Optimization of Upflow Fixed Bed Bio-Denitrification Reactors in Water Treatment

Ghaffarzadeh,M. (M.Sc), Torabian, A.,(Ph.D), Aminzadeh, B.,(Ph.D)
Faculty of Environmental, Engineering University of Tehran

Abstract

In this research, optimization of biological denitrification upflow fixed bed reactors was studied.

A rectangular shape bench scale reactor filed with PVC corrugated plate was used. Our result showed that a minimum of 93 percent nitrate removal for a range of reactor detention time from 0.5 to 48 hours were achieved while the influent nitrate concentration was 100 mg/L. It means, nitrate removal/efficiency is independent of these parameters.

Increasing of hydraulic detention time had more effect on effluent residual COD and nitrite concentration (denitrifiction product).

It was found for detention time of more than one hour, nitrite concentration was about less than one ppm.

Decreasing of hydraulic detention time to less than 0.5 hour caused a significant increase in effluent nitrite concentration. Our results also indicated that with increasing C/N ratio nitrate removal percentage increased and nitrite residual and also COD concentration decreased in effluent.

Optimum C/N ratio (for hydraulic detention time equal to one hour and influent nitrate concentration equal to 100 mg/L) were found to be equal to 1.6. Considering this ratio, residual nitrate and COD concentration were determined. 3.7, 7.3, 0.09, mg/L respectively.

This study also showed that with increasing nitrate concentration in influent, effluent nitrate concentration increased but nitrate removal efficiency almost remain constant. This was not observed for effluent nitrite. Effluent nitrite concentration is strongly under influence of influent nitrate concentration. This problem can be solved by reactor detention time modification. In summary, modification of operational condition of denitrification reactor has a significant effect on nitrate removal rate.

بهینه‌سازی دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی در راکتورهای با بستر ثابت و جریان رو به بالا در تصفیه آب

(دریافت ۸۰/۷/۳۰ پذیرش ۸۱/۳/۱۸)

محمد غفارزاده* علی ترابیان** بهنوش امین‌زاده**

چکیده

در تحقیق حاضر بهینه‌سازی شرایط عملکرد بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون با بستر ثابت و جریان رو به بالا مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از یک راکتور مکعب مستطیلی شکل در مقیاس آزمایشگاهی که از ورقه‌های موج‌دار از جنس PVC پر شده بود، استفاده شد. جهت تأمین میکروارگانیسم از یک راکتور SBR بی‌هوازی جهت القای باکتری استفاده گردید و پس از یک ماه چرخش خوراک راکتور آماده بهره‌برداری شد. باکتری کشت داده شده در این تحقیق سودوموناس‌الکالی‌ژنز بود.

آزمایش‌ها نشان داد که در محدوده زمان ماند هیدرولیکی مورد آزمایش (از نیم‌ساعت تا ۴۸ ساعت) مقادیر درصد حذف نیترات، با غلظت ورودی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بسیار بالا (حداقل به میزان ۹۳٪ با غلظت خروجی ۶/۹ میلی‌گرم در لیتر) و مستقل از این پارامتر می‌باشد. در صورتی که در مورد COD باقی‌مانده، اثر افزایش زمان ماند هیدرولیکی در درصد حذف این پارامتر محسوس‌تر بود (حداقل به میزان ۸۰٪ با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر). در مورد نیتریت (محصول واسطه واکنش دنیتریفیکاسیون) در زمان‌های ماند هیدرولیکی بیشتر از یک ساعت غلظت این پارامتر از حد چند صدم میلی‌گرم در لیتر فراتر نرفت. در صورتی که در زمان ماند هیدرولیکی نیم ساعت، مقدار غلظت به نحو شدیدی رو به افزایش گذاشت. بر اساس نتایج حاصله با افزایش نسبت C/N (با استفاده از اتانل به عنوان ماده کربنی) درصد حذف نیترات بالا رفته و غلظت نیتریت و COD باقی‌مانده کاهش می‌یابد. مقدار بهینه C/N (در زمان ماند هیدرولیکی یک ساعت و غلظت نیترات ورودی به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) برابر با ۱/۶ به دست آمد. در این نسبت غلظت نیترات، نیتریت و COD باقی‌مانده در خروجی به ترتیب برابر با مقادیر ۳/۷، ۷/۳ و ۰/۰۹ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد.

این تحقیق هم‌چنین نشان می‌دهد که گرچه با افزایش غلظت نیترات ورودی غلظت نیترات خروجی زیاد می‌شود، ولی بازدهی حذف نیترات تقریباً ثابت می‌ماند. (با ۲٪ اختلاف حداکثر به میزان ۹۶٪). این مسئله در مورد نیتریت مشاهده نشد. غلظت نیتریت باقی‌مانده در خروجی به نحو شدیدی متأثر از غلظت نیترات ورودی بود که این مشکل با بهینه‌سازی زمان ماند هیدرولیکی راکتور مرتفع شد در مجموع بهینه‌سازی شرایط بیودنیتریفیکاسیون منجر به کسب نتایج موفقیت‌آمیزی در حذف نیترات از آب آشامیدنی شد.

کلمات کلیدی: دنیتریفیکاسیون، راکتورهای با بستر ثابت، آب آشامیدنی، نیترات، نیتریت، بهینه‌سازی.

مقدمه

امروزه کمتر کشوری را می‌توان نام برد که بخشی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی آن به یون نیترات آلوده نباشد. در ایران در سال‌های اخیر روند رو به افزایش غلظت نیترات در بخشی از منابع با ارزش آب‌های زیرزمینی مناطقی از قبیل تهران، مشهد، اصفهان، اراک و ...، متولیان امر تأمین آب شرب را با معضل جدی مواجه کرده است. تعدادی از چاه‌های آب شرب این مناطق به دلیل آلودگی شدید عملاً از مدار بهره‌برداری خارج شده‌اند و استفاده از آب چاه‌های نسبتاً آلوده نیز تاکنون از طریق اختلاط آن با آب‌های با غلظت کم نیترات امکان‌پذیر شده است که همیشه قابل اجرا نیست.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
** عضو هیأت علمی دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

مخاطرات بهداشتی ناشی از غلظت‌های زیاد نیترات در آب آشامیدنی، از قبیل ابتلا به بیماری متهموگلوبینمیا در شیرخواران [۱] و احتمال تشکیل نیتروزآمین‌ها [۲]، احتمال بروز سقط جنین در انسان و دام [۳]، احتمال بروز دیابت کودکان [۴]، و موارد دیگر، اجرای هر چه سریع‌تر طرح‌های کارآمد و موثر در زمینه حفاظت کیفی منابع آب و به کارگیری فرآیندهای بهینه حذف نیترات از منابع آبی آلوده، به منظور بهره‌برداری مجدد از آن‌ها را ایجاب می‌نماید.

هدف از تحقیق حاضر بهینه‌سازی شرایط عملکرد بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون با بستر ثابت و جریان رو به بالا می‌باشد.

از میان فرآیندهای مختلف حذف نیترات از آب آشامیدنی، دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی نیترات به دلیل مزایای متعدد آن کارآمدتر و راحت‌تر تشخیص داده شده است. هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کم، حداقل تولید محصولات ثانویه و نیاز محدود به نگهداری و تعمیرات از مزایای این روش گزارش شده است [۵]. در میان روش‌های بیولوژیکی حذف نیترات از آب، استفاده از راکتورهای با بستر ثابت، به دلیل کیفیت خوب آب تصفیه شده از حدود ۱۰ سال قبل در اروپا متداول شده است. بسترهای ثابت هم در فرآیندهای هتروتروف و هم در فرآیندهای اتوتروف حذف نیترات مورد تجربه قرار گرفته‌اند و در مقیاس صنعتی نیز به کار رفته‌اند. استفاده از باکتری‌های هتروتروف به جای اتوتروف سرعت انجام فرآیند دنیتریفیکاسیون را افزایش داده و راهبری آن را آسان‌تر می‌نماید [۶]. ترکیبات آلی از قبیل متانول، اتانول، اسید استیک، شربت ذرت، گلوکز، ساکارز و سلولز و دامنه وسیعی از ترکیبات آلی پیچیده‌تر تاکنون به عنوان منبع کربن فرآیند هتروتروف حذف نیترات مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. انتخاب منبع کربن به چهار عامل مهم بستگی دارد: بازدهی حذف نیترات، قیمت، ضریب بازدهی لجن و پذیرش قانونی آن. به طور مثال در انگلستان استفاده از اتانل در تصفیه آب شرب مورد پذیرش نمی‌باشد.

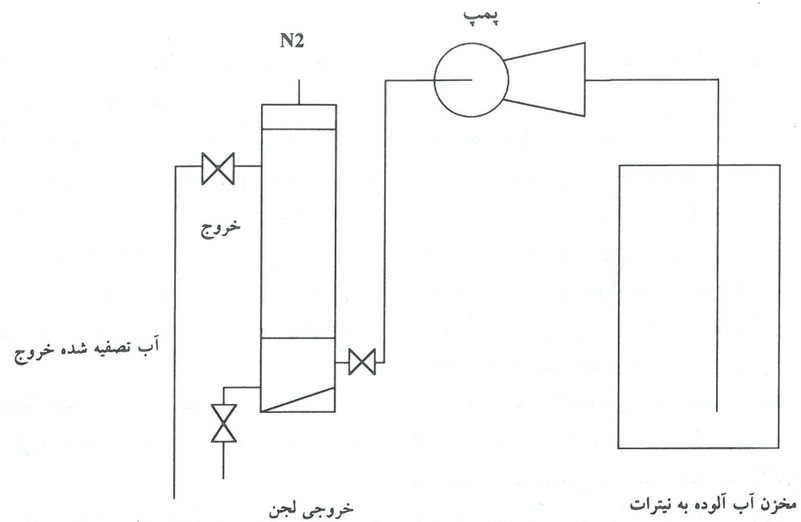
هر سه منبع کربنی متانل، اتانل و اسید استیک دارای ضریب بازدهی لجن (توده سلولی) کمی بوده که این خود از نقطه نظر نگهداری و دفع لجن تولید شده پرفایده است. به نظر بسیاری از محققین، متانل اصلی‌ترین منبع کربن می‌باشد ولی به دلیل احتمال اثرات سمّی آن در آب، روز به روز از کاربرد آن کاسته شده و استفاده از اتانل رایج‌تر شده است [۵]. در سال‌های اخیر اسید استیک نیز به دلیل ارزان بودن، سهولت دسترسی، غیر سمّی و غیر مشتعل بودن آن، کاربرد گسترده‌ای یافته است. بیشتر اطلاعات تجربی در رابطه با تعیین مقدار منبع کربن مورد نیاز جهت انجام فرآیند دنیتریفیکاسیون بر حسب نسبت C/N (میلی‌گرم کربن مورد نیاز به ازای میلی‌گرم غلظت نیترات ورودی) بیان شده است. مقدار C/N برای دنیتریفیکاسیون کامل بین ۱/۵ تا ۵ متغیر است. معمولاً راکتورهای با بستر ثابت به دلیل بالاتر بودن غلظت توده سلولی در آن‌ها نسبت به سیستم‌های بار شد معلق، به C/N کمتری نیازمند هستند. عموماً نسبت C/N بین ۲ تا ۳ قادر خواهد بود که دنیتریفیکاسیون‌کامل (۹۵٪) حذف‌نیترات را انجام دهد [۶].

روش تحقیق

یک راکتور مکعب مستطیلی شکل از جنس پلکسی گلاس در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. سطح مقطع راکتور ۱۰ × ۷ سانتی‌متر مربع و ارتفاع و حجم مفید آب به ترتیب برابر با ۷۰ سانتی‌متر و ۳/۸۵ لیتر در نظر گرفته شد. در راکتور از قطعات مربع شکل موج دار از جنس PVC با سطح مقطع ۱۳×۱۰ سانتی‌متر مربع و سطح کل تقریبی به میزان ۱/۴۳ متر مربع بود که این قطعات به تعداد ۱۱ عدد به یکدیگر متصل شده و راکتور دارای ۵ بسته ۱۱ تایی بود که به عنوان ماده حامل استفاده شده بود.

خوراک ورودی به راکتور توسط یک پمپ آزمایشگاهی از مخزن خوراک به صورت جریان رو به بالا وارد راکتور می‌شد. منبع کربن مورد استفاده در این مطالعات اتانل بود. جهت تأمین فسفر مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها از دی پتاسیم هیدروژن ارتوفسفات استفاده می‌شد. نسبت N/P در خوراک، ۳۳ بود که با توجه به نسبت عمومی باکتری‌ها که نسبت N/P، ۵ به ۱ است، اختلاف در این نسبت کاملاً مشهود است. pH خوراک نیز در حد ۷~۶/۵ ثابت بود (شکل ۱).

غلظت کلر ورودی به راکتور با توجه به این که آزمایش‌ها با آب لوله‌کشی شهر تهران انجام گرفت، حداکثر ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد.



شکل ۱- دیاگرام جریان و شمای کلی فرآیند تصفیه.

پس از حدود سه هفته از راه‌اندازی راکتور که به صورت غیر مداوم صورت گرفته بود و با اطمینان از تشکیل جرم میکربی با غلظت زیاد در سطح بستر، جریان خوراک با زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ ساعت به سمت راکتور هدایت شد.

به منظور تعیین زمان ماند هیدرولیکی، زمان‌های مورد بررسی به شش قسمت تقسیم شده بود و از زمان ماند ۴۸ ساعت آغاز گردید. با توجه به این که راکتور تازه راه‌اندازی شده بود، باکتری‌ها می‌توانستند حالت ثابتی پیدا نمایند. میزان نسبت C/N هم در این زمان به علت فوق‌الذکر بیشتر از سیکل‌های بعدی انتخاب شده بود. به مرور که حالت تثبیت به وجود آمد، زمان ماند کاهش پیدا کرد و این کاهش تا زمان ۰/۵ ساعت که راکتور از نظر کارایی و افزایش بیشتر خروجی افت شدیدی داشت، ادامه پیدا کرد. مقدار این پارامتر در ۶ دوره کاری به ترتیب از ۴۸ ساعت به ۲۴، ۱۲، ۴، ۱ و نیم ساعت تغییر داده شد و در هر دوره به دفعات مقادیر نیترات، نیتریت، COD، کدورت، pH و مواد معلق در خروجی از راکتور اندازه‌گیری شد و مقادیر متوسط آن‌ها به دست آمد. در طول این سری از آزمایش‌ها غلظت نیترات در خوراک ورودی به راکتور در حد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نسبت کربن به نیتروژن (به جز زمان راه‌اندازی و زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ساعت) در حدود ۱/۸ ثابت نگه داشته شد.

به منظور بررسی اثر نسبت C/N، خوراک ورودی در عملکرد بیوراکتور دنیتریفیکاسیون و تعیین مقدار بهینه آن برای اتانل، مقدار این نسبت با تغییر غلظت اتانل در خوراک ورودی تغییر داده شد. (به ترتیب برابر با مقادیر ۱/۸، ۱/۶، ۱/۳، ۱ و ۰/۷). در هر دوره کاری مقادیر نیترات، نیتریت، کدورت و COD به دفعات اندازه‌گیری شد و مقدار متوسط آن‌ها به دست آمد. هر دوره کاری پس از تثبیت یعنی زمانی که تغییرات COD نیترات به یک حالت ثابتی در خروجی می‌رسید، ادامه یافته و پس از آن آزمایش‌ها به مدت دو هفته و حداقل ۷ نمونه انجام شد و سپس دوره کاری بعدی شروع می‌گردید. در طول این سری از آزمایش‌ها برای مدت زمان ماند هیدرولیکی با توجه به نتایج قسمت اول تحقیق، زمان یک ساعت در نظر گرفته شده بود. در بخش پایانی این تحقیق با تعیین مقدار بهینه C/N برای اتانل اثر افزایش غلظت نیترات ورودی بر عملکرد راکتور بیودنیتریفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت.

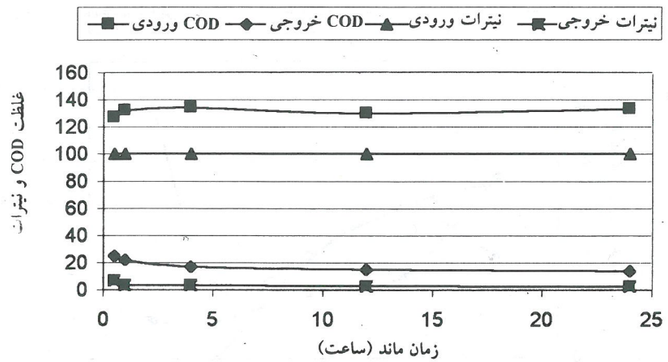
کل مراحل تحقیق در دمای محیط (۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شد و اندازه‌گیری پارامترهای فوق‌الذکر بر اساس دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد [۷] صورت گرفت.

دستاوردها

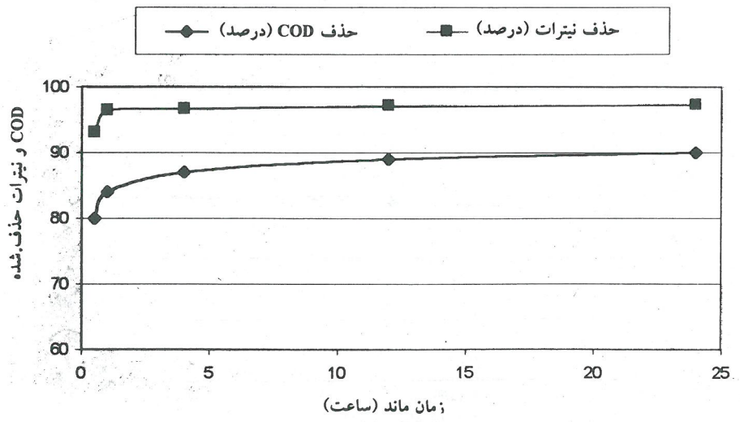
نمودار ۱ اثر زمان هیدرولیکی راکتور بر غلظت نیترات خروجی و COD باقی‌مانده و نمودار ۲ این اثر را به صورت درصد حذف نیترات و COD نشان می‌دهد. حداقل غلظت نیترات در پساب خروجی مربوط به زمان

ماند ۴۸ ساعت، به میزان ۲/۱ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر غلظت این پارامتر، مربوط به زمان ماند هیدرولیکی نیم ساعت، به میزان ۶/۹ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. متناظر با این مقادیر حداکثر بازدهی حذف نیترات ۹۷/۹٪ و حداقل آن ۹۳٪ تعیین شد. با توجه به نمودارهای ۱، ۲، ۳، ۵ و ۶ و مقادیر ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت، که کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۴۸ ساعت تا نیم ساعت، تأثیر کمی در بازدهی راکتور از نقطه نظر حذف نیترات می‌گذارد. مقایسه نوسانات غلظت COD باقی‌مانده خروجی از راکتور، در زمان‌های اقامت به کار برده شده، حاکی از آن است که اثر کاهش زمان ماند هیدرولیکی در کاهش بازدهی حذف COD نسبت به نیترات محسوس‌تر است. (حداقل درصد حذف ۸۰٪ با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در زمان نیم ساعت نسبت به حداکثر درصد حذف ۹۵/۹۲٪ با غلظت ۱۰میلی‌گرم در لیتر در زمان ۲۴ساعت). در مورد نیتریت (محصول واسطه واکنش دنیتریفیکاسیون) با کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۱ ساعت به نیم ساعت افزایش بسیار چشم‌گیری در غلظت این ماده در خروجی مشاهده شد.

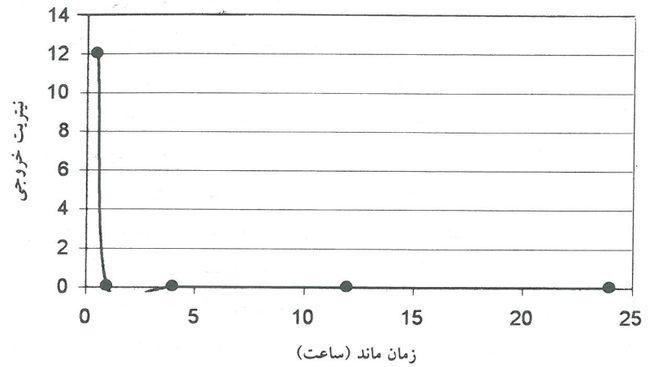
و غلظت این ماده واسطه که در زمان‌های اقامت بیشتر از یک ساعت از حد چند صدم میلی‌گرم در لیتر فراتر نرفت، به میزان متوسط ۱۲میلی‌گرم در لیتر رسید. این افزایش نشان‌گر آن است که مرحله دوم واکنش دنیتریفیکاسیون یعنی مرحله احیای نیتریت به محصولات نهایی به علت ناکافی بودن زمان واکنش به صورت ناقص انجام شده است.



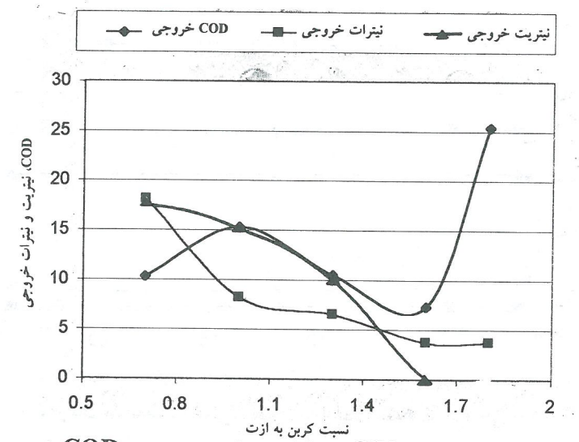
نمودار ۱- اثر زمان ماند هیدرولیکی راکتور بر غلظت نیترات خروجی و COD باقی‌مانده.



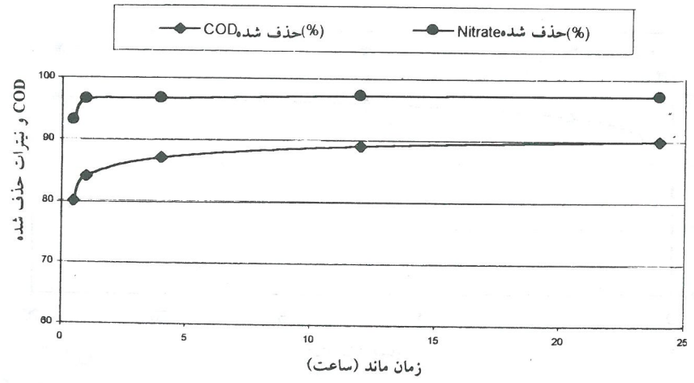
نمودار ۲- اثر زمان ماند هیدرولیکی بر حذف نیترات و COD.



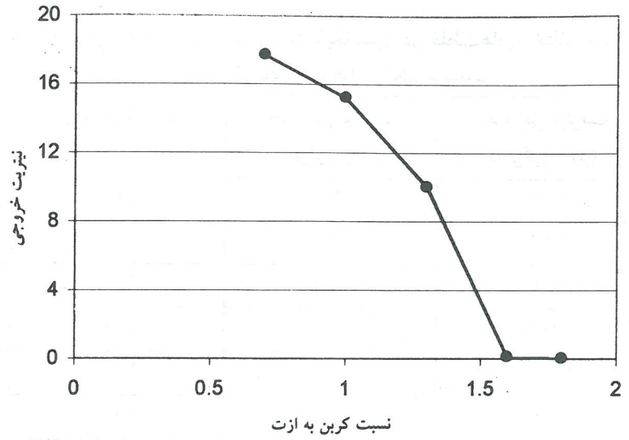
نمودار ۳- اثر زمان ماند هیدرولیکی راکتور بر غلظت نیتریت خروجی.



نمودار ٤- اثر تغییرات C/N بر غلظت نیترات، نیتریت و COD خروجی.



نمودار ٥- اثر تغییر نسبت C/N بر حذف نیترات وCOD.



نمودار ٦- اثر تغییر نسبت C/N بر غلظت نیتریت خروجی.

با این توصیف زمان ماند هیدرولیکی یک ساعت به عنوان زمان بهینه آزمایش‌های تکمیلی بعدی انتخاب شد. جدول ۱ نتایج عملکرد راکتور را در نسبت‌های مختلف C/N نشان می‌دهد. هم‌چنین نمودار ٤ اثر افزایش نسبت C/N را در غلظت نیترات و نیتریت خروجی و COD باقی‌مانده و نمودار ٥ همین اثر را به صورت بازده حذف نیترات و COD باقی‌مانده به تصویر می‌کشد.

همان طور که از نمودارها و جدول ۱ مشخص است با تغییر نسبت C/N از ۰/۷ به ۱ افزایش محسوسی در بازدهی حذف نیترات حاصل شده است (از ۸۲٪ تا ۹۲٪). از نسبت یک به بعد اثر افزایش C/N در بالا بردن بازدهی حذف نیترات به کندی صورت گرفته است. چنانچه در نسبت C/N=۱/٦ و بالاتر، بازدهی حذف تقریباً ثابت و به میزان ۹٦٪ رسیده است. در مورد COD بهترین درصد حذف در C/N=۱/٦ اتفاق می‌افتد (با حداقل غلظت خروجی به میزان ۷/۳ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر بازدهی ۹٤٪). در همین نسبت کاهش چشم‌گیری در غلظت نیتریت تولید شده نسبت به نسبت‌های پایین‌تر، مشاهده می‌شود. مطابق با نمودار ٦ با افزایش نسبت C/N از ۰/۷ تا ۱/٦ کاهش چشم‌گیری در غلظت نیتریت تولید شده به وجود می‌آید، به نحوی که عملاً از C/N=۱/٦ به بالا غلظت نیتریت به حد صفر می‌رسد.

با توجه به مقادیر حداکثر مجاز نیترات و نیتریت در آب آشامیدنی، در نسبت C/N=۱/٦ بیوراکتور قادر به کاهش هم‌زمان غلظت نیترات و نیتریت در مقادیر به مراتب کمتری از استاندارد بوده است. گرچه استفاده از روش‌های تکمیلی فرآیند بیودنیتریفیکاسیون از قبیل هوادهی و جذب، که به منظور حذف نیتریت و COD باقی‌مانده صورت می‌گیرد، می‌تواند سبب انتخاب نسبت‌های پایین‌تری از C/N نیز بشود.

جدول ۱- نتایج عملکرد بیوراکتور دنیتریفیکاسیون در نسبت‌های مختلف C/N.

C/N	نیترات خروجی (میلی‌گرم در لیتر)	نیتریت خروجی (میلی‌گرم در لیتر)	کدورت خروجی FTU	COD ورودی (میلی‌گرم در لیتر)	COD خروجی (میلی‌گرم در لیتر)	بازده حذف COD (٪)	بازده حذف نیترات(٪)
۰/۷	۱۸/۱	۱۷/۷	۱۷/۳	٦۰	۱۰/۳	٪۸۳	٪۸۲
۱	۸/۲	۱۵/۲	۱۷/۷	۸۷	۱۵/۳	٪۸۳	٪۹۲
۱/۳	٦/۵	۱۰	۱٤/۸	۱۰٦/۵	۱۰/۵	٪۹۰	٪۹٤
۱/٦	۳/۷	۰/۰۹	۱٤/۵	۱۱۹/۵	۷/۳	٪۹٤	٪۹٦
۱/۸	۳/۷	۰/۰۳	۱٦/۳	۱۳۱/۷	۲۵/٤	٪۸۱	٪۹٦

جدول ۲- نتایج عملکرد بیوراکتور دنیتریفیکاسیون در غلظت‌های مختلف نیترات ورودی و زمان‌های ماند هیدرولیکی مختلف.

بازده حذف نیترات (٪)	ورودی نیترات (میلی‌گرم در لیتر)	خروجی نیترات (میلی‌گرم در لیتر)	خروجی نیتریت (میلی‌گرم در لیتر)	زمان ماند هیدرولیکی (ساعت)
۹۶	۱۰۰	۳/۷	۰/۰۹	۱
۹۵	۲۰۰	۱۰/۵	۲۲/۷	۱
۹۶	۲۰۰	۸	۱۱	۱/۵
۹۶/۳	۲۰۰	۷/۵	۰/۰۲۳	۲
۹۴/۳	۳۰۰	۱۷	۳۱	۲
۹۴/۶	۳۰۰	۱۶	۲۴	۲/۵
۹۶	۳۰۰	۱۲	۰/۰۲	۳
۹۴/۸	۴۰۰	۲۱	۳۰	۳
۹۵	۴۰۰	۲۰	۲۱	۳/۵
۹۵/۷	۴۰۰	۱۷	۱۴	۴
۹۶/۱	۴۰۰	۱۵/۵	۰/۰۳۸	۴/۵
۹۵/۴	۵۰۰	۲۳	۳۳	۴/۵
۹۵/۷	۵۰۰	۲۱/۵	۱۹	۵/۵
۹۶/۲	۵۰۰	۱۹	۰/۰۴۸	۶/۵
۹۵/۱	۶۰۰	۲۹	۳۸	۶/۵
۹۵/۵	۶۰۰	۲۷	۲۴	۸/۵
۹۶	۶۰۰	۲۳	۰/۰۵۲	۱۰/۵

با در نظر گرفتن نسبت بهینه C/N=۱/۶ در ادامه آزمایش، اثر افزایش غلظت نیترات ورودی بر بازدهی حذف نیترات در بیوراکتورها بررسی شد. جدول ۲ نتایج مربوط به عملکرد بیوراکتورها را در غلظت‌های مختلف نیترات ورودی و زمان‌های ماند مختلف هیدرولیکی نشان می‌دهد.

توجه به مقادیر مندرج در جدول ۲ اگرچه افزایش غلظت نیترات ورودی (در زمان‌های ماند هیدرولیکی یکسان) سبب افزایش غلظت نیترات خروجی از سیستم شده است، ولی در کاهش بازدهی حذف نیترات اثر بسیار کمی گذاشته است (حداقل به میزان ۹۲٪ و حداکثر به میزان ۹۶٪). آنچه در این جدول به وضوح مشاهده می‌شود، تأثیر شدید غلظت نیترات ورودی بر غلظت نیتریت تولید شده (در زمان ماند هیدرولیکی یکسان)، و نیز تأثیر شدید زمان ماند هیدرولیکی (در غلظت‌های یکسان نیترات ورودی....)، بر غلظت این محصول واسطه می‌باشد. هر دو این تعابیر به این معنی است که مرحله دوم واکنش دنیتریفیکاسیون یعنی مرحله احیای نیتریت به محصولات نهایی واکنش، از جمله نیتروژن، مرحله تعیین کننده سرعت واکنش، دنیتریفیکاسیون می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که این سیستم‌ها قادر به حذف نیترات در غلظت‌های بسیار زیاد نیز می‌باشد (با حداقل بازدهی به میزان ۹۴٪)، به شرط آن که زمان ماند هیدرولیکی متناسب با غلظت نیترات ورودی جهت کاهش غلظت نیتریت باقی‌مانده، اضافه شود و یا فرآیند تکمیل مناسب جهت حذف نیتریت و COD باقی‌مانده

طراحی شود. بدیهی است انتخاب نهایی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی صورت خواهد گرفت.

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی این تحقیق، نتایج زیر به دست آمد:

۱- در راکتورهای بیولوژیکی با بستر ثابت و جریان رو به بالا بازدهی حذف نیترات در دامنه زمان‌های ماند هیدرولیکی ۲۴~۰/۵ ساعت، تقریباً ثابت و مستقل از این پارامتر است، ولی با کاهش زمان ماند هیدرولیکی از یک ساعت به نیم ساعت افزایش چشم‌گیری در غلظت نیتریت باقی‌مانده، مشاهده می‌شود. لذا بهترین زمان جهت حذف همزمان نیترات و نیتریت باقی‌مانده در مقادیر پایین‌تر از حد استاندارد، زمان ماند هیدرولیکی یک ساعت برآورد گردید.

۲- تأثیر زمان ماند هیدرولیکی در مورد بازدهی حذف COD باقی‌مانده نسبت به نیترات محسوس‌تر است.

۳- در زمان ماند هیدرولیکی یک ساعت، نسبت بهینه C/N برای اتانل برای حذف همزمان مقادیر نیترات و نیتریت و COD باقی‌مانده، ۱/۶ تعیین شد. اگرچه امکان انتخاب نسبت پایین‌تر C/N تا حدود ۱ به شرط استفاده از فرآیند تکمیلی حذف نیترات از قبیل هوادهی و جذب باقی است.

۴- افزایش غلظت نیترات ورودی سبب افزایش غلظت نیترات خروجی می‌شود ولی تأثیر چندانی بر بازدهی حذف نیترات ندارد (حداکثر ۲٪ کاهش).

۵- افزایش غلظت نیترات ورودی سبب افزایش نسبتاً شدید نیتریت باقی‌مانده می‌شود که این اثر را می‌توان با ازدیاد زمان ماند هیدرولیکی رفع نمود. ضمناً با افزایش غلظت، باکتری‌های دنیتریفیکاسیون کننده می‌توانند افزایش ظرفیت داده و درصد حذف نیترات کاهش چشمگیری ننماید. لازم به ذکر است که برای افزایش زمان ماند هیدرولیکی آزمایش‌ها تا زمانی که خروجی پایلوت به یک ثبات نسبی نرسید، زمان ماند هیدرولیکی تغییر داده نشد؛ و آن زمانی بود که ۷ روز متوالی خروجی پایلوت ثابت گزارش می‌شد لذا زمان مناسب جهت افزایش جرم سلولی و تطابق با غلظت ورودی وجود داشت.

تشکر و قدردانی

انجام این تحقیق بدون حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران میسر نبود. بدین وسیله از مساعدت‌های به عمل آمده تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع و مراجع

1- Dahab, M.f., Kalagiri, J., (1996). "*Nitrate Removal from Water Using Cyclically Operated, Fixed film 10- Denitrification Reactors B* ", Wat. Sci.Tech. Vol. 34,No.1-2, pp. 331-339.
2- APST, T., (1991). "*Health Hazards of Nitrate in Drinking Water*", Water SA, 17,1-77.
3- MMWR Morb Mortal Wkly Rep., (1996). "*Spotaneous Abortions Possibly Related to Ingestion of Nitrate Contaminated Well Water-LaGrange Country, Indiana, 1991-1994*", 45(26): 569-572.
4- Parsolw, R.G., McKinne, Y., PA., Law, G.r., Staines, A., William, S.G., Bodansky, H.J., (1997). "*Incidence of Childhood Diabets Mellitus in York Shire, Northern England, is Associated with Nitrate in Dirinking Water; an Ecological Analysis*", Diabetologia; 40 (5): 550-6
5- Copeland, J., (1998). "*Biological Denitrification on Option for Small Systems*", Water Technology, Vol. 9.
6- Mercado, A., Libhaber, M., and Soares, M.I., (1988). "*In Situ Biological Groundwater Denitrification: Concepts and Preliminary Field Tests*", Wat. Sci. Tech. 20(3), 197-209.
7- American Public Health Association (APHA)., (1995). "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", 19th Ed. Washington D.C.