



دانشکده فنی و مهندسی مکانیک

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی

حذف آلاینده های آلی فرار از هوا به روش بیوفیلتراسیون

استاد راهنما:

دکتر علیقلی نیایی

دکتر سیروس ابراهیمی

استاد مشاور:

دکتر افضل کریمی

پژوهشگر:

بهزاد حیدری قریچه

بهمن ۱۳۹۱

نام خانوادگی: حیدری قریچه	نام: بهزاد
عنوان پایان نامه: حذف آلاینده های آلی فرار از هوا به روش بیوفیلتراسیون	
استاد راهنما: دکتر علیقلی نیائی ، دکتر سیروس ابراهیمی استاد مشاور: دکتر افضل کریمی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی شیمی گرایش: - دانشگاه: تبریز
دانشکده: فنی و مهندسی مکانیک	تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۹۱ تعداد صفحه: ۹۵
کلید واژه ها: ترکیبات آلی فرار، بیوفیلتراسیون ، VOC، حذف بیولوژیکی، بیواسکرابر	
<p>چکیده:</p> <p>روش های مختلفی برای حذف آلاینده های گازهای ناشی از صنایع مختلف ارائه گردیده است. بیوفیلتراسیون یکی از روشهای جدید کنترل آلاینده های گازی است. به کمک این تکنیک می توان حجم وسیع و غلظت پایینی از آلوده کننده های هوا را مورد تصفیه بیولوژیکی قرار داد. این روش در مقایسه با روشهای متداول کنترل آلاینده های هوا بسیار اقتصادی بوده و در صورتی که عملیات به نحو مطلوب انجام شود، کاهش آلاینده ها در بیشتر مواقع بیش از ۹۵ درصد خواهد بود. در این مطالعه راندمان نوعی از بیواسکرابرها در حذف تولوئن با غلظت پایین بررسی شده است. پس از ساخت پایلوت مورد نیاز در آزمایشگاه فرآیندهای شیمیایی دانشگاه تبریز، سیستم مورد مطالعه قرار گرفت و آزمایشات روی چند غلظت ۵، ۱۰ و ۲۰، ۱۵ mg/L، و دبی های ۲۵ mL/s و ۱۲/۵ هوای آلوده ی ورودی انجام گرفت و نتایج ثبت شده است. بازده سیستم بر اساس راندمان حذف در غلظت ۵ mg/L، ۹۹٪ بدست آمد و در محدوده ی عملیاتی اکثر نتایج مربوط به بازده حذف آلاینده بالاتر از ۷۰٪ گزارش شد. با افزایش غلظت و نیز دبی هوای ورودی در شرایط غیربهبوده بازده سیستم کاهش می یابد و بعضا تا ۵۰٪ افت میکند. میکروارگانیسم های بکار گرفته شده از رده ی مزوفیل بوده و ماکزیمم سرعت رشد ویژه آن ها $0.1947 h^{-1}$ اندازه گیری شد. کنترل pH و مواد مغذی از موارد مهم در این گونه فرآیندها می باشد و در این مطالعه نیز pH روی ۷ و مواد مغذی از جمله منبع نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن کنترل گردیده است.</p>	

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و مرور منابع	
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- ترکیبات آلی فرار.....	۳
۳-۱- منابع انتشار ترکیبات آلی فرار.....	۴
۱-۳-۱- آروماتیک ها.....	۵
۴-۱- اثرات سرطان زا بی ترکیبات BTX.....	۷
۵-۱- ضرورت انجام کار.....	۸
۶-۱- روش های حذف ترکیبات آلی فرار.....	۸
۱-۶-۱- جذب سطحی ترکیبات VOC.....	۱۰
۱-۱-۶-۱- جذب سطحی با استفاده از کربن فعال.....	۱۱
۲-۱-۶-۱- جذب سطحی ترکیبات آلی فرار با زئولیت ها.....	۱۲
۲-۶-۱- جذب ترکیبات آلی فرار با حلال.....	۱۲
۳-۶-۱- فرآیند جداسازی ترکیبات آلی فرار با غشا.....	۱۳
۴-۶-۱- متراکم کردن ترکیبات آلی فرار.....	۱۴
۵-۶-۱- اکسیداسیون ترکیبات آلی فرار.....	۱۵
۱-۵-۶-۱- اکسیداسیون حرارتی ترکیبات آلی فرار.....	۱۵
۲-۵-۶-۱- اکسیداسیون کاتالیستی ترکیبات آلی فرار.....	۱۶
۶-۶-۱- اکسیداسیون بیولوژیکی.....	۱۷
۱-۶-۶-۱- فرآیندهای بیولوژیکی.....	۱۷

۱۸	..... بیوفیلتر معمولی ۱-۱-۶-۶-۱
۲۰	..... بیوفیلتر چکنده ۲-۱-۶-۶-۱
۲۲	..... گازشوی بیولوژیکی ۳-۱-۶-۶-۱
۲۴	..... بیوفیلتر غشائی ۴-۱-۶-۶-۱
۲۴	..... فرآیندهای تبدیلی در تصفیه بیولوژیکی ۲-۶-۶-۱
۲۵	..... مکانیسم حذف ترکیبات BTX ۳-۶-۶-۱
۲۶	..... محیط کشت ۴-۶-۶-۱
۲۶	..... میکروارگانیسم ۱-۴-۶-۶-۱
۲۸	..... سازش پذیری میکروارگانیسم ها به آلاینده ها ۲-۴-۶-۶-۱
۲۸	..... پارامترهای موثر در تخریب بیولوژیکی ۷-۶-۱
۲۹	..... ترکیبات محیط کشت ۱-۷-۶-۱
۳۰	..... دما ۲-۷-۶-۱
۳۱	..... pH ۳-۷-۶-۱
۳۲	..... غلظت آلاینده ۴-۷-۶-۱
۳۴	..... عکس العمل ترکیبات BTX در تخریب بیولوژیکی ۹-۶-۱

فصل دوم : مواد و تجهیزات مورد نیاز و روش ها

۳۸	..... طراحی پایلوت راه اندازی شده در آزمایشگاه ۱-۲
۳۸	..... طرح وارہ ۱-۱-۲
۳۹	..... منبع تامین هوا ۲-۱-۲

۴۰	..... مواد پرکننده بستر	۳-۱-۲
۴۱	..... پمپ جریان مایع	۴-۱-۲
۴۱	..... فلومتر شیشه ای مدرج	۵-۱-۲
۴۲	..... رآکتور	۶-۱-۲
۴۳	..... دستگاه ها	۷-۱-۲
۴۴	..... اسپکتروفتومتر	۱-۷-۱-۲
۴۵	..... متر pH	۲-۷-۱-۲
۴۵	..... سانتریفیوژ	۳-۷-۱-۲
۴۵	..... ترازو	۴-۷-۱-۲
۴۶	..... دستگاه شیکر اینکوباتور	۵-۷-۱-۲
۴۶	..... همزن مغناطیسی	۶-۷-۱-۲
۴۶	..... باکتری	۲-۲
۴۷	..... تهیه و غنی سازی باکتری	۱-۲-۲
۴۹	..... استفاده از بچ های متوالی	۲-۲-۲
۵۰	..... افزایش جمعیت	۳-۲-۲
۵۰	..... اندازه گیری OD	۳-۲
۵۱	..... جرم خشک سلولی	۴-۲
۵۱	..... آنالیز نمونه های حاوی ترکیبات آلی فرار	۵-۲
۵۳	..... رنگ آمیزی گرم	۶-۲
۵۴	..... طراحی آزمایش	۷-۲

۱-۷-۲ ترسیم منحنی های اثر، به صورت تابعی از مقدار متوسط پاسخ ۵۷

فصل سوم: نتایج و بحث

۱-۳ مقدمه ۵۹

۲-۳ غنی سازی باکتری ها ۵۹

۳-۳ اندازه گیری ماکزیمم سرعت ویژه ۶۲

۴-۳ افزایش ظرفیت تبدیل بنزن با افزایش جمعیت میکروبی ۶۴

۵-۳ مرفولوژی باکتری های فعال در حذف تولوئن ۶۶

۶-۳ آزمایشات مربوط به حذف تولوئن در سیستم پیوسته ۶۷

۱-۶-۳ - بهینه سازی و مدلسازی فرآیند تبدیل از لحاظ راندمان تبدیل با استفاده از روش

رویه پاسخ ۶۷

۷-۳ نتیجه گیری ۸۵

۸-۳ -پیشنهادات برای کارهای آتی ۸۷

مراجع ۸۸

پیوست: برنامه GC مورد استفاده ۹۴

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: روش های کنترل ترکیبات آلی فرار ۱۰
- شکل ۲-۱: شماتیک فرآیند حذف ترکیبات آلی توسط کربن فعال ۱۱
- شکل ۳-۱: دیاگرام ساده ای از فرایند حذف با تکنیک غشائی ۱۳
- شکل ۴-۱: شماتیک ساده از یک دستگاه بیوفیلتراسیون ۲۰
- شکل ۵-۱: شماتیکی از روش فیلتر چکنده ۲۱
- شکل ۶-۱: شماتیک ساده ای از سیستم های بیو اسکرابر ۲۳
- شکل ۷-۱: روند اثر دما بر روی باکتری های غنی شده تولوئن ۳۱
- شکل ۸-۱: روند اثر pH بر روی نرخ حذف ترکیبات BTEX ۳۲
- شکل ۹-۱: روند افزایش غلظت بر روی سرعت حذف ۳۳
- شکل ۱-۲: شماتیک کلی بیوراکتور مورد استفاده ۳۸
- شکل ۲-۲: تصویر راکتور آزمایشگاهی ۳۹
- شکل ۳-۲: نمونه ای از پرکننده ها ۴۱
- شکل ۴-۲: فلومتر شیشه ای جریان گاز ۴۲
- شکل ۵-۲: دستگاه اسپکتروفتومتر ۴۴
- شکل ۶-۲: سانتریفیوژ ۴۵
- شکل ۷-۲: غنی سازی گزینشی شامل رقیق سازی متوالی تلقیح اولیه برداشته شده از محیط در محیط کشت شدیداً انتخابی ۵۰
- شکل ۸-۲: دستگاه کروماتوگرافی گازی ۵۲
- شکل ۱-۳: روند حذف تولوئن توسط باکتری های غنی شده در غلظت های مختلف ۶۱
- شکل ۲-۳: روند افزایش بیومس سیستم ناپیوسته با زمان در غلظت های مختلف ۶۲

- شکل ۳-۳: تغییرات غلظت بیومس برای باکتری های تخریب کننده تولوئن با زمان ۶۳
- شکل ۳-۴(الف) روند حذف تولوئن در طی ۹ بیج متوالی ۶۵
- شکل ۳-۴(ب) نمودار ستونی روند حذف تولوئن در طی ۹ بیج متوالی ۶۵
- شکل ۳-۵: روند کاهش زمان بیج در طی ۹ بیج متوالی ۶۶
- شکل ۳-۶: تصویر میکروسکوپی از باکتری های حذف کننده تولوئن در فاز مایع ۶۷
- شکل ۳-۷: منحنی توزیع نرمال و مقادیر باقیمانده ۷۰
- شکل ۳-۸: نمودارهای تاثیر هر پارامتر بر بازده به طور جداگانه، بر اساس مقدار متوسط ۷۱
- شکل ۳-۹: منحنی اثرهای اصلی، برای تبدیل حذف، بر اساس مقدار متوسط ۷۳
- شکل ۳-۱۰(الف): تاثیر دما و حجم راکتور مایع روی بازده ۷۵
- شکل ۳-۱۰(ب): تاثیر دما و حجم راکتور مایع روی بازده ۷۵
- شکل ۳-۱۱(الف): نمودار سه بعدی اثرات دمای راکتور و حجم راکتور روی بازده حذف ۷۶
- شکل ۳-۱۱(ب): نمودار سه بعدی اثرات دمای راکتور و حجم راکتور روی بازده حذف ۷۷
- شکل ۳-۱۲(الف): نمودار سه بعدی اثرات حجم راکتور و غلظت تولوئن روی بازده حذف ۷۸
- شکل ۳-۱۲(ب): نمودار سه بعدی اثرات حجم راکتور و غلظت تولوئن روی بازده حذف ۷۸
- شکل ۳-۱۳(الف): نمودار سه بعدی اثرات دما و غلظت تولوئن روی بازده حذف ۷۹
- شکل ۳-۱۳(ب): نمودار سه بعدی اثرات دما و غلظت تولوئن روی بازده حذف ۸۰
- شکل ۳-۱۴(الف): نمودار سه بعدی اثرات دبی هوای ورودی و حجم راکتور روی بازده حذف ۸۱
- شکل ۳-۱۴(ب): نمودار سه بعدی اثرات دبی هوای ورودی و حجم راکتور روی بازده حذف ۸۱
- شکل ۳-۱۵(الف): نمودار سه بعدی اثرات غلظت تولوئن و دبی هوای ورودی روی بازده ۸۲
- شکل ۳-۱۵(ب): نمودار سه بعدی اثرات غلظت تولوئن و دبی هوای ورودی روی بازده ۸۳
- شکل ۳-۱۶: غلظت های ترکیبات آلاینده موجود در هوای واحد پلی استایرن پتروشیمی ۸۴

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱: انتشار مواد آلی فرار(غیر از متان) در فعالیت های صنایع مختلف در اتحادیه اروپا... ۵
- جدول ۱-۲: خواص فیزیکی و شیمیایی هریک از ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلین ۷
- جدول ۱-۳: مقایسه چهار سیستم بیولوژیکی ۱۸
- جدول ۱-۴: مزایا و معایب بیوفیلتراسیون گازها ۱۸
- جدول ۱-۵: فاز تاخیر و نرخ تخریب ترکیبات BTX توسط آوارز و ووگل ۳۶
- جدول ۱-۲: مشخصات پرکننده بستر ۴۰
- جدول ۲-۲: مشخصات فنی برج جذب و راکتور بیولوژیک ۴۳
- جدول ۲-۳: مواد مورد استفاده برای کشت ۴۸
- جدول ۲-۴: مواد موجود در trace element ۴۹
- جدول ۲-۵: فاکتورهای در نظر گرفته شده، تعداد سطوح و مقادیر آنها جهت طراحی آزمایش... ۵۵
- جدول ۳-۱: پارامترهای بررسی شده و تعداد سطوح آن و مقادیر سطوح ۶۸
- جدول ۳-۲- نمونه ۳۱ از شرایط آزمایش و نتایج تجربی و نتایج حاصل از مدل رویه پاسخ ۶۹
- جدول ۳-۳- آنالیز واریانس برای تبدیل حذفو محاسبه درجه آزادی برای هر اثر. ۷۲

فصل اول

مقدمه و مرور منابع

۱-۱ مقدمه

آلودگی هوای صنایع شیمیایی، نفت و پتروشیمی یکی از مسائل پیچیده محیط زیستی است و برنامه ریزی روی کنترل آلاینده ها در جهان به طور وسیعی گسترش یافته است. از سال ۲۰۰۰ میلادی تلاش های گسترده ای برای به حداقل رساندن میزان آلاینده های خطرناک هوا^۱ آغاز شده است. گازهای زاید صنعتی واحدهای شیمیایی، نفت و پتروشیمی حاوی انواع ترکیبات آلی فرار^۲ می باشند. اغلب ترکیبات آلی فرار سمی بوده و در تشکیل آلودگی های ثانویه صنایع شیمیایی و پتروشیمی در اتمسفر سهیم هستند. محققان در صدد یافتن تکنیک های موثر و اقتصادی برای حذف ترکیبات آلی فرار در صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی می باشند. یکی از روشهای موثر برای حذف این ترکیبات اکسیداسیون بیولوژیکی است. استفاده از روش های بیولوژیکی دارای مزایای بسیاری است که از مهمترین آنها می توان به عدم مصرف بالای انرژی و تولید محصولات بی ضرری مانند دی اکسید کربن و آب اشاره نمود. با توجه به مقالات بررسی شده در زمینه بیوفیلتراسیون، محققان در این زمینه به نرخ حذف پایینی در مقایسه با زمان انجام فرایند دست یافته اند. هدف از انجام این پروژه، افزایش سرعت حذف ترکیبات آلی فراری که عموماً از واحدهای صنایع شیمیایی و پتروشیمی متصاعد می گردند، می باشد. در طی این پروژه با استفاده از بیومس غنی شده و بیوراکتور شامل برج جذب و راکتور در حجم کوچک به این هدف دست یافته شد.

¹ Hazardous Air Pollutants

² Volatile Organic Compounds

۲-۱ ترکیبات آلی فرار^۱

ترکیبات آلی فرار اولین بار به عنوان تشکیل دهنده های مه پتروشیمی ها در سال ۱۹۵۰ شناسایی شدند و از آن به بعد دانش و آگاهی از نحوه عملکرد آنها در محیط زیست رشد فوق العاده زیادی داشته است. روزانه مقادیر زیادی از ترکیبات آلی فرار از منابع طبیعی و منابع مشترک بین انسان و طبیعت در اتمسفر انتشار می یابند و از کارکرد فوتوشیمیایی اتمسفری جلوگیری می کنند. بنابراین منابع و زمان ماند آنها، موضوع تحقیقات جاری در دنیا می باشد. علاوه بر تاثیر فوتوشیمیایی موضعی، منطقه ای و حتی جهانی این ترکیبات، تعدادی از آنها به علت خصوصیتشان به عنوان گازهای گلخانه ای، تاثیر شدیدی بر روی آب و هوا دارند. [۱-۵]

در منابع مختلف تعاریف متفاوتی از ترکیبات آلی فرار به چشم می خورد. در حالت کلی تعاریف مربوط به ترکیبات آلی فرار را به دو دسته می توان تقسیم بندی کرد:

دسته ی اول: تعاریفی که مربوط به اثرات این ترکیبات می شود. به عنوان مثال، US-EPA ترکیبات آلی فرار را به صورت ترکیباتی آلی که در پدیده ی فوتوشیمیایی^۲ اوزون شرکت دارند، تعریف میکند.

دسته ی دوم: تعاریفی که در آنها از مفاهیم فیزیکی و شیمیایی مانند فشاربخار، استفاده می شود. کانس^۱ و ویقا^۲ ترکیبات آلی فرار را به صورت ترکیبات آلی (بخارات) کربن دار که در فشار ۱۰۱ KPa نقطه جوش پایین تر از ۳۷۳.۱۵ k دارند، تعریف کردند [۶].

^۱ VOC

^۲ Photochemical

طبق روش تست D3960 مربوط به روش های جامعه ی آمریکایی^۳، ترکیبات آلی فرار ترکیباتی هستند که در دمای °C ۲۵ فشاربخار آنها بالاتر از Pa ۱۳.۳ می باشد. ترکیبات آلی فرار در اکثر حلال های مورد استفاده در صنایع شیمیایی و پترو شیمیایی، حلال های رقیق کننده، چربی زدا و پاک کننده و سوخت های مایع کاربرد دارند [۷].

ترکیبات آلی فرار طیف وسیعی از ترکیبات مانند آلکان ها، اولفین ها، الکل ها، کتون ها، آلدهیدها، آروماتیک ها و هیدروکربن های هالوژن دار را در بر میگیرد [۷].

۱-۳ منابع انتشار ترکیبات آلی فرار

در جدول ۱-۱ نرخ انتشار ترکیبات آلی فرار در صنایع مختلف در اتحادیه اروپا نشان داده شده است که عمده منابع انتشار مربوط به صنایع نفت و گاز و حلال ها می باشد.

¹ Kennus

² Veiga

³ American Society of Testing and Materials

جدول ۱-۱: انتشار مواد آلی فرار (غیر از متان) در فعالیت های صنایع مختلف در اتحادیه اروپا [۸]

فعالیت	نرخ انتشار (Kg/year)	درصد (%)
تصفیه نفت و گاز	۲۰۹۳۰۱۰۰۰	۳۷/۶۱
محصولات بوجود آمده از حلال های آلی	۱۲۱۱۱۶۰۰۰	۲۱/۷۶
مواد آلی اساسی	۱۰۵۷۳۱۰۰۰	۱۹/۰۰
صنعت فلز	۲۹۴۰۲۰۰۰	۵/۲۸
تولید خمیر، کاغذ، چوب	۲۲۴۱۵۰۰۰	۴/۰۳
محصولات دارویی	۱۸۱۴۳۰۰۰	۳/۲۶
در معرض قرار دادن زباله های غیر سمی	۱۰۱۳۴۰۰۰	۱/۸۲
کشتارگاهها، صنایع شیر، مواد خام گیاهی و حیوانی	۹۴۲۴۰۰۰	۱/۶۹
تاسیسات احتراق بالای ۵۰ مگاوات	۹۰۸۴۰۰۰	۱/۶۳
مواد معدنی اساسی	۷۶۳۹۰۰۰	۱/۳۷
تولید سیمان، آهک، شیشه، مواد معدنی یا تولیدات سرامیکی	۴۹۲۶۰۰۰	۰/۸۹
حشره کشها و مواد محترقه	۳۷۶۳۰۰۰	۰/۶۸
صنایع مایع سازی وگازی کردن زغال سنگ	۳۰۹۱۰۰۰	۰/۵۶
پیش تصفیه فیبرها و پارچه ها(صنایع نساجی)	۹۱۱۰۰۰	۰/۱۶
دفع و بازیافت زباله های شهری سمی	۵۶۱۰۰۰	۰/۱۰
صنایع چرم سازی	۴۶۹۰۰۰	۰/۰۹
تولید گرافیت	۲۸۹۰۰۰	۰/۰۵
مدفوع و لاشه حیوان	۱۲۴۰۰۰	۰/۰۲
مجموع	۵۶۵۵۰۰۰۰۰	۱۰۰

۱-۳-۱ آروماتیک ها^۱

ترکیبات آلی فرار آروماتیکی مهم ترین اجزای سوخت های فسیلی هستند که به طور عمده از آگروزهای وسایل نقلیه، تبخیر سوخت ها و یا ترکیبات نفتی ناشی از تانکرها و مخازن انتشار می یابند. علاوه بر این تولوئن و زایلن از مهم ترین حلال های آروماتیک صنعتی هستند که در اتمسفر منتشر می شوند. مهم ترین و فراوان ترین گونه های آروماتیک در سوخت های فسیلی و در نتیجه در هوای مناطق شهری

¹ Aromatics

شامل بنزن^۱، تولوئن^۲، اتیل بنزن^۳، زایلن^۴، استایرن^۵ و تری متیل بنزن^۶ می باشند. به علت اینکه بنزن خواص سرطان زایی دارد، این ماده در سوخت های فسیلی با آروماتیک های دیگری جایگزین می گردد. همچنین بنزن از احتراق سوخت های زیستی تولید می شود. این مسئله در مناطق مسکونی با نسبت بالای سوختن چوب، اهمیت پیدا می کند [۱۳].

از میان مواد گروه BTEX^۷، بیشترین درصد مربوط به بنزن است. این ماده، دارای واکنش زایی بسیار بالاست و فراریت زیادی در هوا دارد. بنزن یک ماده شیمیایی آلی است که در گروه هیدروکربن های عطری قرار دارد [۱۴-۱۶]. تولوئن مایعی شفاف، بی رنگ و قابل اشتعال است که خاصیت خوردگی نداشته و بویی شبیه به بوی بنزن دارد. تولوئن به علت افزایش یک گروه متیل به حلقه آروماتیک، نسبت به بنزن، چربی را بهتر حل می کند ولی فراریت آن کمتر است [۱۷]. با این حال در دمای معمولی به اندازه ای فشاربخار ایجاد می کند که باعث اختلال تنفسی در افراد گردد [۱۷]. زایلن (دی متیل بنزن) مخلوطی از سه ایزومر ارتو، متا و پارا دی متیل بنزن است و عبارت زایلن به هر سه ایزومر زایلن اشاره می کند [۱۷].

ترکیب آلی فرار مورد مطالعه در این تحقیق تولوئن می باشد که معمولا ترکیبات خروجی از اکثر صنایع آلوده کننده محیط زیست می باشد. خواص شیمیایی و فیزیکی این ترکیبات در جدول ۱-۲ خلاصه شده است [۱۸].

¹ Benzene

² Toluene

³ Ethyl benzene

⁴ Xylene

⁵ Styren

⁶ 3-Methyl benzene

⁷ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene

جدول ۱-۲: خواص فیزیکی و شیمیایی هریک از ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلن

Properties of BTEX compounds, according to Van Agteren et al. (1998)

Name	Molecular formula	Molecular weight (g/mol)	Density (kg/l)	T_m (°C)	T_b (°C)	Vapour pressure (kPa)	Aqueous solubility (mg/l)	Henry's Law constant (Pa m ³ /mol)	Log K_{ow} (-)
Benzene	C ₆ H ₆	78.1	0.878	5.5	80.1	10.13	1,780	547	2.13
Toluene	C ₇ H ₈	92.1	0.867	-95	110.8	2.93	515	669	2.65
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106.2	0.867	-95	136.2	0.93	152	588	3.20
<i>ortho</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	106.2	0.880	-25	144.4	0.67	175	496	2.95
<i>meta</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	106.2	0.864	-48	139.0	0.80	200	699	3.20
<i>para</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	106.2	0.860	13	138.4	0.87	198	709	3.18

Density, vapour pressure, aqueous solubility are at 20°C. T_m melting point, T_b boiling point

۱-۴ اثرات سرطان زایی ترکیبات BTX

بنزن به عنوان خطرناک ترین سم صنعتی شناخته شده است و در نشریات پزشکی و صنعتی موارد بسیار زیادی مرگ در اثر بنزن قید گردیده و بدون شک تعداد بسیار دیگری بدون ثبت اتفاق افتاده است [۱۴]. استنشاق و نیز میزان تماس بنزن با پوست، به خاطر خطر آفرینی، محدودیت های خاص را دارد. تماس با این ماده از طریق پوستی و یا استنشاقی عوارض متفاوتی را به دنبال دارد [۱۴]. تولوئن نیز همانند سایر هیدروکربن های آروماتیک معطر، در وهله اول محرک و سوزش آور می باشد و در صورت تماس طولانی با پوست، ایجاد درماتیت می نماید که علت آن هم خشک کردن و از بین بردن چربی پوست می باشد. از لحاظ سم شناسی، خواص تولوئن شبیه به بنزن است ولی با این وجود، اثرات مزمن هماتوپوئیتیک (اثر بر روی سیستم خونساز) آن را ندارد [۱۵]. زایلن عموماً از طریق تنفس و در حد

محدودتری از طریق تماس مستقیم پوستی و استفاده از آب آشامیدنی و غذای آلوده به زایلن، وارد بدن انسان می شود. میزان زایلن موجود در بدن انسان از طریق اندازه گیری آن در خون، ادرار و هوای بازدم قابل بررسی می باشد که این مطالعات بیشتر بر روی کارگران و کارمندانی که در معرض غلظت های بالای از زایلن قرار دارند، انجام شده است [۱۵].

۱-۵ ضرورت انجام کار

از سال ۱۹۹۰ حذف ترکیبات آلی فرار (VOCs) از هوای آلوده، توجه سازمان های EPA^۱ و CAAA^۲ را به خود جلب نموده است. امروزه انتشار ترکیبات آلی فرار از واحد های جمع آوری و تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی، توجه خاصی را به خود جلب کرده است. خطراتی که انتشار این ترکیبات برای نیروی شاغل در این واحدها به دنبال دارد، سبب وضع قوانینی جهت کنترل انتشار اینگونه ترکیبات از واحدهای جمع آوری و تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی گشته است. از جمله قوانینی که در این زمینه وضع شده است می توان به Advanced Rule 1176 و Clean Air Act Amendments اشاره نمود. علاوه بر این قوانین، استاندارد های زیست محیطی مانند ISO 14000 نیز، صنایع را ملزم به کنترل و کاهش انتشار این ترکیبات از واحد های تصفیه فاضلاب می کند [۱۹، ۲۰].

¹ Environmental protection agency

² Clean Air Act Amendments

۱-۶ روش های حذف ترکیبات آلی فرار

روش های مختلفی برای کنترل انتشار ترکیبات آلی فرار وجود دارد. کاربرد هر یک از این روش ها به ماهیت هر یک از ترکیبات آلی فرار، غلظت آنها و شرایط محیط (دما، فشار، دبی، سرعت و...) بستگی دارد. این روش ها به طور اساسی در دو گروه مختلف طبقه بندی شده اند [۲۰].

۱- اصلاح فرآیند و تجهیزات^۱

۲- روش های کنترل مازاد^۲

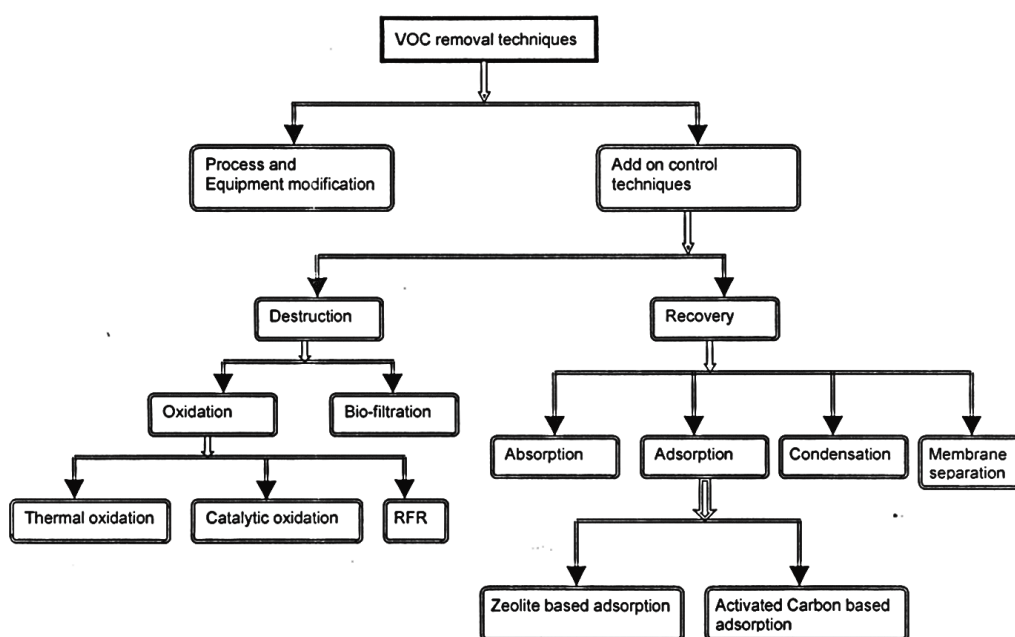
در گروه اول، کنترل انتشار ترکیبات آلی فرار با اصلاح تجهیزات فرایند، مواد خام و یا تغییر فرایند انجام می گیرد. در حالی که در گروه دوم از یک روش کنترلی مضاعف برای کنترل انتشار مواد استفاده می شود. تکنیک های گروه دوم، خود به دو زیرگروه تقسیم می شوند که شامل روش های تخریب و بازیافت ترکیبات آلی فرار می باشند [۲۰].

شکل ۱-۲ انواع روش های کنترل ترکیبات آلی فرار را نشان می دهد. اولین کار در ارزیابی استفاده از روش ها، آماده کردن لیست جامعی از مواد منتشره می باشد که زمینه مناسبی برای تصمیم گیری، اندازه گیری و انتخاب تجهیزات کنترلی را فراهم می نماید. این لیست شامل آلاینده های منتشره، سرعت انتشار ساعتی، سالیانه و متوسط می باشد. معمولاً روش های اصلاح فرآیند پر هزینه بوده و در اغلب موارد غیر ممکن می باشد. روش هایی مانند متراکم کردن، جذب و جذب سطحی در غلظت های بالای ترکیبات آلی فرار با دبی های سرعت های پایین کاربرد دارند و روش های ماورا بنفش از لحاظ سینتیکی کند هستند. در نهایت روش هایی مانند سوزاندن حرارتی و کاتالیستی و اکسیداسیون بیولوژیکی برای حذف غلظت های

¹ Process and equipment modification

² Add or control techniques

بالای ترکیبات آلی در حجم های بزرگ گازهای منتشر شده موثر بوده است. روش بیولوژیکی در مقایسه با تکنیک های فیزیکی و شیمیایی که مواد آلاینده گاهی به سادگی از یک فاز به فاز دیگر منتقل و یا به مواد مضرتری تبدیل می شوند، ارجحیت دارند [۲۰].



شکل ۱-۱ روش های کنترل ترکیبات آلی فرار [۲۰]

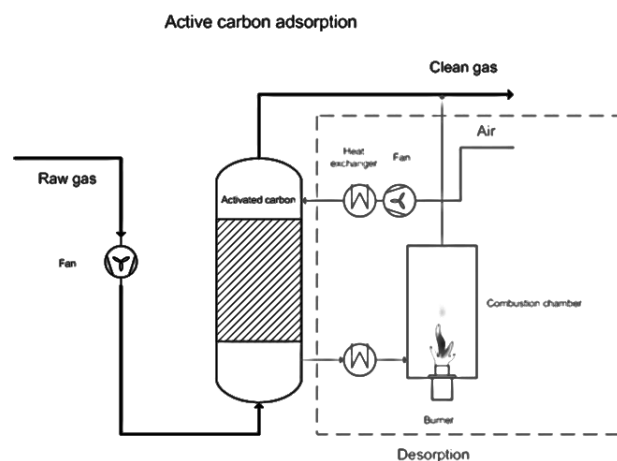
۱-۶-۱ جذب سطحی ترکیبات VOC

فرایند جذب سطحی به دو دسته (۱) جذب سطحی فیزیکی (۲) جذب سطحی شیمیایی، تقسیم بندی می شود. فرایند جذب سطحی فیزیکی اهمیت زیادی در فرایندهای جداسازی دارد. جذب سطحی فیزیکی زمانی رخ می دهد که مولکول های آلی در سطح قرار گرفته و توسط نیروی ضعیف واندروالسی، جذب سطح جاذب می گردند. از خصوصیات این روش می توان به گرمای کم فرایند جذب و برگشت پذیر

بودن واکنش جذب اشاره نمود. از کربن فعال^۱ و زئولیت^۲ ها می توان به عنوان جاذب های سطحی استفاده نمود که در ادامه به هر کدام از آنها اشاره شده است [۲۰].

۱-۶-۱-۱ جذب سطحی^۳ با استفاده از کربن فعال

جذب توسط کربن فعال روش متداول برای کنترل آلاینده های هوا به شمار می آید. ترکیبات آلی فرار از هوای ورودی جدا شده و جذب سطحی فیزیکی کربن شده و به آن می چسبند. حجم این سیستم ها را می توان متناسب با حداکثر میزان جذب و غلظت آلاینده طراحی نمود. این سیستم ها خیلی متنوع بوده و ارزان می باشند و هزینه نصب آنها کمتر از سیستم های دیگر می باشد [۱۲]. توانایی جذب کربن فعال برای ترکیبات آلی فرار اغلب توسط ایزوترم جذبی میزان ترکیبات آلی فرار جذب شده به فشار تعادلی (غلظت) در دمای ثابت نشان داده می شود. کربن فعال جاذب خوبی است زیرا مساحت سطحی بزرگی داشته، که ناشی از سوراخ های بسیار ریزی است که به صورت تودرتو وجود دارند [۲۱]. شکل ۱-۳ شماتیک فرآیند حذف ترکیبات آلی فرار توسط کربن فعال را نشان می دهد.



شکل ۱-۲: شماتیک فرآیند حذف ترکیبات آلی توسط کربن فعال [۲۲]

¹ Activated carbon

² Zeolites

³ Adsorption