





# Entegre sabit biyofilm sistem ile karbon, azot ve fosfor gideriminin araştırılması

## Investigation of carbon, nitrogen and phosphorus removal with integrated fixed biofilm systems

Jamila Mohamad<sup>1,\*</sup> , Mustafa Işık<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

### Öz

Klasik aktif çamur sistemleri, evsel atıksu arıtımında yüz yıldan uzun bir süredir kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda su kaynaklarının korunması için sadece karbon giderimi değil, azot ve fosfor giderimi de gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda bilim insanları, etkili ve sürdürülebilir çözümler arayışındadır. Bu çalışmada, klasik aktif çamur prosesine sabit biyofilm entegre edilerek oluşturulan entegre biyolojik aktif çamur (EBAÇ) prosesi, ardışık kesikli reaktör (AKR) ile birleştirilerek uygulanmıştır. EBAÇ-AKR sistemi, ardışık kesikli reaktöre, %40 doluluk hacminde hareketli destek materyali ilave edilerek anaerobik(An) / aerobik(Ox) / anoksik (Ox) faz sırası, 36 saat hidrolik bekleme süresi (HBS) ve 11.8 gün çamur yaşı (ÇY) ile işletilerek uygulanmıştır. Çalışma aşamalarında ortalama kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) %92.7, toplam azot (TN) %79.5 ve fosfat fosforu (PO<sub>4</sub>-P) giderimi %59.3 olarak elde edilmiştir. Deşarj kriterleri dikkate alındığında reaktör KOI ve TN gideriminde başarılı olurken P gideriminde yetersiz kalmıştır. EBAÇ-AKR reaktörü optimize edilmiş şartlarla atıksu standartlarını sağlama potansiyeli bulunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** AKR, Arıtım, Atıksu, EBAÇ, Nutrient

### 1 Giriş

Organik ve nütrient içeren kentsel ve endüstriyel atıksular genellikle aerobik aktif çamur işlemi kullanılarak arıtılmaktadır. Klasik biyolojik arıtım sistemleri ile arıtılmayan N ve P içeren atıksuların su kaynaklarına ulaşması su kullanımı etkileyen ötrofikasyon başta olmak üzere ciddi su kalite problemlerine neden olmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetimi için atıksu deşarjlarında N ve P giderimi de gerekli olmaya başlamıştır.

Entegre sabit biyofilm aktif çamur (EBAÇ) teknolojisi, dünya çapındaki atıksu arıtma tesislerinde biyolojik nütrient gideriminin (BNR) verimliliğini artırmak için geliştirilen sürdürülebilir sistemlerden bir tanesidir. EBAÇ konfigürasyonunda, biyolojik taşıyıcılar, bakteri için yüzey alanı sağlayarak, geleneksel aktif çamur reaktörlerine entegre edilebilme özelliği taşımaktadır.

Klasik aktif çamur reaktörleri içerisinde yaygın olarak kullanılan reaktör tiplerinden bir tanesi de ardışık kesikli

### Abstract

Classical activated sludge systems have been used for over a century in domestic wastewater treatment. However, in recent years, not only carbon removal but also nitrogen and phosphorus removal have become essential for preserving water resources. In this context, scientists are searching for effective and sustainable solutions. In this study, the integrated biological activated sludge (IFAS) process, which is created by integrating fixed biofilm into the classical activated sludge process, was applied by combining it with a sequential batch reactor (SBR). The IFAS-SBR system was applied in the sequencing batch reactor with a 40% volume fill ratio of moving support material, utilizing anaerobic (An)/aerobic (Ox)/anoxic (Ox) cycles, with a 36 hour hydraulic retention time (HRT) and an 11.8-day sludge retention time (SRT). During the operational phases, average removal efficiencies of 92.7% for chemical oxygen demand (COD), 79.5% for total nitrogen (TN), and 59.3% for phosphate phosphorus (PO<sub>4</sub>-P) were achieved. Considering discharge criteria, the reactor achieved successful COD and TN removal, but fell short in terms of phosphorus removal. The IFAS-SBR reactor, has the potential to meet wastewater standards under optimized conditions.

**Keywords:** SBR, Treatment, Wastewater, IFAS, Nutrient

reaktördür (AKR). Sürekli akışlı reaktörlerle karşılaştırıldığında, AKR işletimi daha kolay ve esnekler. AKR'nin tam ölçekli uygulamasında, parametreler (pH, substrat konsantrasyonları ve çözünmüş oksijen gibi) online analizörler tarafından izlenebilir. Biyolojik giderim süreci, zamanlayıcılar veya programlanmış kontrol cihazları ayarlanarak kolayca kontrol edilebilir. Sedimentasyon reaktörün kendisinde gerçekleşeceği için AKR için ayrı çöktürücüye gerek yoktur [1].

Son yirmi yıldan beri EBAÇ sistemleri üzerine araştırmaların sayısı artmıştır. EBAÇ sistemleri hem evsel hem de endüstriyel atıksular için uygun bir seçenek haline gelmeye başlamıştır [2]. 1994 yılından bu yana, EBAÇ teknolojisi, küçük ve kırsal topluluklar için sürdürülebilir bir çözüm sağlayabilen etkin bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır [3]. EBAÇ sistemi, biyoreaktörlerde biyokütlenin reaktöre ilave edilen özel biyokütle taşıyıcılar üzerinde çoğaldığı bağlı ve süspanse büyüme ile biyokütle derişiminin artırıldığı ve her iki büyümenin avantajlarının kullanıldığı

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: jamila.mohamad@asu.edu.tr (J. Mohamad)  
Geliş / Recieved: 29.08.2023 Kabul / Accepted: 11.12.2023 Yayınlanma / Published: 15.01.2024  
doi: 10.28948/ngumuh.1351759

entegre bir sistemdir. Bu entegre sistemle atıksularda kompakt biyokütle ile eş zamanlı olarak karbon, azot ve fosfor gideriminin mümkün olduğuna işaret edilmiştir [4].

EBAÇ sistemleri tek bir tankta karbon ve azot oksidasyonu (nitrifikasyon) için kullanılabilirken [3], anoksik ve anaerobik bölgeler kullanılarak karbon, azot ve fosfor giderimi [5-8] için de çözüm olabilmektedir. EBAÇ proseslerinin sadece karbon oksidasyonu yapan klasik aktif çamur tesislerinin nitrifikasyon kapasitesini artırarak fazlalık hacmi ön anoksik tank olarak kullanıp Değiştirilmiş Ludzack Ettinger prosesine dönüştürerek günümüzde yaygın kullanım potansiyeli bulunmaktadır [4].

Bu çalışmada ile EBAÇ-AKR sistemi ile orta kirlilikte evsel ham atıksuları temsil edecek şekilde hazırlanan sentetik atıksudan destek materyalinin kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) giderim performansı araştırılmıştır.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Sentetik atıksu bileşimi ve hazırlanması

Bu çalışmada C, N ve P giderimi üzerinde biyofilm taşıyıcı destek materyalinin, çamur yaşı vb. değişkenlerinin etkisini değişen atıksu karakteristiğinden bağımsız olarak araştırabilmek için sentetik atıksu ile çalışılmıştır. Atıksular içerisinde C giderimi yanında N ve P giderimi gerekliliği de bulunan, yaygın olarak C, N ve P kirliliği içeren evsel atıksuların KOI, N ve P açısından orta kirlilik düzeyleri [4] dikkate alınarak sentetik atıksu hazırlanmıştır. Çalışma daha

çok nütrient giderimi üzerine yoğunlaştığı için TN ve TP derişimleri kuvvetli evsel atıksu, N ve P gideriminin de organik madde düşüklüğü kritik olduğu için de kuvvetlinin bir altı orta kirlilikte evsel atıksu özelliklerine göre KOI 508 mg/L, TN 50 mg/L ve TP 10 mg/L olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan atıksuyun KOI, N ve P özellikleri Tablo 1’de verilen kimyasal stok çözeltilerinden mL hacim eklenerek ve g tartılarak hazırlanmıştır. Seyreltme işleminde Aksaray çeşme suyu kullanılmış, tüm mikroorganizmalar için gerekli diğer elementler ve mangan, demir, kobalt, nikel, bakır, çinko, molibden, tungsten ve vanadyum gibi iz metallerin çeşme suyundan karşılandığı kabul edilmiştir. Nitrifikasyonda alkalinite tüketiminin olası pH düşüşüne neden olarak P gideren fosfor biriktiren organizma (PAO)’lar ile glikojen biriktiren organizma (GAO)’lar arasındaki rekabette kritik pH 7.25’in altına düşmemesi için [4] besleme suyuna ilave olarak 200 mg CaCO<sub>3</sub>/L NaHCO<sub>3</sub> olarak bikarbonat alkalinitesi eklenmiştir. Çalışmada seyreltme suyu olarak kullanılan çeşme suyunun özellikleri daha önceki yıllarda aynı laboratuvarlarda yapılan çalışmalarda [9] ve bu çalışmada ölçülen değerler karşılaştırıldığında (Tablo 2) çok farklılık göstermemiştir. Çeşme suyundan gelen organik madde, N ve P yükleri hazırlanan sentetik bileşiminde öngörülen derişimlerini çok az artırmıştır. Klorun mikroorganizmalar üzerine olası etkileri düşünülerek en az bir gün bekletilmiş çeşme suyu kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Sentetik atıksu bileşimi hesap tablosu

Parametre	Hedef Derişim, mg/L	Bileşik	Stok		1 L atıksu	
			Bileşik, g	Hedef, g/L	Eklenecek hacim, mL	Saf katı, g
<b>KOI</b>	508	Glikoz(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	103.2	100	5.08	0.5243
<b>TN</b>	50	-	-	-	-	-
• Org N	15	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O	21.45	10	1.50	0.0322
• NH <sub>4</sub> -N	35	NH <sub>4</sub> Cl	38.19	10	3.50	0.1337
<b>TP</b>	10	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	43.94	10	1.00	0.0439
<b>Alkalinite</b>	200	NaHCO <sub>3</sub>	67.15	40	5.00	0.3357

**Tablo 2.** Sentetik atıksu bileşiminde kullanılan çeşme suyunun bazı özellikleri

Parametre	Aralık *	Nisan*	Haziran*	Temmuz-Bu çalışma
pH	7.29	7.00	6.75	7.23
İletkenlik, (µs/cm)	507	482	514	820
Toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) (mg/L)	433	401	369	457
Bulanıklık, (NTU)	0.180	0.400	0.910	-
TN (mg/L)	1.30	1.37	1.14	0.780
Sertlik, (mg/L)	192	176	166	324
Alkalinite (mg/L)	236	221	202	300
Oksidasyon, redüksiyon potansiyeli (ORP), (mV)	759	757	609	292
UV <sub>254</sub>	0.890	0.074	0.052	0.067
Nitrat, (mg/L)	13.7	6.3	5.60	14.5
Sülfat, (mg/L)	48.7	47.9	44.14	112
Fosfat, (mg/L)	18.5	2.85	1.87	0.634
Klorür, (mg/L)	68.8	60.1	52.0	71.0

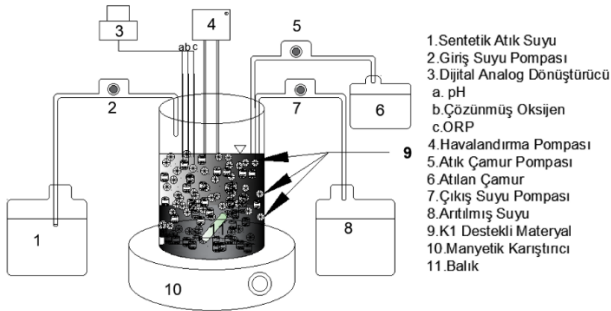
\*[9]

## 2.2 Reaktör sistem ve işletimi

Çalışmada, anaerobik/aerobik biyolojik proseslerle üst endüstrisi atıksularını arıtan bir atıksu arıtma tesisinden karışık bir mikroorganizma kültürü alınıp, EBAÇ-AKR reaktörü aşılantmıştır

Reaktörün işletmeye alınma periyodu yaklaşık 54 gün sürmüştür. Reaktör 1.5 L/gün debide sentetik atıksu ile beslenmiştir. HBS 24 saat, organik yükleme hızı (OYH) 1.20 kg.KOI/m<sup>3</sup>.gün, besi/mikroorganizma (F/M) oranı 0.3 kg.KOI /kg AKM. gün ve çamur yaşı (ÇY) 25 gün olarak işletilmiştir.

Laboratuvar ölçekli ardışık kesikli beslemeli reaktör içerisine tavsiye edilen %30-60 aralık içerisinde olan [4] % 40 hacimce doluluk oranlarında destek materyali ilave edilerek EBAÇ sistemi oluşturulmuştur. İçerisine ilave edilen ticari K1 PE03 destek materyali ile üzerinde oluşacak biyofilm tabakası ile elde edilecek ilave fonksiyonel biyokütle ile karbon, azot ve fosfor giderimini iyileştirici ek kapasite sağlanması amaçlanmıştır. Bu reaktör sistemi EBAÇ-AKR olarak isimlendirilmektedir [10]. Kurulan reaktör sisteminin etkin sıvı hacmi 1.5 L, reaktör yüksekliği 18 cm, reaktör su yüksekliği 12 cm ve çapı ise 14 cm'dir. Sistemin şematik görünümü Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Çalışmada HDPE den ticari olarak üretimi yapılan destek materyalinin Şekil 2'de gösterilen K1 PE03 modeli [11] biyofilm gelişimi için kullanılmıştır.



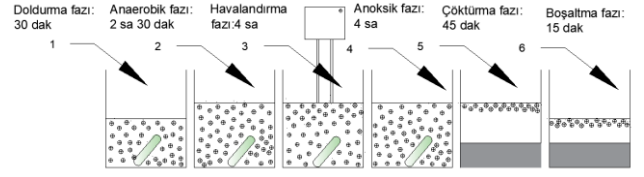
Şekil 1. EBAÇ-AKR reaktör sistemi



**Özellikleri**  
Model: K1 PE03  
Çapı ve yüksekliği: 10 mm x 7 mm  
Birim yüzey alanı>1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>  
Yoğunluk:0,96-0,98 g/cm<sup>3</sup>  
Porozite>%86  
Reaktör doluluk oranı: %15-70  
Biyofilm oluşma süresi:5-15 gün  
Nitrifikasyon verimi: 400-1200 g/m<sup>3</sup>-gün

Şekil 2. K1 PE03 biyofilm destek materyali [11]

Destek materyali üzerinde biyofilm oluşumu ve yeterli bir nitrifikasyon verimi elde edebilmek için EBAÇ-AKR sistemi %40 doluluk oranla işletme şartları Tablo 3'te verilmiştir. Periyot döngü fazları ve süreleri Şekil 3'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. Çalışma periyot fazları (toplam 12 saat günde 2 döngü)

Çalışma periyodunun fazları şu şekilde gerçekleştirilmiştir. 30 dakika doldurma olmak üzere anaerobik fazı 3 saat, havalandırma fazı 4 saat, anoksik fazı 4 saat, çöktürme fazı 45 dakika ve boşaltma fazı 15 dakika olmuştur. Günde 2 döngü olacak şekilde her döngü toplamı 12 saat sürmüştür.

## 2.3 Analiz yöntemleri ve kullanılan ekipman

Faz ve reaktör arıtma performanslarının değerlendirilmesi için alınan numuneler 5 dakika 10000 rpm'de (SIGMA 1-15PK) santrifüjlenmiş ve eğer gözle görünür süspansen katı maddeler var ise filtre kağıdından süzülerek süzüntüde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan analiz yöntemleri ve yardımcı cihaz/ekipman Tablo 4'te verilmektedir.

## 3 Bulgular ve tartışma

### 3.1 Reaktör işletme parametreleri değişimi

Reaktörde genel olarak haftada 3 gün olmak üzere reaktörün besleme debisi, aerobik fazda pH, çözülmüş oksijen (ÇO), tam karışımdan çamur yaşı için atılan çamurda askıda katı madde (AKM), çamur hacim indeksi (ÇHI) ve boşaltma fazından sonra çıkış KOI, AKM, amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N), nitrit azotu (NO<sub>2</sub>-N) ve fosfat fosforu (PO<sub>4</sub>-P) ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 3. Çalışmanın işletme şartları

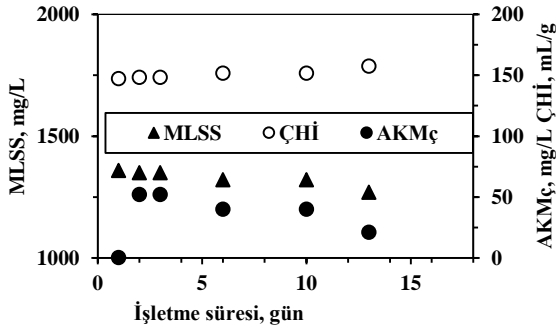
Parametreler	Değer
Süre, gün	18
Doluluk, %	40
ÇY, gün	11.8
HBS, saat	36.0
*OYH kg BOİ <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> -gün	0.230
**F/M, kg BOİ/kg UAKM-gün	0.204
TN yükleme hızı, kg N/m <sup>3</sup> -gün	0.035
TP Yükleme hızı, kg P/m <sup>3</sup> -gün	0.007
AKM, mg/L	1322
Döngü sayısı	2
Faz sırası ve süreleri	Doldurma: 0.5saat Anaerobik:2.5 saat Aerobik:4.0 saat Anoksik:4.0 saat Çöktürme:0.75 saat Boşaltma:0.25 saat

**Tablo 4.** Çalışmada yapılan analizler ve kullanılan yöntemler

Parametreler*	Metot	Cihazlar
KOI	SM 5220 D*	WTWCR4200 termoreaktör
NH <sub>4</sub> -N	Merck 14752 Reagent test,	SPECTRO UV-VIS
NO <sub>3</sub> -N	Merck 09713 cell test,	SPECTRO UV-VIS
NO <sub>2</sub> -N	Merck 14776 cell test,	SPECTRO UV-VIS
PO <sub>4</sub> -P	Merck 14848 cell test,	SPECTRO UV-VIS
pH, T	SM 4500-H + B*	WTW Multi 3420
ÇO	SM 4500-O*	WTW Multi 3420
ORP	SM 2580 A*	WTW 330/340
BOİ	SM 5210 D*	Oxitop
AKM	SM 2440 D*	-
İletkenlik	SM 2510 B*	-
Alkalinite	SM 2320 B*	-
Sertlik	SM 2320 C*	-

\*: [12]

Çamur atımı havalandırmanın olduğu tam karışımın olduğu aerobik fazda gerçekleştirilmiş atılan karışımda biyokütle ölçümü ve çökebilirlik testi eş zamanlı gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca AKM derişimi ve ÇHI değerleri ve AKMÇ Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** Çalışma süresince aerobik faz AKM ve boşaltma fazı çıkış AKM değerleri

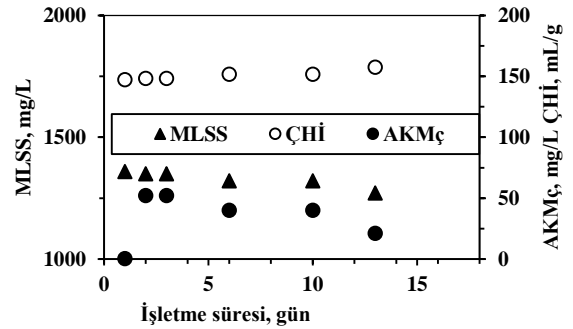
AKM değerleri çalışma boyunca 1000-1500 mg/L arasında değişmiştir. Çamur hacim indeksleri genellikle tavsiye edilen 150 ml/g civarında kalmıştır. Buna bağlı olarak çıkış sularındaki askıda katı madde değerleri de çoğu zaman düşük çıkmıştır. PAO'ların miktarının fazla olduğu yani biyolojik fosfor giderimi yapılan sistemlerde anaerobik şartların çökebilirliği geliştirdiği literatürden [4] bilinmektedir.

### 3.2 EBAÇ-AKR reaktöründe KOI, N ve P giderim performansı

Çalışma süresince işletme koşullarında gün içerisindeki döngülerden birinin boşaltma fazından elde edilen reaktör çıkış suyunda performans parametresi olarak KOI ölçümleri yapılmış ve Şekil 5'te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. KOI çıkış değerleri 11.8 mg/L ile 44 mg/L arasında

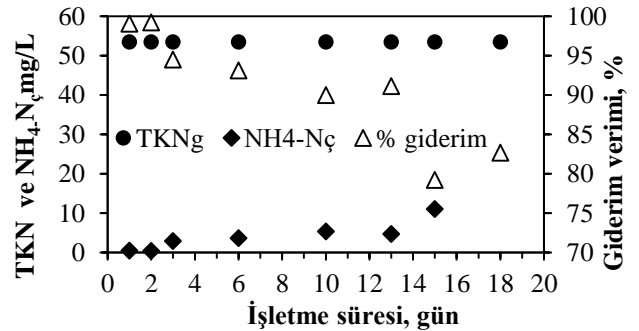
değişirken, KOI giderimi %90-95-arasında değişmektedir. KOI giriş değeri ( $\approx 500$  mg/L) ile kıyaslandığında %95'in üstünde artım verimi elde edilmiştir. Çalışma süresince tüm KOI çıkış değerleri evsel atıksuların alıcı ortama deşarj standardı olan 125 mg/L [13] değerinin oldukça altında çıkmıştır. Mevzuat değerleri toplam KOI değeri olarak verilmiş olsa da reaktörde elde edilen AKM değerleri de (Şekil 4) düşük olduğundan, toplam KOI çıkış değerleri mevzuat sınırlarının altında kalacaktır. Sytek-Szmeichel, vd. [14] tarafından yapılan çalışmada EBAÇ-AKR reaktörü %25 doluluk oran ile sentetik atıksu (pepton+nişasta+glikoz) beslenen reaktörde KOI giderimi %95.1 elde edilmiştir. ChangveHao [15] tarafından yapılan çalışmada ise sentetik atıksu ile beslenen AKR reaktörü KOI giderimi %88 elde edilmiştir.

Reaktördeki N giderimi boşaltma fazında alınan örneklerin filtre kağıdından geçirilmiş kısmına NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N ve NO<sub>2</sub>-N ölçümleri yapılarak değerlendirilmiştir. Sentetik atıksuya ilave edilen ürenin mikroorganizmalar tarafından tamamen amonyağa dönüştüğü kabul edilerek, çıkış suyundaki mikrobiyal ürünlerden kaynaklanan organik azot (org N) ihmal edilerek TN bileşenlerinin yukarıda sayılan azot formlarından oluştuğu kabul edilmiştir.



**Şekil 5.** Çalışma süresince KOI değerleri ve giderim yüzdeleri

Amonyum derişimleri çıkış suyundaki değişimleri ve NH<sub>4</sub>-N giderim yüzdeleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Giriş azot derişimi üre ve amonyak azotundan kaynaklandığı için toplam Kjeldahl azot (TKN) olarak ifade edilmiştir.

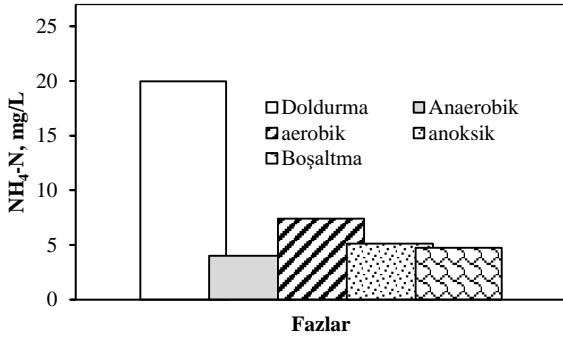


**Şekil 6.** Çalışma süresince giriş TKN ve çıkış NH<sub>4</sub>-N değerleri ve giderim yüzdeleri

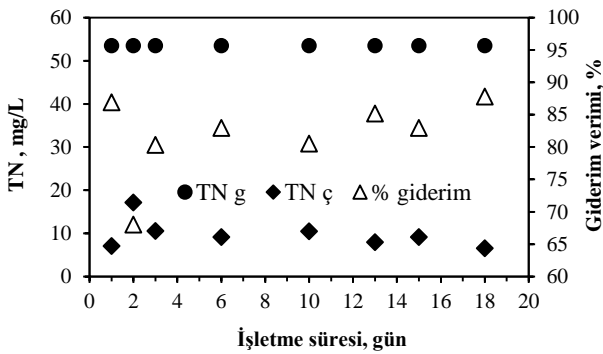
Amonyum çıkış değerleri 0.517-11.1 mg/L elde edilirken giderim verimi ise %79.2-99.2 arasında değişmiştir. Reaktörde  $\text{CO} > 3$  mg/L ve  $\text{ÇY} > 10$  olduğu için şartlar nitrifikasyon için uygun olup sistemde amonyum nitrifiye edilebilmiştir. Çalışma boyunca zaman zaman gün içerisindeki döngülerin faz sonundan örneklemeler yapılarak azot türleri ve fosfat fosforu izlenmiştir. Fazlardaki  $\text{NH}_4\text{-N}$  değişimi ise Şekil 7’de gösterilmiştir. Anaerobik faz sonunda en düşük 4.0 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$  derişimi elde edilmesinin nedeni KOI giderimine bağlı olarak mevcut amonyumun sentezde kullanımı, aerobik fazda yükselmesinin nedeni ise ürenin hidrolizi ile oluşan amonyağın yeterince nitrifiye edilememesi, anoksik ve çıkışta daha düşük değerlerin olması sentezde kullanımının devam etmesi olabilir.

TN çıkış değerleri ve giderim yüzdeleri Şekil 8’de gösterilmektedir. TN giderimi %68.0-87.8 arasında elde edilirken, çıkış değerleri ise 6.52 -17.1 mg/L arasında değişmiştir. Sytek-Szmeichel, vd. [14] çalışmasında TN giderimi %99.3 elde edilmiştir. Chang ve Hao [15] çalışmasında ise TN giderimi %60 elde edilmiştir.

Fazlardaki  $\text{NO}_2\text{-N}$  değişimi Şekil 9’da,  $\text{NO}_3\text{-N}$  değişimi ise Şekil 10’da gösterilmiştir. Aerobik aşamada nitrifikasyon sonunda var olan  $\text{NH}_4\text{-N}$  büyük bir kısmı  $\text{NO}_2\text{-N}$  ye ve az bir kısmı ise  $\text{NO}_3\text{-N}$  dönüştürülmüştür. Sonraki fazlarda  $\text{NO}_2\text{-N}$  düşmüştür. Bunun nedeni sonraki fazlarda kalan oksijen ile  $\text{NO}_3\text{-N}$  dönüşmesi ve/veya anammox bakterileri tarafından  $\text{NO}_2\text{-N}$ ’nin elektron alıcı olarak kullanılıp  $\text{N}_2$  gazına dönüşmesi ile açıklanabilir.



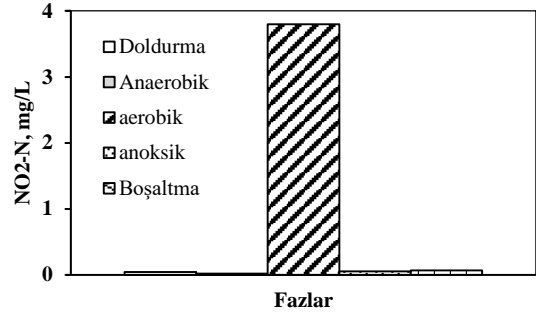
Şekil 7. Fazlardaki  $\text{NH}_4\text{-N}$  değişimi



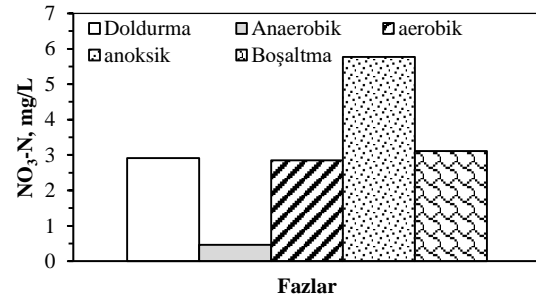
Şekil 8. Çalışma süresince çıkış TN değerleri ve giderim yüzdeleri

Sentetik atıksuya  $\text{PO}_4$  olarak verilen P’un çıkış değerleri ve giderim yüzdeleri Şekil 11’de verilmiştir. Fazlardaki  $\text{PO}_4\text{-P}$  değişimi ise Şekil 12’de gösterilmiştir.

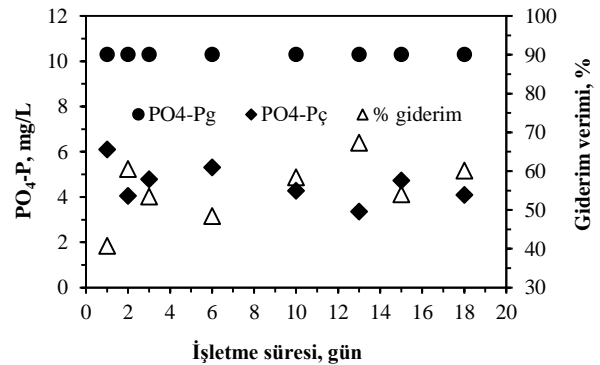
$\text{PO}_4\text{-P}$  giriş değerleri yaklaşık 10 mg/L iken çalışmada çıkış değerleri 3.37- 6.10 mg/L arasında elde edilmiştir. % 40.8-67.3 arasında giderim sağlanmıştır. TP giderimi benzer bir çalışmada [14] %91.7 diğer çalışmada [15] ise %21 elde edilmiştir. Fosfat salınımı anaerobik fazda en yüksek olur. Anaerobik aşamada salınan Orto-P derişimi giriş atıksuyunda bulunan derişimin 2-3 katına çıkabilir. Anaerobik fazda fosfor salınımı bu yolla fosfor gideriminin bir göstergesi olarak görülür [4]. Daha önce yapılan çalışmalarda [3] tarafından gerçekleştirilen tek kademeli EBAÇ sistemi ile evsel atıksuyun arıtımında optimize edilmiş şartlarda %92 KOI, %91 BOİ, %90 AKM, %88 TN ve %50 TP giderim verimlerine ulaşılmıştır.



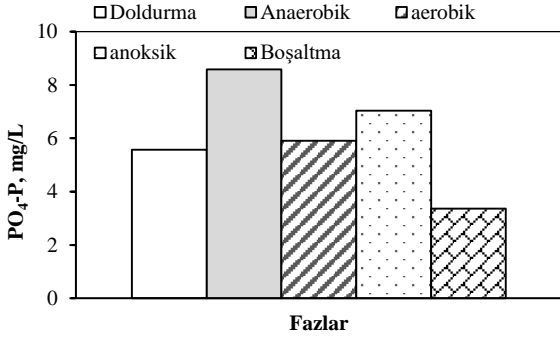
Şekil 9. Fazlardaki  $\text{NO}_2\text{-N}$  değişimi



Şekil 10. Fazlardaki  $\text{NO}_3\text{-N}$  değişimi



Şekil 11. Çıkış  $\text{PO}_4\text{-P}$  değerleri ve giderim yüzdeleri

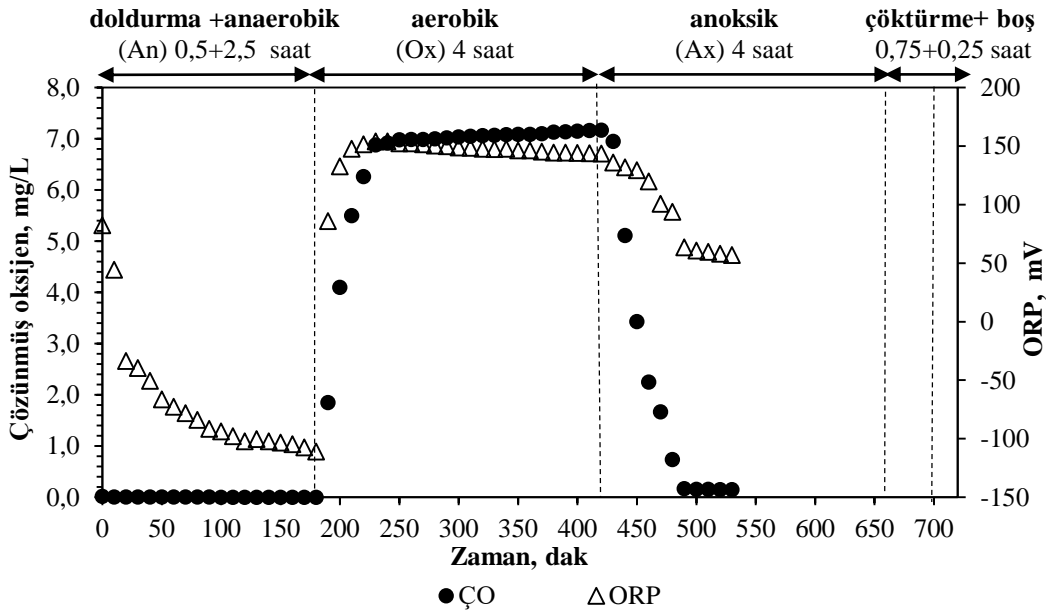


Şekil 2. Fazlardaki PO<sub>4</sub>-P değişimi

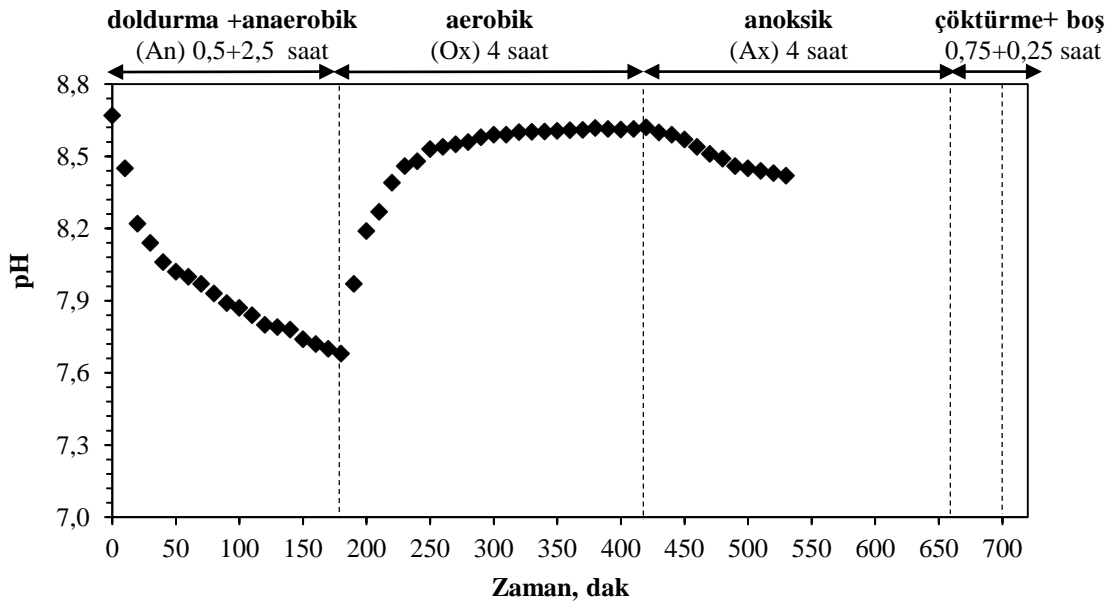
Yine bir çalışmada [7] AKR-EBAÇ reaktöründe yeni geliştirilen petek şeklinde bir destek materyali ile eş zamanlı nitrifikasyon, denitrifikasyon ve P giderimi araştırılmıştır. 233 gün işletilen lab ölçekli ardışık kesikli reaktörde % 94.5 azot, ve >%99.0 fosfor giderimi elde edilebilmiştir. Çalışmada yeni geliştirilen destek materyalinin de yardımıyla eş zamanlı etkin nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi yapılabileceğini göstermiştir.

### 3.3 Reaktör fazlarında pH, ÇO ve ORP değişimleri

Çalışma sonunda kararlı çıkış değerlerinin alındığı bir döngü süresince reaktörde ÇO, ORP ve pH, değişimi izlenmiştir. Döngü süresince Şekil 13'te ÇO ve ORP ve Şekil 14'te pH değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada (%40 doluluk oranında) döngü süresince ÇO ve ORP değişimleri



Şekil 4. Çalışmada (%40 doluluk oranında) döngü süresince pH değişimi

Reaktör, kesikli işletildiği için her besleme döngüsü boyunca reaktör içeriği sürekli değişkenlik gösterir. Doldurma ve anaerobik fazlarda, sistem oksijenle beslenmediği için tam anlamıyla anaerobik koşullar sağlanmıştır. Bu aşamada yapılan karıştırma işlemiyle birlikte, fosfor salınımı için elverişli bir ortam oluşmuş ve bu, pH değerlerinin belirgin bir şekilde değişim göstermesine neden olmuştur. Başlangıçta 7.8 olan pH değeri, 30 dakika içinde yaklaşık 6.7 civarına düşmüştür. En düşük seviye olan 6,68 ise 40. dakikada kaydedilmiştir. Aynı süre içinde ORP (Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli) değerleri de -15 mV'dan, tam anaerobik koşulların istikrarlı bir göstergesi olan -436 mV'a düşmüştür. pH ve ORP değerlerindeki bu düşüşler, PO4-P (fosfat) salınımının bu süre zarfında tamamlandığını işaret eder.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada hareketli destek materyali kullanılarak oluşturulan klasik aktif çamur proseslerine alternatif bir reaktör olan EBAÇ-AKR sisteminde KOI açısından orta, N ve P açısından yüksek derişimlere sahip evsel atıksuları temsil eden sentetik atıksuda C, N ve P giderimleri araştırılmıştır. Çalışmada giriş suyu KOI:TN:PO4-P oranları sırasıyla ortalama 507:52.9:10.7 olan atıksu %40'lik destek materyali doluluk oranı, 36 saatlik HBS, 11.8 günlük ÇY, günde 2 döngü ile işletilen reaktörde KOI, TN ve PO4-P giderimleri sırasıyla %92.7, %79.2 ve % 59.3 olarak elde edilmiştir.

N, P ve organik madde seviyeleri sürekli olarak değişkenlik gösterdiğinden, bu parametrelerin anlık değişimlerini takip etmek hem pratik olmayabilir hem de maliyetli bir süreç olabilir. Ancak, reaktör içindeki pH, ÇO ve ORP değerleri gibi parametreler, online sensörler yardımıyla sürekli olarak ölçülüp izlenebilir. Bu parametrelerin değişimi, ortamda gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar hakkında önemli bilgiler sunar. Bu değişkenlerin izlenmesi, nitrifikasyon ve fosfor biriktirme organizmalarının (PAO) toplam popülasyon içindeki paylarıyla ilişkilendirilerek, her bir aşamadaki toplam reaktör bekleme sürelerinin kısaltılmasına yönelik bir imkân sağlamaktadır. Bu, sistemin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Bu verilerin analizi ve sürekli izlenmesi sayesinde, biyokimyasal tepkimelerin dinamiklerini daha iyi anlayabiliriz. Bu da nitrifikasyon ve fosfor biriktirme gibi önemli süreçlerin verimini artırmak ve istenmeyen sonuçları öngörmek için kritik bir avantaj sağlar. Sonuç olarak, online sensörler aracılığıyla reaktör içindeki pH, ÇO ve ORP değerlerinin izlenmesi, su arıtım sistemlerinin optimize edilmesi ve daha verimli hale getirilmesi için önemli bir araçtır. Bu sayede, sürekli değişen parametrelerin etkilerini anlamak ve biyokimyasal reaksiyonların yönetimini geliştirmek mümkün olabilir.

EBAÇ-AKR reaktörü, evsel atıksuların etkili şekilde arıtılmasını sağlayan bir sistemdir. Ancak bu çalışmada da olduğu gibi fosfor giderimi kritik bir faktördür. Bu nedenle, sistemin fosfor giderim verimini artırmak ve garanti altına almak için kimyasal fosfor giderim ünitesinin alternatif olarak eklenmesi önerilir. Mevcut klasik aktif çamur

sistemlerinin içerisine destek materyali ekleyerek EBAÇ sistemleri elde etmek su kalitesinin korunmasında sürdürülebilir bir teknoloji olma potansiyeli bulunmaktadır.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %10

#### Kaynaklar

- [1] Y. Shao, Y. Shi, A. Mohammed and Y. Liu, Wastewater ammonia removal using an integrated fixed-film activated sludge-sequencing batch biofilm reactor (IFAS-SBR): Comparison of suspended flocs and attached biofilm. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 116, 38-47, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.026>.
- [2] H. Eslami, M. R. Samaei, E. Shahsavani and A. A. Ebrahimi, Biodegradation and fate of linear alkylbenzene sulfonate in integrated fixed-film activated sludge using synthetic media. *Desalination and Water Treatment*, 92, 128-133, 2017. [10.5004/dwt.2017.21432](https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21432).
- [3] N. K. Singh and A. A. Kazmi, Environmental performance and microbial investigation of a single stage aerobic integrated fixed-film activated sludge (IFAS) reactor treating municipal wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 2225-2237, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.04.001>.
- [4] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, F. Burton, M. Abu-Orf, G. Bowden and W. Pfrang, *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. 5th edn, McGraw-Hill, Inc., New York, USA., Fifth ed. McGraw-Hill Education, 2014.
- [5] X. Xu, G.-h. Liu, Q. Li, H. Wang, X. Sun, Y. Shao, J. Zhang, S. Liu, F. Luo and Q. Wei, Optimization nutrient removal at different volume ratio of anoxic-to-aerobic zone in integrated fixed-film activated sludge (IFAS) system. *Science of the Total Environment*, 795, 148824, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148824>.
- [6] D. Wang, J. Tao, F. Fan, R. Xu and F. Meng, A novel pilot-scale IFAS-MBR system with low aeration for municipal wastewater treatment: Linkages between nutrient removal and core functional microbiota. *Science of The Total Environment*, 776, 145858, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145858>.
- [7] T. Wu, J. Ding, S.-S. Yang, L. Zhong, B.-F. Liu, G.-J. Xie, F. Yang, J.-W. Pang and N.-Q. Ren, A novel cross-flow honeycomb bionic carrier promotes simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal in IFAS system: Performance, mechanism and keystone species. *Water Research*, 225, 119132, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119132>.
- [8] W. Zhao and M. Bai, Upgrading integrated fixed-biofilm activated sludge (IFAS) system into separated two-sludge denitrifying phosphorus removal system: Nutrient removal and microbial structure.

- Chemosphere, 307, 135918, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135918>.
- [9] Z. Ayman and M. Işık, Pharmaceutically active compounds in water, Aksaray, Turkey. CLEAN–Soil, Air, Water, 43(10), 1381-1388, 2015, <https://doi.org/10.1002/clen.201300877>.
- [10] J. Gu, G. Xu and Y. Liu, An integrated AMBBR and IFAS-SBR process for municipal wastewater treatment towards enhanced energy recovery, reduced energy consumption and sludge production. Water Research, 110, 262-269, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.031>.
- [11] K1 PE03 biyofilm destek materyali özellikleri <https://turkish.alibaba.com/p-detail/MBBR-1600988596538.html?spm=a2700.details.0.0.715d5a87E4k8qZ> Erişim tarihi 21 Haziran 2023.
- [12] APHA/AWWA/WEF, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Rodger B. Baird, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice (Editors), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, Washington, D.C., American Public Health Association (APHA), 2017.
- [13] T.C. Resmi Gazete, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (26047), 08.01.2016. 2006.
- [14] K. Sytek-Szmeichel, J. Podedworna and M. Zubrowska-Sudol, Efficiency of wastewater treatment in SBR and IFAS-MBSBBR systems in specified technological conditions. Water Science and Technology, 73(6), 1349-1356, 2016. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.611>.
- [15] C. H. Chang and O. J. Hao, Sequencing batch reactor system for nutrient removal: ORP and pH profiles. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process Environmental and Clean Technology, 67(1), 27-38, 1996. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199609\)67:1%3C27::AID-JCTB430%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199609)67:1%3C27::AID-JCTB430%3E3.0.CO;2-2).

