مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۴۴۳ تا ۴۵۶

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

مقاله پژوهشی

تخریب کاتالیزوری تری کلوسان با استفاده از سیستم ترکیبی نور زنون-TiO_2@ GO: بهینه‌سازی پارامترهای اولیه

نجمه گلچین پور[۱]، نوشین راستکاری[۲]، رامین نبی زاده نودهی[۳]، مهرنوش ابطحی[۴]، علی آذری[۳،۵]، الناز ایروانی[۳]، کامیار یغمائیان[۱،۳،*]

۱- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران
۵- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۳
تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۹
تاریخ انتشار: ۹۶/۱۲/۱۶

واژگان کلیدی: نانوفتوکاتالیست، تری کلوسان، گرافن اکساید، دی اکساید تیتانیوم، لامپ زنون

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
k_yaghmaeian@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: تری کلوسان از جمله موادی است که به‌عنوان ضد میکروب در بسیاری از مواد دارویی و محصولات مراقبت شخصی به‌کار می‌رود. اثرات سوئی مانند کاهش میزان هورمون تیروئید، مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها و افزایش خطر سرطان پوست برخی از مشکلات حضور این آلاینده در محیط است. مطالعه حاضر به بررسی کارایی فرایند نانوفتوکاتالیستی Xe/ TiO_2@GO در حذف تری کلوسان از محیط‌های آبی پرداخته است.

روش بررسی: در مطالعه حاضر کاتالیزور TiO_2@GO سنتز و مشخصات ساختاری آن با تکنیک‌های SEM، EDX و FTIR تعیین گردید. تاثیر پارامترهای غلظت آلاینده، دوز کاتالیست و زمان تماس بر فرایند تخریب تری کلوسان طی فرایند نانوفتوکاتالیستی در حضور نور مرئی به کمک تکنیک آماری DOE (Design of Experiments) براساس روش سطح - پاسخ مطالعه شد. آزمون آنالیز واریانس برای بررسی تاثیرگذاری پارامترها در نظر گرفته شد. شرایط بهینه فرایند نیز با دیدگاه فاکتور مطلوبیت تعیین شد.

یافته‌ها: غلظت آلاینده، زمان تماس و دوز کاتالیست به ترتیب برابر با ۰/۴۸۷ mg/L، ۱۴/۸۹۸ min و ۰/۲۰۵ g/L به‌عنوان شرایط بهینه تعیین شد. حداکثر راندمان تخریب در شرایط بهینه ۹۷/۵۴۲ درصد حاصل شد. دوز کاتالیست نیز تاثیرگذارترین پارامتر در فرایند تخریب تری کلوسان بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از کاتالیزور TiO_2@GO در حضور نور لامپ زنون راندمان قابل قبولی در حذف تری کلوسان از خود نشان می‌دهد. استفاده از لامپ زنون به تنهایی بسیار از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

Please cite this article as: Golchinpour N, Rastkari N, Nabizadeh Nodehi R, Abtahi M, Azari A, Iravani E, et al. Catalytic degradation of Triclosan by using xenon light/GO @ TiO_2 combination system: optimization of initial parameters. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;10(4): 443-56.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

تری کلوسان یا ۵-کلرو ۲ فنل (۲و۴ دی کلروفنوکسی)، ماده‌ای است که به‌عنوان ضدمیکروب (آنتی باکتریال)، در بسیاری از محصولات مراقبت شخصی و بهداشتی به‌کار می‌رود. این ماده یک ترکیب آلی کلره با عملکردی مشابه با استرها و فنل‌هاست (۱، ۲). تری کلوسان عمدتا در مواد شوینده مانند شامپوها، صابون‌ها، خمیردندان‌ها، دهان شویه‌ها، لوازم آرایشی - بهداشتی، حوله‌های بهداشتی، دستمال کاغذی، مسواک‌ها، دترجنت‌ها و بسته‌بندی پلاستیکی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹-۱). بدلیل طیف وسیع استفاده از تری کلوسان، میزان آن در آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها در حال افزایش است. دریافت میزان بالای این ماده توسط بدن منجر به بیماری‌های پوستی، اختلال در فعالیت غدد درون ریز، سرطان‌زایی و ضعف سیستم ایمنی می‌شود (۴). از سوی دیگر ورود تری کلوسان به محیط زیست علاوه بر مقاومت باکتری‌ها و ماندگاری بالا در محیط، مشکلی همچون تخریب در اثر نور خورشید و تبدیل شدن به ماده‌ای مضر، تاثیر در سیکل زندگی آبزیان مانند ماهی‌ها و جلبک‌ها و افزایش سمیت منابع آبی را همراه خواهد داشت (۱۰). تری کلوسان دارای نیمه عمر بالای ۱۰ روز در آب رودخانه است که سبب شده این آلاینده در زمره آلاینده‌های نسبتا پایدار طبقه‌بندی شود. غلظت این ماده در لجن فعال بین ۲۰ تا ۵۵ mg/kg اندازه‌گیری شده و میزان آن در خروجی تصفیه خانه فاضلاب بیشتر از ۱۰ µg/L گزارش شده است (۱۱، ۱۲). با توجه به EC50 (۵۷-۱۰۸ mg/kg) تری کلوسان، پایداری در محیط، تبدیل آنها به دیوکسین‌ها و سایر مشکلات فوق الذکر، حذف این آلاینده از محیط امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد (۱۳). تاکنون روش‌های مختلفی برای حذف این آلاینده مورد استفاده قرار گرفته است اما اکثرا دارای راندمان مطلوب نبوده و یا مشکلاتی همچون نیاز به هزینه، انرژی و تجهیزات اولیه زیاد، پیش تصفیه، باقیمانده غلیظ‌تر (کنسانتره) و مقاومت پایین در برابر مواد سمی و شوک‌های ناگهانی، را به همراه داشته‌اند. با وجود روش‌های حذف گوناگون، در سال‌های اخیر روش‌های فتوکاتالیزوری بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و توانسته‌اند نظر محققین را بخود معطوف کنند (۳، ۷-۱۰). در میان انبوهی از کاتالیزورها، دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به دلیل محاسنی همچون واکنش پذیری مناسب، پایداری شیمیایی، در دسترس بودن و قیمت مناسب به‌عنوان تکنولوژی قابل قبولی در حذف آلاینده‌های آلی شناخته شده است (۱۴). استفاده از یک بستر یا مدیا در کنار یک کاتالیزور مناسب عاملی است که سبب بهبود فرایند تخریب خواهد شد. در میان انواع بسترها گرافن اکساید به دلیل سطح فعال و تخلخل بالا، گزینه‌ای مناسب است. گرافن اکساید با جذب آلاینده در اطراف کاتالیست، جذب بهتر نور و جذب مواد تولید شده در اثر تخریب (آلاینده‌های ثانویه) به ارتقا و بهبود فرایند کمک شایانی می‌کند. همچنین استفاده از گرافن اکساید در کنار دی اکسید تیتانیوم، جداسازی و استفاده مجدد از این کاتالیزور مطرح را تسهیل و در کاهش هزینه نقش به‌سزایی دارد (۱۵). استفاده از لامپ UV به منظور فعال‌سازی خاصیت تخریبی TiO_2 روشی شناخته شده است. مطالعات اخیر به منظور کاهش هزینه‌ها و اجرایی شدن فرایند اکسیداسیون کاتالیزوری به فکر جایگزین کردن تابش UV با تابش‌های مرئی و شبه مرئی بوده‌اند. در این مطالعه استفاده از منابع نوری با مشابهت بالا با نور خورشید مورد توجه قرار گرفت. در این میان لامپ زنون به‌عنوان یک منبع مصنوعی که می‌تواند نورخورشید را در طیف امواج مرئی (۸۰۰nm - ۳۰۰) شبیه‌سازی کند، شناخته شده است. لامپ زنون علاوه بر نور، گرما نیز ساطع می‌کند که می‌تواند سرعت واکنش‌های شیمیایی را در صورت گرماگیر بودن افزایش دهد. با توجه به مزایای یاد شده برای هر یک از مواد، در این مطالعه سعی شده است از ترکیب ویژگی‌های دی اکسید تیتانیوم به‌عنوان کاتالیزور، گرافن اکساید به‌عنوان بستر و نور زنون به‌عنوان منبع انرژی شبه خورشیدی برای فعال‌سازی کاتالیزور به منظور حذف موثر تری کلوسان استفاده گردد. از طرفی استفاده از مدل‌های آماری و کمک گرفتن از نرم افزارهای طراحی آزمایش به دلیل کاهش تعداد نمونه‌ها، کاهش هزینه، انرژی و نیروی انسانی، کاهش مصرف مواد اولیه و کاهش تولید مواد زائد،

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

کاربـرد وسـیعی در مطالعات به خود اختصاص داده اسـت. در نتیجـه، به‌صـورت خلاصه این مطالعه با اهداف (۱) سـنتز نانو کامپوزیت TiO_2@GO و بررسـی مرفولوژی آن، (۲) بررسی (آماری) توانایی سیستم TiO_2@GO در حذف تری کلوسان با در نظـر گرفتن فاکتورهای کلیدی تخریـب، (۳) پیش‌بینی نتایج تخریب آلاینده توسـط نرم افـزار Design of DOE) (Experiments و مقایسه آن با نتایج واقعی، (۴) بهینه‌سازی شرایط تخریب در شرایط بهینه، انجام شد.

مواد و روش‌ها

ایـن مطالعه کـه به‌صـورت بنیادی-کاربردی اسـت، از فرایند نانوفتوکاتالیست TiO_2-GO در حضور پرتو زنون جهت ارزیابی کارایی فرایند فوق در تخریب تری کلوسان استفاده شده است و تمام مواد شیمیایی مصرفی از شرکت Supelco تهیه گردید.

- سنتز نانو ذره:

الف) سنتز نانو ذره گرافن اکساید (GO):

در ایـن پژوهش جهت سـنتز نانو ذره گرافن اکسـاید، از روش اصلاح شـده هامر استفاده شد. بدین منظور g ۱ از نانوگرافیت به همراه g ۰/۵ نیترات سـدیم و mL ۲۳ اسید سولفوریک در حمام یخ به مدت h ۱ در حال همزدن شدید قرار گرفت. سپس g ۳ پرمنگنـات پتاسـیم در دمای کمتـر از °C ۲۰ به‌صورت تدریجـی به مخلوط اضافه و به مـدت h ۱۲ در دمای °C ۳۵ همـزده شـد. mL ۵۰۰ آب مقطر در حال همزدن شـدید به نمونه حاصل اضافه و در نهایت mL ۵ پراکسید هیدروژن (۳۰ درصد) به آنها اضافه شد. مخلوط حاصل توسط اسید کلریدریک ۵ درصد (mL ۲×۲۰۰) شستشـو و فیلتر شد. در نهایت گرافن اکسـاید حاصل پس از فیلتراسـیون، در دمای °C ۵۰ در آون خشک گردید.

ب) سـنتز نانو ذره دی اکسـید تیتانیوم اصلاح شـده با گرافن اکساید (TiO_2@GO):

جهت آماده‌سـازی نانو ذرات دی اکسـید تیتانیوم تثبیت شده بر روی گرافن اکسـاید، g ۰/۳ از گرافن اکسـاید سـنتز شده در مرحلـه قبل بـا mL ۴۰ آب دوبار تقطیر مخلوط و به مدت min ۲۰ در حمام اولتراسـونیک قرار گرفت. سـپس g ۰/۰۳ دی اکسـید تیتانیوم در حین همزدن با مگنت به مخلوط آماده شـده قبلی اضافه و جهت بدست آوردن یک محلول همگن، به مدت h ۲ همزده شـد. سـپس مخلوط حاصـل در درون بمب تفلونی کاملا بسـته (seal) به مدت h ۳ در آون °C ۱۲۰ قرار داده شـد. بعد از سـپری شـدن h ۳، نمونه از محفظه تفلونی خـارج و در دمای محیط خنک شـد. در نهایت با سـانتریفوژ کردن مخلـوط بدسـت آمـده در دور rpm ۱۴۰۰۰، به مدت min ۱۰، نانوکامپوزیت دی اکسـید تیتانیوم- گرافن اکسـاید (TiO_2@GO)، حاصل شـد. نانو کامپوزیت حاصل در آون با دمای °C ۵۰ خشک گردید.

ج) بررسی ویژگی‌های نانوکامپوزیت TiO_2@GO:

ویژگی‌های کاتالیست سنتز شده به‌وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با آشکارساز آنالیز عنصری دستگاه و طیف سنجی مادون قرمـز (Scanning electron microscopy with energy dispersive x-ray analysis (SEM/EDX) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)) بررسی شد.

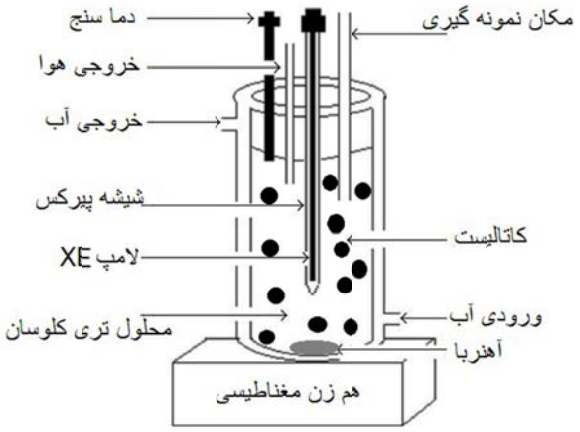
- مراحل آزمایش:

توانایی تخریب تری کلوسـان با اضافه کـردن مقدار معینی از کاتالیزور سنتز شده در غلظت‌های مختلف آلاینده و در pH آب طبیعی تعیین شـد. علت ثابت در نظر گرفتن pH در محدوده خنثی، بررسـی توانایی سیسـتم مورد مطالعه در شرایط واقعی اسـت. قبل از شـروع فرایند، محلول تری کلوسان و کاتالیست بـه مدت min ۳۰ در محیطی تاریک به کمک همزن مکانیکی مخلوط شد تا حالت تعادل بین جذب و واجذب آلاینده بر روی کاتالیست حاصل و همچنین اثر فرایند جذب (adsorption) در طی فرایند نانوفتوکاتالیسـتی حذف گردد. شماتیک راکتور طراحی شـده به قطـر cm ۲۰ و ارتفاع cm ۱۰ در شـکل ۱ قابل مشاهده اسـت. حجم مفید راکتور mL ۸۰۰ است که در داخـل آن از یک مگنت مغناطیسـی به منظـور اختلاط کامل اسـتفاده شـد. نمونه برداری در فواصل منظم زمانی از راکتور صورت گرفـت. دمای راکتور در دمای °C ۲۵ ثابت شـد. پس

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

از اتمام زمان‌های از پیش تعیین شـده و جداسـازی کاتالیست از محلـول به کمک فیلتر سرسـرنگی ۲۲ µm انجام شـده و غلظت باقیمانده تری کلوسـان توسط دستگاه GC/MS مورد تجزیـه و تحلیل قرار گرفت. در تمامـی مراحل آزمایش میزان pH ثابت در نظر گرفته شـد. جهت خنثی شـدن pH از اسید کلریدریک ۰/۱ N و سـدیم هیدروکسید ۰/۱ N استفاده شده اسـت. توانایی سیستم نانوفتوکاتالیستی ($Xe/ TiO_2@GO$) در قالب تخریب تری کلوسـان با اسـتفاده از معادله ۱ گزارش شد:

$$\text{درصد تخریب} = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0}\right) \times 100 \quad (۱)$$



شکل ۱- راکتور مورد استفاده

- مدل مورد بررسی:

جهـت ارزیابی اثر پارامترهای مسـتقل بر راندمان تخریب تری کلوسـان از نرم افزار DOE بر مبنای طراحی BBD استفاده شـد. جدول ۱ متغیرهای مستقل و خلاصه از اطلاعات ورودی بـه نرم افزار مـورد مطالعه را نشـان می‌دهـد. در این مطالعه مجمـوع آزمایشـات برابر ۲۱ عدد تعیین شـد. از تحلیل آنالیز واریانس‌هـا (ANOVA) به منظور معنی‌دار بـودن یا نبودن تاثیر پارامترها بر روی پاسـخ استفاده شـد. از فاکتور مطلوبیت (Desirability Function (DF)) به‌منظـور بهینه‌سـازی پارامترهای موثر در فرایند تخریب تری کلوسان استفاده شد.

طراحی آماری پیشـنهادی به منظور بررسـی تاثیر متغیرها بر راندمان تخریب تری کلوسان توسـط تکنیک‌های آماری مورد مطالعه، در جدول ۲ قابل مشاهده است.

یافته‌ها

- بررسی ویژگی‌های کاتالیست:

شـکل ۲ آنالیزی SEM و EDX مربوط به کامپوزیت سـنتز شده را نشـان می‌دهد. کاتالیزور سنتز شـده دارای ابعادی در حدود ۲۰ تا ۸۰ nm اسـت. همانطور که در شـکل مشـاهده می‌شود ذرات سفید نمایانگر TiO_2 و ذرات تیره نمایانگر گرافن اکساید اسـت. در آنالیز EDX نیز پیک‌های مربوط به اتم‌های کربن، اکسیژن و تیتانیوم قابل مشاهده است.

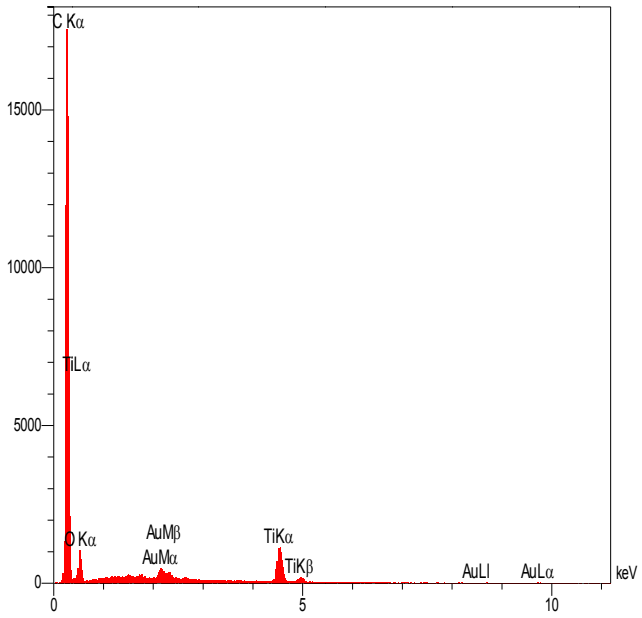
جدول ۱- متغیرهای مستقل، محدوده و سطوح مقادیر تجربی آنها

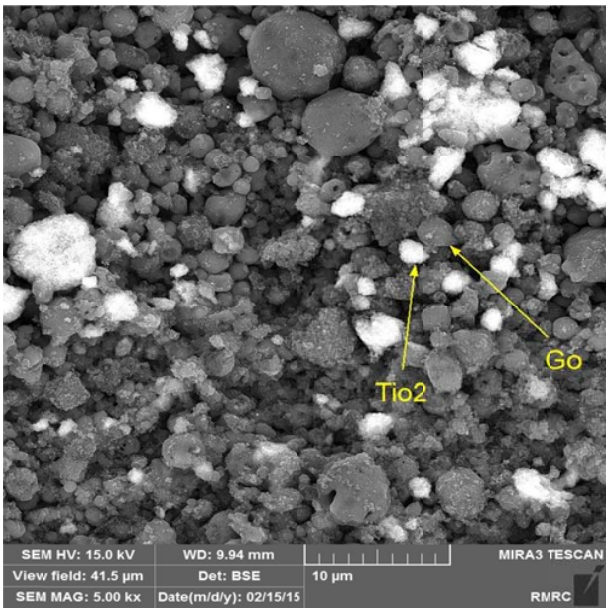
Study Type	**Response Surface**			Subtype	**Randomized**							
Design Type	Box-Behnken			**Runs**	17							
Design Model	Quadratic			**Blocks**	No Blocks			**Build Time (ms)**		157.00		
Factor	**Name**	**Units**	**Type**	**Subtype**	**Minimum**	**Maximum**	**Coded**		**Values**	**Mean**	**Std. Dev.**	
A	Triclosan		Numeric	Continuous	0.055	20.005	-1.000=0.055		1.000=20.005	10.03	7.05339	
B	Catalyst	g/L	Numeric	Continuous	0.1	0.25	-1.000=0.1		1.000=0.25	0.175	0.053033	
C	Time	min	Numeric	Continuous	1	15	-1.000=1		1.000=15	8	4.94975	
Response	**Name**	**Units**	**Obs**	**Analysis**	**Minimum**	**Maximum**	**Mean**	**Std. Dev.**	**Ratio**	**Trans**	**Model**	
R1	Removal	%	17	Polynomial	29.7827	96.3636	61.6198	14.8951	3.23556	None	Quadratic	

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

جدول ۲- مراحل انجام فرایند تخریب براساس آرایه **BBD** و مدل آماری سطح- پاسخ (**RSM**)

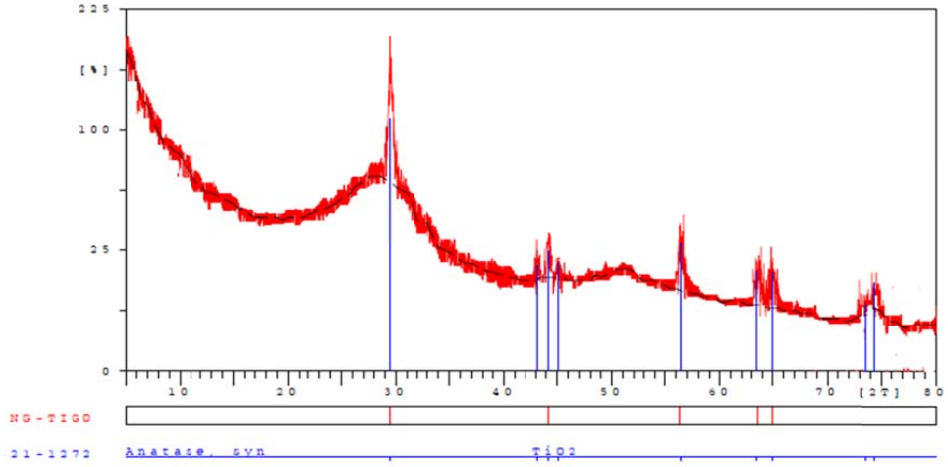
		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1
Std	Run	A:Triclosan	B:Catalyst g/L	C:Time min	Removal %
12	1	10.03	0.25	15	67.6152
13	2	10.03	0.175	8	63.9232
10	3	10.03	0.25	1	36.324
4	4	20.005	0.25	8	67.5606
16	5	10.03	0.175	8	59
2	6	20.005	0.1	8	57.7528
17	7	10.03	0.175	8	63
15	8	10.03	0.175	8	59
7	9	0.055	0.175	15	96.3636
3	10	0.055	0.25	8	79.9091
14	11	10.03	0.175	8	60
1	12	0.055	0.1	8	67.2727
9	13	10.03	0.1	1	29.7827
8	14	20.005	0.175	15	64.5791
11	15	10.03	0.1	15	47.7069
6	16	20.005	0.175	1	64.3839
5	17	0.055	0.175	1	63.3636





شکل ۲- آنالیز **SEM** مربوط به کامپوزیت سنتز شده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۳- طیف XRD مربوط به TiO_2@GO

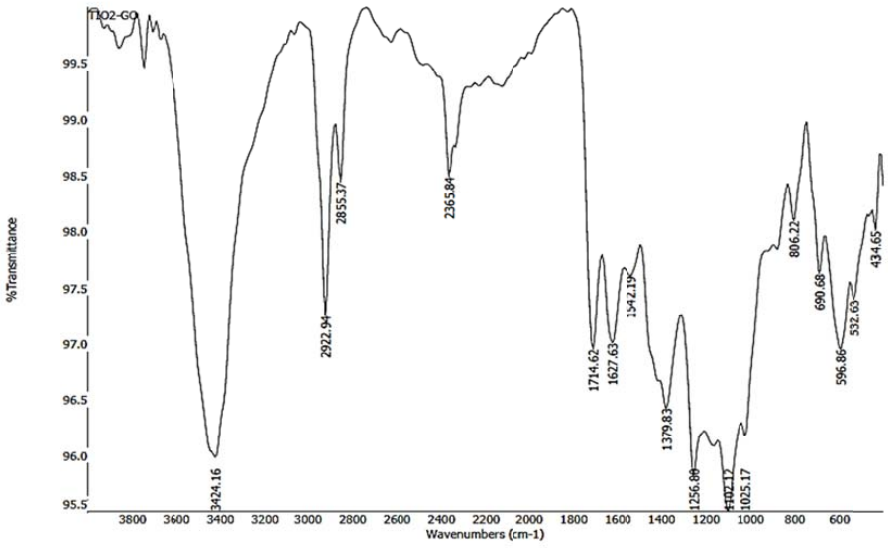
شکل ۳ طیف XRD مربوط به TiO_2@GO را نشان می‌دهد. پیک در ناحیه ۲۹/۶=۲ مربوط به گرافن اکساید است. پیک‌های در محـدوده ۴۳، ۴۴/۳، ۴۵/۱، ۵۶/۳، ۶۳/۸، ۶۵ و ۷۵/۴ نیـز حضور دی اکسـید تیتانیوم را در ساختار کامپوزیت سنتز شده نشان می‌دهد. نتایج این آنالیز تثبیت موفقیت آمیز دی اکسید تیتانیوم بر روی گرافن اکساید را نشان می‌دهد.

براسـاس FTIR مربوط بـه TiO_2@GO (شـکل ۴)، پیک ناحیه ۳۴۲۴ مربوط به گروه‌های OH آزاد موجود در سـاختار کامپوزیت اسـت. پیـک ناحیه ۱۷۱۴ مربوط بـه گروه کربنیل اسـیدهای آزاد در ناحیه لبه گرافن اکسـاید بـوده و پیک‌های موجود در ناحیه ۶۰۰-۲۰۰ مربوط به پیوند Ti-O-Ti اسـت. نتایج ایـن آنالیز مویدی بر نتایج آنالیز XRD و بیانگر سـنتز موفقیت آمیز کامپوزیت TiO_2@GO است.

- نتایج مربوط به فرایند تخریب:

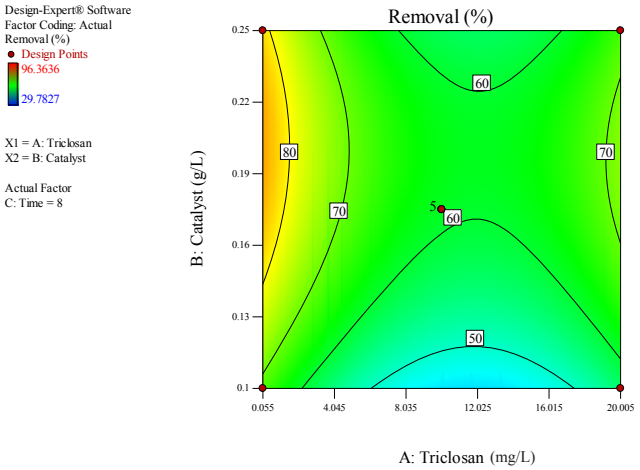
الف) تاثیر پارامترهای موثر در فرایند تخریب:

در نمودار ۱ تا ۳ اثر مداخله‌ای پارامترهای اولیه مورد مطالعه در فرایند تخریب تری کلوسان قابل مشاهده است.

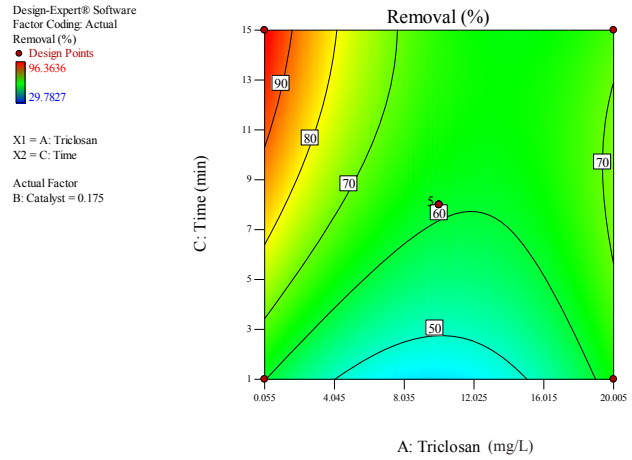


شکل ۴- FTIR مربوط به TiO_2@GO

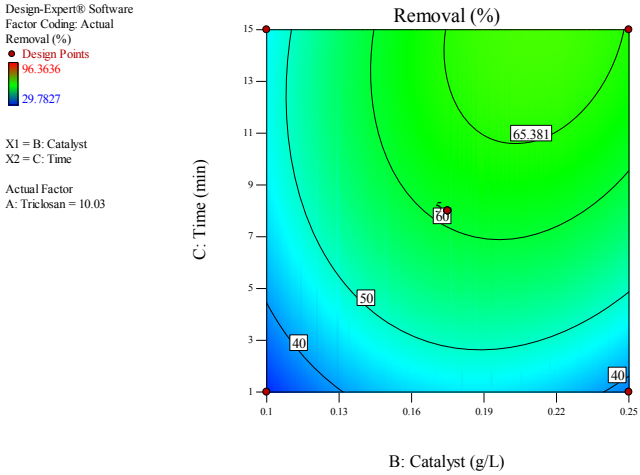
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]



نمودار ۱- غلظت تری کلوسان در برابر غلظت کاتالیست در زمان min ۸



نمودار ۲- غلظت تری کلوسان در برابر زمان در غلظت کاتالیست g/L ۰/۱۷۵



نمودار ۳- غلظت کاتالیست در برابر زمان در غلظت تری کلوسان mg/L ۱۰/۰۳

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

ب) بررسی آماری تاثیر پارامترهای فرایند تخریب:

معادله۲ نشان‌دهنده ارتباط تجربی متغیرهای آزمایش و درصد راندمان است:

$$\text{Removal \%} = -4.56555 - 2.97725\ \text{Triclosan} + 652.19717\ \text{Catalyst} + 3.42617\ \text{Time} - 0.94522\ \text{Triclosan} * \text{Catalyst} - 0.11745\ \text{Triclosan} * \text{Time} + 6.36521\ \text{Catalyst} * \text{Time} + 0.17062\ \text{Triclosan}^2 - 1748.99577\ \text{Catalyst}^2 - 0.11815\ \text{Time}^2 \quad (۲)$$

تاثیر پارامترهای مورد بررسی در مطالعه بر راندمان تخریب تری کلوسان با آنالیز واریانس (ANOVA) بررسی و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

تست نرمال بودن داده‌ها و باقیمانده‌ها (residuals) در نمودار ۴ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که داده‌ها از توزیع یکسانی حول میانگین برخوردار هستند که این موضوع نرمال بودن نتایج را نشان می‌دهد.

ج) پیش‌بینی فرایند تخریب توسط نرم افزارهای مورد بررسی:

نمودار ۵ نیز نشان‌دهنده میزان نتایج واقعی در مقابل نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم افزار DOE است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ضریب R-square معادل ۰/۸ حاصل شده است.

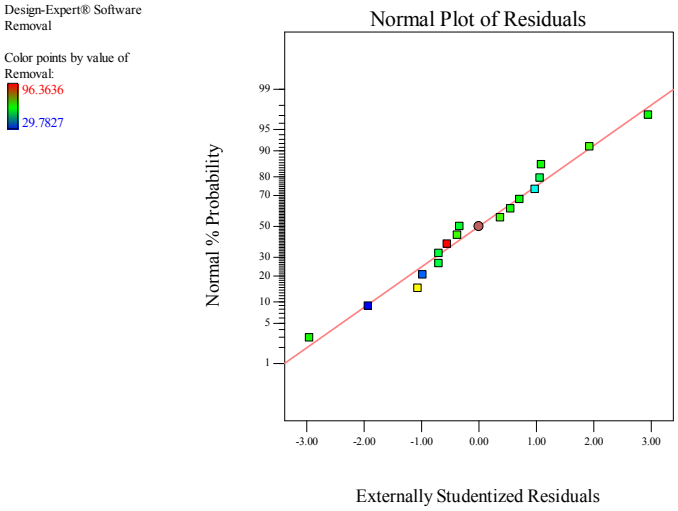
د) بهینه‌سازی فرایند تخریب توسط نرم افزارهای مورد بررسی:

برای بهینه کردن فرایند تخریب آلاینده مورد مطالعه از فاکتور مطلوبیت (DF) استفاده شد. برای بهینه‌سازی فرایند تخریب،

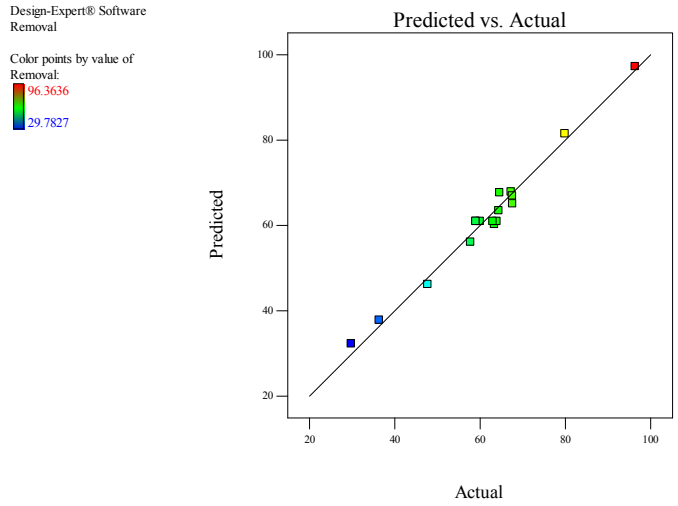
جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس برای مدل مورد بررسی

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	**Sum of Squares**	**df**	**Mean Square**	**F Value**	**P-value Prob > F**	
Model	3484.31	9	387.15	41.36	< 0.0001	significant
A-Triclosan	346.27	1	346.27	36.99	0.0005	
B-Catalyst	298.83	1	298.83	31.92	0.0008	
C-Time	848.94	1	848.94	90.70	< 0.0001	
AB	2.00	1	2.00	0.21	0.6579	
AC	269.04	1	269.04	28.74	0.0011	
BC	44.67	1	44.67	4.77	0.0652	
A^2	1213.59	1	1213.59	129.65	< 0.0001	
B^2	407.53	1	407.53	43.54	0.0003	
C^2	141.12	1	141.12	15.08	0.0060	
Residual	65.52	7	9.36			
Lack of Fit	43.98	3	14.66	2.72	0.1789	not significant
Pure Error	21.54	4	5.39			
Cor Total	3549.83	16				
Std. Dev.	3.06		R-squared	0.9815		
Mean	61.62		Adj R-squared	0.9578		
C.V. %	4.97		Pred R-squared	0.7923		
PRESS	737.31		Adeq Precision	27.687		
-2 Log Likelihood	71.18		BIC	99.51		
			AICc	127.85		

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]



نمودار ۴- نمودار میزان نرمال بودن داده‌ها و باقیمانده‌ها



نمودار ۵- نمودار میزان نتایج آزمایشگاهی در مقابل پیش بینی نرم افزار

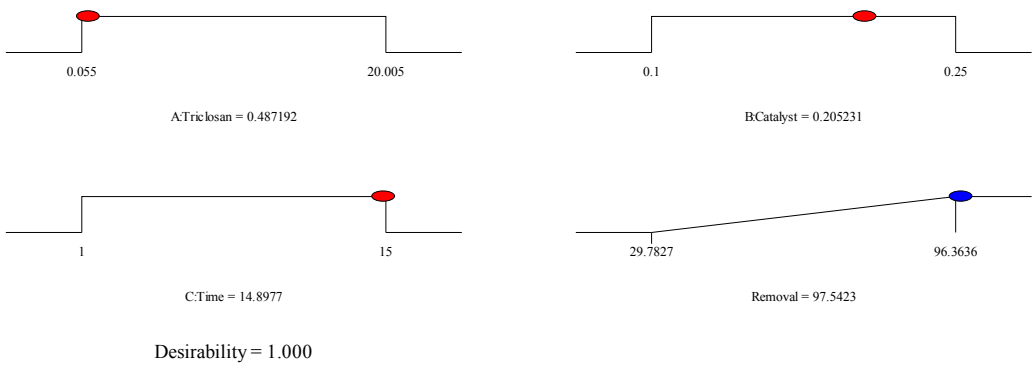
محدوده تمام پارامترهای مورد مطالعه در بازه مورد بررسی، در تحقیق قرار گرفت و پارامتر هدف یعنی همان میزان تخریب در حالت بیشینه (Maximize) تعیین شد. در این شرایط نرم‌افزار فرمان می‌دهد تا پارامترهای موجود به نحوی تعیین شود که بیشترین میزان تخریب حاصل شود. در نمودار ۶ و جدول ۴ نتایج حاصل از بهینه‌سازی شرایط تخریب تری کلوسان نشان داده شده است.

بحث

- تاثیر پارامترهای موثر در فرایند تخریب:

در مطالعه حاضر پارامترهای pH در محدوده خنثی قرار گرفت تا بیشترین شباهت با شرایط آب واقعی حاصل گردد. تخریب فتوکاتالیزوری آلاینده تری کلوسان در محدوده غلظت اولیه ۰/۰۵۵ تا ۲۰/۰۰۵ mg/L و دوز کاتالیست ۰/۱ تا ۰/۲۵ g/L مورد بررسی قرار گرفت. افزایش معنی‌داری در میزان تخریب

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]



نمودار ۶- مراحل بهینه‌سازی پارامترهای اولیه فرایند تخریب به کمک الگوریتم ژنتیک

جدول ۴- نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک به همراه راندمان در شرایط پیش بینی شده و واقعی

Constraints						
Name	**Goal**	**Lower Limit**	**Upper Limit**	**Lower Weight**	**Upper Weight**	**Importance**
A:Triclosan	is in range	0.055	20.005	1	1	3
B:Catalyst	is in range	0.1	0.25	1	1	3
C:Time	is in range	1	15	1	1	3
Removal	maximize	29.7827	96.3636	1	1	5
Solutions						
Number	**Triclosan**	**Catalyst**	**Time**	**Removal**	**Desirability**	
1	0.487	0.205	14.898	97.542	1.000	Selected

آلاینده با افزایش دوز کاتالیست تا حدود ۰/۲ g/L مشاهده شد ولی در دوزهای بالاتر راندمان حذف تقریبا ناچیز بوده و در نهایت ثابت شد. افزایش دوز کاتالیست از یک سو با افزایش جایگاه‌های فعال که توانایی تولید رادیکال‌های فعال آزاد را دارند سبب بهبود راندمان خواهند شد و از سوی دیگر افزایش دوز کاتالیزور همسو با افزایش سطح تماس (برخورد) آلاینده با عامل حذف است. افزایش برخورد، مستقیما افزایش راندمان را به همراه خواهد داشت. در دوزهای بسیار بالاتر نانوکامپوزیت سنتز شده حالت گلوله‌ای به خود می‌گیرد و تجمع پیدا می‌کند. این امر در درجه اول سبب کاهش سطح قابل دسترس برای تماس آلاینده با عامل حذف شده و همچنین تولید رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد که هر دو موضوع کاهش راندمان را به‌همراه خواهند داشت. از سوی دیگر افزایش میزان پراکندگی نانوکامپوزیت در محیط مانع از انتشار تابش لامپ زنون به قسمت‌های عمیق‌تر شده و تولید رادیکال‌های آزاد که عامل اصلی تخریب آلاینده است را کاهش می‌دهد.

یافته‌های تاثیر غلظت آلاینده بر میزان تخریب نشان داد که راندمان حذف به‌طور معکوس با غلظت اولیه تری کلوسان ارتباط دارد. توضیح این رفتار می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش غلظت اولیه آلاینده، تعداد مولکول‌های تری کلوسان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

که با سطح کاتالیست برخورد می‌کنند بیشتر شده و متعاقبا رادیکال‌های آزاد بیشتری برای تخریب مورد نیاز است. با توجه به اینکه در مقابل افزایش غلظت آلاینده، مقدار ثابتی کاتالیزور وجود دارد پس کاهش راندمان امری بدیهی است. از طرفی در اثر تخریب تری کلوسان، محصولات جانبی تولید خواهد شد. هر چه غلظت اولیه آلاینده بیشتر باشد در نتیجه تولید محصولات جانبی حاصل از تخریب نیز بیشتر خواهد شد. افزایش محصولات جانبی سبب مصرف قسمت عمده رادیکال‌های آزاد موجود شده و راندمان حذف آلاینده اصلی را کاهش خواهند داد.

بررسی تاثیر زمان در تخریب آلاینده موید این موضوع است که با افزایش زمان راندمان به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. سرعت در افزایش تخریب در زمان‌های اولیه واکنش بیشتر است. علت را می‌توان به تازه بودن سطح کاتالیست و متعاقبا تولید رادیکال‌های آزاد زیاد نسبت داد. با گذشت زمان سطح کاتالیست کم کم توان خود را برای تولید رادیکال‌های آزاد از دست داده و راندمان کاهش می‌یابد. گذشت زمان همچنین منجر به افزایش تولید محصولات جانبی ناشی از تخریب آلاینده شده که با مصرف رادیکال آزاد به کاهش راندمان تخریب کمک می‌کنند.

-بررسی آماری تاثیر پارامترهای فرایند تخریب:

مقدار دو پارامتر R-squared= ۰/۹۸۱۵ و Adj R-squared=۰/۹۵۷۸ موید این مطلب است فرایند تخریب مورد بررسی به‌خوبی از مدل منتخب برای مطالعه پیروی می‌کند. میزان پارامتر F-value برابر ۴۱/۳۶ توانایی مناسب مدل حاضر را در توصیف داده‌ها نشان می‌دهد. میزان پایین ضریب تغییرات نیز نتایج فوق را تایید می‌کند. در صورت بالاتر بودن پارامتر Adequate precision از مقدار عددی ۴، می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط مناسبی بین نتایج آزمایشگاهی و محاسبه شده بر قرار است که در مطالعه حاضر این چنین است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد تاثیر تمامی متغیرها بر روی راندمان معنی‌دار است به جز اثر متقابل AB و BC. دو پارامتر sum of squares و F-value نشان می‌دهند که زمان، بیشترین تاثیر را در فرایند تخریب داراست. پارامتر عدم تطابق (lack of fit)، از دیگر داده‌های خروجی مدل مورد بررسی است. معنی‌دار نشدن این پارامتر از دیگر شواهد کارایی مناسب مدل انتخاب شده برای تفسیر داده‌ها و دلیل خوبی بر صحت آن است. نمودار normal probability (نمودار۴) توزیع نرمال داده‌ها را حول میانگین با ضریب همبستگی بالای ۰/۹ نشان می‌دهد.

- پیش‌بینی فرایند تخریب توسط نرم افزارهای مورد بررسی:

در ادامه بررسی، به کمک آنالیز رگرسیون خطی، نتایج واقعی (آزمایشگاهی) در مقابل نتایج پیش بینی شده نرم افزار ترسیم و با هم مطابقت داده شد. همان‌گونه‌که پیش‌بینی می‌شد میزان R-square حاصل از رگرسیون انجام شده بسیار نزدیک به ۰/۸ است (نمودار ۵). این شواهد نشان می‌دهد مدل مورد بررسی در ۸۰ درصد موارد توانایی پیش‌بینی نتایج حاصل را خواهد داشت.

- بهینه‌سازی فرایند تخریب توسط نرم افزارهای مورد بررسی:

براساس نمودارهای ۱، ۲ و۳ و جدول ۴ می‌توان گزارش نمود که دوز کاتالیست، زمان و غلظت آلاینده به ترتیب در مقادیر ۰/۲۰۵ g/L، ۱۴/۸۹۸ min و ۰/۴۸۷ mg/L به‌عنوان شرایط بهینه در تخریب تری کلوسان توسط سیستم مورد مطالعه هستند. در ادامه به منظور بررسی دقت توانایی مدل مورد بررسی در بهینه‌سازی شرایط، تمام نتایج بدست آمده توسط نرم افزار مجددا در آزمایشگاه (شرایط واقعی) تکرار شد و نتایج بسیار نزدیکی حاصل شد. در شرایط بهینه راندمان حاصل توسط نرم افزار برابر ۹۷/۵۴۲ درصد و میزان آزمایشگاهی آن معادل ۹۴/۵۴۲ حاصل شد.

نتیجه‌گیری

TiO_2@GO با اندازه متوسط بین ۲۰ تا ۸۰ nm، به‌عنوان فتوکاتالیست موثر در تخریب تری کلوسان مورد استفاده قرار گرفت. راندمان حذف سیستم Xe/ TiO_2@GO در حذف تری کلوسان برابر ۹۸ درصد بود. مدل مورد بررسی با

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

ضریب رگرسیون بالا به‌خوبی توانایی توصیف فرایند تخریب تری کلوسان را نشان داد. زمان و دوز کاتالیست تاثیر مثبت و غلظت آلاینده تاثیر منفی در فرایند مورد بررسی را داشت. نتایج امیدوار کننده‌ای توسط سیستم $Xe/ TiO_2@GO$ برای حذف تری کلوسان از نمونه واقعی حاصل شد که توانایی کاربرد اجرایی آن را نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از طرح تحقیقاتی با عنوان «بررسی کارایی فرآیند نانوفتوکاتالیستی Xe/TiO_2-GO و $Xe/UV/TiO_2$-GO در حذف تری کلوسان از محیط‌های آبی» مصوب مرکز تحقیقات آب پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران در سال ۹۳ با کد ۹۳-۰۲-۴۶-۲۶۳۸۶ است که با حمایت این مرکز اجرا شده است.

منابع

1. Chen X. Triclosan removal in wastewater treatment processes [dissertation]. Alborg, Denmark: Sektion for Bioteknologi, Aalborg Universitet; 2012.
2. Matozzo V, Devoti AC, Marin MG. Immunotoxic effects of triclosan in the clam Ruditapes philippinarum. Ecotoxicology. 2012;21(1):66-74.
3. Bedoux G, Roig B, Thomas O, Dupont V, Le Bot B. Occurrence and toxicity of antimicrobial triclosan and by-products in the environment. Environmental Science and Pollution Research. 2012;19(4):1044-65.
4. Braun P, Schmidt S, Crouse M, Dean A, DuPre E, Palenske N. Triclosan Effects on Zebrafish Heart Rate. Proceedings of The National Conference on Undergraduate Research (NCUR); 2013 Apr 11-13; La Crosse Wisconsin, United States.
5. Brausch JM, Rand GM. A review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity. Chemosphere. 2011;82(11):1518-32.
6. Gao R, Kong X, Su F, He X, Chen L, Zhang Y. Synthesis and evaluation of molecularly imprinted core–shell carbon nanotubes for the determination of triclosan in environmental water samples. Journal of Chromatography A. 2010;1217(52):8095-102.
7. Krishnan K, Gagné M, Nong A, Aylward LL, Hays SM. Biomonitoring equivalents for triclosan. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2010;58(1):10-17.
8. Li X, Ying G-G, Su H-C, Yang X-B, Wang L. Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol A and triclosan in tap water, bottled water and baby bottles. Environment International. 2010;36(6):557-62.
9. Ramaswamy BR, Shanmugam G, Velu G, Rengarajan B, Larsson DJ. GC–MS analysis and ecotoxicological risk assessment of triclosan, carbamazepine and parabens in Indian rivers. Journal of Hazardous Materials. 2011;186(2-3):1586-93.
10. Murugesan K, Bokare V, Jeon J-R, Kim E-J, Kim J-H, Chang Y-S. Effect of Fe–Pd bimetallic nanoparticles on Sphingomonas sp. PH-07 and a nano-bio hybrid process for triclosan degradation. Bioresource Technology. 2011;102(10):6019-25.
11. Bokare V, Murugesan K, Kim Y-M, Jeon J-R, Kim E-J, Chang YS. Degradation of triclosan by an integrated nano-bio redox process. Bioresource Technology. 2010;101(16):6354-60.
12. Zhang R, Zhang G, Zheng Q, Tang J, Chen Y, Xu W, et al. Occurrence and risks of antibiotics in the Laizhou Bay, China: impacts of river discharge. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2012;80:208-15.
13. Jimmy CY, Kwong T, Luo Q, Cai Z. Photocatalytic oxidation of triclosan. Chemosphere. 2006;65(3):390-99.
14. Rahmani A, Samadi M, Enayati Moafagh A. Investigation of photocatalytic degradation of phenol by UV/TiO2 process in aquatic solutions. Journal of Research in Health Sciences. 2008;8(2):55-60.
15. Morales-Torres S, Pastrana-Martínez LM, Figueiredo JL, Faria JL, Silva AM. Graphene oxide-P25

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

photocatalysts for degradation of diphenhydramine pharmaceutical and methyl orange dye. Applied Surface Science. 2013;275:361-68.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]

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

Original Article

Catalytic degradation of Triclosan by using xenon light/GO @ TiO_2 combination system: optimization of initial parameters

N Golchinpour[1], N Rastkari[2], R Nabizadeh Nodehi[3], M Abtahi[4], A Azari[3,5], E Iravani[3], K Yaghmaeian[1,3,*]

1- Center for Water Quality Research (CWQR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

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

3- Department of Environmental Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- Department of Environmental Health, School of Public Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 15 October 2017

Revised: 2 January 2018

Accepted: 9 January 2018

Published: 7 March 2018

Key words: Nanophotocatalysis, Triclosan, Graphene oxide, Titanium dioxide, Xenon lamp

***Corresponding Author:**
k_yaghmaeian@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Triclosan is one of the substances as antimicrobial that is used in many of these pharmaceutical products. This compound can affect human such as reduction of thyroid hormone levels, antibiotic resistant, and increasing skin cancer. This study evaluated the performance nanophotocatalysis process UV/Xe/TiO_2-GO on triclosan removal from aqueous solutions.

Materials and Methods: Synthesis of TiO_2@GO and its structure was analyzed by SEM, EDX and FTIR. The effects of pollutant concentration, catalyst dosage, and contact time on the removal of Triclosan were studied by DOE software according to response surface methodology. Analysis of variance test was considered for the influence of parameters. Optimum process condition was determined by desirability factor.

Results: Optimum conditions regarding concentration of pollutant, contact time, and catalyst dosage were determined as 0.205 g/L, 14.898 min, and 0.487 mg/L, respectively. Maximum removal efficiency in optimum condition was 97.542 percent. The catalyst dosage was the most effective parameter in removal of Triclosan.

Conclusion: Using of TiO_2@GO and xenon lamp had acceptable efficiency for the removal of Triclosan. The use of Xenon lamps alone was economically affordable.

Please cite this article as: Golchinpour N, Rastkari N, Nabizadeh Nodehi R, Abtahi M, Azari A, Iravani E, et al. Catalytic degradation of Triclosan by using xenon light/GO @ TiO_2 combination system: optimization of initial parameters. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;10(4): 443-56.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-03]