



سنتز نانوچندسازه مغناطیسی Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite به روش سبز با کاربرد فوتوکاتالیستی

بهالالدین رشیدزاده، صغرا فتحعلی پور*، غزل رزمیان

دانشکده شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران

چکیده: فوتوکاتالیست Ag/ZnO مغناطیسی بر پایه بنتونیت (Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite) به روش سبز سنتز و با فن‌های متفاوت XRD، FT-IR، SEM-EDAX و VSM شناسایی شد. برای سنتز این نانوچندسازه، نخست نانوذرات ZnO در بستر بنتونیت به روش سبز در حضور عصاره مرزن‌جوش سنتز شد و سپس نانوذرات Fe₃O₄ و Ag در بستر ZnO/Bentonite، تهیه شدند. نانوچندسازه تهیه شده ویژگی فوتوکاتالیستی بالایی در تجزیه رنگ‌های متیلن بلو (MB) و اریوکروم بلک تی (EBT) در حضور نور خورشید از خود نشان داد و سینتیک تجزیه رنگ‌های MB و EBT از مدل لانگمور-هینشلوود تبعیت کرد. از طرف دیگر تجزیه رنگ‌ها و کاهش وزن نانوچندسازه پس از پنج بار آزمایش خیلی پایین بود و این نشان دهنده این است که نانوچندسازه مغناطیسی سنتز شده دارای پایداری بالا بوده و به راحتی بازیابی می‌شود.

واژگان کلیدی: بنتونیت، اریوکروم بلک تی، فوتوکاتالیست، متیلن بلو، ZnO.

* s.fathalipourchem@pnu.ac.ir

رویکرد جدید و سودمندی در تخریب رنگ‌های آلی به حساب می‌آید [۳ و ۴]. AOP براساس تولید در جای رادیکال‌های هیدروکسیل بسیار واکنش‌پذیر (OH[•]) است [۴]. در دهه گذشته تلاش‌های بسیاری برای افزایش میزان تولید رادیکال‌های هیدروکسیل صورت گرفته است تا بازده و کارایی AOP‌ها را بهبود بخشند. در روش AOP، استفاده از فوتوکاتالیست‌های ناهمگن بر پایه نیم‌هادی‌ها به‌عنوان یک روش مؤثر برای حذف آلودگی‌های آلی، مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۳ تا ۵]. پژوهشگران از نیم‌هادی‌های متفاوت (مانند ZnO، SnO₂، WO₂ و غیره) به‌عنوان فوتوکاتالیست خوب برای تصفیه فاضلاب‌ها بهره گرفته‌اند [۳، ۵ و ۶]. مطالعه‌ها نشان داده است که در میان این نیم‌هادی‌ها، TiO₂ و ZnO نسبت به سایر اکسیدهای فلزی عملکرد بالایی برای تخریب آلاینده‌های آبی را

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، با افزایش سرعت در حال رشد صنایع و جمعیت، تخلیه فاضلاب‌های حاوی مواد سمی، زباله‌های جامد یا گازهای دودکش کارخانه‌ها به‌عنوان یک مشکل جدی برای توسعه پایدار جامعه بشر شناخته شده است. فاضلاب‌های حاوی رنگ‌ها در صنایع متفاوت مانند نساجی، کاغذ، چرم، داروسازی و فرایند تولید مواد غذایی به‌عنوان عامل اصلی از بین رفتن سلامت محیط‌زیست، سمیت، سرطان و غیره هستند [۱ تا ۳]. از این‌رو، جلوگیری از تخلیه رنگ‌ها در فاضلاب‌ها و محیط‌زیست امری ضروری است. حذف رنگ‌ها با فن‌های متفاوتی مثل انعقاد، لخته‌سازی، جذب، ترسیب شیمیایی، فرایند جداسازی با غشا و حذف بیولوژیکی از یک طرف گران‌قیمت و غیرمؤثر بوده و از طرف دیگر آلودگی‌های آلی را به‌طور کامل از بین نمی‌برند [۱ و ۳]. در سال‌های اخیر، روش فرایند اکسیداسیون پیشرفته (AOP)

دارند [۳ و ۷]. برخلاف انعطاف‌پذیری ZnO برای عملیات فتوکاتالیستی، استفاده از ZnO خالص دارای عیب‌هایی مثل جذب کم نور خورشید یا مری، تجمع نانوذرات در حین فعالیت فتوکاتالیستی، سرعت بالای نوترکیبی بارهای ایجادشده در سطح ZnO و جداسازی سخت بعد از اتمام کار است که این عامل‌ها به شدت فعالیت این نانوذره را محدود می‌کند. بنابراین بهبود فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات نیم‌هادی ZnO امری ضروری است [۷ و ۸]. در سال‌های اخیر، اصلاح و بهبود فعالیت فتوکاتالیستی ZnO با استفاده از نانوذرات نجیب (مانند Ag و...) پایدار کردن نانوذرات در سطح نانورس و همچنین مغناطیسی کردن این نانوذرات با نانوذرات آهن برای جداسازی آسان صورت گرفته است [۸ تا ۱۱]. سنتز نانوذرات ZnO به روش‌های متفاوت بیولوژیکی، هیدروترمال و غیره انجام گرفته است که روش‌های فیزیکی و شیمیایی به دلیل استفاده از مواد شیمیایی مضر (به‌عنوان احیاکننده و پایدارکننده)، هزینه بالای سنتز، انجام واکنش تحت شرایط ویژه (دما و فشار) و خطرهای ایجادشده برای محیط‌زیست عیب‌هایی دارند [۱۲]. حال آن‌که روش‌های بیولوژیکی و سبز به دلیل سادگی روش، هزینه‌ی پایین، سازگاری با محیط‌زیست مورد توجه زیادی هستند. در این روش‌ها، یون‌های فلزی با استفاده از عصاره‌های گیاهی و بدون نیاز به پایدارکننده و احیاکننده در محلول آبی و در یک شرایط ساده به نانوذرات فلزی تبدیل می‌شوند [۱۳].

۲- بخش تجربی

۲-۱ مواد اولیه

گیاه مرزن جوش، از بازار شهرستان سقز خریداری شد. نیترا ت نقره ($AgNO_3$)، کلرید آهن (III) ($FeCl_3$)، کلرید آهن (II) ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$) و کلرید روی ($ZnCl_2$) از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. آمونیاک، خاک بنتونیت از شرکت کیمیا تهران خریداری شدند. برای بررسی گروه‌های عاملی و شناسایی ترکیب‌های موجود در نمونه‌ها از فن FT-IR مدل دستگاه AVATAR ساخت کشور آمریکا- شرکت Thermo، استفاده شد. برای بررسی و شناسایی مواد و تعیین ساختار بلوری نانوذرات از فن XRD، مدل دستگاه PW1730، ساخت کشور هلند- شرکت PHILIPS، استفاده شد. بررسی ویژگی‌های سطح و ریخت‌شناسی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی FE-SEM MIRA (TESCAN I)، ساخت کشور چک مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های مغناطیسی از دستگاه مگنومتر VSM، ساخت کشور ایران، از شرکت مغناطیس دقیق کویر کاشان، استفاده شد.

۲-۲ سنتز نانوذرات $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$

۲-۲-۱- تهیه عصاره مرزن جوش

نخست گیاه مرزن جوش با آب مقطر به خوبی شست‌وشو داده شد. در دمای اتاق، خشک و سپس با قیچی و هاون به خوبی پودر شد. ۱۰ گرم پودر تهیه‌شده از گیاه مرزن جوش در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر ریخته شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای جوش روی هیتر قرار گرفت. پس از سرد شدن، صاف‌شده و عصاره آبی

دارند [۳ و ۷]. برخلاف انعطاف‌پذیری ZnO برای عملیات فتوکاتالیستی، استفاده از ZnO خالص دارای عیب‌هایی مثل جذب کم نور خورشید یا مری، تجمع نانوذرات در حین فعالیت فتوکاتالیستی، سرعت بالای نوترکیبی بارهای ایجادشده در سطح ZnO و جداسازی سخت بعد از اتمام کار است که این عامل‌ها به شدت فعالیت این نانوذره را محدود می‌کند. بنابراین بهبود فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات نیم‌هادی ZnO امری ضروری است [۷ و ۸]. در سال‌های اخیر، اصلاح و بهبود فعالیت فتوکاتالیستی ZnO با استفاده از نانوذرات نجیب (مانند Ag و...) پایدار کردن نانوذرات در سطح نانورس و همچنین مغناطیسی کردن این نانوذرات با نانوذرات آهن برای جداسازی آسان صورت گرفته است [۸ تا ۱۱]. سنتز نانوذرات ZnO به روش‌های متفاوت بیولوژیکی، هیدروترمال و غیره انجام گرفته است که روش‌های فیزیکی و شیمیایی به دلیل استفاده از مواد شیمیایی مضر (به‌عنوان احیاکننده و پایدارکننده)، هزینه بالای سنتز، انجام واکنش تحت شرایط ویژه (دما و فشار) و خطرهای ایجادشده برای محیط‌زیست عیب‌هایی دارند [۱۲]. حال آن‌که روش‌های بیولوژیکی و سبز به دلیل سادگی روش، هزینه‌ی پایین، سازگاری با محیط‌زیست مورد توجه زیادی هستند. در این روش‌ها، یون‌های فلزی با استفاده از عصاره‌های گیاهی و بدون نیاز به پایدارکننده و احیاکننده در محلول آبی و در یک شرایط ساده به نانوذرات فلزی تبدیل می‌شوند [۱۳].

مرزن جوش گیاهی از تیره نعناعیان است و با داشتن ترکیب‌های اصلی کارواکرول و تایمول می‌تواند به‌عنوان پایدارکننده و احیاکننده بیولوژیکی در سنتز نانوذرات فلزی استفاده شود [۱۴]. از این‌رو، با توجه به مطالب گفته‌شده، دوپه کردن نانوذرات ZnO با نانوذرات Ag و سپس پایدار کردن روی نانورس بنتونیت مغناطیسی، می‌تواند نانوذراتی با توانایی جذب نور خورشید و همچنین جداسازی آسان از محلول‌های آبی را ایجاد کند. در این کار پژوهشی، نانوذرات $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ به روش سبز در حضور عصاره مرزن جوش سنتز شده و سپس برای تخریب رنگ‌های آلی (به‌ویژه رنگ‌های آنیونی و کاتیونی) از محلول‌های آبی در حضور نور خورشید استفاده شد. نانوذرات Fe_3O_4 بر روی نانوذرات $ZnO/Bentonite$ سنتز شده به روش سبز سنتز شد. ساختار نانوذرات به‌دست آمده با فن‌های متفاوتی از جمله میکروسکوپ

آزمایشگاه هم‌زده شد. جامد به‌دست آمده تا رسیدن pH به ۷ یا ۸ با آب شست‌وشو شده و در خلاء خشک شد. به‌منظور مقایسه نانوذرات نقره، ZnO، Fe₃O₄، Ag/ZnO و Ag/Fe₃O₄/ZnO بدون حضور بنتونیت نیز سنتز و با نانوچندسازه سنتز شده در حضور بنتولیت مقایسه شدند.

۲-۳-۲- بررسی فعالیت فتوکاتالیستی نانوچندسازه در تخریب رنگ‌ها

برای بررسی فعالیت فتوکاتالیستی نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite، مقدار ۲۵ میلی‌لیتر از هر کدام از محلول‌های رنگی MB و EBT با غلظت‌های (۱۰، ۲۰ و ۳۰ ppm) به ۰/۲۵ گرم از نانوچندسازه افزوده‌شده، هم‌زده شده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی نگه‌داشته شدند تا فرایند جذب و واجذب به تعادل برسد و درنهایت نمونه‌ها در معرض نور خورشید قرار گرفتند. فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات ZnO Ag/ZnO و Ag/Fe₃O₄/ZnO نیز مورد مطالعه قرار گرفتند تا اثر حضور نانوذرات نقره و آهن و همچنین، بنتونیت در فعالیت کاتالیستی نانوذرات ZnO مورد بررسی قرار گیرد. برای تخریب فتوکاتالیستی رنگ‌ها چندین پارامتر مهم مانند اثر غلظت، اثر pH، اثر زمان، اثر مقدار و بازده و بازیابی فتوکاتالیست‌ها مورد بررسی قرار گرفت. میزان درصد تخریب فتوکاتالیستی، از معادله ۱ و سینتیک تخریب رنگ‌ها از معادله ۲ محاسبه شد:

$$D\% = 100 * [A_0 - A_t] / A_0 \quad (1)$$

به‌طوری‌که A₀ جذب تعادلی در ۶۶۴ و ۵۲۶ نانومتر پس از جذب و واجذب و A_t جذب در ۶۶۴ و ۵۲۶ نانومتر پس از زمان t (min) است.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right) = Kt \quad (2)$$

C₀ (mol L⁻¹) غلظت اولیه رنگ، C_t (mol L⁻¹) غلظت رنگ در زمان t، k (min⁻¹) ثابت سرعت واکنش فتوکاتالیستی و t (min) زمان نوردهی است. معادله ۲، معادله لانگمیر-هینشلوود نام دارد که در این‌جا از غلظت‌های ppm به‌جای غلظت مولار استفاده می‌کنیم.

به‌دست آمده برای آزمایش‌های بعدی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۲-۲-۲ سنتز نانوذرات ZnO/Bentonite

برای تهیه نانوذرات ZnO/Bentonite، نخست ۱ گرم بنتونیت در ۴۰ میلی‌لیتر عصاره مرزن‌جوش دیسپرس شده و سپس با ۱۲۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۲ مولار ZnCl₂ با دور ۵۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شد. pH مخلوط واکنش با محلول آمونیاک در ۹ تنظیم‌شده و سپس در دمای بین ۷۰ الی ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴ ساعت هم‌زده شد. مخلوط سفیدرنگ سانتریفیوژ شد و جامد به‌دست آمده با آب تا رسیدن pH به ۸ شست‌وشو داده شد. ذرات به‌دست آمده در دمای محیط خشک و در ظرف نمونه کدر نگهداری شد.

۲-۳-۲ سنتز نانوچندسازه Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

نخست ۰/۵ گرم از نانوذرات ZnO/Bentonite در ۹۰ میلی‌لیتر محلول عصاره مرزن‌جوش (۳۰ میلی‌لیتر عصاره و ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه و سپس ۱۰ دقیقه با امواج فراصوت دیسپرس شد. دمای مخلوط به‌دست آمده روی ۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم‌شده و سپس تحت گاز آرگون، مقدار ۳/۲ گرم FeCl₃ و ۲ گرم FeCl₂•4H₂O به مخلوط واکنش افزوده و درنهایت قطره‌قطره آمونیاک تا رسیدن pH به ۱۱ افزوده و به‌مدت ۳ ساعت هم‌زده شد. نانوچندسازه به‌دست آمده توسط آهن‌ربا از محیط آبی جداشده، با آب مقطر تا رسیدن pH به ۸ شست‌وشو و درنهایت تحت خلاء خشک شد.

۲-۴-۲ سنتز نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

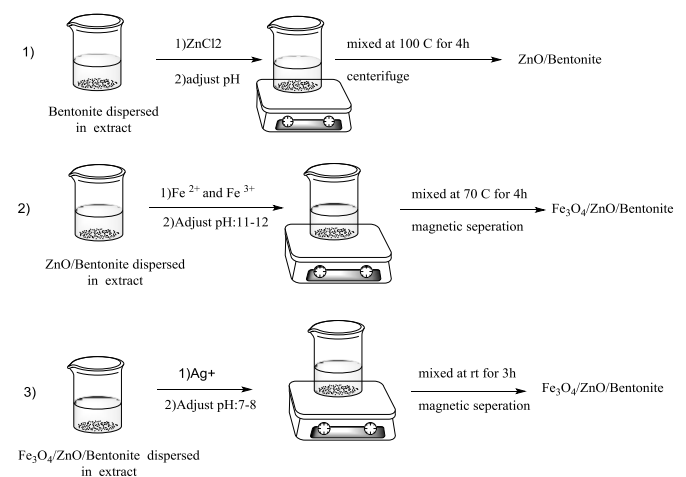
مقدار ۱ گرم از Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در ۱۶۰ میلی‌لیتر محلول عصاره مرزن‌جوش (۴۰ میلی‌لیتر عصاره مرزن‌جوش و ۱۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه و سپس ۱۰ دقیقه با امواج فراصوت دیسپرس شد. دمای مخلوط به‌دست آمده روی ۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم‌شده و سپس قطره‌قطره محلول AgNO₃ (۵ میلی‌مولار) افزوده و به‌مدت ۲۰ دقیقه هم‌زده شده و درنهایت به مدت ۴ ساعت در دمای

۳- نتیجه‌ها و بحث

۳-۱- سنتز و شناسایی نانوچندسازه

Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite به روش بیولوژیکی و سبز که یکی از روش‌های ساده و ارزان برای سنتز و پایدار کردن نانوذرات است، سنتز و مورد شناسایی قرار گرفت. استفاده از روش‌های سنتز پایدارتر و سبزتر برای تولید نانوذرات فلزی مزایای بسیاری از منظر شیمی سبز، از جمله انتخاب یک محیط آبی، مواد کاهش‌دهنده زیست‌محیطی و حلال‌های غیرسمی را دارد. از طرف دیگر، با دوپه کردن نانوذرات Ag و Fe₃O₄ روی نانوذرات ZnO و همچنین، پایدار کردن روی نانورس بنتونیت، امکان توانایی جذب نور در گستره نور خورشید و همچنین، جداسازی از محلول‌های آبی با میدان خارجی وجود دارد. نانوچندسازه به‌دست آمده با فن‌های FT-IR, XRD, FE-SEM, EDX و VSM مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی ویژگی‌های فتوکاتالیستی نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite، از رنگ‌های متیلن بلو (رنگ کاتیونی-آزو) و اریوکروم بلاک تی (رنگ آنیونی-آزو) به‌عنوان مدل برای تخریب فتوکاتالیستی استفاده شد. شکل ۱ شمایی از سنتز نانوفتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite را نشان می‌دهد.

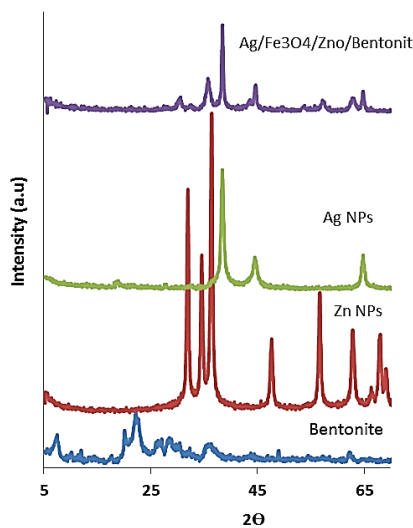


شکل ۱: سنتز نانوفتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

طیف FT-IR مربوط به بنتونیت و نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در شکل ۲ نشان داده شده است. برای مقایسه، طیف FT-IR مربوط به عصاره گیاه مرزن جوش و نانوذرات ZnO و Ag تهیه شده در حضور مرزن جوش نیز در

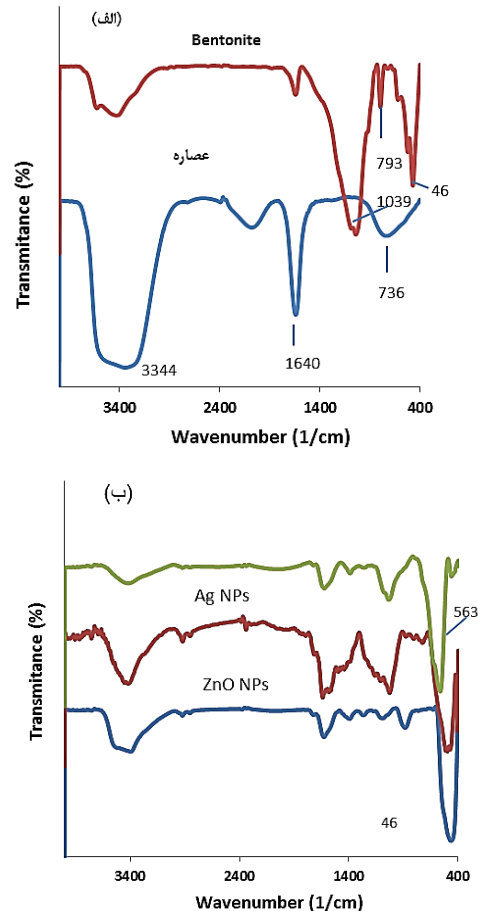
شکل ۲ آورده شده‌اند. در طیف FT-IR مربوط به بنتونیت، حضور پیک‌های موجود در ۱۰۳۹، ۵۲۲ و ۴۶۹ cm⁻¹ مربوط به ارتعاش‌های خمشی Al-O-Si، Al-Al-OH (جایی که آلومینیم یک کاتیون هشت‌وجهی است) و Si-O-Si ساختار بنتونیت را ثابت می‌کند [۱۵]. پیک‌های ظاهر شده دیگر در ناحیه ۳۰۰۰ تا ۳۸۰۰ cm⁻¹ نشان‌دهنده ارتعاش‌های کششی OH-های کئوردینه شده به کاتیون‌های Al³⁺ است [۱۵]. پیک‌های موجود در ۱۶۴۲ و ۷۹۳ cm⁻¹ مربوط به ارتعاش‌های خمشی OH-های هیدراته شده و ارتعاشات خمشی OH-های Al-Mg-OH است [۱۵]. در طیف FT-IR مربوط به عصار مرزن جوش، پیک ظاهر شده در ۳۳۴۴ cm⁻¹ مربوط به باند کششی گروه‌های O-H کربوکسیلیک اسید و فنول‌ها است و پهن‌شدگی این پیک می‌تواند به حضور باندهای NH و پیوندهای هیدروژنی موجود در مولکول نیز مربوط شود [۱۶]. پیک‌های موجود دیگر در ۲۰۷۸، ۱۶۴۰ و ۷۳۶ cm⁻¹ مربوط به باندهای کششی C-H آلکین‌ها، C-H آلکن‌ها و ارتعاش‌های خمشی C-H حلقه‌های آروماتیک باشد [۱۶]. تمامی پیک‌های عصاره مرزن جوش و بنتونیت در طیف مربوط به نانوذرات ZnO و Ag سنتز شده بیولوژیکی ظاهر شده و سنتز بیولوژیکی این نانوذرات را به اثبات می‌رساند. در طیف FT-IR مربوط به ZnO، پیک ظاهر شده در ۴۶۴ cm⁻¹ می‌تواند مربوط به باند کششی نانوذرات ZnO باشد که با Si-O-Si هم‌پوشانی دارد [۱۷]. از طرف دیگر در طیف FT-IR مربوط به ZnO، پیک‌های ظاهر شده در ۱۶۳۵ و ۱۳۹۴ cm⁻¹ مربوط به ارتعاش‌های نامتقارن و متقارن کربوکسیلات روی است [۱۷]. در طیف FT-IR نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite تمام پیک‌های مشخصه مهم عصاره، نانوذرات Ag، ZnO، و بنتونیت با کمی شیفت ظاهر شده‌اند. حضور پیک موجود در ۵۶۳ cm⁻¹ می‌تواند به حضور پیوند Fe-O در Fe₃O₄ نیز مربوط شود که این پیک با Si-O-Al موجود در بنتونیت هم‌پوشانی دارد. اگرچه فقط از روی FT-IR نمی‌توان به‌خوبی وجود نانوذرات را استدلال کرد و نیاز به فن‌های بیشتر است.

پیک‌های نانوذرات Ag، Fe₃O₄ و ZnO مشاهده می‌شود که این می‌تواند به دلیل قرارگیری نانوذرات در سطح نانورس مربوط شود.



شکل ۳: طیف XRD مربوط به Bentonite، نانوذرات ZnO، Ag و نانوجندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

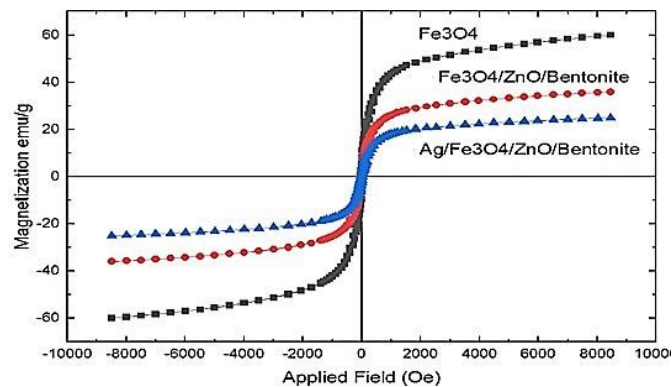
به منظور بررسی ریخت‌شناسی سطح و تعیین عنصرهای موجود در سطح، از فن‌های EDAX-SEM استفاده شد. شکل ۴ تصویرهای SEM با مقیاس ۵۰۰ nm مربوط به نانورس بنتونیت، نانوجندسازه‌های ZnO/Bentonite، Fe₃O₄/ZnO/Bentonite و Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite را نشان می‌دهد. با توجه به تصویرهای SEM، نانورس بنتونیت دارای لایه‌های رو هم قرارگرفته‌ای است که با توجه به طیف‌های XRD و FT-IR این لایه‌ها، لایه‌های سیلیکاتی با قطر نانومتری هستند که نقش اصلی در پایدار کردن نانوذرات و افزایش سطح برای واکنش‌های شیمیایی را دارند. تصویر SEM مربوط به نانوجندسازه ZnO/Bentonite به صورت نانوذرات کروی اسفنجی در روی سطح‌های بنتونیت مشاهده می‌شود که هیچ‌گونه تجمع در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. همان‌طور که در تصویر SEM مربوط به Fe₃O₄/ZnO/Bentonite نمایان است در لابه‌لای نانوذرات دسته‌گل مانند ZnO، ذرات دیگری قرارگرفته‌اند که همان نانوذرات Fe₃O₄ است. در تصویر SEM مربوط به نانوجندسازه Fe₃O₄/ZnO/Bentonite هم مانند Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite ذراتی با اندازه‌های متفاوت بین و لابه‌لای نانوذرات دسته‌گل مانند ZnO، بر روی سطح نانورس پایدار شده‌اند. بنابر طیف



شکل ۲: طیف FT-IR مربوط به (الف) عصاره مرزن جوش و بنتونیت، (ب) نانوذرات ZnO، Ag و نانوجندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite

طیف XRD نانورس Bentonite، نانوذرات ZnO، Ag و Fe₃O₄ و نانوجندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در ناحیه ۵-۸۰ = ۲θ در شکل ۳ آورده شده است. پیک‌های مشخصه Bentonite در ۲θ = ۶°، ۲۰°، ۳۵°، ظاهر شده است [۱۵ و ۱۸]. در طیف XRD مربوط به نانوذرات ZnO، پیک‌های ظاهر شده در ۲θ = ۳۳°، ۳۵°، ۳۶°، ۴۸°، ۵۶°، ۶۳°، ۶۶°، ۶۷°، ۶۸° مربوط به ساختار هگزاگونالی نانوذرات ZnO است [۱۸]. در طیف XRD مربوط به نانوذرات Ag، پیک‌های ظاهر شده در ۲θ = ۳۸°، ۶۵° بیانگر ساختار مکعب مرکز وجوه پر نانوذرات نقره است [۱۸]. در طیف XRD مربوط به نانوذرات Fe₃O₄ پیک‌های موجود در ۲θ = ۳۰°، ۳۶°، ۴۳°، ۵۴°، ۵۷°، ۶۶°، ۶۷°، ۶۸° نشان‌دهنده ساختار مکعبی نانوذرات Fe₃O₄ است [۱۱]. همان‌طور که در طیف XRD نانوجندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite مشاهده می‌شود پیک‌های نانورس مشاهده نمی‌شود و تنها

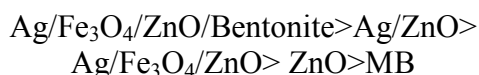
تغییرات ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Bentonite}$ و $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ و $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ با تغییر میدان مغناطیسی اعمال شده در دمای اتاق در شکل ۵ آورده شده است. قرارگرفتن نانوذرات ZnO و Ag در سطح نانوذرات $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Bentonite}$ باعث کاهش ویژگی‌های مغناطیسی اشباع از $\pm 60 \text{ emu g}^{-1}$ به ± 36 و $\pm 25 \text{ emu g}^{-1}$ شده است. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده، اشباعیت مغناطیسی نانوذرات $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ آن‌چنان مناسب است که می‌توان به راحتی با میدان خارجی آن را از محیط‌های آبی جدا کرد.



شکل ۵-۳-۵ VSM مربوط به $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ ، $\text{Bentonite}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ و $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$

۳-۲- بررسی تخریب رنگ‌ها توسط نانوذرات

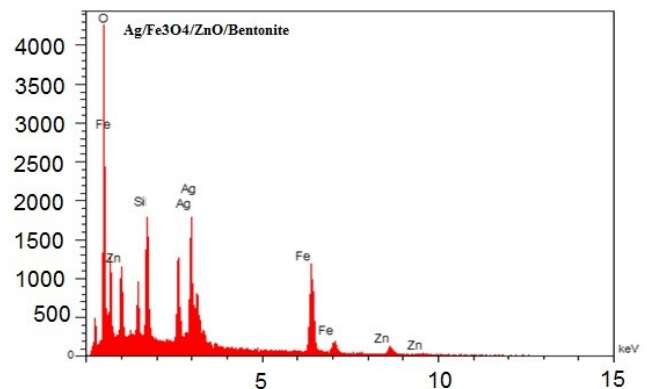
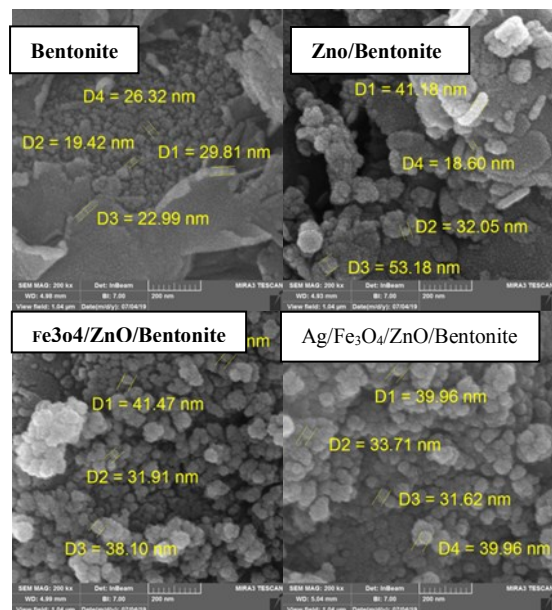
به منظور بررسی سرعت و زمان تخریب رنگ‌ها، نخست سینتیک تخریب رنگ‌ها با استفاده از معادله معروف درجه اول لانگمیر-هینشلوود مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۶-الف و ۶-ب به ترتیب سینتیک تخریب رنگ‌های MB و EBT (10 ppm) توسط نمونه‌های ZnO ، Ag/ZnO ، $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ و $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ در حضور نور خورشید را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۶-الف و ۶-ب (میزان تخریب رنگ MB و EBT تحت نور خورشید به صورت زیر است:



نتیجه‌های به دست آمده، پژوهش‌های پیشین را تأیید می‌کند. افزایش نانوذرات فلزی به نانوذرات ZnO به دلیل کاهش باند گپ باعث افزایش تخریب فتوکاتالیستی شده و برعکس حضور نانوذرات Fe_3O_4 باعث کاهش این اثر می‌شود، ولی با توجه به

XRD و FT-IR، نانوذرات Fe_3O_4 و Ag هستند که با نانوذرات ZnO دوپه شده و بر روی سطح پایدار شده‌اند.

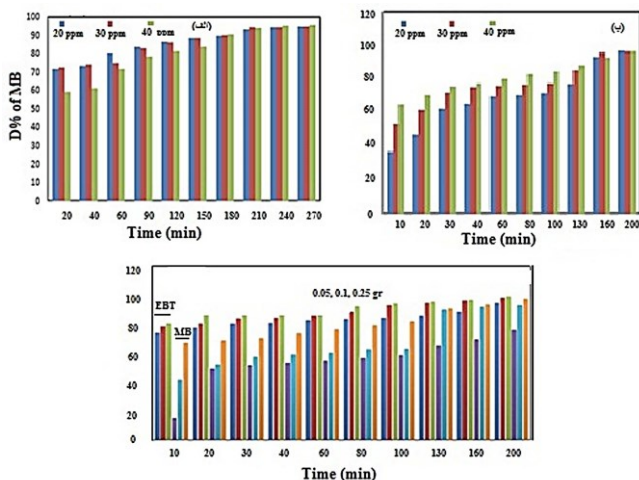
آنالیز عنصری EDX نانوذرات $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار نمایان است پیک مشخصه‌های عناصر اکسیژن، آهن، سیلیس، روی و نقره با شدت مناسب، متناظر با انرژی لایه‌های الکترونی ظاهر شده‌اند. وجود عنصرهای اکسیژن فراوان و سیلیس، وجود لایه‌های نانو رس، وجود اکسیژن فراوان و روی و همچنین آهن، حضور نانوذرات ZnO و Fe_3O_4 روی لایه‌های سیلیکاتی نانورس را نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تمامی نانوذرات در حضور نانورس (به عنوان حمایت کننده جامدی) به خوبی پایدار شده‌اند.



شکل ۴: تصویرهای FE-SEM نانورس $\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ ، $\text{Bentonite}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ و $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$ و نمودار EDX مربوط به نانوذرات $\text{Ag}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{Bentonite}$

به طور خلاصه، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که نانوچندسازه $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ بالاترین فعالیت فوتوکاتالیستی زیر نور خورشید را در بین تمام نمونه‌ها نشان داده است. بهبود فعالیت فوتوکاتالیستی فوق به جذب طول موج در موج‌های بلندتر (یا به اصلاح شیب جذب به طرف منطقه نور قرمز شیفت یافته است)، جذب نور مرئی، انتقال بهینه الکترون، تولید رادیکال‌های سوپراکسید و هیدروکسیل و جلوگیری از سرعت نوترکیبی حفره-الکترون نسبت داده می‌شود.

شکل ۷ نمودار میله‌ای فعالیت فوتوکاتالیستی نانوچندسازه $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ppm زیر نور خورشید برای رنگ MB و EBT را نشان می‌دهند. مطابق شکل ۷-الف، نانوفتوکاتالیست در هر سه غلظت با گذشت زمان بازدهی خوبی را نشان داده است. ولی در مرحله‌های اولیه در غلظت ۴۰ نسبت به دو غلظت دیگر مقدار کمی از رنگ را تخریب کرده است زیرا در مرحله‌های اولیه به دلیل غلظت بالای رنگ، نور کافی به فتوکاتالیست نرسیده که در نتیجه آن مقدار کمی بار سطحی ایجاد شده و به دنبال آن رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید کمی تشکیل شده است. در نهایت با گذشت زمان از غلظت رنگ کم شده و فعالیت فوتوکاتالیستی افزایش پیدا کرده است. به طوری که حدود ۹۶ درصد رنگ MB در زمان ۲۷۰ دقیقه تحت فعالیت فوتوکاتالیست $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ تخریب شده است.

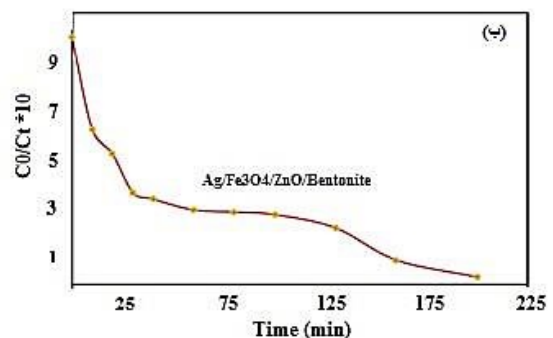
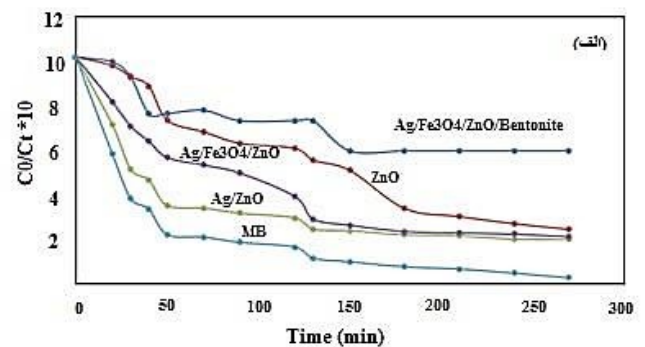


شکل ۷: نمودار میله‌ای فعالیت فوتوکاتالیستی نانوچندسازه

$Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ تحت نور خورشید برای (الف) MB، (ب) EBT و (ج) اثر دوز فوتوکاتالیست $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ بر تخریب رنگ‌های EBT و MB با غلظت ۳۰ ppm

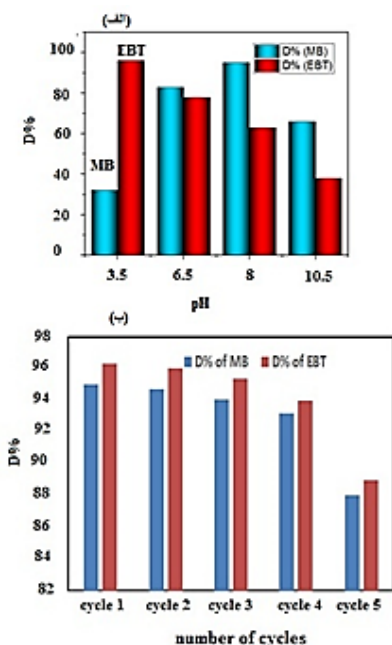
مطلب‌های اشاره شده، نانوذرات مغناطیسی باعث جداسازی نانوذرات از فاز آبی می‌شود. بنتولیت نیز به دلیل ساختار سیلیکاتی و گروه‌های عاملی، جذب سطحی مولکول‌های رنگ را با سرعت بالاتری انجام می‌دهد. این عامل‌ها دست‌به‌دست هم داده تا نانوچندسازه $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ بتواند پاسخ‌گویی خوبی به نور خورشید و فوتوکاتالیست عالی در زمینه حذف رنگ‌های مثبت و منفی از محلول‌های آبی باشد. همچنین، زمانی که مولکول‌های اکسیژن و آب در معرض بارهای سطحی و حفره الکترونی قرار می‌گیرند به رادیکال‌های سوپر اکسید و هیدروکسیل تبدیل می‌شوند. حضور جاذب بنتولیت، مولکول‌های رنگ را با سرعت بالاتری در معرض این رادیکال‌ها قرار می‌دهد در نتیجه آن فعالیت فوتوکاتالیستی افزایش می‌یابد.

شکل ۶-ب نیز مانند شکل ۶-الف است با این تفاوت که شکل ۶-ب سینتیک تخریب رنگ منفی اریوکروم بلاک تی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، نانوچندسازه $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ به خوبی رنگ‌های ساختار منفی را از محیط‌های آبی حذف و تخریب کرده است. بنابراین به منظور سهولت آزمایش‌های بعدی فقط نانوچندسازه $Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$ برای بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی انتخاب شد.



شکل ۶: تخریب فوتوکاتالیستی MB (الف) و EBT (ب) تحت نور خورشید برای $ZnO, Ag/Fe_3O_4/ZnO, Ag/ZnO, Ag/Fe_3O_4/ZnO/Bentonite$

سنتز شد. زیرا به راحتی می‌توان با میدان خارجی از محلول‌های آبی جدا کرد. به منظور بررسی پایداری فتوکاتالیست‌ها، آزمایش بازیافت کاتالیست انجام شد و نتیجه برای ۵ چرخه پیاپی در شکل ۸-ب نشان داده شده است. برای هر چرخه، فتوکاتالیست برای از بین بردن EBT و MB (۳۰ ppm و زمان ۱۳۰ دقیقه)، از محلول تازه در شرایط مشابه پس از خارج ساختن فتوکاتالیست مورد استفاده دوباره قرار گرفت. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite تا ۴ چرخه پیاپی حدود ۹۵٪ غلظت‌های اولیه رنگ‌های EBT و MB را از بین برده است. مشاهده شده است که فعالیت کاتالیستی کاتالیست بازیافتی، به طور قابل توجهی تغییر نکرده است، و نشان می‌دهد که نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در تخریب زیر نور خورشید MB و EBT بسیار پایدار است.



شکل ۸: (الف) اثر pH بر تجزیه‌ی فتوکاتالیستی رنگ‌های EBT و MB با فتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite با غلظت ۲۰ ppm و زمان ۲۲۰ دقیقه و (ب) نمودار تکرار چرخه‌های تخریب رنگ‌های EBT و MB توسط فتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite با غلظت ۳۰ ppm در زمان ۱۳۰ دقیقه

مکانیسم تخریب رنگ توسط Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite می‌توان به این صورت توجیه کرد: در نانوچندسازه Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite، نانوذرات Ag می‌تواند نور مرئی را برای تولید الکترون-حفره‌های ناشی از پلاسما جذب کند (معادله ۱). الکترون‌های ناشی از پلاسما سطحی نانوذرات نقره

برای تعیین اثر pH بر تجزیه‌ی فتوکاتالیستی رنگ‌های EBT و MB، فتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در دامنه pH= ۳/۵-۱۰/۳۶، با زمان ۲۲۰ دقیقه و غلظت ۲۰ ppm مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌های به دست آمده در شکل ۸-الف نمایش داده شده است. در pHهای قوی محلول، به دلیل وابستگی شدید ویژگی‌هایی مانند حالت‌های بار سطحی نیم‌هادی، پتانسیل باند و تفکیک ترکیب‌های موجود در محلول، pH به شدت فرایندهای تجزیه نوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین در تجزیه‌های فتوکاتالیستی به دست آوردن شرایط pH بهینه، امری لازم و ضروری است. از طرفی دیگر چون pH_{PZC} برای بنتونیت و نانوذرات ZnO به ترتیب ۶ و ۸/۸ است [۱۹]. در نتیجه جذب سطحی رنگ‌ها تحت تأثیر pH_{PZC} نیز قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۸، برای MB در pH= ۸/۱۲، فتوکاتالیست کارایی خوبی نشان داده و حدود ۹۵٪ از رنگ را تخریب کرده است. زیرا مولکول‌های رنگ پیش از این که تخریب شوند، نخست جذب نانورس بنتونیت می‌شوند و چون نانورس بنتونیت دارای pH_{PZC} = ۶ است، بالاتر از این نقطه سطح دارای بار سطحی منفی و پایین‌تر از این نقطه دارای بار سطحی مثبت است. در نتیجه، چون رنگ MB یک رنگ کاتیونی است در بالاتر از این نقطه (pH_{PZC} = ۶) بهتر جذب سطح بنتونیت می‌شود و بهتر عملیات تخریب انجام می‌شود. برای رنگ EBT برعکس MB رخ داده است به طوری که در pH= ۳/۵ بیشترین تخریب صورت گرفته است (حدود ۹۶٪) دلیل این امر را می‌توان به ساختار آنیونی EBT نسبت داد که گروه سولفونات موجود در آن دارای بار منفی است. و از طرفی دیگر چون رنگ پیش از این که تخریب شود جذب نانورس می‌شود و چون نانورس بنتونیت در ناحیه پایین‌تر از pH_{PZC} = ۶ دارای بار سطحی مثبت است، در نتیجه رنگ EBT بهتر جذب و تخریب فتوکاتالیستی می‌شود. از جمله مسأله‌های مهم در مورد توسعه فتوکاتالیست‌ها برای تصفیه فاضلاب، بازیابی و قابلیت استفاده مجدد کاتالیست از سوسپانسیون فاضلاب و نانوذرات فتوکاتالیست است. بازیابی و فن‌آوری فتوکاتالیست است. زیرا نیازمند روش‌های جداسازی اضافی و گران‌قیمت است. در پژوهش حاضر، برای جبران هزینه جداسازی اضافی و غیره، نانوفتوکاتالیست به صورت مغناطیسی

رنگ‌های EBT و MB را از بین برده است. مشاهده شده است که فعالیت کاتالیتیکی کاتالیست بازیافتی، به‌طور قابل توجهی تغییر نکرده است، و نشان می‌دهد که نانوجندساز Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در تخریب زیر نور خورشید MB و EBT بسیار پایدار است. با توجه پایداری مغناطیسی نانوفتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite، به راحتی می‌توان آن را با میدان خارجی از محیط‌های آبی جدا کرد و در اسکیل‌های صنعتی از آن بهره گرفت. از طرفی دیگر با دوپه شدن نانوذرات Ag به نانوذرات فتوکاتالیست ZnO، در سطح فتوکاتالیست تشدید پلاسمونیک سطحی نیز رخ داده است، زیرا فتوکاتالیست به خوبی پاسخ‌گوی خوب نور خورشید بوده است.

مراجع

[1] J.B. Modak, A. Bhowal, S. Datta, "Extraction of dye from aqueous solution in rotating packed bed," *Journal of hazardous materials*, 304, 337-342, 2016.

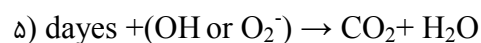
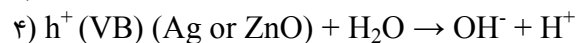
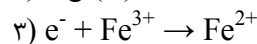
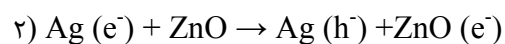
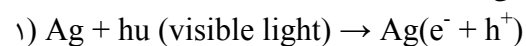
[2] S. Mehrali, M.S. Alavi, S. Hashemi, "Removal of reactive blue 19 by adding polyaluminum chloride to sequencing batch reactor system," *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 7, 63-70, 2010.

[3] P. Raizada, A. Sudhaik, P. Singh, "Photocatalytic water decontamination using graphene and ZnO coupled photocatalysts: A review," *Materials Science for Energy Technologies*, 2, 509-525, 2019.

[4] P. Raizada, B. Priya, P. Thakur, P. Singh, "Solar light induced photodegradation of oxytetracycline using Zr doped TiO₂/CaO based nanocomposite," *Indian Journal of Chemistry*, 55 A, 803-809, 2016.

[5] P. Raizada, J. Kumari, P. Shandilya, R. Dhiman, V.P. Singh, P. Singh, "Magnetically

و الکترون‌های تهیج یافته رنگ‌های MB و EBT به سرعت در باند هدایت ZnO تزیق می‌شوند (معادله ۲). الکترون‌های ایجاد شده توسط Fe³⁺ در نانوذرات Fe₃O₄ گرفته و به Fe²⁺ تبدیل می‌شوند و همچنین به مقدار برابر حفره در سطح نیمه‌هادی ZnO تولید می‌شود (معادله ۳). تبادل الکترون بین Fe²⁺ و Fe³⁺ اکسیژن موجود در محیط را به سوپر اکسید تبدیل می‌کند (معادله ۴). حفره‌های ایجاد شده در نانوذرات نقره و ZnO مولکول‌های آب موجود در محیط را به رادیکال هیدروکسیل تبدیل می‌کنند (معادله ۵). در آخر رادیکال‌های ایجاد شده با مولکول‌های رنگ (EBT و MB) جذب شده بر سطح نانورس بنتونیت و کاتالیست وارد واکنش شده و آن‌ها را به کربن دی‌اکسید و آب و همچنین مواد کم مضرتر تخریب می‌کنند. مکانیسم احتمالی تخریب فتوکاتالیستی MB و EBT با استفاده از فرایند فتوکاتالیستی Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite در معادلات زیر نشان داده شده است:



۴- نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که نانوجندساز Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite به خوبی سنتز شده است. همچنین، براساس نتیجه‌های به دست آمده از فن‌های FT-IR، EDX، FE-SEM، VSM و XRD، تک‌تک نانوذرات نیز به خوبی بر بستر/ساپرت کننده جامدی نانورس بنتونیت پایدار شده‌اند. همچنین، نانوذرات نقره و ZnO به خوبی به روش بیولوژیکی که روشی ارزان و کم‌هزینه است، سنتز و بر سطح لایه‌های نانورس به خوبی پایدار شده‌اند. نتیجه‌های به دست آمده از فعالیت فتوکاتالیستی تخریب رنگ‌های EBT و MB به خوبی نشان می‌دهند که نانوفتوکاتالیست Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite از توانایی بالایی برخوردار است. همچنین، داده‌های بازیافت نانوجندساز Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite، پایداری فتوکاتالیست تا ۴ چرخه پیاپی را تأیید می‌کند و حدود ۹۵٪ غلظت‌های اولیه

application for the removal of methylene blue dye,” *Catalysts*, 8, 107, 2018.

[12] S. Senapati, A. Syed, S. Moez, A. Kumar, A. Ahmad, “Intracellular synthesis of gold nanoparticles using alga *Tetraselmis kochinensis*,” *Materials Letters*, 79, 116-118, 2012.

[13] A.K. Mittal, Y. Chisti, U.C. Banerjee, “Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology advances*,” 31, 346-356, 2013.

[14] X.L. Zhang, Y.S. Guo, C.H. Wang, G.Q. Li, J.J. Xu, H.Y. Chung, W.C. Ye, Y.L. Li, G.C. Wang, “Phenolic compounds from *Origanum vulgare* and their antioxidant and antiviral activities,” *Food Chem*, 152, 300-306, 2014.

[15] M. Hayati-Ashtiani, “Use of FTIR spectroscopy in the characterization of natural and treated nanostructured bentonites (montmorillonites),” *Particulate Science and Technology*, 30, 553-564, 2012.

[16] H.J. Al-Tameme, I.H. Hameed, S.A. Idan, M.Y. Hadi, “Biochemical analysis of *Origanum vulgare* seeds by fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS),” *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 7, 221-237, 2015.

[17] G. Xiong, U. Pal, J. Serrano, K. Ucer, R. Williams, “Photoluminescence and FTIR study of ZnO nanoparticles: the impurity and defect perspective,” *physica status solidi c*, 3, 3577-3581, 2006.

[18] S.C. Motshekga, S.S. Ray, M.S. Onyango, M.N. Momba, “Microwave-assisted synthesis, characterization and antibacterial activity of Ag/ZnO nanoparticles supported bentonite clay,” *Journal of hazardous materials*, 262, 439-446, 2013.

retrievable $\text{Bi}_2\text{WO}_6/\text{Fe}_3\text{O}_4$ immobilized on graphene sand composite for investigation of photocatalytic mineralization of oxytetracycline and ampicillin,” *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 104-116, 2017.

[6] M. Iqbal, A. Ali, N.A. Nahyoon, A. A. Majeed, R. Pothu, S. Phulpoto, K.H. Thebo, “Photocatalytic degradation of organic pollutant with nanosized cadmium sulfide,” *Materials Science for Energy Technologies*, 2, 41-45, 2019.

[7] J. Mani, H. Sakeek, S. Habouti, M. Dietze, M. Es-Souni, “Macro-meso-porous TiO_2 , ZnO and ZnO- TiO_2 -composite thick films. Properties and application to photocatalysis,” *Catalysis Science & Technology*, 2, 379-385, 2012.

[8] M. Pirhashemi, A. Habibi-Yangjeh, S.R. Pouran, “Review on the criteria anticipated for the fabrication of highly efficient ZnO-based visible-light-driven photocatalysts,” *Journal of industrial and engineering chemistry*, 62, 1-25, 2018.

[9] M. Samadi, M. Zirak, A. Naseri, M. Kheirabadi, M. Ebrahimi, A.Z. Moshfegh, “Design and tailoring of one-dimensional ZnO nanomaterials for photocatalytic degradation of organic dyes: a review,” *Research on Chemical Intermediates*, 45, 2197-2254, 2019.

[10] R. Kavitha, S.G. Kumar, “A review on plasmonic Au-ZnO heterojunction photocatalysts: Preparation, modifications and related charge carrier dynamics,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, 93, 59-91, 2019.

[11] H. Wang, P. Zhou, R. Guo, Y. Wang, H. Zhan, Y. Yuan, “Synthesis of rectorite/ Fe_3O_4 /ZnO composites and their

[19] Y. Xu, M.A. Schoonen, "The absolute energy positions of conduction and valence bands of selected semiconducting minerals," American Mineralogist, 85, 543-556, 2000.



Synthesis of Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite magnetic nanocomposite by green method with photocatalytic application

B. Rashidzadeh, S. Fathalipour *, Ghazal Razmian

Department of chemistry, Faculty of Science, Payame Noor University, Tehran city

Abstract: Ag/ZnO magnetic photocatalyst based on Bentonite (Ag/Fe₃O₄/ZnO/Bentonite) was synthesized by green method and investigated by various techniques: XRD, FT-IR, -EDAXSEM and VSM. To synthesize this nanocomposite, first ZnO nanoparticles were synthesized on bentonite substrate by green method in the presence of vulgare extract and then Fe₃O₄ and Ag nanoparticles were prepared on ZnO/Bentonite. The prepared nanocomposite showed high photocatalytic properties for the decomposition of methylene blue (MB) and Eriochrome Black T (EBT) in the presence of sunlight, and the decomposition kinetics of MB and EBT followed the Langmuir-Hinslowood model. On the other hand, the decomposition of colors and weight loss of the nanocomposite was very low after five tests, indicating that the synthesized magnetic nanocomposite has a high stability and is easily recoverable.

Keywords: Bentonite” Eriochrome Black T” Methylene Blue” Photocatalyst” ZnO.