Archive of SID

# تصفیه فاضلاب صنایع فلزکاری به روش راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی

علیرضا نظری علوی*+، سیدجمال‌الدین هاشمیان و محمد خدادادی‌مقدم

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، مرکز تحقیقات آب و انرژی، صندوق پستی ۸۶۳۹-۱۱۳۶۵

**چکیده:** در دو دهه اخیر، روش تصفیه بیولوژیکی راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد آن مورد توجه خاص قرار گرفته‌است. سرمایه‌گذاری اندک و مساحت کم مورد نیاز، از امتیازات این فرآیند می‌باشد. این امتیازات برای کشوری مانند ایران اهمیتی دو چندان‌خواهد داشت چرا که با وجود تاسیس شهرک‌های صنعتی، صنایع مختلفی در سطح شهرها باقی مانده و به دلیل عدم وجود شبکه جمع آوری‌فاضلاب امکان تخلیه مستقیم فاضلاب‌های آنها نیز وجود ندارد. در صنایع فلزکاری که در سطح شهرها به وفور یافت می‌شوند از امولسیون روغن‌و آب برای کم کردن اصطکاک و خنک کردن استفاده می‌کنند که پس از مصرف، فاضلاب تولیدی دارای آلودگی بسیار بالا یی است و باید قبل‌از دفع تصفیه شود.

مطالعات حاضر بررسی تصفیه فاز آبدار این نوع فاضلاب به روش راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی در مقیاس واحد نمونه است. نتایج به دست آمده نشانگر آن است که زمان هوادهی در سیستم، وابسته به نسبت آلاینده به بیومس است و بازده سیستم در حذف COD، حدود ۹۰ درصد می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی، امولسیون، تصفیه، فاضلاب

***KEY WORDS:*** *Sequencing batch reactor(SBR), Emulsion, Treatment, Wastewater*

## مقدمه

از جمله مواردی که باید در هنگام انتخاب تصفیه بیولوژیکی به عنوان راهکاری برای پردازش فاضلاب‌ها مد نظر داشت، حجم و مساحت‌زمین مورد نیاز است. با وجود اینکه روش‌های متعارف زیست شناختی با کمک تجهیزات مکانیکی سرعت واکنش‌های بیولوژیکی راافزایش داده و در حجم و مساحت کم، بازده بالایی دارند، اما با توجه به شرایط مکانی ممکن است کماکان با این مسئله روبرو شویم. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر مشخص می‌شود که با وجود تاسیس شهرک‌های صنعتی، صنایع مختلفی از کوچک و بزرگ در سطح‌شهرها به حیات خود ادامه می‌دهند. در کشورهای اروپایی که امکان تخلیه مستقیم فاضلاب به شبکه جمع آوری وجود دارد، مستلزم‌پرداخت آبونمان هنگفتی است. در کشور ما به دلیل عدم وجود شبکه گسترده جمع آوری فاضلاب این احتمال نیز بسیار محدود است.

از جمله روش‌های بیولوژیکی که در دو دهه اخیر به دلیل ویژگی‌های منحصربه فرد آن مورد توجه بوده است و در واحدهای کوچک‌قابل طراحی و اجراست، روش راکتور ناپیوسته با عملیات

* عهده‌دار مکاتبات

+E-mail: alavi@ sharif.edu



www.SID.ir

Archive of SID

متوالی است (SBR) [۱-۳]. عدم احتیاج به حوضچه‌های ته‌نشینی استفاده ازاین فرآیند را در مقیاس‌های کوچک و در محل صنعت در سطح شهرها امکان‌پذیر می‌سازد.

مراحل مختلف این فرآیند عبارتند از [۱-۴]: ۱ - مرحله پر کردن، ۲ - مرحله واکنش، ۳ - مرحله ته نشینی، ۴ - مرحله تخلیه و ۵ - مرحله سکون .

مدت زمان بین شروع مرحله پرکردن تا انتهای مرحله سکون را زمان سیکل گویند که مناسب با ویژگی‌های کمی و کیفی فاضلاب و نیزمیزان تصفیه مورد نیاز متفاوت خواهد بود. از جمله فاضلاب‌هایی را که می‌توان به این روش پردازش کرد، فاضلاب روغن‌های برش است‌که در حقیقت امولسیون مستقیم روغن - آب (O/W) و اهداف اصلی کاربرد آن کم کردن اصطکاک و خنک کردن می‌باشد. شکست‌این امولسیون (جداسازی روغن از آب) که معمولا دارای ۱ تا ۱۰ درصد روغن برای ۹۹ تا ۹۰ درصد آب است، امکان استفاده ازتصفیه بیولوژیکی را برای پردازش فاز آبدار که حجم اصلی فاضلاب را تشکیل می‌دهد، مهیا می‌سازد. بحث راکتورهای SBR موضوع تازه‌ای نیست با این وجود به دلیل امتیازات ذکر شده کماکان برای تصفیه فاضلاب‌های مختلف و خاص در خارج [۱۰-۱۴] و داخل کشور[۱۵-۱۷] به صورت مقالات علمی و پایان‌نامه‌های تحصیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعات حاضر نیز با هدف تصفیه فازآبدار روغن‌های برش که هم در صنایع کوچک و هم در صنایع بزرگ مانند خودروسازی، باعث اختلاط در بهره‌برداری صحیح از تصفیه‌خانه‌های این صنایع می‌شود، انجام شده‌است.

**تجهیزات و روش تحقیق**

شکل ۱، عکس پایلوت مورد استفاده در این تحقیقات را نشان می‌دهد. بر اساس طراحی، فونداسیون پایلوت آهنی و متحرک پیش بینی شده‌است. در این سیستم سه بیوراکتور مد نظر بوده که از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۵ میلی‌متر، با قطر ۲۰ سانتی متر ساخته و برروی‌فونداسیون قرار گرفته‌اند. هر بیوراکتور دارای سه شیر نمونه برداری از جنس برنج می‌باشد که به فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یکدیگر و درارتفاعات مختلف برای نمونه‌برداری نصب شده است.

در کف هر بیوراکتور سیستم، نازلی از نوع آکواریوم قرار گرفته تاهوای لازم رابرای اکسیداسیون بیولوژیکی مهیا سازد. این نازل‌ها به کمپرسور هوا متصل می‌شوند. در قسمت فوقانی سه مخزن

**شکل ۱ـ عکس پایلوت فرآیند تصفیه به روش راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی**

برای ذخیره و انتقال فاضلاب به بیوراکتورها تعبیه شده است تا مرحله پرکردن که قبل از مرحله واکنش قرار دارد، تحت کنترل باشد. در زیر هر راکتور شیر تخلیه قرار دارد که در هنگام خالی کردن لجن اضافی‌و یا شستشوی سیستم، مورد استفاده قرار می‌گیرد.برای آزمایشات از روغن کارخانه تابکم استفاده شده است. فاضلاب به طور مصنوعی در آزمایشگاه ساخته و پس از شکست امولسیون به وسیله کلرورکلسیم، فاز آبدار جدا شده است. برای این منظور به ازای هر درصد از روغن یک گرم کلرور کلسیم در لیتر به امولسیون اضافه شده [۱۸] و پس ازاختلاط کامل به مدت یک روز به حالت سکون در آمپول دکانتور قرار داده و سپس فاز آبدار جدا شده است. در مرحله اول آزمایشات ازفاضلاب رقیق یک درصد حجمی استفاده شده است. لجن فعال اولیه از تصفیه خانه فاضلاب شیر پاستوریزه تهران تامین شده است. همزمان یک‌راکتور به عنوان شاهد با یک لیتر فاضلاب و به جای لجن فعال از یک لیتر آب رقیق‌سازی استفاده شده تا در صورت حذف آلاینده‌های (COD) ناشی از هوادهی قابلیت حذف بیولوژیکی از اثرهوادهی تمیزداده‌شود.فاضلاب خام دارای pH=۷ و۵۰۰ =CODمیلی‌گرم در لیتر بوده که پس از اضافه کردن در زمان صفر به COD=۲۶۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته است. ۴۰۵۰ =MLSS میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. راکتورها به


www.SID.ir

Archive of SID

مدت ۲ ماه به کار خود ادامه داده و نتایج مطلوب حاصل نشد. (به بخش‌بحث و نتایج مراجعه شود).

لذا برای سازگار ساختن لجن فعال با فاضلاب از روش افزایش تدریجی استفاده شد. جزئیات کار بدین صورت بود که در روز اول سه‌لیتر لجن (MLSS= ۱ / g/l) با سه لیتر فاضلاب با ساختار ۳۰٪ فاضلاب ۲٪ روغن و ۷۰٪ آب رقیق سازی مخلوط و هوادهی آغاز شد. پس از ۲۴ ساعت و پس از یک ته نشینی دو ساعته، معادل ۳ لیتر از حجم راکتور کم شده و سپس فاضلاب با ساختار ۴۰٪ و ۶۰٪ آب رقیق سازی به سیستم اضافه شد.

این عمل تا رسیدن به ۱۰۰٪ فاضلاب ادامه یافت. پس از رسیدن به این مرحله به مدت دو هفته راکتور به صورت ناپیوسته با این‌فاضلاب تغذیه شد. پس از تهیه لجن سازگار و هوادهی شده، از این لجن برای آزمایشات استفاده شد. برای آزمایشات از امولسیون روغن ۵٪ که فاز آبدار آن دارای مشخصات مندرج در جدول ۱ است استفاده شد.

چنانکه در مقدمه نیز آمده، این‌فرآیند دارای مراحل مختلفی است که دو مرحله واکنش و ته نشینی از مراحل اصلی این فرآیند هستند. مراحل پر شدن و خالی کردن وابسته به حجم فاضلاب است و به راحتی قابل پیش بینی است. ولی مرحله واکنش بستگی به سرعت واکنش و ثابت‌های سینتیکی دارد که معمولا توسط غلظت اولیه آلاینده‌هایSo بر حسبCOD یا BOD نسبت به غلظت اولیه بیومسXo برحسب MLSS یا MLVSS کنترل می‌شود [۵–۸]. لذا تحقیقات برای مقادیر مختلف MLSS و So/Xo=۰/۹ ،۲/۲، ۵/۸۶و۱۰ mg COD/mg در زمان صفر انجام وزمان لازم برای‌رسیدن به حداکثر راندمان معلوم شد. در پایان هر آزمایش برای مشخص کردن زمان لازم برای ته نشینی، درصد ته نشینی لجن در استوانه مدرج در طول زمان اندازه‌گیری شد. برای این‌کار ارتفاع لجن در پائین استوانه در طول زمان اندازه‌گیری و در نهایت درصد آن نسبت به ارتفاع لجن در پایان آزمایش تا زمانی که ارتفاع لجن ثابت می‌ماند، محاسبه شد.برای اندازه‌گیری pHو اکسیژن محلول از۸۰۴۳ .Do. Meter HANNA-HI و pH Meter ۳ ۸.HANNA-HI استفاده شد. آزمایشات دردمای آزمایشگاه حدود ۲۱° درجه سانتی‌گراد انجام شد.

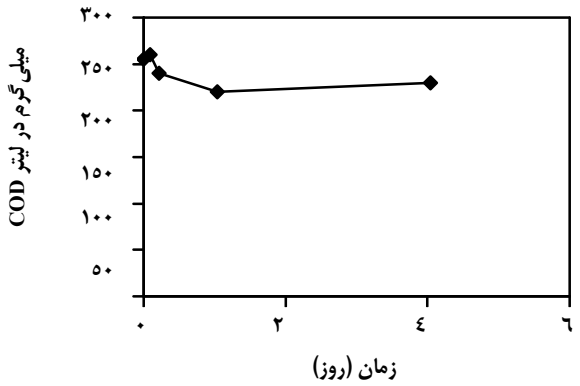
همزمان با نمونه برداری مقدارpH وDo نیز اندازه‌گیری شد و مقدارpH تقریبا ثابت (۶٫۵–۷) و مقدار اکسیژن محلول در طول آزمایشات ۶/۵–۷/۲ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. نسبت COD/N/P قبل از هر آزمایش به وسیله آب رقیق‌سازی به مقدار ۱۲۰/۵/۱ میلی گرم در لیتر موازنه شد. پارامترهای مورد لزوم از قبیل COD مواد مغذی (ازت، فسفر) براساس دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد صورت گرفت [۹].

**جدول ۱ـ مشخصات فاضلاب**

| شاخص | COD | $BOD_5$ | ارتوفسفات | ازت کجلدال | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| غلظت Mg/l | ۲۶۵۰ | ۲۰۵۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۷ |

## نتایج و بحث

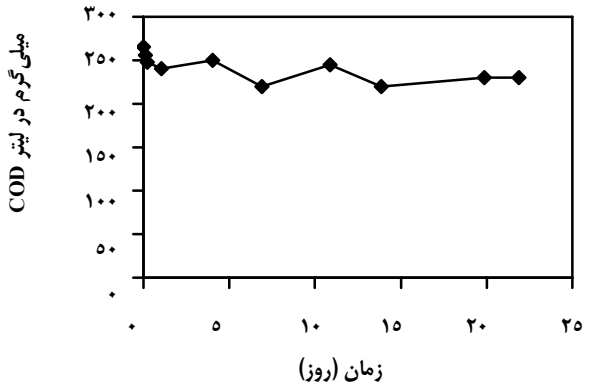
چنانچه دربخش تجهیزات و روش تحقیق ذکر شد، آزمایشات اولیه با راه اندازی دو راکتور که یکی بدون لجن و به عنوان شاهد انجام شد. نتایج آزمایشاتCOD در طول زمان در راکتور شاهد در شکل ۲ آمده است. چنانکه ملاحظه می‌شود هوادهی اثری برحذف مستقیمCOD نداشته و درصورت کاهش COD در راکتور بیولوژیکی می‌توان به این نتیجه رسید که افت COD بر اثر اکسیداسیون بیولوژیکی است و درطول‌زمان قابل رویت خواهدبود. برای مشخص کردن این مطلب،COD راکتور بیولوژیکی نیز نسبت به زمان اندازه‌گیری وبخشی ازنتایج آن درشکل ۳ مشاهده می‌شود. در مدتی که آزمایشات انجام گرفته، COD تغییری نکرده است. در این رابطه می‌توان چهار احتمال را در نظر داشت.




**شکل ۲ــ تغییراتCOD نسبت به زمان برای شاهد**


www.SID.ir

Archive of SID



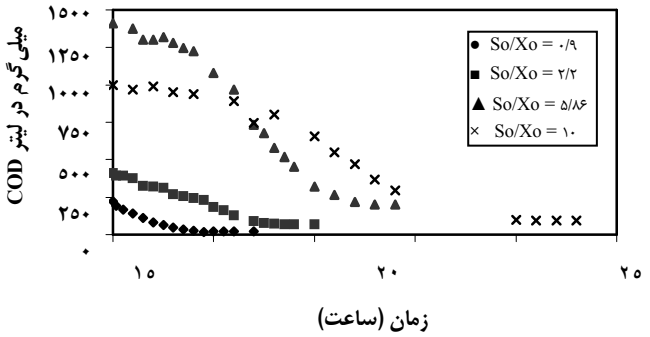

**شکل ۳ــ تغییراتCOD نسبت به زمان برایراکتور بیولوژیکی**

**جدول ۲ ــ بازده و زمان ماند لازم برای مقادیر مختلفSo/Xo**

| So/Xo | ۰/۹ | ۲/۲ | ۵/۸۶ | ۱۰ | mg COD/mg MLSS |
|---|---|---|---|---|---|
| بازده | ۹۰ | ۸۳ | ۸۵ | ۹۰ | % |
| زمان ماند | ۴/۵ | ۹ | ۱۳ | ۲۱ | H |
| $S_{min}$ | ۲۲ | ۶۸ | ۲۰۰ | ۹۵ | mg/l COD |

اول‌آنکه‌مواد مغذی لازم (ازت و فسفر) به اندازه کافی وجود ندارد. آزمایشات اولیه این مطلب را رد می‌کند. دوم آنکه لجن، فاز آمادگی(Lag Phase) را می‌گذراند، ولی مدت دو ماه پس از راه‌اندازی همچنان افتی در مقدارCOD دیده نمی‌شود لذا این احتمال نیز مردود است. احتمال سوم امکان شوک وارده بر اساس بالا و پایین بودن مقدار آلاینده (So) نسبت به مقدار غلظت بیومس (Xo) بوده که‌این مسئله به روش افزایش تدریجی قابل حل است و احتمال آخر سمی بودن و غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بودن آن است. برای رفع این‌ابهام چنانچه قبلا نیز ذکر شد پس از دو ماه آزمایشات قطع، و روش تغذیه افزایشی اعمال شد که در نهایت لجن مطلوب و سازگارپرورش یافته و برای آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۴ تغییرات غلظت آلاینده‌ها برحسب COD برای مقادیرمختلف So/Xo در طول زمان را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود با بالا رفتن این نسبت، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر راندمان نیز افزایش می‌یابد. جدول ۲ این نسبت‌ها را بیان می‌کند. در این جدول $S_{min}$ مقدار COD باقی مانده در راکتور را در پایان هر آزمایش می‌کند.

داده‌های جدول ۲ نشانگر بازده حدود ۹۰٪ است که زمان لازم برای رسیدن به این بازده برای مقادیر مختلف So/Xoمتفاوت ورابطه مستقیم با So/Xo دارد. ولی مطلبی که شایان ذکر است این است که این رابطه نسبت عددی با مقدار So/Xoندارد. یعنی برای مثال‌با ۵ برابر شدن این نسبت زمان لازم برای رسیدن




**شکل ٤ـ تغییرات COD در طول زمان برای مقادیر مختلف So/Xo**

به حداکثر راندمان ۵ برابر نخواهد بود .

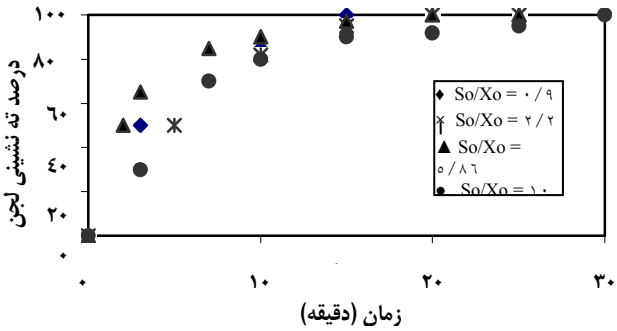

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵ نتایج آزمایشات قابلیت ته نشینی لجن را در دامنه So/Xo مورد بحث، نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، چندان اختلافی درزمان ماند لازم برای ته نشینی کامل لجن وجود ندارد. و این به دلیل اختلاف کم MLSS در هر مرحله و استفاده از فاز آبدار باغلظت بالا برای رسیدن به So/Xo مورد نظر بوده است .

در اینجا این سؤال مطرح است که کدام یک از نسبت‌های So/Xo با توجه به مسایل زیست محیطی و اقتصادی بهینه و قابل قبول است؟ اولویت اول داشتن استانداردهای لازم برای فاضلاب تصفیه شده است. به عبارتی در پایان هر سیکل، پساب خروجی از راکتور باید مطابق استانداردهای لازم برای دفع در محیط زیست باشد.لذا $S_{min}$ (جدول۲) می‌تواند پارامتری تعیین کننده برای انتخاب نسبت So/Xo باشد.

از موارد دیگری که باید در رابطه با تصفیه این نوع فاضلاب مد نظر داشت آن است که تحقیقات انجام شده درچندین کارگاه برش و تراش‌کاری نشان داد باوجود آنکه سازنده دستگاه‌های مربوطه میزان درصدی روغن نسبت به آب را تعیین وتوصیه می‌کنند که بعد از استفاده نسبت به تعویض امولسیون اقدام شود، ولی متاسفانه کاربران زمانیکه با کاهش کیفیت امولسیون روبرو می‌شوند به جای تعویض، مقداری روغن به دلخواه به آن اضافه می‌کنند و این کار چندین بار تکرار و در نهایت در زمان دورریز مقدار این نسبت معلوم نبوده و در کارگاه‌های مختلف، متفاوت



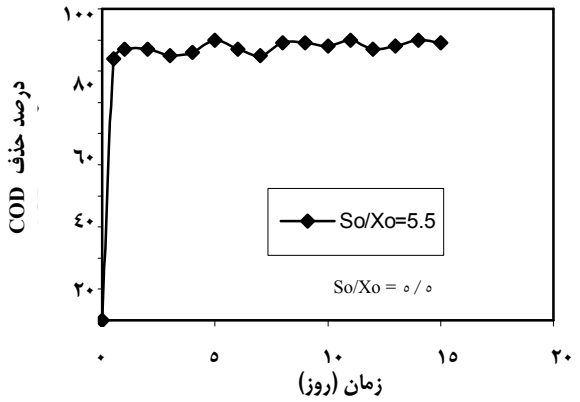

**شکل ۵ ــ درصد ته‌نشینی لجن در طول زمان برای مقادیر مختلف So/Xo**

خواهد بود. در این رابطه مسایل اقتصادی نیز از پارامترهای تعیین کننده است. زمان ماند بالا مستلزم داشتن استخر هوادهی بزرگتر، انرژی مصرفی بیشتر برای اختلاط کامل وانتقال اکسیژن و همچنین دفع لجن تولیدی از جمله مواردی هستند که باید در نظر گرفته شوند. لذا برای انتخاب نسبتSo/Xo احتیاج به یک واحد نمونه است تا بتوان، با توجه به عملکرد آن و با در نظر گرفتن استانداردهای لازم، حجم فاضلاب مورد پردازش و مسایل اقتصادی مقدار بهینه So/Xo را تعیین نمود. در پایان برای اطمینان از عملکرد راکتور در طول زمان، یک راکتور با So/Xo= باسیکل ۱۲ ساعته به مدت ۱۵ روز مورد بررسی‌قرار گرفت. سیکل شامل مدت زمان پرشدن ۱۰ دقیقه مدت هوادهی ۱۱ ساعت زمان ته‌نشینی ۴۰ دقیقه و زمان تخلیه ۱۰ دقیقه بود.شکل۶ نمودار تغییرات بازدهی سیستم در طی این زمان نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که در همان سیکل اول دهی راکتور تقریبا به حداکثر می‌رسد و این بدلیل آماده سازی لجن اولیه‌است.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که فاز آبدار ناشی از شکست امولسیون مستقیم آب ـ روغن قابلیت




**شکل ٦ ـ درصد حذف COD در طول زمان در فرآیند SBR**

تجزیه بیولوژیکی‌را دارد و فرآیند راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی می‌تواند با بازده حدود ۹۰٪ درصد برای تصفیه این نوع فاضلاب مورد استفاده‌قرار گیرد. در این فرآیند زمان واکنش بیولوژیکی و یا زمان هوادهی بسته به مقدار غلظت آلاینده‌ها نسبت به غلظت بیومس متفاوت‌خواهد بود. برای رسیدن به بیشترین بازده، باید با افزایش نسبت So/Xo زمان هوادهی نیز افزایش یابد .

*تاریخ دریافت : ۸۱/۳/۲۸ ، تاریخ پذیرش: ۸۱/۱۱/۲۸*


www.SID.ir

Archive of SID

## مراجع


[1] Irvine R. L. et al.,"Sequencing batch biological reactors". *J. WPCF,* **51**, p. 235(1979).

[2] Irvine R. L. et al.,"Municipal application of sequencing batch treatment". *J. WPCF,* **44**, p. 484(1983).

[3] Silverstien J.,"Performance of SBR activated sluge processes". *J. WPCF,* **55**, p. 377(1983).

[4] Arora M. L.,"Technology evaluation of sequencing batch reactors". *J. WPCF,* **58**(8), p. 867(1985).

[5] Chudoba P.,"Explation of biological meaning of the So/Xo ratio in batch cultivation". *Wat. Res.,* **26**, p. 743 (1992].

[6] Kappeler J."Estimation of kinetic parameters of Hetrotrophic biomass under aerobic conditions and characterizations of wastewater for activated sluge modeling". *Wat. Sci. Tech,* **25**, p. 125(1992).

[7] Spanjers H.,"Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sluge". *Wat. Sci. Tech.,* **34**, p. 117(1995).

[8] Ekama G. A., Dold P. and Marais G.," Procedure for determination influnt COD fraction and maximum specific growth rate in activated sluge systems". *Wat. Sci. Tech.,* **18**, p. 91(1986).

[9] APHA, WPCF, "Standard Methods Examination of Water and Wastewater", 17th(1985).

[10] Yoong E. et al.,"In Situ respirometry in an SBR treating watewater with high phenol concentrations ". *Wat. Sci. Tech,* **34**(1), p. 239(2000).

[11] Glass C. and Silverstien J.,"Denitrification of high-nitrate, high-salinity wastewater" . *Wat. Sci. Tech,* **33**(1), p. 223(1999).

[12] Louzeiro N. et al.,"Metanol-induced biological nutrient removal kinetics in a full-scale SBR". *Wat. Res.,* **36**, p. 2721(2002).

[13] Lim P. et al., "Simultaneous adsorption and biodegradation processes in SBR for treating copper and cadmium containing wastewater". *Wat. Res.,* **36**, p. 667(2002).

[14] White D. et al., "Biological treatment of cyanide containing wastewater". *Wat. Res.,* **34**(7) , p. 2105 (2000)

[۱۵] علوی مقدم ، م.، گنجی‌دوست، ح.، ترابیان، ع.، مجله آب و فاضلاب، شماره ۲۸، ص۲۲(۱۳۷۷)

[۱۶] ترابیان، ع، امین‌زاده، ب.، مجله محیط‌شناسی، شماره۲۷، ص۱(۱۳۸۰)

[۱۷] محسنی، ا.، بارزی، ح.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه مازندران(۱۳۷۷)

[۱۸] نظری علوی، ع، مجله آب و فاضلاب، شماره ۳۹، ص۲۳(۱۳۸۰)



www.SID.ir