

علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره دهم، شماره دوم، تابستان ۸۷

## بررسی عملکرد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR) در تصفیه پساب های صنعتی حاوی فنل سولفونیک اسید

علی ترابیان<sup>۱</sup>

امیر حسام حسنی<sup>۲</sup> (مسئول مکاتبات)

حبیبه ربیعی هاشمی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱۲

### چکیده

به منظور سنجش کارایی راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی در تصفیه فاضلاب های صنعتی حاوی فنل سولفونیک اسید و عملکرد آن در حذف غلظت های متفاوت فنل سولفونیک اسید، به طراحی و ساخت دو راکتور استوانه‌ای مجهز به سیستم هوشمند اقدام گردید و فاضلاب مصنوعی با  $COD$  معادل ۶۰۰-۷۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه و متعاقب اختلاط با حجم معینی از لجن فعال خط برگشتی تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب، نحوه سازگاری و انطباق میکروارگانیسم‌ها با شرایط موجود، با زمان ماند میکروبی ۱۰ روز در آزمایشگاه به مدت ۵۶ روز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت این مطالعه نشان داد که:

- عمل انطباق میکروارگانیسم‌ها در مدت ۱۴-۱۲ روز صورت می‌گیرد.
- در شرایط سازگاری میکروارگانیسم‌ها، حذف  $COD$  بالا ۹۷-۹۳٪ و قابل توجه است.
- غلظت توده بیولوژیکی در زمان کوتاهی پس از انطباق ۲۵-۲۰٪ افزایش یافته و تا روزهای آخر بهره برداری تغییرات جزئی دارد.
- اندیس حجمی لجن در روزهای اول بهره برداری ۲۰-۱۵٪ افزایش و تارسیدن به حالت پایدار ۳۵-۳۰٪ کاهش یافته سپس تغییرات جزئی دارد و طی این مدت تغییرات  $PH$  و درجه حرارت در راکتور بسیار کم است.
- راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی در حذف غلظت‌های متفاوت فنل سولفونیک اسید تا غلظت ۶۰ میلی گرم در لیتر و از نظر حذف  $COD$  موفق می‌باشد.
- در غلظت‌های ۱ میلی گرم در لیتر فنل سولفونیک اسید درصد حذف  $COD$  پساب تحت تاثیر  $PSA$  نیست ولی در غلظت‌های بالای  $PSA$ ، درصد حذف  $COD$  نسبت به مراحل قبل کاهش نشان می‌دهد. غلظت توده بیولوژیکی داخل راکتور با افزایش غلظت  $PSA$  کاهش یافته و پس از سازگاری میکروارگانیسم‌ها روند افزایشی به خود می‌گیرد که به علت خاصیت سمیت این ترکیب و مرگ باکتری‌ها می‌باشد.

۱- دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۲- استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

- اندیس حجمی لجن در هر مرحله با افزایش غلظت *PSA* به راکتور مقدار آن افزایش یافته و پس از سازگاری روند کاهشی را نشان می‌دهد که می‌تواند به علت جذب آب توسط میکروارگانیسم‌ها جهت ترقیق مواد سمی در پلاسما میکروارگانیسم باشد. درصد حذف ترکیب *PSA* در هر مرحله با افزایش غلظت این ترکیب کاهش یافته و بعد از عادت میکروارگانیسم‌ها به این ترکیب افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** تصفیه بیولوژیکی هوای، فاضلاب صنعتی، راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی، فنل سولفونیک اسید (*PSA*)، غلظت توده بیولوژیکی (*MLSS*)، غلظت توده بیولوژیکی فرار (*MLVSS*) و اندیس حجمی لجن (*SVI*)

#### مقدمه

در این طرح بالا بودن مدت زمان هوادهی سبب رشد باکتری-های رشته‌ای و ضعیف شدن مشخصات ته نشینی در راکتور گردیده است (۵).

در سال ۱۹۹۴ *AlHarazim*، تصفیه پساب‌های خطرناک از جمله پساب حاوی فنل را در راکتور *SBR* مورد مطالعه قرار داد. در این تحقیق *COD* ورودی نسبتاً بالا و بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر بود حجم مفید ۱۰ لیتر و خوراک ورودی ۸-۱ لیتر بوده است و زمان ماند ۱۰-۱ روز متغیر بوده است که زمان ماند بالایی است (۶).

در سال ۱۹۹۵ *Bouwer* و همکاران عوامل موثر بر تصفیه هوای یک پساب مصنوعی حاوی ۲ کلروفنل را در راکتور *SBR* مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق پساب حاوی ۲ کلروفنل هم زمان با سه روش مختلف تحت فرایند تصفیه هوای مورد تصفیه قرار گرفت. راکتور اول فاقد هر گونه ماده افزودنی و راکتور دوم مقداری دکستروز و سومی فنل دریافت نمود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بودن یا نبودن، نوع و غلظت ماده مکمل عوامل مهمی است که به کمک یک توده میکروبی مختلط و با استفاده از روش لجن، بر شدت تصفیه هوای ترکیبات سمی نظیر ۲-کلروفنل موثر می‌باشد (۷).

در سال ۱۹۹۹ امیر حسام حسنی تصفیه پساب‌های حاوی فنل و ۲ دی کلروفنل را در راکتور *SBR* مورد بررسی قرار دادند. راکتورهای *SBR* در حذف غلظت‌های متفاوت فنل و از نظر حذف *COD* کاملاً موفق می‌باشد و در غلظت‌های

یکی از خصوصیات راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی انعطاف پذیری بسیار بالای این سیستم در برابر اهداف مختلف تصفیه است.

از ویژگی‌های سیستم *SBR* عدم نیاز به تانک ته نشینی ثانویه و سیستم برگشت لجن، پایین بودن حجم راکتور، بالا بودن بازده حذف مواد آلی، بالا بودن میزان انتقال اکسیژن، تحمل بالای شوک بار آلی و هیدرولیکی، بالا بودن بازده کاهش مواد مغذی و مقرون به صرفه بودن در مقایسه با سیستم‌های لجن فعال است.

از معایب این سیستم می‌توان نیاز به سیستم‌های کنترل پیشرفته برای کنترل دقیق زمان و غیر اقتصادی بودن آن‌ها را برای تصفیه خانه فاضلاب با حجم بالا برشمرد ( ۱، ۲، ۳، ۴).

سولفونیک اسیدهای آلی دارای فرمول  $RSO_3H$  می‌باشد *R* می‌تواند از منابع مختلفی تامین گردد سولفوناسیون مستقیم فنل، منجر به تولید ایزومرهای اروتو و پارا می‌شود.

مخاطرات بهداشتی *PSA* ناشی از خاصیت اسیدی آن است *PSA* به عنوان یکی از مواد خطرناک کلاس شماره *A* می‌باشد. جهت تصفیه ترکیبات فنلیک از آب‌ها و پساب‌های حاوی این ترکیبات از روش تصفیه فیزیکی و شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۹۱ *Lonootle* تجزیه بیولوژیکی پساب مصنوعی مخلوط از چند ترکیب فنلیک را در راکتور *SBR* مورد بررسی قرار داد. درصد حذف *COD* بیش از ۹۹٪ و *COD* پساب خروجی بین ۵۲-۳۰ میلی گرم در لیتر بوده است

سپس تهیه ۷ لیتر لجن فعال شده از خط برگشت لجن تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب و افزودن آن به راکتورها و رعایت زمان ماند میکروبی ۱۰ روز به منظور سازگاری و انطباق میکروارگانیسم ها با شرایط موجود انجام گرفت که ۵۲ روز به طول انجامید و بررسی سیستم SBR در حذف غلظت های متفاوت فنل سلفونیک اسید که ۵۶ روز به طول انجامید. بدین منظور PH, COD, MLSS, SVI, PSA و PH مورد بررسی قرار گرفته است، کلیه آزمایش های انجام شده براساس دستورالعمل ارائه شده در کتاب استاندارد متد سال ۱۹۹۲ انجام گرفته است (۹).

اندازه PSA از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر به طریق رنگ سنجی انجام گرفته است. مکان انجام آزمایش ها، آزمایشگاه دانشکده محیط زیست واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی و زمان انجام آن پائیز و زمستان ۱۳۸۴ بوده است.

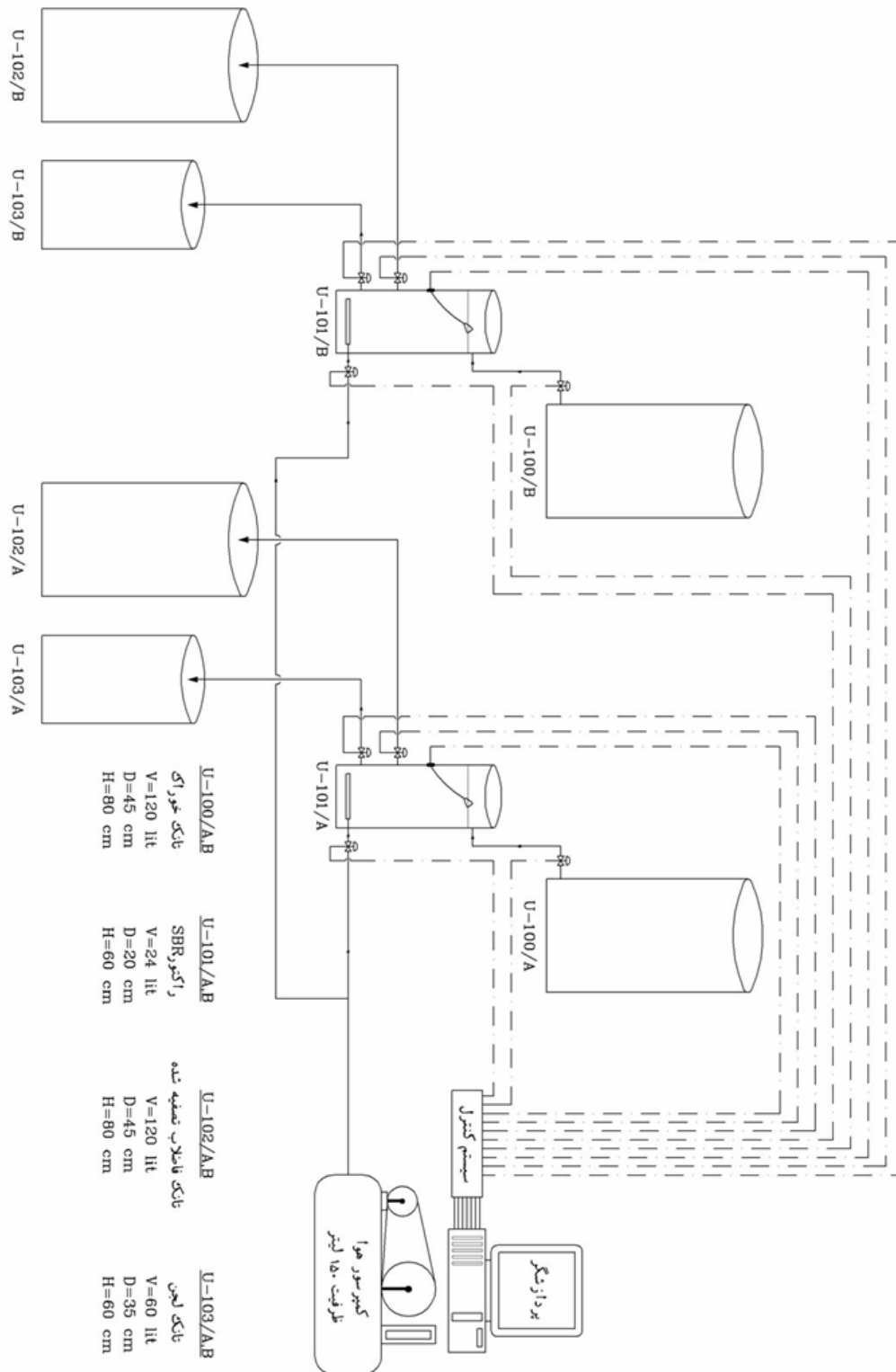
پایین فنل درصد حذف COD چندان تحت تاثیر ورودی نبوده و در غلظت های بالای فنل درصد حذف کاهش می یابد (۸).

#### مواد، وسایل و روش ها

در این تحقیق از دو راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی استوانه ای شکل استفاده شده که حجم مفید هر یک از راکتورها ۲۴ لیتر می باشد که ۱۵ لیتر آن برای قسمت ته نشینی و مابقی برای نگه داری فاضلاب ورودی در نظر گرفته شده است. همچنین برای هر راکتور دومخزن به ظرفیت ۱۲۰ لیتر برای نگه داری فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده و دو مخزن ۶۰ لیتری جهت تخلیه و نگه داری لجن اضافی در نظر گرفته شده است.

مخازن فوق به گونه ای قرار دارد که ورود و خروج فاضلاب به صورت ثقلی انجام گیرد (شکل ۱).

فاضلاب مصنوعی با ترکیب شکر، شیرخشک به عنوان منبع کربن و نمک های اوره، سدیم دی هیدروژن فسفات و سدیم هیدروژن فسفات جهت تامین ازت و فسفر مورد نیاز، به گونه ای که بتوان COD معادل ۷۰۰-۶۰۰ میلی گرم در لیتر ایجاد نمود تهیه شد (جدول ۱).



شکل ۱- شمایی از راکتورهای SBR مورد استفاده در این تحقیق و نحوه عملکرد آن ها

جدول ۱- غلظت و ترکیب فاضلاب مورد استفاده

ترکیبات موجود در فاضلاب (میلی گرم در لیتر)						شرح فعالیت انجام گرفته
PSA	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NaHPO <sub>4</sub>	اوره	شیر خشک	شکر	
-	۶/۴	۱۴/۴	۳۰	۲۸۰	۱۴۰	بررسی نحوه سازگاری انطباق میکروارگانیسم ها
۱-۶۰	۶/۴	۱۴/۴	۳۰	۲۸۰	۱۴۰	بررسی عملکرد سیستم SBR در حذف غلظت های متفاوت فنل سولفونیک اسید

جدول ۲- شرح فعالیتهای انجام گرفته و شرایط کاری راکتور SBR

شرح فعالیت انجام گرفته	مدت زمان (روز)	مدت زمان هر سیکل کاری (ساعت)	مدت زمان پرکردن راکتور (دقیقه)	مدت زمان واکنش (ساعت)	مدت زمان ته نشینی (ساعت)	مدت زمان تخلیه فاضلاب تصفیه شده (دقیقه)	مدت زمان تخلیه لجن (ثانیه)	مدت زمان سکون (ساعت)
بررسی نحوه سازگاری و انطباق میکروارگانیسم ها	۵۲	۱۲	۱۵	۶	۲	۱۵	۴	۳/۵
بررسی عملکرد سیستم SBR در حذف غلظت های متفاوت PSA	۵۶	۱۲	۱۵	۶	۲	۱۵	۴	۳/۵

## نتایج

## ۱) بررسی دوره خوگرفتن و انطباق میکروارگانیسم

چنانچه در نمودار ۱ و ۲ مشاهده می گردد، در زمان ماند میکروبی ۱۰ روز، عمل انطباق میکروارگانیسم ها در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته و درصد حذف COD و غلظت توده بیولوژیکی که در روزهای اول بهره برداری به مقدار جزئی کاهش یافته بود، در زمان انطباق میکروارگانیسم ها به طور ناگهانی افزایش یافته و پس از آن تا روزهای آخر بهره برداری تغییر جزئی از خود نشان می دهد. در طول این مدت وضعیت ته نشینی لجن از متوسط به خوب تغییر می کند و پس از افزایش جزئی در روزهای اول بهره برداری و کاهش جزئی تا روزهای آخر بهره برداری آن ثابت باقی می ماند (نمودار ۳). در این مدت تغییرات درجه حرارت PH فاضلاب در داخل راکتور ناچیز بوده است (نمودار ۴).

## ۲) بررسی عملکرد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی

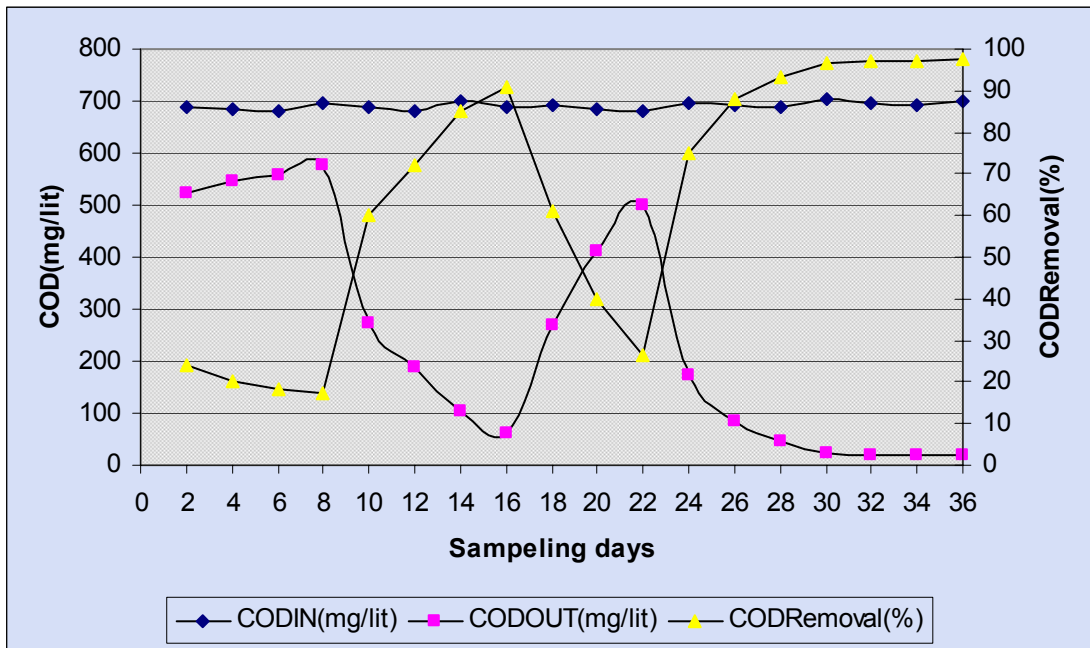
## در حذف فنل سولفونیک

چنانچه در نمودار (۵ و ۶) مشاهده می گردد در اثر افزایش غلظت PSA ورودی در هر مرحله درصد حذف COD و درصد حذف PSA به علت تغییر ناگهانی شرایط محیطی

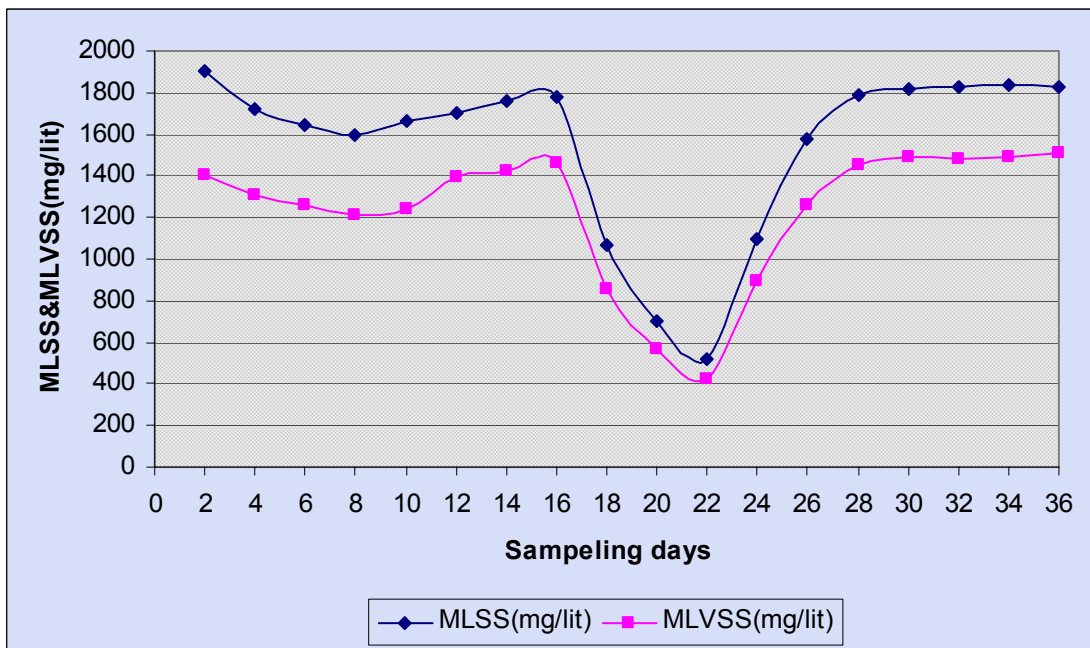
راکتور کاهش یافته و پس از سازگاری میکروارگانیسم ها درصد حذف COD و PSA افزایش می یابد. غلظت توده بیولوژیکی در هر مرحله کاهش یافته و پس از انطباق میکروارگانیسم ها غلظت آن افزایش می یابد (نمودار ۷).

وضعیت ته نشینی لجن در اثر افزایش غلظت PSA به راکتور افزایش یافته و کیفیت ته نشینی لجن کاهش می یابد که پس از حالت پایداری مقدار آن کاهش یافته و کیفیت ته نشینی لجن افزایش می یابد (نمودار ۸).

در طول این مدت تغییرات درجه حرارت ناچیز بوده است و میزان PH فاضلاب کاهش یافته و PH فاضلاب به راکتور حالت اسیدی پیدا می نماید (نمودار ۹).

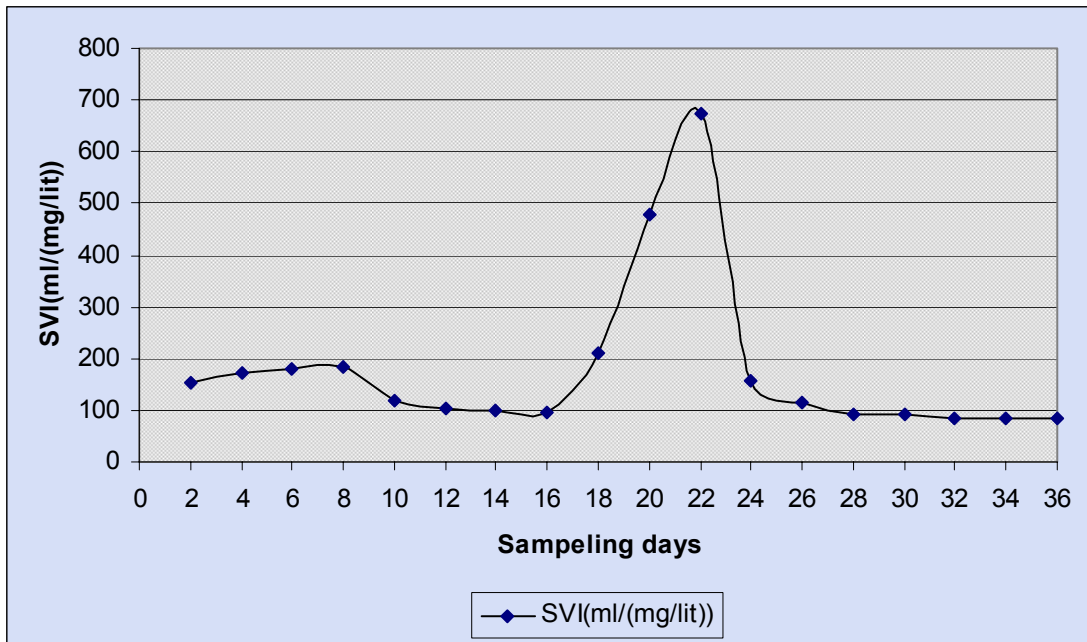


نمودار ۱- نتایج عملکرد و تغییرات COD در راکتور SBR طی دوران سازگاری راکتور (زمان ماند میکروبی ۰.۱روز)

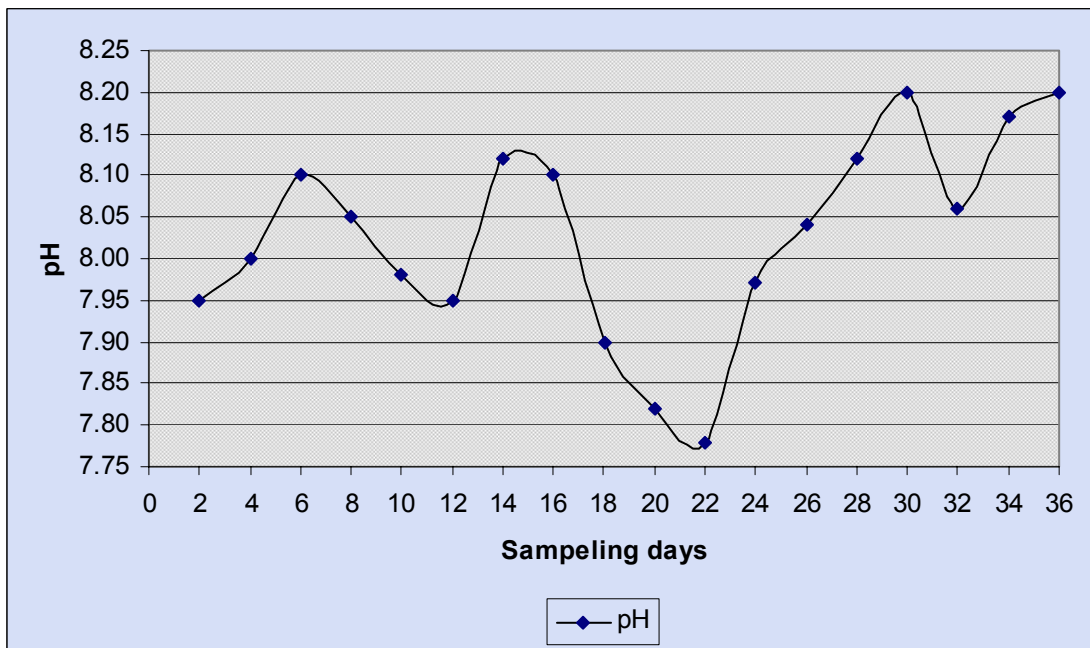


نمودار ۲- نتایج عملکرد و تغییرات MLSS, MLVSS در راکتور SBR طی دوران سازگاری

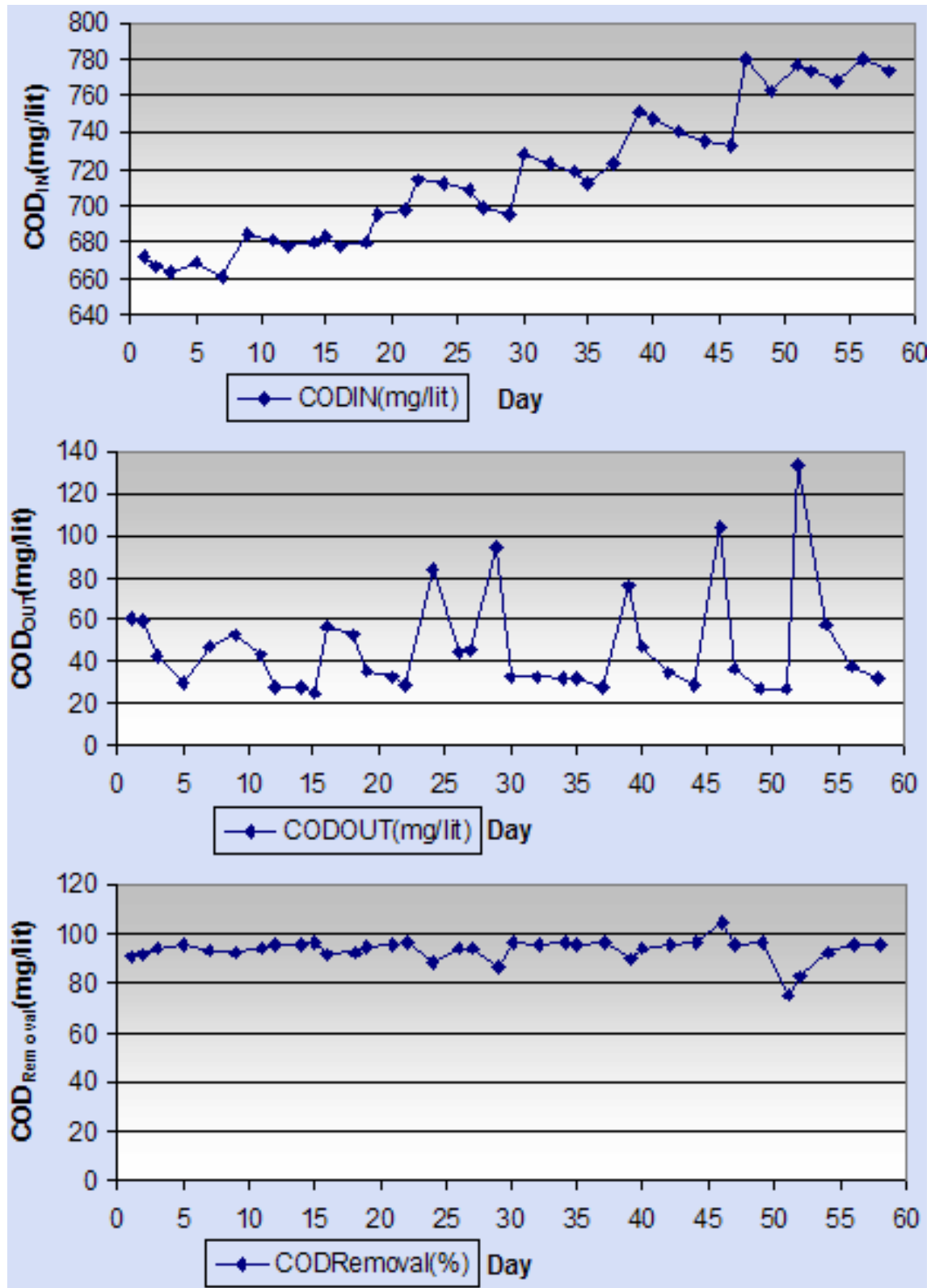
(زمان ماند میکروبی ۰.۱روز)



نمودار ۳- نتایج عملکرد و تغییرات SVI در راکتور SBR طی دوران سازگاری (زمان ماند میکروبی ۱۰ روز)

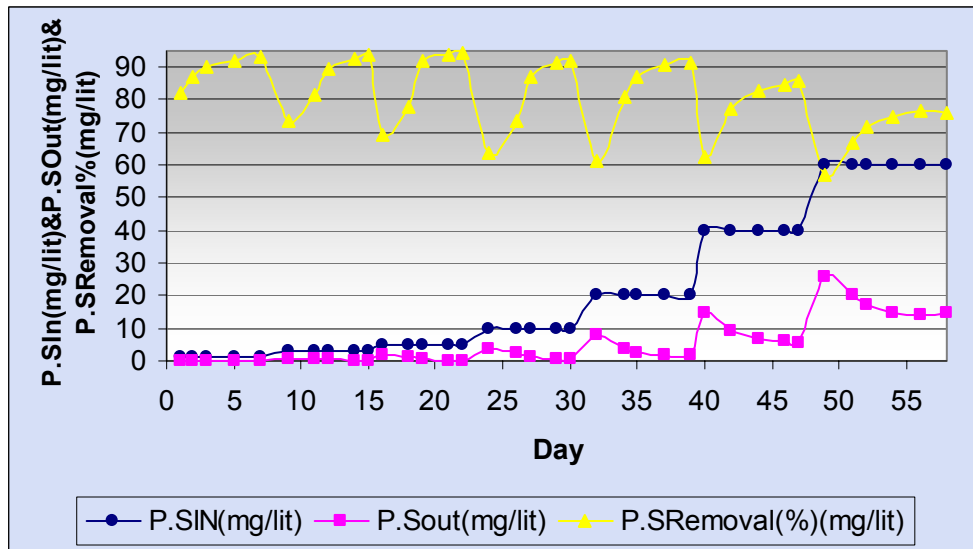


نمودار ۴- تغییرات pH در راکتور SBR طی دوران سازگاری (زمان ماند میکروبی ۱۰ روز)

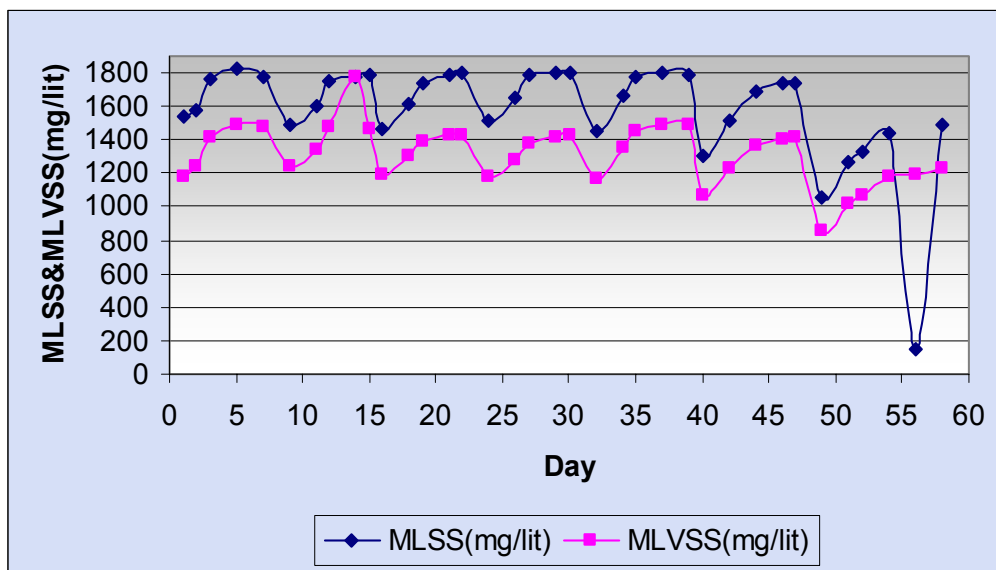


نمودار ۵- نتایج عملکرد و تغییرات COD در راکتور SBR طی عملیات حذف PSA

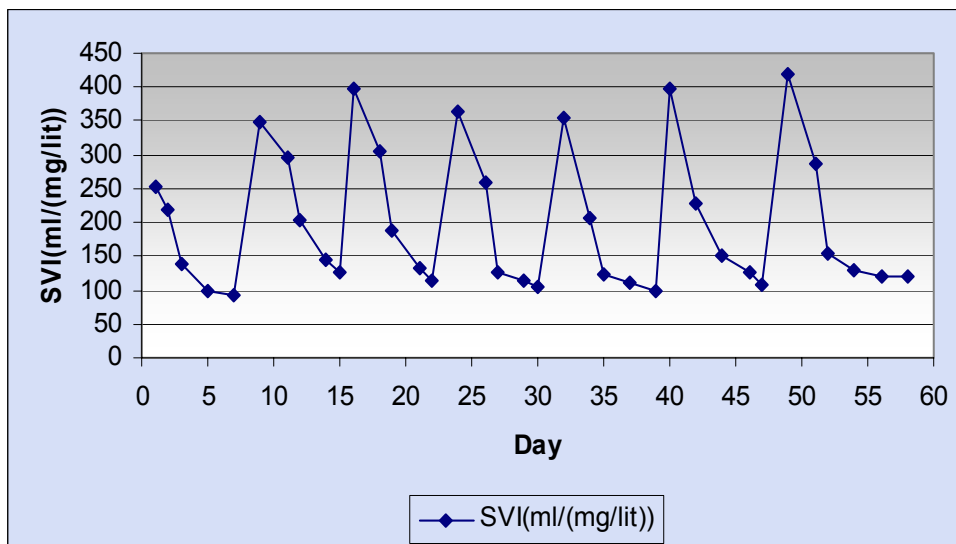




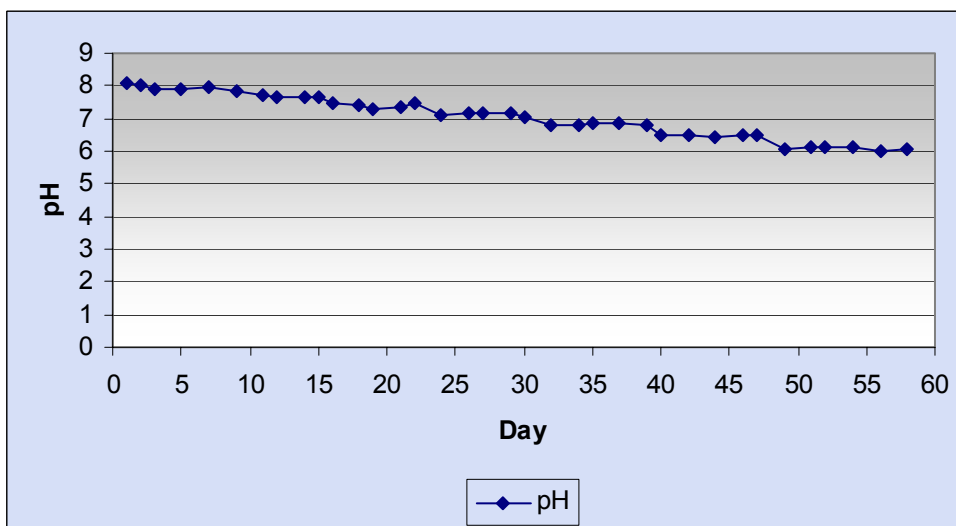
نمودار ۶- نتایج عملکرد و تغییرات PSA در راکتور SBR طی عملیات حذف PSA



نمودار ۷- نتایج عملکرد و تغییرات MLSS, MLVSS در راکتور SBR طی عملیات حذف PSA



نمودار ۸- نتایج عملکرد و تغییرات SVI در راکتور SBR طی عملیات حذف PSA



نمودار ۹- نتایج عملکرد و تغییرات pH در راکتور SBR طی عملیات حذف PSA

#### بحث و تفسیر نتایج

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پس از پایداری سیستم درصد حذف COD در زمان ماند میکروبی ۱۰ روز ۹۷/۵٪ است. غلظت توده بیولوژیکی ۱۸۵۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. هم چنین در این سیستم وضعیت ته نشینی لجن از متوسط تا خوب متغیر بوده و تغییرات PH و درجه حرارت ناچیز است.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در راکتور SBR دوره سازگاری راکتور کوتاه است و درصد حذف COD بالا می‌باشد و پس از پایداری سیستم کیفیت پساب یکنواخت می‌باشد.

نتایج به دست آمده در بررسی عملکرد راکتورهای SBR در حذف PSA با زمان ماند میکروبی ۱۰ روز، هوادهی ۶ ساعت در یک دوره ۵۶ روزه، نشان می‌دهد در اثر افزایش

2. Ketchum I.II 1997 "Design and physical Features of Sequencing Batch Reactors", Wat. Sci. Tech... Vol.35.No. 1,p 11-18
۳. صهبایی، احمد رضا، ۱۳۷۳ « تصفیه فاضلاب توسط روش SBR »، سمینار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، تابستان.
4. Ng.K.Y.. Ng W.j..sim T.S.. ong S.L., Rama samy M., Tan K.N., "predicting Sequencing Batch Reactoe ( SBR) Effluent Quality", Proceeding of Environmental Protection and control Technology , Vol , 1, p28-31 , Oct.42 , Malasia.
5. Lonoutle.K.H., Busch A. W., 1991" Sequencing Batch Biological Reactors An overview", J.WPCF, Vol. 51 , No. 2, P235-243 ,
6. AlHarazim.M.L., Barth E.F., Umpheres M.B., 1994 "Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors", J.WPCF , Vol.58 , No. 8,p867 –875,.
7. Bouwer.J., "Treat ment of petrochemical water in sequencing Batch Reactors" , Enr progress , Vol 5 , No2 , pp 71-81, 1995.
۸. حسنی امیر حسام، رساله دکتری مهندسی محیط زیست، « بررسی عملکرد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SPR) در تصفیه پساب های حاوی ترکیبات فنلیک، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده محیط زیست و انرژی
9. Standard Metods for Exomination of water and waste water ” , APHA, WPCF.18thEd,1992.

غلظت PSA ورودی در هر مرحله درصد حذف COD و درصد حذف PSA به علت تغییر ناگهانی شرایط محیطی کاهش یافته و پس از گذشت چند روز و سازگاری میکرو ارگانیسم ها با تغییرات ایجاد شده، افزایش می یابد. و با افزایش غلظت PSA در هر مرحله درصد حذف اولیه COD و PSA کاهش بیشتری را نسبت به غلظت قبل نشان می دهد. در اثر افزایش غلظت PSA ورودی به راکتور میزان MLSS راکتور کاهش یافته (حدود ۲۰۰ میلی گرم در لیتر ) و پس از ایجاد حالت پایداری غلظت آن افزایش می یابد.

مقدار SVL لجن در اثر افزایش غلظت PSA افزایش یافته و کیفیت ته نشینی لجن کاهش می یابد که پس از ایجاد حالت پایداری مقدار آن کاهش یافته به حدود ۸۵ میلی لیتر بر میلی گرم در لیتر می رسد.

در طول مدت زمان این تحقیق تغییرات درجه حرارت ناچیز بوده و در خصوص تغییرات PH فاضلاب، با افزایش غلظت PSA ورودی به راکتور میزان PH فاضلاب کاهش یافته، حدود ۶ می شود و فاضلاب حالت اسیدی پیدا می کند. این سیستم قادر به حذف بیولوژیکی فنل سولفونیک اسید تا غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر می باشد. لازم به ذکر است که در خصوص حذف بیولوژیکی فنل سولفونیک اسید تحقیقی صورت نگرفته است ولی نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده در خصوص حذف بیولوژیکی فنل توسط امیرحسام حسنی کاملاً منطبق بوده و مویید آن است که حذف بیولوژیکی فنل سولفونیک اسید تا حدودی مشابه حذف بیولوژیکی فنل می باشد.

#### منابع

1. Irvin R.I ...Ritcher R.O..1976 "Computer Simulation and Design of Sequencing Batch Biological Reactors". Proceeding of 3 th Industrial Waste Conference , p 182-190.