بررسی اثر دو مرحله ای کردن MBBR در حذف مواد آلی محلول

راحیل شاهورانی[1]، مهدی برقعی[2]، فرشتهٔ نعیم پور[3]*

۱. دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲. دانشکده مهندسی شیمی و نفت، مرکز تحقیقات بیو شیمی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

fnaeim@iust.ac.ir

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

در این مقاله MBBR تک مرحله ای و MBBR دو مرحله ای مورد بررسی قرار گرفته اند. بیوفیلم بر روی حاملهایی به شکل استوانه های مواج به طول متوسط ۱ سانتیمتر با دانسیتهٔ $0/95\ gr/cm^3$ (کمتر از دانسیتهٔ آب) از جنس پلی اتیلن که توسط جریان هوا درون بیورآکتورها معلق می باشند، رشد کرده است. آزمایشات روی بیورآکتورها با دو غلظت متفاوت COD در زمان ماند ۲۴ ساعت و دمای $25^\circ C$ انجام شد و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسهٔ نتایج نشان می دهد اگرچه راندمان هردو بیورآکتور نزدیک بهم می باشند. بیورآکتور دومرحله ای از سرعت تصفیهٔ بالاتری برخوردار است .

کلمات کلیدی: Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)، بیوفیلم، رآکتور دو مرحله ای بیولوژیکی

مقدمه

راکتورهای بیوفیلمی که شامل دیسکهای چرخان بیولوژیکی (RBC)، فیلترهای چکنده و بیوراکتورهای بستر متحرک (MBBR) می باشند بر پایهٔ اتصال بیوفیلم به یک سطح جامد عمل می کنند. MBBR که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است، برای اولین بار توسط یک شرکت نروژی در سال ۱۹۸۸ برای احداث یک واحد تصفیهٔ کوچک مورد استفاده قرار گرفت [۱]. این بیوراکتورها بر پایهٔ اتصال بیوفیلم به حامل هایی که توسط جریان هوا در توده مایع در حال تصفیه غوطه ور هستند عمل می کنند. حاملها می توانند دانه های شن، ماسه،کربن دانه ای و غیره باشند. چنانچه جریان هوا بیش از اندازه باشد، عموماً بین حاملها سایش ایجاد شده و بیوفیلم کمتری درسطح خارجی آنها ایجاد می شود. قابل ذکر است که معمولاً در تصفیهٔ پسابهای خانگی ضخامت بیوفیلم در سطح داخلی و خارجی حاملها بسیار پائین است. اینگونه از بیوراکتورها در تصفیهٔ بیولوژیکی پسابها بسیار مورد توجه می باشند. از دلایل اهمیت آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- احتیاجی به شستشو ندارند.
- با وجود داشتن سطح ویژهٔ بالای بیوفیلم مسدود نمی شوند.
- احتیاجی به تصفیهٔ لجن در خروجی آنها نیست.
- تحت بارهای بالا عملکرد مناسبی دارند.

مروری بر تحقیقات انجام شده روی MBBR

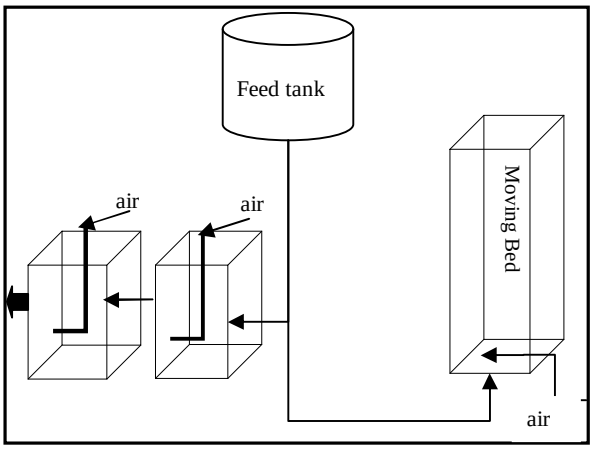
عملکرد MBBR ها در تصفیهٔ پسابهای لبنی[۲]، پساب کاغذ خرد کن[۳] و پساب چیپس سیب زمینی[۴] مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج تصفیه مطلوب بوده است. کاربرد این بیوراکتورها در تصفیهٔ پسابهای حاوی فنل نشان می دهد که MBBR ها قابلیت تصفیهٔ فنل تا غلظت ۲۲۰ mg/lit را داشته و در مقابل تغییرات ناگهانی دبی پساب و غلظت مواد سمی پایدارند[۵]. مقایسهٔ عملکرد یک سیستم لجن فعال و یک واحد MBBR برای تصفیهٔ پساب شهری نشان می دهد که راندمان حذف COD و آمونیوم در واحد لجن فعال نسبت به MBBR بترتیب ۸ و ۶ درصد بالاتر بوده و این بدلیل غلظت تودهٔ زیستی بالاتر در واحد لجن فعال می باشد. با این وجود بدلیل عدم تأثیر زمان ماند هیدرولیکی در زمان ماند تودهٔ زیستی و عدم احتیاج به جریان برگشتی لجن، واحد MBBR برای تصفیهٔ پساب شهری بخصوص در تصفیه خانه های کوچک ارجحیت دارد[۶]. مدلسازی حذف مواد آلی نیز در MBBR صورت گرفته است و نتیجه نشان داده است که مدل Kincannon-Stover بهترین مدل ریاضی برای توصیف شدت حذف سوبسترا در این بیو راکتورها می باشد[۱]. همچنین بررسی اثر شکل و اندازهٔ حاملها د راین نوع بیوراکتورها نشان می دهد که مادامی که سطح جانبی حاملها ثابت باشد، شکل و اندازهٔ آنها در شدت تصفیه فاقد اهمیت است [۷].

چند مرحله ای کردن بیوراکتورها و اثر آن بر راندمان نهایی تصفیه یکی از مهمترین مباحث تحقیقاتی است. اثر چند مرحله ای کردن در RBC ها مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داده است که چند مرحله ای کردن RBC ها در غلظتهای بالای مواد آلی ورودی و برای داشتن غلظت پائین این مواد در خروجی بسیار مهم و مفید می باشد[۸]. چند مرحله ای کردن در MBBRها اکثراً بعنوان ایجاد یک واحد

پیش تصفیه برای واحدهای لجن فعال مطرح شده است و نتیجه ایجاد چنین سیستمی برای تصفیهٔ پساب کشتارگاه و پالایشگاه، کاهش غلظت مواد آلی خروجی و افزایش راندمان نیتریفیکاسیون و همچنین پایدارتر کردن سیستم نسبت به تغییرات ناگهانی ایجاد شده در ورودی بوده است[۹]. در این تحقیق هدف مقایسهٔ عملکرد بیورآکتور دومرحله ای و تک مرحله ای در حذف دو پساب سینتتیک با COD برابر ۷۵۰ mg/lit و ۱۵۰۰ می باشد. بدین منظور دو بیورآکتور با حجم کلی معادل بیورآکتور تک مرحله ای ساخته شده و پس از راه اندازی، نتایج مورد مقایسه قرار گرفتند.

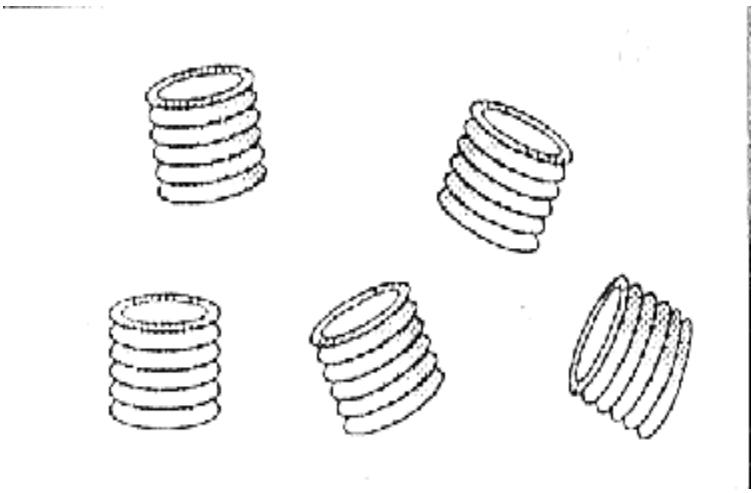
مواد و روشها

برای انجام آزمایشات تستهای انجام شده تحت شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس نیمه صنعتی صورت گرفته اند. نمایی از پایلوت مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. بیورآکتور منفرد به ضخامت دیوارهٔ ۵ mm ، طول و عرض۲۰ cm، ارتفاع ۶۵ cm و حجم کل ۲۶/۸ لیتر می باشد. این بیورآکتور دارای دو ورودی برای تأمین خوراک و هوادهی و یک خروجی جهت نمونه گیری و تنظیم دبی است. قطر لولهٔ ورودی خوراک و لولهٔ خروجی هر یک ۱ cm می باشند. هوادهی توسط یک لوله پلاستیکی به قطر ۱/۵ cm که در ارتفاع ۵ سانتیمتری از پائین بیورآکتور قرار دارد و توسط یک لولهٔ پلاستیکی به قطر ۱ cm به خروجی کمپرسور هوا متصل است صورت می گیرد. این لوله در انتها مسدود بوده و حبابهای هوا از سوراخهایی به قطر ۲ mm که روی لوله ایجاد شده اند، خارج می شوند. دو بیورآکتور کوچک هر یک به ضخامت دیوارهٔ ۵ mm، طول و عرض ۲۰ cm، ارتفاع ۳۰ cm و حجم کلی ۱۲ لیتر می باشند و بصورت سری قرار داده شده اند. بیورآکتور اوّل دارای یک ورودی به قطرcm ۱ برای تأمین خوراک و یک خروجی بهمان قطر که در ارتفاع ۲۰ cm از کف قرار دارد (برای برقراری اتصال به بیورآکتور مرحلهٔ دوم) می باشد. خروجی این بیورآکتور ورودی بیورآکتور مرحلهٔ دوم می باشد. بیورآکتور مرحلهٔ دوم دارای یک ورودی به قطر ۱ cm برای اتصال به مرحلهٔ قبل و یک خروجی بهمان قطر برای نمونه گیری و تنظیم دبی می باشد.. هوادهی هر یک از این دو بیورآکتور توسط یک لولهٔ مسی L شکل به قطر ۱ cm که توسط لولهٔ پلاستیکی بهمان قطر به خروجی کمپرسور هوا متصل است، صورت می گیرد. این لوله ها در انتها مسدود بوده و حبابهای هوا تنها می توانند از سوراخهایی به قطر ۲mm که در این لوله ها تعبیه شده اند، خارج شوند.



شکل۱- نمایی از پایلوت و نحوهٔ قرار گرفتن بیورآکتورها

هر سه بیو رآکتور تا ۵۰٪ حجمی از حاملهایی به شکل استوانه های مواج از جنس پلی اتیلن و با دانسیتهٔ gr/cm^3 ۰/۹۶ پر شده اند.این استوانه ها دارای سطح ویژهٔ m^2/m^3 ۴۰۰ می باشند. دانسیتهٔ پائین حاملها نسبت به دانسیتهٔ آب باعث می شود تا حاملها براحتی درون بیورآکتورها توسط جریان هوا معلق نگهداشته شوند. رژیم جریان در هر سه بیورآکتور کاملاً آشفته است. شکل ۲ نمایی از حاملهای بکار رفته درون بیورآکتورها را نمایش می دهد. برای زمان ماند ۲۴ ساعت مخزن خوراکی به حجم ۶۰ لیتر، در ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتری از کف بیورآکتورها قرار داده شده است. خروجی مخزن خوراک توسط یک سه راهی به دو مسیر بطور مساوی تقسیم شده، وارد هر یک از بیورآکتورها می شود. در این مسیر هیچ پمپی قرار نداشته و دبی توسط بستهایی در مسیر کنترل می شود.



شکل ۲- نمایی از حاملهای بکار رفته درون بیورآکتورها

برای تهیهٔ خوراک سینتتیک از ملاس بعنوان منبع کربن، اوره بعنوان منبع نیتروژن و فسفات آمونیم بعنوان منبع فسفر استفاده می شود. برای رسیدن به رشد بهینهٔ میکروارگانیسمها نسبت COD:N:P را معادل ۱۰۰:۵:۱ در نظر گرفته می شود. اوره حاوی ۴۶٪ ازت و فسفات آمونیم حاوی ۴۶٪ فسفر و ۱۸٪ نیتروژن می باشد. همچنین هر گرم بر لیتر ملاس، COD معادل mg/lit ۷۵۰ را داراست. مشخصات ملاس استفاده شده در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- مشخصات ملاس استفاده شده (بر مبنای gr/lit ۱ملاس) کلیهٔ واحدها gr/lit هستند[۱۰].

COD	BOD_5	قند کل	ازت کل	کلرور	پروتئین	منیزیم	سدیم	پتاسیم	خاکستر
۷۵۰	۵۲۰	۵۱۰	۱۵/ ۲۵	۱۱۰	۶۵/۴	۱۰	۹/۲	۲۴	۸۳/۵

راه اندازی بیورآکتورها

برای راه اندازی بیورآکتورها از لجن جریان برگشتی حوض لجن فعال یک واحد تصفیه استفاده گردید. مشخصات لجن بکار رفته در جدول ۲ آمده است. هر سه رآکتور تا ۵۰٪ حجمی از حاملها پر شدند و سپس داخل بیورآکتورها آب ریخته شد و هوادهی آغاز گردید. سپس COD درون بیورآکتورها با وارد کردن ملاس به مقدار mg/l ۷۵۰ رسیده و در این مقدار نگهداری شد. پس از این بیورآکتورها به مدت ۶ الی ۸ هفته به شکل ناپیوسته فعالیت کردند و در این مدت خروجی نداشتند. بعد از طی این دورهٔ زمانی بیوفیلم روی حاملها تشکیل شد و میزان متوسط آن روی هر حامل mg ۵ بود. در طول این مدت علاوه برتست OD که به منظور ثابت نگهداشتن غلظت مواد آلی درون رآکتورها انجام می شد ، دما ، PH, D.O. و MLSS نیز اندازه گیری شدند و بترتیب در محدوده های $^{\circ}C$ ۲۵-۲۲، ۸-۶ و mg/ml ۳-۲ قرار داشتند.ضمناً در طول این دورهMLSS نیز افزایش یافته به حدود mg/ml ۳۵۰۰ رسید.

جدول۲- مشخصات لجن استفاده شده جهت راه اندازی رآکتورهای بیوفیلمی بستر متحرک[۱۰].

MLSS(mg/lit)	COD(mg/lit)	PH
۲۱۵۰	۲۲۰	۶/۲

نتایج تجربی

شرح کار

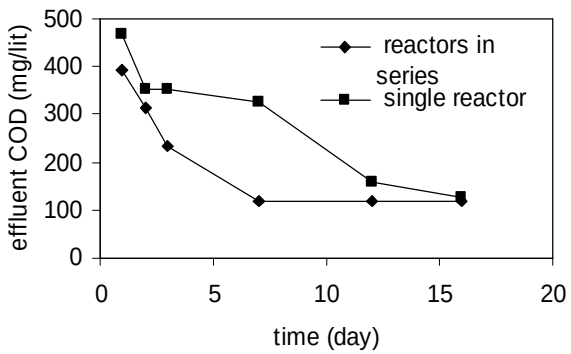
پس ازطی شدن زمان راه اندازی، بیورآکتورها آمادهٔ فعالیت به صورت پیوسته شدند. بدین منظور خوراک سینتتیک با استفاده از ملاس و مواد مغذی (اوره و فسفات آمونیم) طبق نسبت ذکر شده با توجه به حجم مخزن خوراک و زمان ماند ابتدا با COD معادل ۷۵۰mg/lit تهیه و سپس با دبی ثابت وارد بیورآکتور می گردید. ترکیب این خوراک در جدول ۳ آمده است. پس از گذشت زمانی معادل چند برابر زمان ماند هیدرولیکی(۲۴ hr) از غلظتهای خروجی هر سه بیورآکتور نمونه گیری به عمل می آمد. COD نمونه ها اندازه گیری شده و نمونه گیری تا زمان رسیدن به حالت پایا ادامه داشته است. این عملیات برایCOD ورودی ۱۵۰۰ mg/lit نیز تکرار گردید.

جدول۳- ترکیب خوراک سینتتیک [۱۰] .

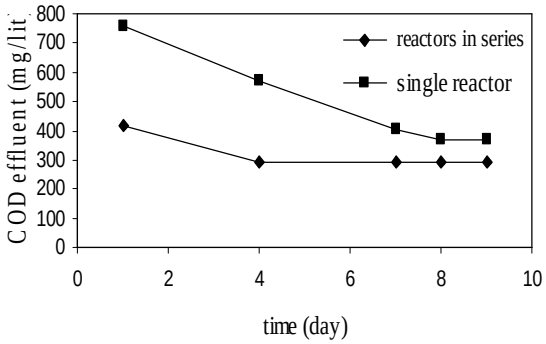
ترکیب	COD	اوره	فسفات آمونیم	نیکل	منیزیم	آمونیاک	منگنز	آهن	روی	پتاسیم	سدیم	کلسیم
mg/lit	۷۵۰	۸۰/۱۵	۱۷/۳۹	۰/۰۸۳	۱۰	۱۵/۲۵	۰/۰۴۸	۰/۲۰۸	۰/۲۵	۲۴	۹/۲	۲۰۰/۵

نتیجهٔ آزمایشات

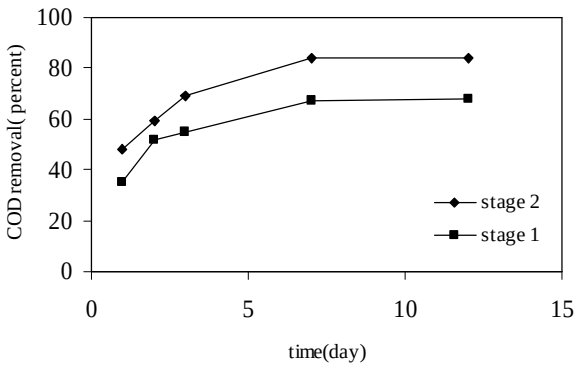
شکل۳ نتایج بدست آمده برای خروجی بیورآکتورهای سری و منفرد برای پساب ورودی با ۷۵۰ mg/lit COD و شکل ۴ نتایج مربوطه را برای پساب با COD ورودی ۱۵۰۰ mg/lit نشان می دهند. مقایسهٔ نتایج نهایی رآکتور تک مرحله ای و دو مرحله ای در هردو غلظت پساب ورودی نشان می دهد که غلظت COD در خروجی هردو بیوراکتور پس از پایا شدن یکسان است و این در حالی است که بیورآکتور سری بین ۵-۴ روز سریعتر به وضعیت پایا می رسد. منظور از خروجی بیورآکتور سری خروجی از مرحلهٔ آخر (دوم) می باشد. همچنین مقایسهٔ دو شکل ۳ و ۴ نشان می دهدکه زمان پایا شدن در COD ورودی mg/lit ۱۵۰۰کوتاهتربوده و این موضوع حاکی از آن است که هردو بیورآکتور در بار آلی ورودی بالا عملکرد بهتری داشته اند.



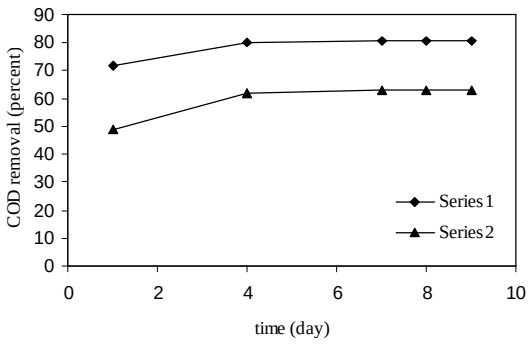
شکل ۳- نمودار میزان غلظت COD خروجی برای COD ورودی ۷۵۰ mg/lit



شکل ۴- نمودار میزان غلظت COD خروجی برای COD ورودی ۱۵۰۰ mg/lit

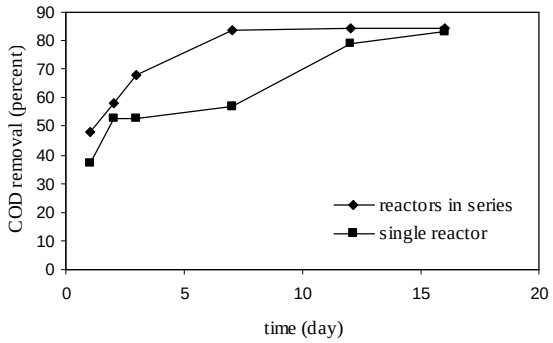


شکل ۵ – نمودار درصد حذف COD در خروجی برایCOD ورودی ۷۵۰ mg/lit

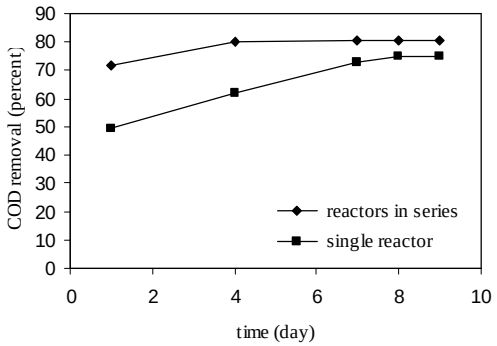


شکل۶ – نمودار درصد حذف COD در خروجی برایCOD ورودی ۱۵۰۰ mg/lit

شکل های ۵ و ۶ درصد حذف COD را بترتیب برایCOD ورودی ۷۵۰ mg/lit و ۱۵۰۰ mg/lit نشان می دهند. نمودارهای هردو شکل گویای این مطلب هستند که درصد نهایی حذف در هر دو بیورآکتور سری و تک مرحله ای تقریباً یکسان است و تنها مورد تفاوت در زمان رسیدن به درصد حذف نهایی می باشد.



شکل ۷- نمودار درصد حذف COD در دو مرحلهٔ بیورآکتور سری برای ورودی ۷۵۰ mg/lit



شکل ۸- نمودار درصد حذف COD در دو مرحلهٔ بیورآکتور سری برای ورودی ۱۵۰۰ mg/lit

شکل های ۷ و ۸ درصد حذف COD را در دو مرحلهٔ بیورآکتورهای سری بترتیب برای COD های ورودی ۷۵۰ mg/lit و۱۵۰۰ نشان می دهند. با توجه به این دو شکل می توان گفت که در بیورآکتورهای سری بیش از ۵۰ درصد COD ورودی در مرحلهٔ اول حذف می شود. همچنین موازی بودن دو نمودار در هر دو شکل نشان می دهد که شدت حذف COD در هردو مرحله این بیورآکتورها تقریباً یکسان است.

نتیجه گیری

۱. دو مرحله ای کردن MBBR ها در تصفیهٔ پساب با COD های ۷۵۰ mg/lit و۱۵۰۰ تأثیر چندانی بر راندمان تصفیه نداشته و تنها سرعت تصفیه را افزایش داده است. به این ترتیب زمانی که سرعت تصفیه مطرح است، می توان با در نظرگرفتن برآورد هزینه MBBR دو مرحله ای را بکار گرفت.

۲. برای هردو غلظت ورودی، بیش از ۵۰ درصدCOD در مرحلهٔ اول حذف می شود و تنها حدود ۴۰ درصد تصفیه برای مرحلهٔ دوم باقی می ماند.

منابع و مراجع

1. Borghei, S.M. and Hosseini, S.H. (2002). Modelling of organic removal in a moving bed biofilm reactor (MBBR). Scientia Iranica, 9(1), 53-58.

2. Rusten, B., Ødegaard, H. and Lundar, A. (1992). Treatment of dairy wastewater in a novel moving bed biofilm reactor. Wat. Sci. Tech., 26(3/4), 703-711.

3. Broch-Due, A., Anderson, R. and Kristoffersen, O. (1994). Pilot plant experience with an aerobic moving bed biofilm reactor for treatment of NSSC wastewater. Wat. Sci. Tech., 29(5/6), 283-294.

4. Ødegaard, H., Rusten, B. and Westrum, T. (1994). A new moving bed biofilm reactor-Applications and Results. Wat. Sci. Tech., 29(10/11), 157-165.

5. Borghei, S.M. and Hosseini, S.H. (2004). The treatment of phenolic wastewater using a moving bed reactor. Process Biochemistry, 39, 1171-1181.

6. Andreottola, G., Foladori, P., Ragazi, M. and Tatano, F. (2000). Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater. Wat. Sci. Tech., 41(4-5), 375-382.

7. Ødegaard, H., Gisvold, B. and Strickland, J. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process. Wat. Sci. Tech., 41(4-5), 383-391.

8. Radvan, K.H. and Ramanujam, T.K. (1997). Studies on organic removal of 2, 4-dichlorophenol wastewaters using a modified RBC. Bioprocess Engineering, 16, 219-233.

9. Johnson, C.H., Page, M.W. and Biaha, L. (2000). Full scale moving bed biofilm reactor results from refinery and slaughter house treatment facilities. Wat. Sci. Tech., 41(4-5), 401-407.

۱۰. فیضی، علی، بیوفیلتر هوازی با بستر متحرک در تصفیهٔ فاضلاب شهری، کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.