محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحهٔ ۳۹۶-۳۸۷

مطالعهٔ پایلوتی برای بررسی کارایی بیوراکتور غشایی در تصفیهٔ پیشرفتهٔ پساب صنعتی برای پیش‌تصفیهٔ اسمز معکوس

مجید حسین‌زاده[1]*، غلامرضا نبی‌بیدهندی[2]، علی ترابیان[3]، محمدسیروان علیمرادی[4]، حسین نایب[5]

۱ دکتری مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران

۲. استادگروه مهندسی محیط‌زیست دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران

۳. استادگروه مهندسی محیط‌زیست دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران

٤. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران

۵. دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب، دانشکدهٔ آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۹/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۲۷

چکیده

در تصفیهٔ پیشرفتهٔ پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری و صنعتی از طریق فرایند اسمز معکوس، به دلیل حساسیت بالای غشا به انواع مختلف ناخالصی‌های آلی و غیرآلی و برای محافظت از غشا و جلوگیری از گرفتگی‌های زودهنگام و افزایش طول عمر آن، به کارگیری پیش‌تصفیهٔ مناسب ضروری است. در این تحقیق کارایی بیوراکتور غشایی به‌منزلهٔ پیش‌تصفیهٔ واحد اسمز معکوس برای استفادهٔ مجدد از پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب صنعتی بررسی شده است. ارزیابی کیفیت آب خروجی از بیوراکتور غشایی براساس شاخص‌های میزان مواد معلق و اکسیژن موردنیاز شیمیایی انجام شد. همچنین، از شاخص گرفتگی فیلترهای اسمز معکوس برای بررسی پتانسیل ایجاد گرفتگی برای آب ورودی به اسمز معکوس استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که آب خروجی فرایند بیوراکتور غشایی برای استفاده در واحد اسمز معکوس به دلیل حذف بیش از ۹۸ درصد از مواد معلق و ۷۵ درصد از اکسیژن موردنیاز شیمیایی دارای کیفیت بالاست و با توجه به کمتربودن شاخص گرفتگی از ۳، می‌تواند به‌منزلهٔ خوراک ورودی وارد واحد اسمز معکوس شود. نتایج این تحقیق نشان‌دهندهٔ آن است که پایلوت بیوراکتور غشایی به‌منزلهٔ سیستم پیش‌تصفیهٔ مناسب برای واحد اسمز معکوس عمل می‌کند.

کلیدواژه

اسمز معکوس، استفادهٔ مجدد از فاضلاب، بیوراکتور غشایی، شاخص گرفتگی فیلتر.

۱. سرآغاز

یکی از مسائل حیاتی و مهمی که دنیای امروز با آن مواجه است، مسئلهٔ آب و کمبود منابع آبی است؛ زیرا با رشد روزافزون جمعیت کرهٔ زمین و نیاز آن به مایهٔ حیات و از طرفی محدودیت ذخایر آبی، معضل بزرگ کمبود آب، گریبان‌گیر جامعهٔ بشری شده است. از سوی دیگر، بخشی از آب به صورت پساب‌های شهری و صنعتی دفع می‌شود که علاوه بر هدررفتن بخشی از منابع آبی، به دلیل امکان نفوذ آن در منابع آب زیرزمینی، وسیلهٔ آلودگی منابع آبی را فراهم می‌کند. استفادهٔ مجدد از فاضلاب‌ها، پساب‌ها و آب‌های آلوده مسئله‌ای است که مدت‌ها ذهن کارشناسان آب و مهندسان محیط‌زیست را به خود مشغول کرده است

* نویسنده مسئول: Email: ayati_bi@modares.ac.ir

(Tam, et al., 2007). امروزه توانایی بازیافت آب از پساب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی، به دلیل کمیت زیاد، امکان دسترسی به یک منبع مناسب برای مصارف گوناگون از جمله کشاورزی و صنعت را فراهم می‌کند (Wintgens, et al., 2006). با به کارگیری فناوری‌های جدید به سادگی می‌توان آب آلوده را حتی برای استفاده در مصارف خانگی نیز بازیافت کرد. از جمله روش‌هایی که در تصفیهٔ پیشرفتهٔ آب و پساب‌های آلوده نظیر پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خانگی و صنعتی استفاده می‌شود، استفاده از فرایندهای غشایی است که از جملهٔ این روش‌ها تولید آب صنعتی از طریق فرایند اسمز معکوس[1] است (Comerton, et al., 2005; Meier, et al., 2005). حساسیت بالای غشاها در مقابل انواع مختلف ناخالصی‌های آلی و غیرآلی، نیازمند به کاربردن تمهیدات گسترده‌ای در واحدهای اسمز معکوس است (Choia, et al., 2009; Alexei, 1999). به همین دلیل آب ورودی به واحد اسمز معکوس باید پیش‌تصفیه شود (Eyal, et al., 2011). یکی از روش‌های متداول پیش‌تصفیهٔ اسمز معکوس در صنعت، استفاده از غشای میکروفیلتر یا اولترافیلتر است که در صورت استفاده از آن‌ها در محیط بیولوژیک فرایند بیوراکتور غشایی[2] (MBR) نامیده می‌شود (Dhaouadi, et al., 2008; Lyko, et al., 2007). فرایند MBR از ابتدا با هدف جایگزینی غشا با ته‌نشینی ثانویه برای غلبه بر مشکلات ته‌نشینی و تولید پساب با کیفیت بالاتر توسعه داده شد (Liu, et al., 2008; Nelson, et al., 2008). در ابتدای توسعهٔ MBR مدول‌های غشا در خارج راکتور قرار داشتند و مایع مخلوط راکتور بیولوژیکی به مدول‌های غشا تلمبه می‌شد که مصرف انرژی نسبتاً بالایی نیاز داشت (Ueda, et al., 1997). با افزایش سطح فناوری و شناخت بیشتر نسبت به فرایند MBR، مدول‌های غشا به داخل راکتور منتقل شد و خروجی پساب از طریق مکش به‌وسیلهٔ تلمبه خلأ از غشاها صورت گرفت که در این حالت مصرف انرژی پایین‌تر و اقتصادی‌تر است (Gehlert, et al., 2005).

کنت و همکاران در تحقیقی با عنوان «ارزیابی گزینه‌های پیش‌تصفیهٔ اسمز معکوس از طریق ممبران‌های کم‌فشار» در دانشگاه گلف کانادا دو گزینه برای پیش‌تصفیهٔ RO را بررسی کردند: ۱. تصفیهٔ پیشرفتهٔ فاضلاب خروجی از حوضچهٔ ثانویه از طریق غشا توخالی و ۲. استفاده از بیوراکتور غشایی (Kent, et al., 2011). نتایج حاکی است که استفاده از بیوراکتور غشایی (MBR)، کاهش TOC و COD به میزان ۲۵ درصد را در پساب تصفیه‌شده همراه دارد. همچنین، استفادهٔ همزمان این دو روش در پیش‌تصفیهٔ RO نشان داد که میزان فولینگ RO با پیش‌تصفیهٔ MBR تقریباً نصف فولینگ RO با پیش‌تصفیهٔ غشا توخالی است. کامرتون در تحقیقی دیگر با عنوان «ارزیابی فرایند غشایی هیبریدی برای استفادهٔ مجدد از آب» در دانشگاه تورنتو کیفیت خروجی از یک سیستم MBR-RO را در حذف نیترات و DBP و کنترل میکروبی بررسی کرد (Camerton, 2005). نتایج حاکی است آب تصفیه‌شده دارای استانداردهای آب آشامیدنی به لحاظ ترکیبات THMs، HAAS، کلریت، کلیفرم‌ها، ویروس، نیتریت و نیترات است. به طوری که میزان حذف THMs بیش از ۸۳ درصد، HAAS تقریباً ۱۰۰ درصد و نیترات بالای ۹۰ درصد به دست آمد. همچنین، حداقل‌های مقررات آب کالیفرنیا برای استفاده به منظور مقاصد غیرشرب از جمله آبیاری و استفاده در برج‌های خنک‌کن را تأمین می‌کند.

در تحقیق دیگری که فرحبخش و جیان در دانشگاه گلف انجام دادند تأثیر پیش‌تصفیه روی کارایی فرایند اسمز معکوس در تصفیهٔ پساب ثانویه بررسی شد. در این تحقیق گرفتگی غشا RO در دو حالت: ۱. استفاده از سیستم تصفیهٔ متعارف و ۲. استفاده از سیستم MBR به‌منزلهٔ پیش‌تصفیه بررسی شد که نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر سیستم MBR نسبت به تصفیهٔ متداول است (Jian & Farahbakhsh, 2007). تحقیقات مشابه دیگری در خصوص استفادهٔ مجدد از آب با کاربرد فرایند بیوراکتور غشایی به‌منزلهٔ پیش‌تصفیهٔ اسمز طی سال‌های اخیر گزارش شده است (Sahar, et al.,

.(2011; Qin & Kehre, 2011; Dukes & Gottberg, 2006

در ایران تعداد زیادی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب صنعتی وجود دارد که با توجه به کمبود منابع آب، بحث تصفیهٔ پیشرفتهٔ پساب خروجی آن‌ها برای استفاده در صنایع موجود در شهرک‌های صنعتی مطرح است که در این تحقیق استفاده و کارایی فرایند MBR به منظور تصفیهٔ پیشرفتهٔ پساب خروجی از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهرک صنعتی شکوهیهٔ قم و کارایی آن برای پیش‌تصفیهٔ واحد اسمز معکوس بررسی می‌شود. برای این منظور محصول خروجی MBR با پارامترهای کیفی مواد معلق (TSS) و میزان اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD) ارزیابی و کیفیت آن برای تأمین آب ورودی به سیستم اسمز معکوس با شاخص SDI سنجیده می‌شود.

۲. مواد و روش بررسی

۱.۲. خصوصیات پساب

در تصفیه‌خانهٔ شهرک صنعتی شکوهیهٔ قم، فاضلاب پس از عبور از واحدهای تصفیهٔ مقدماتی، متعادل‌ساز، واحد بی‌هوازی و هوازی به فیلتر شنی وارد می‌شود. با توجه به فرایندهای صورت‌گرفته روی فاضلاب از لحظه ورود به تصفیه‌خانه تا رسیدن به فیلترهای شنی، اکثر مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی در فرایندهای هوازی و بی‌هوازی به مصرف میکروارگانیسم‌ها می‌رسد و از سیستم حذف می‌شود. به همین دلیل میزان مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی در خروجی فیلتر شنی کم است. همچنین، وجود این‌گونه مواد آلی تجزیه‌پذیر بیولوژیکی در آب نامتعارف خروجی تصفیه‌خانه که در مراحل قبلی تصفیه (واحدهای بی‌هوازی و هوازی) حذف نشده‌اند، بیانگر وجود مواد تجزیه‌پذیر، اما دیرتجزیه‌پذیر در پساب خروجی است. در جدول ۱ مشخصات کیفی پساب تصفیه‌شدهٔ خروجی از تصفیه‌خانه که از آن به‌منزلهٔ منبع تغذیه MBR استفاده شده، نشان داده شده است (مهندسین مشاور پارس آرین آب، ۱۳۸۵).

جدول ۱. میانگین مشخصات کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانهٔ شکوهیه*

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار
۱	pH	-	۷/۱
۲	CODs	mg/lit	۲۰۰
۳	TSS	mg/lit	۲۱۰

* شایان یادآوری است اعداد ارائه‌شده در این جدول میانگین نمونه‌های گرفته‌شده **طی** تحقیق **است** و کیفیت پساب تصفیه‌خانه با توجه به تغییرات و تنوع صنایع شهرک و شرایط و کیفیت بهره‌برداری متغیر است. برای مثال، مطابق اسناد موجود غلظت TSS پساب در زمان طراحی واحد استحصال حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است (مهندسین مشاور پارس آرین آب، ۱۳۸۵).

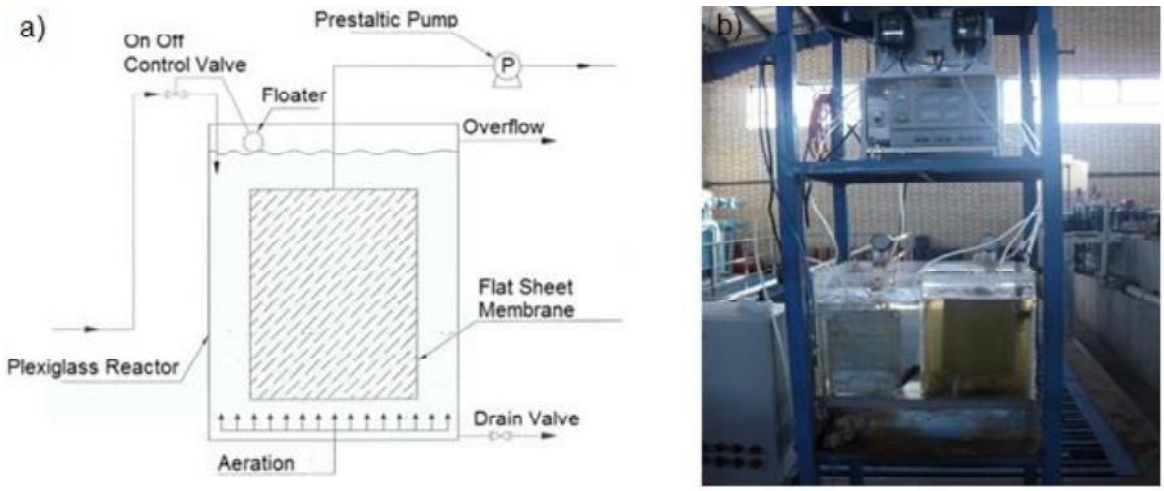
۲.۲. مشخصات پایلوت MBR و شرایط بهره‌برداری

در شکل ۱، شمای کلی پایلوت موردنظر در این تحقیق نشان داده شده است.

اجزا به‌کاررفته در ساخت پایلوت عبارت‌اند از: محفظهٔ از جنس پلکسی‌گلاس با حجم مفید ۳۲ لیتر (ابعاد مفید ۳۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر)، غشا، پمپ‌های مکش، فشارسنج، المنت حرارتی، شیر و شناور کنترل سطح، شیر تخلیهٔ لجن مازاد، دیفیوزرهای هوادهی، هواده، مخزن خوراک ورودی و محصول خروجی و سنسورهای اندازه‌گیری دما، pH و اکسیژن محلول. غشا استفاده‌شده در پایلوت، از نوع اولترافیلتر صفحه‌ای (FS) از جنس PES، ساخت آلمان، قطر منافذ ۰/۰۴ میکرومتر و MWCO[۹] برابر با ۱۵۰ KDa است. سیستم در حالت دبی خروجی ثابت از غشا و فشار متغیر بهره‌برداری و به همین منظور برای افزایش دقت از پمپ پری‌استالتیک استفاده شده است که دبی خروجی ۴ لیتر بر ساعت را تأمین کند. بنابراین با توجه به ابعاد غشای استفاده‌شده در محفظه‌های راکتور شار جریان عبوری از غشا ۸۳ لیتر بر متر مربع بر ساعت است.

در این تحقیق با توجه به اینکه پایلوت MBR با پساب خروجی از تصفیه‌خانه تغذیه می‌شود میزان مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی آن پایین است و به همین دلیل بیوراکتور در غلظت پایین مواد معلق مایع مخلوط (MLSS) بهره‌برداری

می‌شود. همچنین با بالارفتن میزان مخلوط معلق در راکتور برای نگهداری و ثابت نگه‌داشتن سن لجن (۲۵ روز)، بخشی از مواد معلق به‌منزلهٔ لجن مازاد از راکتور خارج می‌شود. راکتورها در شرایط زمان ماند هیدرولیکی و شار خروجی ثابت بهره‌برداری می‌شوند و طی زمان تغییرات فشار تراوایی غشا و کیفیت پساب (براساس TSS و COD) ثبت و اندازه‌گیری می‌شود. همچنین از شاخص دانسیتهٔ سیلتی (SDI) برای بررسی گرفتگی غشا و تعیین شدت آن، برای بررسی ارزیابی کیفی محصول خروجی برای ورود به اسمز معکوس استفاده شده است که در هر بار نمونه‌برداری همراه سایر پارامترهای ذکرشده، محاسبه شد.



شکل ۱. الف) فلودیاگرام پایلوت ساخته‌شده؛ ب) نمای پایلوت در حال بهره‌برداری

در ابتدای راه‌اندازی، پایلوت به مدت ۱۴ روز بهره‌برداری شد تا به شرایط پایدار برسد و پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های موردنظر در یک دورهٔ ۳۰ روزه بهره‌برداری صورت گرفت. کلیهٔ آزمایش‌های انجام‌شده در این تحقیق، براساس دستورالعمل‌های ارائه‌شده در کتاب روش‌های استاندارد انجام شده است (APHA, 1998). آزمایش‌های انجام‌شده در این تحقیق شامل اندازه‌گیری پارامترهای COD محلول، TSS و MLSS بود که ۱۳ بار طی بهره‌برداری گزارش شد و هر بار میانگین دو سری آزمایش ملاک قرار گرفت. غلظت DO نیز برای اطمینان از وجود شرایط مناسب روزانه پایش شد.

برای اندازه‌گیری مواد معلق نمونه‌ها مطابق دستورالعمل از کاغذ صافی و برای سنجش COD از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Palintest ۷۱۰۰) و ویال‌های آماده COD تولید کارخانه Palintest استفاده شد. همچنین، سنجش DO و درجهٔ حرارت با دستگاه قابل حمل (JENWAY-970) ساخت انگلستان انجام شد. برای تأمین شار ثابت از پمپ پری استالتیک ساخت چین (مدل ۱۱-۵۱۲) با قابلیت تنظیم دبی بین صفر تا ۴ لیتر بر ساعت استفاده شد.

۳. نتایج

۱.۳. کیفیت محصول خروجی

به دلیل کارایی بالای فرایند MBR محصول خروجی از غشا کاملاً شفاف و از درجهٔ تصفیهٔ بسیار بالا برخوردار است (شکل ۲). این کیفیت با سنجش برخی از پارامترهای کیفی کاملاً معنی می‌یابد.

شکل ۲. کیفیت ظاهری پساب و محصول خروجی پایلوت

جدول ۲. آنالیز آماری داده‌ها در بهره‌برداری از پایلوت

Parameter		Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation	95% confidence interval on the mean		p-value
TSS	in	179.000	255.000	211.500	18.358	] 199.836;	223.164 [	< 0.0001
	out	2.000	3.500	2.625	0.569	] 2.263;	2.987 [	< 0.0001
COD	in	185.000	314.000	221.083	35.908	] 155.384;	198.450 [	< 0.0001
	out	41.000	47.000	44.167	2.082	] 42.844;	45.489 [	< 0.0001

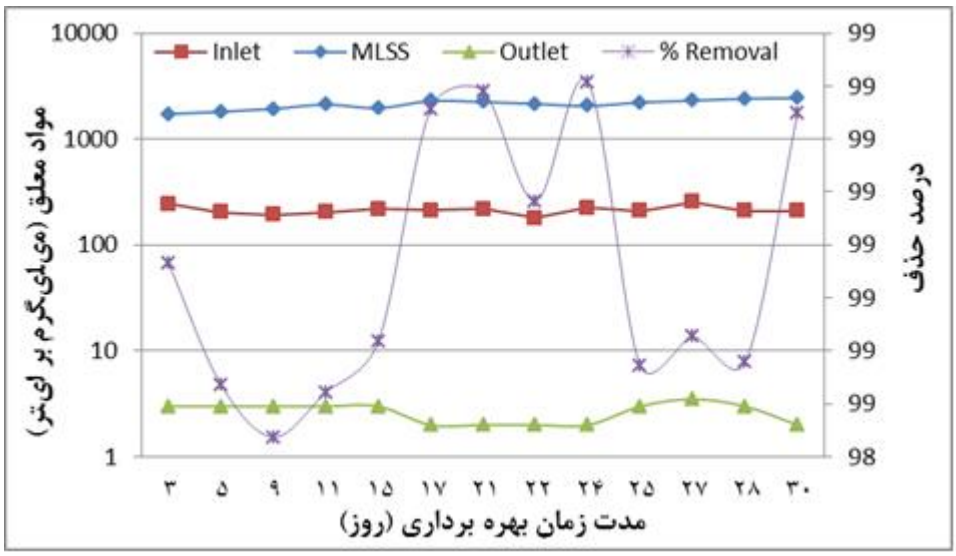
در شکل‌های ۳ و ۴ کارایی حذف مواد معلق و COD طی ۳۰ روز بهره‌برداری از راکتور نشان داده شده است. همچنین، در جدول ۲ آنالیز آماری داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با استفاده از آزمون تی استیودنت[۴] و لحاظ‌کردن سطح معنی‌داری و فاصلهٔ اطمینان به ترتیب ۵ و ۹۵ درصد ارائه شده است.

مقدار بسیار کم P-Value محاسبه‌شده نشان از معنی‌داربودن و غیرتصادفی‌بودن داده‌ها دارد. همچنین، فاصلهٔ اطمینان[۳] به‌دست‌آمده بیانگر این است که در صورت تکرار آزمایش‌ها، داده‌های جدید در (P-Value) ۱ درصد موارد، در این محدوده قرار دارند.

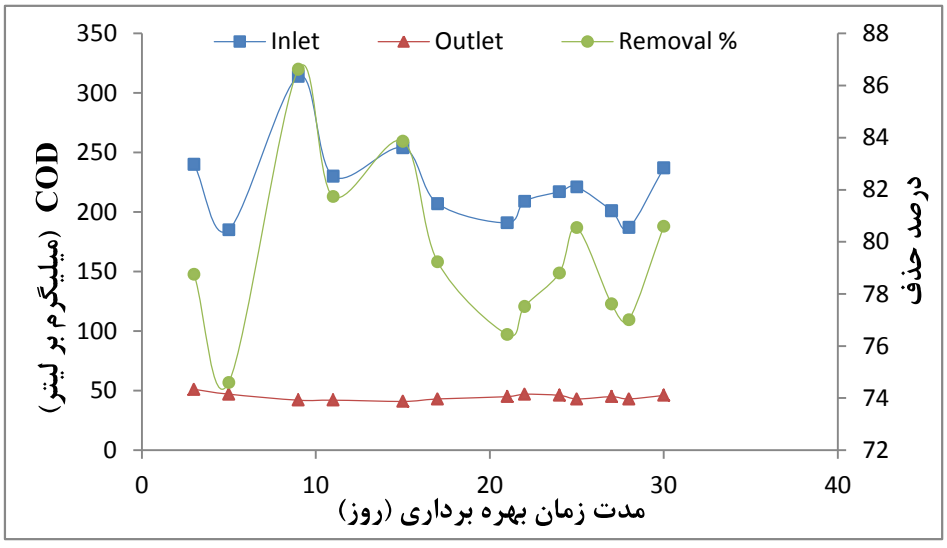
همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است غلظت مواد معلق ورودی به راکتور از ۱۷۹ mg/L تا ۲۳۴ mg/L طی مدت بهره‌برداری در نوسان بوده و طی این مدت غلظت مواد مخلوط معلق داخل بیوراکتور غشایی از حدود ۱۷۳۰ mg/L تا ۲۴۴۰ mg/L متغیر است. دلیل متغیربودن MLSS، تخلیهٔ لجن مازاد برای ثابت نگه‌داشتن سن لجن و کیفیت متغیر پساب ورودی بیوراکتور است. با توجه به گسترهٔ وسیع اعداد در این قسمت برای نمایش اعداد از نمودار لگاریتمی استفاده شده است. نمودار نشان می‌دهد که بازده حذف مواد معلق بالای ۹۹ درصد بوده است. بازده بالا در حذف مواد معلق طی فرایند فیزیکی جداسازی از طریق غشا صورت می‌گیرد که در نتیجهٔ آن در محصول خروجی غلظت مواد معلق به کمتر از ۳ mg/L می‌رسد.

در شکل ۴ روند تغییرات COD در خوراک ورودی به بیوراکتور غشایی و محصول خروجی از آن نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که COD ورودی به بیوراکتور غشایی از ۱۸۷ mg/L تا ۳۲۰ mg/L متغیر و به طور میانگین COD ورودی حدود ۲۲۰ mg/L است. در خروجی دامنهٔ این اعداد به ۴۱mg/L تا ۵۱ mg/L می‌رسد

که بیانگر درصد حذف حدود ۷۵ درصد از COD پساب ورودی در محصول خروجی است. برخی از تحقیقات بازده‌های حذف بیشتری را گزارش داده‌اند (بالای ۹۰ درصد حذف) که بالاتر از بازده راکتور این تحقیق است (Hoinkis, et al., 2012; Qin, et al., 2007). پایین‌تربودن میزان حذف COD در این تحقیق را می‌توان به پایین‌تربودن میزان مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی در پساب ورودی مرتبط کرد، زیرا بخش زیادی از مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی در فرایندهای بیولوژیکی قبلی (فرایندهای هوازی و بی‌هوازی) حذف می‌شوند و در نهایت در پساب ورودی به بیوراکتور مقدار کمی از این مواد وجود دارد.



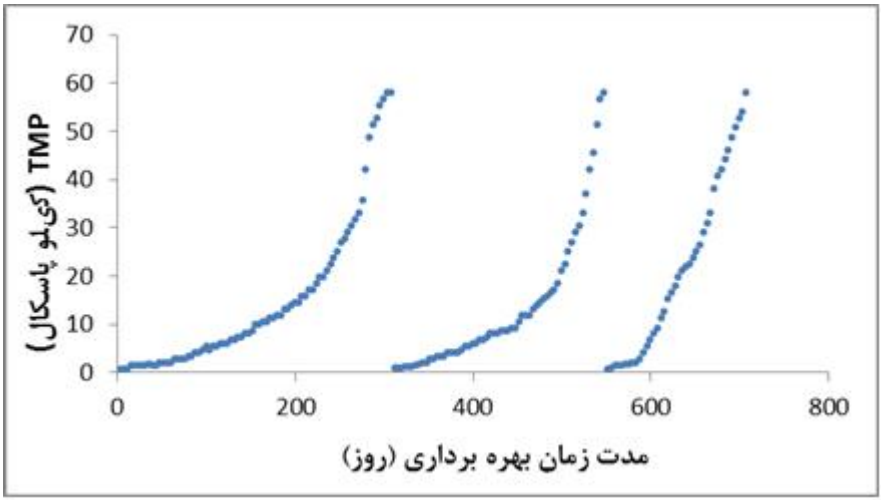
شکل ۳. تغییرات مواد معلق در ورودی، خروجی، مواد معلق مخلوط مایع و درصد حذف آن‌ها



شکل ۴. تغییرات COD در ورودی و خروجی و درصد حذف آن طی مدت بهره‌برداری

۲.۳. بررسی گرفتگی غشا طی بهره‌برداری

با شروع به کار فیلتراسیون غشایی و با گذشت زمان، منافذ غشا به تدریج گرفته می‌شوند و این گرفتگی تدریجی و به تبع آن کاهش منافذ غشا به افزایش اختلاف فشار در دو سر غشا منجر می‌شود و فشار تراوایی غشا را افزایش می‌دهد. در شکل ۵، نمودار تغییرات و افزایش تدریجی غشا طی مدت بهره‌برداری نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشهود است در ابتدای دورهٔ بهره‌برداری به دلیل تمیزبودن غشا عبور جریان به راحتی و افت فشار کم صورت می‌گیرد و دامنهٔ تغییرات فشار نسبت به زمان بسیار کند است. با افزایش مدت زمان بهره‌برداری و گرفتگی بیشتر غشا، دامنهٔ این تغییرات بیشتر می‌شود تا جایی که نرخ افزایش فشار نسبت به زمان بسیار بالا می‌رود. در این قسمت غشا از بیوراکتور خارج و ابتدا به صورت فیزیکی و شستشوی سطحی با آب تمیز، سپس به روش شیمیایی شستشو داده می‌شود. غشای تمیزشده مجدداً داخل راکتور قرار می‌گیرد و فرایند ادامه می‌یابد.



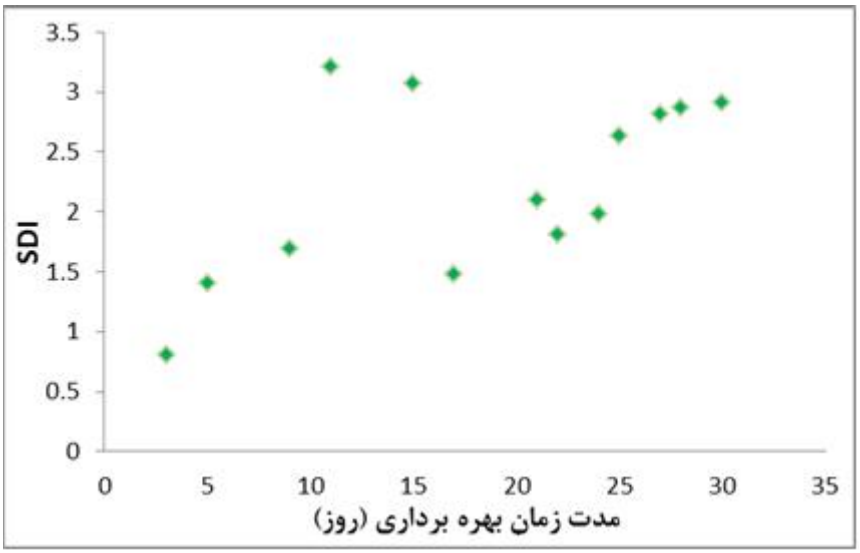
شکل ۵. میزان تغییرات فشار تراوایی غشا طی مدت بهره‌برداری

همان‌گونه که در نمودار بالا مشخص است، شستشوی اولیهٔ غشا پس از گذشت حدود ۱۳ روز از آغاز به کار MBR انجام می‌شود، اما با ادامهٔ فعالیت پایلوت به‌رغم شستشوی انجام‌شده مدت زمان صرف‌شده برای رسیدن به ماکزیمم فشار و به عبارتی فاصلهٔ دو شستشوی متوالی کاهش می‌یابد. به این ترتیب رسیدن به فشار ماکزیمم و در نتیجه شستشوهای بعدی به ترتیب پس از ۱۰ و ۷ روز اتفاق می‌افتد. این امر به دلیل افزایش گرفتگی برگشت‌ناپذیر است که طی آن برخی منافذ غشا حتی پس از شستشوی شیمیایی نیز برطرف نمی‌شود و موجب کاهش فاصلهٔ شستشوهای متوالی طی مدت بهره‌برداری می‌شود.

۳.۳. امکان‌سنجی استفاده از خروجی MBR به‌منزلهٔ پیش‌تصفیهٔ اسمز معکوس

از مهم‌ترین شاخص‌های قابل سنجش پتانسیل رسوب‌گذاری و گرفتگی آب برای ورود به مدول‌های غشایی اسمز معکوس، شاخص SDI است که در آن میزان رسوب‌گذاری براساس مقدار رسوب در غشای ۰/۴۵ میکرومتری در زمان تصفیه به دست می‌آید. معمولاً برای کاهش میزان رسوب‌گذاری آب تغذیه در واحدهای اسمز معکوس و نانو فیلتر، میزان SDI در ۱۵ دقیقه پس از پیش‌تصفیه باید کمتر از ۵ باشد (Eyal, et al., 2011). در صورتی‌که SDI آب ورودی به ممبران بزرگ‌تر از ۵ باشد، در کمتر از چند هفته ممبران‌ها با گرفتگی شدید و کاهش

تولید مواجه می‌شوند و برای رفع مشکل طراحی، پیش‌تصفیهٔ مناسب توصیه می‌شود (Fraser, et al., 2011). بهترین عدد SDI برای ورود به ممبران‌ها دستگاه اسمز معکوس (براساس پیشنهاد سازندگان مختلف ممبران) کوچک‌تر از ۳ است. شاخص لجن بین ۳ تا ۵ شستشوی مکرر (حداکثر ۶ ماه یک بار) ممبران‌ها را می‌طلبد که در نهایت به کاهش طول عمر ممبران‌ها منجر می‌شود. در نمودار ۶ شاخص SDI روی خروجی پایلوت MBR در فواصل زمانی مختلف نمایش داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است تنها در ۲ مورد شاخص بالای ۳ بوده است و در سایر موارد اعداد نمایش‌داده‌شده بیانگر بالابودن کیفیت محصول خروجی از MBR برای استفاده از آن به‌منزلهٔ پیش‌تصفیه است. آنالیز آماری انجام‌شده روی این داده‌ها نشان می‌دهد میانگین SDI در آزمایش‌ها ۲/۲۱ و انحراف معیار داده‌ها ۷۶/. است. همچنین، فاصلهٔ اطمینان به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در صورت تکرار آزمایش‌ها، SDI به طور میانگین در بیش از ۹۹ درصد موارد بین ۱/۷۵ تا ۲/۶۷ خواهد بود.



شکل ۶. بررسی وضعیت شاخص SDI برای محصول خروجی پایلوت

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی بیوراکتور غشایی در تصفیهٔ پیشرفتهٔ پساب صنعتی و توانایی آن به‌منزلهٔ سیستم پیش‌تصفیه برای تولید آب با کیفیت مناسب برای ورود به مدول اسمز معکوس بررسی شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد محصول خروجی از این فرایند از نظر مواد معلق و میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی دارای کیفیت بسیار مناسب است. همچنین، نتایج بررسی شاخص گرفتگی نشان می‌دهد آب خروجی از MBR دارای SDI کمتر از ۳ بوده و به دلیل پتانسیل ایجاد گرفتگی کمتر برای ورود به واحد اسمز معکوس بسیار مناسب است. با توجه به محدودیت منابع آب در ایران به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، استفاده از این روش برای تصفیهٔ تکمیلی و پیشرفتهٔ پساب‌های حاصل از تصفیه به منظور استفادهٔ مجدد از آب می‌تواند ضمن آلودگی کمتر محیط، بخشی از کمبود آب موردنیاز را جبران کند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با مساعدت مدیریت تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهرک صنعتی شکوهیهٔ قم جناب آقای منصوری و همکاری آقایان امیدی، عبدی و همکاران معاونت بهره‌برداری و آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان قم،

آقایان نظرزاده، انصاری و ضیایی صورت گرفت که از زحمات آن‌ها تقدیر می‌شود.

۶. یادداشت‌ها

1. Reverse Osmosis (RO)
2. Membrane Bio Reactor (MBR)
3. Silt Density Index (SDI)
4. Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)
5. Chemical Oxygen Demand (COD)
6. Dissolved Oxygen (DO)
7. Trans Membrane Pressure (TMP)
8. Molecular Weight Cut-Off (MWCO)

۹. MWCO یا وزن مولکولی برش برابر وزن مولکولی پلیمری است که بیش از ۹۰ درصد آن از طریق غشا دفع شود و از طریق اندازه‌گیری میزان عبور آن پلیمر از درون حفره‌های غشا به دست می‌آید.

منابع

شرکت مهندسین مشاور پارس آرین آب. ۱۳۸۵. مدارک طراحی واحد استحصال تصفیه‌خانهٔ شهرک صنعتی شکوهیهٔ قم.

APHA. AWWWA. WPCF. 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, Washington DC.

Alexei, G. 1999. A Simplified RO Process Design Based on Understanding of Fouling Mechanisms, Desalination, 126: 227-247.

Choia, J, Seok. Taemun, H. Leea, S. Hongb, S. 2009. A Systematic Approach to Determine the Fouling Index for a RO/NF Membrane Process, Desalination, 238: 117-127.

Comerton, A, M. Andrews, R, C. Bagley, D, M. 2005. Evaluation of an MBR–RO System to Produce High Quality Reuse Water: Microbial Control, DBP Formation and Removal, Water Res, 39: 3982–3990.

Dhaouadi, H. Marrot, B. 2008. Olive Mill Wastewater Treatment in a Membrane Mioreactor: Process Feasibility and Performances, Chem. Eng. J, 145: 225–231.

Dukes, S., Gottberg, A. 2006. Membrane bioreactors for RO pretreatment, Water Environment Foundation

Eyal, S. Inbal, D. Yelena, G. Haim, C. Avi, A. Rami, M. Asher, B. 2011. The Use of RO to Remove Emerging Micropollutants Following CAS/UF or MBR Treatment of Municipal Wastewater. Desalination, 237: 142-147.

Fraser C. Kent, Khosrow Farahbakhsh, Basuvaraj Mahendran, Magdalena Jaklewicz, Steven N. Liss, Hongde Zhou. 2011. Water reclamation using reverse osmosis: Analysis of fouling propagation given tertiary membrane filtration and MBR pretreatments, Journal of Membrane Science, 382:328-338

Gehlert, G. Abdulkadir, M. Fuhrmann, J, Hapke, J. 2005. Dynamic Modeling of an Ultrafiltration Module for Use in a Membrane Bioreactor, Journal of Membrane Science, 248: 63-71.

Hoinkis, J. Deowana, S. Pantenb, V. Figolic, A. Huangd, R. Driolic, E. 2012. Memrane Bioreactor (MBR) Technology – A Promising Approach for Industrial Water Reuse, Procedia Engineering, 33: 234 – 241

Jian, Xu, Farahbakhsh, Kh., 2007. Impact of Pretreatment on Reverse Osmosis Treatment of Secondary effluent, M.Sc. Thesis, University of Guelph, Ontario, Canada.

Kent, F. Farahbakhsh, Kh. Mahendran, B. Jaklewicz, M. Liss, S. Zhou, H. 2011. Water Reclamation Using Reverse Osmosis: Analysis of Fouling Propagation Given Tertiary Membrane Filtration and MBR Pretreatments, Journal of Membrane Science, 382 (1-2): 328-338

Liu, H, B. Yang, C, Z. Pu, W, H. Zhang, J, D. 2008. Removal of Nitrogen from Wastewater for Reusing to Boiler Feed-Water by an Anaerobic/Aerobic/Membrane Bioreactor, Chem. Eng. J, 140: 122–129.

Lyko, S. Al-Halbouni, D. Wintgens, T. Janot, A. Hollender, J. Dott, W. Melin, T. 2007. Polymeric Compounds in Activated Sludge Supernatant-Characterisation and Retention Mechanisms at Full-Scale Municipal Membrane Bioreactor, Water Res, 41: 3894–3902.

Meier, J. Melin, T. 2005. Wastewater Reclamation by PAC/NF Process. Desalination, 178: 27–40.

Nelson, M, I. Balakrishnan, E, E. Sidhu, H, S. Chen, X, D. 2008. A Fundamental Analysis of Continuous Flow Bioreactor Models and Membrane Reactor Models to Process Industrial Wastewaters. Chem. Eng. J, 140: 521–528.

Qin, J. Wai, M. Tao, G. Kekre, K. Seah, H. 2007. Membrane Bioreactor Study for Reclamation of Mixed Sewage Mostly from Industrial Sources. Separation and Purification Technology, 53: 296–300.

Qin, J., Kekre, K. 2011. Membrane Processes for Reclamation of Municipal wastewater, Handbook of Environmental Engineering, Volume 13: Membrane and Desalination Technologies Edited by: L.K. Wang et al., DOI: 10.1007/978-1-59745-278-6_10

Sahar, E., David, I., Gelman, Y., Chikurel, H., Aharoni, A., Messalem, R., Brenner, A. 2011. The use of RO to remove emerging micropollutants following CAS/UF or MBR treatment of municipal wastewater. Desalination, 273:142-147

Tam, L, S. Tang, T, W. Lau, G, N. Sharma, K, R. Chen, G, H. 2007. A Pilot Study for Wastewater Reclamation and Reuse with MBR/RO and MF/RO Systems. Desalination, 202: 106–113.

Wintgens, T. Melin, T. Schafer, A. Khan, S. Muston, M. Bixio, D. Thoeye, C. 2006. The Role of Membrane Processes in Municipal Wastewater Reclamation and Reuse. Desalination, 187:271–282.

Ueda, T. Hata, K. Kikuoka, Y. Seino, O. 1997. Effects of Aeration on Suction Pressure in a Submerged Membrane Bioreactor. Water Research, 31: 489-494.