بررسی کارایی بیوراکتور دو فازی همزن‌دار در پالایش تولوئن از جریان هوا با استفاده از سودوموناس پتیدا

فریده گلبابایی[۱*] - حمیدرضا پورآقا شاهنشین[۲] - محمدرضا پورمند[۳] - علی کریمی[۴] - عباس رحیمی فروشانی[۵]

fgolbabaei@tums.ac.ir

چکیده

مقدمه: به منظور کنترل آلاینده های گازی شکل حاصل ازمنابع آلودگی هوا، روش های مختلفی وجود دارد که از جمله کاراترین و مقرون به صرفه ترین آن‌ها می توان به بیو فیلتراسیون اشاره نمود. هدف از این مطالعه استفاده از گونه خالص سودوموناس پتیدا به عنوان بستر متحرک در یک بیوراکتور دو فازی همزن‌دار با ۱۰% فاز آلی جهت حذف آلاینده تولوئن از جریان هوا میباشد. تولوئن (متیل‌بنزن)، گروه ترکیبات آروماتیک است و به عنوان یک حلال شیمیایی کاربرد دارد. غلظت‌های کم تا متوسط تولوئن، سب خستگی، سرگیجه، ضعف، رفتار نامتعادل، نقصان حافظه، بی‌خوابی، کم‌اشتهایی و کم شدن دید و شنوایی می‌گردد.

روش کار: در این مطالعه تجربی در ابتدا باکتری سودوموناس به صورت خالص در فاز آبی حاوی محلول مواد مغذی و ریز مغذی تکثیر شده و با آلاینده تولوئن خو می گیرد. سپس محلول حاوی میکروارگانیزم سودوموناس پتیدا به همراه ۱۰% روغن سیلیکون وارد تانک اصلی بیوراکتور شده و هم چنین جریان هوای حاوی غلظت های معین تولوئن در ۵ محدوده غلظتی از ۳۲۸۳ Mg/m تا ۳۴۷۱۰ Mg/m ودو هواگذر ۰,۰۶ m^3/h و ۰,۱۲ m^3/hوارد بیو راکتور میشود. پس از آن مقدار آلاینده و میزان co۲ در ورودی و خروجی بیوراکتور اندازه گیری میگردد. در نهایت کارایی بیوراکتور حاوی سودوموناس پتیدا طی ۱۷ روز کاری برای هر متغیر بررسی می شود.

یافته ها: یافته های حاصل بیانگر این مطلب بود که در هواگذرهای۰,۰۶ m^3/hو۰,۱۲ m^3/hبیوراکتور حاوی گونه خالص سودوموناس پتیدا به ترتیب کارایی حداقل ۹۷% و ۲۵% را در محدوده غلظتی ۳۲۸۳ Mg/m تا ۳۴۷۱۰ Mg/m نشان میدهد. تحلیل های آماری صورت گرفته توسط روش ANOVA بیانگر این مطلب بود که در دو هواگذر ۰,۰۶ m^3/h و ۰,۱۲ m^3/h، راندمان حذف و درصد معدنی شدن اختلاف معنی داری را نشان می دهند.(Pvalue =0.01).

نتیجه گیری: نتایج حذف بسیار بالا به علت شرایط بهینه ایجاد شده برای سودوموناس در بیوراکتور دو فازی همزندار با ۱۰% فاز آلی می باشد.

کلمات کلیدی: *بیوراکتور دو فازی همزن‌دار، سودوموناس پتیدا، تولوئن*

۱-استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۲-کارشناس، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳-دانشیار، گروه میکروب شناسی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۴- استادیار، دانشگاه علوم پزشکی شیراز

۵- دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

مقدمه

معضل آلودگی هوا مشکل اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه میباشد. این مشکل در کلان‌شهرها عیان تر است. (Yu, 2008) . یکی از مهم‌ترین مواد و اصلی ترین پایه آلودگی هوا ترکیبات آلی فرار یا Volatile Organic Compound (VOCs) هستند (Shareefdeen, 2005) که تولوئن جزیی از آن‌هاست. در بین فنآوریهای موجود در زمینه کنترل آلودگی هوا ناشی از منابع ثابت، سامانه‌های زیستی روش‌های کم هزینه‌ای به منظور تصفیه غلظتهای پایین آلاینده های هوا هستند (Munoz, 2007). اساس این فن‌آوری برتوانایی میکروارگانیزم ها (باکتری ها ، قارچ ها) در تبدیل آلاینده‌های آلی به دیاکسیدکربن، آب و ترکیبات غیرآلی در شرایط متعادل از نظر دما و فشار می‌باشد (Munoz, 2007). در مقایسه با روش‌های متداول پالایش آلاینده‌های هوا هم‌چون ترکیبات آلی فرار (VOCs) روش‌های زیستی اثربخشی بیشتر و هزینه‌زایی کمتری را نشان داده اند و نیز آلودگی ثانویه زیست محیطی نظیر پساب یا مواد زاید جامد را ایجاد نمیکنند (Shareefdeen,2005).

زیست پالایش،استفاده‌ازمیکروارگانیسم‌هایی‌است که از لحاظ زیستی فعال هستند و برای پالایش مواد شیمیایی از جریان هوا، تثبیت شده‌اند. بیوفیلترها به علت سرمایه اولیه و هزینه های عملیاتی کم به طور چشمگیری به یک انتخاب پرطرفدار درگزینه های پالایش درمقایسه با سایر تکنولوژی‌ها، تبدیل شده اند (Wang, 2004). بیوراکتورهای دوفازی به عنوان یک تکنولوژی جدید در پالایش آلاینده های هوا از منابع ثابت مطرح هستند. در سامانه‌های دو فازی با استفاده از یک فاز غیر آبی آلاینده های سمی هدف در غلظت‌های بالا جذب شده و از مسمومیت میکروارگانیزم‌ها جلوگیری می کند.استفاده از سامانه‌های دو فازی در بیوراکتورهای همزن دار، موجب افزایش کنترل فرآیند و سهولت استفاده می گردد (Daugulis, 2001). در مطالعه ای توسط قربانی مشخص گردید که بیوراکتورهای امولسیونی در تصفیه تولوئن راندمان بالاتری نسبت به بیوفیلتر با بستر چکنده دارند (Ghorbani, 2010). در بررسی دیگری توسط کریمی مشخص گردید که بیو راکتور همزن‌دار می تواند عملکرد مناسبی در تصفیه تولوئن، بنزن زایلین داشته باشد و به کار بردن ۱۰% روغن سیلیکون قادر است به عنوان خازن اکسیژن عمل کرده تا سیستم دچار کمبود اکسیژن نشود (Karimi, 2011). لذا در این تحقیق قصد داریم با بهره گیری از بیوراکتور دو فازی همزن‌دار و استفاده از گونه خالص سودوموناس پتیدا Pseudomonas putida که از مشهورترین میکروارگانیزم‌های تجزیه گر تولوئن می باشد، این آلاینده را از جریان هوا پالایش و تا حد امکان هوای خروجی را پاک نماییم.

روش کار

میکروارگانیزم‌های غالب در بیوفیلترهایی که برای پالایش VOCs به کار میروند هتروتروف بوده و عمدتا قارچ یا باکتری هستند (Liu, PKT., 1994) انواع زیادی از آن‌ها در عملیات زیست پالایش تشخیص داده شده اند ازجمله آن‌ها می‌توان به alcaligenes، pseudomonas و xanthomonas اشاره کرد (Shareefdeen, 2005).

باکتری‌سودوموناسپتیدا(Pseudomonasputida)، باکتری گرم منفی میله‌ای شکل و ساپروفیک میباشد. اساساً گونه باکتریخاکاست. نکته جالب اینکه این باکتری اولین ارگانیزمی است که در جهان ثبت مالکیت شده است (Anzai, *et al*, 2000) سودوموناس پتیدا از اولین گونه های زیستی است که توانایی تجزیه حلال‌ها از جمله تولوئن را دارا می باشد. (Marques,1993).

بیوراکتورهمزن‌دار:

در بررسی پیش رو از بیوراکتور دو فازی همزن‌دار مجهز به‌سامانه‌هوادهی‌موجوددرآزمایشگاه‌گروه‌مهندسی بهداشت حرفهای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران استفاده شده است. مخزن این بیوراکتور استوانه‌ای به طول ۳۰ و قطر ۱۰ سانتی متر و از جنس شیشه می‌باشد. در داخل مخزن چهار بافل به منظور جلوگیری از جریان‌های گردابی تعبیه شده است. عامل ایجاد اختلاط در این بیوراکتور یک موتور همزن میباشد که با جریان مستقیم تغذیه می گردد. حداکثر دور این موتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. دور همزن به کمک یک مدار کنترل تنظیم می‌شود.

هوای مورد نیاز به‌وسیله کمپرسور هوای آکواریومی با میزان هواگذر ۷۰ لیتر در دقیقه تامین می شود. هوای ایجاد شده توسط این دستگاه عاری از روغن بوده و پس از فیلتر شدن به‌وسیله فیلتر با درجه هپا که در هولدرهای مخصوصی قرار گرفته اند و تعیین میزان هواگذر، به کمک فلومتر وارد سامانه بیوراکتور میگردد.

غلظت معین به روش پیوسته و دینامیک با استفاده از شیوه اشباع سازی بخار به‌وسیله ایمپینجر متخلخل ساخته شد. در این روش قسمتی از هوای ورودی به بیوراکتور با ایجاد یک کنارگذر از جریان اصلی جدا شده و پس از عبور از ایمپینجر حاوی آلاینده هدف، وارد جریان اصلی میگردد و پس از عبور از فلومتر و محل نمونه برداری وارد مخزن بیوراکتور میشود. کنترل هواگذر جریان هوایورودی به بیوراکتور در این سامانه توسط پنج فلومتر با گسترههای متفاوت سنجشی از ۰ تا ۵ لیتر در دقیقه صورت گرفت.

مراحل انجام آزمایش:

در ابتدا گونه خالص باکتری سودوموناس پتیدا (Pseudomonas putida) پس از کشت در محیط آگار و انتقال آن به فاز مایع محیط کشت، در مرحله رشد لگاریتمی وارد تانک محیط آبی حاوی مواد مغذی و ریز مغذی و منبع کربنی مورد آزمایش (تولوئن)می شود که این محیط دارای هوادهی مناسب میباشد. مواد مغذی شامل عناصر زیر می‌باشد.

g/L, KNO_3:1g/L0.2:1g/L, $MgSO_4$NaCl:,

1g/LK2HPO_4:,1 g/L:KH_2PO_4

ترکیب عناصر ریز مغذی شامل:

H_3BO_3: 0.06 mg/L, $MnCl_2$,$4H_2O$: 0.1 mg/L,

$CoCl_2$,$6H_2O$: 0.12 mg/L, $ZnCl_2$: 0.07, $NiCl_2$,

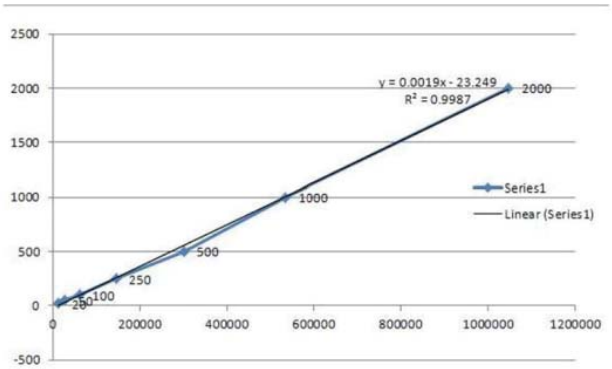
6H2O: 0.025 mg/L, $CuCl_2$,$2H_2O$: 0.015 mg/L,

$NaMoO_4$,$2H_2O$: 0.025 mg/L, $CaCl_2$.$2H_2O$:

26 mg/L, EDTA Na_4,4(H_2O): 5.2 mg/L

پس از گذشت ۷۲ ساعت فاز آبی غنی از باکتری‌های تکثیر شده وارد تانک اصلی بیوراکتور می شود. در این مرحله تولید CO_2به عنوان شاخصی از حیات و تکثیر میکروارگانیزم‌ها پایش میشود. ۷۵% حجم بیوراکتور را بافاز آبی تایید شده از نظر خلوص میکروبی که حاوینسبت های معین مواد مغذی مورد نیاز (حاوی منابع فسفر و نیتروژن) میباشد،پر میکنیم. فاز آلی(روغن سیلیکون) نیز در این مرحله به نسبت ۱۰ درصد (۱۷۰ میلی لیتر) با فاز آبی مخلوط شده و وارد بیوراکتور می گردد.

با توجه به خواص تجزیه پذیری ترکیبات آلی فرار توسط میکروارگانیزم ها و نیز مطالعات گذشته، زمان خوگیری بیوراکتور یک هفته پیش‌بینی می‌شود (Najafpour, 2011). سپس آلاینده‌های مورد نظر در محدوده غلظتی ۳۲۸۳ mg/m تا ۳۴۷۱۰ mg/m به بیوراکتور وارد می‌شوند و در ورودی و خروجی بیوراکتور نمونهگیری از هوا به صورت مستقیم انجام می‌شود. این‌کار به‌وسیله سرنگ گازبندی شده هامیلتون از طریق سپتوم‌های بوتیل رابر تعبیه شده در جایگاه‌های قبل و بعد از تانک اصلی بیوراکتور به منظور پایش و محاسبه کارایی سامانه پالایش زیستی صورت می‌گیرد و به‌وسیله



شکل۱: منحنی کالیبراسیون غلظت های ppm ۵ تا ppm ۲۵۰۰ تولوئن با استفاده از تزریق گاز به دستگاه گازکروماتوگرافی

دستگاه گازکروماتوگرافی مدل Varian CP-3800 مجهز به دتکتور یونش شعلهای (FID) و ستون شیشهای (CP-Sil 8CB) با ابعاد 50m×0.53mm آنالیز و تعیین مقدار میشود. برای ساختن غلظتهای مختلف آلایندهها، از روش دینامیکی با استفاده از ایمپینجر متخلخل حاوی ترکیبات خالص به صورت مایع که جریان هوا از آن‌ها عبور داده میشداستفاده گردید. هم‌چنین منحنی کالیبراسیون غلظت تولوئن با استفاده از تزریق گاز به دستگاه گازکروماتوگرافی با استفاده از روش ساخت تراکم معین استاتیکی در کیسه نمونه برداری در محدوده غلظتی ppm ۵ تا ppm ۲۵۰۰ ساخته و شکل منحنی کالیبراسیون برای آن رسم شد که R^2=0.9987 بهدست آمد.

تمامی آزمایش‌ها با دو هواگذر ۰,۰۶ m^3/h و ۰,۱۲ m^3/h انجام پذیرفت. در این مرحله با اندازهگیری تراکم CO_2 در خروجی بیوراکتور بهوسیله دستگاه قرائت مستقیم Testo model 535 CO_2 meter و بااستفاده از روابط استکیومتری، درصد معدنی شدن کربن آلایندهها نیز محاسبه شد.

هم‌چنین به منظور سنجش مقدار بیومس تولیدی روزانه، مقدار ۱۰۰ میلی لیتر از فاز آبی را در دستگاه سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه قرار دادیم (حجم برداشته شده با محلول آبی مواد مغذی و ریز مغذیها و نیز فاز آلی با همان نسبت‌ها جایگزین میشد)، سپس توده میکروبی را که در ته ظرف ته نشین شده بود از فاز آبی-آلی که در بالای لوله آزمایش قرار گرفت. جدا کرده و به‌وسیله ترازوی دقیق تا ۵ رقم اعشار وزن کردیم. تغییرات در وزن توده میکروبی را به عنوان وزن توده باکتری تر در واحد حجم بستر آبی ارایه می کنیم. به این ترتیب ظرف مدت ۱۷روز کاری یک بار کل حجم بیوراکتور تعویض میشد و هر روز مواد مغذی به میکروارگانیزم‌ها می رسید.

عملکرد بیوراکتور برای هر حالت فاز آبی به مدت هفده روز (۴۰۸ ساعت) بررسی شد. با توجه به مطالعات گذشته، هر ۱۲ ساعت یک‌بار (۳۴ بار در طول هفده روز)، آلاینده ها در ورودی و خروجی بیوراکتور نمونهگیری شد و مقادیر درصد کارایی(RE) و ظرفیت حذف (EC)تولوئن محاسبه گردید. این مقادیر توسط روابط زیر محاسبه می گردند:

$$RE(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100$$

$$EC = \frac{C_{in} - C_{out}}{V} \times 100$$

غلظت گاز دی اکسید کربن در جریان ورودی و خروجی بیوراکتور توسط دستگاه قرائت مستقیم سنجیده شد و درصد کربنی شدن نیز گزارش گردید. در این مطالعه حجم اشغال شده بیوراکتور(۷۵%)،تعداد دور در دقیقه شفت گردنده (۴۰۰ rpm) ، درصد فاز

آلی (۱۰%)، محدوده هواگذر مورد آزمایش(۰،۰۶ و ۰،۱۲ مترمکعب در ساعت) و میزان انتقال اکسیژن (۲۰%) بر اساس مطالعه قبلی و توصیه طراح ثابت نگاه داشته شد. (Karimi, 2011) بستر بیوراکتور حاوی ۱۰% روغن سیلیکون به عنوان فاز آلی به همراه گونه خالص باکتری سودوموناس پتیدا و مواد مغذی می‌باشد. که براساس مطالعه قبلی به میزان ۷۵% حجم کل تانک بیوراکتور به منظور جلوگیری از سرریز شدن کف سرباره پر شده است، این بستر در طول مدت آزمایش از نظر pH که دما پایش شد و مقدار pH 0.5±7 بود و دما در محدوده ۲۴ تا ۲۶ درجه سلسیوس قرار داشت.در تمامی مراحل پیش از تکثیر گونه خالص سودوموناس پتیدا در هنگام تکثیر و ورود به مخزن بیوراکتور و در طول آزمایش‌ها و پس از پایان آزمایش‌ها از بستر بیولوژیکی و تحت شرایط استریل نمونه برداری انجام شد و نمونه های گرفته شده از بستر بیوراکتور در محیط کشت آگار تکثیر گردید و از عدم وجود سایر میکروارگانیزم‌ها اطمینان حاصل شد.

یافته‌ها

کارایی حذف تولوئن توسط بیوراکتور دوفازی همزن‌دار محتوی سودوموناس پتیدا:

نتایج حاصل از عملکرد بیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر یک لیتر در دقیقه یا ۰،۰۶ m^3/h در جدول ۱ و ۲ در پنج محدوده غلظتی نشان داده شده است. در این جدول راندمان حذف، ظرفیت حذف، درصد معدنی شدن کربن و جرم بیومس تولیدی در واحد حجم بیان شده است. نتایج حاصل از عملکرد بیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر دو لیتر در دقیقه یا ۰،۱۲ m^3/h، در جدول ۳ و ۴ در پنج محدوده غلظتی نشان داده شده است. در این جدول راندمان حذف، ظرفیت حذف، درصد معدنی شدن کربن و جرم بیومس تولیدی در واحد حجم بیان شده است.

تحلیل آماری مقادیر به‌دست آمده در دو هواگذر مورد آزمایش:

بر اساس آزمون تحلیلی آماری آنالیز واریانس

جدول ۱: نتایج عملکردبیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر یک لیتر در دقیقه یا ۰،۰۶ m^3/h

	غلظت ورودی تولوئن به بیوراکتور Mg/m^3				
	۲۸۳	۶۶۰	۱۴۱۳	۲۸۲۶	۴۷۱۰
راندمان حذف ٪	۱۰۰	۱۰۰	۹۷،۳۸	۹۷،۷۷	۹۸،۳۴
ظرفیت حذف $g/m^3/h$	۴،۷۲	۱۱	۲۲،۹۳	۴۶،۰۵	۷۷،۲
درصد معدنی شدن کربن g/l	۹۳	۹۲	۸۹	۹۰	۷۵
مقدار بیومس	۲،۵	۴	۶	۹	۱۳

شرایط آزمایش: هواگذر ۰،۰۶m^3/h ، زمان ماند ۳۵،۴ ثانیه، غلظت اکسیژن ورودی ۲۰٪، غلظت فاز آلی ۱۰٪.

جدول ۲: شاخص‌های پراکندگی عملکردبیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر یک لیتر در دقیقه یا ۰،۰۶ m^3/h

هواگذر ۰،۰۶ m^3/h	غلظت ورودی mg/m^3	غلظت خروجی mg/m^3	راندمان حذف (٪)	ظرفیت حذف $(g/m^3/h)$	درصد معدنی شدن کربن (٪)	مقدار بیومس (g/L)
حداقل	۲۸۳	۰	۹۷،۳۷	۴،۷۲	۷۵	۲،۵
حداکثر	۴۷۱۰	۷۸	۱۰۰	۷۷،۲	۹۳	۱۳
میانگین	۱۹۷۸	۳۵،۶	۹۸،۷	۳۲،۳۸	۸۷،۸	۶،۹
انحراف معیار	۱۶۱۹	۳۱،۸۹	۱،۱	۲۶،۴۸	۶،۵	۳،۷

جدول ۳: نتایج عملکردبیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر دو لیتر در دقیقه یا ۰,۱۲ m^3/h

غلظت ورودی تولوئن به بیوراکتور Mg/m^3				
۴۷۱۰	۲۸۲۶	۱۴۱۳	۶۶۰	۲۸۳	
۲۵	۲۶	۳۱	۵۱	۵۷,۲۴	راندمان حذف ٪
۲۰,۲	۱۲,۴	۷,۳	۵,۶	۲,۷	ظرفیت حذف $g/m^3/h$
۱۹	۲۸	۳۶	۵۵	۶۷	درصد معدنی شدن کربن g/l
۱۱	۷,۵	۵,۲	۳	۲,۱	مقدار بیومس

شرایط آزمایش: هواگذر $0,12 m^3/h$ ، زمان ماند ۱۷,۷ ثانیه، غلظت اکسیژن ورودی ۲۰٪، غلظت فاز آلی ۱۰٪

جدول ۴: شاخص‌های پراکندگی عملکردبیوراکتور دو فازی همزن‌دار در هواگذر دو لیتر در دقیقه یا ۰,۱۲ m^3/h

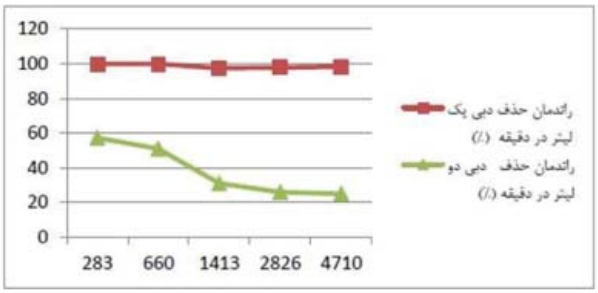
هواگذر ۰,۱۲ m^3/h	غلظت ورودی mg/m^3	غلظت خروجی mg/m^3	راندمان حذف (٪)	ظرفیت حذف $(g/m^3/h)$	درصد معدنی شدن کربن (٪)	مقدار بیومس (g/L)
حداقل	۲۸۳	۱۲۱	۲۵	۲,۷	۱۹	۲,۱
حداکثر	۴۷۱۰	۳۴۹۸	۵۷,۲۴	۲۰,۲	۶۷	۱۱
میانگین	۱۹۷۸	۱۴۰۰	۳۸,۲	۹,۶	۴۱	۵,۷۶
انحراف معیار	۱۶۱۹	۱۳۹۹	۱۴,۷	۶,۹	۱۹,۷	۳,۶

یک‌طرفه صورت گرفته برای هواگذر ۰,۱۲ m^3/h و ۰,۰۶ m^3/h، راندمان حذف در دو هواگذر با یک‌دیگر اختلاف معنی داری نشان داد (Pvalue=0.01)، اما برای ظرفیت حذف اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (Pvalue=0.133)، هم‌چنین برای مقادیر درصد کربنی شدن بین دو هواگذر مختلف اختلاف معنی داری دیده‌شد. (Pvalue=0.01) از طرفی برای مقادیر بیومس ایجاد شده بین دو هواگذر اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. (Pvalue=0.657) ضمناً مقادیر حد معنی داری ۰,۰۵ فرض گردید.

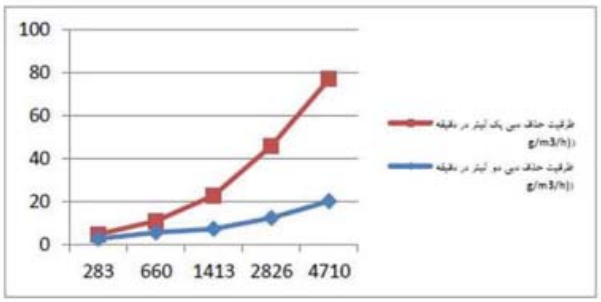
در شکل ۲ مشاهده میگردد راندمان حذف در هواگذر یک لیتر در دقیقه (۰,۰۶ متر مکعب در ساعت) بیش از هواگذر دو لیتر در دقیقه (۰,۱۲ متر مکعب در ساعت) میباشد. شکل ۳نشان می دهد که ظرفیت حذف در مقادیر پایین اختلاف چندانی در دو هواگذر ندارند، اما در مقادیر غلظتی بالاتر اختلاف آشکارتر میگردد. در شکل ۴ درصد معدنی شدن کربن در دو دبی مورد آزمایش مشاهده می شود که تفاوت مقادیر در آن‌ها پیداست.شکل ۵ نشانگر مقدار بیومس تولید شده در دو هواگذر مورد آزمایش است.

بحث

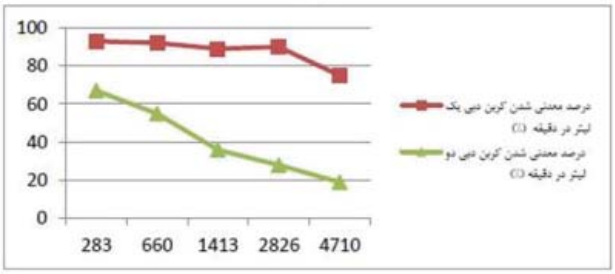
تا کنون گزارش‌های زیادی در زمینه تجزیه گر بودن این گونه باکتریایی ارایه شده است. در مطالعه اوتنیو و لوپز از گونه سودوموناس پتیدا برای تجزیه تولوئن استفاده شد (Otenio, 2005) و نیز در تحقیقی توسط جورجیو این گونه باکتریایی به منظور تصفیه تولوئن از جریان هوا مورد استفاده قرار گرفت. (Jorio, 1998). در این مطالعه از گونه خالص سودوموناس پتیدا به عنوان قدیمی ترین و یکی از مشهورترین میکروارگانیزم‌های مورد استفاده در پالایش زیستی تولوئن استفاده گردید اما هدف و فرض اصلی مشاهده نحوه عملکرد این گونه خالص باکتریایی در بیوراکتور دوفازی همزن‌دار بود که از جدیدترین فنآوری‌های



شکل۲: راندمان حذف در هواگذر یک لیتر و دو لیتر در دقیقه بر اساس غلظت ورودی Mg/m^3



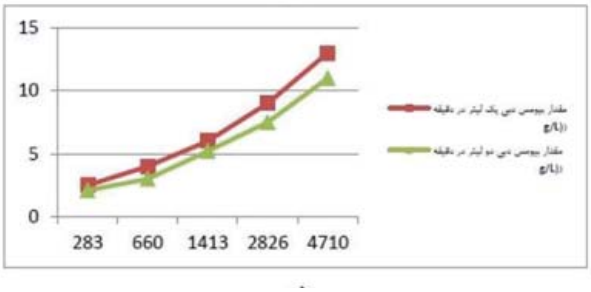
شکل۳: ظرفیت حذف در هواگذر یک لیتر و دو لیتر در دقیقه بر اساس غلظت ورودی Mg/m^3



شکل۴: درصد معدنی شدن کربن در هواگذر یک لیتر و دو لیتر در دقیقه بر اساس غلظت ورودی Mg/m^3

پالایش زیستی می باشند بود. هم‌چنین در این مطالعه بسیاری از متغیرها بر اساس مطالعه قبلی طراح دستگاه در نظر گرفته نشد و مقادیر بهینه به‌دست آمده پیگیری گردید.

در مطالعه‌ای، عملکرد بیوراکتورهای دوفازی مجزا در جریان گاز حاوی تولوئن بررسی شد. در این مطالعه Achromobacter Xylosoxidans به عنوان میکروارگانیزم تجزیه کننده عمل نمود. بر اساس نتایج این تحقیق در بار آلودگی معادل $gm^{-3}h^{-1}$ ۳۴۳ در سامانه مایع - مایع، راندمان حذف بهتری (۹۷%) نسبت به سامانه جامد-مایع (راندمان حذف ۹۰%) و سامانه تک فازی (راندمان حذف ۶۹%) حاصل گردید (Daugulis, 2003). در این بررسی همان‌طور که در شکل دو نیز مشاهده می گردد، در مقادیر غلظت‌های بالا، این موفقیت چشمگیرتر است که میتوان این امر را به سامانه جدید بیوراکتور دو فازی همزن‌دار



شکل۵: مقدار بیومس در هواگذر یک لیتر و دو لیتر در دقیقه بر اساس غلظت ورودی Mg/m^3

نسبت داد که شرایط مناسب‌تری را برای این گونه باکتری فراهم میآورد تا کارایی بهتری در حذف تولوئن از جریان هوا از خود نشان دهد. در مطالعه ای حذف تولوئن در غلظت‌های بالا از بیوراکتورهای دوفازی مجزا توسط Achromobacter Xylosoxidans مورد مطالعه قرار گرفت. فاز آلی بیوراکتور دو فازی در این مطالعه (Hexadecane) به نسبت ۳۳ درصد حجمی باعث به دام افتادن بخارات تولوئن از جریان هوا گردید. تمایل تولوئن به حلال آلی باعث اثر بخشی بالای حذف آن از جریان هوا گردید. این سامانه به آسانی توانست بار آلودگی معادل $gm^{-3}h^{-1}$ ۷۴۸ را با راندمان ۹۸% پالایش نماید (Daugulis, 2003). که این یافته با نتایج حاصل از این مطالعه همخوانی دارد. در مطالعه دیگری نیز که از گونه دیگر باکتریایی استفاده شده بود، نتایجی نزدیک به نتایج این مطالعه گزارش شد. در این تحقیق فرآیند یک بیوراکتور دو فازی مجزا به منظور پالایش بنزن و تولوئن به‌طور هم‌زمان در جریان هوا بررسی گردید. فاز آلی به کار رفته در این بیوراکتور n-Hexadecane بوده و عامل میکروبی نیز Alcalicaligenes Xylosoxidans در فاز آبی عهده دار تجزیه بنزن و تولوئن بود. این بیوراکتور دو فاری با ظرفیت پالایش $gm^{-3}h^{-1}$ ۶۳ (بنزن) و $gm^{-3}h^{-1}$ ۵۱ (تولوئن) بارگذاری گردید که راندمان حذف در این شرایط بیش از۹۹% نشان داده شد. (Davidson, 2003).

در مطالعه‌ای به منظور کنترل بخارات تولوئن موجود در هوا، یک بیوراکتور همزن‌دار در مقیاس آزمایشگاهی طراحی گردید و در مرحله بعد بیوراکتور با نسبت ۱ به ۳ از کنسرسیوم میکروبی و محلول مغذی به منظور حذف بخارات تولوئن راه اندازی شد. عملکرد بیوراکتور در حذف بخارات تولوئن با افزودن ۱۰% روغن سیلیکون به عنوان فاز آلی در محدوده غلظتی ۷۹۸ mg/m^3 تا ۶۴۵۳ mg/m^3 به مدت ۵۷۶ ساعت مورد پایش و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه زیستی تولوئن در این مدت زمان نشان داد که راندمان حذف تولوئن تا محدوده غلظت ۳۱۹۰ mg/m^3 مقدار ۱۰۰% می باشد. نتایج حاصل از آزمایشات میکروب شناسی نشان داد که در حضور تولوئن چهار گونه Pseudomonas putida ،Pseudomonasfluorescen، chryseobacterium و Ralstonia pickettii یافت شده است (Karimi, 2011). در مطالعه حاضر نیز با استفاده از گونه سودوموناس پتیدا در بیوراکتور دو فازی همزن دار با ۱۰% روغن سیلیکون، راندمان حذف برای هواگذر ۰،۰۶ متر مکعب در ساعت حداقل ۹۷% در محدوده غلظتی مورد آزمایش به‌دست آمد.

بر اساس مطالعه پیش رو مشاهده گردید که اصلی ترین شاخص عملکردی پالایش زیستی یعنی راندمان حذف در هواگذر ۰،۰۶ متر مکعب در ساعت عملکردی با تفاوت معنی دار نسبت به هواگذر ۰،۱۲

متر مکعب در ساعت نشان میدهد (Pvalue=0.01)

که می توان این مطلب را چنین تحلیل نمود که به علت زمان ماند بیشتر جریان هوای حاوی آلاینده در بستر میکروبی این اختلاف وجود دارد که چنین مطلبی نیز پیش بینی می‌شد زیرا به منظور دستیابی به راندمان حذف بالاتر برای هواگذرهای بیشتر باید در طراحی و ساخت ابعاد بیوراکتور تجدید نظر شود، چون این دستگاه برای هواگذر ۰،۰۶ متر مکعب در ساعت محاسبه و بهینه گردیده است. اما در مطالعات صورت گرفته نتایج حاصل از این آزمایش نشان از کارایی چشمگیر حذف تولوئن از جریان هوا به‌وسیله باکتری سودوموناس پتیدا دارد.

طی این بررسی مشاهده گردید که ظرفیت حذف در مقادیر پایین اختلاف چندانی در دو هواگذر ندارند اما در مقادیر غلظتی بالاتر اختلاف آشکارتر میگردد ولی با این حال از نظر آماری این اختلاف معنی دار نیست.

همان طور که انتظار میرفت درصد معدنی شدن کربن بین دو هواگذر اختلاف معنی داری نشان داد و آن نیز به دلیل هضم تولوئن توسط میکروارگانیزم‌ها و تولید دی اکسید کربن بود که بدیهی است هر چه کارایی حذف تولوئن بیشتر شود بالتبع تولید دی اکسید کربن افزایش می یابد و این مطلب موید تجزیه گر بودن سودوموناس پتیدا می باشد، چون فاز آلی مورد استفاده نیز توانایی گرفتن تولوئن از جریان هوا را دارد اما در آن صورت دی‌اکسید کربن نباید تولید گردد، اما در اینجا مشاهده میشود بر اساس تفاوت معنی دار راندمان حذف در درصد معدنی شدن نیز بین دو هواگذر اختلاف معنی دار با Pvalue=0.01 وجود دارد.

مقادیر بیومس تولید شده اختلاف معنی داری میان دو هواگذر نشان نمیدهند و مقادیر به‌دست آمده بسیار شبیه هم هستند و در هر دو هوا گذر با گذشت زمان در تمامی غلظت‌ها مقدار بیومس تولیدی افزایش میبابد و نیز این مطلب با افزایش غلظت ورودی آلاینده ادامه دارد که این مطلب را میتوان به عدم مسمومیت میکروارگانیزم‌ها در غلظت‌های مورد نظر در این آزمایش‌ها و رسیدن بیشتر منبع کربنی به عنوان ماده غذایی برای این میکروارگانیزم‌ها و بالتبع رشد وتکثیر بیشتر آن‌ها نسبت داد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، اثر بخشی پالایش زیستی توسط گونه خالص سودوموناس پتیدا بسیار بیشتر شده است که میتوان این امر را به تکنولوژی جدید بیوراکتورهای دو فازی آبی-آلی همزن‌دار نسبت داد. این مطالعه ثابت نمود که طراحی ابعاد بیوراکتور در کارایی آن‌ها اثر به‌سزایی دارد. در مقایسه با روش‌های سنتی پالایش زیستی استفاده از بیوراکتور با بستر متحرک به‌وسیله همزن روشی بسیار کاراتر می باشد. در ادامه توصیه می گردد سایر گونه های تجزیه گر تولوئن نیز با این سامانه مورد مطالعه قرار گیرند، هم‌چنین همین گونه با همین سامانه برای سایر آلاینده ها نیز بررسی شود تا به بهترین کنسرسیوم میکروبی در حذف ترکیبات آلی فرار هوا دست یابیم و بتوانیم نمونه نیمه صنعتی و از بیوراکتور دوفازی همزن‌دار با ابعاد بهینه طراحی و بسازیم و در عمل با حضور سایر آلاینده ها نظیر گازها و بخارات غیر آلی و ذرات، کارایی بیوراکتور دو فازی همزن‌دار را در پالایش آلودگی هوا ناشی از منابع متحرک افزایش دهیم.

تشکر و قدردانی

از گروه مهندسی بهداشت حرفهای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی از این مطالعه، هم‌چنین

گروه محترم میکروب شناسی به‌ویژه خانم بختیاری، کارشناس آزمایشگاه میکروب شناسی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران تقدیر و تشکر می نماییم.

منابع

1. Yu, Y., Monocyclic Aromatic Hydrocarbons in Kathmandu During the Winter Season. Water Air Soil Pollut, 2008. 191: p. 71-81.
2. Zarook Shareefdeen , A.S.E., Biotechnology for Odor and Air Pollution Control. I ed. Vol. I. 2005, Berlin Heidelberg New York: Springer 410.
3. Munoz, R., et aI., Two-phase paliitioning bioreactors for treatment of volatile organic compounds. Biotechnology Advances, 20 :(4)25 .07p. 410-422.
4. Lawrence K. Wang., (2004). Air Pollution Control Engineering,. Ed. HUMAN PRESS Inc, 421-443.
5. Daugulis, AJ., Two-phase partitioning bioreactors: a new technology platform for destroying xenobiotics. Trends in Biotechnology, 2001. 19(11): p. 457-462.

۶. قربانی شهنا فرشید، گلبابایی فریده، حامدی جواد، ۱۳۸۹، بیوراکتور امولسیونی فن آوری نوین در تصفیه زیستی ترکیبات آلی فرار هوا، مجله دانشگاه علوم پزشکی همدان، دوره ۱۷، شماره یک ص ۱۶-۵

۷. کریمی علی، و همکاران. طراحی، ساخت و بهینه سازی بیوراکتور دوفازی تانک همزندار به منظور حذف ترکیبات آلاینده بنزن، تولوئن و گزیلن از جریان هوا، رساله دکتری تخصصی مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه بهداشت حرفه ای دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۳۹۰.

8. Liu PKT, Gregg RL, Sabol HK, Barkley N. Engineered bio-filter for removing organiccontaminants in air. Air Waste Manag Assoc1994; 44: 299-305.
9. Anzai, et al.; Kim, H; Park, JY; Wakabayashi, H; Oyaizu, H (2000, Jul). "Phylogenetic affiliation of the pseudomonads based on 16S rRNA sequence". Int J Syst Evol Microbiol 50(4): 1563–89.
10. Marques S, Ramos JL. (1993) Transcriptional control of the Pseudomonas putida TOL plasmid catabolic pathways. Molecular Microbiology 9(5):923-9.
11. Najafpour, G.D., Biochemical engineering and biotechnology. 2007: Elsevier Science.
12. Otenio MH, Lopez da Silva MT, Oliveira Marques ML, Roseiro JC, Bidoia ED. Benzene, Toluene and Xylene biodegradation by pseudomonas putida CCMI 852. Braz J Microb 2005; 36:258-261.
13. Jorio H, Kiared K,Brzezinski R, Leroux A, Viel G, Heitz ML. Treatment of air polluted with high concentrations of toluene and xylene in a pilot-scale biofilter. J Chem Technol Biotechnol 1998; 73: 183-196.
14. Daugulis, AJ., et aI., Delivery of benzene to Alcaligenes xylosoxidans by solid polymers in a two-phase partitioning bioreactor. Biotechnology Letters, 2003. 25(14):p.1203-1207.
15. Daugulis, AJ. and N.G. Boudreau, Removal and destruction of high concentrations of gaseous toluene in a two-phase partitioning bioreactor by Alcaligenes xylosoxidans. Biotechnology Letters, 2003.25(17): p. 1421-1424.
16. Davidson, C.T. and AJ. Daugulis, Addressing biofiIter limitations: A two-phase partitioning bioreactor process for the treatment of benzene and toluene contaminated gas streams. Biodegradation, 2003. 14(6): p. 415-421.