

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Öne Çıkan Sonuçlar:

- MBR prosesi hassas alanlara deşarjda uygulanabilir
- Paket MBR prosesi ile N ve P giderimi gerçekleştirilebilir
- Atıksu arıtma tesislerinde güneş panelleri ile enerji verimliliği sağlanabilir.

Yazışma yazarı:

Bilgehan NAS,
bnas@ktun.edu.tr

Referans:

Nas, B., Hatipoğlu Y. C., (2019), Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 41-49

Makale Gönderimi : 21 MART 2019
Online Kabul : 23 MART 2019
Online Basım : 25 MART 2019

Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi

Bilgehan NAS¹, Yusuf Can HATİPOĞLU²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, Türkiye.

²Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya, Türkiye.

Özet Evsel/kentsel atıksuların arıtılmasında membran teknolojilerinin kullanılması her geçen gün artmaktadır. Bunun yanında ülkemizde de son yıllarda evsel/kentsel atıksu arıtımında uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Ülkemizde evsel atıksu amacı ile inşa edilen membran biyoreaktör (MBR) proseslerinde sadece karbon giderimi hedeflenmiştir.

Bu araştırmada; sistem tasarımı olarak biyolojik karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimi yapabilecek MBR arıtma sistemi tasarlanmış olup, üretilen paket MBR arıtma ünitesinin işletilmek üzere Konya kentsel atıksu arıtma tesisine kurulumu gerçekleştirilmiştir. 80 m³/gün kapasiteli paket MBR sistemi kaba ızgaradan geçmiş olan atıksu ile beslenmiş ve geliştirilen sistemin C, N, P giderim verimleri araştırılmıştır. Paket MBR tesisi 100 gün süreyle işletilmiştir. MBR tesisinde, %93,8 KOİ, %97,8 AKM, %53,5 TN ve %83,5 TP giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca paket MBR sistemine entegre edilmiş olan güneş panelleri vasıtasıyla üretilen enerjinin tesisin enerjisini karşılama oranları da incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı, güneş enerjisi, MBR, ileri arıtma, yeniden kullanım

Removal of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus from Urban Wastewater with Solar Energy Supported Package Membrane Bioreactor (MBR)

Abstract The use of membrane technologies in the treatment of domestic/urban wastewater is increasing day by day. In addition, membrane bioreactor (MBR) process has started to find application for domestic wastewater treatment in Turkey. Only carbon removal is aimed in MBR process built for domestic wastewater.

In this research; a package MBR system to remove biological carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) has been designed. The 80 m³/day package MBR system was fed by Konya urban wastewater passing through coarse screen and the efficiency of C, N, P removal of the developed system was investigated. The package MBR plant operated for 100 days. 93,8% COD, 97,8% TSS, 53,5% TN and 83,5% TP removal efficiency were achieved in the MBR. In addition, the energy generated by the solar panels integrated in the package MBR system was also examined.

Keywords: Wastewater treatment, solar energy, MBR, advanced treatment, water reuse

1. Giriş

Ülkemizde yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması için evsel/kentsel atıksu arıtma tesisleri çok hızlı bir şekilde yapılmaya devam etmektedir. Nüfusu 10 bin kişiden fazla olan yerleşim yerlerinde atıksu arıtma tesisleri büyük oranda tamamlanmıştır. Ancak, küçük yerleşim yerlerinde yapılması gereken çok sayıda arıtma tesisi ihtiyacı bulunmaktadır. Mülga Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan Atıksu Arıtımı Eylem Planına (AAEP, 2015) göre 2023 yılına kadar 1.501 adet yeni atıksu arıtma tesisi (AAT) yapılması planlanmaktadır.

Nüfusu 2.000 kişinin üzerinde olan yerleşim birimleri için arıtma tesisi yapma yükümlülüğü bulunmaktadır. Küçük yerleşim birimlerinde ise atıksu konusu ile ilgili yeterince bilgi birikimi oluşmaması ve uzman personel bulunmayışı nedeni ile arıtma tesisi sistem seçiminde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Atıksu karakteristiği, işletme maliyeti ve işletme sorunları yanında nitelikli personel ihtiyacı gibi pek çok faktör çoğunlukla dikkate alınmadığı için tesisler yeterli verimde

çalıştırılmamaktadırlar. Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yayınlanan 23.12.2016 tarihinde yayınlanan "Hassas Su Kütelleri ile Bu Kütelleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik" (Resmi Gazete, 2016) ile de ülkemizdeki hassas alanlar belirlenmiştir. Hassas su kütellerine yapılacak deşarjlarda organik madde giderimi yanında Azot (N) ve Fosfor (P) giderimi de yapılması gerekmektedir.

Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan MBR'lar yüksek çıkış suyu kalitesi ile artılmış atıksuların yeniden kullanımında önemli bir avantaj sağlamakla birlikte konvansiyonel arıtma proseslerine kıyasla diğer bazı avantaj ve dezavantajlara da sahiptirler. Yüksek biyokütle konsantrasyonu, düşük alan ihtiyacı ve düşük çamur üretimleri ve bakteri ve virüsleri tutabilmeleri avantajları olarak sayılabilirken, membran modüllerinin yüksek ilk yatırım maliyetleri, membranların ömrü ve değişim süresi ve yüksek işletme maliyetleri de dezavantajları arasındadır.

Biçim ve/veya membran malzemesi bakımından muhtemelen 60 ayır membran ürününü pazarlayan en az 50 bireysel üretücü vardır. MBR'lar için kullanılan polimer malzemeleri büyük ölçüde, gözenek boyutu 0,01 ile 0,04 µm aralığındadır (Simon, 2015). MBR sistemleri harici ve dahili olmak üzere 2 ana konfigürasyonu vardır. Harici MBR'de sıvı ve biyokütle ayrımı yan taraf-akımlı membran filtrasyon işlemi farklı bir ünite de gerçekleştirir. Dahili MBR'de ise sıvı ve biyokütle ayrımı aynı biyoreaktörün içinde gerçekleştirir. Dahili membran sistemlerin geliştirilmesiyle, bu sistemler özellikle kentsel atıksu arıtma tesisleri için harici membran sistemlere göre tercih edilmişlerdir. Ayrıca homojen bir karışım sağlamak ve membran yüzeyinde tıkanmayı önlemek için havalandırma işlemi uygulanmıştır.

MBR'ların organik madde yükleme oranı, ardışık kesikli reaktör ve klasik aktif çamur prosesinden daha yüksektir. Bir aktif çamur prosesinde organik yük artışı heterotrofik aktiviteyi artırır ve organik madde giderimi birinci derece kinetiğine göre olmaktadır. Bu durum MBR'lar için de geçerlidir (Kishino ve ark., 1996). MBR'larda organik madde giderimi her ne kadar aktivitede azalma olsa da düşük sıcaklıktan (5 ve 20 °C arasında) önemli derecede etkilenmemektedir (Gander ve ark., 2000); (Kishino ve ark., 1996); (Chiemchaisri ve Yamamoto, 1994).

MBR'larda yüksek oranda denitrifikasyon gerçekleştiği çeşitli araştırmalarda (Gander ve ark., 2000); (Suwa ve ark., 1992); (Winnen ve ark., 1996) yer almaktadır. Klasik proseslerdeki gibi, nitrifikasyon ham atıksu karakterizasyonu ve işletme parametrelerine (ÇO, sıcaklık, organik yükleme, inorganik ve organik bileşenler, pH ve besi maddesi seviyelerine) duyarlıdır.

Güneş enerjisi bol miktarda olan, sürekliliği ve yenilenebilirliği olan ve en önemlisi ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Tüm bu özelliklerinin yanında fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanılması sonucu ortaya çıkan çevresel sorunların çoğu güneş enerjisinde bulunmamaktadır. Bu da güneş enerjisini temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağına dönüştürmektedir.

Bu araştırmada; C, N ve P giderimi yapabilecek, 80 m³/gün kapasiteli MBR tesisinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilerek paket MBR tesisi Konya atıksu arıtma tesisine (AAT) kurulmuştur. Batık düz levha tipte 0,04 µm gözenekli polietilensüfon (PES) membran kompozit ince tabakalı malzemenin kullanıldığı tesiste membran yüzey alanı 200 m²'dir. Paket MBR sisteminin enerji ihtiyacını karşılayabilmek için de solar güneş paneli uygulanmıştır. MBR prosesinin KOİ, AKM, N, P giderim verimleri, enerji tüketimleri ve güneş panellerinden enerji kazanımı değerlendirilmiştir.

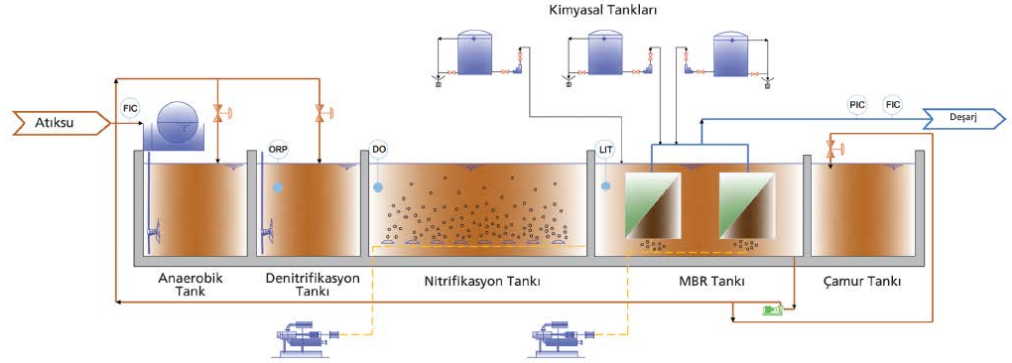
2. Yöntem

Paket MBR sisteminin tasarımında kabul edilen evsel atıksu karakterizasyonu Tablo1'de verilmiştir. Atıksu özellikleri orta-yüksek kirlilikte bir atıksu karakterizasyonuna yakındır. MBR tesisi kapasitesi 80 m³/gün'dür.

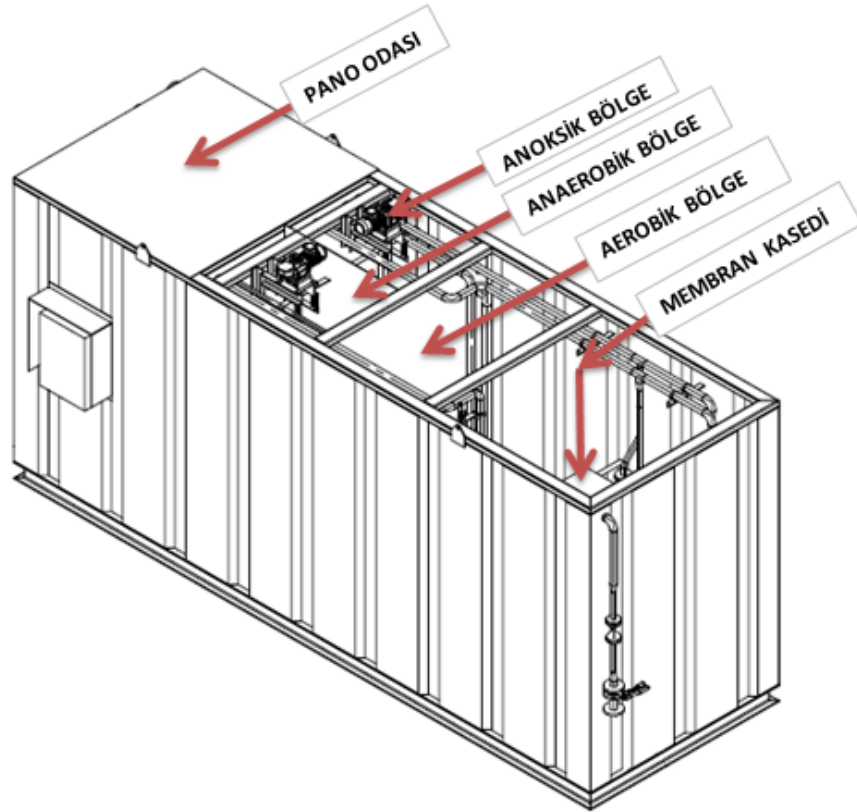
Tablo 1. Paket MBR sistemi tasarımında kabul edilen atıksu karakterizasyonu

Parametreler	Birim	MBR Giriş
KOİ	mg/L	600
BOİ ₅	mg/L	350
BOİ ₅ /KOİ	---	0,58
TN	mg/L	45
TP	mg/L	10
AKM	mg/L	300
pH	---	6 - 8

Paket MBR tesisi, özellikle hassas alanlara atıksu deşarj yapacak olan, bu yüzden azot ve fosfor giderimi yapılması gereken küçük yerleşim yerlerinde çözüm alternatifi olarak geliştirilmiştir. Bunun için paket MBR sistemi N ve P giderimine yönelik olarak anaerobik, anoksik ve oksik bölgelerden oluşmaktadır. Anaerobik ve anoksik bölgelerde bekleme süresi 50'şer dakika ve aerobik bölgede bekleme süresi ise 4,5 saat'tir. Tasarımı ve imalatı yapılan paket MBR arıtma sisteminin akış diyagramı Şekil 1'de, paket tesisteki N ve P giderimi için tasarlanan bölümlerin de görüldüğü paket sistem bütünü ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Paket MBR sisteminin akış diyagramı.



Şekil 2. Paket MBR sisteminin bölümleri.

Konya AAT'ye yerleştirilen ve işletilen paket tesis ise Şekil 3'te verilmektedir. Sistem temel olarak; ön arıtma (Konya AAT'de mevcut kaba ızgara), biyoreaktör (anaerobik-anoksik ve oksik bölgeler), MBR tankı, çamur tankı ve güneş panellerinden oluşmaktadır. MBR tesisi şu ekipmanlardan oluşmaktadır; atıksu besleme pompası, çamur geri devir pompası, membran pompası, sitrik asit pompası, Fe₃Cl dozaj pompası, NaOCl dozaj pompası, anaerobik bölge mikseri, anoksik bölge mikseri, havalandırma bloweri, difüzör, oksijenmetre, ORP sensörü, pH sensörü, seviye sensörü, atıksu debimetresi ve hava debimetresi. Paket MBR sistemi içerisine iki adet batık Microdyn Nadir GmbH UF membranları (BIO-CEL BC100F-C25-UP150 modeli) yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Paket MBR sistemi genel görünüşü.



Şekil 4. BIO-CELL BC100F-C25-UP150 modeli batık membran dış görünüşü (MicroDyn-Nadir, 2018).

BIO-CELL çok boşluklu yapıya sahip makroporöz lifli bir ayırıcı tabaka ile yapışık 0,04 µm gözenekli polietilsüfon (PES) membran kompozit ince tabakalı (lamine) bir malzemedir (Simon, 2015).

Membran, alt hava dağıtım hattı ve arıtılmış su toplama hatları ile kompakt yapıda olup kaset şeklindedir. Bir adet batık membran kasetinde 100 adet membran bulunmaktadır. Kaset boyutu boy, en ve yükseklik olarak 1.600 x 702 x 1.563 mm'dir. Kuru ağırlığı 225 kg, ıslak ağırlığı 300 kg, maksimum yükleme ağırlığı ise 900 kg' dir. 1 adet batık membran kasetinin toplam arıtma yüzeyi 100 m²dir. Standart süzüntü debisi her bir membran kasedi için maksimum 40 m³/sa'tir. Membran iç borulaması PVC, dış bağlantıları paslanmaz çeliktir. Polieter sülfon membran yüzeylerin kullanıldığı sistemde etilen propilen dien monomer (EPDM) membranlı difüzörler tercih edilmiştir. Paket MBR ünitesi seviye ve oksijen sensörleri, debimetreler ve programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) yardımıyla otomatik olarak çalışmaktadır. Ünite içerisine atıksu beslemesi, oksijen temini için blowerların devreye girmesi, aerobik bölgeden çamurun geri devrettirilmesi, membran kasetlerinin ve dolayısıyla membran pompasının seviye ve süre kontrollü çalışması ve membran kasetlerinin geri yıkanması işlemlerinin tamamı ünite içerisinde yer alan PLC programlamaya bağlı olarak değişmektedir. Membran çıkış hattında yer alan manometrelerdeki değerlere göre membranların kimyasal yıkama yapması gereken zaman belirlenmektedir. Manometrede okunan değerler arasındaki fark önceden set edilen değerler üzerine çıktığı anda sistem filtrasyonu durdurmakta ve kimyasal yıkama işlemine başlanmaktadır.

Konya kentinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular ilk olarak mevcut arıtma tesisinin terfi merkezine alınmaktadır. Buradan paket MBR sistemine entegre edilmiş olan terfi pompası vasıtasıyla sisteme atıksu beslemesi yapılmaktadır. Sisteme besleme yapılan atıksuyun debisini ölçmek için hat üzerinde elektromanyetik debimetre bulunmaktadır. Atıksu ilk olarak fosfor gideriminin gerçekleştirilmesi için anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Anaerobik bölgeden sonra yan bölmede yer alan anoksik bölgeye aktarılmaktadır. Bölmelere aktarılan atıksuyun dibe çökmesini önlemek adına içerlerinde düşey millerle bir karıştırıcı bulunmaktadır. Denitrifikasyon işleminin gerçekleştirildiği bu bölgeden sonra atıksu, biyolojik arıtmanın son aşamasının gerçekleştirilmesi için aerobik bölgeye aktarılmaktadır. Aerobik bölgedeki atıksuyun bir kısmı mikroorganizma konsantrasyonunun belli seviyede tutulması ve azot ve fosfor gideriminin etkin olarak sağlanması amacıyla anaerobik ve anoksik bölgelere geri devrettirmektedir. Biyolojik prosese tabi tutulan atıksu son olarak sistemde yer alan pompanın yardımıyla membran kasetlerinden geçirilerek filtrelenmesi sağlanmaktadır.

Paket MBR sisteminin yenilenebilir elektrik üretim kısmında 24 adet 250 wattlık solar güneş paneli kullanılmıştır. Toplam kurulu gücün maksimum 6 kW olduğu güneş paneli Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Güneş enerji panelleri.

Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde kurulumu gerçekleştirilen paket MBR sistemi için aşu çamuru mevcut atıksu arıtma tesisinin geri devir hattından alınmıştır. Karbon (organik bileşikler), azot, fosfor ve atıksuda bulunan katı maddenin giderim veriminin belirlenmesi amacıyla paket MBR sistemine atıksu beslemesi yapılmaya başlandıktan sonra, günlük olarak tesisin giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerde Tablo 2'de verilen parametreler analiz edilmiştir (APHA, 1998).

Ayrıca tesis giriş debisi, tüketilen ve güneş panelleri vasıtasıyla üretilen elektrik enerjisi, pH değerleri, geri devir oranları, aerobik bölge ve membran hava debileri, çözülmüş oksijen (ÇO) ve atıksu sıcaklık değerleri de online olarak sistem üzerinden takip edilmiştir.

Tablo 2. İzlenen parametreler ve analiz metotları

Parametre	Metot
pH	Elektrokimyasal Metot SM 4500 H ⁺ B
KOİ	Kapalı Reflaks Metodu SM 5220 C
TN	Spektrofotometrik Metot (LCK 338 Hazır Deney Kiti)
TP	Spektrofotometrik Metot (LCK 350 Hazır Deney Kiti)
NH ₄ -N	Spektrofotometrik Metot (LCK 303 Hazır Deney Kiti)
NO ₃ -N	Spektrofotometrik Metot (LCK 339 Hazır Deney Kiti)
AKM	Gravimetrik Metot SM 2540 D
Sıcaklık (°C)	SM 2550 B
Atıksu Debisi	Elektromanyetik Debimetre

3. Tartışma

Paket MBR tesisi 07.02.2017 - 16.05.2017 tarihleri arasında 100 günlük bir süre boyunca işletilmiştir. Tablo 3'te Konya AAT evsel atıksuyu ile beslenen paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu verilmiştir. Tesis kış aylarında işletmeye alındığından, istenilen MLSS değerine ulaşmak için 100 gün boyunca fazla çamur atımı yapılmamıştır. Konya AAT'den yapılan çamur aşısı ile işletmeye alınan tesis 1.880 mg/L MLSS değeri ile başlamış ve 100 gün sonunda 16.310 mg/L değerine ulaşmıştır.

Tablo 3. Paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu (n: ölçüm sayısı)

Parametreler	n	Birim	Ortalama
KOİ	33	mg/L	883,3 ± 252,9
AKM	34	mg/L	431,7 ± 180,8
TN	32	mg/L	89,2 ± 29,4
TP	30	mg/L	12,6 ± 3,1

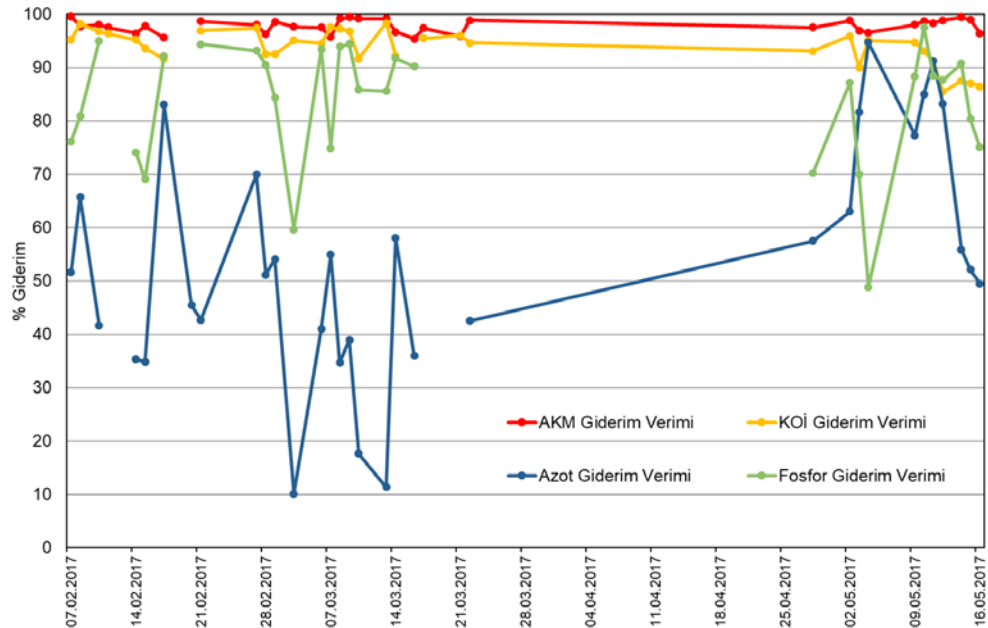
Tablo 1’de verilen tasarıma esas atıksu karakterizasyonu ve Tablo 3’te verilen işletme dönemi giriş atıksu özellikleri incelendiğinde Konya AAT giriş suyunun organik madde, AKM ve besi maddesi açısından tasarımında ön görülen değerlerin çok üzerinde gerçekleştiği, tasarıma göre KOİ’de %47,3’lük, AKM’de %44, TN’de %98 ve TP’de %26 daha yüksek konsantrasyonların MBR tesisine ulaştığı görülmektedir. Tasarımı yapılan paket MBR tesisi orta-yüksek kirlilik olarak kabul edilen atıksu özelliklerine göre boyutlandırılmış olmasına rağmen Konya AAT giriş atıksuyu yüksek kirlilik değerlerinden de fazla kirlenmiştir.

Paket MBR tesisi işletme verileri ve arıtma performansı değerlendirilirken bu önemli unsurun ve tesisin Şubat - Mayıs aylarında kış döneminde düşük atıksu sıcaklık şartlarında işletildiği göz önüne alınmalıdır. İşletme süresi boyunca hava sıcaklığı -11 ile 30 °C, ham atıksu sıcaklığı ise 11 ile 22 °C arasında değişmiştir. MBR tesisinin verimine etki eden önemli işletme parametrelerinin 100 günlük işletme dönemindeki değişimi Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. MBR tesisi işletme parametrelerinin bazı istatistiksel verileri (n: ölçüm sayısı)

Parametreler	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
pH	37	6,87	7,91	7,35	± 0,23
Sıcaklık (°C)	41	11	22	17	± 3,03
ÇO (mg/L)	31	2,1	7,1	4,0	± 1,42
MLSS (mg/L)	39	1.880	16.310	6.771	± 3.896

Tesis işletmeye alma döneminde, ilk 30 gün ortalama 3.834 mg/L MLSS değerine ulaşmış, 30-60 günlük dönemde 6.375 mg/L MLSS ve son 60-100 günlük dönemde ise 9.517 mg/L MLSS değerinde işletilmiştir. Şekil 6’da paket MBR tesisinde 100 günlük işletme süresi boyunca numune alınan tarihlerde elde edilen KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri bulunmaktadır. Giderim verimleri incelendiğinde özellikle son 40 günlük işletme döneminde kararlı şartların oluşması ve MLSS değerlerinin yükselerek yeterli düzeye gelmesi ile giderim verimleri arasındaki salınımların azaldığı görülmektedir. Azot ve fosfor gideriminde ÇO kritik parametredir. Tesiste seçilen blower kapasitesinin yüksek oluşundan dolayı aerobik bölgede ÇO seviyesi 2,1-7,1 mg/L aralığında gerçekleşmiş ve ortalama 4,0 mg/L ÇO değeri ölçülmüştür. Yaklaşık 2 mg/L ÇO seviyesi yeterli iken yüksek ÇO seviyesi geri devir çamuru ile birlikte anaerobik bölgede fosfor alımını ve anoksik bölgede denitrifikasyonu olumsuz etkilemiştir.



Şekil 6. Paket MBR tesisinde KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri.

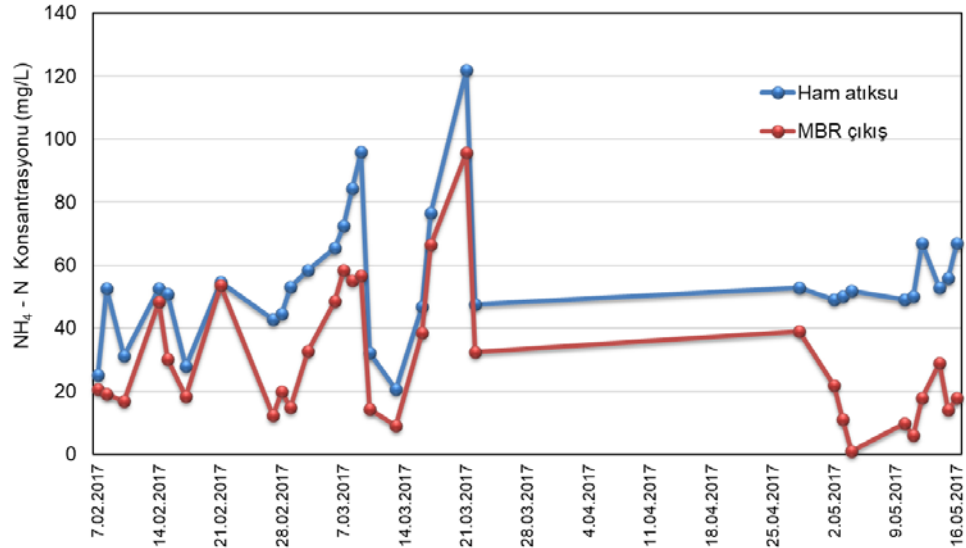
Paket MBR tesisinde işletme süresi boyunca giriş KOİ konsantrasyonunun 530-1.497 mg/L, çıkış KOİ konsantrasyonunun 13-130 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında minimum %85,5 ve maksimum %98,4 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %93,8 olarak hesaplanmıştır. AKM konsantrasyonu girişte 205-880 mg/L, MBR çıkışında ise <5-18 mg/L arasında değişmiştir. %95,4 ile %99,7 arasında AKM giderim verimi elde edilmiştir. Ortalama AKM giderim verimi %97,8 olarak belirlenmiştir.

Ham atıksuda TN konsantrasyonu 41,4-153,6 mg/L aralığında değişirken, MBR prosesi ile arıtma sonrası TN konsantrasyonu 5-86,3 mg/L aralığında ölçülmüştür. TN giderim verimi %10,1-94,7 arasındadır ve ortalama verim %53,5'tir. Tablo 5'te MBR tesisine beslenen ham atıksuda, arıtılmış atıksuda ve aerobik bölgedeki NH₄-N ve NO₃-N değerleri verilmektedir. Konya kenti ham atıksuyundaki TN konsantrasyonundaki yüksek salınım, aynı şekilde NH₄-N'de de görülmektedir. Ham atıksuda NH₄-N konsantrasyonu 20,7-121,8 mg/L aralığında değişim göstermektedir (Şekil 7). Bu yüksek salınım azot giderim verimini de etkilemektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile çıkış suyunda TN değerinin 15 mg/L'nin altında ve NH₄-N değerinin sıfıra yakın, NO₃-N değerinin ise 10-13 mg/L aralığında olması beklenirken, çıkış suyunda ortalama NH₄-N konsantrasyonu 30,02 mg/L olarak oldukça yüksek olarak belirlenmiştir. NO₃-N değeri ise çıkış suyunda ortalama 2,06 mg/L olarak gerçekleşmiştir. Aerobik bölgede nitrifikasyonun gerçekleşerek, organik azot ve amonyum azotunun nitrate oksitlenmesi beklenirken bunun gerçekleşmediği aerobik bölgede amonyum azotu konsantrasyonunun 43,63 mg/L olduğu ve nitrat azotunun ortalama 1,63 mg/L olduğu görülmektedir.

Hassas olan nitrifikasyon prosesini etkileyen parametreler; ÇO, pH, sıcaklık ve alkalinite dir. Sistemde yeterli ÇO (ortalama 4 mg/L), uygun pH (ortalama 7,35) ve alkalinite sağlanmıştır. Ancak, nitrifikasyon bakterileri için optimum sıcaklık 20-35 °C iken, 100 günlük işletme döneminde tesis ortalama 17 °C atıksu sıcaklığında işletilmiştir. Nitrifikasyon bakterileri ototrofik canlılar olup çevresel şartlardan çok çabuk etkilenirler ve çoğalma hızları düşüktür ve özellikle ilk işletmeye alma dönemlerinde çoğalmaları için süreye ihtiyaç duyarlar. Sonuç olarak, Şekil 7'de görüldüğü gibi, tesis azot gideriminde özellikle ilk 80 günde yeterli performansa ulaşamamış, son 20 günde azot giderim verimi artmıştır.

Tablo 5. MBR tesisinde azot parametresinin proseste değişimi (n: ölçüm sayısı)

İzleme Noktası	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ham atıksu NH ₄ -N (mg/L)	31	20,7	121,8	54,96	± 20,49
Arıtılmış atıksu NH ₄ -N (mg/L)	31	1,0	95,6	30,02	± 21,47
Arıtılmış atıksu NO ₃ -N (mg/L)	28	0,26	18,15	2,06	± 4,72
Aerobik bölge NH ₄ -N (mg/L)	26	7,0	116,8	43,63	± 25,74
Aerobik bölge NO ₃ -N (mg/L)	25	0,26	11,7	1,63	± 2,64



Şekil 7. Ham atıksuda ve MBR tesisi çıkışında amonyum azotu konsantrasyonunun değişimi.

İşletilme süresinde, TP konsantrasyonu ham atıksuda 5,7-17,4 mg/L, arıtma sonrası ise 0,5-5,5 mg/L arasında tespit edilmiştir. TP giderim verimi %48,8-97,6 aralığında ve ortalama TP giderimi ise %83,5 olmuştur. Nispeten düşük olan %83,5 TP giderim veriminin, MBR sistemi içerisinde kullanılan blowerin proses için gerekli hava ihtiyacından çok daha fazlasını (ortalama ÇO 4 mg/L ölçülmüştür) sisteme verdiğiinden dolayı yaşanıldığı düşünülmektedir. Aerobik bölgedeki yüksek çözünmüş oksijen çamur geri devir vasıtasıyla anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Bunun sonucunda TP giderimi için gerekli olan anaerobik ortamın oksijen seviyesinin yükseldiği ve fosfor salınımının sınırlandırıldığı düşünülmektedir. Blower ile verilen havanın azaltılması ile TN giderimi için denitrifikasyon da istenilen <0,5 mg/L ÇO ve anaerobik bölgede fosfor salınımı için gerekli sıfıra yakın ÇO değerlerinin sağlanması ile önemli miktarda TN ve TP giderim verimleri de artırılabilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli paket MBR sisteminin Konya kentsel atıksuların arıtımındaki verimi incelenmiştir. 07.02.2017-16.05.2017 arasında 100 gün süre ile işletilen MBR sisteminde tesisin işletmeye alındığı Şubat-Mayıs ayları arasında hava sıcaklığı kış aylarında ortalama -5 °C bahar aylarında ise ortalama 9 °C olarak gerçekleşmiştir. Biyolojik arıtma proseslerinde atıksu sıcaklığı biyolojik aktivite ve arıtma veriminde önemli bir işletme parametresidir. İşletme döneminde ham atıksu sıcaklığı ortalama 17 °C'dir. Elde edilen işletme verilerinin kış şartlarını temsil ettiğini ve organik madde ve azot gideriminde yaz aylarına göre daha düşük verimlerin elde edileceği göz önüne alınmalıdır.

İncelenen 4 parametrede özellikle AKM ve KOİ giderim veriminin daha stabil olduğu, TN ve TP gideriminin ise değişken olduğu görülmektedir. Bu durum biyolojik besi maddesi gideriminde işletmede önemli olan atıksu sıcaklığı, ÇO, ORP, MLSS, Çamur geri devri, çamur yaşı ve nitrifikasyon bakterilerinin çoğalma hızı gibi değişkenlerden kaynaklanır. Bu sınımların ilk işletme döneminden sonra (60 gün) azaldığı ve son 15 günlük işletme döneminde daha stabil olduğu görülmektedir. Buna rağmen 100 günlük işletme döneminde elde edilen bu sonuçların, bir gösterge olmakla birlikte işletme parametrelerinin kontrolü, yeterli ÇO seviyesi ve adaptasyon süresinden sonra zamanla daha sabit aralıklarda gerçekleşmesi beklenmektedir.

KOİ parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 883,3 mg/L ve 50,2 mg/L, AKM parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 431,7 mg/L ve 8,5 mg/L olarak belirlenmiştir. KOİ için %93,8 ve AKM için %97,8 olarak konvansiyonel aktif çamur proseslerine kıyasla çok yüksek giderim verimleri elde edilmiştir.

Tesis N ve P giderimine yönelik tasarlanmıştır. TN parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 89,2 mg/L ve 39,1 mg/L olarak belirlenmiştir. Sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyon fazlarının gerçekleşebilmesi adına anoksik ve aerobik bölgeler bulunmasına ve nitrat geri devri yapılmasına rağmen TN giderim verimi %53,5 değeri ile sınırlı kalmıştır. Çıkış suyundaki ortalama 39,1 mg/L değeri nüfusu 100 binden küçük yerleşim yerlerinde sağlanması gereken 15 mg/L azot değerinin üstündedir. Düşük TN giderimi; paket MBR sisteminin devreye alma sürecindeki hava sıcaklığının soğuk olması sonucunda nitrifikasyon bakterilerinin üreme hızı azalmış ve ortamda yeterli kadar nitrifikasyon bakterisinin oluşmadığı düşünülmektedir. Nitrifikasyonun gerçekleşeceği aerobik bölgede ölçülen yüksek amonyum azotu seviyeleri ve düşük nitrat azotu da bunu göstermektedir. TP parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 12,6 mg/L ve 2,0 mg/L olarak belirlenmiştir. Çıkış suyundaki ortalama 2 mg/L P değeri nüfusu 100 binden küçük yerleşim yerlerinde sağlanması gereken 2 mg/L fosfor değerini sağlamaktadır.

Paket MBR sistemi için tüketilen ve güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi izlemiştir. Tüketilen elektrik enerjisinin 110-212 kW/gün, üretilen elektrik enerjisinin 1-21 kW/gün arasında değiştiği belirlenmiştir. Tüketilen ortalama elektrik enerjisinin 156 kW/gün, üretilen ortalama elektrik enerjisinin ise 8 kW/gün olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR sisteminde tüketilen elektrik enerjisinin yüksek olmasının sebebinin hava üfleyci blower motorlarının fekans konvertörünün olmaması ve bu nedenle sürekli en yüksek seviyede (7-9 kW arası) çalışmasıdır. Paket MBR sisteminde üretilen elektrik enerjisinin düşük olmasının sebebi; devreye alma ve işletme sürecinin kış aylarında güneşli gün sayısının en düşük seviyede olduğu dönemde gerçekleşmesidir. Blower kapasitesinin düşürülmesi veya frekans konvertörü ile işletilmesi yanında yaz aylarında güneşli gün sayısının ve süresinin artması ile paket MBR tesisinin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı güneş panelleri ile sağlanabilecektir.

Paket MBR sistemleri N ve P giderimi zorunlu olan hassas alanlara deşarjlarda veya atıksu geri kazanımı planlanan köyler veya tatil köyleri gibi küçük yerleşim yerleri için atıksu arıtımında uygun bir arıtma teknolojisi olarak kullanılabilir. Paket MBR tesisleri güneş panelleri ile desteklenerek enerji ihtiyacının önemli bir bölümü de karşılanabilir.

5. Teşekkür

Bu makale; Artaş Endüstriyel Tesisler Taahhüt ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından hazırlanan, TÜBİTAK KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı kapsamında 7141267 Proje Numarası ile desteklenen "Evsel Atık Sulardan Azot ve Fosfor Giderimi Sağlayacak Yenilenebilir Enerji Destekli Paket Arıtma Sisteminin Geliştirilmesi" projesi verilerinden hazırlanmıştır. Yusuf Can HATİPOĞLU, Artaş A.Ş. personeli olarak MBR tesisinin kurulumunu ve işletmesini yürütmüştür. Makale, Yusuf Can HATİPOĞLU'nun Yüksek Lisans tezinin bir bölümünden oluşmaktadır. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK, ARTAŞ A.Ş. ve KOSKİ Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

APHA, 1998, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington, DC. USA.

Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2015-2023, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015, Ankara.

Chiemchaisri, C. ve Yamamoto, K., 1994, Performance of membrane separation bioreactor at various temperatures for domestic wastewater treatment, Journal of Membrane Science, 87 (1-2), 119-129.

- Gander, M., Jefferson, B. ve Judd, S., 2000, Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations, *Separation and purification Technology*, 18 (2), 119-130.
- Jefferson, B., Laine, A., Brindle, K., Judd, S., Stephenson, T., 1998, *Proceedings of Water Environment 98: Maintaining the Flow*, The Institution of Civil Engineers, London.
- Judd, Simon, MBR, Su ve Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörlerin Esasları ve Uygulamaları, Çeviri Editörü: Bülent Keskinler, 2. Basımdan Çeviri, Nobel Yayın No: 1280. 2015
- Kishino, H., Ishida, H., Iwabu, H. ve Nakano, I., 1996, Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor, *Desalination*, 106 (1-3), 115-119.
- MicroDyn-Nadir, 2018, <https://www.microdyn-nadir.com/en/> [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2018].
- "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik (23.12.2016). Resmi Gazete (Sayı: 29927)
- Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T. ve Urushigawa, Y., 1992, Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Water Research*, 26 (9), 1149-1157.
- Winnen, H., Suidan, M., Scarpino, P., Wrenn, B., Cicek, N., Urbain, V. ve Manem, J., 1996, Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular-weight compounds, *Water Science and Technology*, 34 (9), 197-203.