

ARDIŞIK ZAMANLI KESİKLİ BİYO-REAKTÖRDE BİYOLOJİK NUTRİENT GİDERİMİNDE HİDROLİK ALIKONMA SÜRESİNİN OPTİMİZASYONU

*Ahmet UYGUR**

*Fikret KARGI***

*Hüseyin Savaş BAŞKAYA**

Özet: Ardışık kesikli işletme ile sentetik atıksudan nutrient giderimi farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çalışıldı. Nutrient giderme prosesi anaerobik (An), anoksik (Anok), oksik (Ok), anoksik (Anok), oksik (Ok) ve çökeltme fazlarını içerir. Her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları değişirken çamur yaşı 10 günde sabit tutulmuştur. KOİ, azot (NH₄-N, NO₃-N) ve fosfat (PO₄-P) gideriminde her bir basamağın hidrolik alıkonma sürelerinin etkileri araştırılmıştır. Maksimum nutrient giderimiyle sonuçlanan optimum alıkonma zamanı bulunmuştur. En yüksek gözlenen organik karbon, azot (NH₄-N ve NO₃-N) ve fosfat (PO₄-P) giderme verimleri sırasıyla %96, %87, %81 ve %90 olup 2/1/4,5/1,5/1,5 saatlerde An/Anok/Ok/Anok/Ok işletimiyle sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik alıkonma süresi, Nutrient giderimi, Ardışık kesikli reaktör.

Optimization of Hydraulic Residence Time in Biological Nutrient Removal in a Sequencing Batch Reactor

Abstract: Nutrient removal from synthetic wastewater by sequencing batch operation was studied at different hydraulic residence times. The nutrient removal process was consisted of anaerobic (An), anoxic (Ax), oxic (Ox), anoxic (Ax), oxic (Ox) and settling phases. Sludge age (SRT) was kept constant at 10 days, while hydraulic residence times (HRT) of each phase was varied. Effects of hydraulic residence time of each phase on COD, nitrogen (NH₄-N, NO₃-N) and phosphate (PO₄-P) removal were investigated. Hydraulic residence time of each phase was varied at five different levels and the optimal residence time resulting in maximum overall nutrient removal was determined. The highest observed organic carbon, nitrogen (NH₄-N and NO₃-N) and phosphate (PO₄-P) removal efficiencies were 96%, 87%, 81% and 90%, respectively which was obtained with An/Ax/Ox/Ax/Ox phase residence times of 2/ 1/ 4.5/ 1.5/ 1.5 hours.

Keywords: Hydraulic residence time, Nutrient removal, Sequencing batch reactor.

GİRİŞ

Ardışık kesikli reaktörler atıksulardan organik karbon ve fosfat gidermek için kullanılmışlardır.¹⁻⁹ Doğal su sistemlerine olan aşırı nutrient deşarjlarındaki son düzenlemeler organik karbon ve fosfat giderimine birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerini başarmak için ardışık kesikli reaktör sistemlerinin modifikasyonlarıyla sonuçlanmıştır. Ardışık kesikli reaktör arıtma sistemi doldurma, reaksiyon, çöktürme, boşaltma ve hazırlık basamaklarını içeren bir ardışık işletmeyi içerir¹⁰. Biyolojik nutrient giderimi istenildiği zaman, reaksiyon çevrimindeki basamaklar belli sayı ve sırada anaerobik, anoksik ve oksik (havalı) fazları sağlamak için ayarlanır.

Literatürde, atıksulardan nutrient giderimi konusunda çok sayıda çalışma mevcuttur¹¹⁻²³. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Munoz-Colunga, A. ve Gonzalez-Martinez, S⁸ ardışık kesikli biyofilm reaktörde fosfor giderimi amacıyla yaptıkları çalışmada değişik işletme parametrelerinin atıksudan nutrient (C,N,P) giderimine etkilerini 400 günlük işletme süresinde incelemişlerdir. Arıtma çevrimi doldurma, anaerobik, aerobik ve boşaltma fazlarından olmak üzere dört fazdan oluşmuştur. 8 ve 12 saatlik çevrimler farklı anaerobik/aerobik zaman oranları ile test edilmiştir. En yüksek KOİ ve PO₄-P gide-

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.

** Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.

rim hızı 12 saatlik çevrimle ve 37/63 anaerobik/aerobik süre oranında elde edilmiştir. En yüksek fosfat giderimi ve nitrifikasyon verimi 3 g KOİ/m².gün'lük organik yükleme hızında elde edilmiştir.

A. K. Umble ve L. H. Ketchum, Jr.¹² evsel bir atıksuyun biyolojik arıtımı için ardışık kesikli reaktörde çalışmışlardır. 12 saatlik toplam çevrim zamanında BOD₅, TSS ve NH₃-N giderimleri sırasıyla %98, %90 ve %89 giderme verimleriyle sonuçlanmıştır. Ardışık kesikli reaktörün işletim stratejisi kabul edilebilir N/P oranının 16 ile 23 arasında değiştirilerek, iyi çıkış değeri elde edilmesi amaçlanmıştır.

Chang, C.H. ve Hao, O. J.¹³ ardışık kesikli reaktörün performansını etkileyen proses parametrelerini tanımlamak için nutrient giderimini incelemişlerdir. 6 saatlik çevrim zamanında 10 günlük çamur yaşında KOİ, toplam azot ve fosfat giderim verimlerini sırasıyla %91, %98 ve %98 bulmuşlardır.

Demuyneck, C¹⁹ ve arkadaşları nutrient giderimi için ardışık kesikli reaktör kullanmışlardır. Tamamıyla azot giderimi sağlamak için anoksik faz boyunca ek KOİ ilavesi gerektiği bulunmuştur. Ardışık kısa süreli aerobik/anoksik fazların anoksik fazı takip eden klasik aerobik fazdan daha iyi olduğu bulunmuştur.

Andreottola ve arkadaşları²⁰ çıkış azot konsantrasyonunu minimize etmek için çevrim süresi ve faz dağılımının optimizasyonu için bir algoritma geliştirmişlerdir. Optimizasyon sonuçları anoksik fazda 3,3 saat, anaerobik fazda 4,2 saat olmuştur. Çıkış nitrat, nitrit, amonyak konsantrasyonları sırasıyla 2,9 mg/l, 0,04 mg/l ve 0,06 mg/l bulunmuştur.

Ho Nam Chang ve arkadaşları²¹ AKR'ün proses performanslarını etkileyen önemli parametreleri tanımlamak için 30 litrelik küçük ölçekli AKR sisteminde deneysel çalışmalar yapmışlardır. 100, 200 mg/l'lik BOİ derişimlerinde değişik hidrolik alıkonma süreleri denenerek azot ve fosforun optimum giderim verimleri bulunmuştur. 1-3-2 saatlik anaerobik-aerobik-anoksik çevrimde 6 saatlik çevrim zamanı ve 200 mg/l BOİ yüklemesinde, azot ve fosfor giderimi açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Macro A. Garzon-Zuniga ve Simon Gonzalez-Martinez²² anaerobik/aerobik/anoksik/aerobik fazlardan oluşan bir işletme stratejisi kullanarak ardışık zamanlı kesikli biyofilm reaktörde azot ve fosfor giderimini incelemişlerdir. 615 günlük işletmeden sonra, optimum işletme şartları sağlanarak en yüksek nutrient giderim yüzdeleri elde edilmiştir. Sistemde KOİ, fosfat ve amonyum azotu giderim verimleri sırasıyla %89±1, %75±15 ve %87±10 bulunmuştur. Aerobik fazdan sonra anoksik faz kullanıldığında denitrifikasyon daha etkin olarak sağlanmıştır.

Sang-Il Lee ve arkadaşları²³ AKR ile nutrient gideriminde asetat yerine fermente edilmiş hayvan atıkları kullanmışlar. Hayvan atığı kullanıldığında elde edilen sonuçlarda önemli bir değişiklik gözlenmiştir. İki durumda da %90 toplam azot giderimi ve %89 toplam fosfor giderimi sağlanmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmaların hiçbirinde beş basamaklı ardışık kesikli işletmede nutrient giderim performansında her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanının bir fonksiyonu olarak incelenmemiştir. Böylece, bu çalışmanın amacı nutrient giderimi (C, N, P) için kullanılan beş basamaklı ardışık kesikli reaktörün performansı üzerinde herbir çevrimin hidrolik alıkonma zamanının etkilerini sistematik olarak araştırmaktır. Çevrimler farklı hidrolik alıkonma zamanlarında anaerobik-anoksik-oksik-anoksik ve oksik fazları içermiştir. Maksimum toplam nutrient (KOİ, N, P) giderimiyle sonuçlanan optimum hidrolik alıkonma zamanı hesaplanmıştır. Tüm işletim boyunca nutrient konsantrasyon dağılımları da herbir deney için belirlenmiştir.

MATERYAL VE METODLAR

Deneyel Sistem

Deneyel sistem şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. 5 litre hacmindeki fermentör (Bioflo IIC, New Brunswick) ardışık zamanlı kesikli biyo-reaktör (AKR) olarak kullanılmıştır. Fermentör mikroışilemciler tarafından kontrol edilerek, havalandırma, karıştırma, pH ve çözünmüş oksijen kontrolü yapılmıştır. Havalandırma bir hava pompası ve difüzör kullanılarak sağlanmıştır. Karıştırma hızı 25-200 devir/dakika arasında değiştirilmiş, nutrient ortamının pH ve çözünmüş oksijen değerleri problemlerle sürekli gözlenmiştir.

Atıksu Bileşimi

Deneyel çalışmalarda kullanılan sentetik atıksu, glükoz, sodyum asetat, NH₄Cl, KH₂PO₄, MgSO₄.7H₂O, NaHCO₃ ve belli konsantrasyonlarda iz mineraller, NaCl (100 mg/l), KCl (20 mg/l),

CaCl₂.2H₂O (50 mg/l) ve FeCl₃.6H₂O (50 mg/l) içermekte olup besleme atıksuyunda KOİ/N/P=100/5/1,5 olarak sabit tutulmuştur. Besleme atıksuyu içerisinde KOİ, azot ve fosfor konsantrasyonları KOİ₀=1000 mg/l, N_T=50 mg/l ve P_T=15 mg/l'dir. Sentetik atıksuda MgSO₄ ve NaHCO₃ konsantrasyonları 100 mg/l ve 710 mg/l olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Organizmalar

Aşı kültürü, karbonlu bileşikleri oksitleme yeteneğine sahip heterotrofik organizmalar; denitrifikasyon ve ototrofik nitrifikasyon organizmaları; asit oluşturan anaerobik organizmalar ve aşırı fosfat biriktiren organizmaların (*Acinetobacter sp.*) karışımından oluşmaktadır. Nitrifikasyon organizmaları (*Nitrosomonas ve Nitrobacter*) Clemson University, SC, USA'dan sağlanmıştır. Karbon ve azot giderimi için heterotrofik organizmalar İzmir'deki Çiğli kentsel atıksu arıtma tesisinden; aşırı fosfat biriktiren *Acinetobacter calcoaceticus* (NRRL-552) USDA, National Research Laboratories, Peoria, IL, USA'dan sağlanmıştır. Deneysel çalışma boyunca aşı kültürü olarak bu kültürlerin karışımı kullanılmıştır.

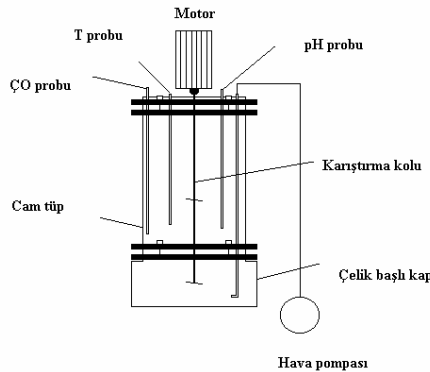
İşletme Koşulları

Ardışık kesikli işletmeye başlamadan önce, reaktör sentetik atıksuyla doldurulup yoğun mikroorganizma kültürü ile aşılanıp, sistem birkaç gün kesikli işletilerek organizma derişiminin artması sağlandı. Bu sürenin sonunda organizmalar bir saat kadar çöktürülerek üst taraftaki sıvı alındı ve reaktöre nutrient ortamı ilavesi ile işletme başlatıldı. Anaerobik şartları sağlamak için, anaerobik fazda ortamdan azot gazı geçirildi. Aerobik fazda ortam etkin olarak havalandırıldı (ÇO > 2 mg/l). Anoksik fazda ise ortamdan hiçbir gaz geçirilmeden yavaş karıştırıldı. Anaerobik ve anoksik basamaklarda karıştırma hızları sırasıyla 25-50 dev/dak'da sabit tutulurken, oksik fazda karıştırma hızı 200 dev/dak'ya yükseltildi. Her basamağın başında ve sonunda reaktörden örnekler alınarak analiz edildi. Ardışık kesikli işletmenin sonunda organizmalar yarım saat çöktürüldü ve üst kısımdaki atıksu uzaklaştırıldı. Çöken organizmalar bir sonraki arıtma işlemi için kullanıldı. Karışık kültürün bir kısmı istenilen seviyede çamur yaşı sağlamak için, günlük olarak reaktörden sıvı hacminin 1/10'u kadarı uzaklaştırıldı. Sıcaklık ve pH; T = 25 °C ve pH= 7-7,5'da kontrol edildi. Oksik fazdaki ÇO konsantrasyonu 2 mg/l'nin üzerinde olup, anaerobik ve anoksik fazlardaki ÇO konsantrasyonları sırasıyla 0,1 mg/l ve 0,5 mg/l'dir.

Analitik Yöntemler

Her basamağın başında ve sonunda alınan örnekler organizmaları gidermek için yarım saat süre ile 6000 devir/dakika'da santrifüjlenmiştir. Berrak üst sıvı KOİ, amonyum azotu, nitrat azotu ve fosfat fosforu tayini için analizlenmiştir. Bu analizlerde standart analiz kitleri (Merck Spectroquant) ve spektrometrik metodlar kullanılmıştır. Toplam katı (TK) ve toplam askıda katılar standart metodlar kullanılarak saptanmıştır (APHA, 1989)²⁴. Ölçümlerde standart sapma % 5'in altındadır.

Biyokütle konsantrasyonlarını belirlemek için örnekler 0.45 mikronluk mikropor filtre kağıdından filtre edilmiş ve 105 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra tartılarak bulunmuştur. pH ve ÇO ölçümleri ilgili problemler kullanılarak sağlanmıştır.



Şekil 1.

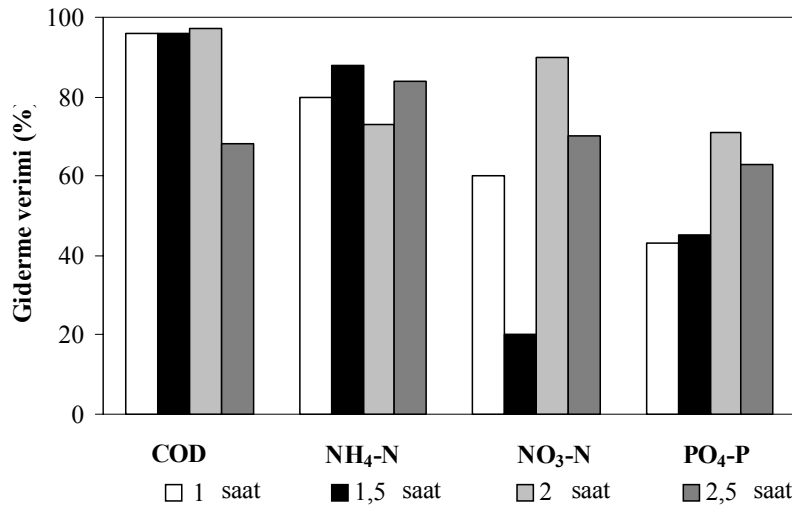
Ardışık kesikli reaktörün şematik gösterilimi

DENEYSEL BULGULAR

Ardışık kesikli işletme beş basamak içermiştir. Her bir basamağın optimum alıkonma zamanı belirleneceği zaman, diğer basamakların alıkonma zamanları sabit tutulurken ilgili basamağın alıkonma süreleri değiştirilmiştir.

Anaerobik basamak

Anaerobik basamakta KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu giderme verimlerinin farklı hidrolik alıkonma süreleri ile değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Anaerobik basamağın hidrolik alıkonma süreleri 1 ile 2,5 saatler arasında değiştirilirken, diğer anoksik I, oksik I, anoksik II ve oksik II basamaklarının süreleri sırasıyla 1,5 saat, 4,5 saat, 1,5 saat ve 1,5 saat’de sabit tutulmuştur. KOİ giderme verimi 1,5-2 saatler arasında yaklaşık %96 maksimum giderme verimiyle sonuçlanırken 2,5 saatlik alıkonma süresinde %68’lere düşmüştür. Amonyum azotu giderme verimi 1,5 saatlik alıkonma süresinde maksimum %88 olmuştur. Nitrat azotu giderme verimi açısından 2 saatlik alıkonma zamanı %90 maksimum giderme verimiyle sonuçlanmıştır. Fosfat fosforu giderme verimi hidrolik alıkonma süresiyle artmış, 2 saatlik alıkonma zamanında yaklaşık %71’ler de maksimum değere ulaşmıştır. Bu sonuçların ışığında anaerobik basamak için en uygun hidrolik alıkonma süresi 2 saat seçilmiş tüm sistemin KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P giderme verimleri sırasıyla %96, %88, %90 ve %71 bulunmuştur. Anaerobik basamak için reaktördeki biyokütle miktarı 1159 mg/l ile 1250 mg/l arasında farklı hidrolik alıkonma zamanlarında değişiklik göstermiştir.



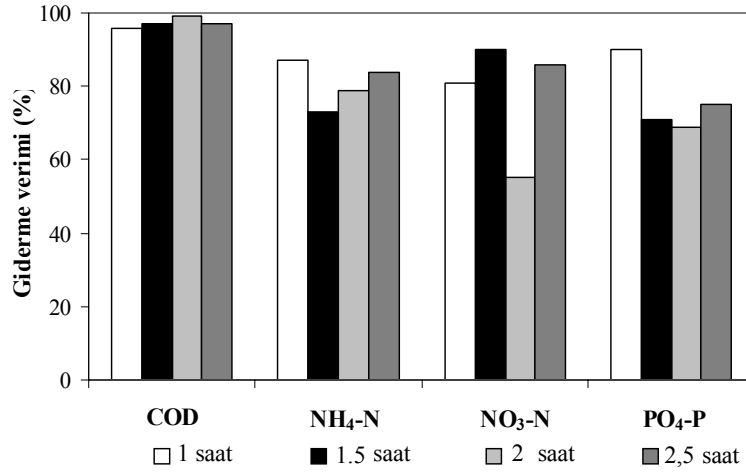
Şekil 2.

Anaerobik basamağın farklı hidrolik alıkonma zamanlarında nutrient giderme verimleri

Birinci anoksik basamak

Birinci anoksik basamakta KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu’nun hidrolik alıkonma süreleri ile değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu basamağın hidrolik alıkonma süreleri 1 ile 2,5 saatler arasında değiştirilirken anaerobik/oksik I/anoksik II/ oksik II basamaklarındaki hidrolik alıkonma süreleri 2 saat, 4,5 saat, 1,5 saat ve 1,5 saat olarak sırasıyla sabit tutulmuştur. Anoksik basamağın başlıca fonksiyonu denitrifikasyon ve KOİ giderimi sağlamaktır. 1 ile 2,5 saatlerdeki hidrolik alıkonma sürelerinde tüm sistemin KOİ giderme verimi %96 ile %98 arasında değişmiştir. Amonyum azotu giderme verimi 1,5 saatlik hidrolik alıkonma zamanında minimum değerlerde iken 1 saatlik alıkonma zamanında maksimum %87 olmuştur. Nitrat azotu giderme verimi 1,5 saatlik zamanda maksimum %90 olmuş, 2 saatlik alıkonma zamanında minimum değer göstermiştir. 1 saatlik hidrolik alıkonma zamanında maksimum fosfat fosforu giderme verimi %90’lar da sonuçlanmıştır. Bu sebeple hemen hemen tüm nutrient giderme verimlerinde 1 saatlik hidrolik alıkonma süresinde maksimum değerde olmuştur, birinci anoksik basamak için en uygun hidrolik alıkonma süresi 1 saat seçilmiştir. Toplam KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu giderme verimleri 1 saatlik hidrolik alıkonma süresinde sırasıyla %98, %87, %90 ve %90 bulunmuştur.

Birinci anoksik basamaktaki farklı hidrolik alıkonma zamanları için reaktördeki biyokütle miktarı 1220 mg/l ile 1340 mg/l arasında değişmiştir.

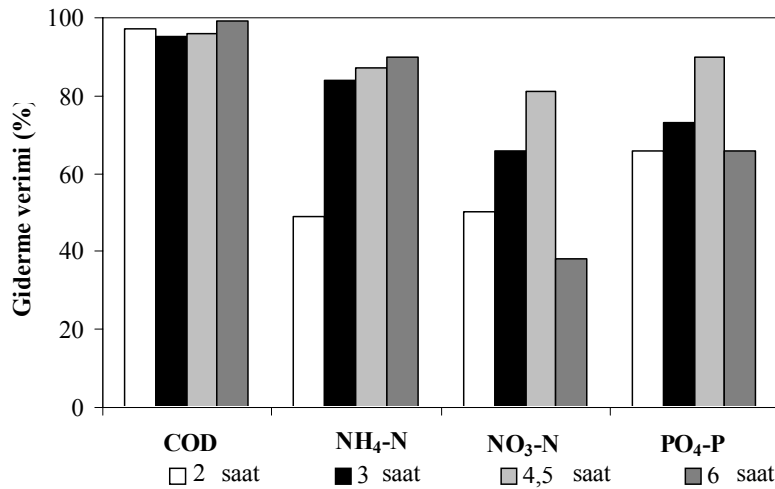


Şekil 3.

Birinci anoksik basamağın farklı hidrolik alıkonma zamanlarında nutrient giderim verimleri

Birinci oksik(havalı) basamak

Birinci oksik basamakta KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu'nun hidrolik alıkonma süreleri ile değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu basamağın hidrolik alıkonma süreleri 2 ile 6 saatler arasında değiştirilirken anaerobik/anoksik I/anoksik II/ oksik II basamaklarındaki hidrolik alıkonma süreleri 2 saat, 1 saat, 1,5 saat ve 1,5 saat olarak sırasıyla sabit tutulmuştur. Oksik basamağın başlıca amacı KOİ giderimi, nitrifikasyon ve aşırı fosfat kullanımı sağlamaktır. KOİ giderme verimi 4,5 saat ile 6 saat arasında maksimum %98'ler de az bir değişiklik göstermiştir. Amonyum azotu ve nitrat azotu giderme verimleri 4,5 saatlik alıkonma süresinde maksimum olup giderme verimleri sırasıyla %87 ve %81 bulunmuştur. 4,5 saatlik hidrolik alıkonma süresinde maksimum fosfat fosforu giderme verimi %90 ile sonuçlanmıştır. Böylece bu basamak için en uygun hidrolik alıkonma zamanı 4,5 saat seçilmiştir. KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu giderme verimleri sırasıyla %98, %87, %81 ve %90 bulunmuştur. Farklı hidrolik alıkonma zamanlarında birinci basamak için biyokütle konsantrasyonları 1350 mg/l ve 1450 mg/l arasında değişmiştir.

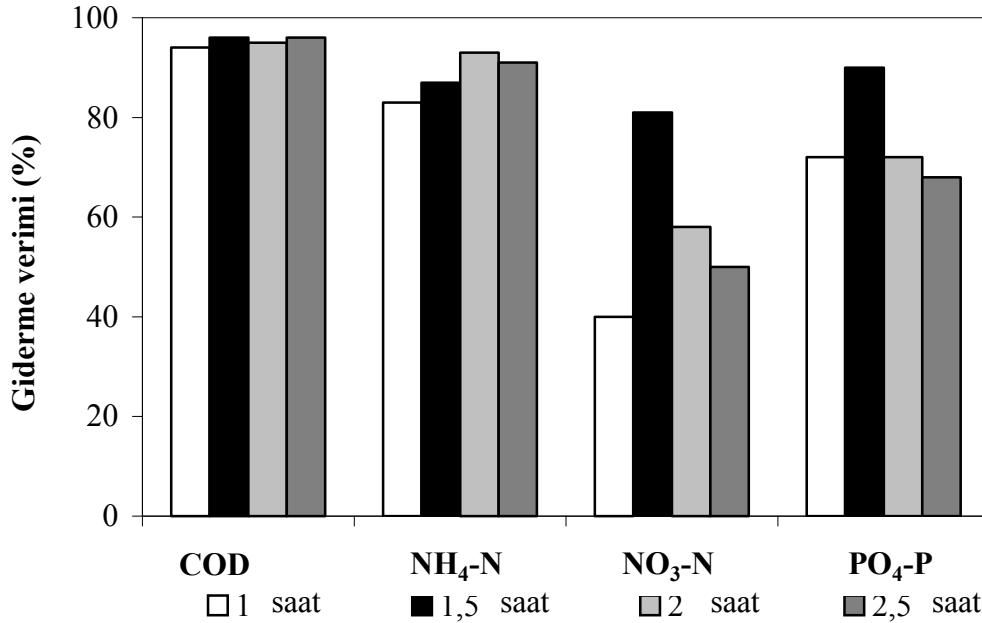


Şekil 4.

Birinci oksik basamak için farklı hidrolik alıkonma zamanlarında nutrient giderme verimleri

İkinci anoksik basamak

İkinci anoksik basamakta KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu'nun hidrolik alıkonma süreleri ile değişimi Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu basamağın hidrolik alıkonma süreleri 1 ile 2,5 saatler arasında değiştirilirken anaerobik/anoksik I/oksik I/ oksik II basamaklarındaki hidrolik alıkonma süreleri 2 saat, 1 saat, 4,5 saat ve 1,5 saat olarak sırasıyla sabit tutulmuştur. İkinci anoksik basamağın başlıca amacı KOİ giderimi sağlamak ve birinci oksik faz boyunca nitrifikasyon sonucu oluşan nitrat iyonları denitrifikasyon işlemiyle azot gazına dönüştürmektir. Tüm hidrolik alıkonma sürelerinde KOİ giderim verimleri %95 üzerinde olup birbirlerine yakındır. Amonyum azotu hidrolik alıkonma zamanı ile yükselmiştir. 1,5 saatlik alıkonma zamanında %87 gibi değere yakınken, 2 saatlik hidrolik alıkonma zamanında maksimum %90 olmuştur. Fosfat fosforu giderme verimi 1,5 saatlik alıkonma zamanında maksimum %90 değerinde olmuştur. Bu sonuçlardan, 1,5 saatlik alıkonma zamanı toplam KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P giderme verimleri açısından en uygun alıkonma zamanı seçilerek sırasıyla %97, %87, %81 ve %90 giderme verimleri elde edilmiştir. İkinci anoksik basamak için biyokütle konsantrasyonu 1450 mg/l ile 1600 mg/l arasında değişmiştir.

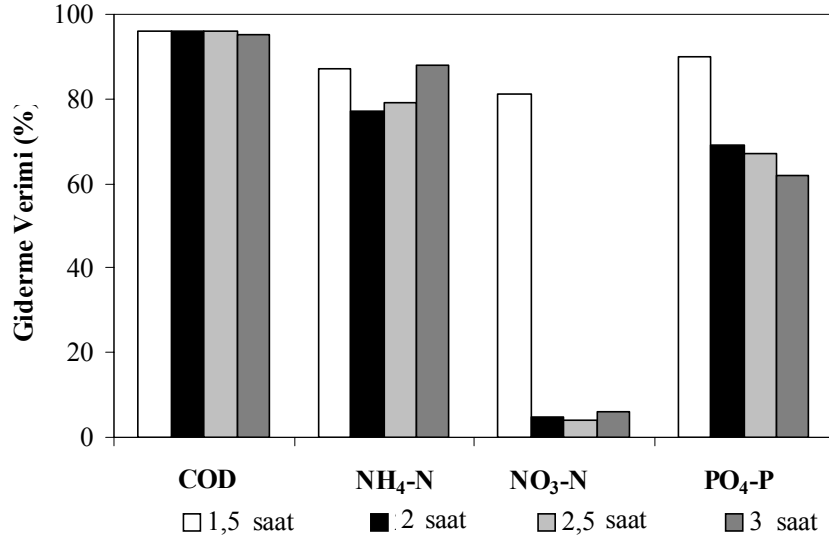


Şekil 5.

İkinci anoksik basamağın farklı hidrolik alıkonma zamanlarında nutrient giderim verimleri

İkinci oksik (havalı) basamak

İkinci oksik basamakta KOİ, amonyum-azotu, nitrat-azotu ve fosfat-fosforu'nun hidrolik alıkonma süreleri ile değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu basamağın hidrolik alıkonma süreleri 1,5 ile 3 saatler arasında değiştirilirken anaerobik/anoksik I/oksik I/ anoksik II basamaklarındaki hidrolik alıkonma süreleri 2 saat, 1 saat, 4,5 saat ve 1,5 saat olarak sırasıyla sabit tutulmuştur. Test edilen tüm hidrolik alıkonma zamanlarında KOİ giderme verimleri %95 üzerindedir. Amonyum azotu giderme verimi 1,5 saat ve 3 saatlerde maksimum %87 olmuştur. Nitrat azotu giderme verimi 1,5 saatte %81 maksimum değerinde iken hidrolik alıkonma zamanıyla azalmıştır. Fosfat fosforu giderme verimi 1,5 saatlik hidrolik alıkonma zamanında maksimum %90 değerinde olmuştur. Böylece bu basamak için en uygun hidrolik alıkonma zamanı 1,5 saat olup tüm sistemdeki KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P giderme verimleri sırasıyla %97, %87, %81 ve %90 bulunmuştur. Bu basamağın farklı hidrolik alıkonma zamanları için biyokütle konsantrasyonları 1350 mg/l ile 1450 mg/l arasında değişmiştir.



Şekil 6.

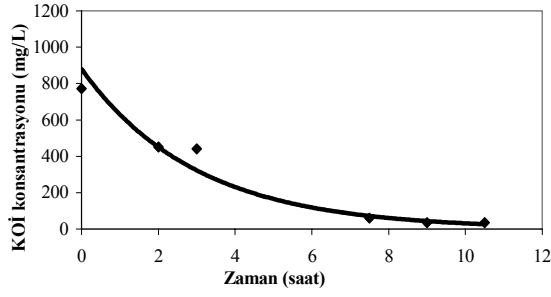
İkinci oksik basamağın farklı hidrolik alıkonma zamanında nutrient giderme verimleri

Optimum hidrolik alıkonma süresinde nutrient konsantrasyonu değişimleri

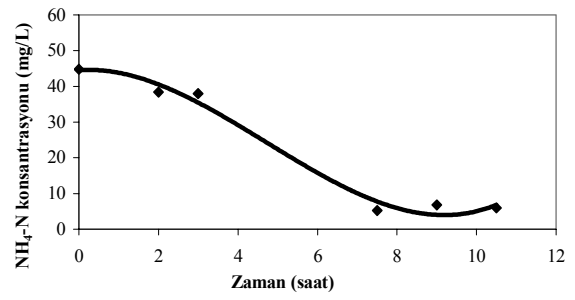
Ardışık kesikli sistem herbir basamağın optimum hidrolik alıkonma zamanında işletildiğinde zamanla nutrient (KOİ, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P) konsantrasyonlarının değişimi şekil 7’de gösterilmiştir. KOİ konsantrasyonu 8 saatlik süre içinde 40 mg/l değerinin altına düşmüştür. NH₄-N konsantrasyonu 10,5 saatlik işletme sonucunda 45 mg/l’den yaklaşık 6 mg/l değerine kadar azalmıştır. NO₃-N konsantrasyonu anaerobik/anoksik basamaklardaki denitrifikasyon sonucu ilk 3 saat içinde önemli ölçüde azalmış, oksik basamak boyunca amonyum iyonunun nitrifikasyonu sonucundan dolayı yükselmiştir. Nitrate-N konsantrasyonu ikinci anoksik basamağın sonunda minimum değere düşerek, 1 mg/l ile sonuçlanmıştır. İkinci oksik basamağın sonunda 1,4 mg/l’ye yükselmiştir. Fosfat-P konsantrasyonu ilk iki basamakta (anaerobik/anoksik) yaklaşık sabit olurken aşırı fosfat kullanımından dolayı oksik basamak boyunca önemli derecede azalmıştır. 10,5 saatlik işletme sonucunda çıkış fosfat-P konsantrasyonu 0,4 mg/l bulunmuştur. 5 basamaklı ardışık kesikli işletme sonucunda nutrient konsantrasyonları (KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P) herbir basamağın optimum değerlerinde işletildiğinde sırasıyla 34 mg/l, 6 mg/l, 1,4 mg/l ve 0,4 mg/l bulunmuştur.

SONUÇLAR

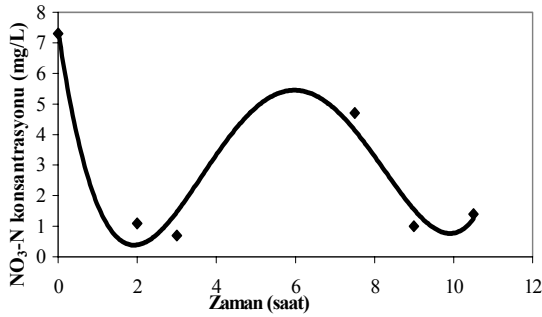
Sentetik atıksu beş basamaklı (anaerobik /anoksik I /oksik I /anoksik II /oksik II) işletme kullanılarak nutrient giderimi için ardışık kesikli olarak arıtıldı. Çamur yaşı 10 günde sabit tutulurken maksimum nutrient giderme verimleriyle sonuçlanan optimum hidrolik alıkonma zamanı elde etmek için her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları değiştirilmiştir. Anaerobik ve birinci anoksik basamaklar en iyi sonuçlar elde etmek için 2 saat ve 1 saatlik alıkonma zamanlarında işletildi. Fakat, birinci oksik basamağın hidrolik alıkonma zamanı önemli ölçüde KOİ giderimi, fosfat kullanımı ve nitrifikasyon sağlamak için yaklaşık 4,5 saatlik hidrolik alıkonma zamanı seçilmiştir. İkinci anoksik ve oksik basamaklar etkili nutrient giderimi için geniş aralıklı alıkonma zamanları gerektirmez. En son anoksik ve oksik basamaklar için 1,5 saatlik hidrolik alıkonma zamanları istenilen nutrient giderme verimleri için yeterlidir. Sistem 10 günlük çamur yaşında işletildiğinde anaerobik /anoksik I /oksik I /anoksik II / oksik II basamaklarındaki optimum hidrolik alıkonma zamanları sırasıyla 2 /1 /4,5 /1,5 /1,5 saatler olup KOİ, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P giderme verimleri sırasıyla %97, %87, %81 ve %90 bulunmuştur. Çıkış nutrient konsantrasyonları her bir basamağın optimum alıkonma zamanında işletildiğinde 10,5 saatlik işletim sonunda KOİ = 34 mg/l, NH₄-N = 6 mg/l, NO₃-N = 1,4 mg/l ve PO₄-P = 0,4 mg/l çıkış değerleriyle sonuçlanmıştır.



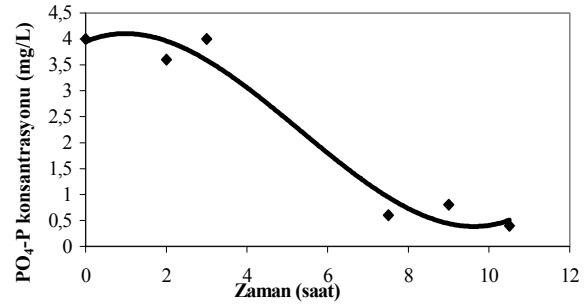
a.



b.



c.



d.

Şekil 7.

Ardışık kesikli işletmede optimum hidrolik alıkonma zamanında nutrient konsantrasyonu değişimleri

a. KOİ b. NH₄-N c. NO₃-N d. PO₄-P

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursa, Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü, Araştırma Fon Saymanlığı tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. TASLI R, ARTAN N, ORHON, D.: The influence of different substrates on enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. *Wat.Sci.Tech.* 35, 75-80, 1997.
2. BAOZHEN, W., JUN L, LIN W., MEISHENG N & JI L.: Mechanism of phosphorus removal by SBR submerged biofilm system. *Wat. Res.* 32, 2633-2638, 1998.
3. RAMIREZ, C.N. & MARTINEZ, S. G.: Phosphorus uptake kinetics in a biofilm sequencing batch reactor. *Bioprocess Eng.* 23, 143-147, 2000.
4. BELIA, E. & SMITH, P.G.: The bioaugmentation of sequencing batch reactor sludges for biological phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.* 35, 19-26, 1997.
5. SHIN, H.S. & JUN, H.B.: Developments of excess phosphorus removal characteristics in a sequencing batch reactor. *Wat. Sci. Tech.* 25, 443-440, 1992.
6. DANESH, S. & OLESZKIEWICZ, J.A.: Use of a new anaerobic-aerobic sequencing batch reactor system to enhance biological phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.* 35, 137-144, 1997.
7. CARUCCI A, MAJONE M, RAMADORI R & ROSETTI S.: Biological phosphorus removal with different organic substrates in an anaerobic/aerobic sequencing batch reactor. *Wat.Sci.Tech.* 35, 161-187, 1997.
8. COLUNGA, AM & MARTINEZ, SG.: Effects of population displacements on biological phosphorus removal in a biofilm SBR *Wat. Sci. Tech.* 34, 303-313, 1996.

9. COLMENAREJO, M.F., BUSTOS, A., GARCIA, M.G., BORJA, R., BANKS, C.J.: An analysis of the factors that influence biological phosphorus removal (BPR) in a sequencing batch anaerobic/aerobic reactor. *Bioprocess Engineering* 19, 171-174, 1998.
10. METCALF & EDDY, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. Third edn., McGraw Hill, USA, 1991.
11. ARORA, M. L., BARTH, E.F & UMPHRES, M. B.: Technology evaluation of sequencing batch reactors *J. Wat. Poll. Cont. Fed.* 57, 867-875, 1985.
12. UMBLE A K & KETCHUM, AL.: A strategy for coupling municipal wastewater treatment using the sequencing batch reactor with effluent nutrient recovery through aquaculture. *Wat. Sci. Tech.* 35, 177-184, 1997.
13. CHANG, C H & HAO, O J.: Sequencing batch reactor system for nutrient removal: ORP and pH profiles. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 67, 27-38, 1996.
14. PASTORELLI, G., CANZIANI, R., PEDRAZZI, L. & ROZZI, A.: Phosphorus and nitrogen removal in moving-bed sequencing batch biofilm reactor. *Wat. Sci. Tech.* 40, 169-176, 1999.
15. FURUMAI H., KAZMI, A.A., FUJITA, M., FURUYA, Y. & SASAKI, K.: Modeling long term nutrient removal in a sequencing batch reactor. *Wat. Res.* 33, 2708-2714, 1999.
16. KELLER, J., SUBRAMANIAM, K., GÖSSWEIN, J. & GREENFIELD, P.F.: Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors. *Wat. Sci. Tech.* 35, 137-144, 1997.
17. SUBRAMANIAM K., GREENFIELD P.F., HO K. M., JOHNS, M.R., KELLER J.: Efficient biological nutrient removal in high strength wastewater using combined anaerobic-sequencing batch reactor treatment. *Wat. Sci. Tech.* 30, 315-321, 1994.
18. DEMOULIN, G., GORONSZY, I.C., WUTSCHER, K. & FORSTHUBER, E.: Co-current nitrification/denitrification and biological P-removal in cyclic activated sludge plants by redox controlled cycle operation, *Wat. Sci. Tech.* 35, 215-224, 1997.
19. DEMUYNCK, C., VANROLLEGHEM, P., MINGNEAU, C., LIESSENS J & VERSTRAETE W.: NDBEPR process optimization in SBRs: Reduction of external carbon-source and oxygen supply. *Wat. Sci. Tech.* 30, 169-179, 1994.
20. ANDREOTTOLA G, BORTONE G & TILCHE A.: Experimental validation of a simulation and design model for nitrogen removal in sequencing batch reactors. *Wat. Sci. Tech.* 35, 113-120, 1997.
21. HO N C, RA K M, BYUNG G P, SEONG-JIN L, DONG W C, WOO G L, SEOK L S & YONG H A.: Simulation of sequential batch reactor (SBR) operation for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus. *Bioprocess Eng.* 23, 513-521, 2000.
22. ZUNIGA, M.A. G. AND MARTINEZ S. G.: Biological phosphate and nitrogen removal in a biofilm sequencing batch reactor. *Wat. Sci. Tech.* 34, 293-301, 1996.
23. SANG-ILL L, JONG-HO P, KWANG-BAIK K, BEN K.: Effect of fermented swine wastes on biological nutrient removal in sequencing batch reactors. *Wat. Res.* 31, 1807-1812, 1997.
24. American Public Health Association (APHA) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th edn. Washington, DC, 1998.