بررسی مقایسه فرآیند فتوکاتالیستی سیلیکا– اکسید روی با فرآیند فتوکاتالیستی اکسید روی در رنگبری و حذف COD

قدرت اله شمس خرم آبادی[1]، حاتم گودینی[1]، رضا درویشی چشمه سلطانی[2]، زهرا نوری مطلق[3*]

۱- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران.
۳- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران.

یافته / دوره شانزدهم / شماره ۳ / پاییز ۹۳ / مسلسل ۶۱

چکیده

دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۹ پذیرش مقاله: ۹۳/۸/۱۷

مقدمه: یکی از معایب عمده فتوکاتالیست اکسید روی، عدم ثبات نوری این کاتالیزور در محلول های آبی به علت خوردگی نوری است که باعث کاهش عمده ای در فعالیت فتو کاتالیستی اکسید روی شده و کاربرد عملی آن را در پاکسازی محیط محدود می‌کند. در این مطالعه کارایی فرآیند فتوکاتالیستی سیلیکا-اکسید روی (**UV/Silica-ZnO**) در رنگبری و حذف **COD** با فرآیند فوتوکاتالیستی اکسید روی(**UV/ZnO**)مقایسه شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. درصدهای مختلف نانو ذرات سیلیس جهت ترکیب کردن با نانو ذرات اکسید روی در فرایند **UV/Silica-ZnO** بر روی شیشه تثبیت شد. طیف پراکنش اشعه **X** (**XRD**) نانو ذرات اکسید روی به تنهایی و نانو ذرات اکسید روی ترکیب شده با سیلیس تهیه شد.

یافته‌ها: طیف **XRD** ، عدم وجود ناخالصی را در نانو ذرات تأیید می نماید. درصدهای مختلف سیلیس ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد در ترکیب با نانو ذرات اکسید روی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان رنگبری و حذف **COD** در مدت تابش ۹۰ دقیقه در فرآیند **UV/Silica-ZnO** با بارگذاری ۱۰ درصد سیلیس به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۸۱ درصد و برای فرآیند فتوکاتالیستی **UV/ZnO** به ترتیب برابر با ۶۶ و ۴۴ درصد می باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بدست آمده بهترین درصد سیلیس در ترکیب با نانو ذرات اکسید روی ۱۰ درصد بود بنابراین می توان از فرآیند **UV/Silica-ZnO** به عنوان یک روش موثر و کارآمد برای رنگبری از پساب های نساجی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: فتوکاتالیست، نانو ذرات اکسید روی، نانوذرات سیلیکا- اکسید روی، رنگبری، **COD**.

*آدرس مکاتبه نویسنده مسئول: ایلام، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.
پست الکترونیک: noorimotlagh.zahra@gmail.com

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

صنایع نساجی به علت مصرف زیاد آب، یکی از صنایع تولید کننده پساب‌های رنگی مضر با حجم بسیار بالایی می‌باشند (۱). با بیشتر شدن آگاهی در مورد اثرات زیان بار این پساب ها برای محیط زیست و بشر، سخت گیری های دولت در بسیاری از کشورها برای فاضلاب های اینگونه صنایع تشدید یافته است (۲). متیلن بلو یک رنگ شیمیایی آروماتیک پرکاربرد و مهم در صنایع نساجی است. این رنگ بدلیل آروماتیک بودن غالباً سمی، مقاوم به تجزیه بیولوژیکی، سرطان زا و جهش زا است. به دلیل ساختار پیچیده ملکولی- شیمیایی رنگ‌ها و سمیت ذاتی آنها، حذف کامل مواد رنگ زا از طریق تصفیه فیزیکی-شیمیایی مانند جذب، انعقاد، فرآیندهای غشایی، تبادل یونی و غیره اتفاق نمی‌افتد (۳). علاوه بر این در روش‌های تصفیه مذکور آلاینده فقط از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌شود و معدنی شدن آلاینده‌های سمی به طور کامل صورت نمی‌گیرد (۴).

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته بر پایه واکنش‌های فتوکاتالیزوری در چندین سال گذشته به خاطر دارا بودن قابلیت موثر در معدنی کردن آلاینده‌ها و نداشتن معضل پسماند مورد توجه قرار گرفته است (۵). نیمه هادی های با ساختار نانو مانند نانو ذرات، نانو لوله ها و نانو غشاهای دی اکسید تیتانیوم، به طور گسترده ای به عنوان کاتالیست جهت تجزیه و معدنی کردن رنگزاهای آلی استفاده می‌شوند (۴،۵). مرور مقالات نشان می دهد که نانو ذرات اکسید روی نیز می‌تواند در حضور اشعه ماوراءبنفش به عنوان کاتالیزوری کارآمد عمل کند. فرآیندهای فتوکاتالیستی بر پایه تولید رادیکال‌های فعال هیدورکسیل می‌باشند که منجر به معدنی کردن کامل ملکول‌های آلی می‌شوند (۶). زمانی که نیمه هدایت‌گر اکسید روی توسط لامپ ماوراءبنفش (با انرژی برابر یا بیشتر از انرژی ظرفیت نوری کاتالیست) در معرض تابش قرار می‌گیرد در نتیجه آن یک جفت الکترون- حفره بدلیل تحریک نوری شکل می‌گیرد. حفره‌های تشکیل شده دارای پتانسیل اکسیداسیون بالایی می‌باشند که می توانند آلاینده های آلی را بطور مستقیم اکسید نمایند یا با ملکول‌های آب و یون‌های هیدروکسید واکنش داده و رادیکال‌های فعال هیدروکسیل را تولید نمایند (۷). الکترون‌ها در باند هدایت نیز علاوه بر تولید رادیکال‌های هیدروکسیل ممکن است با عوامل الکترون گیرنده مانند اکسیژن واکنش داده و رادیکال‌های پراکسید بسیار واکنش پذیری (آنیون‌های سوپراکساید) را تولید کنند که می‌توانند قسمتی از پروسه معدنی شدن را انجام دهند (۴).

اکسید روی به دلیل خواص نوری و الکتریکی منحصر به فرد، قابلیت جذب طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی و قابلیت فتوکاتالیستی در معرض تابش پرتو به دلیل راندمان بالاتر در تولید الکترونها، حرکت الکترونها و جداسازی الکترونهای نوری و منفذهای موجود در آن مهم‌ترین ماده تکنولوژی به حساب می‌آید (۸،۹). از طرف دیگر یکی از معایب عمده فتوکاتالیست اکسید روی، ثبات نوری این کاتالیزور در محلول‌های آبی به علت خوردگی نوری با تابش پرتو ماوراءبنفش است که باعث کاهش عمده‌ای در فعالیت فتوکاتالیستی اکسید روی شده و در نتیجه کاربرد عملی آن را در پاکسازی محیط محدود می‌کند. علاوه بر این، الکترونهای تحریک شده و حفره‌ها می‌توانند دوباره با هم ترکیب شوند و فعالیت فتوکاتالیتیکی را کاهش دهند. در نتیجه برای غلبه بر این محدودیت‌ها، برای بالا بردن کارایی نیمه هدایت گر اکسید روی و افزایش محدوده جذب اصلاح این نیمه رسانا، ترکیب کردن اکسید روی با فلزاتی مانند تیتانیوم، منگنز، نقره و سیلیس یکی از راه های مؤثر برای افزایش کارایی ZnO می‌باشد و سیلیکا بعنوان معروف‌ترین فلز برای بهبود خواص نوری و الکتریکی کاتالیزورهایی مانند اکسید روی انتخاب شده است.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

سیلیس(SiO_2) از دو عنصر سیلیسیوم و اکسیژن تشکیل شده و از لحاظ ساختاری شبیه ساختار ملکول آب است. نانو ذرات سیلیس بسیار سخت و محکم‌اند و کمتر تغییر شکل می‌دهند. نانو ذرات سیلیس در صنایعی چون آرایشی-بهداشتی، الکترونیک، کاتالیزورها، پوشش‌ها و رنگ دانه‌ها کاربرد وسیعی دارند (۹،۱۰).

در این تحقیق به دلیل عدم نیاز به جداسازی کاتالیست بعد از فرآیند، اقتصادی بودن و کاربردی بودن فرآیند فتوکاتالیستی جهت رنگبری در مقیاس وسیع، از کاتالیزور تثبیت شده بر روی شیشه سند بلاست شده استفاده شد. هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی مقایسه دو فرآیند فتوکاتالیستی UV/Silica-ZnO و UV/ZnO جهت رنگبری و حذف COD رنگزای متیلن بلو با استفاده از نانو ذرات تثبیت شده در مقیاس پایلوت می باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

این پژوهش از نوع تجربی-مداخله ای بوده که در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت سیستم ناپیوسته انجام گرفته است. نانو ذرات مورد استفاده در این پژوهش از شرکت نانو آمور (ایالات متحده) خریداری شد و با استفاده از طیف پراکنش اشعه X (XRD)[1] مشخصات فیزیکی نانو ذرات مشخص شد. رنگزای مورد استفاده، متیلن بلو بوده و از شرکت مرک آلمان با درجه خلوص ۱۰۰ درصد تهیه شد. ساختار شیمیایی رنگ متیلن بلو در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. مواد شیمیایی دیگر از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

دستگاه های مورد استفاده

اندازه گیری pH توسط pH متر(Hana۲۱۱ ساخت آلمان) انجام گرفت. اسپکتروفتومتر ماوراءبنفش- مرئی (مدل vis-۲۱۰۰ یونیکو آمریکا) برای اندازه‌گیری میزان رنگبری استفاده گردید. آزمایشات جذب رنگزای متیلن بلو در طول موج بیشینه ۶۶۳ نانومتر انجام گردید. ۵ عدد لامپ فرابنفش ۶ وات UVC کم فشار (از شرکت Philips)، دستگاه اولتراسونیک (مدل Starsonic ۳۵-۱۸، ایتالیا)، ترازوی دیجیتالی (TE313S)، فور (DSL60)، پمپ پریستالتیک (Heidolph pump drive 5001 Germany)، همزن مغناطیسی(مدل IKA-WERKERCTB)، UV متر (مدل UVC-۲۵۴ لوترون) و کوره (Elctric Furance FT 1200) از وسایل مورد استفاده در این تحقیق بوده اند.

روش تثبیت کاتالیزور بر روی شیشه

نانو ذرات اکسید روی و سیلیس به روش حرارتی تثبیت شد. سطوح شیشه‌ای سند بلاست شده به مدت یک روز در محلول ۵۰ درصد هیدروکسید سدیم قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت، سطوح شیشه‌ای با آب مقطر و سپس آب شهری شستشو داده شد. سوسپانسیون از نانو ذرات اکسید روی و سیلیس تهیه و روی همزن مغناطیسی به مدت نیم ساعت بهم زده شد و بعد از آن برای یکنواخت کردن کامل ذرات اکسید روی و سیلیس در محلول، به مدت ۳۰ دقیقه از حمام اولتراسونیک با فرکانس ۵۰ کیلوهرتز تحت اثر امواج ماوراء صوت استفاده شد.

سپس از سوسپانسیون‌های آماده شده، ۵ سی سی روی هر کدام از شیشه‌های خشک شده بطور یکنواخت پخش می‌شود و در فور در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی گر اد به مدت ۶ ساعت گذاشته شد تا شیشه ها به آرامی خشک شوند و بعد از آن در فور به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس به مدت یک ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره گذاشته شد. بعد از بیرون آوردن صفحات شیشه ای با آب

1. X-ray diffraction

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

مقطر شستشو شدند. سپس شیشه‌های تثبیت شده با فویل آلومینیومی پوشش داده شد و در طی مراحل آزمون استفاده شدند. برای ارزیابی خصوصیات سطحی نانو ذرات اکسید روی و سیلیس تثبیت شده بر روی شیشه، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)[1] (Leo 1455 VP) مورد بررسی قرار گرفت. برای اطمینان یافتن از عملکرد نانو ذرات تثبیت شده، شیشه ها بعد از انجام آزمایشات در کوره با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد مجدداً فعال سازی می شوند (۱۱).

طراحی و ساخت راکتور

راکتور مورد استفاده در این پژوهش از جنس پلکسی گلاس و متشکل از دو قسمت در پوش راکتور (محل قرار گرفتن لامپ های UV) و بدنه راکتور (محل قرار گرفتن شیشه های تثبیت شده نانو ذرات و محلول حاوی رنگ) بوده که جهت اختلاط کامل محلول در راکتور (حجم مفید یک لیتر) از پمپ پریستالتیک استفاده شد که در شکل ۱(ب) شماتیکی از راکتور نشان داده شده است.

روش اکسیداسیون کاتالیستی

کلیه مراحل آزمایش با استفاده از آب مقطر و حجم نهایی محلول رنگی به میزان یک لیتر تنظیم و سپس وارد راکتور شد و در فواصل زمانی مختلف (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) از محلول موجود در راکتور نمونه برداری صورت گرفت. از مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد سیلیس برای ترکیب اکسید روی با سیلیس جهت رنگبری در فرآیند UV/Silica-ZnO با شرایط بهینه بدست آمده از فرآیند UV/ZnO (pH، غلظت اولیه ماده رنگزا، شدت تابش و فاصله لامپ تا سطح کاتالیست تثبیت شده) استفاده گردید. در جدول ۱ گرم های مختلفی از نانو ذرات اکسید روی و نانو ذرات سیلیس با توجه به درصد سیلیس مورد نظر جهت تهیه سوسپانسیون ترکیب نانو ذرات اکسید روی و سیلیس نشان داده شده است.

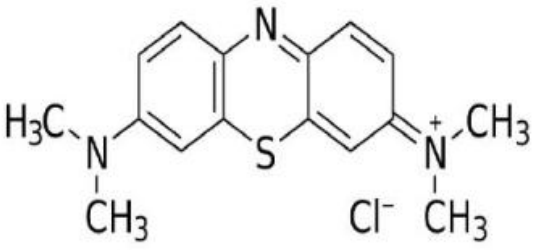
سنجش میزان COD نمونه ها (از طریق روش تقطیر برگشتی بسته[2] و تیتراسیون با FAS انجام گرفت (۱۲).

روش تجزیه و تحلیل

همه آزمایشات ۳ مرتبه تکرار و آزمایش گردید. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم افزار اکسل استفاده شده است. میزان درصد حذف رنگ (R) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد که C_0 در آن غلظت اولیه رنگ (میلی گرم بر لیتر) و C_e غلظت رنگ (میلی گرم در لیتر) در محلول بعد از انجام آزمایش می باشد (۱۳). آزمایشات در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و فشار اتمسفری انجام گرفته است.

$$R\ (\%) = (C_0\text{-}C)/C_0 \times 100$$

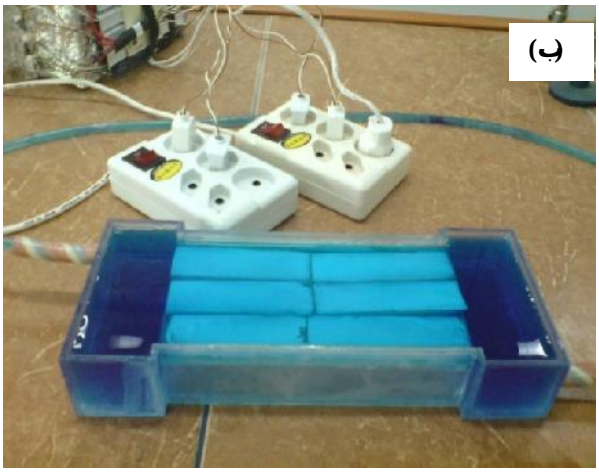
الف



Molecular formula: $C_{16}H_{18}N_3SCl$

1. Scanning electron microscopy
2. Closed reflux method

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]



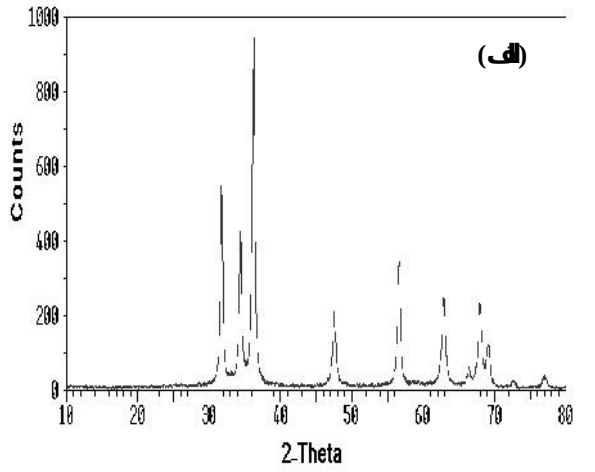
شکل ۱- الف) ساختار شیمیایی رنگ متیلن بلو ب) راکتور حاوی نانو ذرات تثبیت شده به عنوان کاتالیست جهت تجزیه فوتوکاتالیستی محلول رنگی

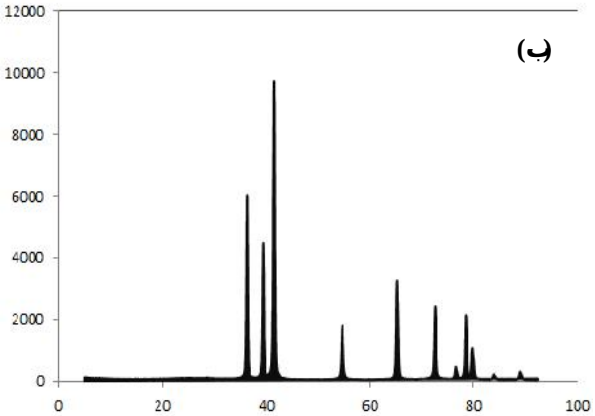
جدول ۱. درصدهای مختلف نانو ذرات مورد استفاده با سیلیس جهت تثبیت بر سطوح شیشه

درصد سیلیس وزن (گرم)	٪۵	٪۱۰	٪۱۵
نانو ذرات اکسید روی	۲/۸۵	۲/۷	۲/۵۵
نانو ذرات سیلیس	۰/۱۵	۰/۳	۰/۴۵

یافته‌ها

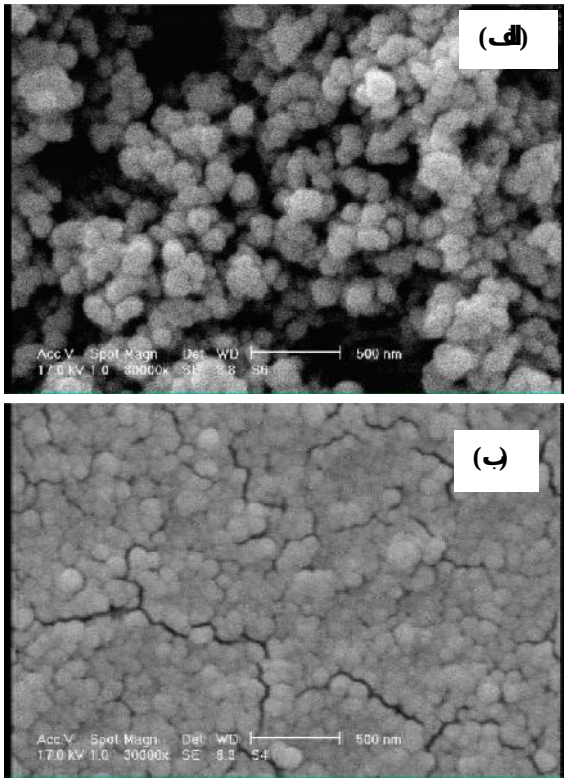
در این تحقیق، هدف اصلی بهبود رنگبری و حذف COD رنگزای متیلن بلو با استفاده از ترکیب نانو ذرات اکسید روی با نانو ذرات سیلیس در سیستم فتوکاتالیزوری UV/Silica-ZnO و مقایسه آن با فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO بوده است. مشخصات نانو ذرات اکسید روی و نانو ذرات سیلیس توسط طیف پراکنش اشعه X و میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص گردید که در شکل های ۲ الف و ب و ۳ الف و ب ارائه شده است. به منظور انجام این تحقیق بر طبق آزمایشات اولیه انجام شده، شرایط بهینه بدست آمده برای فرآیند UV/ZnO (pH=۷ ، غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم در لیتر، شدت تابش ۳۹۵۰ میکرو وات بر سانتی متر مربع و فاصله یک سانتی متری لامپ تا سطح کاتالیست) مشخص گردید. بعد از تعیین شرایط بهینه، در فرآیند UV/Silica-ZnO ابتدا درصدهای مختلف نانو ذرات سیلیس (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) بررسی و درصد بهینه انتخاب شد (شکل ۴ الف و ب). بعد از این مرحله کارایی دو فرآیند مذکور جهت رنگبری و حذف COD در شرایط یکسان مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۵ الف و ب). نتایج نشان داد که میزان رنگبری و حذف COD در مدت تابش ۹۰ دقیقه در فرآیند فتوکاتالیستی اکسید روی ترکیب شده با بارگذاری ۱۰ درصد سیلیس به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۸۱ درصد و برای فرآیند اکسید روی در حضور تابش اشعه ماوراءبنفش به ترتیب برابر با ۶۶ و ۴۴ درصد می باشد.



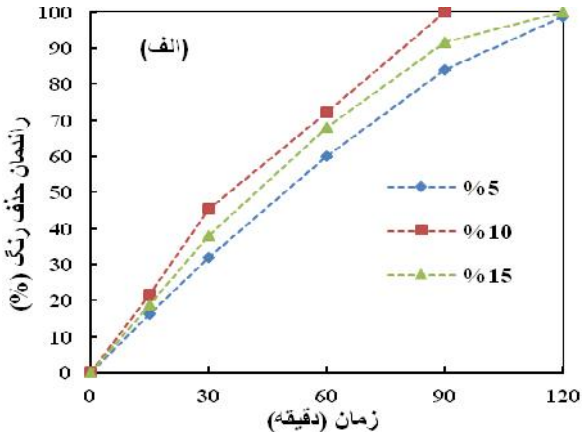


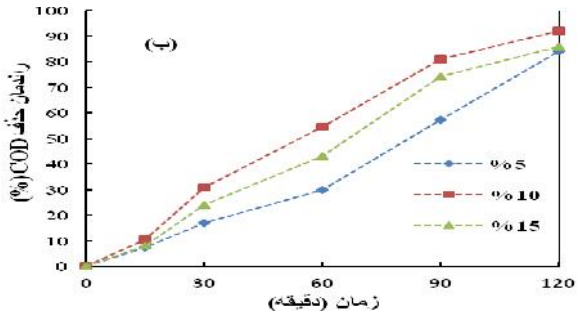
[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

شکل۲. آنالیز پراش اشعه ایکس از الف) نانو ذرات اکسیدروی ب) نانو ذرات اکسیدروی در ترکیب با سیلیس (۱۰٪)

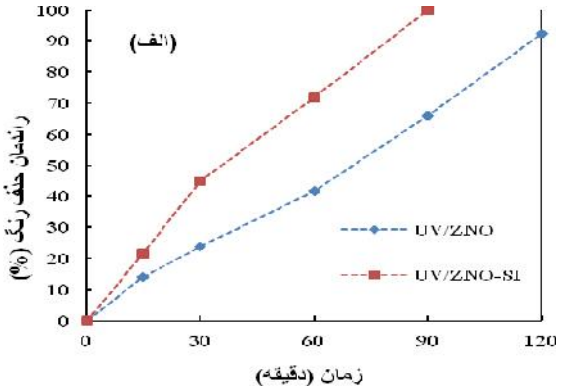


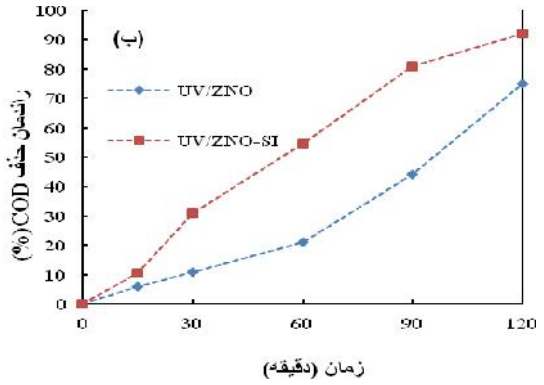
شکل ۳. تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از الف) نـانو ذرات اکسیدروی تثبیت شده روی شیشه ب) نانو ذرات اکـسیدروی بـه همراه نانو ذرات سیلیس(۱۰٪) تثبیت شده روی شیشه





شکل ۴. تأثیر درصد سیلیس بر میزان الف) رنگبری متیلن بلو با سیـستم UV/Silica-ZnO ب) حذف COD متیلن بلو بـا سیـستم UV/Silica-ZnO (غلظت رنگ: ۲۵ میلی گرم درلیتر، شدت تابش:۳۹۵۰ میکروواط بر سانتی متر مربع، pH=۷، فاصـله یـک سـانتی متـری لامـپ تـا سـطح کاتالیست)





شکل ۵. مقایـسه دو سیـستم UV/ZnO و UV/Silica-ZnO در الـف) بازدهی رنگبری متیلن بلو و ب) حذف COD (غلظت رنگ: ۲۵ میلی گـرم درلیتر، شدت تابش:۳۹۵۰ میکروواط بر سانتی متر مربع، pH=۷، فاصـله یک سانتی متری لامپ تا سطح کاتالیست)

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

بحث و نتیجه گیری

طیف XRD نانو ذرات اکسید روی به تنهایی و نانو ذرات اکسید روی ترکیب شده با سیلیس عدم وجود ناخالصی را در نانو ذرات تأیید می نماید. تصویرهای SEM گرفته شده از نانو ذرات اکسید روی به تنهایی و نانو ذرات اکسید روی در ترکیب با سیلیس نشان می دهند که اندازه نانو ذرات مورد استفاده در این تحقیق کمتر از ۵۰ نانومتر می باشد. همچنین نشان می دهند که با تثبیت کردن، نانو ذرات بصورت توده ای و فله تبدیل نمی‌شوند و اندازه آنها در حد نانو باقی مانده است. تصویر SEM گرفته شده از نانو ذرات اکسید روی ترکیب شده با سیلیس تأیید کننده تثبیت کامل این نانو ذرات در ترکیب با یکدیگر می باشند. همانطور که در شکل ۴ ارائه شده است به منظور بررسی میزان رنگبری و حذف COD رنگزای متیلن بلو در درصدهای مختلف سیلیس ۵، ۱۰ و ۱۵ در فرآیند فتوکاتالیستی نانو ذرات اکسید روی در ترکیب با سیلیس در زمان ۹۰ دقیقه میزان رنگبری به ترتیب برابر ۸۴، ۱۰۰ و ۹۱/۶ درصد و حذف COD به ترتیب برابر ۵۷/۵، ۸۱ و ۷۴/۲ درصد می باشد. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که سیلیس در ترکیب با اکسید روی بر روی کارایی رنگبری و حذف COD متیلن بلو در فرآیند فتوکاتالیستی UV/Silica-ZnO تأثیر مثبت داشته است بطوریکه در هر سه حالت درصدهای مختلف سیلیس در مقایسه با فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO افزایش در رنگبری در زمان تابش کمتری حاصل شده است و فعالیت فتو کاتالیستی بطور فزآینده ای بهبود یافته است.

همانطور که از نتایج بارگذاری های مختلف سیلیس (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) در رنگبری مشخص است با افزایش سیلیس از ۵ به ۱۰ درصد میزان رنگبری در زمان ۹۰ دقیقه از ۸۴ به ۱۰۰ درصد و میزان حذف COD از ۵۷/۵ به ۸۱ درصد رسید و از طرف دیگر با افزایش سیلیس از ۱۰ به ۱۵ درصد میزان رنگبری از ۱۰۰ به ۹۱/۶ درصد و میزان حذف COD از ۸۱ به ۷۴/۲ درصد تقلیل یافت. در مطالعه ای که تسنگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ با بررسی تأثیر ترکیب کردن تیتانیوم بر خواص نوری و ساختاری نانو ذرات اکسید روی در درصدهای تیتانیوم ۵، ۱۰ و ۱۵ انجام دادند به ارتباط بین تیتانیوم و لومینسانس (نور دهی یک ترکیب بعد از تحریک شدن) پی بردند و گزارش کردند که وقتی تیتانیوم با ماده ترکیب شود (وارد شبکه شود) فضاهای خالی مربوط به اکسیژن (VO) را کم کرده و در نتیجه لومینسانس سبز رنگ را افزایش می دهد بدلیل اینکه مسئول لومینسانس سبز رنگ، VO می باشد. اضافه مقدار تیتانیوم در شبکه ZnO احتمال از دست دادن انرژی (آسایش ذرات از حالت برانگیخته به حالت پایه) بصورت غیر تابشی (گرما و ...) را زیاد می‌کند و لذا لومینسانس را کم می‌کند و روی نتایج نوری ترکیب ZnO-Ti تأثیر می‌گذارد که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی و مطابقت دارد (۸). نتایج حاصل از بارگذاری ۱۰ درصد سیلیس با نانو ذرات اکسید روی برای رنگبری و حذف COD در زمان تابش ۹۰ دقیقه به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۸۱ درصد و برای فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO در زمان ۹۰ دقیقه تابش برابر ۶۶ و ۴۴ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد ترکیب سیلیس با اکسید روی باعث بهبود در خواص نوری و ساختاری نانو ذرات اکسید روی شده و در نتیجه کارایی رنگبری و حذف COD رنگزای متیلن بلو را افزایش داده و زمان مواجهه با تابش پرتو فرابنفش را جهت اکسیداسیون نوری رنگ کاهش داده است. نمودارها مبین آن هستند که راندمان حذف COD نسبت به راندمان رنگبری رنگزای متیلن بلو در زمان تابش مشخص کمتر می‌باشد که بارزترین دلیل وجود محصولاتی می‌باشد که در اثر اکسیداسیون رنگ در محلول تحت تابش به وجود می‌آیند. که این محصولات به طور کامل معدنی نشده اند و به زمان بیشتری برای تبدیل به آب و دی اکسید کربن نیاز دارند (۱۴). در

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ توسط کونگ و همکاران بر روی تجزیه نوری متیلن بلو با استفاده از تیتانیوم ترکیب شده با نانو ذرات اکسید روی انجام شده نشان دادند که این روش باعث بهبود در خواص نوری نانو ذرات اکسید روی شده و تجزیه و معدنی کردن رنگ بهبود یافته است که همسو با نتایج حاضر است (۱۵). در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۱ توسط لیو و همکاران بر روی ترکیب سیلیس با روی انجام دادند، گزارش کردند که خواص نوری و الکتریکی نانو ذرات اکسید روی بدلیل ترکیب با سیلیس افزایش یافته است (۱۶). در مطالعات مشابه دیگری که در سال ۲۰۱۰ توسط چونلی و همکاران و در سال ۲۰۰۶ توسط هیت و همکاران با ترکیب کردن نقره با اکسید روی در فرایند فتوکاتالیستی UV/Ag-ZnO برای تجزیه متیلن بلو صورت گرفته باعث بهبود در خواص نوری نانو ذرات اکسید روی شده و در نتیجه راندمان تجزیه رنگ متیلن بلو افزایش یافته است که این مطالعات نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند (۱۷،۱۸).

در این تحقیق رنگزای متیلن بلو به عنوان رنگزای مدل انتخاب و استفاده شد. نتایج حاصل نشان می دهد که در شرایط یکسان آزمایشگاهی، فرآیند UV/Silica-ZnO با درصد بهینه فتوکاتالیزور سیلیس قادر است در زمان واکنش کمتری نسبت به فرآیند فتو کاتالیستی UV/ZnO در رنگبری و حذف COD رنگزای متیلن بلو کارایی بالاتری داشته باشد. در نتیجه می‌توان از فرآیند UV/Silica-ZnO بدلیل کارآمدتر بودن برای تصفیه پساب‌های رنگی صنایع نساجی و صنعت‌های مشابه استفاده کرد بدون اینکه به فشار و حرارت بالا نیاز باشد. در این روش به دلیل تثبیت کردن نانو ذرات بر روی بستری مناسب، نیازی به فیلتراسیون پساب بعد از اعمال فرآیند نمی باشد و این باعث می‌شود که در مصرف نانو ذرات به عنوان کاتالیست جهت اکسیداسیون رنگزا صرفه‌جویی شده و بتوان آن را برای مقیاس‌های بزرگتری به کار برد. خطرات کار با پرتو UV مسئله‌ای است که ممکن است برای سلامتی مضر باشد بنابراین بایستی در این مورد احتیاط و دقت لازم را به کار برد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی شماره ۱۱۶۰ بوده که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی لرستان و همکاری دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

References

1. Akyol A, Yatmaz HC, Bayramoglu M. Photocatalytic decolorization of Remazol Red RR in aqueous ZnO suspensions. Appl Catal B. 2004;(54):19-24.
2. Gupta VK, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. J Environ Manage. 2009;(90):2313-2342.
3. Ponnusami V, Srivastava SN. Studies on application of teak leaf powders for the removal of color from synthetic and industrial effluents. J Hazard Mater. 2009;169:1159-1162.
4. Daneshvar N, Salari DG, Khataee AR. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO2. J Photochem Photobiol A. 2004;(162):317-322.
5. Li Y, Sun S, Ma M, Ouyang Y, Yan W. Kinetic study and model of the photocatalytic degradation of rhodamine B (RhB) by a TiO2-coated activated carbon catalyst: Effects of initial RhB content, light intensity and TiO2 content in the catalyst. Chem Eng J. 2008;(147):142-155.
6. Jiang Y, Sun Y, Liu H, Zhu F, Yin H. Solar photocatalytic decolorization of C.I. Basic Blue 41 in an aqueous suspension of TiO2 -ZnO. Dyes Pig. 2008;(78):77-83.
7. Sanoop PK, Anas S, Ananthakumar S, Gunasekar V, Saravanan R, Ponnusami V. Synthesis of yttrium doped nanocrystalline ZnO and its photocatalytic activity in methylene blue degradation. Arabian J Chem. 2014. (In Press)
8. Tseng Y, Lin Y, Chang H, Chen Y, Liu C, Zou Y. Effect of Ti content the optical and structural properties of the Ti-doped ZnO nanoparticles. Luminescence. 2012;132:491-494.
9. Xie W, Li Y, Sun W, Huang J, Xie H, Zhao X. Surface modification of ZnO with Ag improves its photocatalytic efficiency and photostability. J Photoch Photobiol A: Chem. 2010;216(2-3):149-155.
10. Zhai J, Tao X, Pu Y, Zeng XF, Chen JF. Core/shell structured ZnO/SiO2 nanoparticles: Preparation, characterization and photocatalytic property. Appl Surf Sci. 2010;257(2):393-397.
11. Masoumbeigi H, Rezaee A, Khataee A, SJ H. Effect of UV radiation intensity on photocatalytic removal of E. coli using immobilized ZnO nanoparticles. Kowsar Med J. 2009;14(3):149-156. (In Persian)
12. American Public Health A, American Water Works A, Water Environment F. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. American Public Health Association. 2005.
13. Akyol A, Bayramoglu M. Photocatalytic degradation of Remazol Red F3B catalyst. Hazard Mater. 2005;24:241-246.
14. Georgiou D, Melidis P, Aivasidis A, Gimouhopoulos K. Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. Dyes Pigm. 2002;52(2):69-78.
15. Kong J, Li A, Li X, Zhai H, Zhang W, Gong Y, Li H, Wu D. Photo-degradation of methylene blue using Ta-doped ZnO nanop article. Solid State Chem. 2010;183:1359-1364.
16. Luo JT, Zhu XY, Chen G, Zeng F, Pan F. The electrical, optical and magnetic

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]

properties of Si-doped ZnO films. Appl Surface Sci. 2011;2:1-5.

17. Chunlei R, Beifang Y, Min W, Jiao X, Zhengping F, Yan L, Ting G. Synthesis of Ag/ZnO nanorods array with enhanced photocatalytic performance. Hazard Mater. 2010;182:123-129.
18. Height J, Sotiris EP, Okorn M, Piyasan P. Ag-ZnO catalysts for UV-photodegradation of methylene blue. Appl Catal B: Envir. 2006;63:305-312.

[Downloaded from yafteh.lums.ac.ir on 2026-11-03]