



بررسی حذف فتوکاتالیستی بخار تولوئن از هوا با استفاده از نانو اکسیدهای کوبل شده اکسید روی-دی اکسید قلع تثبیت شده بر روی کربن فعال

فاطمه تنها^۱، حسینعلی رنگ کوی^۲، نعمت‌الله جعفرزاده^۳، فیروز ولی‌پور^۴، ایمان عارفیان^۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۱۸

تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: تولوئن یکی از ترکیبات آلی فرار سمی است که حذف آن از هوای آلوده ضروری است. یکی از فن‌آوری‌های موجود برای حذف این ترکیب، تجزیه فتوکاتالیستی است. این مطالعه با هدف تعیین کارایی کاتالیست ZnO-SnO₂/AC بر حذف فتوکاتالیستی بخارات تولوئن صورت گرفت. **روش بررسی:** در این مطالعه تجربی، ویژگی‌های کاتالیست تولیدشده با تعیین سطح ویژه به روش BET و بررسی‌های تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تعیین شد. کارایی تجزیه گاز تولوئن با استفاده از کاتالیست ZnO-SnO₂/AC تحت اشعه UV مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین تأثیر غلظت اولیه تولوئن و شدت تابش اشعه UV بر تجزیه گاز تولوئن بررسی شد. **یافته‌ها:** نتایج حاصل از بررسی‌های تعیین سطح ویژه به روش BET و تصاویر SEM حاکی از انباشتگی نانو اکسیدهای کوبل شده اکسید روی-دی اکسید قلع در منافذ ساختار سطح کربن فعال بود. همچنین تثبیت نانو کامپوزیت ZnO-SnO₂ بر روی جاذب کربن فعال، یک اثر افزایشی بر میزان تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن داشت. با افزایش غلظت اولیه تولوئن ورودی، کارایی سیستم کاهش می‌یابد. همچنین مشخص گردید تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن ارتباط مستقیمی با شدت تابش دارد. **نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد تثبیت نانو اکسیدهای کوبل شده ZnO-SnO₂ بر روی ماده جاذب کربن فعال روشی کاربردی و امیدوارکننده جهت حذف بخارات تولوئن از هوا تحت اشعه UV باشد.

کلیدواژه‌ها: تولوئن، ZnO-SnO₂، کربن فعال، تجزیه فتوکاتالیستی

مقدمه

جهش‌زایی، تأثیر سوء بر سیستم عصبی، تخریب لایه ازن، عامل تولید اکسیدان‌های فتوشیمیایی، ایجاد باران‌های اسیدی، تغییر آب و هوا می‌باشد [۳، ۲]. در بین ترکیبات آلی فرار تولوئن با فرمول شیمیایی C₆H₅-CH₃ یکی از این ترکیباتی است که به‌طور وسیع در صنایعی از جمله صنایع نظامی (ساخت تی ان تی)، صنایع شیمیایی (به‌عنوان حلال) حتی در محصولات مورد استفاده در منازل (چسب و مواد آرایشی) استفاده می‌گردد. تولوئن به‌طور طبیعی در نفت خام و درخت تولو (Tolu tree) نیز یافت می‌شود [۴-۷]. به‌طور کلی تولوئن ممکن است از راه‌های مختلف مانند استنشاق،

برای دستیابی به توسعه پایدار، توجه به مدیریت محیط‌زیست امری اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو تهیه و تدوین و اجرای برنامه‌های مؤثر در عین حال اقتصادی در راه رسیدن به اهداف بهداشت عمومی و حفاظت از محیط‌زیست امری لازم و ضروری است [۱]. یکی از مسائل مهمی که سبب آلودگی هوا به‌ویژه در محیط‌های بسته و به خطر انداختن سلامت انسان می‌گردد، ترکیبات آلی فرار می‌باشند که به دلیل کاربرد وسیع از راه‌های مختلفی وارد محیط‌زیست می‌شوند. از جمله آثار زیان‌بار این ترکیبات سرطان‌زایی و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) مرکز تحقیقات فن آوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران، و استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران. rangkooy@gmail.com

۳- مرکز تحقیقات فن آوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران، و استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، اهواز، ایران.

۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

۵- کارشناس بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

مزدوج نظیر ZnO/ZnS ، ZnO/CdS ، TiO_2/SnO_2 انجام دادند [۱۶]. اخیراً Zeng و همکارانش نمونه‌های کوپل شده ZnO/SnO_2 را به روش هم رسوبی تهیه کردند و نشان دادند که اکسیدهای کوپل شده فعالیت فتوکاتالیزوری بالاتری را در تخریب تولوئن نسبت به ZnO و SnO_2 به تنهایی دارند [۱۷].

از سوی دیگر امروزه به‌منظور ارتقاء و افزایش در کارایی تجزیه و حذف آلاینده‌های گازی، استفاده از فرآیند سیستم تلفیقی؛ شامل فن آوری جذب (تثبیت بر روی یک ماده جاذب) و فن آوری فتوکاتالیست مورد توجه بوده و موضوع پژوهش محققان می‌باشد. از جمله پر استفاده‌ترین جاذبها عبارتند از کربن فعال، سیلیکاژل، آلومینیوم اکسید، زئولیت (الک مولکولی). در میان جاذب‌های معرفی شده، کربن فعال جاذب ترکیبات غیر قطبی می‌باشد. البته امکان ساخت جاذب‌های غیر قطبی دیگری نیز وجود دارد ولی سطح فعال این ترکیبات به اندازه کربن فعال نخواهد بود [۱۸-۲۰].

در این مطالعه به‌منظور ارتقاء فرآیند تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن، نانو ذرات ترکیبی ZnO/SnO_2 بر روی کربن فعال به عنوان ماده جاذب تثبیت شد. این پژوهش با هدف بررسی اثر ترکیبی نانو اکسیدهای کوپل شده اکسید روی-دی اکسید قلع و کربن فعال بر کارایی حذف فتوکاتالیستی تولوئن در فاز گازی، همچنین تأثیر غلظت اولیه تولوئن و شدت تابش اشعه ماوراء بنفش بر کارایی تجزیه گاز تولوئن مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی

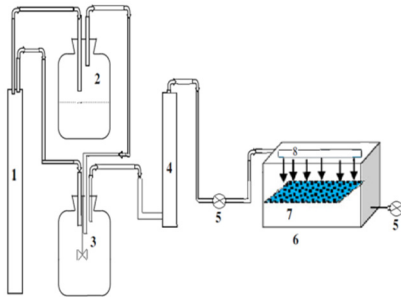
مواد شیمیایی مورد استفاده: در این تحقیق از تولوئن (خلوص ۹۹/۸٪)، سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) و آمونیاک محلول (۲۵٪ NH_4OH) ساخت شرکت مرک (Merck)، کلرید قلع (Aldrich)، $(SnCl_4 \cdot 5H_2O)$ ، کربن فعال (-20 Mesh Panreac) (40) استفاده گردید.

آماده‌سازی فتوکاتالیست: ابتدا نانو اکسیدهای کوپل شده ZnO/SnO_2 سنتز و سپس بر روی ماده جاذب

پوست و دستگاه گوارش جذب بدن شود، در این میان تماس از راه تنفس نسبت به سایر راه‌ها از اهمیت بیش‌تری برخوردار است [۸]. در بین روش‌های مختلفی که برای تجزیه تولوئن وجود دارد، فرآیند تجزیه فتوکاتالیستی به عنوان یک شاخه از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) روش امید بخشی در تخریب آلاینده‌های آلی است که مطالعات زیادی بر روی آن انجام گرفته است. به‌طور کلی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته به‌طور معمول دربرگیرنده کلیه فرآیندهایی هستند که در آن‌ها با روش‌های مختلف، رادیکال‌های فعال هیدروکسیل (OH^\bullet) به عنوان یک اکسیدکننده قوی برای تجزیه و تخریب مواد آلاینده تولید می‌گردد [۹،۱۰]. در فرآیند تجزیه فتوکاتالیستی از نیمه‌رساناهای متعددی به‌عنوان فتوکاتالیزور که عمده‌ترین آن‌ها ZnO و TiO_2 است به همراه اشعه فرابنفش و مرئی استفاده می‌شود [۱۱-۱۳]. بزرگ‌ترین مزیت اکسید روی که سبب شده بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد و در این مطالعه نیز استفاده شده است قابلیت جذب طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیس نسبت به دی اکسید تیتانیوم و قابلیت فتوکاتالیستی آن در معرض تابش پرتو UV-A می‌باشد [۱۴].

اساس فرآیند فتوکاتالیستی تابش‌دهی ذرات نیمه‌هادی است. تابش‌دهی این ذرات با انرژی بالاتر از انرژی شکاف مربوط به آن‌ها منجر به تولید جفت الکترون-حفره می‌شود. الکترون-حفره پدید آمده با ترکیبات جذب سطحی شده بر سطح فتوکاتالیزور واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء را انجام می‌دهند و در نهایت ترکیبات آلی را معدنی سازی می‌کنند. ترکیب مجدد الکترون-حفره مهم‌ترین عامل محدودکننده‌ای است که کارایی فرآیند فتوکاتالیستی را کاهش و مانع از کاربرد عملی این تکنیک در تجزیه آلاینده‌ها می‌شود. تاکنون تلاش‌های فراوانی در زمینه برطرف کردن محدودیت فوق انجام گرفته است که می‌توان به کوپل فتوکاتالیست‌های نیمه‌هادی اشاره کرد [۱۵].

تاکنون گروه‌های تحقیقاتی زیادی آزمایش‌های متنوعی را بر روی فعالیت فتوکاتالیستی نیمه‌رساناهای



شکل ۱- شمای ساده ای از سیستم طراحی شده برای آزمایشات تجزیه فتوکاتالیستی به روش دینامیک. (۱) پمپ هوا، (۲) ظرف حاوی محلول تولوئن، (۳) محفظه اختلاط، (۴) روتامتر، (۵) پورت اندازه گیری غلظت تولوئن، (۶) راکتور فتوکاتالیتیک، (۷) بستر فتوکاتالیست، (۸) لامپ UV

متخلخل حاوی لایه نازک با توزیع یکنواخت کاتالیست تعبیه شد. در قسمت فوقانی راکتور در فاصله ۲cm از سطح بستر کاتالیست ۳ لامپ UV با بیشترین میزان توان خروجی و حداکثر طول موج ۳۶۵ نانومتر نصب شده است (شکل شماره ۱). شدت تابش ۳ لامپ UV در فاصله ۲ cm، $1/9 \text{ w/cm}^2$ اندازه گیری شد (Hagner-EC1-UVA).

غلظت سازی تولوئن: در این مطالعه گاز تولوئن توسط دمش جریان هوا در ظرف حاوی محلول تولوئن طی فرآیند تبخیر سطحی متصاعد شده و سپس توسط جریان هوای تمیز و خشک توسط پمپ وارد محفظه اختلاط و سپس وارد راکتور شد. در این آزمایش بسته به نسبت درصد وزنی محلول تولوئن و میزان جریان هوای دمشی، غلظت‌های گوناگون تولوئن در فاز گازی ایجاد گردید. در آزمایش‌ها از غلظت‌های تولوئن گازی تولید شده ۲۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm استفاده شد (میزان بار سطحی کاتالیست $3/4 \text{ mg/cm}^2$).

حذف فتوکاتالیستی تولوئن: پس از تهیه غلظت لازم از تولوئن و ثابت نگه داشتن جریان کلی گاز، بخار تولوئن وارد راکتور می‌شود. در این فرایند غلظت تولوئن ورودی و خروجی راکتور در وضعیت خاموشی لامپ‌ها و تاریکی سنجش می‌شود. زمانی که مقادیر ورودی و خروجی برابر شد، تعادل دینامیکی (بستر مورد استفاده کارایی جذبی خود را از دست داده و به نقطه اشباع

کربن فعال نشانده شدند.

سنتز نانو اکسیدهای کوپل شده ZnO-SnO₂ با استفاده از روش هم رسوبی (co-precipitation) انجام شد. جهت انجام این عمل سولفات روی و کلرید قلع را با نسبت وزنی مشخص در مقدار کمی آب ۲ بار تقطیر حل کرده سپس آمونیاک محلول را با نسبت (۱:۱۷/v) قطره به قطره به محلول اضافه نموده تا میزان pH محلول در حدود ۷ تنظیم شود؛ که در نتیجه یک توده ژل سفید رنگ تشکیل می‌شود. این ماده فیلتر شده و تا زمانیکه SO_4^{2-} و Cl^- در فیلتراسیون یافت نشوند شستشو داده شد. برای شناسایی یون SO_4^{2-} و Cl^- از باریوم کلراید و نیترات نقره استفاده شد. این محلول در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک و در نهایت در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در کوره تکلیس شد [۱۶].

جهت تولید کاتالیست مورد نظر نانو اکسیدهای کوپل شده ZnO-SnO₂ و گرانول‌های کربن فعال با نسبت وزنی ۱۳٪ [۲۱] در ظرف حاوی آب ۲ بار تقطیر به حالت سوسپانسیون در آمده و محتویات به‌طور مداوم هم زده شد. این مخلوط فیلتر و در دمای اتاق خشک شد؛ و در نهایت در کوره الکتریکی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفت [۲۲].

تعیین ویژگی‌های فتوکاتالیست: مساحت سطحی ویژه جاذب و کاتالیست با روش (Brunauer- BET) (Emmet-Teller) از طریق اندازه‌گیری ایزوترم جذب/واجذب گاز ازت، تعیین شد. برای تعیین مورفولوژی و ساختار سطح کاتالیست از روش تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy) استفاده شد.

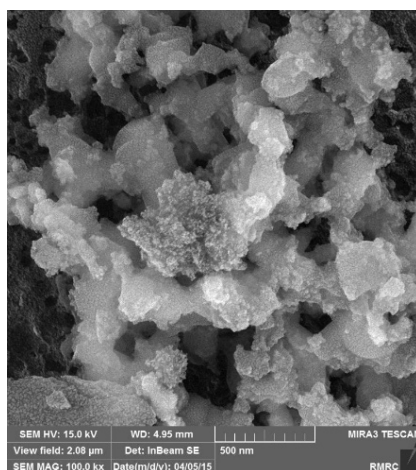
فتوراکتور و منبع تحریک کاتالیست: سیستم آزمایش تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن به حالت جریان مداوم و دینامیک بود. سیستم فتوراکتور متشکل از یک محفظه مکعبی شکل از جنس پیرکس به طول، عرض و ارتفاع ۱۰، ۱۰، ۳۰ cm است؛ که در بالای آن ورودی جریان هوای حاوی آلاینده و در پایین خروجی و مابین ورودی و خروجی در ارتفاع ۵cm از کف راکتور یک بستر

یافته‌ها

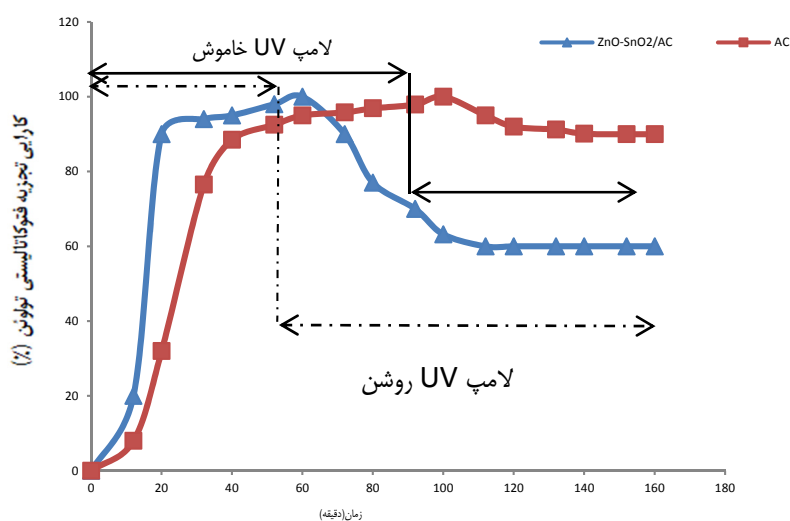
در این بررسی مساحت سطح ویژه (BET) $ZnO-SnO_2/AC$ و AC به ترتیب برابر $۲/۶۴$ ، ۶۰۵ m^2/gr بود. به منظور اطمینان از تثبیت ذرات ZnO/SnO_2 بر روی کربن فعال از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود.

نتایج بررسی روند جذب و تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن توسط جاذب AC و کاتالیست $ZnO-SnO_2/AC$ در غلظت اولیه مرجع $۲۰ ppm$ و جریان حجم کلی $۱۰۰۰ ml/min$ در شرایط ثابت، در نمودار شماره ۱

رسیده است) ایجاد شده است، بلافاصله لامپ‌ها روشن و غلظت خروجی کاهش می‌یابد، زمانی که واکنش تجزیه به تعادل برسد داده‌های آزمایش جمع‌آوری می‌شود. سنجش غلظت تولوئن با استفاده از دستگاه قرائت مستقیم مدل Phocheck Tiger ساخت کمپانی انگلستان بر اساس آشکارساز یونش نوری (Photo Ionisation Detector) انجام شد. برای دستیابی به نتایج دقیقتر هر آزمایش حداقل ۳ بار تکرار شد و میانگین اندازه‌گیری‌ها پس از ثبت در جداول اولیه استفاده شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و نرم‌افزار Excel آنالیز شدند.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) کاتالیست $ZnO-SnO_2/AC$



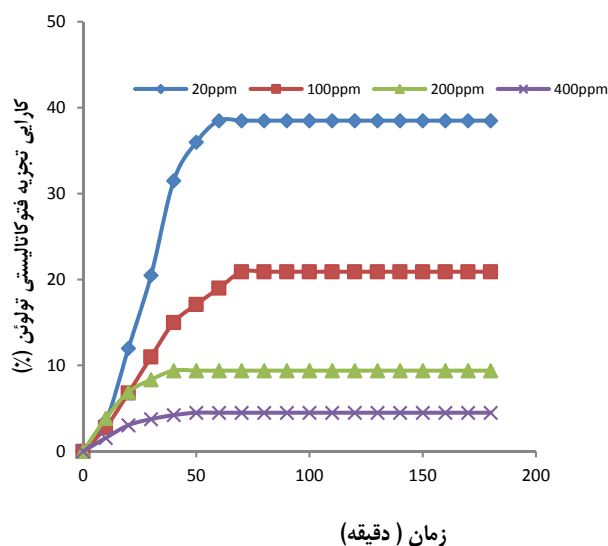
نمودار ۱- روند جذب و تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن توسط جاذب کربن فعال و کاتالیست $ZnO-SnO_2/A$

می‌باشد. برای فهم بهتر تأثیر شدت تابش بر تجزیه فتوکاتالیستی ۳ آزمایش متفاوت در شرایط یکسان آزمایشگاهی با استفاده از ۱،۲ و ۳ لامپ به ترتیب انجام شد. کارایی حذف در این ۳ آزمایش اندازه‌گیری و در نمودار شماره ۲ نمایش داده شده است (میزان بار سطحی کاتالیست 1mg/cm^2).

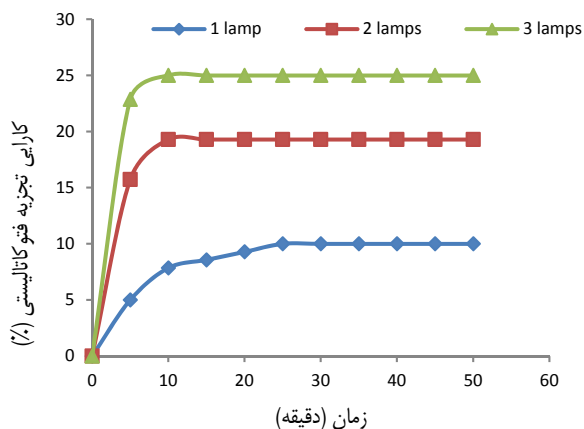
بحث و نتیجه‌گیری

فرآیندهای فتوکاتالیستی از جمله فرآیندهای پاک و دوستدار محیط‌زیست هستند که امروزه کاربرد آن‌ها در

نشان داده شده است (میزان بار سطحی کاتالیست و جذب $3/4\text{mg/cm}^2$). نتایج بررسی کارایی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن تحت تأثیر متغیر غلظت اولیه تولوئن با میزان جریان حجم کلی 1000 ml/min در نمودار شماره ۲ مشخص شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین کارایی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن در ۴ غلظت مختلف تفاوت معنی‌داری ($<0/05$) داشته است، به نحوی که می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت اولیه تولوئن، کارایی تجزیه کاهش میابد. شدت تابش یک فاکتور کلیدی در تجزیه فتوکاتالیستی



نمودار ۲- تأثیر غلظت اولیه تولوئن بر کارایی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن



نمودار ۳- تأثیر شدت تابش اشعه UV بر کارایی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن

نهایت سبب افزایش کارایی حذف فتوکاتالیستی تولوئن می‌شود [۱۷]. نتایج این قسمت نیز مکمل سایر تحقیقات مشابه بوده است. Zeng و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه تأثیر شدت تابش اشعه UV بر حذف فتوکاتالیستی تولوئن، میزان کارایی حذف را با استفاده از ۱، ۲، ۳ و ۴ لامپ به ترتیب ۳۴٪، ۴۹/۸٪، ۷۱/۵٪ و ۸۵٪/۲ گزارش کردند [۱۷].

نتایج این مطالعه نشان داد تثبیت نانو اکسیدهای کوپل شده ZnO-SnO₂ بر روی ماده جاذب کربن فعال روشی کاربردی و امیدوارکننده جهت حذف بخارات تولوئن از هوا تحت اشعه UV باشد.

نتایج حاصل از مجموعه آزمایش‌های انجام شده نشان داد استفاده از کاتالیست ZnO-SnO₂/AC می‌تواند قابلیت بالقوه بالایی در صورت بهینه کردن تمامی متغیرها در جهت حذف فتوکاتالیستی تولوئن از هوا داشته باشد. همچنین این واقعیت اثبات شده است که کارایی تجزیه متأثر از غلظت اولیه تولوئن و شدت تابش اشعه UV است؛ بنابراین، ترکیب فن‌آوری فتوکاتالیستی با استفاده از فتوکاتالیست ZnO/SnO₂ با فرآیند جذب توسط جاذب کربن فعال می‌تواند شیوه‌ای مناسب جهت تصفیه آلاینده تولوئن از هوا باشد. لذا پیشنهاد می‌شود این سیستم تلفیقی برای حذف سایر آلاینده‌های آلی فرار در فاز گازی با بکارگیری نانو ذرات و مواد جاذب مختلف مورد مطالعه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این مطالعه توسط معاونت پژوهشی و مرکز تحقیقات فن‌آوری‌های زیست محیطی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز در چهارچوب پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ۹۳۲۹-ETRC حمایت شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Eckenfelder W, England AJ. "Innovative biological treatment for sustainable development in the chemical industries." J Wat Sci Tech. 1998;

مقیاس وسیع مورد توجه قرار گرفته و در حال توسعه است. تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن در راکتور تحت اشعه UV با موفقیت انجام شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد ساختار مساحت سطح ویژه با تثبیت نانو اکسیدهای کوپل شده ZnO/SnO₂ با تثبیت بر روی کربن فعال افزایش یافته است، همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی آشکار ساخت در اثر این عمل، منافذ موجود در ساختار تخلخلی کربن فعال اشغال شده است. همچنین بررسی روند تجزیه فتوکالیستی AC و ZnO-SnO₂/AC نشان داد که استفاده از فرآیند سیستم تلفیقی (تثبیت کاتالیست ZnO-SnO₂ بر روی جاذب AC) سبب ارتقاء کارایی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن می‌شود. این نتایج با یافته‌های مطالعه Lu و همکاران و رضایی و همکاران مطابقت داشت [۲۳، ۲۴]. در این مطالعات، محققان به بررسی تأثیر Zn²⁺-TiO₂/AC و TiO₂/AC در تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد استفاده از کربن فعال سبب افزایش مساحت سطح ویژه Zn²⁺-TiO₂ و TiO₂ در کاتالیست ترکیبی و ارتقاء کارایی تجزیه فتوکاتالیستی می‌شود [۲۳، ۲۴]. نتایج بررسی تجزیه فتوکاتالیستی تولوئن توسط کاتالیست ZnO-SnO₂/AC تحت تأثیر متغیر غلظت‌های مختلف تولوئن ورودی (نمودار شماره ۲) حاکی از آن است که وقتی غلظت تولوئن ورودی افزایش می‌یابد میزان کارایی تجزیه تولوئن کاهش نشان می‌دهد. هنگامی که غلظت اولیه تولوئن از ۲۰ ppm به ۴۰۰ ppm افزایش می‌یابد کارایی تجزیه تولوئن از ۳۸/۵٪ به ۴/۵٪ کاهش می‌یابد. رضایی و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه تأثیر غلظت اولیه بر تجزیه فرم‌الدئید در فاز گازی گزارش دادند، زمانی که غلظت اولیه از ۲/۵ به ۲۵ mg/m³ می‌رسد کارایی تجزیه از ۷۳٪ به ۴۰٪ کاهش نشان می‌دهد [۲۵]. همچنین نتایج بررسی تجزیه تولوئن تحت تأثیر متغیر شدت تابش اشعه UV نشان داد با افزایش شدت تابش در شرایط یکسان کارایی تجزیه تولوئن افزایش می‌یابد. این نتایج را می‌توان بدین‌صورت توجیه نمود که به سبب افزایش شدت تابش اشعه تولید شکاف نوری افزایش یافته و در



- using ZnO as semiconductor catalyst. *Journal of Hazardous Materials B*. 2004;11:2269-278.
15. Evgenidou E, Konstantinou I, Fytianos K, Poullos I, Albanis T. Photocatalytic oxidation of methyle parathion over TiO₂ and ZnO suspensions. *Catal*. 2007;124:156-162.
 16. Zhang M, An T, Hu X, Wang C, Sheng G, Fu J. Preparation and photocatalytic properties of a nanometer ZnO–SnO₂ coupled oxide. *Appl Catal A*. 2004;260(2):215–22.
 17. Zeng X, Wu J, Zhang D, Li G, Zhang S, Zhao H, et al. Degradation of toluene gas at the surface of ZnO/SnO₂ photocatalysts in a baffled bed reactor. *Res Chem Intermed*; 2009, 35(6-7): 827–38.
 18. Theodore L. Air pollution control equipment calculations. John Wiley & Sons; 2008.
 19. Sobana S, Swaminathan M. Combination Effect of ZnO and Activated Carbon for Solar Assisted Photocatalytic Degradation of Direct Blue53. *Solar Energy Material Solar Cells*. 2006;91: 727-734.
 20. Arana J, Dona-Rodríguez JM, Tello Rendon E, et al. TiO₂ Activation by Using Activated Carbon as a Support Part I. Surface Characterisation and Decantability Study. *Appl Catal B Environ*. 2003; 44(2):161-172.
 21. Puma GL, Bono A, Krishnaiah D, Collin JG. Preparation of titanium dioxide photocatalyst loaded onto activated carbon support using chemical vapor deposition: A review paper. *J Hazard Mater*. 2008; 157: 209–219.
 22. Tao Y, Schwartz S, Wu CY, Mazyck DW. Development of a TiO₂/AC composite photocatalyst by dry impregnation for the treatment of methanol in humid airstreams. *Ind Eng Chem Res*. ACS Publications. 2005;44(19):7366-72.
 23. Lu X, Jiang J, Sun K, Cui D. Characterization and photocatalytic activity of Zn²⁺-TiO₂/AC composite photocatalyst. *Appl Surf Sci*. 2011;258(5):1656–61.
 24. Rezaee A, Pourtaghi Gh H, Khavanin A, Sarraf Mamooory R, Ghaneian MT, Godini H. Photocatalytic decomposition of gaseous toluene by TiO₂ nanoparticles coated on activated carbon. *Iran J Environ Health Sci Eng*. 2008;5(4):305-310.
 25. Rezaee A, Rangkooy H, Khavanin A, Jafari A. High photocatalytic decomposition of the air pollutant formaldehyde using nano-ZnO on bone char. *Environ Chem Lett*. 2014;12(2):353–35.
 - 38(4-5): 111-20.
 2. Noel DN. *Air Pollution Control Engineering*. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill; 2000:329.
 3. Lillo-Ro'denas MA, Cazorla-Amoro's D, Linares-Solano A. Behaviour of activated carbons with different pore size distributions and surface oxygen groups for benzene and toluene adsorption at low concentrations. *Carbon*. 2005;43:1758–1767.
 4. Waniusiow D, Campo P, Cossec B, Cosnier F, Grossman S, Ferrari L. Toluene-induced hearing loss in acivicin-treated rats. *Neurotoxicol Teratol*. 2008;30:154-160.
 5. Chang C, Chen B. Toxicity assessment of volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in motorcycle exhaust. *J Hazard Mater*. 2008;153:1262-1269.
 6. Bowen S, Jonathan D, Mary E, Tokarz M, Wright J, Jenny L. Decreased sensitivity in adolescent vs. adult rats to the Locomotor activating effects of toluene. *Neurotoxicol Teratol*. 2007;29: 599-606.
 7. Roberts LG, Bevans AC, Schreiner CA. Developmental and reproductive toxicity evaluation of toluene vapor in the rat I, Reproductive toxicity. *Reprod Toxicol*. 2003;17:649-658.
 8. Berna V, Wendel D, Erik T. Dermal exposure assessment to benzene and toluene using charcoal cloth pads. *J Expo Anal Env Epi*. 2005;15:47-50.
 9. USEPA. Handbook advanced photochemical oxidation processes, EPA/625/R-98/004, Office of Research and Development, Washington DC. (1998).
 10. Oppenlander T. *Photochemical purification of water and air*, 1st Ed., Weinheim, Wiley – VCH verlag. (2002).
 11. Lin H, Liao S, Hung S. The Dc Thermal Plasma Synthesis of ZnO Nanoparticles for Visible Light Photocatalyst. *J Photochem Photobiol Chem*. 2005;174(1):82-87.
 12. Kown YT, Song KY, Lee WL, Choi GJ, Do YR. Photochemistry Behavior of WO₃-Loaded TiO₂ in an Oxidation Reaction. *J Catal*. 2000;191(1):192-199.
 13. Liu B, Torimoto T, Yoneyama H. Photocatalytic Reduction of CO₂ Using Surface Modified CdS Photocatalysts in Organic Solvent. *J Photochem Photobiol Chem*. 1998;113(1):93-97.
 14. Chakrabarti, S, Dutta, BK. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater

A study on photocatalytic removal of Toluene from air using ZnO-SnO₂ coupled oxide immobilized on activated carbon

Fatemeh Tanha¹, Hossein Ali Rangkooy², Nematollah Jaafarzadeh³, Firooz Valipour⁴, Iman Arefian⁵

Received: 2015/08/20

Revised: 2016/01/31

Accepted: 2016/04/06

Abstract

Background and aims: Toluene is a toxic volatile organic compound that needs to be removed from contaminated air. Photocatalytic degradation is a possible method to remove such compounds. This study was performed to determine the efficiency of ZnO-SnO₂/AC catalyst on the photocatalytic removal of toluene vapors.

Methods: In this experimental study, the characteristics of the produced catalyst were evaluated by determining the specific surface area using the BET method and examining the images obtained from scanning electron microscopy (SEM). The efficiency of toluene degradation was examined using the ZnO-SnO₂ / AC catalyst under UV radiation. The effect of initial concentration of toluene and intensity of UV radiation on the degradation of toluene was studied as well.

Results: The results of specific surface area measurements and SEM images indicate that a proportion of the ZnO-SnO₂ nano-coupled oxides agglomerate on the AC, also entering into the pores. Also, the combination of AC with ZnO-SnO₂ nano-coupled oxides had a synergetic effect on the photocatalytic degradation of toluene. The results showed that the system efficiency decreases with increasing the initial concentration of toluene input. Furthermore, the removal efficiency of toluene positively associated with the intensity of ultraviolet radiation.

Conclusion: The study demonstrated that the ZnO-SnO₂ / AC catalyst may be a practical and promising way to degrade the toluene under UV irradiation.

Keywords: Toluene, ZnO-SnO₂, Activated Carbon, Photocatalytic Degradation.

1. MSc in Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

2. (**Corresponding author**) Assistant Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran, & Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. rangkooy@yahoo.com

3. Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health baghyatolah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

5. Bachelor in Occupational Health and safety Engineering, Department of Occupational Health engineering, Faculty of Public health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran.