

بررسی تأثیر شوک ناشی از کاهش دما بر روی نرخ نیتروفیکاسیون

علی دهنوی (دکتری)

حسین گنجی دوست* (استاد)

بینا آیتی (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

گیتی امتیازی (استاد)

دانشکده‌ی علوم، دانشگاه اصفهان

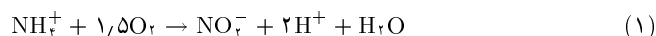
مهندسی عمران شریف
دوری ۲-۱۳۹، شماره ۱، ص. ۶۵-۷۳

در این تحقیق، پس از انجام نیتروفیکاسیون مختصر در یک راکتور جریان جانبی ناپیوسته‌ی متوالی تحت شرایط مناسب از جمله دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس، از لجن مازاد آن برای بررسی انجام نیتروفیکاسیون در راکتوری دیگر که تحت شرایط مختلف بهره‌برداری می‌شد، استفاده و نرخ ویژه‌ی نیتروفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل پس از تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که با استفاده از روش تاگوچی می‌توان تأثیر سایر عوامل به جز عامل مورد نظر (مثلاً دما) را بر نرخ واکنش حذف کرد. بر این مبنای مشخص شد که شوک کاهش دمایی باعث کاهش قابل ملاحظه‌ی نرخ واکنش تا ۲۵، ۵۵ و ۷۸ درصد به ترتیب برای کاهش دما از ۳۰ به ۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه‌ی سلسیوس می‌شود و بر این اساس ضریب تصحیح دمایی برای اکسایندگان آمونیوم معادل ۱/۰۹۶۵ به دست آمد.

واژگان کلیدی: شوک دمایی، اکسایندگان آمونیوم، ضریب تصحیح دما، تاگوچی.

۱. مقدمه

نیتروفیکاسیون یک فرایند دو مرحله‌ی است که طی مرحله‌ی اول (نیترات‌زایی)، آمونیوم با باکتری‌های اکساینده‌ی آمونیوم به نیتريت و بلافاصله در مرحله‌ی دوم (نیترات‌زایی)، نیتريت توسط باکتری‌های اکساینده به نیترات تبدیل می‌شود. این مراحل در معادله‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. برای تکمیل فرایند حذف فرم‌های مختلف نیتروژن در فاضلاب، لازم است نیترات و/یا نیتريت تولیدی در مراحل مذکور از طریق فرایند بی‌اکسیژن دینیتروفیکاسیون به گاز ازت تبدیل شود.^[۱-۴]



عوامل مختلفی می‌توانند دو مرحله‌ی فرایند نیتروفیکاسیون را تحت تأثیر قرار دهند که از آن جمله می‌توان به دما و تغییرات آن،^[۵] غلظت آمونیوم به‌خصوص آمونیوم آزاد (غیر یونی)، غلظت اکسیژن محلول، قلیائیت، pH، و زمان اشاره کرد که برخی از آن‌ها می‌توانند مرحله‌ی دوم و یا حتی مرحله‌ی اول فرایند را مختل کنند، اما از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دما اشاره کرد.^[۱-۲]

تأثیر دما بر روی فرایندهای بیولوژیکی و از جمله نیتروفیکاسیون، با استفاده از رابطه‌ی آرنیوس^۱ (رابطه‌ی ۳) بیان می‌شود. در این رابطه، θ ضریب تصحیح دمایی است که برای ارگانسیم‌های مختلف مقادیر مختلفی دارد و لذا اکسایندگان آمونیوم و

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۹/۳۰، اصلاحیه ۱۳۹۰/۴/۲۸، پذیرش ۱۳۹۰/۱۱/۱۱.

dehnoei@modares.ac.ir
h-ganji@modares.ac.ir
ayati@modares.ac.ir
emtiaz@sci.ui.ac.ir

نیتريت نیز دارای ضرایب مختلفی خواهند بود، اما معمولاً در نیتروفیکاسیون کامل از یک ضریب برای مجموع دو مرحله استفاده می‌شود.^[۱،۲،۳،۴] در جدول ۱، نتایج حاصل از تحقیقات مختلف برای تعیین این ضریب در مورد نیتروفیکاسیون ارائه شده است.

$$r_T = r_{T_0} \theta^{(T-T_0)} \quad (3)$$

بر اساس یافته‌های مختلف، این ضریب برای نیتروفیکاسیون در محدوده‌ی ۱/۰۷۲ تا ۱/۱۲۷ قرار دارد که البته ضریب ۱/۰۷۲ به‌طور وسیعی پذیرفته شده است و در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.^[۵] بسیاری از مقادیر ارائه‌شده در جدول ۱، پس از طی زمان طولانی و ایجاد شرایط پایدار و سازش میکروارگانسیم‌ها با شرایط جدید بعد از تغییرات دمایی به دست آمده‌اند و البته برخی از آن‌ها تحت شرایط تغییرات دمایی تدریجی تعیین شده‌اند و معمولاً در برگزیده‌ی تغییرات دمایی زیاد و شوک‌های حاصل نیستند.^[۱،۴،۵] در سال‌های اخیر تحقیقاتی بر روی اثرات کاهش دمایی ناگهانی بر فعالیت نیتروفیکاسیون انجام شده است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد.^[۱،۴،۵] در سال ۲۰۰۴ پژوهشگران با استفاده از لجن مازاد مورد استفاده برای نیتروفیکاسیون کامل در یک راکتور، اثرات شوک کاهش دمای ناگهانی را مورد بررسی قرار دادند، که در آن بیومس مازاد برای تنظیم سن لجن راکتور مورد بهره‌برداری قرار گرفته در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۲۰ درجه‌ی سلسیوس را به سرعت تا دمای ۱۰ درجه‌ی سلسیوس سرد کردند و مقداری از فاضلاب مورد استفاده را برای تثبیت غلظت آمونیوم به آن اضافه و در یک بازه‌ی زمانی ۶/۵

جدول ۱. ضرایب مختلف دمایی برای تصحیح نرخ نیتروفیکاسیون و نرخ رشد نیتریفای ها در رابطه‌ی آرنیوس. [۱۳۵].

ضریب تصحیح دمایی θ ($^{\circ}\text{C}$)	پژوهشگران
۱٫۱۲۷	Downing and Hopwood
۱٫۱۰۳	آرانس حفاظت محیط زیست آمریکا*
۱٫۰۷۵۶	Painter and Loveless
۱٫۰۹۶	Biowin Default
۱٫۰۷۲	Jones
۱٫۰۸۸	Head and Oleszkiewicz
۱٫۱۱۶	Hwang and Oleszkiewicz

*:US environmental protection agency

ساعته، نرخ نیتروفیکاسیون (رابطه‌ی ۴) را تعیین و میزان شوک دمایی و در نهایت ضریب تصحیح دمایی را محاسبه کردند. همچنین در محاسبه‌ی این ضریب سعی شد تا شرایط مختلف (به جز دما) در راکتورهای اصلی و راکتورهای با کاهش دمایی ثابت نگه داشته شود و از مقایسه‌ی مستقیم در محاسبه‌ها استفاده شد و در نهایت این ضریب را معادل ۱٫۰۸۸ به دست آوردند. این پژوهشگران به اثرات تفاوت غلظت بیومس در راکتورهای مختلف اشاره نکرده‌اند. [۱۳]

$$NR = NH_4^+_{\text{Oxidize as N}} * \theta^{-1} \quad (4)$$

همچنین در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۰۷، شوک دمایی بر روی نیتروفیکاسیون کامل مورد بررسی قرار گرفت، که در آن با استفاده از نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم (رابطه‌ی ۵) به جای نرخ نیتروفیکاسیون و سردکردن سریع بیومس با آب سرد از ۲۰ به ۱۰ درجه‌ی سلسیوس، اثرات این شوک بر نرخ موردنظر در یک بازه‌ی حدود ۳ ساعته بررسی و نشان داده شد که اثرات شوک بسیار بیشتر از کاهش تدریجی دماست. این پژوهشگران علی‌رغم تغییر در غلظت آمونیوم پس از سردسازی با رقیق‌کردن، از مقایسه‌ی مستقیم در محاسبه‌ی ضریب تصحیح دمایی استفاده کردند و این ضریب را معادل ۱٫۱۱۶ به دست آوردند، ولی هیچ اشاره‌ی به تأثیر کاهش غلظت آمونیوم بر این ضریب نکردند. [۵]

$$sAOR = 1000 * NH_4^+_{\text{Oxidize as N}} * MLVSS_{ox}^{-1} * \theta^{-1} \quad (5)$$

در هر دو تحقیق مشخص شد که در شوک‌های کاهشی، ضریب پذیرفته‌شده‌ی ۱٫۰۷۲ نمی‌تواند برآوردکننده‌ی تغییرات بر روی نرخ نیتروفیکاسیون باشد و کاهش نرخ برای کاهش شدید دمایی بسیار بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده با این ضریب است. [۱۳۵]

روش ناگوچی که در این تحقیق به‌نحو مناسبی از آن بهره‌گرفته شده است، یک روش طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری است که در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی محیط زیست و تصفیه‌ی آب و فاضلاب به‌کار رفته است. [۱۵-۱۷] در این روش براساس طراحی آزمایش انجام‌شده به‌منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه، تعداد زیادی از آزمایش‌ها حذف و فقط تعدادی از آن‌ها در ترکیب‌های مختلف و بسته به فاکتورهای مورد بررسی و سطوح آن‌ها انجام می‌شود، و در نهایت با تجزیه و تحلیل آماری سیگنال به نویز^۲ و تحلیل واریانس، شاخص‌های آماری موردنیاز ارائه و نتیجه‌ی آزمایش‌های حذف‌شده پیش‌بینی می‌شوند. [۱۸]

نکته‌ی قابل ذکر این‌که اساس کار فرایندهای جریان جانبی بر تولید نیتریفایرها تحت شرایط مناسب و افزودن آن‌ها به فرایند اصلی لجن فعال و به‌منظور جایگزینی

آن‌ها با نیتریفای‌هایی است که با لجن از سیستم خارج شده‌اند. برای این منظور از یک تانک جداگانه‌ی کوچک در کنار تانک هواده‌ی استفاده می‌شود که در آن نیتریفای‌ها تحت شرایط مناسب از جمله مهیا کردن آمونیوم از مایع خروجی هاضم‌های لجن (مایع حاصل از آبگیری لجن) و یا به طرق دیگر از جمله افزودن دستی، به مقدار زیادی رشد داده می‌شوند و سپس به تانک اصلی لجن فعال و یا تانک نیتروفیکاسیون مجزا افزوده می‌شوند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داده است که این عمل مزایای زیادی از جمله انجام نیتروفیکاسیون در فرایند اصلی در دماهای کم و سن‌های پایین لجن، حذف آمونیوم با غلظت بالا در فرایند جریان جانبی و جلوگیری از ورود بار آمونیوم به ابتدای تصفیه‌خانه و نیز کاهش حجم تانک هواده‌ی را به دنبال دارد. [۱۹-۲۳]

همچنین نیتروفیکاسیون مختصر یا جزئی^۳ از فرایندهای نوینی است که برای تبدیل بیولوژیکی آمونیوم در غلظت‌های زیاد استفاده می‌شود. در صورتی که بتوان با روش‌هایی از اکسیداسیون نیتريت در مرحله‌ی دوم نیتروفیکاسیون مرسوم (نیترات‌زایی) جلوگیری کرد، به این فرایند اصطلاحاً نیتروفیکاسیون مختصر یا جزئی گفته می‌شود که مزایای زیادی از جمله کاهش نیاز به اکسیژن به مقدار ۲۵٪، کاهش نیاز به منبع کربن خارجی در فرایند نیتروفیکاسیون تا ۴۰٪ و نیز افزایش نرخ نیتروفیکاسیون از نیتريت حدود ۱٫۵ تا ۲ برابر نسبت به نیترات دارد. [۲۴-۲۶، ۲۷]

در این تحقیق با استناد به روش‌های به‌کارگرفته‌شده‌ی سایر پژوهشگران [۱۳، ۵] و نیز استفاده از بیومس مازاد از یک فرایند جریان جانبی^۴ که در دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس و به‌منظور نیتروفیکاسیون مختصر برای حذف آمونیوم با غلظت بالا مورد بهره‌برداری قرار گرفته بود، تحت شرایط متنوعی، تغییرات نرخ نیتروفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با حذف اثرات همه‌ی عوامل دخیل به جز دما با استفاده از روش ناگوچی، اثرات شوک دمایی محاسبه و ضریب تصحیح دمایی برای شوک‌های کاهشی تعیین شد. این ضریب در فرایندهای جریان جانبی که از بیومس مازاد آن برای فرایند اصلی تحت تغییرات دمایی شدید استفاده می‌شود، کاربرد دارد. [۱۹، ۲۰] بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر شوک کاهش دمایی بر نرخ نیتروفیکاسیون تحت شرایط متنوع با استفاده از روش آماری ناگوچی بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. راکتورهای مورد استفاده

۱.۱.۲. راکتور جریان جانبی نیتروفیکاسیون مختصر

در این تحقیق از یک راکتور ناپیوسته‌ی متوالی با حجم ثابت ۳ و متغیر ۴ لیتر برای تولید بیومس مناسب برای نیتروفیکاسیون مختصر هم‌زمان با دنیتروفیکاسیون استفاده شده است. این راکتور در یک مخزن آب مجهز به ترموستات برای تنظیم دما قرار داده شد و تحت شرایط بهینه‌ی درج‌شده در جدول ۲، با MLVSS حدود ۲۵۰±۳۲۵ میلی‌گرم در لیتر مورد استفاده قرار گرفت. [۲] نسبت سیکل‌های فرعی هوازی به بی‌اکسیژن با توجه به رشد سریع‌تر دنیتریفای‌ها نسبت به نیتریفای‌ها باید در محدوده‌ی ۲-۳ باشد که در این تحقیق از مقدار ۲ استفاده شد. [۲۷] تمام عملیات شامل پرکردن، تخلیه، هواده‌ی، و تنظیم دما به‌صورت اتوماتیک انجام شده است. بیومس مازاد این راکتور برای بررسی اثرات شوک کاهش دمایی تحت شرایط مختلفی استفاده و در شکل ۱ الف، تصویر شماتیکی از این راکتور نشان داده شده است.

در این راکتور تابع سطوح موردنظر و طراحی آزمایش بود. در شکل ۱ ب، تصویر شماتیکی از این راکتور ارائه شده است.

۲.۲. روش کار

۱.۲.۲. فاضلاب سنتزی و غنی سازی نیتریفای ها

فاضلاب سنتزی مورد استفاده در راکتور جریان جانبی شبیه به مایع خروجی از هاضم‌های بی‌هوازی لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری^۵ بود. برای تهیه این فاضلاب، از پساب تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری شاهین شهر اصفهان و برای شبیه‌سازی با مایع موردنظر، از مواد مختلفی در هر لیتر به این صورت استفاده شده است.^[۲۷]

$900 \text{ mg N/L as NH}_4\text{Cl}$, $1500 \text{ mg COD L}^{-1}$ as beef extract,

$1 - 1, 1/1 \text{ mol HCO}_3^- / \text{mol N ratio as NaHCO}_3$,

$20 \text{ mg P/L as KH}_2\text{PO}_4$.

قابل ذکر اینکه BOD_5 فاضلاب‌های موردنظر در قیاس با COD بسیار ناچیز و معمولاً نسبت BOD_5/COD کمتر از 0.2 است و به همین دلیل استفاده از منبع کربن خارجی برای دنیتریفیکاسیون الزامی است که در این تحقیق از متانول استفاده شده است.^[۲۷] فاضلاب مورد استفاده در راکتور اصلی که به منظور تعیین شوک دمایی استفاده شده است، نیز شبیه فاضلاب مورد استفاده در راکتور جریان جانبی است؛ با این تفاوت که غلظت آمونیوم و دمای آن با توجه به سطوح مورد نیاز اصلاح شده است. با توجه به وجود مواد مغذی و ریزمغذی مختلف در پساب تصفیه‌خانه، نیازی به اضافه کردن آن‌ها نبود.

غنی‌سازی نیتریفای‌ها با استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری شاهین شهر و در مدت ۵ تا ۶ هفته انجام شده است. برای بررسی عملکرد غنی‌سازی از شاخص نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم (رابطه‌ی ۵) استفاده شده است. پس از انجام موفق غنی‌سازی نیتریفای‌ها و به منظور هم‌زمانی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، نیتریفای‌های غنی شده با لجن تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری که حاوی تعداد زیادی دنیتریفای است، مخلوط و در راکتور جریان جانبی استفاده شده است.

۲.۲.۲. آزمایش‌ها

پس از راه‌اندازی راکتور جریان جانبی و تولید بیومس مناسب برای انجام نیتریفیکاسیون مختصر، بیومس مازاد آن به منظور تنظیم سن لجن به راکتور اصلی منتقل شد تا تحت شرایط متنوع، تأثیر شوک کاهش دمایی بر آن‌ها و نرخ نیتریفیکاسیون مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش‌ها در راکتور اصلی تحت شرایط مختلف با تغییر در غلظت آمونیوم، غلظت بیومس، دما، و زمان و براساس طراحی آزمایش انجام شده‌ی روش تاگوچی، انجام شدند. در جدول ۳، فاکتورهای مورد بررسی و سطوح آن‌ها ارائه شده است. در این آزمایش‌ها، اکسیژن محلول و pH براساس مقادیر جدول ۲ تنظیم و قلیانیت کافی (برحسب NaHCO_3) برای احتراز از ایجاد محدودیت در اکسیداسیون آمونیوم به فاضلاب اضافه شد. همچنین قبل از ورود فاضلاب به راکتور، دما و غلظت آمونیوم آن با توجه به دمای بیومس و غلظت آمونیوم مورد نیاز تنظیم و در نهایت آمونیوم، نیتریت، و نیترات در زمان‌های مورد نیاز براساس جدول ۳ سنجیده شدند. هر آزمایش سه مرتبه تکرار شد تا پس از تجزیه و تحلیل نتایج مناسب‌تری به دست آید و خطاها به کمترین حد ممکن کاهش یابد.

جدول ۲. مقادیر بهینه‌ی پیشنهادی برای پارامترها و متغیرهای در نظر گرفته شده در نیتریفیکاسیون مختصر در راکتور جریان جانبی.^[۲۷]

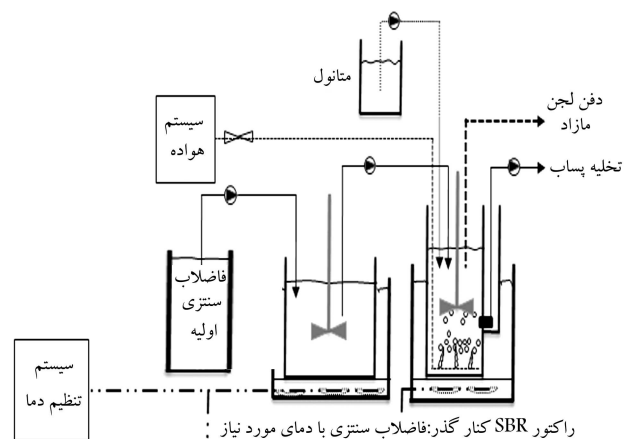
پارامتر	واحد	مقدار
NH_4^+	mg N/L. cycle	۲۵۰
HRT*	day	۱/۲
pH	-	۷٫۵-۸٫۵
DO	mg/L	۰٫۸-۱٫۲
دما	°C	30 ± 1
SRT**	day	9 ± 1
تعداد سیکل در شبانه‌روز	Number/day	۳
تعداد زیرسیکل	Number/cycle	۳

*:hydraulic retention time

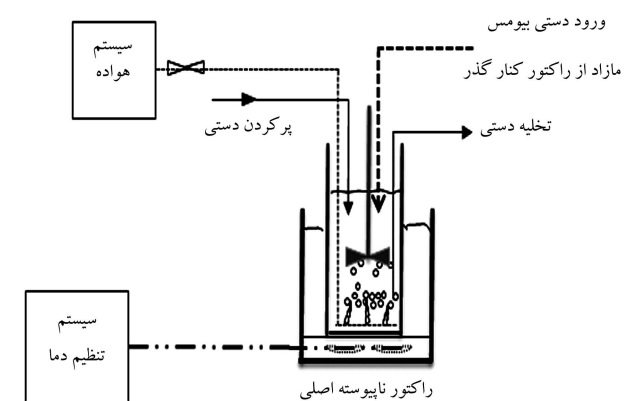
** :solids retention time

۲.۱.۲. راکتور ناپیوسته‌ی اصلی

برای بررسی اثرات شوک دمایی تحت شرایط متنوع از راکتورهای استوانه‌ی پلاستیکی گلاس ناپیوسته با قطر ۱۳ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. این راکتورها نیز همانند راکتور جانبی در یک مخزن آب مجهز به ترموستات برای تنظیم دما قرار داده شدند. پرکردن و تخلیه‌ی این راکتورها به صورت دستی و تنظیم دما و هوادهی به صورت اتوماتیک انجام شده است. غلظت بیومس، غلظت آمونیوم، دما و زمان آزمایش‌ها



الف) راکتور جریان جانبی برای تولید بیومس در دمای ۳۰ درجه سلسیوس؛



ب) راکتور اصلی برای بررسی شوک کاهش دمایی.

شکل ۱. تصویر راکتورهای جانبی و اصلی مورد استفاده در تحقیق.

جدول ۳. فاکتورها و سطوح مورد بررسی آن‌ها در تحقیق.

فاکتورها	سطوح	۱	۲	۳	۴
فاکتور A: دما (°C)		۳۰±۱	۲۵±۱	۲۰±۱	۱۵±۱
فاکتور B: غلظت آمونیوم (mg NH ₄ ⁺ -N/L)		۵۰±۵	۷۵±۵	۱۰۰±۵	۱۵۰±۵
فاکتور C: غلظت بیومس (mg VSS/L)		۱۲۵۰±۱۰	۱۰۰۰±۱۰	۷۵۰±۱۰	۵۰۰±۱۰
فاکتور D: زمان (دقیقه)		۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۲۷۰

۳.۲.۲. طراحی آزمایش

برای کاهش تعداد آزمایش‌ها و نیز تعیین سهم هر فاکتور در نتیجه‌ی تحقیق، از طراحی آزمایش با استفاده از روش تاگوچی بهره‌گرفته شد. در این روش و براساس فاکتورهای موردنظر و نیز سطوح آن‌ها یک ماتریس متعامد M-۱۶ طراحی و انتخاب شد. با بررسی این ماتریس (جدول ۴) که هر ردیف آن مترادف یک آزمایش است، مشخص شد که فقط از ۱۶ آزمایش به جای ۲۵۶ آزمایش موردنیاز در حالت عادی استفاده خواهد شد. فاکتورهای موردبررسی نیز در ستون‌های ۲ تا ۵ این جدول قرار گرفته و ترکیبات سطوح آن‌ها در هر آزمایش نشان داده شده است. برای طراحی آزمایش و نیز تجزیه و تحلیل نتایج، از برنامه‌ی Qualitek-۴ (QT۴) استفاده شده است. این برنامه براساس روش تاگوچی برای طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد.^[۱۸]

۳.۲. تجزیه و تحلیل نتایج

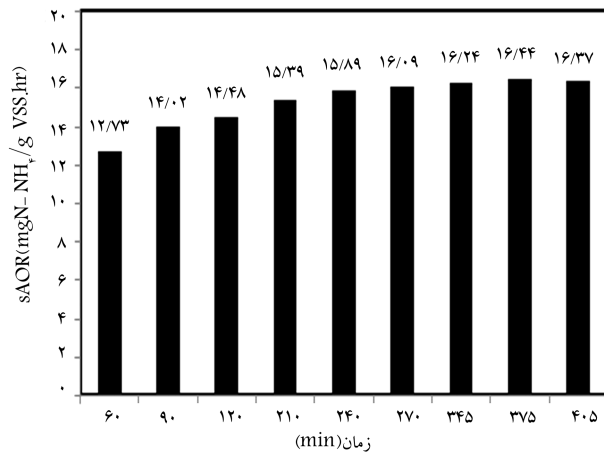
برای تجزیه و تحلیل نتایج بر مبنای ترکیب‌های ارائه‌شده از طراحی آزمایش و ماتریس متعامد M-۱۶، از آنالیز سیگنال به نویز و تحلیل واریانس براساس روش تاگوچی استفاده شد. در این روش از یک شاخص کیفیت (QC)^۶ که می‌تواند سه حالت شامل «بزرگ‌تر-بهرتر»، «کوچک‌تر-بهرتر»، و «مقداری مشخص-بهرتر» را در برگیرد، استفاده می‌شود.^[۱۸] از آنجایی‌که در این تحقیق نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم در تجزیه و تحلیل‌ها و محاسبه‌ها استفاده می‌شود و هرچه این نرخ بیشتر باشد، بهتر خواهد بود، لذا از حالت «بزرگ‌تر-بهرتر» بهره‌گرفته شده است. براساس توصیه‌ی روش تاگوچی و به‌منظور مقایسه‌ی نتایج پیش‌بینی‌شده با این روش برای آزمایش‌های حذف‌شده با نتایج واقعی و تعیین خطا، لازم است در هر تحقیقی تعدادی از حالت‌های حذف‌شده نیز مورد آزمایش قرارگیرند که این موضوع در این تحقیق مدنظر قرار گرفته و ۱۲ آزمایش تأییدی نیز علاوه بر آزمایش‌های جدول ۴ انجام شده است.

۴.۲. نمونه‌برداری و آزمایش

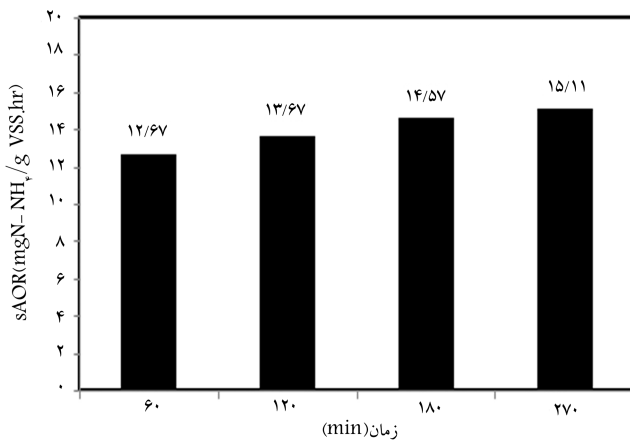
در این تحقیق، شاخص MLVSS براساس روش‌های ارائه‌شده در کتاب روش‌های استاندارد تصفیه‌ی آب و فاضلاب و همچنین آمونیوم با استفاده از معرف نسلر و در طول موج ۴۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکترومتر و در تطابق با منحنی استاندارد آمونیوم، اندازه‌گیری شد.^[۲۸] پارامترهای pH و DO به ترتیب به‌وسیله‌ی دستگاه‌های pHs-۲۵cw microprocessor pH/mv meter (LIDA, China) و Oxi ۳۴۰i-WTW مورد سنجش قرار گرفتند. نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم نیز

جدول ۴. ماتریس متعامد M-۱۶ به همراه فاکتورها، سطوح آن‌ها، ترکیب و نتیجه‌ی آزمایش‌ها.

نتیجه آزمایش‌ها	فاکتورها و سطوح آن‌ها				ترکیب آزمایش‌ها
	sAOR (mg N-NH ₄ ⁺ gr VSS/hr)	زمان (minute)	MLVSS (mg VSS/L)	درجه (°C)	
۱۲,۱۶ ± ۰,۰۹	۱(۶۰)	۱(۱۲۵۰)	۱(۵۰)	۱(۳۰)	۱
۱۳,۹۴ ± ۰,۱۳	۲(۱۲۰)	۲(۱۰۰۰)	۲(۷۵)	۱(۳۰)	۲
۱۴,۵۱ ± ۰,۱۸	۳(۱۸۰)	۳(۷۵۰)	۳(۱۰۰)	۱(۳۰)	۳
۱۵,۵۱ ± ۰,۲۲	۴(۲۷۰)	۴(۵۰۰)	۴(۱۵۰)	۱(۳۰)	۴
۱۰,۶۸ ± ۰,۲۱	۳(۱۸۰)	۲(۱۰۰۰)	۱(۵۰)	۲(۲۵)	۵
۱۱,۳۸ ± ۰,۱۱	۴(۲۷۰)	۱(۱۲۵۰)	۲(۷۵)	۲(۲۵)	۶
۹,۶۷ ± ۰,۲۸	۱(۶۰)	۴(۵۰۰)	۳(۱۰۰)	۲(۲۵)	۷
۱۰,۱۶ ± ۰,۱۳	۲(۱۲۰)	۳(۷۵۰)	۴(۱۵۰)	۲(۲۵)	۸
۶,۴۱ ± ۰,۱۲	۴(۲۷۰)	۳(۷۵۰)	۱(۵۰)	۳(۲۰)	۹
۶,۶۶ ± ۰,۱۴	۳(۱۸۰)	۴(۵۰۰)	۲(۷۵)	۳(۲۰)	۱۰
۶,۰۸ ± ۰,۰۵	۲(۱۲۰)	۱(۱۲۵۰)	۳(۱۰۰)	۳(۲۰)	۱۱
۵,۸۶ ± ۰,۰۷	۱(۶۰)	۲(۱۰۰۰)	۴(۱۵۰)	۳(۲۰)	۱۲
۲,۹۹ ± ۰,۱۲	۲(۱۲۰)	۴(۵۰۰)	۱(۵۰)	۴(۱۵)	۱۳
۲,۷۵ ± ۰,۰۹	۱(۶۰)	۳(۷۵۰)	۲(۷۵)	۴(۱۵)	۱۴
۳,۳۹ ± ۰,۰۹	۴(۲۷۰)	۲(۱۰۰۰)	۳(۱۰۰)	۴(۱۵)	۱۵
۳,۲۱ ± ۰,۰۸	۳(۱۸۰)	۱(۱۲۵۰)	۴(۱۵۰)	۴(۱۵)	۱۶



شکل ۳. نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم در راکتور جریان جانبی تحت شرایط بهینه.



شکل ۴. نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم در راکتور اصلی تحت شرایط مختلف.

غلظت آمونیوم بر آن تأثیر قابل‌ملاحظه‌ی نداشته، و ثانیاً مهم‌ترین عاملی که آن را تحت تأثیر قرار داده، دما بوده است. غلظت بیومس به‌دلیل نرمال‌سازی نتایج نسبت به آن، تأثیر ناچیزی داشته و زمان نیز اثر کمی بر نتایج داشته است. در شکل ۴، تغییرات متوسط نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم با زمان و برای دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس پس از تجزیه و تحلیل آماری و به منظور مقایسه با نتایج راکتور جریان جانبی ارائه شده است. در صورتی‌که تأثیر غلظت آمونیوم و بیومس به‌صورت خطی مورد استفاده قرارگیرد، این نتایج تقریباً با نتایج واقعی حاصل از راکتور جریان جانبی مطابقت می‌کند و کاهش جزئی آن در راکتور اصلی در دمای مشابه با دمای راکتور جریان جانبی، فقط به‌دلیل تغییر در غلظت بیومس و آمونیوم بوده و البته تأثیر آن‌ها نیز زیاد نبوده است. با این حال کاهش غلظت آمونیوم و غلظت بیومس در راکتور اصلی نسبت به جانبی، باعث کاهش اندکی در این شاخص شده است که نشان می‌دهد احتمالاً رقیق‌سازی و مقایسه‌ی مستقیم در تعیین ضریب آرنیوس که در تحقیقات Hwang and Oleszkiewicz مورد استفاده قرار گرفته بود، نتایج دقیقی را به دنبال نخواهد داشت و لازم است تأثیر این رقیق‌سازی نیز مدنظر قرارگیرد.

بررسی بیشتر نشان داد که کاهش دما، کاهش غلظت آمونیوم، و کاهش زمان باعث کاهش نرخ موردنظر براساس سهم مؤثر هر یک خواهد شد و برعکس افزایش دما، افزایش غلظت آمونیوم، و افزایش زمان باعث افزایش آن خواهد شد. افزایش زمان می‌تواند با کاهش اثرات شوک دمایی بر میکروارگانیسم‌ها، باعث بهبود نرخ نیتروژن‌کاسیون شود. علاوه بر این، بررسی شاخص نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون پس از

پس از تعیین میزان آمونیوم مصرف‌شده و با استفاده از رابطه‌ی ۵ محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

۳. نتایج و بحث

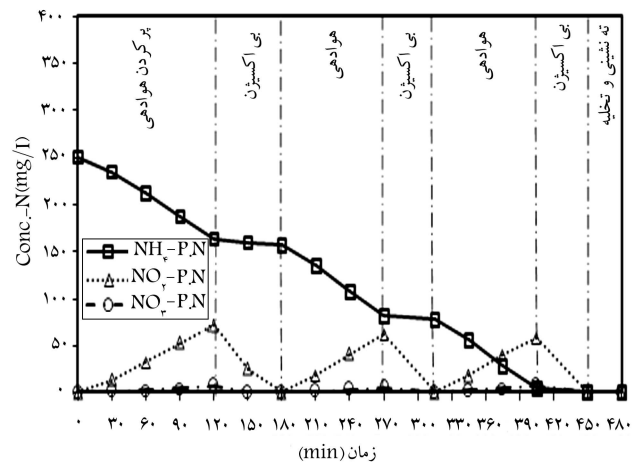
۳.۱. نیتروژن‌کاسیون مختصر در راکتور جریان جانبی

نتایج حاصل از انجام نیتروژن‌کاسیون مختصر به‌منظور تولید بیومس مناسب تحت شرایط بهینه و در حالت پایدار برای یک سیکل کامل ۸ ساعته در شکل ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که آمونیوم در یک سیکل ۸ ساعته و یا در زمان ماند ۱٫۲ شبانه‌روز حذف شده است و درصد قابل‌توجهی از نیتريت تولیدی به گاز ازت تبدیل شده است. در صورت استفاده از رابطه‌ی ۵، می‌توان نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم را در بازه‌های زمانی و از ابتدای سیکل محاسبه کرد که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که نرخ اکسیداسیون آمونیوم در یک سیکل با زمان تغییر کرده است، به طوری که با افزایش زمان بهبود یافته و از زمان حدود ۵ ساعت از ابتدا و حدود ۳ تا ۴ ساعت هوازی تقریباً یکنواخت و ثابت شده است و احتمالاً به همین دلیل در تحقیقات سایر پژوهشگران از زمان‌های ۳ تا ۶٫۵ ساعته استفاده شده است تا شوک‌های اولیه باعث خطا در نتایج نشود.^[۱۳،۱۴] مقدار این شاخص در انتهای هر سیکل بالغ بر $16.4 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{gr VSS hr}$ بوده است که در مقایسه با تحقیق دوستا و همکارانش در حدود ۲۰٪ کمتر است.^[۱۲]

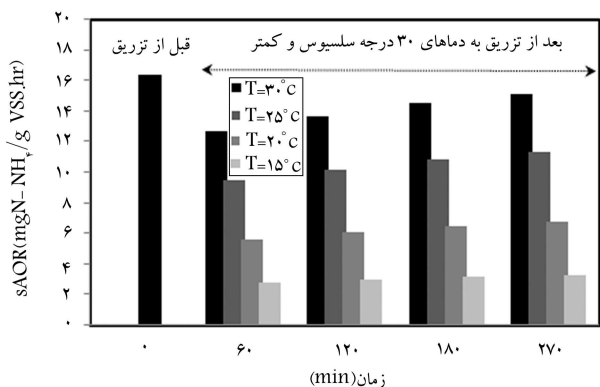
۳.۲. نیتروژن‌کاسیون مختصر در راکتور اصلی

نتایج حاصل از آزمایش‌ها و محاسبه‌ی شاخص نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم در راکتور اصلی براساس ترکیبات ارائه‌شده در جدول ۴، در همان جدول ارائه شده است. بررسی اجمالی این نتایج نشان می‌دهد که کاهش دما باعث کاهش این نرخ شده است، اما میزان آن و سهم هر یک از فاکتورهای دیگر در نتیجه مشخص نبوده و لازم است تجزیه و تحلیل آماری انجام شود.

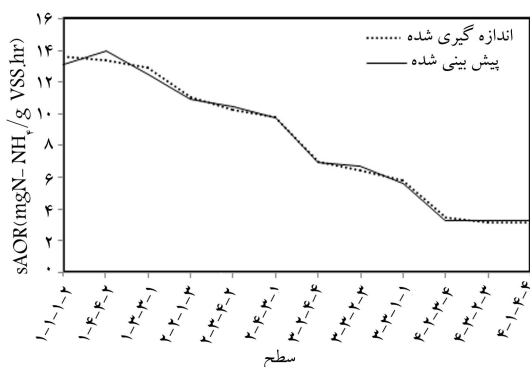
تجزیه و تحلیل آماری شاخص موردنظر نشان داد که سهم دما، غلظت آمونیوم، غلظت بیومس، و زمان بر روی نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم پس از شوک دمایی به‌ترتیب معادل ۹۸٫۵، ۰٫۰۹، ۰٫۰۶، و ۱٫۳ درصد بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که اولاً اکسیداسیون آمونیوم یک واکنش مرتبه‌ی صفر و یا اشباع است و



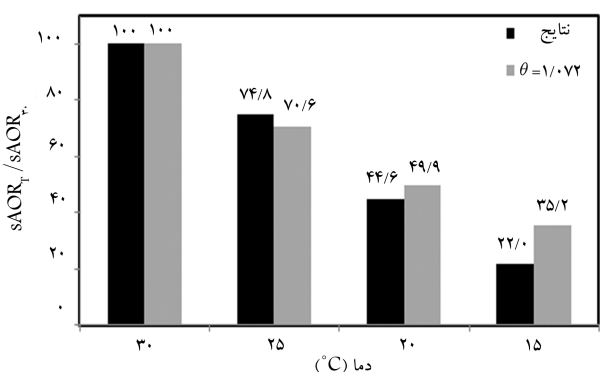
شکل ۲. تغییرات آمونیوم، نیتريت و نیترات در راکتور جریان جانبی.



شکل ۶. میانگین نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیوم در دماها و زمان‌های مختلف پس از شوک دمایی.



شکل ۷. مقایسه‌ی نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در روش تاگوچی برای آزمایش‌های تأییدی.



شکل ۸. میانگین پس از شوک دمایی براساس مشاهدات و نیز پیش‌بینی با رابطه‌ی آرنیوس.

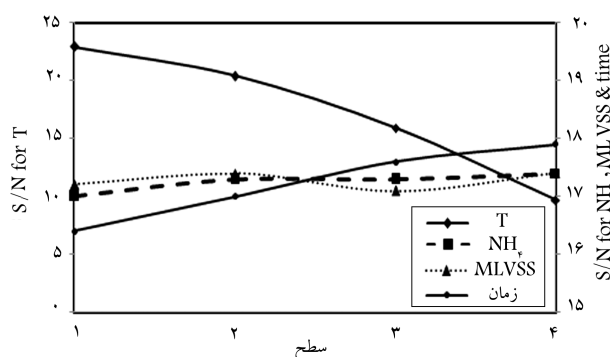
است. کاهش نرخ در این حالت از دمای ۳۰ به ۲۰، ۲۵ و ۱۵ درجه‌ی سلسیوس، به ترتیب معادل ۲۹، ۵۰ و ۶۵ درصد است که نشان می‌دهد در شوک‌های دمایی زیاد، نمی‌تواند برآوردکننده‌ی میزان کاهش نرخ در sAOR باشد و میزان کاهش نرخ در شوک‌های دمایی بالا، به مراتب بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده است و این میزان در تطابق با شوک‌های ناچیز دمایی نخواهد بود. این نتایج نشان داد که در تغییرات کم دمایی (مثلاً ۵ درجه‌ی سلسیوس و کمتر)، نرخ اکسیداسیون شاهد کاهش کمتری نسبت به مقدار پیش‌بینی شده بوده است، در حالی‌که در تغییرات بیشتر دمایی، نرخ اکسیداسیون شاهد کاهش بیشتری نسبت به مقادیر یادشده که با ضریب ۱/۰۷۲ محاسبه شده‌اند، بوده است و لذا می‌توان گفت که در شوک‌های دمایی نمی‌توان از

تجزیه و تحلیل‌های آماری و در سطح اطمینان ۹۰٪ نشان داد که بیشینه و کمینه‌ی آن به ترتیب برای فاکتورهای دما، غلظت آمونیوم، غلظت بیومس و زمان، در ترکیب‌های ۱،۳،۱،۴ و ۴،۴،۴،۱ به وقوع می‌پیوندد و مقادیر آن به ترتیب معادل ۱۵/۵۵ و ۲/۶۶ برحسب $\text{mg N-NH}_4^+/\text{gr VSS hr}$ خواهد بود. در جدول ۵، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری و نیز سطوح بهینه‌ی این شاخص برای بیشتر بودن آن آمده است. همچنین در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب تأثیر فاکتورهای مختلف مورد بررسی بر شاخص آماری S/N و تأثیر شوک دمایی بر شاخص نرخ ویژه اکسیداسیون آمونیوم sAOR در طول زمان ارائه شده است. بررسی میزان خطای ناشی از پیش‌بینی نتایج روش تاگوچی با نتایج واقعی حاصل از ۱۲ آزمایش تأییدی نشان داد که متوسط مربعات خطا فقط بالغ بر ۹۲٪ بوده است. در شکل ۷، نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در روش مورد نظر نیز برای نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم نشان داده شده است.

در شکل ۸، برای بررسی بیشتر و نیز مقایسه‌ی کاهش نرخ اکسیداسیون آمونیوم پس از شوک دمایی، میانگین $sAOR_T/sAOR_{30}$ در دماهای مختلف و پس از حذف تأثیر سایر عوامل نشان داده شده است. در این شکل، $sAOR_T$ نشان‌دهنده‌ی نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم در دمای مورد نظر و $sAOR_{30}$ نشان‌دهنده‌ی نرخ مورد نظر در دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس و نسبت آن‌ها نشان‌دهنده‌ی میزان کاهش نرخ پس از شوک دمایی است. براساس این شکل مشخص می‌شود که متوسط کاهش نرخ نیتریفیکاسیون پس از شوک دمایی از ۳۰ به ۲۵، ۲۰ و ۱۵ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب معادل ۲۵، ۵۵ و ۷۸ درصد بوده است که با تحقیقات قبلی مبنی بر ایجاد شوک دمایی مطابقت دارد.^[۱۳،۵] به منظور مقایسه‌ی این کاهش با مقادیر پذیرفته‌شده، با استفاده از معادله‌ی آرنیوس (معادله‌ی ۳) و ضریب تصحیح ۱/۰۷۲، میزان کاهش نرخ محاسبه شد که نتایج آن در همان شکل نشان داده شده

جدول ۵. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سیگنال به نویز و تحلیل واریانس شاخص نرخ ویژه‌ی اکسیداسیون آمونیوم.

فاکتور	واریانس	درصد تأثیر	سطوح بهینه
دما	۱۳۳/۲	۹۸/۵	۱
غلظت آمونیوم	۰/۱۳	۰/۰۹	۴
غلظت بیومس	۰/۰۹	۰/۰۶	۴
زمان	۱/۸	۱/۳	۴
خطا	۰/۰۰۷	۰/۰۳	-



شکل ۵. تغییرات شاخص S/N در برابر سطوح فاکتورهای مختلف مورد بررسی بر sAOR.

محدود با توجه به طراحی آزمایش صورت گرفته با روش تاگوچی برای بررسی تأثیر شوک‌های دمایی بر روی نرخ نیتریفیکاسیون انجام شد. متغیرهای این تحقیق شامل دما، غلظت آمونوم، غلظت بیومس و زمان بودند که هر یک نیز در ۴ سطح مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج حاصل مشخص شد که میزان تأثیر فاکتورهای فوق بر روی کاهش نرخ ویژه نیتریفیکاسیون پس از شوک دمایی از ۳۰ درجه‌ی سلسیوس به دماهای کمتر به ترتیب معادل ۹۸/۵، ۰/۹، ۰/۶ و ۱/۳ درصد بوده است. همچنین مشخص شد که کاهش نرخ موردنظر پس از شوک‌های دمایی زیاد بسیار بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده براساس ضریب تصحیح دمایی پذیرفته شده ($\theta = ۱/۰۷۲$) بوده و در صورت شوک دمایی زیاد باید از ضریب بزرگ‌تری استفاده کرد که در این تحقیق ضریب ۱/۰۹۶۵ محاسبه و پیشنهاد شد. همچنین مشخص شد که با استفاده از روش تاگوچی می‌توان علاوه بر کاهش تعداد آزمایش‌ها، برای تعیین سهم تأثیر هر فاکتور بر نتیجه‌ی شاخص مورد بررسی استفاده کرد و در صورت نیاز با حذف اثر سایر عوامل، اثر هر فاکتور را به طور خاص بر شاخص موردنظر مورد بررسی قرار داد.

۵. تشکر و قدردانی

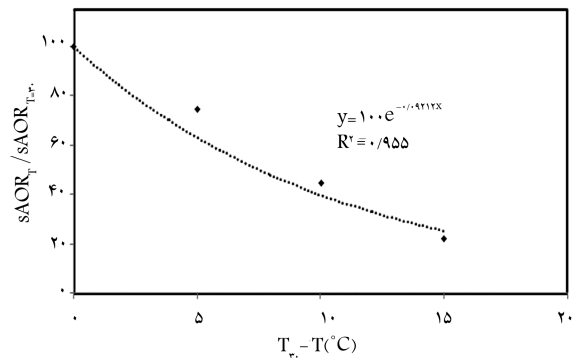
از همکاری صمیمانه مسئولان محترم شرکت و دفتر تحقیقات آب و فاضلاب شهری استان اصفهان و نیز تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شاهین شهر، کمال تشکر را دارد. این تحقیق در راستای قرارداد حمایت از پایان‌نامه دانشجویی به شماره‌ی ۸۸/۳۲۲۵ آن شرکت انجام شده است.

فهرست علائم

- COD: اکسیژن‌خواهی شیمیایی، (mg/L)
 T : دمای فاضلاب، ($^{\circ}C$)
 SAOR: نرخ ویژه اکسیداسیون آمونوم، (mg NH_4^+ -N/gr VSS. hr)
 MLVSS: غلظت جامدات فرار در راکتور، (mg VSS/L)
 SRT: زمان ماند جامدات (سن لجن)، (day)
 HRT: زمان ماند هیدرولیکی، (day)
 DO: غلظت اکسیژن محلول، (mg/L)

پانویس‌ها

1. Arrhenius equation
2. signal to noise (S/N)
3. short-cut or partial Nitrification
4. side stream
5. supernatant from anaerobic digestion of sewage sludge
6. quality characteristic



شکل ۹. برازش معادله‌ی نمایی به نتایج حاصل از شوک دمایی برای تعیین ضریب θ .

ضریب پذیرفته شده‌ی موردنظر استفاده کرد و این ضریب در چنین مواقعی، کاهش کمتری را نسبت به واقعیت ارائه خواهد داد.

به منظور تعیین ضریب تصحیح دمایی برای شوک‌های کاهشی دما، از برازش بهترین معادله‌ی نمایی بر نتایج حاصل از تغییر در نرخ SAOR استفاده شد که نتایج آن در شکل ۹ نشان داده شده است. با استفاده از این شکل، ضریب تصحیح دمایی θ معادل ۱/۰۹۶۵ به دست آمد که حدود ۲۳٪ بیشتر از ضریب پذیرفته شده ۱/۰۷۲ است. در این تحقیق و برای نشان دادن میزان تأثیر سایر عوامل بررسی شده بر این ضریب در صورتی که تأثیر آن‌ها حذف نشود، ضریب موردنظر تعیین شد که در این حالت ضریب θ معادل ۱/۱۰۶ به دست آمد که نشان می‌دهد سایر عوامل نیز بر نتایج تأثیر داشته و لازم است در تعیین این ضریب اثرات آن‌ها حذف شود. این موضوع نشان داد که استفاده از مقایسه‌ی مستقیم در تعیین این ضریب و در صورت تغییر شرایط، صحیح نیست و می‌تواند نتایج متفاوتی به دست دهد. از آنجایی که این ضریب برای شوک‌های زیاد، بسیار متفاوت با شوک‌های ناچیز است و بررسی فوق نیز این مسئله را به اثبات رساند، در این تحقیق، از تغییرات دمایی ۵ درجه‌ی سلسیوس صرف نظر شد و در این حالت ضریب موردنظر معادل ۱/۰۹۹ تعیین شد که در تطابق با ضرایب ارائه شده‌ی پژوهشگران دیگر یعنی ۱/۰۸۸^[۱۳] و ۱/۱۱۶^[۵] است.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از بیومس مازاد راکتور جریان جانبی، یک سری آزمایش

منابع (References)

1. Pambrun, V.; Paul, E. and Sp'erandio, M. "Control and modeling of partial nitrification of effluents with high ammonia concentrations in sequencing batch reactor", *Chemical Engineering and Processing*, **47**(3), pp. 323-329 (2008).

2. Dosta, J.; Gali', A. ; Benabdallah El-Hadj, T.; Mace', S. and Mata-A'lvarez, J. "Operation and model description of a sequencing batch reactor treating reject water for biological nitrogen removal via nitrite", *Bioresource Technology*, **98**, pp. 2065-2075 (2007).
3. Paredes, D.; Kuschik, P.; Mbwette, T.S.A.; Stange, F.; Müller, R.A. and Köser, H. "New aspects of microbial nitrogen transformations in the context of wastewater treatment - a review", *Eng. Life Sci.*, **7**(1), pp. 13-25 (2007).
4. Mauret, M.; Paul, E.; Puech-Costes, E. ; Maurette, M.T. and Baptiste, P., "Application of experimental research methodology to the study of nitrification in mixed culture", *Wat. Sci. Tech.*, **34**, pp. 245-252 (1996).
5. Hwang, J.H. and Oleszkiewicz , J.A. "Effect of cold-temperature shock on nitrification", *Water Environment Research*, **79**(9), pp. 964-968 (2007).
6. Guo, X.; Kim, J.H.; Behera, S.K. and Park, H.S., "Influence of dissolved oxygen concentration and aeration time on nitrite accumulation in partial nitrification process", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, **5**, pp. 527-534 (2008).
7. Peng, Y.Z. and Zhu, G. "Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway", *Appl Microbiol Biotechnol*, **73**, pp. 15-26 (2006).
8. Peng, Y.Z.; Gao, S.; Wang,S. and Bai, L., "Partial nitrification from domestic wastewater by aeration Control at ambient temperature", *Chin. J. Chem. Eng.*, **15**(1), pp. 115-121 (2007).
9. Peng,Y.Z.; Chen, Y.; Peng, C.Y.; Liu, M.; Wang, S.Y.; Song, X.Q. and Cui, Y.W., "Nitrite accumulation by aeration controlled in sequencing batch reactors treating domestic wastewater", *J. Water Sci Technol*, **50**(10), pp. 35-43 (2004).
10. Metcalf and Eddy, Inc., *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Ed., McGraw-Hill (2003).
11. Hellinga, C.; Schellen, A.A.J.C.; Mulder, J.W.; van Loosdrecht, M.C.M. and Heijnen, J.J. "The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich wastewater", *Water Sci Technol*, **37**(9), pp. 135-142 (1998).
12. Van Hulle, S.; Volcke, E.; Teruel, J.L.P.; Donckels, B.; Van Loosdrecht, M.C.M. and Vanrolleghem, P.A., "Influence of temperature and pH on the kinetics of the Sharon nitritation process", *J. Chem Technol Biotechnol*, **82**, pp. 471-480 (2007).
13. Head, M.A. and Oleszkiewicz , J.A. "Bioaugmentation for nitrification at cold temperatures", *Water Research*, **38**(3), pp. 523-530 (2004).
14. *Water Environment Research Foundation, Standardization and Demonstration of Methods for Wastewater Characterization for Activated Sludge Modeling*, project report no. 99-WWF-3; Water Environment Research Foundation, Alexandria, Virginia (2003).
15. Madaeni, S.S. and Koocheki, S. "Application of Taguchi method in the optimization of wastewater treatment using spiral-wound reverse osmosis element", *Chemical Engineering Journal*, **119**, pp. 37-44 (2006).
16. Hu , J.Y.; Ong, S.L.; Ng, W.J. and Liu, W. "Use of a sequencing batch reactor for nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater", *Journal Envir. Engng.*, **131**(5), pp. 734-744 (2005).
17. Kaminari, N.M.S.; Ponte, M.J.J.S.; Ponte, H.A.; Marino, C.E.B. and Neto, A.C. "Heavy metals recovery from industrial wastewater using Taguchi method", *Chemical Engineering Journal*, **1**(26), pp. 139-146 (2007).
18. Roy, R.K., *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*, John Wiley & Sons, Inc., USA (2001).
19. EPA, *Wastewater Technology Fact Sheet: Side Stream Nutrient Removal*, office of water, US EPA (2007).
20. Kos, P. "Short SRT (solids retention time) nitrification process/flowsheet", *Water Science and Technology*, **38**(1), pp. 23-29 (1998).
21. Kos, P., *Method and System for Improved Biological Nitrification of Wastewater at Low Temperature*, US patent no: 5811009 (1997).
22. Bailey, Jr.; Walter, F.; Murthy, S.N.; Benson, L.; Constantine, T.; Daigger, G.T.; Sadick, T.E. and Katehis, D., *Method for Nitrogen Removal and Treatment of Digester Reject Water in Wastewater Using Bioaugmentation*, US patent no: 7404897B2 (2008).
23. Plaza, E.; Trela, J. and Hultman, B., *Seeding of Nitrifying Bacteria on Nitrification Process Efficiency*, 1st World Water Congress of IWA, Paris (2000).
24. Sinha, B. and Annachhatre, A.P., "Partial nitrification-operational parameters and microorganisms involved", *Rev Environ Sci. Biotechnol.*, **6**, pp. 285-313 (2007).
25. So-Hyun, J., and et al., "Partial nitrification in an upflow biological aerated filter by O2 limitation", *Biotechnology Letters*, **22**, pp. 937-940 (2000).
26. Ciudad, G., and et al. "Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of a shortcut biological nitrogen removal process", *Process Biochemistry*, **40**, pp. 1715-1719 (2005).
27. Dosta, J., *Operation and Model Description of Advanced Biological Nitrogen Removal Treatments of Highly Ammonium Loaded Wastewaters*, PhD. Thesis, Chemical and Agricultural Engineering and Agrifood Technology, University of Barcelona, Barcelona, Spain (2007).
28. APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th ed., American Public Health Association (APHA), Washington D.C. (2005).

ABRUPT COLD TEMPERATURE SHOCK EFFECT ON NITRIFICATION

Rate

A. Dehnoei

H. Ganjidoust

B. Ayati

Department of Civil and Environmental Engineering

Tarbiat Modares University

Tehran, Iran

G. Emtiazi

Department of Microbiology

Isfahan University

Isfahan, Iran

Abstract:

Biological processes are known as temperature-sensitive in wastewater treatment. Nitrification and, especially, partial nitrification (first step of nitrification) are the most temperature-sensitive among biological processes. Factors such as dissolved oxygen, ammonia concentration, MLVSS, and etc, may influence two steps of the nitrification and organism growth rate, so nitrification should be done by controlling some of these factors.

In this study, biomass acclimation in a side stream partial nitrification sequencing batch reactor (SBR) under optimum conditions (e.g. $T=30^{\circ}\text{C}$) for biological nitrogen removal (BNR) has been examined. In order to show the superiority of ammonia oxidizing biomass (AOB) over nitrite oxidizing biomass (NOB), excess sludge for solid retention time (SRT) regulation was added to another batch reactor, which had been performed under different conditions (e.g. $T=25, 20$ and 15°C) for specific ammonium oxidation rate (sAOR) evaluation and cold shock effect consideration.

Results of the side stream, partial nitrification, sequencing batch reactor showed that the specific ammonium oxidation rate at the end of any cycle and after steady state conditions was about $16.4 \text{ mgN-NH}_4^+ \text{ gr VSS / hr}$.

Primary results of main stream batch tests after analysis by the Taguchi method displayed that the percent influence of consideration factors includes temperature, initial ammonium, MLVSS and time, whose specific ammonium oxidation rates were about 98.5, 0.09, 0.06 and 1.3%, respectively. So, temperature is an important factor that affects the specific ammonium oxidation rate.

More analysis on the results has shown that the effects of other factors, except the considered factor (e.g. temperature), on specific ammonium oxidation rate can be eliminated using the Taguchi method. Based on this method, it was demonstrated that abrupt cold shock caused a significant reduction in the process rate; up to 25, 55 and 78% for temperature reduction, from 30 to 25, 20 and 15°C , respectively. Therefore, the temperature correction factor was calculated about 1.0965 by elimination of other factors except temperature. The temperature correction factor was also estimated to be about 1.106 using direct comparison.

Keywords: abrupt cold shock, ammonia oxidizing bacteria, temperature correction factor, Taguchi method