



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## حذف فتوکاتالیستی فرمالدئید از هوا با استفاده از نانوکامپوزیت اکسید تیتانیوم-اکسید گرافن احیاء شده

نوشین راستکاری<sup>۱\*</sup>، فائزه ایزدپناه<sup>۲</sup>

۱- (نویسنده مسئول): دکترای شیمی دارویی، دانشیار مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران  
۲- کارشناس ارشد فیزیک، کارشناس مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** فرمالدئید یکی از ترکیبات آلی فرار سمی است که حذف آن از هوای آلوده ضروری است. یکی از فناوری‌های موجود برای حذف این ترکیب، تجزیه فتوکاتالیستی است. هدف از انجام این مطالعه تعیین تاثیر کامپوزیت تیتانیوم اکساید به همراه گرافن اکساید احیا شده بر حذف فتوکاتالیستی گاز فرمالدئید است.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۲/۱۴  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۲  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۳/۱۷

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی، ویژگی‌های کاتالیست تولید شده با بررسی‌های تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف IR تعیین شد. کارایی تخریب فتوکاتالیستی کامپوزیت تیتانیوم اکساید به همراه گرافن اکساید احیا شده در تجزیه گاز فرمالدئید تحت شرایط جریان مداوم، مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین تاثیر غلظت اولیه فرمالدئید، سرعت جریان هوا و زمان ماند بر تجزیه گاز فرمالدئید بررسی شد.

**واژگان کلیدی:** فرمالدئید، حذف فتوکاتالیستی، نور مرئی، گرافن اکساید احیا شده

**یافته‌ها:** نتایج حاصل نشان داد که کارایی تخریب فتوکاتالیستی کامپوزیت تیتانیوم اکساید به همراه گرافن اکساید احیا شده بسیار بالاتر از تیتانیوم اکساید به تنهایی است، میزان کارایی تخریب گاز فرمالدئید با افزایش سرعت جریان هوا کاهش می‌یابد. بنابراین چنین از نتایج بر می‌آید که سرعت جریان هوا یک فاکتور کلیدی برای استفاده از کامپوزیت  $RGO-TiO_2$  به عنوان یک عامل فتوکاتالیستی است. با افزایش غلظت گاز فرمالدئید از ۰/۱ به ۱ ppm کارایی حذف از ۸۹ به ۳۴٪ کاهش یافت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نمایانگر آن است که از کامپوزیت تهیه شده در این تحقیق ( $RGO-TiO_2$ ) می‌توان به عنوان یک فتوکاتالیست مناسب جهت حذف آلاینده‌های گازی استفاده نمود. از مزایای کامپوزیت تهیه شده، استفاده از نور مرئی به جای UV برای فعال نمودن فرایند اکسیداسیون است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

[n\\_rastkari@yahoo.com](mailto:n_rastkari@yahoo.com)

Please cite this article as: Rastkari N, Izadpanah F. Photocatalytic removal of formaldehyde from air using titanium oxide-reduced graphene composite. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):139-46.

## مقدمه

امروزه مسئله آلودگی هوا در بسیاری از شهرهای بزرگ مورد توجه قرار گرفته است، در حالی که آلودگی هوای درون ساختمان‌ها مسئله بسیار جدی‌تر و خطرناک‌تری برای سلامت انسان‌ها است. وجود آلاینده‌ها در هوای داخل ساختمان‌ها علاوه بر اینکه محل راحتی و آسایش ساکنان خواهد بود، تماس طولانی مدت با آنها می‌تواند آسیب‌های بسیار جدی و یا حتی مرگ را به دنبال داشته باشد. به طور کلی آلاینده‌هایی از قبیل فرمالدئید، مونوکسید کربن، آزیست، جیوه، ذرات معلق، رادون، آلرژن‌ها از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی کیفیت هوا در محیط‌های داخلی محسوب می‌شوند. مهم‌ترین گاز آلی آلاینده هوای داخل خانه فرمالدئید است، در حالی که غلظت آن در هوای باز بسیار کم است. (در مناطق شهری  $1 \text{ ppm}$ ، مقدار آن در خانه‌ها اغلب چند برابر بیشتر و به حدود  $1 \text{ ppm}$  می‌رسد (در مواردی حتی به  $1 \text{ ppm}$  هم می‌رسد) (۱). منابع عمده این گاز در خانه، انتشار آن از دود سیگار و از مواد سنتزی حاوی رزین‌های فرمالدئید است که در اسفنج اوره فرمالدئید برای عایق‌بندی و به صورت چسب در تخته‌های چند لایه‌ای و تخته‌های ساختمانی بکار می‌رود. این گاز از چسب، لوازم منزل، کاغذ و پارچه‌های مبلمان مورد استفاده در ساختمان، آزاد می‌گردد. این گاز باعث سردرد، سرگیجه، اگزما، تهوع و تحریک چشم و بینی و گلو می‌شود. فرمالدئید در حیوانات آزمایشگاهی یک عامل سرطان‌زا است و در سال ۱۹۸۷ از طرف سازمان حفظ محیط زیست آمریکا، به عنوان یک سرطان‌زای احتمالی برای انسان طبقه‌بندی شده است. بنابراین، حذف این آلاینده و جلوگیری از انتشار آن نیز در هوای محیط ضروری است. موثرترین راه، حذف منابع آلودگی فرمالدئید است. با این حال این کار بسیار دشوار است و نیازمند شناسایی دقیق این منابع است. از طرفی این منابع بسیار زیاد هستند و حذف یا جایگزین کردن آنها بسیار پرهزینه و گاه غیر ممکن است. صنایع چوبی، فرش‌های ماشینی، الیاف مصنوعی، رنگ دیوارها و بسیاری از

منابع دیگر که در بالا ذکر شدند، می‌توانند عامل اصلی انتشار این ماده شیمیایی باشند. اخیراً، به منظور کنترل VOC ها در محیط‌های داخلی، تکنیک‌های جدیدی از جمله تجزیه انتخابی VOC ها، شامل روش‌های حرارتی فتوکاتالیستی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی به عنوان فناوری‌های جایگزین گسترش یافته‌اند که به طور ویژه‌ای تکنیک‌های اکسیداسیون فتوکاتالیستی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۲، ۳). فتوکاتالیست‌های نانو ساختار با خواص آبدوستی و قدرت کاتالیستی زیاد به علت نسبت سطح به حجم بالای آنها یکی از فناوری‌های کلیدی در کنترل آلودگی‌های زیست محیطی هستند و پتانسیل لازم برای به حداقل رساندن آلاینده‌های سمی در هوا را دارند (۴، ۵). دی اکسید تیتانیوم به علت پایداری شیمیایی، عدم سمیت، قیمت پایین، ویژگی‌های الکترونیکی و نوری و فعالیت نوری بالا (فتواکتیویته) به عنوان متداول‌ترین فتوکاتالیست نیمه رسانا برای حذف آلاینده‌ها در آب و هوا مورد استفاده قرار گرفته است. این ترکیب علاوه بر مزایای گفته شده، کاستی‌هایی همچون استفاده مؤثر کمتر از فوتون‌ها در مقایسه با نمونه‌های غنی شده آن با نمونه‌های دیگر سرعت نسبتاً بالای ترکیب مجدد الکترون‌ها و حفرات تولید شده به وسیله نور و فعالیت در بازه محدود طول موج (کمتر از  $400 \text{ nm}$ ) را داراست. بنابراین به منظور بهبود کارایی فتوکاتالیستی  $\text{TiO}_2$  و گسترش نور جذبی مؤثر آن به ناحیه نور مرئی و همچنین جلوگیری از ترکیب مجدد الکترون-حفره، اصلاحاتی با استفاده از عملیات مختلف بر روی آن انجام شده است که از میان آنها می‌توان به غنی کردن  $\text{TiO}_2$  (doping) با یون‌های فلزی و غیر فلزی مانند ترکیبات کربنی اشاره نمود (۶، ۷). تاکنون از مخلوط کربن فعال و  $\text{TiO}_2$  برای این منظور استفاده شده است که کربن فعال در حد میکرو عمل می‌کند و به نظر می‌رسد که استفاده از ذرات نانو گرافن منجر به افزایش فعالیت گردد (۸، ۹). هدف از انجام این مطالعه جان‌نشین کردن گرافن اکسید احیا شده (Reduced graphene oxides) به عنوان عامل

مخلوط به مدت ۲ h در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  همزده شد و سپس مخلوط حاصل سانتریفیوژ گردید. رسوبات حاصل با آب مقطر شستشو داده شده و جمع آوری گردید. محصول جمع آوری شده گرافن اکساید احیا شده (RGO) است. در مرحله بعدی برای تهیه کامپوزیت تیتانیوم اکساید به همراه گرافن اکساید احیا شده (RGO-TiO<sub>2</sub>)، ۲/۵ g از پودر RGO به داخل آب دیونیزه افزوده شده و به مدت ۳۰ min اولتراسونیک گردید. در ادامه ۰/۲۵ g از P25TiO<sub>2</sub> که در آب مقطر دیونیزه سوسپانسیون گردیده است به مخلوط اولیه RGO افزوده گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲ h اولتراسونیک گردیده و سپس ۲ h در دمای آزمایشگاه همزده شد. بعد از گذشت زمان لازم مخلوط حاصل سانتریفیوژ شده، رسوبات حاصل توسط آب مقطر دیونیزه ۲ مرتبه شستشو داده شده و سپس به مدت ۴ h در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  قرار داده شدند تا خشک شوند (۱۰). برای بررسی فعالیت فتوکاتالیتیک کامپوزیت تهیه شده تجزیه گاز فرمالدئید در شرایط مختلف به عنوان گاز مدل در یک راکتور بررسی گردید. به این منظور کامپوزیت تهیه شده بر روی یک قطعه شیشه‌ای پوشش داده شد و درون راکتور قرار گرفت و بخار فرمالدئید با غلظت‌های مختلف وارد راکتور گردید. به طور کلی تاثیر دو عامل سرعت جریان هوا و غلظت اولیه فرمالدئید در میزان کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت. دامنه سرعت جریان هوا بین ۱-۴ L/min و غلظت نیز در دامنه ۱-۱۰ ppm متغیر در نظر گرفته شد. برای تابش نور مرئی از لامپ فلورسنت ۸ W استفاده گردید که طیف نوری بین ۷۲۰-۴۰۰۰ nm تابش می کند. نمونه از گاز ورودی و خروجی در زمان‌های مختلف قبل و بعد از روشن نمودن لامپ توسط سرنگ gas tight گرفته شده و توسط دستگاه GC مورد آنالیز قرار گرفت.

### یافته‌ها

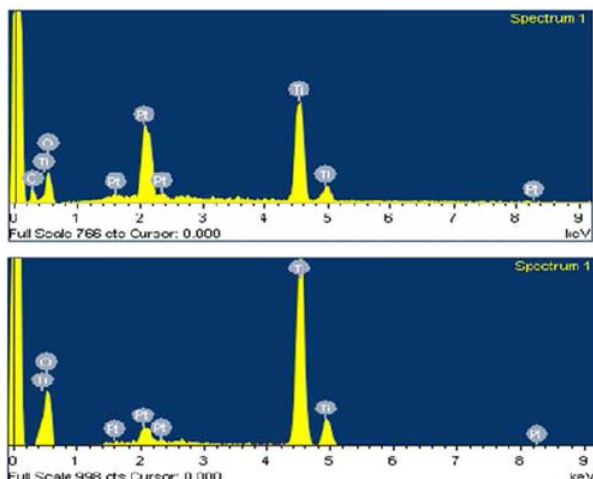
SEM کامپوزیت تیتانیوم اکساید به همراه گرافن اکساید احیا شده در شکل ۱ نمایش داده شده است.

کربنی dope شده با TiO<sub>2</sub> است که به دلیل احیا شدن هم سطح جذب بالاتری دارد و هم اینکه الکترون‌های TiO<sub>2</sub> برای انجام فعالیت خود به راحتی در سطح گرافن اکساید احیا شده حرکت می‌کنند که این حرکت باعث می‌شود که برای انجام فعالیت کاتالیزوری خود به انرژی کمتر در حد نور مرئی (بالتر از ۵۰۰ nm) احتیاج داشته باشند تا بتوان سیستم مناسب‌تری از سیستم‌های قبلی طراحی نمود که هم کارایی بالاتری نسبت به سیستم‌های روتین داشته باشد.

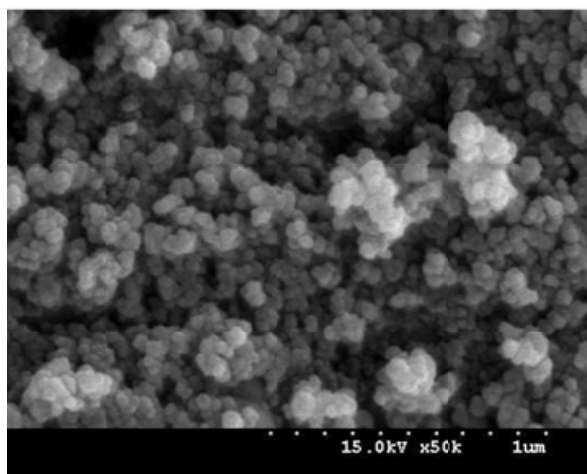
### مواد و روش‌ها

#### تهیه گرافن اکساید احیا شده:

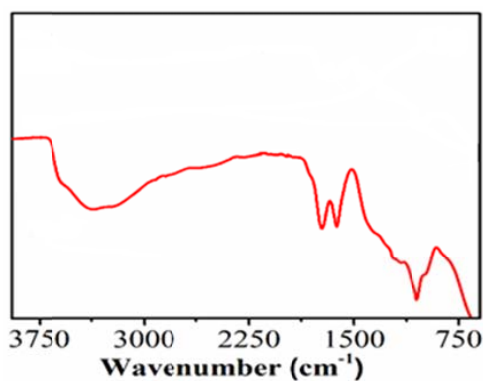
در مرحله اول گرافن اکساید (GO) تهیه گردید. به این منظور ۵ g گرافیت به درون ۱۲۵ mL اسید سولفوریک غلیظ به تدریج و در حمام یخ افزوده گردید سپس ۲/۷۵ g NaNO<sub>3</sub> به مخلوط حاصل اضافه شد. در ادامه ۱۵ g پرمنگنات پتاسیم به مخلوط قبلی افزوده شد در حالی که به شدت همزده می‌شد. بعد از اتمام اضافه نمودن اکسیدان مخلوط واکنش به مدت ۳۰ min در دمای  $35^{\circ}\text{C}$  همزده شد و سپس به مدت ۲۴ h در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. در مرحله بعدی آب دیونیزه به مخلوط حاصل کم کم افزوده گردید و سپس مخلوط به مدت ۱۵ min در دمای  $95^{\circ}\text{C}$  همزده شد. برای اتمام واکنش از افزودن ۲۸ mL آب دیونیزه به همراه ۵ mL پراکسید هیدروژن استفاده شد. مخلوط حاصل توسط محلول HCl برای خارج نمودن یون‌های سولفات و توسط آب مقطر دیونیزه برای خارج نمودن یون‌های کلراید و تنظیم pH شستشو داده شد. در ادامه برای احیا نمودن گرافن اکساید حاصل از مخلوط بنزین آمین و سدیم بور و هایدراید استفاده گردید. به این منظور ۲/۵ g از GO بدست آمد. در ۱۵۰ mL آب دیونیزه افزوده و ۳۰ mL بنزین آمین اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲ h در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  همزده شده و در ادامه سه بار توسط آب مقطر به همراه سانتریفیوژ نمودن شسته شد. در نهایت ۱/۵ g NaBH<sub>4</sub> به همراه ۱ g KOH به سوسپانسیون حاصل افزوده گردید.



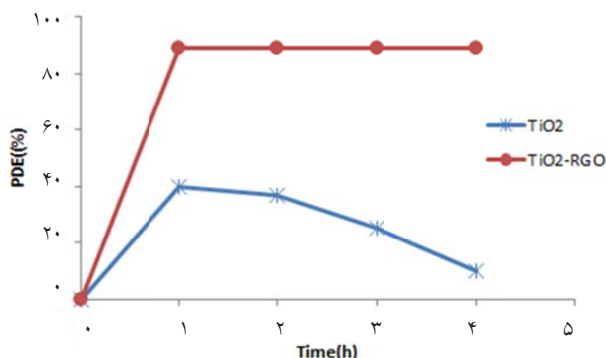
شکل ۲- طیف (Energy- dispersive X-ray) EDX هر دو پوشش  $TiO_2$  تنها و کامپوزیت  $RGO-TiO_2$



شکل ۱- تصویر SEM نانوکامپوزیت  $TiO_2-RGO$



شکل ۳- طیف IR کامپوزیت  $RGO-TiO_2$



نمودار ۱- مقایسه کارایی تخریب فتوکاتالیستی

Photo catalytic degradation efficiency (PDE%)

کامپوزیت  $RGO-TiO_2$  و  $TiO_2$  به تنهایی

در شکل ۲ طیف (Energy- dispersive X-ray) EDX هر دو پوشش  $TiO_2$  تنها و کامپوزیت  $RGO-TiO_2$  آورده شده است. در طیف EDX مربوط به کامپوزیت مورد نظر پیک‌های مربوط به  $O$ ،  $Pt$ ،  $Ti$  و اتم‌های کربن قابل مشاهده است. در حالی که در طیف مربوط به  $TiO_2$  تنها فقط پیک‌ها نشان‌دهنده  $Pt$ ،  $Ti$  و  $O$  قابل مشاهده هستند. در هر دو طیف پیک‌ها مربوط به  $O$  و  $Ti$  نشان از حضور  $TiO_2$  در هر دو ترکیب است. پیک مربوط به  $Pt$  مربوط به نحوه آماده‌سازی و پوشش دادن نمونه با پلاتین برای سنجیده شدن توسط دستگاه EDX و در نهایت پیک مربوط به کربن نیز نشانگر حضور  $RGO$  در کامپوزیت مورد نظر است.

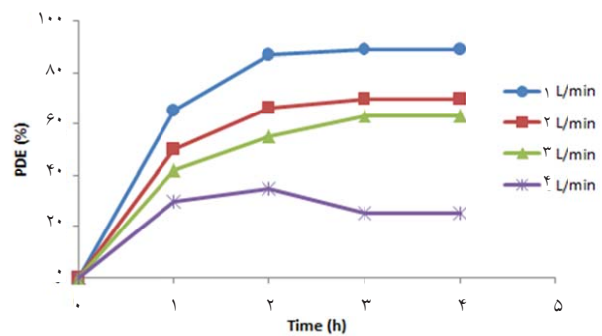
همان‌طور که در طیف IR (شکل ۳) مشاهده می‌شود پیک در ناحیه  $1705\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه کربونیل عوامل کربوکسیک موجود بر سطح گرافن و پیک  $1230\text{ cm}^{-1}$  مربوط به باند  $C-O$  همین گروه بر سطح کامپوزیت است.

همان‌طور که در نمودار ۱ نمایش داده شده است کارایی تخریب فتوکاتالیستی Photo catalytic degradation efficiency (PDE%) کامپوزیت  $RGO-TiO_2$  بسیار بالاتر از  $TiO_2$  به تنهایی است. کارایی متوسط کامپوزیت مورد نظر ظرف مدت ۴ h حدود ۸۹٪ است در حالی که کارایی تخریبی  $TiO_2$  فقط ۱۰٪ مشاهده شد.

### بحث

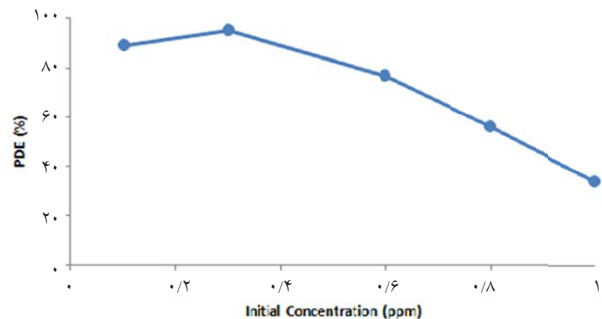
همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود کامپوزیت RGO-TiO<sub>2</sub> تراکم و انباشتگی کمتری نسبت به TiO<sub>2</sub> خالص دارد. بخش RGO موجود در کامپوزیت میزان پراکندگی ذرات در حلال را افزایش می‌دهد که این امر موجب کاهش میزان انباشتگی می‌گردد. همانطور که در نمودار ۱ نمایش داده شده است کارایی تخریب فتوکاتالیستی Photo catalytic degradation efficiency (PDE%) کامپوزیت RGO-TiO<sub>2</sub> بسیار بالاتر از TiO<sub>2</sub> به تنهایی است، علاوه بر اینکه میزان فعالیت تخریبی TiO<sub>2</sub> در طول مدت زمان ۴ h به تدریج کاهش یافت که نشان‌دهنده غیرفعال شدن کاتالیزور TiO<sub>2</sub> حتی در زمان‌های کوتاه مثل ۴ h است. همانطور که در مقدمه نیز اشاره گردید این فعالیت بالای کامپوزیت بکار رفته مربوط به خواص منحصراً به فرد گرافن اکساید احیا شده است. RGO مانند یک بستر عالی برای جذب گاز (گاز مدل فرمالدئید) عمل نموده و باعث افزایش فعالیت فتوکاتالیستی کامپوزیت می‌گردد. به علاوه RGO به مانند یک گیرنده الکترون عمل نموده (به دلیل داشتن باندهای π در ساختار خود) و ترانسفر الکترون از TiO<sub>2</sub> را تسهیل می‌نماید. این خاصیت مانع از جفت شدگی الکترون‌ها گردیده و فعالیت فتوکاتالیستی کامپوزیت را افزایش می‌دهد و همچنین RGO همانطور که گفته شد حساسیت نوری کامپوزیت را به طرف طیف نور مرئی سوق داده و باعث می‌شود که فرایند فتوکاتالیستی در حضور نور مرئی با کارایی بالا صورت پذیرد (۹، ۱۱). نمودار ۲ کارایی فرایند تخریب فتوکاتالیستی فرمالدئید را توسط کامپوزیت RGO-TiO<sub>2</sub> در سرعت‌های مختلف جریان هوا تحت تابش نور مرئی می‌دهد. میزان کارایی تخریب گاز فرمالدئید با افزایش سرعت جریان هوا کاهش می‌یابد به صورتی که وقتی سرعت جریان از ۱ به ۴ L/min افزایش می‌یابد میانگین کارایی از ۹۲٪ به ۴۱٪ کاهش می‌یابد. این نتیجه مشابه کار Kontos و همکاران (۲۰۱۲) و Jo و همکاران (۲۰۰۹) است (۱۲، ۱۳). در این مطالعه از undoped TiO<sub>2</sub> به عنوان کاتالیزور استفاده شده و

نمودار ۲ کارایی فرایند تخریب فتوکاتالیستی فرمالدئید را توسط کامپوزیت RGO-TiO<sub>2</sub> در سرعت‌های مختلف جریان هوا تحت تابش نور مرئی را نشان می‌دهد. میزان کارایی تخریب گاز فرمالدئید با افزایش سرعت جریان هوا کاهش می‌یابد به صورتی که وقتی سرعت جریان از ۱ به ۴ L/min افزایش می‌یابد میانگین کارایی از ۸۹ به ۲۵٪ کاهش یافت.



نمودار ۲- کارایی فرایند تخریب فتوکاتالیستی فرمالدئید را توسط کامپوزیت RGO-TiO<sub>2</sub> در سرعت‌های مختلف جریان هوا تحت تابش نور مرئی

فاکتور موثر دیگر به میزان حذف غلظت‌های مختلف اولیه متفاوت ترکیب هدف است. در نمودار ۳ تاثیر افزایش غلظت گاز فرمالدئید بر کارایی حذف فتوکاتالیستی نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار نشان داده شده با افزایش غلظت گاز فرمالدئید از ۰/۱ به ۱ ppm کارایی حذف از ۸۹ به ۳۴٪ کاهش یافته است.



نمودار ۳- تاثیر افزایش غلظت گاز فرمالدئید بر کارایی حذف فتوکاتالیستی

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نمایانگر آن است که از کامپوزیت تهیه شده در این تحقیق (RGO- TiO<sub>2</sub>) می‌توان به عنوان یک فتوکاتالیست مناسب جهت حذف آلاینده‌های گازی استفاده نمود. از مزایای کامپوزیت تهیه شده استفاده از نور مرئی به جای UV برای فعال نمودن فرایند اکسیداسیون است. همچنین در این مطالعه تأثیرات میزان جریان هوای عبوری و همچنین غلظت آلاینده هدف بررسی شده و نتایج نشان داده که در شرایط اپتیمم بدست آمده می‌توان از این تکنیک برای تصفیه هوای داخل فضاها استفاده نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی حذف فتوکاتالیستی گازهای فرار (VOC) از هوای Indoor با استفاده از نانوذرات اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی گرافن اکسید احیا شده" مصوب مرکز تحقیقات آلودگی هوای پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران در سال ۹۲ با کد ۲۲۹۶۵-۴۶-۰۲-۹۲ است که با حمایت این مرکز اجرا شده است.

### منابع

- 1- Arts JH, Muijser H, Kuper CF, Woutersen RA. Setting an indoor air exposure limit for formaldehyde: Factors of concern. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2008;52(2):189-94.
- 2- Kim SB, Hwang HT, Hong SC. Photocatalytic degradation of volatile organic compounds at the gas-solid interface of a TiO<sub>2</sub> photocatalyst. *Chemosphere*. 2002;48(4):437-44.
- 3- Zhao J, Yang X. Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review. *Building and Environment*. 2003;38(5):645-54.
- 4- Parmar GR, Rao N. Emerging control technologies for volatile organic compounds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2008;39(1):41-78.
- 5- Tseng TK, Lin YS, Chen YJ, Chu H. A review of photocatalysts prepared by sol-gel method for VOCs removal. *International Journal of Molecular Sciences*. 2010;11(6):2336-61.
- 6- Yu Q, Brouwers H. Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: Experimental study. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2009;92(3):454-61.
- 7- Chen J, Li G, He Z, An T. Adsorption and degradation of model volatile organic compounds by a combined titania-montmorillonite-silica photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials*. 2011;190(1):416-23.
- 8- Nguyen-Phan T-D, Pham VH, Shin EW, Pham H-D, Kim S, Chung JS, et al. The role of graphene oxide

- content on the adsorption-enhanced photocatalysis of titanium dioxide/graphene oxide composites. *Chemical Engineering Journal*. 2011;170(1):226-32.
- 9- Jo W-K. Coupling of graphene oxide into titania for purification of gaseous toluene under different operational conditions. *Vacuum*. 2014;99:22-25.
- 10- Tan L-L, Ong W-J, Chai S-P, Mohamed AR. Reduced graphene oxide-TiO<sub>2</sub> nanocomposite as a promising visible-light-active photocatalyst for the conversion of carbon dioxide. *Nanoscale Research Letters*. 2013;8(1):1-9.
- 11- Shen J, Shi M, Yan B, Ma H, Li N, Ye M. Ionic liquid-assisted one-step hydrothermal synthesis of TiO<sub>2</sub>-reduced graphene oxide composites. *Nano Research*. 2011;4(8):795-806.
- 12- Kontos A, Katsanaki A, Likodimos V, Maggos T, Kim D, Vasilakos C, et al. Continuous flow photocatalytic oxidation of nitrogen oxides over anodized nanotubular titania films. *Chemical Engineering Journal*. 2012;179:151-57.
- 13- Jo W-K, Kim J-T. Application of visible-light photocatalysis with nitrogen-doped or unmodified titanium dioxide for control of indoor-level volatile organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;164(1):360-66.
- 14- Demeestere K, Dewulf J, Van Langenhove H. Heterogeneous photocatalysis as an advanced oxidation process for the abatement of chlorinated, monocyclic aromatic and sulfurous volatile organic compounds in air: state of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2007;37(6):489-538.
- 15- Pengyi Z, Fuyan L, Gang Y, Qing C, Wanpeng Z. A comparative study on decomposition of gaseous toluene by O<sub>3</sub>/UV, TiO<sub>2</sub>/UV and O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2003;156(1):189-94.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Photocatalytic Removal of Formaldehyde from Air Using Titanium Oxide-Reduced Graphene Composite

N Rastkari\*, F Izadpanah

Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 6 March 2016  
**Revised:** 3 May 2016  
**Accepted:** 11 May 2016  
**Published:** 6 June 2016

**Key words:** formaldehyde, photocatalytic removal, RGO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite

**\*Corresponding Author:**  
[n\\_rastkari@yahoo.com](mailto:n_rastkari@yahoo.com)

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Formaldehyde is a toxic volatile organic compound, which its removal from polluted air is essential. One of the techniques available for removing such compounds is photocatalytic degradation. The aim of this study was to investigate the photocatalytic degradation of gaseous formaldehyde on TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated on reduced graphene oxide

**Materials and Methods:** The synthesized reduced graphene oxide- TiO<sub>2</sub> nanocomposite was characterized using SEM, EDS, and FTIR spectra. The photocatalytic activity of prepared reduced graphene oxide- TiO<sub>2</sub> nanocomposite was investigated for degradation of gaseous toluene under different operational conditions such as different initial concentration, flow rate, and time.

**Results:** The photocatalytic degradation efficiency of the RGO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite was much higher than P25 TiO<sub>2</sub>. The photocatalytic degradation efficiency of the RGO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite decreased by increasing the flow rate so the flow rate is a key factor for the use of RGO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite as a photocatalyst. The results showed that the photocatalytic degradation rates decreased from 89 to 30% with increasing formaldehyde initial concentration from 0.1 to 1 ppm.

**Conclusion:** This research indicated that RGO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite can be effectively used as suitable photocatalyst to remove gaseous pollutants. One of the advantages of the as-prepared composite was using visible light instead of UV to activate the oxidation process.

Please cite this article as: Rastkari N, Izadpanah F. Photocatalytic removal of formaldehyde from air using titanium oxide-reduced graphene composite. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):139-46.