



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”

مهندسی شیمی - مهندسی محیط زیست

عنوان :

مدل سازی و شبیه سازی فیلتر بیولوژیکی برای حذف آلاینده های آلی

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

۱	چکیده
۲	فصل اول: آلودگی هوا و روشهای تصفیه آن
۳	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- ترکیبات آلی فرار (VOCs)
۵	۳-۱- روشهای تصفیه هوای آلوده
۵	۱-۳-۱- روشهای فیزیکی
۶	۲-۳-۱- روشهای شیمیایی
۷	۳-۳-۱- روشهای بیولوژیکی
۱۱	۴-۱- مقایسه روشهای تصفیه هوای آلوده
۱۵	فصل دوم: بیوفیلتراسیون
۱۶	۱-۲- مقدمه
۱۶	۲-۲- تاریخچه بیوفیلتراسیون
۱۷	۳-۲- تعریف بیوفیلتراسیون
۱۸	۴-۲- تئوری بیوفیلتراسیون
۲۰	۵-۲- مکانیسم بیوفیلتراسیون
۲۲	۶-۲- عوامل مهم در فرایند بیوفیلتراسیون
۲۲	۱-۶-۲- رطوبت
۲۴	۲-۶-۲- دما
۲۵	۳-۶-۲- اسیدیته (PH)
۲۷	۷-۲- میکروبیولوژی بیوفیلتراسیون
۲۷	۱-۷-۲- میکروارگانیسمها و تلقیح آنها به داخل بستر
۲۹	۸-۲- زمان سازگاری
۲۹	۹-۲- مواد مغذی

۲۹	۱۰-۲- بستر بیوفیلتر
۳۰	۱-۱۰-۲- مواد رایج مورد استفاده به عنوان بستر بیوفیلتر
۳۰	۱-۱-۱۰-۲- کمپوست
۳۰	۲-۱-۱۰-۲- پیت
۳۱	۳-۱-۱۰-۲- خاک
۳۱	۴-۱-۱۰-۲- کربن فعال
۳۱	۵-۱-۱۰-۲- پرلیت
۳۲	۶-۱-۱۰-۲- مواد سنتزی
۳۲	۷-۱-۱۰-۲- مقایسه بسترهای مختلف بیوفیلتر
۳۳	۱۱-۲- سیستم‌های بیوفیلتراسیون
۳۳	۱-۱۱-۲- سیستم باز تک لایه
۳۴	۲-۱۱-۲- سیستم بسته تک لایه
۳۴	۳-۱۱-۲- سیستم بسته چند لایه
۳۴	۴-۱۱-۲- سیستم چند مرحله‌ای
۳۴	۵-۱۱-۲- سیستم مدولار
۳۵	۶-۱۱-۲- سیستم Step feed
۳۵	۱۲-۲- سیستم‌های جانبی مورد نیاز
۳۵	۱-۱۲-۲- فیلتر حذف ذرات
۳۵	۲-۱۲-۲- متعادل کننده غلظت آلاینده ورودی
۳۵	۳-۱۲-۲- تنظیم کننده دمای هوایی ورودی
۳۶	۴-۱۲-۲- مرطوب کننده هوای ورودی
۳۶	۵-۱۲-۲- توزیع کننده هوا
۳۶	۱۳-۲- مواد شیمیایی قابل حذف با بیوفیلتراسیون
۳۷	۱۴-۲- عوامل مؤثر بر طراحی و عملکرد بیوفیلتر

۳۷	۲-۱۴-۱- زمان ماند در ستون خالی از بستر
۳۷	۲-۱۴-۲- بارگذاری سطحی
۳۸	۲-۱۴-۳- بارگذاری جرمی
۳۸	۲-۱۴-۴- ظرفیت حذف
۳۹	۲-۱۴-۵- بازده حذف
۴۰	۲-۱۵- هزینه‌ها و ملاحظات اقتصادی
۴۱	۲-۱۵-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری
۴۳	۲-۱۵-۲- هزینه‌های عملیاتی
۴۳	۲-۱۵-۲-۱- مصرف انرژی
۴۳	۲-۱۵-۲-۲- مصرف آب و دفع زباله
۴۴	۲-۱۵-۲-۳- کنترل و نگهداری
۴۳	۲-۱۵-۲-۴- تعویض محیط
۴۴	۲-۱۶- مروری بر تحقیقات انجام شده
	۲-۱۶-۱- بیوفیلتراسیون سولفید هیدروژن [۱۴]: نمونه‌ای از کاربرد
۴۵	بیوفیلتراسیون به عنوان یک فناوری ساده برای رفع مشکل بوی نامطلوب در یک مرکز صنعتی
۴۶	۲-۱۶-۲- بیوفیلتراسیون استایرن و بوتیل استات [۵۳]: رفع عیب از یک بیوفیلتر طراحی شده
۴۷	۲-۱۶-۳- حذف بو از یک کارخانه تنباکو [۲۶]: استفاده صنعتی از بسترهای جدید
۴۸	۲-۱۷- خلاصه پژوهش‌های انجام شده در مورد بیوفیلتراسیون
۵۰	۲-۱۸- استفاده از تسهیل کننده‌های انتقال جرم در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی هوا ..
۵۳	فصل سوم: مدل‌سازی بیوفیلترها
۵۴	۳-۱- مدل‌سازی فرایند بیوفیلتراسیون
۵۵	۳-۱-۱- مدل بارتن (Barton et al. model)
۵۶	۳-۱-۲- مدل اتنگراف (Ottengraf model)

۶۲	۳-۱-۳ مدل زاروک (Zarook et al. model)
۶۸	۳-۱-۴ مدل شریف دین (Shareefdeen et al. model)
۶۹	۳-۱-۵ مدل شریف دین و بالتیز (Shareefdeen and Baltiz model)
۷۰	۳-۱-۶ مدل دشوس (Deshusses et al. model)
۷۶	۳-۱-۷ مدل دوینی و هوج (Devinny & Hodge model)
۸۰	۳-۱-۸ مدل های تجربی
۸۰	۳-۲-۲ پارامترهای مورد استفاده در مدل سازی بیوفیلتراسیون
۸۰	۳-۲-۱-۱ سطح ویژه
۸۱	۳-۲-۲-۲ تخلخل
۸۱	۳-۲-۳-۳ سطح پوشیده شده توسط بیوفیلم
۸۱	۳-۲-۴-۴ ضخامت بیوفیلم
۸۲	۳-۲-۵-۵ ثابت های سینتیکی
۸۴	۳-۲-۶-۶ ضریب نفوذ ماده آلاینده در بیوفیلم
۸۵	فصل چهارم: مدل سازی ریاضی بیوفیلترها (بررسی مدل دوینی و هوج)
۸۶	۴-۱-۱ مقدمه
۸۶	۴-۲-۲ معادلات کامل دوینی و هوج در حالت گذرا
۸۶	۴-۲-۱-۱ راه حل های ویژه برای کنترل معادلات
۸۸	۴-۲-۲-۲ مدل عددی
۸۸	۴-۲-۳-۳ معادلات دیفرانسیل
۸۹	۴-۲-۴-۴ تقریب تفاضل محدود
۹۲	۴-۲-۵-۵ نماد گذاریهای به کار رفته در برنامه کامپیوتری جهت حل روشهای عددی
۹۴	۴-۲-۶-۶ برنامه کامپیوتری
۹۵	فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری
۹۶	۵-۱-۱ مقدمه

۹۷	۲-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول و دی‌اکسیدکربن برحسب فاصله در بیوفیلتر
۹۹	۳-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول برحسب فاصله در بیوفیلتر
۱۰۱	۴-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول و دی‌اکسیدکربن برحسب فاصله در بیوفیلتر در زمانهای مختلف عملکرد
۱۰۵	۵-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول و دی‌اکسیدکربن برحسب فاصله در بیوفیلتر در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی
۱۱۲	۶-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی
۱۱۶	۷-۵- بررسی تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در بیوفیلترهای با طولهای مختلف
۱۱۸	پیشنهادات
۱۱۹	ضمیمه «الف».
۱۲۴	ضمیمه «ب»
۱۳۳	منابع
۱۴۰	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱: فعل و انفعال ساده شده برای تشکیل آلاینده‌های ثانویه ناشی از پدیده فتوشیمیایی در هو
- جدول ۱-۲: قابلیت تجزیه بیولوژیکی ترکیبات مختلف آلاینده هوا
- جدول ۱-۳: مقایسه روشهای تصفیه گازهای آلوده
- جدول ۱-۲: طبقه‌بندی آلاینده‌ها براساس میزان تجزیه‌پذیری آنها
- جدول ۲-۲: خلاصه‌ای از ویژگیهای مهم مواد رایج بیوفیلترها
- جدول ۲-۳: موارد استفاده بیوفیلتر در صنایع مختلف
- جدول ۲-۴: عوامل عملیاتی در بیوفیلتر
- جدول ۲-۵: مشخصات یک بیوفیلتر برای حذف بو از یک کارخانه تنباکو
- جدول ۲-۶: خلاصه‌ای از پژوهشهای منتشر شده در مورد فرایند بیوفیلتراسیون
- جدول ۱-۳: فهرستی مواد مورد استفاده به عنوان بستر بیوفیلتر و سطح ویژه آنها
- جدول ۱-۴: نمادگذاری‌های به کار رفته در معادلات تحلیلی، روشهای عددی و مدل کامپیوتری فهرست منابع فارسی
- جدول ۱-۵: مقایسه مقادیر غلظت‌های متانول و دی‌اکسیدکربن خروجی و بازده حذف در دو بیوفیلتر با طولهای متفاوت و ماده پرکننده یکسان GAC (در روز بیستم عملکرد)
- جدول ۲-۵: مقایسه مقادیر غلظت متانول خروجی و بازده حذف در دو بیوفیلتر با طولهای متفاوت ماده پرکننده یکسان GAC (در روز بیستم عملکرد)
- جدول ۳-۵: مقایسه مقادیر غلظت‌های متانول و دی‌اکسیدکربن خروجی و بازده حذف در دو بیوفیلتر با طولهای متفاوت و ماده پرکننده یکسان GAC در زمانهای مختلف عملکرد
- جدول ۴-۵: مقایسه مقادیر غلظت‌های متانول و دی‌اکسیدکربن خروجی و بازده حذف در بیوفیلتری به طول $L=90\text{ cm}$ با مواد پرکننده مختلف (در روز بیستم عملکرد)
- جدول ۵-۵: مقایسه مقادیر غلظت‌های متانول خروجی و بازده حذف در بیوفیلتری به طول $L=90\text{ cm}$ با مواد پرکننده مختلف (در زمان رسیدن به حالت پایدار)
- جدول ۶-۵: مقایسه مقادیر غلظت متانول خروجی در بیوفیلترهای با طولهای متفاوت با ماده پرکننده GAC (در روز بیستم عملکرد)
- جدول الف-۱: مشخصات فیزیکی مواد پرکننده بیوفیلتر

فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان

- | | |
|-----|---|
| ۹۸ | نمودار ۵-۱: تغییرات غلظت متانول و CO_2 برحسب فاصله در بیوفیلتر (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۹۸ | نمودار ۵-۲: تغییرات غلظت متانول و CO_2 برحسب فاصله در بیوفیلتر (L=۱۵۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۰ | نمودار ۵-۳: تغییرات غلظت متانول و برحسب فاصله در بیوفیلتر (L=۳۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۰ | نمودار ۵-۴: تغییرات غلظت متانول برحسب فاصله در بیوفیلتر (L=۲۵۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۳ | نمودار ۵-۵: تغییرات غلظت متانول برحسب فاصله در بیوفیلتر در زمانهای مختلف عملکرد (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۳ | نمودار ۵-۶: تغییرات غلظت CO_2 برحسب فاصله در بیوفیلتر در زمانهای مختلف عملکرد (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۴ | نمودار ۵-۷: تغییرات غلظت متانول برحسب فاصله در بیوفیلتر در زمانهای مختلف عملکرد (L=۱۵۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۴ | نمودار ۵-۸: تغییرات غلظت CO_2 برحسب فاصله در بیوفیلتر در زمانهای مختلف عملکرد (L=۱۵۰ cm، ماده پرکننده: GAC و $b=۰.۰۰۳۵$ 1/h) |
| ۱۰۸ | نمودار ۵-۹: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: GAC) |
| ۱۰۸ | نمودار ۵-۱۰: تغییرات غلظت CO_2 برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: GAC) |
| ۱۰۹ | نمودار ۵-۱۱: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: DE/Compost) |
| ۱۰۹ | نمودار ۵-۱۲: تغییرات غلظت CO_2 برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: DE/Compost) |
| ۱۱۰ | نمودار ۵-۱۳: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: Compost) |
| ۱۱۰ | نمودار ۵-۱۴: تغییرات غلظت CO_2 برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی (L=۹۰ cm، ماده پرکننده: Compost) |

- ۱۱۱ نمودار ۵-۱۵: مقایسه تغییرات غلظت متانول برحسب فاصله در بیوفیلتر برای سه ماده پرکننده مختلف ($L=90\text{ cm}$ و $b>0$)
- ۱۱۱ نمودار ۵-۱۶: مقایسه تغییرات غلظت CO_2 برحسب فاصله در بیوفیلتر برای سه ماده پرکننده مختلف ($L=90\text{ cm}$ و $b>0$)
- ۱۱۴ نمودار ۵-۱۷: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم ($L=90\text{ cm}$ ، ماده پرکننده: GAC)
- ۱۱۴ نمودار ۵-۱۸: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم ($L=90\text{ cm}$ ، ماده پرکننده: Compost / DE)
- ۱۱۵ نمودار ۵-۱۹: تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد در دو حالت فعال و غیرفعال بودن سیستم ($L=90\text{ cm}$ ، ماده پرکننده: Compost)
- ۱۱۷ نمودار ۵-۲۰: مقایسه تغییرات غلظت متانول برحسب زمان عملکرد برای بیوفیلترهای با طولهای مختلف (ماده پرکننده: GAC و $b=0.0035\text{ 1/h}$)

فهرست شکل‌ها

شماره صفحه	عنوان
۱۱	شکل ۱-۱: تفاوت بیوفیلتراسیون و بیوتریکلینگ فیلتراسیون
۱۳	شکل ۲-۱: A- نمایشی از بیوتریکلینگ فیلتر B- نمایشی از بیواسکرابر
۱۴	شکل ۳-۱: نمایشی از بیوفیلترها
۲۱	شکل ۱-۲: شمایی از بیوفیلیم و پروفیل غلظت آلاینده در بیوفیلیم و فاز گاز
۲۲	شکل ۲-۲: مکانسیم داخلی بیوفیلتر
۴۲	شکل ۳-۲: هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی بیوفیلتراسیون (با تقریب ۲۰٪) بر حسب شدت جریان برای تصفیه ترکیباتی که به آسانی تجزیه می‌شوند
۴۲	شکل ۴-۲: هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی بیوفیلتراسیون (با تقریب ۲۰٪) بر حسب شدت جریان برای تصفیه ترکیباتی که به سختی تجزیه می‌شوند
۴۵	شکل ۵-۲: سیستم هدایت گاز و تصفیه آن در بیوفیلتر یک کارخانه تولید آسفالت اصلاح شده با پلیمر
۴۶	شکل ۶-۲: ظرفیت حذف سولفید هیدروژن در بیوفیلتر در بارگذاری‌های جرمی مختلف
۵۷	شکل ۱-۳: هندسه مورد استفاده توسط اتنگراف برای مدل‌سازی بیوفیلتراسیون
۶۰	شکل ۲-۳: سینتیک‌های مطرح شده توسط اتنگراف برای مدلی که بر اساس غلظت در بیوفیلیم تنظیم شده است.
۶۱	شکل ۳-۳: مراحل و ترتیب روش حل معادلات موجود در مدل اتنگراف
۶۲	شکل ۴-۳: ظرفیت حذف به عنوان تابعی از غلظت ورودی
۶۴	شکل ۵-۳: نمایشی از مدل ارائه شده توسط زاروک
۶۹	شکل ۶-۳: مقایسه داده‌های تجربی (علائم) و پیش‌بینی مدل (خطوط) توسط شریف دین برای حذف متانول در یک بیوفیلتر ($EBRT = 3 \text{ min}$)
۷۰	شکل ۷-۳: موقعیت فیزیکی بیوفیلیم مطرح شده توسط شریف دین و بالتیز
۷۱	شکل ۸-۳: نمایشی از مدل چند لایه‌ای بیوفیلتر که توسط دشوس ارائه شد و برای محاسبات تفاضل محدود استفاده می‌شود.
۷۱	شکل ۹-۳: توصیف شماتیک انتقال ماده آلاینده در بخشهای مختلف یک لایه فرضی بیوفیلتر

- ۷۵ شکل ۳-۱۰: پیش‌بینی مدل دشوس و نیایج تجربی حاصل از تغییر ناگهانی در غلظت ورودی متیل اتیل کتون (MEK) به بیوفیلتر
- ۷۷ شکل ۳-۱۱: مدل بیوفیزیکی بیوفیلتر
- ۸۲ شکل ۳-۱۲: شکل در نظر گرفته شده برای تعیین ثابت‌های سینتیکی واکنش بیولوژیکی در بیوفیلتر
- ۸۳ شکل ۳-۱۳: شمایی از یک بیوفیلتر دیفرانسیلی برای تعیین ثابت‌های سینتیکی
- ۱۲۲ شکل الف-۱: شمایی از سیستم بیوفیلتر جریان پیوسته مورد استفاده برای حذف متانول در مقیاس آزمایشگاهی

چکیده:

امروزه بخشی عمده‌ای از آلودگی هوا ناشی از تبخیر ترکیبات آلی فرار (VOCs) می‌باشد. انتشار این مواد در هوا علاوه بر تولید بو خطراتی برای اکوسیستم و سلامتی انسان‌ها، سالانه مبالغ زیادی هزینه در بردارند. استفاده از فیلترهای بیولوژیکی (بیوفیلترها) یکی از مهمترین روشها برای تصفیه حجم زیادی از هوا با غلظت‌های پایین آلاینده می‌باشد. اساس بیوفیلتراسیون، مصرف و اکسیداسیون (تجزیه بیولوژیکی) ترکیبات آلاینده توسط میکروارگانیسم‌ها و تولید دی‌اکسیدکربن، آب و بیومس است. به دلیل موجود بودن عامل فعال بیولوژیکی که غالباً گونه‌های خاص باگتریایی و تا حدودی قارچها و مخمرها هستند راندمان بیوفیلترها در مقایسه با انواع فیلترهای دیگر که عمل جذب فقط با استفاده از ماده‌ای چون کربن فعال یا بنتونیت صورت می‌گیرد بسیار بالاتر است. از مزایای دیگر بیوفیلترها، پایین بودن هزینه‌ها و راهبری نسبتاً آسان آنهاست. در این تحقیق با حل مدل ریاضی مربوط به یک بیوفیلتر خاص و سپس شبیه‌سازی آن تأثیر عواملی مانند: طول بیوفیلتر، مواد پرکننده فیلتر، فعال و غیرفعال بودن سیستم از لحاظ بیولوژیکی و مدت زمان عملکرد بیوفیلتر بر روی حذف متانول مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در طی راه‌اندازی اولیه یک بیوفیلتر، جذب سطحی آلاینده‌ها توسط مواد تشکیل دهنده فیلتر غالب است ولی بعد از مدتی که این مواد با آلاینده‌ها اشباع شدند، فرایندهای بیولوژیکی برای حذف تسلط می‌یابند و بارگیری آلاینده معادل با تجزیه بیولوژیکی به علاوه تخلیه می‌شود. همچنین بیوفیلترهای حاوی کربن فعال گرانولی ((granular activated carbon (GAC)، کمپوست / خاک دیاتومه و کمپوست به ترتیب به طولانی‌ترین زمان نیاز دارند تا به حالت پایدار برسند و در این مدت زمان، پروفیل‌های گرادیان غلظت تغییری زیادی نمی‌کند. به هر حال (GAC) جاذب بهتری برای آلاینده است، در حالیکه کمپوست محیط بهتری را برای رشد و فعالیت میکروبی فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بیوفیلتر، بیوفیلتراسیون، آلودگی هوا، متانول، حذف، مدل‌سازی، شبیه‌سازی