



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

مقاله پژوهشی

## بررسی حذف فتوکاتالیستی آلاینده متیل اورانژ در سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO و SnO<sub>2</sub> و بررسی تاثیر متغیرهای موثر بر فرایند

صدیقه عباسی\*

(نویسنده مسئول): دکتری مهندسی شیمی، استادیار مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، خراسان شمالی، اسفراین، ایران

### چکیده

زمینه و هدف: مواد فتوکاتالیستی به علت کاربرد گسترده‌ای که در حفاظت از محیط زیست دارند به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف این تحقیق بررسی و مطالعه آنالیز آماری فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO و SnO<sub>2</sub> جهت حذف آلاینده متیل اورانژ از آب است. روش بررسی: نانوذرات ZnO و SnO<sub>2</sub> به ترتیب به روش سل-ژل و شیمیایی سنتز شدند و متیل اورانژ به عنوان آلاینده مورد نظر انتخاب شد. تاثیر غلظت نانوذرات جهت حذف آلاینده در محدوده ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی تاثیر میزان تابش دهی، سوسپانسیون حاوی آلاینده و نانوذرات در مدت زمان‌های متفاوت و در محدوده ۵ تا ۲۵ min تحت تابش قرار گرفت. نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار *MSTATC, Ver ۱.۴۲* و آزمون آماری چند دامنه‌ای دانکن (*Duncan's multiple range test*) مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها: نتایج حاصل از آنالیز واریانس کارایی حذف متیل اورانژ نشان داد که در سوسپانسیون‌های حاوی ZnO و SnO<sub>2</sub>، زمان تابش دهی، غلظت نانوذرات و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵ درصد دارای تاثیر معنی داری بر روی حذف فتوکاتالیستی متیل اورانژ هستند. همچنین با افزایش زمان تابش دهی از ۵ تا مدت ۲۵ min میزان حذف آلاینده در سوسپانسیون حاوی ZnO و SnO<sub>2</sub> به ترتیب به ۹۷/۴۲ درصد و ۶۹/۵۵ درصد می‌رسد. بررسی تاثیر غلظت نانوذرات بر روی میزان حذف متیل اورانژ نیز نشان دهنده افزایش میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات با افزایش غلظت است. نتیجه‌گیری: طبق نتایج بدست آمده مشاهده شد که میزان فعالیت فتوکاتالیستی ZnO نسبت به SnO<sub>2</sub> بیشتر است. بنابراین استفاده از ZnO جهت حذف آلاینده موثرتر است.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۵  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۸/۱۷  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۳  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۹/۳۰

واژگان کلیدی: آزمون آماری، فعالیت فتوکاتالیستی، نانوذرات ZnO، نانوذرات SnO<sub>2</sub>، متیل اورانژ

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

abasi\_1362@yahoo.com,  
s.abbasi@esfarayen.ac.ir

## مقدمه

آلودگی منابع آبی توسط پساب‌های صنعتی باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی بسیاری در جوامع امروزی شده است. مهمترین مواد آلاینده موجود در پساب‌های صنعتی ترکیبات آلی رنگی از جمله متیلن بلو و متیل اورانژ است. حضور آنها در آب باعث جلوگیری از نفوذ نور خورشید به عمق رودخانه‌ها شده و در نتیجه سبب اختلال در عمل فتوسنتز می‌گردد و از طرفی سبب رشد سریع بعضی از انواع جلبک‌ها شده و در نتیجه، اکسیژن محلول در آب کاهش و از دریافت نور توسط آبزیان ممانعت به عمل می‌آورد. عدم دریافت نور توسط آبزیان سبب خفگی و مرگ و میر آنها می‌شود که این امر تهدیدی جدی برای هرم غذایی بشر به شمار می‌رود (۱). از جمله روش‌های کاهش و حذف مواد آلاینده رنگی می‌توان به استفاده از کربن فعال، فرایندهای غشایی، تجزیه بیولوژیکی، اسمز معکوس، انعقاد، مبادله یونی، فرایندهای اکسایش و جذب‌های زیستی انتخاب‌پذیر اشاره نمود (۱، ۳، ۴). فرایند اکسیداسیون پیشرفته از جمله روش‌های پرکاربرد و عملی جهت تصفیه آب‌های آلوده به مواد آلاینده رنگی است. در این روش به دلیل استفاده از مواد اکسید کننده قوی مانند آب اکسیژنه، ازن و کاتالیست‌هایی همچون اکسید روی، اکسید تیتانیوم، نقره و اکسید قلع و همچنین تابش اشعه فرابنفش، مواد آلاینده شیمیایی به مواد معدنی تجزیه می‌شوند. حذف و تجزیه مواد آلاینده آلی در فرایند اکسیداسیون پیشرفته براساس تحریک الکترون‌های لایه ظرفیت مواد کاتالیستی اکسند و انتقال آنها به لایه هدایت است. بنابراین انتقال الکترون‌ها سبب ایجاد حفره در لایه ظرفیت و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌گردد (۵، ۶). از میان مواد فتوکاتالیستی که به طور گسترده برای از بین بردن آلودگی‌های آلی و معدنی استفاده می‌شود، می‌توان به نانوذرات اکسید روی (ZnO) با شکاف انرژی ۳/۲۵ eV و اکسید قلع (SnO<sub>۲</sub>) با شکاف انرژی ۳/۸ eV اشاره نمود. مزایای عمده ZnO شامل حساسیت نوری بالا، ماهیت غیرسمی، پایداری زیاد و راندمان بالا در تولید الکترون است (۷، ۸). SnO<sub>۲</sub>

به علت داشتن خواص عالی مانند شفافیت، حساسیت نوری بالا، قیمت پایین و دوستدار محیط زیست بودن، کاربرد زیادی بویژه در پیل‌های خورشیدی، سنسورها، پیل‌های سوختی، کاتالیزورها و سوپرخازن‌ها دارد (۹). تاکنون مطالعات بسیاری بر روی فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات مختلف از جمله Au (۱۰)، Ag-SnO<sub>۲</sub> (۱۱)، Ag-TiO<sub>۲</sub> (۱۲)، TiO<sub>۲</sub> (۱۳) و ZnO-SnO<sub>۲</sub> (۱۴، ۱۵) جهت تجزیه فتوکاتالیستی آلاینده‌های متفاوت صورت گرفته است. Dhanavel و همکاران (۱۶) فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO را در حضور کیتوزان برای حذف آلاینده متیلن بلو مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی آنها نشان داد با افزایش زمان تابش‌دهی آب آلوده به آلاینده متیلن بلو و در حضور نانوذرات ZnO، میزان آلودگی کاهش می‌یابد بطوریکه حداکثر میزان حذف آلاینده پس از ۴ h تابش‌دهی را برابر ۸۰ درصد گزارش نمودند. Shan و همکاران (۱۷) تاثیر نانوذرات ZnO آرایش یافته با مقادیر مختلف نانوذرات نقره (۱ و ۱۰ درصد) را بر روی تجزیه فتوکاتالیستی محلول آلوده R۶G مورد مطالعه قرار دادند. Liu و همکاران (۱۱) فعالیت فتوکاتالیستی (ANSOs) Ag-SnO<sub>۲</sub> توسط تجزیه رنگی محلول ردآمین B(Rh B) در دمای اتاق تحت تابش نور مرئی و UV را بررسی کردند. Zhang و همکاران (۱۴)، نتایج آزمایشاتی بر روی فعالیت فتوکاتالیستی نانوسایزهای ZnO-SnO<sub>۲</sub> برای تخریب متیل اورانژ، گزارش کردند. Wen و همکاران (۱۸) تخریب فتوکاتالیستی ردآمین B(Rh B) را با استفاده از فتوکاتالیست‌های منفرد SnO<sub>۲</sub> و SnO<sub>۲</sub> آرایش یافته با نانوذرات ZnO بررسی نمودند. Yuan و همکاران (۱۹) نانوذرات SnO<sub>۲</sub> را تحت شرایط کلسینه کردن متفاوت (۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰) سنتز نمودند و فعالیت فتوکاتالیستی نمونه‌های سنتز شده را با تغییرات pH در محدوده ۳ تا ۹، غلظت فتوکاتالیست و زمان تابش‌دهی بر روی حذف آلاینده متیل اورانژ از آب بررسی نمودند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشاهده می‌شود که تاثیر پارامترهای مختلفی از جمله غلظت، pH و زمان تابش‌دهی بر

تابش UV قرار گرفت و پس از مدت زمان‌های مورد نظر مقدار ۳ mL از محلول اصلی که تحت تاثیر قرار گرفته خارج نموده و جذب آن ( $A_p$ )، اندازه‌گیری شد تا جایی که واکنش به اتمام رسید و رنگ نارنجی متیل اورانژ، از بین رفت در نهایت طبق معادله ۱، می‌توان درصد کاهش آلاینده را محاسبه کردید. برای اطمینان از نتایج آزمایشات، هر آزمایش سه بار انجام شده و نتایج آنها به صورت میانگین، گزارش شده است.

در معادله بالا می‌توان میزان غلظت آلاینده در زمان اولیه ( $C_0$ )

$$(1) \quad \text{درصد کاهش آلاینده} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

و پس از گذشت مدت زمان مشخصی از تابش دهی ( $C_p$ ) را متناسب با میزان جذب دانست (۱).

آنالیز آماری فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $ZnO$  و  $SnO_2$  با استفاده از نرم افزار MSTATC, Ver ۱.۲۲ و طراحی کاملاً تصادفی دو متغیره (Two factor completely randomized design) انجام گردید. بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین پاسخ‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan's multiple range test) و با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. تاثیر همزمان زمان تابش دهی و غلظت نانوذرات فتوکاتالیستی بر روی میزان حذف آلاینده متیل اورانژ با استفاده از نرم افزار Minitab, Ver ۱۱.۱۲ مورد مطالعه قرار گرفت.

### یافته‌ها

#### - آنالیز واریانس فعالیت فتوکاتالیستی

جدول ۱ و ۲ به ترتیب آنالیز واریانس فعالیت فتوکاتالیستی سوسپانسیون حاوی نانوذرات  $ZnO$  و  $SnO_2$  را جهت حذف آلاینده متیل اورانژ نشان می‌دهند. نتایج ارائه شده در ستون اول این دو جدول پارامتر مورد بررسی بر روی حذف آلاینده را نشان می‌دهد که شامل زمان تابش دهی، کسر وزنی نانوذرات و تاثیر متقابل این دو پارامتر است. ستون دوم میزان درجه

روی فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $ZnO$  و  $SnO_2$  در حذف آلاینده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ولی آنالیز آماری پارامترهای عملیاتی مختلف که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن سطح‌های مختلف زمان و غلظت است تاکنون بررسی نشده است. همچنین تاثیر متقابل پارامترهای عملیاتی جهت بررسی همزمان زمان و غلظت بر روی فعالیت فتوکاتالیستی گزارش نشده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی و مطالعه تاثیر متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون آماری و اثرات متقابل متغیرها (غلظت و زمان تابش دهی) بر روی فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $ZnO$  و  $SnO_2$  در حذف آلاینده متیل اورانژ از آب است.

### مواد و روش‌ها

نانوذرات  $ZnO$  و  $SnO_2$  مورد استفاده در این تحقیق به ترتیب به روش سل-ژل با استفاده از  $SnCl_4 \cdot 2H_2O$  و روش شیمیایی با استفاده از  $ZnCl_2$  که در مقالات گزارش شده است (۱، ۲) سنتز گردید. آلاینده متیل اورانژ که یکی از مهمترین نوع آلاینده‌های موجود در پساب‌های صنعتی و مقاوم در برابر تجزیه نوری است جهت حذف و بررسی فعالیت فتوکاتالیستی انتخاب گردید (۹). جهت انجام فعالیت‌های فتوکاتالیستی، درون یک بشر، ۶۰ mL از محلول ۱۰ ppm متیل اورانژ ریخته و مقادیر متفاوتی از پودر فتوکاتالیست (۰/۲۵، ۰/۵، ۱ درصد وزنی) طی آزمایش‌های جداگانه به آن اضافه گردید، اطراف بشر بایستی بطور کامل با استفاده از ورقه‌های آلومینیومی پیچیده شود و در ابتدا به مدت ۶۰ min روی همزن مغناطیسی و در فضای تاریک همزده شد تا به تعادل جذب و واجذب رسید. سپس به مقدار ۳ mL از این محلول فیلتر شده و درون سل دستگاه اسپکتروفوتومتر (Lambda EZ۲۰۱, Perkin Elmer company) قرار داده شد و در طول موج  $\lambda_{max} = 464 \text{ nm}$  مقدار جذب اولیه آن که  $A_0$  نامیده می‌شود ثبت گردید. سپس در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای، محلول بصورت پی در پی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ min) تحت

است. مقادیر ارائه شده در ستون پنجم از جداول ۱ و ۲ میزان اهمیت هر پارامتر را مشخص می‌نماید. بطوریکه پارامترهایی که دارای مقدار ارزش  $F$  بیشتری هستند، تاثیر بیشتری بر روی کارایی حذف آلاینده دارند (۲۰). با توجه به مقادیر احتمال (probability) که در ستون ششم از جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پارامترهایی که دارای مقدار احتمال کمتر از سطح احتمال (۰/۰۵) هستند دارای تاثیر معنی‌دار و قابل توجهی بر روی کارایی حذف آلاینده دارند. - تاثیر زمان تابش‌دهی بر روی فعالیت فتوکاتالیستی و حذف

آزادی هر پارامتر را نشان می‌دهد. میزان درجه آزادی هر یک از پارامترهای مورد بررسی برابر تعداد سطح‌های هر پارامتر منهای یک است. بنابراین با توجه به اینکه تعداد سطح‌های زمان تابش‌دهی برابر ۵ سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ min) و تعداد سطح‌های کسر وزنی نانوذرات مورد استفاده برابر ۳ سطح (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی) است بنابراین میزان درجه آزادی زمان تابش‌دهی و کسر وزنی به ترتیب برابر ۴ و ۲ است. میزان درجه آزادی اثر متقابل زمان تابش‌دهی و کسر وزنی نانوذرات برابر حاصلضرب درجه آزادی پارامترهای منفرد

جدول ۱- آنالیز واریانس فعالیت فتوکاتالیستی سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	احتمال
زمان تابش‌دهی	۴	۹۹۴۱/۰۴۶	۲۴۸۵/۲۶۱	۵۷۰/۳۷۴	۰/۰۰۰
کسر وزنی	۲	۳۶۱۱/۹	۱۸۰۵/۹۵	۴۱۴/۴۷	۰/۰۰۰
زمان تابش‌دهی - کسر وزنی	۸	۳۴۶۲/۶۲۶	۴۳۲/۸۲۸	۹۹/۳۳۵	۰/۰۰۰
خطا	۳۰	۱۳۰/۷۱۷	۴/۳۵۷	----	----
کل	۴۴	۱۷۱۴۶/۲۸۹	----	----	----

جدول ۲- آنالیز واریانس فعالیت فتوکاتالیستی سوسپانسیون حاوی نانوذرات SnO<sub>۲</sub>

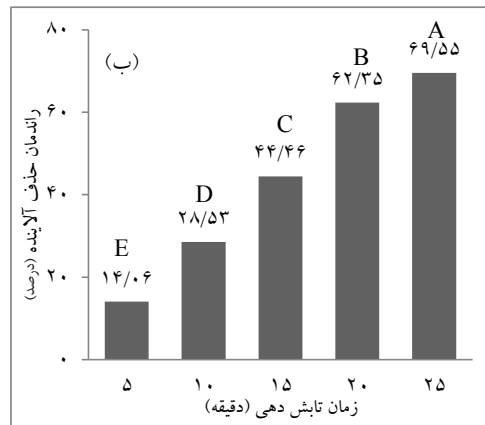
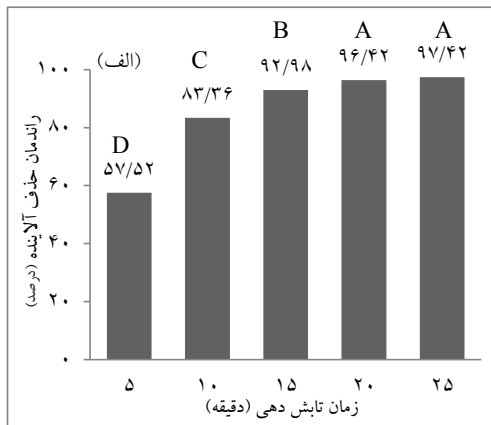
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	احتمال
زمان تابش‌دهی	۴	۱۹۱۲۷/۴۰۴	۴۷۸۱/۸۵۱	۵۵۰/۶۱۷	۰/۰۰۰
کسر وزنی	۲	۳۱۵۲/۹۲۱	۱۵۷۶/۴۶۰	۱۸۱/۵۲۵	۰/۰۰۰
زمان تابش‌دهی - کسر وزنی	۸	۳۰۱/۷۹۳	۳۷/۷۲۴	۴/۳۴۳	۰/۰۰۴
خطا	۳۰	۲۶۰/۵۳۶	۸/۶۵۸	----	----
کل	۴۴	۲۲۸۴۲/۶۵۴	----	----	----

میزان فعالیت فتوکاتالیستی و حذف آلاینده وجود دارد. ولی با افزایش زمان تابش‌دهی از ۲۰ تا ۲۵ min تفاوت معنی‌داری در میزان حذف آلاینده وجود ندارد. با توجه به نمودار (۱-ب) که تاثیر زمان تابش‌دهی اشعه UV را بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات SnO<sub>۲</sub> نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود

### آلاینده متیل اورانژ

نمودار (۱-الف) تاثیر زمان تابش‌دهی اشعه UV بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از این شکل مشاهده می‌شود که در بازه زمان تابش‌دهی از ۵ تا ۲۰ min، تفاوت آماری معنی‌داری در

آلاینده متیل اورانژ در زمان تابش دهی ۵ min و معادل ۱۴/۰۶ درصد است و با افزایش زمان تابش دهی تا ۲۵ min، میزان فعالیت فتوکاتالیستی به ۶۹/۵۶ درصد افزایش می‌یابد.



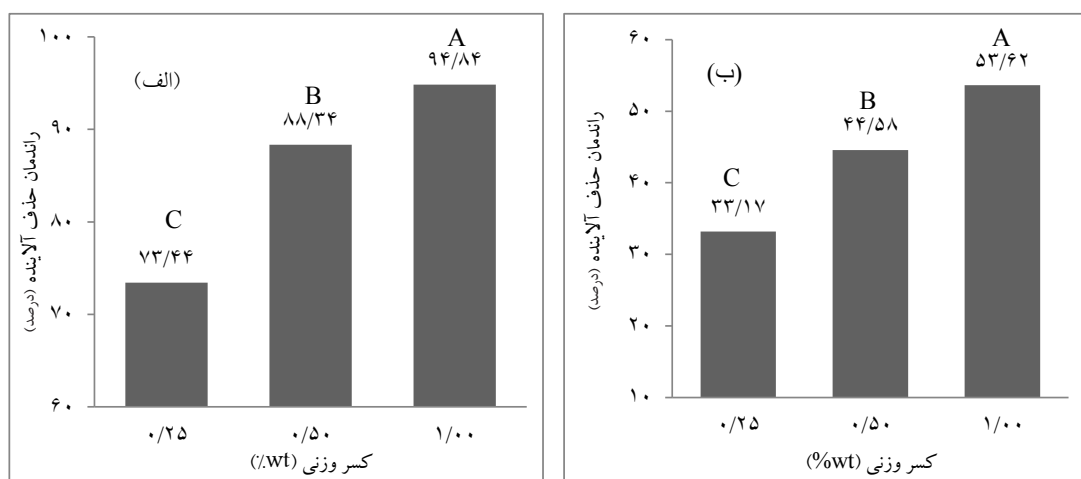
نمودار ۱- الف) تاثیر زمان تابش دهی بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی محلول حاوی نانوذرات ZnO،

ب) تاثیر زمان تابش دهی بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی محلول حاوی نانوذرات SnO<sub>۲</sub>. (میانگین‌هایی با حروف متفاوت، دارای تفاوت آماری معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند).

- بررسی پاسخ سطح و تاثیر متقابل زمان تابش دهی و غلظت با توجه به نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود که کارایی حذف آلاینده‌ها با استفاده از نانوذرات فتوکاتالیستی در سوسپانسیون‌های مورد بررسی تحت تاثیر زمان تابش دهی و غلظت نانوذرات استفاده شده، است. هرچند که این نتایج فقط تاثیر یکی از این پارامترها را نشان می‌دهد. لذا جهت بررسی تاثیر همزمان زمان تابش دهی و غلظت، تکنیک پاسخ سطح روشی مناسب و مفیدی است. نمودار (۳- الف و ب) تغییرات میزان کارایی حذف آلاینده و خطوط کانتور را با زمان تابش دهی و غلظت در سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۳- الف مشاهده می‌شود که با افزایش همزمان زمان تابش دهی و غلظت، میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO نیز افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از نمودار ۳- ب مشاهده می‌شود که برای رسیدن به میزان مشخصی از حذف آلاینده متیل اورانژ، زمان تابش دهی مورد نیاز افزایش یافته و درصد وزنی نانوذرات کاهش می‌یابد. نمودار (۴- الف و ب) تغییرات میزان فعالیت

- تاثیر غلظت بر روی فعالیت فتوکاتالیستی و حذف آلاینده متیل اورانژ

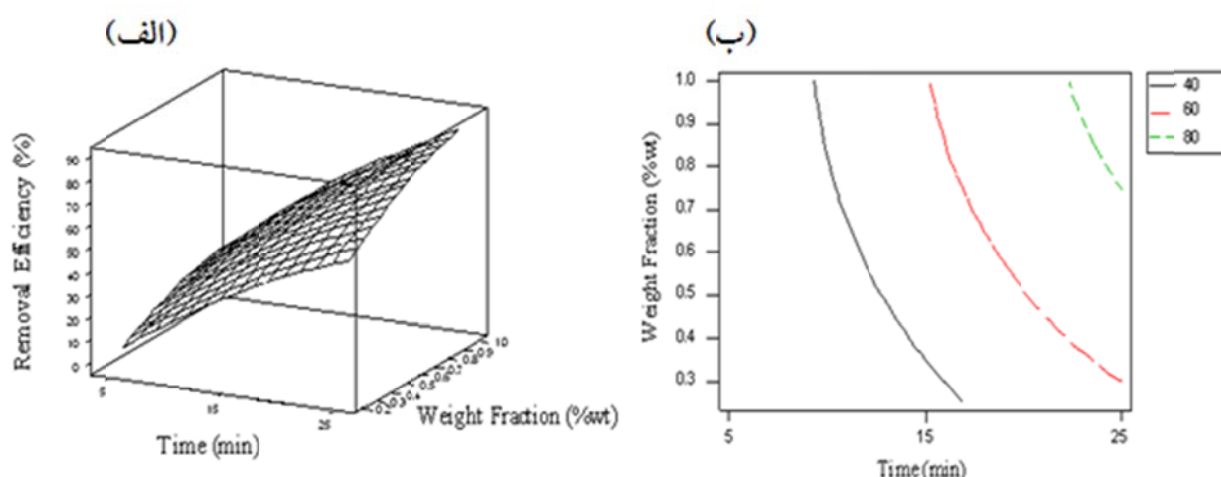
تاثیر غلظت نانوذرات ZnO بر روی فعالیت فتوکاتالیستی و حذف آلاینده متیل اورانژ در نمودار (۲- الف) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که کمترین بیشترین کارایی حذف آلاینده متیل اورانژ در غلظت‌های وزنی ۰/۲۵ و ۱ درصد حاصل می‌شود. براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و سطح اطمینان ۹۵ درصد، مشاهده می‌شود که در سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO، تفاوت معنی‌داری در میان راندمان فعالیت فتوکاتالیستی وجود دارد. نتایج حاصل از آنالیز آماری کارایی حذف آلاینده در محلول حاوی نانوذرات SnO<sub>۲</sub> با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (نمودار ۲- ب) نشان می‌دهد که بین سطوح متوالی غلظت، تفاوت آماری معنی‌داری در اکسیداسیون و حذف آلاینده متیل اورانژ وجود دارد. کمترین میزان حذف آلاینده در غلظت وزنی ۰/۲۵ درصد از نانوذرات SnO<sub>۲</sub> برابر ۳۳/۱۷ درصد و بیشترین میزان حذف آلاینده در غلظت وزنی ۱ درصد از نانوذرات SnO<sub>۲</sub> برابر ۵۳/۶۲ است.



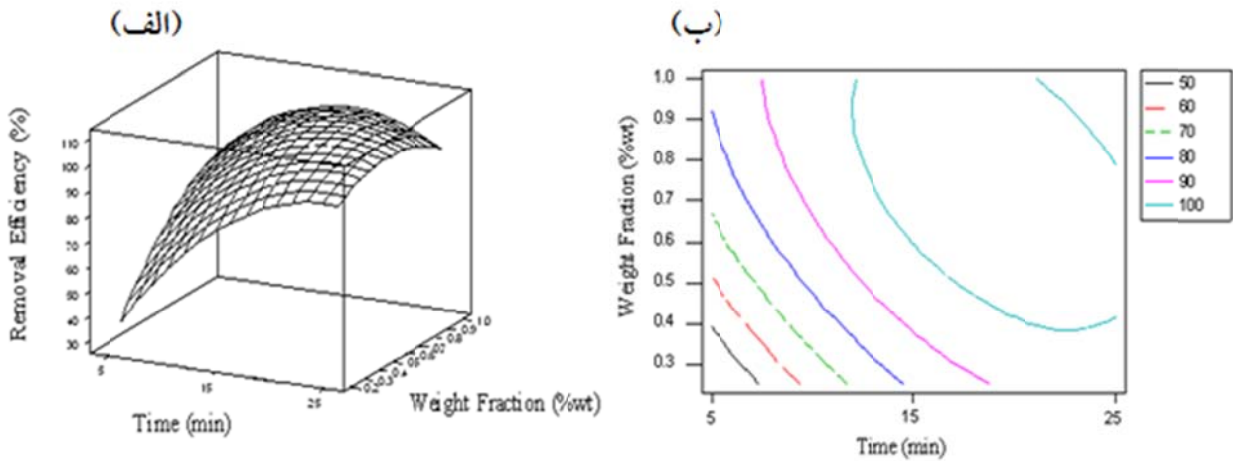
نمودار ۲- الف) تاثیر زمان غلظت بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی محلول حاوی نانوذرات ZnO، ب) تاثیر زمان غلظت بر روی میزان فعالیت فتوکاتالیستی محلول حاوی نانوذرات SnO<sub>۲</sub>. (میانگین‌هایی با حروف متفاوت، دارای تفاوت آماری معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند)

می‌یابد. همچنین با توجه به نمودار ۴-ب مشاهده می‌شود که برای رسیدن به میزان کارایی حذف مشخصی از متیل اورانژ زمان تابش‌دهی مورد نیاز افزایش یافته و غلظت نانوذرات SnO<sub>۲</sub> کاهش می‌یابد.

فتوکاتالیستی و خطوط کانتور را با زمان تابش‌دهی و غلظت نانوذرات SnO<sub>۲</sub> نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۴-الف مشاهده می‌شود که با افزایش همزمان زمان تابش‌دهی و غلظت نانوذرات SnO<sub>۲</sub>، میزان تجزیه و حذف متیل اورانژ نیز افزایش



نمودار ۳- الف) پاسخ سطح کارایی حذف آلاینده سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO نسبت به زمان تابش‌دهی و غلظت، ب) خطوط کانتور کارایی حذف آلاینده سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO در زمان تابش‌دهی و درصدهای وزنی متفاوت



نمودار ۴- الف) پاسخ سطح کارایی حذف آلاینده سوسپانسیون حاوی نانوذرات  $\text{SnO}_2$  نسبت به زمان تابش دهی و غلظت، ب) خطوط کانتور کارایی حذف آلاینده سوسپانسیون حاوی نانوذرات  $\text{SnO}_2$  در زمان تابش دهی و درصدهای وزنی متفاوت

میزان قابل توجهی افزایش یافت. حداکثر میزان حذف آلاینده در سوسپانسیون حاوی نانوذرات  $\text{SnO}_2$  در زمان ۲۵ min حاصل می‌شود که میزان آن برابر ۶۹/۵۵ درصد است که در مقایسه با میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $\text{ZnO}$  در زمان تابش دهی مشابه (۹۷/۴۲ درصد) کمتر است. که این امر ناشی از تفاوت در باند گپ نانوذرات  $\text{ZnO}$  و  $\text{SnO}_2$  است. نانوذرات  $\text{SnO}_2$  دارای باند گپ عریض تر (۳/۸ eV) (۲۲) نسبت به نانوذرات  $\text{ZnO}$  (۳/۲ eV) هستند (۲۳) که برای برانگیختن جفت الکترون-حفره، نیاز به تابش بیشتر نور UV دارند و دیرتر از نانوذرات  $\text{ZnO}$  که دارای باند گپ کوتاه تر هستند، برانگیخته می‌شوند (۱). بنابراین در مدت زمان مشابه نانوذرات  $\text{ZnO}$  دارای تحریک الکترونی بیشتر هستند و جفت الکترون - حفره بیشتری تولید می‌نمایند که سبب تولید بیشتر رادیکال‌های اکسیدکننده هیدروکسیل می‌شود. بنابراین در مدت زمان تابش دهی مشابه نانوذرات  $\text{ZnO}$  توانایی تجزیه بیشتر آلاینده را دارند. نتایج حاصل از تاثیر غلظت نانوذرات فتوکاتالیستی  $\text{ZnO}$  و  $\text{SnO}_2$  بر روی میزان کارایی حذف آلاینده متیل اورانژ نشان می‌دهد که افزایش غلظت نانوذرات

## بحث

نتایج حاصل از تاثیر پارامترهای عملیاتی مورد بررسی از جمله زمان تابش دهی سوسپانسیون با اشعه UV و کسر وزنی و اثر ترکیبی این دو پارامتر نشان می‌دهد که تمام پارامترهای ذکر شده دارای تاثیر معنی‌داری بر فعالیت فتوکاتالیستی سوسپانسیون‌های مورد بررسی دارند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از آنالیز واریانس مشاهده می‌شود که در هر دو نوع نانوذره مورد استفاده، زمان تابش دهی دارای بیشترین تاثیر بر روی حذف متیل اورانژ است. نتایج بدست آمده با نتایج گزارش شده توسط Masombaigi و همکاران (۲۱) نیز مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل از تاثیر زمان تابش دهی سوسپانسیون حاوی نانوذرات فتوکاتالیستی و مواد آلاینده مشاهده می‌شود که با افزایش زمان تابش دهی، کارایی حذف آلاینده متیل اورانژ نیز افزایش می‌یابد. بطوری‌که با افزایش زمان تابش دهی از ۵ تا ۲۵ min میزان درصد حذف آلاینده توسط نانوذرات  $\text{ZnO}$  از ۵۷/۵۲ تا ۹۷/۴۲ افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با افزایش زمان تابش دهی از ۵ تا ۲۵ min میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $\text{ZnO}$  به

### نتیجه گیری

حذف آلاینده متیل اورانژ از آب با استفاده از نانوذرات فتوکاتالیستی ZnO و SnO<sub>۲</sub> و تحت تابش اشعه UV مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه متیل اورانژ نشان داد که کارایی حذف آلاینده تحت تاثیر پارامترهایی از جمله زمان تابش دهی اشعه UV و غلظت نانوذرات ZnO و SnO<sub>۲</sub> است. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز واریانس مشاهده شد که اختلاف معنی داری بین تمام سطوح زمان و غلظت وجود دارد. همچنین مشاهده گردید که با افزایش زمان تابش دهی و غلظت، میزان کارایی حذف آلاینده نیز افزایش می یابد. مقایسه بین میزان راندمان فعالیت فتوکاتالیست نانوذرات ZnO و SnO<sub>۲</sub> نیز نشان دهنده بالاتر بودن میزان حذف آلاینده متیل اورانژ در سوسپانسیون حاوی نانوذرات ZnO نسبت به سوسپانسیون حاوی نانوذرات SnO<sub>۲</sub> است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از سرپرست آزمایشگاه مرکزی مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین بابت همکاری جهت استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی اعلام می دارند.

### منابع

- Ghaderi A, Abbasi S, Farahbod F. Synthesis of SnO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles and SnO<sub>2</sub>-ZnO hybrid for the photocatalytic oxidation of Methyl Orange. Iranian Journal of Chemical Engineering. 2015;12(3):96-105.
- Ghaderi A, Abbasi S, Farahbod F. Photocatalytic degradation of methyl orange by ZnO and SnO<sub>2</sub> nanoparticles. 1st National Conference of Nanotechnology in Chemistry and Chemical Engineering; 2015; Gachsaran, Iran (in Persian).
- Khorramfar S, Mahmoodi N, Arami M, Gharanjig K. Dye removal from colored textile wastewater using Tamarindus Indica Hull: Isotherm and kinetics study. Journal of Color Science and Technology. 2009;3:81-88 (in Persian).
- Mahmoodi N, Rayat-Tari K, Borhany S, Arami M, Nourmohammadian F. Decolorization of colored wastewater containing azo acid dye using photo-fenton process: operational parameters and a comparative study. Journal of Color Science and Technology. 2008;2:31-40 (in Persian).
- Ren C, Yang B, Wu M, Xu J, Fu Z, Guo T. Synthesis of Ag/ZnO nanorods array with enhanced photocatalytic performance. Journal of Hazardous Materials. 2010;182:123-29.
- Al-Momani F, Touraud E, Degorce-Dumas JR, J. Roussy OT. Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by VUV photolysis. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2002;153:191-99.

7. Behnajady MA, Modirshahla N, Hamzavi R. Kinetic study on photocatalytic degradation of C.I. Acid Yellow 23 by ZnO photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials*. 2006;133:226-32.
8. Alijani S, Vaez M, Moghadam AZ. Comparative study on the photodegradation of Acid Black 26 from synthetic wastewater using slurry and immobilized TiO<sub>2</sub> on the sackcloth fiber. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2013;6(2):243-56 (in Persian).
9. Wang W, Zhang J, Chen F, He D, Anpo M. Preparation and photocatalytic properties of Fe<sup>3+</sup>-doped Ag@TiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008;323:182-86.
10. Ayati A, Ahmadpour A, Bamoharram FF, Heravi MM, Rashidi H. Photocatalytic synthesis of gold nanoparticles using preysler acid and their photocatalytic activity. *Chinese Journal of Catalysis*. 2011;32:978-82.
11. Liu H, Liu T, Dong X, Hua R, Zhu Z. Preparation and enhanced photocatalytic activity of Ag-nanowires@SnO<sub>2</sub> core-shell heterogeneous structures. *Ceramics International*. 2014;40:16671-75.
12. Wang W, Zhang J, Chen F, He D, Anpo M. Preparation and photocatalytic properties of Fe<sup>3+</sup>-doped Ag@TiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008;323:182-86.
13. Ahmed AAE, Hassan MAS, Kamal AM. Preparation and using of TiO<sub>2</sub> nanoparticles for treatment of water containing formic acid or coliform bacteria. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2013;3(4):90-95.
14. Zhang M, Sheng G, Fu J, An T, X.Wang, Hu X. Novel preparation of nanosized ZnO-SnO<sub>2</sub> with high photocatalytic activity by homogeneous co-precipitation method. *Materials Letters*. 2005;59:3641-44.
15. Wen Z, Wang G, Lu W, Wang Q, Zhang Q, Li J. Enhanced photocatalytic properties of mesoporous SnO<sub>2</sub> induced by low concentration ZnO doping. *Crystal Growth & Design*. 2007;7:1722-25.
16. Dhanavel S, Nivethaa EAK, Narayanan V, Stephen A. Photocatalytic activity of Chitosan/ZnO nanocomposites for degrading methylene blue. *International Journal of ChemTech Research*. 2014;6(3):1880-82.
17. Shan G, Zheng S, Chen S, Chen Y, Liu Y. Multifunctional ZnO/Ag nanorod array as highly sensitive substrate for surface enhanced Raman detection. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 2012;94:157-62.
18. Wen Z, Wang G, Lu W, Wang Q, Zhang Q, Li J. Enhanced photocatalytic properties of mesoporous SnO<sub>2</sub> induced by low concentration ZnO doping. *Crystal Growth & Design*. 2007;7:1722-25.
19. Yuan H, Xu J. Preparation, Characterization and photocatalytic activity of nanometer SnO<sub>2</sub>. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2010;1(3):214-46.
20. Abbasi S, Hasanpour M. The effect of pH on the photocatalytic degradation of methyl orange using decorated ZnO nanoparticles with SnO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2016;doi:10.1007/s10854-016-5660-65.
21. Masombaigi H, Rezaee A, Nasiri A. Photocatalytic degradation of Methylene Blue using ZnO nanoparticles. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2009;2 (3):188-95 (in Persian).
22. Yang GD, Yan ZF, Xiao TC. Preparation and characterization of SnO<sub>2</sub>/ZnO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> composite semiconductor with enhanced photocatalytic activity. *Applied Surface Science*. 2012;258:8704-12.
23. Balachandran S, Selvam K, Babub B, Swaminathan M. The simple hydrothermal synthesis of Ag-ZnO-SnO<sub>2</sub> nanochain and its multiple applications. *Dalton Transactions*. 2013;42:16365-74.



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

Original Article



## Photocatalytic Removal of Methyl Orange in Suspension Containing ZnO and SnO<sub>2</sub> Nanoparticles and Investigation the Influence of Effective Variables on the Process

S Abbasi\*

Esfarayen University of Technology, North Khorasan, Esfaryen, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 15 August 2016  
**Revised:** 7 November 2016  
**Accepted:** 13 November 2016  
**Published:** 20 December 2016

**Key words:** Statistical analysis, Photocatalytic activity, ZnO nanoparticles, SnO<sub>2</sub> nanoparticles, Methyl orange

**\*Corresponding Author:**  
[abasi\\_1362@yahoo.com](mailto:abasi_1362@yahoo.com),  
[s.abbasi@esfarayen.ac.ir](mailto:s.abbasi@esfarayen.ac.ir)

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Owing to the extended usage in the safekeeping of environments, the photocatalytic materials have been widely applied. The purpose of the present study was to investigate the photocatalytic activity of ZnO and SnO<sub>2</sub> nanoparticles in removal of methyl orange from aqueous media.

**Materials and Methods:** ZnO and SnO<sub>2</sub> nanoparticles were synthesized through sol-gel and chemical precipitation respectively. Methyl orange was selected as model pollutant. The effect of weight fraction on the removal of pollutant was investigated in the range of 0.25, 0.5, and 1 weight percent. Meanwhile, for investigating the effect of radiation time, the suspension containing pollutant and nanoparticles was irradiated. The obtained results were analyzed by MSTATC, Ver 1.42 software and Duncan's multiple range test.

**Results:** The analysis of variance results of removal efficiency of methyl orange showed that in the suspension involving ZnO and SnO<sub>2</sub>, radiation time, weight fraction and the combined effect of them have a significant effect on the removal of methyl orange at 5% level of probability. Meanwhile, by increasing irradiation time from 5 to 25 min, the removal efficiency in suspensions containing ZnO and SnO<sub>2</sub> reached 97.42 and 65.55% respectively. Investigation on the effect of concentration on the removal of methyl orange shows that the removal of methyl orange increases with respect to the weight fraction.

**Conclusion:** According to the obtained results, it was observed that the photocatalytic activity of ZnO is higher than that of SnO<sub>2</sub>. Therefore, the application of ZnO is more effective for removal of methyl orange from aqueous media.

Please cite this article as: Abbasi S. Photocatalytic removal of methyl orange in suspension containing ZnO and SnO<sub>2</sub> nanoparticles and investigation the influence of effective variables on the process. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(3):433-42.