

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Ardışık Kesikli Reaktör ve Ardışık Kesikli Biyofilm Reaktörde Birlikte Nitrifikasyon Denitrifikasyona C/N Oranının Etkisinin Karşılaştırılması**

Engin GÜRTEKİN<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

---

### **Özet**

Bu çalışmada, ardışık kesikli reaktör (AKR) ve ardışık kesikli biyofilm reaktörün (AKBR) birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon (BND) performansına farklı C/N oranlarının (5, 10 ve 15) etkisi karşılaştırılmıştır. Her iki reaktörde % 90'nın üzerinde KOİ giderme verimleri elde edilmiş olup, KOİ giderimi farklı C/N oranlarından etkilenmemiştir. Farklı C/N oranlarının reaktörlerin NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N giderme verimine etkisi az olmasına karşın TN giderme verimine etkisinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki reaktörde C/N oranı arttıkça TN giderme verimi ve birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimi artmıştır. AKBR'de birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimi AKR'den daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlar, her iki reaktörde farklı C/N oranlarının etkisinin aynı olduğunu ve AKBR'de daha yüksek azot giderimi ile daha etkili birlikte nitrifikasyon denitrifikasyonun elde edildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon, Ardışık kesikli reaktör, Ardışık kesikli biyofilm reaktör, C/N oranı.

---

## **Comparison of the Effect of C/N Ratio on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Sequencing Batch Reactor and Sequencing Batch Biofilm Reactor**

---

### **Abstract**

In this study, the effect of different carbon to nitrogen (C/N) ratios (5, 10 and 15) on simultaneous nitrification and denitrification (SND) in sequencing batch reactor (SBR) and sequencing batch biofilm reactor (SBBR) was compared. The COD removal efficiencies in both reactor were above 90 % suggesting that it was irrespective of C/N ratios. The C/N ratios has little effect on NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal, while they had greater effect on the removal of TN. The TN removal efficiency and simultaneous nitrification denitrification efficiency in both reactors increased with increases in C/N ratios. The simultaneous nitrification denitrification efficiency in SBBR is higher than SBR. The results showed that the effect of different carbon to nitrogen (C/N) ratios in both reactors was similar and SBBR had higher nitrogen removal and simultaneous nitrification denitrification.

**Keywords:** Simultaneous nitrification denitrification, Sequencing batch reactor, Sequencing batch biofilm reactor, C/N ratio.

---

### **1. Giriş**

Atıksuda bulunan azot; ötrofikasyon, sucul organizmalara toksisite ve alıcı ortamlarda çözünmüş oksijenin tüketimi gibi olumsuz çevresel etkileri bulunmaktadır [1]. Ayrıca, atıksuyun deşarjıyla ilgili yeni çevresel düzenlemeler gerçekleştirilmekte ve deşarj standartları daha da sıkılaştırılmaktadır. Bunlardan dolayı, atıksudan azotun uzaklaştırılması artan bir öneme sahip hale gelmiştir. Biyolojik arıtım, atıksudan azotun giderimi için kullanılan en ekonomik proseslerden biridir. Atıksuda bulunan azot biyolojik olarak genellikle ardışık nitrifikasyon denitrifikasyon prosesleriyle giderilmektedir [2]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, oksijen konsantrasyonunun kontrol edilmesiyle tek bir reaktör içinde

---

\* Sorumlu yazar: [egurtekin@firat.edu.tr](mailto:egurtekin@firat.edu.tr)

aerobik şartlar altında nitrifikasyon ve denitrifikasyonun aynı anda gerçekleşeceğini göstermiştir [3]. Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon, klasik olan ayrık nitrifikasyon denitrifikasyon prosesiyle karşılaştırıldığında önemli avantajlara sahiptir. Öncelikle, birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon prosesi seri biçimde iki ayrı tankın işletimi gereksinimini ortadan kaldırmaktadır [3]. Bunun yanında, birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon prosesinde % 22-40 daha az karbon kullanıldığı ve klasik nitrifikasyon denitrifikasyon prosesiyle karşılaştırıldığında % 30 kadar daha düşük çamur oluştuğu hesap edilmiştir [4]. Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon, nitrifikasyon sırasında tüketilen alkalinite denitrifikasyon sırasında üretileceğinden nötral pH değerlerinde tamamlanabilir [5]. Alternatif elektron alıcısı olarak nitrat kullanılabileceğinden oksijen tüketimi azalmakta ve böylece düşük oksijen konsantrasyonları (0.10-1.0 mg/L) birlikte nitrifikasyon denitrifikasyonun gerçekleşmesi için yeterli olmaktadır [6].

Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon prosesini etkileyen temel faktörler; C/N oranı, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve flok büyüklüğüdür [7]. Organik madde miktarının nispeten düşük konsantrasyonları nitrifikasyon için avantaj sağlamakta, ancak yetersiz elektron vericisinden dolayı ise denitrifikasyon sınırlı bir düzeyde gerçekleşmektedir. Aşırı organik madde olması durumunda, karbon oksidasyonunu gerçekleştiren heterotrofik bakterilerin nitrifikasyon bakterilerine kıyasla oksijen tüketimindeki avantajından dolayı nitrifikasyon inhibe olmaktadır [8].

Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyonun gerçekleşmesinde iki etkin mekanizma fiziksel ve biyolojik olarak ikiye ayrılabilir. Fiziksel mekanizmaya göre, çözülmüş oksijen ve besi elementleri flok ve biyofilmin iç kısmına ulaşamadığından bu kısımlarda anoksik ve/veya anaerobik kısımlar oluşmaktadır. Bu, mikroçevre teorisi olarak da bilinmektedir. Biyolojik mekanizmaya göre ise, aerobik denitrifikasyon bakterileri ve anaerobik nitrifikasyon bakterileri bulunmaktadır [9].

Atıksuyun C/N oranının azot giderimine etkisi birlikte nitrifikasyon denitrifikasyona dayalı ardışık kesikli reaktör [7, 10], ardışık kesikli biyofilm reaktör [11], biyolojik havalandırmalı filtre [12], akışkan yataklı reaktör [13] gibi biyoreaktörlerde çalışılmıştır. Ardışık kesikli reaktör, bir tank içerisinde KOİ, azot ve fosforun birlikte gideriminde iyi bir performansa sahip olduğundan dolayı oldukça dikkat çeken bir prosestir. Son yıllarda ise, ardışık kesikli biyofilm reaktör hem biyofilm hem de ardışık kesikli reaktörün avantajlarını bir araya getirdiğinden dolayı cazip bir proses haline gelmiştir [11].

Hem ardışık kesikli reaktör hem de ardışık kesikli biyofilm reaktörde C/N oranının birlikte nitrifikasyon denitrifikasyona etkisi araştırılmış olmasına karşılık, bu iki biyoreaktörün aynı C/N oranlarında birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon performanslarının karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, aynı işletme şartlarında işletilen ardışık kesikli reaktör ve ardışık kesikli biyofilm reaktörün birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon performanslarına farklı C/N oranlarının etkisini karşılaştırmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Reaktörler ve İşletimi

Bu çalışma birbirine paralel 5 L çalışma hacminde iki reaktörde (AKR ve AKBR) tamamlanmıştır. AKBR'de  $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$  spesifik yüzey alana ve % 98 boşluk oranına sahip plastik malzeme kullanılmıştır. Her iki reaktörde bir devir 8 saatten oluşmaktadır. Her bir devir; 15 dakika doldurma, 405 dakika havalandırma, 30 dakika çökeltme, 15 dakika boşaltma ve 15 dakika dinlendirme fazlarından oluşmaktadır. Atıksuyun reaktörlere beslenmesi peristaltik pompa yardımıyla yapılmıştır. Reaktör çıkışı ise, reaktörün orta noktasından gerçekleştirilmiştir. Reaktörler bir karıştırıcı ve bir havalandırıcı ile teçhiz edilmiştir. Reaktörlerin havalandırma fazında çözülmüş oksijen konsantrasyonunun  $0.8 \pm 0.1 \text{ mg/l}$  değerinde olması sağlanmıştır. Reaktörlerde pH değeri kontrolü yapılmamış olup, pH değeri 7.2 ile 7.9 aralığında kalmıştır. Reaktörler,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta işletilmişlerdir.

Bu çalışmada her iki reaktörde C/N oranının etkisini tespit etmek amacıyla 5, 10 ve 15 olmak üzere 3 farklı C/N oranı kullanılmıştır. Bu amaçla, giriş TN konsantrasyonu  $40 \text{ mg/L}$ 'de tutulmuş, buna bağlı olarak giriş KOİ konsantrasyonları değiştirilerek giriş C/N oranı 5, 10 ve 15'de kontrol edilmiştir.

## 2.2. Sentetik atıksu ve çamur

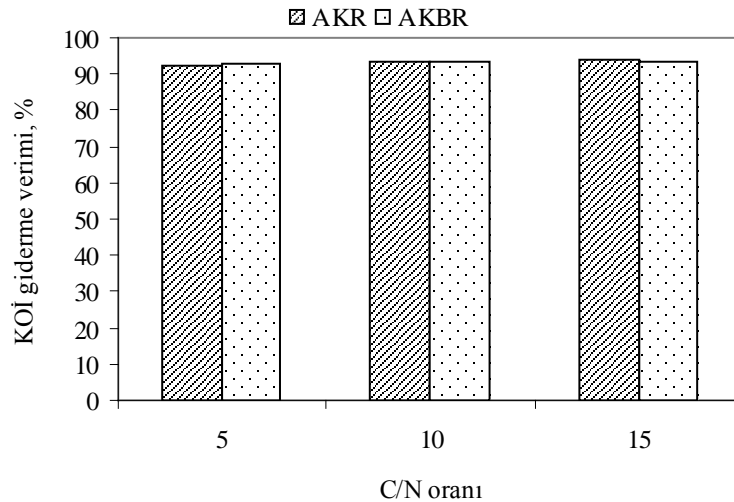
Bu çalışmada kullanılan sentetik atıksuda, gerçek evsel atıksu kompozisyonuna benzetmek amacıyla glikoz, sodyum asetat,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ile  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'den oluşan bir iz element solüsyonu kullanılmıştır. Reaktörler, azot ve fosfor giderimi gerçekleştiren bir şehir atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamurla aşılanmıştır.

## 2.3. Analitik yöntemler

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) Standart Metotlara göre yapılmıştır [14]. TN,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  ve  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  analizleri Standart Kit (Merck Specquorant) kullanılarak yapılmıştır.

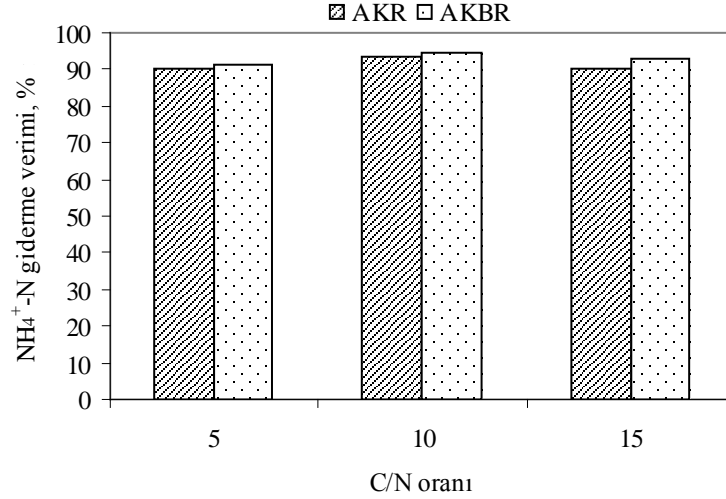
## 3. Bulgular ve Tartışma

AKR ve AKBR'de farklı C/N oranlarının (5, 10 ve 15) KOİ giderme verimine etkisi Şekil 1'de verilmiştir. AKR'de 5, 10 ve 15'lik C/N oranlarında KOİ giderme verimleri sırasıyla % 92.1, % 93.4 ve % 93.8 olarak bulunmuştur. AKBR'de 5, 10 ve 15'lik C/N oranlarında KOİ giderme verimleri ise sırasıyla % 92.6, % 93.6 ve % 93.5 olarak bulunmuştur. Her iki reaktörde KOİ giderme verimi yüksek olup, çalışılan C/N oranlarında KOİ giderme verimi değişmemiştir. Farklı biyoreaktörlerde C/N oranının KOİ giderme verimine etkisi ile ilgili benzer sonuçlar, daha önceden yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir [11, 15, 16].



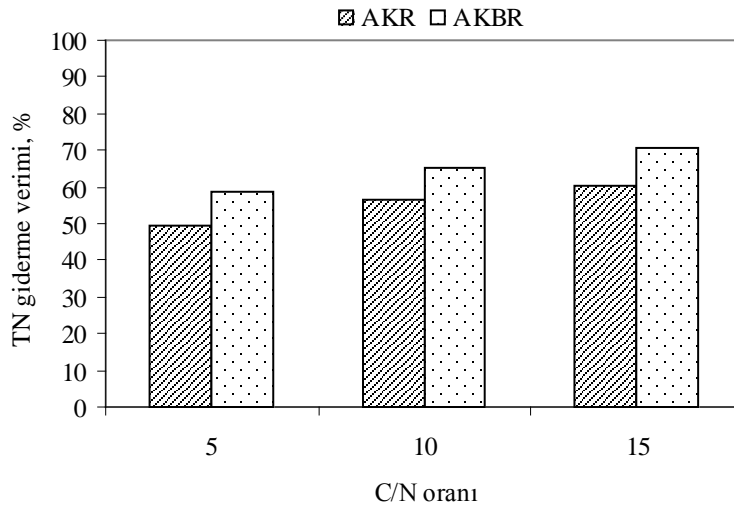
Şekil 1. KOİ giderme verimine C/N oranının etkisi

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, biyolojik atıksu arıtma sistemlerinde nitrifikasyonun gerçekleşmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Nitrifikasyonun tam olarak gerçekleşmemesi toplam azot uzaklaştırma veriminin azalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, her iki reaktörde farklı C/N oranlarında  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  giderme verimi % 90'nın üzerinde bulunmuştur (Şekil 2). Buradan, düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında her iki reaktörde de nitrifikasyon bakterilerinin aktif olduğu, nitrifikasyonun gerçekleştiği ve denenen üç farklı C/N oranının nitrifikasyon üzerinde etkisinin çok az olduğu sonucu çıkarılabilir. Ayrıca, C/N oranının 10'dan 15'e yükselmesiyle  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  giderme veriminde az da olsa bir azalma meydana gelmiştir. C/N oranının artması heterotrofik bakteriler tarafından gerçekleştirilen KOİ oksidasyonu için oksijen tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu sebepten, sonuçlar reaktörlerde özellikle AKR'de nitrifikasyonun inhibe olmaya başladığını göstermektedir.



Şekil 2.  $NH_4^+$ -N giderme verimine C/N oranının etkisi

Her iki reaktörde  $NH_4^+$ -N giderme verimine C/N oranının etkisi oldukça az olmasına karşılık, TN giderme verimine etkisi oldukça fazladır (Şekil 3). AKR’de 5, 10 ve 15’lik C/N oranlarında TN giderme verimleri sırasıyla % 49.2, % 56.5 ve % 60.3 olarak bulunmuştur. AKBR’de 5, 10 ve 15’lik C/N oranlarında TN giderme verimleri ise sırasıyla % 58.8, % 65.4 ve % 70.6 olarak bulunmuştur. Her iki reaktörde C/N oranları arttıkça TN giderme verimi artmıştır. AKBR’de üç farklı C/N oranında da AKR’den daha yüksek TN giderme verimi elde edilmiştir. AKBR’de elde edilen daha yüksek TN giderme verimi, birlikte nitrifikasyon denitrifikasyonun daha etkin bir biçimde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3. TN giderme verimine C/N oranının etkisi

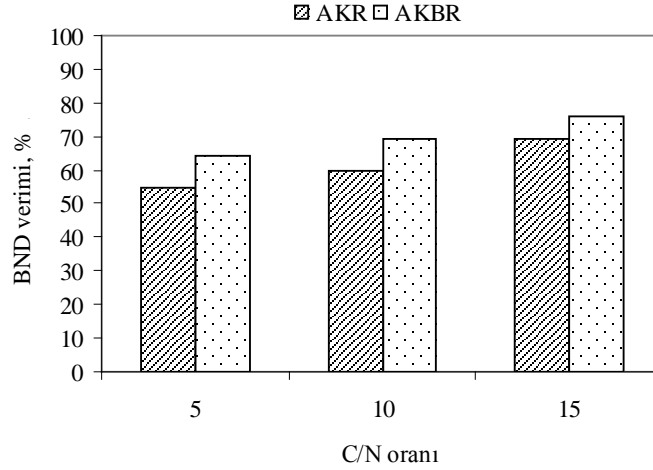
Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimini hesaplamak için Third ve diğ. [17] tarafından verilen denklem kullanılmıştır.

$$E_{BND} = \left( 1 - \frac{NO_x^- \text{ kalan}}{NH_4^+ \text{ oksideolan}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Burada,  $NO_x^-$  kalan, amonyum okside olduğu zaman mevcut nitrit ve nitratın toplamıdır ve  $NH_4^+$  okside olan, aerobik periyotta okside olan amonyum miktarıdır.

Her iki reaktörde birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimine C/N oranının etkisi Şekil 4’de verilmiştir. Her iki reaktörde C/N oranı arttıkça birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon veriminin arttığı gözlenmiştir. AKR’de 5, 10 ve 15 C/N oranlarında birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimleri

sırasıyla % 55, % 60 ve % 67 olarak bulunurken, AKBR’de sırasıyla % 64, % 69 ve % 76 olarak bulunmuştur. Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon oksijen gradiyentinden dolayı mikrobiyal biyofilm ve floklar içinde meydana gelmektedir. Nitrifikasyon bakterileri yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonuna sahip alanlarda aktif iken, denitrifikasyon bakterileri düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonuna sahip alanlarda aktiftir. Biyokütle içinde çözünmüş oksijenin düzensiz dağılımı nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterilerinin birlikte faaliyet göstermesini sağlamaktadır. AKBR’de daha yüksek birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimi elde edilmesi biyofilm yapısının daha büyük olmasının bir neticesi olabilir.



Şekil 4. Birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon (BND) verimine C/N oranının etkisi

Bu çalışmada her iki reaktörde elde edilen birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimleri ile daha önceden rapor edilen birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimleri ise Tablo 1’de verilmiştir. Daha önceki raporlar, etkili bir birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon veriminin nitrifikasyon denitrifikasyon hızlarının sistemde çok düşük miktarlarda nitrit ve nitrat üreten bir dengeye sahip olmasıyla meydana geleceğini belirtmişlerdir [18, 19, 20].

Tablo 1. Farklı C/N oranlarında BND verimleri ve rapor edilen değerlerle karşılaştırılması

C/N oranı	BND verimi, %	Reaktör tipi	Kaynaklar
5	55	AKR	Bu çalışma
10	60	AKR	Bu çalışma
15	67	AKR	Bu çalışma
5	64	AKBR	Bu çalışma
10	69	AKBR	Bu çalışma
15	76	AKBR	Bu çalışma
11.1	98.7	AKR	[6]
14.5	80	AKR	[10]
3.8	88.6	AKBR	[11]
6.8	87.45	AKBR	[11]
12.5	97.9	AKBR	[11]
22	68.39	AKBR	[11]
4.77	53.6	HİSMBR	[15]
10.04	98.2	HİSMBR	[15]
15.11	97.4	HİSMBR	[15]
3.0	87.2	KATBR	[20]
5.0	84.5	KATBR	[20]
10	83.3	KATBR	[20]
10	78.37	AGAKR	[21]
15	83.09	AGAKR	[21]
20	83.82	AGAKR	[21]

HİSMBR: Hava Kaldırılmalı İç Sirkülasyonlu Membran Biyoreaktör

KATBR: Kompakt Askıda Taşıyıcı Biyofilm Reaktör

AGAKR: Aerobik Granüler Ardışık Kesikli Reaktör

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ardışık kesikli reaktör (AKR) ve ardışık kesikli biyofilm reaktörün (AKBR) birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon (BND) performansına farklı C/N oranlarının (5, 10 ve 15) etkisi değerlendirilmiştir. AKR ve AKBR’de farklı C/N oranlarının etkisinin benzer olduğu görülmüştür. Her iki reaktörde KOİ giderme verimi farklı C/N oranlarından etkilenmemiştir. Farklı C/N oranlarının reaktörlerin  $\text{NH}_4^+$ -N giderme verimine etkisi az olmasına karşın, TN giderme verimine etkisinin oldukça fazla olduğu bulunmuştur. Reaktörlerde C/N oranı arttıkça TN giderme verimi ve birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimi artmıştır. Ancak; AKBR’nin, toplam azot ve birlikte nitrifikasyon denitrifikasyon verimi açısından AKR’den daha etkili olduğu bulunmuştur.

#### Kaynaklar

1. He S., Xue G., Wang B. 2009. Factors Affecting Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND) and Its Kinetics Model in Membrane Bioreactor, *Journal of Hazardous Materials*, 168: 704-710.
2. Lan C. J., Kumar M., Wang C. C., Lin J. G. 2011. Development of Simultaneous Partial Nitrification, Anammox and Denitrification (SNAD) Process in a Sequential Batch Reactor, *Bioresource Technology*, 102: 5513-5519.
3. Yang S., Yang F. 2011. Nitrogen Removal via Short-Cut Simultaneous Nitrification and Denitrification in an Intermittently Aerated Moving Bed Membrane Bioreactor, *Journal of Hazardous Materials*, 195: 318-323.
4. Seifi M., Fazaelpoor M. H. 2012. Modeling Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND) in a Fluidized Bed Biofilm Reactor, *Applied Mathematical Modelling*, 36(11): 5603-5613.
5. Rong Q., Yang K., Yu Z. 2007. Treatment of Coke Plant Wastewater by SND Fixed Biofilm Hybrid System, *Journal of Environmental Sciences*, 19(2): 153-159.
6. Chiu Y. C., Lee L. L., Chang C. N., Chao A. C. 2007. Control of Carbon and Ammonium Ratio for Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Sequencing Batch Bioreactor, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59: 1-7.
7. Zhu G., Peng Y., Li B., Guo J., Yang Q., Wang S. 2007. Biological Removal of Nutrient from Wastewater, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 192: 159-195.
8. Liu H., Yang F., Shi S., Liu X. 2010. Effect of Substrate COD/N Ratio on Performance and Microbial Community Structure of a Membrane Aerated Biofilm Reactor, *Journal of Environmental Sciences*, 22(4): 540-546.
9. Zhu G. B., Peng Y. Z., Wu S. Y., Wang S.Y., Xu S. W. 2007. Simultaneous Nitrification and Denitrification in Step Feeding Biological Nitrogen Removal Process, *Journal of Environmental Sciences*, 19 (9): 1043-1048.
10. Pochana K., Keller J. 1999. Study of Factors Affecting Simultaneous Nittrification and Denitrification (SND), *Water Science and Techmology*, 39 (6): 61-68.
11. Ding D., Feng C., Jin Y., Hao C., Zhao Y., Suemura T. 2011. Domestic Sewage Treatment in a Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) with and Intelligent Controlling System, *Desalination*, 276(1-3): 260-265.
12. Ohashi A., Viraj de Silva D. G., Mobarry B., Manem J. A., Stahl D. A., Ritmann B. E. 1995. Influence of Substrate C/N Ratio on the Structure of Multi-Species Biofilms consisting of Nitrifiers and Heterotrophs, *Water Science and Techmology*, 32 (8): 75-84.
13. Xing X., Jun B., Yanagida M., Tanji Y., Unno H. 2000. Effect of C/N Values on Microbial Simultaneous Removal of Carbonaceous and Nitrogenous Substances in Wastewater by Single Continuous-Flow Fludized-Bed Bioreactor Containing Porous Carrier Particles, *Biochemical Engineering Journal*, 5 (1): 29-37.

14. APHA, AWWA, WCPF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.
15. Meng Q., Yang F., Liu L., Meng F. 2008. Effect of COD/N and DO Concentration on Simultaneous Nitrification and Denitrification in an Airlift Internal Circulation Membrane Bioreactor, *Journal of Environmental Sciences*, 20 (8): 933-939.
16. Fu Z., Yang F., Zhou F., Xue Y. 2009. Control of COD/N Ratio for Nutrient Removal in a Modified Membrane Bioreactor (MBR) Treating High Strength Wastewater, *Bioresource Technology*, 100: 136-141.
17. Third K. T., Burnett N. B., Cord-Ruwisch R. 2003. Simultaneous Nitrification and Denitrification Using Stored Substrate (PHB) as the Electron Donor in an SBR, *Biotechnology and Bioengineering*, 83 (6): 706-720.
18. Münch E. V., Lant P., Keller J. 1996. Simultaneous Nitrification and Denitrification in Bench-Scale Sequencing Batch Reactors, *Water Research*, 30 (2): 277-284.
19. Zeng R. J., Lemaire Z., Yuan Z., Keller J. 2003. Simultaneous Nitrification, and Denitrification, and Phosphorus Removal in a Lab-Scale Sequencing Batch Reactor, *Biotechnology and Bioengineering*, 84 (2): 170-178.
20. Xia S. Q., Li J. Y., Wang R. C. 2008. Nitrogen Removal Performance and Microbial Community Structure Dynamics Response to Carbon Nitrogen Ratio in a Compact Suspended Carrier Biofilm Reactor, *Ecological Engineering*, 32 (3): 256-262.
21. Feng Q., Cao J. S., Chen L. N., Guo C. Y., Tan J. Y., Xu H. L. 2011. Simultaneous Nitrification and Denitrification at Variable C/N Ratio in Aerobic Granular Sequencing Batch Reactors, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9 (3&4): 1131-1136.