

مقایسه کارایی راکتور بیوفیلیمی با بستر متحرک (MBBR) و راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) در حذف فرمالدئید از فاضلاب

فرهاد قادری زفرهئی^۱؛ بیتا آیتی^{۲*}؛ حسین گنجی دوست^۲

چکیده

امروزه فرمالدئید در بسیاری از فعالیتهای صنعتی مانند تولید چسب و رزین، کاغذ، دارو و همچنین تعدادی از فعالیتهای تجاری- عمومی از قبیل برخی خدمات بیمارستانی، کفن و دفن اموات و تامین بهداشت برخی اماکن عمومی مانند سربازخانهها کاربرد دارد. در این تحقیق تصفیه هوازی فرمالدئید در راکتورهای بیوفیلیمی با بستر متحرک و ناپیوسته متوالی در محدوده COD ورودی صفر تا ۲۵۰۰ mg/L مقایسه شده است. بر اساس نتایج حاصل، راندمان حذف ۱۰۰ درصد در CODهای ورودی کمتر از ۲۰۰mg/L و بیش از ۹۰ درصد در CODهای بین ۲۰۰ تا ۴۵۰ میلی-گرم بر لیتر پس از ۴۸ ساعت در هر دو سامانه بدست آمده است. اما بطور کلی سامانه SBR در بهره‌برداری سری نسبت به MBBR مناسبتر بوده است. در این بررسی، برای رسیدن راکتورها به حالت پایدار در COD کمتر از ۱۵۰۰mg/L، چهار روز و در COD، ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰mg/L چهار الی شش روز زمان نیاز بود. در بررسی سینتیک واکنش‌های بیولوژیکی پایلوت‌ها، ضرایب قابل قبولی برای طرح مرتبه دوم استاورکینکانن بدست آمد. همچنین در آزمایش CNMR با تبدیل فرمالدئید و اوره ورودی به آمینوکربنیل آمینومتیل اوره، مشخص شد که فرمالدئید در دمای معمولی پلیمر تشکیل می‌دهد و همه مولکول‌های دارای اتم کربن تجزیه می‌شوند.

کلمات کلیدی: بیولوژیکی، هوازی، COD، سینتیک، CNMR

Comparing the Efficiency of MBBR and SBR in Treating Wastewater Containing Formaldehyde

F. Qaderi Zefrehei ; B. Ayati; H. Ganjidoust

ABSTRACT

Nowadays formaldehyde is used in many industrial activities such as adhesives, resins and paper producing, pharmaceuticals, and also a number of general and commercial activities like some hospital services, dead burial and providing the sanitation of some public places like garrisons. In this research aerobic treatment of formaldehyde in MBBR compared with SBR in the influent COD range between 0 to 2500 mg/L. According to the results, SBR under serial operation was better than MBBR. These results showed the removal efficiency of influent CODs less than 200 mg/L was 100% and for CODs between 200 to 450 mg/L was 90% after 48 hours. In this study, it took 4 days in CODs less than 1500 mg/L and 4 to 6 days in CODs between 1500 to 2500 mg/L for reactors to reach steady state condition. In kinetic study, related coefficients followed Stover-Kincannon second order model. ¹³C-NMR spectroscopy showed that formaldehyde and urea was converted to N-[(amino-carbonyl) amino] methyl} urea. It was determined formaldehyde was polymerized in ordinary temperature and all molecules including carbons were degraded.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۹/۹

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۷/۹

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

^{۲*} نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس؛

ayati_bi@modares.ac.ir

^۲ استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.





شکل (۱): پایلوت‌های مورد استفاده

جدول (۱): مشخصات بیوراکتورهای مورد استفاده

پارامتر	میزان
جنس راکتورها	پلکسی‌گلاس
ضخامت دیواره (mm)	۴
قطر داخلی (cm)	۱۰
ارتفاع بیوراکتورها (cm)	۷۰
حجم کلی هر پایلوت (L)	۵/۵
حجم مفید هر پایلوت (L)	۵

در فرایندهای بیوفیلمی، مشخصات آکنه‌ها اثر زیادی در راندمان تصفیه دارد. مشخصات آکنه‌های مورد استفاده در سامانه MBBR در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات آکنه‌های مورد استفاده

پارامتر	میزان
جنس آکنه‌ها	HDPE ^۱
دانسیته (gr/cm ³)	۰/۹۶
سطح مؤثر یک آکنه (mm ²)	۸۵۷
سطح مخصوص قابل رشد (m ² /m ³)	۱۵۳۰
سطح کل یک آکنه (mm ²)	۱۸۰۰
تعداد آکنه‌ها در یک لیتر	۳۶۱
متوسط وزن آکنه (Kg/m ³)	۱۴۰

در دوره اصلی تحقیق، زمان ماند هر دو سامانه ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد با این تفاوت که در سامانه SBR که به صورت دو راکتور سری راهبری می‌شد، زمان ماند برای هر راکتور ۲۴ ساعت بود که پس از گذشت این زمان، ۶۰٪ از پساب تصفیه شده در راکتور اول به راکتور دوم برای ادامه عملیات تصفیه وارد شد.

۱- مقدمه

امروزه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی یکی از مهم‌ترین اولویت‌های کارهای زیست‌محیطی است که اهمیت آن بخصوص در مواردی که فاضلاب دارای مواد سمی و خطرناک است دوچندان می‌شود. یکی از مواد سمی مورد استفاده در تامین بهداشت برخی اماکن عمومی مانند بیمارستان‌ها و سربازخانه‌ها و نیز فعالیتهای صنعتی و تجاری، فرمالدئید است. سمی بودن فرمالدئید برای میکروارگانیسم‌ها، سبب شده تا روش‌های شیمیایی و یا بیولوژیکی غیرهوازی برای تصفیه این ماده بیشتر مورد استفاده قرار گیرد [۱۲، ۱۵]. بعنوان مثال در مطالعات انجام شده روی فرایندهای بی‌هوازی در راکتور - AFBGAC^۱ غلظت ۱۱۰۰ mg/L بین ۹۷/۴ تا ۹۹/۹ درصد [۱۵] و در سامانه ASBBR^۲ غلظت‌های ورودی ۱۱۵۴/۴ - ۳۱/۶ - ۹۹ درصد [۱۸] حذف شده است. همچنین در تحقیقات انجام شده در زمینه تصفیه شیمیایی روش فنتون، فتوفنتون و ترکیب آن دو، محلول ۱/۳ مولار فرمالدئید را در مدت ۸۰ دقیقه، ۱۰۰ درصد [۱۰] و لایه نازک Ag/InVO₄-TiO₂ غلظت ۱۰ ppb فرمالدئید را ۵۰/۳ درصد [۷] تجزیه نموده‌اند. ولی با توجه به مشکلات اجرایی، سختی راهبری و مسائل اقتصادی این روش‌ها، نیاز به مطالعه در زمینه کاربرد سامانه‌های هوازی مرسوم از جمله راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)^۳ و راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR)^۴ در تصفیه فرمالدئید احساس می‌شود.

در دهه گذشته MBBR برای حذف مواد آلی، مواد سمی و نیتروژن در فاضلاب‌های شهری و صنعتی مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج قابل قبولی از این بررسی‌ها گزارش شده است [۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۱، ۱۷، ۱۹]. SBR نیز تاکنون در تصفیه بسیاری از فاضلاب‌های مهم، مورد استفاده قرار گرفته که در تصفیه فاضلاب واحدهای لبنیاتی، کشتارگاه‌ها و دب‌خانه‌ها، آسیاب‌های زیتون، شیرابه زباله، حذف فلزات سنگین (مس، کادمیوم، سرب و نیکل)، BOD^۵، TSS^۶، نیتروژن و فسفر نتایج قابل قبولی داشته‌اند [۱۴، ۲۰]. هدف از این تحقیق بررسی قابلیت تصفیه فرمالدئید به کمک دو سامانه هوازی SBR و MBBR است.

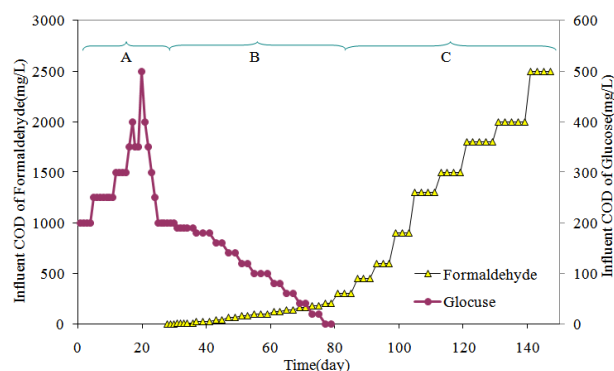
۲- روش کار

در این تحقیق از یک راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک و دو راکتور ناپیوسته متوالی با بهره‌برداری سری با حجم مفید هر یک برابر با ۵ لیتر (شکل ۱) استفاده شد. مشخصات مربوط به شکل و ابعاد فیزیکی بیوراکتورها در جدول (۱) ارائه شده است.

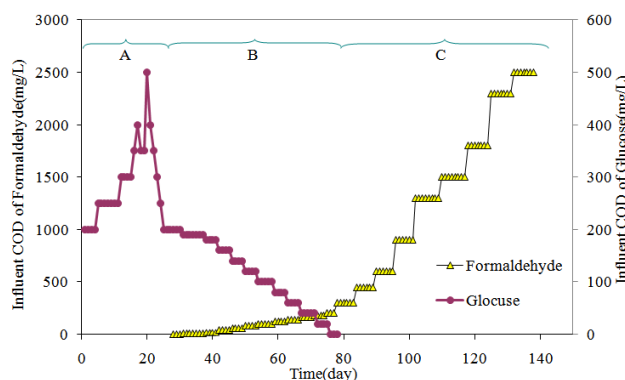
دستورالعمل‌های ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد [۸]. بنابراین پس از بررسی روش‌های موجود، با توجه به تجهیزات و امکانات، بهترین روش انتخاب شد. عوامل کنترل و اندازه‌گیری شده در این تحقیق عبارتند از:

- pH در محدوده ۶/۵-۷/۵ بصورت روزانه
- اکسیژن محلول در محدوده ۳-۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر بصورت روزانه
- $^{\wedge}COD_{soluble}$ (غلظت فرمالدئید): طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده مقدار COD فرمالدئید برابر با THOD آن بود (COD=۱ mg/L)، از غلظت ۰/۹۳۷۵ mg/L این آلاینده ناشی می‌شد) بنابراین در این تحقیق در همه مراحل برای بررسی راندمان حذف، از آزمایش COD استفاده شد.
- BOD_5 به صورت دوره‌ای و برای تعیین میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (با توجه به زمان‌بر بودن آزمایش BOD_5 ، عامل COD اساس آزمایش‌ها بود).
- $MLSS$ و $MLVSS$ برای بررسی میزان رشد میکروارگانیسم‌ها به طور دوره‌ای
- SVI برای بررسی خاصیت ته‌نشینی لجن به طور دوره‌ای
- بررسی میکروسکوپی برای تعیین نوع میکروارگانیسم‌ها که با توجه به نتایج باسیل‌ها و کوکسی‌ها جمعیت اصلی را تشکیل می‌دادند.
- در آخرین مرحله از کار آزمایشگاهی، اثر اعمال شوک به کاربی هریک از راکتورها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور دو برابر آخرین غلظت فرمالدئید به هر دو سامانه اعمال شد و تحمل پایلوت‌ها در طول زمان و نحوه بازگشت آن‌ها به شرایط قبلی مورد مطالعه قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها و تعیین عوامل از لوازم و تجهیزات زیر استفاده شد:
- COD راکتور، ساخت شرکت هچ^{۱۳} با ۱۶ جا لوله‌ای برای تعیین COD محلول
- اسپکتروفوتومتر مدل ای‌زدلامبدا ۱۵۰^{۱۴} دیجیتالی ساخت شرکت پرکین المر^{۱۵} برای تعیین میزان جذب در آزمایش COD
- DO متر ساخت شرکت کریسن^{۱۱} مدل اوایکس‌آی ۱۴۵^{۱۶} جهت اندازه‌گیری میزان اکسیژن محلول

در مرحله راه‌اندازی، ابتدا سازگاری میکروارگانیسم‌ها با استفاده از کاهش تدریجی مقدار گلوکز در مخلوط گلوکز و فرمالدئید با نسبت ۹ به ۱، ۸ به ۲، ۷ به ۳، ۶ به ۴، ۱ به ۱، ۴ به ۱، ۳ به ۶، ۲ به ۷، ۱ به ۸ و ۱ به ۹ انجام شد و در پایان محلول فرمالدئید به سامانه تزریق شد. در ادامه در آزمایش‌های اصلی، از فرمالدئید به عنوان خوراک اصلی استفاده شده و به تدریج بر میزان بار آلی از ۲۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه شد که برای راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک و راکتورهای ناپیوسته متوالی به ترتیب در نمودارهای (۱) و (۲) ارائه شده است. در هر دو نمودار، قسمت‌های "A"، "B" و "C" به ترتیب خوراک‌های ورودی به پایلوت در دوره‌های قبل از سازگاری، سازگاری و آزمایش‌های اصلی را نشان می‌دهند.



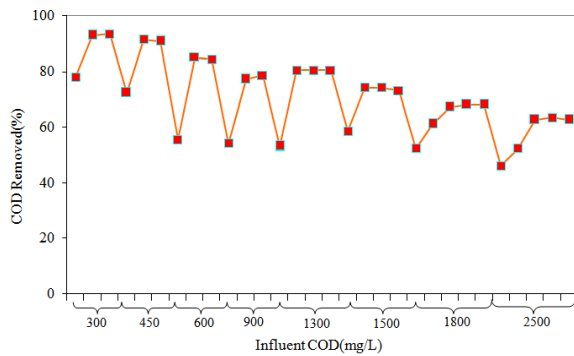
نمودار (۱): نحوه افزایش بار در سامانه MBBR



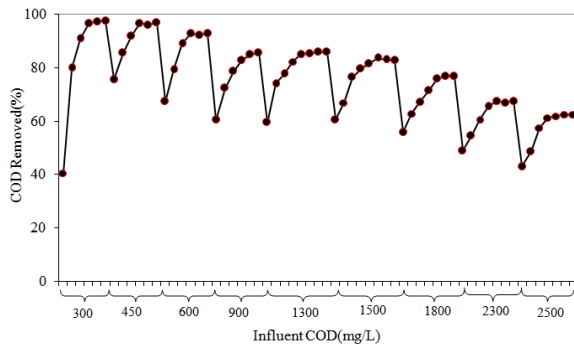
نمودار (۲): نحوه افزایش بار در سامانه SBR

در همه مراحل، از اوره به عنوان منبع نیتروژن و از ترکیب هیدروژن فسفات دی پتاسیم و دی هیدروژن فسفات پتاسیم به عنوان منبع فسفر و محلول محتوی سولفات منیزیم (۵ mg/L)، کلرید کلسیم (۳/۷۵ mg/L)، کلرید آهن (III) (۱ mg/L) و مولیبدات سدیم (۱/۲۶ mg/L) بعنوان مواد ریز مغذی استفاده شد. همه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق بر اساس

روز است.



نمودار (۴): راندمان سامانه MBBR در زمان ماند ۴۸ ساعت تا رسیدن به شرایط پایداری



نمودار (۵): راندمان سامانه SBR در زمان ماند ۴۸ ساعت تا رسیدن به شرایط پایداری

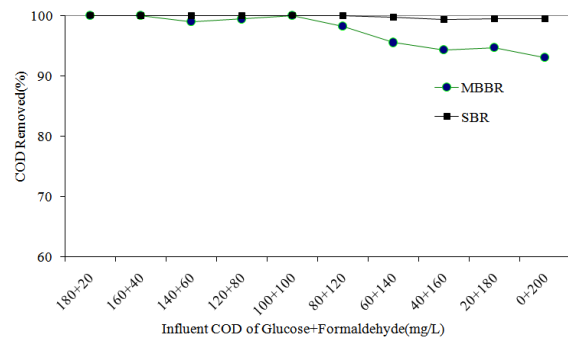
بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ با ۲۰٪ افزایش COD ورودی تا 450 mg/L از فرمالدئید، راندمان ۲ تا ۴ درصد و از 1300 mg/L COD به بعد به میزان ۷ تا ۱۳ درصد کاهش یافته است. در CODهای ۶۰۰، ۹۰۰ و 1300 mg/L می‌توان راندمان سامانه‌های MBBR و SBR را در محدوده ۸۰ و ۸۵ درصد ثابت در نظر گرفت. در ضمن همان‌طور که دیده می‌شود در $450 \text{ mg/L} < \text{COD} < 1300 \text{ mg/L}$ SBR کمتر از ۶٪ است که در $1300 \text{ mg/L} < \text{COD} < 450 \text{ mg/L}$ بین ۶ تا ۱۰ درصد و در CODهای بالاتر از 1300 mg/L افزایش یافته به طوریکه در $2500 \text{ mg/L} = \text{COD}$ ، اختلاف ۱۵ درصدی بین راندمان‌های دو سامانه دیده می‌شود. مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات دیگر بیانگر راندمان بالاتر هر دو سامانه نسبت به فرایندهای فتوکاتالیستی و راندمان پائین‌تر نسبت به سامانه‌های بی‌هوازی است [۱۶، ۱۸]. [۹]

- pH متر ساخت شرکت مترهم^{۱۸} با الکترو ديجيتالی
- ترازوی دیجیتالی ساخت متلر^{۱۹} مدل پی‌جی ۲۰۳۰۰
- سانتریفوژ ساخت شرکت سیگما^{۲۱} به منظور جداسازی ذرات معلق و کلونیدی از محلول
- پمپ‌های سونیک ۲۲۹۹۰۸ جهت تامین اکسیژن مورد نیاز سامانه‌ها

۳- نتیجه‌گیری

۱-۳- بررسی راندمان حذف در دوره سازگاری و آزمایش‌های اصلی

راندمان راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک و ناپیوسته متوالی در دوره سازگاری در نمودار (۳) ارائه شده است. این دوره برای هر دو سامانه دو ماه به طول انجامید که تا 100 mg/L COD از فرمالدئید راندمان ۱۰۰٪ داشته‌اند. از این مرحله به بعد سامانه SBR راندمان بالاتری نسبت به MBBR داشت به طوریکه در 200 mg/L COD از فرمالدئید، راندمان SBR حدود ۱۰۰٪ و ۷٪ بیش از MBBR بود. اما بطور کلی به تدریج کاهش راندمان حذف با افزایش غلظت فرمالدئید دیده شد که با نتایج تحقیقات مشابه هم‌خوانی داشت [۱۳].



نمودار (۳): راندمان سامانه‌های MBBR و SBR در دوره سازگاری

در نمودارهای (۴) و (۵) راندمان‌های ۴۸ ساعته حالت پایدار دو سامانه در دوره افزایش باردهی ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در CODهای بین ۲۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در هر دو سامانه، راندمان بیش از ۹۰ درصد بدست آمده و پس از آن افت راندمان اتفاق افتاد که در سایر تحقیقات انجام شده بر روی تصفیه هوازی نیز همین نتایج به دست آمده که البته به دلیل راندمان پایین مطرح نشده است [۱]. هم‌چنین در $1500 \text{ mg/L} < \text{COD} < 2500 \text{ mg/L}$ هر دو سامانه در مدت چهار روز به حالت پایدار رسیده‌اند. در حالیکه در محدوده $1500 \text{ mg/L} < \text{COD} < 2500 \text{ mg/L}$ این زمان چهار الی شش



جدول (۳): مقایسه راندمان سامانه‌ها در زمان ماند ۴۸ ساعت در

حالت پایدار

SBR	MBBR	COD ورودی (mg/L)
۹۷	۹۳	۳۰۰
۹۶	۹۱	۴۵۰
۹۲	۸۵	۶۰۰
۸۵	۷۸	۹۰۰
۸۵	۸۰	۱۳۰۰
۸۳	۷۴	۱۵۰۰
۷۶	۶۸	۱۸۰۰
۶۲	۴۷	۲۵۰۰

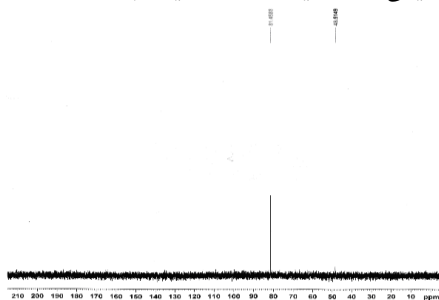
ساعت به ترتیب در CODهای بیش از ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان کمتر از ۸۰ درصد داشتند که در این حالت به تنهایی نمی‌توانند در صنعت مورد استفاده قرار گیرند بعبارتی برای تصفیه کامل و رسیدن به حد استاندارد (۱ mg/L) به سامانه‌های تکمیلی نیاز است.

۳-۳- بررسی عوامل کنترلی موثر در راهاندازی و راهبري بیوراکتورها

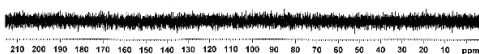
طبق نتایج بدست آمده، در طول بهره‌برداری مقدار نسبت MLVSS به MLSS برابر با 0.04 ± 0.075 ، در BOD_5/COD در سامانه MBBR در محدوده $0.075-0.054$ و در SBR در محدوده $0.077-0.042$ بود.

۳-۴- تحلیل طیف CNMR برای نمونه‌های ورودی و خروجی راکتورها

طیف ^{13}C CNMR برای نمونه‌های ورودی و خروجی راکتورها به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) آورده شده‌اند. پس از تحلیل طیف CNMR برای نمونه ورودی با نرم افزار ACD Labs ۱۹۹۷، وجود فرمالدئید پلیمریزه شده و ماده ایجاد شده از واکنش فرمالدئید و اوره در ترکیب ورودی (آمینوکربنیل‌آمینومتیل‌اوره) دیده شد و از آنجا که در طیف خروجی هیچ ماده‌ای مشخص نشد می‌توان نتیجه گرفت که همه مولکول‌های دارای اتم کربن تجزیه شده و هیچ اتم کربنی در محیط وجود ندارد. بنابراین آزمایش CNMR امکان حذف آلاینده فرمالدئید به وسیله تصفیه بیولوژیکی هوازی را تایید نمود که در مطالعات پیشین به وسیله آزمایش گفته شده، امکان تجزیه بیولوژیکی فرمالدئید و متانول نیز اثبات شده است [۲].



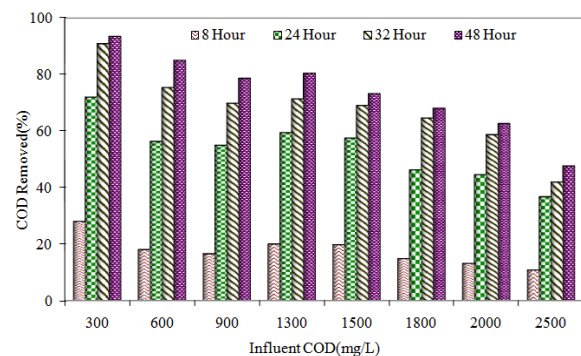
شکل (۲): نتیجه آزمایش CNMR برای نمونه ورودی



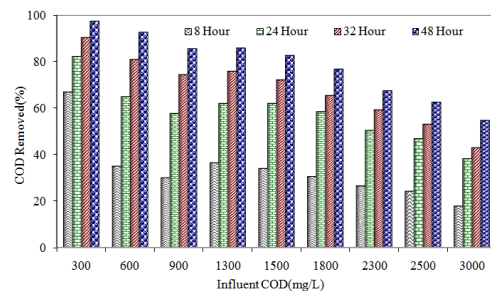
شکل (۳): نتیجه آزمایش CNMR برای نمونه خروجی

۳-۲- بررسی اثر زمان ماند‌های مختلف بر عملکرد راکتورها

بر اساس نمودارهای (۶) و (۷) با افزایش زمان ماند تا ۴۸ ساعت راندمان حذف فرمالدئید در MBBR و SBR افزایش یافت.



نمودار (۶): اثر زمان ماند بر راندمان حذف در سامانه MBBR



نمودار (۷): اثر زمان ماند بر راندمان حذف سامانه SBR

در مقادیر COD کمتر از 600 mg/L بیش‌ترین حذف در هر دو سامانه، در زمان ماند ۲۴ ساعت بوده که این مسئله در تحقیقات قبلی انجام شده بر روی فرمالدئید نیز گزارش شده است [۲۱]. با افزایش مقدار فرمالدئید ورودی، زمان ماند‌های پائین، راندمان کمتری داشتند و زمان بیشتری برای تصفیه مورد نیاز بوده است.

در این تحقیق دو سامانه MBBR و SBR در زمان ماند ۴۸

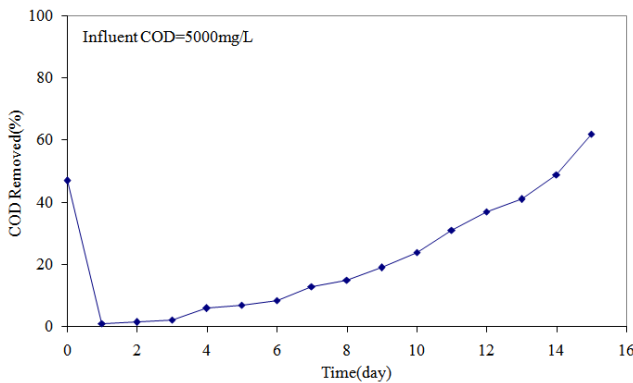
۳-۵- بررسی سینتیک واکنش‌های بیولوژیکی

در طرح^{۲۴} حذف مرتبه اول با فرض درجه اول بودن واکنش‌ها برای حذف آلاینده، ضریب تعیین طرح برای همه پایلوت‌ها نامناسب بود. از بین طرح‌های مرتبه دوم گراو^{۲۵} و استاورکینکانن^{۲۶}، فقط ضریب تعیین طرح استاورکینکانن در همه راکتورها قابل قبول بود. همانطور که در نمودارهای (۸) تا (۱۰) دیده می‌شود، برای سامانه MBBR ضریب تعیین طرح‌های حذف مرتبه اول، گراو و استاورکینکانن به ترتیب ۰/۷۱۰، ۰/۴۷۸ و ۰/۹۵۳ و برای سامانه SBR، ۰/۴۵۴، ۰/۶۹۲ و ۰/۹۷۲ بدست آمدند.

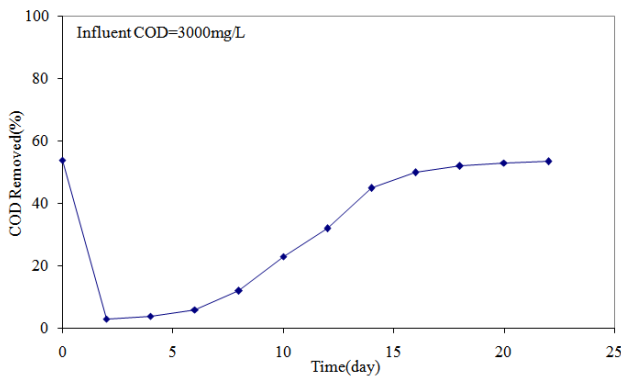
نمودار (۱۰): طرح استاورکینکانن در سامانه‌های MBBR و SBR

۳-۶- بررسی شوک‌پذیری سامانه‌ها

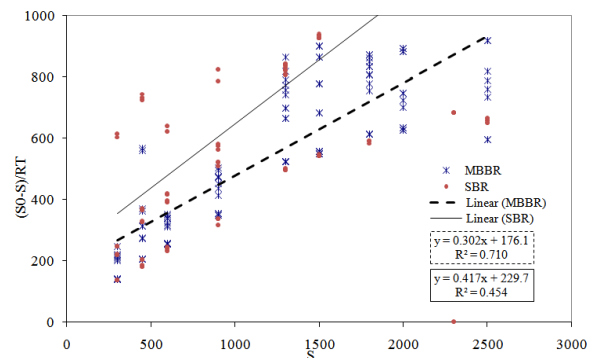
طبق نمودارهای (۱۱) و (۱۲)، پس از اعمال شوک بر پایلوت‌ها و کاهش شدید راندمان سامانه‌ها به ترتیب پس از ۱۵ و ۲۳ روز، دو سامانه MBBR و SBR به راندمان معمولی رسیدند، که بیانگر قابلیت شوک‌پذیری بیشتر سامانه MBBR است.



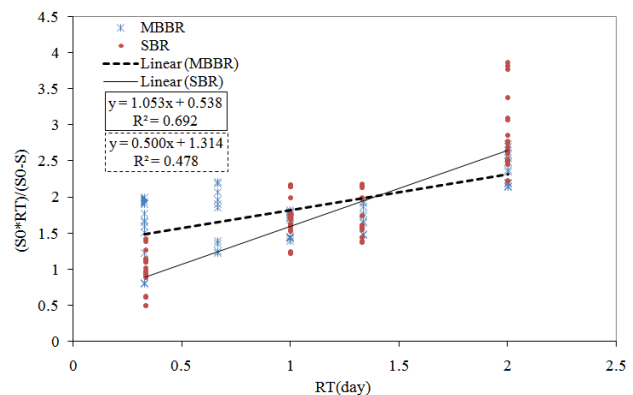
نمودار (۱۱): راندمان حذف پس از اعمال شوک به سامانه MBBR



نمودار (۱۲): راندمان حذف پس از اعمال شوک به سامانه SBR



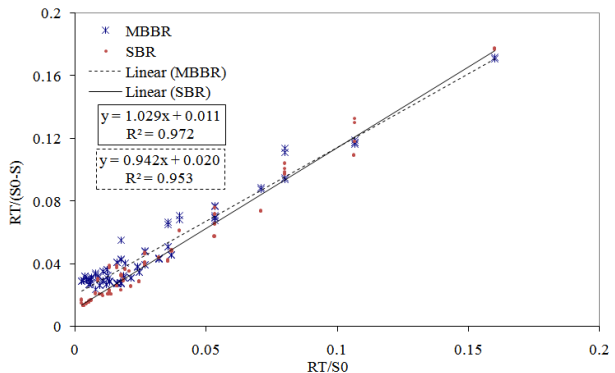
نمودار (۸): طرح مرتبه اول در سامانه‌های MBBR و SBR



نمودار (۹): طرح گراو در سامانه‌های MBBR و SBR

۳-۷- جمع‌بندی

نتایج این تحقیق نشان دادند که دو سامانه SBR و MBBR در اندازه آزمایشگاهی با زمان ماند ۴۸ ساعت به ترتیب در CODهای حدود ۳۰۰ mg/L و ۲۰۰ mg/L راندمان حذف ۹۷ و ۹۳ درصد دارند و برای تصفیه فرمالدئید بر اساس ماده ۵ آئین-نامه جلوگیری از آلودگی آب‌ها مناسب هستند اما برای CODهای حدود ۱۳۰۰ mg/L و ۹۰۰ mg/L می‌توانند به عنوان واحد پیش‌تصفیه برای سامانه‌های تصفیه پیشرفته‌تر استفاده شوند. البته حتی در COD=۲۵۰۰ mg/L نیز SBR و MBBR



راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR) در حذف فرمالدئید از فاضلاب دارند.

راندمان ۵۵ و ۴۵ درصد دارند و برای کاهش مقدار آلاینده خروجی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. همچنین راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) توانایی بیش‌تری نسبت به

ع- مراجع

- [۱] کاشفی‌الاصل، مرتضی؛ نیکخواه، پریسا؛ طراحی و ساخت پایلوت تصفیه بیولوژیکی پساب حاوی فرمالین به روش لجن فعال، "مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۷، صفحات ۴۹-۵۵، تابستان ۱۳۸۲.
- [۲] Amato, P.; Demeer, F.; Melaouhi, A.; Fontanella, S.; Martin-Biesse, A.S.; Sancelme, M.; Laj, P.; Delort, A.M.; "A fate for organic acids, formaldehyde and methanol in cloud water: Their biotransformation by micro-organisms", *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, Vol.7, pp.5253-5276, 2007.
- [۳] Ayati, B.; Ganjidoost, H.; Mir Fattah, M.; "Degradation of aromatic compounds using moving bed biofilm reactor", *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, Vol.4, No.2, pp.107-112, 2007.
- [۴] Borghei, S.M., Hosseini, S.H. "The treatment of phenolic wastewater using a moving bed biofilm reactor", *Journal of Process Biochemistry*, Vol.39, pp.1177-1181, 2004.
- [۵] Chen, Y.; Yang S.; Gong Z.; Wang D.; "Study on the Treatment of Formaldehyde Wastewater by Addition Reaction", *International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (CESCE 2010)*, Wuhan, China, 2010.
- [۶] Delnavaz, M.; Ayati, B.; Ganjidoost, H.; "Biodegradation of aromatic compounds using moving bed biofilm reactors", *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, Vol. 5, No.4, pp.243-250, 2008.
- [۷] Ge, L.; Xu, M.; Fang, H.; "Photo-catalytic degradation of methyl orange and formaldehyde by Ag/InVO₄-TiO₂ thin films under visible-light irradiation", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, Vol. 258, pp. 68-76, 2006.
- [۸] Greenberg, A.E.; Clescerl, L.S.; Eaton, A.D.; "Standard methods for the examination of water and wastewater", 20th Edition, American Public Health, APHA/AWWA/WEF Washington. D.C, 2005.
- [۹] Kajitvichyanukul, P.; Chun-Lu, M.; Jamroensan, A.; "Formaldehyde degradation in the presence of methanol by photo-Fenton process", *Journal of Environmental Management*, Vol. 86, pp. 545-553, 2008.
- [۱۰] Kajitvichyanukul, P.; Lu, M.C.; Liao, C.H.; Wirojanagud, W.; Koottatep, T.; "Degradation and detoxification of formalin wastewater by advanced oxidation processes", *Journal of Hazardous Materials*; Vol. B135, pp. 337-343, 2006.
- [۱۱] Labelle, M.A.; Juteau, P.; Jolicoeur, M.; Villemur, R.; Parent, S.; Comeau, Y.; "Seawater denitrification in a closed mesocosm by a submerged moving bed biofilm reactor", *Water Research*, Vol. 39, pp. 3409-3417, 2005.
- [۱۲] Liang, J.; Liu, X.; Zhang, Z.; Wang, Y.; "Kinetics and Reaction Mechanism for Formaldehyde Wastewater Using UV-Fenton Oxidation", *The 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE 2010)*, Chengdu, China, 2010.
- [۱۳] Lotfy, H.R.; Rashed, I.G.; "A method for treating wastewater containing formaldehyde", *Water Research*, Vol. 36, pp. 633-637, 2002.
- [۱۴] Mahvi, A.H.; "Sequencing batch reactor: a promising technology in wastewater treatment", *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, Vol.5, No.2, pp.79-90, 2008.
- [۱۵] Moteleb, M.A.; Suidan, M.; Kim, J.; Maloney, S.W.; "Pertubated loading of a formaldehyde waste in an anaerobic granular activated carbon fluidized bed reactor", *Water Research*, Vol.36, pp.3775-3785, 2002.
- [۱۶] Oliveira, S.V.W.B.; Moraes, E.M.; Adorno, M.A.T.; Varesche, M.B.A.; Foresti, E.; Zaiat, M.; "Formaldehyde degradation in an anaerobic packed-bed bioreactor", *Water Research*, Vol. 38, pp. 1685-1694, 2004.
- [۱۷] Plattes, M.; Fiorelli, D.; Gille, S.; Girard, C.; Henry, E.; Minette, F.; Nagy, O.O.; Schosseler, P.M.; "Modeling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor using respirometry for the estimation of kinetic parameters", *Biochemical Engineering Journal*, Vol.33, pp.253-259, 2007.
- [۱۸] Pereira, N.S.; Zaiat, M.; "Degradation of formaldehyde in anaerobic sequencing batch biofilm reactor (ASBBR)", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 163, pp. 777-782, 2008.
- [۱۹] Rusten, B.; Eikebrokk, B.; Ulgenes, Y.; Lygren, E.; "Design and operation of kaldnes moving bed biofilm reactors", *Journal of Aquacultural Engineering*, Vol. 34, pp. 322-331, 2006.
- [۲۰] Wang, Z.; Wang, W.; Zhang, X.; Zhang, G.; "Digestion of thermally hydrolyzed sewage sludge by anaerobic sequencing batch reactor", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 162, pp. 799-803, 2008.
- [۲۱] World Health Organization; "Formaldehyde", Published under the joint sponsorship of United Nations Environment Program, International Labor Organization, and World Health Organization, ISBN 92 4 154289 6, ISSN 0250-863X, 1989.



1. Anaerobic Fluidized Bed Granular Activated Carbon
2. Anaerobic Sequencing Bench-scale Batch Reactor
3. Moving Bed Biofilm Reactor
4. Sequencing Batch Reactor
5. Biological Oxygen Demand
6. Total Suspended Solids
7. High Density Poly Ethylene
8. Chemical Oxygen Demand
9. Theoretical Oxygen Demand
10. Mixed Liquor Suspended Solids
11. Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
12. Sludge Volume Index
13. Hach
14. EZ Lambda 150
15. Perkin Elmer
16. Crison
17. OXI 45
18. Metrohm
19. Mettler
20. PJ300
21. Sigma
22. Sonic 9908
23. Carbon Nuclear Magnetic Resonance
24. Model
25. Grau
26. Stover-Kincannon