

# سنتز سبز نانوکامپوزیت مغناطیسی $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$ با عصاره گیاه آلوئه‌ورا و کاربرد آن به عنوان کاتالیزگر در واکنش نورتابی شیمیایی سیستم لومینول - $H_2O_2$

عباس اسلامی\*<sup>۱</sup>، انسبه غلامرضا پور<sup>۲</sup>، محمدجواد چایچی<sup>۳</sup>، افسانه نعمتی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۲- فارغ‌التحصیل دکتری، شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، ایران.

۳- استاد، شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، ایران.

۴- دانشجوی دکتری، شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، ایران.

\*عهده‌دار مکاتبات: eslami@umz.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳)

**چکیده:** سنتز نانو ذرات اکسید فلزی با استفاده از جانداران ریز و گیاهان که با عنوان سنتز سبز شناخته می‌شود، به دلیل شرایط سنتزی آسان و ارزان در مقایسه با روش‌های شیمیایی و فیزیکی متداول توجه زیادی را جلب کرده است. واکنش نورتابی شیمیایی لومینول به دلیل حساسیت بالا به حضور کاتالیزگر و سیگنال زمینه کم از روش‌های کمی شناخته شده در طیف‌سنجی تجزیه‌ای است. در این تحقیق، نانوکامپوزیت مغناطیسی  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  با استفاده از عصاره گیاهی آلوئه‌ورا تهیه شد و نمونه‌های سنتز شده با روش‌های طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی پخش انرژی پرتوایکس (EDS) و مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) شناسایی شدند. از این نانو ذرات مغناطیسی به عنوان کاتالیزگر در سیستم نورتابی شیمیایی لومینول- $H_2O_2$  استفاده شد. نتایج نشان داد که این نانو ذرات تأثیر کاتالیزی خوبی بر این سیستم نورتابی دارند به طوری که در حضور کاتالیزگر در مدت‌زمان ۳ ثانیه شدت نورتابی شیمیایی ۴ مرتبه افزایش یافت. بازیابی این کاتالیزگر به آسانی با به‌کارگیری میدان مغناطیسی خارجی قابل انجام است.

**واژه‌های کلیدی:** سنتز سبز، نانوکامپوزیت مغناطیسی، لومینول، نورتابی شیمیایی،  $H_2O_2$ .

## ۱- مقدمه

مغناطیسی به دلیل دارا بودن سطح ویژه زیاد و برهم‌کنش دوقطبی مغناطیسی بالا به آسانی توده‌ای شده و اکسایش می‌یابند. حتی تحت شرایط ملایم اکسایشی (نظیر تماس اکسیژن اتمسفری) اکسایش سریع سطوح نانو ذرات صورت می‌گیرد و لایه‌های اکسیدی تشکیل می‌شود و خواص نمونه تغییر می‌کند [۲]. یکی از روش‌های شناخته شده برای حفظ خواص مغناطیسی ویژه این نانو ذرات و حفاظت آن‌ها در برابر اکسایش و انبوهش، پوشش‌دهی آن‌ها است [۳]. پوشش‌دهی نانو ذرات با استفاده از ترکیب‌های مختلفی نظیر

نانو ذرات مغناطیسی به دلیل قابل بازیابی بودن آسان از محیط واکنش که معمولاً با به‌کارگیری یک آهن‌ربای قوی انجام می‌شود، بسترهای مناسبی را برای انجام واکنش‌های کاتالیزی ناهمگن فراهم می‌کنند [۱-۲]. هرچند می‌توان در ساخت نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی از مواد مغناطیسی مختلف استفاده کرد اما از اکسیدهای مغناطیسی آهن به دلیل غیرسمی و ارزان بودن و خواص مغناطیسی بارزشان بسیار بیشتر استفاده شده است [۱]. با وجود این، این نانو ذرات

در سال‌های اخیر، اکسیدهای فلزهای واسطه با ساختار اسپینل [۱۹-۲۱] به دلیل خواص جدید و کاربردهای وسیع در حوزه‌های مختلف مانند زیست- پزشکی، سرامیک، کاتالیزگر، مواد بکار رفته در الکتروود [۲۵-۲۶]، تبدیل نور-الکتریکی، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی [۲۲]، کاتالیزگر نوری و حسگر گاز [۲۸، ۲۹] توجه زیادی را جلب کرده‌اند. فرمول ایده آل اکسیدهای فلزی مختلط اسپینل،  $AB_2O_4$  است که A نشان‌دهنده یون‌های فلز دو ظرفیتی است که در حفره‌های چهاروجهی قرار می‌گیرند و B نیز بیان‌گر یون‌های فلز سه‌ظرفیتی است که حفره‌های هشت‌وجهی ساختار مکعبی را اشغال می‌کنند [۲۳-۲۵]. روی منگنات ( $ZnMn_2O_4$ ) به دلیل پتانسیل اکسایشی کم و قیمت کم مواد اولیه آن، به عنوان جذاب‌ترین اسپینل شناخته می‌شود [۲۶]. به همین دلایل و سازگاری آن با محیط‌زیست اغلب در باتری‌های یون لیتیوم استفاده می‌شود [۲۷]. تاکنون مواد نانو ساختار  $ZnMn_2O_4$  با ساختار اسپینل با روش‌های مختلفی همانند روش رسوب گذاری [۲۸]، امولسیون سازی به روش صوت شیمی [۲۶]، حلال-گرمایی [۲۹]، واکنش حالت جامد [۳۰]، سل-ژل [۳۱] و شیمی سبز [۳۲] سنتز شدند. در این پژوهش روش سنتز سبز با عصاره گیاهی آلوئه‌ورا به دلیل شرایط سنتزی آسان و ارزان نسبت به سایر روش‌های فیزیکی و شیمیایی انتخاب شد. از این نانو ساختارهای اسپینلی سنتز شده به عنوان کاتالیزگر در سیستم نورتابی شیمیایی استفاده شد.

نورتابی شیمیایی هنگامی تولید می‌شود که در یک واکنش شیمیایی یک گونه برانگیخته الکترونی تولید و هنگام بازگشت به حالت پایه خود، نور نشر کند [۳۳]. این روش تجزیه‌ای به دلیل حد شناسایی کم، حساسیت بالا، محدوده شناسایی وسیع خطی، می‌تواند با تجهیزات ساده و ارزان انجام شود [۳۳]. لومینول یکی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین واکنشگرهای به کار رفته در واکنش‌های نورتابی شیمیایی است. سیستم لومینول- $H_2O_2$  هنوز نقش مهمی در تجزیه شیمیایی مدرن دارد [۳۴-۳۶]. در این پژوهش فعالیت کاتالیزی نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  بر واکنش

کربن، سیلیکا، فلزات گران‌بها، برخی از اکسیدهای فلزی، پلی‌مرهای آلی و سورفکتانت‌ها قابل انجام است [۴-۷]. یکی از عوامل پوشش‌دهنده بسیار مناسب سیلیکا است. فرایند پوشش‌دهی نانو ذرات مغناطیسی نسبتاً آسان است و پوشش‌های ایجاد شده سازگار با محیط‌زیست بوده و دارای پایداری مناسب، و سمیت کمی هستند [۸]. لایه سیلیکا پوشاننده  $Fe_3O_4$  مانع تجمع نانو ذرات  $Fe_3O_4$  شده و در واقع پوشش سیلیکا یک لایه حفاظتی برای نانو ذرات  $Fe_3O_4$  ایجاد می‌کند. علاوه بر این، بی‌اثر بودن شیمیایی پوشش سیلیکا باعث زیست سازگار شدن نانو ذرات مغناطیسی  $Fe_3O_4$  می‌شود [۹]. گروه‌های سیلانول (Si-OH) موجود در سطح پوشش سیلیکا مسیر آسانی برای اتصال سطح آن با انواع گروه‌های عاملی مختلف فراهم می‌کند [۱۰]. بنابراین می‌توان اکسیدهای فلزی مختلف را از طریق ایجاد پیوند بین OH سیلانول و اکسیدهای فلزی در سطح سیلیکا نشانند.

سنتز نانو ذرات اکسید فلزی با استفاده از جانداران ریز و گیاهان که به نام روش سنتز سبز شناخته می‌شود، به علت شرایط سنتزی ارزان و آسان و زیست سازگارتر بودن در مقایسه با روش‌های شیمیایی و فیزیکی متداول، مورد توجه است [۱۱]. علاوه بر مواد زیستی مختلف نظیر مخمرها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، خزها و پوسته تخم‌مرغ که برای این اهداف به کار می‌روند، عصاره گیاهی نیز به دلیل ویژگی‌های سبز و دسترسی آسان توجه زیادی را جلب کرده است [۱۲]. عصاره‌های گیاهی دارای آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند پلی‌فنول‌ها [۱۳]، قندهای کاهنده [۱۴]، بازهای نیتروژنی و آمینواسیدها [۱۵] هستند که می‌توانند نانو ذرات اکسید فلزی را از یون‌های فلزی تولید کنند [۱۶]. آلوئه‌ورا (صبر زرد) یک گیاه آب‌دار چندساله و مانند گیاه کاکتوس است که در مناطق گرم و مرطوب رشد می‌کند. در سال‌های اخیر خواص آلوئه‌ورا شامل خاصیت ضدالتهابی، افزایش قدرت ایمنی، حفاظت پوست در برابر نور فرابنفش و بهبود سوختگی گزارش شده‌اند [۱۸-۱۹]. اخیراً عصاره گیاه آلوئه‌ورا به‌طور موفقیت‌آمیزی در سنتز نانو ذرات طلا، نقره [۱۷] و اکسید نیکل [۱۸] از محلول‌های آبی یون‌های فلزی استفاده شده است.

۸۵ تحت شرایط بازروانی قرار داده شد. سپس pH محلول با آمونیاک (NH<sub>4</sub>OH) ۲۵٪ به ۹ رسانده شد. بعد از ۴ ساعت بازروانی، رسوب سیاه با یک آهن‌ربای قوی جداسازی و جمع‌آوری شد و محلول روی رسوب سرریز شد. رسوب‌ها با آب دو بار تقطیر شستشو داده شد تا pH آب به ۷ برسد. با استفاده از روش سل-ژل لایه سیلیکا روی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> نشانده شد تا نانو ذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> تهیه شوند [۳۸]. یک گرم از نانو ذرات مغناطیسی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> در ۲۰۰ میلی‌لیتر اتانول حل شد سپس ۶ میلی‌لیتر آمونیاک (NH<sub>4</sub>OH) ۲۵٪ و ۲ میلی‌لیتر تترایل اورتوسیلیکات (TEOS) اضافه شدند بعد از ۲۴ ساعت هم زدن، رسوب سیاه با آهن‌ربای قوی جمع‌آوری شد و سه بار با اتانول شسته شد. محصول Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> تحت شرایط خلأ خشک و نگهداری شد. نانو ذرات ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> به روش سنتز شیمی سبز روی لایه سیلیکا نشانده شد. ۴۰ گرم از برگ‌های آلوئه‌ورا شسته و برش داده شد و ژل آلوئه‌ورا به دست آمده در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر هم زده شد و به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۸۰-۶۰ °C گرمادهی شد تا محلول شفاف به دست آید. عصاره به دست آمده به عنوان عصاره گیاهی آلوئه‌ورا استفاده شد. محلول (الف) با مخلوط کردن ۰/۴۳۹ گرم (۲ میلی‌مول) روی استات و ۰/۸ گرم (۱ میلی‌مول) منگنز استات با ۱۵۰ میلی‌لیتر عصاره گیاهی آلوئه‌ورا تهیه شد. محلول (ب) از مخلوط کردن ۰/۵۸۳ گرم Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> با ۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر تهیه شد. بعد از تابش امواج فراصوت به محلول (ب) به مدت ۳۰ دقیقه، محلول (ب) به محلول (الف) اضافه شد و این مخلوط به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق هم زده شد. سپس این محلول جوشانده شد تا خمیر قهوه‌ای‌رنگ به دست آید. سپس این خمیر در دمای (C) ۸۰ درجه خشک شد. ذرات تهیه شده به مدت ۲ ساعت در کوره ۸۰۰ °C قرار داده شد تا نانو کامپوزیت Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ایجاد شود.

## ۲-۴- فعالیت کاتالیزی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> بر

### سیستم لومینول-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

برای بررسی اثر کاتالیزی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> بر نورتابی شیمیایی واکنش لومینول و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، ۵۰ میکرولیتر از

سیستم لومینول-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> بررسی شد و نشان داده شد که این نانو کامپوزیت فعالیت کاتالیزی خوبی در این سیستم دارد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- مواد

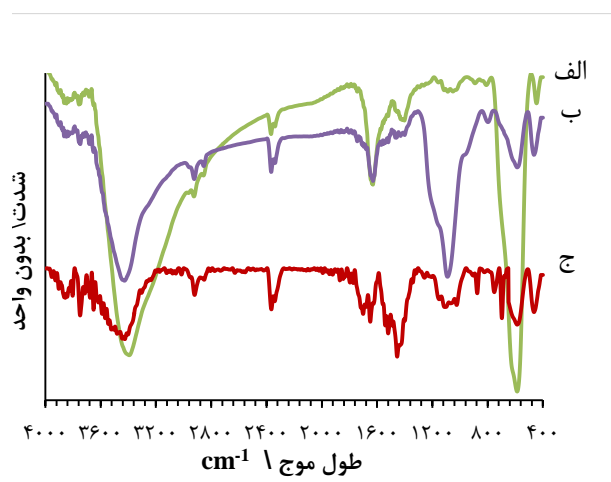
روی استات (Zn(OAC)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O)، منگنز (II) استات (Mn(OAC)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O)، آهن (II) کلرید (FeCl<sub>2</sub>)، آهن (III) کلرید (FeCl<sub>3</sub>)، تترایاتوکسی سیلان (TEOS)، لومینول، پراکسید هیدروژن (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) و حلال‌ها از شرکت مرک آلمان خریداری شدند و بدون خالص‌سازی بیشتر به کار رفتند. در تمام آزمایش‌ها از آب دو بار تقطیر استفاده شد. برگ‌های آلوئه‌ورا از میادین کشاورزی محلی در بابلسر واقع در استان مازندران، کشور ایران جمع‌آوری شدند. محلول بافر فسفات ۰/۰۱ مولار (PBS) با pH=۷ به کار رفت.

### ۲-۲- دستگاه‌ها

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با استفاده از دستگاه میکروسکوپ LEO-1455VP که مجهز به طیف‌سنج پخش انرژی پرتوایکس (EDS) بود به دست آمد. طیف مادون قرمز نمونه‌ها در قرص KBr با دستگاه FT-IR Bruker مدل Tensor 27 ثبت شد. فاز و ساختار نمونه‌ها با دستگاه پراش‌سنج اشعه ایکس Bruker D8 با تابش تکفام مس در محدوده ۲θ با زاویه ۸۰°-۱۰° در دمای اتاق تعیین شد. خواص مغناطیسی نمونه‌ها با مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM)، شرکت کویر کاشان- ایران تعیین شدند. آزمایش‌های نورتابی شیمیایی با استفاده از دستگاه تجزیه‌ای نورتابی شیمیایی (شرکت Bertold آلمان) مجهز به آشکارساز لوله تقویت‌کننده نوری (PMT) انجام شد.

### ۲-۳- تهیه نانو کامپوزیت Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

ابتدا، نانو ذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> با روش رسوب‌گذاری شیمیایی سنتز شدند [۳۷]. در این روش، در ابتدا در یک بالن ۸ گرم (۲۹/۶ میلی‌مول) FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O و ۳ گرم (۱۴/۸ میلی‌مول) FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O در ۸۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر در جو بی‌اثر گاز آرگون با هم زدن شدید مخلوط شدند و در دمای (C)



شکل (۱): طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) (الف) نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (ب) نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  (ج) نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$

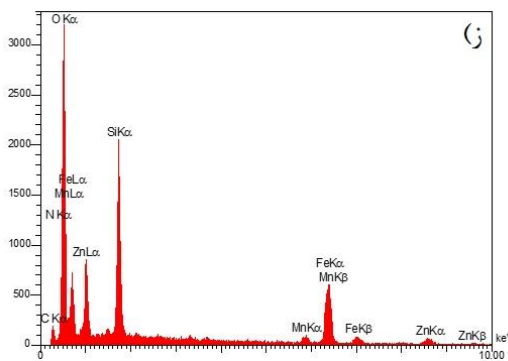
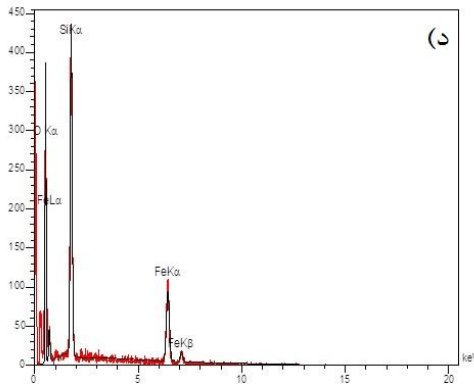
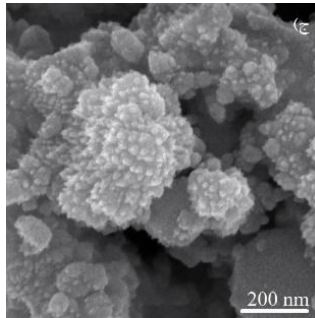
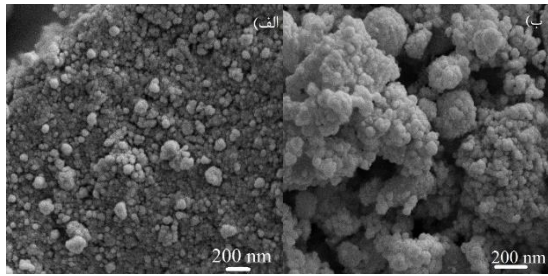
الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه‌های سنتز شده در شکل (۲) (الف-ج) نشان داده شدند. الگوی XRD نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  شش پیک پراش مشخصه در  $2\theta$  برابر با  $30.2^\circ$ ،  $35.5^\circ$ ،  $43.2^\circ$ ،  $53.6^\circ$ ،  $57.1^\circ$ ،  $62.7^\circ$  به ترتیب مربوط به صفحه‌های پراش (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱) و (۴۴۰) را نشان داد که در توافق خوبی با داده‌های استاندارد XRD به شماره کارت (JCPDS = ۱۹-۰۶۲۹) هستند. اندازه متوسط بلور (D) نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ۲۰ نانومتر است که از پهنای نصف ارتفاع پیک XRD (۳۱۱) با استفاده از فرمول دبی شر  $D = 0.89 \lambda / \beta \cos \theta$  محاسبه شد که در این رابطه  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس به کار رفته،  $\theta$  زاویه پراش پیک (۳۱۱)،  $\beta$  پهنای نصف پیک (۳۱۱) می‌باشند. مگنیت پوشانده شده با سیلیکا ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ) همان پیک‌های پراش مگنیت خالص را نشان می‌دهد که این نشان می‌دهد که مشخصه بلورینگی مگنیت بعد از پوشش با لایه سیلیکا حفظ شده است. چون لایه سیلیکا دارای فاز آمورف است پیک مشخصه سیلیکا در این طیف دیده نشده است. طیف XRD نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  در شکل (۲ ج) شامل تمام پیک‌های پراش  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و همچنین ده پیک پراش دیگر در  $2\theta$  با زاویه‌های  $29.3^\circ$ ،  $31.2^\circ$ ،  $33^\circ$ ،  $38.9^\circ$ ،  $50^\circ$ ،  $52^\circ$ ،  $59^\circ$ ،  $61^\circ$ ،  $65^\circ$  بوده که مربوط به صفحه‌های پراش (۱۱۲)، (۲۰۰)، (۱۰۳)، (۲۱۱)، (۰۰۴)، (۲۰۴)، (۱۰۵)،

محل  $10^{-3} \times 1$  مولار لومینول و  $30$  میکرولیتر از محلول  $50$  میلی گرم بر لیتر  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  به  $100$  میکرولیتر محلول بافر  $10$  میلی مولار PBS ( $\text{pH}=7$ ) اضافه شدند. سپس به این مخلوط  $50$  میکرولیتر  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $10^{-3} \times 1$  مولار) تزریق شد. سیگنال نورتایی شیمیایی با دستگاه تجزیه نورتایی شیمیایی اندازه‌گیری شد. آزمایش شاهد بدون حضور کاتالیزگر نیز انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- شناسایی نانو کامپوزیت

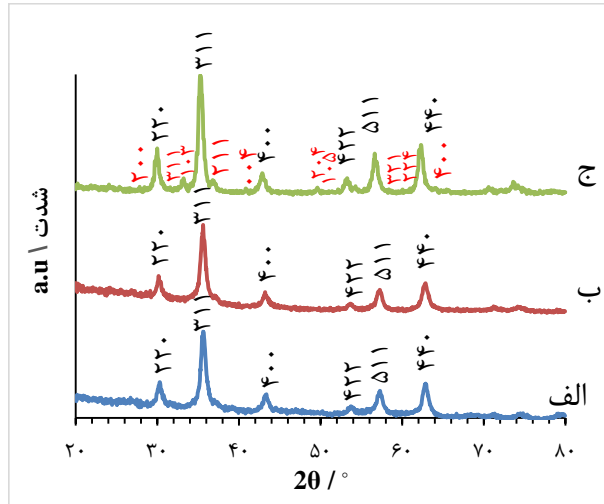
طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ،  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  و نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  در شکل (۱) (الف-ج) نشان داده شده‌اند. در تمام طیف‌ها دو پیک در  $1640$  و  $3440$   $\text{cm}^{-1}$  مشاهده شدند که مربوط به ارتعاش‌های مولکول‌های آب است که جذب سطحی نمونه شده‌اند. در شکل (۱ الف) پیک جذبی در  $572$  و  $462$   $\text{cm}^{-1}$  به ارتعاش‌های کششی Fe-O نسبت داده می‌شود. برای مگنیت پوشانده شده با سیلیکا، دو پیک مشاهده شده در  $800$  و  $1100$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی O-Si-O است (شکل (۱ ب)). به علت وجود پوشش سیلیکا در  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ، شدت پیک‌های طیف مادون قرمز (شکل (۱ ب)) کمتر از نمونه بدون پوشش است (شکل (۱ الف)). پیک‌های تیز در حدود  $400$ - $500$   $\text{cm}^{-1}$  به اسپینل  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  مربوط هستند که پیک‌های مشخصه پیوندهای فلز-اکسیژن می‌باشند (شکل (۱ ج)). در شکل (۱ ج) به دلیل وجود پوشش سیلیکا و نانو ذرات  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  شدت پیک‌های ارتعاشی مگنیت کاهش یافت. این نتیجه در توافق خوبی با مطالعات قبلی است [۳۹-۴۱].



شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM (الف) نانو ذرات  $Fe_3O_4$  (ب) نانو ذرات  $Fe_3O_4/SiO_2$  (ج) نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  (د) آنالیز EDS نانو ذرات  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  (ه) نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2$

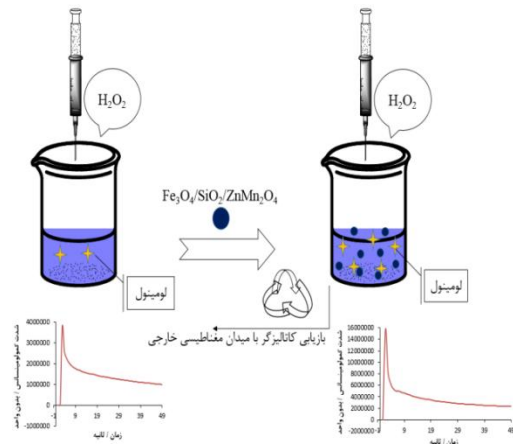
خواص مغناطیسی نمونه‌های مگنیت تهیه شده با مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM) اندازه‌گیری شد (شکل

$ZnMn_2O_4$  (۳۲۱)، (۲۲۴) و (۴۰۰) منطبق با ساختار اسپینل  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  مکعبی با شماره کارت (JCPDS = ۲۴-۱۱۳۳) هستند. اندازه متوسط بلور (D) نانو ذرات  $ZnMn_2O_4$  ۱۵ نانومتر است که از پهنای نصف ارتفاع پیک XRD (۲۱۱) با فرمول دبای شرر به دست آمد.



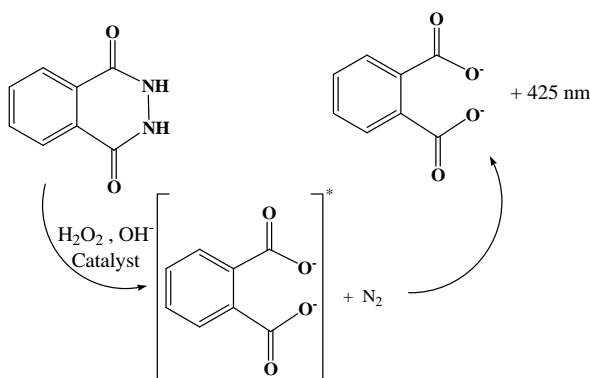
شکل (۲): طیف پراش اشعه ایکس (XRD) (الف) نانو ذرات  $Fe_3O_4$  (ب) نانو ذرات  $Fe_3O_4/SiO_2$  (ج) نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$

ریخت‌شناسی و قطر نمونه‌های تهیه‌شده با تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (شکل ۳ الف-ج)) تعیین شدند. همان‌طور که در شکل (۳ الف) نشان داده شده، نانو ذرات  $Fe_3O_4$  کروی شکل‌اند و قطری حدود ۱۷-۳۵ نانومتر دارند. تصویربرداری SEM از مگنیت پوشیده با سیلیکا ( $Fe_3O_4/SiO_2$ ) نشان می‌دهد که این نانو ذرات کروی و کمی تجمع یافته‌اند و اندازه متوسط آن‌ها حدود ۱۹-۳۱ نانومتر است که در توافق خوبی با نتایج آزمایش XRD هستند شکل (۳ ب). همان‌طور که در شکل (۳ ج) نشان داده شد، نانو ذرات  $ZnMn_2O_4$  قرار گرفته روی مگنیت پوشانده شده با سیلیکا در اندازه حدود ۷-۱۹ نانومتر هستند. تجزیه عنصری نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  با روش EDS انجام شد که در شکل (۳ د) نشان داده شد. نتایج نشان‌دهنده حضور عناصر آهن، سیلیکا، اکسیژن، روی و منگنز در نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  است.



شکل (۵): فعالیت کاتالیزی و بازیابی کاتالیزگر در شناسایی نورتابی شیمیایی  $H_2O_2$ .

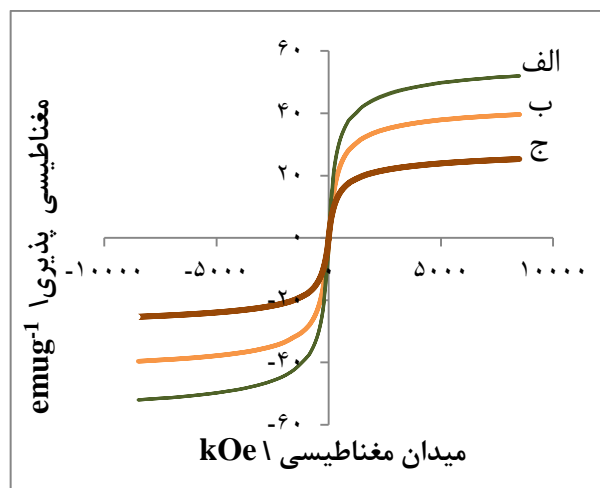
فعالیت کاتالیزی نانوکامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  در واکنش نورتابی شیمیایی بین لومینول و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) بررسی شد. واکنش اکسایش لومینول با  $H_2O_2$  در محیط بازی نور آبی در طول موج ۴۲۵ نانومتر ایجاد می‌کند [۴۲]. واکنش نورتابی شیمیایی لومینول در شکل (۶) نشان داده شد.



شکل (۶): واکنش نورتابی شیمیایی لومینول

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده، برای سیستم لومینول- $H_2O_2$  در غیاب کاتالیزگر شدت واکنش نورتابی شیمیایی چندانی مشاهده نشد. در مقابل نشر نورتابی شیمیایی در حضور کاتالیزگر اضافه شده به سیستم لومینول- $H_2O_2$  مشاهده شد و این نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$  واکنش نورتابی شیمیایی سیستم لومینول- $H_2O_2$  را کاتالیز می‌کند (شکل (۷)). در محلول

(۴ الف-ج)). همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده، نانو ذرات مغناطیسی تهیه شده دارای حلقه‌های هیستریس با شیب تند هستند و پسماند مغناطیسی و نیروی مغناطیس‌زدائی ندارند، بنابراین تمام نمونه‌ها رفتار سوپر پارامغناطیس در دمای اتاق نشان دادند. مقدار اشباع مغناطیسی برای  $Fe_3O_4$  حدود  $52 \text{ emug}^{-1}$  و بعد از پوشش با سیلیکا میزان اشباع مغناطیسی برای  $Fe_3O_4/SiO_2$  به  $39 \text{ emug}^{-1}$  کاهش یافت. بعد از پوشش  $ZnMn_2O_4$  روی  $Fe_3O_4/SiO_2$  مقدار اشباع مغناطیسی به  $22 \text{ emug}^{-1}$  کاهش یافت. از این خاصیت مغناطیسی برای جداسازی کاتالیزگر از محیط واکنش استفاده می‌شود. با اینکه خاصیت مغناطیسی  $Fe_3O_4$  با پوشش سیلیکا و  $ZnMn_2O_4$  کاهش یافت ولی باز هم شدت میدان مغناطیسی در حدی است که می‌توان کاتالیزگر را با یک آهن‌ربای قوی از محیط واکنش خارج نمود.

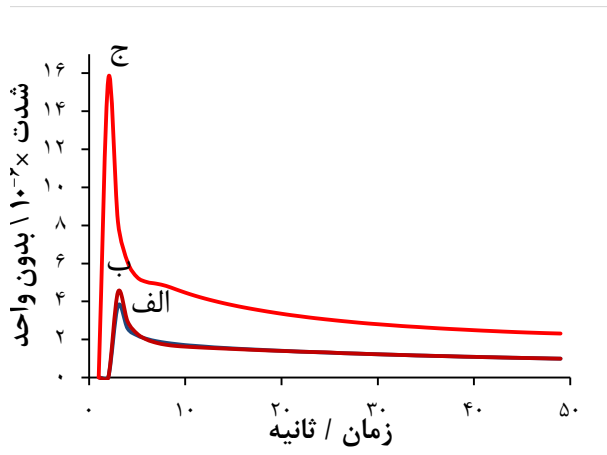


شکل (۴): نمودار مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) (الف) نانو ذرات  $Fe_3O_4$  (ب) نانو ذرات  $Fe_3O_4/SiO_2$  (ج) نانوکامپوزیت  $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$

### ۳-۲- فعالیت کاتالیزی نانوکامپوزیت

#### $Fe_3O_4/SiO_2/ZnMn_2O_4$ برای سیستم لومینول- $H_2O_2$

شکل (۵) نمایی از کل فعالیت کاتالیزی و بازیابی کاتالیزگر در شناسایی نورتابی شیمیایی بین لومینول و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) را نشان می‌دهد.



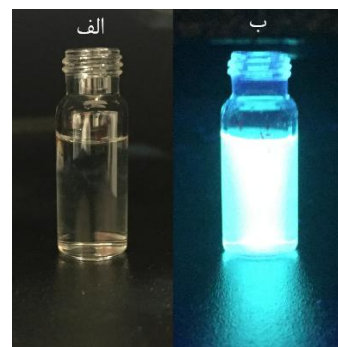
شکل (۸): منحنی پاسخ نورتابی شیمیایی سیستم لومینول ( $1 \times 10^{-3}$  مولار)  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $1 \times 10^{-3}$  مولار) در  $10$  میلی مولار  $\text{PBS}$  ( $\text{pH}=7$ ) (الف) در غیاب کاتالیزگر (ب) در حضور نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  (ج) در حضور نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$

در جدول (۱) برخی از نتایج اخیر در مورد تأثیر کاتالیزگرها مختلف بر نورتابی شیمیایی سیستم لومینول- $\text{H}_2\text{O}_2$  ارائه شده است [۴۳-۴۵]. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر کاتالیزی بیشتر کاتالیزگر به کار رفته در این پژوهش نسبت به موارد قبلی است. علاوه بر این، بازیابی آسان کاتالیزگر، قابلیت استفاده مجدد، بازده بالای واکنش و زمان کم‌تر واکنش از مزایای دیگ کاتالیزگر معرفی شده در این پژوهش است.

جدول (۱): مقایسه کاتالیزگر به کار رفته در سیستم لومینول- $\text{H}_2\text{O}$  در این مطالعه و کارهای قبلی

شماره	شرایط واکنش	کاتالیزگر	شدت نورتابی	مرجع
۱	$\text{H}_2\text{O}_2$ ، ۳۰ دقیقه	نانو ذرات نقره	۳ برابر	[۵۰]
۲	$\text{H}_2\text{O}_2$ ، ۱۰ ثانیه	نانو ذرات طلا	۳ برابر	[۵۱]
۳	$\text{H}_2\text{O}_2$ ، ۵ ثانیه	GR/CdS@HP-PA	۳٫۴ برابر	[۵۲]
۴	$\text{H}_2\text{O}_2$ ، ۳ ثانیه	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$	۴ برابر	کار حاضر

خنثی ( $\text{pH}=7$ ،  $\text{PBS}$ ) اثر نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  روی شدت نورتابی شیمیایی بررسی شد که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است. شدت نورتابی شیمیایی سیستم لومینول- $\text{H}_2\text{O}_2$  در حضور نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  افزایش ۱٫۱ درصدی داشته که قابل توجه نیست (شکل ۸ (ب)) اما در حضور نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  (شکل ۸ (ج)) شدت نورتابی شیمیایی ۴ برابر قوی‌تر از سیستم لومینول- $\text{H}_2\text{O}_2$  بدون کاتالیزگر است (شکل ۸ (الف)). به علاوه این شکل نشان می‌دهد که نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  اکسایش لومینول توسط  $\text{H}_2\text{O}_2$  را کاتالیز می‌کند و سیگنال پر شدت نورتابی شیمیایی ایجاد شده، در حدود ۳ ثانیه افزایش یافته که ممکن است به مقاومت کم انتقال جرم در ساختار  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  نسبت داده شود. در واقع در حضور  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  انتقال الکترون سریع‌تر اتفاق افتاده و شدت نورتابی شیمیایی افزایش یافته است.



شکل (۷): تصویر به دست آمده در تاریکی برای واکنش‌های نورتابی شیمیایی سیستم لومینول ( $1 \times 10^{-3}$  مولار)  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $1 \times 10^{-3}$  مولار) در  $10$  میلی مولار  $\text{PBS}$  ( $\text{pH}=7$ ) (الف) در غیاب کاتالیزگر (ب) در حضور نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$

of heavy metal ions", RSC Advances, Vol. 7, pp. 51993-52000, 2017.

- [4] X. Peng, F. Xu, W. Zhang, J. Wang, C. Zeng, M. Niu & E. Chmielewska, "Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@silica-xanthan gum composites for aqueous removal and recovery of Pb<sup>2+</sup>", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 443, pp. 27-36, 2014.
- [5] M. Wolf, N. Fischer & M. Claeys, "Surfactant-free synthesis of monodisperse cobalt oxide nanoparticles of tunable size and oxidation state developed by factorial design", Materials Chemistry and Physics, Vol. 213, pp. 305-312, 2018.
- [6] M. Chen, S. Yamamuro, D. Farrell & S.A. Majetich, "Gold-coated iron nanoparticles for biomedical applications", Journal of Applied Physics, Vol. 93, pp. 7551-7553, 2003.
- [7] C. Guo, W. Lu, G. Wei, L. Jiang, Y. Yu & Y. Hu, "Formation of 1D chain-like Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C/Pt sandwich nanocomposites and their magnetically recyclable catalytic property", Applied Surface Science, Vol. 457, pp. 1136-1141, 2018.

[۸] ف. قاسمی پیرانلو، ف. باورسی‌ها و س. داداشیان، "ساخت میکروساختار هسته/پوسته/ پوسته Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> و بررسی خواص ساختاری آن"، فرایندهای نوین در مهندسی مواد، شماره ۴، ص ۱۴۳-۱۵۰، زمستان ۱۳۹۶.

- [9] U. Jeong, X. Teng, Y. Wang, H. Yang & Y. Xia, "Superparamagnetic colloids: controlled synthesis and niche applications", Advanced Materials, Vol. 19, pp. 33-60, 2007.
- [10] E. Gholamrezapor & A. Eslami, "Sensitization of magnetic TiO<sub>2</sub> with copper(II) tetrahydroxyphenyl porphyrin for photodegradation of methylene blue by visible LED light", Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol. 30, pp. 4705-4715, 2019.
- [11] O. V. Kharissova, H.R. Dias, B.I. Kharisov, B.O. Pérez & V.M.J. Pérez, "The greener synthesis of nanoparticles", Trends in biotechnology, Vol. 31, pp. 240-248, 2013.
- [12] E. C. Njagi, H. Huang, L. Stafford, H. Genuino, H.M. Galindo, J.B. Collins, G.E. Hoag & S.L. Suib, "Biosynthesis of iron and silver nanoparticles at room temperature using aqueous sorghum bran extracts", Langmuir, Vol. 27, pp. 264-271, 2010.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نانوکامپوزیت مغناطیسی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> به روش شیمی سبز سنتز شد و با روش‌های مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنج پخش انرژی پرتوایکس (EDS) و مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) شناسایی شد. طیف مادون‌قرمز تشکیل اسپینل ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> را با پیک‌های حدود ۴۰۰-۵۰۰ cm<sup>-1</sup> تایید کرد. طیف پراش اشعه ایکس پیک‌های Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> را به همراه پیک‌های ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> نشان داد. ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت با میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص شد و با روش پخش انرژی پرتوایکس (EDS) وجود عناصر منگنز، روی، آهن، سیلیکا و اکسیژن تایید شد. خاصیت مغناطیسی نانوکامپوزیت نیز با مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش مشخص شد. از این نانوکامپوزیت در شرایط خنثی (pH = ۷)، PBS به عنوان کاتالیزگر در واکنش نورتابی شیمیایی سیستم لومینول-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> استفاده شد. کاتالیزگر مورد بحث فعالیت کاتالیزی خوبی را نشان داد و در زمان ۳ ثانیه شدت نورتابی شیمیایی نسبت به نمونه بدون کاتالیزگر، حدود ۴ مرتبه افزایش یافت. نانوکامپوزیت مغناطیسی را می‌توان با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی از محیط واکنش بازیابی کرد.

## ۵- مراجع

- [1] Y. Shen, J. Tang, Z. Nie, Y. Wang, Y. Ren & L. Zuo, "Preparation and application of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for wastewater purification", Separation and purification technology, Vol. 68, pp. 312-319, 2009.
- [2] J. Liu, G. Liu, L. Zang & W. Liu, "Calcein-functionalized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> nanoparticles as a reusable fluorescent nanoprobe for copper(II) ion", Microchimica Acta, Vol. 182, pp. 547-555, 2015.
- [3] S. Hou, X. Li, H. Wang, M. Wang, Y. Zhang, Y. Chi & Z. Zhao, "Synthesis of core-shell structured magnetic mesoporous silica microspheres with accessible carboxyl functionalized surfaces and radially oriented large mesopores as adsorbents for the removal



- supercapacitors", *Journal of Power Sources*, Vol. 306, pp. 481-488, 2016.
- [23] G. Yue, Y. Zhao, C. Wang, X. Zhang, X. Zhang & Q. Xie, "Flower-like nickel oxide nanocomposites anode materials for excellent performance lithium-ion batteries", *Electrochimica Acta*, Vol. 152, pp. 315-322, 2015.
- [24] H. Wu, G. Wu & L. Wang, "Peculiar porous  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanospheres: facile synthesis and electromagnetic properties", *Powder Technology*, Vol. 269, pp. 443-451, 2015.
- [25] S.-H. Wei & S. Zhang, "First-principles study of cation distribution in eighteen closed-shell  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{O}_4$  and  $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}_2^{\text{II}}\text{O}_4$  spinel oxides", *Physical Review B*, Vol. 63, pp. 045112, 2001.
- [26] F. M. Courtel, H. Duncan, Y. Abu-Lebdeh & I.J. Davidson, "High capacity anode materials for Li-ion batteries based on spinel metal oxides  $\text{AMn}_2\text{O}_4$  (A= Co, Ni, and Zn)", *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 21, pp. 10206-10218, 2011.
- [27] Z. Bai, N. Fan, C. Sun, Z. Ju, C. Guo, J. Yang & Y. Qian, "Facile synthesis of loaf-like  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  nanorods and their excellent performance in Li-ion batteries", *Nanoscale*, Vol. 5, pp. 2442-2447, 2013.
- [28] F. M. Courtel, Y. Abu-Lebdeh & I.J. Davidson, "ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles synthesized by a hydrothermal method as an anode material for Li-ion batteries", *Electrochimica Acta*, Vol. 71, pp. 123-127, 2012.
- [29] L. Zhao, X. Li & J. Zhao, "Fabrication, characterization and photocatalytic activity of cubic-like  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$ ", *Applied Surface Science*, Vol. 268, pp. 274-277, 2013.
- [30] A. Sahoo & Y. Sharma, "Synthesis and characterization of nanostructured ternary zinc manganese oxide as novel supercapacitor material", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 149, pp. 721-727, 2015.
- [31] R. Gherbi, Y. Bessekhoud & M. Trari, "Optical and transport properties of Sn-doped  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  prepared by sol-gel method", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 89, pp. 69-77, 2016.
- [32] N. M. Juibari & A. Eslami, "Green synthesis of  $\text{ZnCo}_2\text{O}_4$  nanoparticles by Aloe albiflora extract and its application as catalyst on the
- [13] N. Ahmad, S. Sharma, M.K. Alam, V. Singh, S. Shamsi, B. Mehta & A. Fatma, "Rapid synthesis of silver nanoparticles using dried medicinal plant of basil", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 81, pp. 81-86, 2010.
- [14] J. Kasthuri, S. Veerapandian & N. Rajendiran, "Biological synthesis of silver and gold nanoparticles using apiin as reducing agent", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 68, pp. 55-60, 2009.
- [15] S. Panigrahi, S. Kundu, S. Ghosh, S. Nath & T. Pal, "General method of synthesis for metal nanoparticles", *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 6, pp. 411-414, 2004.
- [16] M. F. Zayed, W. H. Eisa & A. Shabaka, "Malva parviflora extract assisted green synthesis of silver nanoparticles", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 98, pp. 423-428, 2012.
- [17] S. P. Chandran, M. Chaudhary, R. Pasricha, A. Ahmad & M. Sastry, "Synthesis of gold nanotriangles and silver nanoparticles using Aloe vera plant extract", *Biotechnology progress*, Vol. 22, pp. 577-583, 2006.
- [18] N.M. Juibari & A. Eslami, "Synthesis of nickel oxide nanorods by Aloe vera leaf extract", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 136, pp. 913-923, 2018.
- [19] T. Liu, L. Wang, P. Yang & B. Hu, "Preparation of nanometer  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  by auto-combustion and its catalytic activity on the thermal decomposition of ammonium perchlorate", *Materials Letters*, Vol. 62, pp. 4056-4058, 2008.
- [20] Y. Li, L.-B. Kong, M.-C. Liu, W.-B. Zhang & L. Kang, "One-step synthesis of micro/nano flower-like  $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$  as anode for Li-ion batteries", *Materials Letters*, Vol. 186, pp. 289-292, 2017.
- [21] H. Wu, G. Wu, Y. Ren, X. Li & L. Wang, "Multishelled metal oxide hollow spheres: easy synthesis and formation mechanism", *Chemistry—A European Journal*, Vol. 22, pp. 8864-8871, 2016.
- [22] W. Ma, S. Chen, S. Yang, W. Chen, Y. Cheng, Y. Guo, S. Peng, S. Ramakrishna & M. Zhu, "Hierarchical  $\text{MnO}_2$  nanowire/graphene hybrid fibers with excellent electrochemical performance for flexible solid-state

- Int. J. Electrochem. Sci, Vol. 7, pp. 5734-5745, 2012.
- [41] X. Zhu, Z. Wei, W. Zhao, X. Zhang, L. Zhang & X. Wang, "Microstructure and electrochemical properties of  $ZnMn_2O_4$  nanopowder synthesized using different surfactants", Journal of Electronic Materials, Vol. 47, pp. 6428-6436, 2018.
- [42] C. Vakh, A. Pochivalov, A. Podurets, N. Bobrysheva, O. Osmolovskaya & A. Bulatov, "Tin oxide nanoparticles modified by copper as novel catalysts for the luminol- $H_2O_2$  based chemiluminescence system", Analyst, Vol. 144, pp. 148-151, 2019.
- [43] H. Chen, F. Gao, R. He & D. Cui, "Chemiluminescence of luminol catalyzed by silver nanoparticles", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 315, pp. 158-163, 2007.
- [44] Z.-F. Zhang, H. Cui, C.-Z. Lai & L.-J. Liu, "Gold nanoparticle-catalyzed luminol chemiluminescence and its analytical applications", Analytical Chemistry, Vol. 77, pp. 3324-3329, 2005.
- [45] A. Alipour, M.M. Lakouraj, R. Ojani, M.N. Roudbari, M.J. Chaichi & A. Nemati, "Electrochemical and chemiluminescence properties of polyaniline/pectin hybrid nanocomposites based on graphene and CdS nanoparticles", Polymer Testing, Vol. 76, pp. 490-498, 2019.
- thermal decomposition of ammonium perchlorate", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 130, pp. 1327-1333, 2017.
- [33] T. H. Fereja, A. Hymete & T. Gunasekaran, "A recent review on chemiluminescence reaction, principle and application on pharmaceutical analysis", Isrn Spectroscopy, Vol. 2013, pp. 1-13, 2013.
- [34] T. G. Burdo & W.R. Seitz, "Mechanism of cobalt catalysis of luminol chemiluminescence", Analytical Chemistry, Vol. 47, pp. 1639-1643, 1975.
- [35] D. T. Bostick & D.M. Hercules, "Quantitative determination of blood glucose using enzyme induced chemiluminescence of luminol", Analytical Chemistry, Vol. 47, pp. 447-452, 1975.
- [36] E. Schneider, "Chemiluminescence of luminol catalyzed by iron complex salts of chlorophyll derivatives", Journal of the American Chemical Society, Vol. 63, pp. 1477-1478, 1941.
- [37] A. Bee, R. Massart & S. Neveu, "Synthesis of very fine maghemite particles", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 149, pp. 6-9, 1995.
- [38] X. Guo, Y.-Y. Li, D.-H. Shen, Y.-Y. Song, X. Wang & Z.-G. Liu, "Immobilization of cobalt porphyrin on  $CeO_2@SiO_2$  core-shell nanoparticles as a novel catalyst for selective oxidation of diphenylmethane", Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, Vol. 367, pp. 7-11, 2013.
- [39] N. M. Juibari & A. Eslami, "Investigation of catalytic activity of  $ZnAl_2O_4$  and  $ZnMn_2O_4$  nanoparticles in the thermal decomposition of ammonium perchlorate", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 128, pp. 115-124, 2017.
- [40] H. El Ghandoor, H. Zidan, M.M. Khalil & M. Ismail, "Synthesis and some physical properties of magnetite ( $Fe_3O_4$ ) nanoparticles",

## Green Synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$ Nanocomposite by *AleoVera* Extract and its Application as a Catalyst in Luminol- $\text{H}_2\text{O}_2$ Chemiluminescence

Abbas Eslami<sup>1\*</sup>, Ensieh Gholamrezapor<sup>2</sup>, Mohammad Javad Chaichi<sup>3</sup>, Afsaneh Nemati<sup>4</sup>

1- Associated Prof., Department of chemistry, University of Mazandaran.

2- Ph.D, Department of chemistry, University of Mazandaran.

3- Associated Prof., Department of chemistry, University of Mazandaran.

4- Ph.D. student, Department of chemistry, University of Mazandaran.

\*eslami@umz.ac.ir

### Abstract

Synthesis of metal oxide nanoparticles using microorganisms and plants, so-called green synthesis methods, has received a great amount of attention because of its easy and inexpensive synthesis condition with respect to usual chemical and physical methods. The luminol chemiluminescent reaction is among well-known quantitative methods in analytical spectroscopy due to its high sensitivity to presence of catalyst and low background signal. In this study,  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  nanocomposite was prepared by the green method using Aloe Vera extract solution and characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and vibrating sample magnetometer (VSM). These magnetic nanoparticles were used as a catalyst in the luminol- $\text{H}_2\text{O}_2$  chemiluminescence system. The obtained results indicated that these nanoparticles have good catalytic activity in the chemiluminescence system so that the emission intensity was increased about fourfold in presence of catalyst at 3 second. The recovery of this catalyst was easily performed by an applying external magnetic field.

**Keywords:** Green Synthesis, Magnetic nanocomposite, Luminol, Chemiluminescence,  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Journal homepage: [ma.iaumajlesi.ac.ir](http://ma.iaumajlesi.ac.ir)

### Please cite this article using:

Abbas Eslami<sup>1</sup>, Ensieh Gholamrezapor, Mohammad Javad Chaichi, Afsaneh Nemati, Green Synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{ZnMn}_2\text{O}_4$  Nanocomposite by *AleoVera* Extract and its Application as a Catalyst in Luminol- $\text{H}_2\text{O}_2$  Chemiluminescence, *New Process in Material Engineering*, 2020, 14(3), 71-81.