

سنتر، مشخصه‌یابی و فعالیت فتوکاتالیستی کامپوزیت اکسیدروی / سیلیکاژل

بهاره حکیمی سبینی، محمد قربان پور

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی

(دریافت مقاله: ۹۶/۰۲/۲۰ - پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۱۵)

چکیده

هدف پژوهش حاضر ساخت و مشخصه‌یابی کامپوزیت‌های فتوکاتالیست اکسیدروی / سیلیکاژل برای حذف رنگ متیل‌اورانژ بود. ساخت کامپوزیت اکسیدروی / سیلیکاژل از طریق قراردادن سیلیکاژل در نمک مذاب کلریدروی در دمای ۵۶۰ درجه‌سانتی‌گراد در زمان‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام شد. برای سنتز این کامپوزیت از هیچ عامل احیا کننده و یا ماده شیمیایی به غیر از کلریدروی استفاده نشد. با روش ارایه شده در این تحقیق سنتز نانوذرات و تثبیت آن‌ها بر روی پایه در زمانی کوتاه میسر شد. شناسایی ساختار فازی، بررسی ریزساختاری و طیف جذب کامپوزیت‌ها بوسیله آزمون‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و اسپکتروفتومتر طیف جذبی (DRS) انجام گرفت. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی نشان دادند که تماس سیلیکاژل با نمک مذاب موجب تشکیل نانوذرات به شکل یک فیلم نازک بر روی سیلیکاژل شد. با قرار دادن سیلیکاژل در نمک مذاب، نانوذرات اکسیدروی به شکل یک لایه صاف بر روی سطح آن‌ها تشکیل شد. با افزایش بیشتر زمان تماس با نمک مذاب، تعدادی ذره قابل مشاهده بر روی سطح مشاهده شد. نمودارهای پراش اشعه ایکس نشان دهنده فاز آمورف سیلیکاژل و ساختار کریستاله اکسیدروی بود. بطور کلی، نتایج نشانگر تشکیل لایه اکسیدروی بر روی سطح سیلیکاژل به شکل فیلم بودند که در زمان‌های بالاتر ابتدا ضخامت فیلم افزایش یافته و سپس پس از ۶۰ دقیقه تعدادی نانوذره نیز تولید شد. علاوه بر این، پایداری نانوکامپوزیت‌های سنتز شده توسط تست آب‌شویی تایید شد. در نهایت، خاصیت فتوکاتالیستی کامپوزیت‌ها در مقابل رنگ متیل‌اورانژ ارزیابی گردید. میان نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی / سیلیکاژل تهیه شده، بازده حذف نمونه‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه بسیار نزدیک به هم و بترتیب معادل ۳۹/۹، ۴۰/۶ و ۴۱/۳٪ بود و در نمونه ۹۰ دقیقه بازده تا ۳۱/۰٪ کاهش یافت. **واژه‌های کلیدی:** اکسیدروی، فتوکاتالیست، نانوکامپوزیت، سیلیکاژل، متیل‌اورانژ.

Preparation, Characterization and Photo Catalytic Activity of Zinc Oxide/Silica Gel Composites

Bahareh Hakimi Siboni, Mohammad Ghorbanpour

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

(Received 10 May 2017, accepted 4 February 2018)

Abstract

In this study, synthesis and characterization of ZnO/silica gel photo catalyst for degradation of the methyl orange from wastewaters were investigated. For this purpose, ZnO/Silica composite was prepared by immersing silica gel in the zinc chloride molten bath at a temperature of 560 °C for 20, 40, 60 and 90 minutes. For synthesis of these composites, no reducing agent or chemical agent was used except zinc chloride. In this method, synthesis of nanoparticles and their immobilization on the substrate was done instantly. The synthesized composites were characterized by XRD, SEM and DRS analysis. The scanning electron microscope (SEM) pictures showed that ZnO nanoparticles were formed on the silica gel surface as a thin layer by using a molten salt process. The results indicate the formation of ZnO layer on the silica surface in the form of flat films, which at longer times the film thickness increases while after 60 minutes produced a number of visible nanoparticles. XRD patterns indicated amorphous structure of silica gel and the crystalline structure of ZnO nanoparticles. In addition, the stability of synthesized nanocomposites was confirmed by water leaching test. Finally, the photocatalytic activity of the composites was assayed against methyl orange dye. The decolorization efficiency of prepared composites of 20, 40 and 60 min was close together and about 39.9, 40.6 and 41.3%, respectively.

Keywords: Zinc Oxide, Photocatalyst, Nanocomposite, Silica gel, methyl orange.

E-mail of Corresponding author: Ghorbanpour@uma.ac.ir.

مقدمه

بر این مشکلات، در تحقیق حاضر از روش حالت جامد نمک مذاب برای سنتز کامپوزیت‌های پایه/فلز استفاده شده است. در این روش پایه و نمک فلز مورد نظر که به صورت پودر است ابتدا بخوبی مخلوط کرده و در کوره می‌گذارند. در دماهای بالای کوره، نفوذ اتمی تشدید شده و اتم‌های ذرات مجاور در یکدیگر نفوذ کرده و ذرات را به هم می‌چسبانند. روش نمک مذاب دارای مزایای: ارزان بودن روش، قابلیت صنعتی‌سازی، پایداری محصول کامپوزیت تولیدی، عدم نیاز به ابزار و تجهیزات گران‌بها، عدم نیاز به محلول‌سازی و عوامل شیمیایی مختلف همانند عوامل احیاکننده و سورفکتانت که اغلب سمی و گران‌بها هستند، سادگی، زمان کوتاه سنتز، زیست سازگار بودن است.

در تحقیق حاضر کامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل از طریق قرار دادن سیلیکاژل در نمک مذاب کلریدروی در دمای ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. شناسایی ساختار فازی، بررسی ریزساختاری و طیف جذب کامپوزیت‌ها بوسیله آزمون‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و اسپکتروفوتومتر طیف جذبی (DRS) انجام گرفت. در نهایت خاصیت فتوکاتالیستی کامپوزیت‌ها در مقابل رنگ متیل‌اورانژ بعنوان رنگ مدل ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

متیل‌اورانژ، سیلیکاژل و کلریدروی از کمپانی مرک تهیه شد.

تهیه نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل

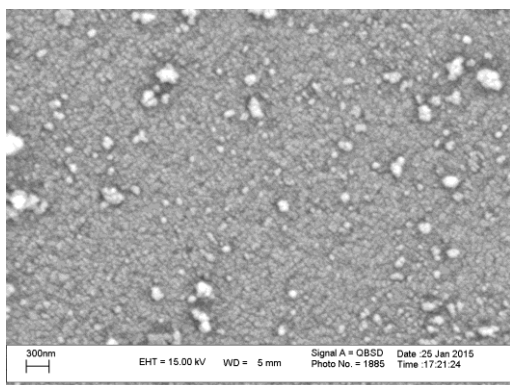
سیلیکاژل در حمام نمک مذاب کلریدروی به مدت ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در دمای حدود ۵۶۰-۵۷۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد. پس از زمان مورد نظر و سرد شدن، نمونه‌ها توسط آب‌نمک و آب با کمک اولتراسوند شسته شده و در آن با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. در ادامه کامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل

طی دو دهه گذشته پیشرفت‌های شگرفی در سنتز نانوذرات اکسید فلزی و بکارگیری آن‌ها رخ داده است. می‌توان ادعا کرد که از میان تمام نانوذرات اکسید فلزی، اکسیدروی از نظر ساختار و خواص جزو غنی‌ترین مواد است. اکسیدروی یک نیمه‌هادی نوع n با خواص مطلوب و جذابی همانند باند گاف عریض ۳/۳۷ ولت، ویژگی‌های مطلوب پیزوالکتریک و خواص نوری و الکتریکی خوب و خواص ضد میکروبی قابل قبول است [۱، ۲]. با این حال سازگاری ضعیف ذرات اکسیدروی با ترکیبات آلی و تجمع این ذرات در حلال‌های آلی مسایل مهم پیش‌رو است [۲]. علاوه بر این، سمیت سلولی بالای این ذرات و احتمال صدمه به DNA سلولی می‌تواند از نظر زیست محیطی و بیولوژیک مشکل‌ساز شود. خوشبختانه، این معایب اکسیدروی از طریق فرآیند سطح قابل اصلاح هستند و این اصلاح را می‌توان با تثبیت نانوذرات اکسیدروی بر روی سطح یک پایه همانند سیلیکاژل [۵-۳]، خاک‌رس [۸-۶] انجام داد. از میان پایه‌های مختلف مورد استفاده، سیلیکاژل با توجه به خواص مهمی مانند شفافیت بالا در مقابل نور مرئی، فعالیت شیمیایی کم و سازگاری با اکسیدروی توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۴، ۵].

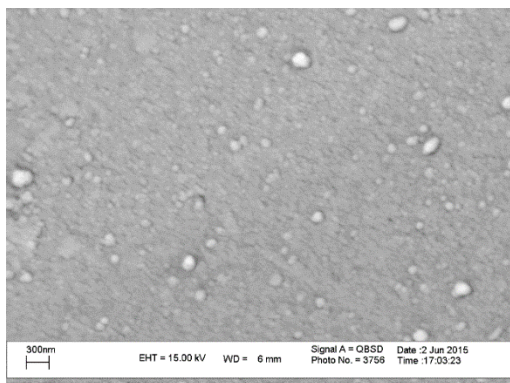
تاکنون روش‌های مختلفی برای تثبیت و پخش نانوذرات اکسیدروی در ماتریس سیلیکا توسعه یافته است. نانوذرات اکسیدروی بدست آمده در این روش‌ها معمولاً آمورف هستند و به دلیل واکنش‌های ناخواسته بین نانوذرات اکسیدروی و ماتریس دی‌اکسیدسیلیکون از تشکیل سولفات روی نمی‌توان اجتناب کرد [۲]. از سوی دیگر، این روش‌ها معمولاً نیاز به استفاده از سورفکتانت‌ها و احیاکننده دارند که این مواد معمولاً سمی و هزینه‌بر هستند. همچنین اکثر این روش‌ها شامل چندین مرحله بوده و چندین ساعت تا چند روز طول می‌کشند [۹، ۱۰]. بنابراین به روش‌های سنتز جدیدی نیاز است. برای غلبه

میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت‌ها

شکل ۱ عکس‌های تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی از سیلیکاژل اولیه و کامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل را نشان می‌دهد. شکل ۱-الف سیلیکاژل اولیه (نمونه ۰) را نمایش می‌دهد. بر روی سطح سیلیکاژل ذراتی دیده می‌شود که تکه‌های خرد شده شیشه است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، با قرار دادن سیلیکاژل‌ها در نمک مذاب، نانوذرات اکسیدروی به شکل یک لایه بر روی سطح آن‌ها تشکیل شده‌است. این امر را در شکل ۱-ب می‌توان از روی صاف‌تر شدن سطح متوجه شد. در ادامه، با افزایش زمان تماس با نمک مذاب، تعدادی پرک نیز بر روی سطح مشاهده می‌شود. با افزایش زمان به ۹۰ دقیقه، تعداد زیادی نانوذرات تجمع یافته بر روی سطح تشکیل می‌شود.



(الف)



(ب)

حاصل بر اساس مدت زمان تماسی که با نمک مذاب داشتند به ترتیب نمونه ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ نامیده شدند.

مشخصه‌یابی کامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل

مورفولوژی کامپوزیت‌های تهیه شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (LEO 1430VP, Germany) بررسی شد. طیف جذب نور و ساختار کریستالی سیلیکاژل، قبل و بعد از تثبیت نانوذرات اکسیدروی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر طیف جذبی (Sinco S4100 Korea) و تفرق اشعه ایکس (EQuinox 3000) مورد ارزیابی قرار گرفت.

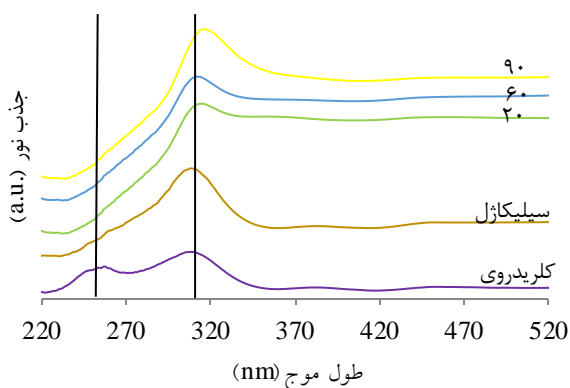
برای بررسی پایداری نانوکامپوزیت‌ها از تست آب‌شویی استفاده شد. برای انجام این تست ۰/۲ گرم نانوکامپوزیت در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته، به مدت ۳ و ۶ ساعت بر روی شیکر در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. در ادامه نمونه‌ها در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شده و میزان روی موجود در بخش شناور حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Varian AA 240) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی خاصیت فتوکاتالیستی

۰/۱ گرم از کامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل تهیه شده در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد، سپس به آن ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول متیل‌اورانژ با غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اضافه کرده، و بر روی همزن تحت نور ماوراءبنفش (Philips, Netherlands) با توان ۴ وات و حداکثر تابش در محدوده طول موج‌های ۳۵۰-۴۰۰ نانومتر قرار داده شد، بمنظور بررسی فعالیت فتوکاتالیزوری در بازه‌های زمانی مشخص نمونه‌برداری انجام گرفت و پس از جداسازی آن توسط دستگاه سانتریفوژ، جذب محلول رویین توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

نتایج

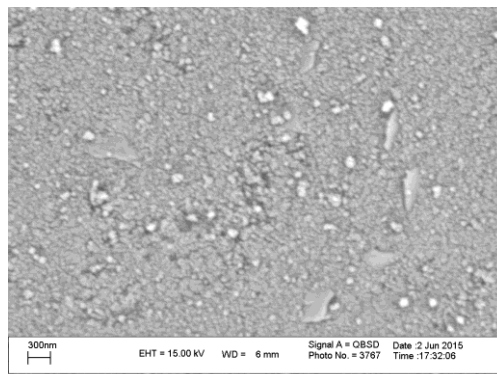
مورفولوژی و توزیع اندازه ذرات تناسب دارد [۴]. هر اندازه توزیع اندازه ذرات یکنواخت تر باشد پیک حاصل تیزتر و متقارن تر خواهد بود. بر این اساس نانوکامپوزیت های حاصل از زمان تماس بزرگ تر موجب غیریکنواختی بیشتر توزیع اندازه ذرات می شود. نکته دیگر که از این نمودار دریافت می شود، افزایش شدت جذب نمونه ها با افزایش زمان تماس با نمک مذاب است. این امر با افزایش مقدار روی سوار شده بر روی پایه و افزایش تعداد نانوذرات تشکیل شده ارتباط دارد [۶، ۷]. این نتایج با مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی مطابقت دارد.



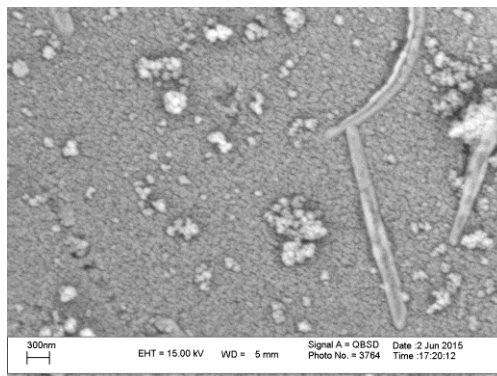
شکل ۲. نمودار طیف جذب سولفات روی، سیلیکاژل و نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل.

پراش اشعه ایکس

شکل ۳ منحنی پراش اشعه ایکس سیلیکاژل و کامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل حاصل از فرآیند نمک مذاب را نمایش می دهد. همان طور که این شکل نشان می دهد سیلیکاژل ساختار آمورف دارد که با گزارشات موجود در منابع مطابقت دارد [۴، ۵]. در این شکل پیک های موجود در زاویه ۲۰ حدود ۲۲° نشان دهنده فاز آمورف سیلیکاژل و پیک های دیگر موجود معرف فازهای مربوط به ساختار کریستال شش وجهی ورتزیت اکسیدروی تست [۵، ۸]. بنابراین این الگو نشانگر تشکیل موفقیت آمیز کامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل



(ج)



(د)

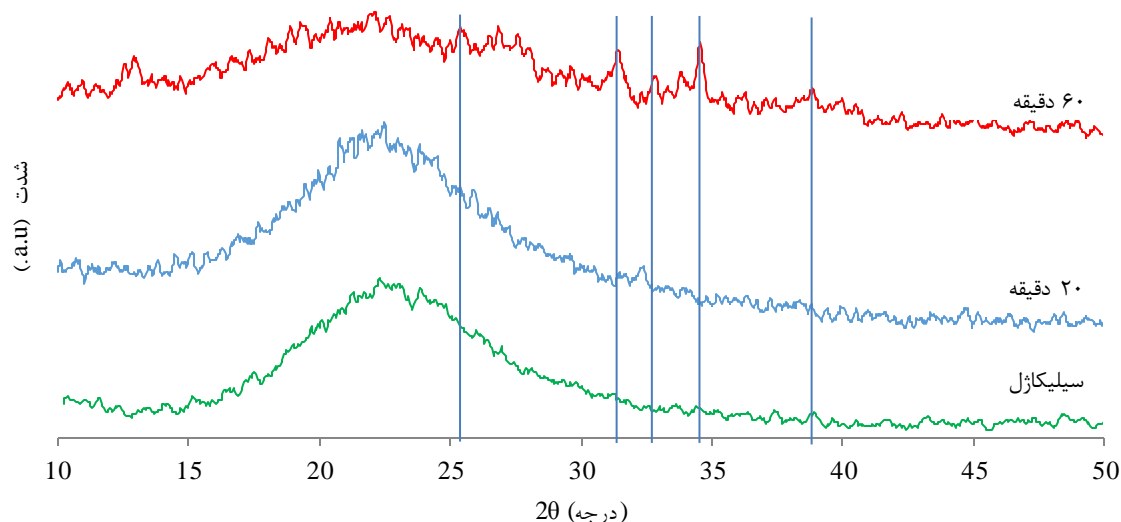
شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی سیلیکاژل (الف) و نمونه های ۲۰ (ب)، ۶۰ (ج) و ۹۰ (د)

طیف جذب نانوکامپوزیت ها

شکل ۲ طیف جذب سیلیکاژل، کلریدروی و نانوکامپوزیت ها را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود کلریدروی دارای دو پیک ضعیف و قوی در طول موج های حدود ۲۵۰ و ۳۰۶ نانومتر است. سیلیکاژل نیز دارای یک پیک مشخصه در طول موج حدود ۳۰۶ نانومتر است. همان طور که شکل ۲ نمایش می دهد پیک موجود در طول موج حدود ۳۰۶ نانومتر عریض تر شده و پیک موجود در طول موج حدود ۲۵۰ نانومتر در طیف جذبی تمامی نانوکامپوزیت ها حذف شده است. علاوه بر این، با افزایش زمان تماس با نمک مذاب، پیک ۳۰۶ نانومتر دچار عدم تقارن می شود. بر اساس گزارشات موجود، شکل نمودار طیف جذب نانوذرات با اندازه،

الکترونی روبشی هیچ نانوذره‌ای مشاهده نمی‌شود (شکل ۱) فلز روی وجود دارد (شکل ۲). بنابراین لایه اکسیدروی تشکیل شده بر روی سطح به شکل فیلم است و یک لایه یکنواخت بر روی سطح تشکیل می‌دهد. افزایش زمان سنتز موجب افزایش ضخامت این لایه می‌شود تا جایی که در نمونه ۶۰ دقیقه تعدادی نانوذره نیز مشاهده می‌شود. بنا به نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس فاز نانوذرات اکسیدروی تشکیل شده بر روی سطح سیلیکاژل کریستال‌های شش وجهی ورتزیت اکسیدروی است. شدت پیک‌های موجود با افزایش زمان فرآیند نمک مذاب و بیشتر شدن ضخامت فیلم بیشتر می‌شود. بطور خلاصه، فرآیند نمک مذاب موجب تشکیل یک لایه فیلم یکنواخت اکسیدروی بر روی سطح سیلیکاژل می‌شود.

است. بنابر گزارشات موجود پیک‌های حاضر در زوایای 25° ، 31° ، 32° ، 34° و 38° با فازهای اکسیدروی تطابق دارد [۵]. با مراجعه دوباره به شکل مشاهده می‌شود که شدت پیک‌های مربوط به اکسیدروی با افزایش زمان فرآیند نمک مذاب افزایش یافته است. این امر همان‌طور که شکل‌های میکروسکوپ الکترونی نشان دادند با افزایش تعداد نانوذرات تشکیل شده بر روی سیلیکاژل ارتباط دارد. در نهایت با توجه به شکل ۳، هیچ پیک مربوط به ناخالصی مشاهده نمی‌شود که این امر نشانگر خلوص بالای نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل تولیدی می‌باشد. در ادامه برای بحث بیشتر نتایج آنالیزهای انجام شده در کنار هم مقایسه می‌شوند. با توجه به آنالیز طیف جذبی، حتی در نمونه ۲۰ دقیقه که عکس‌های میکروسکوپ



شکل ۳. منحنی پراش اشعه ایکس کامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل.

آن‌ها بیشتر می‌شود. همان‌طور که جدول ۱ مشخص می‌کند مقدار رهايش روی از تمامی نانوکامپوزیت‌ها بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. این مقدار در مورد نمونه ۹۰ دقیقه بیشترین مقدار یعنی رهش ۵/۱ میلی‌گرم در لیتر را پس از ۲۴ ساعت داشته است. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۵۳ تجدید نظر پنجم (ISIRI 1053)

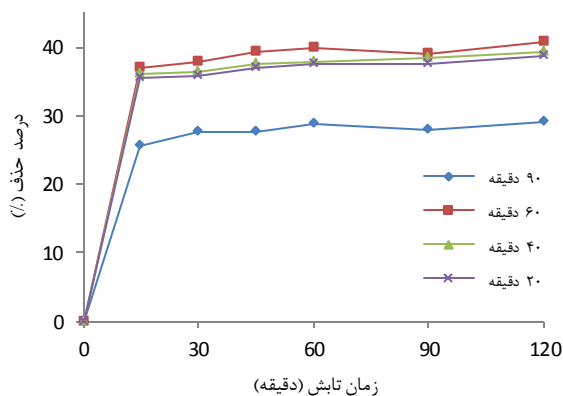
تست آب‌شویی

نتایج تست آب‌شویی نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل در جدول ۱ آورده شده است. این نانوکامپوزیت برای تصفیه فاضلاب تهیه شده است. بنابراین خود آن نباید باعث آلودگی فاضلاب شود. بعلاوه این‌که، هر اندازه پایداری نانوکامپوزیت‌ها بیشتر باشد عمر

شده و در نتیجه از میزان حذف آلاینده متیل اورانژ کاسته می شود [۱۱-۱۳].

در میان نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل تهیه شده با فرآیند نمک مذاب در زمان های مختلف، بازده حذف نمونه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه بسیار نزدیک به هم و به ترتیب معادل ۳۹/۹، ۴۰/۶ و ۴۱/۳٪ بوده و به شکلی بسیار آرام افزایش می یابد و در نمونه ۹۰ دقیقه به شکلی ملموس تا ۳۱/۰٪ کاهش می یابد. کاهش بازده حذف نمونه ۹۰ را می توان بنابر نتایج به دست آمده در بخش شناسایی نانوکامپوزیت ها، به اندازه بزرگ تر نانوذرات تشکیل شده بر روی سطح سیلیکاژل و تجمع یافتن آن ها ارتباط داد که سطح در دسترس کاتالیست را کاهش می دهد.

برای بررسی بیشتر اثر هر یک از پارامترهای جذب سطحی بر روی سیلیکاژل و تجزیه متیل اورانژ در حضور نور ماوراءبنفش با فعالیت فتوکاتالیستی نمونه ۶۰ دقیقه مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۵). تجزیه متیل اورانژ در حضور نور ماوراءبنفش مقداری بسیار کم و در حدود ۴/۳٪ و جذب سطحی بر روی سیلیکاژل مقداری در حدود ۱۲/۶٪ داشته است. مجموع این دو پارامتر معادل ۱۶/۹٪ بوده که در مقایسه با نمونه ۶۰ دقیقه ۴۱/۳٪ کمتر است. بنابراین مقدار ۲۴/۴٪ کاهش رنگ متیل اورانژ از حضور نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل ناشی می شود.



شکل ۴. راندمان حذف متیل اورانژ توسط فرآیند فتوکاتالیستی نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل.

۵th.revision) مقدار مطلوب روی در آب ppm ۳ و حداکثر میزان مجاز آن مشخص نشده است، بنابراین نتایج حاصل از این تست از نظر زیست محیطی قابل قبول است.

جدول ۱. نتایج تست آب شویی نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل پس از ۲۴ ساعت تماس با آب.

غلظت روی آزاد شده در آب (میلی گرم بر لیتر)	زمان سنتز (دقیقه)
۰	۰
۲/۲±۱/۰	۲۰
۴/۴±۱/۲	۴۰
۵/۱±۱/۷	۹۰

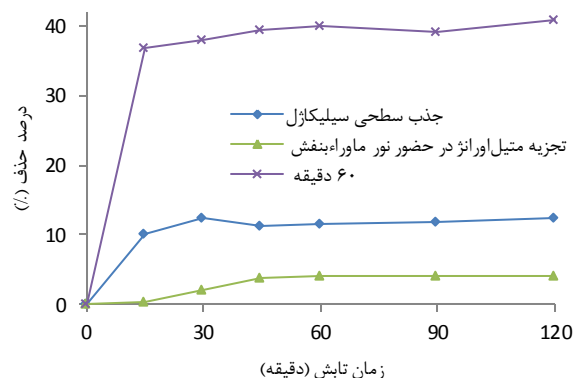
خاصیت فتوکاتالیستی

شکل ۴، راندمان حذف متیل اورانژ توسط فرآیند فتوکاتالیستی نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل در حضور پرتو فرابنفش در pH=۷ نشان می دهد. در این مطالعه، زمان ماند ۱۲۰ دقیقه برای حذف آلاینده متیل اورانژ توسط فرآیند فتوکاتالیستی در نظر گرفته شد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش زمان ماند، راندمان حذف آلاینده متیل اورانژ افزایش می یابد. با این حال، راندمان حذف آلاینده متیل اورانژ در ۳۰ دقیقه ابتدای واکنش، بیشترین افزایش را داشته و با گذشت زمان، روند افزایشی راندمان حذف آلاینده متیل اورانژ کاهش می یابد. این امر را می توان به دلیل تجزیه سریع آلاینده متیل اورانژ در ۳۰ دقیقه ابتدای واکنش توسط رادیکال های آزاد تولید شده ناشی از برانگیختگی الکترونی نانوذرات اکسیدروی دانست. با افزایش زمان ماند، اگرچه روند برانگیختگی نانوذرات اکسیدروی و تولید رادیکال های آزاد هیدروکسیل کاهش نیافته، اما به دلیل تشکیل ترکیبات آلی واسط ناشی از تجزیه آلاینده متیل اورانژ، مقداری از رادیکال های آزاد تولید شده، صرف تجزیه این ترکیبات

سایر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، عدم تولید لجن، راهبری ساده و قابلیت کاربرد در مقیاس صنعتی است.

مراجع

1. A. Barhoum, G. Van Assche, H. Rahier, M. Fleisch, S. Bals, M.P. Delplanck, F. Leroux and D. Bahnemann, *Sol-gel hot injection synthesis of ZnO nanoparticles into a porous silica matrix and reaction mechanism*, *Materials & Design*, 119(2017)270-276.
2. E. G. Pantohan, R. T. Candidato. Jr and R.M. Vequizo, *Surface characteristics and structural properties of sol-gel prepared ZnO-SiO₂ nanocomposite powders*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 79(2015)1-6.
3. M. Ghorbanpour, M. Moghimi and S. Lotfiman, *Silica-Supported Copper Oxide Nanoleaf with Antimicrobial Activity Against Escherichia Coli*, *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 2(2017)112-117.
4. R. Payami, M. Ghorbanpour and A.P. Jadid, *Antibacterial silver-doped bioactive silica gel production using molten salt method*, *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 6.3(2016)215-221.
5. S. Lotfiman and M. Ghorbanpour, *Antimicrobial activity of ZnO/silica gel nanocomposites prepared by a simple and fast solid-state method*, *Surface and Coatings Technology*, 310(2017)129-133.
6. H. Pourabolghasem and M. Ghorbanpour, *Antibacterial Activity of Copper-doped Montmorillonite Nanocomposites Prepared by Alkaline Ion Exchange Method*, *Journal of Physical Science*, 27 (2016) 1-12.
7. M. Ghorbanpour and S. Lotfiman, *Solid-state immobilisation of titanium dioxide nanoparticles onto nanoclay*, *Micro & Nano Letters*, 11(2016)684-687.
8. H. Pourabolghasem, M. Ghorbanpour, R. Shayegh and S. Lotfiman, *Synthesis, characterization and antimicrobial activity of alkaline ion-exchanged ZnO/bentonite nanocomposites*, *Journal of Central South University*, 23 (2016)787-792.
9. W. Zhang, L. Zou and L. Wang, *Photocatalytic TiO₂/adsorbent nanocomposites prepared via wet chemical*



شکل ۵. مقایسه اثر پارامترهای جذب سطحی سیلیکاژل و تجزیه متیل اورانژ در حضور نور ماوراءبنفش با فعالیت فتوکاتالیستی نمونه ۶۰ دقیقه.

نتیجه گیری

کامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل از طریق قراردادن سیلیکاژل در نمک مذاب کلریدروی در دمای ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. با توجه به عکس‌های میکروسکوپ الکترونی، قرار دادن سیلیکاژل در نمک مذاب موجب تشکیل نانوذرات روی بر روی سطح سیلیکاژل شده است و با افزایش زمان تماس با نمک مذاب تعداد نانوذرات تثبیت شده افزایش یافته است. تست آب‌شویی نیز نشانگر پایداری نانوکامپوزیت‌های ساخته شده بود بطوری‌که مقدار رهائش روی از تمامی نانوکامپوزیت‌ها پایین بود. در میان نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل تهیه شده با فرآیند نمک مذاب در زمان‌های مختلف، بازده حذف نمونه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه بسیار نزدیک به هم و به ترتیب معادل ۳۹/۹، ۴۰/۶ و ۴۱/۳٪ بوده و به شکلی بسیار آرام افزایش یافت و در نمونه ۹۰ دقیقه به شکلی ملموس تا ۳۱/۰٪ کاهش یافت که به دلیل تجمع یافتن نانوذرات بر روی سطح سیلیکاژل است. در نهایت می‌توان بیان نمود که فرآیند فتوکاتالیستی نانوذرات اکسیدروی تثبیت شده بر روی سیلیکاژل می‌تواند منجر به کاهش قابل ملاحظه آلاینده متیل‌ورانژ از پساب گردد. از جمله مزایای این فرآیند، عملکرد بالا، هزینه تصفیه پساب کمتر نسبت به

impregnation for wastewater treatment: A review, Applied Catalysis A: General, 371(2009)1-9.

10. A. Y. Shan, T. I. M. Ghazi and S. A. Rashid, *Immobilisation of titanium dioxide onto supporting materials in heterogeneous photocatalysis: A review*, Applied Catalysis A: General, 389(2010)1-8.

11. E. Brillas and J. Casado, *Aniline degradation by electro-Fenton and peroxi-coagulation processes using a flow reactor for wastewatertreatment*, Chemosphere, 47(2002)241-248.

12. E. Brillas, E. Mur, R. Sauleda, L. Sanchez, J. Peral, X. Domenech and J. Casado, *Aniline mineralization by AOP's: anodic oxidation, photocatalysis, electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes*, Applied Catalysis B: Environmental. 16(1998)31-42.

13. E. Brillas, E. Mur and J. Casado, *Iron(II) Catalysis of the Mineralization of Aniline Using a Carbon-PTFE O₂-Fed Cathode*, Journal of the Electrochemical Society, 143(1996)49-53.