



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6(2): 95-99 (2015)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 6(2): 95-99 (2015)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Anoksik-aerobik Ardışık Kesikli Reaktörde Azot Giderme Performansına Çözünmüş Oksijen Kontrolünün Etkisi

Engin GÜRTEKİN

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ

Geliş Tarihi (Received): 07.12.2015, Kabul Tarihi (Accepted): 31.12.2015

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author): egurtekin@firat.edu.tr*

☎ +90 424 2370000 📠 +90 424 2415526

ÖZ

Bu çalışmada, anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde azot giderme performansına aerobik fazdaki çözünmüş oksijen kontrolünün etkisi araştırılmıştır. Aerobik fazda çözünmüş oksijen kontrolünün yapılmadığı ardışık kesikli reaktör (R1) ve aerobik fazda çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'de kontrol edildiği ardışık kesikli reaktör (R2) olmak üzere iki ardışık kesikli reaktörde çalışma tamamlanmıştır. TIN (Toplam inorganik azot) giderme verimi R1'de % 46, R2'de % 53'dür. Sonuçlar; aerobik fazda çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'de kontrol edilmesiyle daha yüksek azot giderimi elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, havalandırma kontrolü ile daha az elektrik tüketimi ve işletme maliyetinde tasarruf elde edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Ardışık kesikli reaktör, azot giderimi, çözünmüş oksijen, nitrifikasyon, denitrifikasyon

Effect of Dissolved Oxygen Control on Nitrogen Removal Performance in Anoxic-aerobic Sequencing Batch Reactor

ABSTRACT

In this study, the effect of dissolved oxygen control at the aerobic phase on nitrogen removal performance in anoxic-aerobic sequencing batch reactor was investigated. The study was completed in two sequencing batch reactor, without dissolved oxygen control at the aerobic phase (R1) and with dissolved oxygen control at 2 mg/L at the aerobic phase (R2). TIN removal efficiencies in R1 and R2 were % 46 and % 53, respectively. The results demonstrated that the higher nitrogen removal efficiency was achieved with dissolved oxygen control at 2 mg/L at the aerobic phase. Moreover, lower electricity consumption and saving in operation costs will be achieved by means of aeration control.

Keywords: Sequencing batch reactor, nitrogen removal, dissolved oxygen, nitrification, denitrification

GİRİŞ

Atıksulardan azot giderimi, alıcı sularda sucul yaşama toksik etkinin, oksijen tüketiminin ve ötrofikasyonun önlenmesi bakımından kritik öneme sahiptir (Guo ve ark., 2010). Atıksulardan azot giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon biyolojik prosesleriyle genellikle tamamlanır. Nitrifikasyon, iki farklı ototrofik bakteri grubuyla gerçekleştirilen iki adımlı bir prosestir. Birinci adımda, amonyum okside eden bakteri tarafından nitrite okside edilirken, ikinci adımda ise, nitrit okside eden bakteriler tarafından nitrate oksitlenir. Denitrifikasyon prosesinde nitrat, heterotrofik bakteriler tarafından azot gazına indirgenmektedir (Jimenez ve ark., 2011).

Ardışık kesikli reaktörde biyolojik azot giderimi alternatif aerobik-anoksik şartlar altında ardışık nitrifikasyon denitrifikasyon prosesleriyle elde edilir (Qin ve Liu, 2006). Aerobik şartlarda meydana gelen prosesler biyolojik azot giderme proseslerinde en önemli kontrol parametresi olarak çözünmüş oksijen konsantrasyonuna büyük ölçüde bağlıdır (Ekman ve ark., 2006). Oldukça düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu kötü kalite çamur ve daha az etkili nutrient giderimine, oldukça yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonu ise, daha az etkili çamur çökebilirliğine ve nutrient giderimine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, biyolojik azot giderme proseslerinin aerobik kısmında uygun bir çözünmüş oksijen konsantrasyonu sağlanmalıdır (Fernandez ve ark., 2011).

Bu bağlamda, havalandırma proseslerinde enerji tüketim maliyeti de önemlidir. Genelde, bir atıksu artıma tesisinin toplam işletme maliyetinin yaklaşık olarak üçte biri enerji gereksiniminden kaynaklanır ve havalandırma için tüketilen enerji, toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 60-65'ne karşılık gelmektedir (Rieger ve ark., 2006).

Son yıllarda, atıksu arıtma tesislerinin işletiminde daha az enerji tüketimiyle daha fazla kirlenici giderme verimi elde edilmesi çok önem arz etmeye başlamıştır (Guo ve ark., 2013a). Çözünmüş oksijen konsantrasyonu bir atıksu arıtma tesisinin çıkış kalitesini ve işletme maliyetini kontrol ettiğinden dolayı, çözünmüş oksijen kontrolü büyük öneme sahiptir (Fikar ve ark., 2005).

Bu çalışmanın amacı, anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörün azot giderme performansına aerobik fazdaki çözünmüş oksijen kontrolünün etkisini araştırmaktır.

MATERYAL VE METOT

Reaktörler ve İşletme Stratejisi

Deneysel çalışmalar, çalışma hacimleri 5 L olan iki paralel ardışık kesikli reaktörde (R1 ve R2) yapılmıştır. Reaktörlerin karışımını sağlamak için bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Reaktörlerin havalandırılması ise, hava pompası ve reaktörün alt kısmına yerleştirilen difüzörler aracılığıyla yapılmıştır. R1'in aerobik fazında çözünmüş oksijen kontrolü yapılmamış, R2'nin aerobik fazında ise hava akış hızı kontrol edilerek çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L olması sağlanmıştır. Ardışık kesikli reaktörler, 8 saatlik devirde işletilmişlerdir. Her bir devir, 15 dakika doldurma, 120 dakika anoksik, 240 dakika aerobik, 75 dakika çökeltme, 15 dakika boşaltma ve 15 dakika dinlendirme fazlarından oluşmaktadır. Deneysel çalışma boyunca reaktörlerdeki ortalama toplam askıda katı madde (TAKM) konsantrasyonu 3000 ± 100 mg/l'dir. Reaktörlerde pH kontrolü yapılmamıştır. Her iki reaktör, 20 günlük çamur yaşında ve 25 °C sıcaklıkta işletilmişlerdir.

Sentetik atıksu ve çamur

Reaktörlere beslenen sentetik atıksuyun her litresinde 195 mg $C_6H_{12}O_6$; 195 mg $CH_3COONa \cdot 3H_2O$; 230 mg NH_4Cl ; 200 mg $NaHCO_3$; 11mg KH_2PO_4 ; 18 mg $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$; 10 mg $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 10 mg $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; 10 mg $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ve 1 mL nutrient çözeltisi bulunmaktadır. Bir litre nutrient çözeltisi ise, 0.15 g H_3BO_3 ; 0.03 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; 0.18 g KI ; 0.12 g $MnCl_2 \cdot 4H_2O$; 0.06 g $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$; 0.12 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$; 0.15 g $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ve 10 g etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) içermektedir (Zeng ve ark., 2003). Reaktörler, bir şehir atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamurla aşılanmıştır.

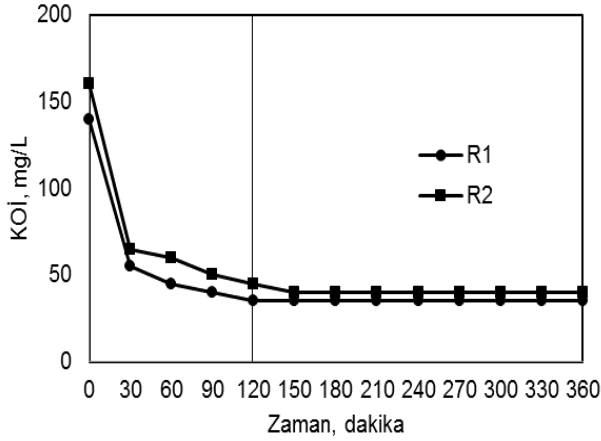
Analitik yöntemler

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam askıda katı madde (TAKM) analizleri Standart Metotlara (APHA, AWWA, WCPF, 1998) göre yapılmıştır. TAKM konsantrasyonu, Whatman filtre kağıdı kullanılarak tayin edilmiştir. 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.

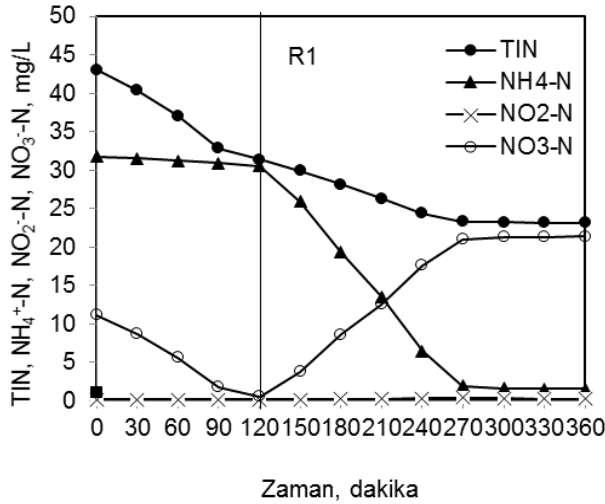
BULGULAR VE TARTIŞMA

R1 ve R2'de KOİ konsantrasyonunun zamansal değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Her iki reaktörde organik madde anoksik fazın birinci saatinde tüketilmiştir. Aerobik fazın sonunda R1'de KOİ konsantrasyonu 35 mg/L, R2'de KOİ konsantrasyonu 40 mg/L olarak bulunmuştur. Her iki re-

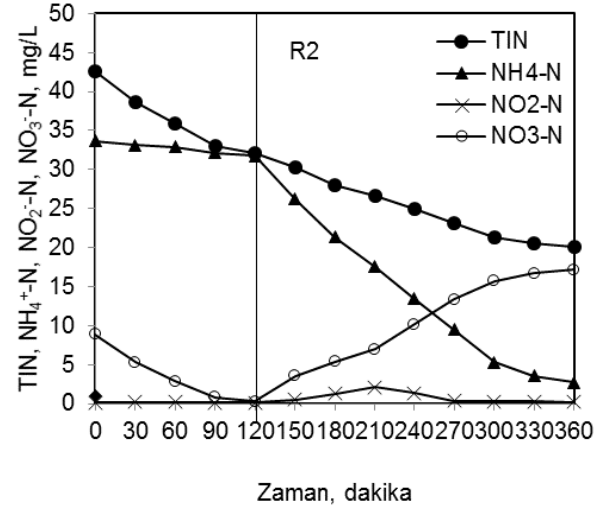
aktörde çıkış KOİ konsantrasyonları benzer olmasına rağmen, R1'in anoksik faz başlangıcında KOİ konsantrasyonu R2'e göre daha düşüktür. Bu, R1'in aerobik fazında çözünmüş oksijenin kontrolü olmadığından doldurma fazı sırasında bir önceki devirden reaktörde mevcut olan çözünmüş oksijenin kullanılması ile organik maddenin bir kısmının okside olmasındandır.



Şekil 1. R1 ve R2'nin tipik bir devrinde KOİ konsantrasyonunun zamansal değişimi.



Denitrifikasyon prosesinde elektron verici olarak organik karbona gereksinim duyulmaktadır. Yetersiz miktarda organik madde denitrifikasyonu olumsuz yönde etkilemektedir (Itokowa ve ark., 2001). Her iki reaktörün anoksik faz başlangıcındaki KOİ konsantrasyonları farklı olmasına rağmen, anoksik fazda denitrifikasyonun tamamlandığı görülmektedir. Anoksik fazın sonunda R1'de NO_3^- -N konsantrasyonu 0.56 mg/L'ye, R2'de NO_3^- -N konsantrasyonu 0.26 mg/L'ye azalmıştır (Şekil 2). Her iki reaktörün anoksik fazı başlangıcında ve sonundaki NO_2^- -N konsantrasyonları oldukça düşük olup, konsantrasyonlardaki değişim önemsizdir. Bu sonuçlar, anoksik fazda denitrifikasyonun gerçekleşmesi için gerekli olan atıksudaki organik madde miktarının ve anoksik faz süresinin yeterli olduğunu göstermektedir. Literatüre göre, 3.3 -5.0 g KOİ / NO_3^- -N oranı tam denitrifikasyon için gereklidir (Karım ve Gupta, 2003).



Şekil 2. R1 ve R2'nin tipik bir devrinde TIN, NH_4^+ -N, NO_2^- -N, NO_3^- -N konsantrasyonlarının zamansal değişimi.

Anoksik fazda, NH_4^+ -N konsantrasyonundaki değişim oldukça az olup, çok küçük bir konsantrasyon azalması söz konusudur (Şekil 2). Bu küçük miktardaki azalma, anoksik fazda hücre asimilasyonundan kaynaklanmış olabilir. Aerobik fazın başlamasıyla gerçekleşen nitrifikasyon neticesinde, NH_4^+ -N konsantrasyonu azalmaya başlamış ve buna bağlı olarak NO_3^- -N konsantrasyonu artmaya başlamıştır. Ancak, her iki reaktördeki spesifik NH_4^+ -N oksidasyon hızları farklıdır. R1'de spesifik NH_4^+ -N oksidasyon hızı 0.063 mg NH_4^+ -N / g TAKM.dk

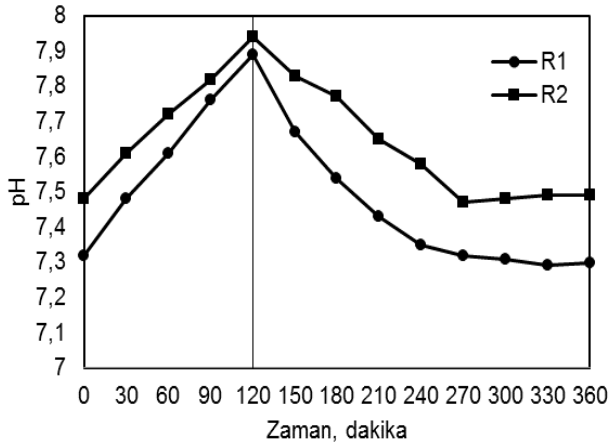
iken, R2'de spesifik NH_4^+ -N oksidasyon hızı 0.049 mg NH_4^+ -N / g TAKM.dk olarak bulunmuştur. Her iki reaktörde spesifik NH_4^+ -N oksidasyon hızındaki bu farklılığın nedeni, aerobik ortamdaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu kontrolünden kaynaklanmaktadır. Ancak, her iki reaktörde nitrifikasyonun tamamlandığı söylenebilir. R2'de sadece spesifik NH_4^+ -N oksidasyon hızındaki azalmaya bağlı olarak nitrifikasyonun tamamlanma süresi uzamıştır. Dolayısıyla, R1'de kontrolsüz havalandırma sonucunda aerobik fazda gerekli olandan da

ha fazla havalandırmanın yapıldığı ve buna bağlı olarak gereksiz enerji sarfiyatının olduğu söylenebilir.

Toplam inorganik azot (TIN) giderimi, hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon proseslerine bağlıdır. Toplam inorganik azot gideriminin büyüklüğü aynı zamanda bir önceki devirden kalan NO_2^- -N ve NO_3^- -N konsantrasyonlarına da bağlıdır. R1'de TIN giderme verimi % 46 iken, R2'de TIN giderme verimi % 53 olarak bulunmuştur. R2'de daha fazla TIN giderme verimi elde edilmesi, çözünmüş oksijen kontrolüne bağlı olarak aerobik faz sonunda NO_3^- -N konsantrasyonunun daha az olmasıyla açıklanabilir.

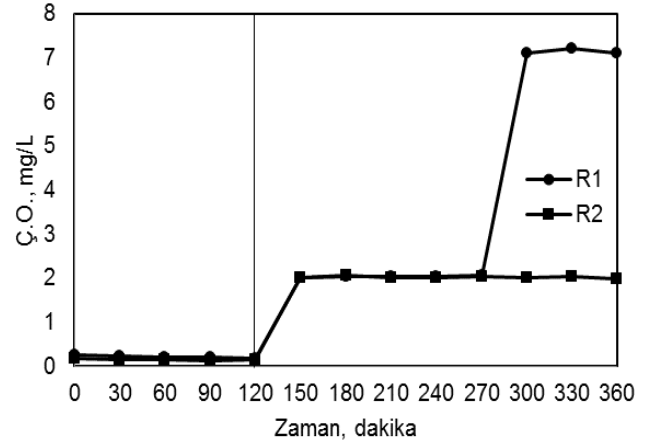
Anoksik fazda nitrit birikimi yoktur. Aerobik fazda R1'de nitrit birikimi yok iken, R2'de nitrit birikimi çok küçük düzeydedir. Amonyum okside eden bakteriler için oksijen doygunluk sabiti 0.25-0.5 mg/L iken, nitrit okside eden bakteriler için oksijen doygunluk sabiti 0.72-1.84 mg/L olduğu literatürde belirtilmektedir (Guisasola ve ark., 2005). Bu çalışmada, her iki reaktörün aerobik fazındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu doygunluk değerlerinden daha fazladır. Nitrit birikiminin olmaması reaktörlerde hem amonyum okside eden bakterilerin hem de nitrit okside eden bakterilerin var olduğunu göstermektedir.

Klasik nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemlerinde, nitrifikasyon prosesi sırasında asit bileşiklerin oluşumu pH azalmasına neden olurken, denitrifikasyon prosesi sırasında alkali oluşumunun bir sonucu olarak pH artışı meydana gelmektedir (Guo ve ark., 2013b). Anoksik fazda gerçekleşen denitrifikasyon prosesine bağlı olarak R1'de pH 7.32'den 7.89'a, R2'de pH 7.48'den 7.94'e artmıştır (Şekil 3). Aerobik fazda nitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesiyle birlikte R1'de pH 7.89'dan 7.30'a, R2'de 7.94'den 7.49'a azalmıştır.



Şekil 3. R1 ve R2'in tipik bir devrinde pH'in zamansal değişimi.

Anoksik fazda denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi için çözünmüş oksijen konsantrasyonu yaklaşık sıfır olmalıdır. Her iki reaktörün anoksik fazında çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0.15-0.25 mg/L aralığındadır (Şekil 4). Her iki reaktörde aerobik fazla birlikte reaktörlere verilen hava ile çözünmüş oksijen konsantrasyonu hızla artmıştır. Bu, reaktörlere sağlanan oksijenin aktif çamurun tükettiği oksijen miktarından fazla olmasındandır. R2'de havalandırmanın kontrol edilmesinden dolayı geri kalan aerobik zamanda çözünmüş oksijen konsantrasyonu yaklaşık 2 mg/L'dir. R1'de ise, çözünmüş oksijen kontrolünün olmamasından dolayı nitrifikasyon prosesinin tamamlanmasından sonra çözünmüş oksijen konsantrasyonu hızla doygunluk değerine doğru artmıştır. Sonuç olarak, R1'de aşırı havalandırmadan dolayı bir enerji kaybı söz konusudur. R2'de çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'de kontrol edilmesiyle R1'e göre daha yüksek azot giderme verimi elde edilmiş ve daha az enerji sarf edilmiştir. Bunun yanında, havalandırma tanklarında düşük çözünmüş oksijen kullanımı, sadece oksijen girişini azaltmaz, aynı zamanda oksijen kütle transferinde etkili olan kuvveti de artırmaktadır (Lee ve ark., 2015).



Şekil 4. R1 ve R2'in tipik bir devrinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun zamansal değişimi.

SONUÇLAR

Her iki reaktörde KOİ giderme verimi yüksektir ve organik madde anoksik fazda gerçekleşen denitrifikasyon prosesinde kullanılmıştır. Anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörün aerobik fazında çözünmüş oksijenin 2 mg/L'de kontrol edilmesiyle daha yüksek azot giderme verimi elde edilmiştir. Havalandırma kontrolü, anoksik-aerobik ardışık kesikli reaktörde azot gideriminin iyileştirilmesi ve işletme maliyetinin azaltılması bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- APHA, AWWA, WCPF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Ekman, M., Björlenius, B., Andersson, M. (2006). Control of the aeration volume in an activated sludge process using supervisory control strategies, *Water Research*, 40 (8): 1668-1676.
- Fernandez, F.J., Castro, M.C., Rodrigo, M.A., Canizares, P. (2011). Reduction of aeration costs by tuning a multi-set point on/off controller: A case study, *Control Engineering Practice*, 19: 1231-1237.
- Fikar, M., Chachuat, B., Latifi, M.A. (2005). Optimal operation of alternating activated sludge processes, *Control Engineering Practice*, 13 (7): 853-861.
- Guisasola, A., Jubany, I., Baeza, J.A., Carrera, J., Lafuente, J. (2005). Respirometric estimation of the oxygen affinity constants for biological ammonium and nitrite oxidation, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80 (4): 388-396.
- Guo, J., Peng, Y., Huang, H., Wang, S., Ge, S., Zhang, J., Wang, Z. (2010). Short-and long term effects of temperature on partial nitrification in a sequencing batch reactor treating domestic wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1-3): 471-479.
- Guo, J., Peng, Y., Yang, X., Gao, C., Wang, S. (2013a). Combination process of limited filamentous bulking and nitrogen removal via nitrite for enhancing nitrogen removal and reducing aeration requirements, *Chemosphere*, 91: 68-75.
- Guo, J., Zhang, L., Chen, W., Ma, F., Liu, H., Tian, Y. (2013b). The regulation and control strategies of a sequencing batch reactor for simultaneous nitrification and denitrification at different temperatures, *Bioresource Technology*, 133: 59-67.
- Itokawa, H., Hanaki, K., Matsuo, T. (2001). Nitrous oxide production in high-loading biological nitrogen removal process under low COD/N ratio condition, *Water Research*, 35 (3): 657-664.
- Jimenez, E., Gimenez, J.B., Ruano, M.V., Ferrer, J., Serralta, J. (2011). Effect of pH and nitrite concentration on nitrite oxidation rate, *Bioresource Technology*, 102: 8741-8747.
- Karim, K., Gupta, S.K. (2003). Continuous biotransformation and removal of nitrophenols under denitrifying conditions, *Water Research*, 37 (12): 2953-2959.
- Lee, I., Lim, H., Jung, B., Colosimo, M.F., Kim, H. (2015). Evaluation of aeration energy saving in two modified activated sludge processes, *Chemosphere*, 140: 72-78.
- Qin, L., Liu, Y. (2006). Aerobic granulation for organic carbon and nitrogen removal in alternating aerobic-anoxic sequencing batch reactor, *Chemosphere*, 63 (6): 926-933.
- Rieger, L., Alex, J., Gujer, W., Siegrist, H. (2006). Modelling of aeration systems at wastewater treatment plants, *Water Science and Technology*, 53 (4-5): 439-447.
- Zeng, R.J., Lemaire, R., Yuan, Z., Keller, J. (2003). Simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal in a lab-scale sequencing batch reactor, *Biotechnology and Bioengineering*, 84: 170-178.