بررسی راندمان بیوراکتور دو فازی همزن دار به منظور تصفیه بخارات گزیلن از جریان هوا با بستری از سودوموناس پتیدا

فریده گلبابایی[1*] - سید حمیدرضا موسوی[2] - محمد رضا پورمند[3] -حمیدرضا پورآقا شاهنشین[4]
عباس رحیمی فروشانی[5] - روناک بختیاری[6]
fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

مقدمه: ترکیبات آلی فرار نظیر گزیلن که اجزای اصلی تشکیل دهنده مواد در صنایع نفت و پتروشیمی هستند، دارای اثرات جدی بر سلامت بوده و میتوانند موجب تاثیرات سوء بر محیط زیست شوند. ناگفته پیداست باید انتشار این دسته آلاینده‌ها به محیط زیست کنترل شود. یکی از جدیدترین روش‌ها در تصفیه این آلاینده‌ها استفاده از بیوراکتور دوفازی همزن‌دار می‌باشد که علاوه بر راندمان مناسب دارای اثرات جانبی اندکی هستند؛ زیرا آلاینده را به صورت کامل منهدم نموده و به ترکیبات بی خطرتر تبدیل می نماید.

روش کار: در این مطالعه تجربی به منظور تصفیه جریان گاز حاوی بخارات گزیلن از یک بیوراکتور تانک همزن‌دار در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. فاز آبی حاوی باکتری خالص سودوموناس پتیدا بود و مواد مغذی به نسبت ۳ به ۱ وارد بیوراکتور گردید و عملکرد سیستم در محدوده غلظتی $1000 mg/m^3$ تا $3500 mg/m^3$ در ۴۳۲ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته ها: یافته‌های تجربی مطالعه حاضر نشان داد که حداکثر، حداقل و میانگین راندمان حذف بخارات گزیلن توسط بیوراکتور دو فازی همزن‌دار حاوی گونه خالص سودوموناس پتیدا به ترتیب ۹۴/۰۰، ۵۴/۰۰ و ۸۴/۹۴ درصد می‌باشد. همچنین حداکثر، حداقل و میانگین ظرفیت حذف بخارات گزیلن به ترتیب ۹۳/۰۰، ۲۴/۰۰ و ۶۲/۰۲ گرم بر مترمکعب بر ساعت می‌باشد.

نتیجه گیری: به‌طور کلی نتایج مطالعه نشان داد که عملکرد بیوراکتور دو فازی تانک همزن‌دار که حاوی گونه خالص باکتری سودوموناس پتیدا است به منظور تصفیه جریان هوای گاز حاوی بخارات گزیلن موفقیت آمیز می‌باشد.

کلمات کلیدی: *بیوراکتور دو فازی همزن‌دار، گزیلن ، سودوموناس پتیدا، تصفیه زیستی*

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- کارشناس، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۳- دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۴- کارشناس ارشد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۵-دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۶- کارشناس ارشد رشته میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلاتی است که امروزه با توسعه شهرنشینی ، افزایش وسایل نقلیه موتوری و صنعتی شدن ، بسیاری از نقاط جهان را فرا گرفته است و به لحاظ اینکه هوا نقش بسیار مهمی در چرخه حیاتی انسان و محیط زیست ایفا می کند ، توجه بسیاری از دانشمندان و مسوولان مرتبط با سلامتی انسان و محیط زیست را به خود معطوف داشته است (Iovino *et al.,* 2009).

با شتاب گرفتن فعالیت‌های صنعتی و استفاده گسترده از مواد شیمیایی در بسیاری از فرآیندهای صنعتی،انتشار هیدروکربن‌های آروماتیک از جمله گزیلن به محیط زیست افزایش یافته است (Lin *et al.,* 2010). این ماده به دلیل سمیت برای ارگانیسم‌های مختلف، آلاینده زیست محیطی مهمی به‌شمار می‌رود (Anneser *et al.,* 2010, Jo *et al.,* 2008) که به عنوان آلاینده اولویت دار از لحاظ خطرزایی توسط مراجع مختلف مانند آژانس حفاظت از محیط زیست امریکا Environmental Protection Agency (EPA) شناخته شده است (Yeom and Daugulis, 2001; Kahraman and Geckil *et al.,* 2005).

گزیلن به عنوان حلال در صنایع چاپ، لاستیک، رنگ، چرم و تکنولوژی‌های پزشکی استفاده می‌گردد. این ماده همچنین در مقادیر کم در سوخت هواپیما، بنزین و دود سیگار یافت می شود (Yeom *et al.,* 2000) عضو اصلی که در اثر تماس با این ماده آسیب می بیند سیستم اعصاب مرکزی است که با علایمی مثل سردرد، قابلیت تحریک، خستگی، کاهش حافظه و مشکلات خواب همراه است، همچنین اثر هپاتوتوکسیک نیز در کارگران در معرض تماس گزارش شده است ، لذا کنترل این آلاینده در محیط از اولویت‌ها محسوب می گردد (Daugulis, 2001; Takigawa *et al.,* 2004; Van Vleet and Schnellmann, 2003).

روش‌های مرسوم کنترل شیمیایی و فیزیکی این آلاینده‌ها عمدتاً شامل سوزاندن، اکسیداسیون حرارتی و کاتالیستی، جذب سطحی و عمقی و میعان می باشند . این روش‌ها عموماً دارای هزینه‌های بالا بوده و برخی از آنها در حین فرآیند تصفیه آلاینده اصلی، آلاینده‌های ثانویه و خطرناک تولید می کنند (Yeom *et al.,* 2000; Shareefdeen and Singh, 2005; Choi and Oh, 2002; Torkian, 2003). در بین فنآوری‌های موجود در زمینه کنترل آلودگی هوا ناشی از منابع ثابت، سامانه‌های زیستی به دلیل هزینه پایین و عدم تولید آلاینده ثانویه خطرناک، جایگزین مناسبی برای روش‌های فیزیکی و شیمیایی می‌باشند به‌ویژه در زمانی که دبی جریان هوای آلوده زیاد و تراکم آلاینده نسبتا پایین است (Muñoz *et al.,* 2007; Boudreau and Daugulis, 2006; Li and Liu, 2006). تجهیزات تصفیه زیستی آلاینده‌ها که بیورآکتور نامیده می شوند دارای طرح‌های مختلفی هستند که رایج‌ترین آنها بیوفیلترها و صافی‌های چکنده زیستی می‌باشند. این بیورآکتورها علیرغم مزایای مختلفی که دارند، دارای معایبی نظیر عدم کارآیی مناسب برای تراکم‌های بالای آلاینده‌ها و انسداد بستر آنها به علت تجمع توده زیستی میکروارگانیسم‌ها و افزایش افت فشار سیستم هستند (Shareefdeen and Singh, 2005; Boudreau and Daugulis, 2006).

به منظور برطرف نمودن این محدودیت‌ها در بیورآکتورهای مذکور در طی سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی انجام شده است که منجربه معرفی بیورآکتورهای دوفازی مجزا (TPPB) Two Phase Partitioning Bioreactor شده است. در این فناوری، برای جذب آلاینده‌هایی که قابلیت انحلال پایین در فاز آبی دارند از یک فاز آلی استفاده

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

می شود. این فاز آلی پس از جذب آلاینده در اختلاط و تماس با فاز آبی، آلاینده را به مرور تحویل فاز آبی می دهد تا میکروارگانیسم‌ها آلاینده‌ها را در شرایط متعادل از نظر دما و فشار به دی اکسیدکربن، آب و ترکیبات غیرآلی تجزیه کنند (Yeom *et al.,* 2000; Daugulis, 2001; Muñoz, *et al.,* 2007; Boudreau and Daugulis, 2006; Nielsen *et al.,* 2005).

گستره وسیعی از میکروارگانیسم‌ها نظیر گونه‌های Alcaligenes، Acinetobacter، Pseudomonas، Rhodococcus و Nocardia توانایی تجزیه هوازی گزیلن را دارند.در میان این گونه‌ها Pseudomonas و میکروارگانیزم‌های مشابه آن بطور گسترده در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند (Daugulis, 2001; Cao, 2009).

در اکثر مطالعات به منظور حذف بخارات گزیلن از کنسرسیوم باکتریایی استفاده شده است. در مطالعه ای که کریمی و همکاران انجام دادند مشخص گردید که بیوراکتور دوفازی همزن دار با ۱۰ درصد روغن سیلیکون و حاوی کنسرسیوم باکتریایی برای تصفیه جریان گاز حاوی مواد آلی نظیر گزیلن که قابلیت حل شوندگی ضعیفی در آب دارند ابزار کارآمدی است (Karimi *et al.,* 2013). همچنین در مطالعه ای که لیتل جوینز و همکاران انجام دادند از کنسرسیوم باکتریایی در تانک همزن‌دار در تصفیه بخارات گزیلن از هوا استفاده شده است و آنها اظهار داشتند که استفاده از تانک همزن‌دار در مقابل تانک فاقد همزن عملکرد بهتری در تصفیه بخارات گزیلن از جریان هوا دارد (Littlejohns and Daugulis, 2009). در مطالعه قربانی و همکاران مشخص گردید که بیوراکتورهای امولسیونی حاوی کنسرسیوم باکتریایی در تصفیه گزیلن راندمان بالاتری نسبت به بیوفیلتر با بستر چکنده دارد (Shahna *et al.,* 2010).

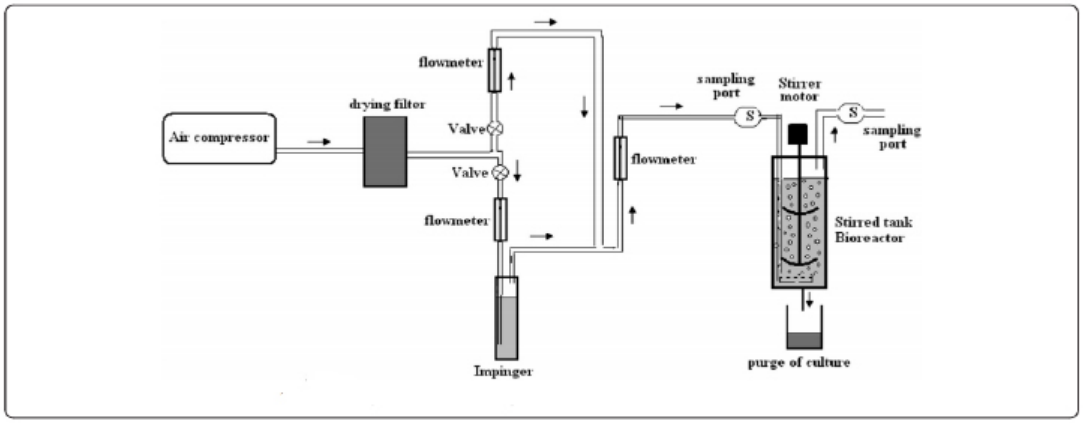
گلبابایی و همکاران استفاده از گونه خالص سودوموناس پتیدا را در تصفیه تولوئن موجب افزایش اثر بخشی و راندمان سیستم بیوراکتور دو فازی همزن‌دار با ۱۰ درصد روغن سیلیکون دانستند (Golbabaei *et al.,* 2010) لذا در این مطالعه قصد داریم با استفاده از گونه خالص سودوموناس پتیدا (Pseudomonas putida) در بیوراکتور دو فازی همزن‌دار، امکان سنجی حذف موثر گزیلن را از جریان هوا مورد مطالعه قرار دهیم.

روش کار

بیوراکتور همزن‌دار

در این مطالعه از بیوراکتور دو فازی همزن‌دار موجود در آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران استفاده شده است. مخزن این بیوراکتور استوانه ای شیشه‌ای به طول ۳۰ و قطر ۱۰ سانتی متر می‌باشد. به منظور جلوگیری از جریا ن‌های گردابی در داخل مخزن از چهار بافل و همچنین جهت اختلاط مناسب در مخزن بیوراکتور از یک موتور همزن دار مجهز به مدار کنترل با حداکثر دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. هوای مورد نیاز پس از فیلتر شدن به وسیله فیلتر هپا و با دبی مشخص به وسیله کمپرسور هوای آکواریومی با میزان دبی ۷۰ لیتر در دقیقه تامین گردید (Golbabaei *et al.,* 2013). غلظت‌های معین از ۱۰۰۰ mg/m^3 تا ۳۵۰۰ mg/m^3 به روش دینامیک با استفاده از شیوه اشباع سازی بخار به وسیله ایمپینجر متخلخل ساخته شد. در این روش قسمتی از هوای ورودی به بیوراکتور با ایجاد یک کنارگذر از جریان اصلی جدا شد و پس از عبور از ایمپینجر حاوی آلاینده هدف و فلومتر ، دوباره

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]



شکل ۱. اجزا و ساختار بیوراکتور دو فازی همزن‌دار مورد استفاده در این مطالعه (Karimi *et al.,* 2013)

وارد جریان اصلی گردید و جریان اصلی نیز پس از عبور از فلومتر و محل نمونه برداری وارد مخزن بیوراکتور شد. کنترل دبی جریان هوای ورودی به بیوراکتور توسط فلومتر با گستره‌های متفاوت از ۰ تا ۵ لیتر در دقیقه صورت گرفت. اجزا و ساختار بیوراکتور دو فازی همزن‌دار مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

مراحل انجام آزمایش

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 می شود که دارای هوادهی مناسب و حاوی مواد مغذی و ریزمغذی و منبع کربنی مورد آزمایش (گزیلن) است. کلیه مواد مغذی اصلی و ریز مغذی مورد استفاده از محصولات شرکت Merck آلمان و از نوع Analytical grade می‌باشند. ترکیب مواد مغذی به شرح زیر است (Golbabaei *et al.,* 2013; Gardin *et al.,* 1999):

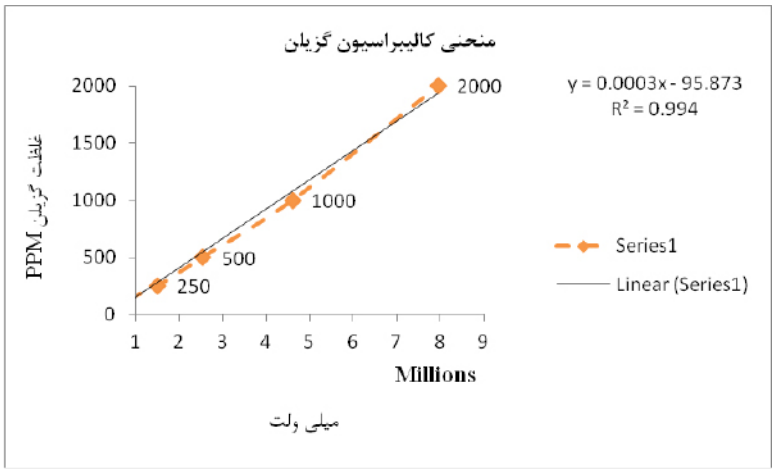
K_2HPO_4:1 g/l, KNO_3:1 g/l, Nacl:1 g/l, $MgSO_4$: 0.2 g/l, KH_2PO_4:1 g/l

ترکیب عناصر ریز مغذی نیز به شرح زیر می‌باشد:

$CaCl_2.2H_2O$:26 mg/l, $FeCl_2.4H_2O$:1.5 mg/l, $CoCl_2.6H_2O$:0.12 mg/l, EDTA $Na_4(H_2O)$2:5.2 mg/l, $MnCl_2.2H_2O$:0.1 mg/l, $ZnCl_2$:0.07 mg/l, H_3BO_3:0.06 mg/l, $NiCl_2.6H_2O$:0.025 mg/l, $CuCl_2.2H_2O$:0.015 mg/l

فاز آبی غنی از باکتر ی‌های تکثیر شده پس از گذشت ۷۲ ساعت وارد تانک اصلی بیوراکتور می شود. در این مرحله تولید Co_2 به عنوان شاخصی از حیات و تکثیر میکروارگانیزم‌ها پایش می‌گردد. ۷۵ % حجم بیوراکتور را با فاز آبی تایید شده از نظر خلوص میکروبی که حاوی نسبت‌های معین مواد مغذی مورد نیاز (حاوی منابع فسفر و نیتروژن) می‌باشد، پر می‌کنند. 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 مطالعات گذشته زمان خوگیری بیوراکتور یک هفته پیش بینی گردید (Najafpour, 2006) سپس آلاینده های مورد نظر در محدوده غلظتی mg/m^3 ۱۰۰۰ تا mg/m^3 ۳۵۰۰ به بیوراکتور وارد شد و به منظور پایش و محاسبه کارایی سیستم از ورودی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]



شکل ۲. منحنی کالیبراسیون غلظت های ۵ تا ۲۰۰۰ PPM گزیلن با استفاده از تزریق گاز به دستگاه گازکروماتوگرافی

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های عملکرد بیوراکتور دو فازی همزن دار در حذف تراکم‌های مختلف گزیلن در ۰/۰۶ m^3/h

هواگذر m^3/h ۰/۰۶	غلظت ورودی mg/m^3	غلظت خروجی mg/m^3	راندمان حذف (٪)	ظرفیت حذف $g/m^3/h$	مقدار بیومس g/L	درصد معدنی شدن کربن(٪)
حداکثر	۳۵۰۲	۱۶۰۸	۹۴	۹۳	۱۰۰	۹۱
حداقل	۹۹۹	۹۰	۵۴	۲۴	۶۰	۶۰
میانگین	۲۲۵۰/۲۵	۳۷۹/۳۶	۸۴/۹۴	۶۲/۰۶	۸۳/۸۶	۸۰/۲۸
انحراف معیار	۸۶۵/۹۵	۴۳۱/۹۳	۱۱/۵۳	۲۱/۱۷	۱۲/۹۶	۹/۵۷

و خروجی بیوراکتور به وسیله سرنگ گازبندی شده‌هامیلتون نمونه گیری انجام گردید و در مرحله بعد به منظور آنالیز و تعیین مقدار، نمونه به دستگاه گازکروماتوگرافی مدل Varian CP 3800- مجهز به دتکتور یونش شعله ای (FID) و ستون capillary با بدنه مسی با ابعاد ۰/۲۵ mm × ۳۰ m تزریق شد. منحنی کالیبراسیون با ساخت تراکم معین گزیلن در محدوده غلظتی ۵ ppm تا ۲۰۰۰ ppm در کیسه نمونه برداری و تزریق آن به دستگاه گازکروماتوگرافی رسم گردید(شکل ۲).

با توجه به معیارهای مورد استفاده در طراحی بیوراکتور و مطالعات قبلی، تمامی آزمایش‌ها در دبی ۰/۰۶ m^3/h انجام پذیرفت (Karimi *et al.*, 2013; Golbabaei *et al.*, 2013). تراکم Co_2 در ورودی و خروجی بیوراکتور به وسیله دستگاه قرائت مستقیم Testo model 535 CO_2 meter اندازه گیری و با استفاده از روابط استکیومتری درصد معدنی شدن کربن آلاینده‌ها محاسبه گردید. همچنین به منظور سنجش مقدار بیومس تولیدی روزانه مقدار ۱۰۰ میلی لیتر فاز آبی از بیوراکتور برداشته شد و به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید (حجم برداشته شده با محلول آبی مواد مغذی و ریز مغذی‌ها و نیز فاز آلی با همان نسبت‌ها جایگزین شد)، سپس توده میکروبی به وسیله ترازوی دقیق(Sartorius مدل CP225) تا ۵ رقم اعشار وزن نمودیم و تغییرات در وزن توده میکروبی به‌عنوان وزن توده باکتری تر در واحد حجم بستر آبی مد نظر قرار گرفت. به این ترتیب هر روز مواد مغذی به میکروارگانیزم‌ها می رسید و ظرف مدت ۱۸

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

روز یک بار کل حجم بیوراکتور تعویض شد.

به مدت هجده روز (۴۳۲ ساعت) عملکرد بیوراکتور برای هر حالت فاز آبی بررسی شد. با توجه به مطالعات گذشته (Golbabaei *et al.*, 2013)، هر ۱۲ ساعت یکبار، آلاینده‌ها در ورودی و خروجی بیوراکتور نمونه گیری گردید و مقادیر راندمان حذف (RE) و ظرفیت حذف (EC) توسط روابط زیر محاسبه شد (Littlejohns, 2009).

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

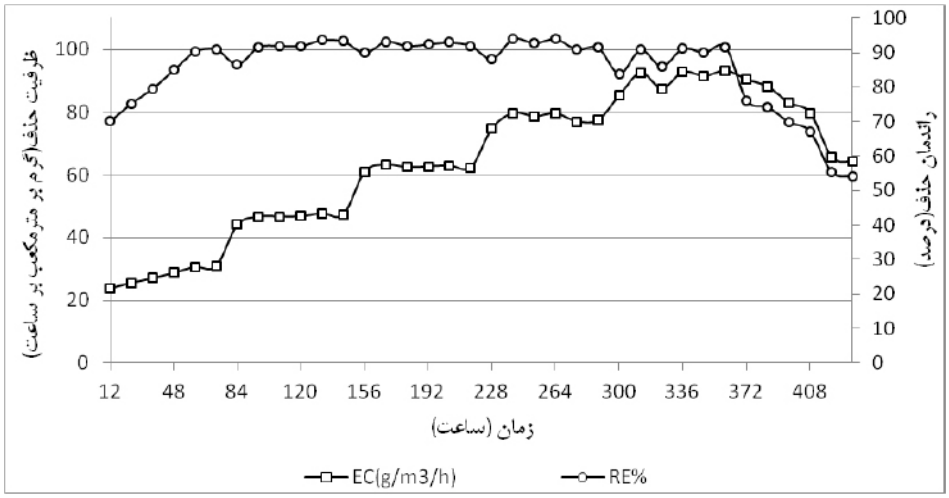
$$EC_{(g/m^3/h)}=\frac{C_{in}-C_{out}}{V}\times Q$$

که C_{in} و C_{out} به ترتیب غلظت ورودی و خروجی بیوراکتور (g/m^3)، V حجم کاری بیوراکتور (m^3) و Q نیز دبی گاز ورودی (m^3/h) می‌باشد.

در این مطالعه حجم اشغال شده بیوراکتور (۷۵%)، تعداد دور در دقیقه شفت گردنده (400rpm)، درصد فاز آلی (۱۰ %)، محدوده دبی مورد آزمایش (m^3/h 0/06) و میزان انتقال اکسیژن (۲۰ %) بر اساس مطالعه قبلی و توصیه طراح ثابت نگاه داشته شد. به‌منظور جلوگیری از سرریز شدن کف سرباره به میزان ۷۵ % حجم کل تانک بیوراکتور از روغن سیلیکون ۱۰ % به عنوان فاز آلی به همراه گونه خالص باکتری سودوموناس پتیدا و مواد مغذی پر شد. در طول مدت آزمایش سیستم از نظر PH و دما پایش شد و مقدار PH در محدوده ۰/۵ ± ۷ و دما در محدوده ۲۴ تا ۲۶ درجه سلسیوس تنظیم گردید. به منظور اطمینان از عدم وجود سایر میکروارگانیسم‌ها 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 نمونه‌های گرفته شده از بستر بیوراکتور در محیط کشت آگار تکثیر و بررسی گردید تا از خالص بودن گونه باکتری اطمینان حاصل گردد (Karimi *et al.*, 2014).

یافته ها

در این پژوهش کارایی حذف گزیلن توسط بیوراکتور دوفازی همزن‌دار محتوی گونه خالص



شکل ۳ : ظرفیت و راندمان حذف بخارات گزیلن توسط بیوراکتور حاوی گونه خالص سودوموناس پتیدا بر حسب زمان

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

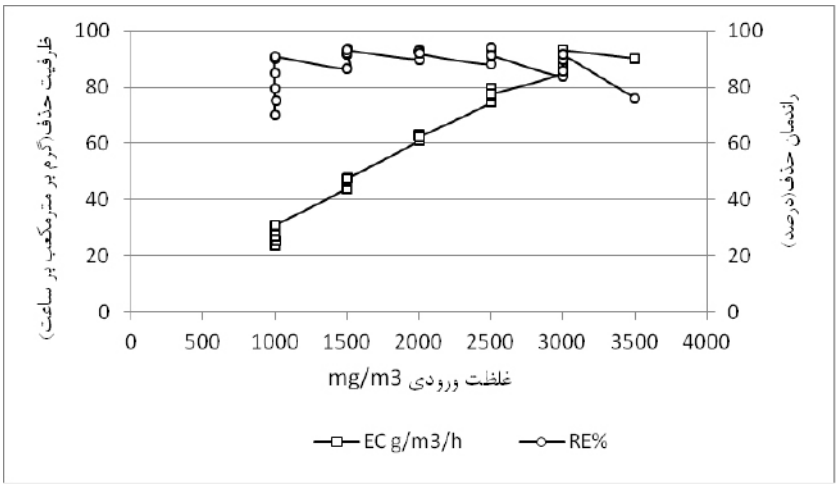
باکتری سودوموناس پتیدا در غلظت‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پارامترهای عملیاتی سیستم نظیر راندمان حذف و ظرفیت حذف بخارات گزیلن در محدوده غلظت ۱۰۰۰ m^3/h تا ۳۵۰۰ mg/m^3 در ۴۳۲ ساعت در حضور روغن سیلیکون ۱۰ درصد به عنوان فاز آلی و دبی ۰/۰۶ m^3/h در جدول ۱ نشان داده شده است. در طول این مدت میانگین راندمان حذف بخارات گزیلن توسط بیوراکتور ۱۱/۵۳±۸۴/۹۴ درصد و میانگین ظرفیت حذف ۲۱/۱۷ ±۶۲/۰۶ $g/m^3/h$ بوده است.

با توجه به شکل ۳ و ۴ نتایج حاصل از تجزیه بیولوژیکی بخارات گزیلن در این مدت زمان نشان می دهد که عملکرد بیوراکتور پس از ۳۶۰ ساعت تا محدوده غلظت ۳۰۰۰ mg/m^3 و با افزایش غلظت ورودی روند افزایشی خود را ادامه می‌دهد. در این غلظت بازده و ظرفیت حذف بیوراکتور به ترتیب ۹۱/۶۶ درصد و ۹۳/۲۲ $g/m^3/h$ می‌باشند. با افزایش غلظت به مقدار ۳۵۰۰ mg/m^3 مقدار ظرفیت و راندمان حذف شروع به کاهش می نماید به گونه‌ای که بعد از ۷۲ ساعت ظرفیت حذف به مقدار $g/m^3/h$ ۶۱/۹۸ و راندمان حذف به ۵۴ درصد تنزل می نماید.

بحث

در بین فن آوری‌های موجود در زمینه کنترل آلودگی هوا روش‌های بیولوژیکی به دلیل اثر بخشی بالا و سازگار بودن با محیط زیست توجه بسیاری از محققان را به سوی خود جلب کرده است (Shareefdeen and Singh, 2005; Jean, 2008). در این مطالعه از گونه خالص سودوموناس پتیدا به عنوان قدیمی‌ترین و یکی از مشهورترین میکروارگانیزم‌های مورد استفاده در تصفیه‌های زیستی استفاده گردید. هدف اصلی مشاهده نحوه عملکرد این گونه خالص باکتریایی در بیوراکتور دوفازی همزن‌دار در تصفیه گزیلن از جریان هوا بوده است.

سویه‌های مختلف Pseudomonas قابلیت خود را در تجزیه گزیلن نشان داده اند. سویه سودوموناس aeruginosa به عنوان یکی از میکروارگانیزم‌های مورد بررسی در مطالعه‌ای توسط Machnicka و همکارانش (Machnicka and Suschka, 2001) و همچنین در مطالعهای سویه‌های مختلف سودوموناس به عنوان بخشی از یک کنسرسیوم میکروبی توسط Littlejohns و همکارانش برای تجزیه زیستی گزیلن



شکل ۴. راندمان و ظرفیت حذف گزیلن توسط بیوراکتور حاوی گونه خالص سودوموناس پتیدا بر حسب غلظت ورودی به سیستم

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

مورد استفاده قرار گرفته است (Jo *et al.,* 2008) ووونه سودوموناس پتیدا در مطالعه‌ای توسط Mar-celo و همکارانش برای تصفیه زیستی هر سه ترکیب بنزن، تولوئن و گزیلن مورد استفاده قرار گرفت (Shim and Yang, 1999) بررسی مطالعات نشان می‌دهد در شرایطی که از کنسرسیوم میکروبی به‌منظور حذف گزیلن به همراه ترکیبات مشابه استفاده شده است، بدون استثناء Pseudomonas putida در آنها حضور غالب داشته و این گونه میکروبی قادر است گزیلن را تجزیه نماید (Guo et al., 2008).

در مطالعه حاضر میانگین راندمان و ظرفیت حذف بخارات گزیلن توسط بیوراکتور دوفازی همزن دار در حضور باکتری سودوموناس پتیدا (Pseudomonas putida) به ترتیب۸۴/۹۴ درصد و ۶۲/۰۶ $g/m^3/h$ بود. در مطالعه قربانی و همکاران، کارایی و اثر بخشی بیوراکتور امولسیونی در تجزیه زیستی بنزن ، تولوئن و گزیلن مورد آزمایش قرار گرفته است . در این مطالعه متوسط راندمان حذف بخارات گزیلن توسط بیوراکتور امولسیونی ۸۸/۲۱ درصد تعیین گردید (Shahna *et al.,* 2009). در مطالعه‌ای که گلبابایی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با عنوان طراحی، ساخت و بهینه سازی بیوراکتور دوفازی همزن دار به منظور حذف بخارات گزیلن از جریان هوا انجام دادند، بیان کردند که استفاده از بیوراکتورهای دوفازی همزن‌دار حاوی کنسرسیوم باکتریایی در حذف بخارات گزیلن از جریان هوای آلوده موفقیت آمیز می‌باشد و بیان کردند که راندمان حذف گزیلن تا محدوده غلظت ۲۷۵۶ $g/m^3/h$ مقدار ۸۲% می‌باشد (Golbabaei *et al.,* 2013). Marek و همکاران تصفیه گزیلن را در یک بیوفیلتر حاوی کنسرسیوم باکتریایی با غلظت‌های بارگذاری ۲۰ تا۱۵۰ میلی گرم بر متر مکعب در مقیاس آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار دادند. راندمان حذف گزیلن در این سیستم ۷۴ درصد گزارش شده است (Marek *et al.,* 1999).در مطالعه Lil و Lio، یک بیوراکتور ترکیبی با بستر فوم‌های مکعبی شکل برای رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌طور مجزا به منظور حذف بخارات گزیلن مورد آزمایش قرار گرفته است. در این مطالعه متوسط ظرفیت حذف بیوراکتور ۶۲ $g/m^3/h$ تعیین گردید (Li and Liu, 2006). گاردین و همکاران تجزیه بیولوژیکی گزیلن را در یک سیستم دوفازی متشکل از ۳۰ درصد روغن سیلیکون مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تعداد دیگری از حلال‌های آلی به عنوان فاز غیر آبی مورد آزمایش قرار گرفتند و در نهایت روغن سیلیکون به عنوان فاز غیرآبی در سیستم دوفازی انتخاب گردید. این بیوراکتور تجزیه را معادل ۶۳ $g/m^3/h$ نشان داد (Gardin *et al.,* 1999). در پژوهشی که توسط Oh و Choi انجام شده است، تاثیر مواد مورد استفاده بستر بیوفیلتر به منظور حذف بخارات متا و پارا گزیلن مورد بررسی قرار گرفته است .در این تحقیق از چهار بیوفیلتر شیشه ای با ابعاد۶×۶۰ cm با بسترهای متفاوت (از جنس کود گیاهی، تراشه پوست درخت، ورمیکولیت و گوی‌های پلاستیکی) استفاده گردید. از بین این چهار بستر استفاده شده، کود گیاهی بیشترین بازده را داشت، به‌طوری که در طی سه هفته، بازده متوسط آن برای متا و پارا گزیلن به ترتیب ۹۵/۳% و ۸۲/۱% بود، در حالی که بازده سه بستر دیگر بین ۱۰/۱ تا ۵۸/۶ درصد بود (Oh and Choi, 2000). در مطالعه ای دیگر توسط Oh و Choi که بر روی بیوفیلتر با بستر کود گیاهی خزه متخلخل برای خذف بخارات ترکیبات BTX

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

انجام داده‌اند، حداکثر ظرفیت حذف بیوراکتور ۳۶/۲ $g/m^3/h$ گزارش شده است (ChoiandOh,2002). در مطالعه Hasnaa و همکارانش با استفاده از کود گیاهی سازگار شده در بیوفیلتر، به حداکثر ظرفیت حذف ۶۶ $g/m^3/h$ برای حذف بخارات گزیلن دست یافته‌اند (Jorio *et al.,* 1998). در مطالعه ای دیگر کارایی دو نوع بیوفیلتر با بستر ثابت و چسبیده برای حذف بخار گزیلن توسط Lio Qiang و همکارانش مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشانگر عملکرد بهتر بیوفیلتر با بستر چکنده بوده و حداکثر حذف آن به ۹۲/۴ $g/m^3/h$ رسیده است (Babajide 2007).

اوتنیو و همکاران از گونه سودوموناس پتیدا برای تجزیه گزیلن استفاده کردند که راندمان حذف گزیلن در مطالعات آن‌ها ۵۰% گزارش شد (Otenio *et al.,* 2005). جورجیو و همکاران نیز از گونه سودوموناس پتیدا برای تجزیه گزیلن استفاده کردند که راندمان حذف گزیلن در مطالعات آن‌ها ۵۲% گزارش شده بود (Jorio *et al.,* 1998).

اختلاف نتایج مطالعات مختلف ممکن است به‌دلیل شرایط متفاوت آزمایشگاهی و شرایط حاکم بر مطالعات نظیر دما باشد. از دلایل بالا بودن راندمان و ظرفیت حذف مطالعه حاضر استفاده از فاز آلی با نسبت مناسب و استفاده از ساختار مناسب بیوراکتور مجهز به همزن می‌باشد که با پره‌های مناسب، اختلاط مناسب و قابل قبولی را ایجاد می‌کنند. از طرفی بستر بیوراکتور نیز با مشکلاتی نظیر افزایش افت فشار و انسداد بستر که سایر سیستم‌های بیولوژیکی معمولا دچار آنها می شوند، روبرو نمی گردد.

تراکم بالای آلاینده مهمترین عامل محدودکننده راندمان و ظرفیت حذف بیوراکتور در حذف بخارات گزیلن می‌باشد زیرا در غلظت‌های بالاتر از مقادیر شکست، بستر میکروبی دچار مسمومیت می گردد (Golbabaei *et al.,* 2013). در این مطالعه به نظر می رسد غلظت mg/m^3 ۳۰۰۰ نقطه شکست سیستم باشد و افزایش غلظت به بیش از این مقدار موجب مسمومیت عامل تجزیه گر آلاینده هدف می شود و راندمان و ظرفیت حذف بیوراکتور روند نزولی را پیش می گیرد.

نتیجه گیری

به‌طور کلی سیستم مورد مطالعه در این طرح راندمان حذف و ظرفیت حذف قابل قبولی را برای بخارات گزیلن نشان داده است. دلیل این موفقیت استفاده از گونه خالص سودوموناس پتیدا ، مخزن مجهز به همزن و بکار بردن ۱۰درصد روغن سیلیکون در بیوراکتور می‌باشد. همزن علاوه بر اختلاط مناسب ، مانع از انسداد بستر و افزایش افت فشار در سیستم می شود که اغلب بیوراکتورهای سنتی با آن مواجهه هستند. همچنین به‌کار بردن ۱۰ درصد روغن سیلیکون علاوه بر پیشگیری از کمبود اکسیژن، مانع از مسمومیت زود هنگام بستر میکروبی می‌شود.

تشکر و قدردانی

از گروه مهندسی بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی از این مطالعه، هم چنین گروه محترم میکروب شناسی به ویژه خانم بختیاری، کارشناس آزمایشگاه میکروب شناسی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران تقدیر و تشکر می نماییم.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

منابع

Anneser B, Pilloni G, Bayer A, Lueders T, Griebler C, Einsiedl F, et al. High Resolution Analysis of Contaminated Aquifer Sediments and Groundwater—What Can be Learned in Terms of Natural Attenuation? Geomicrobiology Journal. 2010 2010/02/26;27(2):130-42.

Babajide AE. Comparison of air-borne xylene biodegradation between immobilized-cell biofilter and biofilm attached biofilter. Journal of Shanghai University (English Edition). 2007;11(5):514-20.

Boudreau NG, Daugulis AJ. Transient performance of two-phase partitioning bioreactors treating a toluene contaminated gas stream. Biotechnology and bioengineering. 2006;94(3):448-57.

Cao B, Nagarajan K, Loh K-C. Biodegradation of aromatic compounds: current status and opportunities for biomolecular approaches. Applied microbiology and biotechnology. 2009;85(2):207-28.

Choi S-C, Oh Y-S. Simultaneous removal of benzene, toluene and xylenes mixture by a constructed microbial consortium during biofiltration. Biotechnology letters. 2002;24(15):1269-75.

Daugulis AJ. Two-phase partitioning bioreactors: a new technology platform for destroying xenobiotics. TRENDS in Biotechnology. 2001;19(11):457-62.

Gardin H, Lebeault J, Pauss A. Biodegradation of xylene and butyl acetate using an aqueous-silicon oil two-phase system. Biodegradation. 1999;10(3):193-200.

Golbabaei F, Karimi A, Neghab M, Pourmand M, Bakhtiari R, Mohammad K. Design, construction and optimization of two phase stirred tank bioreactor for elimination of xylene from airstream. Journal of Health and Safety at Work. 2013;3(2):59-66.

Golbabaei F, Pouragha shahneshin H, Pormand M, Karimi A, Rahimifroshani A. Study on the efficiency of the two phase partitioning stirred tank bioreactor on the toluene filtration from the airstream by Pseudomonas putida via. Modern Rehabilitation. 2013;2(4):31-40.

Guo W, Li D, Tao Y, Gao P, Hu J. Isolation and description of a stable carbazole-degrading microbial consortium consisting of Chryseobacterium sp. NCY and Achromobacter sp. NCW. Current microbiology. 2008;57(3):251-7.

Iovino P, Polverino R, Salvestrini S, Capasso S. Temporal and spatial distribution of BTEX pollutants in the atmosphere of metropolitan areas and neighbouring towns. Environmental monitoring and assessment. 2009;150(1-4):437-44.

Jean J-S, Lee M-K, Wang S-M, Chattopadhyay P, Maity JP. Effects of inorganic nutrient levels on the biodegradation of benzene, toluene, and xylene (BTX) by< i> Pseudomonas</i> spp. in a laboratory porous media sand aquifer model. Bioresource technol-

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

degradation. 2006;58(2):60-4.

Lin C-W, Chen L-H, Yet-Pole I, Lai C-Y. Microbial communities and biodegradation in lab-scale BTEX-contaminated groundwater remediation using an oxygen-releasing reactive barrier. Bioprocess and biosystems engineering. 2010;33(3):383-91.

LITTLEJOHNS J. The Treatment of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and o-Xylene Using Two-Phase Partitioning Bioscrubbers. 2009.

Littlejohns JV, Daugulis AJ. A two-phase partitioning airlift bioreactor for the treatment of BTEX contaminated gases. Biotechnology and bioengineering. 2009;103(6):1077-86.

Machnicka A, Suschka J. Activity of selected microorganisms and mixture in BTX biodegradation. Polish Journal of Environmental Studies. 2001;10(5):341-6.

Marek J, Paca J, Koutsky B, Gerrard AM. Determination of local elimination capacities and moisturecontents in different biofilters treating toluene and xylene. Biodegradation. 1999;10(5):307-13.

Muñoz R, Villaverde S, Guieysse B, Revah S. Two-phase partitioning bioreactors for treatment of volatile organic compounds. Biotechnology advances. 2007;25(4):410-22.

Najafpour G. Biochemical engineering and biotechnology: Elsevier; 2006.

Nielsen DR, Daugulis AJ, McLellan PJ. Transient performance of a two-phase partitioning bioscrubber treating a benzene-contamogy. 2008;99(16):7807-15.

Jo M-S, Rene ER, Kim S-H, Park H-S. An analysis of synergistic and antagonistic behavior during BTEX removal in batch system using response surface methodology. Journal of hazardous materials. 2008;152(3):1276-84.

Jorio H, Kiared K, Brzezinski R, Leroux A, Viel G, Heitz M. Treatment of air polluted with high concentrations of toluene and xylene in a pilot-scale biofilter. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 1998;73(3):183-96

Kahraman H, Geckil H. Degradation of benzene, toluene and xylene by Pseudomonas aeruginosa engineered with the Vitreoscilla hemoglobin gene. Engineering in life sciences. 2005;5(4):363-368.

Karimi A, Golbabaei F, Neghab M, Pourmand MR, Nikpey A, Mohammad K, et al. Biodegradation of high concentrations of benzene vapors in a two phase partition stirred tank bioreactor. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2013;10(1):1-8.

Karimi, A,Golbabaei, F,Neghab, M,Pourmand, MR,Bakhtiari, R,Mohammad, K. Design, construction and optimization of two phase stirred tank bioreactor for elimination of BTX from airstream. 2014;3(4): 41-50.

Li L, Liu J. Removal of xylene from off-gas using a bioreactor containing bacteria and fungi. International biodeterioration & bio-

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

fibrous-bed bioreactor. Journal of biotechnology. 1999;67(2):99-112.

Takigawa T, Horike T, Ohashi Y, Kataoka H, Wang DH, Kira S. Were volatile organic compounds the inducing factors for subjective symptoms of employees working in newly constructed hospitals? Environmental toxicology. 2004 Aug;19(4):280-90. PubMed PMID: 15269897. Epub 2004/07/23. eng.

Torkian A, Dehghanzadeh R, Hakimjavadi M. Biodegradation of aromatic hydrocarbons in a compost biofilter. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2003;78(7):795-801.

Van Vleet TR, Schnellmann RG. Toxic nephropathy: environmental chemicals. Seminars in nephrology. 2003 Sep;23(5):500-8.

Yeom S-H, Dalm MC, Daugulis AJ. Treatment of high-concentration gaseous benzene streams using a novel bioreactor system. Biotechnology letters. 2000;22(22):1747-51.

Yeom SH, Daugulis AJ. Development of a novel bioreactor system for treatment of gaseous benzene. Biotechnology and bioengineering. 2001;72(2):156-65.

inated gas stream. Environmental science & technology. 2005;39(22):8971-7.

Oh Y-S, Choi S-C. Selection of suitable packing material for biofiltration of toluene, m-and p-xylene vapors. JOURNAL OF MICROBIOLOGY-SEOUL-. 2000;38(1):31-5.

Otenio MH, Silva MTLd, Marques MLO, Roseiro JC, Bidoia ED. Benzene, toluene and xylene biodegradation by Pseudomonas putida CCMI 852. Brazilian Journal of Microbiology. 2005;36(3):258-61.

Shahna FG, Golbabaei F, Hamedi J. Bioactive Foamed Emulsion Reactor: A New Technology for Biotreatment of Airborne Volatile Organic Compound.2010;. in Persian

Shahna FG, Golbabaei F, Hamedi J. deesign of BFER and optimization of the operation parameters for biotreatment of BTX contaminated air. 2009.

Shareefdeen Z, Singh A. Biotechnology for odor and air pollution control: Springer; 2005.

Shim H, Yang S-T. Biodegradation of benzene, toluene, ethylbenzene, and o-xylene by a coculture of Pseudomonas putida and Pseudomonas fluorescens immobilized in a

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]

Evaluating the efficiency of two phase partitioning stirred tank bio-reactor for treating xylene vapors from the airstreamthrough a bed of Pseudomonas Putida

F. Golbabaei [*1]; S. H. R. Mousavi[2]; M. R. Pourmand[3]; H. R. Pour Agha Shahneshin[4]; A Rahimi Foroushani[3]; R. Bakhtiari[3]

[1]Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[2]BS.c of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[3]Associate Prof Department of Microbiology, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[4]MS.c of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[5]Associate Professor Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[6]Msc Department of Microbiology, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Volatile organic compounds such as xylene, which are the main constituents of the oil and petrochemical industries, have serious impacts on health and can cause adverse effects on the environment. It is clear that release of these compounds into the environment should be controlled. The two-phases partitioning stirred tank bio-reactor is one of the newest methods for treating these compounds which have few side-effects besides of having appropriate efficiency; since itdestroyscontaminant completely and transform it tosafer compounds.

Material and Method: In this study, a two phase partitioning stirred tank bio-reactor, in lab scale, was used for treating the gas stream containing xylene vapors. The aqueous phase containing the bacteria Pseudomonas putida and nutrients inserted into the bioreactor with 3:1 ratio and system performance was evaluated for 432 hours in the concentration range of 1000 mg/m3 to 3500 mg/m^3

Result: Empirical findings of this study showed that the maximum, minimum and average of removal of xylene vapors by stirred two phase bioreactor containing a pure strain of Pseudomonas putida were 94.00, 54.00 and 84.94 percent, respectively.Furthermore, maximum, minimum and average of elimination capacity of xylene were obtained 93.00,24.00 and 62.02 g/m3/h, respectively

Conclusion: Overall, the results of the present research revealed that the application of two phase stirred tank bioreactors (TPPBs) containing pure strains of Pseudomonas putida was successful for treatment of air streams with xylene.

Key words: *Two phase stirred tank bioreactor, Xylene, Pseudomonas putida, Biotreatment*

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

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-12]