Archive of SID

مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها
دوره ۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۶۳ تا ۶۸

مقاله اصلی
(Original Article)

بررسی کارایی فیلترهای زیستی در تصفیه گاز آمونیاک

سعید متصدی زرندی[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 مصدومیت ها، 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 داخلی۱۴سانتی‌متر از جنس Plexiglass شفاف که تا ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر با بستر کمپوست و گوش ماهی به نسبت ۴: ۱ پرشده بود، استفاده شده است. در این مطالعه، کارایی صافی زیستی در ده گذرحجمی مختلف (۱، ۲ ،۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹و۱۰لیتر بر دقیقه) و ۵ بازه مختلف غلظت (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ 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٪متغیربوده است. بیشترین بازدهی در بار جرمی ورودی $g/(m^3.h)$ ۰/۱۹، در بازه غلظتی ppm ۲۰-۰، گذرحجمی یک لیتر بر دقیقه و زمان ماند بستر خالی ۲۴۰ ثانیه بوده است.*

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده فرآیندتصفیه 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 گازآمونیاک در صنایع مورد استفاده قرارگیرد.

واژگان کلیدی: *آلودگی هوا، آمونیاک، فیلتر زیستی.*

مقدمه

گازآمونیاک مهم‌ترین ترکیب هیدروژنه ازت است و در طبیعت از تجزیه مواد آلی ازت‌داربه‌دست می‌آید(۱).آمونیاک(NH3) در فشار اتمسفر گازی است بی رنگ، با بوی تند و نافذ که اشک‌آور و خفه‌کننده و در غلظت‌هایppm۵۰ به بالا دارای عوارض بیولوژیکی می -باشد(۲).

انتشار این گاز به عنوان آلاینده خروجی از دودکش‌ها می‌تواندمسائل 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 ppm۴۰۰ باعث تحریک شدید گلو و تا غلظت ppm۱۷۲۰ سبب سرفه شدید می‌گردد. در غلظت بالاتر از ppm۲۴۵۰زندگی و سلامت انسان به شدت به خطر می‌افتد و در غلظت بالاتر از ppm۴۵۰۰سبب مرگ انسان می‌شود(۴). بنابراین برای پیشگیری از مشکلات و ایمنی محیط زیست، کنترل این آلاینده ضروری می‌باشد.

روش‌های فیزیکی(جذب‌سطحی و میعان) و شیمیایی(جذب، سوزاندن و اکسیداسیون) مختلفی برای تصفیه گازهای آلاینده

آدرس نویسنده مسئول مکاتبات: Mazaheri@kaums.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

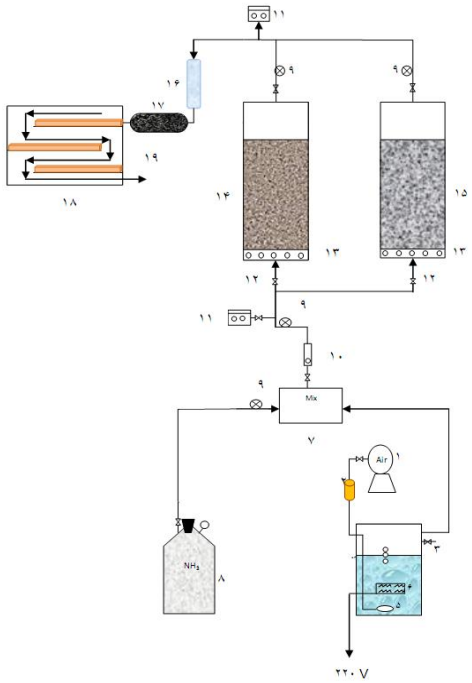
به‌کار گرفته می‌شود(۵).روش‌های متداول کنترل گاز آمونیاک شامل روش‌هایی نظیراسکرابرتر،کندانسیونوغیره هستندکه به طور معمول بر پایه اصول فیزیکی-شیمیائی استوارند(۶).اما این روش‌ها برای جریان‌های گاز آلوده با دبی زیاد و غلظت پایین مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. با توجه به هزینه موادمصرفی، بهره‌برداری پیچیده و زائدات 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(۷و۸). 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 به‌کارمی‌روندشامل: بیوفیلترها، بیوفیلترهای چکنده و بیواسکرابرهاهستندکه از بین آن‌هابیوفیلترها کارایی بالاتری داردومتداول‌ترند(۱۰). درسیستم بیوفیلتراسیون انتخاب نوع بسترنقش مهمی درعملکردسیستم دارد(۱۱). بسترهای بیوفیلترشامل نسبت‌های متفاوتی ازپسماندهای بیولوژیکی(کمپوست، خاک و پیت) ومواد بی اثر (خرده‌های چوب، کربن فعال و پلی استایرن) همراه باتلقیح میکروبی هستندکه باافزودن محلول بافر برای تنظیم pH و نمک‌های معدنی و عناصر جزئی مورد نیاز رشد میکروبی، محیط برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌گردد (۱۲).

درمطالعات صورت گرفته برای تصفیه بیولوژیکی آمونیاک توسط صافی زیستی طیف وسیعی ازموادآلی وغیر آلی مورداستفاده قرار گرفته‌اند (۱۳). کمپوست دارای توده میکروبی زیاد و متنوع در حدود 10^9باکتری در هر گرم است وازطرفی دارای مواد مغذی کافی برای حیات میکروارگانیسم‌هامی‌باشد (۱۴). میکروارگانیسم‌های غالب در بیوفیلترهایی که برای تصفیه ترکیبات غیرآلی نظیر NH_3 به‌کار می‌روند شیمیواتوتروف هستند یعنی از CO_2به 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.

مواد و روشها

واکنشگر: بیوفیلتری(شکل ۱، جدول ۱) به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متروقطر داخلی۱۴سانتی‌مترازجنسPlexiglass شفاف و دارای قسمت ورودی و خروجی ساخته شد. ستون تاارتفاع۲۶ سانتی‌مترازبسترپر گردید. محل ورود هوا در قسمت پایین و محل خروجی در بالای ستون قرار دارد. درقسمت تحتانی ستونی نگهدارنده مشبک باسوراخ‌هایی به قطر ۳ میلی‌متروفاصله۵میلی‌مترازیکدیگرباآرایش مثلثی به منظور نگهداری بستر و انتقال جریان گاز نصب گردیدکه باعث پخش بهتر گاز آلوده در سیستم نیزشد. 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. فلودیاگرام پایلوت بیوفیلتراسیون

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱. راهنمای فلودیاگرام 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	دتکتور گاز آمونیاک	۱۸	خروجی هوای پاک

برای اطمینان از عدم خروج گاز آمونیاک و ایجاد مخاطرات آن، جریان گاز خروجی از بیوفیلتر ازروی 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 می‌شد.مرطوبساز برای ایجاد رطوبت و دمای مورد نیاز هوای ورودی در سیستم استفاده میشد، که به‌گنجایش ۳۰ لیترازجنسPVCساخته شد.به وسیله یک شناورفلزی متصل به شبکه آب شهرتااندازه ۵۰ درصدازآب پرگردید. داخل مخزنی که المنت عایق متصل به یک ترموستات نصب گردیدکه قادربوددمای آب رابین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی گرادافزایش‌دهد.درکف مخزنی که سنگ هواقرارداده‌شد وجریان ورودی هواپس ازعبورازسنگ هوا،بخارگرم تولیدی رابه طرف مخزن اختلاط هدایت می‌نمود.مرطوبساز به طور کامل آب بندی می شد وبا استفاده از سوئیچ ترموستات دما تنظیم میگردید. با استفاده از مرطوب‌سازرطوبت هوا در محدوده ۸۰-۴۰٪ و دما در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گرادثابت نگه داشته می شد.

بستربیوفیلتر: 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 جمعیتهای 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 گوش‌ماهی با نسبت ۱ به ۴ استفاده شد. البته به دلیل جنس آهکی 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، نمونه‌های لازم باتوجه به متغیرهای درنظرگرفته شده شامل غلظت گازآلاینده در۵ حالت (کمتراز ۲۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰، ۱۰۰-۸۰ جزء در میلیون)،میزان جریان گازدر۱۰حالت (۱۰-۱ لیتربردقیقه) گرفته شدند. در شروع عملیات فیلترزیستی برای سازگاری میکروارگانیسم ها، آزمایشها با غلظت گاز آمونیاک کمترو گذرحجمی بیشتر آغاز و سپس کمترین گذرحجمی و بیشترین غلظت انجام شدندو از طرفی با توجه به اینکه زمان رشد میکروبها کوتاهتر از زمان مرگ آنها می‌باشد(۱۶)،آزمایشها با زمان ماند کمتر آغاز شد.

غلظت آمونیاک ورودی نیز به وسیله شیر سوزنی تنظیم می‌گردید. غلظت ورودی و خروجی آمونیاک توسط سنسور آمونیاک مدلGasman ساخت شرکت Crowcon کشور انگلستان با دامنهppm ۱۰۰-۰اندازه گیری می‌شد. پس از طی دوره آداپتاسیون برای هر گذرحجمی و ثابت شدن بازدهی برای غلظت ثابت، اندازه گیری غلظت خروجی آمونیاک برای ۵ حالت غلظت ورودی متفاوت در آن گذرحجمی انجام شد. پس از آن میزان گذرحجمی تا ۱ لیتر بر دقیقه کاهش داده شد و همین روند برای گذرحجمی جدید تکرار گردید تا غلظت‌ها 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.

یافته‌ها

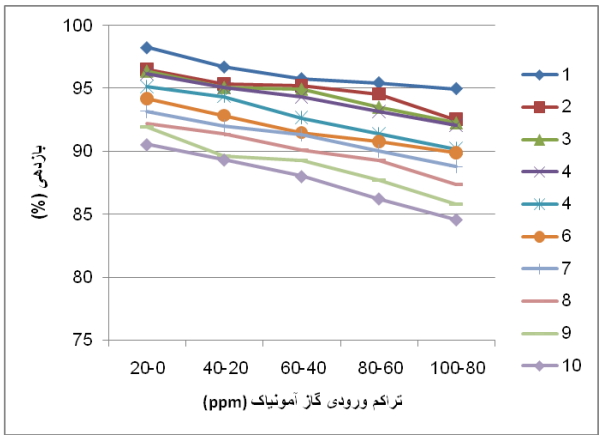
در ابتدای راه اندازی فیلتر، گاز آمونیاک با غلظت ppm ۲۰-۰ و گذرحجمی ۱۰lit/minوارد شد. مدت زمان سازگاری میکروارگانیسم‌ها در این پژوهش برابر ۱۰ روز بود.با تغییر گذرحجمی گازآمونیاک، دوباره سیستم نیازمند به سازش داشت که برای بستر استفاده شده در این تحقیق بین ۵ تا ۷ روز در نظرگرفته شده بود.

www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر تراکم گاز آمونیاک بر بازدهی فیلترزیستی

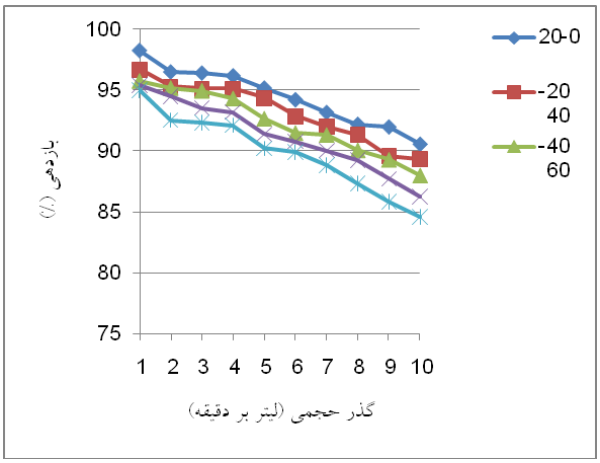
بازدهی معیار مناسبی برای بررسی تاثیرات متغیرهای دیگر می‌باشد. نمودار ۱ نشان دهنده تاثیر تراکم ورودی و خروجی بر بازدهی بستر در طول آزمایش میباشد.



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

تاثیر گذرحجمی بر کارایی بیوفیلتر

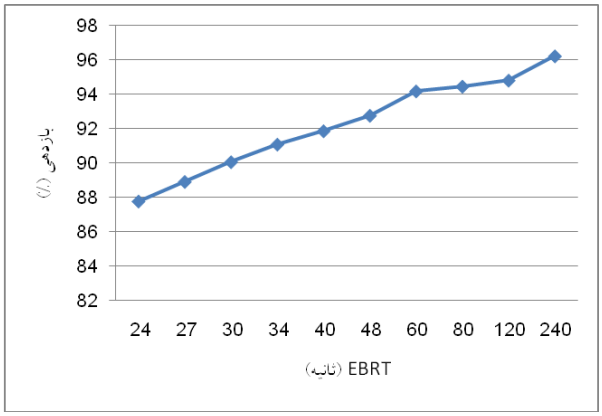
گذرحجمی نقش بسیار تعیین کننده‌ای در کارایی سیستم بیوفیلتراسیون دارد. در نمودار ۲ تاثیر گذرحجمی برروی بازدهی در هر یک از بازه‌های غلظت ورودینشان داده شده است.



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 گذرحجمی به‌دست می‌آید که زمان ماند بستر خالی(EBRT) نام دارد. زمان ماندهای بستر خالی آزمایش شده در این تحقیق بین ۲۴ تا ۲۴۰ ثانیه متغیر است. نمودار ۳ تاثیر زمان ماند بستر خالی برروی بازدهی را نشان می‌دهد.



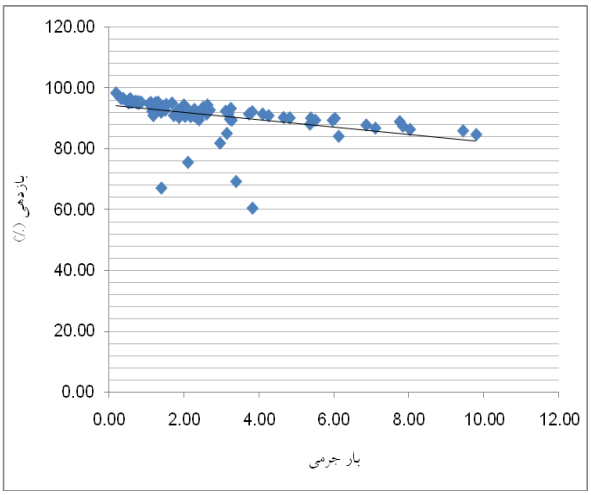
نمودار ۳. تاثیر زمان ماند بستر خالی برروی بازدهی حذف گازآمونیاک

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

$$\text{بارجرمی} = \frac{QCi}{V} \quad (۲)$$

حجم بیوفیلتر: V، گذرحجمی: Q

نمودار ۴ نشان دهنده تاثیر بار جرمی بر بازدهی بر حسب زمان است. بیشترین بار جرمی‌اعمال شده ۹/۷۹ $g/(m^3.h)$ و کمترین بار جرمی ۰/۱۹ $g/(m^3.h)$ می‌باشد.



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

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

بیوفیلتراسیون روشی ساده و کم هزینه برای تصفیه گازهای آلوده در محیط است وآلاینده ثانویه تولید نمی‌کند. استفاده ازاین 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 ۲با افزایش غلظت ورودی میزان بازدهی کاهش می‌یابد که با نتایج به‌دست 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 گذرحجمی بازدهی کاهش می‌یابد که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق رین و همکاران مطابقت دارد(۱۹). زیرا با افزایش گذرحجمی گاز آمونیاک، جمعیت میکروبی کاهش می‌یابد (۲۰و۲۱). بیشترین بازدهی در بازه غلظتppm ۲۰-۰ و گذرحجمی یک لیتر بر دقیقه رخ داده که برابر ۹۸/۲٪ بوده است.

با توجه به شکل۴با 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 بارجرمی‌ورودی به سیستم بیوفیلتراسیون می‌دانستند.بارجرمی‌ورودی به سیستم بیوفیلتراسیون۰/۰۲۰۸-۰/۰۲۰۰گرم آمونیاک برکیلوگرم بستردرروزبوده است (۲۲). در حالی که مطالعات چانگ و همکاران نشان داد که کاهش زمان ماند بر میزان حذف تاثیرگذار می‌باشد(۲۰).تحقیق تقی پور و همکاران نیز نشان داد که در صورت کاهش زمان ماند به کمتر از ۳۰ ثانیه میزان بازدهی کاهش می‌یابد(۱۷)براساس نتایج به‌دست‌آمده بهترین زمان ماند برابر ۲۴۰ ثانیه است.

نمودار ۵ نشان میدهد 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 می‌شود (۲۳).

با توجه به نتایج به دست آمده،کاربرد بیوفیلتر با بستر کمپوست و گوش‌ماهی برای ایمنی محیط زیست در برابر گاز آمونیاک مناسب و دارای کارایی بالا می‌باشد. بستر کمپوست و گوش‌ماهی 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 مقایسه‌ای 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 میباشد. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند 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 gaspurification 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.

www.SID.ir

Archive of SID

10. Vergara-Fernández A, Molina LL, Pulido NA, ArocaG..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-apilot-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, Shahmansoury 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 NitrosomonasEuropeaBiofilter. Environ. Prog. 1998; 17(2), 70-5.

20. Shahmansouri MR, Taghipour H, Bina B, Movahedian 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 inComposting Plant. Pakistan J. Biol. Sci. 2004; 11(7):2009-13.

www.SID.ir