

بررسی کارایی فیلترهای زیستی در تصفیه گاز آمونیاک

سعید متصدی زرنندی^۱، محمد رضا مسعودی نژاد^۲، اشرف مظاهری تهرانی^{۳*}، حامد پوری^۴

^۱ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

^۲ مرکز تحقیقات ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

^۴ دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

سابقه و هدف: حذف گاز آمونیاک از هوا به دلیل آسیب‌های شدیدی که این ماده سمی به محیط زیست و موجودات زنده می‌رساند، بسیار حائز اهمیت است. فرایند تصفیه زیستی، یک روش آسان مقرون به صرفه از نظر اقتصادی، ساده و کارآمد و همچنین دوست‌دار محیط زیست برای تصفیه ترکیبات آلاینده از جریان هوا می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارایی صافی زیستی با استفاده از کمپوست و گوش ماهی به عنوان بستر در تصفیه گاز آمونیاک انجام شده است.

روش بررسی: برای حذف گاز آمونیاک با توجه به پژوهش‌های انجام شده، از ستونی به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۴ سانتی‌متر از جنس Plexiglass شفاف که تا ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر با بستر کمپوست و گوش ماهی به نسبت ۴:۱ پر شده بود، استفاده شده است. در این مطالعه، کارایی صافی زیستی در ده گذرحجمی مختلف (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ لیتر بر دقیقه) و ۵ بازه مختلف غلظت (۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰، ۸۰-۱۰۰، ۱۰۰-۱۲۰ جزء در میلیون) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شده است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش گذرحجمی و غلظت گاز آمونیاک به دلیل کاهش جمعیت میکروبی، میزان بازدهی کاهش می‌یابد. بازدهی بین ۸۴/۶٪ تا ۹۸/۲٪ متغیر بوده است. بیشترین بازدهی در بار جرمی ورودی $0.19 \text{ g/(m}^3 \cdot \text{h)}$ ، در بازه غلظتی ۲۰-۴۰ ppm، گذرحجمی یک لیتر بر دقیقه و زمان ماند بستر خالی ۲۴۰ ثانیه بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده فرایند تصفیه زیستی با بستر کمپوست و گوش ماهی برای حذف گاز آمونیاک از هوا کارآمد می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در طراحی و راهبری بهینه سیستم‌های بیولوژیکی کنترل گاز آمونیاک در صنایع مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، آمونیاک، فیلتر زیستی.

مقدمه

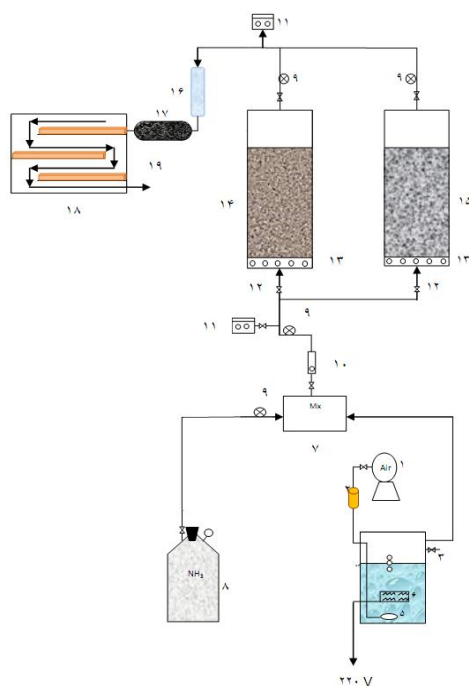
گاز آمونیاک مهم‌ترین ترکیب هیدروژنه ازت است و در طبیعت از تجزیه مواد آلی ازت‌دار به دست می‌آید (۱). آمونیاک (NH_3) در فشار اتمسفر گازی است بی‌رنگ، با بوی تند و نافذ که اشک‌آور و خفه‌کننده و در غلظت‌های ۵۰ ppm به بالا دارای عوارض بیولوژیکی می‌باشد (۲).

انتشار این گاز به عنوان آلاینده خروجی از دودکش‌ها می‌تواند مسائل انسانی و اکولوژیکی چون تحریک گلو، ایجاد

سرفه، علایم شدید تنفسی، ادم ریوی و پنومونی، نیتریفیکاسیون بیولوژیکی و در نهایت مرگ و میر آبزیان را به دنبال داشته باشد (۳). گاز آمونیاک تا غلظت ۴۰۰ ppm باعث تحریک شدید گلو و تا غلظت ۱۷۲۰ ppm سبب سرفه شدید می‌گردد. در غلظت بالاتر از ۲۴۵۰ ppm زندگی و سلامت انسان به شدت به خطر می‌افتد و در غلظت بالاتر از ۴۵۰۰ ppm سبب مرگ انسان می‌شود (۴). بنابراین برای پیشگیری از مشکلات و ایمنی محیط زیست، کنترل این آلاینده ضروری می‌باشد. روش‌های فیزیکی (جذب سطحی و میعان) و شیمیایی (جذب، سوزاندن و اکسیداسیون) مختلفی برای تصفیه گازهای آلاینده

مواد و روشها

واکنشگر: بیوفیلتری (شکل ۱، جدول ۱) به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۴ سانتی‌متر از جنس Plexiglass شفاف و دارای قسمت ورودی و خروجی ساخته شد. ستون تارتناف ۲۶ سانتی‌متر از بیستر پر گردید. محل ورود هوا در قسمت پایین و محل خروجی در بالای ستون قرار دارد. در قسمت تحتانی ستونی نگهدارنده مشبک با سوراخ‌هایی به قطر ۳ میلی‌متر و فاصله ۵ میلی‌متری یکدیگر با آرایش مثلثی به منظور نگهداری بستر و انتقال جریان گاز نصب گردید که باعث پخش بهتر گاز آلوده در سیستم نیز شد. علاوه بر آن از حسگر دما و رطوبت، برای ثبت دما و رطوبت و کنترل آن استفاده شد. برای حفظ درجه حرارت در حد مطلوب از یک المنت حرارتی و برای کنترل رطوبت از مرطوب ساز استفاده شد. به طور کلی در سیستم فوق درجه حرارت و رطوبت با دقت بالایی کنترل گردید. به منظور جلوگیری از افت درجه حرارت به دلیل تبادل حرارتی موجود با هوای محیط، کل ستون بیوفیلتر با استفاده از پشم شیشه به طور کامل پوشانیده و ایزوله گردید. برای اندازه گیری گذر هوا، جریان سنج مخصوص آمونیاک با مقیاس ۰ تا ۱۰ لیتر در دقیقه بر روی ستون پایلوت نصب گردید.



شکل ۱. فلودیگرام پایلوت بیوفیلتراسیون

به کار گرفته می‌شود (۵). روش‌های متداول کنترل گاز آمونیاک شامل روش‌هایی نظیر اسکرابر تر، کندانسیون‌گیره هستند که به طور معمول بر پایه اصول فیزیکی-شیمیایی استوارند (۶). اما این روش‌ها برای جریان‌های گاز آلوده با دبی زیاد و غلظت پایین مقرون به صرفه نمی‌باشد. با توجه به هزینه مواد مصرفی، بهره‌برداری پیچیده و زائدات ثانوی ناشی از این فرآیندها، در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای برای یافتن تکنولوژی‌های مناسب‌تر آغاز گردیده که روش‌های بیولوژیکی در زمره کارآمدترین آن‌ها می‌باشد (۵).

واکنشگر بیولوژیکی با فاز گازی به کمک واکنش‌های متابولیکی میکروبی، تصفیه آلاینده‌های هوا را به خوبی انجام می‌دهد. تصفیه بیولوژیکی گازها هنگامی که حجم هوا زیاد و غلظت آلاینده پایین باشد، بازده بسیار بالایی دارد و از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و راهبری کاملاً اقتصادی است (۷ و ۸). در کنترل بیولوژیکی، طی واکنش‌های اکسیداسیون، ترکیبات گازی به دی اکسید کربن، آب و توده میکروبی تبدیل می‌شوند. آلاینده‌های مورد تصفیه باید قابل تجزیه بیولوژیکی و غیر سمی برای میکروب‌ها باشند (۹). واکنشگرهای بیولوژیکی که برای تصفیه آلاینده‌های گازی به کار می‌روند شامل: بیوفیلترها، بیوفیلترهای چکنده و بیواسکرابرها هستند که از بین آن‌ها بیوفیلترها کارایی بالاتری دارند و متداول‌ترند (۱۰). در سیستم بیوفیلتراسیون انتخاب نوع بستر نقش مهمی در عملکرد سیستم دارد (۱۱). بسترهای بیوفیلتر شامل نسبت‌های متفاوتی از پسماندهای بیولوژیکی (کمپوست، خاک و پیت) و مواد بی اثر (خرده‌های چوب، کربن فعال و پلی استاين) همراه با تلقیح میکروبی هستند که با افزودن محلول بافر برای تنظیم pH و نمک‌های معدنی و عناصر جزئی مورد نیاز رشد میکروبی، محیط برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌گردد (۱۲).

در مطالعات صورت گرفته برای تصفیه بیولوژیکی آمونیاک توسط صافی زیستی طیف وسیعی از مواد آلی و غیر آلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۳). کمپوست دارای توده میکروبی زیاد و متنوع در حدود 10^9 باکتری در هر گرم است و از طرفی دارای مواد مغذی کافی برای حیات میکروارگانیسم‌ها می‌باشد (۱۴). میکروارگانیسم‌های غالب در بیوفیلترهایی که برای تصفیه ترکیبات غیر آلی نظیر NH_3 به کار می‌روند شیمیواتروف هستند یعنی از CO_2 به عنوان منبع کربن استفاده می‌کنند. از نظر دمایی میکروارگانیسم‌های غالب مزوفیل یا ترموفیل هستند (۱۵). در این تحقیق کارایی حذف گاز آمونیاک توسط صافی زیستی با بستر کمپوست و گوش‌ماهی بررسی شده است.

جدول ۱. راهنمای فلودیگرام سیستم بیوفیلتر

۱	کمپرسور هوا	۱۰	فلومتر
۲	فیلتر روغن	۱۱	سنسور دما و رطوبت
۳	ورودی آب	۱۲	ورودی گاز
۴	مرطوب ساز	۱۳	توزیع کننده گاز
۵	توزیع کننده هوا	۱۴	بستر فیلتر زیستی
۶	گرم کن با ترموستات	۱۵	تله سیلیکاژل
۷	مخلوط کننده هوای مرطوب و گاز آمونیاک	۱۶	ستون کربن فعال
۸	راکتور تولید گاز آمونیاک	۱۷	جاذب گاز خروجی
۹	دکتور گاز آمونیاک	۱۸	خروجی هوای پاک

برای اطمینان از عدم خروج گاز آمونیاک و ایجاد مخاطرات آن، جریان گاز خروجی از بیوفیلتر از روی سیلیکاژل عبور داده شد تا رطوبت آن حذف شود و سپس از ستون کربن فعال و یک ته نشین کننده ثقلی (حاوی کلسیمدی هیدروژن فسفات) استفاده شد.

منبع تامین هوا یک کمپرسور با فشار ۶ بار بود و هوا پس از عبور از فیلتر روغن وارد مرطوب ساز می شد. مرطوب ساز برای ایجاد رطوبت و دمای مورد نیاز هوای ورودی در سیستم استفاده میشد، که به گنجایش ۳۰ لیتر از جنس PVC ساخته شده به وسیله یک شناور فلزی متصل به شبکه آب شهر تا اندازه ۵۰ درصد از آب پر گردید. داخل مخزنی که المنت عایق متصل به یک ترموستات نصب گردید که قادر بود دمای آب را بین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد افزایش دهد. در کف مخزنی که سنگ هوا قرار داده شد و جریان ورودی هوا پس از عبور از سنگ هوا، بخار گرم تولیدی را به طرف مخزن اختلاط هدایت می نمود. مرطوب ساز به طور کامل آب بندی می شد و با استفاده از سوئیچ ترموستات دما تنظیم میگردید. با استفاده از مرطوب ساز رطوبت هوا در محدوده ۸۰-۴۰٪ و دما در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد ثابت نگه داشته می شد.

بستر بیوفیلتر: راندمان بیوفیلتراسیون به انتخاب مواد پرکننده فیلتر بستگی دارد. بستر باید افت فشار کم داشته باشد و توانایی لازم برای حفظ رطوبت کافی، pH بهینه و جمعیت میکروبی را داشته باشد. با توجه به اینکه کمپوست دارای انواع مختلفی از جمعیت های میکروبی است و توان خوبی در حفظ آب دارد، لذا در این مطالعه به عنوان بستر بیوفیلتر انتخاب گردید. برای برخورداری بستر از تخلخل کافی در این مطالعه از گوش ماهی با

نسبت ۱ به ۴ استفاده شد. البته به دلیل جنس آهنی گوش ماهی، استفاده از آن باعث جلوگیری از اسیدی شدن بستر و افزایش راندمان نیز میگردد. کمپوست مورد استفاده در این پژوهش از شرکت تولید قارچ صدفی تهیه گردید.

کارکردواکنشگر: در این پژوهش، نمونه های لازم با توجه به متغیرهای در نظر گرفته شده شامل غلظت گاز آلاینده در ۵ حالت (کمتر از ۲۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ جزء در میلیون)، میزان جریان گاز در ۱۰ حالت (۱۰-۱ لیتر بر دقیقه) گرفته شدند. در شروع عملیات فیلترزیستی برای سازگاری میکروارگانیسم ها، آزمایشها با غلظت گاز آمونیاک کمتر و گذر حجمی بیشتر آغاز و سپس کمترین گذر حجمی و بیشترین غلظت انجام شدند و از طرفی با توجه به اینکه زمان رشد میکروبها کوتاهتر از زمان مرگ آنها می باشد (۱۶)، آزمایشها با زمان ماند کمتر آغاز شد.

غلظت آمونیاک ورودی نیز به وسیله شیر سوزنی تنظیم می گردید. غلظت ورودی و خروجی آمونیاک توسط سنسور آمونیاک مدل Gasman ساخت شرکت Crowcon کشور انگلستان با دامنه ppm ۱۰۰-۰ اندازه گیری می شد. پس از طی دوره آدپتاسیون برای هر گذر حجمی و ثابت شدن بازدهی برای غلظت ثابت، اندازه گیری غلظت خروجی آمونیاک برای ۵ حالت غلظت ورودی متفاوت در آن گذر حجمی انجام شد. پس از آن میزان گذر حجمی تا ۱ لیتر بر دقیقه کاهش داده شد و همین روند برای گذر حجمی جدید تکرار گردید تا غلظت ها در همه گذرهای حجمی اندازه گیری شوند.

عملکرد بیوفیلتر در شرایط عملیاتی مختلف: کارایی یک فیلترزیستی بر اساس راندمان وزنی به صورت زیر تعریف میشود:

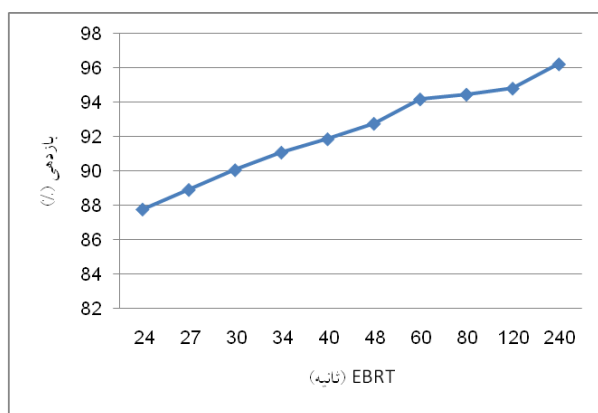
$$RE = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

C_i : غلظت ورودی، C_e : غلظت خروجی.

یافته ها

در ابتدای راه اندازی فیلتر، گاز آمونیاک با غلظت ۲۰-۰ ppm و گذر حجمی ۱۰ lit/min وارد شد. مدت زمان سازگاری میکروارگانیسم ها در این پژوهش برابر ۱۰ روز بود. با تغییر گذر حجمی گاز آمونیاک، دوباره سیستم نیازمند به سازش داشت که برای بستر استفاده شده در این تحقیق بین ۵ تا ۷ روز در نظر گرفته شده بود.

دارد. زمان ماند‌های بستر خالی آزمایش شده در این تحقیق بین ۲۴ تا ۲۴۰ ثانیه متغیر است. نمودار ۳ تاثیر زمان ماند بستر خالی بر روی بازدهی را نشان می‌دهد.



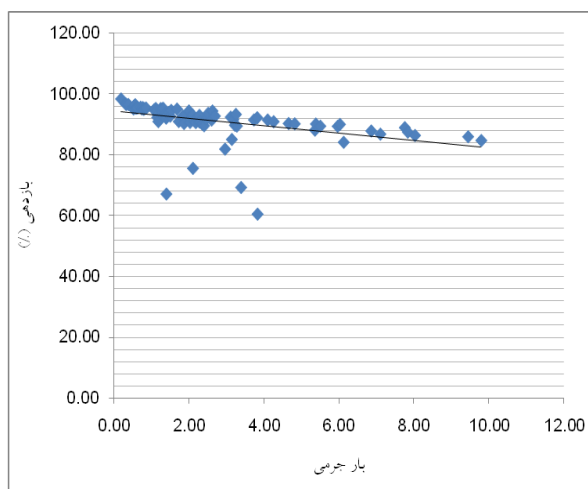
نمودار ۳. تاثیر زمان ماند بستر خالی بر روی بازدهی حذف گاز آمونیاک

تاثیر بار جرمی به ازاء حجم بستربر بازدهی بیوفیلتر بار جرمی ورودی به سیستم به ازای حجم بستریکی از مهمترین و تاثیرگذارترین پارامترهای عملیاتی در طراحی و عملکرد بیوفیلتر است. بار جرمی میزان گاز آلاینده ورودی به سیستم بر واحد حجم بستر بر واحد زمان است که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{بار جرمی} = \frac{Q C_i}{V} \quad (۲)$$

حجم بیوفیلتر: V ، گذر حجمی: Q

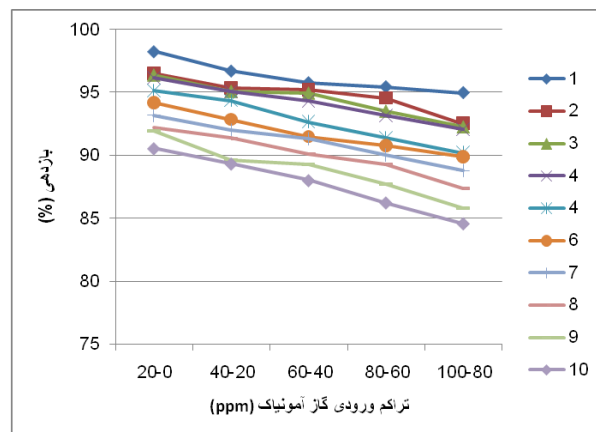
نمودار ۴ نشان دهنده تاثیر بار جرمی بر بازدهی بر حسب زمان است. بیشترین بار جرمی اعمال شده $9/79 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ و کمترین بار جرمی $0/19 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ می‌باشد.



نمودار ۴. تاثیر بار جرمی ورودی بر بازدهی بر حسب زمان در گذر حجمی و غلظت‌های مختلف

تاثیر تراکم گاز آمونیاک بر بازدهی فیلترزیستی

بازدهی معیار مناسبی برای بررسی تاثیرات متغیرهای دیگر می‌باشد. نمودار ۱ نشان دهنده تاثیر تراکم ورودی و خروجی بر بازدهی بستر در طول آزمایش می‌باشد.



نمودار ۱. تغییرات بازدهی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ورودی مختلف

تاثیر گذر حجمی بر کارایی بیوفیلتر

گذر حجمی نقش بسیار تعیین کننده‌ای در کارایی سیستم بیوفیلتراسیون دارد. در نمودار ۲ تاثیر گذر حجمی بر روی بازدهی در هر یک از بازه‌های غلظت ورودیشان داده شده است.



نمودار ۲. تغییرات بازدهی صافی زیستی در گذرهای حجمی مختلف

تاثیر زمان ماند بر بازدهی بیوفیلتر

زمان ماند، نشان دهنده زمان ماندگاری در سیستم است که پارامتر بسیار مهم و تاثیرگذار در میزان کارایی سیستم بیوفیلتراسیون می‌باشد. زمان ماند از تقسیم حجم بستر بر گذر حجمی به دست می‌آید که زمان ماند بستر خالی (EBRT) نام

بحث

بیوفیلتراسیون روشی ساده و کم هزینه برای تصفیه گازهای آلوده در محیط است و آلاینده ثانویه تولید نمی کند. استفاده از این روش به دلیل کارایی بالا و دوست دار محیط زیست بودن در جهان در حال گسترش است.

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۲ با افزایش غلظت ورودی میزان بازدهی کاهش می یابد که با نتایج به دست آمده از تحقیقات تقی پور و همکاران (۱۷)، چن و همکاران (۱۷) و یامینگ فو و همکاران (۱۸) نیز مطابقت دارد.

با توجه به شکل ۳ در بازه غلظتی مشابه با افزایش گذر حجمی بازدهی کاهش می یابد که با نتایج به دست آمده از تحقیق رین و همکاران مطابقت دارد (۱۹). زیرا با افزایش گذر حجمی گاز آمونیاک، جمعیت میکروبی کاهش می یابد (۲۰ و ۲۱). بیشترین بازدهی در بازه غلظت ۲۰-۰ ppm و گذر حجمی یک لیتر بر دقیقه رخ داده که برابر ۹۸/۲٪ بوده است.

با توجه به شکل ۴ با افزایش زمان ماند، بازدهی افزایش پیدا کرده است. مطالعات لیانگو همکاران نشان داد که کاهش زمان ماند تاثیری در میزان بازدهی ندارد که با نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر مغایرت دارد آنها علت به دست آمدن این نتیجه را ناشی از پایین بودن بارجرمی ورودی به سیستم بیوفیلتراسیون می دانستند. بارجرمی ورودی به سیستم بیوفیلتراسیون ۰/۲۰۰-۰/۲۰۰ گرم آمونیاک بر کیلوگرم بستر در روز بوده است (۲۲). در حالی که مطالعات چانگ و همکاران نشان داد که کاهش زمان ماند بر میزان حذف

تاثیرگذار می باشد (۲۰). تحقیق تقی پور و همکاران نیز نشان داد که در صورت کاهش زمان ماند به کمتر از ۳۰ ثانیه میزان بازدهی کاهش می یابد (۱۷) براساس نتایج به دست آمده بهترین زمان ماند برابر ۲۴۰ ثانیه است.

نمودار ۵ نشان می دهد که با کاهش بارجرمی، بازدهی افزایش یافته است که با نتایج به دست آمده در تحقیقات یامینگ فو و همکاران (۱۸) و رین و همکاران (۱۹) مطابقت دارد. بارجرمی زیاد باعث کلوخه شدن توده زیستی در بستر فیلتر و تجمع مواد مضر در سیستم می شود (۲۳).

با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد بیوفیلتر با بستر کمپوست و گوش ماهی برای ایمنی محیط زیست در برابر گاز آمونیاک مناسب و دارای کارایی بالا می باشد. بستر کمپوست و گوش ماهی نسبت به بستر کمپوست در مطالعات مشابه به دلیل تخلخل مناسب کارایی بالاتری در حذف گاز آمونیاک دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل نتایج پایان نامه با عنوان "بررسی مقایسه ای کارایی حذف آمونیاک از هوا توسط بیوفیلترهای با بستر کمپوست متخلخل و خاک فرآوری شده" مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط در دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی می باشد. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به خاطر حمایت مالی این طرح را بر عهده داشت، سپاسگزاری نمایند.

REFERENCES

1. Yost M. Systematic Inorganic Chemistry. New York: Merz Press; 2007.
2. EPA, Control and pollution prevention options for ammonia emissions, Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland. 1995.
3. ATSDR. Toxicological profile for ammonia, Agency for Toxic Substances & Disease Registry. 2004.
4. Park B, Shin W, Chung JS. Simultaneous Biofiltration of H₂S, NH₃ and Toluene using an Inorganic/Polymeric Composite Carrier. Environ. Eng. Res. 2008; 13(1): 19-27.
5. Ho KL, Chung YC, Lin YH, Tseng CP. Biofiltration of trimethylamine, dimethylamine, and methylamine by immobilized Paracoccus sp. CP2 and Arthrobacter sp. CP1. Chemosphere 2008; 72(2): 250-6.
6. Groenestijn JW, Kraakman NJR, Recent development in biological waste gas purification in Europe. Chem. Eng. J. 2005; 113 (2-3): 85-91.
7. Malhautier L, Gracian C, Roux JC, Fanlo JL, Le Cloirec P. Biological treatment process of loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture. Chemosphere. 2003; 50(1):145-53.
8. Devinny J, Deshusses M, Webster T. Biofiltration for Air Pollution Control. Boca Raton, Florida, USA: CRC Lewis; 1999.
9. Rene ER, Murthy DVS, Swaminathan T. Performance Evaluation of a Compost Biofilter Treating Toluene Vapours. Process Biochem. 2005; 40 (8): 2771-9.

10. Vergara-Fernández A, Molina LL, Pulido NA, Aroca G. Effects of Gas Flow Rate, Inlet Concentration and Temperature on the Biofiltration of Toluene Vapors. *J. Environ. Manage.* 2007; 2(84): 115-22.
11. Mcnevin D, Barfoord J. Biofiltration as odor abatement strategy. *Biochem. Eng. J.* 2000; 5(3): 231-42.
12. Ho KL, Chung YC, Lin YH, Tseng CP. Microbial Populations Analysis and Field Application of Biofilter for the Removal of Volatile-Sulfur Compounds from Swine Wastewater Treatment System. *J. Hazard. Mater.* 2008; 152(2): 580-8.
13. Sheridan B, Currant T, Dodd V, Colligan J. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit-pilot-scale study. *Biosystems Eng. J.* 2002; 82 (4): 441-53.
14. Wang Z, Govind R, Bishop DF. Review of Biofiltration Effect of Support Media on Biofilter Performance. *J. Air Waste Manage.* 1996; 46(2): 96-111.
15. Liu PKT, Gregg RL, Sabol HK, Barkley N. Engineered bio-filter for removing organic contaminants in air. *J. Air Waste Manage.* 1994; 44(3): 299-303.
16. Hort C, Gracy S, Platel V, Moynault L. Evaluation of sewage sludge and yard waste compost as a biofilter media for the removal of ammonia and volatile organic sulfur compounds (VOSCs). *Chem. Eng. J.* 2009; 152(1): 44-53.
17. Taghipour H, Shahmansouri MR, Bina B, Movahdian H. Operational parameters in biofiltration of ammonia-contaminated air streams using compost-pieces of hard plastics filter media. *Chem. Eng. J.* 2008; 137(2): 198-204.
18. Fu Y, Shao L, Tong L, Liu H. Ethylene removal evaluation and bacterial community analysis of vermicompost as biofilter material. *J. Hazard. Mater.* 2011; 192(2): 658-66.
19. Chung Y.C, Huang C. Biotreatment of ammonia in Air by on Immobilized Nitrosomonas Europa Biofilter. *Environ. Prog.* 1998; 17(2), 70-5.
20. Shahmansouri MR, Taghipour H, Bina B, Movahdian H. Biological Removal of Ammonia from Contaminated Air Stream Using Biofiltration System. *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.* 2005; 2 (2): 17-25. (Full Text in Persian)
21. Rene ER, Murthy DVS, Waminathan TS. Effect of Flow Rate, Concentration and Transient-State Operations on the Performance of a Biofilter Treating Xylene Vapors. *Water Air Soil Poll.* 2010; 211(1-4): 79-93.
22. Liang Y, Quan X, Chen J, Chung JS, Sung J, Chen S, et al. Long-term results of ammonia removal and transformation by biofiltration. *J. Hazard. Mater.* 2000; 80(1-3): 259-69.
23. Omrani G, Safa M, Ghaphghazy L. Utilization of Biofilter for Ammonia Elimination in Composting Plant. *Pakistan J. Biol. Sci.* 2004; 11(7): 2009-13.