

حذف تولوئن از هوا به وسیله خاصیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با اشعه ماورا بنفش

عباس رضائی^{۱*} Ph.D، غلامحسین پورتنقی^۲ M.Sc، علی خوانین^{۳*} Ph.D،
رسول صراف ماموری^{۴*} Ph.D، ابراهیم حاجی زاده^{۵*} Ph.D، فیروز ولی پور^{۶*} M.Sc

آدرس مکاتبه: *دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه بهداشت حرفه ای و محیط، تهران، ایران

**دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه سرامیک، بخش مواد، تهران، ایران

***دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه آمار زیستی، تهران، ایران

****دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، پژوهشکده طب رزمی، مرکز تحقیقات بهداشت نظامی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: تولوئن یکی از مواد شیمیایی پرمصرف در صنایع مختلف می باشد. استفاده گسترده از این ماده شیمیایی و اثرات زیان آور آن بر سلامتی انسان باعث گردیده است که تحقیقات مختلفی در جهت کنترل و کاهش بخارات آن از هوای محیط کار صورت گیرد. یکی از مصارف مهم تولوئن تولید تی ان تی (تری نیترو تولوئن) در صنایع نظامی و مهمات سازی می باشد. تولوئن به علل مختلف به ویژه در اثر تبخیر و در حین فرآیند تولید در هوای محیط کار منتشر می گردد. عوارض زیان آور بخارات تولوئن بر سلامتی انسان و به ویژه عوارض مزمن آن بر روی سیستم اعصاب مرکزی بیانگر اهمیت حذف بخارات تولوئن از هوای محیط کار و جلوگیری از تماس شغلی با آن می باشد.

روش کار: در این مطالعه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (DEGUSA-P25) به عنوان کاتالیست تحت تابش اشعه ماورا بنفش قرار گرفته و به عنوان یک عامل فتوکاتالیستی قوی برای تخریب و تجزیه بخارات تولوئن استفاده گردیده است. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با قرار گرفتن در معرض تابش امواج ماورابنفش بار الکتریکی مثبت و منفی ایجاد می نمایند که بر روی اکسیژن هوا و بخار آب تاثیر نموده و رادیکالهای اکسیژن و هیدروکسیل در محیط تولید می گردند. این رادیکالها باعث تجزیه شدن ترکیبات آلی شیمیایی و تبدیل آنها به مواد بی اثر و کم خطر از قبیل دی اکسید کربن می شوند. در این تحقیق جداره داخلی یک لوله شیشه ای با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به روش غوطه ورسازی پوشش داده شد و تحت تابش اشعه ماورا بنفش، بخارات تولوئن از آن عبور داده شد تا این بخارات تحت تاثیر خاصیت فتوکاتالیستی سیستم فوق قرار گیرند.

نتایج: در این تحقیق غلظتهای ۳۵۰، ۲۵۰، ۱۵۰ و ۴۵۰ ppm از بخارات تولوئن از مسیر فتوکاتالیست عبور داده شد و باعث حذف کامل آن در سیستم گردید. همچنین مشخص گردید UV-A با طول موج ۳۵۶ نانومتر بیشترین کارایی را در ایجاد خاصیت فتوکاتالیستی در نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم چنانچه در معرض تابش امواج ماورا بنفش قرار گیرند خاصیت اکسید کنندگی و احیا کنندگی قوی پیدا می نمایند و می توانند برای حذف بخارات تولوئن به عنوان یکی از ترکیبات آلی فرار از هوا بکار گرفته شوند.

۱- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

۳- استادیار دانشگاه تربیت مدرس

۵- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری بهداشت حرفه ای

۴- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

۶- پژوهشگر مرکز تحقیقات بهداشت نظامی

بحث و نتیجه گیری: تولید رادیکالهای فعال توسط فتوکاتالیست ها می تواند برای تجزیه ترکیبات آلی مختلفی بکار گرفته شود. افزایش دانسیته توان اشعه ماورا بنفش و همچنین استفاده از یک جاذب به عنوان بستر فتوکاتالیست می تواند در افزایش قدرت تجزیه کنندگی آن موثر باشد. نتایج این تحقیق برای حذف و کنترل سایر ترکیبات آلی فرار قابل تکرار می باشد. همچنین با توجه به مشابهت بخارات تولوئن از نظر خواص شیمیایی و عملکرد فیزیولوژیکی با برخی گازهای جنگی به ویژه گاز موستارد پیشنهاد می گردد حذف گازهای جنگی از جمله گاز خردل و چگونگی تخریب شدن آنها بوسیله فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فتوکاتالیست، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، تولوئن، اشعه ماورا بنفش

مقدمه

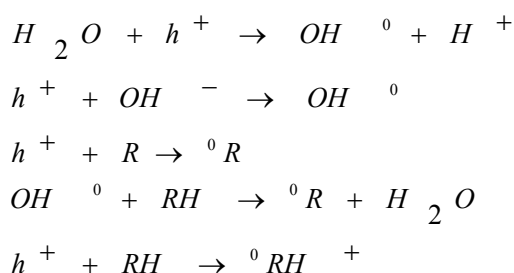
تولوئن به عنوان یک ماده شیمیایی حد واسط و حلال، در صنعت از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. این ماده با فرمول شیمیایی C_7H_8 یا $C_6H_5-CH_3$ و با اسامی مترادف فنیل متان و متیل بنزن، مایع شفاف و بی رنگ بوده و در گروه هیدروکربن های آروماتیک با سرگروهی بنزن قرار دارد. با جایگزین نمودن یک گروه متیل به یکی از هیدروژن های بنزن می توان تولوئن را تولید نمود. برای سال های متمادی تولوئن از بنزن تولید شده در کارگاه های کک سازی و همچنین از تقطیر زغال سنگ به دست می آمد، لیکن در حال حاضر تقریباً " به طور کامل از نفت به دست می آید [۱]. تولوئن دارای ظرفیت حل کنندگی شبیه بنزن است و در بسیاری موارد جایگزین آن می شود. تولوئن در صنایع نظامی برای ساخت تی ان تی یا تری نیترو تولوئن و در صنایع شیمیایی به عنوان حلال در ساخت رنگ، براق کننده های رنگ، لاک ناخن، لاک الکل، چسب پلاستیک، لاستیک، مواد چاپ کننده و چرم مصنوعی استفاده می شود. وسائلی نقلیه، هواپیما، ریخت و پاش بنزن و سایر فرآیندهایی که در آنها تولوئن مصرف و یا تولید می شود [۲]، از منابع اصلی انتشار تولوئن به محیط هستند. به طور کلی تولوئن ممکن است از راه های مختلف مانند استنشاق، پوست و دستگاه گوارش جذب بدن شود، در این میان تماس از راه تنفس نسبت به سایر راه ها از اهمیت بیشتری برخوردار است [۳]. تحقیقات مربوط به تماس حاد با تولوئن نشان می دهد اثر بر

حیوانات مختلف متفاوت بوده و به ترتیب خرگوش، خوکچه هندی، موش خانگی و موش صحرایی از حساسیت بیشتری برخوردارند [۴]. مطالعات سم شناسی بر روی انسان، بر روی افرادی صورت گرفته است که به صورت داوطلب از طریق تنفسی در معرض تولوئن بوده اند و یا افرادی که به واسطه حوادث ناشی از کار یا مصرف نادرست حلال های حاوی تولوئن با این ماده مواجهه بوده اند. یکی دیگر از اثرات مهم بیماریزایی تولوئن اثر بر سیستم اعصاب مرکزی می باشد که به صورت بی حسی، تحریک همراه با احساس شعف و شادمانی و به دنبال آن به هم خوردن تعادل، لرزش، احساس وزوز در گوش، تار شدن دید، هذیان گویی، عدم قدرت در کنترل عضلات ارادی و تشنج و در نهایت کما می باشد [۵]. تماس حاد با تولوئن به مدت کوتاه تأثیر بر سیستم اعصاب مرکزی گذاشته و باعث سردرد، از خود بی خود شدن، تشنج، بیهوشی و مرگ می شود [۶]. تنفس و خوردن تولوئن بر سیستم اعصاب مرکزی اثر گذاشته و حتی می تواند باعث مرگ شود. حد آستانه مجاز شغلی ۱ بخارات تولوئن در هوا ۵۰ ppm برای ۸ ساعت کار روزانه اعلام شده است [۷]. با توجه به موارد فوق و اثرات زیان آوری که برای تولوئن ذکر گردید و احتمال خطر سرطانزایی آن و با توجه به کاربرد وسیع آن در صنایع مختلف و به منظور پیشگیری از آسیب هایی که ممکن است بر روی سلامتی کارگران ایجاد گردد لازم است روش های مناسبی در جهت حذف و یا کاهش بخارات تولوئن در هوا بکار گرفته شود [۸].

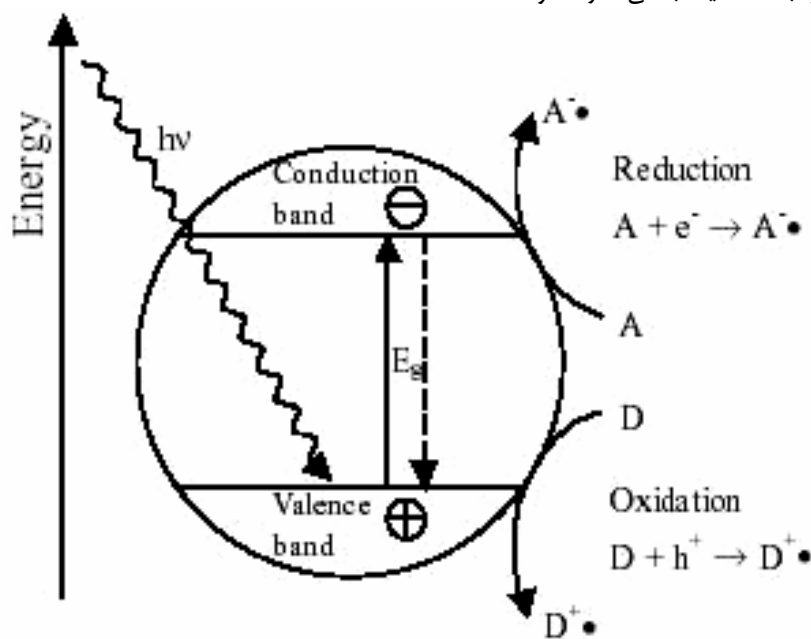
بکارگیری کاتالیست ها به ویژه کاتالیست هایی از قبیل دی اکسید

¹ limit value Threshold

اکسیژن محلول می گردند (به عنوان گیرنده الکترون عمل می کند) و متعاقب آن یون سوپراکسید $O_2^{\bullet -}$ تولید می شود که می تواند بعنوان اکسید کننده عمل کند. $e^- + O_2 \rightarrow O_2^{\bullet -}$.
حفره های ایجاد شده نیز پتانسیل اکسید کنندگی خوبی دارند و قادر به اکسید کردن اکثر مواد شیمیایی بوده و نیز توانایی اکسید کردن H_2O و OH^- را برای تولید OH^{\bullet} را دارند [۱۲]. نحوه عمل رادیکالهای فعال شده به شرح ذیل می باشد:



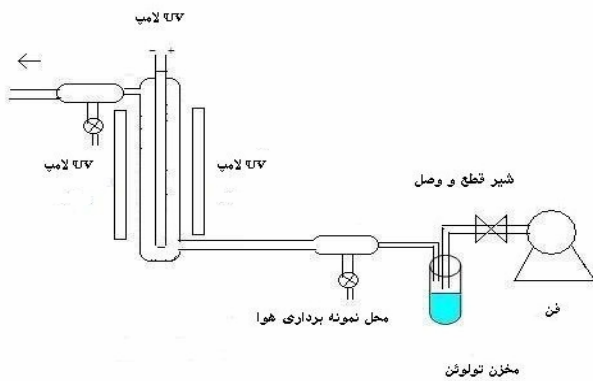
تیتانیوم جهت ایجاد خاصیت اکسید کنندگی در جاذبها در حال گسترش می باشد و تحقیقات زیادی در این مسیر به انجام رسیده است. علاوه بر آن روشهای دیگری نیز برای افزایش قدرت کاتالیستها قابل استفاده می باشد [۹]، در این روشها با استفاده از تابش تشعشعات مختلف به ویژه اشعه ماوراء بنفش با تولید زوج الکترون و حفره بر روی دی اکسید تیتانیوم قدرت اکسید کنندگی آن را بالا می برند که به آن سیستم تجزیه نوری می گویند [۱۰]. سیستم تجزیه نوری شامل ذرات نیمه هادی است که در تماس نزدیک با محیط مایع و گاز قرار دارند. اساس و پایه فرآیند فتوکاتالیت UV/TiO_2 تحریک نوری نیمه هادی TiO_2 (به صورت جامد) بر اثر جذب اشعه الکترومغناطیس است. اولین مرحله در فرآیند فتوکاتالیتیک جذب اشعه UV در سطح ذرات TiO_2 همراه با تشکیل الکترون و حفره های حاصل از خارج شدن الکترونها است [۱۱]. این الکترونهای تشکیل شده قدرت احیاء خوبی داشته و باعث احیاء بعضی فلزات و



شکل ۱- شمائی از فرآیند اکسیداسیون و احیا فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم متعاقب تحریک با تابش اشعه ماورا بنفش

فتوکاتالیست مذکور با روشهای مختلف و در اندازه های مختلف و به ویژه در حد نانو ذره تولید و مورد استفاده قرار می گیرد

دی اکساید تیتانیوم یکی از موادی است که در سالهای اخیر به عنوان یک کاتالیست مورد توجه محققین قرار گرفته است.

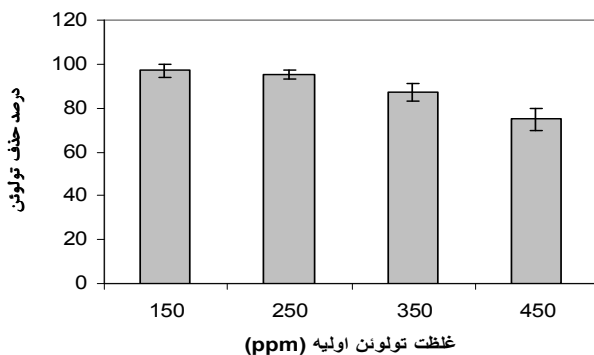


شکل ۲- طرح پایلوت سیستم فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم مورد استفاده برای حذف تولوئن

انواع مختلف لامپ اولتراویوله و همچنین در طول زمانهای مختلف انجام شد. میزان کاهش غلظت تولوئن در هر آزمایش ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

نتایج آزمایشات به عمل آمده در این طرح نشان دهنده کاهش غلظت بخارات تولوئن در اثر ورود آنها به سیستم فتوکاتالیست نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با تابش ماورا بنفش می باشد. نتایج آزمایشات مربوط به تاثیر سیستم فتوکاتالیست



نمودار ۱: درصد حذف غلظتهای مختلف گاز تولوئن در سیستم فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم متعاقب تابش ماورا بنفش در حذف غلظتهای مختلف بخارات تولوئن در نمودار (۱) ارائه شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظتهای بالاتر از بخارات تولوئن نیاز به زمانهای بیشتری برای تجزیه دارند. ولی افزایش

[۱۳]. هدف از این مطالعه بررسی حذف بخارات تولوئن از هوا بوسیله خاصیت فتوکاتالیستس دی اکسید تیتانیوم در مقیاس نانوذرات پس از تابش اشعه ماورا بنفش بر روی آنها و آگاهی از شرایطی است که بتواند بیشترین کارایی را در سیستم فوق ایجاد نماید.

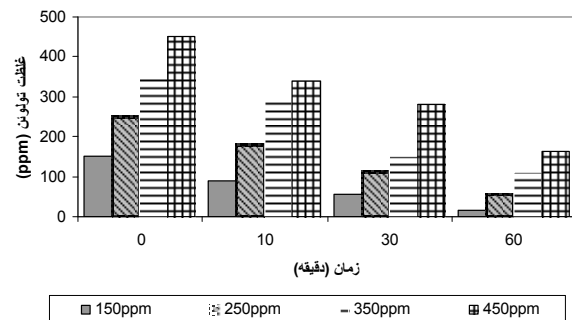
مواد و روش کار

به عنوان یک اصل فیزیکی، در اثر گرما غلظت بخارات موجود در سطح مایعات افزایش می یابد. در این تحقیق از این خاصیت برای تولید بخارات تولوئن در داخل یک ظرف حاوی تولوئن استفاده گردید. این بخارات در غلظت‌های ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰ و ۱۵۰ ppm تولید گردید و با کمک جریان دائمی هوای دمشی که به وسیله یک فن ایجاد شده بود به سمت جداره داخلی یک لوله شیشه ای که دارای خاصیت فتو کاتالیستی بود انتقال داده شد. کاتالیست مورد استفاده در این تحقیق نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با میانگین قطر ۲۵ نانو متر بود که در سطح داخلی یک لوله شیشه ای به طول ۱۵ و قطر ۳ سانتیمتر پوشش داده شده بود. برای پوشش دادن جداره داخلی لوله ابتدا محلول ۵٪ دی اکسید تیتانیوم با استفاده از آب مقطر تهیه گردید و لوله به مدت یک دقیقه در داخل این محلول قرار داده شد و برای تثبیت آن به مدت ۱۰ دقیقه در اجاق مایکروویو در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد با قدرت ۱۸۰ وات قرار داده شد.

کلیه آزمایشات در زیر هود آزمایشگاهی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و در شرایط کنترل شده انجام گرفت. اشعه اولتراویوله با استفاده از یک عدد لامپ ماورا بنفش نوع A چهاروات در درون لوله و یک عدد لامپ چهل وات در بیرون لوله تامین گردید [۱۴]. اندازه گیری بخارات تولوئن با استفاده از دستگاه (فتوچک 500) که با روش آشکار سازی یونها کار می کند انجام شد. کلیه اندازه گیریها قبل و بعد از ورود هوا به داخل سیستم پایلوت انجام گرفت و میزان اشعه اولتراویوله بوسیله دستگاه دیجیتال سنجش شدت اشعه اولتراویوله که میزان دانسیته توان تشعشعی امواج ماورا بنفش را نشان می دهد اندازه گیری شد. آزمایشات در غلظتهای مختلف بخارات تولوئن،

اکسید های نیتروژن و همچنین حذف آلودگیهای میکروبی آب [۱۵] ، توسط دی اکسید تیتانیوم و سایر کاتالیستها که در تحقیقات جدید گزارش گردیده اند قابلیت‌های گسترده فتوکاتالیستها را در جهت کنترل آلاینده ها آشکار نموده است. بررسی نتایج حاصل از آزمایشات این تحقیق نشان می دهد که می توان از سیستم فتوکاتالیست نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با تشعشعات ماورا بنفش، غلظتهای مختلف بخارات تولونن را کاهش داد. سایر محققین از جمله بینگ و پنگای نیز نتایج مشابهی را گزارش نموده اند (۱۶). حاصل این تحقیق و سایر تحقیقاتی که تا کنون بر روی فتوکاتالیستها انجام شده است روشها و تکنیکهای مناسبی را که بتواند بالاترین بازدهی را از این سیستم بدست آورد مشخص می سازد. هونگ (۱۷) با اکسیژن رسانی به فتوکاتالیست توانست بازدهی آن را به مقدار قابل ملاحظه ای بالا ببرد. در این تحقیق مشخص گردید که برای بالا بردن بازدهی سیستم فتوکاتالیست روشهای دیگری نیز وجود دارد که یکی از آنها استفاده ترکیبی از لامپهای UV-A و UV-C می باشد. مقایسه عملکرد هر یک از تشعشعات UV-A و UV-C نتایج متفاوتی را در بر داشته است و دلیل آن استفاده از انواع غیر یکسان از لامپهای فوق در جهت مقایسه تفاوت‌های بازدهی آنها میباشد، به طوری که لی در تحقیق خود [۱۸]، بالا تر بودن کارایی تشعشعات UV-C و جی لونگ [۱۹] ، توانایی تشعشعات UV-A را مناسبتر گزارش نموده اند. آنچه که در ایجاد تحریک در فتو کاتالیستها اهمیت بیشتری دارد مقدار انرژی فوتولیتیکی تشعشعات است که وابسته به دانسیته توان انرژی تابشی آنها می باشد. شیورا [۲۰]، در تحقیق خود برای بالا بردن میزان بازدهی سیستم فتوکاتالیست پیشنهاد کرده است که اگر از یک جاذب اولیه مانند زئولیت ویا کربن فعال به عنوان بستر فتوکاتالیست استفاده شود کارایی سیستم به مراتب بهتر خواهد بود. شارما [۲۱] و برخی دیگر از محققین [۲۲]، سیستم فتو کاتالیست فوق را برای حذف گاز موستارد بکار گرفته اند و نتایج امیدوارکننده ای ارائه شده است که با تکرار آزمایشات فوق برای حذف گازهای جنگی بتوان از این سیستم

زمان کاملا متناسب با افزایش غلظت نیست. برای مقادیر بالای غلظتهای مختلف تولونن، نسبت به مقادیر پایین، مقدار افزایش زمان مورد نیاز برای فرآیند فتوکاتالیستی کمتر بود. نمودار (2) میزان کاهش غلظت بخارات تولونن در طی زمانها و غلظتهای مختلف را متعاقب بکارگیری UV-A در سیستم فتوکاتالیست نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نشان می دهد.



نمودار ۲: کاهش غلظتهای مختلف گاز تولونن در فواصل زمانی مورد آزمایش سیستم فتوکاتالیتیکی دی اکسید تیتانیوم

نتایج این تحقیق نشان داد که لامپ UV-A با دانسیته توان تابشی ۳۰۰ میلی وات بر سانتی مترمربع بیشترین تاثیر رادر افزایش قدرت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم دارد. بیشترین میزان کاهش غلظت تولونن مربوط به بکارگیری همزمان تابش UV-A از داخل و خارج لوله به سیستم پایلوت فتوکاتالیست بود. هنگامی که لامپهای UV حذف گردیدند کاهش قابل ملاحظه ای در میزان بخارات تولونن ایجاد نگردید. برای مقایسه تفاوت عملکرد انواع لامپ ماورا بنفش از نظر بالا بردن کارایی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، به طور جداگانه غلظتهای مساوی از بخارات تولونن تهیه و در شرایط یکسان از مسیر تابش ماورا بنفش با منابع مختلف به فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم عبور داده شد. نتایج حاصله نشان دهنده بیشترین توانایی در کاهش غلظت بخارات تولونن در بکارگیری توام UV-A و UV-C بوده است.

بحث و نتیجه گیری

حذف آلاینده های مختلف هوا از قبیل بنزن، تولونن، فرمالدئید،

- 8- Yin S, Li G, Hu Z . Symptoms and signs of workers exposed to benzene and toluene or the combination. *Ind Health*. 1987; 25: 113-130.
- 9- Pengyi Z, Juan L, Zhongliang Z. UV Photocatalytic Degradation of Toluene in the Gas Phase. *Chem Lett J*. 2004; 33:1242-1248.
- 10- Kazuhito H. TiO₂-coated of gaseous organic compounds optical fiber bundles used as a photocatalytic filter for decomposition. *J Photochem Photobio J*. 2000; 36:111-116.
- 11- Yongsheng C, John C, Crittenden A. Preparation of a novel TiO₂-based p-n junction nanotube photocatalyst. *Env Sci Tech*. 2005; 39: 1201-1208
- 12- Matsunaga T, Tomodam R, Nakajima T. Continuous-sterilization system that uses photoconductor powders. *Appl Env Microbiol*. 1988; 54: 1330-1333.
- 13- MengQin Z, Shouji U. Controllable crystalline nano-TiO₂ by homogeneous hydrolysis with toluene-p-sulfonic Acid. *J Am Ceram Soc*. 2003; 88 168-171.
- 14- Hong J, Madhumita B. Application of ultraviolet photooxidation to remove organic pollutants in the gas phase. *Sep Pur Tech J*. 2000; 19: 11-20.
- 15- Benabbou AK, Derriche Z, Felix C, Lejeune P, Guillard C. Photocatalytic inactivation of *Escherichia coli* Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV irradiation. *Applied Catalysis*. 2007; 257-263.
- 16- Pengyi Z, Juan L, Zhongliang Z. UV

برای ساخت سامانه تهویه در اتومبیلهایی که در مناطق جنگی تردد می کنند و همچنین تهویه مطبوع بیمارستانها و سایر مکانهای آلوده به گازهای جنگی استفاده نمود [۲۳]. این تحقیق مشخص نمود که می توان بخارات تولوئن و برخی دیگر از ترکیبات آلی فرار را با استفاده از تابش تشعشعات ماورا بنفش بر روی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به عنوان فتو کاتالیست کاهش داده و یا آنها را حذف نمود. همچنین بکارگیری یک جاذب مناسب با توجه به نوع آلاینده می تواند به کارائی این سیستم کمک نماید.

منابع

- 1- Anita P, Wilfried K. Exposure to toluene in the printing industry. *Occup Env Med* 2006; 6: 443-448.
- 2- Hajimiragha H. Levels of benzene and other volatile aromatic compounds in the blood of non-smokers and smokers. *Inter Arch Occup Env Health*. 1989; 61: 513-518.
- 3- 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.
- 4- Has U. Developmental neurotoxicity after toluene inhalation exposure in rats. *Neurotox Terato J*. 1999; 21: 349-357.
- 5- Hougaard B. Effects of prenatal exposure to toluene on postnatal development and behavior in rats. *Neurotox Terato J*. 1993; 21: 241-250.
- 6- Foo S. Chronic neurobehavioural effects of toluene. *British J Ind Med* 1990; 47: 480-484.
- 7- American conference of governmental industrial hygienists (ACGIH). Threshold limit values for chemical substance and physical agents and biological exposure indices. 2005; 48.

indoor pollutants under UV irradiation by a composite TiO₂-Zeolite sheet prepared using papermaking. Chem Issu Tech 2003; 79-83.

21- Abha S, Amit Saxena, Beer S. degradation of sulphur mustard and its simulants on the surface of impregnated carbon systems. J Hazardous Materials. 2006; 133: 1-3.

22- Panayotov D, Kondratyuk P, Yates JT. Photooxidation of a mustard gas simulant over TiO₂-SiO₂ mixed-oxide photocatalyst: Site poisoning by oxidation products and reactivation. J Langmuir. 2004; 20: 3674-3678.

23- Michael L. Hichman, A. Anthony S. A Feasibility Study of the Destruction of chemical Weapons by Photocatalytic Oxidation. J Science & Gbbal ecurity. 1997; 6: 205 -237.

Photocatalytic Degradation of Toluene in the Gas Phase. Chem Lett J. 2004; 33:1242-1248.

17- Qi H, Sun DZ, CHI GQ. Formaldehyde degradation by UV/TiO₂/O₃ process using continuous flow mode.j Environmental Sciences,2007; 19:1136-1140.

18- Ao C, Lee S. Enhancement effect of TiO₂ on activated carbon filter for the photo degradation of pollutants at typical indoor air level. Int Appl Catal J. 2003; 191-205.

19- Je-L, Chia-HL, Chyow-SC. Photodegradation Kinetics of Formaldehyde Using Light Sources of UVA, UVC and UVLED in the Presence of Composed Silver Titanium Oxide Photocatalyst(in press).

20- Ichiura H, Kitaoka T, Tanaka H. Removal of