حذف تولوئن از هوا با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری

رجب رشیدی[۱]، حاتم گودینی [۲]، محمد الماسیان[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: کاربرد وسیع تولوئن در زندگی انسان و به دنبال آن اثرات زیان‌آور این ماده بر سلامتی و به ویژه عوارض مزمن آن بر روی سیستم اعصاب مرکزی، باعث گردیده است که مطالعات زیادی در جهت کنترل و کاهش بخارات تولوئن از هوا صورت گیرد. هدف از این پژوهش بررسی کارایی فرایند ازن زنی کاتالیزوری در حذف تولوئن از جریان هوا است.

روش‌ها: پژوهش حاضر از نوع تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی است. سیستم آزمایش شامل پمپ هوا، پمپ تزریق سرنگی، ژنراتور ازن، سیستم تولید رطوبت، محفظه اختلاط، روتامتر و راکتور شیشه ای به طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۲ سانتی‌متر بود. غلظت‌های مشخص تولوئن به صورت مداوم با توجه به زمان ماند، دوز ازن و مقادیر مختلف رطوبت در معرض فرایند ازن زنی کاتالیزوری با کربن فعال و کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم قرار گرفت. پس از سنجش میزان غلظت تولوئن قبل و بعد از راکتور، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارSPSS نسخه ۱۶ و به کارگیری آمار توصیفی و استنباطی و توسط آزمون three-way ANOVA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: یافته‌ها حاکی از آن بود که ظرفیت حذف تولوئن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری هنگام استفاده از کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم به مراتب بیشتر از کربن فعال به تنهایی است. به طوری که زمان ظهور تولوئن در خروجی راکتور برای کربن فعال ۵۰ ساعت و برای کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم ۱۱۵ ساعت بود. همچنین نتایج نشان داد که متغیرهای زمان ماند، دوز ازن و رطوبت نسبی پارامترهای تاثیر گذار در فرایند بوده، به طوری که افزایش سه متغیر مذکور سبب ارتقا سیستم گردید.

نتیجه‌گیری: با توجه به ارتقا قابل توجه راندمان حذف تولوئن در هنگام استفاده توام از کربن فعال و نیترات منیزیم در فرایند ازن زنی کاتالیزوری، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم می‌تواند یک روش مناسب برای حذف تولوئن از جریان هوا باشد.

واژه‌های کلیدی: تولوئن، کربن فعال، نیترات منیزیم ، ازن زنی کاتالیزوری

ارجاع: رشیدی رجب، گودینی حاتم، الماسیان محمد. **حذف تولوئن از هوا با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۲؛ ۹(۱۲): ۱۳۴۶-۱۳۵۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۶/۲۵**

۱. استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان،خرم آباد، ایران (نویسنده مسؤول)

Email rachidi_r@yahoo.com .

۲. دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران

۳. مربی، عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران

مقدمه

یکی از عوامل مهم آلودگی هوا به ویژه در محیط‌های بسته، ترکیبات آلی فرار (VOCs) می‌باشند. این گروه از آلاینده‌ها، طیف گسترده‌ای از ترکیبات آلی با نقطه جوش پایین‌تر از ۱۰۰ $^{\circ}C$ و یا فشار بخار بیشتر از یک اتمسفر در۲۵°Cرا شامل می‌شوند. ترکیبات آلی فرار از نظر اقتصادی اهمیت زیادی داشته و شامل هزاران ترکیب شیمیایی گوناگون بوده که در عرصه‌های مختلف زندگی اجتماعی و اقتصادی انسان کاربرد روزمره دارند. این ترکیبات بعد از ذرات معلق، به عنوان آلوده سازترین نوع آلاینده اتمسفر محسوب می‌شوند (۱). یکی از این ترکیبات که در جنبه‌های مختلف زندگی انسان کاربرد زیادی دارد، تولوئن می‌باشد.

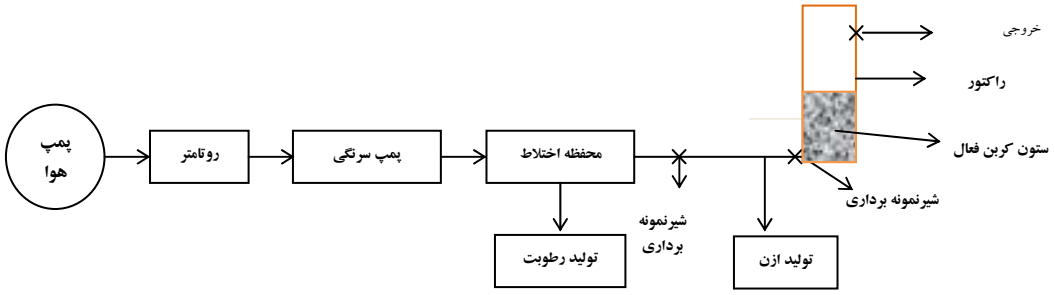
این ماده با فرمول شیمیایی $C_6H_5-CH_3$ و اسامی نظیر متیل بنزن، مایعی است شفاف، بی‌رنگ و قابل اشتعال که در گروه هیدروکربن‌های آروماتیک قرار دارد. در گذشته تولوئن از بنزن تولید شده در کارگاه‌های کک‌سازی و همچنین از تقطیر زغال سنگ استخراج می‌گردید، اما در حال حاضر از نفت به دست می‌آید (۲). تولید تولوئن در سراسر جهان ۱۰ میلیون تن در سال بوده، به طوری که در سال ۲۰۰۲ تولید تولوئن در ایالات متحده آمریکا به تنهایی بیش از ۴ میلیون تن برآورده شده است (۳).

تولوئن دارای ظرفیت حل‌کنندگی شبیه بنزن است و در بسیاری موارد جایگزین آن می‌شود. تولوئن به عنوان حلال در صنایع رنگ،لاستیک، چاپ،لوازم آرایشی، صنایع نظامی و به عنوان یک ماده اولیه برای سنتز دیگر مواد شیمیایی استفاده می‌شود. ۹۵٪ تولوئن تولیدی سالیانه آمریکا برای بالا بردن اکتان بنزین به آن اضافه می‌شود (۴). انتشار سالیانه تولوئن به جو در ایالات متحده آمریکا ۴۵۰۰۰۰ تن برآورد شده است. برآورد میزان انتشار آن به جو برای هر کشور دشوار است، زیرا استفاده کلی و پراکندگی منابع انتشار متغیر است. بیشترین علت انتشار آن مربوط به سوخت اتومبیل‌ها بوده، به طوری که در آمریکا اگزوز اتومبیل منشا اصلی تولید تولوئن در هوای شهرها بوده است (۵). تولوئن از طریق استنشاق، پوست و دستگاه گوارش می‌تواند جذب بدن شده که از این بین تماس از راه تنفس نسبت به سایر راه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (۶). تولوئن سیستم عصبی بدن را تحت تاثیر قرار داده و مقادیر کم آن موجب خواب آلودگی، ضعف، کاهش حافظه، وزوزگوش، به هم خوردن تعادل، کم خونی، کما و مرگ می‌شود (۵). حد مجاز تماس با تولوئن ۵۰ ppm برای ۸ ساعت در شبانه روز است (۷). با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص کاربردهای وسیع تولوئن و اثرات زیان‌آور آن و در نتیجه امکان تماس آحاد مختلف جامعه با این ماده شیمیایی، ضرورت دارد به منظور پیشگیری از آسیب‌هایی که ممکن است سلامتی افراد را تهدید نماید، روش‌های مناسبی در جهت حذف و یا کاهش بخارات تولوئن در هوا به کار گرفته شود. یکی از روش‌های متداولی که در گذشته برای حذف تولوئن از هوا به کار گرفته شده، استفاده از جاذب‌های سطحی بوده است(۸،۹). کربن فعال به دلیل کاربرد آسان و صرفه اقتصادی در سال‌های گذشته از جمله پرمصرف‌ترین جاذب سطحی بوده که برای حذف VOCها به کار گرفته شده است (۱۰،۱۱). اما از آنجایی که روش جذب سطحی نتنها سبب تجزیه آلاینده به مواد بی‌ضرر نمی‌شود، بلکه خیلی زود بر اثر جذب آلاینده به حالت اشباع می‌رسد. لذا این روش به تنهایی نمی‌تواند یک فرایند کامل برای حذف آلاینده‌های فرار به حساب آید (۱). در سال‌های اخیر کاربرد کاتالیست‌های مختلف از جمله دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی برای ایجاد خاصیت اکسیدکنندگی در جاذب‌ها و همچنین به کارگیری تابش تشعشعات مختلف به ویژه اشعه UV برای افزایش قدرت کاتالیست‌ها در حال گسترش می‌باشد (۱۲). با توجه به خاصیت اکسیدکنندگی گاز ازن، استفاده همزمان آن با کربن فعال می‌تواند علاوه بر رفع عیوب کربن فعال در فرایندهای AOP، خود نیز با اکسیداسیون شیمیایی سبب حذف VOCها از هوا شده و از طرفی کربن فعال نیز از آزاد شدن ازن به محیط و خطرات ناشی از آن جلوگیری نماید (۱۳،۱۴). در مطالعه‌ای که برای حذف بنزن با استفاده از اکسیداسیون کاتالیزوری و به کارگیری ازن صورت گرفته است، قابلیت‌های

این روش مورد بررسی قرار گرفته است (۱۵). در پژوهشی که توسط موسوی و همکاران بر روی فرایند ازن زنی کاتالیزوری با استفاده از کربن فعال برای حذف زایلن انجام شده است، راندمان حذف زایلن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری به مراتب بیشتر از به کارگیری هر یک از آنها به تنهایی بوده است. این بررسی همچنین نشان داده است که با افزایش رطوبت نسبی هوا تا ۵۰٪ میزان حذف زایلن افزایش و از رطوبت ۵۰٪ به بالا، کارایی فرایند حذف، کاهش یافته است(۱۶). نتیجه پژوهش chao و همکاران بر روی حذف تولوئن با استفاده از ازن و زئولیت، نشان داد که کارایی استفاده ترکیبی از ازن و زئولیت به مراتب بیشتر از کارایی هر یک به تنهایی می‌باشد (۱۴). نتیجه مطالعه kwong و همکارانش برای حذف تولوئن با استفاده از ازن و زئولیت نیز نشان داد که میزان حذف تولوئن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری بیشتر از جذب سطحی به تنهایی است (۱۷) در سایر مطالعات صورت گرفته به روی حذف VOCها با استفاده از فرایند اکسیداسیون فوتوکاتالیتیک نیز به تاثیرگذار بودن میزان رطوبت بر فرایند حذف اشاره شده است. به طوری که افزایش رطوبت به بیش از ۷۰٪ موجب کاهش فرایند اکسیداسیون آلاینده می‌شود (۱۸) لذا در این مطالعه بر آن هستیم تا راندمان حذف تولوئن را با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری با کاربرد جاذب سطحی کربن فعال مورد بررسی قرار دهیم.

روش‌ها

در یک مطالعه تجربی امکان حذف بخارات تولوئن از هوا با توجه به متغیرهای زمان ماند، رطوبت نسبی و دوز ازن با استفاده از ازن و بکارگیری گرانول کربن فعال و کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم، مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم آزمایشی که در این تحقیق به کار گرفته شده، شامل راکتور، پمپ تزریق سرنگی مدل TOP- 3500 ساخت ژاپن، پمپ هوا، روتامتر، محفظه اختلاط، ژنراتور ازن مدل COG-OM ساخت ARDA فرانسه، مطابق شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱: شمای راکتور سیستم حذف تولوئن با استفاده از روش ازن زنی کاتالیزوری

ویژگی‌های راکتور مورد استفاده:

راکتور به شکل استوانه از جنس شیشه پیرکس به ارتفاع ۲۵ سانتی متر و قطر داخلی ۲ سانتی‌متر ساخته شد. در قسمت ابتدا و انتهای راکتور دو شیر برای برداشت نمونه در نظر گرفته شده بود. همچنین درون راکتور یک صفحه مشبک برای قرار گیری کربن فعال طراحی گردیده بود.

چگونگی تولید ازن: ازن مورد نیاز با استفاده از ژنراتور مولد ازن تامین گردید. این دستگاه قادر است با توجه به میزان تزریق هوا تا gr/hr ۱ ازن تولید نماید. برای تولید ازن با وصل کردن پمپ تزریق هوا به ژنراتور ازن و تنظیم میزان جریان هوا توسط روتامتر، دوزهای مورد نظر ازن تولید گردید. برای اندازه‌گیری دوز ازن در هوا از روش جذب یدید پتاسیم و نهایتاً یدومتری استفاده شد (۱۹).

سیستم ایجاد رطوبت :

برای تولید رطوبت در مقادیر ۷۰٪ – ۴۰٪ < از پمپ هوا، روتامتر، هیتر و ایمپینجر استفاده گردید. بدین صورت که با تولید هوا توسط پمپ و تنظیم میزان جریان با استفاده از روتامتر، جریان مشخص هوا توسط شیلنگ‌های رابط از درون

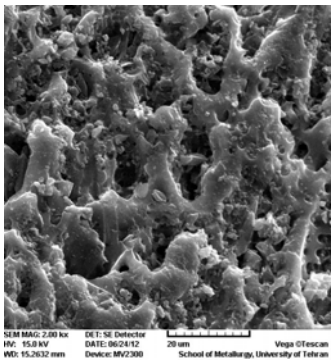
ایمپینجر حاوی ۱۰۰ سی سی آب مقطرکه بر روی هیتر قرار گرفته بود، عبور داده می‌شد. با تغییر میزان جریان هوای عبوری از درون ایمپینجر و یا دمای آب و اندازه‌گیری مرتب رطوبت در خروجی ایمپینجر توسط رطوبت سنج دیجیتال مدل TES 1360 ساخت تایوان، رطوبت‌های مورد نظر حاصل گردید.

سیستم تولید بخارات تولوئن:

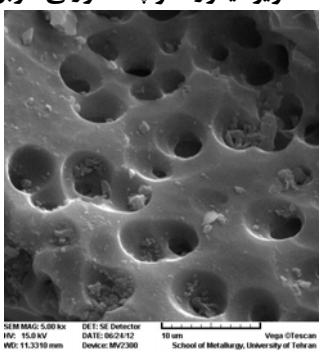
از تولوئن ۹۹٪ شرکت Merck برای ساخت غلظت‌های مختلف تولوئن در جریان هوا استفاده شده است. برای تهیه هوای حاوی تولوئن در غلظت‌های مورد نظر (100-200ppm)، دستگاه تزریق سرنگی به همراه پمپ هوا به کار گرفته شد. در این رابطه پارامترهای تاثیر گذار در میزان غلظت تولوئن در جریان هوا از جمله دمای تولوئن و دمای محیط آزمایش در حین کار ثابت و میزان تزریق تولوئن و دبی پمپ تزریق هوا، متغیر در نظر گرفته شد. بدین صورت که با تغییر میزان تزریق تولوئن توسط پمپ سرنگی و یا تغییر دبی هوا با استفاده از روتامتر، غلظت‌های مختلف از تولوئن در جریان هوا تهیه گردید. به منظور آرامش جریان و ثابت نمودن غلظت تولوئن از یک محفظه اختلاط شیشه‌ای به ظرفیت ۲۰ لیتر بعد از دستگاه تزریق سرنگی استفاده گردید.

آماده‌سازی گرانول کربن فعال پوشانده شده با نیترات منیزیم:

کربن فعال ساخت شرکت merck مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از الک مخصوص گرانول کربن فعال با اندازه ۲-۱ میلی‌متر تهیه گردید. برای پوشش کربن فعال با نیترات منیزیم پس از تهیه محلول ۱۰٪ نیترات منیزیم در آب مقطر، کربن فعال برای مدت ۶ ساعت توسط شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه به خوبی با محلول مذکور مخلوط گردید. پس از عمل اختلاط، کربن فعال از محلول جدا شد، نمونه در درون کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. پس از خاموش نمودن کوره، نمونه برای مدت ۲۴ ساعت درون کوره نگه داشته شد (۲۰). برای بررسی مورفولوژیکی کربن فعال و اطمینان از اثر نیترات منیزیم بر آن، تصویر میکروسکوپ الکترونی Scanning Electron (SEM) قبل و بعد از عملیات پوشش کربن فعال با نیترات منیزیم (coating) از کربن فعال تهیه گردید (شکل ۲ و ۳). همان طوری که از تصویر ۳ مشخص است، سطح کربن فعال پس از نشاندن نیترات منیزیم روی آن با تغییر همراه بوده به طوری که از سطح صاف‌تری برخوردار شده است. همچنین نتایج حاصل از تست (BET) نشان داد که حجم منافذ کربن فعالcm^3/g۰/۶۰۱۳۹. بوده که پس از پوشش آن با نیترات منیزیم به cm^3/g ۰/۵۶۳۲. کاهش یافته است. این اتفاق نشان‌دهنده پخش نیترات منیزیم در سطح منافذ کربن فعال است. در نهایت مقدار ۱۰gr از نمونه مذکور در داخل راکتور ریخته شد.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی کربن فعال



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم

چگونگی انجام آزمایشات:

برای بررسی تاثیر ازن و کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم در حذف تولوئن، هوای حاوی تولوئن در غلظت‌های مشخص به طور مداوم در معرض ازن و کربن فعال به تنهایی و توام قرار گرفت. در این مرحله از کار تاثیر

پارامترهای زمان ماند و رطوبت نسبی بر میزان حذف تولوئن در هر یک از فرایندها نیز بررسی گردید. از دستگاه قرائت مستقیم phochek5ooo ساخت کشور انگلستان برای اندازه‌گیری غلظت تولوئن در جریان هوا استفاده شد. این دستگاه با روش آشکار ساز یون‌ها (PID) به صورت هم زمان نمونه‌برداری و سنجش را انجام می‌دهد. البته به منظور بررسی صحت کار دستگاه Phochek برای هر متغیر تعدادی نمونه با روش گاز کروماتوگرافی یونش شعله‌ای (FID) نیز اندازه‌گیری گردید که نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از دستگاه قرائت مستقیم مشابه بود.

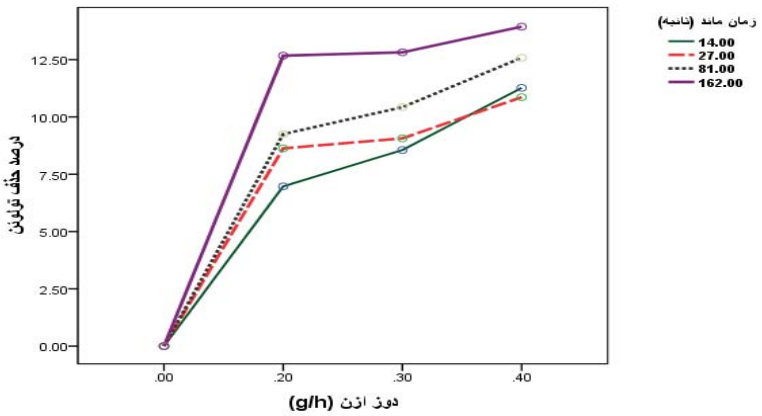
ابزار تجزیه و تحلیل داده ها :

برای هر مرحله آزمایشی، کلیه آزمایشات ۳ بار در شرایط آزمایشگاهی دمای ثابت ۲۵-۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۴۰٪ و در زیر هود انجام گرفت. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و به کارگیری آزمون تحلیل واریانس سه طرفه three-way ANOVA آنالیز گردید و نتایج در قالب نمودارهای خطی و ستونی ارایه و مورد بحث قرار گرفته است.

یافته‌ها

کارایی ازن در حذف تولوئن:

بررسی تاثیر ازن در حذف تولوئن از جریان هوا در نمودار ۱ نشان داده شده است. در این مرحله از کار غلظت‌های مختلف تولوئن در زمان ماندهای ۱۴، ۲۷، ۸۱، ۱۶۲ ثانیه (با توجه به حجم راکتور) در معرض دوزهای مختلف ازن (g/h ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲) با ثابت نگه داشتن سایر متغیرهای تاثیرگذار، قرار گرفت. نتایج نشان داد که راندمان حذف تولوئن بین ۱۱-۷٪ بوده که با افزایش زمان ماند از ۱۴ به ۱۶۲ ثانیه، درصد حذف به ۱۴٪ افزایش می‌یابد. آزمون مقایسه‌ای دو به دو توکی (Tukey) نشان داد که بین کلیه زوج دوزهای ازن تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$).



نمودار ۱: راندمان حذف تولوئن در فرایند ازن زنی در زمان ماندهای مختلف

کارایی فرایند ترکیبی کربن فعال، نیترات منیزیم و ازن در حذف تولوئن:

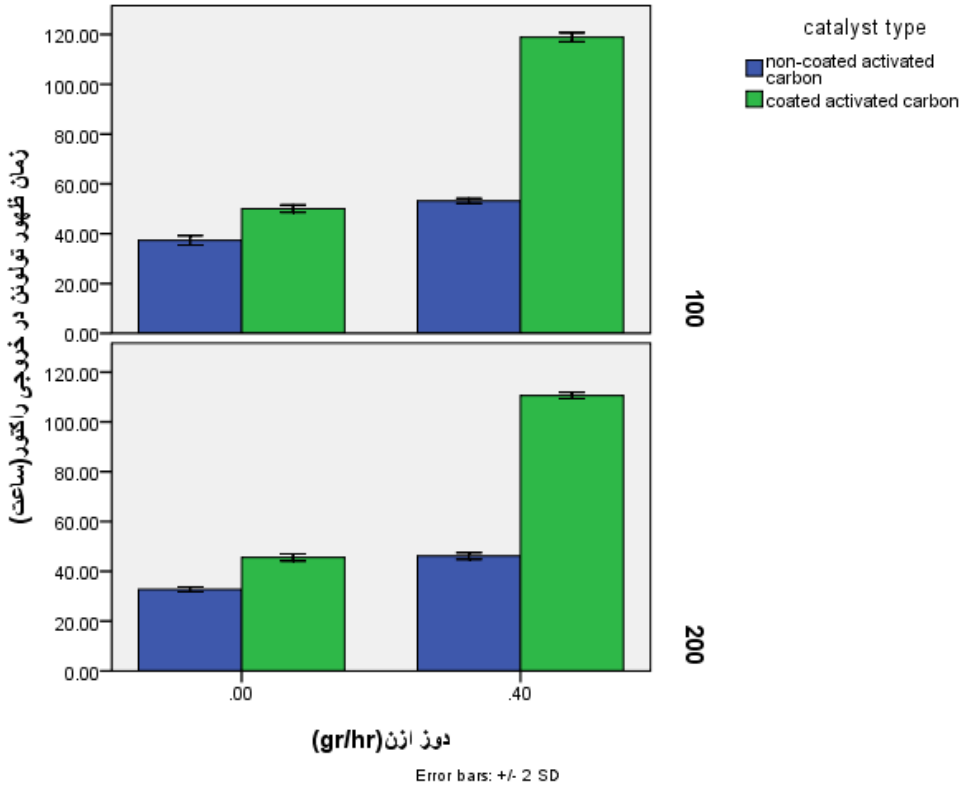
نتایج کارایی کربن فعال به تنهایی، کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم بدون استفاده از ازن و با استفاده از ازن در حذف تولوئن از جریان هوا در غلظت‌های مختلف با توجه به زمان ظهور (نقطه شکست) و نقطه اشباع غلظت تولوئن در خروجی راکتور در نمودار ۲ و۳ نشان داده شده است. شرایط آزمایش در نظر گرفته شده برای این کار شامل دمای۲۵-۲۳ سانتی‌گراد، میزان جریان هوای ورودی به

راکتور Lit/min ۳، کربن فعال ۴ گرم، رطوبت کمتر از ۴۰٪ و دوز ازن g/h ۰/۴ بود.

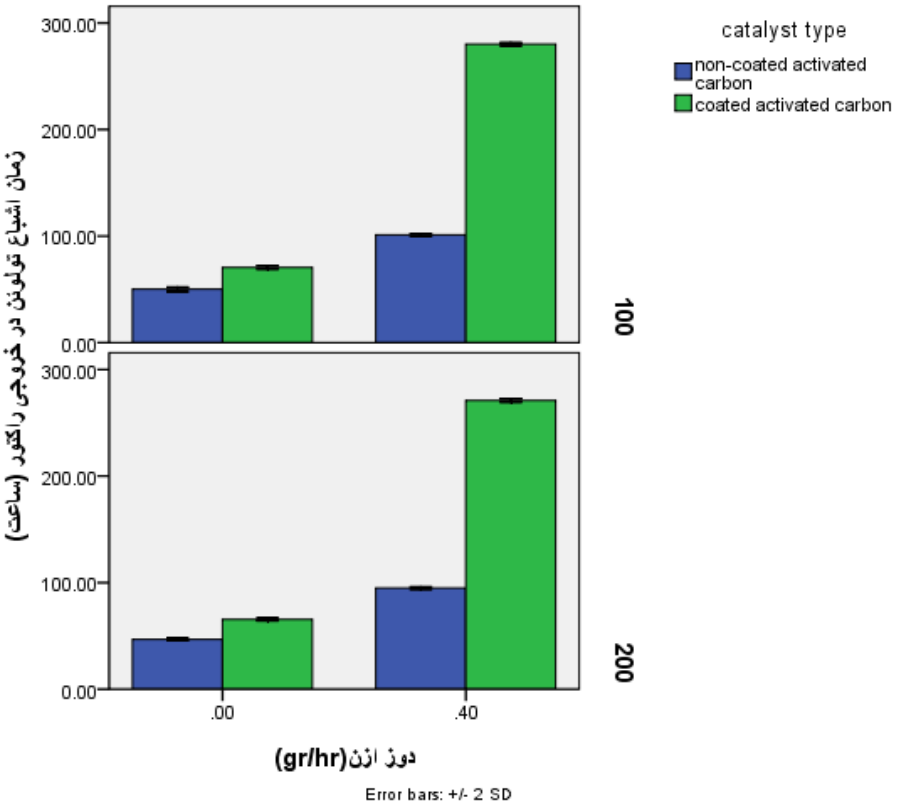
نتایج حاکی از آن بود که، زمان ظهور و اشباع تولوئن در خروجی راکتور در فرایند ازن زنی کاتالیزوری، در هنگامی که از کربن فعال پوشانده شده با نیترات منیزیم استفاده می‌شود، بیشتر از کربن فعال تنها می‌باشد. به طوری که زمان ظهور و اشباع در غلظت ppm ۲۰۰ برای کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم به ترتیب ۱۱۵،۲۷۶ ساعت و برای کربن فعال تنها ۴۹/۷ و ۹۸ ساعت بود.

اثر میزان رطوبت نسبی برکارایی فرایند ازن زنی کاتالیزوری درحذف تولوئن

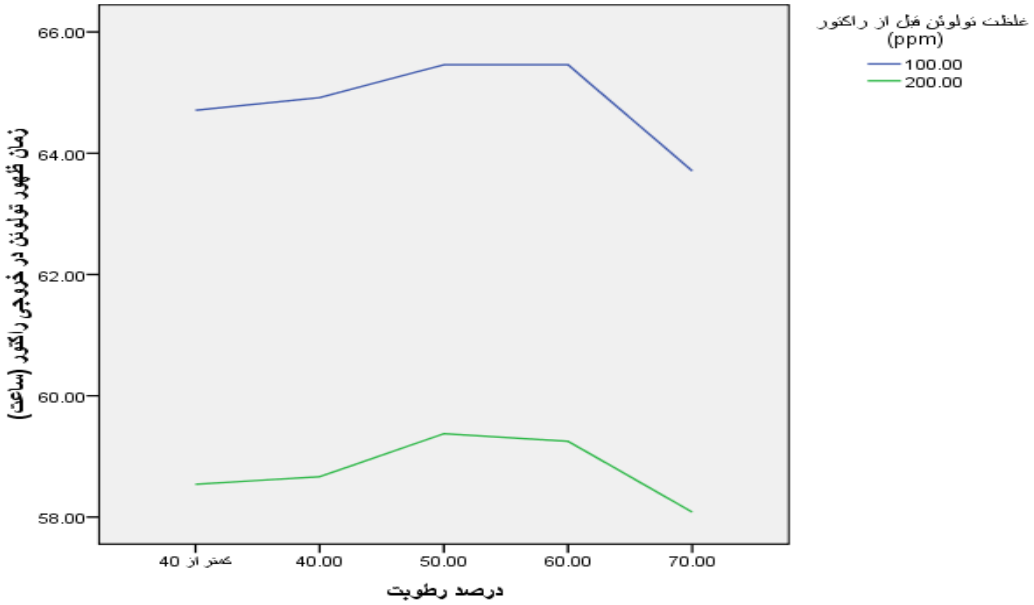
در این مرحله از آزمایش تاثیر رطوبت نسبی در گستره ۷۰و ۶۰و ۵۰ و۴۰و ۴۰٪> درصد بر کارایی فرایند ازن زنی کاتالیزوری برای غلظت‌های ppm ۲۰۰-۱۰۰ در نمودارهای ۴ و ۵ مورد ارزیابی قرار گرفته است. سایر پارامترهای تاثیرگذار مانند مرحله قبل در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی تا۶۰٪ زمان ظهور و اشباع تولوئن در خروجی راکتور بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر کارایی سیستم در حذف تولوئن ارتقا می‌یابد، به طوری که برای غلظت ppm ۲۰۰ زمان ظهور و اشباع تولوئن در خروجی راکتور به ترتیب از ۵۸/۵ و ۱۱۹ ساعت در رطوبت کمتر از ۴۰٪ به ۵۹/۳ و ۱۲۰ ساعت در رطوبت ۶۰٪ رسیده است. لازم به ذکر است که با افزایش رطوبت به بالاتر از ۶۰٪ کارایی سیستم ازن زنی کاتالیزوری تنزل یافت.



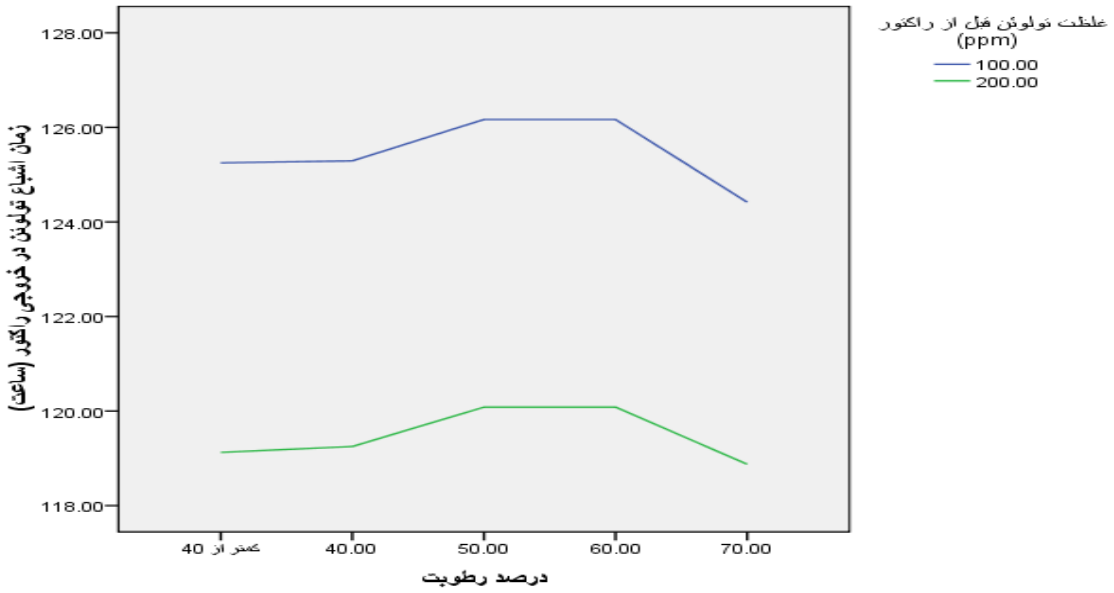
نمودار ۲: مقایسه زمان ظهور(نقطه شکست) تولوئن در خروجی راکتور با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری در سیستم کربن فعال و کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم برای غلظت های مختلف تولوئن



نمودار ۳: مقایسه زمان اشباع تولوئن در خروجی راکتور با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری در سیستم کربن فعال و کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم برای غلظت های مختلف تولوئن



نمودار ۴: زمان ظهور(نقطه شکست) تولوئن در خروجی راکتور با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری در رطوبت های مختلف



نمودار ۵: زمان اشباع تولوئن در خروجی راکتور با استفاده از فرایند ازن زنی کاتالیزوری در رطوبت های مختلف

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که زمان ظهور تولوئن در خروجی راکتور ازن زنی کاتالیزوری نسبت به هر یک از آنها به تنهایی (کربن فعال و ازن) بیشتر بوده (نمودارهای ۱تا۳) و بین افزایش دوز ازن و راندمان حذف تولوئن از جریان هوا رابطه معنی داری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$). به عنوان مثال این زمان برای غلظت ppm ۲۰۰ تولوئن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری۴۹/۷ ساعت و برای فرایند کربن فعال تنها ۳۷ ساعت بود. به عبارتی راندمان حذف، در سیستم ازن زنی کاتالیزوری بیشتر است. این شرایط در هنگام استفاده از کربن فعال پوشش داده شده با نیترات منیزیم به مراتب بهتر از هر یک از سیستم‌های قبلی بود. به طوری که در این شرایط زمان ظهور تولوئن در خروجی راکتور به ۱۱۵ ساعت افزایش یافت، که نشان‌دهنده ارتقا چشمگیر راندمان کار بود. این افزایش راندمان، خود می‌تواند دلیل خوبی برای داشتن خاصیت کاتالیستی نیترات منیزیم بوده که به واسطه آن باعث ایجاد خاصیت اکسیدکنندگی در جاذب‌ها می‌شود (۱۲-۸).

در سایر پژوهش‌ها از جمله chao و kwong و همکاران برای حذف بنزن و تولوئن، تاثیر ازن عبوری بر روی زئولیت را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کار آنان نیز نشان داد که میزان حذف در فرایند ازن زنی کاتالیزوری نسبت به فرایند جذب سطحی زئولیت به تنهایی بیشتر بوده که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر یکسان می‌باشد (۱۳،۱۴، ۱۷) دلیل این افزایش حذف تولوئن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری می‌تواند این باشد که در فرایند ازن زنی کاتالیزوری از یک طرف کربن فعال با ایجاد یک بستر محصور کننده، سبب می‌شود که ازن و تولوئن در سطح آن برای مدتی به دام بیافتند و در نتیجه زمان ماند برای واکنش ازن با تولوئن افزایش یابد. از طرف دیگر کربن فعال در فرایند ازن زنی کاتالیزوری، به عنوان کاتالیزور عمل کرده و باعث تجزیه ازن به اتم‌های اکسیژن می‌شود، که این اتم‌ها نیز خود در تجزیه تولوئن نقش مهمی دارند (۱۰-۸). دلیل دیگر برای ارتقا راندمان در سیستم ازن زنی کاتالیزوری به خاطر افزایش سطح تماس ازن و مولکول‌های تولوئن جذب شده بر روی کربن فعال می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که، در فرایند ازن زنی کاتالیزوری،

ازن در جایگاه‌های اسید لوئیس کربن فعال، طبق واکنش‌های زیر به $O_2, O^{\bullet}$ تجزیه می‌شود (۱۷-۱۶).

$$O_3 + AC - S \rightarrow AC - S^{O3} \quad (۱$$

$$AC - S^{O3} \rightarrow AC - S^{\bullet O} + O_2 \quad (۲$$

$$AC - S^{\bullet O} + O_3 \rightarrow AC - S^{O_2} + O_2 \quad (۳$$

$$AC - S^{O2} \rightarrow AC - S + O_2 \quad (۴$$

در این معادلات AC-S و $AC - S^{O_3}$ به ترتیب نشانگر جایگاه اسیدلوئیس در جاذب سطحی و مولکولهای ازن جذب سطحی شده و $AC - S^{O_2}$ و $AC - S^{\bullet O}$ نشانگر گونه های اکسید سطحی هستند. از آنجائیکه در جریان هوای ورودی به راکتور بخار آب وجود دارد، لذا رادیکال اکسیژن می تواند طبق معادله زیر سبب تجزیه مولکولهای آب شود:

$$AC - S^{\bullet O} + H_2O \rightarrow AC - S^{(\bullet OH)_2} \quad (۵$$

در نتیجه با عبور هوای حاوی تولوئن از درون راکتور و تماس مولکولهای تولوئن با ازن و رادیکال های $OH^{\bullet}$ و $O^{\bullet}$، تولوئن طبق معادلات زیر تجزیه می شود. که در صورت واکنش کامل تولوئن، محصول نهایی H_2O, CO_2 خواهد بود(۱۶-۱۵).

$$AC - S^{\bullet O} + toluene \rightarrow Co_2 + H_2O \quad (۶$$

$$AC - S^{(\bullet OH)2} + toluene \rightarrow Co_2 + H_2O \quad (۷$$

$$AC - S^{O_3} + toluene \rightarrow Co_2 + H_2O \quad (۸$$

همان‌طوری که از واکنش‌های بالا پیدا است تولوئن هم به صورت مستقیم توسط ازن (واکنش ۸) و هم بصورت غیرمستقیم (واکنش‌های ۶ و ۷) بر اثر رادیکال‌های تولید شده $OH^{\bullet}$ و $O^{\bullet}$ در فرایند ازن زنی کاتالیزوری تجزیه و حذف می‌گردد. پژوهش‌ها نشان داده است که رادیکال‌های تولیدی و ازن به باندهای C-H و C-C ترکیبات آلی فرار حمله می‌کنند و سبب تجزیه آنها می‌شوند (۱۶،۹). این پژوهش همچنین نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی تا ۶۰٪ کارایی سیستم در فرایند ازن زنی کاتالیزوری افزایش می‌یابد (نمودارهای ۴، ۵)، که با نتایج پژوهش F.I. Khan مشابه می‌باشد (۱).

تحقیقات نشان داده است که یکی از مکانیسم‌های تاثیر گذار در فرایند ازن زنی کاتالیزوری، تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد که این رادیکال باعث افزایش تجزیه تولوئن در سیستم می‌شود. در نتیجه نقش رطوبت در ارتقا کارایی حذف تولوئن در این پژوهش را می‌توان به خاطر تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$) دانست (۱۶). البته با افزایش رطوبت به بالای ۶۰٪ کارایی سیستم در حذف تولوئن کاهش یافت. به عبارتی می‌توان چنین گفت که رطوبت نسبی ۶۰٪، شرایط بهینه برای عملکرد سیستم است. در سایر مطالعات مشابه از جمله موسوی و همکاران، رطوبت ۵۰٪ را شرایط بهینه برای افزایش راندمان حذف سیستم ازن زنی کاتالیزوری اعلام کرده‌اند (۱۶، ۱۸). کاهش راندمان حذف تولوئن در فرایند ازن زنی کاتالیزوری برای مقادیر رطوبت بالاتر از ۶۰٪ ممکن است به دلیل رقابت مولکول‌های آب با مولکول‌های تولوئن و ازن در جذب شدن روی سطح کربن فعال و همچنین به دلیل اینکه، جذب سطحی بخار آب مانع از تجزیه ازن بر روی جاذب سطحی (کربن فعال) می‌شود، اتفاق بیافتد (۱۶).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که به کارگیری فرایند ازن زنی کاتالیزوری می‌تواند یک روش موثر در حذف بخارات تولوئن از هوا باشد. البته این روش ممکن است برای سایر ترکیبات آلی فرار متفاوت بوده که نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی لرستان به خاطر فراهم کردن تسهیلات مالی و فضای لازم برای انجام آزمایشات و همچنین کلیه افرادی که ما را در مراحل مختلف کار این پروژه یاری نموده‌اند کمال تشکر را داریم.

References

1. Khan FI, Ghoshal AK.. Removal of volatile organic compounds from polluted air. J.Loss Prevent Process Indus 2000; 13: 527–45.
2. Wilfried K. Exposure to toluene in the printing industry. Occup Environ Med 1999;56(7):443-8 -
3. WHO Regional Office for Europe. Air Quality Guidelines (Toluene). 2th Ed. Denmark: 2000.
4. Gilli G, Scuresatone E, Bono R. Benzene, toluene and xylenes in air, geographical distribution in the Piedmont region (Italy) and personal exposure. Sci Total Environ 1994; 148(1):49-56.
5. Foo S. Chronic neurobehavioral effects of toluene. Br J Ind Med 1990; 47(7): 480–84.
6. Berna V, Wendel D, Erik T. Dermal exposure assessment to benzene and toluene using charcoal cloth pads. J Expo Anal Environ Epidemiol 2005; 15(1):47-50
7.American conference of governmental industrial hygienists (ACGIH).Threshold limits values for chemical substance and physical agents and biological exposure indices. 2005; 48.
8. Willliam LH. Industrial Air Pollution Control Systems. 1th Ed. New York: Mcgraw-Hill Publishers, 1997.
9.Song W, Tondeur D, Luo L, Li J. VOC adsorption in circulating gas fluidized bed. Adsorption 2005; 11: 853–8.
10. Davidson CT, Daugulis A. Two-phase partitioning bioreactors for treatment of volatile organic compounds. Biotechnology Advances 2007; 25: 410- 22.
12. Pengyi Z, Juan L, Zhongliang Z. UV Photocatalytic Degradation of Toluene in the Gas Phase. Chem Lett J 2004; 33:1242-8.
13. Kwong Cw, Chao CYH, Hui KS, Wan MP. Catalytic ozonation of Toluene using Zeolite and MCM-41 materials. Environ Sci Technol 2008; 42: 8504-9.
14. Chao CYH, Kwong CW, Hui KS. Potential use of a combined ozone and zeolite system for gaseous toluene elimination. J Hazard Mater 2007; 143: 118–27.
15. Einaga H, Futamura S. Catalytic oxidation of benzene with ozone over alumina-supported manganese oxides. J Cataly 2004; 227: 304–12.
16. Moussavi GR,, Khavanin, A., Mokarami, HR. An investigation of the effects of reaction time, ozone dosage, and relative humidity on the efficacy of the catalytic ozonation process in removing xylene from the airflow. Iranian Quarterly Journal of Occupational Health 2010; 7(3):60-7.
17. Kwong Cw, Chao CYH, Hui KS, Wan MP. Catalytic ozonation of Toluene using Zeolite and MCM-41 materials. Environ Sci Technol 2008; 42: 8504-9.
18. Martra G. et al, The Role of H2O in the Photocatalytic Oxidation of Toluene in Vapour Phase on TiO2 Catalyst, A FTIR Study Catalysis Today 1999; 53: 695–702.
19. Clescer LS,Greenberg AE, Eaton AD,editors.Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed. Washington, D.C: American Public Health Association;2005
20. Moussavi, G.R., Khavanin, A., Alizadeh, R. The integration of ozonation catalyzed with Mgo nanocrystals and the biodegradation for the removal of Phenol from saline wastewater. Applied Catalysis:B:Environmental 2010; 97: 160-7

Removal of Toluene from the Airflow Using Catalytic Ozonation

Rajab Rashidi[1], Hatam Godini[2], Mohammad Almasian[3]

Original Article

Abstract

Background: The widespread use of toluene and its consequent adverse effects on health and specially its chronic effects on the central nervous system has resulted in many studies being carried out on the methods that can control and reduce toluene vapors in the airflow. The objective of this study is to assess the effectiveness of the catalytic ozonation process in the removal of toluene from the airflow.

Methods: The present study is of the experimental type and was carried out on a laboratory scale. The experimental equipment consisted of an air pump, an injection pump, an ozone generator, a humidity generating system, a mixing chamber, a rotameter, and a glass reactor with a length of 25 cm and an internal diameter of 2 cm. Varying concentrations of toluene were constantly exposed to the process of catalytic ozonation to the activated carbon and activated carbon covered in magnesium nitrate while inducing changes in variables such as reaction time, ozone dosage, and level of humidity. Different concentrations of toluene were measured before and after exposure to the treatment process. The data were analyzed using the SPSS Win 16 and such statistical techniques and methods as descriptive and inferential statistics and three-way ANOVA were utilized.

Findings: The findings indicated that the toluene removal rates were much higher in the catalytic ozonation process when activated carbon covered in magnesium nitrate was used than when pure activated carbon was used. This issue can be deduced from the fact that the time necessary for toluene to appear at the exit point of the reactor when using activated carbon is 50 hours, while this time in case of use of activated carbon covered in magnesium nitrate is 115 hours. The findings also showed that the three variables of reaction time, ozone dosage, and relative humidity had a positive effect on the process, so that increasing the amounts of these three variables led to an enhancement of the removal system.

Conclusion: Given the considerable enhancement of the toluene removal rates as a result of concomitant use of activated carbon and magnesium nitrate in the catalytic ozonation process, it can be concluded that activated carbon covered in magnesium nitrate is an appropriate method in the removal of VOCs from the airflow.

Keywords: toluene, activated carbon, magnesium nitrate, Catalytic Ozonation

Citation: Rashidi R, Godini H, Almasian M. **Removal of Toluene from the Airflow Using Catalytic Ozonation.** J Health Syst Res 2014; 9(12):1346-1356

Received date: 13/02/2013 **Accept date: 25/08/2013**

1. Assistant professor in the department of environmental health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran (Corresponding Author) Email: rachidi_r@yahoo.com
2. Associated professor in the department of environmental health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran
3. Lecturer, Faculty member of the Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran