science and Technology*, **41**: 363–371
  18. Harada, H., Momonoi, K., Yamazaki, S. and Takizawa, S. (1994). Application of Anaerobic-UF Membrane Reactor for Treatment of a Waste-Water Containing High-Strength Particulate Organics. *Water Science and Technology*, **30(12)**: 307-319
  19. Chang, I.S. and Lee, C.H. (1998). Membrane filtration characteristics in membrane-coupled activated sludge system—the effect of physiological states of activated sludge on membrane fouling. *Desalination*, **120(3)**: 221-233.
  20. Lew, B., Tarre, S., Beliaevski, M., Dosoretz, C. and Green, M. (2009). Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment. *Desalination*, **243(1-3)**: 251-257.
  21. Judd, S. (2006). *The MBR Book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*, Elsevier, Oxford. 172
  22. Li-guo Shen, Qian Lei, Jian-Rong Chen, Hua-Chang Hong, Yi-Ming He, Hong-Jun Lin. (2015). Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor: Impacts of flock size. *Chemical Engineering Journal*, **269**: 328–334
  23. Khan, S.J., Visvanathan, C., Jegatheesan, V. (2009). Prediction of membrane fouling in MBR systems using empirically estimated specific cake resistance. *Bioresour. Technol*, **100(23)**: 6133–6136.
  24. Lin, H., Liao, B-Q., Chen, J., Gao, W. (2011). New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge. *Bioresour. Technol*, **102**: 2373–2379
  25. Gao, W.J., Leung, K.T., Qin, W.S., Liao, B.Q. (2011). Effects of temperature and temperature shock on the performance and microbial community structure of a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technol*, **102**: 8733–8740.
  26. APHA, AWWA, (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16 th Ed.
  27. Torres, A., Hemmelmann, A., Vergarai, C., Jeison, D. (2011). Application of two-phase slug-flow regime to control flux reduction on anaerobic membrane bioreactors (AnMBR). *Sep. Purif. Technol*, **79(1)**: 20–25.
  28. A. Saddoud and S.Sayadi (2007) . Application of acidogenic fixed-bed reactor prior to anaerobic membrane bioreactor for sustainable slaughterhouse wastewater treatment, *Journal of Hazardous Materials*, **149**:700–706.

- 29.**Masse, L., and Masse, D.I., (2005). Effect of soluble organic, particulate organic and hydraulic shock loads on anaerobic sequencing batch reactors treating slaughterhouse wastewater at 20 C, *Process Biochemistry*, **40(3-4)**: 1225-1232.
- 30.**Cho, B.D., Fane, A.G., (2000). Fouling transients in nominally sub-critical flux operation of a membrane bioreactor. *J. Membr. Sci*, **209(2)**: 391-403.
- 31.**Choo, K.H. and Lee, C.H. (1996). Membrane fouling mechanisms in the membrane-coupled anaerobic bioreactor. *Water Res*, **30(8)**: 1771-1780.
- 32.**Parmar, N., Singh, A, Ward, O.P. (2001). Characterization of Combined Effects of Enzymes, pH and Temperature Treatments for Removal of Pathogens from Sewage Sludge. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, **17**: 169-172