



**ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR İLE NUTRIENT GİDERİMİNDE
FARKLI KARBON KAYNAKLARININ ETKİLERİ**
*(EFFECTS OF DIFFERENT CARBON SOURCES ON
NUTRIENT REMOVAL BY USING SEQUENCING BATCH REACTOR)*

Ahmet UYGUR*, Fikret KARGI*, Hüseyin Savaş BAŞKAYA**

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmanın amacı, ardışık kesikli işletme ile farklı karbon kaynakları kullanılarak sentetik atıksudan nutrient (KOİ, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P) gideriminde karbon bileşiklerinin etkilerini incelemektir. Ardışık kesikli işletme anaerobik, anoksik, oksik, anoksik ve oksik olmak üzere beş basamaktan oluşmaktadır. Bu basamakların hidrolik alıkonma süreleri sırasıyla 2 / 1/ 4.5/ 1.5/ 1.5 saat olarak sabit tutulmuştur. Giriş atıksuyunda KOİ/N/P oranı 100 / 5/ 1.5 olup, karbon kaynağı olarak glikoz, sodyum asetat ve glikoz/sodyum asetat karışımı kullanılmıştır. Çamur yaşı 10 günde sabit tutulmuştur. Glikoz/sodyum asetat (KOİ olarak 50/50) karışımı kullanıldığında maksimum KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P giderme verimleri sırasıyla %96, %87, %81 ve %90 bulunmuştur.

Sequencing batch operation was used for nutrient (COD, NH₄-N, NO₃-N, and PO₄-P) removal from synthetic wastewater by using different carbon sources. Operation consisted of anaerobic, anoxic, oxic, anoxic and oxic (An/ Ax/ Ox/ Ax/ Ox) phases with durations of 2/ 1/ 4.5 / 1.5/ 1.5 hours. Glucose, acetate and a mixture of glucose/acetate were used as carbon source to yield COD/N/P ratio of 100/5/1.5 in the feed. Sludge age was kept constant at 10 days. COD, NH₄-N, NO₃-N and PO₄-P removal efficiencies were maximum at the levels of 96%, 87%, 81% and 90 %, respectively when a mixture (50/50, in terms of COD) of glucose and acetate was used.

ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORDS

Nutrient giderimi, Ardışık kesikli işletme, Karbon kaynağı
Nutrient removal, Sequencing batch operation, Carbon source

* DEÜ Müh. Fak. Çevre Müh. Bölümü Kaynaklar Buca, İZMİR

** Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, Görükle, BURSA

1. GİRİŞ

Ardışık kesikli işletme, atıksulardan KOİ/BOİ ve fosfat giderimi amacıyla bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Arora vd., 1985; Carucci vd., 1997; Tasli vd., 1997). Son zamanlarda yüzeysel sulara nutrient deşarjlarının kısıtlanması nedeniyle organik karbon (KOİ) ve fosfat giderimine ek olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri ile azot giderimi de sağlanmaya çalışılmıştır.(Metcalf ve Eddy, 1991). Ardışık kesikli işletme, aynı reaktör içerisinde doldurma, işletme, çöktürme ve boşaltma fazlarından oluşmaktadır. Atıksulardan nutrient giderimi istenildiği zaman işletme fazı anaerobik, anoksik ve oksik basamaklarını içerir (Metcalf ve Eddy, 1991). Ardışık kesikli işletmede biyolojik oksidasyon ve çöktürme aynı reaktörde yapıldığından kullanım kolaylığı nedeniyle, bu işletme kırsal alanlarda küçük hacimli atıksuların arıtımında tercih edilen bir yöntemdir.

Ardışık kesikli işletme ile atıksulardan nutrient giderimi konusunda literatürde çok sayıda çalışma vardır. Umble ve Ketchum (1997), BOİ ve NH₄-N giderimi için sistem performansı üzerinde toplam çevrim zamanının etkisini araştırmışlardır. Chang ve Hao (1996) ardışık kesikli reaktör kullanarak nutrient giderimi üzerine çamur yaşının etkilerini incelemişlerdir. Ho Nam Chang vd. (2000), ardışık kesikli işletmenin proses performansını etkileyen önemli parametreleri saptamak için küçük ölçekli ardışık kesikli reaktörde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Giriş atıksuyunda her basamağın hidrolitik alıkonma süreleri ve glikoz konsantrasyonunun sistem performansına olan etkileri araştırılmıştır. Andreottola vd. (1997), çıkış azot konsantrasyonunu minimize etmek için çevrim süresi ve faz dağılımının optimizasyonu için bir algoritma geliştirmişlerdir.

Ardışık kesikli reaktörde (AKR) nutrient giderim performansı üzerinde karbon kaynaklarının etkisi konusunda sınırlı çalışma vardır. Sang-Il Lee vd. (1997), AKR ile nutrient gideriminde karbon kaynağı olarak asetat yerine fermente edilmiş hayvan atıkları kullanmışlar ve bu durumda elde edilen sonuçlarda asetat kullanımına kıyasla önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. İki durumda da % 90 toplam azot ve % 89 toplam fosfor giderimi gerçekleştirilmiştir.

Asetat atıksulardan aşırı fosfat kullanan organizmalarca fosfat giderimi için karbon kaynağı olarak tercih edilir. Fakat, glikoz heterotrofik ve denitrifikasyon organizmaları için kolayca yararlanılabilir karbon kaynağıdır. Her iki karbon kaynağının birlikte kullanımı nutrient giderimi için ardışık kesikli işletmenin performansının artmasına yol açabilir. Bu çalışmanın başlıca amacı ardışık kesikli işletmede organizmaların nutrient giderim performansı üzerinde glikoz ve asetatın etkilerini araştırmaktır.

Ardışık kesikli işletme doldurma, işletme, çöktürme ve boşaltma fazlarını içerir. İşletme fazı beş basamaklı olup anaerobik / anoksik/ oksik/ anoksik/ oksik basamakları içerir. Bu basamakların hidrolitik alıkonma süreleri, sırasıyla 2 /1/ 4.5/ 1.5/ 1.5 saatler olup çamur yaşı 10 günde sabit tutulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. 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 derişimleri problemlerle sürekli gözlenmiştir.

2.2. İşletme Koşulları

Ardışık kesikli işletmeye başlamadan önce, reaktör sentetik atıksuyla doldurulup yoğun mikroorganizma kültürü ile aşılınıp, sistem birkaç gün kesikli işletilerek organizma derişiminin artması sağlandı. Bu sürenin sonunda organizmalar bir saat kadar çökeltilerek 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 ($\text{CO} > 2 \text{ mg/l}$). 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. On günlük çamur yaşını sağlamak için hergün reaktörden sıvı hacminin 1/10'u uzaklaştırıldı. Sıcaklık ve pH; $T = 25^\circ\text{C}$ ve $\text{pH} = 7-7.5$ 'te 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.

2.3. Atıksu Bileşimi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan sentetik atıksu, glikoz, 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), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (50mg/l) ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (50 mg/l) içermekte olup besleme atıksuyunda $\text{KOI/N/P} = 100/5/1.5$ olarak sabit tutulmuştur. Besleme atıksuyu içerisinde KOI , azot ve fosfor konsantrasyonları $\text{KOI}_0 = 1200 \text{ mg/l}$, $\text{N}_T = 60 \text{ mg/l}$ ve $\text{P}_T = 18 \text{ mg/l}$ 'dir. Sentetik atıksuda MgSO_4 ve NaHCO_3 konsantrasyonları 100 mg/l ve 710 mg/l olacak şekilde sabit tutulmuştur. Glikoz ve sodyum asetat konsantrasyonları yalnız karbon kaynağı olarak kullanıldığında sırasıyla 1290 mgGlu/l ve 2720 mg Asetat/l olup glikoz/sodyum asetat karışımı (KOI olarak 50/50) kullanıldığında 1200 mg KOI/l 'lik giriş atıksuyunda glikoz ve sodyum asetat konsantrasyonları sırasıyla 645 mgGlu/l ve 1360 mg asetat/l olmuştur.

2.4. Organizmalar

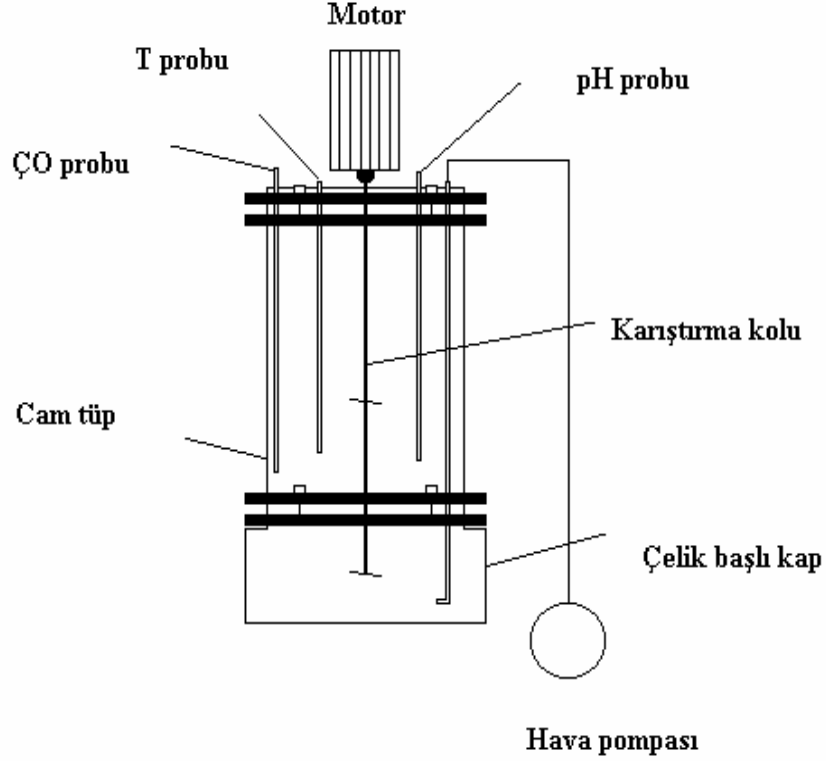
Aşı kültürü, karbonlu bileşikleri oksitleme yeteneğine sahip heterotrofik organizmalar; denitrifikasyon ve ototrofik nitrifikasyon organizmaları; asit oluşturan anaerobik organizmalar ve aşırı fosfat biriktiren organizmaların (*Acinetobacter sp*) karışımından oluşmaktadır. Nitrifikasyon organizmaları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

2.5. Analitik Yöntemler

Her basamağın başında ve sonunda ortamdan alınan örnekler organizmaları gidermek için yarım saat süre ile 6000 devir/dakika da santrifüjlenmişlerdir. Berrak üst sıvı KOI , amonyum azotu, nitrat azotu ve fosfat fosforu tayini için analizlenmiştir. Bu analizlerde standart analiz kitleri (Merck Spectroquant) ve spektrometrik yöntemler kullanılmıştır. Toplam katı (TK) ve

toplam askıda katılar standart yöntemler kullanılarak saptanmıştır (APHA, 1989). 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 dek kurutulduktan sonra tartılarak bulunmuştur. pH ve ÇO ölçümleri ilgili problemler kullanılarak sağlanmıştır.



Şekil 1. Ardışık kesikli reaktörün şematik gösterilimi

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. KOİ Giderme Verimi

KOİ giderim veriminin farklı karbon kaynakları ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Toplam çevrim zamanı 10.5 saat olan işletme anaerobik/ anoksik/ oksik/ anoksik/ oksik basamaklardan oluşmaktadır. Glikoz ve sodyum asetat tek başına karbon kaynağı olarak kullanıldığı zaman KOİ giderim verimleri sırasıyla % 93 ve % 98 olmuştur. Oysa, glikoz/sodyum asetat (50/50) karışımı kullanıldığında KOİ giderim verimi % 96 olmuştur. Asetat daha uygun karbon kaynağı olmasına rağmen glikoz ve sodyum asetat karışımı ile elde edilen sonuçlar arasındaki farklılık önemsizdir.

3.2. Amonyum Azotu Giderme Verimi

Amonyum azotu giderim veriminin farklı karbon kaynakları ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Glikoz ve sodyum asetat tek başına karbon kaynağı olarak kullanıldığı zaman amonyum azotu giderme verimi sırasıyla % 83 ve %89 olarak bulunmuştur. Glikoz/sodyum asetat (50/50) karışımı kullanıldığında amonyum azotu giderim verimi %87 olup, sodyum asetatla elde edilen sonuçtan pek farklı değildir. Bu sonuçlar, glikozun tek başına karbon kaynağı olarak kullanılmaması gerektiğini açıkça göstermiştir. Ancak asetat, yüksek KOİ ve amonyum azotu giderme verimleri elde etmek için tek karbon kaynağı olarak kullanılabilir.

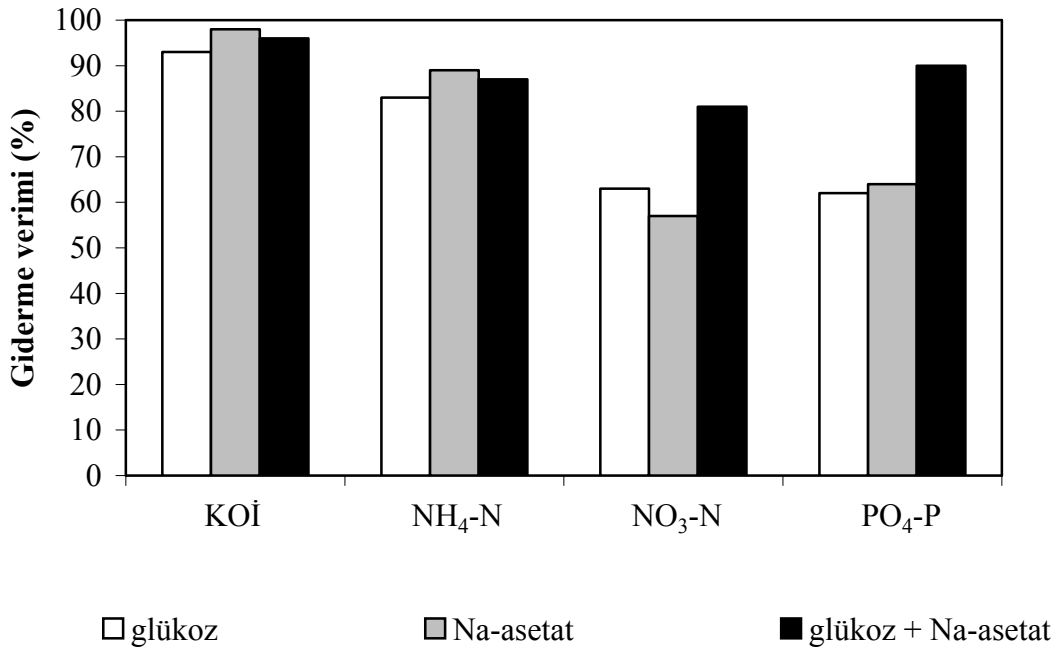
Besleme atıksuyunda karbon kaynağı olarak sodyum asetatın tek başına ya da glukozla birlikte kullanılması sistemin verimini arttırmaktadır.

3.3. Nitrat Azotu Giderme Verimi

Nitrat besin ortamında olmamasına rağmen oksik (havalandırılmalı) basamak sırasında amonyum azotunun nitrifikasyonu sonucu oluşmakta ve anoksik faz boyunca azot gazına dönüşmektedir. Bu nedenle, nitrat giderme verimi de nutrient giderme işlemleri için önemli bir parametredir. Ardışık kesikli işletme sonunda farklı karbon kaynaklarıyla elde edilen nitrat azotu giderme verimleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Karbon kaynağı olarak yalnız glukoz ve sodyum asetat kullanıldığında KOİ giderme verimleri sırasıyla, % 63 ve % 58 bulunmuştur. Ancak, glukoz/sodyum asetat (50/50) karışımı kullanıldığı zaman elde edilen nitrat azotu giderim verimi % 81’e yükselmiştir.

3.4. Fosfat Fosforu Giderme Verimi

Ardışık kesikli işletmenin sonunda farklı karbon kaynaklarıyla elde edilen fosfat fosforu giderme verimleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Karbon kaynağı olarak yalnız glukoz ya da sodyum asetat kullanıldığında fosfat-fosforu giderme verimleri sırasıyla, % 62 ve % 64 bulunmuştur. Fakat, glukoz/sodyum asetat (50/50) karışımı kullanıldığı zaman yaklaşık % 90 fosfat fosforu giderme verimi elde edilmiştir. Bu sonuçlar karbon kaynağı olarak asetatın glukozla birlikte kullanılmasının avantajlı olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 2. Ardışık kesikli reaktörde nutrient giderme verimlerinin karbon kaynaklarına bağlı olarak değişimi

Sonuçlara toplu olarak bakıldığında karbon kaynağı olarak ne glukoz, ne de sodyum asetatın tek başına kullanılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Glukoz/sodyum asetat karışımı kullanıldığında nutrient (KOİ, NH₄-N, NO₃-N ve PO₄-P) gideriminde daha yüksek giderme verimleri elde edilmiştir.

3.5. Nutrient Konsantrasyonu Değişimleri

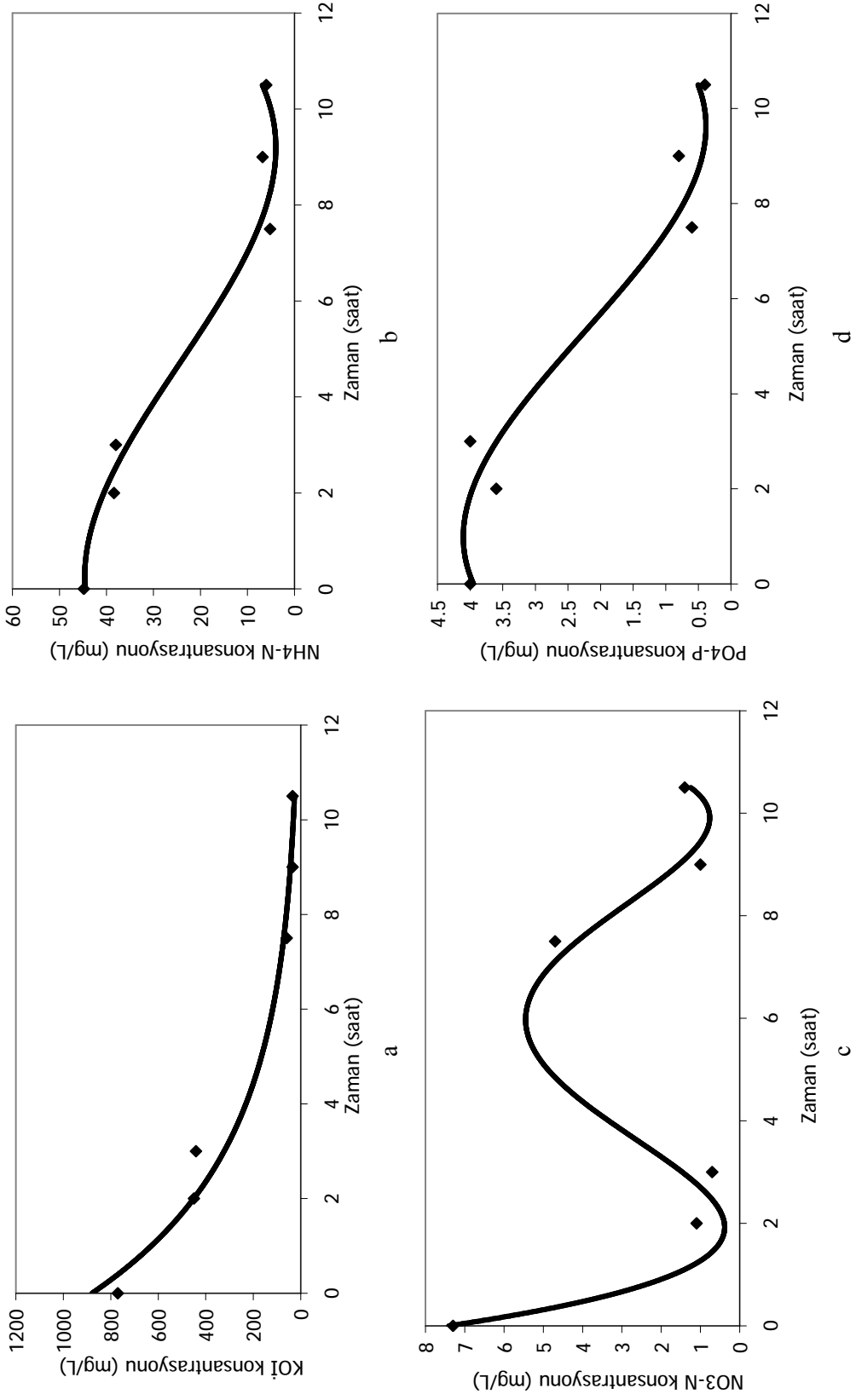
Glikoz/sodyum asetat (50/50) karışımı karbon kaynağı olarak kullanıldığında nutrient konsantrasyonlarının değişimleri Şekil 3'te gösterilmiştir. KOİ giderimi esas olarak ilk altı saatlik sürede anaerobik, anoksik ve oksik fazlarda gerçekleşmiştir. Ardışık kesikli işletmenin sonunda (10.5 saat), yaklaşık olarak %96'lık KOİ giderimi elde edilmiştir ($S_0 = 770$ mg/l, $S_e = 34$ mg/l). Amonyum azotu giderimi ilk 2 saat içinde oldukça yavaş olmakla birlikte işletmenin sonunda derişim 6 mg NH_4-N / L olmuştur ($S_0 = 45$ mg/l). Bir önceki deneylerden arta kalan nitrat azotu işletmenin başlangıcında 7 mg/l iken denitrifikasyon sonucu ilk anoksik fazın sonunda 0.7 mg/l'ye düşmüştür. Nitrat-N konsantrasyonu amonyumun nitirifikasyonundan dolayı ilk oksik faz boyunca yükselmiş ve daha sonra ikinci anoksik fazda denitrifikasyon işleminin gerçekleşmesiyle tekrar düşmüştür. Nitrat-N konsantrasyonu işletmenin sonunda yaklaşık 1.4 mg/l olmuştur. Fosfat fosforu konsantrasyonu başlangıçta 4 mg/l iken, organizmaların sıvı ortama fosfat salmaları sonucu, anaerobik/anoksik fazlar boyunca yükselmiştir. Aerobik (oksik) basamakta aşırı fosfat birikimi sonucu, fosfat-fosforu birinci oksik basamağın sonunda 0.6 mg/l'ye düşmüş ve işletmenin sonunda 0.4 mg PO_4-P /l derişimi elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Farklı karbon kaynakları kullanılarak, sentetik atıksudan nutrient (KOİ, NH_4-N , NO_3-N , PO_4-P) giderimi ardışık kesikli bir reaktörde incelenmiştir. Nutrient giderim performansı üzerinde farklı karbon kaynaklarının (glikoz, sodyum asetat ve glikoz/sodyum asetat karışımı) etkileri değerlendirilmiştir.

Glikoz karbon kaynağı olarak tek başına kullanıldığında KOİ, NH_4-N , NO_3-N ve PO_4-P giderme verimleri sodyum asetat ve glikoz/sodyum asetat karışımında elde edilenlerden daha düşük olmuştur. Sodyum asetat karbon kaynağı olarak tek başına kullanıldığı zaman, KOİ ve NH_4-N giderim verimleri glikoz/sodyum asetat karışımına göre az da olsa daha yüksektir. Glikoz/sodyum asetat (50/50) karışımı kullanıldığı zaman, PO_4-P ve NO_3-N giderme verimleri diğer karbon kaynaklarına göre çok daha yüksek bulunmuştur. Bu karışımında glikoz enerji ve karbon kaynağı olarak; asetat da anaerobik şartlarda PHB sentezi için kullanılmaktadır. Glikoz ve sodyum asetat karışımı ile elde edilen KOİ ve NH_4-N giderme verimleri, tek başına sodyum asetat kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir düzeydedir.

DeneySEL sonuçlar, ardışık kesikli bir işletme ile yüksek nutrient giderme verimleri elde etmek için sodyum asetat ve glikoz karışımının kullanılması gerektiğini açıkça ortaya koymuştur.



Şekil 3. Glikoz/asetat (50/50) karışımı karbon kaynağı olarak kullanıldığında nutrient konsantrasyon değişimleri - a. KOI, b. NH₄-N, c. NO₃-N, d. PO₄-P

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Uludağ Üniv. Rektörlüğü, Araştırma Fon Sayman. tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- APHA (1989): “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 17th edn., Washington, DC.
- Andreottola G., Bortone G., Tilche A. (1997): “Experimental Validation of a Simulation and Design Model for Nitrogen Removal in SBRs.” *Wat. Sci. Tech.*, 35 (1), 113-120.
- Arora M. L., Barth E.F, Umphres M. B. (1985): “Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors”, *J. Water Poll. Cont. Fed.*, 57(8), 867-875.
- Carucci A., Majone M., Ramadori R., Rosetti S. (1997): “Biological Phosphorus Removal with Different Organic Substrates in an Anaerobic/Aerobic Sequencing Batch Reactor”, *Wat. Sci. Tech.*, 35(1), 161-187.
- Chang C. H., Hao O. J. (1996): “Sequencing Batch Reactor System for Nutrient Removal: ORP and pH Profiles.”, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 67(1), 27-38.
- Ho N. C., Ra K. M., Byung G. P., Seong-Jin L., Dong W. C., Woo G. L., Seok L. S., Yong H. A. (2000): “Simulation of Sequential Batch Reactor (SBR) Operation for Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus”, *Bioprocess Eng.* 23, 513-521.
- Metcalf Eddy (1991): “Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”, Third edition, McGraw Hill, USA.
- Sang-Il L., Jong-Ho P., Kwang-Baik K., Ben K. (1997): “Effect of Fermented Swine Wastes on Biological Nutrient Removal in SBRs”, *Wat. Res.*, 31(7), 1807-1812.
- Tasli R., Artan N., Orhon D. (1997): “The Influence of Different Substrates on Enhanced Biological Phosphorus Removal in a SBR”, *Wat. Sci. Tech.*, 35(1), 75-80.
- Umble A. K., Ketchum, A. L. (1997): “A Strategy for Coupling Municipal Wastewater Treatment using the Sequencing Batch Reactor with Effluent Nutrient Recovery through Aquaculture”, *Wat. Sci. Tech.*, 35(1), 177-184.