



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1031P-NWWCE

حذف آلاینده متیل اورانژ از آب با استفاده از هیبرید حاوی نانولوله‌های کربنی و نانوذرات

اکسید روی

نجمه روزبان^۱، صدیقه عباسی^{۲*}، مهدیه قاضی زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان

۲- استادیار، مجتمع آموزش عالی فنی مهندسی اسفراین، خراسان شمالی

۳- استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان

*s.abbasi@esfarayen.ac.ir

خلاصه

هدف این تحقیق بررسی میزان حذف آلاینده متیل اورانژ از آب با استفاده از نانو فتوکاتالیست هیبریدی حاوی نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی می‌باشد. جهت سنتز هیبرید مورد استفاده در ابتدا نانولوله‌های کربنی با استفاده از مخلوط اسید نیتریک و اسید سولفوریک و در دمای محیط عامل دار شده و سپس نانوذرات اکسید روی بر روی سطح خارجی نانولوله‌ها آرایش یافت. هیبرید سنتز شده با استفاده از طیف پراش اشعه ایکس (XRD) آنالیز گردید و نتایج حاصل از این طیف اتصال موفقیت آمیز نانوذرات اکسید روی بر روی سطح خارجی نانولوله‌های کربنی را تایید می‌نماید. با توجه به نتایج حاصل از حذف و تجزیه آلاینده متیل اورانژ مشاهده گردید که راندمان حذف آلاینده متیل اورانژ و همچنین فعالیت فتوکاتالیستی نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با افزایش زمان تابش دهی اشعه UV و غلظت نانو فتوکاتالیست هیبریدی سنتز شده افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز آماری فعالیت فتوکاتالیستی هیبرید سنتز شده نشان داد که زمان تابش دهی، غلظت و تاثیر متقابل این دو فرایند تاثیر معنی داری بر روی حذف آلاینده دارند.

کلمات کلیدی: هیبرید، نانولوله‌های کربنی، نانوذرات اکسید روی، فعالیت فتوکاتالیستی.

۱. مقدمه

حضور مواد آلی طبیعی در سیستم‌های آبی از جمله آب دریا و اقیانوس سبب ایجاد مشکلات فراوانی از جمله کاهش فعالیت فتوسنتز گیاهان موجود در آب و همچنین مرگ و میر جانوران آبی می‌گردد. تهدید حاصل شده ناشی از جذب نور خورشید توسط مواد آلاینده رنگی موجود در آب و عدم نفوذ نور خورشید به اعماق آب می‌باشد. بنابراین یکی از چالش‌های موجود جهت حفظ محیط زیست تصفیه پساب خروجی از کارخانجات صنعتی قبل از ورود به آب‌های سطحی و زیر زمینی می‌باشد [۱-۳].

تاکنون روش‌های گوناگونی از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت تصفیه آب‌های آلوده و حذف آلاینده‌های موجود در آب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان استفاده از کربن فعال، انعقاد، اکسیداسیون شیمیایی و اسمز معکوس اشاره نمود. کاربرد هر یک از روش‌های ذکر شده دارای مزایا و معایبی می‌باشد که ممکن است استفاده از آن را محدود نماید [۴، ۵]. در روش انعقاد و جذب به دلیل انتقال مواد آلاینده از فاز آبی به فاز جامد حذف و تجزیه آلاینده به طور موفقیت آمیزی انجام نمی‌شود. بنابراین کاربرد این دو روش سبب مشکلات زیست محیطی می‌گردد. روش‌های بیولوژیکی مورد استفاده در تصفیه آب‌های آلوده نیز کارایی چندانی در حذف آلاینده ندارند که این امر ناشی از جذب سطحی مواد آلاینده بر روی لجن بوده که تجزیه و تخریب آلاینده را به دنبال نخواهد داشت [۶].

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که روش اکسیداسیون آلاینده‌های موجود در سیستم‌های آبی با استفاده از فتوکاتالیست‌های متفاوت موفق‌ترین روش جهت تجزیه و حذف آلاینده‌ها می‌باشد. در فرایند اکسیداسیون، محلول حاوی آلاینده و نانوذرات فتوکاتالیستی تحت تابش نور

ماورابنفش قرار می گیرند که این امر سبب تحریک الکترون های نانوذرات فتوکاتالیستی و انتقال آن ها از لایه ظرفیت به لایه هدایت می شود. بنابراین فرایند انتقال الکترون سبب ایجاد حفره در لایه ظرفیت و الکترون در لایه هدایت می گردد. جفت الکترون-حفره تولید شده سبب تولید رادیکال های متفاوتی از جمله هیدروکسیل در محلول شده که نقش اکسیدکننده آلاینده های موجود و تبدیل مواد آلی به معدنی را بر عهده دارند [۴، ۶، ۷]. نانوذرات فتوکاتالیستی متفاوتی تاکنون جهت انجام فرایند اکسیداسیون آلاینده های موجود در آب مورد استفاده قرار گرفته اند که از جمله آن ها می توان ZnO ، TiO_2 [۸]، ZnO [۹، ۱۰] و SnO_2 [۱۱، ۱۰] اشاره نمود. کم بودن میزان سمیت و قیمت نانوذرات ZnO سبب کاربرد گسترده نانوذرات ZnO نسبت به نانوذرات فتوکاتالیستی دیگر می باشد.

از جمله معایب نانوذرات فتوکاتالیستی که سبب محدودیت کاربرد آن ها در فرایند اکسیداسیون آلاینده ها می شود می توان به ترکیب سریع و مجدد جفت الکترون-حفره تولید شده اشاره نمود [۶]. بنابراین راهکارهای متفاوتی جهت غلبه بر این مشکل گزارش شده است. از جمله این روش ها می توان به اتصال فلزات نجیب بر روی سطح نانوذرات فتوکاتالیستی، آرایش نانوذرات فتوکاتالیستی با نیمه های با انرژی شکافی بیشتر و اتصال نانوذرات فتوکاتالیستی بر روی پایه هایی با نسبت سطح به حجم بالا اشاره نمود. با توجه به مطالعات گسترده ای که تاکنون بر روی فعالیت فتوکاتالیستی انواع متفاوتی از فتوکاتالیست انجام شده است ولی کاربرد هیبرید نانولوله های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی خیلی مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف اصلی از انجام این تحقیق سنتز و بررسی فعالیت فتوکاتالیستی هیبرید حاوی نانولوله های کربنی و نانوذرات اکسید روی می باشد.

۲. روش تحقیق

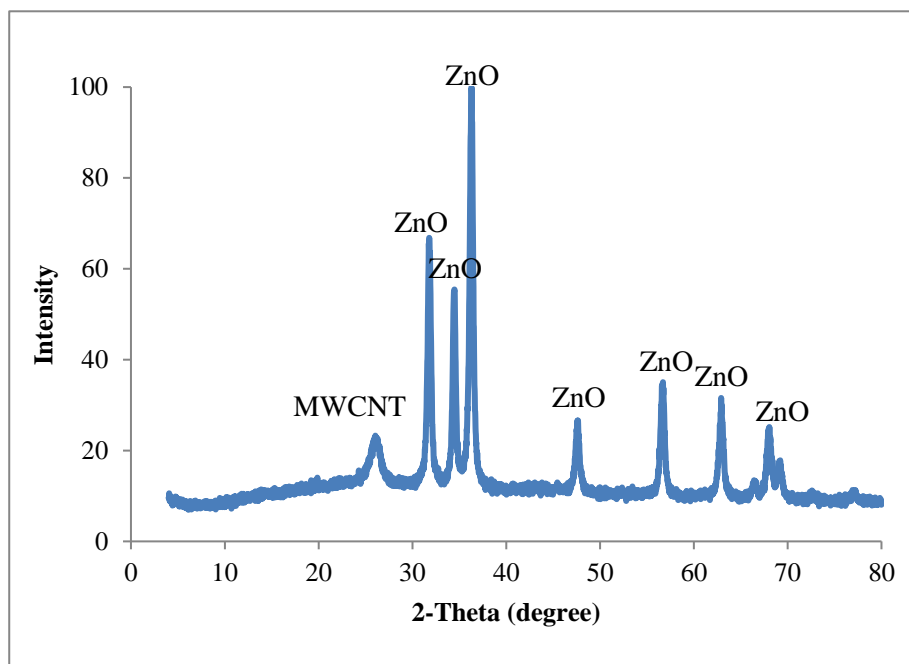
در این تحقیق جهت سنتز نانولوله های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی مواد زیر مورد استفاده قرار گرفته است. کلرید روی ($ZnCl_2$ ، $M=136.30$ ، Merck)، هیدروکسید سدیم ($NaOH$ ، Merck)، اسید نیتریک (HNO_3 ، $M=63$ ، 65%، Merck)، اسید سولفوریک (H_2SO_4 ، $M=98$ ، 99%، Merck)، نانولوله های کربنی چند دیواره (MWCNTs) با طول متوسط ۱۵-۳۰ نانومتر و طول ۵-۱۵ میکرومتر. سنتز هیبرید حاوی نانولوله های کربنی آرایش یافته شامل دو مرحله می باشد. مرحله اول فرایند اسیدشویی نانولوله های کربنی خام در ۵۰ میلی لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید سولفوریک ($H_2SO_4:HNO_3$ ، 15:35) و مرحله دوم اتصال نانوذرات اکسید روی بر روی سطح نانولوله های کربنی می باشد. جهت انجام فرایند اسید شویی مقدار ۰٫۱ گرم از نانولوله های کربنی خام در مخلوط اسید پراکنده شده و سپس به مدت ۲ ساعت در حمام اولتراسونیک و ۲ ساعت بر روی همزن مغناطیسی مورد اختلاط قرار می گیرد. پس از اتمام فرایند اختلاط نانولوله ها در اسید، مخلوط فراوری شده فیلتر شده و چندین بار با آب مقطر شستشو داده می شود تا زمانی نانولوله ها اسیدیته خود را از دست داده و خنثی شوند و در نهایت در آون با دما ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک می شود [۱۲، ۱۳]. جهت اتصال نانوذرات اکسید روی بر روی سطح خارجی نانولوله های کربنی اسید شویی شده، در ابتدا ۰٫۰۸ گرم از نانولوله های اسیدشویی شده را در ۱۱٫۵ میلی لیتر آب مقطر پراکنده نموده و به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام اولتراسونیک مورد اختلاط قرار می گیرد. سپس ۱ گرم $ZnCl_2$ را به مخلوط فوق در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد اضافه می نمایم. سپس ۱٫۳۳ میلی لیتر محلول $NaOH$ با غلظت ۵ مولار را به آن اضافه نموده و تحت عمل اختلاط بر روی همزن مغناطیسی قرار می دهیم. در نهایت محلول حاصل شده فیلتر می شود و پس از خشک شدن به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد کلسینه می شود.

نانولوله های کربنی آرایش یافته با استفاده از تکنیک پراش اشعه ایکس (XRD) با دستگاه Philips تحت ولتاژ ۴۰KV و جریان ۳۰mA صورت گرفت. لامپ دستگاه از جنس مس و در تمام آزمایش ها از اشعه $CuK\alpha$ با طول موج 1.5418 \AA استفاده شد. همچنین آنالیز پراش اشعه ایکس در بازه ۴-۹۰ $^{\circ}$ انجام گردید. درون یک بشر، ۶۰ میلی لیتر از محلول ۱۰ PPM متیل اورانژ ریخته و مقادیر (۰٫۱۲۵، ۰٫۲۵ و ۰٫۵) گرم از هیبرید سنتز شده طی آزمایش های جداگانه به آن اضافه می شود، اطراف بشر کاملاً ورقه های آلومینیومی بایستی پیچیده شود و در ابتدا به مدت ۶۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی و در فضای تاریک همزده شود تا به تعادل جذب و دفع برسد. سپس مقداری از این محلول فیلتر شده و درون سل دستگاه اسپکتروفتومتری (UV-Vis Lambda EZ 201, Perkin Elmer company)، در طول موج $\lambda_{max} = 464 \text{ nm}$ مقدار جذب اولیه آن ثبت می شود که A_0 نامیده می شود. سپس در بازه های زمانی ۵ دقیقه ای، محلول تحت تابش UV قرار می گیرد و جذب آن، A_t گزارش می شود تا جاییکه واکنش به اتمام برسد و رنگ نارنجی متیل اورانژ، تجزیه شود و از بین برود و طبق رابطه (۱) می توان درصد کاهش آلاینده را محاسبه نمود [۴، ۶، ۱۴]. برای اطمینان از نتایج آزمایشات، هر آزمایش سه بار انجام شده و نتایج آنها به صورت میانگین، گزارش شده است.

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

۳. نتایج و بحث

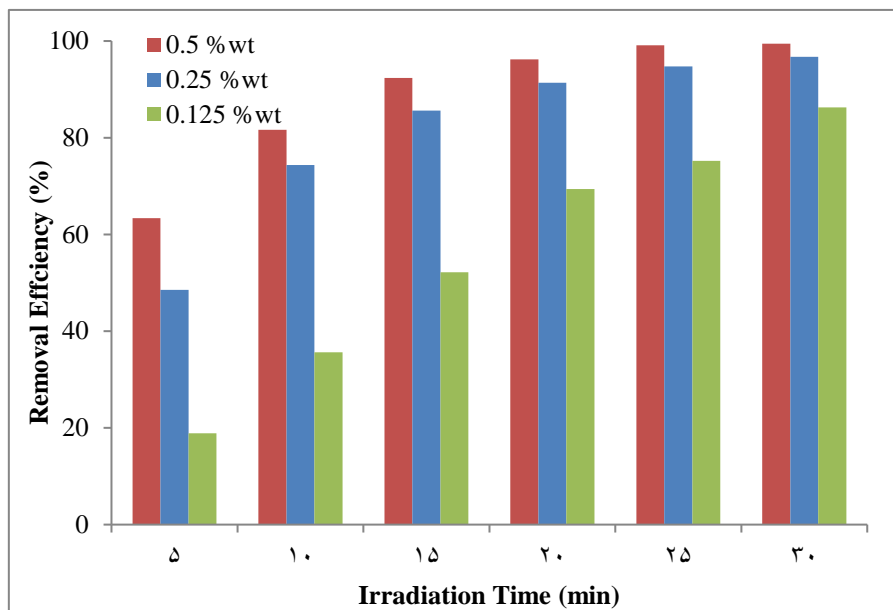
طیف پراش اشعه X نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که تمام پیک‌های مشخصه مربوط به نانولوله‌های کربنی و اکسید روی وجود دارد. بطوریکه پیک‌های موجود در زاویه θ برابر با $25/91^\circ$ به بازتاب صفحات (۰۰۲) نانولوله‌های کربنی نسبت داده می‌شود و پیک‌های موجود در زاویه θ برابر $31/84^\circ$ ، $34/50^\circ$ ، $36/33^\circ$ ، $47/65^\circ$ ، $56/73^\circ$ ، 63° و 68° وجود دارد که به ترتیب به بازتاب صفحات (۱۰۰)، (۰۰۲)، (۱۰۱)، (۱۰۲) و (۱۱۲) نانوذرات اکسید روی نسبت داده می‌شود. همچنین با توجه به طیف پراش اشعه X نانو ذرات اکسید روی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نانوذرات اکسید روی سنتز شده دارای ساختار هگزاگونال با ثوابت شبکه $a=b=3/24^\circ A$ و $c=5/19^\circ A$ می‌باشند.



شکل ۱. طیف XRD نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی.

تغییرات میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی با زمان تابش دهی اشعه UV و غلظت هیبرید در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که میزان حذف آلانینده متیل اورانژ و همچنین فعالیت فتوکاتالیستی هیبرید سنتز شده با افزایش زمان تابش دهی و غلظت فتوکاتالیست افزایش می‌یابد. افزایش میزان فعالیت فتوکاتالیستی هیبرید ناشی از افزایش میزان جفت الکترون-حفره تولیدی در اثر تحریک الکترون‌ها می‌باشد. در حقیقت با تابش اشعه UV به سوسپانسیون حاوی آلانینده و هیبرید فتوکاتالیستی الکترون‌های لایه ظرفیت فتوکاتالیست تحریک شده و این امر سبب انتقال و مهاجرت الکترون از لایه ظرفیت به لایه هدایت می‌گردد. بنابراین در لایه ظرفیت به تعداد الکترون‌های منتقل شده حفره ایجاد می‌شود و در لایه هدایت نیز به همین میزان الکترون حاصل می‌شود. جفت الکترون-حفره حاصل شده سبب ایجاد رادیکال‌های هیدروکسیل می‌نمایند و این رادیکال‌ها نقش عمده‌ای در اکسیداسیون و تجزیه آلانینده‌های موجود در آب دارند [۶].

افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی آرایش یافته نیز سبب افزایش میزان تجزیه فتوکاتالیستی متیل اورانژ می‌گردد. این امر را نیز می‌توان به افزایش میزان الکترون‌های تحریک نوری شده نسبت داد. زیرا با افزایش غلظت فتوکاتالیست تعداد الکترون‌هایی که در لایه ظرفیت قرار دارند و تابش اشعه UV را دریافت می‌کنند افزایش می‌یابد و سبب افزایش میزان رادیکال‌ها اکسند می‌گردد.



شکل ۲. فعالیت فتوکاتالیستی نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جهت بررسی راندمان حذف آلاینده متیل اورانژ با استفاده از نانولوله‌های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسید روی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از این جدول مشاهده می‌شود که زمان تابش دهی سوسپانسیون، غلظت فتوکاتالیست و همچنین اثر متقابل این دو پارامتر در سطح اطمینان ۹۵٪ سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در میزان حذف آلاینده متیل اورانژ می‌شوند. و با توجه به اینکه هیچگونه پارامتر غیر معنی‌داری وجود ندارد بنابراین میزان پارامتر عدم تناسب (lack of fit) که شامل پارامترهای غیر مهم می‌باشد تاثیر معنی‌داری ندارد. با توجه به اینکه کفایت مدل ارائه شده جهت پیش‌بینی میزان حذف آلاینده با پارامتر عدم تناسب سنجیده می‌شود بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که به دلیل عدم اهمیت پارامتر عدم تناسب، مدل ارائه شده با اطمینان خوبی قابلیت پیش‌بینی میزان فعالیت فتوکاتالیستی و حذف آلاینده را در زمان‌ها و غلظت‌های مختلف دارد. همچنین نتایج حاصل از جدول ۱ نشان‌دهنده تاثیر بیشتر غلظت فتوکاتالیست نسبت به زمان تابش دهی بر روی میزان حذف آلاینده می‌باشد. این تاثیر را می‌توان از روی میزان ارزش F (F Value) هر پارامتر مشخص نمود. بطوریکه پارامترهایی که ارزش F بالاتری دارند تاثیر بیشتری را بر روی میزان حذف آلاینده اعمال می‌نمایند.

جدول ۲ مدل ارائه شده و همچنین پارامترهای آماری آن را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از این جدول مشاهده می‌شود که مدل ارائه شده شامل پارامترهای اصلی معنی‌دار از جمله زمان تابش دهی و کسر وزنی فتوکاتالیست و همچنین تاثیر متقابل این دو پارامتر اصلی می‌باشد. ضریب همبستگی مدل ارائه شده (R^2) برابر ۰,۹۹۷۲ می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که ۹۹,۷۲٪ از نتایج حاصل شده جهت حذف آلاینده متیل اورانژ را می‌توان با مدل ارائه شده پیش‌بینی نمود. علاوه بر ضریب همبستگی مدل ارائه شده، میزان کفایت مدل را می‌توان با استفاده از پارامتر Adjusted R^2 (R^2_{adj}) مشخص نمود. میزان این پارامتر در مدل ارائه شده برابر با ۰,۹۹۵۸ می‌باشد. با مقایسه ضریب همبستگی مدل با این پارامتر، میزان حضور پارامترهای غیر مهم در مدل ارائه شده مشخص می‌گردد. بطوریکه با حضور پارامترهای غیر مهم در مدل ارائه شده میزان R^2_{adj} کاهش می‌یابد. بنابراین با مقایسه این دو پارامتر آماری می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مقدار عددی این دو پارامتر با تقریب بالایی با هم برابر هستند و این نشان‌دهنده عدم وجود پارامترهای غیر معنی‌دار در مدل ارائه شده می‌باشد [۱۵].

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای آماری موثر در حذف آلاینده متیل اورانژ

منبع	درجه آزادی	F Value	P-value
مدل	۱۷	۷۴۵٫۲۸	<۰٫۰۰۰۱
(A) زمان تابش دهی	۵	۱۴۵۷٫۱۵	<۰٫۰۰۰۱
(B) کسر وزنی	۲	۲۳۵۶٫۱۸	<۰٫۰۰۰۱
A-B	۱۰	۶۶٫۵۶	<۰٫۰۰۰۱
عدم تناسب	۰	----	----
خطای واقعی	۳۶	----	----
کل	۵۳	----	----

جدول ۲- مدل ارائه شده جهت پیش بینی میزان حذف آلاینده متیل اورانژ به همراه پارامترهای آماری

Final Equation in Terms of Coded Factors	R ² %	Adjusted R ² (R ² _{adj}) %
Photocatalytic activity of MWCNTs – ZnO = 75.61 – 32.02A – 11.73A ² + 1.1A ³ + 10.03A ⁴ + 14.10A ⁵ – 19.36B + 6.28B ² – 5.36AB – 8.9A ² B – 5.2A ³ B + 3.13A ⁴ B + 4.88A ⁵ B – 1.33AB ² + 4.21A ² B ² + 2.63A ³ B ² – 0.59A ⁴ B ² – 1.24A ⁵ B ²	99.72	99.58

۴. نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق، بررسی میزان حذف آلاینده متیل اورانژ با استفاده از نانولوله های کربنی آرایش یافته با نانوذرات اکسیدروی می باشد. با توجه به نتایج حاصل از طیف پراش اشعه ایکس مشاهده شد که نانوذرات اکسیدروی به طور موفقیت آمیزی بر روی نانولوله های کربنی متصل می شوند. همچنین نتایج حاصل از بررسی فعالیت فتوکاتالیستی هیبرید سنتز شده نیز نشان داد که با افزایش زمان تابش اشعه UV و کسر وزنی هیبرید میزان تجزیه فتوکاتالیستی متیل اورانژ افزایش می یابد. نتایج حاصل از آنالیز آماری فرایند نیز نشان داد که زمان تابش اشعه UV، کسر وزنی هیبرید و برهمکنش متقابل این دو پارامتر در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای تاثیر معنی داری بر روی میزان حذف آلاینده می باشند. همچنین مدل ارائه شده به خوبی میزان تجزیه فتوکاتالیستی آلاینده را پیش بینی می نماید.

۵. 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.

۶. مراجع

1. M. Behnajady and e. al., "Photocatalytic degradation of an azo dye in a tubular continuous-flow photoreactor with immobilized TiO₂ on glass plates", Chemical Engineering Journal, vol. 127, pp. 167-176, 2007.
2. P. Borker and A. Salker, "Photocatalytic degradation of textile azo dye over C_{1-x}Sn_xO₂ series", Materials Science and Engineering: B, vol. 133, pp. 55-60, 2006.



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



3. I. K. Konstantinou and T. A. Albanis, "TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations: a review", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 49, pp. 1-14, 2004.
4. A. Ghaderi, S. Abbasi, and F. Farahbod, "Synthesis of SnO₂ and ZnO Nanoparticles and SnO₂-ZnO Hybrid for the Photocatalytic Oxidation of Methyl Orange", *Iranian Journal of Chemical Engineering*, vol. 12, pp. 96-105, 2015.
5. P. P. Zamora, A. Kunz, S. G. Moraes, R. Pelegrini, P. C. Moleiro, J. Reyes, and N. Duran, "Degradation of reactive dyes I. a comparative study of ozonation, enzymatic and photochemical processes", *Journal of Chemosphere*, vol. 38 pp. 835-852, 1999.
6. S. Abbasi and M. Hasanpour, "The effect of pH on the photocatalytic degradation of methyl orange using decorated ZnO nanoparticles with SnO₂ nanoparticles", *J Mater Sci: Mater Electron*, 2016.
7. H. A. Rangkooy, A. Rezaee, A. Khavanin, A. J. Jafari, and A. R. Khoopaie, "A Study on Photocatalytic Removal of Formaldehyde from Air Using ZnO Nanoparticles Immobilized on Bone Char", *QOM UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES JOURNAL*, vol. 7, pp. 17-26, 2013.
8. A. A. E. Ahmed, M. A. S. Hassan, and A. M. Kamal, "Preparation and Using of TiO₂ Nanoparticles for Treatment of Water Containing Formic Acid or Coliform Bacteria", *Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 3, pp. 90-95, 2013.
9. W. W. Wang, Y. J. Zhu, and L. X. Yang, "ZnO-SnO₂ hollow spheres and hierarchical nanosheets: hydrothermal preparation, formation mechanism, and photocatalytic properties", *Adv. Funct. Mater.*, vol. 17 pp. 59-64, 2007.
10. M. Zhang, G. Sheng, J. Fu, T. An, X. Wang, and X. Hu, "Novel preparation of nanosized ZnO-SnO₂ with high photocatalytic activity by homogeneous co-precipitation method", *Mater. Lett.*, vol. 59 pp. 3641-3644, 2005.
11. Y. C. Zhang, X. Wu, X. Y. Hu, and R. Guo, "Low-temperature synthesis of nanocrystalline ZnO by thermal decomposition of a "green" single-source inorganic precursor in air", *Journal of Crystal Growth*, vol. 280 pp. 250-254, 2005.
12. S. Abbasi, S. M. Zebarjad, and S. H. N. Baghban, "Decorating and Filling of Multi-Walled Carbon Nanotubes with TiO₂ Nanoparticles via Wet Chemical Method", *Engineering*, vol. 5, pp. 207-212, 2013.
13. S. Abbasi, S. M. Zebarjad, S. H. N. Baghban, and A. Youssefi, "Synthesis of TiO₂ nanoparticles and decorated multiwalled carbon nanotubes with various content of rutile titania", *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, vol. 45, pp. 1539-1548, 2015.
14. A. Ghaderi, S. Abbasi, and F. Farahbod, "Photocatalytic degradation of methyl orange by ZnO and SnO₂ nanoparticles," presented at the 1st national conference of nanotechnology in chemistry and chemical engineering, Gachsaran Iran, 2015.
15. M. Namvar-Mahboub and M. Pakizeh, "Optimization of preparation conditions of polyamide thin film composite membrane for organic solvent nanofiltration", *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 31, pp. 327-337, 2014.