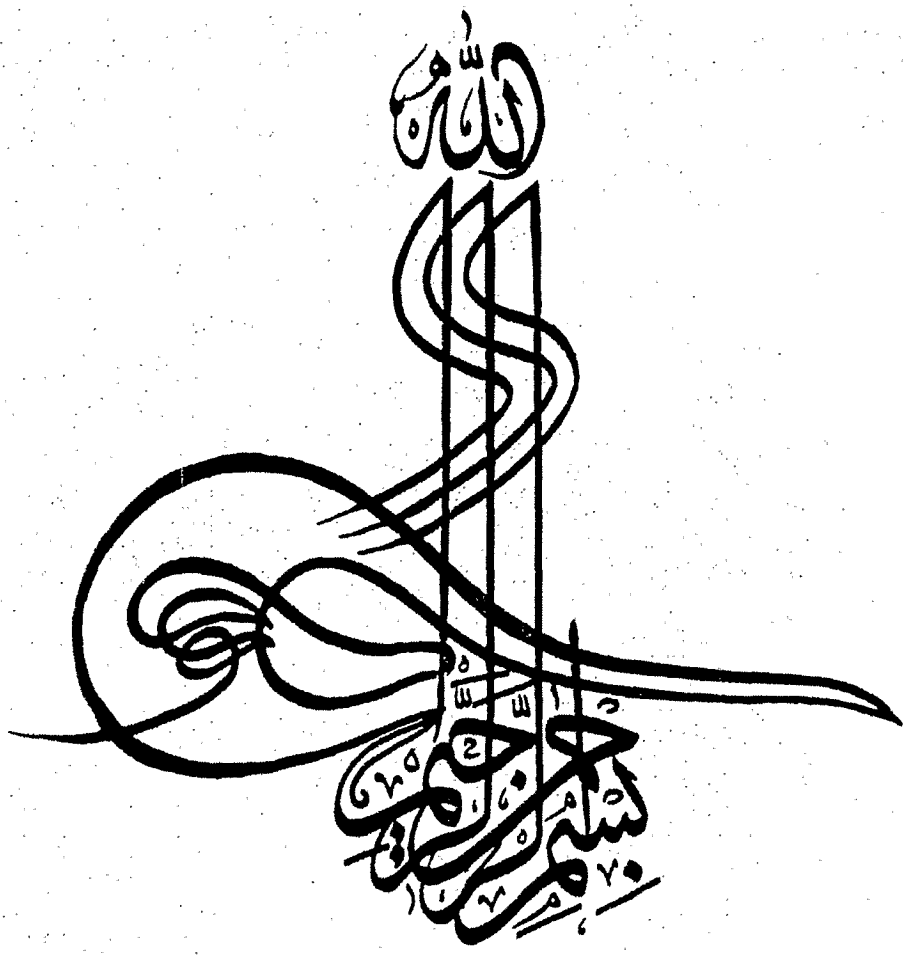
٥٦٣٠



٩٣١٧

دانشکده فنی مهندسی

مهندسی عمران-مهندسی محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تصفیه فاضلاب حاوی مواد شوینده با استفاده از راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)

روح‌اله نوری

استاد راهنما:

دکتر بیتا آیتی

استاد مشاور:

دکتر حسین گنجی‌دوست

۱۳۸۷/۲/۵

تابستان ۱۳۸۶

۹۲۱۷۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای روح اله نوری پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تصفیه فاضلاب حاوی ترکیبات شوینده با استفاده ازراکتور بیوفیلمی با بستر متحرك** در تاریخ ۱۳۸٦/٦/۳۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر بیتا آیتی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر حسین گنجی دوست	استاد	
استاد ناظر	دکتر احمد خدادادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر منوچهر وثوقی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر احمد خدادادی	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

دستور العمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه وساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

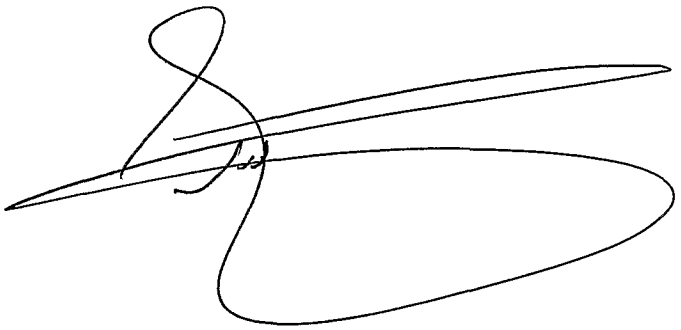
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه‌ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید ه و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید ارجمندم سرکار خانم دکتر آیتی و جناب آقای دکتر گنجی‌دوست که با راهنمایی و سعه صدر مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند تشکر نمایم.

همچنین از پدر، مادر و همسرم که در تمام مراحل زندگی و خصوصا انجام این پایان‌نامه به من دلگرمی داده و همواره مرا تشویق نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

در پایان نیز از اساتید و دوستانی که در این مدت با راهنمایی و همفکری خودشان پشتیبانی سودمند برای من بودند، قدردانی می‌کنم.

چکیده:

سیستم بیولوژیکی MBBR در مورد تصفیه سورفکتانت‌ها کمتر مورد توجه بوده است. با توجه به مزیت‌ها و کارایی مناسب این سیستم در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، در این تحقیق از سه راکتور ۵ لیتری جهت بررسی و مطالعه راندمان حذف سدیم دودسیل بنزن سولفونات (SDBS)، سدیم دودسیل سولفات (SDS) و ستیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) در زمان‌های ماند متفاوت استفاده شد. طبق نتایج بهترین راندمان در شرایط باردهی ناپیوسته با میزان پرشدگی ۵۰ درصد حجمی راکتور از آکنه (سنگدانه های لیکا) به میزان ۹۰، ۹۵ و ۹۳ درصد به ترتیب برای SDBS (در COD =۹۰۰ mg/l)، SDS (در COD =۱۲۰۰ mg/l) و CTAB (در COD =۱۲۰۰ mg/l) به دست آمد.

در بررسی نقش پرشدگی راکتورها، با کاهش میزان آکنه‌ها به ۳۰ درصد، راندمان حذف برای SDBS و CTAB، ۲ درصد بهبود داشت ولی در مورد SDS تفاوتی در راندمان حذف مشاهده نشد. در بررسی تاثیر افزایش دما بر راندمان حذف راکتورها، نتایج حاکی از آن بود که افزایش دما تاثیر معنی‌داری بر راندمان حذف ندارد. در پایان این تحقیق، مدل‌سازی بیولوژیکی راکتورها توسط سه مدل استور-کینکانون، حذف مرتبه اول و گراو، انجام گرفت که بیانگر تبعیت هر سه راکتور از دو مدل استور-کینکانون و گراو بود.

کلمات کلیدی:

ترکیبات دترجنتی، COD، لیکا، مدل‌سازی، پیوسته، ناپیوسته، دما

عنوان	فهرست مطالب	شماره صفحه

پیشگفتار ۱

فصل اول: کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- روش‌های تصفیه فاضلاب ۳

۱-۳- تصفیه بیولوژیکی ۴

۱-۳-۱- طبقه‌بندی فرایندهای بیولوژیکی از لحاظ نیاز به اکسیژن ۵

۱-۳-۲- طبقه‌بندی فرایندهای بیولوژیکی بر اساس محیط (بستر رشد) ۵

۱-۳-۲-۱- فرایندهای رشد معلق ۵

۱-۳-۲-۲- فرایندهای بیولوژیکی رشد چسبیده ۵

۱-۴- راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک ۷

۱-۵- توصیف راکتور MBBR و حامل‌های بیوفیلم ۷

۱-۶- آکنه‌های مورد استفاده در MBBR ۸

۱-۶-۱- دیاتومه خاکی به صورت پودر ۹

۱-۶-۲- آکنه های kaldnes ۹

۱-۶-۳- آکنه‌های FCOLOR-RMP ۱۰

۱-۶-۴- آکنه لیکا ۱۱

۱-۷- مقایسه سیستم‌های MBBR با سایر سیستم‌های تصفیه و مزایا و معایب آن ۱۲

۱-۸- مدل‌سازی واکنش بیولوژیکی راکتورها ۱۳

۱-۸-۱- مدل استور-کینکانون ۱۳

۱-۸-۲- مدل حذف مرتبه اول ۱۴

۱-۸-۳- مدل حذف چندمتغیره درجه دوم گراو ۱۵

فصل دوم: معرفی ترکیبات دترجنتی ۱۶

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- تاریخچه مواد شوینده سنتزی در ایران ۱۷

۲-۳- مواد آلی سنتزی (SOCs) – دترجنت‌ها ۱۹

۲-۴- تقسیم‌بندی انواع دترجنت‌ها ۲۰

۲-۵- سورفکتانت‌ها و پدیده کشش سطحی ۲۱

۲-۶- تاثیر دترجنت‌ها بر محیط زیست ۲۱

۲-۶-۱- تاثیر بر کیفیت آب‌های سطحی ۲۱

۲-۶-۲- پدیده یوتریفیکاسیون ۲۲

۲-۶-۳- تاثیر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی ۲۴

۲-۶-۴- تاثیر بر سایر آلاینده‌ها در محیط زیست ۲۴

۲-۷- تاثیر بر فرایندهای تصفیه ۲۵

۲-۸- الکیل بنزن سولفونات خطی ۲۶

۲-۹- سدیم دودسیل سولفات (SDS) ۲۷
۲-۱۰- ستیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) ۲۸

فصل سوم: مطالعات انجام شده ۳۰
۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- کاربرد راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک ۳۱
۳-۳- تصفیه فاضلاب‌های حاوی دترجنت ۳۵
۳-۳-۱- سدیم دودسیل بنزن سولفونات ۳۶
۳-۳-۱-۱- تجزیه بیولوژیکی ۳۶
۳-۳-۱-۲- جذب سطحی ۳۹
۳-۳-۱-۳- روش انعقاد الکتروشیمیایی ۴۰
۳-۳-۱-۴- روش ازن زنی ۴۱
۳-۳-۱-۵- روش اکسیداسیون هوای مرطوب (WAO) ۴۱
۳-۳-۲- سدیم دودسیل سولفات ۴۲
۳-۳-۲-۱- تصفیه بیولوژیکی ۴۲
۳-۳-۲-۲- روش جذب سطحی ۴۳
۳-۳-۲-۳- روش‌های اکسیداسیون پیشرفته ۴۳
۳-۳-۳- ستیل تری متیل آمونیوم برماید ۴۵

فصل چهارم: روش تحقیق ۴۷
۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۲- مشخصات پایلوت ۴۸
۴-۲-۱- مخزن اصلی ۴۸
۴-۲-۲- آکنه‌ها ۵۰
۴-۲-۳- سیستم هوادهی ۵۰
۴-۳- روش تحقیق ۵۰
۴-۳-۱- انتخاب مواد ۵۰
۴-۳-۲- راه‌اندازی راکتورها ۵۱
۴-۳-۳- تنظیم دوره‌ای اکسیژن محلول و pH ۵۱
۴-۳-۴- تهیه نمودار استاندارد ۵۱
۴-۳-۵- محاسبه THOD و COD معادل واحد جرمی سه ترکیب آلاینده ۵۲
۴-۳-۶- سازگار نمودن میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب سنتزی ۵۲
۴-۳-۷- افزودن آکنه به راکتورها و تشکیل لایه بیوفیلم بر سطح آنها ۵۳
۴-۳-۸- بررسی راندمان تصفیه هر یک از آلاینده‌ها در درصد پرشدگی‌های مختلف ۵۴
۴-۳-۹- بررسی راندمان تصفیه هر یک از آلاینده‌ها در شرایط پیوسته ۵۴
۴-۳-۱۰- اثر افزایش درجه حرارت بر فرایند تصفیه ۵۶
۴-۳-۱۱- آزمایش NMR ۵۶
۴-۳-۱۲- تعیین رابطه کف و غلظت ۵۶
۴-۴- پارامترها ۵۶

۴-۵- وسایل و تجهیزات مورد استفاده ۵۷
۴-۶- ترکیبات شیمیایی مورد استفاده ۵۸

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۰
۵-۱- مقدمه ۶۱
۵-۲- بررسی راندمان حذف در مرحله سازگاری میکروارگانیسم‌ها ۶۱
۵-۳- بررسی اثر زمان ماند بر عملکرد راکتورها ۶۵
۵-۳-۱- راکتور حاوی SDBS ۶۶
۵-۳-۲- راکتور حاوی SDS ۶۹
۵-۳-۳- راکتور حاوی ستیل تری متیل آمونیوم برماید ۷۱
۵-۴- مقایسه اثر بار ورودی بر راندمان حذف ۷۳
۵-۵- بررسی تأثیر درصدهای مختلف پرشدگی راکتورها با آکنه ۷۴
۵-۵-۱- راکتور حاوی سدیم دودسیل بنزن سولفونات ۷۴
۵-۵-۲- راکتور حاوی سدیم دودسیل سولفات ۷۶
۵-۵-۳- راکتور ستیل تری متیل آمونیوم برماید ۷۷
۵-۶- مقایسه راندمان حذف سه ترکیب دترجنتی در راکتورها ۷۸
۵-۷- تاثیر افزایش دما بر راندمان حذف راکتورها ۸۱
۵-۸- مقایسه راندمان حذف راکتورها در شرایط بارگذاری پیوسته ۸۲
۵-۹- بررسی حذف آلاینده ها با استفاده از NMR ۸۳
۵-۱۰- تعیین رابطه غلظت و ارتفاع کف ۸۷
۵-۱۱- بررسی نحوه تابعیت از مدل‌های بیولوژیکی ۸۹
۵-۱۱-۱- مدل استور-کینکانون ۸۹
۵-۱۱-۲- مدل حذف مرتبه اول ۹۱
۵-۱۱-۳- مدل گراو ۹۱

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات ۹۴
۶-۱- نتایج ۹۵
۶-۲- پیشنهادات ۹۶

مراجع ۹۷

واژه‌نامه ۱۰۳

عنوان	فهرست اشکال	شماره صفحه

شکل ۱-۱- تصویر شماتیک راکتور MBBR در شرایط (الف) هوازی (ب) آنوکسیک و بی‌هوازی ۸
شکل ۱-۲- آکنه‌های دیاتومه خاکی ۹
شکل ۱-۳- آکنه‌های Kaldnes ۱۰
شکل ۱-۴- آکنه‌های FCOLOR-RMP ۱۰
شکل ۱-۵- نمایی از سنگدانه‌های لیکا ۱۱
شکل ۲-۱- میزان تولید سرانه پودر طی سال‌های گذشته ۱۸
شکل ۲-۲- میزان تولید، واردات و ارزش تولید [LAS] ۱۹
شکل ۲-۳- آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS) ۲۶
شکل ۲-۴- ساختار مولکولی SDS ۲۷
شکل ۲-۵- ساختار مولکولی CTAB ۲۸
شکل ۳-۱- مراحل مختلف تجزیه زیستی SDBS ۳۷
شکل ۴-۱- طرح شماتیک راکتورهای مورد استفاده ۴۹
شکل ۴-۲- راکتورهای راه‌اندازی شده ۴۹
شکل ۴-۳- تشکیل لایه بیوفیلم بر سطح آکنه‌ها ۵۴
شکل ۴-۴- روند افزایش بار برای راکتور حاوی SDBS ۵۵
شکل ۴-۵- روند افزایش بار برای راکتورهای حاوی SDS ۵۵
شکل ۴-۶- روند افزایش بار برای راکتور حاوی CTAB ۵۵
شکل ۴-۷- تصویر میکروسکوپی میکروارگانیسم‌های فاضلاب ۵۷
شکل ۵-۱- راندمان حذف COD در مرحله سازگاری با نسبت آلاینده به کل برابر با ۸۰ درصد ۶۲
شکل ۵-۲- راندمان حذف COD درمرحله سازگاری با COD معادل ۵۰mg/L آلاینده ۶۳
شکل ۵-۳- راندمان حذف COD درمرحله سازگاری با COD معادل ۲۰۰mg/L آلاینده بدون وجود آکنه ۶۴
شکل ۵-۴- راندمان حذف در مرحله سازگاری با COD برابر ۴۰۰mg/L و با ۵۰ درصد پر شدگی آکنه ۶۵
شکل ۵-۵- راندمان حذف SDBS در زمان‌های ماند مختلف با درصد پرشدگی ۵۰ درصد ۶۶
شکل ۵-۶- راندمان حذف SDS در زمان‌های ماند مختلف با درصد پرشدگی ۵۰ درصد ۶۹
شکل ۵-۷- راندمان حذف CTAB در زمان‌های ماند مختلف با درصد پرشدگی ۵۰ درصد ۷۱
شکل ۵-۸- راندمان حذف SDBS در زمان‌های ماند مختلف با درصد حجمی پرشدگی ۵۰ و ۳۰ درصد ۷۵
شکل ۵-۹- راندمان حذف SDS در زمان‌های ماند مختلف با درصد حجمی پرشدگی ۵۰ و ۳۰ درصد ۷۶
شکل ۵-۱۰- راندمان حذف CTAB در زمان‌های ماند مختلف با درصد پرشدگی ۵۰ و ۳۰ درصد ۷۷
شکل ۵-۱۱- راندمان حذف ترکیبات دترجنتی در زمان ماند ۸ ساعت و پرشدگی ۵۰ درصد آکنه ۷۸
شکل ۵-۱۲- راندمان حذف ترکیبات دترجنتی در زمان ماند ۷۲ ساعت و پرشدگی ۵۰ درصد آکنه ۷۹
شکل ۵-۱۳- راندمان حذف سه ترکیب در حالت بهینه عملکرد راکتورها و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد ۸۱
شکل ۵-۱۴- راندمان حذف ترکیبات دترجنتی در باردهی پیوسته ۸۲
شکل ۵-۱۵- نتایج آزمایش NMR بر روی نمونه ورودی و خروجی از راکتور حاوی SDBS ۸۴
شکل ۵-۱۶- نتایج آزمایش NMR بر روی نمونه ورودی و خروجی از راکتور حاوی SDS ۸۵
شکل ۵-۱۷- نتایج آزمایش NMR بر روی نمونه ورودی و خروجی از راکتور حاوی CTAB ۸۶
شکل ۵-۱۸- رابطه بین ارتفاع کف و غلظت در زمان‌های مختلف بعد از افزودن SDBS ۸۷

شکل ۵-۱۹- رابطه بین ارتفاع کف و غلظت در زمان‌های مختلف بعد از افزودن SDS ۸۸
شکل ۵-۲۰- رابطه بین ارتفاع کف و غلظت در زمان‌های مختلف بعد از افزودن CTAB ۸۸
شکل ۵-۲۱- مدل Stover-Kincannon در راکتور حاوی SDBS ۸۹
شکل ۵-۲۲- مدل Stover-Kincannon در راکتور حاوی SDS ۹۰
شکل ۵-۲۳- مدل Stover-Kincannon در راکتور حاوی CTAB ۹۰
شکل ۵-۲۴- مدل Grau در راکتور حاوی SDBS ۹۱
شکل ۵-۲۵- مدل Grau در راکتور حاوی SDS ۹۲
شکل ۵-۲۶- مدل Grau در راکتور حاوی CTAB ۹۲

عنوان	فهرست جداول	شماره صفحه

جدول ۱-۱- خصوصیات آکنه‌های Kaldnes ۱۰
جدول ۱-۲- خصوصیات آکنه‌های FCOLOR-RMP ۱۱
جدول ۱-۲- خصوصیات آکنه‌های لیکا ۱۱
جدول ۱-۳- مقایسه اقتصادی سیستم MBBR با سایر سیستم‌های تصفیه متداول ۱۲
جدول ۱-۴- مقایسه فنی سیستم MBBR با سایر سیستم‌های تصفیه متداول ۱۳
جدول ۲-۱- میزان تولید جهانی و کشورهای عمده تولیدکننده پودر در مقایسه با کشور ایران (هزار تن) ۱۸
جدول ۲-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی SDBS ۲۷
جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی SDS ۲۸
جدول ۲-۴- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی CTAB ۲۹
جدول ۴-۱- مشخصات راکتورهای مورد استفاده در تحقیق ۴۹
جدول ۴-۲- مقادیر THOD و COD برای هر ترکیب ۵۲
جدول ۵-۱- نتایج راندمان حذف در زمان‌های ماند ۸ و ۷۲ ساعت ۸۰
جدول ۵-۲- مشخصات مدل استور-کینکانون برای هر یک از راکتورها ۹۱
جدول ۵-۳- ضریب همبستگی راکتورها به تفکیک برای سه مدل مورد استفاده ۹۳

پیش‌گفتار

تولید و مصرف گسترده دترجنت‌ها در مواد شوینده و پاک‌کننده در سراسر دنیا و به تبع آن در ایران، تخلیه فاضلاب حاوی این ترکیبات بدون درنظر گفتن استانداردهای زیست محیطی و کافی نبودن توان خودپالایی منابع آب جهت تجزیه این ترکیبات به دلیل حجم وسیع وارد شده به این منابع، اثرات مخربی را بر پیکره محیط‌زیست وارد نموده است. تا به حال روش‌های گوناگونی جهت تصفیه این آلاینده‌ها بکار گرفته شده است اما بررسی روش‌های جدید با هدف رسیدن به راندمان مناسب‌تر و هزینه کمتر نیز لازم می‌باشد.

استفاده از راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR[1]) روش جدیدی برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی است که قابلیت بالای آن در این زمینه به اثبات رسیده است. به همین دلیل در این تحقیق جهت تصفیه پساب حاوی ترکیبات دترجنتی شامل سدیم دودسیل بنزن سولفونات، سدیم دودسیل سولفات و ستیل تری متیل آمونیوم برماید از سیستم مذکور استفاده شده است.

در فصل اول، به روش‌های تصفیه فاضلاب اشاره و در رابطه فرایندهای بیولوژیکی رشد معلق و چسبیده توضیحات بیشتری آمده و در ادامه نیز درباره MBBR، اجزای تشکیل‌دهنده و مقایسه آن با سایر فرایندهای تصفیه و نیز مدل‌های بیولوژیکی موجود مطالب مربوطه ارائه شده است.

در فصل دوم ترکیبات دترجنتی مورد استفاده در این تحقیق (سدیم دودسیل بنزن سولفونات، سدیم دودسیل سولفات و ستیل تری متیل آمونیوم برماید) معرفی شده و در فصل سوم مطالبی در رابطه با مطالعات انجام گرفته در تصفیه فاضلاب توسط سیستم MBBR و روش‌های به کار رفته برای تصفیه سه ترکیب مورد استفاده در این تحقیق، آمده است.

فصل چهارم اختصاص به روش تحقیق، مواد و تجهیزات مورد استفاده دارد و در فصل پنجم نیز نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات و تجزیه و تحلیل آنها ارائه شده است. در نهایت فصل ششم نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات برای تحقیقات آتی آمده است.

1- Moving Bed Biofilm Reactor

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

صنعتی شدن و پیشرفت تکنولوژی در جوامع امروزی علاوه بر تحولات مثبت و فوائد بیشماری که برای بشر به ارمغان آورده، مشکلاتی نیز گریبان‌گیر او نموده است. ورود آلاینده‌های مختلف از طریق صنایع و مواد مصرفی انسان به شکل فاضلاب به محیط زیست از جمله بارزترین این مشکلات می‌باشد. از اوایل قرن بیستم با پیشرفت تکنولوژی، مواد آلی و معدنی به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته یا تولید شده‌اند که برگشت مازاد آنها به شکل فاضلاب به محیط، معضل آلودگی محیط زیست را به‌وجود آورده است.

یکی از این آلاینده‌ها مواد دترجنتی[1] هستند که به وفور در صنایع مختلف کاربرد دارند. با ساخت دترجنت‌های مصنوعی[2] از اوایل قرن نوزدهم و گسترده شدن کاربرد آنها در اواسط قرن بیستم، دیگر فرآیندهای تصفیه طبیعی قادر به از بین بردن کامل اثرات باقیمانده از آنها در محیط زیست نبودند. به همین دلیل مشکل تصفیه پساب حاوی این آلاینده‌ها نیز بروز پیدا کرد و توجه مطالعات زیادی را نیز به خود جلب نمود. روش‌های زیادی برای حذف این آلاینده‌ها تا به حال ارائه و اجرا گردیده‌اند. در این تحقیق برای رفع این مشکل از روش تصفیه بیولوژیکی استفاده شده است که در این فصل به‌طور خلاصه بررسی می‌شود.

۱-۲- روش‌های تصفیه فاضلاب

شاید تقسیم‌بندی روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب به دلیل وجود تنوع بسیار زیاد فاضلاب‌ها، به سادگی امکان‌پذیر نباشد. ولی بر اساس توافق نظر اکثر پژوهشگران آب و فاضلاب، تقسیم‌بندی می‌تواند به صورت‌های مختلفی انجام شود. به عنوان مثال می‌توان کل روش‌های موجود را به سه گروه

1 - Detergents
2 -Synthetic Detergents

زیر تقسیم نمود:

- روش‌های فیزیکی مانند اختلاط، شناورسازی، آشغال‌گیری، دانه‌گیری، یکنواخت‌سازی، جذب فیزیکی بر سطح جامدات و ته نشینی ساده
- روش‌های شیمیایی مانند رسوب‌دهی، اکسیداسیون شیمیایی، تبادل یونی، خنثی‌سازی، انعقاد و لخته‌سازی، نرم کردن و جذب شیمیایی
- روش‌های بیولوژیکی مانند روش‌های مختلف هوازی[1]، بی‌هوازی[2]، آنوکسیک[3] و ترکیبی

می‌توان به‌طورکلی تعریف‌های زیر را برای هر کدام از سه گروه ذکر شده عنوان کرد:

- تصفیه فیزیکی روش تصفیه‌ای است که در آن کاربرد نیروی فیزیکی غالب است.
- تصفیه شیمیایی روش تصفیه‌ای است که در آن جداسازی یا تبدیل آلاینده‌ها بر اثر افزودن مواد شیمیایی یا در نتیجه واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شود.
- تصفیه بیولوژیکی روش تصفیه‌ای است که در آن جداسازی آلاینده‌ها از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات زنده انجام می‌شود [۴۳].

با توجه به موارد ذکر شده و گستردگی موضوعات هر کدام از این سه گروه تصفیه و نیز موضوع تحقیق، در ادامه مطالب بیشتری در رابطه با روش‌های بیولوژیکی ارائه شده است.

۱-۳- تصفیه بیولوژیکی

این روش بر اساس سوخت و ساز میکروبی استوار است. در این روش تصفیه، میکروارگانیسم‌های موجود در پساب، مواد مغذی و آلی فاضلاب را مصرف کرده و با تولید لخته‌های بیولوژیکی سنگین ته‌نشین می‌شوند.

---

1 - Aerobic
2 - Anaerobic
3 - Anoxic

فرایندهای بیولوژیکی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف مانند اکسیژن مورد نیاز و نوع محیط و بستر رشد میکروارگانیسم‌ها، طبقه‌بندی کرد.

۱-۳-۱- طبقه‌بندی فرایندهای بیولوژیکی از لحاظ نیاز به اکسیژن

فرایندهای بیولوژیکی از لحاظ نیاز به اکسیژن به ۴ گروه فرایندهای هوازی، بی‌هوازی، آنوکسیک و ترکیبی تقسیم می‌شوند. در فرایندهای هوازی و بی‌هوازی، فعالیت بیولوژیکی به ترتیب در حضور و غیاب اکسیژن انجام می‌گیرد. در فرایند آنوکسیک فعالیت بیولوژیکی در غیاب اکسیژن مولکولی و در نهایت فرایندهای ترکیبی، ترکیبی از سه گروه فوق می‌باشد.

۱-۳-۲- طبقه‌بندی فرایندهای بیولوژیکی بر اساس محیط (بستر رشد)

۱-۳-۲-۱- فرایندهای رشد معلق

در این فرایندها میکروارگانیسم‌های مسئول تصفیه با یکی از روش‌های اختلاط به صورت معلق درون راکتور نگه داشته می‌شوند. فرایندهای رشد معلق شامل لجن فعال، برکه‌های اکسیداسیون و سیستم‌های تثبت لجن می‌باشد. راکتورهای کشت میکروبی معلق از سه نوع اصلی تشکیل یافته‌اند [۳۳]:

- اختلاط کامل بدون جریان برگشتی
- اختلاط کامل با جریان لجن برگشتی
- جریان لوله‌ای با لجن برگشتی

۱-۳-۲-۲- فرایندهای بیولوژیکی رشد چسبیده

در یک فرآیند بیولوژیکی با رشد چسبیده، میکروارگانیسم‌ها به یک ماده جامد، جایی که به آنها

غلظت نسبتاً بالایی از مواد آلی می‌رسد، چسبیده و تشکیل یک لایه زیستی به نام بیـوفیلم مـی‌دهنـد. مواد نگهدارنده یا بستر شامل سنگ، شن، ماسه، ذرات کربن فعال و گستره وسیعی از مواد پلاستیکی و سنتزی است. تصفیه فاضلاب از طریق میکروارگانیسم‌هایی که در لایه بیـوفیلم قـرار گرفتـه‌انـد، انجـام می‌شود. این سیستم‌ها می‌توانند در شرایط هوازی یا بی‌هوازی عمل کنند.

دو فاکتور مهمی که روی رشد میکروبی بر سطح بستر تاثیر می‌گذارند، دبی جریـان و انـدازه و شکل ذرات می‌باشند. ضخامت بیوفیلم ایجاد شده بر روی بستر نیز بین ۱۰۰ میکرومتر تا ۱۰ میلی‌متـر است. یک لایه مایع بی‌حرکت، بیوفیلم را از لایه حجمی مایع[1] که از روی سطح بیوفیلم جریان دارد یـا در خارج از فیلم ثابت است، جدا می‌کند.

مواد غذایی و اکسیژن از میان لایه مایع ثابت به بیوفیلم می‌رسند و محصولات حاصل از تجزیه بیولوژیکی از بیوفیلم وارد لایه حجمی شده و از آن خارج می‌گردند. غلظت مواد غذایی در سطح بیوفیلم با عمق بیوفیلم، به دلیل مصرف مواد غذایی و پراکندگی آن در داخل لایه‌های بیـوفیلم، نـسبت عکـس دارد که به آن لایه دیفیوژن[2] می‌گویند. غلظت اکسیژن محلول در داخل فیلم کمتر از لایه حجمی مایع است و با عمق بیوفیلم و سرعت مصرف مواد غذایی تغییر می‌کند.

بستر مورد استفاده در سیستم‌های رشد چسبیده می‌تواند به صورت معلق (بستر شناور[3]) یا بـه صورت غیر شناور (بستر ثابت[4]) انتخاب شود. راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR[5]) نوع دیگیری از سیستم بیولوژیکی با رشد میکروبی چسبیده و با بستر شناور می‌باشد که در اواخر قرن گذشته معرفی شده و تا به حال در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌کار گرفته شده است. با توجه به موضوع تحقیق، در ادامه به‌طور خلاصه توضیحاتی در مورد این نوع سیستم ارائه می‌شود.

---

1 - Bulk Layer
2 - Diffusion Layer
3 - Moving Bed
4 - Fixed Bed
5 - Moving Bed Biofilm Reactor

۱-۴- راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک

استفاده از راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک اولین بار در اواخر دهه ۱۹۸۰ و در کشور نروژ مورد توجه قرار گرفت. پس از آن با توجه به مزیت‌های این سیستم، استفاده از آن در تمام اروپا و آمریکا گسترش پیدا کرده و به‌عنوان سیستمی مناسب برای تصفیه بیولوژیکی آب وتصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی معرفی گردید. هم‌اکنون صدها تصفیه‌خانه برای تصفیه آب حوضچه‌های پرورش ماهی و بیش از ۴۰۰ تصفیه خانه فاضلاب با این فرایند در حال فعالیت هستند [۲۹،۵۴].

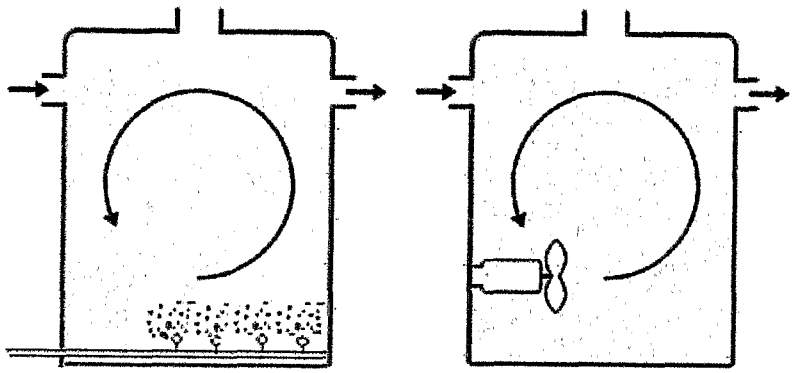
۱-۵- توصیف راکتور MBBR و حامل‌های بیوفیلم

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، سیستم MBBR، سیستمی بیولوژیکی با رشد چسبیده و از نوع بستر شناور می‌باشد. با توجه به اساس کار سیستم‌های رشد چسبیده که وجود بستر مناسب جهت فراهم نمودن محیط رشد برای میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، مشخصات بستر مورد استفاده در این سیستم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از بسترهای با مساحت سطح بالاتر به دلیل فراهم نمودن محیطی مناسب‌تر برای رشد میکروارگانیسم‌ها، می‌تواند منجر به کارایی و بازده بالا در چنین سیستم‌هایی شود. در سیستم MBBR برای این امر از اجزای آکنه[1] که دارای سطح موثر بالایی باشند، استفاده می‌شود.

سیستم MBBR می‌تواند هوازی یا بی‌هوازی و یا آنوکسیک باشد ولی در هر صورت باید توسط نیرویی شناور بودنّ بستر که همان آکنه‌ها هستند، حفظ شود. در سیستم‌های هوازی، هوادهی به سیستم، شناور بودن آکنه‌ها را تضمین می‌کند اما در سیستم‌های بی‌هوازی یا آنوکسیک این وظیفه بر عهده میکسر با پره‌های چرخان می‌باشد (شکل ۱-۱). جهت حفظ آکنه‌ها در داخل سیستم و برای جلوگیری از خروج آنها، نصب توری‌های مشبک در خروجی این سیستم‌ها ضروری است [۵۴].

---

1 - Carrier



شکل ۱-۱- تصویر شماتیک راکتور MBBR در شرایط (الف) هوازی (ب) آنوکسیک و بی‌هوازی

مشابه دیگر فرایندهای بیوفیلمی، نفوذ مولکولی (دیفیوژن) ترکیبات به داخل و خارج بیوفیلم نقش کلیدی را در فرایند ایفا می‌کند. از این رو، ضخامت بیوفیلم موثر (عمقی از بیوفیلم که سوبسترا به آن نفوذ می‌کند) اهمیت پیدا می‌کند. از آنجا که عمق نفوذ کامل سوبسترا معمولاً کمتر از ۱۰۰ میکرومتر است، بیوفیلم ایده‌آل در فرایند بستر متحرک نازک بوده و به طور یکنواخت در سطح حامل توزیع شده است. برای دستیابی به این مهم، آشفتگی[1] در راکتور از اهمیت فوق‌العاده‌ای هم از جهت انتقال سوبسترا به بیوفیلم و هم برای حفظ ضخامت کم بیوفیلم با ایجاد نیروی برشی وارد بر آن برخوردار است.

۱-۶- آکنه‌های مورد استفاده در MBBR

انواع مختلف آکنه‌ها در سیستم MBBR استفاده می‌شوند. مهم‌ترین خصوصیت این آکنه‌ها دارا بودن سطح مؤثر زیاد می‌باشد تا محیط مناسبی را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم آورند. در ادامه تعدادی از آکنه‌ها که در سیستم MBBR مورد استفاده قرار می‌گیرند شرح داده شده است.

1 - Turbulence