

بهینه سازی بیوراکتور دوفازی همزن دار به منظور حذف بخارات بنزن، تولوئن و زایلن (BTX) از جریان هوا

علی کریمی^۱ - فریده گل‌بابایی^{۲*} - مسعود نقاب^۲ - محمد رضا پورمند^۴ - روناک بختیاری^۵ - کاظم محمد^۶

fgolbabaei@tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۷

مکیده

مقدمه: در اغلب شرایط واقعی انتشار آلودگی حاصل از فرآیندهای صنعتی، معمولاً ترکیبات شیمیایی به صورت گروهی در فضا رها میشوند و کمتر پیش می‌آید که یک ترکیب شیمیایی به طور خالص منتشر شود. هدف از این مطالعه امکان سنجی حذف بخارات BTX (بنزن، تولوئن و زایلن) موجود در هوا، به کمک یک بیوراکتور همزن دار در مقیاس آزمایشگاهی میباشد.

روش کار: برای دستیابی به هدف اصلی مطالعه، باکتری‌های تصفیه کننده BTX از فاضلاب خروجی یک پالایشگاه نفت استخراج و در بیوراکتور همزن دار به کار گرفته شدند. همچنین روغن سیلیکون به منظور بهبود راندمان تصفیه در نسبت‌های مختلف به بیوراکتور اضافه گردید و پارامترهای عملکردی بیوراکتور در شرایط مختلف ارزیابی شد و بهینه ترین حالت شناسایی گردید.

یافته ها: عملکرد بیوراکتور در حذف بخارات BTX با افزودن ۱۰٪ روغن سیلیکون به عنوان فاز آلی نشان داد که ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب تا محدوده غلظت‌های 1730 mg/m^3 ، 1710 mg/m^3 و 1380 mg/m^3 با افزایش غلظت ورودی روند افزایشی خود را ادامه می‌دهند. در این غلظت‌ها ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن به ترتیب $59 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 100% ، تولوئن $58 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 100% و زایلن $42 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 91% می‌باشند. ظرفیت حذف کل برای هر سه ترکیب $159 \text{ g/m}^3/\text{h}$ با راندمان 91% تا 100% می‌باشد.

نتیجه گیری: افزودن روغن سیلیکون موجب بهبود ظرفیت حذف بنزن، تولوئن و زایلن نسبت به بستر بدون فاز آلی گردیده است. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از بیوراکتورهای دوفازی همزن دار در زمینه کنترل بخارات BTX از جریان هوای آلوده، موفقیت آمیز می‌باشد.

کلمات کلیدی: بیوراکتور همزن دار، BTX، تصفیه بیولوژیکی، روغن سیلیکون، فاز آلی، حذف

۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی شیراز.

۲- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۳- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی شیراز.

۴- دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۵- کارشناس ارشد رشته میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۶- استاد گروه اپیدمیولوژی و آمار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

مقدمه

بنزن، تولوئن و زایلن که در مجموع تحت عنوان BTX شناخته می‌شوند، ترکیبات سمی هستند که در نفت و محصولات نفتی وجود داشته و در صنایعی که نیازمند حلال‌های صنعتی می‌باشند استفاده شده و مقداری از آنها به‌طور ناخواسته در محیط منتشر می‌شوند (Gallastegui, 2011, Jafari *et al.*, 2009, Jafari *et al.*, 2008). امروزه آلودگی هوای شهری در شهرهای بزرگ آسیایی به یک مشکل محیطی جدی تبدیل شده و در نتیجه آن آلاینده‌های اتمسفری اثرات زیانباری را بر روی انسان و محیط زیست ایجاد کرده است. ترکیبات آلی فرار (VOCs) نقش اساسی در واکنش‌های فتوشیمیایی لایه تروپوسفر اتمسفر زمین به عهده دارند و باعث تولید ازن و سایر اکسیدکننده‌های فتوشیمیایی می‌گردند. برخی از آنها همچون BTX بسیار سمی می‌باشند. BTX موجود در هوای اطراف شهرها و نواحی صنعتی اساساً نتیجه فعالیت‌های انسان در ارتباط با ترافیک، کاربرد سوخت‌های فسیلی و فرآیندهای صنعتی می‌باشد. مشکلات ناشی از مواجهه با این ترکیبات باعث جلب توجهات به این ماده خطرناک شده است (Gariazzo, 2005).

در طول چند سال اخیر کشور ایران رشد مطلوبی را در تاسیسات صنعتی به‌خصوص صنعت پتروشیمی و نفت و صنایع شیمیایی مرتبط با آن داشته است. توسعه صنعت به همراه افزایش تعداد خودروها باعث تشدید مشکل آلودگی هوا در کشور شده است که سلامت جامعه را به شدت تهدید می‌کند.

تصفیه و پاکسازی جریان هوای آلوده برای سال‌های متمادی به روش‌های فیزیکی همچون میعان، جذب سطحی به‌وسیله کربن فعال، جذب

در اسکرابر شوینده و روش‌های شیمیایی چون تجزیه کاتالیستی و گرمایی، احتراق، استفاده از مواد اکسیدکننده چون ازن و کلر انجام می‌گیرد. روش‌های اخیر دارای راندمان خوبی می‌باشند اما مصرف انرژی و مواد شیمیایی به میزان قابل توجهی (اکسیدکننده‌ها و کاتالیست‌ها) از جمله نقاط ضعف این روش‌ها محسوب می‌شوند. نقطه ضعف روش‌های فیزیکی این است که علاوه بر هزینه زیاد، آلاینده‌ها حذف نهایی نمی‌شوند. به‌طور کلی کاربرد این روش‌ها مشکلاتی چون آلودگی‌های ثانویه برای محیط زیست، مصرف مواد شیمیایی و مصرف انرژی‌های زیاد را به همراه دارند (Zarook, 2005, Choi, *et al.*, 2002).

در بین فن‌آوری‌های موجود در زمینه کنترل آلودگی‌های ناشی از منابع ثابت تولید آلودگی، سیستم‌های بیولوژیکی روش‌های مقرون به صرفه‌ای را به منظور تصفیه غلظت‌های پایین آلاینده‌های هوا ارائه داده‌اند. اساس این فن‌آوری بر توانایی میکروارگانیسم‌ها (باکتری‌ها، قارچ‌ها) در تبدیل آلاینده‌های آلی به دی‌اکسید کربن، آب و ترکیبات غیرآلی تحت شرایط متوسط از نظر دما و فشار استوار است (Munoz, 2007). روش‌های بیولوژیکی اثربخشی بهتر و هزینه کمتری را در تصفیه آلاینده‌های هوا همچون ترکیبات آلی فرار نشان داده‌اند و نیز منجر به آلوده شدن محیط زیست نیز نمی‌گردد (Zarook, 2005). تصفیه بیولوژیکی هوای آلوده به BTX توسط میکروارگانیسم‌ها توجه بسیاری از محققان را به سوی خود جلب کرده است (Jean, 2008). بیوراکتورهای همزن‌دار در فرآیندهای شیمیایی گوناگون استفاده می‌شوند و به تازگی در زمینه تصفیه آلودگی هوا بعد از بیوفیلترها و فیلترهای چکنده و بیواسکرابرها به

کار گرفته می شوند. تصفیه بیولوژیکی آلاینده ها با استفاده از بیوراکتور همزن‌دار تا کنون در سطح ملی انجام نگرفته یا نتایج آن منتشر نشده است، لذا در این مطالعه سعی در بومی سازی این نوع تکنولوژی به منظور استفاده در پروژه‌های عملی شده است.

روش کار

در این مطالعه براساس اصول مهندسی در طراحی بیوراکتورهای همزن‌دار، یک بیوراکتور با حجم کاری ۱/۷۷ لیتر در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد.

به منظور استخراج میکروارگانیزم های تجزیه گر آلاینده های هدف (BTX)، لازم است در مکان هایی که احتمال حضور آن وجود دارد (مثل خاک، فاضلاب یا لجن تصفیه خانه فاضلاب های اماکنی که احتمال حضور ترکیبات مورد نظر وجود دارد) جستجو به عمل آید. از آنجا که ترکیبات BTX جزء لاینفک نفت خام می باشند، لذا وجود آنها در پالایشگاه های نفت حتمی است. به همین دلیل منبع میکروارگانیزم های تجزیه گر آلاینده هدف، حوضچه های تصفیه پالایشگاه تهران انتخاب گردید. برای این منظور با در نظر گرفتن اصول نمونه برداری، مقدار ۴ لیتر از قسمت برگشت لجن در تصفیه خانه پالایشگاه تهران نمونه برداری شد و به آزمایشگاه منتقل گردید (Mortazavi, 2005).

برای کشت سویه های میکروبی تجزیه کننده زایلن از روش کشت در بطری استفاده گردید. در این روش محیط کشت، محلول نمک‌های معدنی بود که کلیه مغذی های مورد نیاز کشت میکروارگانیزم ها را به جز منبع کربنی دارا بود. ترکیبات BTX نیز به عنوان منبع کربنی به محیط

کشت اضافه شد. ترکیب محلول نمک های مغذی مورد استفاده دارای عناصر اصلی و عناصر ریز مغذی بود که همگی از محصولات شرکت MERK آلمان از نوع خلوص آزمایشگاهی استفاده شد. ترکیب عناصر اصلی این محلول مغذی به شرح زیر می باشد (Mortazavi, 2005, Lee, et al., 2008):

$\text{KH}_2\text{PO}_4: 1\text{g/L}, \text{K}_2\text{HPO}_4: 1\text{g/L},$

$\text{KNO}_3: 1\text{g/L}, \text{NaCl}: 1\text{g/l}, \text{MgSO}_4: 0.2\text{g/L}$

پارامترهای مهم بیوراکتور شامل غلظت آلاینده قبل و بعد از بیوراکتور، غلظت گاز دی اکسید کربن قبل و بعد از بیوراکتور، غلظت یا چگالی توده زیستی، زمان ماند بستر خالی بیوراکتور، ظرفیت حذف آلاینده، بازده حذف آلاینده و بار ورودی به بیوراکتور می باشند که در حین عملیات اندازه گیری می شوند.

تعیین تراکم غلظت گاز دی اکسید کربن به کمک دستگاه قرائت مستقیم Testo model 535-Co2 (Hotek technologies Inc, USA) مجهز به سنسور مادون قرمز انجام می شود. برای اندازه گیری غلظت، گاز دی اکسید کربن خروجی بیوراکتور به سمت محفظه ای هدایت می گردد که سنسور دستگاه سنجش دی اکسید کربن در آن نصب شده است.

تراکم آلاینده ها در هوای قبل و بعد از بیوراکتور با نمونه گیری مستقیم از جریان هوای ورودی و خروجی از بیوراکتور توسط سرنگ های نمونه گیر گازبندی شده سنجیده می شود. در این آزمایش حجم تزریق هر نمونه مقدار ۱۰۰ میکرو لیتر تعیین گردید که این مقدار با سعی و خطا به منظور دستیابی به بهترین نتایج آنالیز دستگاهی انجام گرفت. در مسیر ورودی و خروجی بیوراکتور جایگاه

های ویژه‌ای تعبیه شده است که نمونه مورد نیاز قابل برداشت می باشد. حجم نمونه قابل تزریق به دستگاه GC، مدل Varian CP-3800 مجهز به دتکتور یونی شعله‌ای و ستون شیشه‌ای (CP-Sil 8 CB) با ابعاد $0.25 \mu\text{m}$ - 50 m - 0.53 mm ، 100 میکرولیتر می باشد که در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمده مقدار غلظت هر نمونه تعیین می گردد.

≡ یافته ها

در شرایط واقعی انتشار آلودگی حاصل از فرآیندهای صنعتی، معمولا ترکیبات شیمیایی به صورت گروهی در فضا رها می شوند و کمتر پیش می آید که یک ترکیب شیمیایی به طور خالص منتشر شود. لذا بررسی عملکرد بیوراکتور همزن دار با حضور هر سه ترکیب بنزن، تولوئن و زایلن شرایط واقع بینانه تری را ایجاد می کند. تصفیه بیولوژیکی این ترکیبات به طور توأم نیازمند کنسرسیون میکروبی می باشد، به ویژه در مورد زایلن که توسط محققین به عنوان ترکیبی نسبتا مقاوم در برابر تصفیه بیولوژیکی شناخته شده است بستر بیوراکتور بدون افزودن فاز آلی شامل کنسرسیون میکروبی و مواد مغذی با نسبت ۱ به ۳ می باشد. این بستر در دمای اتاق ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) بارگذاری می شود و در تمامی آزمایشات مقدار pH بستر بیوراکتور در محدوده 0.5 ± 7 اندازه گیری می گردد.

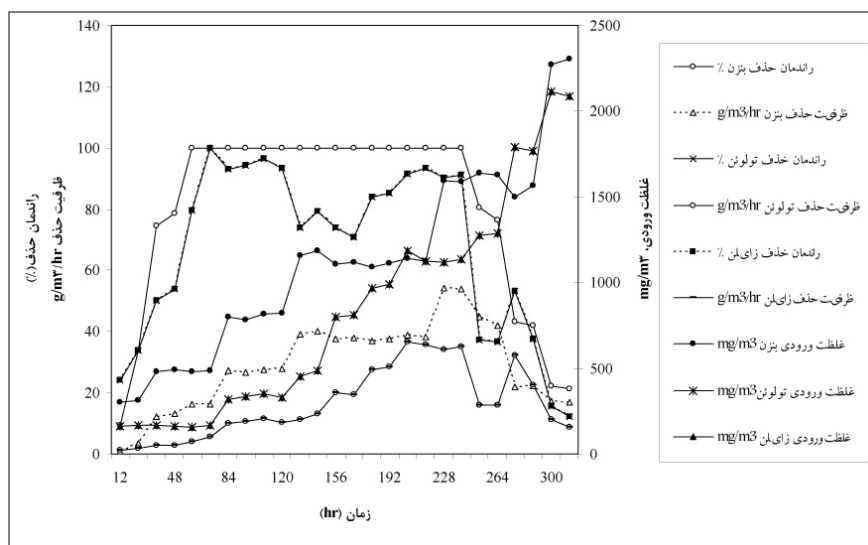
عملکرد بیوراکتور در حذف بخارات BTX بدون فاز آلی در شکل ۱ نشان داده شده است. بستر بیوراکتور متشکل از ۱۰ درصد روغن سیلیکون به عنوان فاز آلی به همراه کنسرسیون میکروبی و مواد مغذی با نسبت ۱ به ۳ می باشد.

این بستر در دمای اتاق ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) بارگذاری می شود و در تمامی آزمایشات مقدار pH بستر بیوراکتور در محدوده 0.5 ± 7 اندازه گیری می گردد. نتایج عملکرد بیوراکتور در تصفیه بخارات BTX در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۱ و جدول ۱ عملکرد بیوراکتور همزن دار را در مدت ۳۱۲ ساعت در حذف بخارات بنزن، تولوئن و زایلن به طور توأم از جریان هوا بدون حضور روغن سیلیکون نشان می دهد. در این شکل مشاهده می شود که ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب تا محدوده غلظت های 1126 mg/m^3 ، 1091 mg/m^3 و 1123 mg/m^3 با افزایش غلظت ورودی روند افزایشی خود را ادامه می دهند. در این غلظت ها ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن $38 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 100% ، تولوئن $36 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 96% و زایلن $36 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 93% می باشند. ظرفیت حذف کل برای هر سه ترکیب $110 \text{ g/m}^3/\text{h}$ با راندمان ۹۳ تا 100% می باشد. با افزایش غلظت به محدوده 1250 mg/m^3 برای هر سه ترکیب، مقدار ظرفیت حذف پس از دوره زمانی ۱۲ تا ۴۸ ساعته شروع به کاهش یافتن می کند. این در حالی است که راندمان حذف زایلن در این غلظت زودتر از بنزن و تولوئن به نقطه شکست می رسد و در مجموع پس از گذشت سه روز ظرفیت حذف کل به مقدار $52 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و راندمان حذف به ۱۶ تا 42% تنزل می یابد.

عملکرد بیوراکتور همزن دار در حذف بخارات بنزن، تولوئن و زایلن به طور توأم از جریان هوا با افزودن 10% روغن سیلیکون به عنوان فاز آلی به بستر بیوراکتور در شکل ۲ و جدول ۲ نمایش داده شده اند. شروع کار با غلظت های نسبتا پایین در

جدول ۱: نتایج سنجش پارامترهای عملیاتی بیوراکتور همزن دار در حذف بخارات BTX به طور توأم بدون حضور فاز آلی

مقدار بیومس (g/L)	معدنی شدن کرین (%)	ظرفیت حذف (g/m ³ /h)			راندمان حذف (%)			زایلن mg/m ³	تولوئن mg/m ³	بنزن mg/m ³	
		زایلن	تولوئن	بنزن	زایلن	تولوئن	بنزن	ورودی	ورودی	ورودی	
30	27	3	7	12	12	11	21	156	472	479	حداقل
93	76	37	47	54	100	100	100	2115	1930	2306	حداکثر
64	45	18	27	31	69	78	83	909	1122	1195	میانگین
22	10	11	12	12	26	30	25	606	469	499	انحراف معیار



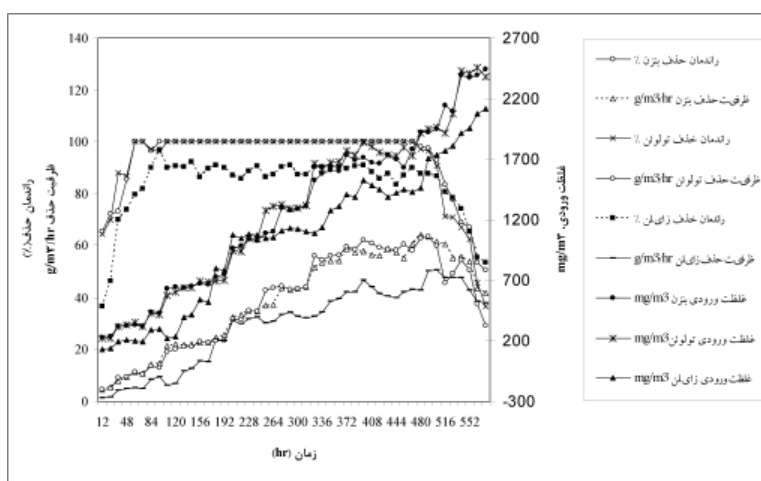
شکل ۱: ظرفیت حذف و راندمان حذف BTX در بیوراکتور همزن دار در غلظت های مختلف بدون فاز آلی

حدود 200 mg/m^3 از هر کدام از آلاینده های هدف آغاز گردید تا سازگاری کافی میکروبوها با منابع کریبی ایجاد گردد. پس از گذشت سه روز مقدار آلاینده های ورودی تقریباً دو برابر گردید و روند افزایش غلظت ادامه یافت تا راندمان بیوراکتور به نقطه شکست برسد. نتایج شکل های ۲ نشان می دهند که ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب تا محدوده غلظت های 1730 mg/m^3 ، 1710 mg/m^3 و 1380 mg/m^3 با افزایش غلظت ورودی روند افزایشی خود را ادامه می دهند. در این غلظت ها ظرفیت حذف و راندمان حذف بنزن به ترتیب $59 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 100% ، تولوئن

$58 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 100% و زایلن $42 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و 91% می باشند. ظرفیت حذف کل برای هر سه ترکیب $159 \text{ g/m}^3/\text{h}$ با راندمان 91% تا 100% می باشد. افزودن 10% روغن سیلیکون موجب بهبود ظرفیت حذف بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب به میزان $55/3\%$ ، 61% و $16/7\%$ نسبت به بستر بدون فاز آلی می گردد است. به عبارتی افزودن 10% روغن سیلیکون موجب بهبود ظرفیت حذف کل به میزان $44/5\%$ نسبت به بستر بدون فاز آلی می شود. با افزایش غلظت به محدوده 1900 mg/m^3 برای بنزن و تولوئن و 1500 mg/m^3 برای زایلن، مقدار ظرفیت حذف پس از دوره زمانی 24 تا 48 ساعته

جدول ۲: نتایج سنجش پارامترهای عملیاتی بیوراکتور همزن دار در حذف بخارات BTX به طور توأم با ۱۰٪ فاز آلی

مقدار بیومس (g/L)	معدنی شدن کربن (%)	ظرفیت حذف (g/m ³ /h)			راندمان حذف (%)			زایلن mg/m ³	تولوئن mg/m ³	بنزن mg/m ³	
		زایلن	تولوئن	بنزن	زایلن	تولوئن	بنزن	ورودی	ورودی	ورودی	
18	37	1	4	5	37	37	51	131	223	230	حداقل
113	74	51	63	64	97	100	100	2118	2459	2440	حداکثر
79	46	29	39	39	83	93	93	1055	1284	1263	میانگین
29	8	15	19	18	12	15	13	577	662	649	انحراف معیار

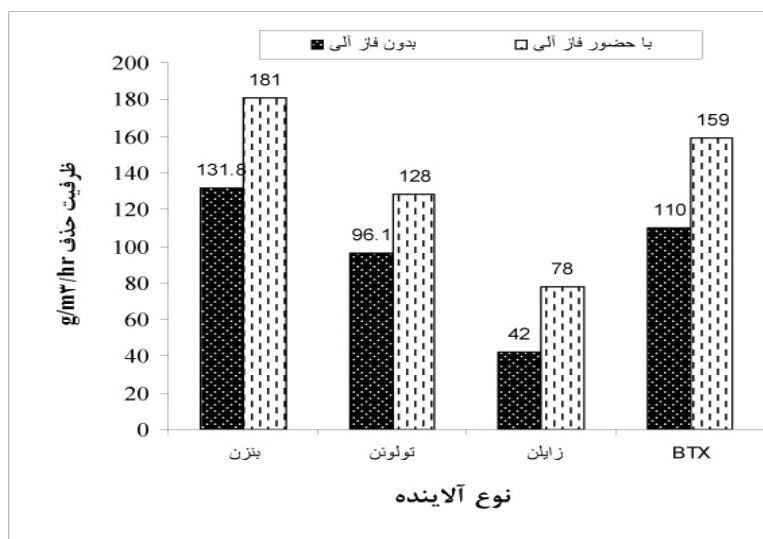


شکل ۲: ظرفیت حذف و راندمان حذف BTX در غلظت های مختلف با وجود ۱۰٪ روغن سیلیکون

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهند که در غیاب فاز آلی، حضور زایلن اثر بازدارنده‌ای بر روی راندمان حذف و ظرفیت حذف کلی سیستم داشته و حضور بنزن اثر تقویتی بر روی راندمان حذف و ظرفیت حذف دارد. اثرات بازدارنده و تقویت کننده برخی از سوبستراها بر روی تجزیه بیولوژیکی سایر ترکیبات که به طور هم‌زمان تصفیه می‌شوند قبلاً هم توسط برخی از محققین عنوان شده است (Lee, et al., 2008). Jennifer و Daugulis اثر بازدارنده تولوئن و اتیل بنزن را بر روی تجزیه بیولوژیکی بنزن، زمانی که ترکیبات BTEX به طور مخلوط تصفیه می‌شوند، گزارش کردند (Daugulis, et al., 2009). همچنین

شروع به کاهش یافتن می‌کند. این در حالی است که ظرفیت حذف زایلن زودتر از بنزن و تولوئن در غلظت به نقطه شکست می‌رسد و در مجموع پس از گذشت سه روز ظرفیت حذف کل به مقدار $1.09 \text{ g/m}^3/\text{h}$ و راندمان حذف به ۳۷ تا ۵۴٪ تنزل می‌نماید. با افزایش غلظت آلاینده‌ها و رسیدن آنها به نقطه شکست ضمن مسمومیت باکتری‌ها و عدم توانایی آنها در تجزیه آلاینده‌ها، رنگ بستر بیوراکتور از سبز متمایل به زرد به رنگ صورتی کم رنگ تغییر می‌یابد. در شرایط فوق بر اساس جدول ۱۳-۳ درصد معدنی شدن کربن به طور متوسط ۴۶٪ نشان داده شده و مقدار بیومس 79 g/L اندازه گیری شده است.



شکل ۳: مقایسه عملکرد بیوراکتور همزن‌دار در تصفیه آلاینده های مورد مطالعه بدون فاز آلی و با وجود ۱۰ درصد روغن سیلیکون

تولوئن گزارش کرده اند (Yeom, et al., 2002). Shihabudeen و همکاران تجزیه بیولوژیکی انفرادی و هم‌زمان بنزن، تولوئن و زایلن را در یک بیوفیلتر چکنده مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها تجزیه بهتر تولوئن نسبت به بنزن و زایلن را نشان داد (Eldon, et al., 2011). Marcelo و همکاران تجزیه بیولوژیکی بنزن، تولوئن و زایلن را توسط *Pseudomonas putida* CCM1 مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تولوئن و زایلن به‌طور انفرادی به‌طور کامل توسط این نوع باکتری تجزیه می‌شود اما در رابطه با بنزن این اتفاق نمی‌افتد. همچنین نتایج نشان داد که تجزیه مخلوطی از BTX به گونه ای است که بنزن کاملاً تجزیه نشده باقی می‌ماند و مقدار تجزیه تولوئن و زایلن به مقدار ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Otenio, 2005). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در تجزیه مخلوطی از ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلن در اغلب مطالعات (البته نه به‌طور قطعی) زایلن اثرات بازدارندگی بر تجزیه

آنها دریافتند که حضور زایلن اثر تقویتی بر تجزیه بنزن دارد و حضور بنزن نیز اثر تقویتی بر تجزیه تولوئن داشته است. همچنین تجزیه بیولوژیکی هم‌زمان زایلن در حضور تولوئن و بنزن گزارش شده است (Gallastegui, 2011).

با افزایش فاز آلی به بستر بیوراکتور، حضور زایلن همانند شرایطی که قبلاً هم در رابطه با تصفیه BTX بدون فاز آلی تجربه شد، اثر بازدارنده‌ای بر روی راندمان حذف و ظرفیت حذف کلی سیستم و حضور بنزن اثر تقویتی بر روی راندمان حذف و ظرفیت حذف نشان دادند.

به‌طور کلی در این مطالعه شرایط برای تجزیه بنزن بهتر از تولوئن و زایلن مشاهده گردید (شکل ۳). مروری بر مطالعاتی که توسط سایر محققین انجام گرفته است، نتایج پراکنده ای را نشان می‌دهد. Sung-Ho Yeom افزایش میزان تجزیه بیولوژیکی تولوئن در حضور میکروب‌های تطابق یافته با بنزن و افزایش تجزیه زایلن را در حضور میکروب‌های تطابق یافته با بنزن و

بیولوژیکی دو ترکیب دیگر نشان داده است.

در مطالعه حاضر راندمان حذف و ظرفیت حذف بالاتری نسبت به مطالعات گذشته به ویژه سیستم های بیوفیلتر و بیوفیلتر چکنده دیده شده است. Jian و همکاران حذف مخلوطی از بنزن، تولوئن و زایلن را در یک بستر فیلتر چکنده مورد مطالعه قرار دادند. در این راستا ظرفیت حذف کلی BTX مقدار ۹۷/۷ گرم بر متر مکعب بر ساعت با راندمان ۶۷٪ درصد گزارش شده است (Chen, 2010). تصفیه بنزن و تولوئن به طور همزمان در جریان هوا در یک بیوراکتور دوفازی با حضور n-Hexadecane به عنوان فاز آلی توسط Colin T. Davidson و همکاران مورد بررسی قرار داده شد. بارگذاری این بیوراکتور با ظرفیت ۶۳ g/m³/h (بنزن) و ۵۱ g/m³/h (تولوئن) راندمان حذف ۹۹٪ را نشان داد (Davidson, et al., 2003). Daugulis و همکاران افزایش ۲۰ درصدی در تصفیه همزمان BTEX از جریان هوا را در یک بیوراکتور دوفازی با ۱۰ درصد حجمی روغن سیلیکون نسبت به بستر بدون فاز آلی گزارش نمودند. ظرفیت حذف این بیوراکتور در طول یک دوره ۱۵۰ ساعته مقدار ۶۰ g/m³/h با راندمان حذف بیش از ۷۵ درصد گزارش گردیده است. این در حالی است که راندمان حذف بدون حضور فاز آلی ۴۷/۱ درصد بیان شده است (Littlejohns et al., 2009).

در مطالعه حاضر ظرفیت حذف نسبتاً بالایی با راندمان بالا در حذف BTX حاصل شده است که نشان می دهد امکان تجزیه همزمان این سه ترکیب با بیوراکتور همزمان دار دوفازی به طور موفقیت آمیزی وجود دارد، ضمن اینکه حضور زایلن در کنار بنزن و تولوئن، ظرفیت حذف را کاهش می دهد اما اختلال اساسی ایجاد نمی کند.

در نتیجه می توان مخلوطی از این سه ترکیب را در جریان هوای آلوده پاکسازی نمود.

بر اساس نتایج آزمایشات میکروب شناسی پس از اینکه کنسرسیون میکروبی به کار رفته در بستر بیوراکتور از نظر دستیابی به شرایط بهینه حذف بخارات BTX مورد بررسی قرار گرفت، تعداد سه گونه *Chryseobacterium*، *Pseudomonas putida*، *Indologenes* و *Ralstonia pickettii* یافت شد. این بدان معناست که این سه گونه باکتریایی مسوول تجزیه آلاینده مورد نظر بودند و توانستند شرایط عملیاتی به کار گرفته شده در بیوراکتور را تحمل کنند. در مطالعه دیگری که توسط Joseph و همکاران بر روی باکتری های تجزیه گر مخلوطی از هیدروکربن های آروماتیک انجام گرفت، گونه های میکروبی *Pseudomonas putida*، *Burkholderia cepacia*، *Ralstonia pickettii* به عنوان میکروبی های غالب شناخته شدند (Zhou, 1998). تجزیه تولوئن و BTX در حضور گونه های میکروبی *Pseudomonas putida*، *Ralstonia pickettii* توسط Robert و همکارانش مورد بررسی قرار داده شد (Alagappan, et al., 2008). در مطالعه دیگری *Pseudomonas putida* توسط Hubert H و همکاران برای تصفیه همزمان BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) از جریان هوای آلوده مورد استفاده قرار گرفت (Attaway, et al., 2008). بررسی مطالعات نشان می دهد در شرایطی که کنسرسیون میکروبی به منظور حذف BTX به همراه ترکیبات مشابه استفاده می شود بدون استثناء *Pseudomonas putida* در آنها حضور غالب دارد و این گونه میکروبی قادر است BTX را تجزیه نماید. گونه *Ralstonia pickettii* نیز در مطالعات مرتبط به منظور حذف آلاینده های خانواده بنزن استفاده

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل انجام بخشی از پایان نامه دکتری بهداشت حرفه‌ای و طرح مصوب به شماره ۸۹-۰۲-۲۷-۱۰۷۸۸ در دانشگاه علوم پزشکی تهران می‌باشد که بدین وسیله از کلیه مسوولان محترم آن دانشگاه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- Blair E. Critical competencies for SH&E managers: implications for educators. *J SH&E Research*. 2004;1:1-16.
- Crawford L. Senior management perceptions of project management competence. *International Journal of Project Management* 2005;23 7-16.
- DAUD R, ISMAIL M, OMAR Z. Identification of Competencies for Malaysian Occupational Safety and Health Professionals. *Industrial Health*. 2010;48:824-34.
- Dingsdag DP, Biggs HC, Sheahan VL. Understanding and defining OH&S competency for construction site positions: Worker perceptions q. *Safety Science* 2008;46 619-33.
- Garcia AM, Lopez-Jacob aJ, Dudzinski I, Gadea R, Rodrigo F. Factors associated with the activities of safety representatives in Spanish workplaces. *J Epidemiol Community Health*. 2007;61:784-90.
- HSE. *Managing Health, Safety and Working Environment (Management Extra)* [Paperback]. London: Elsevier 2006.
- Ingason HT, Jónasson HI. Contemporary Knowledge and Skill Requirements in Project Management. *Project Management Journal*. 2009;40(2):59-69.

می‌شود، اما نقش آن به اندازه *Pseudomonas putida* برجسته نمی‌باشد. گونه *chryseobacterium* به تعداد کمتری در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد اما گزارشاتی در رابطه، حضور آنها در خاک‌های آلوده به نفت و ترکیبات و فاضلاب حاوی هیدروکربن‌های آروماتیک منتشر شده است (Guo, 2008).

از جمله محدودیت‌های این مطالعه آن است که در صنعت طیف وسیعی از آلاینده‌ها منتشر می‌شوند و سایر ترکیبات شیمیایی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی ممکن است اثرات نامشخصی بر عملکرد بیوراکتور داشته باشند که این موضوع در این مطالعه دیده نشده است.

با توجه به نتایج حاصله در این مطالعه، طراحی اصولی بیوراکتور همزن‌دار می‌تواند عملکرد مناسبی در تصفیه آلاینده‌ها در فاز گازی داشته باشد. نتایج بررسی شرایط تصفیه BTX نشان داد که به‌طور کلی BTX تجزیه پذیری مناسبی دارد. شرایط بهینه در مورد تصفیه بیولوژیکی BTX مشخص گردید و انحراف از این تراکم‌های تعیین شده می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر راندمان حذف و ظرفیت حذف داشته باشد. در شرایط بررسی شده، تراکم بالای آلاینده مهم‌ترین عامل محدودکننده راندمان بیوراکتور می‌باشد زیرا در غلظت‌های بالاتر از مقادیر شکست تعیین شده، بستر میکروبی دچار مسمومیت می‌گردد. به منظور کاهش محدودیت‌های مذکور استفاده از ۱۰ درصد روغن سیلیکون می‌تواند تا مقدار زیادی آستانه مسمومیت میکروبی را کاهش دهد. در این شرایط غلظت‌های 1730 mg/m^3 ، 1710 mg/m^3 و 1380 mg/m^3 به ترتیب برای بنزن، تولوئن و زایلین بهترین ظرفیت حذف را نشان دادند.

- nurse perceptions of their Behavioral Health Care Competency. *Journal of Advanced Nursing* 00(0), 000-000 doi: 101111/j1365-2648201206025x. 2012.
- Selwyn N. *The Law of Health and Safety at Work*. London: Wolters Kluwer 2009.
- Sherehiy B, Karwowski W. Knowledge Management for Occupational Safety, Health, and Ergonomics. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*. 2006;16 (3):309-19.
- Spencer LM, Spencer SM. *Competence at work: models for superior performance*. . New York: Wiley 1993.
- Ulrich D, Younger J, Brockbank W, Ulrich M. HR talent and the new HR competencies. *Strategic HR Review*. 2012;11 (4):217 - 22.
- Wang X, Gao J, Xie X. A study to develop a competency model for Chinese EHS managers. *Frontiers of Business Research in China*. 2011;5(4):580-96.
- Wang X, Wu S, Song Q, Tse L-A, Yu ITS, Wong T-W, et al. Occupational Health and Safety Challenges in China Focusing on Township-Village Enterprises. *Archives of Environmental & Occupational Health*. 2011 2012/06/22;66(1):3-11.
- Wang Y-D. Exploring human resource (HR) account managers competency in semiconductor industry. *African Journal of Business Management* 2011;5(22):9412-28.
- WHO. *Global strategy on occupational health for all: The way to health at work*. GENEVA: WHO; 1995.
- IPMA. *IPMA Competence BAceline (ICB)*, version 3.0. Netherland: IPMA 2006.
- Leemann J. Delivering business value by linking behavioral EHS competencies to corporate core competencies. *Int J Sustainable Business*. 2005;12:3-16.
- Li H, Zhang Y. The role of managers' political networking and functional experience in new venture performance: Evidence from China's transition economy. *Strategic Management Journal*. 2007;28(8):791-804.
- Macik-Frey M, Quick JC, Nelson DL. Advances in Occupational Health: From a Stressful Beginning to a Positive Future *Journal of Management*. 2007 December 1, 2007;33(6):809-40.
- Meswani HR. Safety and Occupational Health: Challenges and Opportunities in Emerging Economies. *Indian J Occup Environ Med*. 2008;12(1):3-9.
- Nwafor V-C. Emerging Trends in HSE Competence Development in Shell Petroleum Development Company of Nigeria Limited (SPDC). *World Petroleum Congress*. Johannesburg, South Africa 2005.
- OGP. *Guidelines for the Development and Application of Health, Safety and Environmental Management Systems*. Report No. 6.36/210; 1994.
- Podgórski D. The Use of Tacit Knowledge in Occupational Safety and Health Management Systems. *JOSE*. 2010;16(3):283-310.
- Rutledge DN, Wickman M, Drake D, Winokur E, Loucks J. Instrument validation: hospital

Optimization of two phase partitioning stirred tank bioreactor for elimination of benzene, toluene and xylene(BTX) from contaminated air streams

F. Golbabaei^{1*}; A. Karimi²; M. Neghab³; M. R. Pourmand⁴; R. Bakhtiari⁵; K. Mohammad⁶

¹ Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

² Assistant Professor, Dept. of Occupational Health, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences

³ Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences

⁴ Associate Prof, Department of Microbiology, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ Msc., Department of Microbiology, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁶ Professor, Department of Epidemiology, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: In real Conditions, pollution emission are mostly released as mixed components rather than a single pure emission of the chemicals. In this study, a miniature stirred tank bioreactor was optimized for treatment of waste gas containing BTX (benzene, toluene and xylene).

Material and Method: The sludge of an oil refinery was sampled based on the assumption that it contains BTX-degrading microorganisms and used as microbial consortium. Also, silicone oil was added to improve removal efficiency. The operational parameters of the bioreactor were optimized during the study.

Result: The removal efficiency and elimination capacity of benzene, toluene and xylene vapors simultaneously in the presence of 10% silicone oil as an organic phase showed increasing trend up to the concentrations of 1730 mg/m³, 1710 mg/m³ and 1380 mg/m³, respectively. In these concentrations the removal efficiency and elimination capacity of benzene were 100% and 59 g/m³/h, toluene 100% and 58 g/m³/h and xylene 91% and 42 g/m³/h, respectively. The total removal efficiency and elimination capacity for BTX were 91 to 100% and 159 g/m³/h, respectively.

Conclusion: It was shown that presence of 10% silicone oil increased 44.5% in total removal efficiency of BTX. The microbiological experiments on the bioreactor media showed that three species of *Pseudomonas putida*, *Chryseobacterium* and *Ralstonia pickettii* can be found, when BTX were treated. This work revealed that two phase partition bioreactors (TPPBs) can be successful method for the treatment of streams contaminated with BTX.

Key words: Stirred tank bioreactor, BTX, biodegradation, silicone oil, organic phase, air pollution control

* Corresponding Author Email: fgolbabaei@tums.ac.ir