کتابخانه مرکزی
دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
شماره ثبت: ۱۵۲۸۵
تاریخ ثبت: ۱۳۹۴/۳/۱۰

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی استان اصفهان
دانشکده بهداشت
گروه مهندسی بهداشت محیط
(با همکاری مرکز تحقیقات محیط زیست)

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه دکتری تخصصی (Ph.D) در رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان

مطالعه راندمان بیورآکتور غشایی مستغرق بی‌هوازی (SAnMBR) در تصفیه فاضلاب سنتتیک صنعتی حاوی ۴-کلروفنل

اساتید راهنما

دکتر محمد مهدی امین

دکتر بیژن بینا

اساتید مشاور

دکتر یعقوب حاجی‌زاده

دکتر افشین ابراهیمی

نگارش

رضا قنبری

دی‌ماه ۱۳۹۳

چکیده فارسی

مقدمه: ویژگی شاخص در پروسه‌های مختلف بی‌هوازی، امکان نگهداری بیومس به دلیل نرخ رشد پایین میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی است. تشکیل گرانول و بیوفیلم متداول‌ترین روش‌های حفظ بیومس بوده که به سیستم‌های بی‌هوازی اجازه فعالیت در غلظت‌های بالا را می‌دهند. بیوراکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR) به‌عنوان یک پروسه تصفیه بیولوژیکی تحت شرایط بی‌هوازی که از یک غشا برای جداسازی کامل فاز مایع-جامد استفاده می‌نماید، توانایی نگهداشت تمام بیومس در درون بیوراکتور را دارا هست. از طرفی امروزه وجود ترکیبات مقاوم و سمی نظیر کلروفنل‌ها در محیط زیست مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی فراوانی را موجب شده است. مقاومت کلروفنل‌ها ناشی از باند هالوژن-کربن است که به‌سختی شکسته می‌شود و پایداری ساختار آروماتیکی آنها باعث تجمع در طبیعت می‌شود. به‌هرحال برخی از باکتری‌ها نشان داده‌اند که در صورت سازگاری توانایی تجزیه اکثر کلروفنل‌ها را دارند. در این زمینه ۴-کلروفنل به دلیل مصارف صنعتی گسترده و حلالیت بالا در آب از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا در این مطالعه بیوراکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) برای تصفیه فاضلاب صنعتی سنتتیک حاوی مواد هالوژنه سمی مورد بهره‌برداری قرار گرفت و کارایی آن گزارش گردید.

مواد و روش کار: حجم کلی بیوراکتور برابر با ۸/۷۳۳ لیتر و با حجم کاری ۶/۷۵ تا ۷ لیتر از جنس پلکسی‌گلاس و با حجم ذخیره بیوگاز ۱/۷۳۳ لیتری ساخته شده بود و در داخل حمام آب گرم قرار گرفته بود. این بیوراکتور به مدت ۱۶۱ روز در دمای مزوفیل ۱ ± ۳۴/۵ بهره‌برداری گردید. جاگذاری ماژول غشا در این بیوراکتور به شکل مستغرق بود که بدین منظور از غشاهای الیاف توخالی از جنس پلی‌پروپیلن ساخت شرکت Hydro1 کشور انگلستان با سطحی برابر با ۰/۱ مترمربع استفاده گردید. سیکل بهره‌برداری از راکتور به دو شکل مکش و شستشوی‌معکوس بود. بذردهی بیوراکتور با لجن هاضم بی‌هوازی تصفیه‌خانه شمال انجام گرفت. غلظت COD فاضلاب صنعتی سنتتیک ورودی بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود که از اسیدهای چرب فرار (VFA) و ۴-کلروفنل تهیه شده بود. غلظت‌های مورد استفاده ۴-کلروفنل به ترتیب برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. بار آلی وارده به سیستم در محدوده بین ۰/۶۷۱ تا ۲/۹۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب در روز بود که از مقدار کم شروع و تا انتهای بهره‌برداری به شکل پله‌ای در چند مقطع افزایش یافت. زمان ماند هیدرولیکی در دو گستره ۲ روز و ۱/۳ روز مورد استفاده قرار گرفت. میانگین بازچرخش بیوگاز ۴/۵۶ لیتر بر دقیقه بود. طی این مطالعه SRT=infinite مورد استفاده قرار گرفت. همزمان با شروع بهره‌برداری پارامترهای مختلف نظیر دما، فشار عبور از غشا (TMP)، اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD)، pH، کل جامدات معلق، هدایت الکتریکی و کدورت به‌صورت منظم اندازه‌گیری گردید. برای مشاهده تفاوت بین بیومس چسبیده به غشا و بیومس معلق مایع مخلوط از آنالیزهای مواد پلیمری خارج‌سلولی (EPS)، تشخیص عناصر CHNS-O و طیف‌سنجی FTIR استفاده گردید. همچنین از تصاویر SEM برای مقایسه سطح غشاهای نو و غشاهای دارای لایه کیک بیوفیلم (جرم‌گرفتگی) استفاده گردید.

نتایج: میانگین حذف COD حاصله در این تحقیق برابر با ۹۰/۵۹٪ بود. بیشترین و کمترین میزان حذف به ترتیب برابر با ۹۹/۶۲٪ و ۷۷/۰۷٪ بود. میانگین COD پساب حاصله برابر با ۲۸۵/۹ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. . با افزایش غلظت ۴-کلروفنل از میزان حذف ۴-کلروفنل و همچنین COD کاسته شده است، برای مثال با افزایش غلظت ۴-

کلروفنل کارایی بیوراکتور از ۹۸/۴٪ به ۷۷/۰۶٪ در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل کاهش یافت. میانگین حذف ۴-کلروفنل برابر با ۵۲/۴۶٪ بود که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب برابر با ۲۴/۷ و ۹۵/۲۴ درصد گزارش می‌شود. میانگین شار عبوری حاصله برابر با ۸/۴۷ لیتر بر مترمربع در ساعت بود. میزان بهبود EC در این مطالعه در محدوده ۵ درصد بود. میانگین جامدات معلق پساب حاصله برابر با ۳۱/۸ میلی‌گرم بر لیتر بود که بیشتر داده‌ها بین ۱۴ تا ۴۸ میلی‌گرم بر لیتر بود. میانگین حذف جامدات معلق برابر با ۷۷/۱۹ درصد بود که بیشتر مقادیر حذف بین ۷۰ تا ۹۰ درصد بود و بیشترین حذف حاصله برابر با ۹۹/۴۷٪ بود. مقدار مواد پلیمری خارج‌سلولی بیومس چسبیده ۲/۶۴ برابر آن در بیومس معلق است. در هر دو بیومس مقادیر پروتئین‌ها در مقایسه با پلی‌ساکاریدها بالاتر بود (در بیومس چسبیده ۱۷/۵۴ برابر و در بیومس معلق ۲۵ برابر). علاوه بر آنالیز تعیین مقادیر مواد پلیمری خارج‌سلولی، آنالیزهای تعیین عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن، گوگرد و اکسیژن (CHNS-O) و آنالیز FTIR نیز تفاوت بین بیومس چسبیده و معلق در طی این تحقیق را مشخص کرد. کدورت حاصله از بیوراکتور پایین بوده و معمولاً کمتر از NTU ۸ بود. طی این تحقیق افزودن پروسه اسیدشویی سبب افزایش نفوذپذیری و کارایی ماژول غشا گشته و TMP را کاهش داد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که بیوراکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) با ماژول الیاف‌های توخالی کارایی خوبی در حذف بار آلی فاضلاب‌های صنعتی حاوی مواد هالوژنه سمی دارا است. این کارایی می‌تواند به دلیل حفظ تمامی بیومس در داخل بیوراکتور اتفاق افتاده باشد که شوک‌های بار آلی و سمی نمی‌توانند بیومس آداپته شده را از بیوراکتور خارج سازد. همچنین بیومس چسبیده نیز در حذف COD و ۴-کلروفنل مؤثر عمل کرده است. آنالیزهای مربوطه هم ثابت کرد که بین بیومس چسبیده و معلق تفاوت وجود دارد. چون پساب حاصله از بیوراکتور با استفاده از غشایی با اندازه منافذ میکرو صاف می‌شود، پساب حاصله دارای غلظت جامدات معلق، COD و مقدار کدورت بسیار پایین است. درعین‌حال ثبات در بهره‌برداری و کارایی اطمینان‌بخش این بیوراکتورها در مقایسه با سایر گزینه‌های مطرح بی‌هوازی نوید استفاده روزافزون آنها را در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی می‌دهد. گرفتگی غشا کماکان پاشنه آشیل این بیوراکتور محسوب می‌شود که به تحقیقات گسترده برای بهبود آن نیاز است.

کلمات کلیدی: بیوراکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق، تصفیه بی‌هوازی فاضلاب، فاضلاب صنعتی، ۴-کلروفنل

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده فارسی	أ
فهرست مطالب	ج
فهرست جداول	ز
فهرست اشکال	ح
فهرست اختصارها	ل
فصل اول: کلیات	
مقدمه	۱
۱-۱ تصفیه بی‌هوازی	۲
۱-۱-۱ مزایای تصفیه بی‌هوازی	۳
۱-۱-۲ معایب تصفیه بی‌هوازی	۳
۱-۱-۳ گزینه‌های مطرح در تصفیه بی‌هوازی	۴
۱-۲ بیوراکتور غشایی (MBR)	۵
۱-۲-۱ چیدمان‌های مورد استفاده در طراحی بیوراکتور غشایی (MBR)	۶
۱-۲-۲ برخی از مزایای بیوراکتور غشایی (MBR)	۸
۱-۳ بیوراکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR)	۹
۱-۳-۱ تاریخچه توسعه بیوراکتور غشایی بی هوازی (AnMBR)	۱۰
۱-۳-۲ مزایای بیوراکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR)	۱۲
۱-۳-۳ معایب بیوراکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR)	۱۳
۱-۴ اهمیت حذف آلاینده‌های شیمیایی موجود در فاضلاب‌ها	۱۵
۱-۴-۱ خصوصیات فنل	۱۶
۱-۴-۲ کلروفنل‌ها	۱۷
۱-۴-۳ اثرات بهداشتی و سمیت کلروفنل‌ها	۱۸
۱-۴-۴ مونوکلروفنل‌ها	۱۹
۱-۴-۵ تجزیه زیستی کلروفنل‌ها	۲۱
۱-۴-۵-۱ تجزیه زیستی بی‌هوازی کلروفنل‌ها	۲۲
۱-۴-۵-۱-۱ تجزیه زیستی بی‌هوازی کلروفنل‌ها به‌عنوان منبع کربن و انرژی	۲۲
۱-۴-۵-۱-۲ متابولیسم بی‌هوازی کلروفنل‌ها در محیط‌های مخلوط و محیط‌های غنی	۲۳
۱-۴-۵-۱-۳ تنفس هالوژن کلروفنل‌ها	۲۳
۱-۵ لزوم استفاده از بیوراکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR) در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی	۲۴
۱-۶ مروری بر مطالعات انجام‌شده	۲۵
۱-۷ تعریف واژه‌ها	۳۴

فهرست مطالب

فصل دوم: اهداف و فرضیات

۲-۱ اهداف و فرضیات	۳۶
۲-۱-۱هدف کلی	۳۶
۲-۱-۲ اهداف جزئی (اختصاصی)	۳۶
۲-۱-۳ هدف کاربردی	۳۷
۲-۲ سؤالات پژوهشی	۳۷
۲-۳ فرضیات پژوهشی	۳۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ روش تحقیق	۴۰
۳-۱-۱ نوع مطالعه	۴۰
۳-۱-۲ مراحل انجام طرح	۴۰
۳-۲ مشخصات بیورآکتور غشایی بی‌هوازی (AnMBR) در اندازه پایلوت	۴۱
۳-۳ راهبری بیورآکتور بی‌هوازی غشایی	۵۱
۳-۳-۱ ساخت فاضلاب سنتتیک	۵۱
۳-۳-۲ بذردهی رآکتور	۵۲
۳-۳-۳ چگونگی پیش‌گیری از گرفتگی غشا و نحوه تمیزسازی آن	۵۴
۳-۳-۳-۱ روش شستشوی ماژول الیاف‌های توخالی غشایی	۵۵
۳-۴ پارامترهای اندازه‌گیری شده	۵۶
۳-۵ روش‌های آزمایش	۵۶
۳-۵-۱تعیین جامدات کل (TS)، کل جامدات محلول (TDS) و کل جامدات معلق (TSS)	۵۷
۳-۵-۲ تعیین جامدات معلق فرار (VSS)	۵۷
۳-۵-۳ دما	۵۸
۳-۵-۴ اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	۵۹
۳ -۵-۵ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)	۶۴
۳ -۵-۶ اندازه‌گیری غلظت فنل	۶۴
۳-۵-۷ تعیین مقادیر حذف غیر بیولوژیک ۴-کلروفنل	۶۸
۳-۵-۷-۱ اندازه‌گیری میزان ۴-کلروفنل جذب‌شده به بیومس (لجن)	۶۸
۳-۵-۷-۲ اندازه‌گیری میزان فراریت ۴-کلروفنل	۶۸
۳-۵-۸ استخراج و اندازه‌گیری مواد پلیمری خارج‌سلولی (EPS)	۶۹
۳-۵-۸-۱ اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های کل	۷۰
۳-۵-۸-۲ اندازه‌گیری میزان پروتئین‌ها به روش لوری	۷۱
۳-۶ آماده‌سازی الیاف‌های توخالی غشایی برای آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی	۷۳

فهرست مطالب

(SEM)
۳-۷ آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز توسط دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR) ۷۴
۳-۸ آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد (CHNS) ۷۵
۳-۹ آنالیز تأثیر بازچرخش بیوگاز بر خروج بیوگاز و همچنین فشار عبور از غشا در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) ۷۶

فصل چهارم: نتایج

۴-۱ مقدمه ۷۸
۴-۲ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) ۷۹
۴-۳ نتایج حاصله از بهره‌برداری بیورآکتور غشایی بی‌هوازی با الیاف‌های غشایی توخالی مستغرق در رآکتور اصلی (SAnMBR) ۸۵
۴-۴ نتایج استخراج و آنالیز مواد پلیمری خارج‌سلولی (EPS) ۱۰۳
۴-۵ نتایج حاصله از آنالیز عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد (CHNS-O) ۱۰۵
۴-۶ نتایج آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR) ۱۰۶
۴-۷ نتایج تأثیر زمان‌های مختلف مکش و شستشوی معکوس بر فشار عبور از غشا TMP در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) ۱۰۹
۴-۸ نتایج تأثیر بازچرخش بیوگاز بر خروج بیوگاز و همچنین فشار عبور از غشا در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) ۱۱۲

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۵-۱ مقدمه ۱۱۹
۵-۲ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۱۲۰
۵-۳ بررسی تغییرات دمای بهره‌برداری از بیورآکتور در طول دوره تحقیق ۱۲۲
۵-۴ بررسی تغییرات pH در ورودی و خروجی از بیورآکتور در طول بهره‌برداری ۱۲۲
۵-۵ بررسی تغییرات فشار عبور از غشا (TMP) در طی بهره‌برداری ۱۲۴
۵-۶ بررسی تغییرات کدورت فاضلاب ورودی و پساب (تراویده) حاصله در طی بهره‌برداری ۱۳۰
۵-۷ بررسی تغییرات غلظت COD و ۴-کلروفنل فاضلاب ورودی به رآکتور ۱۳۲
۵-۸ بررسی تغییرات بار آلی وارده به بیورآکتور ۱۳۳
۵-۹ بررسی تغییرات نرخ بازچرخش بیوگاز در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور ۱۳۴
۵-۱۰ بررسی تغییرات شار عبوری از غشا (Flux) در طی دوره بهره‌برداری ۱۳۴
۵-۱۱ بررسی تغییرات هدایت الکتریکی EC در ورودی و خروجی از بیورآکتور در ۱۳۵

فهرست مطالب

طول بهره‌برداری

۵-۱۲ بررسی میزان حذف جامدات معلق (TSS) در طی دوره بهره‌برداری ۱۳۶

۵-۱۳ بررسی میزان حذف COD در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی ۱۳۷

۵-۱۴ بررسی میزان حذف ۴-کلروفنل در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی ۱۴۰

۵-۱۵ بررسی زمان‌های مکش و شستشوی معکوس در طی دوره بهره‌برداری ۱۴۲

۵-۱۶ بررسی نتایج استخراج و آنالیز مواد پلیمری خارج‌سلولی (EPS) ۱۴۳

۵-۱۷ بررسی نتایج حاصله از آنالیز عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد (CHNS-O) ۱۴۴

۵-۱۸ بررسی نتایج تأثیر زمان‌های مختلف مکش و شستشوی معکوس بر فشار عبور از غشا TMP در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) ۱۴۵

۵-۱۹ بررسی نتایج تأثیر بازچرخش بیوگاز بر خروج بیوگاز و همچنین فشار عبور از غشا در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق (SAnMBR) ۱۴۷

۵-۲۰ نتیجه‌گیری نهایی ۱۵۶

۵-۲۱ پیشنهادها جهت انجام مطالعات در آینده ۱۵۹

فهرست منابع ۱۶۲

چکیده انگلیسی ۱۷۲

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ مقایسه تصفیه هوازی و بی‌هوازی متداول، MBR هوازی و AnMBR با یکدیگر	۱۴
جدول ۱-۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مونوکلروفنل‌ها	۲۱
جدول ۳-۱ فعالیت‌های علمی و اجرایی انجام‌شده و مدت‌زمان اجرای آنها در این مطالعه	۴۱
جدول ۳-۲ مشخصات اصلی ماژول غشا استفاده‌شده برای ساخت بیورآکتور مورد استفاده در این مطالعه	۴۲
جدول ۳-۳ نوترینت‌های استفاده‌شده در طی ساخت محلول ذخیره برای ساخت فاضلاب سنتتیک	۵۳
جدول ۳-۴ مشخصات و مقدار مورد استفاده از اسیدهای چرب فرار برای ساخت فاضلاب سنتتیک	۵۴
جدول ۳-۵ مشخصات لجن مورد استفاده پس از شستشو برای بذردهی بیورآکتور در این مطالعه	۵۴
جدول ۴-۱ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر شار حاصل‌شده در سرعت‌های مختلف کارکرد دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۴
جدول ۴-۲ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر شار حاصل‌شده در سرعت‌های مختلف کارکرد دو پمپ موازی در روش پلکانی و در حال کار با آب در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۶
جدول شماره ۵-۱ خلاصه عملکردهای گزارش‌شده SAnMBR های انتخابی مرتبط که دارای الیاف‌های توخالی غشایی مستغرق در درون رآکتور اصلی بودند.	۱۴۶

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل۱-۱ فضای مورد نیاز برای سیستم MBR در مقایسه با سیستم‌های متعارف	۵
شکل ۱-۲- الف بیورآکتور غشایی بی‌هوازی کنار گذار	۶
شکل ۱-۲- ب بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق در خود بیورآکتور	۷
شکل ۱-۲-ج بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق در یک مخزن کناری	۸
شکل ۱-۳ تعداد مقالات منتشرشده در مجلات علمی نمایه شده در Scopus 2011 در مورد AnMBR و UASB	۱۲
شکل ۱-۴ ساختار ایزومرهای مونوکلروفنل‌ها	۲۰
شکل ۱-۵ مسیرهای تجزیه بی‌هوازی ترکیبات 2-CP، 4-CP و 2,4-DCP	۲۳
شکل ۳-۱ تصویر رآکتور ساخته‌شده به همراه مخازن فاضلاب خام و پساب	۴۲
شکل ۳-۲ تصویر بیورآکتور ساخته‌شده از نمای روبرو	۴۳
شکل ۳-۳ طرح شماتیک پایلوت مورد استفاده در این طرح تحقیقاتی	۴۴
شکل ۳-۴ تصویر پمپ‌های پری‌استالتیک موازی جهت مکش به همراه تک پمپ پری‌استالتیک مورد استفاده برای تزریق سوبسترە	۴۵
شکل ۳-۵ شیرهای برقی مورد استفاده به همراه فشارسنج منفی در مدار مکش و فشارسنج مثبت در مدار شستشوی‌معکوس به همراه فلومتر بیوگاز بازچرخشی	۴۶
شکل ۳-۶ تصویر سوپرتایمرها و ارتفاع‌سنج‌های الکترونیکی استفاده‌شده در این بیورآکتور	۴۶
شکل ۳-۷-الف تصویر وضعیت شیرهای برقی و پمپ‌ها و جریان مایع در حالت مکش پساب در این بیورآکتور	۴۷
شکل ۳-۷-ب تصویر وضعیت شیرهای برقی و پمپ‌ها و جریان مایع در حالت شستشوی‌معکوس (واشویه)	۴۸
شکل ۳-۸ تصویر پمپ‌های پری‌استالتیک، کمپرسور تزریق بیوگاز، شیشه‌های ساکشن جراحی	۴۸
شکل ۳-۹ تصویر مخزن واکنش بیورآکتور ساخته‌شده به همراه حمام آب گرم	۴۹
شکل ۳-۱۰ تصویر شیشه‌های ساکشن جراحی مورد استفاده در مسیر برگشت بیوگاز به همراه کمپرسور مورد استفاده	۴۹
شکل ۳-۱۱ تصویر شیر برقی مورد استفاده برای تخلیه دوره‌ای بیوگاز	۵۰
شکل ۳-۱۲ تصویر الیاف‌های توخالی غشایی مورد استفاده در تحقیق پیش از قرارگیری در بیورآکتور	۵۰
شکل ۳-۱۳ تصویر مخازن ذخیره مواد زائد خطرناک تولیدی در طی آزمایش‌های دوره تحقیق	۵۶
شکل ۳-۱۴ تصویر یکی از دماسنج‌های دیجیتال مورد استفاده در تحقیق	۵۸
شکل ۳-۱۵ تصویر دستگاه طیف‌سنج نوری مورد استفاده در مطالعه	۶۰
شکل ۳-۱۶ الف) تصویر ویال‌های مورد استفاده در آزمایش COD؛ ب) تصویر رآکتور COD مورد استفاده در این تحقیق	۶۰
شکل ۳-۱۷ تصویر نمونه‌های COD مورد استفاده در تحقیق	۶۳
شکل ۳-۱۸ تصویر pH متر مورد استفاده در تحقیق	۶۳
شکل ۳-۱۹ تصویر هدایت‌سنج مورد استفاده در تحقیق	۶۴
شکل ۳-۲۰ تصویر نمونه‌های آماده‌شده روش ۴-آمینو آنتی پیرین در طی تحقیق	۶۷
شکل ۳-۲۱ تصویر آماده‌سازی رقت‌های مختلف نمونه‌ها برای آزمایش سنجش ۴-کلروفنل	۶۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۲۲ تصویر نمونه‌های کربوهیدرات مورد استفاده در تحقیق	۷۱
شکل ۳-۲۳ تصویر نمونه‌های پروتئین مورد استفاده در تحقیق	۷۳
شکل ۳-۲۴ دستگاه FTIR مورد استفاده در این مطالعه	۷۴
شکل ۴-۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر از الیاف توخالی غشایی نو	۷۹
شکل ۴-۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در بزرگنمایی‌های متفاوت از الیاف توخالی غشایی نو	۸۰
شکل ۴-۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در بزرگنمایی‌های متفاوت از الیاف توخالی غشایی دارای لایه جرم‌گرفتگی	۸۱
شکل ۴-۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از الیاف توخالی غشایی دارای لایه جرم‌گرفتگی در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر	۸۲
شکل ۴-۵ مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی الیاف توخالی غشایی در دو حالت نو و دارای لایه جرم‌گرفتگی در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر	۸۳
شکل ۴-۶ مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی الیاف توخالی غشایی در دو حالت نو و دارای لایه جرم‌گرفتگی در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر	۸۳
شکل ۴-۷ مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی الیاف‌های توخالی غشایی در دو حالت نو و دارای لایه جرم‌گرفتگی در بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر	۸۴
شکل ۴-۸ تغییرات دمای بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۸۵
شکل ۴-۹ تغییرات مقادیر pH فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق در مقایسه با تغییرات مقادیر pH آب شیر آزمایشگاه در طی زمان بهره‌برداری	۸۶
شکل ۴-۱۰ تغییرات مقادیر pH فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق و پساب حاصله از آن در طی زمان بهره‌برداری	۸۶
شکل ۴-۱۱ تغییرات مقادیر pH فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق و پساب حاصله از آن در طی زمان بهره‌برداری در مقایسه با هدایت الکتریکی فاضلاب ورودی	۸۷
شکل ۴-۱۲ تغییرات مقادیر pH فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق و پساب حاصله از آن در طی زمان بهره‌برداری در مقایسه با هدایت الکتریکی آب شیر	۸۷
شکل ۴-۱۳ مقادیر pH فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق و پساب حاصله از آن در طی زمان بهره‌برداری در مقایسه با هدایت الکتریکی آب شیر	۸۸
شکل ۴-۱۴ تغییرات فشار عبور از غشا (TMP) در طول دوره بهره‌برداری (Bar)	۸۸
شکل ۴-۱۵ تغییرات فشار عبور از غشا TMP در طول بهره‌برداری از بیورآکتور در زمانی که غشای نو به‌تازگی در مدار قرار داده شده بود	۸۹
شکل ۴-۱۶ تغییرات کدورت فاضلاب ورودی و پساب در مقایسه با هم	۸۹
شکل ۴-۱۷ تصویر پساب حاصله (تراویده) در مقایسه با فاضلاب ورودی	۹۰
شکل ۴-۱۸ تصویر پساب حاصله (تراویده) در مقایسه با فاضلاب ورودی، لجن و سوپرناتانت مایع مخلوط	۹۱
شکل ۴-۱۹ تغییرات کدورت پساب حاصله از بیورآکتور	۹۱
شکل ۴-۲۰ تغییرات COD وارده بر بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۲
شکل ۴-۲۱ تغییرات هدایت الکتریکی فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۲
شکل ۴-۲۲ تغییرات بار آلی وارده بر بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۴-۲۳ تغییرات غلظت ۴-کلروفنل وارده بر بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۳
شکل ۴-۲۴ تغییرات غلظت ۴-کلروفنل وارده و COD حاصله از آن بر بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۴
شکل ۴-۲۵ تغییرات نسبت COD حاصله از غلظت ۴-کلروفنل به مقدار COD کل در مقایسه با تغییرات نسبت COD حاصله از اسیدهای چرب فرار به مقدار COD کل در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی	۹۴
شکل ۴-۲۶ زمان ماند هیدرولیکی در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۹۵
شکل ۴-۲۷ تغییرات نرخ بازچرخش بیوگاز در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۹۵
شکل ۴-۲۸ تغییرات زمان واشویه در هر چرخه در مقایسه با زمان‌های مکش آن در طی دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۹۶
شکل ۴-۲۹ تغییرات شار عبوری از غشا (FLUX) در طول بهره‌برداری از رآکتور	۹۶
شکل ۴-۳۰ میزان بهبود هدایت الکتریکی در سه گسترده هدایت الکتریکی فاضلاب ورودی	۹۷
شکل ۴-۳۱ میزان جامدات کل فاضلاب ورودی در مقایسه با جامدات محلول و معلق آن	۹۷
شکل ۴-۳۲ میزان حذف جامدات معلق و جامدات معلق پساب حاصله از بیورآکتور غشایی در طی دوره بهره‌برداری	۹۸
شکل ۴-۳۳ میزان حذف COD در بیورآکتور غشایی در مقایسه با بار آلی وارده طی دوره بهره‌برداری	۹۸
شکل ۴-۳۴ میزان غلظت COD پساب حاصله در مقایسه با میزان حذف در طی دوره بهره‌برداری	۹۹
شکل ۴-۳۵ میزان حذف COD توسط بیورآکتور در مقایسه با غلظت ۴-کلروفنل فاضلاب ورودی در طی دوره بهره‌برداری	۹۹
شکل ۴-۳۶ میزان حذف COD توسط بیورآکتور در مقایسه با نسبت COD حاصله از ۴-کلروفنل به کل COD فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی در طی دوره بهره‌برداری	۱۰۰
شکل ۴-۳۷ میزان حذف COD توسط بیورآکتور در مقایسه با بار آلی وارده و غلظت فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی در طی دوره بهره‌برداری	۱۰۰
شکل ۴- ۳۸ تغییرات غلظت ۴-کلروفنل پساب در مقایسه با غلظت ۴-کلروفنل فاضلاب ورودی به بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۱۰۱
شکل ۴- ۳۹ میزان حذف ۴-کلروفنل در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق در مقایسه با بار آلی وارده به بیورآکتور	۱۰۱
شکل ۴- ۴۰ میزان حذف ۴-کلروفنل در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق در مقایسه با غلظت ۴-کلروفنل فاضلاب ورودی	۱۰۲
شکل ۴- ۴۱ میزان حذف غیر بیولوژیک ۴-کلروفنل در بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق	۱۰۲
شکل ۴-۴۲ مقدار مواد پلیمری خارج‌سلولی بر حسب پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و مجموع آنها در بیومس چسبیده به غشا و بیومس مایع مخلوط	۱۰۳
شکل ۴-۴۳ نسبت مقادیر پروتئین‌ها به کربوهیدرات‌ها در بیومس چسبیده به غشا و بیومس مایع مخلوط	۱۰۴
شکل ۴-۴۴ نسبت کل جامدات به جامدات فرار در بیومس چسبیده به غشا و بیومس مایع مخلوط (روز ۱۰۰)	۱۰۴
شکل ۴-۴۵ نتیجه آنالیز عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد (CHNS-O) در نمونه خاکستر بیومس چسبیده به الیاف‌های غشایی توخالی	۱۰۵
شکل ۴-۴۶ نتیجه آنالیز عناصر کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد (CHNS-O) در نمونه خاکستر بیومس معلق در مایع مخلوط	۱۰۶

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۴-۴۷ نتیجه آنالیز بیومس چسبیده به الیاف‌های توخالی غشایی توسط دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR)	۱۰۷
شکل ۴-۴۸ نتایج آنالیز بیومس معلق در مایع مخلوط توسط دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR)	۱۰۸
شکل ۴-۴۹ تأثیر مکث ۱۵۰ ثانیه بر فشار عبور از غشا (TMP) (نرخ بازچرخش بیوگاز ۶/۵ L/min)	۱۰۹
شکل ۴-۵۰ تأثیر زمان‌های مکث ۱۵۰ ثانیه و ۳۰۰ ثانیه بر فشار عبور از غشا (TMP) (نرخ بازچرخش بیوگاز ۶/۵ L/min)	۱۱۰
شکل ۴-۵۱ تأثیر زمان‌های مکث ۳۰۰ ثانیه و ۴۵۰ ثانیه بر فشار عبور از غشا (TMP) (نرخ بازچرخش بیوگاز ۶/۵ L/min)	۱۱۰
شکل ۴-۵۲ تأثیر زمان‌های مختلف شستشوی‌معکوس بر فشار عبور از غشا (TMP) (نرخ بازچرخش بیوگاز ۶/۵ L/min)	۱۱۱
شکل ۴-۵۳ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) در سرعت ۳۰٪ دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۲
شکل ۴-۵۴ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) در سرعت ۵۰٪ دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۳
شکل ۴-۵۵ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) در سرعت ۷۵٪ دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۳
شکل ۴-۵۶ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر حجم پساب تراویده در سرعت‌های مختلف کارکرد دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۴
شکل ۴-۵۷ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) در روش پلکانی افزایش و کاهش سرعت کارکرد دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۵
شکل ۴-۵۸ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر حجم پساب تراویده در روش آزمایش پلکانی افزایش و کاهش سرعت کارکرد دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۵
شکل ۴-۵۹ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر حجم کلی پساب تراویده در روش آزمایش پلکانی افزایش و کاهش سرعت کارکرد دو پمپ موازی در زمان کار با آب در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۶
شکل ۴-۶۰ تأثیر بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) با کارکرد یکی از پمپ‌ها در طی کار با مایع مخلوط واقعی در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۷
شکل ۴-۶۱ تأثیر نرخ‌های مختلف بازچرخش بیوگاز بر فشار عبور از غشا (TMP) با کارکرد دو پمپ موازی در طی کار با مایع مخلوط واقعی در بیوراکتور غشایی بی‌هوازی	۱۱۷

فهرست اختصارها

اختصار	معادل فارسی
MBR	بیورآکتور غشایی
AnMBR	بیورآکتور غشایی بی‌هوازی
SAnMBR	بیورآکتور غشایی بی‌هوازی مستغرق
SRT	زمان ماند جامدات
HRT	زمان ماند هیدرولیکی
OLR	نرخ بارگذاری آلی
TS	کل جامدات
TDS	کل جامدات محلول
TSS	کل جامدات معلق
VSS	جامدات معلق فرار
MLSS	جامدات معلق مایع مخلوط
EC	هدایت الکتریکی
NTU	واحد کدورت نفلومتری
COD	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
BOD	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی
VFA	اسیدهای چرب فرار
TMP	فشار عبور از غشا
SEM	میکروسکوپ الکترونی روبشی
4-CP	۴-کلروفنل
HF	الیاف توخالی
FTIR	دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه
Flux	شار عبوری
SMP	محصولات میکربی محلول
EPS	مواد پلیمری خارج‌سلولی
EPS_C	مواد پلیمری خارج‌سلولی کربوهیدراته
EPS_P	مواد پلیمری خارج‌سلولی پروتئینی
mg/L	میلی‌گرم بر لیتر

فهرست منابع

فهرست منابع

1. Meng F, Chae S-R, Drews A, Kraume M, Shin H-S, Yang F. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. Water research. 2009;43(6):1489-512.
2. Judd S. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment: Butterworth-Heinemann; 2010.
3. Rittmann BE, McCarty PL. Environmental biotechnology: McGraw-Hill New York; 2001.
4. Kleerebezerm R, Macarie H. Treating Industrial Wastewater: Anaerobic Digestion Comes of Age. Chemical Engineering(NY). 2003;110(4):56-64.
5. Vandevivere P. New and broader applications of anaerobic digestion. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 1999;29(2):151-73.
6. Haandel Av, Lettinga G. Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate: John Wiley & Sons; 1994.
7. Speece RE. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. 1996.
8. Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy. Inc, McGraw-Hill, New York. 2003.
9. Rittmann BE, McCarty PL. Environmental biotechnology: principles and applications: Tata McGraw-Hill Educao n; 2012.
10. Azbar N, Ursillo P, Speece RE. Effect of process configuration and substrate complexity on the performance of anaerobic processes. Water research. 2001;35(3):817-29.
11. Fox P, Pohland FG. Anaerobic treatment applications and fundamentals: substrate specificity during phase separao n. Water environment research. 1994;66(5):716-24.
12. Gander M, Jefferson B, Judd S .Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerao ns. Separao n and puric ao n Technology. 2000;18(2):119-30.
13. Bornare J, Raman V, Sapkal V, Sapkal R, Minde G, Sapkal P. An Overview of Membrane Bioreactors for Anaerobic Treatment of Wastewaters. 2014.
14. Cote P, Thompson D. Wastewater treatment using membranes: the North American experience. Water science and technology. 2000:209-15.
15. Yang W, Cicek N, Ilg J. State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applicao ns in North America. Journal of membrane science. 2006;270(1):201-11.
16. Aquino SF, Hu AY, Akram A, Stuckey DC. Characterization of dissolved compounds in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAMBRs). Journal of Chemical Technology and biotechnology. 2006;81(12):1894-904.
17. Jeison D, Van Lier J. Cake layer formation in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) for wastewater treatment. Journal of membrane science. 2006;284(1):227-36.
18. Vallero MV, Lettinga G ,Lens PN. High rate sulfate reduction in a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBaR) at high salinity. Journal of membrane science. 2005;253(1):217-32.
19. Grethlein HE. Anaerobic digestion and membrane separation of domestic wastewater. Journal (Water Polluo n Control Federao n). 1978:754-63.
20. Li A, Kothari D, Corrado J, editors. Application of membrane anaerobic reactor system for the treatment of industrial wastewaters. Proceedings 39 th Industrial Waste Conference Purdue University; 1984.
21. Liao B-Q, Kraemer JT, Bagley DM. Anaerobic membrane bioreactors: applications and research direco ns. Cric al Reviews in Environmental Science and Technology. 2006;36(6):489-530.
22. Liao B, Bagley D, Kraemer H, Leppard G, Liss S. A review of biofouling and its control in membrane separao n bioreactors. Water environment research. 2004:425-36.
23. Strohwald N, Ross W. Application of the ADUF R Process to Brewery Effluent on a Laboratory Scale. Water Science & Technology. 1992; 25(10): 95-105.
24. Kataoka N, Tokiwa Y, Tanaka Y, Fujiki K, Taroda H, Takeda K. Examination of bacterial characteristics of anaerobic membrane bioreactors in three pilot-scale plants for treating low-strength wastewater by application of the colony-forming-curve analysis method. Applied and environmental microbiology. 1992;58(9):2751-7.

25. Kimura S. Japan's aqua renaissance 90 project. 1991.
26. Minami K. A trial of high performance anaerobic treatment on wastewater from a kraft pulp mill. Desalinao n. 1994;98(1):273-283.
27. Minami K, Okamura K, Ogawa S, Naritomi T. Continuous anaerobic treatment of wastewater from a kra pulp mill. Journal of fermentao n and bioengineering. 1991;71(4):270-4.
28. Ross W, Barnard J, Le Roux J, De Villiers H. Application of ultrafiltration membranes for solids-liquids separao n in anaerobic digeso n systems: The ADUF process. Water S A. 1990;16(2):85-91.
29. Norddahl B, Rohold L, editors. The Biorek concept for the conversion of organic effluent to energy, concentrated fertilizer and potable water. First World Conference: Biomass for Energy and Industry, Seville; 2000.
30. Bakonyi P, Nemestóthy N, Simon V, Bélafi-Bakó K. Fermentative hydrogen production in anaerobic membrane bioreactors: A review. Bioresource technology. 2014; 156(0): 357-363.
31. Katuri KP, Werner CM, Jimenez-Sandoval RJ, Chen W, Jeon S, Logan BE, et al. A Novel Anaerobic Electrochemical Membrane Bioreactor (AnEMBR) with Conductive Hollow-fiber Membrane for Treatment of Low-Organic Strength Solutions. Environmental science & technology. 2014;48(21):12833-41.
32. Chen L, Gu Y, Cao C, Zhang J, Ng J-W, Tang C. Performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor with forward osmosis membrane for low-strength wastewater treatment. Water research. 2014; 50(0): 114-123.
33. Visvanathan C, Abeynayaka A. Developments and future potentials of anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs). Membrane Water Treatment. 2012;3(1):1-23.
34. Zayen A, Mnif S, Aloui F, Fki F, Loukil S, Bouaziz M, et al. Anaerobic membrane bioreactor for the treatment of leachates from Jebel Chakir discharge in Tunisia. Journal of hazardous materials. 2010;177(1):918-23.
35. Jeison D, Díaz I, van Lier JB. Anaerobic membrane bioreactors: Are membranes really necessary? Electronic Journal of Biotechnology.2-1:(4)11;2008 .
36. Zhang J, Padmasiri S, Fitch M, Norddahl B, Raskin L, Morgenroth E. Influence of cleaning frequency and membrane history on fouling in an anaerobic membrane bioreactor. Desalinao n. 2007;207(1):153-66.
37. Arros-Alileche S, Merin U, Daufin G, Gésan-Guiziou G. The membrane role in an anaerobic membrane bioreactor for purification of dairy wastewaters: A numerical simulation. Bioresource technology. 2008;99(17):8237-44.
38. Lin H, Peng W, Zhang M, Chen J, Hong H, Zhang Y. A review on anaerobic membrane bioreactors: applicao ns, membrane fouling and future perspecv es. Desalinao n. 2013;314:169-88.
39. Czaplicka M. Sources and transformations of chlorophenols in the natural environment. Science of The Total Environment. 2004;322(1–3):21-39.
40. Nair CI, Jayachandran K, Shashidhar S. Biodegradation of phenol. African Journal of Biotechnology. 2008;7(25).
41. Agarry S, Durojaiye A, Solomon B. Microbial degradation of phenols: a review. International Journal of Environment and Pollution. 2008; 32(1): 12-28.
42. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighi L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. Journal of hazardous materials. 2008;160(2):265-88.
43. Ahmed S, Rasul M, Martens WN, Brown R, Hashib M. Heterogeneous photocatalytic degradation of phenols in wastewater: a review on current status and developments. Desalinao n. 2010;261(1):3-18.
44. Pradeep N, Anupama S, Navya K, Shalini H, Idris M, Hampannavar U. Biological removal of phenol from wastewaters: a mini review. Applied Water Science. 2014:1-8.
45. Lin S-H, Juang R-S. Adsorption of phenol and its derivatives from water using synthetic resins and low-cost natural adsorbents: a review. Journal of Environmental Management. 2009; 90(3): 1336-1349.
46. Meena MC, Band R, Sharma G. Phenol and Its Toxicity: A Case Report. Iranian Journal of Toxicology Volume. 2015;8(27).
47. Gami AA. Phenol and its toxicity. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY AND TOXICOLOGY (e-ISSN 2289-5906). 2014;1.(1).

48. Kidak R, Ince NH. Ultrasonic destruction of phenol and substituted phenols: A review of current research. Ultrasonics sonochemistry. 2006;13(3):195-9.
49. van Schie PM, Young LY. Biodegradation of phenol: mechanisms and applications. Bioremediation Journal. 2000;4(1):1-18.
50. Bali U, Sengül F. The fate and ee ct of 4-chlorophenol in an upflow anaerobic fixed-bed reactor. Process Biochemistry. 2003;38(8):1201-8.
51. Carucci A, Milia S, De Gioannis G, Piredda M. Acetate-fed aerobic granular sludge for the degradation of 4-chlorophenol. Journal of hazardous materials. 2009;166(1):483-90.
52. Majumder PS, Gupta S. Degradao n of 4-chlorophenol in UASB reactor under methanogenic conditions. Bioresource technology. 2008;99(10):4169-77.
53. Fang H, Liang D, Zhang T, Liu Y. Anaerobic treatment of phenol in wastewater under thermophilic condio n. Water research. 2006;40(3):427-34.
54. Tobajas M, Monsalvo VM, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Enhancement of cometabolic biodegradation of 4-chlorophenol induced with phenol and glucose as carbon sources by *Comamonas testosteroni*. Journal of Environmental Management. 2012;95:S116-S21.
55. Moreno-Andrade I, Buitrón G. Comparison of the performance of membrane and conventional sequencing batch reactors degrading 4-chlorophenol. Water, Air, & Soil Polluo n. 2012;223(5):2083-91.
56. Lim J-W, Lim P-E, Seng C-E, Adnan R. Simultaneous 4-chlorophenol and nitrogen removal in moving bed sequencing batch reactors packed with polyurethane foam cubes of various sizes .Bioresource technology. 2013;129:485-94.
57. Rayne S, Forest K, Friesen KJ. Mechanistic aspects regarding the direct aqueous environmental photochemistry of phenol and its simple halogenated derivatives. A review. Environment international. 2009; 35(2): 425-437.
58. Field J, Sierra-Alvarez R. Biodegradability of chlorinated aromatic compounds. Science dossiers of EuroChlor. 2007.
59. BODY LM. 1.2 WHAT HAPPENS TO CHLOROPHENOLS WHEN THEY ENTER THE ENVIRONMENT?
60. McLellan I, Carvalho M, Pereira CS, Hursthouse A, Morrison C, Tatner P, et al. The environmental behaviour of polychlorinated phenols and its relevance to cork forest ecosystems: a review. J Environ Monit. 2007;9(10):1055-63.
61. Reshma J, Mathew A. BIODEGRADATION OF PHENOL-AEROBIC AND ANAEROBIC PATHWAYS. Internao nal Journal of Science & Nature. 2014;5(3).
62. Terashima C, Rao TN, Sarada B, Tryk D, Fujishima A. Electrochemical oxidation of chlorophenols at a boron-doped diamond electrode and their determination by high-performance liquid chromatography with amperometric deteco n. Analyc al chemistry. 2002;74(4):895-902.
63. Jin P, Bhattacharya SK. Toxicity and biodegradation of chlorophenols in anaerobic propionate enrichment culture. Water environment research. 1997;69(5):938-47.
64. Contreras S ,Rodrıguez M, Momani FA, Sans C, Esplugas S. Contribution of the ozonation pre-treatment to the biodegradao n of aqueous soluo ns of 2, 4-dichlorophenol. Water research. 2003;37(13):3164-71.
65. Hodin F, Boren H, Grimvall A, Karlsson S. Formation of chlorophenols and related compounds in natural and technical chlorinao n processes. Water Science & Technology. 1991;24(3-4):403-10.
66. Exon J. A review of chlorinated phenols. Veterinary and human toxicology. 1984;26(6):508-20.
67. Madsen T, Aamand H. Anaerobic transformation and toxicity of trichlorophenols in a stable enrichment culture. Applied and environmental microbiology. 1992;58(2):557-61.
68. Pritchard PH, O'Neill E, Spain C, Ahearn D. Physical and biological parameters that determine the fate of p-chlorophenol in laboratory test systems. Applied and environmental microbiology. 1987;53(8):1833-8.
69. Buitrón G, Schoeb M-E, Moreno-Andrade I, Moreno JA. Evaluation of two control strategies for a sequencing batch reactor degrading high concentrao n peaks of 4-chlorophenol. Water research. 2005;39(6):1015-24.
70. Ghaly MY, Härtel G, Mayer R, Haseneder R. Photochemical oxidation of *p*-chlorophenol by UV/H_2O_2 and photo-Fenton process. A comparav e study. Waste Management. 2001;21(1):41-7.

71. Flora JR, Suidan MT, Wuellner AM, Boyer TK. Anaerobic treatment of a simulated high-strength industrial wastewater containing chlorophenols. Water environment research. 1994;66(1):21-31.
72. Wilson GJ, Khodadoust AP, Suidan MT ,Brenner RC, Acheson CM. Anaerobic/aerobic biodegradation of pentachlorophenol using GAC fluidized bed reactors: Optimization of the empty bed contact time. Water science and technology. 1998;38(7):9-17.
73. Annachhatre AP, Gheewala SH. Biodegradation of chlorinated phenolic compounds. Biotechnology Advances. 1996;14(1):35-56.
74. Veeresh GS, Kumar P, Mehrotra I. Treatment of phenol and cresols in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process: a review. Water research. 2005;39(1):154-70.
75. Bajaj M, Gallert C, Winter J. Anaerobic biodegradao n of high strength 2-chlorophenol-containing synthec wastewater in a x ed bed reactor. Chemosphere. 2008;73(5):705-10.
76. Bajaj M, Gallert C, Winter J. Treatment of phenolic wastewater in an anaerobic fixed bed reactor (AFBR)—Recovery ae r shock loading. Journal of hazardous materials. 2009;162(2):1330-9.
77. Häggblom M, Rivera M, Young L. Influence of alternative electron acceptors on the anaerobic biodegradability of chlorinated phenols and benzoic acids. Applied and environmental microbiology. 1993;59(4):1162-7.
78. Häggblom MM. Reductive dechlorination of halogenated phenols by a sulfate-reducing consortium. FEMS microbiology ecology. 1998;26(1):35-41.
79. Kazumi J, Haggblom M, Young L. Degradation of Monochlorinated and Nonchlorinated Aromatic Compounds under Iron-Reducing Condio ns. Applied and environmental microbiology. 1995;61(11):4069-73.
80. Bae H-S, Yamagishi T, Suwa Y. Evidence for degradao n of 2-chlorophenol by enrichment cultures under denitrifying condio ns. Microbiology. 2002;148(1):221-7.
81. Krumme ML, Boyd SA. Reductive dechlorination of chlorinated phenols in anaerobic upflow bioreactors. Water research. 1988;22(2):171-7.
82. Li Z, Suzuki D, Zhang C, Yang S, Nan J, Yoshida N, et al. Anaerobic 4-chlorophenol mineralization in an enriched culture under iron-reducing condio ns. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2014;118(5):529-32.
83. Mohn H, Puhakka J, Ferguson J. Effects of electron donors on degradation of pentachlorophenol in a methanogenic u idized bed reactor. Environmental technology. 1999;20(9):909-20.
84. Lanthier M, Juteau P, Lepine F, Beaudet R, Villemur R. Desulfitobacterium hafniense is present in a high proportion within the biofilms of a high-performance pentachlorophenol-degrading, methanogenic fixed-l m reactor. Applied and environmental microbiology. 2005;71(2):1058-65.
85. Stuart SL, Woods SL. Kinetic evidence for pentachlorophenol-dependent growth of a dehalogenating population in a pentachlorophenol-and acetate-fed methanogenic culture. Biotechnology and bioengineering. 1998;57(4):420-9.
86. Cole JR, Cascarelli AL, Mohn WW, Tiedje JM. Isolation and characterization of a novel bacterium growing via reducv e dehalogenao n of 2-chlorophenol. Applied and environmental microbiology. 1994;60(10):3536-42.
87. Utkin I, Woese C, Wiegel J. Isolation and characterization of Desulfitobacterium dehalogenans gen. nov., sp. nov., an anaerobic bacterium which reductively dechlorinates chlorophenolic compounds. Internao nal journal of systemac bacteriology. 1994;44(4):612-9.
88. Sun B, Cole JR, Sanford RA, Tiedje JM. Isolation and characterization of Desulfovibrio dechloracetivorans sp. nov., a marine dechlorinating bacterium growing by coupling the oxidation of acetate to the reducv e dechlorinao n of 2-chlorophenol. Applied and environmental microbiology. 2000;66(6):2408-13.
89. He Q, Sanford RA. Induction characteristics of reductive dehalogenation in theortho-halophenol-respiring bacterium, Anaeromyxobacter dehalogenans. Biodegradao n. 2002;13(5):307-16.
90. Breitenstein A, Saano A, Salkinoja-Salonen M, Andreesen JR, Lechner U. Analysis of a 2, 4, 6-trichlorophenol-dehalogenating enrichment culture and isolation of the dehalogenating member Desulfitobacterium frappieri strain TCP-A. Archives of microbiology. 2001;175(2):133-42.

91. Vallecillo A, Garcia-Encina P, Pena M. Anaerobic biodegradability and toxicity of chlorophenols. Water science and technology. 1999;40(8):161-8.
92. Ghosh MK, Ghosh UK, Kumar S. Minimization of Phenols and Phenolic Compounds in Pulp and Paper Industries: Biological Approaches. Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2011;5:595-607.
93. Martínez-Gutiérrez E, Texier A-C, de María Cuervo-López F, Gómez J. Consumpo n of 2-Chlorophenol Using Anaerobic Sludge: Physiological and Kinetic Analysis. Applied biochemistry and biotechnology. 2014;174(6):2171-80.
94. Chen JL, Ortiz R, Steele TWJ, Stuckey DC. Toxicants inhibiting anaerobic digestion: A review. Biotechnology Advances. 2014; 32(8): 1523-1534.
95. Sharma S, Mukhopadhyay M, Murthy Z. Treatment of chlorophenols from wastewaters by advanced oxidao n processes. Separao n & Puric ao n Reviews. 2013;42(4):263-95.
96. He Y, Xu P, Li C, Zhang B. High-concentration food wastewater treatment by an anaerobic membrane bioreactor. Water research. 2005;39(17):4110-8.
97. Saddoud A, Ellouze M, Dhouib A, Sayadi S. Anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater in Tunisia. Desalinao n. 2007;207(1):205-15.
98. Jeison D, van Lier JB. Cake formation and consolidation: main factors governing the applicable flux in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) treating acidified wastewaters. Separation and puric ao n Technology. 2007;56(1):71-8.
99. Jeison D, Plugge CM, Pereira A, Lier JBv. Effects of the acidogenic biomass on the performance of an anaerobic membrane bioreactor for wastewater treatment. Bioresource technology. 2009;100(6):1951-6.
100. Lin H, Xie K, Mahendran B, Bagley D, Leung K, Liss S, et al. Factors affecting sludge cake formation in a submerged anaerobic membrane bioreactor. Journal of membrane science. 2010;361(1):126-34.
101. Trzcinski AP, Stuckey DC. Treatment of municipal solid waste leachate using a submerged anaerobic membrane bioreactor at mesophilic and psychrophilic temperatures: analysis of recalcitrants in the permeate using GC-MS. Water research. 2010;44(3):671-80.
102. Lin H, Xie K, Mahendran B, Bagley D, Leung K, Liss S, et al. Sludge properties and their effects on membrane fouling in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAnMBRs). Water research. 2009;43(15):3827-37.
103. Ho J, Sung S. Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating synthetic municipal wastewater. Bioresource technology. 2010;101(7):2191-6.
104. Chen J, Zhang M, Wang A, Lin H, Hong H, Lu X. Osmotic pressure effect on membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor and its experimental verification. Bioresource technology. 2012;125:97-101.
105. Luna HJ, Baêta BEL, Aquino SF, Susa MSR. EPS and SMP dynamics at different heights of a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR). Process Biochemistry. 2014;49(12):2241-8.
106. Smith A, Skerlos S, Raskin L. Anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater at psychrophilic temperatures ranging from 15° C to 3° C. Environmental Science: Water Research & Technology. 2015.
107. Chung T-P, Wu P-C, Juang R-S. Effect of Solution Conditions on Phenol Degradation and Cell Growth in a Membrane Bioreactor.
108. Ahn S, Congeevaram S, Choung Y-K, Park J. Enhanced phenol removal by floating fungal populations in a high concentration phenol-fed membrane bioreactor. Desalinao n. 2008;221(1):494-501.
109. Carucci A, Milia S, Cappai G, Muntoni A. A direct comparison amongst different technologies (aerobic granular sludge, SBR and MBR) for the treatment of wastewater contaminated by 4-chlorophenol. Journal of hazardous materials. 2010;177(1):1119-25.
110. Ramakrishnan A, Surampalli RY. Performance of anaerobic hybrid reactors for the treatment of complex phenolic wastewaters with biogas recirculao n. Bioresource technology. 2013;129:26-32.
111. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association, American Water Works Associao n, and the Water Environment Federao n; 2012.
112. Sahinkaya E, Dilek FB. Biodegradao n kinec s of 2, 4-dichlorophenol by acclimated mixed cultures. Journal of biotechnology. 2007;127(4):716-26.

113. Adav SS, Lee D-J. Extraction of extracellular polymeric substances from aerobic granule with compact interior structure. Journal of hazardous materials. 2008;154(1):1120-6.
114. Sadasivam S, Manickam A. Biochemical methods, Chapter 1: CARBOHYDRATES. New Age Internao nal; 1996. p. 1-19.
115. BT 0413 - Bioseparation Technology Laboratory, 1.ESTIMATION OF PROTEIN BY LOWRY'S METHOD. Department of Biotechnology, SRM University.
116. Singhania RR, Christophe G, Perchet G, Troquet J, Larroche C. Immersed membrane bioreactors: An overview with special emphasis on anaerobic bioprocesses. Bioresource technology. 2012;122(0):171-80.
117. Berube P, Hall E, Sutton P. Parameters governing permeate flux in an anaerobic membrane bioreactor treating low-strength municipal wastewaters: a literature review. Water environment research. 2006;78(8):887-96.
118. Radjenović J, Matošić M, Mijatović I, Petrović M, Barceló D. Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology. Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste: Springer; 2008. p. 37-101.
119. He Y, Li C, Wu Z, Gu G. Study on molecular weight cut-off of the anaerobic ultrafiltration membrane bioreactor. Zhongguo Jishui Paishui/China Water & Wastewater. 1999;15(9):10.
120. Chang I-S, Lee C-H. Membrane filtration characteristics in membrane-coupled activated sludge system—the effect of physiological states of activated sludge on membrane fouling. Desalination. 1998;120(3):221-33.
121. Hai FI, Yamamoto K. 4.16 - Membrane Biological Reactors. In: Wilderer P, editor. Treatise on Water Science. Oxford :Elsevier; 2011. p. 571-613.
122. Chang S. Application of submerged hollow fiber membrane in membrane bioreactors: Filtration principles, operao n, and membrane fouling. Desalinao n. 2011;283(0):31-9.
123. Stephenson T, Judd S, Jefferson B, Brindle K ,Association IW. Membrane bioreactors for wastewater treatment. 2000.
124. Lebegue J, Heran M, Grasmick A. Membrane bioreactor: Distribution of critical flux throughout an immersed HF bundle. Desalinao n. 2008;231(1–3):245-52.
125. Zhang J, Chua HC, Zhou J, Fane A. Factors affecting the membrane performance in submerged membrane bioreactors. Journal of membrane science. 2006;284(1):54-66.
126. Lin H, Liao B-Q, Chen J, Gao W, Wang L, Wang F, et al. New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge. Bioresource technology. 2011;102(3):2373-9.
127. An Y, Wang Z, Wu Z, Yang D, Zhou Q. Characterization of membrane foulants in an anaerobic non-woven fabric membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Chemical Engineering Journal. 2009;155(3):709-15.
128. Cho B, Fane A. Fouling transients in nominally sub-critical flux operation of a membrane bioreactor. Journal of membrane science. 2002;209(2):391-403.
129. Huang X ,Wu J. Improvement of membrane filterability of the mixed liquor in a membrane bioreactor by ozonao n. Journal of membrane science. 2008;318(1):210-6.
130. Lee J, Ahn W-Y, Lee C-H. Comparison of the filtration characteristics between attached and suspended growth microorganisms in submerged membrane bioreactor. Water research. 2001;35(10):2435-45.
131. Xie K, Lin H, Mahendran B, Bagley D, Leung K, Liss S, et al. Performance and fouling characteristics of a submerged anaerobic membrane bioreactor for kraft evaporator condensate treatment. Environmental technology. 2010;31(5):511-21.
132. Martinez-Sosa D, Helmreich B, Horn H. Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating low-strength wastewater under psychrophilic temperature conditions. Process Biochemistry. 2012;47(5):792-8.
133. Choo K-H, Lee C-H. Membrane fouling mechanisms in the membrane-coupled anaerobic bioreactor. Water research. 1996;30(8):1771-80.

134. Baêta B, Ramos R, Lima D, Aquino S. Use of submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR) containing powdered activated carbon (PAC) for the treatment of textile effluents. Water Science & Technology. 2012;65(9):1540-7.
135. Baêta BEL, Luna HJ, Sanson AL, Silva SQ, Aquino SF. Degradation of a model azo dye in submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR) operated with powdered activated carbon (PAC). Journal of Environmental Management. 2013;128(0):462-70.
136. Yoo R, Kim J, McCarty PL, Bae J. Anaerobic treatment of municipal wastewater with a staged anaerobic fluidized membrane bioreactor (SAF-MBR) system. Bioresource technology. 2012;120(0):133-9.
137. Lin HJ, Xie K, Mahendran B, Bagley DM, Leung KT, Liss SN, et al. Sludge properties and their effects on membrane fouling in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAnMBRs). Water research. 2009;43(15):3827-37.
138. Le-Clech P, Chen V, Fane TAG. Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. Journal of membrane science. 2006;284(1–2):17-53.
139. Guo W, Ngo H-H, Li J. A mini-review on membrane fouling. Bioresource technology. 2012;122(0):27-34.
140. Flemming H-C, Wingender J, Griegbe T, Mayer C. Physico-chemical properties of biofilms. Biofilms: recent advances in their study and control Amsterdam: Harwood Academic Publishers. 2000:19-34.
141. Donlan RM. Biol ms: microbial life on surfaces. Emerging infeco us diseases. 2002;8(9):881-90.
142. Gün I, Ekinci F. Biofilms: microbial life on surfaces. GIDA-Journal of Food. 2009;34(3):165-73.
143. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clinical microbiology reviews. 2002;15(2):167-93.
144. Juang R-S, Tsai S-Y. Role of membrane-attached biofilm in the biodegradation of phenol and sodium salicylate in microporous membrane bioreactors. Journal of membrane science. 2006;282(1-2):484-92.
145. Liu YJ, Zhang AN, Wang XC. Biodegradation of phenol by using free and immobilized cells of Acinetobacter sp. XA05 and Sphingomonas sp. FG03. Biochemical engineering journal. 2009;44(2–3):187-92.
146. Wang Y, Tian Y, Han B, Zhao H-b ,Bi J-n, Cai B-l. Biodegradation of phenol by free and immobilized Acinetobacter sp. strain PD12. Journal of Environmental Sciences. 2007;19(2):222-5.
147. Drews A. Membrane fouling in membrane bioreactors—Characterisation, contradictions, cause and cures. Journal of membrane science. 2010;363(1–2):1-28.
148. Wang Z, Wu Z, Tang S. Extracellular polymeric substances (EPS) properties and their effects on membrane fouling in a submerged membrane bioreactor. Water research. 2009;43(9):2504-12.
149. Drews A ,Lee C-H, Kraume M. Membrane fouling-a review on the role of EPS. Desalination. 2006;200(1):186-8.
150. Jeong E, Kim H-W, Nam J-Y, Ahn Y-T, Shin H-S. Effects of the hydraulic retention time on the fouling characteristics of an anaerobic membrane bioreactor for treating acidifi ed wastewater. Desalination and Water Treatment. 2010;18(1-3):251-6.
151. Bohdziewicz J, Neczaj E, Kwarciak A. Landfill leachate treatment by means of anaerobic membrane bioreactor. Desalinao n. 2008;221(1–3):559-65.
152. Giménez JB ,Robles A, Carretero L, Durán F, Ruano MV, Gatti MN, et al. Experimental study of the anaerobic urban wastewater treatment in a submerged hollow-fibre membrane bioreactor at pilot scale. Bioresource technology. 2011;102(19):8799-806.
153. Hu AY, Stuckey DC. Treatment of dilute wastewaters using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor. Journal of environmental engineering. 2006;132(2):190-8.
154. Kim J, Kim K, Ye H, Lee E, Shin C, McCarty PL, et al. Anaerobic fluidized bed membrane bioreactor for wastewater treatment. Environmental science & technology. 2010;45(2):576-81.
155. Chu L-B, Yang F-L, Zhang X-W. Anaerobic treatment of domestic wastewater in a membrane-coupled expended granular sludge bed (EGSB) reactor under moderate to low temperature .Process Biochemistry. 2005;40(3–4):1063-70.
156. Wen C, Huang X, Qian Y. Domestic wastewater treatment using an anaerobic bioreactor coupled with membrane l trao n. Process Biochemistry. 1999;35(3–4):335-40.

157. Diez V, Ramos C, Cabezas J. Treating wastewater with high oil and grease content using an Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR). Filtration and cleaning assays. Water Science & Technology. 2012;65(10):1847-53.
158. Gao D-W, Hu Q, Yao C, Ren N-Q. Treatment of domestic wastewater by an integrated anaerobic fluidized-bed membrane bioreactor under moderate to low temperature conditions. Bioresource technology. 2014;159(0):193-8.
159. Jeison D, Telkamp P, Van Lier J. Thermophilic sidestream anaerobic membrane bioreactors: the shear rate dilemma. Water environment research. 2009;81(11):2372-80.
160. Jeison D, van Lier JB. Thermophilic treatment of acidified and partially acidified wastewater using an anaerobic submerged MBR: Factors affecting long-term operao nal u x. Water research. 2007;41(17): 3868-3879.
161. Wicaksana F, Fane AG, Chen V. Fibre movement induced by bubbling using submerged hollow fibre membranes. Journal of membrane science. 2006;271(1–2):186-95.
162. Guglielmi G, Chiarani D, Judd SJ, Andreottola G. Flux criticality and sustainability in a hollow fibre submerged membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Journal of membrane science. 2007;289(1–2):241-8.
163. Imasaka T, Kanekuni N, So H, Yoshino S. Cross-flow filtration of methane fermentation broth by ceramic membranes .Journal of fermentao n and bioengineering. 1989;68(3):200-6.
164. McMahon KD, Stroot PG, Mackie RI, Raskin L. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions—II: microbial population dynamics. Water research .2001; **35**(7): 1817-1827.
165. Rochex A, Godon J-J, Bernet N, Escudié R. Role of shear stress on composition, diversity and dynamics of biol m bacterial communie s. Water research. 2008;42(20):4915-22.
166. Dereli RK, Ersahin ME, Ozgun H, Ozturk I, Jeison D ,van der Zee F, et al. Potentials of anaerobic membrane bioreactors to overcome treatment limitations induced by industrial wastewaters. Bioresource technology. 2012;122(0):160-70.
167. Skouteris G, Hermosilla D, López P, Negro C, Blanco Á. Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: a review. Chemical Engineering Journal. 2012;198:138-48.
168. Torres A, Hemmelmann A, Vergara C, Jeison D. Application of two-phase slug-flow regime to control flux reduction on anaerobic membrane bioreactors treating wastewaters with high suspended solids concentrao n. Separao n and puric ao n Technology. 2011;79(1):20-5.
169. Cote P, Janson A, Rabie H, Singh M. Cyclic aeration system for submerged membrane modules. Google Patents; 2001.
170. Vyrides I, Stuckey DC. Saline sewage treatment using a submerged anaerobic membrane reactor (SAMBR): Effects of activated carbon addition and biogas-sparging m e. Water research. 2009;43(4):933-42.
171. Tian J-y, Xu Y-p, Chen Z-l, Nan J, Li G-b. Air bubbling for alleviating membrane fouling of immersed hollow-b er membrane for ultral trao n of river water. Desalinao n. 2010;260(1–3):225-30.
172. Judd S, Alvarez-Vazquez H, Jefferson B. The impact of intermittent aeration on the operation of Air-Lift tubular membrane bioreactors under sub-critical conditions. Separation Science and Technology. 2006;41(7):1293-302.
173. Zhang K, Wei P, Yao M, Field RW, Cui Z. Effect of the bubbling regimes on the performance and energy cost of flat sheet MBRs. Desalination. 2011; 283(0): 221-226.
174. Padmasiri SI, Zhang J, Fitch M, Norddahl B, Morgenroth E, Raskin L. Methanogenic population dynamics and performance of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) treating swine manure under high shear conditions. Water research. 2007; 41(1): 134-144.
175. Ghosh R. Enhancement of membrane permeability by gas-sparging in submerged hollow fibre ultrafiltration of macromolecular solutions: Role of module design. Journal of membrane science. 2006;274(1–2):73-82.
176. Fane AG, Yeo A, Law A, Parameshwaran K, Wicaksana F, Chen V. Low pressure membrane processes ~ doing more with less energy. Desalinao n. 2005;185(1–3):159-65.

177. Lu Y, Ding Z, Liu L, Wang Z, Ma R. The influence of bubble characteristics on the performance of submerged hollow fiber membrane module used in microfiltration. Separation and purification Technology. 2008;61(1):89-95.
178. Smith AL, Stadler LB, Love NG, Skerlos SJ, Raskin L. Perspectives on anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater: A cric al review. Bioresource technology. 2012;122(0):149-59.
179. Smith A, Love N, Skerlos S, Raskin L. Role of membrane biofilm in psychrophilic anaerobic membrane bioreactor for domestic wastewater treatment. Proceedings of the Water Environment Federao n. 2011; 2011(11): 4948-4952.
180. Giménez JB, Martí N, Ferrer J, Seco A. Methane recovery efficiency in a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) treating sulphate-rich urban wastewater: Evaluation of methane losses with the effluent. Bioresource technology. 2012; 118(0): 67-72.
181. Chang S, Fane AG, Waite TD. Analysis of constant permeate flow filtration using dead-end hollow b er membranes. Journal of membrane science. 2006;268(2):132-41.
182. Stuckey DC. Recent developments in anaerobic membrane reactors. Bioresource technology. 2012;122(0):137-48.
183. Sui P, Wen X, Huang X. Feasibility of employing ultrasound for on-line membrane fouling control in an anaerobic membrane bioreactor. Desalinao n. 2008;219(1–3):203-13.
184. Sui P, Wen X, Huang X. Membrane fouling control by ultrasound in an anaerobic membrane bioreactor. Frone rs of Environmental Science & Engineering in China. 2007;1(3):362-7.
185. Bandara WMKRTW, Satoh H, Sasakawa M, Nakahara Y, Takahashi M, Okabe S. Removal of residual dissolved methane gas in an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating low-strength wastewater at low temperature with degassing membrane. Water research. 2011;45(11):3533-40.
186. Hatamoto M, Miyauchi T, Kindaichi T, Ozaki N, Ohashi A. Dissolved methane oxidation and competition for oxygen in down-flow hanging sponge reactor for post-treatment of anaerobic wastewater treatment. Bioresource technology. 2011;102(22):10299-304.
187. Hatamoto M, Yamamoto H, Kindaichi T, Ozaki N, Ohashi A. Biological oxidation of dissolved methane in effluents from anaerobic reactors using a down-flow hanging sponge reactor. Water research. 2010;44(5):1409-18.
188. Liu Y, Zhang K, Bakke R, Li C, Liu H. Membrane installation for enhanced up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) performance. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2013;116(3):357-61.

چکیده انگلیسی

English Abstract

Introduction: The significant criterion in different anaerobic processes is the retention of biomass due to low growth rate of anaerobic microorganisms. Common methods for biomass retention are Granule and Biofilm formation which allow treatment in high OLRs. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR), which uses membrane for solid-liquid separation in anaerobic treatment process, is capable of retaining all the biomass inside the bioreactor. Nowadays existence of poisonous and recalcitrant compounds like chlorophenols in environment has brought about many health-related and environmental problems. Recalcitrance of the chlorophenols has been induced through their halogen-carbon bound, which made them hardly biodegradable in natural environment. In spite of that, some bacteria are capable of their biodegradation if they would have been adapted. 4-chlorophenol is significant in this area due to its wide industrial usage and its solubility in water. So one submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) was used in this study for treating synthetic industrial wastewater containing poisonous halogenated materials and the results have been reported.

Materials and Methods: Bioreactor was made of plexiglass with total volume of 8.733 liters whose 6.75- 7 liters was useful volume and always was being filled with mixed liquor. The remaining space of 1.733 liters was used as headspace. The reactor was placed in water jacket which was kept at mesophilic temperature (34.5 ± 1 centigrade). Membrane module was immersed in main reactor and is consisted of polypropylene hollow fibers (Hydrol England). Area of membrane module was 0.1 m^2. Operation of bioreactor was in cycles of suction and backwash. Reactor was feed with synthetic wastewater of Volatile Fatty Acids (VFA) and 4-chlorophenol in range of COD between 2000 t0 4000 mg/L. Applied concentrations of 4-chlorophenol were 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160, 200, 250 and 300 mg/L. Organic loading rate (OLR) was increased in step-wise manner from 0.671 to 2.965 kg/m^3/day. Applied hydraulic retention times (HRT) were in two series: 1.3 days and 2 days. Biogas recirculation average rate was 4.56 L/min. SRT of infinite was applied during this research. Parameters like temperature, trans-membrane pressure (TMP), Chemical Oxygen Demand (COD), pH, turbidity, total suspended solids, and Electrical conductivity were measured regularly during the process. Analyzes of extracellular polymeric substances (EPS), CHNS-O analysis, and FTIR spectroscopy were been applied to discern differences between biomasses suspended in the mixed liquor and biomasses attached to the membranes. The SEM picturing also was applied to compare the surface of virgin membrane and the fouled membrane (having biofilm and cake layer).

Results: Average COD removal in this research was 90.59% and average COD concentration of effluent was 285.9 mg/L. Maximum COD removal and the minimum were

99.62% and 77.07% respectively. COD removal efficiency was reduced from 98.4% to 77.06% when 4-chlorophenol concentration was increased to 300 mg/L. Average 4-chlorophenol removal was 52.46%, and the maximum and the minimum were 95.24% and 24.7%, respectively. With increasing the 4-chlorophenol concentration, both the COD removal and 4-CP removal was reduced. Average flux in this bioreactor was 8.47 $L/m^2/hr$. EC improvement was around 5%. Average total suspended solids (TSS) in the effluent of bioreactor were 31.8 mg/L, which most of the time were between 14 and 48 mg/L. Average removal of TSS was 77.19%, which most of the time was between 70 and 90%. Maximum removal of TSS was 99.47%. Amount of EPS in attached biomass was 2.64 times higher than those in suspended biomass. Amounts of proteins were higher than polysaccharides in both biomasses (17.54 times higher in attached and 25 times higher in suspended). Other tests like CHNS-O and FTIR also showed the differences between the attached biomass and suspended biomass. Turbidity of effluent was very low; less than 8 NTU at most of time of operation. Membrane acid washing improved the membrane module permeability and affectivity and reduced the TMP during the operation period.

Discussion and conclusion: The results of this research showed that submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) with hollow fiber membranes module is effective in treating industrial wastewaters containing high organic materials and poisonous halogenated materials. This stability and high efficiency could be due to complete retention of adapted biomass within the bioreactor, as organic and poisonous shocks could induce their detachment. Attached biomass also has affectivity in removing COD and 4-chlorophenol. Related analysis approved the differences between two biomasses in this research. As effluent was produced through microfiltration, the produced permeate has little amounts of suspended solids, COD and turbidities. Also stability of operation and effectiveness of this bioreactor made it very trustworthy in comparison to the other anaerobic processes and promises ever-increasing usage of them for industrial wastewater treatments. Membrane fouling was the most problematic drawback of these bioreactors, which needs more extensive studies.

Keywords: submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR), anaerobic wastewater treatment, industrial wastewater, 4-chlorophenol