



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بهینه سازی حذف نیتروژن از فاضلاب مصنوعی از طریق حذف مرحله نترات زایی از یک راکتور بیوفیلمی بستر ثابت

مهدی حاج سردار^{۱*}، سید مهدی برقی^۲، امیر حسام حسنی^۲، افشین تکدستان^۳

- ۱- (نویسنده مسئول): دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
- ۲- دکترای تخصصی مهندسی محیط زیست، استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف
- ۳- دکترای تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
- ۴- دکترای تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشیار دانشکده بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: به منظور بهینه سازی حذف نیتروژن از فاضلاب و کاهش مشکلات مربوط به ورود مواد مغذی به منابع پذیرنده مانند یک دریاچه، شرایط افزایش بازدهی حذف نیتروژن از راه نترات زایی جزئی (*Partial Nitrification*) به عنوان یکی از روش های نوین حذف نیتروژن بررسی گردید. روش بررسی: افزایش بازدهی نترات زایی و نترات زدایی هم زمان (*SND*) به کمک نترات زایی جزئی از راه نیتريت زایی - نیتريت زدایی (*Nitritation/Denitritation*) در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت بررسی شد. در این روش ابتدا آمونیوم توسط باکتری های اکسید کننده آمونیاک (*AOB*) به نیتريت تبدیل شد ولی فعالیت باکتری های اکسید کننده نیتريت (*NOB*) به دلیل کمبود اکسیژن محلول (*DO*) مورد نیاز آنها، محدود شد. به عنوان شاخص تعیین کننده پیشرفت فرایند، از پایش مقدار پتانسیل اکسایش-کاهش (*ORP*) و بررسی نقاط عطف نمودار آن نسبت به زمان استفاده شد. یافته ها: یافته ها نشان داد که در پرئود دوم با اکسیژن محلول ثابت برابر با 0.5 mg/L ، درصد انباشتگی نیتريت (*NAR*) بالاتر از پرئود اول با کاهش مرحله ای اکسیژن محلول از 1 mg/L تا 0.5 mg/L بود. با این وجود بازده نترات زایی و نترات زدایی هم زمان نسبت به پرئود اول کاهش یافت. در پرئود سوم با افزایش نسبت کربن به نیتروژن (*C/N*) به $12/5$ ، درصد انباشتگی نیتريت به بالاترین مقدار خود یعنی $71/4\%$ رسید. همچنین بازده نترات زایی و نترات زدایی هم زمان به $96/7\%$ رسانده شد و در بررسی بلند مدت روش پیشنهادی، این بازده دست کم برابر با 90% ثبت گردید.

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۶

تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۰۳

تاریخ انتشار: ۹۵/۰۳/۱۷

واژگان کلیدی: راکتور بیوفیلمی بستر ثابت، حذف نیتروژن

نتیجه گیری: نسبت کربن به نیتروژن مناسب، به همراه حداقل نگاه داشتن اکسیژن محلول، بازدهی حذف نیتروژن بالاتری نسبت به کاهش مرحله به مرحله اکسیژن محلول در طول واکنش هوازی داشت. بدون در نظر گرفتن مرحله آنوکسیک و با استفاده از یک راکتور بیوفیلمی بستر ثابت در غلظت اکسیژن محلول ثابت برابر با 0.5 mg/L ، بالاترین بازدهی نترات زایی و نترات زدایی هم زمان و بالاترین درصد انباشتگی نیتريت به دست آمد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

hajsardar@hotmail.com

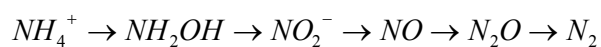
Please cite this article as: Hajsardar M, Borghei SM, Hassani AH, Takdastan A. Optimization of nitrogen removal from synthetic wastewater by eliminating nitrification step of a fixed-film bed reactor. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):69-80.

مقدمه

مواد مغذی موجود در فاضلاب به طور عمده نیتروژن و فسفر هستند. ورود این مواد مغذی به منابع پذیرنده نهایی مثلاً دریاچه‌ها می‌تواند سبب بروز مشکلات زیست محیطی مانند پدیده شکوفایی جلبکی شده و اکسیژن محلول در محیط‌های آبی کاهش یابد (۱، ۲) بنابراین یکی از مهم‌ترین اهداف تصفیه فاضلاب، حذف نیتروژن و فسفر است که توسط روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام می‌شود. روش‌های بیولوژیکی حذف نیتروژن موثرتر و اقتصادی‌تر هستند (۳، ۴). معمولاً حذف نیتروژن از فاضلاب به وسیله نیترات زایی (Nitrification) و نیترات زدایی (Denitrification) انجام می‌پذیرد (۵). باکتری نیتروسوموناس (Nitrosomonas)، آمونیوم (NH_4^+) را به نیتريت (NO_2^-) تبدیل می‌کند و نیتروباکتر (Nitrobacter)، نیتريت را به نیترات (NO_3^-) تبدیل می‌کند. باکتری سوداموناس (pseudomonas) عامل اصلی فرایند نیترات زدایی یعنی تبدیل نیترات به گاز نیتروژن (N_2) است و برای آن نیازمند یک منبع کربن است (۳). امروزه فرایندهای حذف نیتروژن که در یک راکتور انجام شوند، در اولویت‌اند. برخی از این فرایندهای نوین عبارتند از نیترات زایی و نیترات زدایی در حضور اکسیژن محدود به صورت اوتوتروف (OLAND)، حذف نیتروژن از طریق نیتريت به صورت کاملاً اتوتروف (CANON)، حذف آمونیوم در یک راکتور واحد از طریق نیتريت (SHARON) و اکسیداسیون بی‌هوازی آمونیوم (ANAMMOX) (۶، ۷). مطالعات Wang و همکاران (۸)، Ding و همکاران (۹)، Vijayalayan و همکاران (۱۰) و Ganesh و همکاران (۱۱) نشان داده‌اند که برخی از فرایندها توانایی نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان (SND) در یک راکتور را دارند. بنابراین تحقیقات Rittmann و همکاران (۱۲)، در فرایند SND، نیترات زایی در لایه بیرونی و نیترات زدایی در لایه‌های درونی بیوفیلم صورت می‌گیرد. براساس تحقیق Wrage و همکاران (۱۳) می‌توان واکنش مستقیم SND را توسط معادله

۱ نشان داد.

(۱)

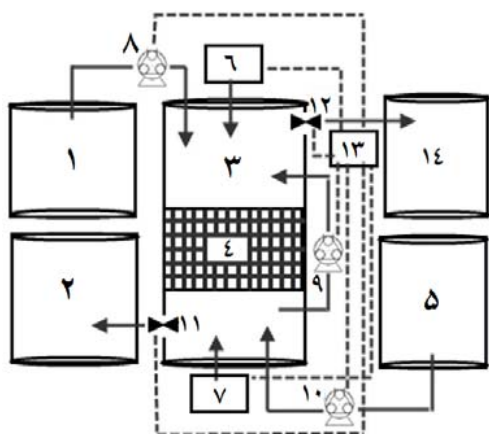


به منظور فراهم سازی شرایط نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان می‌توان از یک راکتور بیوفیلمی ناپیوسته متوالی (SBBR) استفاده نمود. به عنوان نمونه راکتور بیوفیلمی ناپیوسته متوالی در تحقیقات Rodgers و همکاران (۱۴) و یا Li و همکاران (۱۵) به منظور حذف نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور بهبود بخشیدن فرایند نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان، می‌توان از راه حل نیترات زایی جزئی (Partial Nitrification) نیز استفاده نمود. چند راهکار برای تامین شرایط این فرایند عبارتند از تنظیم pH، تنظیم درجه حرارت، تنظیم زمان ماند سلولی (SRT)، تنظیم اکسیژن محلول و کنترل آنالین هوادهی. این پارامترها در تحقیقات Peng و همکاران (۱۶) و یا Sinha و همکاران (۱۷) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نیترات زایی جزئی به عنوان یک راه میان بر و اقتصادی برای حذف نیتروژن از فاضلاب‌های با غلظت آمونیاک بالا در تحقیق Ciudad و همکاران (۱۸) معرفی شده است. به کمک نیترات زایی جزئی می‌توان تا ۲۵٪ در مصرف اکسیژن در مرحله نیترات زایی و تا ۴۰٪ در مصرف منبع کربن در مرحله نیترات زدایی صرفه جویی نمود (۱۹). روش کار به این صورت است که مطابق شکل ۱، آمونیوم به نیتريت تبدیل شده (نیتريت زایی) و لسی اجازه تبدیل نیتريت به نیترات داده نشود. نیتريت تولید شده با ورود منبع کربن به گار نیتروژن تبدیل می‌گردد (نیتريت زدایی). در این روش کافی است که اکسیژن محلول در بازه ۰/۵ تا ۲ mg/L ثابت باشد. نتایج تحقیقات Chu (۲۰) و Chiu (۲۱) این موضوع را تایید کرده‌اند. در نیترات زایی جزئی فعالیت باکتری‌های اکسید کننده آمونیوم (AOB) که مسئول تبدیل آمونیوم به نیتريت هستند و نیاز به اکسیژن محلول برابر با ۰/۳ mg/L دارند و همچنین باکتری‌های اکسید کننده نیتريت (NOB) که مسئول تبدیل نیتريت به نیترات هستند و به اکسیژن محلول برابر با ۱/۱ mg/L نیاز دارند،

مرحله ته نشینی در نظر گرفته شده و به صورت هفتگی از شستشوی معکوس Backwash استفاده شد.

راکتور بیوفیلمی ناپیوسته متوالی

به منظور فراهم ساختن بستر بیوفیلمی ثابت، حامل‌های بیوفیلیم کالدنس تپ دو (Kaldnes®, K₂) به یک راکتور استوانه‌ای از جنس پلکسی گلس افزوده شد. جنس آکنه‌ها از پلی اتیلن با چگالی بالا و سطح ویژه موثر آنها برابر با $369/6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ بود. آکنه‌ها توسط دو صفحه مشبک از بالا و پایین درون راکتور ثابت شدند. به منظور یکنواخت شدن فاضلاب درون راکتور در بالا و پایین بستر ثابت، بازچرخش فاضلاب به وسیله یک پمپ صورت پذیرفت. شکل شماتیک راکتور بیوفیلمی بستر ثابت مورد استفاده در شکل ۲ ارائه شده است. جدول شماره ۱ مشخصات راکتور را ارائه می‌دهد.

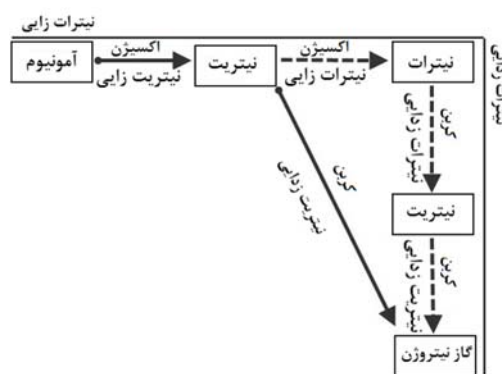


شکل ۲- شکل شماتیک پایلوت؛ ۱) مخزن خوراک، ۲) مخزن پساب، ۳) راکتور بیوفیلمی بستر ثابت، ۴) بستر مدای ثابت، ۵) مخزن شستشوی معکوس، ۶ و ۷) پمپ هوا، ۸، ۹ و ۱۰) پمپ پرستالتیک، ۱۱ و ۱۲) شیر برقی، ۱۳) تایمرها، ۱۴) مخزن خروجی شستشوی معکوس

جدول ۱- مشخصات راکتور بیوفیلمی بستر ثابت

فاصله از کف (m)	حجم آکنه‌ها (L)	نسبت تخلیه (%)	حجم مفید (L)	حجم کل (L)	ارتفاع (m)	قطر (m)	شکل	جنس
۰/۳۰	۱۲	۱۰۰	۲۸	۳۱	۰/۶۸	۰/۲۴	استوانه‌ای	پلکسی گلس

اهمیت دارد (۲۲). کافی است که فعالیت باکتری‌های اکسید کننده نیتريت محدود گردد تا شاهد افزایش درصد انباشتگی نیتريت (NAR) باشیم. تحقیقات Guo و همکاران (۲۳) نشان داد که در غلظت اکسیژن محلول در بازه ۰/۴ تا ۰/۸ mg/L NOB‌ها تکثیر نشدند. تحقیق Zhang و همکاران (۲۴) نیز بر روی نیترات زایی جزئی در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت نشان داد که با تنظیم اکسیژن محلول می‌توان نقطه پایان اکسیداسیون آمونیوم را تعیین کرد.



شکل ۱- نیتريت زایی و نیتريت زدایی به منظور حذف نیتروژن

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از یک راکتور بیوفیلمی بستر ثابت (SBBR) و یک راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) به عنوان راکتور شاهد در مقیاس پایلوت استفاده شد. در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت می‌توان مرحله ته نشینی را حذف نمود زیرا بستر ثابت مانند یک فیلتر عمل می‌کند (۲۵، ۲۶)

با این وجود به این دلیل که برای تعیین غلظت نیتروژن، نمونه فاضلاب حتماً باید صاف (فیلتر) شود، برای کاهش خطا،

روش‌های آزمایش‌ها

آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری TSS، MLSS و COD منطبق بر کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب (۲۷) انجام پذیرفت. برای اندازه‌گیری آمونیم، نیترات و نیتريت از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR 5000 کمپانی Hach استفاده گردید. آمونیم با استفاده از روش سالیسیلات (Salicylate Method) و نیترات با استفاده از روش کاهش کادمیوم (Cadmium Reduction Method) اندازه‌گیری شدند. نیتريت نیز با استفاده از روش سولفات آهن (Ferrous Sulfate Method) و دی‌آزوتیزاسیون (Diazotization Method) اندازه‌گیری شد. به دلیل وجود بستر ثابت، نمونه‌های مورد نیاز به صورت روزانه از شیرهای نمونه‌برداری که در ارتفاع‌های گوناگون از راکتور نصب شده بودند، برداشته شد. در آزمایش‌های تعیین غلظت آمونیم و نیترات، ۱۰ mL نمونه مورد نیاز بود. آزمایش نیتريت به روش‌های سولفات آهن و دی‌آزوتیزاسیون به ترتیب به ۱۰ و ۴۰ mL حجم نمونه نیاز داشت. اندازه‌گیری نیتروژن کج‌جلدال (TKN) به کمک مجموعه دستگاه‌های کمپانی behr و با استفاده از هضم، تقطیر و تیترا انجام پذیرفت. اندازه‌گیری اکسیژن محلول و پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP) به ترتیب با استفاده از دستگاه پرتابل مدل Oxi 3210 کمپانی WTW و دستگاه پرتابل مدل ORPTestr 10 کمپانی EUTECH صورت گرفت. به منظور کاهش خطاهای احتمالی، هر آزمایش دست کم سه بار تکرار شد و از آزمون خطای استاندارد میانگین به عنوان آزمون آماری استفاده شد.

راه‌اندازی و عملیات راکتور

در هنگام راه‌اندازی اولیه، سازگاری میکروارگانیسم‌ها با محیط جدید و رسیدن به بارگذاری نیتروژن مورد نظر ۴۰ روز زمان لازم داشت. برای راه‌اندازی اولیه راکتور از ۵ L بذر لجن برگشتی تصفیه‌خانه فاضلاب چنیه اهواز استفاده شد. با افزایش اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و نیتروژن کج‌جلدال ورودی فاضلاب مصنوعی و کاهش زمان ماند هیدرولیکی (HRT)، دو پارامتر بارگذاری آلی و بارگذاری نیتروژن به آرامی افزایش داده شدند تا به ترتیب به مقادیر $1/84 \text{ kgCOD/m}^3\text{d}$ و $0/18 \text{ kgN/m}^3\text{d}$ رسانده شوند. فاضلاب مصنوعی با ترکیب آب، شیر خشک صنعتی، نیترات آمونیم (NH_4NO_3)، اوره ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) و پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) تهیه شد. اکسیژن خواهی شیمیایی و نیتروژن کل فاضلاب مصنوعی به ترتیب برابر با ۱۰۰۰ و 100 mg/L تنظیم شد و نسبت کربن به نیتروژن برابر با ۱۰ در نظر گرفته شد. غلظت آمونیم، نیتروژن کج‌جلدال، نیترات و نیتريت نیز به ترتیب برابر با ۶۵، ۹۹، ۰/۵ و $0/3 \text{ mg/L}$ بود. زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند سلولی نیز به ترتیب برابر با ۲۴ و ۵۵ روز در نظر گرفته شدند. نمودار ۱ رسیدن به بارگذاری نیتروژن مورد نظر را نشان می‌دهد. برنامه زمان بندی سیکل راکتور در شکل ۳ ارائه گردیده است. اکسیژن محلول در پرپود اول از ۱ تا $0/5 \text{ mg/L}$ کاهش داده شد ولی در پرپود دوم و سوم به منظور بهبود نیترات‌زایی جزئی، در تمامی مدت زمان واکنش هوازی برابر با $0/5 \text{ mg/L}$ بود. در این سه پرپود بازدهی SND از رابطه موجود در معادله ۲ (۲۸) و درصد انباشتگی نیتريت از رابطه ذکر شده در معادله ۳ به دست آمده و بررسی شدند.

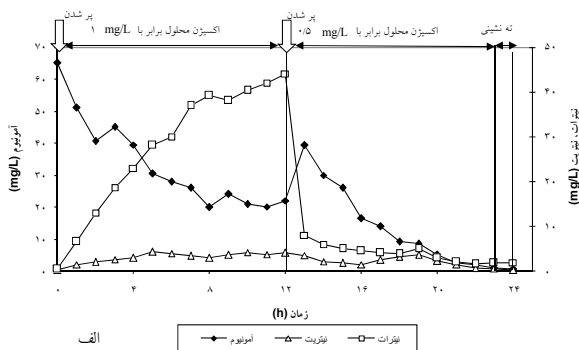
$$\text{SND Efficiency (\%)} = \frac{\text{Denitrification}}{\text{Nitrification}} = \frac{\text{NH}_4(\text{tot}) - \text{NO}_x(\text{acc})}{\text{NH}_4(\text{tot})} \times 100 \quad (2)$$

$\text{NH}_4(\text{tot})$: غلظت آمونیم در خوراک ورودی به راکتور (mg/L)
 $\text{NO}_x(\text{acc})$: غلظت اکسیدهای نیتروژن در پساب خروجی

در این معادله:

SND Efficiency: بازده نیترات‌زایی و نیتريت‌زدایی هم‌زمان (%)

زدایی هم زمان نیز با استفاده از معادله ۲ برابر با ۷۹٪ بود. درصد انباشتگی نیتريت نیز با استفاده از معادله ۳ در این مرحله برابر با ۲/۹٪ به دست آمد. همان‌گونه که در جدول شماره ۲ آمده است، در پرپود اول درصد انباشتگی نیتريت در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت برابر با ۱۳/۶۳٪ بود. آمونپوم، نیتريت و نیتريت پساب خروجی در این پرپود به ترتیب برابر با ۰/۸، ۱/۹ و ۰/۳ mg/L بود که استاندارد ایران برای پساب خروجی را برآورده ساخت (۲۹). در این پرپود با کاهش مرحله‌ای اکسیژن محلول از ۱ mg/L تا ۰/۵ mg/L، بازدهی حذف نیتروژن کل و بازدهی نیتريت زایی و نیتريت زدایی هم زمان نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۱۲٪ و ۱۷/۶٪ بیشتر بود. بازدهی حذف نیتروژن کل و نیتريت زایی و نیتريت زدایی هم زمان به ترتیب برابر با ۹۷٪ و ۹۶/۶٪ ثبت گردید. نمودار ۲ تغییرات فرم‌های نیتروژن و همچنین پتانسیل اکسایش-کاهش در یک سیکل نمونه پرپود اول را نشان می‌دهد. در نمودار ۲ (الف)، پس از ۱۲ h واکنش، تغییرات یک باره نیتريت و آمونپوم هم‌زمان با دومین مرحله پر شدن راکتور با هدف افزودن منبع کربن داخلی بود. نیتريت زدایی در ۴ h انتهای سیکل و ته نشینی آنوکسیک اتفاق افتاد. در نمودار ۲ (ب) هیچ نقطه عطفی به دلیل مسیر طبیعی واکنش مشاهده نشد و در ساعت سیزدهم از آغاز سیکل، سیر نزولی نمودار ORP مطابق با دومین مرحله پر شدن راکتور بود.



نمودار ۲- الف) تغییرات فرم‌های نیتروژن

شامل نیتريت و نیتريت (mg/L)

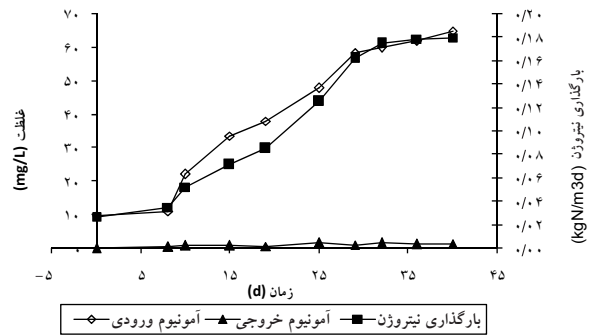
$$NAR (\%) = \frac{NO_2}{NO_2 + NO_3} \times 100 \quad (3)$$

در این معادله:

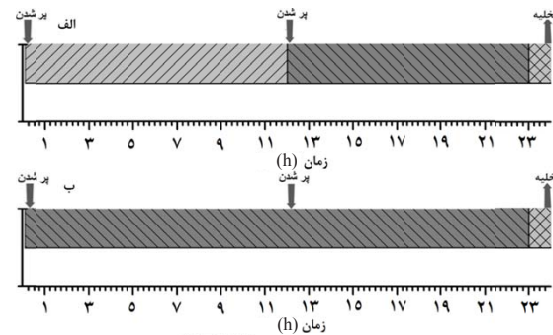
NAR: درصد انباشتگی نیتريت (%)

NO₂: غلظت نیتريت در پساب خروجی mg/L

NO₃: غلظت نیتريت در پساب خروجی mg/L



نمودار ۳- تغییر آمونپوم ورودی، خروجی و بارگذاری نیتروژن در مدت زمان راه‌اندازی اولیه راکتور

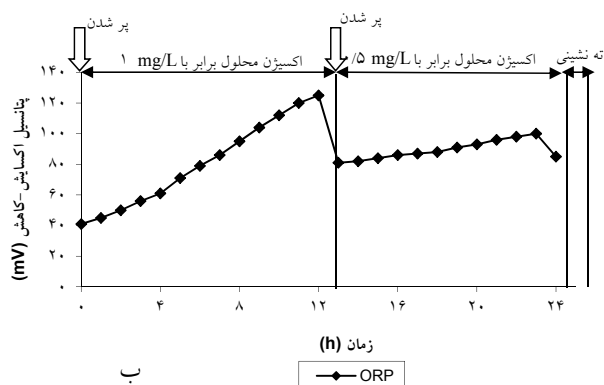


شکل ۳- سیکل راکتور بیوفیلمی بستر ثابت؛ الف) پرپود اول، ب) پرپود دوم و سوم

یافته‌ها

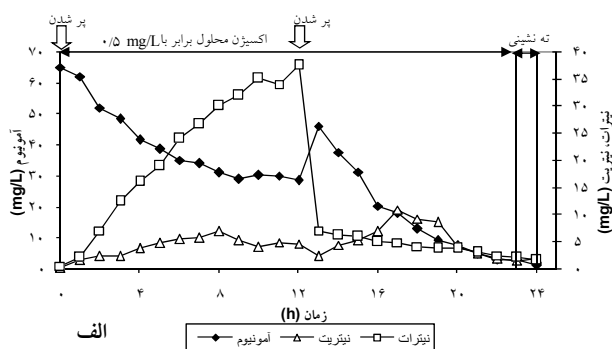
یافته‌های حاصل از راکتور شاهد نشان داد که بازده حذف نیتروژن کل برابر با ۸۵٪ بوده و بازدهی نیتريت زایی و نیتريت

در اثر نیتريت زايی به نيتريت تبديل شد سپس پيش از آنکه به نيترات تبديل شود، با ورود منبع کربن، در اثر نيتريت زدایی به گاز نيتروژن تبديل شد. مقدار نيتريت در انتهای واکنش $3/3 \text{ mg/L}$ ثبت گردید. در اين پريود مقدار نيتريت نسبت به نيترات پساب افزايش نشان داد و درصد انباشتگی نيتريت 68% به دست آمد. نمودار ۳ (الف) نشان می‌دهد که تجمع نيتريت پس از 17 h از آغاز واکنش به 19 mg/L نیز رسید. با اين وجود بازدهی حذف نيتروژن کل و بازدهی SND نسبت به پريود اول کاهش نشان داده و به ترتيب برابر با 94% و 92% ثبت شدند. مقادير آمونيووم و نيترات نیز در پايان سيکل به ترتيب $1/15 \text{ mg/L}$ و $0/55 \text{ mg/L}$ بود و هر دو نسبت به پريود اول افزايش داشته‌اند.

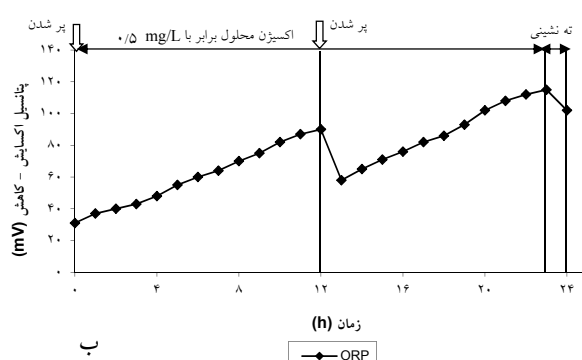


ادامه نمودار ۲- (ب) تغييرات ORP در يك سيکل از راکتور SBBR در پريود اول

در پريود دوم که مقدار اکسيژن محلول در تمامی مدت زمان واکنش ثابت و برابر با $0/5 \text{ mg/L}$ بود، بازدهی برخی از پارامترها بهبود يافت. آمونيووم ورودی با غلظت 65 mg/L



نمودار ۳- (الف) تغييرات فرمهای نيتروژن، (ب) تغييرات ORP در يك سيکل از راکتور SBBR در پريود دوم



صعودی پتانسیل اکسایش-کاهش دیده نشده و نيترات زايی جزئی در اين پريود نیز اتفاق افتاد.

نمودار ۳ (ب) نشان می‌دهد که در پريود دوم نیز هیچگونه نقطه عطفی که در اثر پیشرفت واکنش باشد، در نمودار

جدول ۲- مقایسه عملکرد راکتور ناپيوسته متوالی و راکتور بيوفيلمی ناپيوسته متوالی

پارامتر	نمونه شاهد (SBR)	SBBR		
		پريود اول	پريود دوم	پريود سوم
بازده (%) SND	۷۹	۹۶/۶	۹۲	۹۶/۷
NAR (%)	۲/۹	۱۳/۶	۶۸	۷۱/۴

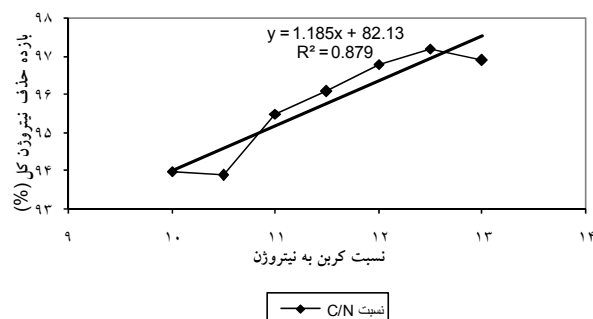
ادامه جدول ۲- مقایسه عملکرد راکتور ناپیوسته متوالی و راکتور بیوفیلمی ناپیوسته متوالی

پارامتر	نمونه شاهد (SBR)	SBBR		
		پریود اول	پریود دوم	پریود سوم
C/N	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲/۵
اکسیژن محلول اولیه (mg/L)	۱	۱	۰/۵	۰/۵
اکسیژن محلول ثانویه (mg/L)	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
بستر ثابت بیوفیلم	خیر	بله	بله	بله

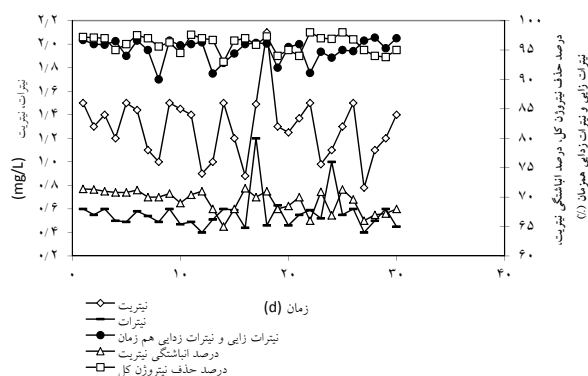
بحث

در پریود اول، درصد انباشتگی نیتريت در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت افزایش ۱۰/۶۵ درصدی را نسبت به راکتور شاهد داشت و به این معنی بود که فعالیت NOB ها در اثر کمبود اکسیژن محلول در عمق آکنه‌ها محدود شده و در نتیجه نیتريت کمتری به نیترات تبدیل شده است. نتایج تحقیق Rahimi و همکاران (۳۰) نیز نشان داد که بازدهی راکتور بیوفیلمی بستر ثابت در حذف نیتروژن کل، نسبت به راکتور ناپیوسته متوالی ۲۸٪ بالاتر بوده است. از طرفی در نمودارهای تغییرات ORP نسبت به زمان هیچگونه نقطه عطفی مشاهده نشد. همواره نمودار تغییرات پتانسیل اکسایش-کاهش نسبت به زمان در شرایط هوازی صعودی است و یک نقطه عطف که *a* نام دارد، بیانگر پایان نیترات زایی است (۳۱). در این تحقیق نیترات زایی به طور کامل انجام نگردید و شرایط برای نیترات زایی جزئی فراهم شد و نمودارهای ۲ (ب) و ۳ (ب) نیز تایید می‌کنند که در هیچ یک از دو بازه واکنش هوازی، نقطه عطفی در نمودار صعودی ORP وجود نداشته است. بنابراین پیش از تبدیل نیتريت به نیترات، فرایند حذف آن آغاز شده است. در پریود دوم درصد انباشتگی نیتريت نسبت به پریود اول ۵۴/۴۱٪ افزایش داشت ولی بازدهی حذف نیتروژن کل و بازدهی نیترات زایی و نیترات زدایی هم زمان، کاهش یافت. دلیل این موضوع، کمبود منبع کربن مورد نیاز

در پریود سوم مطابق نمودار ۴، به منظور افزایش بازدهی حذف نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن به آرامی از ۱۰ به ۱۲/۵ افزایش داده شد. و با اکسیژن محلول ثابت برابر با mg/L ۰/۵، بازده حذف نیتروژن کل به ۹۷/۲٪ رسید. نسبت‌های بالاتر C/N مقدار بازدهی حذف نیتروژن کل را پایین آورد. در تحقیقات Ding و همکاران (۹) نیز نسبت‌های بالاتر C/N این بازدهی را تا ۳۸٪ پایین آورد. در پریود سوم NAR برابر با ۷۱/۴٪ بود که بالاترین مقدار ثبت شده بود. بازدهی نیترات زایی و نیترات زدایی هم زمان نیز برابر با ۹۶/۷٪ ثبت گردید. با توجه به نمودار ۵ که نتایج بلند مدت پریود سوم تحقیق را نشان می‌دهد، مقادیر NAR، بازدهی SND و حذف TN در طول ۳۰ روز بررسی فرایند پیشنهادی، به ترتیب از ۶۵، ۹۰ و ۹۳٪ پایین‌تر ثبت نشد.



نمودار ۴- تغییرات بازده حذف نیتروژن کل نسبت به C/N در پریود سوم



نمودار ۵- درصد انباشتگی نیتريت، SND، درصد حذف نیتروژن کل، غظت نیترات و نیتريت خروجی در پریود سوم

نتیجه گیری

به منظور بهینه‌سازی حذف نیتروژن از فاضلاب، فرایند نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان در راکتور بیوفیلمی بستر ثابت با موفقیت به انجام رسید. این فرایند از طریق نیترات زایی جزئی بازده بالاتری نشان داد. نیترات زایی جزئی شامل نیتريت زایی - نیتريت زدایی با مقدار اکسیژن محلول ثابت برابر با حداقل مورد نیاز، یک راه میان‌بر برای حذف نیتروژن است. این روش درصد انباشتگی نیتريت را افزایش می‌دهد و فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده نیتريت را کاملاً محدود می‌کند. به عنوان ضعف این روش می‌توان گفت که روش پیشنهادی نسبت به کم کردن مرحله‌ای اکسیژن محلول، به میزان جزئی بازده پایین‌تری در حذف نیتروژن کل و فرایند نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان دارد. برای جبران این کاستی و به منظور افزایش بازدهی می‌توان از تنظیم نسبت کربن به نیتروژن استفاده نمود و بازدهی حذف نیتروژن، بازدهی نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان و درصد انباشتگی نیتريت را به صورت هم‌زمان بیشینه نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "ارتقاء راکتور

میکروارگانیزم‌های شرکت‌کننده در نیتريت زدایی نسبت به نیتروژن موجود در راکتور بود. مقدار نیتريت موجود در راکتور در پریود دوم افزایش زیادی را نشان داد زیرا به صورت موفقیت‌آمیزی فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده نیتريت محدود شده بود. نتایج پریود دوم تایید کرد که نیتريت زایی - نیتريت زدایی می‌تواند یک روش میان‌بر برای حذف نیتروژن باشد هرچند باید ۳٪ کاهش جزئی بازدهی حذف نیتروژن کل نسبت به پریود اول را جبران کرد. در پریود سوم برای افزایش این بازدهی از تنظیم نسبت کربن به نیتروژن استفاده شد. غظت نیتروژن کل ورودی مانند مراحل قبلی 100 mg/L در نظر گرفته شد ولی اکسیژن خواهی شیمیایی به آرامی تا 1250 mg/L افزایش داده شد و نسبت C/N به $12/5$ رسانده شد. به این ترتیب بازده حذف نیتروژن کل و NAR در پریود سوم نسبت به راکتور شاهد، پریود اول و همچنین پریود دوم بهبود یافت. تحقیقات Chiu و همکاران (۲۱) بر روی نیترات زایی و نیترات زدایی هم‌زمان نیز نشان داد که بهترین بازدهی حذف نیتروژن زمانی حاصل می‌شود که نسبت کربن به نیتروژن برابر با $11/1$ باشد. با مقدار ثابت اکسیژن محلول برابر با $0/5 \text{ mg/L}$ ، بازدهی حذف نیتروژن کل در روزهای اول، دوم، سوم، ششم، هفتم، یازدهم، دوازدهم، هجدهم و بیست و سوم به بالاتر از ۹۷٪ (نتیجه پریود دوم) نیز رسید زیرا کربن (ماده آلی) بیشتری به عنوان دهنده الکترون، و نیترات کمتری به عنوان پذیرنده الکترون وجود داشته است (۳). با رقابت کمتر برای دریافت الکترون، نیتريت زدایی بهتر انجام پذیرفته است. در تحقیق Wang و همکاران (۸) نیز مشخص شد که محدود کردن اکسیژن محلول از $2/5$ به $0/3 \text{ mg/L}$ ، NAR را از $16/5$ تا $95/5$ ٪ افزایش می‌دهد. همچنین بازه مناسب اکسیژن محلول در تحقیقات Liang و همکاران (۳۲)، $0/5$ تا $0/8 \text{ mg/L}$ گزارش شد و این مقدار، فعالیت NOBها را محدود نمود.

حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اجرا شده است.

نابپوسته متوالی (SBR) به راکتور بیوفیلمی نابپوسته متوالی (SBBR) و بررسی عملکرد آن در حذف بیولوژیکی نیتروژن“ در مقطع دکترا (در سال ۱۳۹۲ و کد ۸۷۰۲۲) است که با

منابع

1. Azhdarpoor Esfandabadi A, Mohammadi P, Dehghani M. Evaluation of modified anoxic/aerobic sequencing batch reactor (SBR) performance for the removal of organic matter and nitrogen from wastewater. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(4):531-40 (in Persian).
2. Eshraghi M, Ayati B, Ganjidoust H. Investigation of Nitrogen Removal Efficiency from Wastewater using Modified Anaerobic Baffled Reactor (MABR). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;2(4):284-95 (in Persian).
3. Metcalf and Eddy Inc. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.
4. Zhou Y, Oehmen A, Lim M, Vadivelu V, Ng WJ. The role of nitrite and free nitrous acid (FNA) in wastewater treatment plants. *Water Research*. 2011;45(15):4672-82.
5. Münch EV, Lant P, Keller J. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. *Water Research*. 1996;30(2):277-84.
6. Shalini SS, K J. Nitrogen management in landfill leachate: application of SHARON, ANAMMOX and combined SHARON-ANAMMOX process. *Waste Management*. 2012;32(12):2385-400.
7. Ali M, Okabe S. Anammox-based technologies for nitrogen removal: advances in process start-up and remaining issues. *Chemosphere*. 2015;141:144-53.
8. Wang J, Peng Y, Wang S, Gao Y. Nitrogen removal by simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in a sequence hybrid biological reactor. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2008;16(5):778-84.
9. Ding D, Feng C, Jin Y, Hao C, Zhao Y, Suemura T. Domestic sewage treatment in a sequencing batch biofilm reactor (SBBR) with an intelligent controlling system. *Desalination*. 2011;276(1):260-65.
10. Vijayalayan P, Thanh BX, Visvanathan C. Simultaneous nitrification denitrification in a Batch Granulation Membrane Airlift Bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014;95:139-43.
11. Ganesh R, Sousbie P, Torrijos M, Bernett N, Ra-

- manujam RA. Nitrification and denitrification characteristics in a sequencing batch reactor treating tannery wastewater. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2015;17(3):735-45.
12. Rittmann BE, Langeland WE. Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 1985;57(4):300-308.
 13. Wrage N, Velthof GI, van Beusichem ML, Oenema O. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biology and Biochemistry*. 2001;33(12):1723-32.
 14. Rodgers M, Wu G, Zhan X. Nitrogen and phosphorus removal from domestic strength synthetic wastewater using an alternating pumped flow sequencing batch biofilm reactor. *Journal of Environmental Quality*. 2008;37(3):977-82.
 15. Li J, Peng Y, Gu G, Wei S. Factors affecting simultaneous nitrification and denitrification in an SBBR treating domestic wastewater. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*. 2007;1(2):246-50.
 16. Peng Y, Zhu G. Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006;73(1):15-26.
 17. Sinha B, Annachhatre AP. Partial nitrification—operational parameters and microorganisms involved. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2007;6(4):285-313.
 18. Ciudad G, Rubilar O, Munoz P, Ruiz G, Chamy R, Vergara C, et al. Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of a shortcut biological nitrogen removal process. *Process Biochemistry*. 2005;40(5):1715-19.
 19. Cervantes FJ. *Environmental Technologies to Treat Nitrogen Pollution: Principles and Engineering*. London: IWA Publishing; 2009.
 20. Chu L, Zhang X, Yang F, Li X. Treatment of domestic wastewater by using a microaerobic membrane bioreactor. *Desalination*. 2006;189(1):181-92.
 21. Chiu YC, Lee LL, Chang CN, Chao AC. Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2007;59(1):1-7.
 22. Wiesmann U. Biological nitrogen removal from wastewater. In: Fiechter A, editor. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*. Berlin: Springer-Verlag; 1994.
 23. Guo J, Peng Y, Wang S, Zheng Y, Huang H, Wang Z. Long-term effect of dissolved oxygen on partial nitrification performance and microbial community structure. *Bioresource Technology*. 2009;100(11):2796-802.
 24. Zhang L, Wei C, Zhang K, Zhang C, Fang Q, Li S. Effects of temperature on simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in a sequencing batch biofilm reactor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2009;32(2):175-82.
 25. Wilderer PA, Irvine RL, Goronszy MC. *Sequencing Batch Reactor Technology*. London: IWA Publishing; 2001.
 26. Arnz P, Esterl S, Nerger C, Delgado A, Wilderer PA. Simultaneous loading and draining as a means to enhance efficacy of sequencing biofilm batch reactors. *Water Research*. 2000;34(5):1763-66.
 27. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
 28. Zeng RJ, Lemaire R, Yuan Z, Keller J. Simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal in a lab-scale sequencing batch reactor. *Biotechnology and Bioengineering*. 2003;84(2):170-78.
 29. DOE. *Iranian Effluent Discharge Standards*. Tehran: Department of Environment; 1994 (in Persian).
 30. Rahimi Y, Torabian A, Mehrdadi N, Shahmoradi B. Simultaneous nitrification—denitrification and phosphorus removal in a fixed bed sequencing batch reactor (FBSBR). *Journal of Hazardous Materials*. 2011;185(2):852-57.
 31. Paul E, Plisson-Saune S, Mauret M, Cantet J. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic acti-

- vated sludge using ORP, pH and DO. *Water Science and Technology*. 1998;38(3):299-306.
32. Liang Z, Han Z, Yang S, Liang X, Du P, Liu G, et al. A control strategy of partial nitrification in a fixed bed biofilm reactor. *Bioresource Technology*. 2011;102(2):710-15.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Optimization of Nitrogen Removal from Synthetic Wastewater by Eliminating Nitrification Step of a Fixed-Film Bed Reactor

M Hajsardar^{1*}, SM Borghei², AH Hassani³, A Takdastan⁴

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

³ Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴ Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 28 October 2015
Revised: 16 January 2016
Accepted: 23 January 2016
Published: 6 June 2016

Key words: Fixed-Film reactor,
Nitrogen removal

***Corresponding Author:**
hajsardar@hotmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: In order to optimize wastewater nitrogen removal and to reduce the problems of entering nutrients in final receptors, for example, a lake, partial nitrification, as a novel nitrogen removal method, was studied.

Materials and Methods: The efficiency of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in partial nitrification through nitrification/denitrification in fixed-film reactor was surveyed. In this process, ammonium was converted to nitrite by ammonium oxidizing bacteria (AOB) but the activity of nitrite oxidizing bacteria (NOB) was limited at low dissolved oxygen (DO) level. The inflection points of oxidation-reduction potential (ORP) profile were used as the indicators of process optimization.

Results: This research showed that in period 2 at fixed DO level of 0.5 mg/L, nitrite accumulation rate (NAR) was higher than period 1 in which DO was declined from 1 to 0.5 mg/L. In contrast to period 1, SND efficiency was reduced in period 2. In period 3, by increment of the carbon to nitrogen ratio (C/N) to 12.5, NAR increased to 71.4 % and SND efficiency increased to 96.7%. In the long term analysis of proposed method, SND efficiency was, at least, 90%.

Conclusion: Proper C/N ratio and minimum DO level resulted in higher nitrogen removal efficiencies than the operation in which DO was decreased during aerobic phase. By using a fixed-film reactor and without considering an anoxic step, at DO level of 0.5 mg/L, maximum SND efficiency and maximum NAR would be achieved.

Please cite this article as: Hajsardar M, Borghei SM, Hassani AH, Takdastan A. Optimization of nitrogen removal from synthetic wastewater by eliminating nitrification step of a fixed-film bed reactor. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):69-80.