

## بررسی کارایی سیستم‌های MBBR و SBAR در تصفیه فاضلاب سمی فرمالدئید

فرهاد قادری<sup>۱</sup> و بیتا آیتی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی عمران - محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

فرمالدئید در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی مانند تولید چسب و رزین، کاغذ و داروسازی کاربرد دارد. سمیت این ماده برای میکروارگانیسم‌ها سبب مطالعه کمتر روش‌های بیولوژیکی هوازی برای تصفیه آن شده است. در این تحقیق، قابلیت تصفیه بیولوژیکی هوازی فرمالدئید توسط میکروارگانیسم‌های راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR) و میکروارگانیسم‌های گرانوله راکتورهای ناپیوسته متوالی با جریان رو به بالا (SBAR) در محدوده فرمالدئید ورودی صفر تا ۶۰۰ mg/L و در زمان ماند ۲۴ ساعت بررسی شده است. نتایج این تحقیق بیانگر مناسب بودن هر دو سیستم برای تصفیه فاضلاب حاوی فرمالدئید در غلظت‌های پایین هستند. در این تحقیق، بیشترین راندمان حذف هر دو سیستم در فرمالدئید ورودی ۱۰۰ mg/L برابر ۱۰۰٪ بوده است. در بررسی سینتیکی داده‌ها، مدل‌های مرتبه دوم Stover-Kincannon و مرتبه اول مورد مطالعه قرار گرفتند که در MBBR مدل Stover-Kincannon و در سیستم SBAR مدل حذف مرتبه اول ضرایب تعیین قابل قبولی داشتند.

واژگان کلیدی: فرمالدئید، تصفیه هوازی، SBAR، MBBR، سینتیک.

### ۱- مقدمه

آمریکا<sup>۱</sup> و سازمان بین‌المللی مطالعه سرطان<sup>۲</sup>، آن را به عنوان "ماده سرطان‌زای محتمل" شناخته‌اند [۴]. نظر به وسعت مصرف و خطرات فرمالدئید برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی این ماده باید راهکاری اندیشید.

سمیت فرمالدئید برای میکروارگانیسم‌ها، سبب کاربرد گسترده‌تر روش‌های شیمیایی و یا بیولوژیکی بی‌هوازی [۵-۷] برای تصفیه آن شده است. به طوری که تحقیقات اخیر بر روی روش‌های فنتون و فتوفنتون [۸]، تجزیه فتوکاتالیستی [۹]، [۱۰]، پیش‌تصفیه به کمک ازن‌زنی، تلفیق روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی و نیز ترکیب روش‌های بیولوژیکی بی‌هوازی و هوازی [۱۱، ۱۲] صورت گرفته است.

در مطالعات صورت گرفته بر روی فرایندهای بی‌هوازی به کمک AFBGAC<sup>۳</sup> غلظت ۱۱۰۰ mg/L فرمالدئید در زمان ماند ۱/۸ روز راندمانی بین ۹۷/۴ تا ۹۹/۹ درصد داشته [۵] و در سیستم ASBBR<sup>۴</sup> غلظت ۳۱/۶-۱۱۵۴/۴ mg/L فرمالدئید در زمان ماند ۸ ساعت ۹۹ درصد حذف شده است [۶].

با توجه به آب و هوای خشک و نیمه خشک ایران و کمبود منابع آب، تصفیه پساب‌ها قبل از تخلیه از جمله اقدامات لازم جهت حفظ محیط زیست به حساب می‌آیند و این مهم، به خصوص در مورد پساب‌های تجاری و صنعتی حاوی مواد خطرناک اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

فرمالدئید کاربردهای صنعتی و غیرصنعتی فراوانی دارد. این ترکیب در صنایع تولید چسب و رزین، چسب چوب، قارچ کش‌های صنعتی، دارو، کاغذ و نیز کفن و دفن اموات، گندزدایی مرغ‌داری‌ها و دام‌داری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و یکی از مواد مصرفی در تولید تخته‌های نئوپان است [۱-۳]. این ترکیب، در غلظت‌های پائین (کمتر از ۲۰ gr/L) باعث اثراتی مانند تحریک غشای مخاطی، سرفه و اختلال در بلع می‌گردد و در مدت زمانی طولانی خطر ابتلا به آسم را افزایش می‌دهد. خوردن آن در غلظت بیش از ۰/۲ mg/d بسته به میزان آن می‌تواند منجر به درد شدید، زخم، اسهال، استفراغ خون، سرگیجه و نارسایی در سیستم گردش خون گردد. در صورت تماس مستقیم با پوست در غلظت بالاتر از ۲٪ احتمال حساسیت وجود دارد. همچنین مطالعات حاکی از احتمال افزایش سرطان از جمله ریه، بینی و خون در افراد در معرض است که سازمان محیط زیست

1- Environmental protection agency (EPA)

2- International agency for research on cancer (IARC)

3- Anaerobic fluidized bed granular activated carbon

4- Anaerobic sequencing bench scale batch reactor

لذا، در این تحقیق قابلیت فرایندهای بیولوژیکی هوازی توسط میکروارگانیسم‌های بیوفیلمی و گرانوله در دو سیستم MBBR و SBAR در تصفیه فرمالدئید بررسی شده است.

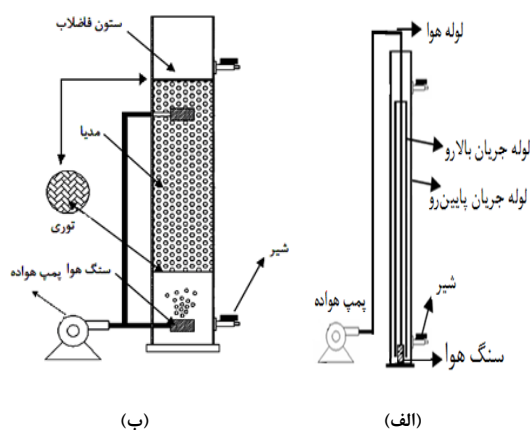
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- راکتورها

مشخصات مربوط به شکل و ابعاد فیزیکی بیوراکتورهای مورد استفاده در جدول (۱) و طرح شماتیک آن‌ها در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی بیوراکتورهای تحقیق

پارامتر	راکتور	SBAR	MBBR
ضخامت دیواره (mm)		۳	۴
قطر داخلی (cm)		۸ (لوله جریان پایین‌رو)	۱۰
		۴ (لوله جریان بالا‌رو)	
ارتفاع بیوراکتورها (cm)		۱۱۰ (لوله جریان پایین‌رو)	۷۰
		۹۰ (لوله جریان بالا‌رو)	
حجم مفید هر پایلوت (L)		۴/۵	۵



شکل ۱- طرح شماتیک:

الف) SBAR، ب) MBBR

در فرآیندهای بیوفیلمی، مشخصات آکنه‌ها تأثیر به‌سزایی در راندمان تصفیه دارد. در این تحقیق از آکنه‌های Bee Cell 2000 در MBBR که مشخصات آن در جدول (۲) آمده، استفاده شد.

در سال ۲۰۰۴ در مطالعه‌ای امکان حذف فرمالدئید در بیوراکتور HAIB<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایشات غلظت فرمالدئید در محدوده ۲۶/۲-۱۱۵۸/۶ mg/L بوده که در بهترین حالت ۹۹/۷ درصد حذف شده است [۷]. در مطالعات صورت گرفته بر روی ترکیب چند فرایند، مجموعه دو سیستم USBR غیرهوازی<sup>۲</sup> و لجن فعال غلظت ۲۲۰۰-۲۰۸۷ mg/L از فرمالدئید و ۱۵۹۹/۵-۱۴۲۳ mg/L از اسید فرمیک را به ترتیب ۹۹/۹ و ۹۹/۷ درصد [۱۱] و ترکیب سری راکتورهای BAF<sup>۳</sup> و برکه تثبیت غلظت ۸۱۷-۲۰۰ mg/L فرمالدئید را ۱۰۰٪ حذف کرده است [۱۲].

اما با توجه به هزینه بالای روش‌های شیمیایی و احتمال تولید محصولات جانبی و نیز مشکلات خاص سیستم‌های بی‌هوازی معمول، در حال حاضر سیستم‌های تصفیه و فناوری‌های نوینی ابداع می‌گردند. MBBR<sup>۴</sup> و SBAR<sup>۵</sup> از جمله روش‌های نوین که تحقیقات خوبی در مورد آن‌ها صورت گرفته است. SBAR از راکتور ناپیوسته متوالی با رشد معلق (SBR) به همراه یک Riser داخلی تشکیل می‌شود. این سیستم با سیکل زمانی مشخص، در یک راکتور منفرد عمل تصفیه فاضلاب را توسط گرانول انجام می‌دهد و وجه تمایز آن با SBR در یک Riser داخلی می‌باشد که با استوانه خارجی (Down-comer) هم محور است و شرایط مطلوبی از اختلاط تحت هوادهی و نیز اکسیژن‌رسانی را ایجاد می‌کند. لجن گرانوله خاصی از جمله سطح خارجی صاف و منظم، چگالی و تراکم بالا، قابلیت ته‌نشینی عالی، نگهداری بیومس بالا و قابلیت تحمل مواد آلی و نیتروژنی را دارد [۱۳-۱۵]. سیروس رضایی در سال ۲۰۰۹ به کمک گلکز و کیتوزان، گرانول‌های هوازی را در این سیستم تولید و فاضلاب فنلی تصفیه نمود [۱۶].

MBBR نیز سیستمی بیولوژیکی با رشد چسبیده است که در آن از بسترهای سبک‌تر از آب جهت رشد میکروارگانیسم‌ها به صورت بیوفیلم استفاده می‌شود. تصفیه فاضلاب لبنیاتی، کشتارگاه، فراوری و بسته‌بندی گوشت و تأسیسات پرورش طیور و ماهی در این سیستم مطالعه شده است. COD با غلظت ۵۰۰ mg/L از فنل، ۶۰۰ mg/L از پیروگالول و ۶۰۰ mg/L از هیدروکینون به ترتیب ۸۲، ۹۵ و ۹۵ درصد در زمان ماند ۴۸ ساعت تصفیه شده اند [۱۷].

- 1- Horizontal-flow anaerobic immobilized biomass
- 2- Anoxic upflow sludge blanket reactor
- 3- Biological aerated filter
- 4- Moving bed biofilm reactor
- 5- Sequencing batch airlift reactor

ذرات معلق و کلونیدی از محلول

### ۲-۳- بهره‌برداری از راکتورها

در این تحقیق، زمان‌های ماند مختلف بررسی شد که ۲۴ ساعت به عنوان مناسب‌ترین زمان برای رسیدن خروجی به استاندارد تخلیه به محیط در غلظت‌های مختلف فاضلاب ورودی به سیستم‌ها به دست آمد. در هر دو سیستم با استفاده از پمپ هوادهی Sonic 9908، میزان هوادهی به گونه‌ای تنظیم شد که در ضمن هوادهی، اختلاط آرامی در داخل راکتورها حاصل آید و میزان اکسیژن محلول در محدوده ۳-۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد. میزان pH نیز به صورت دوره‌ای (هر ۶ ساعت) اندازه‌گیری و در تمام مراحل تحقیق در محدوده ۶/۸-۷/۲ ثابت نگه داشته شد. همچنین در طی دوره بهره‌برداری میزان دمای بیوراکتورها در محدوده ۲۱ تا ۲۵ درجه سلسیوس قرار داشت.

در تمام طول تحقیق، کربن از فرمالدئید و گلوکز، نیتروژن از اوره و فسفر از مخلوط  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  و  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  تأمین می‌گشت و در هر دو سیستم جهت تنظیم میزان کربن و مواد مغذی از نسبت C:N:P=100:5:1 و جهت افزایش کارایی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها از مواد ریز مغذی سولفات منیزیم (۵ mg/L)، کلرید کلسیم (۳/۷۵ mg/L)، کلرید آهن (III) (۱ mg/L) و مولیبدات سدیم (۱/۲۶ mg/L) استفاده شد.

به منظور راه‌اندازی سیستم‌ها از لجن برگشتی حوضچه لجن‌فعال تصفیه‌خانه شهرک اکباتان تهران به عنوان بذری میکروبی استفاده گردید. حدود ۱/۳ از حجم بیوراکتور توسط لجن غلیظ و مابقی با آب شهری تا حجم مفید پر شد و به میکروارگانیسم‌ها فرصت داده شد تا با آلاینده فرمالدئید سازگار شوند، برای این منظور ۲۷ روز راکتورها با گلوکز خوراک‌دهی شدند تا با شرایط آزمایشگاه منطبق شده و میزان مواد جامد معلق مایع مخلوط به ۳۰۰۰ mg/L برسد. در این مدت تمامی گلوکز در راکتورها مصرف می‌شد.

الف) بهره‌برداری از سیستم SBAR: طی یک سیکل در سیستم SBAR، ابتدا جریان ورودی از مخزن توسط یک شیر برقی در مدت زمان کنترل شده توسط تایمر وارد راکتور می‌شد. پس از قطع جریان ورودی، سیستم وارد مرحله هوادهی شده و اختلاط و هوادهی طی مدت زمان مشخص که توسط تایمر هوادهی کنترل می‌شد، صورت می‌گرفت. پس از مرحله تشکیل گرانول‌ها (شکل ۲- الف)، در مرحله افزایش بار هر سیکل به

### جدول ۲- مشخصات آکنه‌های مورد استفاده در تحقیق

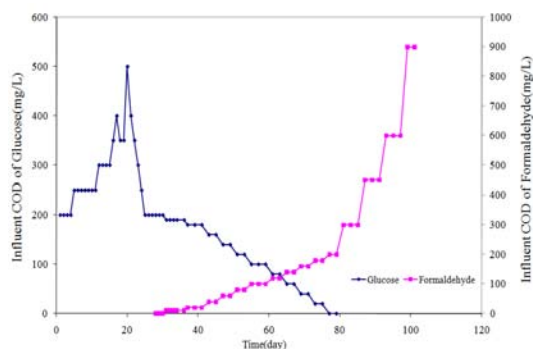
پارامتر	میزان
جنس آکنه‌ها	HDPE <sup>۱</sup>
دانسیته (gr/cm <sup>۳</sup> )	۰/۹۶
سطح مؤثر یک آکنه (mm <sup>۲</sup> /piece)	۸۵۷
سطح مخصوص قابل رشد (m <sup>۲</sup> /m <sup>۳</sup> )	۱۵۳۰
تعداد آکنه‌ها در یک لیتر	۳۶۱
متوسط وزن آکنه (kg/m <sup>۳</sup> )	۱۴۰

### ۲-۲- آزمایش‌ها

در این تحقیق، پس از بررسی کلیه دستورالعمل‌های ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب [۱۸]، با توجه به تجهیزات و امکانات موجود، بهترین روش انتخاب و آزمایشات مربوطه انجام گرفت. پارامترهای کنترلی شامل دما، pH و اکسیژن محلول (DO)، برای کنترل و حفظ شرایط محیطی مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها هر ۶ ساعت و نیز میزان مواد معلق در مایع مخلوط (MLSS) و شاخص حجمی لجن (SVI) روزانه اندازه‌گیری می‌شدند. برای بررسی وضعیت و کارایی پایلوت SBAR در حذف مواد آلی و نیز کیفیت گرانول‌های تشکیل شده پارامترهای  $\text{BOD}_5$ ، COD، سرعت ته‌نشینی و قطر گرانول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده جهت انجام آزمایشات به قرار زیر بوده است:

- هیدروکسید سدیم و اسید فسفریک ساخت شرکت Merck جهت تنظیم pH
- همچنین جهت انجام آزمایشات و تعیین پارامترها از لوازم و تجهیزات عمده زیر استفاده گردید:
- COD راکتور ساخت شرکت Hach با ۱۶ جا لوله‌ای جهت تعیین COD محلول به روش آمپول
- اسپکتروفوتومتر DR 4000 ساخت شرکت Hach جهت تعیین میزان کدورت نمونه‌ها در آزمایش جار
- اسپکتروفوتومتر مدل EZ Lambda150 دیجیتالی ساخت شرکت Perkin Elmer جهت تعیین میزان جذب در آزمایش COD
- DO متر مارک Crison مدل OXI 45 جهت اندازه‌گیری میزان اکسیژن محلول
- pH متر ساخت شرکت Metrohm با الکتروود دیجیتالی
- ترازوی دیجیتالی ساخت Mettler مدل PJ300
- سانتریفوژ ساخت شرکت Sigma به منظور جداسازی

1- High density poly ethylene



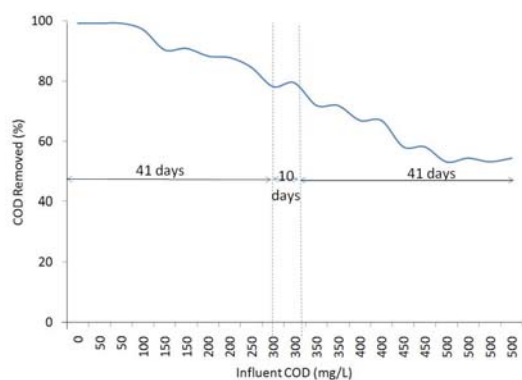
شکل ۴- تغییرات بار COD ورودی به راکتور MBBR

در ادامه تحقیق، در هر دو سیستم پس از رسیدن به شرایط پایدار و ثابت شدن میزان حذف COD افزایش بار صورت می‌گرفت.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- بررسی راندمان حذف COD

نتایج راندمان سیستم SBAR در شکل (۵) ارائه شده است. طبق نتایج، در غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ mg/L راندمان بسیار مناسب و تقریباً ۱۰۰٪ بوده و با افزایش غلظت فرمالدئید، کاهش کیفیت لجن و راندمان حذف مشاهده شد؛ به طوری که در غلظت ورودی برابر با ۵۰۰ mg/L از فرمالدئید، راندمان حذف آلاینده به کمتر از ۶۰ درصد رسید.



شکل ۵- راندمان سیستم SBAR

در این سیستم، کل COD ورودی در ۴۳ روز اول ثابت و برابر ۶۰۰ mg/L بوده که به تدریج غلظت گلوکز کاسته (۶۰۰ به ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و فرمالدئید افزوده (۰ به ۲۵۰ mg/L) شده است و نمودار راندمان راکتور نیز سیر نزولی و در برخی موارد ثابت را نشان می‌دهد. از روز ۵۱ تا ۹۲، کل COD ورودی دوباره ثابت و معادل ۵۰۰ mg/L بوده که طی این مدت میزان COD ناشی از فرمالدئید از ۲۵۰ به ۵۰۰ mg/L و میزان COD

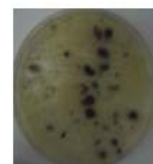
صورت ۱۰ دقیقه ورود فاضلاب، ۲۲ ساعت هوادهی، ۱ ساعت ته نشینی، ۱۰ دقیقه تخلیه و ۴۰ دقیقه استراحت تنظیم شد.

در این سیستم، گرانول‌های پایداری با قطرهای متفاوت در محدوده ۵-۰/۵ میلی‌متر تشکیل شدند که در کلیه مراحل تحقیق، شاخص حجمی لجن (SVI) کمتر از ۱۰۰ mg/L بود.

(ب) بهره‌برداری از MBBR: در این سیستم بعد از مرحله انطباق، حدود ۷۰٪ حجم سیستم با آکنه‌ها پر شد. با اضافه شدن آکنه‌ها، مقدار خوراک ورودی به سیستم‌ها به تدریج افزایش یافته و به میکروارگانیسم‌ها فرصت رشد و تشکیل بیوفیلم بر روی آکنه‌ها داده شد. با توجه به این که دانسیته آکنه‌ها از آب کمتر بود (در حدود ۰/۹۶ g/cm<sup>3</sup>)، بعد از اضافه شدن آکنه‌ها به سیستم، آکنه‌ها به سمت بالای بیوراکتور حرکت کرده و نزدیک سطح آب شناور شدند. برای رفع این مشکل در ارتفاعات مختلف از بیوراکتور چندین صفحه مشبک تعبیه گردید (شکل (۱-ب)) تا از حرکت آکنه‌ها به سمت بالا جلوگیری شود. به تدریج با گذشت زمان، لایه بیولوژیکی بر روی سطح آکنه‌ها ایجاد شد که نمونه‌ای از این لایه‌ها در شکل (۲-ب) بر روی آکنه‌های داخل راکتور نشان داده شده است. نحوه خوراک‌دهی دو سیستم نیز به تفکیک در شکل‌های (۳) و (۴) ارائه شده است.

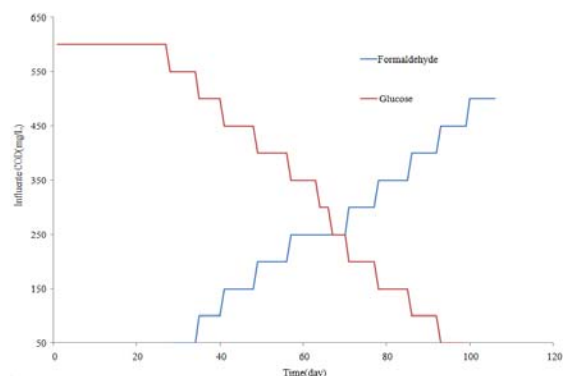


(ب)



(ف)

شکل ۲- تصاویر الف) گرانول‌های سیستم SBAR، ب) لایه‌های بیوفیلمی در سیستم MBBR بر روی آکنه‌ها



شکل ۳- تغییرات بار COD ورودی به راکتور SBAR

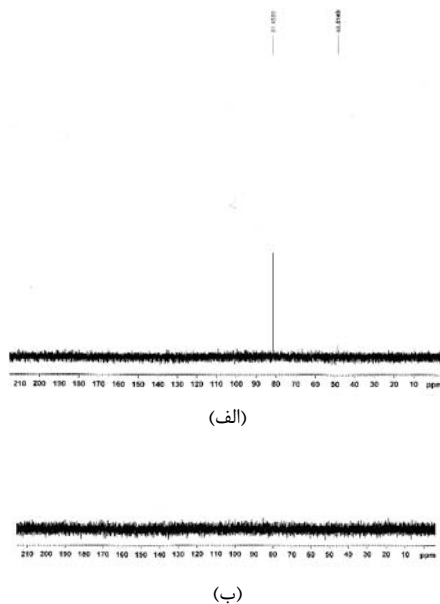
### ۳-۳- نتایج سایر پارامترها

بر اساس نتایج به دست آمده، MLVSS/MLSS در طول بهره‌برداری در هر دو سیستم برابر با  $0.075 \pm 0.04$  به دست آمده و SVI در تمام مدت بهره‌برداری کمتر از  $150 \text{ mL/mg}$  و در محدوده قابل قبول بوده است.

### ۳-۴- تحلیل طیف CNMR برای نمونه‌های ورودی و خروجی

این مرحله از تحقیق، جهت اطمینان از تجزیه مولکول توسط فرایند بیولوژیکی، تحلیلی صورت گرفت که نتایج آن به عنوان نمونه برای سیستم MBBR در شکل (۷) ارائه شده است. پس از تحلیل طیف CNMR برای نمونه ورودی با استفاده از نرم-افزار ACD Labs (2.70/01 Jul 1997)، وجود فرمالدئید و پلیمریزه شده و ماده حاصل از واکنش فرمالدئید و اوره در ترکیب ورودی گزارش گردید و از آنجا که در طیف خروجی هیچ پیکی مشخص نشده است، می‌توان گفت تمامی مولکول‌های حاوی اتم کربن تجزیه شده و هیچ اتم کربنی در محیط وجود نداشته است.

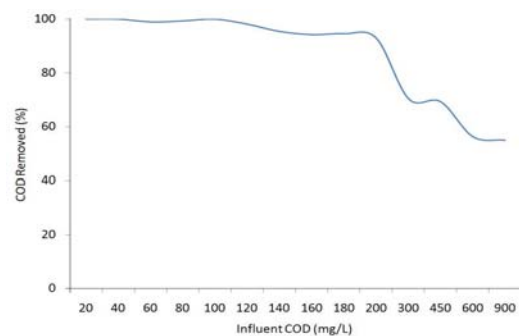
در مطالعات پیشین به وسیله آزمایش CNMR امکان تجزیه بیولوژیکی فرمالدئید و متانول تأیید شده است [۲۰]. در این تحقیق نیز آزمایش CNMR امکان حذف آلاینده فرمالدئید به وسیله تصفیه بیولوژیکی هوازی را تأیید می‌کند.



شکل ۷- نتیجه آزمایش CNMR برای نمونه، الف) ورودی

ب) خروجی در MBBR

ناشی از گلوکز از  $250 \text{ mg/L}$  به  $0 \text{ mg/L}$  رسیده است و مانند ۴۳ روز اول، راندمان راکتور سیر نزولی و در برخی موارد ثابت داشته است. در فاصله بین روزهای ۴۳ تا ۵۱ به منظور بررسی میزان تأثیر فرمالدئید بر حذف گلوکز، COD ورودی از  $600 \text{ mg/L}$  به  $500 \text{ mg/L}$  رسانده شده به طوری که COD ورودی ناشی از فرمالدئید در  $250 \text{ mg/L}$  ثابت مانده و COD ورودی ناشی از گلوکز از  $350 \text{ mg/L}$  به  $250 \text{ mg/L}$  کاهش یافته است. نظر به افزایش ۸ درصدی راندمان در این دوره می‌توان نتیجه گرفت، نه تنها خود فرمالدئید به سختی به وسیله میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌گردد، بلکه وجود فرمالدئید تأثیر منفی بر مصرف گلوکز توسط میکروارگانیسم‌ها دارد. به طوری که با کاهش گلوکز میزان راندمان افزایش می‌یابد. البته نتیجه مشابه نیز در تحقیقات پیشین بیان شده است [۱۹]. بر اساس نتایج سیستم MBBR، در غلظت‌های کمتر از  $200 \text{ mg/L}$  راندمان بسیار مناسب و تقریباً  $100\%$  بوده که با افزایش غلظت فرمالدئید، کاهش کیفیت لجن و راندمان حذف مشاهده شد به طوری که در COD ورودی  $600 \text{ mg/L}$ ، راندمان حذف آلاینده به حدود ۶۰ درصد رسید که در سایر تحقیقات بر روی تصفیه بیولوژیکی هوازی فاضلاب حاوی فرمالدئید به دلیل راندمان پایین نتایج غلظت بالاتر از  $400 \text{ mg/L}$  مطرح نشده است [۱۹]. در این تحقیق نیز بر اساس شکل‌های (۵) و (۶) افت راندمان در غلظت‌های فرمالدئید بالاتر از  $500 \text{ mg/L}$  در زمان ماند ۲۴ ساعت مشهود است هر دو سیستم برای تصفیه فاضلاب حاوی فرمالدئید در غلظت‌های پایین مناسب هستند و کاهش راندمان MBBR بسیار ناچیزتر از SBAR است، که این رفتار به دلیل مقاوم بودن سیستم‌های بیوفیلمی از جمله MBBR در برابر شوک‌های سمی است. در این تحقیق تحلیل تک متغیره T-test، تفاوت معنی-داری بین مقدار COD حذف شده در دو سیستم نشان نداد.



شکل ۶- راندمان سیستم MBBR

تصفیه تکمیلی نیز استفاده نمود. در جدول (۴)، مقایسه نتایج این تحقیق با سایر مطالعات ارائه شده که بیانگر قابلیت خوب دو سیستم خاصه SBAR در تصفیه به دلیل ساختار گرانوله بودن میکروارگانیسم‌ها و تحمل بالای آن‌ها می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه سایر مطالعات با تحقیق حاضر

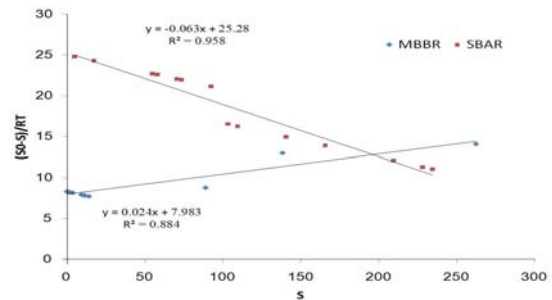
مرجع	درصد حذف	سیستم مورد استفاده	فرمالدئید ورودی
۷	۹۹/۷	HAIB	۲۶/۲-۱۱۵۸/۶ mg/L
۱۱	۹۹/۹	USBR غیر هوازی و لجن-فعال	۲۰۸۷-۲۲۰۰ mg/L
۱۲	۱۰۰	سری BAF و برکه تثبیت	۲۰۰-۸۱۷ mg/L
۹	۶۵	فتوکاتالیستی $TiO_2$	۱۰۰ ppm
۱۰	۱۰۰	فتوکاتالیستی $Cu_3$ - $(PW_{12}O_{40})_{20}$	۳۲/۷۹ mg/m <sup>3</sup>
۸	۱۰۰	ترکیب فنتون و فتوفنتون	۰/۳۳۳ مولار
تحقیق حاضر	۱۰۰	MBBR	۱۰۰ mg/L
	۷۰		۳۰۰ mg/L
	۱۰۰	SBAR	۱۰۰ mg/L
	۷۸		۳۰۰ mg/L

#### ۵- مراجع

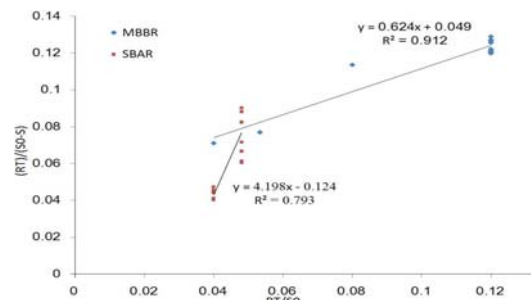
- [1] Kumar, P. A., Ray, M., Chakraborty, S., "Hexavalent Chromium Removal from Wastewater Using Aniline Formaldehyde Condensate Coated Silica Gel", Journal of Hazardous Materials, 2007, 143, 24-32.
- [2] Tejado, A., Pena, C., Labidi, J., Echeverria, J. M., Mondragon, I., "Phsico-Chemical Characterization of Lignins from Different Sources for Use in Phenol-Formaldehyde Resin Synthesis", Bioresource Technology, 2007, 98 (8), 1655-1663.
- [3] Baraka, A., Hall, P. J., Heslop, M. J., "Preparation and Characterization of Melamine-Formaldehyde-DTPA Chelating Resin and its Use as an Adsorbent for Heavy Metals Removal from Wastewater", Reactive & Functional Polymers, 2007, 67, 585-600.
- [4] World Health Organization, "Formaldehyde, Published under the Joint Sponsorship of the United Nations Environment Programme", The International Labour Organization and the World Health Organization, 1989.
- [5] Moteleb, M. A., Suidan, M., Kim, J., Maloney, S. W., "Pertubated Loading of a Formaldehyde Waste in an Anaerobic Granular Activated Carbon Fluidized Bed

#### ۳-۴- مقایسه سینتیکی سیستم‌ها

مطابق شکل‌های (۸) و (۹) در بررسی سینتیکی واکنش بیولوژیکی SBAR، مدل حذف مرتبه اول آلاینده، که درجه اول بودن واکنش‌ها را در حذف آلاینده در نظر می‌گیرد، ضریب تعیین مناسب ۰/۹۶۵ را داشت؛ در حالی که MBBR، ضریب تعیین مدل مرتبه دوم Stover-Kincannon، ۰/۹۵۸ بود.



شکل ۸- تابعیت سیستم‌ها از مدل حذف آلاینده مرتبه اول



شکل ۹- تابعیت سیستم‌ها از مدل Stover-Kincannon

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی نشان دادند که هر دو سیستم در زمان ماند ۲۴ ساعت، توانایی حذف فرمالدئید از فاضلاب را در COD کمتر از ۳۰۰ mg/L دارند و همان‌طور که در تحقیقات پیشین اشاره شده [۱۹]، هر دو سیستم هوازی در غلظت‌های بیشتر از ۵۰۰ mg/L کارایی خود را از دست می‌دهند؛ به طوری که در غلظت ورودی برابر با ۵۰۰ mg/L از فرمالدئید، راندمان حذف آلاینده در دو سیستم به کمتر از ۶۰ درصد رسیده است. در ماده ۵ آئین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب‌ها، مقدار استاندارد فرمالدئید در پساب خروجی برای تخلیه در آب‌های سطحی، چاه‌های جاذب و مصرف در کشاورزی و آبیاری ۱ mg/L مطرح شده است. بر همین اساس، سیستم‌های این تحقیق به تنهایی برای تصفیه فاضلاب با غلظت‌های بیشتر از ۵۰۰ mg/L کافی نبوده و بایستی از واحدهای

- "Alternating Anoxic Feast/Aerobic Famine Condition for Improving Granular Sludge Formation in Sequencing Batch Airlift Reactor at Reduced Aeration Rate", *Water Research*, 2009, 43, 5097-5108.
- [15] Peverea, A., Guibauda, G., Goia, E., Hullebusch, E., Lensb, P., "Effects of Physico-Chemical Factors on the Viscosity Evolution of Anaerobic Granular Sludge", *Biochemical Engineering Journal*, 2009, 43, 231-238.
- [۱۶] سیروس رضایی، ل، "نقش پلیمر کیتوزان در تسریع گرانوله شدن در سیستم GSBAR"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [۱۷] حاج میرفتاح، م، "تصفیه بیولوژیکی مواد آلی حلقوی با استفاده از راکتورهای بیوفیلیمی با بستر متحرک (MBBR)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۱۳۸۵.
- [18] APHA, AWWA, WPCF, "Standard Method for the Examination Water and of Wastewater", Washington DC, US, 2005.
- [۱۹] کاشفی‌الاصل، م، نیکخواه، پ، "طراحی و ساخت پایلوت تصفیه بیولوژیکی پساب حاوی فرمالین به روش لجن فعال"، *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۳۸۲، ۱۷، ۴۹-۵۵.
- [20] Amato, P., Demeer, F., Melaouhi, A., Fontanella, S., Martin-Biesse, A. S., Sancelme, M., Laj, P., Delort, A. M., "A Fate for Organic Acids, Formaldehyde and Methanol in Cloud Water: Their Biotransformation by Micro-Organisms", *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2007, 5253-5276.
- Reactor", *Water Research*, 2002, 36, 3775-3785.
- [6] Pereira, N. S., Zaiat, M., "Degradation of Formaldehyde in Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (ASBBR)", *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 163, 777-782.
- [7] Oliveira, S. V. W. B., Moraes, E. M., Adorno, M. A. T., Varesche, M. B. A., Foresti, E., Zaiat, M., "Formaldehyde Degradation in an Anaerobic Packed-Bed Bioreactor", *Water Research*, 2004, 38, 1685-1694.
- [8] Kajitvichyanukul, P., Chun-Lu, M., Jamroensan, A., "Formaldehyde Degradation in the Presence of methanol by Photo-Fenton Process", *Journal of Environmental Management*, 2008, 86, 545-553.
- [9] Arana, J., Martinez, N. J. L., Herrera, M. J. A., Dona, R. J. M., Gonzalez, D. O., Perez, P. J., Bergasa, O., Alvarez, C., Mendez, J., "Photocatalytic Fegradation of Formaldehyde Containing Wastewater from Veterinarian Laboratories", *Journal of Chemosphere*, 2004, 55, 893-904.
- [10] Deng, Q., Zhou, W., Li, X., Peng, Z., Jiang, S., Yue, M., Cai, T., "Microwave Radiation Solid-phase Synthesis of Phosphotungstate Nanoparticle Catalysts and Photocatalytic Degradation of Formaldehyde", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2007, 262 (1-2), 149-155.
- [11] Eiroa, M., Kennes, C., Veiga, M. C., "Biological Treatment of Industrial Wastewater Contaning Formaldehyde and Formic acid", *Water SA*, 2006, 32, 115-118.
- [12] Melian, J. A. H., Mendez, A. O., Arana, J., Diaz, O. G., Rendon, E. T., "Degradation and Detoxification of Formalin Wastewater with Aerated Biological Filters and Wetland Reactors", *Journal of Process Biochemistry*, 2008, 43, 1432-1435.
- [13] Sunil, S. A., Duu-Jong, L., Juin-Yih, L., "Treating Chemical Industries Influent Using Aerobic Granular Sludge: Recent development", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2009, 40, 333-336.
- [14] Junfeng, W., Yolaine, B., Mathieu, S.,

## EXTENDED ABSTRACT

# Comparison of MBBR and SBAR in Treating Toxic Formaldehyde Wastewater

Farhad Qaderi , Bita Ayati \*

*Environmental Engineering Division, Civil and Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

**Received:** 24 June 2012; **Accepted:** 04 January 2013

### Keywords:

Formaldehyde, Aerobic treatment, SBAR, MBBR, Kinetic

## 1. Introduction

Formaldehyde is used in many industrial activities such as adhesives, resins, paper producing and pharmaceuticals industries. Due to formaldehyde toxicity for microorganisms, aerobic biological methods were less studied for its treating. Chemical and anaerobic biological methods are often applied for treating wastewaters containing formaldehyde. Recently, some methods such as Fenton and photo-Fenton, photo-catalytic degradation, combination of chemical-biological and anaerobic-aerobic biological have been investigated. In this research, formaldehyde removal efficiencies using aerobic biological treatment systems including moving bed biofilm reactor (MBBR) and sequencing batch airlift reactor (SBAR) were compared.

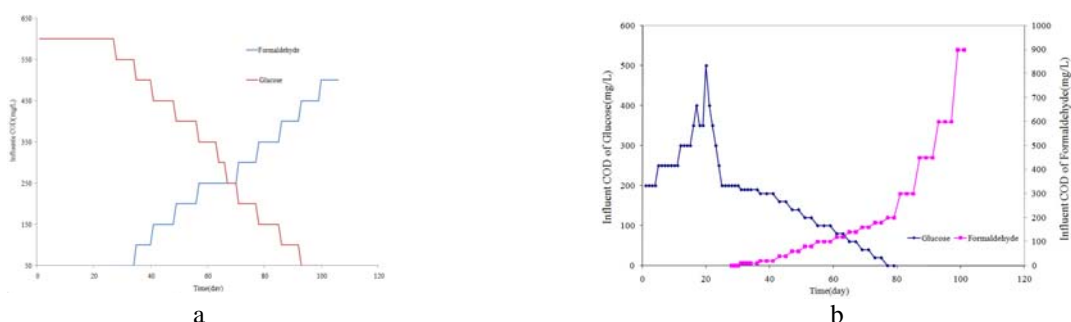
## 2. Methodology

### 2.1. Reactors

Two systems of MBBR and SBAR were used in this research.

### 2.2. Experimental study

Influent feeding to both MBBR and SBAR reactors during experiments is presented in Fig. 1.



**Fig. 1.** Influent feed in: (a) SBAR, (b) MBBR

Temperature, pH, and dissolved oxygen were adjusted every 6 hours for preparing suitable condition for microorganisms activity. Mixed liquor suspended solid and sludge volume index were measured daily. COD, BOD5, granular diameter, and velocity settling were used for illustrating reactors situation. All of the experiments were accomplished in accordance with the instructions presented in the "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" [1]. After investigating all methods, the best one was selected regarding to the laboratory facilities. Removal efficiency was determined using COD results.

\* Corresponding Author

E-mail addresses: f.qaderi@modares.ac.ir (Farhad Qaderi) ayati\_bi@modares.ac.ir (Bita Ayati).



### 3. Results and discussion

#### 3.1. COD removal efficiency

The results showed both systems can be used for treating formaldehyde wastewater in low concentrations. The most removal efficiencies were 100% that occurred in concentration of 100 mg/L (Fig. 2).

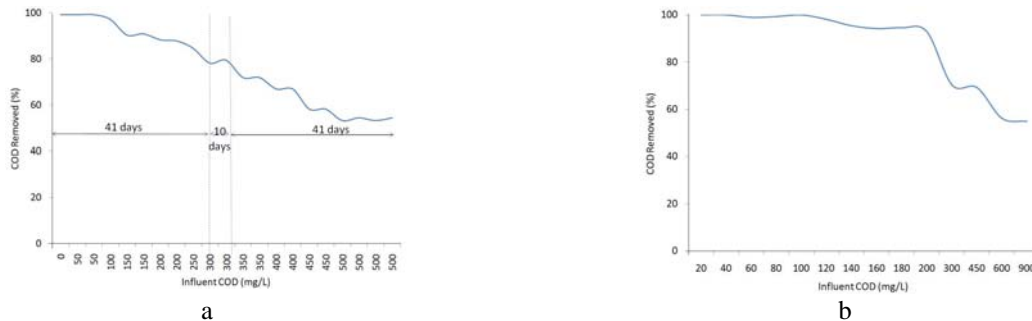


Fig. 2. COD removal efficiency in: (a) SBAR, (b) MBBR

#### 3.2. Other parameters

According to the parameters measured during the operation, MLVSS to MLSS ratio was equal to  $0.75 \pm 0.04$  and SVI was less than 150 mL/mg.

#### 3.3. CNMR spectrum analysis

According to  $^{13}\text{C}$ -NMR analysis, N-[[amino carbonyl] amino] methyl} urea was achieved in the influent samples from the reaction of formaldehyde and urea and 1, 3, 5-trioxane was produced from polymerization of formaldehyde residuals. Also, according to effluent spectra of both systems, it can be seen that all molecules containing carbon were degraded and there was no carbon in the samples.

#### 3.4. Kinetic investigation of reaction

According to kinetic investigation, Stover-Kincannon second-order model and first-order removal model were suitable for MBBR and SBAR, respectively (Fig. 3).

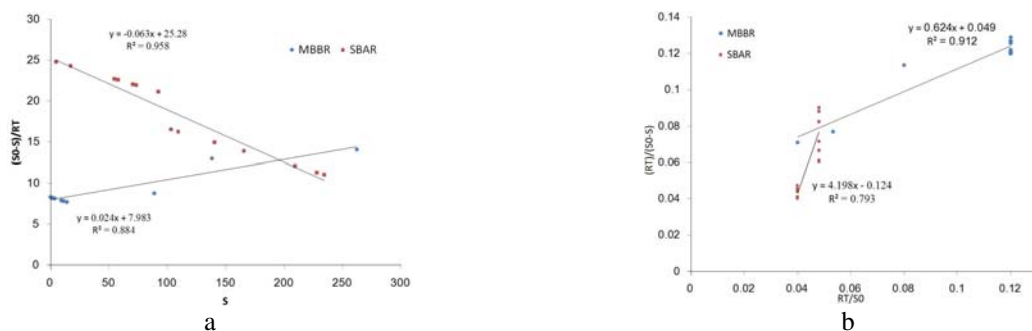


Fig. 3. Kinetic investigation: (a) First-order model, (b) Stover-Kincannon model

### 4. Conclusions

The results of this research in pilot scale showed both systems were capable in removing formaldehyde from wastewater in concentration of less than 300 mg/L with a 24-hour retention time. SBR and MBBR systems can be used as pretreatment units for the treatment of formaldehyde CODs more than 500 mg/L.

### 5. References

- [1] APHA, AWWA, WPCF, "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", Washington DC, US, 2005.