

ARDIŞIK ZAMANLI KESİKLİ BİYO-REAKTÖRDE NUTRIENT GİDERME PERFORMANSINA ÇAMUR YAŞININ ETKİLERİ

*Ahmet UYGUR**

*Fikret KARGI***

*Hüseyin Savaş BAŞKAYA**

Özet: Ardışık zamanlı işletme ile sentetik atıksudan nutrient giderimi farklı çamur yaşlarında çalışılmıştır. Nutrient giderme prosesi anaerobik, anoksik I, oksik I, anoksik II, oksik II ve çökeltme fazlarından oluşmaktadır. Hidrolik alıkonma süreleri sırasıyla 2/ 1/ 4,5/ 1,5/ 1,5 saat olarak sabit tutulmuştur. Çökeltme süresi tüm deneylerde ½ saattir. Çamur yaşı 5 ile 30 gün arasında altı farklı durumda değiştirilmiştir. KOİ, azot (NH₄-N, NO₃-N) ve fosfat (PO₄-P) giderimi üzerine çamur yaşının etkileri incelendi ve maksimum nutrient giderme verimiyle sonuçlanan optimum çamur yaşı hesaplanmıştır. 15 günlük çamur yaşı önemsiz daha düşük değerlerle sonuçlanmasına rağmen, en yüksek KOİ (%94), NH₄-N (%84) ve PO₄-P (%70) giderme verimleri 10 günlük çamur yaşında elde edilmiştir. 15 günlük çamur yaşından daha büyük çamur yaşlarında, 10 veya 15 günlük çamur yaşında elde edilen nutrient giderme verimleriyle karşılaştırıldığında daha düşük nutrient giderme verimleriyle sonuçlanmıştır. Çamur hacim indeksi (ÇHİ) 10 günlük çamur yaşında minimum 55 ml/g'dır. Bioyokütle (MLSS) konsantrasyonu, 30 günlük çamur yaşında 3760 mg/l değeriyle sonuçlanarak çamur yaşıyla yükselmiştir. Bu sonuçların ışığında, maksimum nutrient giderme verimleri ve minimum çamur hacim indeksiyle sonuçlanan 10 günlük çamur yaşı optimum olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çamur yaşı, Nutrient giderimi, Ardışık kesikli reaktör.

Effects of Sludge Age on Nutrient Removal Performance in a Sequencing Batch Reactor

Abstract: Nutrient removal from synthetic wastewater by sequencing batch operation was studied at different solids retention times (SRT). The nutrient removal process was consisted of anaerobic, anoxic I, oxic I, anoxic II, oxic II and settling phases. Hydraulic residence times (HRT) of the aforementioned phases were kept constant at 2/ 1/ 4.5/1.5/1.5 hours. Settling phase was ½ hours for all experiments. Solids retention time was varied between 5 to 30 days at six different levels. Effects of solids retention time (sludge age) on COD, nitrogen (NH₄-N, NO₃-N) and phosphate (PO₄-P) removal were investigated and the optimal sludge age resulting in maximum nutrient removal efficiency was determined. The highest COD (94%), NH₄-N (84%) and PO₄-P (70%) removal efficiencies were obtained at the sludge age of 10 days, although a sludge age of 15 days resulted in slightly lower values. Sludge ages larger than 15 days resulted in lower nutrient removal efficiencies as compared to those obtained at 10 or 15 days of sludge age. Sludge volume index (SVI) was also minimum (55 ml/g) at sludge age of 10 days. MLSS concentration increased with sludge age resulting in MLSS concentration of 3760 mg/l at SRT of 30 days. On the basis of these results, a sludge age of 10 days was found to be optimal resulting in maximum nutrient removal efficiencies and minimum sludge volume index.

Keywords: Sludge age, 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 gide-

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

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

rimi 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 mevcuttur¹¹⁻²². 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 giderim 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, Jr¹² 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. Bir ardışık kesikli reaktörün işletim stratejisi kabul edilebilir N/P oranının 16 ile 23 arasında değiştirilerek iyi çıkış değeri elde etmek için geliştirilmiştir.

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.

Andreottola ve arkadaşları¹⁹ 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 arkadaşları²⁰ 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-Martinez²¹ 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 arkadaşları²² AKR ile nutrient gideriminde asetat yerine fermente edilmiş hayvan atıkları kullanmışlar ve hayvan atığı kullanıldığında elde edilen sonuçlarda önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. İki durumda da %90 toplam azot giderimi ve %89 toplam fosfor giderimi gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların hiçbirinde beş basamaklı ardışık kesikli reaktörün işletiminde nutrient giderimi üzerinde çamur yaşının bir fonksiyonu incelenmemiştir. Bu yüzden bu çalışmanın başlıca amacı nutrient giderimi (C,N,P) için beş basamaklı kullanılan ardışık kesikli reaktörün performansı üzerinde çamur yaşının etkisini sistematik olarak incelemektir. Çevrimler anaerobik-anoksik-oksik-anoksik ve oksik fazlardan olup daha önceki çalışmalarımızda elde edilen optimum hidrolik alıkonma süreleri sırasıyla 2/1/4,5/1,5/1,5 saatlerde olmuştur. Çamur yaşı 5 ve 30 günlük değerlerde değiştirilmiş ve maksimum toplam nutrient (KOİ, N, P) giderimleriyle sonuçlanan optimum çamur yaşı hesap edilmiştir. Tüm işletim zamanında nutrient konsantrasyonu dağılımları da test edilen herbir katı alıkonma sürelerinde hesaplanmıştır.

MATERYAL VE METHODLAR

Deneysel Sistem

Deneysel sistem şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. 5 litre hacmindeki fermentör (Bioflo IIC, New Brunswick) ardışık zamanlı kesikli biyo-reaktör (AKR) olarak kullanılmıştır. Fermentör

mikroişlemci tarafından kontrol edilerek, havalandırma, karıştırma, pH ve çözülmüş oksijen kontrolü yapılmıştır. Havalandırma bir hava pompası ve difüzör kullanılarak sağlanmıştır. Karıştırma hızı 25-200 devir/dakika arasında değiştirilmiş, nutrient ortamının pH ve çözülmüş oksijen değerleri problemlerle sürekli gözlenmiştir.

Atıksu Bileşimi

Deneysel çalışmalarda kullanılan sentetik atıksu, glukoz, sodyum asetat, NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 ve belli konsantrasyonlarda iz mineraller, NaCl (100 mg/l), KCl (20 mg/l), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (50 mg/l) ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (50 mg/l) içermekte olup besleme atıksuyunda $\text{KOI}/\text{N}/\text{P}=100/5/1,5$ olarak sabit tutulmuştur. Besleme atıksuyu içerisinde KOI , azot ve fosfor konsantrasyonları $\text{KOI}_0=1200$ mg/l, $\text{N}_T=60$ mg/l ve $\text{P}_T=18$ mg/l'dir. Sentetik atıksuda MgSO_4 ve NaHCO_3 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.

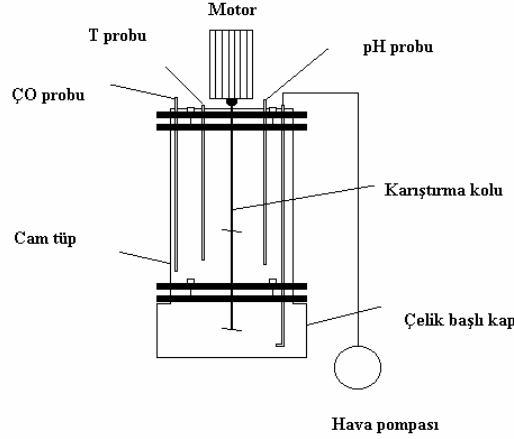
İşletme Koşulları

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 çökelti olarak 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 ($\text{CO} > 2$ mg/l). Anoksik fazda ise ortamdan hiçbir gaz geçirilmeden ortam 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. Her 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/çamur yaşı kadarı uzaklaştırıldı. Sıcaklık ve pH; $T = 25$ °C ve $\text{pH} = 7-7.5$ 'da kontrol edildi. Oksik fazdaki CO konsantrasyonu 2 mg/l'nin üzerinde olup, anaerobik ve anoksik fazlardaki CO konsantrasyonları sırasıyla 0,1 mg/l ve 0,5 mg/l'dir.

Katı alıkonma zamanları (çamur yaşı) 5 ile 30 gün arasında değiştirilmiş, deneysel çalışmalar boyunca her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları 2/1/4,5/1,5/1,5 saatler de sabit tutulmuştur. Deneyler her bir çamur yaşında 3 kez işletilmiştir. İlk iki işletme istenilen çamur yaşında mikroorganizma kültürlerinin gelişimi ve adaptasyonu sağlamak, üçüncü işletme ise verilerin toplanması için kullanılmıştır.

Analitik Yöntemler

Her basamağın başında ve sonunda alınan örnekler organizmaları gidermek için yarım saat süre ile 6000 devir/dakika'da santrifüjlenmiştir. Berrak üst sıvı KOI , 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 saptanmıştır²³. Ölçümlerde standart sapma % 5'in altındadır.



Şekil 1.
Ardışık kesikli reaktörün şematik gösterilimi

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 problar kullanılarak sağlanmıştır.

DENEYSEL BULGULAR

Nutrient giderimi üzerinde çamur yaşının etkisi

DeneySEL çalışmalar boyunca her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları sabit tutulurken katı alıkonma zamanları (çamur yaşı) 5 ile 30 gün arasında değiştirilmiştir.

KOİ giderme veriminin çamur yaşı ile değişimi şekil 2a'da gösterilmiştir. Her bir çamur yaşında KOİ giderme verimleri bazı küçük farklılıklarla %90'nın üzerinde olmuştur. En yüksek KOİ giderme verimleri 10, 15 ve 25 günlük çamur yaşlarında sırasıyla %94, %95 ve %96 elde edilmiştir. 5, 20 ve 30 günlük çamur yaşlarında elde edilen KOİ verimleri sırasıyla %93, %91 ve %92 olmuştur.

Amonyum azotu giderme verimlerinde şekil 2b'de görüldüğü gibi çamur yaşı değişimlerinden etkilendirilmiştir. Maksimum NH₄-N giderme verimi %84 olarak 10 günlük çamur yaşında elde edilirken, 15 günlük çamur yaşında elde edilen giderme verimi %83'den daha az olmuştur. NH₄-N giderme verimleri 15 günlük çamur yaşı üzerindeki çamur yaşlarında azalmıştır, 25 günlük çamur yaşında %68'lik giderme verimiyle sonuçlanmıştır. Amonyum azotu için optimum çamur yaşı 10 gün veya 15 gün'dür. Yüksek çamur yaşlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon organizmalarının yaşlı popülasyonu, düşük amonyum azotu giderme performansından sorumlu olabilirler.

Nitrat, besleme atıksuyu içinde mevcut değildir, oksik basamak boyunca amonyumun nitrifikasyonu ile üretilmiştir. Başlangıç nitrat-N konsantrasyonları bir önceki deneylerden nitrifikasyon sonucu olarak her bir deneyde 1,5 mg/l'den daha düşük olmuştur. Çıkış NO₃-N konsantrasyonları kabul edilebilir seviyelerde olan 0,5 mg/l ve 2 mg/l arasında değişmiştir. Böylece, nitrat giderimi bir değerlendirme kriteri olarak düşünülmemiş çünkü, başlangıç değerleri çok düşüktür. Çıkış NO₃-N değeri 10 günlük çamur yaşında yaklaşık 1,3 mg/l olurken 25 günlük çamur yaşında maksimum 2 mg/l olmuştur.

Şekil 2d fosfat-P giderme verimiyle çamur yaşının değişimini göstermektedir. Maksimum PO₄-P giderme verimi %70 olarak 10 günlük çamur yaşında elde edilirken 15 ve 25 günlük çamur yaşı değerlerinde %67 ve %68 olarak yakın değerlerdedir. Bu sonuçlardan 10 günlük çamur yaşı, diğer çamur yaşlarına göre daha iyi giderme verimleriyle sonuçlanmıştır. Tüm sonuçlar incelendiği zaman 10 günlük çamur yaşı KOİ, amonyum azotu ve fosfat fosforu giderimi için maksimum giderme verimleriyle sonuçlanmıştır.

Farklı çamur yaşlarında nutrient giderme performanslarına ek olarak, çamur yaşının biyokütle konsantrasyonu (MLSS) ve çamur hacim indeksi (SVI) ile değişimi de araştırılmıştır. Biyokütle konsantrasyonu ile çamur yaşının değişimi şekil 3'de gösterilmiştir. Biyokütle konsantrasyonu çökeltimin sonucu olarak

ve gelecek basamak için biyokütle transferi sonucunda çamur yaşıyla yükselmiştir, çünkü çamur yaşı 5 günlük değerden dereceli olarak yükseltilmiştir. 5 günlük çamur yaşında 1700 mg/l olan biyokütle konsantrasyonu, 30 günlük çamur yaşında 3760 mg/l'ye artmıştır. 20 günlük çamur yaşı üzerindeki çamur yaşlarında biyokütle konsantrasyonundaki yükselme önemsizdir.

Çamur hacim indeksi (ÇHİ) sistemin performansını etkileyen önemli bir parametredir. Düşük ÇHİ değerlerinde (ÇHİ < 100 ml/g) havalandırma tankında yüksek biyokütle konsantrasyonlarında iyi çökeltme karakteristikleriyle sonuçlanmış; oysaki düşük ÇHİ değerlerinde (ÇHİ > 100 ml/g) havalandırma tankında şişkin çamur ve düşük biyokütle konsantrasyonu ile sonuçlanır. Çamurun çökeltme karakteristikleri şekil 4'de çamur yaşının bir fonksiyonu olarak çamur hacim indeksi formunda gösterilmiştir. Çamur hacim indeksi 5 ve 10 günlük düşük çamur yaşlarında 52 ml/g'den, 25 ve 30 günlük çamur yaşında 66 ml/g'na yükselmiştir. Böylece, 10 günlük çamur yaşı minimum çamur hacim indeksiyle optimum sonuçlanmış ve en iyi çökeltme karakteristiği göstermiştir.

Optimum çamur yaşında nutrient konsantrasyon dağılımları

Sistem 10 günlük optimum çamur yaşında işletildiğinde nutrient (KOİ, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P) konsantrasyonlarının zamanla değişimi şekil 5'de gösterilmiştir. 10,5 saatlik işletimin sonucunda KOİ konsantrasyonu 70 mg/l'nin altına düşmüştür. KOİ'nin önemli kısmı ilk üç basamak içinde giderilmiştir. NH₄-N konsantrasyonu anaerobik basamak boyunca yavaşça yükseldi ve daha sonra anoksik basamakta azalmıştır. NH₄-N'nun çoğu asimilasyon ve nitrifikasyonla ilk oksik basamak boyunca giderilmiştir. Son iki basamak önemli ölçüde amonyum azotu giderimine katkıda bulunmamış ve işletim sonucunda yaklaşık 7 mg/l çıkış değeriyle sonuçlanmıştır. Başlangıçta nitrat-N konsantrasyonu 1,1 mg/l değerinde iken 3 saatlik işletim sonucunda yani ilk iki basamak içerisinde yaklaşık sabit olurken nitrifikasyon sonucu olarak birinci oksik basamak sonunda 4,3 mg/l'ye yükselmiştir. İkinci anoksik basamakta NO₃-N konsantrasyonu denitrifikasyon sonucu olarak 0,9 mg/l'ye düşmüş, işletimin sonunda 1,3 mg/l olarak sonuçlanmıştır. Başlangıç fosfat-P konsantrasyonu 12,2 mg/l iken aşırı fosfat kullanan organizmalar tarafından fosforun salınımından dolayı ilk anoksik basamak sonunda 13,6 mg/l'ye yükselmiştir. İlk oksik basamaktaki fosfat kullanımı sonucunda fosfat konsantrasyonu önemli derecede azalarak 3,6 mg/l'ye düşmüştür. Son iki basamak fosfat konsantrasyonunu değiştirmemiş ve çıkış fosfat fosforu konsantrasyonu işletim sonunda 3,6 mg/l değerinde olmuştur. Çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu işletim boyunca istenilen seviyelerde izlenmiş ve kontrol edilmiştir. ÇO konsantrasyonu ilk iki basamakta 0,1 mg/l'den az olurken oksik basamak boyunca yoğun havalandırma ile 4,65 mg/l'ye yükselmiştir. ÇO değerleri ikinci anoksik ve oksik basamaklarda sırasıyla 0,2 mg/l ve 3,1 mg/l'dir.

Böylece, 10,5 saatlik 5 basamaklı işletim sonunda yaklaşık olarak %94 KOİ, %84 NH₄-N ve %70 PO₄-P giderme verimleri 10 günlük optimum çamur yaşında elde edilmiş ve çıkış KOİ konsantrasyonu 70 mg/l, NH₄-N 7 mg/l, NO₃-N 1,3 mg/l ve PO₄-P 3,6 mg/l değerleriyle sonuçlanmıştır.

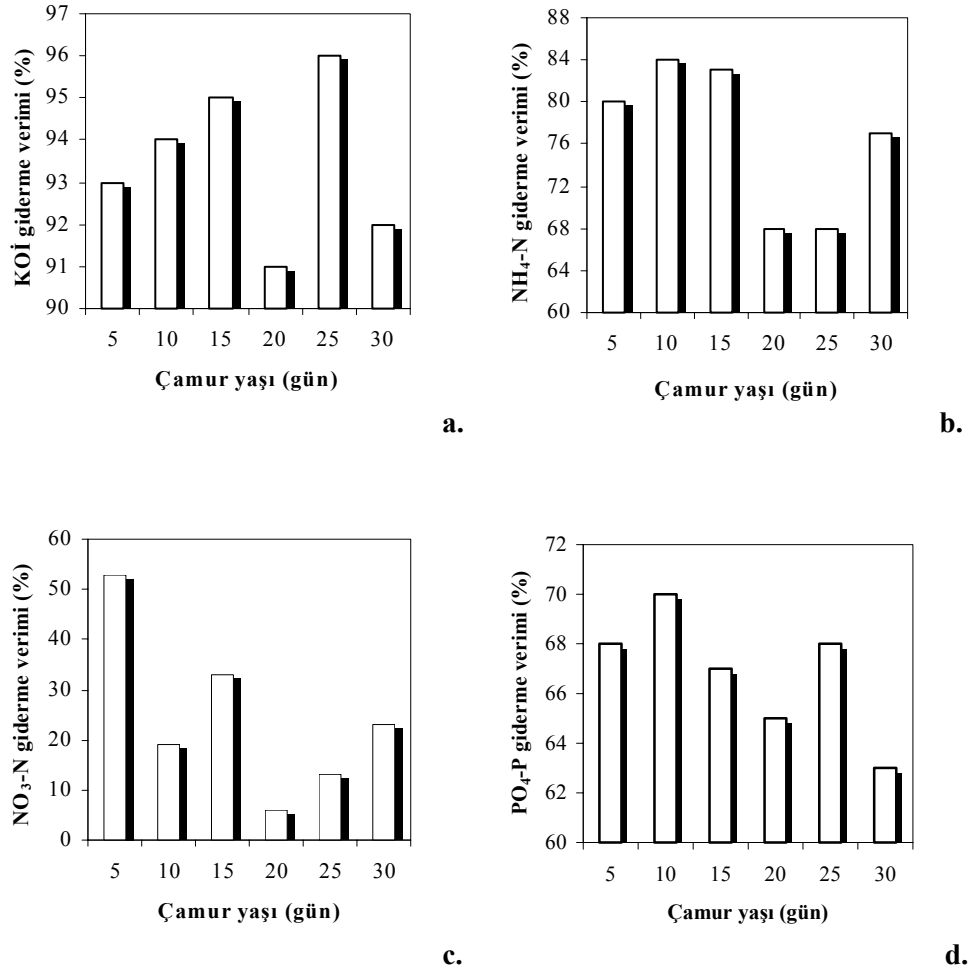
SONUÇLAR

Anaerobik/ anoksik/ oksik/ anoksik/ oksik basamakları içeren beş basamaklı ardışık kesikli işletme sentetik atıksudan nutrient giderimi için kullanılmıştır. Hidrolik alıkonma zamanları bahsi geçen basamaklar için 5 günlük ve 30 günlük çamur yaşının değişiminde 2 / 1 / 4,5/ 1,5/ 1,5 saatlerde sabit tutulmuştur.

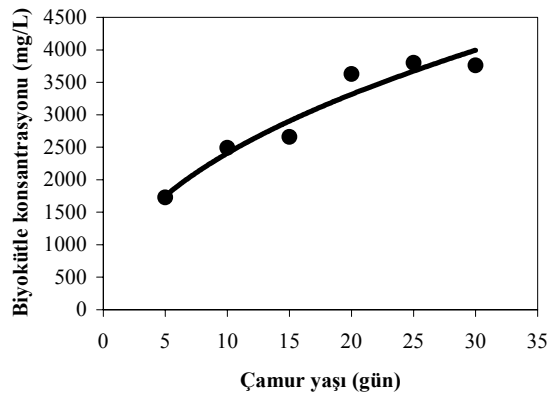
15 günlük çamur yaşında nutrient giderme verimlerinin düşük değerlerde sonuçlanmasına rağmen 10 günlük çamur yaşında maksimum KOİ %94, NH₄-N %84 ve PO₄-P %70 giderme verimleri optimum çamur yaşıyla sonuçlanmıştır. KOİ konsantrasyonu 1120 mg/l'den yaklaşık 70 mg/l'ye azalmıştır; NH₄-N ve PO₄-P konsantrasyonları 46 mg/l ve 12 mg/l başlangıç değerlerinden sırasıyla 10,5 saatlik işletim sonunda yaklaşık 7 mg/l ve 3,6 mg/l değerlerine düşmüştür.

Biyokütle konsantrasyonu (MLSS) 5 günlük çamur yaşında 1700 mg/l'den 30 günlük çamur yaşında yaklaşık 3760 mg/l'ye artmıştır. Çamurun çökeltme yeteneği olan çamur hacim indeksi (ÇHİ) çamur yaşına bağlı olarak 52 ml/g ve 66 ml/g arasında değişmiştir. Minimum çamur hacim indeksi ÇHİ (52 ml/g) değeriyle 5 günlük çamur yaşında elde edilmiştir. Fakat, 10 günlük çamur yaşında elde edilen 53 ml/g değerindeki çamur hacim indeksi 5 günlük çamur yaşıyla yaklaşık olarak aynıdır.

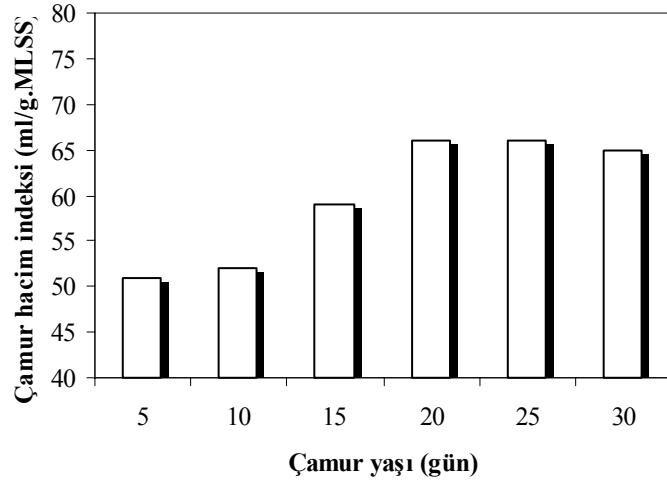
Deneysel çalışmaların sonucunda optimum çamur yaşı değeri 10 gün olarak bulunmuş, maksimum nutrient giderimi ve minimum çamur hacim indeksi bu çamur yaşında elde edilmiştir.



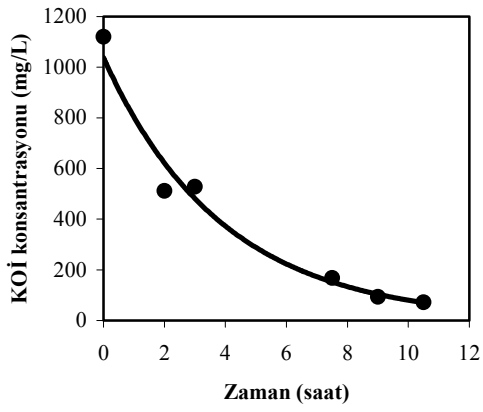
Şekil 2.
Nutrient giderme verimlerinin çamur yaşıyla değişimi
a. KOİ b. NH₄-N c. NO₃-N d. PO₄-P



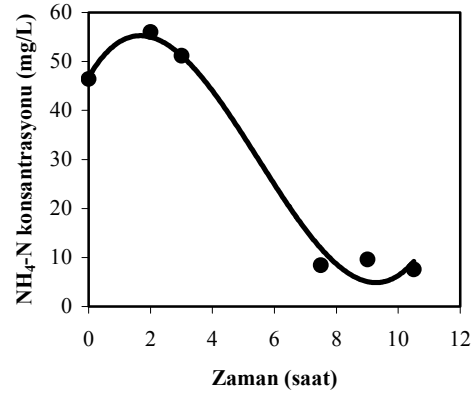
Şekil 3.
Biyokütle konsantrasyonunun (MLSS, mg/l) çamur yaşı ile değişimi



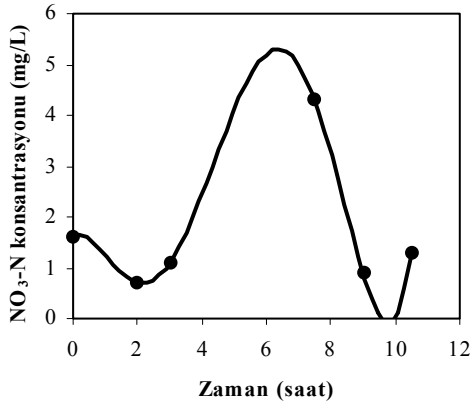
Şekil 4.
Çamur hacim indeksinin (ml/g.MLSS) çamur yaşıyla değişimi



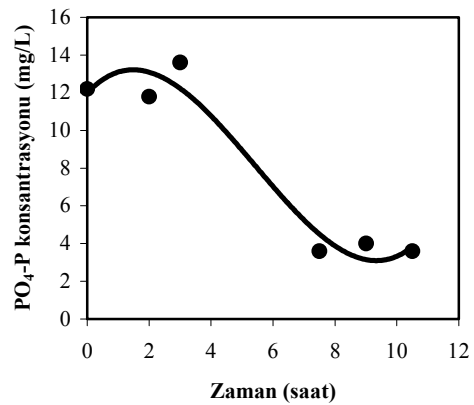
a.



b.



c.



d.

Şekil 5.
Ardışık kesikli işletmede 10 günlük çamur yaşında nutrient konsantrasyon dağılımları
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.: 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. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. American Public Health Association (APHA) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th edn. Washington, DC, 1998.