

بهینه سازی راکتور زیستی با بستر متحرک (MBBR) با استفاده از روش تاگوچی

نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد^۱، محمد مهدی مهربانی اردکانی^۲، رامین نبی زاده نودهی^۳، احمدرضا یزدانبخش^۴

نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، شرکت شهرک های صنعتی استان فارس m.m.mehrabani@gmail.com

پذیرش: ۸۸/۲/۱۵

دریافت: ۸۷/۱۲/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: در سال های اخیر کاربرد سیستم های راکتورهای زیستی با بستر متحرک در تصفیه زیستی فاضلاب های شهری و صنعتی توسعه یافته است. آزمایش طراحی شده آزمونی است که در آن تغییرات هدف داری در متغیرهای ورودی فرایند اعمال می گردد و معمولاً برای شناسایی عوامل مهم و موثر بر روی یک فرایند و بهینه سازی مدل تجربی فرایند استفاده می شود. روش تاگوچی از سال ۱۹۸۰ به عنوان یک روش کنترل کیفیت به منظور بهینه سازی فرایند آزمایش های مهندسی، به کار گرفته شده است. هدف از انجام این مطالعه بررسی و تعیین شرایط بهینه جهت افزایش کارایی یک راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR) با کمک روش تاگوچی است.

مواد و روش ها: در ابتدا راه اندازی راکتور با کمک لجن فعال برگشتی تصفیه خانه فاضلاب چنیه اهواز انجام گردید. پس از راه اندازی و سازگار سازی، با ثابت بودن زمان ماند ۹ ساعت بارگذاری آلی در سه میزان COD برابر با ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر انجام شد. در این مطالعه برای تعیین شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم های سازگار شده، در ۹ مرحله تغییرات پارامترهای pH، نوع منبع نیتروژن، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و نهایتاً میزان شوری در سه سطح مختلف اندازه گیری شد و نتایج توسط نرم افزار Qualitek-4 (w32b) تجزیه و تحلیل گردید.

یافته ها: در این مطالعه، مقدار حذف COD محلول در زمان راه اندازی ۹۷ درصد و بهترین شرایط بهینه رشد راکتور MBBR به ترتیب در میزان COD ورودی برابر ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر ۸، منبع نیتروژن NH_4Cl و شوری ۵٪ به دست آمد.

نتیجه گیری: بر اساس تحلیل نتایج می توان با استفاده از روش تاگوچی شرایط بهینه و مناسب را برای افزایش کارایی یک راکتور MBBR به دست آورد.

واژگان کلیدی: تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، طراحی آزمایش ها، تاگوچی، راکتور زیستی با بستر متحرک، نرم افزار Qualitek-4 (w32b)

۱- دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، شرکت شهرک های صنعتی استان فارس

۳- دکترای بهداشت محیط، دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

۴- دکترای بهداشت محیط، دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

مقدمه

حذف ترکیبات خطرناک موجود در خروجی فاضلاب های صنایع گوناگون از نیازهای امروزی بشر می باشد (۱). این امر لزوم تحقیق درسیستم های تصفیه موثر و در عین حال ارزان قیمت را کاملاً روشن می سازد. صنایع مادر جزء صنایعی هستند که دارای فاضلاب هایی با انواع آلاینده ها می باشند. صنایع پتروشیمی از جمله این صنایع می باشد. یکی از آلاینده های موجود در فاضلاب خروجی این صنعت که باعث ایجاد اکسیژن خواهی شیمیایی بسیار بالایی شده و در نتیجه آلودگی شدید منابع پذیرنده را به همراه خواهد داشت مونو اتیلن گلیکول است (۲،۳،۴). اتیلن گلیکول به فرمول شیمیایی $C_2H_6O_2$ اولین بار در سال ۱۸۵۹ توسط یک شیمیدان فرانسوی بنام چارلز-آدولف وورتر ساخته شد (۵). از اتیلن گلیکول در صنایع تولید جوهر، رنگ، واکس استفاده می شود. بنابراین حضور مونو اتیلن گلیکول در فاضلاب اینگونه صنایع مشهود می باشد (۲،۳،۵،۶).

واحد های تصفیه بر پایه لایه زیستی (بیوفیلمی) معمولاً کوچک تر و مترکم تر از واحد های لجن فعال بوده و میزان کارایی آنها وابستگی کمتری به جدا شدن لجن از سیستم دارد (۷). محققین روش های مختلفی را در تصفیه فاضلاب های صنعتی بررسی نموده اند و موفق به ابداع روش های مختلفی در این زمینه شده اند. در سال ۱۹۸۷ فرایند بستر متحرک کالدنس که به راکتورهای زیستی با بستر متحرک موسوم است، توسط یک شرکت نروژی به نام کالدنس با همکاری مرکز تحقیقات سینتف توسعه یافت و در مرکز اختراعات اروپا به ثبت رسید (۸،۹). راکتورهای زیستی با بستر متحرک سیستم هایی با کارایی بسیار بالا و موثر در حذف ترکیبات آلی هستند (۸). کم حجم بودن، استفاده از تمام فضای راکتور برای تصفیه، رشد مناسب توده زیستی، عدم امکان گرفتگی سیستم و عدم نیاز به برگشت لجن از مزایای این سیستم به شمار می رود (۸،۱۰). در سال های گذشته استفاده از سیستم تصفیه زیستی با بستر متحرک در تصفیه فاضلاب های شهری برای حذف مواد مغذی در صنایع مختلف مانند تولید خمیر کاغذ و مقوا، تولید مواد

لبنی (پنیرسازی)، کشتارگاه ها و صنایع شیمیایی موفقیت آمیز بوده است (۷،۱۱،۱۲). امروزه از این روش جهت تصفیه انواع فاضلاب ها استفاده می گردد و محققین به دنبال راه کارهایی برای افزایش کارایی این سیستم هستند.

تغییر شرایط محیطی می تواند بر روی کارایی این سیستم ها به شدت موثر باشد. فرایند بهینه سازی این سیستم ها می تواند منجر به افزایش راندمان تجزیه بیولوژیکی گردد. زیرا به راحتی می توان با تغییرات اندک در شرایط محیطی درصد حذف ترکیبات آلاینده را افزایش داد. روش های گوناگونی جهت بهینه سازی این سیستم ها موجود است. از این میان به کار بردن روش های طراحی آزمایش ها می تواند منجر به نتایج دقیق تری گردد. آزمایش طراحی شده آزمونی است که در آن تغییرات هدف داری در متغیرهای ورودی فرایند اعمال می گردد و معمولاً برای شناسایی عوامل مهم و موثر بر روی یک فرایند و بهینه سازی مدل تجربی فرایند استفاده می شود. یک آزمایش طراحی شده اندازه گیری اثرات تمام پارامتر های موثر و اثرات متقابل آن ها را امکان پذیر می سازد. بعد از تعریف مسیله، پارامترهایی که باید مورد آزمایش قرار گیرند، تعیین شده و محدوده تغییرات آن ها مشخص می شود. همچنین تعداد سطوح هر پارامتر باید تعیین شود. با طرح آماری آزمایش ها، داده های مناسب جمع آوری می شوند و از تحلیل این داده ها نتیجه صحیح به دست می آید (۱۳). از سال ۱۹۸۰ روش تاگوچی، در صنایع الکترونیک و مکانیک و اخیراً نیز در مطالعات زیستی کاربردهای فراوانی یافته است و به عنوان یک روش کنترل کیفیت به منظور بهینه سازی فرایند آزمایش های مهندسی، به کار گرفته شده است (۱۳). قوانین ارائه شده در این روش باعث ساده تر شدن طراحی آزمایش ها شده و به آنها شکلی استاندارد بخشیده است. ابزار کلیدی این روش برای طراحی آزمایش ها، طراحی با روش های آماری است. در روش تاگوچی آزمایش ها برای دستیابی به اهداف، تعیین شرایط عملیاتی بهینه، بررسی میزان تاثیر هر یک از عوامل بر روی پاسخ و تخمین پاسخ تحت شرایط بهینه تجزیه و تحلیل می شوند. ابزار مورد استفاده تاگوچی جهت تحلیل

فاضلاب های گوناگون توسط بسیاری از محققین مورد ارزیابی قرار گرفته است که به مواردی از آنها می پردازیم. دلتواز و همکارانش میزان تصفیه پذیری فاضلاب مصنوعی حاوی آنلین را در ۴ زمان ماند و COD مختلف مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه بالاترین راندمان حذف برابر با ۹۱ درصد، در COD برابر با ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، زمان ماند هیدرولیکی ۷۲ ساعت و میزان پر شدگی ۵۰ درصد به دست آمد (۱۷). در تحقیقی عملکرد سیستم MBBR جهت تصفیه فاضلاب ورودی پر کند آباد که مخلوطی از دو فاضلاب شهری و صنعتی است توسط محمد یاری و همکارش مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها دریافتند که این سیستم در زمان ماند های بالاتر از ۱۲ ساعت قابلیت کاهش میزان COD در حد استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست را دارا بوده و قابلیت شوک پذیری بالایی را در این سیستم مشاهده کردند (۱۸).

هدف از انجام این پژوهش تعیین شرایط بهینه برای افزایش بازده حذف مونو اتیلن گلیکول در یک راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک با استفاده از روش تاگوچی است. برای نیل به این هدف ابتدا میکروارگانیسم های موجود در راکتور مورد نظر برای حذف منواتیلن گلیکول سازگار شده و سپس فرایند بهینه سازی به روش تاگوچی صورت پذیرفت.

مواد و روش ها

راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)

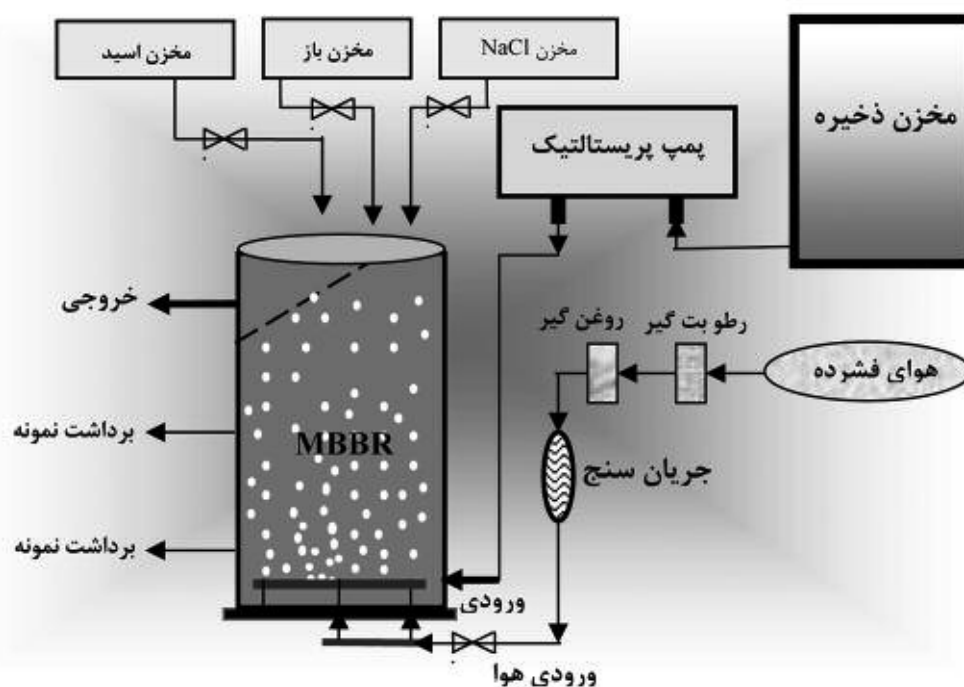
در این مطالعه از دو راکتور زیستی با بستر متحرک هر کدام به حجم ۶/۲۵ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. راکتورها از جنس پلی اتیلن - پلگسی گلاس به شکل استوانه با قطر داخلی ۱۳/۵، ارتفاع ۶۰ و ضخامت ۲/۵ سانتیمتر ساخته شد. همچنین بستری از جنس پلی استیرن با فشردگی بالا به شکل لانه زنبور با نام تجاری لانه زنبوری - ۲۰۰۰ که دارای سطح ویژه ای برابر با ۶۵۰ متر مربع بر متر مکعب بود استفاده شد. میزان پر شدگی راکتور از مواد بستر در این مطالعه ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. هوای مورد نیاز جهت تامین اکسیژن محلول و چرخش مواد بستر در تمام حجم راکتور به کمک یک کمپرسور

نتایج حاصل از آزمایش ها، روش تحلیل نسبت سیگنال به نویز می باشد که عبارتند از نسبت عوامل ثابت عملیاتی به عوامل اغتشاش که غیر قابل کنترل هستند. روش تاگوچی از ابزار قدرتمند دیگری به نام تحلیل واریانس آنوا (ANOVA) نیز برای تحلیل نتایج استفاده می کند. تحلیل واریانس بعد از انجام تحلیل نسبت سیگنال به نویز به منظور برآورد واریانس خطا و اهمیت نسبی هر یک از عوامل انجام می شود. نتایج تحلیل واریانس معمولاً به صورت جدولی شامل درجه آزادی هر عامل و خطای ناشی از آن، مجموع مربعات، واریانس، پارامتر معنی داری برای هر عامل، و درصد تاثیر عوامل در پاسخ ارایه می شود. مراحل انجام روش تاگوچی شامل انتخاب یک طرح مناسب برای انجام آزمایش ها با توجه به تعداد عوامل و سطوح آنها، انجام آزمایش ها با توجه به طراحی آزمایش های صورت گرفته در مرحله اول و در مرحله دوم تجزیه و تحلیل نتایج است (۱۴، ۱۳).

پژوهشگران مختلفی نیز بر روی تجزیه زیستی اتیلن گلیکول کار کرده اند. به عنوان مثال مطالعه ای بر روی تجزیه زیستی مونو اتیلن گلیکول در یک راکتور بیوفیلمی بستر متحرک با بار بالا توسط مهربانی و همکارانش انجام شد. در این پژوهش راندمان حذف COD برابر با ۹۸ درصد در بار آلی ۴/۱۳ کیلوگرم COD بر متر مکعب در روز به دست آمد (۱۵). kowiak Grzes و همکارانش در مطالعه خود میزان حذف مونو اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول در محیط های آبی را مورد بررسی قرار دادند و موفق به حذف مقادیر بسیار زیادی از این ترکیبات در طی آزمایش های خود شدند (۲). Evans و همکارش مطالعه ای را بر روی تجزیه زیستی مونو، دی و تری اتیلن گلیکول در آب رودخانه و در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام دادند. آنها توانستند در مدت ۳ روز و با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد کل مونواتیلن گلیکول ورودی را در شرایط آزمایشگاهی حذف نمایند ولی با توجه به دمای معمول رودخانه که در حدود ۸ درجه سانتیگراد بود تجزیه کامل مونو اتیلن گلیکول در مدتی کمتر از ۸ روز امکان پذیر نشد (۱۶). عملکرد راکتور زیستی با بستر متحرک در تصفیه زیستی

پریستالتیک وارد راکتور می شد. با توجه به مشکلات کنترل دما در کاربردهای این سیستم در مقیاس صنعتی و نزدیکتر بودن شرایط کاری راکتور به شرایط واقعی، راکتور در دمای معمول اتاق (۲۰- ۲۵ سانتیگراد) به صورت پیوسته مورد بهره برداری و مطالعه قرار گرفت. نمایی از این سیستم در شکل ۱ به نمایش درآمده است.

هوا و از طریق سه هواپخشان که در قسمت کف قرار گرفته بود وارد راکتور می گردید. برای جلوگیری از خروج مواد بستر از یک صفحه مشبک (اندازه روزنه $1 \times 4/0$ cm) نصب شده در خروجی راکتور استفاده شد. حجم هوای دمیده شده توسط یک جریان سنج اندازه گیری شده و با کمک یک شیر تنظیم دبی هوا برای تامین مورد نیاز اکسیژن محلول کنترل می شد. فاضلاب مصنوعی نیز از مخزن ذخیره توسط پمپ



شکل ۱: سیستم راکتور زیستی با بستر متحرک (MBBR) مورد استفاده در مطالعه

فاضلاب مصنوعی

برای تهیه فاضلاب در این مطالعه، یک محیط معدنی محلول در آب همراه با گلوکز در مرحله راه اندازی و مونواتیلن گلیکول ساخت شرکت مرک آلمان هر دو با درصد خلوص ۹۹/۹ درصد به عنوان تنها منبع کربن مورد استفاده میکروارگانیسم ها در مرحله بارگذاری، همراه با مواد مغذی اصلی با نسبت C/N/P برابر با ۱۰۰/۵/۱ طبق جدول ۱ استفاده شد که این مقادیر برای ساخت فاضلاب با میزان COD برابر با ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد.

جدول ۱: میزان ترکیبات مورد استفاده برای فاضلاب مصنوعی

ترکیب	(mg/L)
MgSO _۴	۰/۰۳۲
KH _۲ PO _۴	۸/۶
CaCl _۲ .۲H _۲ O	۱۳/۶۶
FeSO _۴	۰/۱۳۹
NH _۴ Cl	۳۷/۱۴
COD	۵۰۰

راکتور وارد می شد با این کار محدودیت و کمبود اکسیژن محلول بوجود نیامد.

در هر بارگذاری منبع کربن (مونو اتیلن گلیکول) ثابت و میزان COD، درصد شوری، مقدار pH، همچنین منبع نیتروژن بر طبق جدول شماره ۲ (جدول طراحی آزمایش ها) تغییر یافت که سه عامل میزان COD، درصد شوری و مقدار pH عوامل کمی و نوع منبع نیتروژن عامل کیفی انتخاب شده در این مطالعه بود. میزان منابع مختلف نیتروژن به کار گرفته شده در این مطالعه دقیقاً برای رسیدن به نسبت C/N برابر ۱۰۰/۵ محاسبه گردید (۱۱). افزایش میزان COD ورودی، منبع نیتروژن، درصد شوری، مقدار pH پس از رسیدن سیستم به شرایط پایدار در هر بارگذاری تعویض و جایگزین یکدیگر می شد. در این مدت مقدار pH مورد نیاز راکتورها در هر مرحله توسط دو مخزن اسید و باز حاوی محلول اسید سولفوریک رقیق و هیدروکسید سدیم و شوری در راکتور نیز توسط مخزن حاوی محلول کلرور سدیم تامین و تنظیم شد و هر دو راکتور با شرایط یکسان مورد بهره برداری قرار گرفت. در نهایت میانگین نتایج آزمایش ها در شرایط پایداری با کمک نرم افزار Qualitek-4 (w32b) به منظور طراحی آزمایش ها با روش تاگوچی بررسی شدند. نرم افزار Qualitek-4 (w32b) نوعی نرم افزار آماری است که نسخه اولیه آن در سال ۱۹۸۷ توسط شرکت Nutek, Inc. طراحی و روانه بازار شد. نرم افزار مذکور تحت ویندوز و نسخه ۴/۷۵ بوده (محصول ۱۹۹۱) و تنها قادر به طراحی و آنالیز آزمایش های بهینه سازی به روش تاگوچی می باشد.

جدول ۲: عوامل مورد بررسی در بهینه سازی و سطوح مختلف آنها

عوامل	سطوح		
	پایین (۱)	متوسط (۲)	بالا (۳)
pH	۶	۷	۸
نوع منبع نیتروژن	NaNO _۳	CO(NH _۲) _۲	NH _۴ Cl
COD ورودی (mg/L)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰
درصد شوری	٪۳	٪۵	٪۷

راه اندازی و بارگذاری راکتور MBBR

در ابتدا راکتورها با استفاده از لجن فعال تصفیه خانه فاضلاب شهری چنیبه اهواز بصورت بسته راه اندازی شدند. در این مدت راکتورها با فاضلاب مصنوعی حاوی گلوکز و مواد مغذی اصلی تغذیه شد. میزان هوای ورودی علاوه بر تامین میزان اکسیژن محلول بین ۴ تا ۵ میلی گرم در لیتر، چرخش بسترها در راکتور را ایجاد می کرد. در هفته اول راه اندازی سیستم مقدار COD فاضلاب ورودی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. جهت سازگاری میکروارگانیسم ها روزانه از میزان گلوکز کاسته شد و به جای آن از مونو اتیلن گلیکول به عنوان تنها منبع کربن در فاضلاب استفاده شد. در این مدت میزان pH برابر ۷/۲ ثابت نگاه داشته شد. پس از گذشت ۳۰ روز تمام COD وارد شده به سیستم ناشی از مونو اتیلن گلیکول به عنوان تنها منبع کربن مورد استفاده میکروارگانیسم ها بوده و سیستم به صورت پیوسته مورد بهره برداری قرار گرفت. پس از این مرحله، بارگذاری آلی در سه غلظت ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ (mg/L) انجام شد. فاضلاب با دبی برابر ۵۵/۰ لیتر در ساعت به وسیله پمپ پرستالتیک وارد راکتور شد و زمان ماند هیدرولیکی برابر با ۹ ساعت بوده و در تمام بارگذاری ها ثابت نگه داشته شد. در این مدت همواره میزان اکسیژن محلول در سیستم بالاتر از ۲ میلی گرم بر لیتر تنظیم گردیده و با افزایش میزان بار آلی، میزان اکسیژن محلول نیز افزایش یافت.

آزمایش های طراحی شده با استفاده از روش تاگوچی

برای تعیین شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم ها در ۹ مرحله، ۴ عامل در سه سطح مختلف مورد بررسی قرار گرفت که جدول ۲ مقادیر هر یک را با نمادگذاری در سه سطح ۱، ۲ و ۳ نشان می دهد. سطوح مورد نظر با توجه به محدوده عملیاتی متداول که در منابع مختلف ذکر گردیده، انتخاب شد (۹، ۱۳). به منظور حذف محدودیت ناشی از تغییرات اکسیژن محلول در تصفیه زیستی مواد در طول مطالعه میزان اکسیژن محلول به صورت مداوم اندازه گیری و همواره میزان کافی و ثابت به

جدول ۳: ریز آزمایش های طراحی شده به روش تاگوشی با جزئیات آن

شماره آزمایش	COD ورودی (mg/L)	درصد شوری	نوع منبع نیتروژن	pH
۱	۱۰۰۰	%۵	NaNO _۳	۶
۲	۲۰۰۰	%۷	CO(NH _۲) _۲	۶
۳	۳۰۰۰	%۳	NH _۴ Cl	۶
۴	۲۰۰۰	%۳	NaNO _۳	۷
۵	۳۰۰۰	%۵	CO(NH _۲) _۲	۷
۶	۱۰۰۰	%۷	NH _۴ Cl	۷
۷	۳۰۰۰	%۷	NaNO _۳	۸
۸	۱۰۰۰	%۳	CO(NH _۲) _۲	۸
۹	۲۰۰۰	%۵	NH _۴ Cl	۸

تنظیم ۰-۱۰۰ درصد، دما و میزان pH بوسیله پراب دستگاه HORIBA مدل F-۱۱ و در نهایت تحلیل نتایج توسط نرم افزار Qualitek-4 (w32b) انجام شد.

یافته ها و بحث

راه اندازی راکتور و سازگارسازی میکروارگانیسم ها با توجه به مقادیر COD در نظر گرفته شده برای سطوح تعیین شده در طراحی آزمایش ها و نزدیک شدن به اولین سطح (COD ورودی برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) در پایان مرحله راه اندازی و سازگارسازی، میزان COD ورودی به سیستم ۹۰۰ میلی گرم در لیتر و تنها منبع کربن میکروارگانیسم ها مونواتیلن گلیکول بود. آزمایش تعیین میزان اکسیژن خواهی شیمیایی مایع خروجی از راکتور، نشانگر حذف COD محلول ورودی تا حدود ۹۷ درصد بود. در شکل ۲ روند بازده حذف COD ورودی نسبت به زمان ارایه شده است. با توجه به شکل ۲ از روز بیستم تنها منبع کربن موجود مونواتیلن گلیکول بوده و روند پایداری از آن روز به بعد مشخص شده است.

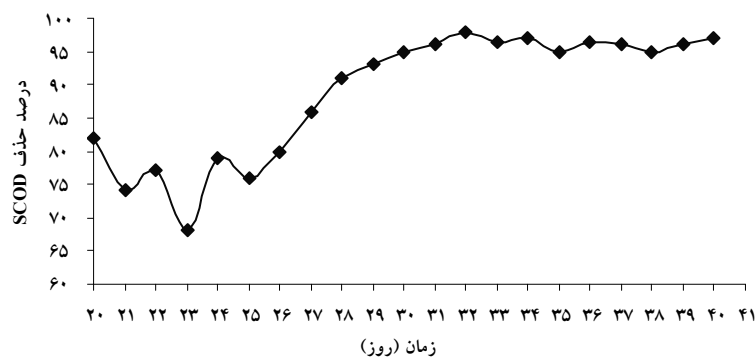
آزمایش های طراحی شده به صورت یک جدول با ۹ آزمایش (L₉) در جدول ۳ ارایه شده است. در روش تاگوشی برای تحلیل آماری و دقیق تر نتایج، از یک تابع پاسخ تبدیل یافته که به صورت نسبت علامت هر اثر (S) به اثرات ناشی از خطا (N) تعریف می گردد، استفاده می شود. مزیت استفاده از این پاسخ جدید در تحلیل آماری، نسبت به شکل اولیه پاسخ، مقایسه بزرگی اثرات ناشی از هر عامل اصلی با اثرات ناشی از عوامل خطا و اغتشاش در اندازه گیری است، که در نتیجه منجر به برداشت دقیق تری از تاثیر واقعی عوامل بر سیستم خواهد شد (۱۴). نحوه محاسبه نسبت S/N بسته به این که هدف چه نوع بهینه سازی باشد، متفاوت خواهد بود. از آنجا که در این مطالعه پاسخ در نظر گرفته شده درصد حذف COD (متناظر با درصد حذف مونواتیلن گلیکول) می باشد، نسبت S/N به صورت معادله ۱ محاسبه می گردد.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{(1/y_1^2 + 1/y_2^2 + \dots + 1/y_n^2)}{n}$$

در این معادله y_n مقدار پاسخ اندازه گیری شده برای هر آزمایش در هر آزمون، و n تعداد تکرار آزمایش ها (در اینجا برابر با ۲) می باشد. لازم به ذکر است که اگر n برابر با ۱ در نظر گرفته شود دیگر نمی توان از روش سیگنال به نویز که روش بسیار دقیق و مطمئن تری است استفاده نمود و تنها از روش متوسط داده ها می توان استفاده کرد. به همین دلیل در این مطالعه تعداد تکرار آزمایش ها برابر با ۲ در نظر گرفته شد. مقادیر S/N محاسبه شده برای هر آزمایش، در جدول ۳ نشان داده شده است. هدف جدید در مسیله، بیشینه سازی این پاسخ می باشد.

روش های آزمایشگاهی

در این مطالعه میزان COD بصورت روزانه با استفاده از روش تقطیر برگشتی، اکسیژن محلول از روش وینکلر، قلیابیت با روش تیتراسیون (۱۹)، نرخ مصرف اکسیژن (OUR) با DO متر HANNA مدل HI ۹۱۴۲، میزان شوری با دستگاه شوری سنج Atago مدل S/Mill-E با محدوده قابل



شکل ۲: درصد حذف COD محلول نسبت به زمان در مرحله سازگارسازی

طراحی آزمایش ها

پس از سازگارسازی میکروارگانیسم ها، برای بررسی تاثیر عوامل و تعیین شرایط رشد بهینه میکروارگانیسم ها آزمایش های دیگری انجام شد. آزمایش های طراحی شده به صورت یک جدول با ۹ آزمایش (L_9) در جدول شماره ۳ ارائه شده است. با توجه به استفاده از روش S/N تاگوچی در

این مطالعه نتایج حاصل از اندازه گیری درصد حذف COD خروجی، با دو بار اندازه گیری گزارش گردید و نتایج بهتر و بررسی دقیق تری از نتایج به دست آمد. برای کاهش زمان انجام این مطالعه و به دست آوردن حداقل ۲ نتیجه از آزمایش COD از ۲ راکتور با کار در شرایط یکسان استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: جدول آزمایش های طراحی شده به روش تاگوچی و نتایج حاصل از آن

S/N	درصد حذف مونو اتیلن گلیکول		عوامل مورد بررسی در بهینه سازی راکتور MBBR				شماره آزمایش
	راکتور ۱	راکتور ۲	pH	نوع منبع نیتروژن	غلظت منبع کربن	میزان شوری	
۳۷/۰۲۲	۷۲	۷۰	۱	۱	۱	۲	۱
۳۵/۰۷۶	۵۷/۶	۵۵/۹	۱	۲	۲	۳	۲
۳۶/۷۷۶	۶۸/۸	۶۹/۳	۱	۳	۳	۱	۳
۳۴/۳۵۱	۵۲/۸	۵۱/۶	۲	۱	۲	۱	۴
۲۹/۹۸۷	۳۰/۴	۳۲/۹	۲	۲	۳	۲	۵
۳۹/۱۹	۹۱/۲	۹۱	۲	۳	۱	۳	۶
۳۸/۶۰۷	۸۶/۱	۸۴/۳	۳	۱	۳	۳	۷
۳۹/۶۷۱	۹۷	۹۵/۶	۳	۲	۱	۱	۸
۳۶/۴۵۵	۶۷/۲	۶۶	۳	۳	۲	۲	۹

تأثیر عوامل بر سیستم

پاسخ هر آزمایش با استفاده از معادله ۱ به نرخ S/N تبدیل شده است. میزان و نحوه تأثیر عوامل مختلف بر پاسخ تبدیل یافته سیستم (به صورت نسبت S/N) برای هر یک از

عوامل تحلیل شده و نسبت S/N به دست آمده در هر سطح در جدول ۵ ارائه شده است. افزایش نرخ S/N نشان دهنده بهتر شدن شرایط است. در جدول ۵ بیشترین مقدار S/N شرایط بهینه را در بین سطوح مختلف هر عامل نشان می دهد.

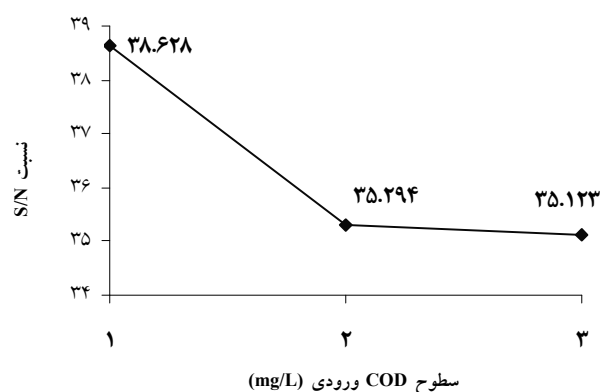
جدول ۵: نرخ های S/N اصلی برای هر سطح از پارامترها

نرخ S/N اصلی			عوامل در نظر گرفته شده
سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	
۳۶/۲۹۱	۳۴/۵۰۹	۳۸/۲۴۴	pH
۳۶/۶۶	۳۴/۹۱۱	۳۷/۴۷۴	نوع منبع نیتروژن
۳۸/۶۲۸	۳۵/۲۹۴	۳۵/۱۲۳	COD ورودی (mg/L)
۳۴/۴۸۸	۳۷/۶۲۴	۳۶/۹۳۳	درصد شوری فاضلاب ورودی

تأثیر COD ورودی (غلظت منبع کربن)

در این مطالعه، در سه بارگذاری با COD های برابر با ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر ناشی از مونواتیلن گلیکول برای یافتن بهترین COD ورودی به راکتور انجام شد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می گردد، با افزایش میزان COD ورودی به راکتور، نسبت S/N که شاخصی از پاسخ سیستم به تغییرات غلظت مونو اتیلن گلیکول است، کاهش می یابد. طبق تحلیل های صورت گرفته در COD برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بیشترین میزان پاسخ مشاهده شده است. این میزان به عنوان مقدار بهینه گزارش می گردد. با افزایش میزان مونو اتیلن گلیکول (منبع کربن) در محیط و در نتیجه افزایش بار آلی از توان میکروارگانیسم ها در مصرف این ماده به عنوان ماده غذایی و تنها منبع کربن برای سوخت و ساز سلولی کاسته می شود. پس افزایش بیش از حد این ترکیب نیز می تواند یک عامل محدود کننده رشد باشد و منجر به ایجاد سمیت شده و نهایتاً منجر به کاهش رشد میکروارگانیسم ها گردد. در این مطالعه با توجه به رشد مناسب میکروارگانیسم ها در غلظت پایین مونو

اتیلن گلیکول میزان COD برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به عنوان بهترین مقدار معرفی شد. Jianlong و همکارانش (۲۰)، نیز در پژوهشی در زمینه تصفیه فاضلاب در راکتور زیستی دو رگه (HBR)، دریافتند که با افزایش میزان ورودی COD، میزان COD خروجی نیز افزایش خواهد یافت.



شکل ۳: تأثیر COD ورودی (غلظت منبع کربن) به راکتور بر درصد حذف مونواتیلن گلیکول

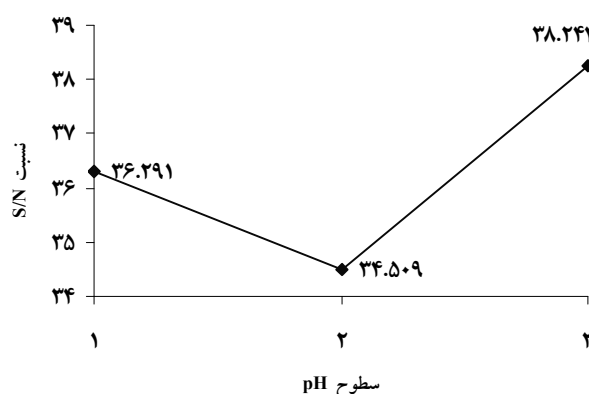
یون های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم) توسط پدیده انتشار در غشاء سلولی صورت می پذیرد. بخشی از ترکیبات فوق برای رشد سلول ها بسیار ضروری می باشند. افزایش و یا کاهش غلظت این یون ها در محیط می تواند خود منجر به تغییر میزان هدایت الکتریکی آب (تغییر غلظت شوری) گردد، که این امر نیز تاثیر مستقیمی بر روی توانایی جذب این ترکیبات توسط سلول ها دارد. از سوی دیگر افزایش بیش از حد شوری نیز می تواند منجر به خروج آب از غشاء سلولی به سبب پدیده اسمز گردیده و رشد سلول را مختل سازد. در شکل ۵ تاثیر شوری فاضلاب بر درصد حذف مونو اتیلن گلیکول نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود بیشترین نسبت S/N در سطح دوم و میزان شوری ۵٪ اتفاق افتاده است.

معمولاً پساب صنایع نفت و گاز مانند صنایع پتروشیمی و یا فاضلاب تولیدی در فرودگاه ها که بعضاً حاوی ترکیبات با پایه اتیلن گلیکول با غلظت های بالا ناشی از ضد یخ مصرفی در موتور هواپیماها می باشند، شوری بالایی نیز دارند (۲۱، ۲۲). بنابراین میکروارگانیسم های به کار گرفته شده در تصفیه این گونه فاضلاب ها باید برای تحمل شوری بالا مورد بررسی قرار گیرند. شوری بالا منجر به افزایش فشار اسمزی گردیده و بر روی ورود و خروج برخی مواد از سلول تداخل ایجاد می نماید. شکل ارایه شده در شکل ۵ مشخص می سازد که، تفاوت چندانی در کارایی میکروارگانیسم در شوری های ۷٪ و ۵٪ مشاهده نمی شود. بنابر این، این میکروارگانیسم ها قادر به ادامه فعالیت در شوری های بالا نیز می باشند. Li و همکارانش در مطالعات خود موفق به یافتن چند میکروارگانیسم نفت خوار شدند که توانایی زیستن در شوری حداکثر ۶٪ را داشتند. میکروارگانیسم های یافت شده توسط Li در مقایسه با میکروارگانیسم های مورد استفاده در این مطالعه، توان تحمل شوری مشابهی را دارا بودند (۲۲). حتی با توجه به نزدیکی کارایی میکروارگانیسم ها در شوری ۷٪ و ۵٪ می توان گفت که میکروارگانیسم های سازگار شده در این مطالعه توان تحمل شوری بیشتری را نسبت به میکروارگانیسم های یافت شده در مطالعه Li و همکاران دارند.

تاثیر pH محیط

pH مناسب میکروارگانیسم ها در بیشتر مطالعات در محدوده خنثی می باشد (۱۱). شکل ۴ نسبت S/N را به عنوان شاخصی از پاسخ سیستم به تغییرات مقدار pH و تاثیر آن بر درصد حذف مونو اتیلن گلیکول را نشان می دهد. در واقع pH محیط یکی از عوامل موثر بر سوخت و ساز سلول ها و کارکرد آنزیم های آنها می باشد. با توجه به شکل ۴ مشخص است که افزایش pH در محدوده سطح دوم به سوم منجر به افزایش کارایی سیستم با همان میزان پاسخ در روش تاگوجی می گردد. در این نمودار با افزایش pH از ۶ به ۷ میزان پاسخ کاهش یافته و با افزایش مجدد pH به محدوده ۸ مقدار پاسخ افزایش می یابد. این تاثیر وقتی که pH از ۷ به ۸ تغییر می کند بیشتر مشهود است.

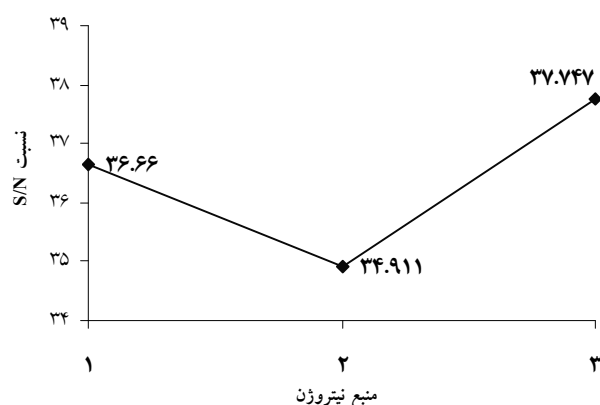
بنابراین می توان ادعا نمود که pH بهینه برای این سیستم در محدوده تعیین شده و برابر با ۸ می باشد. با توجه به نزدیک بودن شرایط بهینه به دست آمده در این مطالعه به محدوده ۷/۵ می توان به صحت این ادعا پی برد. pH مناسب در بیشتر مطالعات قبلی نیز برای میکروارگانیسم های مختلف در همین محدوده به دست آمده است (۲۱). در مطالعه ای که Rusten و همکارانش بر سیستم های راکتور زیستی با بستر متحرک انجام دادند نیز به نتیجه مشابه دست یافتند (۸).



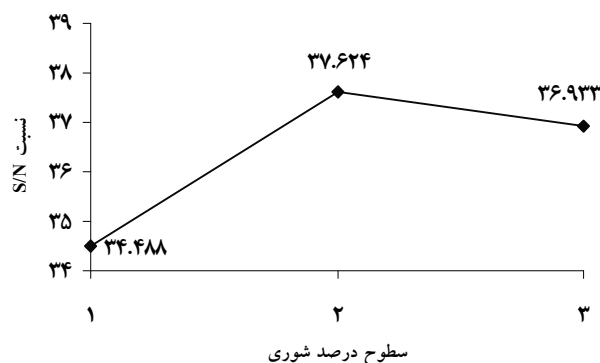
شکل ۴: تاثیر pH فاضلاب بر درصد حذف مونو اتیلن گلیکول

تاثیر شوری فاضلاب ورودی به راکتور

ورود و خروج بخشی از ترکیبات مورد نیاز سلول (مانند



شکل ۶: تاثیر نوع منبع نیتروژن در فاضلاب بر بازده حذف مونواتیلن گلیکول



شکل ۵: تاثیر شوری فاضلاب بر درصد حذف مونواتیلن گلیکول

تحلیل واریانس نتایج

در این مرحله داده ها توسط جدول (ANOVA) تحلیل آماری گردیدند. هدف از تحلیل آنوا به دست آوردن نسبت واریانس هر فاکتور نسبت به واریانس کل می باشد (۷). جدول ۶ تحلیل واریانس آنوا نتایج را نشان می دهد. از آنجا که هر چهار عامل در این تحقیق، سه سطحی در نظر گرفته شده اند، میزان درجه آزادی برای مقایسه مقادیر پاسخ در سه سطح از هر عامل برابر با دو می باشد و کل درجه آزادی برابر ۸ محاسبه گردید. بنابراین درجه آزادی برای خطا صفر محاسبه شد که این امر بدلیل یکسان بودن مقادیر درجه آزادی می باشد. نهایتاً واریانس خطا توسط محاسبه مجموع مربع خطا و تقسیم آن بر درجه آزادی به دست آمد. نسبت F از واریانس هر فاکتور نسبت به دوره خطا (Vc) محاسبه می گردد. با توجه به اینکه درجه آزادی محاسبه شده برابر با صفر بود و واریانس خطا از تقسیم مجموع مربع بر درجه آزادی به دست آمد، بنابراین اندازه گیری خطا در این آزمایش غیر ممکن است و در نتیجه مقدار Vc در این مطالعه تعریف نشده است، پس محاسبه نسبت F غیر ممکن است (۶، ۷). در بین پارامترهای آماری مختلف در جدول ۶، درصد تاثیر هر عامل بر پاسخ، مفهوم روشن تری دارد. این پارامتر به کمک سایر پارامترهای آماری در این جدول محاسبه شده است و درصد تاثیر عوامل مختلف بر تجزیه زیستی مونواتیلن گلیکول در محدوده سطوح در نظر گرفته شده نشان می دهد که همه عوامل کم و بیش

تاثیر منبع نیتروژن

تاثیر نوع منبع نیتروژن در فاضلاب بر درصد حذف مونواتیلن گلیکول در شکل ۶ نشان داده شده است. نیتروژن عنصری ضروری برای رشد و سوخت و ساز میکروارگانیسم ها به حساب می آید و یکی از اساسی ترین عناصر موجود در آنزیم ها می باشد. در این مطالعه از سه ترکیب نیتروژن دار به عنوان منبع نیتروژن استفاده گردید. در بین این سه منبع، بالاترین پاسخ با استفاده از کلرور آمونیوم به دست آمده است. از آنجا که این ماده از لحاظ قیمت نیز نسبت به سایر منابع به کار گرفته شده در این مطالعه ارزان تر است، لذا می تواند به عنوان منبع نیتروژن مناسب در نظر گرفته شود.

یکی از دلایل پاسخ بهتر سیستم در استفاده از کلرور آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن، این است که نیتروژن به شکل آمونیاکی بهتر مورد استفاده میکروارگانیسم ها قرار می گیرد (۹). این ترکیب می تواند منجر به رشد سریع تر میکروارگانیسم ها شده و نهایتاً پس از اتمام آن، مونواتیلن گلیکول باقی مانده در محیط با کمک تعداد بیشتری از سلول ها مورد تجزیه قرار می گیرد. به همین دلیل درصد تجزیه زیستی مونواتیلن گلیکول در محیط با کمک کلرور آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن در مقایسه با کاربرد سایر منابع نیتروژن افزایش می یابد. از سوی دیگر برخی از محققین نیز در مطالعات خود برای یافتن منبع مناسب نیتروژن موفق به تشخیص منابعی همچون کلرور سدیم و یا نترات سدیم به عنوان منبع مناسب نیتروژن شده اند (۲۲).

ورودی، pH، درصد شوری فاضلاب ورودی، و نهایتاً نوع منبع نیتروژن می باشد.

دارای اهمیت نسبی برای تاثیر بر پاسخ می باشند. همان طور که مشخص است موثرترین عوامل، به ترتیب غلظت COD

جدول ۶: تحلیل واریانس نتایج (ANOVA)

فاکتورها	درجه آزادی (DOF)	مجموع مربعات (S)	واریانس	درصد تاثیر هر فاکتور
pH	۲	۲۰/۹۴۳	۱۰/۴۷۱	٪۲۹/۵۹
نوع منبع نیتروژن	۲	۱۰/۲۸۶	۵/۱۴۳	٪۱۴/۴۹۹
غلظت COD ورودی	۲	۲۳/۴۲۳	۱۱/۷۱۱	٪۳۳/۰۱۶
درصد شوری	۲	۱۶/۲۹۱	۸/۱۴۵	٪۲۲/۹۶۳
Other error	۰	----	----	----
کل	۸	۷۰/۹۴۵	----	٪۱۰۰

نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده در این مطالعه نتایج زیر به دست آمد:

در مرحله راه اندازی زمانی که میزان COD ورودی به سیستم ۹۰۰ میلی گرم در لیتر و تنها منبع کربن میکروارگانسیم ها مونواتیلن گلیکول بود بازده حذف COD تا حدود ۹۷ درصد در سیستم مشاهده شد.

با توجه به آزمایش های طراحی شده با روش تاگوچی در محدوده سطوح انتخاب شده در این تحقیق، هر چهار عامل در تجزیه زیستی مونواتیلن گلیکول مهم بوده و ترتیب اولویت در تاثیرگذاری آنها به صورت زیر است: میزان COD ورودی، pH، میزان شوری محیط، و نوع منبع نیتروژن.

نتایج بهینه سازی نسبی به روش تاگوچی نشان داد که سطوح مناسب برای هر یک از عوامل به صورت زیر است: بهترین میزان COD ورودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH مناسب برابر با ۸، شوری ۵٪، و در نهایت منبع مناسب نیتروژن کلرور آمونیوم می باشد.

بر اساس تحلیل نتایج می توان با استفاده از روش تاگوچی شرایط بهینه و مناسب را برای افزایش کارایی یک راکتور MBBR به دست آورد.

شرایط بهینه نسبی

با توجه به شکل های تاثیر عوامل و نتایج جدول ANOVA می توان شرایط بهینه نسبی برای رسیدن به حداکثر رشد میکروارگانسیم ها و در نتیجه بیشترین درصد حذف مونواتیلن گلیکول را نسبت به دو سطح دیگر هر عامل به دست آورد. جدول ۷ شرایط بهینه نسبی تعیین شده در روش تاگوچی را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود تمام عوامل باید در بالاترین سطح خود قرار گیرند تا بهترین پاسخ به دست آید. به بیان دیگر شرایط بهینه عوامل در محدوده سطوح انتخاب شده شامل میزان COD ورودی برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH برابر با ۸، شوری ۵٪، و در نهایت کلرور آمونیوم به عنوان منبع تامین نیتروژن می باشند.

جدول ۷: شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر رشد میکروارگانسیم ها

عامل	بهترین سطح
COD ورودی (mg/L)	۱۰۰۰
pH	۸
شوری %	۵٪
منبع نیتروژن	NH ₄ Cl

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و

تحقیقات خوزستان که امکانات لازم را برای انجام این پروژه فراهم آورده اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- Mittal, L. Kurup, V.K. Gupta, "Use of waste materials—bottom ash de-oiled Soya, as potential adsorbents for the removal of Amaranth from aqueous solution" *Journal of Hazard Mater.*2005.; B 117. 171–178.
- Grzeskowiak A. Z., Grzeskowiak T., Zembruska J., Lukaszewski Z., "Comparison of biodegradation of poly(ethylene glycol)s and poly(propylene glycol)s" *Chemosphere.*2006; 64, 803-809.
- Berent j., "Current management of ethylene glycol poisoning" *Journal of Drugs.*2001;61, 7:979-88.
- Pillard DA. "Comparative toxicity of formulated glycol deicers and pure ethylene and propylene glycol to *Ceriodaphnia Dubia* and *pimephales promelas*" *Journal of Environ Toxicology Chem.* 1995; 14 (2) 311–315.
- Field D."Acute ethylene glycol poisoning" *Criteria Care Med.*1985; 13 (10):872-3.
- Barceloux DG, Krenzelok EP, Olson K, Watson W "American Academy of Clinical Toxicology Clin Toxicol. 1999; 37 (5):537-60.
- Jahren,S. J., Rintala, J. A., Odegaard, H., "Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions." *Water Res.* 2002; 36:1067-1075.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E. "Design and operation of the Kaldnes moving bed biofilm reactors" *Aqua cultural Engineering.* 2006; 36, 322-331.
- Metcalf and Eddy "Waste water engineering treatment and reuse" Fourth edition. Mc Graw Hill.2003.
- X.y wang, S.Q.Xia,L. Chen, Y.F.Zhao, "Nutrient Removal Farm Municipal Wastewater By Chemical Precipitation in a Moving Bed Biofilm Rector" *process biochemistry.*2006; 41, 824-828.
- Rusten, B., Siljadelan J.G, Strand H. "Upgrading of a biological chemical treatment plant for cheese factory wastewater" *Water Sci tech.*1996; 30; (3): 161-71.
- Rusten, B., Kolkin O, Odegaard H. "Moving bed biofilm reactors and chemical precipitation for high efficiency treatment of wastewater from small communities" *Journal of Water Sci Technol.*1997; 35 (6); 71-79.
- Roy, R.K., A Primer on the Taguchi Method, VNR, New York, 1990.
- Daneshvar N., Khataee A.R., Rasoulifard M. Pourhassan M., "Biodegradation of dye solution containing Malachite Green: Optimization of effective parameters using Taguchi method" *Journal of Hazardous Materials.*2007; 143 214–219.
- Mehrabani Ardekani, M.M., "Investigation of The MBBR Efficiency for mono Ethylene Glycol with high strange treatment" *Islamic Azad University Science and Research Branch Ahwaz;* 2008. (In Persian)
- Evans H.W., David E.J., "Biodegradation of mono-Di - and tri ethylene glycols in river waters under controlled laboratory conditions" *Journal of Water Research.* 1974; Volume 8, Issue 2, Pages 97-100.
- Delnavaz, M., Ayati, B., Ganjidoust, H., "Treatment Wastewater Containing Aniline Using a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)" *Journal of Water and Wastewater.* 2009 volume 19, No 68, pages 9-18. (In Persian)
- Mohammadyari, N., Balador, A., "Performance o MBBR in the treatment of Combined Municipal and Industrial Wastewater A case Study: Mashhad Sewage Treatment Plant of Parkandabad" *Journal of Water and Wastewater.* 2008; volume 19, No 65,

- pages 38-46. (In Persian)
19. APHA, AWWA, WPCF (Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 17th edition, Washington DC, USA.)1989.
 20. Jianlong, W., Hancheng, S., Yi, Q., “Wastewater treatment in a hybrid biological reactor (HBR): effect of organic loading rates” Process Biochemist. 2000; 36: 297-30.
 21. Tellez, Gilbert T., N. Nirmalakhandan and Jorge L. Gardea - Torresdey, “performance Evaluation of an Active Sludge System for Removing Petroleum Hydrocarbons from Oilfield Produced water” Advances in Environmental Research. 2002; 6, 455-470.
 22. Li, Qingxin, Congbao Kang, changkai Zhang, “Waste water Produced from an Oilfield and Continuous Treatment with and Oil-Degrading Bacterium” Process Biochemistry. 2005; 40, 873-877.

Optimization of Moving Bed Biofilm Reactor Using Taguchi Method

Jaafarzadeh Haghighifard N.¹, *Mehrabani Ardekani M.M.², Nabizadeh Nodehi R.³, Yazdanbakhsh A.R.⁴

¹ Department of Environmental Health, School of Health, Ahwaz Jondishapour University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran

² Environmental Engineer of Industrial Estates Co.

³ Department of Environmental Health, School of Public Health and Research Health Institute, Tehran University of Medical Sciences School of Health, Tehran, Iran

⁴ Department of Environmental Health, School of Health, Tehran Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received 5 Mars 2009; Accepted 5 May 2009

ABSTRACT

Backgrounds and Objectives: in recent years, mobile bed biological reactors have been used progressively for municipal and industrial wastewaters treatment. Dissented experiment is a trial that significant changes will accrue for influent variables in the process, and generally used for identification of the effective factors and optimization of the process. The scope of this study was determination of the optimized conditions for the MBBR process by using of Taguchi method.

Materials and Methods: Reactor start up was done by using of the recycled activated sludge from Ahwaz wastewater treatment plant. After that and passing the acclimation period, with hydraulic residence time equal to 9 hours matched for 1000, 2000 and 3000 mg/l based on COD respectively, for optimization determination of the acclimated microbial growth, the variables change (p^H, nitrogen source, chemical oxygen demand and salinity) were determined in 9 steps, and all of the results were analyzed by Qualitek -4 (w32b).

Results: In this study, organic load removal based on COD was 97% and best optimized condition for MBBR were (inf. COD=1000 mg/l, pH= 8, salinity = 5% and the Nitrogen source= NH₄CL)

Conclusion: Based on our finding, we may conclude that Taguchi method is on of the appropriate procedure in determination the optimized condition for increasing removal efficiency of MBBR.

Keywords: biological wastewater treatment, Taguchi, Moving bed biofilm reactors, Experimental design, Qualitek-4 (w32b) software

*Corresponding Author: m.m.mehrabani@gmail.com

Tel: +98 9358562018 Fax: +98 711 8250884