



Anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde azot giderme performansına kademeli besleme sayısının etkisi

Effect of number of step-feed on nitrogen removal performance in anoxic-aerobic sequencing batch reactor

Engin Gürtekin^{1,*} 

¹ Fırat Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde azot giderme performansına kademeli besleme sayısının etkisi araştırılmıştır. Kademeli besleme sayısı olarak; iki, üç ve dört seçilmiş ve her biri sırasıyla farklı reaktörlerde (R1, R2 ve R3) çalışılmıştır. Kademeli besleme sayısı, KOİ giderme verimini etkilememiştir. R1, R2 ve R3’de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ giderme verimleri sırasıyla %95, %97 ve %91’dir. Toplam inorganik azot (TIN) giderme verimi R1, R2 ve R3’de sırasıyla %84, %88 ve %85 olarak bulunmuştur. Azot giderme verimi bakımından üç kademeli besleme ile daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve kademeli besleme sayısının azot gideriminde önemli bir işletme parametresi olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Ardışık kesikli reaktör, Denitrifikasyon, Kademeli besleme.

1 Giriş

Evsel atıksuda bulunan azot gibi makronutrientler, arıtılmadan veya yeterli düzeyde arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesi durumunda ötrofikasyona, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına, balık ölümlerine ve insan sağlığı ile ilgili problemlere neden olmaktadır [1]. Biyolojik yöntemler, düşük maliyetli oluşu ve yüksek verim elde edilmesinden dolayı atıksudan azot gideriminde tercih edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyolojik azot giderimi, genel olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleriyle gerçekleştirilmektedir. Nitrifikasyon prosesinde amonyum önce nitrit ve daha sonra nitrate dönüşmekte, denitrifikasyon prosesinde ise nitrat, azot gazına dönüşmektedir. Ardışık kesikli reaktör, işletimi basit tek bir reaktörden ibarettir. Ardışık kesikli reaktörde, anoksik ve aerobik şartlar sağlanarak biyolojik azot giderimi gerçekleştirilmektedir. Ancak, genel olarak atıksudaki organik karbonun sınırlı oluşundan dolayı denitrifikasyon prosesi sınırlı düzeyde gerçekleşmekte ve bunun sonucu olarak çıkışta nitrit ve nitrat kontrasyonu yüksek olmakta ve azot giderme verimi düşük kalmaktadır [2]. Azot giderme verimini artırmak için kademeli besleme yöntemi önerilmiştir. Kademeli besleme yönteminde, atıksu girişi eşit yada belirli oranlarda denitrifikasyonun gerçekleştiği anoksik fazların başlangıcında reaktöre beslenmektedir. Kademeli

Abstract

In this study, the effect of step-feed number on the nitrogen removal performance of anoxic-aerobic sequencing batch reactor was investigated. Two, three and four step-feeds were chosen as the number of feeds, each of which was run in different reactors (R1, R2 and R3) respectively. The number of step-feeds did not affect COD removal efficiency. The $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiencies in R1, R2 and R3 are 95%, 97% and 91%, respectively. The total inorganic nitrogen (TIN) removal efficiency was found to be 84%, 88% and 85% in R1, R2 and R3, respectively. In terms of nitrogen removal efficiency, better results were obtained with three step-feed, and it was found that the number of step-feed was an important operating parameter for nitrogen removal.

Keywords: Sequencing batch reactor, Denitrification, Step-feed.

besleme yöntemi ile atıksudaki organik karbonunun daha etkin kullanımı sağlanarak denitrifikasyon hızı artmakta ve azot giderme verimi iyileşmektedir [3,4]. Ayrıca, anoksik fazda atıksudaki karbonun daha fazla kullanılmasıyla aerobik fazda organik yüklemenin azalmakta bunun neticesinde ise nitrifikasyon hızında artış ve organik madde okside etmek gerekli havalandırma gereksiniminde azalma sağlanmaktadır [5]. Üç ve dört kademeli besleme sayısı ile ileri azot giderimi elde edilmiştir [6-9]. Fakat, önceki araştırmalarda kademeli besleme sayısının azot giderimine etkisi araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde kademeli besleme sayısının azot giderme verimine etkisini tespit etmektir.

2 Materyal ve metod

2.1 Reaktörler ve işletmesi

Deneysel çalışmalarda üç laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktör (R1, R2 ve R3) kullanılmıştır. Ardışık kesikli reaktörlerde bir devir 8 saat olup; 15 dakika doldurma, 360 dakika reaksiyon, 75 dakika çökeltme, 15 dakika boşaltma ve 15 dakika dinlendirme fazlarından oluşmaktadır (Tablo 1). R1’de reaksiyon fazı; 60 dakika anoksik, 120 dakika aerobik, 60 dakika anoksik, 120 dakika aerobik fazdan oluşmakta ve giriş suyu iki eşit hacme bölünerek (1:1) her bir anoksik faza ardışık biçimde besleme gerçekleştirilmiştir. R2’de

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: egurtekin@firat.edu.tr (E. Gürtekin)

Geliş / Received: 09.03.2022 Kabul / Accepted: 14.06.2022 Yayınlanma / Published: 18.07.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1084986

reaksiyon fazı; 40 dakika anoksik, 80 dakika aerobik, 40 dakika anoksik, 80 dakika aerobik, 40 dakika anoksik, 80 dakika aerobik fazdan oluşmakta ve giriş suyu üç eşit hacme bölünerek (1:1:1) her bir anoksik fazın başlangıcında ardışık biçimde reaktöre besleme gerçekleştirilmiştir. R3'de reaksiyon fazı; 30 dakika anoksik, 60 dakika aerobik, 30 dakika anoksik, 60 dakika aerobik, 30 dakika anoksik, 60 dakika aerobik fazdan oluşmakta ve giriş suyu dört eşit hacme bölünerek (1:1:1:1) her bir anoksik faza ardışık biçimde besleme gerçekleştirilmiştir. Reaktörler; çökeltme, boşaltma ve dinlendirme fazları hariç bir mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Aerobik faz sırasında ise, reaktörlerin havalandırılması hava pompası ve difüzörler ile gerçekleştirilmiştir. İşletme boyunca pH kontrolü yapılmamıştır. Reaktörler, çamur yaşı 20 gün ve sıcaklık 25 °C'de çalıştırılmıştır.

Tablo 1. Reaktörlerin bir devir sürelerinin dağılımı

	R1	R2	R3
Devir süresi, saat	8	8	8
Doldurma, dakika	15	15	15
Reaksiyon, dakika	360	360	360
Anoksik	60	40	30
Aerobik	120	80	60
Anoksik	60	40	30
Aerobik	120	80	60
Anoksik	-	40	30
Aerobik	-	80	60
Anoksik	-	-	30
Aerobik	-	-	60
Çökeltme, dakika	75	75	75
Boşaltma, dakika	15	15	15
Dinlendirme, dakika	15	15	15

2.2 Sentetik atıksu ve çamur

Sentetik atıksu, 510 mg/L sodyum asetat, 90 mg/L MgSO₄.7H₂O, 14 mg/L CaCl₂.2H₂O, 153 mg/L NH₄Cl, 46 mg/L Na₂HPO₄, 200 mg/L NaHCO₃, 10 mg maya özü ve 0.4 mL/L iz element içermektedir. Sentetik atıksu yaklaşık olarak 400 mg/L KOİ konsantrasyonu, 40 mg/L NH₄⁺-N konsantrasyonu ve 10 mg/L PO₄³⁻-P konsantrasyonuna sahiptir [10]. Klasik aktif çamur tesisinden alınan çamur ile reaktörler aşlanmıştır.

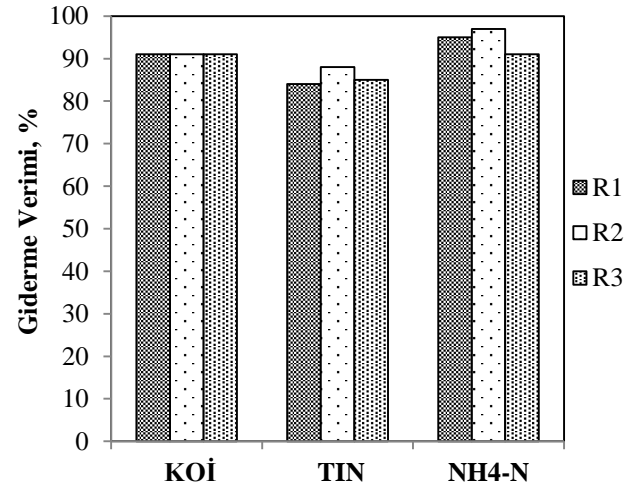
2.3 Analitik yöntemler

KOİ ve toplam askıda katı madde (TAKM) analizleri Standart Metotlara [11] göre yapılmıştır. Amonyum, nitrit ve nitrat analizi ise Standart Kit (Merck Specquorant, Nova 60) kullanılarak yapılmıştır. Toplam inorganik azot (TIN) değeri ise, amonyum, nitrit ve nitrat konsantrasyonlarının toplamından elde edilmiştir. TN analizi yapılmamıştır. Çalışmada kullanılan sentetik atıksuyun organik azot içeriği olmadığından TIN değeri TN değerine yaklaşık eşit kabul edilmiştir ve bu nedenle diğer çalışmaların TN değeri ile olan karşılaştırmalarda TIN değeri kullanılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

Kademeli besleme sayısının iki (R1), üç (R2) ve dört (R3) olduğu anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörlerde KOİ, TIN ve NH₄⁺-N giderme verimleri Şekil 1'de

verilmiştir. Her üç kademeli besleme sayısında KOİ giderme verimleri %91 olarak bulunmuştur. R1, R2 ve R3'de NH₄⁺-N giderme verimleri sırasıyla %95, %97 ve %91'dir. Kademeli besleme sayısının ikiden üçe çıkmasıyla NH₄⁺-N giderme verimi nispeten artmıştır. Ancak, dört kademeli beslemede NH₄⁺-N giderme veriminde azalma gerçekleşmiştir. NH₄⁺-N giderme verimindeki bu azalma, aerobik faz sürelerinin yeterli olmayışı ile açıklanabilir. R1, R2 ve R3'de TIN giderme verimleri sırasıyla %84, %88 ve %85 olarak bulunmuştur. Kademeli besleme sayısının ikiden üçe çıkmasıyla TIN giderme verimi arttığı görülmektedir. Ancak, dört kademeli beslemenin yapıldığı reaktörde, iki kademeli beslemenin yapıldığı reaktörle benzer TIN giderme verimi elde edilmiştir. Kademeli besleme sayısının ikiden üçe artmasıyla, denitrifikasyon prosesinde atıksudaki karbon daha etkin ve verimli kullanıldığı ve buna bağlı olarak azot giderme veriminin arttığı söylenebilir. Kademeli besleme sayısının dört olduğu reaktörde, aerobik faz sürelerinin azalmasına bağlı olarak nitrifikasyon prosesi hızında az da olsa bir düşüş gerçekleşmiş ve buna bağlı olarak azot giderimi nispeten azalmıştır. Bu sonuçlar, kademeli besleme sayısının üç olduğu reaktörün azot giderme performansı açısından daha uygun olduğunu göstermektedir. Tablo 2'de farklı kademeli beslemeli proseslerle yapılan çalışmaların bir karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 1. R1, R2 ve R3'deki KOİ, TIN ve NH₄⁺-N giderme verimleri

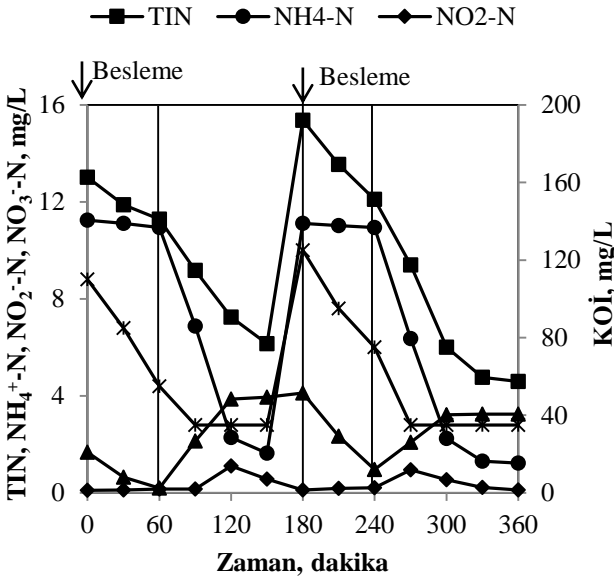
İki kademeli beslemenin gerçekleştiği reaktörde (R1), KOİ konsantrasyonu anoksik fazlarda gerçekleşen denitrifikasyon prosesine bağlı olarak azalmıştır (Şekil 2). Aerobik fazlarda ise, anoksik fazlardan kalan organik madde oksidasyona bağlı olarak azalmıştır. Amonyum konsantrasyonu, anoksik fazlarda kısmen azalmıştır. Bu azalmanın hücre asimilasyonuna bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Aerobik fazlarda ise gerçekleşen nitrifikasyon prosesi ile amonyum konsantrasyonu hızlıca azalmıştır. Her iki anoksik fazda nitrit birikimi yok denecek kadar az olmasına rağmen, aerobik fazlarda çok az da olsa bir nitrit birikimi görülmektedir. Nitrat konsantrasyonu, anoksik fazlarda

Tablo 2. Kademeli beslemeli proseslerin performanslarının karşılaştırılması

Biyolojik işletme biçimi	Aktif çamur [6]	Aktif çamur [8]	Biyofilm [9]	Aktif çamur [12]	Aktif çamur [13]	Aktif çamur [Bu çalışma]		
Kademe sayısı	3	3	3	3	4	2	3	4
Çıkış kalitesi, mg/L								
KOİ	30	32.7	<50	35.74	33.05	35	35	35
NH ₄ ⁺ -N	1.7	0.14	<8	1.22	0.58	1.22	0.62	2.56
TN	6.9	6.61	Veri yok	16.31	9.26	4.59	3.66	5.66
Giderme Verimi, %								
KOİ	94	89	80	86.6	78.9	91	91	91
NH ₄ ⁺ -N	95	99	96	98	98.31	95	97	91
TN (TIN*)	83	88	Veri yok	73.61	70.24	84*	88*	85*

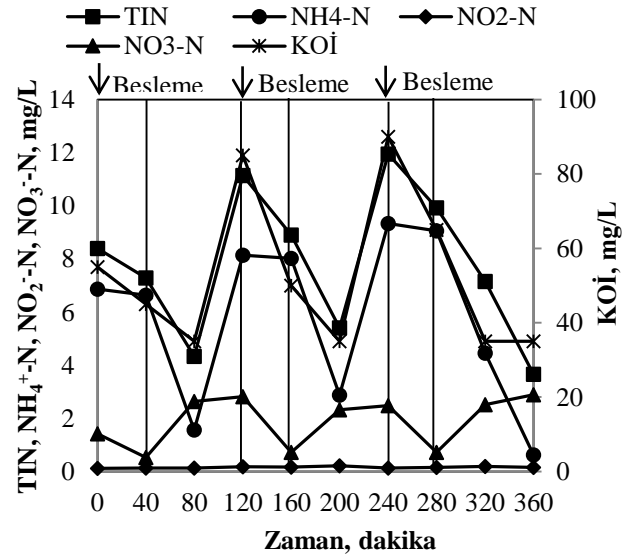
gerçekleşen denitrifikasyona bağlı olarak azalmış ve aerobik fazlarda gerçekleşen nitrifikasyona bağlı olarak artmıştır. TIN konsantrasyonu ise, her iki kademe besleme sonrasında anoksik fazda gerçekleşen denitrifikasyon prosesi ve aerobik fazda gerçekleşen nitrifikasyon prosesine bağlı olarak azalmıştır. R1’de iki kademe beslemeye bağlı olarak reaksiyon fazını oluşturan anoksik ve aerobik faz sürelerinin denitrifikasyon ve nitrifikasyon proseslerinin gerçekleşmesi için yeterli büyüklükte olduğu görülmektedir.

gerekli oksijen miktarı gereksinimini de azaltacağından, işletme maliyeti açısından bir avantajlı durumdur. Amonyum konsantrasyonu aerobik fazlarda gerçekleşen nitrifikasyon prosesine bağlı olarak azalmıştır. Anoksik fazlarda, çok az da olsa amonyum konsantrasyonunda azalma gerçekleşmiştir. Hem anoksik hem de aerobik fazlarda nitrit birikimi gözlenmemiştir. Nitrat konsantrasyonu, anoksik fazlarda gerçekleşen denitrifikasyon prosesi neticesinde azalmış ve aerobik fazlarda gerçekleşen nitrifikasyon prosesi ile artmıştır. Amonyum, nitrit ve nitrat konsantrasyonlarına bakılarak, üç kademeli beslemenin yapıldığı reaktörde anoksik ve aerobik faz sürelerinin nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerinin gerçekleşmesi için yeterli olduğu söylenebilir. R2’de çıkış TIN konsantrasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerindeki iyileşmeye bağlı olarak R1’e kıyasla daha düşüktür. TIN giderimi genellikle biyokütle asimilasyon veya denitrifikasyon prosesi ile gerçekleşmektedir. Daha önce aerobik granüler ardışık kesikli reaktörde yapılan benzer bir çalışmada azot gideriminin başlıca denitrifikasyon prosesi ile sınırlı olduğu belirtilmiştir [3]. Bu çalışmada da, TIN giderimi verimi anoksik fazlarda gerçekleşen denitrifikasyon prosesi büyüklüğüne bağlıdır.



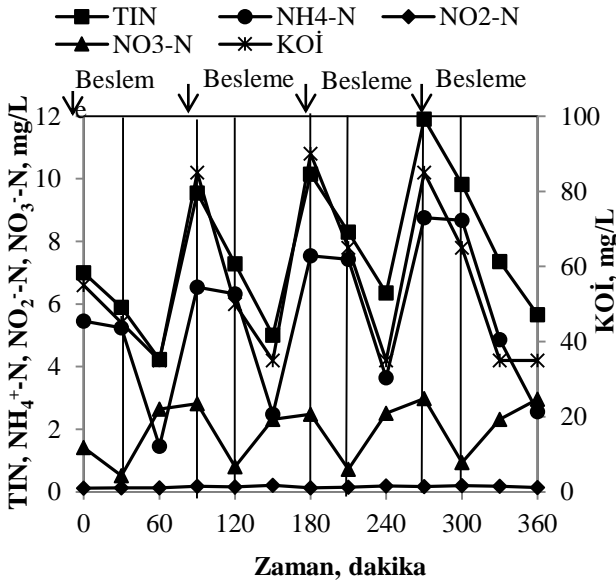
Şekil 2. R1’in tipik bir devrinde kirletici konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Üç kademeli beslemenin yapıldığı anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde kirletici konsantrasyonlarının zamansal değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Kademeli beslemenin ikiden üçe çıkmasıyla, anoksik fazda gerçekleşen denitrifikasyon prosesinde atıksudaki organik maddenin daha iyi kullanımı sağlandığı ve buna bağlı olarak denitrifikasyon hızının arttığı görülmektedir. Ayrıca, aerobik ortama daha az organik madde girişi gerçekleşmiş ve nitrifikasyon bakterilerin aerobik ortamda daha aktif rol oynaması ile nitrifikasyon veriminde de kısmen bir artış olduğu bulunmuştur. Aerobik ortama giren organik maddenin az olması, oksidasyon için



Şekil 3. R2’nin tipik bir devrinde kirletici konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Şekil 4’de dört kademeli beslemenin yapıldığı anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde kirletici konsantrasyonlarının zamansal değişimi verilmiştir. Dört kademeli beslemede KOİ konsantrasyonu, atıksudaki organik maddenin anoksik fazda gerçekleşen denitrifikasyon prosesinde elektron verici olarak kullanılmasına bağlı olarak azalmıştır. Aerobik fazda ise, oksidasyona bağlı olarak KOİ konsantrasyonu azalmıştır. Amonyum konsantrasyonundaki azalma, dört kademeli beslemede aerobik faz sürelerinin azalmasına bağlı olarak kısmen düşmüş ve çıkış amonyum konsantrasyonu 2,56 mg/L’ye yükselmiştir. Anoksik fazda amonyum konsantrasyonunda kısmen küçük bir azalma dört kademeli beslemenin yapıldığı reaktörde de gözlenmiştir. Aerobik ve anoksik fazlarda nitrit birikimi dört kademeli besleme durumunda da gözlenmemiştir. Nitrat konsantrasyonu, anoksik fazlarda gerçekleşen denitrifikasyon ve aerobik fazlarda gerçekleşen nitrifikasyon ile azalmıştır. Çıkış TIN konsantrasyonu, nitrifikasyon prosesindeki kısmi azalmaya bağlı olarak az da olsa artmıştır.



Şekil 4. R3'nün tipik bir devrinde kirletici konsantrasyonlarının zamansal değişimi

4 Sonuçlar

Aktif çamur sistemlerde kademeli besleme atıksudaki karbon kaynağının daha iyi kullanımını sağlayarak denitrifikasyon hızını ve buna bağlı olarak azot giderme verimini artırmaktadır. Farklı kademeli besleme sayılarının denendiği bu çalışmada; iki, üç ve dört kademeli beslemeli olarak işletilen R1, R2 ve R3 reaktörlerinde KOİ giderme verimleri aynı olup, % 91’dir. R1, R2 ve R3’de NH₄⁺-N giderme verimleri sırasıyla %95, %97 ve %91 ve TIN giderme verimleri sırasıyla %84, %88 ve %85 olarak bulunmuştur. Aerobik ve anoksik fazlarda gerçekleşen nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri kademeli besleme sayısından etkilenmiştir. Deneysel sonuçlar, üç kademeli beslemenin azot giderimi bakımından daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu çalışma neticesinde, kademeli besleme yanında kademeli besleme sayısının da azot giderme

verimini artırma açısından önemli bir işletme parametresi olduğu görülmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 11

Kaynaklar

- [1] C. Z. Correa, K. V. M. C. Prates, E. F. de Oliveira, D. D. Lopes and A. C Barana, Nitrification/denitrification of real municipal wastewater in an intermittently aerated structured bed reactor. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 134-141, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.013>.
- [2] C. Zhong, Y. Wang, Y. Wang, J. Lv, Y. Li and J. Zhu, High-rate nitrogen removal and its behavior of granular sequence batch reactor under step-feed operational strategy. *Bioresource Technology*, 134, 101-106, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.155>.
- [3] F. Y. Chen, Y. Q. Liu, J. H. Tay and Ning, P, Operational strategies for nitrogen removal in granular sequencing batch reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 189(1-2), 342-348, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.041>.
- [4] Q. Zhang, R. Huang, L. Jiang, Z. Lu, G. Wu, J. Lei, S. Liao, G. Liu, B. Li and J. Wang, Enhancing nitrogen removal and reducing aeration energy for wastewater treatment with intermittent Modified Ludzack-Ettinger process: A field demonstration. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102303, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102303>.
- [5] F. Y. Chen, Y. Q. Liu, J. H. Tay and P. Ning, Alternating anoxic/oxic condition combined with step-feeding mode for nitrogen removal in granular sequencing batch reactors (GSBRs). *Separation and Purification Technology*, 105, 63-68, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.12.015>.
- [6] E. Vaiopoulou and A. Aivasidis, A modified UCT method for biological nutrient removal: configuration and performance. *Chemosphere*, 72(7), 1062-1068, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.044>.
- [7] G. Zhu, Y. Peng, L. Zhai, Y. Wang and S. Wang, Performance and optimization of biological nitrogen removal process enhanced by anoxic/oxic step feeding. *Biochemical Engineering Journal*, 43(3), 280-287, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.017>.
- [8] S. Ge, Y. Peng, S. Wang, J. Guo, B. Ma, L. Zhang and X. Cao, Enhanced nutrient removal in a modified step feed process treating municipal wastewater with different inflow distribution ratios and nutrient ratios. *Bioresource Technology*, 101(23), 9012-9019, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.151>.
- [9] H. Liang, M. Gao, J. Liu, Y. Wei and X. Guo, A novel integrated step-feed biofilm process for the treatment of decentralized domestic wastewater in rural areas of China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(3), 321-327, 2010. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60111-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60111-X).

- [10] Y. Sun, H. Wang, G. Wu and Y. Guan, Nitrogen removal and nitrous oxide emission from a step-feeding multiple anoxic and aerobic process. *Environmental Technology*, 39(7), 814-823, 2018. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1311947>.
- [11] APHA, AWWA, WCPF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., 1998.
- [12] Y. Wang, Y. Peng and T. Stephenson, Effect of influent nutrient ratios and hydraulic retention time (HRT) on simultaneous phosphorus and nitrogen removal in a two-sludge sequencing batch reactor process. *Bioresource Technology*, 100(14), 3506-3512, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.026>.
- [13] G. Cao, S. Wang, Y. Peng and Z. Miao, Biological nutrient removal by applying modified four step-feed technology to treat weak wastewater. *Bioresource Technology*, 128, 604-611, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.078>.

