

بررسی عملکرد راکتور ناپیوسته متوالی بستر ثابت در تصفیه فاضلاب مصنوعی

سهند جرفی^{*۱}

محمد مهدی مهربانی اردکانی^۲

کامیار یغمائیان^۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۱۳

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی عملکرد راکتور ناپیوسته متوالی بستر ثابت در تصفیه فاضلاب مصنوعی انجام یافته است. به این منظور یک راکتور (SBR) استوانه ای شکل در مقیاس آزمایشگاهی که توسط بستر ثابت (حاوی بستر از نوع لانه زنبوری ۲۰۰۰) حمایت می گردید مورد استفاده قرار گرفت. میکروارگانیزم های اولیه این راکتور برای راه اندازی، از لجن فعال برگشتی یک تصفیه خانه شهری تهیه گردید. تغذیه راکتور با کمک فاضلاب مصنوعی انجام شد. در ابتدا راه اندازی و سازگارسازی میکروارگانیزم ها، با میزان COD برابر با ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر انجام گرفت، سپس بارگذاری آلی راکتور با توجه به چرخه زمانی کلی ۲۴ ساعته (پرشدن: ۶ ساعت، واکنش: ۱۰ ساعت، ته نشینی: ۴ ساعت، سکون: ۲ ساعت و تخلیه: ۱۰ ساعت) و به ترتیب در میزان COD برابر با ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر طی چهار مرحله متوالی افزایش داده شد. لایه زیستی چسبیده بر روی بسترهای ثابت حمایت کننده راکتور (SBR) نقش مهمی را در بهبود حذف COD ایفا می نمود. بیشترین بازده حذف مشاهده شده در COD ورودی ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و برابر با ۹۴٪ به دست آمد. همچنین بازده حذف ۸۲ درصدی راکتور مورد استفاده در این تحقیق حاکی از کارایی قابل قبول آن در کاهش بار آلی تا میزان $4/8 \text{ KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ می باشد.

واژه های کلیدی: راکتور ناپیوسته متوالی، بستر ثابت، لایه زیستی، فاضلاب مصنوعی.

۱- استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز* (مسئول مکاتبات)

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

۳- دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

مقدمه

بر اساس قدرت آلاینده‌گی فاضلاب یا غلظت آن بر اساس میزان اکسیژن خواهی شیمیایی می توان فاضلاب را به انواع قوی، متوسط و ضعیف طبقه بندی کرد. هرچه میزان بار آلی بیشتر باشد، فاضلاب قوی تر خواهد بود (۱). صنایع پتروشیمی از جمله صنایعی می باشد که فاضلاب خروجی آن حاوی ترکیباتی با بار آلی بسیار بالا از جمله مونو اتیلن گلیکول است. از اتیلن گلیکول در تولید واکس، رنگ، جوهر و حتی واکسن استفاده می شود و حضور این ماده در فاضلاب این گونه صنایع قابل انتظار بوده (۲-۴) و باعث ایجاد اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) بسیار بالایی می شود و از این طریق منجر به آلودگی شدید منابع پذیرنده می گردد (۵ و ۶).

به دلیل وجود مواد و ترکیبات آلی در فاضلاب خروجی صنایع به خصوص صنایع کوچک، بحث تصفیه فاضلاب بسیار حائز اهمیت می باشد. احداث چندین واحد عملیاتی و فرایندی تصفیه فاضلاب به دلیل نبود زمین کافی و نداشتن توجه اقتصادی از موانع اصلی احداث یک واحد تصفیه مناسب از سوی صاحبان این صنایع می باشد، لذا لزوم تحقیق در مورد سیستم های تصفیه بیولوژیکی موثر و در عین حال ارزان قیمت که بتواند واحدهای عملیاتی و فرایندی تصفیه را به صورت یک جا و در کم ترین فضا با بازده بالا تامین می نماید اجتناب ناپذیر است.

در سال ۱۹۷۰ فرایند اولیه SBR، در آمریکا توسط Irvine برای اولین بار به کار گرفته شد، یک سیستم SBR، ممکن است به صورت یک تانک منفرد و یا چند تانک به صورت موازی، به کار برده شود. مراحل مختلف کارکرد یک سیستم SBR عبارتند از: ۱- پرکردن، ۲- واکنش، ۳- ته نشینی، ۴- تخلیه و ۵- سکون. مرحله پرکردن مرحله دریافت فاضلاب خام است، مرحله واکنش که در آن واکنش های بیولوژیک انجام می گیرد و می تواند شامل دو فاز هوازی و بیهوازی گردد، مرحله ته نشینی که مرحله جداسدن میکروارگانیسم ها و توده بیولوژیک از فاضلاب ته نشین شده است، مرحله خروج که مرحله خروج پساب تصفیه شده بوده و در نهایت مرحله سکون یا استراحت

که مرحله بعد از تخلیه پساب و قبل از پر کردن مجدد می باشد (۷). استفاده از SBR برای تصفیه فاضلاب های قوی ممکن است به دلیل توانایی شان در کاهش ترکیبات نیتروژن دار به وسیله نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون مناسب باشد، اما هنوز معایبی نیز از جمله تولید لجن اضافی و SVI بالا دارد (۸). لذا استفاده از مواد حمایت کننده جهت رشد میکروارگانیسم ها (تشکیل لایه زیستی) در راکتور های ناپیوسته متوالی در راستای تشکیل یک سیستم تلفیقی موجب افزایش کارایی آن ها در حذف ترکیبات آلی و غیر آلی از فاضلاب های شهری و صنعتی شده است (۹ و ۱۰). راکتور ناپیوسته متوالی لایه زیستی یک واحد فرایندی متناوب است که برای تصفیه زیستی فاضلاب هایی که حاوی مواد آلی فرار، حلال های رقیق کننده یا حلال های نکه دارنده هستند به کار می روند (۱۱).

تاکنون این سیستم جهت حذف یا تجزیه زیستی فاضلاب های گوناگون توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته است. Sirianun در سال ۲۰۰۵ با استفاده از یک راکتور ناپیوسته متوالی لایه زیستی، تصفیه پذیری فاضلاب صنایع شیر را مورد بررسی قرار دادند. برای ترکیب فرایند لایه زیستی با سیستم SBR از یک بستر پلاستیکی در کف راکتور استفاده شد. در این مطالعه زمانی که میزان بار آلی ورودی $g \text{ COD}_5 / M^3 \cdot d$ بود (۱۲)، بازده حذف COD، BOD_5 ، TKN، روغن و چربی به ترتیب برابر با ۸۹/۳، ۸۳، ۵۹/۴، ۸۲/۴٪ به دست آمد. He و همکاران استفاده از پودر زنولیت در سیستم راکتور ناپیوسته متوالی برای تصفیه فاضلاب شهری را مورد بررسی قرار دادند. طی بررسی های مختلف در این تحقیق مشخص شد که استفاده از این سیستم ترکیبی باعث افزایش فعالیت لجن فعال، بهبود و ارتقای میزان نیتریفیکاسیون، و خصوصیات ته نشینی لجن می شود (۱۰). تصفیه پذیری فاضلاب شهر هنگ کنگ در یک سیستم راکتور ناپیوسته متوالی همراه و بدون بسترهای حمل کننده زیستی توسط Tom و همکاران بررسی شد. در این آزمون مشخص

سیستم از یک راکتور ناپیوسته متوالی از جنس پلی اتیلن به شکل استوانه با قطر داخلی ۱۳/۵ cm، ارتفاع ۷۰ cm و ضخامت ۲/۵ cm و ظرفیت مفید ۱۰ لیتر ساخته شده بود. فاضلاب مصنوعی در مخزن ذخیره از جنس پلاستیک به حجم ۱۰۰ لیتر با حفظ خواص اولیه جهت انتقال به راکتور نگه داری شد. برای تامین بستر مناسب رشد میکروارگانیسم ها با پشتیبانی مطلوب، بستری از جنس پلی استایرن با فشردگی بالا به شکل لانه زنبور با نام تجاری لانه زنبوری ۲۰۰۰^۱ استفاده شد. این بسترها در بسته توری استوانه ای شکل از جنس پلاستیک ریخته شد و در داخل راکتور کارگذاری گردید. بسته حاوی بسترها در حدود ۴۰٪ از حجم راکتور را پر می نمود. هوای مورد نیاز جهت تامین اکسیژن محلول در راکتور توسط یک کمپرسور هوا و از طریق دیفیوزرهای سنگی که در کف قرار گرفته بود وارد راکتور گردید. جهت قطع و وصل هوای ورودی از یک شیر برقی متصل به تایمر خودکار استفاده گردید. فاضلاب مصنوعی از مخزن ذخیره توسط پمپ به راکتور منتقل می شد. این پمپ نیز به یک تایمر خودکار متصل بود، تا با توجه به زمان ماند مورد نظر فاضلاب وارد راکتور شود. بررسی کارایی یک راکتور SBR در شرایط دمایی بین ۵ تا ۲۱ درجه سانتی گراد نشان داده که بازده حذف با افزایش دما به سرعت بهبود می یابد و حداکثر میزان حذف در دمای ۲۱ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد (۱۶). لذا با توجه به مشکلات کنترل دما جهت کاربرد این سیستم در مقیاس صنعتی و نزدیک تر بودن شرایط کاری راکتور به شرایط واقعی و دمای مطلوب، راکتور در دمای معمول اتاق (۲۰ تا ۲۵ سانتیگراد) مورد بهره برداری و مطالعه قرار گرفت. نمایی از این سیستم در شکل ۱ به نمایش درآمده است.

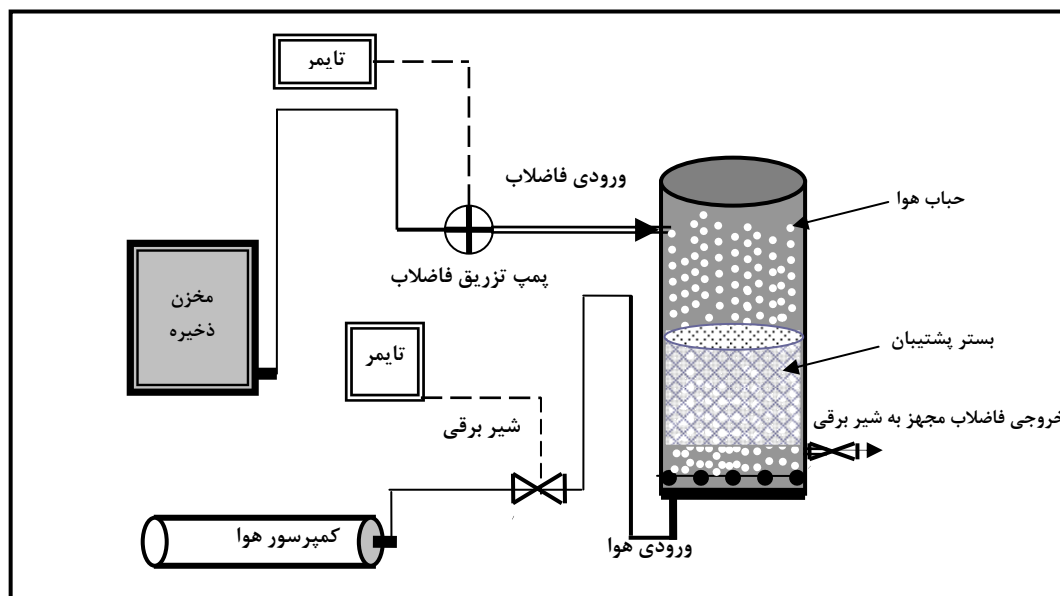
شد که انجام نیتریفیکاسیون در این SBR ترکیبی با بستر حمل کننده زیستی، بسیار پایدار می باشد ضمن این که در این سیستم به خاطر شرایط بهتر انجام واکنش، محصولات نیتریفیکاسیون قابل قبولی به دست می آید (۱۳). در سال ۲۰۰۳ Kim و همکارانش از یک بستر خاک رس بعنوان بستری مناسب جهت فعالیت میکروارگانیسم ها در یک راکتور ناپیوسته متوالی استفاده کردند. حذف تجهیزات اضافی برای ششوی معکوس، توان بالای نیتریفیکاسیون حتی در دمای پایین و شرایطی که شوک بار وجود دارد از مزایای راکتور لایه زیستی ناپیوسته متوالی به شمار می رود (۱۴). جذب فلزات سنگین (Pb^{2+} و Ni^{2+}) و کارایی حذف آن ها در یک راکتور ناپیوسته متوالی و راکتور ناپیوسته متوالی همراه با گرانول کربن فعال، برای تصفیه فاضلاب صنعتی مصنوعی در سال ۲۰۰۷ توسط Sirianun و همکارش مورد بررسی قرار گرفت. این محققان دریافتند که در هر دو سیستم با افزایش زمان ماند هیدرولیکی یا کاهش بار آلی کارایی حذف فلزات مورد نظر افزایش می یابد (۱۵).

هدف از این تحقیق، ارتقای کارایی یک سیستم راکتور ناپیوسته متوالی با استفاده از بسترهای ثابت حمایت کننده توده زنده میکروبی بوده است، لذا در این مطالعه یک سیستم رشد چسبیده در یک راکتور ناپیوسته متوالی متعارف با نصب یک بسته حاوی بسترهای ویژه لانه زنبوری در قسمت پایین راکتور جهت افزایش کارایی سیستم و کیفیت توده زیستی، همچنین کاهش لجن اضافی به کار برده شد. عملکرد سیستم با افزایش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی در نتیجه اضافه شدن بار آلی فاضلاب مصنوعی ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

۱- ساختار راکتور لایه زیستی ناپیوسته متوالی مقیاس آزمایشگاهی

در این مطالعه از یک راکتور ناپیوسته متوالی به صورت واحد پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. این



شکل ۱- سیستم راکتور لایه زیستی ناپیوسته متوالی مورد استفاده در مطالعه

۲- فاضلاب مصنوعی

برای تهیه فاضلاب در این مطالعه از یک محیط معدنی محلول در آب حاوی مونو اتیلن گلیکول استفاده شد. مواد مغذی اصلی و ترکیبات به کار برده شده با نسبت C/N/P برابر با ۱۰۰/۵/۱ ساخته شد (۱). در تمام مراحل بارگذاری از مونو اتیلن گلیکول به عنوان تنها منبع کربن و از دی هیدروژن پتاسیم فسفات و کلرور آمونیوم به عنوان مواد مغذی اصلی استفاده شد. دلیل استفاده از کلرور آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن، این است که نیتروژن به شکل آمونیاکی بهتر مورد استفاده میکروارگانیسم ها قرار می گیرد (۱). ترکیبات و مقادیر مورد استفاده برای ساخت فاضلاب با در نظر گرفتن میزان COD برابر با ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر شامل $MgSO_4$ ، NH_4Cl ، $FeSO_4$ ، $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ، KH_2PO_4 ، برابر با ۰/۰۳۲، ۸/۶، ۱۳/۶۶، ۰/۱۳۹، و ۳۷/۱۴ میلی گرم بود. در این مطالعه از ترکیبات شیمیایی از نوع آزمایشگاهی با درصد خلوص بالا استفاده گردید.

۳- راه اندازی راکتور

در ابتدا راکتور به صورت ناپیوسته با استفاده از لجن فعال تصفیه خانه فاضلاب شهری راه اندازی شد. استفاده از

لجن به منظور دستیابی سریع به مخلوط میکروبی مناسب در راکتور بسیار سودمند می باشد. هدف از این مرحله سازگاری میکروارگانیسم ها و تشکیل لایه زیستی بر روی بستر بود. از روز پانزدهم به بعد تشکیل لایه زیستی چسبیده نمایان شده و به تدریج ضخامت آن بیشتر می شد. با گذشت زمان به تدریج به میزان مونو اتیلن گلیکول به عنوان تنها منبع کربن مورد استفاده میکروارگانیسم افزوده شد. در هفته اول راه اندازی سیستم مقدار COD فاضلاب ورودی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد و در نهایت این مقدار به ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت. در این مدت میزان pH در محدوده 7.2 ± 0.4 ثابت نگه داشته شد. بدین منظور برای رسیدن به میزان مناسب pH از بی کربنات سدیم تجاری استفاده شد. این ماده حالت بافری به محیط داده لذا در تمام مدت بارگذاری ها از این ماده هم در مخزن ذخیره فاضلاب مصنوعی و هم در خود راکتور استفاده شد. مقادیر pH، اکسیژن محلول، COD و VSS به طور دیم اندازه گیری می شدند.

۴- راهبری راکتور

پس از راه اندازی سیستم و رشد کافی لایه زیستی، بارگذاری آلی در چهار غلظت ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و

۵: روش های آزمایشگاهی

در این مطالعه میزان دما و pH به وسیله پراب دستگاه HORIBA مدل F-11 اندازه گیری شد. همچنین جهت اندازه گیری اکسیژن محلول (DO) از روش وینکلر، COD از روش تقطیر برگشتی و قلیائیت (برحسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم) از روش تیتراسیون استفاده شد (۱۷). جرم لایه زیستی چسبیده به روش وزن سنجی تعیین شد (۱۸).

2000 mg/l (بار آلی ۱/۲ ، ۴/۸ KgCOD/m³.d) انجام شد. در این مدت همواره میزان اکسیژن محلول در سیستم بالاتر از ۳ میلی گرم بر لیتر تنظیم و با افزایش میزان COD، میزان اکسیژن محلول نیز افزایش یافت. چرخه های زمانی راکتور متوالی ناپیوسته لایه زیستی در جدول ۱ نشان داده شده است. تنظیم زمان مراحل مختلف از پرکردن تا تخلیه توسط تایمرهای خودکار انجام می گرفت.

جدول ۱- چرخه های زمانی راهبری راکتور متوالی

ناپیوسته بستر ثابت

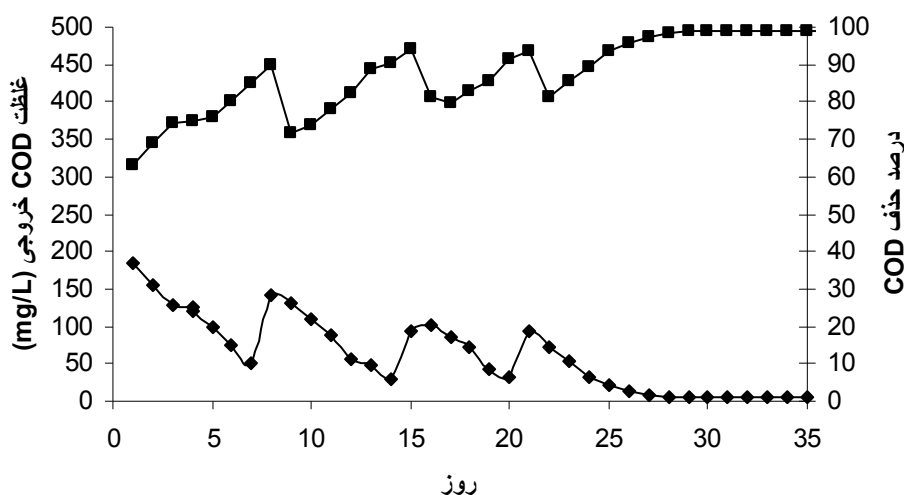
مرحله	زمان چرخه (ساعت)
پر کردن	۶
واکنش و هوادهی	۱۰
ته نشینی	۴
تخلیه	۲
سکون	۲

نتایج

۱- داده های راه اندازی راکتور و سازگارسازی

میکروارگانیسم ها

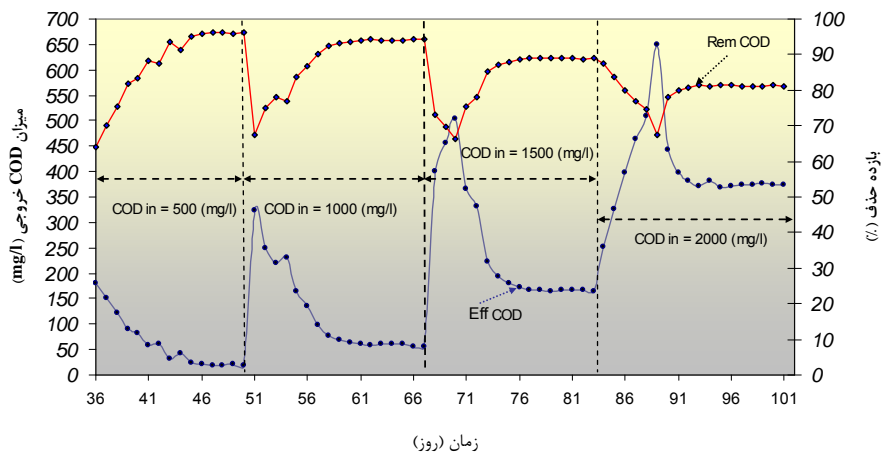
در بخش اول این مطالعه راه اندازی سیستم و سازگارسازی میکروارگانیسم های موجود در راکتور با مونو اتیلن گلیکول به صورت ناپیوسته انجام پذیرفت. میانگین بازده حذف COD ورودی برابر با ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر ۹۸/۵٪ (انحراف معیار ۰/۹۹ ±) بود. روند رسیدن به شرایط پایداری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- روند حذف COD نسبت به زمان در مرحله راه اندازی

کاهش یافت. به طوری که بیشترین مقدار COD خروجی در آخرین بارگذاری و در COD برابر با ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اتفاق افتاد. ولی با توجه به این میزان ورودی بازده قابل قبولی در سیستم مشاهده شد.

۲- داده های اثر افزایش میزان COD ورودی بر راکتور تغییرات میزان COD خروجی (میلی گرم بر لیتر) و همچنین بازده حذف (درصد) در راکتور از ابتدا تا آخرین مرحله بارگذاری نسبت به زمان (روز) در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش بار آلی به تدریج بازده حذف COD



شکل ۳- روند تغییرات COD خروجی در هر یک از بارگذاری ها و بازده حذف سیستم نسبت به زمان

است که حاصل میانگین بازده حذف سیستم در شرایط پایداری در هر بارگذاری می باشد.

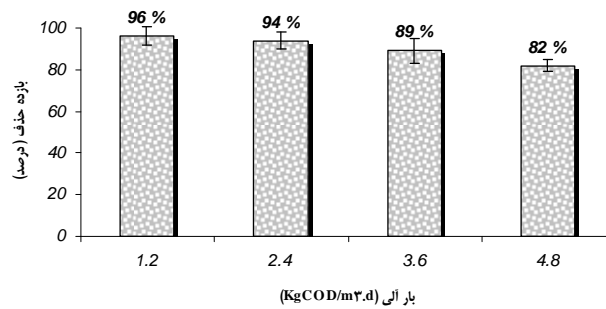
۳- تغییرات جرم سلولی موجود در راکتور هوادهی

میزان جرم سلولی فعال موجود در راکتور شامل VSS معلق و لایه زیستی چسبیده نقش عمده ای در کارکرد راکتور های تلفیقی و افزایش بازده این فرایندها برای مقابله با شوک های آلی و هیدرولیکی دارد. جرم سلولی موجود در راکتور متوالی ناپیوسته لایه زیستی در همه بارگذاری ها اندازه گیری شده و مقدار آن به عنوان تابعی از رشد و سوخت و ساز میکروبی و میزان منبع کربن و مواد مغذی در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین جرم سلولی موجود (مجموع VSS معلق و لایه زیستی چسبیده) به میزان ۱۴/۹۶ گرم بر لیتر در بار آلی $\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ۳/۶ و کم ترین میزان آن در بار آلی $\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ۱/۲ به میزان ۹/۳۲ گرم بر لیتر به

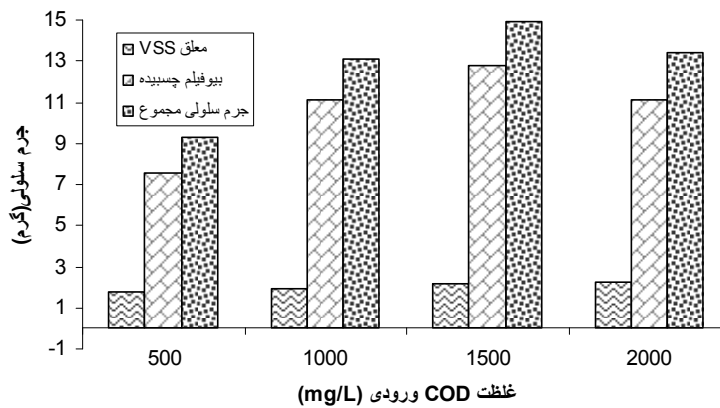
بازده حذف راکتور ناپیوسته متوالی بستر ثابت در اولین بارگذاری برابر با ۹۶٪ (انحراف معیار $\pm 4/36$) بود که بالاترین بازده حذف در طول این مطالعه بود. در دومین بارگذاری با COD ورودی برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، بازده حذف ۹۴٪ (انحراف معیار $\pm 3/92$) و در سومین بارگذاری با COD ورودی برابر با ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر، بازده حذف ۸۹٪ (انحراف معیار $\pm 5/89$) به دست آمد. با توجه به هدف اصلی این مطالعه، بازده حذف ۹۴ درصدی در میزان COD برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم نشان دهنده توانایی این سیستم در تصفیه فاضلاب های با میزان اکسیژن خواهی شیمیایی بالا و حد بهینه در حذف می باشد. در آخرین مرحله بارگذاری بازده حذف ۸۲٪ (انحراف معیار $\pm 2/65$) نشان دهنده کارایی این سیستم برای تصفیه فاضلاب های قوی می باشد. روند تغییرات بازده حذف در هر بارگذاری در شکل ۴ ارایه شده

بیشتر لایه های بی هوازی زیرین چسبیده به بستر و خروج آن به همراه پساب خروجی شود که این امر نیز می تواند یکی از دلایل کاهش جرم سلولی باشد. تصویر نمونه ای از بستر همراه با لایه زیستی تشکیل شده در آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

دست آمد. در بار آلی $4/8 \text{ KgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ ، علی رغم افزایش بار آلی مقدار جرم سلولی کاهش یافته و به $13/39$ گرم بر لیتر رسید. یکی از دلایل این امر می تواند کاهش قابلیت آنزیمی و متابولیسمی باکتری ها در غلظت های COD بالا و در نتیجه کاهش نرخ رشد آن ها باشد. از سویی دیگر ممکن است افزایش ضخامت لایه زیستی و کاهش رشد باکتری ها منجر به ریزش



شکل ۴- بازده حذف COD در برابر بار های آلی مختلف



شکل ۵- مقایسه مقادیر جرم سلولی معلق و چسبیده در غلظت های COD ورودی مختلف



شکل ۶- تصویر لایه زیستی چسبیده به بستر های کارگذاری شده در راکتور مورد مطالعه

۴- بررسی مدت زمان بازیابی سیستم

در تمام مراحل با افزایش بارگذاری در روزهای نخستین راکتور دچار شوک شده ولی به تدریج سیستم به شرایط پایدار رسید. در این مطالعه با شروع بارگذاری اول و متعاقب آن بارگذاری های بعدی زمان بازیابی سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. در بارگذاری اول سیستم در روزهای نخستین دچار شوک حاصل از افزایش میزان بار آلی ورودی گردید، اما به سرعت با گذشت زمان در روند صعودی بازده حذف قرار گرفت و از روز چهارم به بعد در مسیر پایدار شدن حرکت کرد. زمانی که میزان COD ورودی سیستم به ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت از روز دوم سیستم کمی دچار شوک شد که اثر آن در میزان بازده حذف مشهود می باشد. ولی بلافاصله سیستم روند افزایشی در بازده حذف را به دست آورد. در روز سوم از بارگذاری سوم سیستم دچار کاهش کارایی در بازده حذف شده و از روز چهارم تا نهم بازده حذف رو به افزایش گذاشت. روند کاهش بازده حذف در سیستم از روزهای ابتدای افزایش میزان COD ورودی در بارگذاری آخر پدیدار شد. هرچند که مدت زمان بازیابی سیستم در آخرین بارگذاری کمی بیشتر از بارگذاری ها به طول انجامید ولی سیستم شرایط با ثبات تری را دنبال کرد و در نهایت به شرایط پایدار می رسید.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه از یک راکتور ناپیوسته متوالی که توسط بسترهای ثابت حمایت می گردید، به منظور رشد لایه

زیستی و به دلیل برخورداری از مزایایی همچون افزایش کارایی حذف، بهبود کیفیت لجن، کاهش تولید لجن اضافه و کاهش دوره سازگارسازی (۱۲)، جهت تصفیه فاضلاب مصنوعی با میزان اکسیژن خواهی شیمیایی بالا استفاده شد. مرحله راه اندازی تا تشکیل لایه زیستی مناسب و سازگاری میکروارگانیسم ها با منبع کربن مورد استفاده ادامه یافت. تشکیل لایه زیستی در این مرحله با هدف ایجاد شرایط مناسب برای افزایش حمایت فعالیت میکروارگانیسم ها در سیستم به طور دایم بود.

تحقیقات متعددی در زمینه بررسی کارایی راکتورهای SBR ارتقا یافته با سیستم رشد چسبیده جهت حذف ترکیبات آلی انجام یافته (۱۱، ۱۲ و ۱۹)، بازده حذف بین ۹۰ تا ۹۶٪ در سه بارگذاری همچنین بازده حذف ۸۲٪ در میزان COD ورودی برابر با ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به راکتور ناپیوسته متوالی بستر ثابت در این مطالعه تایید کننده این مطلب می باشد.

افزایش تدریجی میزان COD ورودی به سیستم باعث کاهش بازده حذف شد. بالاترین میزان حذف در COD ورودی ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر برابر با ۹۶٪ به دست آمد ولی با توجه به این که در COD ورودی ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تنها ۲٪ کاهش در بازده حذف اتفاق افتاد، بازده بهینه در بارگذاری دوم انتخاب شد. با توجه به روند کاهش بازده حذف با افزایش میزان COD ورودی، این عامل می تواند عامل محدود کننده برای فعالیت میکروارگانیسم ها و در نتیجه کارایی

3. Field, D., (1985). "Acute ethylene glycol poisoning". Crit Care Med. 13(10):872-873.
4. Barceloux, D.G., Krenzelok, E.P., Olson, K., Watson, W., (1999) "American Academy of Clinical Toxicology". Clint Toxicology. 37 (5):537-560.
5. Berent, j., (2001). "Current management of ethylene glycol poisoning". Drugs. 61 (7):979-986.
6. Pillard, D.A., (1995). "Comparative toxicity of formulated glycol deicers and pure ethylene and propylene glycol to Ceriodaphnia Dubia and pimephales promelas". Environ Toxicology Chem.14 (2): 311-315.
7. Irvin, R. L., and Bush, A. W. (1979). "Sequencing batch biological reactors: An Overview". J. WPCF, 51 (2): 235-243.
8. Kagi, F., Uygur, A., (2002) "Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age. Enzyme and microbial technology 31: 842-847.
9. Sirianuntapiboon, S., Sadahiro, O., Salee, P. Some. (2007). "properties of a granular activated carbon-sequencing batch reactor (GAC-SBR) system for treatment of textile wastewater containing direct dyes". J Environ Manage.85(1):162-70.
10. He, SB., Xue, G., Kong, HN., Li, X., (2007). "Improving the performance of sequencing batch reactor (SBR) by the addition of zeolite powder". J Hazard Mater. 142(1-2):493-499.
11. White, D.M., Schnabel, W., (1998) "Treatment of cyanide waste in a sequencing batch biofilm reactor". J. water research. 32(1): 254-257.
12. Sirianuntapiboon, S., Jeeyachok, N., Larplai, R., (2005) "Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. Journal of

سیستم بیولوژیکی باشد. کاربرد این سیستم در تصفیه فاضلاب صنایع شیر نشان داد که بالاترین درصد بهینه حذف در پایین ترین بارگذاری برابر با $680 \text{ gBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ به دست خواهد آمد (۱۲)، همچنین در مطالعه ای بازده حذف COD برای یک سیستم SBR بیوفیلیمی بستر ثابت (۱۴) با COD ورودی برابر با ۲۳۰ میلی گرم بر لیتر برابر با ۹۳/۴۷٪ بوده که از مقایسه آن با سیستم مورد استفاده در مطالعه حاضر به توان بالاتر این سیستم در حذف COD ورودی تا ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر با بازده حذف ۸۲٪ اشاره نمود.

از مزیت های این سیستم رسیدن به شرایط پایداری در مدت زمانی کوتاه است. با توجه به روند بازیابی سیستم در بارگذاری های مختلف مشاهده شد که سیستم در هر مرحله از بارگذاری ابتدا دچار شوک جزئی شده ولی با گذشت زمانی بسیار کوتاه به شرایط اولیه باز می گردد. با توجه به تحلیل نتایج می توان دریافت که راکتور ناپیوسته متوالی بستر ثابت می تواند به عنوان یک گزینه و سیستم کارآمد در تصفیه فاضلاب های مصنوعی با میزان اکسیژن خواهی شیمیایی بالا باشد.

تقدیر و تشکر

در پایان از مسئولان و کارکنان محترم شرکت شهرک های صنعتی استان فارس و دانشگاه علوم پزشکی سمنان که امکانات لازم و حمایت های مادی و معنوی خود را برای انجام این پروژه مهیا نمودند، کمال تشکر و قدردانی می نمایم.

منابع

1. Metcalf and Eddy (2003). "Waste water engineering treatment and reuse" Fourth edition. Mc Graw Hill.
2. Grzeskowiak A. Z., Grzeskowiak T., Zembrzuska J., Lukaszewski Z., (2006). "Comparison of biodegradation of poly (ethylene glycol) s and poly (propylene glycol) s". J. Chemosphere. 64. 803-809.

16. Leta Fernandes. (1994).” Effect of temperature on the performance of an SBR treating liquid swine-manure”. *Bio resource Technology* 47 (3):219-227.
17. APHA, AWWA, WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, 19Th Edition, Washington DC, USA.
18. Plattes M. Henry E, Schosseler P. Weidenhaupt A (2006). Modeling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor for the treatment of municipal wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 32(2): 61-68.
19. Gebara, F., (1999). "Activated sludge bio-film wastewater treatment system. *Water research* 43 (1): 230-238.
- Environmental Management . 76 (2): 177-183.
13. Tam, HL, Tang, DT., Leung, WY., Ho, KM., Greenfield, P.F., (2004). “Performance evaluation of hybrid and conventional sequencing batch reactor and continuous processes”. *J. Water Sic Techno.* 50(10): 59-65.
14. Kim, H. Rhu, D., Hwang, H., Choi, E., (2003). “Performance of a hybrid SBR with fixed bed and suspended growth”. *Water Sic Techno.* 48(11-12):309-317.
15. Sirianuntapiboon, S., Ungkaprasatcha, O., (2007). “Removal of Pb²⁺ and Ni²⁺ by bio-sludge in sequencing batch reactor (SBR) and granular activated carbon-SBR (GAC-SBR) systems”. *Bioresour Techno.* 98(14): 2749-2757.