

Biotreatment of air containing triethylamine (TEA) vapor in biotrickling filter

A. Safari Variani*

A.Nikpay*

M.Ghalenoie**

A.Kohpaiee***

*Associate Professor of Occupational Health, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

**Instructor of Occupational Health, School of Health, Qazvin University of medical science, Qazvin, Iran

***Assistant Professor of Occupational Health, School of Health, Qom University of medical science, Qom, Iran

*Abstract

Background: Treatment of waste air containing volatile organic compounds (VOCs) using cheap and environmentally friendly methods is one of active fields in air pollution control.

Objective: The aim of this study was to treat air containing triethylamine (TEA) vapor using biotrickling filter inoculated with microbial species decomposing TEA.

Methods: This experimental study was conducted in the School of Health affiliated to Qazvin University of Medical Sciences in 2014. Biotreatment was performed with biotrickling filter inoculated with microbial species decomposing TEA for two months. The biotrickling filter was set up with air containing TEA as the sole source of carbon, at Empty Bed Residence Times (EBRT) of 36 sec, and inlet concentration of 84 ppm. Data were analyzed using descriptive statistics.

Findings: Treatment of TEA contaminated air was made after an adaptation period of 11 days. Despite an increase in mass loading to 111 g/m³/h, TEA was eliminated with 109 g/m³/h capacity and 94-100% removal efficiency by zero order kinetics. Elimination capacity and removal efficiency were close to each other and confirmed 109 g/m³/h as loading region with critical elimination capacity.

Conclusion: With regards to the results, it is possible to treat air containing TEA vapor in biotrickling filter.

Keywords: Air pollution, Biotreatment, Biotrickling filter, Triethylamine

Citation: Safari Variani A, Nikpay A, Ghalenoie M, Kohpaiee A. Bio treatment of air containing triethylamine (TEA)vapor in biotrickling filter. J Qazvin Univ Med Sci. 2015; 19 (3): 41-48.

Corresponding Address: Ahmad Nikpay, School of Health, Qazvin university of Medical Sciences, Shahid Bahonar Blvd., Qazvin, Iran

Email: nikpey@gmail.com

Tel: +98-28-22237269

Received: 25 Aug 2014

Accepted: 6 Apr 2015

تصفیه زیستی هوای آلوده به بخار تری اتیل آمین در صافی چکنده

دکتر علیرضا کوهپایی***

مهندس مهران قلعه نوی**

دکتر احمد نیک‌پی*

دکتر علی صفری واریانی*

* دانشیار بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
 ** مربی بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
 *** استادیار بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

آدرس نویسنده مسؤل: قزوین، بلوار شهید باهنر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، دانشکده بهداشت، تلفن ۰۲۸-۲۲۲۳۷۲۶۹

Email: nikpey@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۳

* چکیده

زمینه: تصفیه هوای آلوده به ترکیب‌های آلی در غلظت‌های پایین با روش‌های ارزان و همسو با محیط زیست، از حوزه‌های فعال در زمینه کنترل آلودگی هوا محسوب می‌شود.

هدف: مطالعه با هدف تصفیه هوای آلوده به بخار تری اتیل آمین در صافی چکنده تلقیح شده با گونه‌های میکروبی تجزیه‌گر آن انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. تصفیه زیستی به مدت ۲ ماه در صافی چکنده انجام شد که با مخلوط میکروبی تجزیه‌گر تری اتیل آمین تلقیح شده بود. راه‌اندازی صافی چکنده با استفاده از جریان هوای آلوده به تری اتیل آمین به عنوان تنها منبع کربن و انرژی در زمان ماند ۳۶ ثانیه و غلظت ۸۴ پی‌پی‌ام انجام شد. داده‌ها با روش‌های آماری توصیفی تحلیل شدند.

یافته‌ها: هوای آلوده پس از یک دوره انطباق ۱۱ روزه تصفیه شد. علی‌رغم افزایش بارگذاری جرمی به ۱۱۱ گرم بر متر مکعب در ساعت، حذف با ظرفیت حذف ۱۰۹ گرم بر متر مکعب در ساعت و با کارایی ۱۰۰٪-۹۴ با کینتیک درجه صفر انجام شد. درجه نزدیکی ظرفیت و کارایی حذف به یکدیگر تأییدکننده ناحیه بارگذاری و ظرفیت حذف بحرانی ۱۰۹ گرم بر متر مکعب در ساعت بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها، امکان تصفیه هوای آلوده به بخارهای تری اتیل آمین در صافی چکنده وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، تجزیه زیستی، صافی چکنده، تری اتیل آمین

* مقدمه

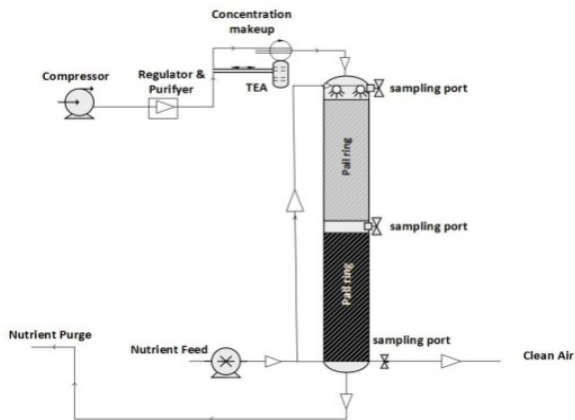
مواجهه شغلی توصیه شده با تری اتیل آمین ۱ پی‌پی‌ام است، این در حالی است که غلظت‌های بیش‌تر از ۶۰ پی‌پی‌ام در هوای تنفسی کارکنان و در خروجی سیستم‌های تهویه در مطالعه‌ها گزارش شده است.^(۱،۵) تری اتیل آمین پس از ورود به اتمسفر بر اثر اکسیداسیون با رادیکال‌های هیدروکسیل در حضور نور خورشید به محصول‌های متعددی تبدیل می‌شود.^(۳) به این ترتیب حفاظت از سلامت نیروی انسانی و محیط زیست ضرورت تصفیه هوای آلوده را پیش از تخلیه به محیط زیست آشکار می‌کند.

تصفیه هوای آلوده به ترکیب‌های آلی در غلظت‌های

کاربرد ترکیب‌های آلی فرار در فرایندهای صنعتی سبب آزادسازی آن‌ها به هوا، خاک و آب می‌شود. اغلب ترکیب‌های آلی فرار نظیر آمین‌ها سمی هستند و انتشار آن‌ها به محیط سبب ایجاد مخاطره بهداشتی و اعتراض‌های اجتماعی می‌شود.^(۱)

تری اتیل آمین در تولید مواد شیمیایی، آفت‌کش‌ها، محصول‌های آرایشی و تسریع‌کننده واکنش در ساخت ماهیچه به روش ریخته‌گری بخار سرد استفاده می‌شود.^(۲) در فرایند ریخته‌گری سرد از ۱/۱ تا ۰/۲ درصد وزنی دی‌متیل‌تری اتیل آمین و به طور عمده تری اتیل آمین، جهت سخت کردن ماهیچه استفاده می‌شود.^(۳-۷) حد

تصفیه زیستی هوای آلوده به بخارهای تری‌اتیل‌آمین در یک دستگاه صافی چکنده به ارتفاع ۱۰۰ و قطر ۹ سانتی‌متر انجام شد که دو بستر ثابت از استوانه‌های ۰/۵ سانتی‌متری پلاستیکی به ارتفاع تقریباً ۲۸ سانتی‌متر، با الگوی جریان همجهت داشت (شکل شماره ۱).



شکل ۱- طرح شماتیک صافی چکنده

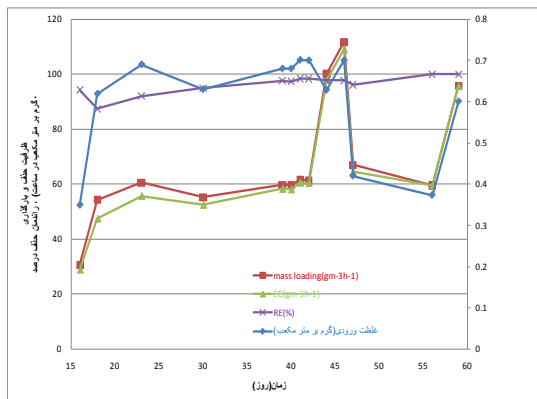
حجم هر بستر تقریباً ۱/۷۸ لیتر و به وزن ۱۴۹ گرم بود که با یک لیتر مخلوط میکروبی تجزیه‌گر تلقیح شده بود. محلول نمک‌های معدنی در مخزنی به حجم ۳ لیتر نگهداری و توسط پمپ اکواریوم در جریان حجمی ۴۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه بر روی بستر زیستی در گردش بود.^(۱۱) روزانه یک لیتر نوترینت تازه توسط پمپ پرستالتیک ابارا (مدل BV-6) به راکتور افزوده و تقریباً همین مقدار نوترینت از مخزن نوترینت خارج می‌شد. هوای مورد نیاز توسط کمپرسور تأمین و پس از تصفیه، با عبور از واحد غلظت‌سازی در جریان و غلظت تعریف شده وارد راکتور می‌شد.^(۱۴و۱۱) اُفت فشار توسط مانومتر دیجیتال و جریان هوای عبوری توسط گازمتر خشک و روتامتر اندازه‌گیری شد. غلظت تری‌اتیل‌آمین در هوا و نوترینت در گردش توسط دستگاه طیف سنج مرئی- ماوراء بنفش (شرکت PG) در طول موج ۲۱۲/۲ نانومتر اندازه‌گیری و غلظت‌سازی و رسم منحنی‌های کالیبراسیون در محدوده مطالعه در کیسه‌های تدارک انجام شد.^(۱۵) روند تولید بیومس در راکتور توسط ترازوی دیجیتال قابل حمل

پی‌پی‌ام، از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی قابل توجیه نیست و این امر به توسعه روش‌های اکسیداسیون زیستی در لایه ثابت (بیوفیلتر و صافی چکنده) یا معلق (بیواسکرابر) منجر شده است.^(۹و۸) سیستم‌های زیستی برای تصفیه آلاینده‌های با قابلیت تجزیه زیستی بالا و با غلظت‌های یک گرم بر متر مکعب هوا کارایی مطلوبی دارند و اثربخشی آن‌ها تابع تجزیه‌پذیری زیستی و حالیت آلاینده در مرحله آبی است.^(۱۰) در میان روش‌های تصفیه زیستی، صافی‌های چکنده به دلیل فراهم کردن شرایط مطلوب جهت تصفیه آلاینده‌های اسیدی، بازی یا آلاینده‌های تولیدکننده متابولیت‌های سمی، بیش‌تر مورد توجه هستند. بر این اساس، مطالعه حاضر به منظور تصفیه هوای آلوده به بخار تری‌اتیل‌آمین در صافی چکنده تلقیح شده با گونه‌های میکروبی تجزیه‌گر آن انجام شد.

* مواد و روش‌ها:

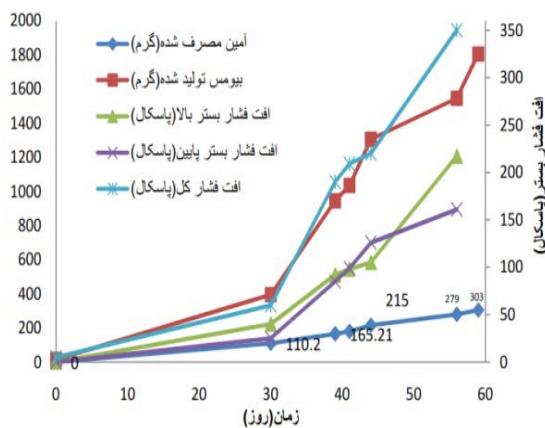
این مطالعه تجربی در بهار سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. لجن میکروبی تصفیه خانه شهر صنعتی البرز به نسبت یک به سه با نوترینت معدنی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تری‌اتیل‌آمین مخلوط شد.^(۱۱) بررسی قابلیت تجزیه زیستی تری‌اتیل‌آمین توسط دستگاه BOD متر از شرکت (آلمان) (WTW) انجام شد. پس از اتمام هر دوره تجزیه، ظروف هوادهی و افزودن تری‌اتیل‌آمین تکرار می‌شد. پس از سه بار تکرار فرایند و تأیید تجزیه زیستی، جداسازی گونه‌های میکروبی با کشت خطی مخلوط میکروبی بر روی محلول نمک‌های معدنی و تری‌اتیل‌آمین جامد شده با آگار، انجام شد.^(۱۲) شناسایی اولیه سویه‌های میکروبی به روش گرم بود.^(۱۳) نرخ تجزیه میکروبی هر یک از گونه‌های میکروبی و همچنین حداکثر غلظت قابل تجزیه توسط هر گونه میکروبی با استفاده از همان دستگاه BOD متر بررسی شد. نمونه‌های میکروبی به صورت دوتایی و نمونه‌های شاهد با افزودن یک درصد وزنی سیانید پتاسیم تهیه شدند.^(۱۲)

نمودار ۱- روند تغییر در شرایط صافی چکنده طی دوره عملیاتی



همزمان با تجزیه زیستی تری اتیل آمین طی دوره عملیاتی، تغییر قابل ملاحظه‌ای در اُفت فشار و وزن صافی چکنده در طی دوره عملیاتی در نمودار ۲ ارایه شده است (نمودار شماره ۲).

نمودار ۲- تغییر در مقدار بیومس و اُفت فشار در مقایسه با آمین مصرف شده



وزن بیومس تر حاصل از تجزیه یک گرم تری اتیل آمین، ۱۱/۹۶ گرم و وزن بیومس خشک حاصل از یک گرم بیومس تر پس از قرارگیری در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد 0.22 ± 0.13 گرم بود.

(WeiHeng) و اندازه‌گیری pH توسط pH متر (CHY 392R) و اندازه‌گیری نیتريت و نیترات براساس روش استاندارد انجام شد.^(۱۰ و ۱۶) عملکرد راکتور توسط شاخص‌های کارایی دفع، ظرفیت حذف، بارگذاری و غیره ارزیابی شد.^(۸) داده‌ها با روش‌های آماری توصیفی تحلیل شدند.

* یافته‌ها:

تجزیه تری اتیل آمین توسط لجن فعال به مرحله انطباقی نیاز نداشت و با هر بار افزودن تری اتیل آمین به محیط کشت، بر نرخ تجزیه افزوده شد. پس از کشت خطی لجن عادت یافته، ۴ کلنی از نوع کوکوباسیل گرم منفی با ویژگی‌های مورفولوژیک مختلف جداسازی شدند که یکی از آن‌ها با دارا بودن بالاترین نرخ تجزیه، جهت تلقیح راکتور و همچنین بررسی تأثیر غلظت بر نرخ تجزیه زیستی انتخاب شد.

تجزیه زیستی تا غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام که متناظر با pH=۹ بود به خوبی انجام شد و در غلظت‌های بالاتر با انحراف‌هایی همراه بود؛ به طوری که در غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام که معادل با pH=۱۰/۸ بود، تجزیه‌ای مشاهده نشد.

صافی چکنده در زمان ماند ۳۶ ثانیه و غلظت ۸۴ پی‌پی‌ام راه‌اندازی شد، ولی عدم توسعه فیلم میکروبی سبب شد تری اتیل آمین در محیط تا غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (COD=2960mg/l) تجمع یابد و pH نوترینت در گردش به حدود ۹/۶ افزایش یافت که با علایم تشکیل کف و لجن شیری حجیم در ظرف نوترینت همراه بود. از این‌رو بدون تغییر در جریان هوا، با کاستن از غلظت تری اتیل آمین از بار ورودی به راکتور کاسته شد.

با توسعه توده میکروبی در سیستم از روز یازدهم به بعد، سیستم در شرایط بارگذاری ۲۵ گرم بر متر مکعب در ساعت قادر به حذف آلاینده با کارایی ۹۹ درصد بود (نمودار شماره ۱).

شاخص عملیاتی $\text{pH}=9$ بود. حداکثر ظرفیت حذف تری‌اتیل‌آمین در بیوفیلتر مورد استفاده در مطالعه تانگ و باهرا ۱۴۰، کشاورزی ۷۲/۲ و میرمحمدی ۴۸ گرم بر متر مکعب در زمان ماند ۱۵۶ ثانیه در صافی چکنده گزارش شده است.^(۱۷۶و۱۷۷) برخی مطالعه‌ها تصفیه هوای حاوی ترکیب‌های با تجزیه زیستی بالا نظیر اتانول متانول، اتانول، پروپانول، اتیل‌استات را تا بارگذاری ۳۰۰ گرم بر متر مکعب بستر در ساعت، با سینتیک درجه صفر گزارش کردند.^(۱۸۹)

عملکرد سیستم‌های کنترل زیستی تابع وجود اکسیژن محلول، سوسترای قابل تجزیه و مواد معدنی در بیوفیلتر است. برای ترکیب‌هایی نظیر تری‌اتیل‌آمین که ضمن دارا بودن تجزیه زیستی آسان از ثابت هانری پایین ($0/000138$) و حلالیت ۵۵ گرم در لیتر برخوردار هستند، انتقال اکسیژن و احتمالاً واکنش‌پذیری، مرحله محدودکننده‌ای محسوب می‌شود و با افزایش بارگذاری، ظرفیت حذف تا جایی افزایش می‌یابد که اثر محدودکنندگی اکسیژن و کاهش در محتوای اجزای معدنی نوترینت سبب محدودیت در تجزیه زیستی شود.^(۱۹) در مطالعه حاضر در غیاب تجزیه زیستی در ابتدای راه‌اندازی صافی چکنده، حلالیت بالا و واکنش‌پذیری عاملی جهت انتقال سریع تری‌اتیل‌آمین از جریان هوا به مرحله محلول آبی و دستیابی به حذف با کارایی بیش از ۸۵ درصد شد. به این ترتیب، زمان ماند تأثیری بر کارایی دفع نداشت و با افزایش سرعت خطی جریان هوا از ۰/۸۷ به ۱/۵۸ متر بر ثانیه، حذف با کارایی بالا انجام شد.

طی این مطالعه با اندازه‌گیری تری‌اتیل‌آمین مصرفی و تغییرات وزن صافی چکنده امکان محاسبه بهره سلولی فراهم شد. تجزیه زیستی مرهون ایجاد توده میکروبی مناسب در بستر است که در این مطالعه در حدود ۲۴۸ کیلوگرم بیومس تر به ازای هر متر مکعب بستر بود. رشد سریع بیومس و گرفتگی بستر به عنوان بزرگ‌ترین مانع در کاربرد عملیاتی صافی‌های چکنده جهت تصفیه

غلظت نیتريت در محلول نمک‌های معدنی در ۱۸ روز اول راه‌اندازی صافی چکنده، حدود ۰/۱۸ میلی‌گرم در لیتر بود که به تدریج به حدود غیرقابل تشخیص رسید. در شرایط ناپیوسته، غلظت نیتريت تا ۰/۲۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت و غلظت نیتترات از حدود ۵ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۰۸۱ میلی‌گرم در لیتر رسید.

*بحث و نتیجه‌گیری:

این مطالعه نشان داد تجزیه زیستی تری‌اتیل‌آمین توسط لجن میکروبی و بدون نیاز به گونه‌های میکروبی خاص و رعایت دوره‌های انطباقی سخت‌گیرانه تا غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ($\text{pH}=9$)، امکان‌پذیر است و می‌توان از pH به عنوان شاخص عملیاتی جهت راهبری سیستم‌های تصفیه زیستی استفاده کرد که تصفیه آلاینده در آن‌ها با تغییر pH توأم است. عدم تجزیه تری‌اتیل‌آمین در غلظت‌های بالاتر احتمالاً ناشی از اثر بازدارندگی سوسترا یا تشکیل ترکیب‌های نامحلول با نمک‌های معدنی است. تری‌اتیل‌آمین برخلاف سایر ترکیب‌های آلی در محیط آبی بدون تغییر نمی‌ماند و با داشتن جفت الکترون‌های غیرپیوندی و تمایل به اشتراک‌گذاری آن با اجزای نوترینت معدنی، ترکیب‌های نمکی نامحلول تشکیل می‌دهد.^(۱۷) در مطالعه حاضر با افزایش غلظت تری‌اتیل‌آمین بر شدت این پدیده افزوده می‌شد؛ به نحوی که غلظت‌های آبی بیش از ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر، با تشکیل و ته‌نشینی لجن شیری رنگ حجیم توأم بود.

در مطالعه حاضر با رشد تدریجی بیوفیلتر در بستر و لوله‌های انتقال نوترینت به تدریج از pH نوترینت در گردش کاسته و از روز یازدهم pH نوترینت در گردش در حدود $7/64 \pm 0/43$ تثبیت شد و غلظت تری‌اتیل‌آمین تا کم‌تر از حد تشخیص روش اندازه‌گیری ۱۰ پی‌پی‌ام کاهش یافت. تانگ و باهرا زمان راه‌اندازی سیستم‌های بیوفیلتر را به ترتیب ۵ و ۸ روز گزارش کردند.^(۱۷۴)

در این مطالعه نزدیکی منحنی‌های ظرفیت و کارایی حذف به یکدیگر مؤید ناحیه بارگذاری و ظرفیت حذف بحرانی ۱۰۹ گرم بر متر مکعب در ساعت با رعایت

ترکیب‌های آلی با بهره سلولی بالا نظیر تری‌اتیل‌آمین محسوب می‌شود که ضرورت به کارگیری سیستم‌های تلفیقی را اجتناب ناپذیر می‌سازد. در خصوص اثر نوع بستر بر کارایی تجزیه، کارچنر معتقد است که برای تصفیه مواد با تجزیه زیستی بالا که نرخ تجزیه محدود به انتقال اکسیژن و سوبستراست، تفاوتی میان نوع بستر وجود ندارد.^(۲۰) در این مطالعه نیز تفاوتی میان دوره راه‌اندازی صافی چکنده با بستر سنگ پا (مطالعه منتشر نشده) و بستر پلاستیکی مشاهده نشد، ولی بهره سلولی بالا، گرفتگی و سایر اشکال‌ها در راهبری سیستم نشان‌دهنده برتری بسترهای پلاستیکی با دانسیته کم و درجه تخلخل بالا بود.

در مطالعه حاضر، مشابهت افت فشار در بسترهای بالایی و پایینی نشان‌دهنده رشد و توزیع یکنواخت توده میکروبی تجزیه‌گر در دو بستر بود که احتمالاً ناشی از ثابت‌هانی تری‌اتیل‌آمین و انتقال یکنواخت سوبسترا به تمامی بخش‌های بیوفیلیم در بسترهای بالا و پایین بود. عملکرد صافی چکنده به دنبال قطع نوترینت یا تری‌اتیل‌آمین در دوره‌های ۲ تا ۳ روزه تغییری نکرد و رنگ روشن بیومس، مؤید ثبات بیوفیلیم میکروبی بود که از ویژگی‌های بیوفیلیم تجزیه‌گر مواد تجزیه‌پذیر محسوب می‌شود.^(۲۱و۱۸و۲)

طی مطالعه، در هوای خروجی صافی چکنده آمونیاک مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تبدیل آمونیاک به یون آمونیوم تابع pH محیط است و در شرایط قلیایی صافی چکنده، سرعت تبدیل آمونیاک به یون آمونیوم و نیتريت و نیترات افزایش می‌یابد.^(۲۲و۱۷)

با توسعه بیومس و ثبات pH، غلظت نیتريت در نوترینت در گردش از حدود ۴ به ۰/۰۴ میلی‌گرم در لیتر و همزمان غلظت نیترات از ۵ به ۲/۷ میلی‌گرم در لیتر رسید. اگرچه تغییرات فوق مؤید حضور گونه‌های میکروبی مؤثر در نیتریفیکاسیون در کنسرسیون میکروبی تجزیه‌گر بود، ولی بخشی از کاهش در مقدار نیترات احتمالاً ناشی از ایجاد ترکیب تری‌اتیل‌آمین با نوترینت معدنی بود؛ به

طوری که با افزایش غلظت تری‌اتیل‌آمین به ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (pH=9.65)، مقدار نیترات در محلول نمک‌های معدنی از ۵/۳۱ به ۳/۹۸ میلی‌گرم رسید. در راکتورهای هوازای تصفیه هوا، دینیتریفیکاسیون محصولات حاصل از تجزیه تری‌اتیل‌آمین توسط باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری تابع اکسیژن ملکولی آزاد و سوبسترای در دسترس است. اگرچه تری‌اتیل‌آمین محلول در نوترینت عامل مثبتی محسوب می‌شود، ولی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری فقط هنگامی از اکسیژن نیترات جهت اکسیداسیون سوبسترا استفاده می‌کنند که اکسیژن آزاد ملکولی در اختیار نباشد. شرایط مذکور در عمق ۰/۱ میلی‌متری از بیومس میکروبی ضخیم فراهم می‌شود.^(۲۳)

اگرچه تجزیه زیستی بالا و ثبات بیومس در شرایط مختلف عملیاتی نشان‌دهنده قابلیت استفاده از صافی چکنده در تصفیه تری‌اتیل‌آمین بود، ولی بهره سلولی بالا به ایجاد گرفتگی و اشکالات عملیاتی متعدد منجر می‌شد. جهت رفع مشکلات عملیاتی استفاده از سیستم‌های بیواسکرابر تلفیق شده با سیستم‌های رشد چسبیده مستغرق ضروری به نظر می‌رسد.

*سپاس‌گزاری:

از شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قزوین جهت تأمین هزینه‌های انجام این طرح تحقیقاتی مصوب تشکر می‌شود.

*مراجع:

1. CDC. NIOSH pocket guide to chemical hazards. NIOSH; 2012.
2. Gandu B, Sandya A, Rao G, Swamy YV. Removal of air containing Tri Ethyl Amine (TEA) using vapor phase biofilter packed with wood chips and rice husk. Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science 2012 Mar; 2 (1): 17-20.

3. Ng N, Chhabra P, Chan A, Surratt J, Kroll J, Kwan A, et al. Effect of NO_x level on secondary organic aerosol (SOA) formation from the photooxidation of terpenes. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2007; 7 (19): 5159-74.
4. Zhang B, Garro M, Chautard D, Tagliano C. Gas evolution from resin-bonded sand cores prepared by various processes. *Metallurgical Science and Technology* 2013; 20 (2): 27-32.
5. Mehrdadi N, Keshvarzi Shirazi H, Azimi AA, Mirmohammadi M. Removal of triethylamine vapor from waste gases by biotrickling filter. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2010; 7 (4): 337-44.
6. Torkian A, Shirazi HK, Azimi A. Effects of operational conditions on the performance of triethylamine biofiltration. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2005; 2 (2): 31-40.
7. Ding Y, Shi JY, Wu WX, Yin J, Chen YX. Trimethylamine (TMA) biofiltration and transformation in biofilters. *J Hazard Mater* 2007 May 8; 143 (1-2): 341-8.
8. Detchanamurthy S, Gostomski PA. Biofiltration for treating VOCs: an overview. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2012; 11 (3): 231-41.
9. Fulazzaky MA, Talaiekhozani A, Ponraj M, Abd Majid MZ, Hadibarata T, Goli A. Biofiltration process as an ideal approach to remove pollutants from polluted air. *Desalination and Water Treatment*. 2014; 52 (19-21): 3600-15.
10. Fortin NY, Deshusses MA. Treatment of methyl tert-butyl ether vapors in biotrickling filters. 1. Reactor startup, steady-state performance, and culture characteristics. *Environ Sci Technol* 1999; 33 (17): 2980-6.
11. Nikpey A, Nikpey M, Kazemian H. Removal of Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) vapour from contaminated air streams using different bacterial cultures in biotrickling filter. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2006; 3 (2): 117-22.
12. Nikpey A, Nikpey M. Isolation and initial characterization of a pure cultures capable to degradation Methyl tert-Butyl Ether (MTBE). *Iranian J Publ Health* 2006; 35 (3): 34-9.
13. Boone DR, Castenholz RW, Garrity GM, Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. 2nd ed. New York: Springer Science & Business Media; 2005. 230-50
14. Nikpey A, Khavanin A, Solemanian A. Design and manufacturing of a dynamic concentration makeup system for gas and chemical vapors. 3rd National Congress on Occupational Hygiene and Safety 2004; Hamadan, Iran: 87-94.
15. Zhang C. *Fundamentals of environmental sampling and analysis*. 1st ed. USA: John Wiley & Sons; 2007. 450-60
16. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20th Edition. United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland.
17. Tang HM, Hwang SJ, Hwang SC. Waste gas treatment in biofilters. *J Air Waste Manag Assoc* 1996; 46 (4): 349-54.
18. Leson G, Winer AM. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions. *J Air Waste Manag Assoc* 1991; 41 (8): 1045-54.
19. Zhu X, Suidan MT, Pruden A, Yang C, Alonso C, Kim BJ, et al. Effect of substrate Henry's constant on biofilter performance. *J Air Waste Manag Assoc* 2004; 54 (4): 409-18.

20. Kirchner K, Hauk G, Rehm HJ. Exhaust gas purification using immobilised monocultures (biocatalysts). *Appl Microbiol Biot* 1987; 26 (6): 579-87.
21. Chang CT, Chen BY, Shiu IS, Jeng FT. Biofiltration of trimethylamine-containing waste gas by entrapped mixed microbial cells. *Chemosphere* 2004 May; 55 (5): 751-6.
22. Liffourrena AS, Lucchesi GI. Degradation of trimethylamine by immobilized cells of *Pseudomonas putida* A (ATCC 12633). *International Biodeterioration & Biodegradation* 2014; 88: 90-2.
23. Gerardi MH. *Wastewater bacteria*. 1st ed. USA: John Wiley & Sons; 2006. 120-50.