ساخت كاميوزيت فوتوكاتاليستي Fe3O4/SiO2/ZnO با نانوساختار هسته/يوسته/يوسته و مشخصه یایی آن

فردین قاسمی پیرانلو^۱، فاطمه باورسیها^۲*، سعیده داداشیان^۳ (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۳۱، ش.ص ۱۹۰–۱۷۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰)

حكيده

فوتوكاتاليست مغناطيسي Fe₃O₄/SiO₂/ZnO به روش سل- ژل سنتز شد. بدين منظور، در مرحله اول ذرات Fe₃O₄ به عنوان هسته مغناطیسی این کامیوزیت و با به کارگیری از روش احیای کربن تهیه گردید. در مرحله دوم، یوشش دهی یوسته SiO₂ با استفاده از پیش ماده تترا اتیل اورتو سیلیکات (TEOS) انجام شد. در پایان پوسته اکسید روی با استفاده از پیش ماده نیترات روی هیدراته بر روی کامپوزیت Fe₃O₄/SiO₂ قرار گرفت. نانوساختارهای تهیه شده با استفاده از آنالیزهای ميكروسكوپ الكتروني روبشي محيطي (FESEM)، ميكروسكوپ الكتروني عبوري (TEM)، الگوي پراش پرتو ايكس (XRD)، آنالیز خواص مغناطیسی (VSM) و طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) مشخصه یابی شد. نتایج FESEM و TEM، پوششدهی سیلیس و اکسید روی را بر روی ذرات هسته تایید کرد و فوتوکاتالیست مغناطیسی Fe₃O₄/SiO₂/ZnO با موفقیت تهیه شد. میانگین اندازه ذرات Fe₃O4 به طور تقریبی ۳۰۰ نانومتر به دست آمد. ضخامت پوسته سیلیس به طور تقریبی ۲۵ نانومتر و ضخامت یوسته اکسید روی در حد چند نانومتر حاصل شد. نتایج VSM نشان داد که یوشش دهی یوسته سیلیس و اکسید روی، سبب کاهش مغناطیس اشباع (M_s) یودر Fe₃O₄ شده است به طوری که مغناطش اشباع از emu/g ۸۰ به ۴۸/۸ emu/g کاهش یافته است که این مقدار جهت بازیابی مغناطیسی مناسب است. خواص فوتوکاتالیستی کامپوزیت Fe₃O₄/SiO₂/ZnO تحت تابش نور UV و بر روی تخریب متیلن نارنجی مورد بررسی قرار گرفت. تخریب متیلن نارنجی ۲۰٪ به دست آمد. **واژههای کلیدی:** اکسید روی، مغناطیس، فوتوکاتالیست، سیلیکا، ساختار هسته/پوس

^{· -} مدیر و ریاست بخش یژوهش آزمایشگاه معتمد محیط زیست، شرکت فن آوران زیست کره، ابهر، زنجان،ایران

۲ - کارشناس تحقیق آزمایشگاه معتمد محیط زیست، شرکت فن آوران زیست کره، ابهر، زنجان، ایران

^۳ - کارشناس آموزش آزمایشگاه معتمد محیط زیست، شرکت فن آوران زیست کره، ابهر، زنجان، ایران

^{*-} نویسنده مسئول مقاله: Info@btlab.ir

ييشگفتار

در طی سالهای اخیر با افزایش نگرانیهای محیط-زیستی ناشی از پیشرفتهای فناوری و صنعت، تلاشهای بسیاری در سراسر جهان برای به دست آوردن مواد و فرایندهای مؤثر جهت تصفیه آبهای آلوده انجام شده است[۱،۲]. از این رو فرآیندهای تصفیه آلایندههای آلی با TiO₂ ZnS ، ZnO ، از این رو فرآیندهای تصفیه آلایندههای آلی با استاهه از نانوذارت نیمه هادی مانند: SnO ، SnO و و 2nS و غیره مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است[۳،۴]. اکسید روی در جاذبهای شیمیایی، و نوری، در تخریب فوتوکاتالیستی به عنوان کاتالیزور و غیره کاربردهای فراوانی پیدا کرده است[۵،۶].

خواص فوتوکاتالیستی بالای نیمه هادیها از جمله اکسید روی، موجب شده است که در تجزیه فوتوکاتالیستی مولکولهای آلی تحت تابش اشعههای ماورا بنفش به کار برده شوند. اکسید روی با پهنای باند ev ۳/۳۷ وقتی تحت تابش نور ماورابنفش (UV) قرار میگیرد e و h ایجاد میشود. الکترون و حفرهها که جزء اساسی عملکرد فوتوکاتالیستها هستند تنها در صورتی به وجود می آیند که انرژی تابشی بیشتر از عرض باند انرژی به نیمههادی برسد:

$$ZnO + h\nu \rightarrow h_{VB}^{+} + e_{CB}^{-}$$
 (1)

در این واکنش، h و e به ترتیب عوامل اکسیدکننده و احیاکننده قوی هسـتند. واکنشهای اکسیداسیون و احیا به ترتیب به صورت زیر میباشد:

 $h^+ + OH^- \rightarrow OH$ (7)

$$e^{-} + O_2 \rightarrow O^{-} \tag{(7)}$$

از این پدیده میتوان در تخریب آلایندههای آلی در حجم زیادی از آب بهره گرفت[۱۱–۷].

با توجه به مصرف مقادیر بالای آب در صنایع مختلف و تولید مقدار قابل توجهی آلایندههای آلی، تصفیه آنها امری اجتنابناپذیر است[۱۲]. یکی از مشکلات اصلی در فرآیندهای تصفیه آبهای آلوده، جداسازی ذرات اکسید روی از آبهای تصفیه شده است. از آنجا که مرحله

جداسازی معمولاً به روش سانترفیوژ و یا با استفاده از فیلتر انجام می شود، هزینه لازم برای جداسازی از حجم وسیعی از آبهای تصفیه شده بسیار بالا می گردد. از طرفی ممکن است جداسازی ذرات اکسید روی به طور کامل صورت نگیرد که این خود، سبب آلودگی ثانویه می شود. لذا نگیرد که این خود، سبب آلودگی ثانویه می شود. لذا بهره گیری از هسته های مغناطیسی در جریان است [۱۵– ۱۲، ۷].

در سالهای اخیر مواد با ساختار هسته/پوسته کاربردهای متنوعی در حوزههای مختلف از قبیل الکترونیک، بیوپزشکی، نوری، شیمی تجزیه و غیره دارند. نانوذرات هسته/پوسته موادی پرکاربرد، با عملکرد بالا و خواص اصلاح شده هستند. به دلیل پوششدهی با مواد پوسته، خواص ذرات هسته مانند میزان واکنش پذیری یا پایداری حرارتی میتواند اصلاح شود؛ به گونهای که در پایداری حرارتی میتواند اصلاح شود؛ به گونهای که در نهایت، ذرات نسبت به مواد مختلف که با هم به کار برده میشوند، خواص متمایزی نشان میدهند. هدف از پوشش بر روی ذرات هسته معمولاً اصلاح سطح، افزایش قابلیت عملکرد، افزایش پایداری، کاهش مصرف مواد گرانبها و غیره است[۸،۱۶].

اخیراً گزارش شـده اسـت که ذرات اکسـید روی به صورت ساختار هسته/پوسته/پوسته به کار برده شدهاند. ذرات Fe₃O₄ یکی از مهم ترین اسیینلهای نوع فریت است که به طور گسترده در جداسازی مغناطیسی، کاربردهای انتقال گرما، الکتروفوتو گرافی و غیره استفاده می شود [۵]. بنابراین از ذرات Fe₃O₄ به عنوان هسته مغناطيسي و اکسيد روی به عنوان اين پوسته فوتوكاتاليستى اين نانوساختارها استفاده شد تا با استفاده میدان مغناطیسیے خارجی به راحتی از محیطهای آبی جدا شوند[٧]. جهت جلوگیری از پدیده انحلال هسته که در اثر تابش نور UV ایجاد می شود و سبب کاهش فعالیت فوتوكاتاليســتى اكسـيد روى مى گردد، وجود يک لايه سیلیکای بی اثر میان ذرات ZnO و Fe₃O₄ ضروری است، از این سوی، ذرات ZnO بر روی کامپوزیت اکسیدآهن/ سیلیس (سیلیس پوششداده شده بر روی اکسیدآهن) پوشش داده شد [۱۷،۱۸]. ونگ و همکارانش به سنتز Fe₃O₄/SiO₂/ZnO و Fe₃O₄/SiO₂/ZnO به سنتز

www.SID.ir

پرداختند که ذرات اولیه Fe₃O₄ استفاده شده کروی بود [۱۸]. در این پژوهش در راستای حل مشکلات مرتبط با جدایش ذرات فوتوکاتالیستی از آب تصفیه شده و امکان استفاده ی مجدد از آن ها، ابتدا ذرات چند ضعلی منظم Fe₃O₄ به عنوان هسته مغناطیسی تهیه شد و در مرحله بعد ساخت نانوساختارهای فوتوکاتالیستی بعد ساخت نانوساختارهای فوتوکاتالیستی نوتوکاتالیست کامپوزیتی انجام شد. شکل ۱ شماتیکی از روند تشکیل کامپوزیتی انجام شد. شکل ۱ شماتیکی از می دهد.

مواد و روشها

مواد شیمیایی

دی متیل فرمامید ((DMF>99.8%)، سدیم هیدروکسید (۹۶٪ </NaOH)، تترا اتیل اورتوسیلیکات (۹۹٪ < TEOS)، نیترات روی (۹۹٪ (۲۹۹٪)، آب مقطر، اتانول (۹۹٪ (۲۵٪ (۲۵٪)، آب مقطر، اتانول (۲۹٪ (۲۵٪ (۲۵٪)، آهن کلرید (۱۱۱) شش آبه وزنی,NH3.H2O)، آهن کلرید (۱۱۱) شش آبه (۲۵٪ (FeCl3.6H2O, 99%)، کتان چربی زدایی شده، تمامی مواد اولیه استفاده شده تهیه شده از شرکت مرک بوده است.

سنتز ذارت Fe₃O₄

ذرات مغناطیسی Fe₃O₄ به روش احیای کربن تهیه شد. ابتدا ۸۰ گرم آهن کلرید (III) شش آبه در ۱۵۰ میلی-لیتر آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه همزده شد. ۲ گرم پارچه کربن چربی زدایی شده درون محلول قرار داده شد و به مدت ۱۰ دقیقه تحت حمام آلتراسونیک قرار گرفت. سپس جمع آوری شده و تحت دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت سنتز شد.

سنتز ذرات با ساختار Fe₃O₄/SiO₂

۰/۰۵ ابتدا Fe₃O₄/SiO₂ ابتدا Fe₃O₄/SiO ابتدا ۲۰۰۵ گرم پودر Fe₃O₄ تهیه شده در بخش قبلی به همراه ۱۲۰

میلی لیتر اتانول و ۳۰ میلی لیتر آب مقطر در حمام آلتراسونیک پراکنده شدند. سپس ۲۵/۰ میلی لیتر تترا اتیل اور توسیلیکات و ۴ میلی لیتر آمونیا (۲۵٪ وزنی) به آن اضافه شد و تحت همزن مکانیکی قرار گرفت. ذرات با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی از محلول جدا شد. سپس با استفاده از آب مقطر شسته و به مدت ۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد در آون خشک شد.

سنتز ذرات با ساختار Fe₃O₄/SiO₂/ZnO

جهت تهیه نانوساختارهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO در مرحله قبل ۲۰٬۰۵ کرم پودر Fe₃O₄/SiO₂ تهیه شده در مرحله قبل در ۵۰ میلی لیتر DMF با استفاده از حمام آلتراسونیک پراکنده شد. ۶/۰ گرم ZnNO₃.6H₂O در ۵۰ میلی لیتر DMF حل شد و به محلول قبلی اضافه شد. محلول به دست آمده تحت همزن مکانیکی قرار گرفت. سپس محلول ۲۰/۰ مولار سود به آرامی به محلول اولیه اضافه شد. در ادامه به مدت ۶ ساعت تحت همزن مکانیکی قرار گرفت. ذرات به دست آمده با استفاده از جدایش شد. در دادامه به مدت ۶ ساعت تحت همزن مکانیکی قرار چند بار شسته شد. سپس در خشک کن در دمای ۶۰ درجه و به مدت ۶ ساعت خشک شد. در پایان در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۲ ساعت کلسینه شد و نانو ساختارهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO

بررسي فوتوكاتاليستي

جهت بررسی فوتوکاتالیستی، تخریب متیلن نارنجی با استفاده از نانوکامپوزیتهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO مورد سنجش قرار گرفت. پودر فوتوکاتالیستی تهیه شده در محلول متیلن نارنجی (۱۰mg/L) به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریکی هم زده شد و سپس تحت نور UV قرار گرفت و در بازههای زمانی مشخص نمونهبرداری انجام شد. تغییرات جذب میتلن نارنجی با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-Vis



شکل ۱- شماتیکی از روند تشکیل کامپوزیتهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO با ساختار هسته/پوسته/

مشخصهيابي

ساختار و مرفولوژی نانوساختار تهیه شده با استفاده از PRO بساختار و مرفولوژی نانوساختار تهیه شده با استفاده از MPD PANalytical و ساخت کشور هلند) مورد بررسی قرار گرفت. طیف جذب UV- مرئی، با استفاده طیف مادون قرمز (FTIR, Bruker, Tensor 27) بررسی شد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بررسی شد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بررسی مدد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بررسی شد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بررسی شد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بررسی شد. این کامپوزیتها با استفاده از میکروسکوپ بروس کت-TE بروی روبشی محیطی (NIRA3 و میکروسکوپ الکترونی عبوری خواص مغناطیسی (VSM) نجام شد.

نتایج و بحث

شـكل ۲ تصاویر FESEM ذرات Fe₃O₄ سنتز شده را نشـان می دهد. در شـكل ۲ مشاهده می شود كه ذرات به صورت چند ضـعلیهای منظم می باشـند. میانگین اندازه ذرات به طور تقریبی ۳۰۰ نانومتر است. شـكل ۳ (الف) تصـویر FESEM کامپوزیت Fe₃O₄/SiO₂ با سـاختار هسته/ پوسته را نشان می دهد. پوشش هموار اطراف ذارت Fe₃O₄ وسته را نشان می دهد. پوشش هموار اطراف ذارت Fe₃O₄ بوسته را نشان می دهد. پوشش هموار اطراف خارت Fe₃O₄ با سـاختار پوسـته SiO₂ تایید می کند. بنابراین، لایه نشـانی لایه ی سـیلیس بر روی ذرات مغناطیسـی ایه نشـانی لایه سـل-ژل به خوبی انجام شده است. شـکل ۳ (ب) پوشـش دهی پوسـته ZnO برروی کامپوزیت Fe₃O₄/SiO₂ نشـان می دهد که پوشش ZnO ناهموار بوده و کاملاً با پوشـش سـیلیس متفاوت اسـت [۱۸].

Fe₃O₄/SiO₂/ZnO در شکل ۴ نمایش داده شده است که حضور عناصر Fe, Si, Zn و O را نشان میدهد. نتایج EDX در تکمیل سایر نتایج به دست آمده، تشکیل نانوساختارهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO را تایید می کند.

تصاویر TEM در شکل ۵ (الف و ب)، به ترتیب تشکیل ساختار هسته/پوسته/پوسته را برای کامپوزیتهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO و Fe₃O₄/SiO₂ نشان می دهد. در تصوير TEM شكل ۵ (الف) پوششی نازک و نسبتاً شفاف سیلس نسبت به ذرات هسته کامل مشخص است[۱۹]؛ اما همان گونه که از تصاویر TEM و FESEM مشاهده می شود؛ پوشش دهی باعث کلوخه ای شدن ذرات شده است که میتوان آن را به پراکندهسازی ضعیف ذرات نسبت داد، استفاده از دستگاه حمام آلتراسونیک با توان بیشتر میتواند در پوشش دهی یکنواخت ذرات هسته موثر باشد[۲۰،۲۱]. کاهش کلوخهای شدن، خاصیت فوتوكاتاليستى اين كامپوزيتها را افزايش مىدهد. همچنین ضخامت پوستهی SiO₂، جهت جلوگیری از پديده تجزيه و انحلال اثر نور و از طرفي تهيه كامپوزيت با بیشترین خاصیت مغناطیسی جهت بازیابی بهتر اهمیت دارد. در واقع بالاتر بودن باند ظرفیت هسته مغناطیسی از باند ظرفیت اکسیدروی و پایین تر بودن باند هدایت هسته مغناطیسی از باند هدایت اکسید روی، باعث انتقال حاملهای بار از اکسید روی به هسته مغناطیسی و دو مرتبه تركيب زوج الكترون- حفره مى شود و طول عمر الكترون- حفره توليد شده كاهش مى يابد. بنابراين با کاهش بیش از حد پوشش میانی سیلیس، بازده فوتوكاتاليستي اين كامپوزيت كاهش مييابد. افزايش بيش

از حد پوشش میانی سیلیس نیز منجر به کاهش مغناطیس اشباع و به تبع آن کاهش بازیابی راحت تر ذرات فوتوکاتالیستی می گردد[۲۲،۲۳]. ضخامت پوسته سیلیس به طور تقریبی ۲۵ نانومتر به دست آمد. غلظت TEOS، آب، الکل، دما و زمان انجام واکنش پنج عامل مهم در

کنترل ضخامت پوشش اعمالی میباشد[۲۰]. در تصویر TEM شکل ۵ (ب) پوشش ناز کی از اکسید روی مشاهده می شود که با شکل ۵ (الف) متفاوت است. ضخامت پوسته ZnO در حد چند نانومتر است.



شکل ۲ - تصاویر FESEM ذارت Fe₃O4 سنتز شده به روش احیای کربن



شكل۳- تصاوير FESEM الف) كامپوزيتهاي Fe₃O₄/SiO₂ و ب) كامپوزيتهاي Fe₃O₄/SiO₂/ZnO و ب



شـکل ۶ (الف و ب) به ترتیب الگوی تفرق اشـعه ی ایکس (XRD) پودر Fe₃O₄ سنتز شده و نانوساختارهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO را نشـان میدهد. با توجه به طیف پراش اشعه ایکس مشاهده میشود که ذرات Fe₃O₄ تهیه شده سـاختار مکعبی دارند و با طیف استاندارد با شماره کارت ۱۹-۰۶۲۹ تطابق دارد. پیکهای پراش مشـخص شـده با ([•]) در شـکل ۱ فاز Fe₃O₄ را نشـان میدهد. از

آنجا که فاز سیلیکا آمورف میباشد، انتظار میرفت پهنای پیکی برای فاز سیلیکای آمورف مشاهده نشود[۲۴]. پیکهای پراش مشخص شده با (⁰) در شکل ۱ فاز ZnO (شماره کارت ۱۱۳۶–۱۰) را نشان میدهد. همان گونه که مشاهده میشود، شدت پیکهای فاز ZnO ضعیف بوده است که با توجه به تصاویر TEM، مرتبط به پوششدهی با ضخامت چند نانو میباشد.



شكل ۵ -تصاوير TEM نانوساختارهای الف) Fe₃O₄/SiO₂ و ب) Fe₃O₄/SiO₂/ZnO با ساختار هسته/ پوسته/پوسته

www.SID.ir



شکل ۶ –الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) ذرات Fe₃O₄/SiO₂/ZnO سنتز شده و نانوساختارهای

جهت شناسایی بهتر کامپوزیت FTIR، کو FTIR پودر طیف FTIR آن تهیه شـد. شـکل ۷ طیف FTIR پودر Fe₃O₄/SiO₂/ZnO و Fe₃O₄/SiO₂/SiO₂ تهیه شـده را نشـان میدهد. در این طیف باندهای تهیه شـده را نشـان میدهد. در این طیف اندهای ۱۳۶۰ cm⁻¹ به ترتیب مدهای ارتعاشـی خمشـی و کشـشی H-O-H است و مرتبط به حضور آب

است. طیف باند ^۲- ۵۸۰ مدهای کششی Fe-O را نشان میدهد(شکل ۷- الف) [۲۰]. مدهای ارتعاشی کششی متقارن و کششیی نامتقارن Si-O-Si در ۸۰۰ cm⁻¹ و ۱۱۲۰ طاهر شده است (شکل ۷-ب). جذب باند Zn-O در طول موج ¹⁻۵۴۰ مشاهده می شود (شکل ۷- ج) [۲۵].



شكل ۷-طيفهای FTIR الف) پودر Fe₃O₄/SiO₂، ب) نانوساختارهای Fe₃O₄/SiO₂ و ج) Fe₃O₄/SiO₂

تصاوير تغييرات خواص مغناطيسي نمونههاي تهيه شده در میدان مغناطیسیی ۱۰ kOe تا ۱۰ kOe در دمای اتاق در شـکل ۸ آورده شده است. مشاهده می شود که با ایجاد پوشــشهای SiO₂ و ZnO بر روی ذرات Fe₃O₄ ، مغناطش اشباع كاهش يافته است كه پوشـشدهی پوسـتههای SiO₂ و ZnO را تایید می کند. شـکل ۹ روند کاهش خاصیت مغناطیسی اشباع (Ms) را برای یودر Fe₃O₄ سینتز شده و نانوسیاختارهای Fe₃O₄/SiO₂/ZnO و Fe₃O₄/SiO₂ مغناطیس اشــباع یودر Fe₃O₄ در اثر پوشــشدهیهای SiO₂ و ZnO صورت گرفته از SiO₂، به ترتیب به emu/g و ۴۸/۸ emu/g رسیده است. مقدار مغناطش اشباع یودر نهایی ۴۸/۸ emu/g به دست آمده است که جهت جداسازی مغناطیسی و بازیابی مجدد قابل قبول است. این خاصیت موجب می شود، این مواد در فرآيندهاي تصفيه آب با كمترين ألودگيهاي ثانويه قابل استفاده باشند. هوآنگ و همکارانش کامپوزیت مغناطیسی با پوشـش تیتانیا تهیه کردند. مغناطش اشـباع کامپوزیت فوتوکاتالیستی ۳۲ emu/g به دست آمد و بیان کردند این مقدار جهت جداسازی مغناطیسی مناسب است[۲۶].

Fe₃O₄/SiO₂/ZnO شکل ۱۰ اثر پودر فوتوکاتالیستی Fe₃O₄/SiO₂/ZnO بر روی تغییرات جذب متیلن نارنجی در بازههای زمانی را مشخص نشان میدهد. با بررسی تغییرات جذب در طول موج بیشینه (۴۶۵ نانومتر)، مقدار تخریب متیلن نارنجی با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$D(\%) = \left(\frac{A_o - A_t}{A_o}\right) \times 100 \tag{1}$$

که در آن D درصد تخریب و A_o و A_t جذب در زمانهای صفر و t میباشد. تخریب در طول موج ۴۶۵ نابومتر تحت تابش نور UV، در اثر افزودن پودر فوتوکاتالیستی Fe₃O₄/SiO₂/ZnO به محلول میتلن نارنجی (۱۰ میلیگرم بر لیتر) در مدت زمانهای ۱۰،۳۰ و ۲۰۱ دقیقه، به ترتیب ۱۷٪، ۴۹٪، ۵۴٪ و ۷۶٪ به دست آمد. بیشینه تخریب متیلن نارنجی ۷۰٪ و در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه تحت تابش نور UV به دست آمد. تخریب تدریجی متیلن نارنجی، حضور و پوشش دهی TOD را بر روی کامپوزیت Fe₃O₄/SiO تایید می کند. کامپوزیت Fe₃O₄/SiO تهیه شده توسط ونگ و همکارانش ۲/۵۶٪، رودامین B را در مدت زمان ۹۰ دقیقه تخریب کرد.



شکل ۸ –منحنی ویژگیهای مغناطیسی برای ذرات Fe3O4/SiO2 و نانوساختارهای Fe3O4/SiO2/ZnO و Fe3O4/SiO2 در دمای اتاق





نتيجهگيري

در این پژوهش کامپوزیت فوتوکاتالیستی در این پژوهش کامپوزیت فوتوکاتالیستی موفقیت تهیه شد. هسته مورد استفاده در این نانوساختار، ذرات چندضعلی منظم Fe₃O4 در نظر گرفته شد. لایه میانی سیلیس بدون استفاده از دما و سورفکتانت بر روی ذرات هسته پوششدهی شد و لایه فوتوکاتالیستی ZnO با استفاده از پیش ماده نیترات روی هیدراته به دست آمد. میزان مغناطیس اشباع هسته مغناطیسی غیر کروی

نسببت به نانوساختارهای Fe₃O₄/SiO₂ و Fe₃O₄/SiO₂/ZnO تهیه شده براساس نتایج تست VSM به ترتیب از Roun/g به ۸۰ emu/g و ۴۸/۸ emu/g این حال این مقدار از خاصیت مغناطیسی برای بازیابی مغناطیسی اکسید روی مناسب است و جداسازی راحت ذرات اکسید روی را فراهم می کند. میزان تخریب متیلن نارنجی برای کامپوزیت Fe₃O₄/SiO₂/ZnO تهیه شده ۷۰٪ به دست آمد



شکل ۱۰ -منحنیهای جذب محلول متیلن نارنجی (با غلظت اولیه ۱۰ میلیگرم بر لیتر) در زمانهای متفاوت، تحت تابش نور

References:

1- C. Berberidou, I. Pouliso, N.P Xekoukoulotakis, D. Mantavirinos, "Photocatalytic and sonophotocatalytic degradation of malachite green in aqueous solutions", Catalysis B: Environmental, 74, 63–72, 2007.

2- T. Sauer, G. Cesconeto Neto, H. J. José, "Kinetics of photocatalytic degradation of reactive dyes in a TiO_2 slurry reactor", Photochem. Photobiol, A., 149, 147–154, 2002.

3- B. Cui, H. Peng, H. Xia, X. Guo and H. Guo, "Magnetically recoverable core–shell nanocomposites γ -Fe₂O₃@SiO₂@TiO₂–Ag with enhanced photocatalytic activity and antibacterial activity", Separation and Purification Technology, 103, pp.251-257, 2013.

4- Y. Chi, Q. Yuan, Y. Li, L. Zhao, N. Li, X. Li, and W. Yan, "Magnetically separable Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂-Ag microspheres with well-designed nanostructure and enhanced photocatalytic activity", Journal of hazardous materials, 262, pp.404-411, 2013.

5- R. Y. Hong, S. Z. Zhang, G. Q. Di, H. Z. Li, Y. Zheng, J. Ding and D. G. Wei, "Preparation, characterization and application of Fe₃O₄/ZnO core/shell magnetic nanoparticles", Materials Research Bulletin, 43(8), pp.2457-2468, 2008.

6- A. Sáenz-Trevizo, P. Amézaga-Madrid, P. Pizá-Ruiz, W. Antúnez-Flores, C. Ornelas-Gutiérrez and M. Miki-Yoshida, "Efficient and durable ZnO core-shell structures for photocatalytic applications in aqueous media", Materials Science in Semiconductor Processing, 45, pp.57-68, 2016. 7- X. Feng, H. Guo, K. Patel, H. Zhou, and X. Lou, "High performance, recoverable Fe₃O₄ ZnO nanoparticles for enhanced photocatalytic degradation of phenol", Chemical Engineering Journal, 244, pp.327-334, 2014.

8- J. Wan, H. Li and K. Chen, "Synthesis and characterization of $Fe_3O_4@$ ZnO core-shell structured nanoparticles", Materials Chemistry and Physics, 114(1), pp.30-32, 2009.

9- W. Li, G. Wang, C. Chen, J. Liao and Z. Li, "Enhanced visible light photocatalytic activity of ZnO nanowires doped with Mn^{2+} and Co^{2+} ions", Nanomaterials, 7(1), p.20, 2017.

10- P. Boule, D. W. Bahnemann, P. K. J. Roberlsom, "The Handbook of environment chemistry, environmental photochemistry part II", part M, springerverlag, Berlin Heidelberg, Germany 2, 2005.

۱۱- ع. دوستی، ب. شایق بروجنی و ر. ابراهیمی کهریزسنگی، "اثر افزایش اکسید تنگستن بر خواص حفاظت فوتوکاتدی پوششهای تیتانیایی تهیه شده به روش سل- ژل"، مجله مواد نوین، جلد ۵، شماره ۳، ص ۱۳۹۴-۱۲۴، بهار ۱۳۹۴.

12- M. Salehi, H. Hashemipour, M. Mirzaee, "Experimental study of influencing factors and kinetics in catalytic removal of methylene blue with TiO₂ nanopowder", American journal of environmental engineering 2, 1-7, 2012.

13- J. A. Byrne, B. R. Eggins, N. M. D. Brown, B. McKinney, M. Rouse, "Immobilisation of TiO_2 powder for the treatment of polluted water", Environmental 17, 25-36, 1998.

14- X. Chen, C. Li, J. Wang, J. Li, X. Luan, Y. Li, R. Xu, B. Wang, "Investigation on

solar photocatalytic activity of TiO_2 loaded composite: TiO_2 /Eggshell, TiO_2 /Clamshell and TiO_2 /CaCO₃", Materials Letters 64 , 1437–1440, 2010.

15- A .Haarstrick , O. M. Kut , and E . Heinzle ,"TiO2-Assisted Degradation of Environmentally Relevant Organic Compounds in Wastewater Using a Novel Fluidized Bed Photoreactor", Environ. Sci. Technol, 30, 817-824, 1996.

16- R. Ghosh Chaudhuri, S. Paria, "Core/shell nanoparticles: classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications", Chem Rev 112, 2373-2433, 2012.

17- D. Beydoun and R. Amal," Novel Photocatalyst: Titania-Coated Magnetite. Activity and Photodissolution", J. Phys. Chem. B, 104, 4387-4396, 2000.

18- J. Wanga, J. Yangc, X. Li, B. Wei, D. Wanga, H. Songa, H. Zhaic, X. Li, "Synthesis of Fe₃O₄@SiO₂@ZnO–Ag core–shell microspheres for the repeated photocatalytic degradation of rhodamine B under UV irradiation", Molecular Catalysis A: Chemical 406 97–105, 2015.

19- J-W. Lee, K. Hong, W-S. Kim, J. Kim, "Effect of HPC concentration and ultrasonic dispersion on the morphology of titania-coated silica particles", Journal of Industrial and Engineering Chemistry 11, 609-614, 2005.

20- J. Zou, Y. G. Peng, and Y. Y. Tang, "A facile bi-phase synthesis of $Fe_3O_4@SiO_2$

core-shell nanoparticles with tunable film thicknesses", RSC Advances, 4(19), pp.9693-9700, 2014.

21- Y. Deng, D. Qi, C. Deng, X. Zhang and D. Zhao, "Superparamagnetic highmagnetization microspheres with an $Fe_3O_4@~SiO_2$ core and perpendicularly aligned mesoporous SiO_2 shell for removal of microcystins", Journal of the American Chemical Society, 130(1), pp.28-29, 2008.

22-Z. Wang, L. Shen, S. Zhu, "Synthesis of Core-Shell@@ Microspheres and Their Application as Recyclable Photocatalysts", Int ernational Journal of Photoenergy, 2012.

23- D. Beydoun, R. Amal, G. Low and S. McEvoy, "Occurrence and prevention of photodissolution at the phase junction of magnetite and titanium dioxide", Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 180(1), pp.193-200, 2002.

24- J. Li, L. Gao, Q. Zhang, R. Feng, H. Xu, J. Wang, D. Sun. and C. Xue. "Photocatalytic Property of Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ Core-Shell Nanoparticle with Different Functional Laver Thicknesses", 10.1155/986809, 2014.

25- H.Osman, Z.Su, X. Ma, S.Liu, X.Liu, D. Abduwayit, "Synthesis of ZnO/C nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic activity", Ceram. Int., 42, 10237–10241, 2016.

26- X. Huang, G. Wang, M. Yang, W. Guo, H. Gao, "Synthesis of polyaniline-modified Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ composite microspheres and their photocatalytic application", Materials Letters 65, 2887-2890, 2011.