

بررسی اثر زمان بی‌هوازی و عمر لجن بر حذف بیولوژیکی فسفر در  
راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی

\* دکتر علی ترابیان  
\*\* مهندس بهنوش امین زاده  
\*\*\* مهندس محمدرضا نیکی ملکی

کلمات کلیدی:

حذف بیولوژیکی فسفر، راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی، عمر لجن، زمان واکنش بی‌هوازی، تصفیه فاضلاب

چکیده:

در این تحقیق از دو راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR) که در مقیاس نیمه صنعتی ساخته شده بود، جهت حذف بیولوژیکی فسفر استفاده شد. هر دو راکتور در یک سیکل ۱۲ ساعته کار می‌کردند و راهبری آنها از طریق یک رایانه صورت می‌گرفت. از یک راکتور به عنوان شاهد، بدون مرحله بی‌هوازی اولیه (با ۹/۵ ساعت زمان هوادهی) استفاده شد. در راکتور دیگر شرایط بی‌هوازی اولیه بدون تغییر در زمان کل واکنش (۹/۵ ساعت) مهیا گردید. متوسط غلظت فسفر و COD در خوراک ورودی به راکتورها به ترتیب برابر بود با ۷/۵ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر. متوسط راندمان حذف فسفر در راکتور شاهد و راکتور دوم با زمانهای واکنش بی‌هوازی ۲، ۲ و ۴/۵ ساعت در طی دوره های ۲ ماهه به ترتیب برابر با ۱۶٪، ۲۶٪، ۶۴٪ و ۹۹٪ بدست آمد. از طرف دیگر افزایش عمر لجن از ۵ روز به ۱۰ روز در راکتور با زمان واکنش بی‌هوازی ۴/۵ ساعت، باعث کاهش راندمان حذف فسفر از ۹۹٪ به ۸۷٪ شد.

در کل بررسی نتایج حاصله از عملکرد راکتورها نشان می‌دهد که از یک طرف با افزایش زمان واکنش بی‌هوازی، به دلیل غلبه میکروارگانیسمهای حذف کننده فسفر بر سایر گونه ها می‌توان راندمان حذف فسفر را بالا برد و از طرف دیگر با کنترل دقیق حجم لجن مازاد (عمر لجن) در راندمان حذف اثر مثبت گذاشت.

\* استادیار گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.  
\*\* مربی گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.  
\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

## سرآغاز

مزایای زیادی برای استفاده از راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR)<sup>(۱)</sup> در تصفیه فاضلابها نسبت به سایر فرایندهای لجن فعال گزارش شده است. (Silverstein and Schroeder, 1983, Irvine et al. 1979, 1983) راکتورهای ناپیوسته در حقیقت شکل ایده آل راکتورهای با جریان نهر گونه می باشند.

به طور معمول هر سیستم SBR از یک یا بیشتر از یک راکتور ناپیوسته تشکیل شده است که به طور موازی و به صورت (پر- خالی) عمل می نماید. در تصفیه بیولوژیکی فاضلابها معمولاً هر راکتور در سیستم SBR دارای پنج مرحله زمانی می باشد. این مراحل عبارتند از پر کردن، واکنش، ته نشینی، تخلیه و استراحت. در هر سیکل کامل وجود مراحل پر کردن و تخلیه ضروری است، لیکن مراحل واکنش، ته نشینی و استراحت ممکن است مناسب با نیازهای تصفیه حذف گردند.

در زمان پر شدن حجم مایع درون راکتور از حداقل به حداکثر افزایش می یابد. این زمان پر شدن می تواند توأم با همزنی یا هوادهی و یا هر دو باشد. در زمان واکنش جریان ورودی قطع شده همزنی یا هوادهی باعث واکنش تثبیت بیولوژیکی می شود. در این مرحله می توان با تخلیه لجن اضافی، حجم جرم میکروبی را در حد نیاز کنترل نمود. در زمان ته نشینی هوادهی و همزنی قطع می گردد تا جرم میکروبی تشکیل یخته داده و ته نشین شود و در زمان تخلیه پساب تصفیه شده تخلیه می شود تا حجم مایع به حداقل برسد. پس از مدتی (زمان استراحت) مجدداً فاضلاب وارد راکتور می شود.

استفاده از راکتورهای SBR در حذف بیولوژیکی فسفر از فاضلاب از حدود دو دهه قبل گزارش شده است. (Shin and Jun, 1992; Manning and Irvine, 1985; Okada and Sudo, 1986; Marco et al, 1996) در تمامی این گزارشات به ضرورت وجود یک مرحله بی هوازی اولیه جهت افزایش راندمان حذف اشاره شده است. با توجه به آنکه باکتریهای جذب کننده فسفر از قبیل استینوباکتر<sup>(۲)</sup> که از تنوع اختیاری می باشند، مواد غذایی متشکله از کربوهیدراتهای ساده و یا محصولات تخمیری تولید شده در شرایط بی هوازی توسط سایر باکتریها را به دیگر مواد غذایی ترجیح می دهند، وجود یک مرحله

بی هوازی اولیه نقش تعیین کننده ای در غلبه این باکتریها بر سایر گونه ها در جذب مواد غذایی دارد. بر اساس بیشتر مدل‌های بیولوژیکی حذف فسفر، باکتریهای حذف کننده فسفر در مرحله بی هوازی اولیه مواد غذایی را به صورت اسید پلی هیدروکسی B بوتیریک (PHB) جذب و ذخیره نموده و در مرحله هوازی بعدی از این منبع غذایی استفاده می نماید (Comeau et al, 1986).

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات افزایش زمان واکنش بی هوازی و عمر لجن در راندمان حذف فسفر در راکتورهای SBR به منظور دستیابی به شرایط بهینه طراحی این گونه راکتورها می باشد.

## مواد و روشها

در این تحقیق از دو راکتور استوانه ای شکل با حجم مفید ۲۴ لیتر استفاده شد. ۱۰ لیتر از حجم هر راکتور برای قسمت ته نشینی در نظر گرفته شده بود. راکتورها مجهز به شیرهای برقی جهت ورود فاضلاب، تخلیه پساب، تخلیه لجن اضافی و وسایل لازم جهت همزنی و هوادهی بودند. به منظور ایجاد حداکثر انعطاف پذیری در عملیات راهبری از یک رایانه و کارت کنترل برای راهبری سیستم استفاده شد. شکل (۱) جانمایی قسمتهای مختلف سیستم و نحوه راهبری آن را نشان می دهد.

مدت زمان یک سیکل کامل در هر راکتور ۱۲ ساعت بود. در هر دو راکتور زمانهای پر شدن (بمدت ۵ دقیقه در ابتدای سیکل)، ته نشینی (۲ ساعت)، تخلیه (۵ دقیقه) و استراحت (۲۰ دقیقه) در طول مطالعه بدون تغییر باقی ماندند. در راکتور شاهد (SBR<sub>2</sub>) مدت زمان کل واکنش (۹/۵ ساعت) عمل هوادهی انجام می شد، در صورتیکه در راکتور دیگر (SBR<sub>1</sub>) همین مدت زمان واکنش به دو مرحله بی هوازی و هوازی تخصیص یافته بود. خوراک ورودی به راکتورها روزانه به صورت مصنوعی ساخته می شد تا حداقل تغییر در مشخصات آن به وجود آید. جدول (۱) مشخصات خوراک ورودی به راکتورها را نشان می دهد.

به منظور بررسی اثر افزایش زمان واکنش بی هوازی در راندمان حذف فسفر در راکتور SBR<sub>1</sub> مقدار این پارامتر در سه نوبت به ترتیب از ۲ ساعت به ۳ و ۴/۵ ساعت تغییر داده شد و در هر نوبت تغییرات سیکی فسفر باقیمانده و نیز متوسط مقدار این پارامتر در سیکلهای مشابه موجود در یک دوره ۲ ماهه، ثبت شد.

جدول شماره (۱): مشخصات خوراگ راکتورها

غلظت، میلی گرم در لیتر	ماده
۶۰۰	ساکاروز
۱۷/۳	استات
۵/۳	نیتروژن آمونیاکی
۱۶/۲	نیتروژن کل
۵۲/۸	اسیدهای آمینه
۷/۵	فسفر
۲	پتاسیم
۶/۴	سدیم
۵۰	کلسیم
۲۰	منیزیم
۳۷/۳	کلرید
۸۰۰	اکسیژن خواص شیمیایی، COD

انرژی ATP است مصرف می کنند که شکستن این مولکولهای پر انرژی به نوبه خود باعث رها شدن فسفر در راکتور شده است. در مرحله هوازی بعدی جذب سریع و ناگهانی فسفر اتفاق افتاده است که این جذب با مصرف غذایی ذخیره شده در طی مدت بی هوازی همراه بوده است. چنین پدیده ای در راکتور شاهد مشاهده نشد (شکل ۲). در این راکتور کاهش COD و فسفر محلول به صورت یکنواخت و کند بوده است.

مقایسه شکل های (۳)، (۴) و (۵) نشان می دهد مقدار COD محلول راکتور در ابتدای مرحله هوازی، با مدت زمان بی هوازی نسبت عکس دارد. بدین ترتیب که هر چقدر مدت زمان بی هوازی افزایش می یابد، مقدار COD محلول در شروع مرحله هوازی کار راکتور کاهش یافته است. کم بودن میزان COD در مرحله هوازی بعدی خودبخود جایی برای رشد و تکثیر سایر ارگانیسمهای غیرحذف کننده فسفر نگذاشته است. نتیجتاً میکروارگانیسمهای حذف کننده فسفر گونه غالب راکتور شده و حذف بیشتر فسفر اتفاق افتاده است.

شکل (۶) متوسط میزان فسفر کل خروجی از راکتور شاهد و راکتور SBR<sub>۱</sub> با زمانهای مختلف بی هوازی را در طی دوره های ۲ ماهه نشان می دهد. همانطور که از شکل مشخص است با ایجاد شرایط بی هوازی اولیه و افزایش زمان آن میزان فسفر خروجی از راکتور کاهش و یا به عبارتی راندمان حذف فسفر افزایش یافته است. (از ۱۶٪ در مورد راکتور شاهد تا مقادیر ۲۶٪، ۶۴٪ و ۹۹٪ به ترتیب در مورد راکتور SBR<sub>۱</sub> با زمانهای بی هوازی ۲، ۳ و ۴/۵ ساعت).

به منظور بررسی اثر عمر لجن در راندمان حذف فسفر، میزان عمر لجن در راکتور SBR<sub>۱</sub> (با زمان بی هوازی ۴/۵ ساعت و راندمان حذف ۹۹٪) مقدار این پارامتر از ۵ روز به ۱۰ روز افزایش یافت. شکل (۷) به مقایسه میزان حذف فسفر در راکتور SBR<sub>۱</sub> با زمان بی هوازی ۴/۵ ساعت و عمر لجن ۵ روز و ۱۰ روز پرداخته است. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش عمر لجن از کارایی راکتور SBR<sub>۱</sub> کاسته شده است (حدود ۱۰٪ کاهش راندمان مشاهده شد). این کاهش می تواند از یک طرف ناشی از خروج کمتر میکروارگانیسمهایی باشد که درصد زیادی از جرم آنها را فسفر تشکیل داده است و از طرف دیگر نشان دهنده این موضوع باشد که میکروارگانیسمهای حذف کننده فسفر در قسمتی از مرحله رشد و تکثیر خود مقدار بیشتری فسفر جذب

عمر لجن یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم های تصفیه بیولوژیک می باشد. پس از رسیدن به حداکثر راندمان حذف فسفر در راکتور SBR<sub>۱</sub> (با زمان واکنش بی هوازی ۴/۵ ساعت و عمر لجن ۵ روز) میزان این پارامتر که در طول دوره مطالعه ثابت باقی مانده بود به ۱۰ روز افزایش یافت و اثر آن در عملکرد راکتورها بررسی شد.

کل مراحل تحقیق در دمای محیط انجام شد و اندازه گیری پارامترهای مورد لزوم از قبیل فسفر کل، فسفر محلول، COD کل و COD محلول بر اساس دستورالعمل کتاب روشهای استاندارد (Standard Methods) صورت گرفت.

### نتایج و بحث

شکل (۲) تغییرات COD و فسفر محلول در یک سیکل راکتور شاهد (بدون زمان بی هوازی) و اشکال (۳)، (۴) و (۵) تغییرات همین پارامترها را در یک سیکل راکتور SBR<sub>۱</sub> با زمان های بی هوازی ۲، ۳ و ۴/۵ ساعت نشان می دهند.

مقایسه شکل (۲) با اشکال (۳)، (۴) و (۵) نشان می دهد که با ایجاد شرایط بی هوازی اولیه در ابتدا غلظت فسفر محلول در راکتور SBR<sub>۱</sub> افزایش یافته است. این نتیجه می تواند مؤید این فرضیه باشد که میکروارگانیسمهای حذف کننده فسفر برای جذب بیشتر مواد غذایی، منبع انرژی خود را که به صورت مولکولهای پر

- Shin, H. S. et al. 1992. Development of excess phosphorus removal characteristics in a SBR. *Wat. Sci. Tech.* 25(4-5): 433-440.
- Irvine, R. L. et al. 1979. Sequencing batch reactors: an overview. *J. WPCF.* 51: 235.
- Irvine, R. L. et al. 1983. Municipal application of sequencing batch treatment. *J. WPCF.* 44: 484.
- Manning, J. F. et al. 1985. The biological removal of phosphorus in a sequencing batch reactor. *J. WPCF.* 57(1).
- Garzon, M. A. et al. 1996. Biological phosphat and nitrogen removal in a biofilm sequencing batch reactor. *Wat. Sci. Tech.* 34(1-2): 293-301
- Okada, M. et al. 1986. Performance of SBR activated sludge processes for simultaneous removal of Nitrogen, Phosphorus and BOD as applied to small community sewage treatment. *Wat. Sci. Tech.* 18: 363-370.
- Silverstein, J. et al. 1983. Performance of SBR activated sludge processes with nitrification / denitrification. *J. WPCF.* 55: 377-384.
- Eaton, A. D. et al. (Editor). 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup> Edition. APHA.

می کنند. در واقع تخلیه مقدار مناسبی از جرم میکروبی باعث می شود که در مرحله بعدی آغاز کار راکتور و در ابتدای سیکل با افزایش نسبت  $\frac{F}{M}$  میکروبیها وارد مرحله رشد و تکثیر سریع شده (رشد لگاریتمی) و در چنین شرایطی منجر به حذف بیشتر فسفر شوند.

### نتیجه گیری

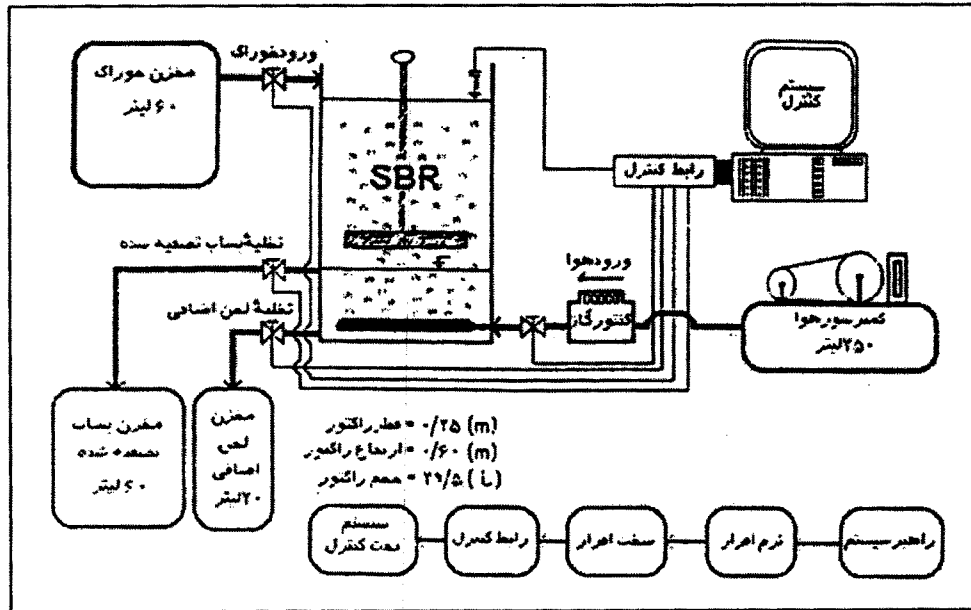
میکروارگانیزمهای حذف کننده فسفر در سیستمهای معمول تصفیه فاضلاب به صورت مغلوب جزء کوچکی از جرم میکروبی موجود در تصفیه خانه ها را تشکیل داده که به هیچ وجه در جذب مواد غذایی و رشد و تکثیر نمی توانند با سایر میکروارگانیزمها رقابت داشته باشند. با ایجاد یک مرحله بی هوازی اولیه می توان شرایط را به نفع این میکروارگانیزمها تغییر داد. میکروارگانیزمهای حذف کننده فسفر در صورتیکه درصد زیادی از مواد آلی فاضلاب در مرحله بی هوازی مصرف شود، به صورت موجودات کاملاً غالب درمی آیند. زیرا سایر میکروارگانیزمها در شرایط بی هوازی نمی توانند به طور مؤثری با این میکروارگانیزمها رقابت نمایند و در فاز هوازی بعدی نیز مواد غذایی به اندازه کافی در اختیار نخواهند داشت. از طرف دیگر به نظر می رسد میکروارگانیزمهای حذف کننده فسفر در مراحل رشد سریع خود (رشد لگاریتمی) می توانند مقدار بیشتری از فسفر جذب کنند. به همین دلیل با کنترل دقیق زمان بی هوازی و تخلیه لجن اضافی در یک راکتور SBR می توان حذف فسفر را به حداکثر رساند تا جایی که ۹۹٪ فسفر ورودی حذف بشود.

### یادداشتها

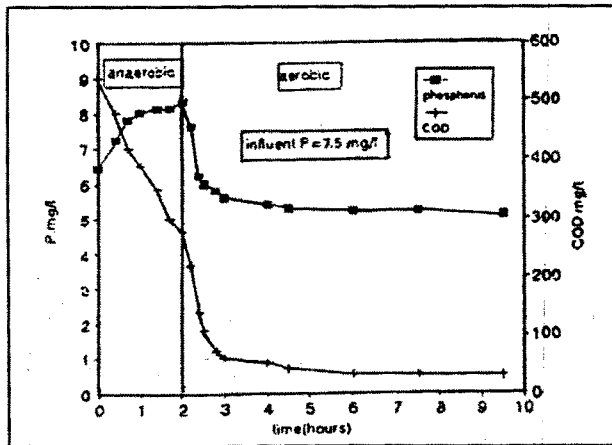
- 1- Sequencing Batch Reactor
- 2- Acetino Bacter

### منابع مورد استفاده

- Comeau, Y. et al. 1986. Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. *Wat. Res.* 20: 1511.



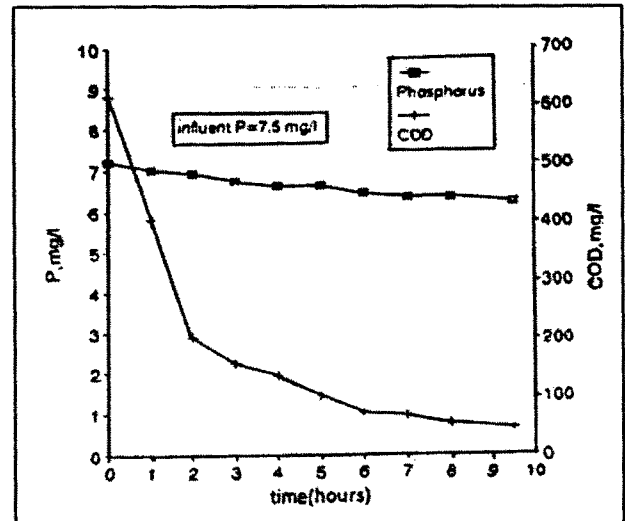
شکل شماره (۱): جانمایی قسمت های مختلف سیستم و نحوه راهبری



شکل شماره (۳): بررسی تغییرات COD و فسفر محلول در

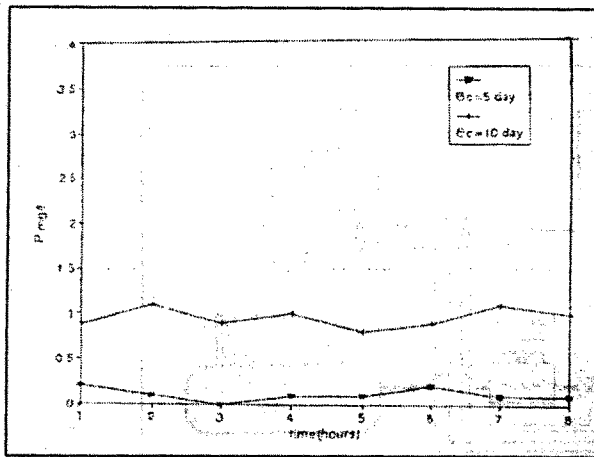
یک سیکل در راکتور شاهد SBR<sub>1</sub>

(با زمان بی‌هوازی ۲ ساعت)

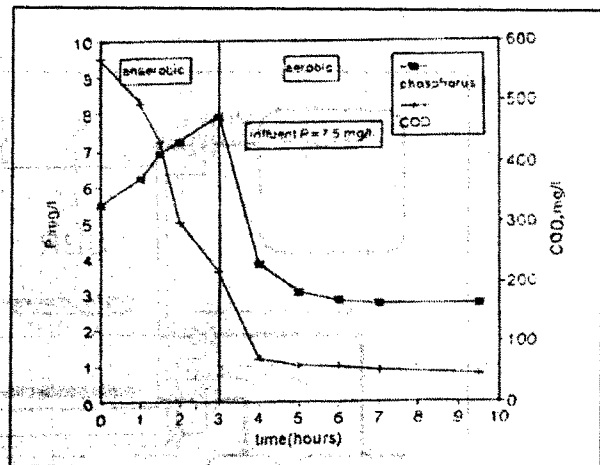


شکل شماره (۲): بررسی تغییرات COD و فسفر محلول در

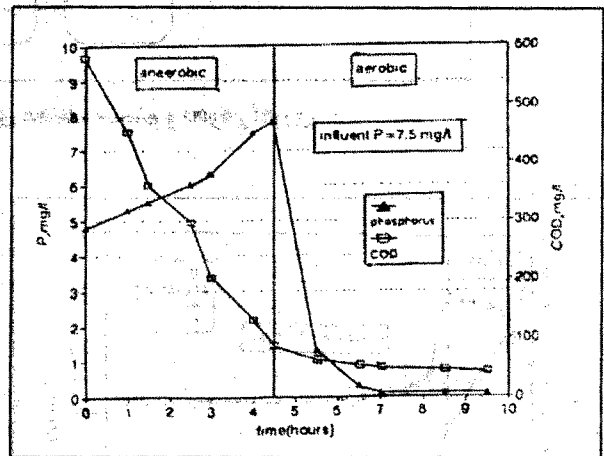
یک سیکل در راکتور شاهد (بدون زمان بی‌هوازی)



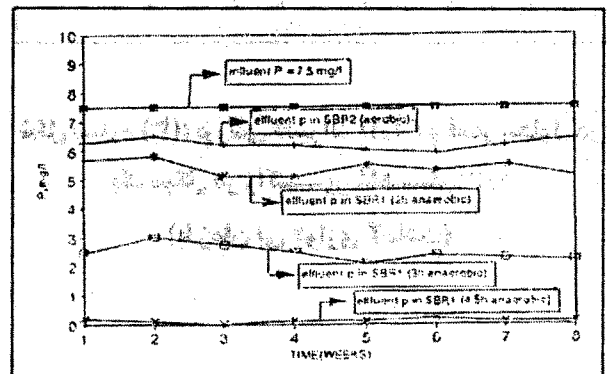
شکل شماره (۷): مقایسه حذف فسفر در راکتور SBR<sub>1</sub> با زمان بی هوازی ۴/۵ ساعت و عمر لجن متفاوت



شکل شماره (۴): بررسی تغییرات COD و فسفر محلول در یک سیکل در راکتور SBR<sub>1</sub> (با زمان بی هوازی ۳ ساعت)



شکل شماره (۵): بررسی تغییرات COD و فسفر محلول در یک سیکل در راکتور SBR<sub>1</sub> (با زمان بی هوازی ۴/۵ ساعت)



شکل شماره (۶): مقایسه حذف فسفر در راکتورهای SBR<sub>1</sub> و SBR<sub>2</sub> در شرایط عملیاتی مختلف