



## تهیهٔ نانو پودرهای هسته-پوسته‌ی اکسیدهای آهن - روی ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$ ) و بررسی ویژگی‌های نوری و مغناطیسی آن

احمد حسن‌پور<sup>۱</sup>، محمد نیایی فر<sup>\*</sup><sup>۱</sup>، مریم آسان<sup>۱</sup>، جمشید عمیقیان<sup>۲</sup>

۱- گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات خوزستان، اهواز

۲- گروه فیزیک، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد

(دریافت مقاله: ۹۰/۳/۱۱، نسخه نهایی: ۹۰/۱۰/۱۹)

چکیده: در این پژوهش نخست با استفاده از اتیلن گلیکول و نیترات آهن، نانو ذرات مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) به روش سل-ژل تهیه و سپس با سیترات سدیم در اتمسفر آرگون بهینه سازی شد. نانو ذرات اکسید روی نیز به روش هم رسوبی با کربنات آمونیوم و استات روی تهیه و در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳ ساعت برداشت شد. سرانجام با داشتن نانوذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\text{ZnO}$  اصلاح شده، سامانه هسته-پوسته  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$  تهیه شد. ویژگی‌های ساختاری و میانگین اندازهٔ بلورک‌های پودرهای تهیه شده با پراش سنجی پرتو X مورد بررسی قرار گرفت. ریخت‌شناسی و اندازهٔ میانگین ذرات با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تراگسیلی (TEM) تعیین و تفسیر شدند. بررسی بیناب‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) نشان از تشکیل پیوندهای آلی و معدنی در نمونه‌ها دارد به این صورت که ستیغ موجود در  $443,81\text{ cm}^{-1}$  به نوسانات پیوندهای  $\text{Zn-O}$  و ستیغ واقع در  $540,20\text{ cm}^{-1}$  به ارتعاشات پیوند  $\text{Fe-O}$  وابسته است. برای تعیین طول موج بیشینه جذب، از بیناب‌سنجی دیدگانی-فرابنفش (UV-Vis) بهره‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار طول موج بیشینه‌ی جذب نانوپودرهای هسته-پوسته در مقایسه با نانوذرات خالص اکسید روی افزایش یافته است. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌های پودری با اندازه‌گیری تغییرات مغناطش بر حسب میدان مغناطیسی با استفاده از یک مغناطش‌سنج لرزه‌ای (VSM) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات مگنتیت ابرپارامغناطیس هستند. از سویی در نمونه‌ی هسته-پوسته، با افزایش نسبت مولی اکسید روی به مگنتیت، مقدار میدان وادارندگی تغییرات چندانی نداشته است.

واژه‌های کلیدی: مگنتیت؛ اکسید روی؛ سامانه هسته پوسته؛ نانو ذره؛ سل-ژل.

[۱]. از سامانه‌های جالب نانوذراتی که دارای ساختار هسته-پوسته‌اند می‌توان به ذراتی اشاره کرد که در آن یک پوسته‌ی نامغناطیسی یک هسته مغناطیسی را در بر گرفته باشد [۲]. به همین منظور با توجه به کاربردهای فراوان نانوذرات مغناطیسی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  در پژشکی، به عنوان حامل‌های دارو به منظور انتقال کنترل شده عوامل درمانی به موضع بیماری [۳]، به عنوان جاذب فلزهای سنگین و مواد آلاینده محیط زیست، در فرایند پالایش پساب‌های صنعتی و به عنوان رنگدانه در صنعت،

مقدمه

در سال‌های اخیر حضور نانوذراتی به صورت ساختار هسته-پوسته با توجه به قابلیت‌های بالا همچون افزایش پایداری شیمیایی و گرمایی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این نانوذرات دارای پوسته‌ای هستند که ذره‌ای را به عنوان هسته در میان گرفته‌اند. اندازه‌ی این نانو ذرات در گستره‌ای از ۲۰ تا  $200\text{ nm}$  را شامل می‌شود و معمولاً متناسب با نوع هسته یا پوسته، می‌توان آن‌ها را در زمینه‌های گوناگون به کار گرفت

\* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۰۶۱۱ ۴۴۵۷۶۱۲، پست الکترونیکی: hasanpour88@gmail.com

### تهیه نانو ذرات مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) اصلاح شده

نخست مخلوطی از ۱ گرم نانو ذرات مگنتیت تهیه شده، و ۵۰ میلی لیتر محلول سیترات سدیم نیم مolar که ۳۰ دقیقه زیر تابش فرماحتی قرار گرفته بود به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  و در فضای آرگون هم زده شد. رسوب به دست آمده با یک آهن ربا جمع آوری و سرانجام چندین بار با استون شسته شد تا از هرگونه آلودگی و ناخالصی پاک شود. در این مرحله سیترات سدیم به عنوان یک پایدارساز عمل می‌کند و باعث جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات شده و سطح نانوذرات مگنتیت را پاک سازی می‌کند.

### تهیه نانوذرات اکسید روی ( $\text{ZnO}$ )

۱۲ گرم استات روی دو آبه و ۷/۶ گرم کربنات آمونیوم را جداگانه در ۱۰۰ میلی لیتر آب حل کرده سپس دو محلول، قطره قطره درون یک فلاسک سه دهانه به هم دیگر افزوده شدند. با ورود اولین قطره ها رسوب سفیدرنگ حاصل شد. رسوب به دست آمده به ترتیب با آب، محلول آمونیاک آبدار با ( $\text{PH} = 9$ ) و اتانول شسته شد. سپس به مدت ۲ ساعت در خلا  $40^{\circ}\text{C}$  پاسکل خشک و به پودر سفید رنگی تبدیل شد. محصول به دست آمده در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳ ساعت در کوره برداشت شد.

### فرایند ساخت هسته - پوسته مگنتیت - اکسید روی ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ )

در این مرحله تهیه نانو پودرهای هسته-پوسته با نسبت های مولی ۱/۰۰۷ ۰/۰۷ گرم مگنتیت و ۰/۰۲۵ ۰/۰۲۵ گرم اکسید روی) مورد بررسی قرار گرفت. نخست به نانوذرات مگنتیت اصلاح شده در بخش پیش ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر دوبار تقطیر شده افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه زیر تابش امواج فرماحتی قرار داده شد. در مرحله بعد با یک آهن ربا ذرات درستتر جدا شدند. سرانجام یک شاره مغناطیسی<sup>۱</sup> پایدار با پایداری نسبی بیش از ۵۰ ساعت به دست آمد. سپس نانوذرات اکسید روی پس از هم زدن با هم زن شیشه ای به مایع مغناطیسی افزوده شد. محصول به دست آمده را در یک دستگاه چرخاننده و در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  خشک کردیم.

در تهیه وسایل الکترونیکی، اپتوالکترونیکی، سرامیکها [۴]، در این پژوهش نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  به عنوان هسته مغناطیسی تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. از سوی دیگر نانوذرات اکسید روی از دسته مواد اکسیدهای رسانای شفاف<sup>۱</sup> (TCO) است که کاربردهای بسیاری در الکترونیک و الکترونیک نوری از جمله در حسگرهای گاز [۵]، الکترودهای رسانای شفاف [۶]، صفحه نمایشگرهای تخت (FPD)، نمایشگرهای بلور مایع (LCD)، دیودهای نور گسیل آلی (OLED)، سلول های خورشیدی [۱۲-۷] و پوشش های محافظتی روی پلیمرها دارند [۱۳]. بدین ترتیب بررسی ویژگی های نانوذرات اکسید روی به عنوان پوسته می تواند یک گزینش درست باشد. بررسی ها نشان می دهد که نانوساختار هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی کاربردهای گسترده ای در پژوهش<sup>۲</sup>، ابزارهای اسپینترونیک<sup>۳</sup>، در حافظه جانبی رایانه به شکل مغناطیسی<sup>۴</sup> [۱۴] دارند. به همین منظور در این پژوهش تهیه این سامانه هسته-پوسته مورد بررسی قرار گرفته است.

### روش بررسی

در این پژوهش برای تهیه نمونه های نیترات آهن (Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O)، دی اتیلن گلیکول (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>)، سدیم سیترات، آمونیوم کربنات ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)، استات روی دوا به (NH<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O)، آمونیاک آبدار (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>Zn.2H<sub>2</sub>O) و اتانول با خلوص ۹۹٪ مورد استفاده قرار گرفتند که همه آن ها از شرکت مرک خریداری شدند.

### روش ساخت نانو ذرات $\text{Fe}_3\text{O}_4$

نانوذرات مگنتیت را به روش سل-زل تولید کردیم. بدین منظور نخست ترکیبی از ۵ میلی لیتر اتیلن گلیکول و ۴/۰۴ گرم نیترات آهن به مدت ۲ ساعت در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  با یک هم زن مغناطیسی هم زده شد. با افزایش دما ۳ل موردنظر در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  ۳ل تشکیل شد. ۳ل به دست آمده در آون در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ ساعت خشک شد، و ۳ل خشک شده قهوه ای رنگ متخلخل به دست آمد پودر آن را در کوره خلا با دمای  $400^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۲ ساعت برداشت کردیم.

1- Transparent conductive oxide

2- Biomedical applications

3- Spintronic devices

4- Magnetooptic

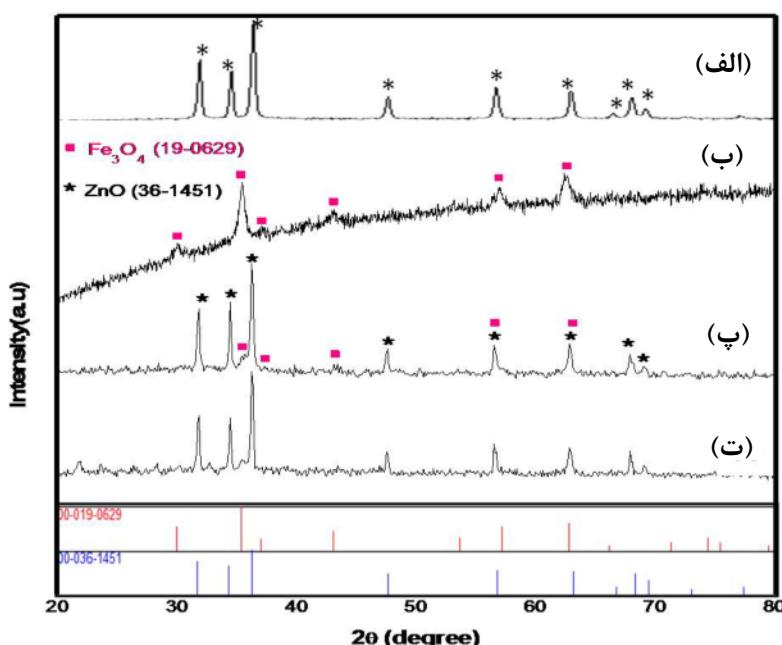
## نتیجه‌ها و بحث

## بررسی‌های ساختار

الگوی پراش پرتو ایکس برای نمونه‌ای  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\text{ZnO}$  سنتر شده در شکل (۱) با نرم افزار X Pert Plus JCPDS (۳۶-۱۴۵۱) و (۱۹-۰۶۲۹) سطیغ‌های کارت‌های  $\text{ZnO}$  نمونه‌ی اکسید روی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  مقایسه و علامت‌گذاری شد. در شکل ۱ (الف) سطیغ‌های پراش پرتو ایکس، تشکیل فاز  $\text{ZnO}$  نمونه‌ی اکسید روی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  تهیه شده به روش هم‌رسوبی را نشان می‌دهد. شکل ۱ (ب) قله‌های پراش پرتو ایکس، تشکیل فاز  $\text{ZnO}$  نمونه‌ی مگنتیت تهیه شده به روش سل-ژل را بدون حضور ناخالصی تایید می‌کند. چنانکه دیده می‌شود، سطیغ‌های وابسته به نانوذرات سیاه ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )، مشابه نانوذرات مگهومایت ( $\gamma-\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) رنگ مگنتیت با رنگ قهوه‌ای تیره هستند، از این رو عوامل دیگری همچون رنگ نانوذرات و میزان دمای گرمادهی نیز در نظر گرفته شدند [۱۵]. در بخش‌های ۱ (ب) و (پ) قله‌های پراش پرتو ایکس، تشکیل فازهای  $\text{ZnO}$  و  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  در نمونه‌های پوسته-مگنتیت-اکسید روی با نسبت‌های مولی ۱-۱۰ و ۱-۲۰ را نشان می‌دهد. میانگین اندازه‌ی بلورک‌های نانوذرات  $\text{ZnO}$  و  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  با رابطه شر  $D = K\lambda/\beta \cos\theta$  که در آن D میانگین اندازه‌ی بلورک،  $\lambda$  طول موج پرتو ایکس،  $\beta$  پهنه‌ای قله در نیم بیشینه و  $\theta$  زاویه‌ی برآگ است محاسبه و در جدول (۱) آمده‌اند.

## شناسایی و اندازه گیری

به منظور بررسی فازهای موجود در نانو پودرهای تولید شده، الگوی XRD با استفاده از پراش سنج پرتو X، مدل ID ۳۰۰۳ ساخت شرکت Seifert آلمان با لامپ مسی و طول موج  $\text{K}\alpha = 1/54.056\text{\AA}^\circ$  و در گستره ۲۰ از ۲۰ تا ۸۰ درجه ترسیم شد. به منظور بررسی سطح نانوذرات و به دست آوردن اطلاعات ریخت و اندازه‌ی آن‌ها از میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی (SEM) مدل XL ۳۰ ساخت شرکت Philips از کشور هلند و میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی (TEM) مدل CM ۱۲۰ ساخت شرکت Philips از کشور هلند استفاده شد. از بیناب‌سنج (EDX) موجود در مرکز پژوهش رازی برای شناسایی عنصری نمونه‌ها بهره‌گیری شد. برای بررسی ساختار شیمیایی نمونه‌ها از بیناب‌سنج فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) ساخت شرکت Perkin Elmer مدل RXII در بازه‌ی طول موجی  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  استفاده شد. به منظور بررسی چگونگی تاثیر نوع ذرات بر طول موج بیشینه جذب پرتو فرابنفش (UV)، از پراش سنج نوری فرابنفش-دیدگانی (UV-Lambda35) ساخت شرکت Perkin Elmer مدل visible استفاده شد. بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ای مگنتیت و ذرات هسته-پوسته، مغناطش سنج لرزه‌ای (VSM) ساخت شرکت مغناطیس کویر کاشان مورد استفاده قرار گرفت.



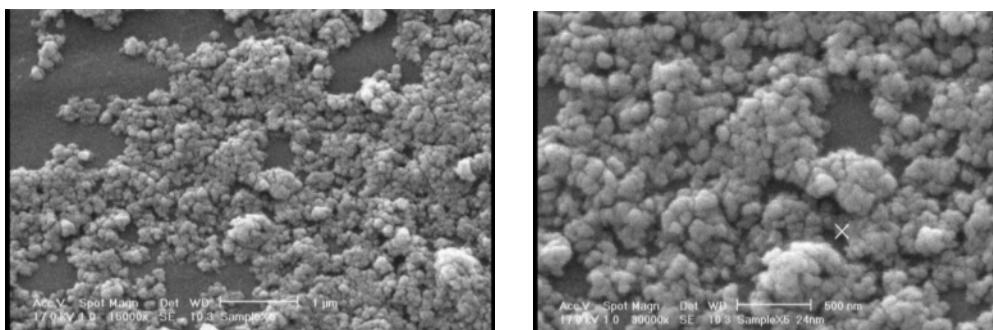
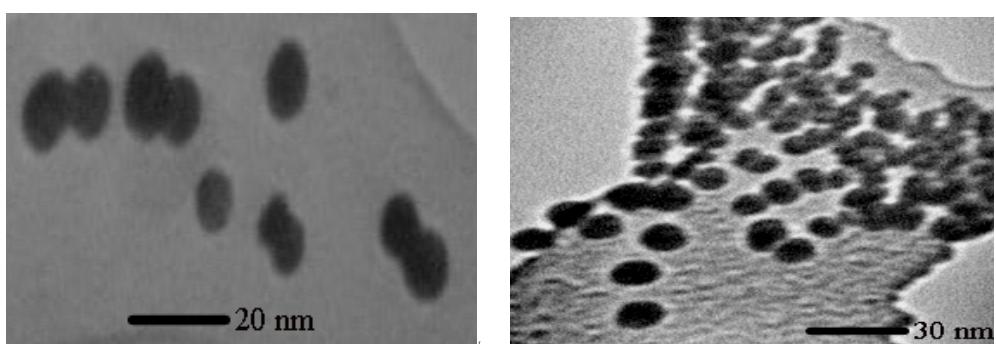
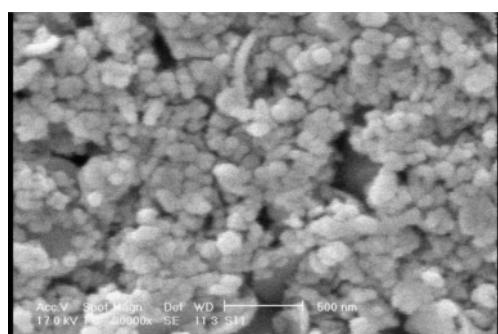
شکل ۱ الگوی پراش پرتو X: (الف) نانوذرات اکسید روی، (ب) نانوذرات مگنتیت-اکسید روی (پ) با نسبت مولی ۱۰-۱ و (ت) با نسبت مولی ۲۰-۱.

جدول ۱ محاسبه‌ی اندازه ریز بلورک‌های نانو ذرات مگنتیت واکسید روی با استفاده از رابطه‌ی شر.

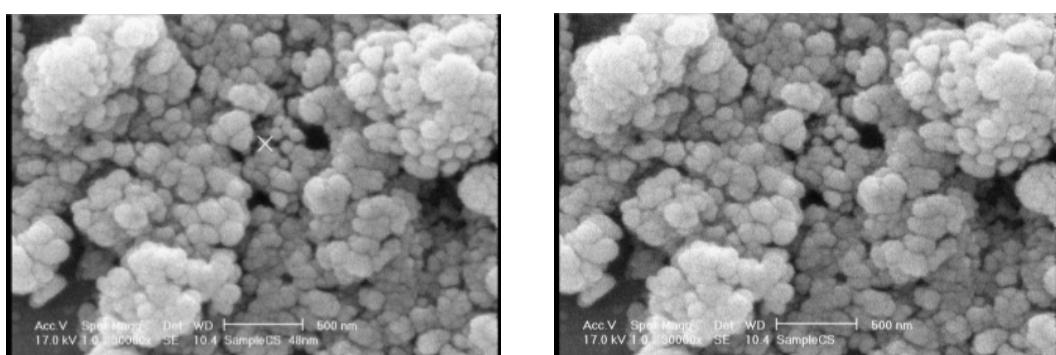
نano ذرات	مگنتیت برشته شده در دمای $400^{\circ}\text{C}$ به مدت ۲ ساعت	اکسیدروی برشته شده در دمای $50^{\circ}\text{C}$ به مدت ۳ ساعت
اندازه بلورک	۱۰ nm	۲۳ nm

(۵) تصویر SEM نانو پودرهای کروی شکل هسته-پوسته‌ی مگنتیت-اکسید روی دیده می‌شوند. به منظور بررسی بیشتر ترکیب ذرات، نمونه‌ی هسته پوسته‌ی تهیه شده با نسبت مولی ۱-۱۰-۱ بر پایه‌ی آنالیز EDX مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۶) درصد عناصر روی، آهن و اکسیژن به ترتیب ۷۹/۱۲٪، ۱۰/۳۱٪ و ۲۰/۱٪ دیده می‌شوند. چنانکه مشاهده می‌شود هیچ گونه ناخالصی در نمونه‌ی هسته-پوسته وجود ندارد که تاییدی است بر تشكیل ذرات هسته-پوسته مورد نظر.

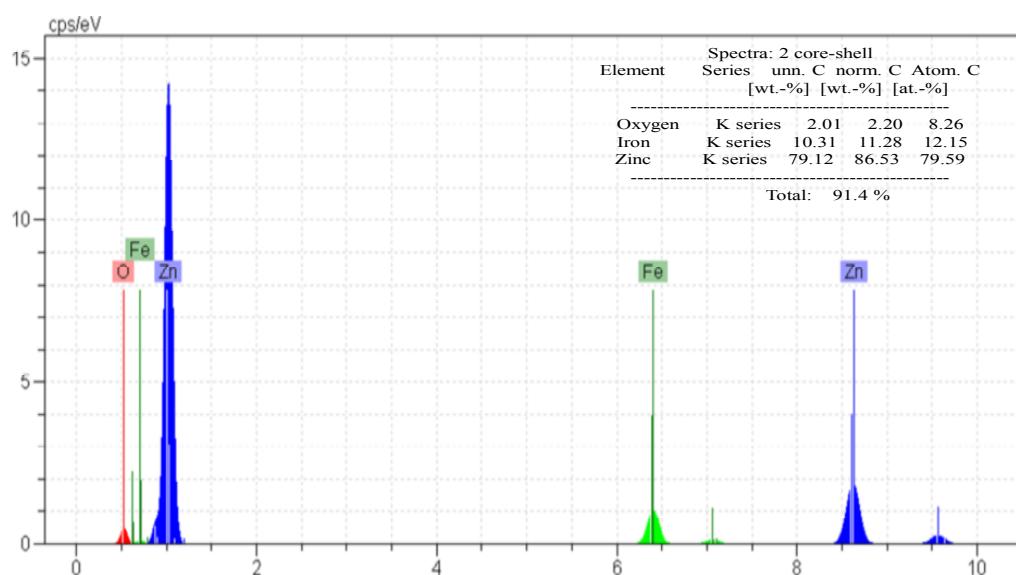
بررسی‌های ریز ساختاری و ریخت شناسی چنان که دیده می‌شود اندازه‌ی ذرات در گستره‌ی نانومتری است. در شکل‌های (۲) و (۳) تصویرهای TEM و SEM نانوذرات کروی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  تهیه شده به روش سل ژل دیده می‌شوند. اندازه‌ی ذرات پیرامون ۱۰ nm است که قابل مقایسه با نتایج به دست آمده از رابطه‌ی شر است. شکل (۴) تصویر SEM نانوذرات اکسید روی تهیه شده به روش هم-رسوبی است. با توجه به تصویر ذرات کروی شکل‌اند. در شکل

شکل ۲ تصاویر (SEM) نانوذرات مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).شکل ۳ تصاویر (TEM) نانو ذرات مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

شکل ۴ تصاویر (SEM) نانوذرات اکسید روی (ZnO).



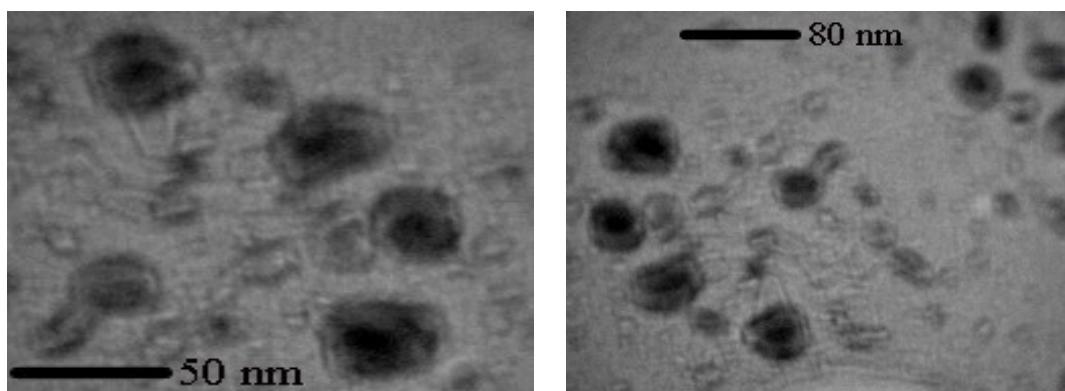
شکل ۵ تصویر (SEM) هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی با نسبت مولی ۱-۱۰.



شکل ۶ تصویر (EDX) هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی با نسبت مولی ۱-۱۰.

نانوذرات مگنتیت نسبت به نانوذرات اکسیدروی، تصویر هسته مغناطیسی ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) تیره‌تر از پوسته دیده می‌شود. قطر این ذرات در بازه‌ی ۴۰ تا ۵۰ nm است.

شکل (۷) تصویر TEM هسته-پوسته با نسبت مولی ۱-۱۰ را نشان می‌دهد که به صورت نقاط تاریک و خاکستری که به ترتیب به هسته‌ی مغناطیسی اکسید آهن و پوسته‌ی اکسید روی وابسته است. به دلیل چگالتر بودن و جذب الکترونی بیشتر



شکل ۷ تصاویر (TEM) هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی با نسبت مولی ۱-۱۰.

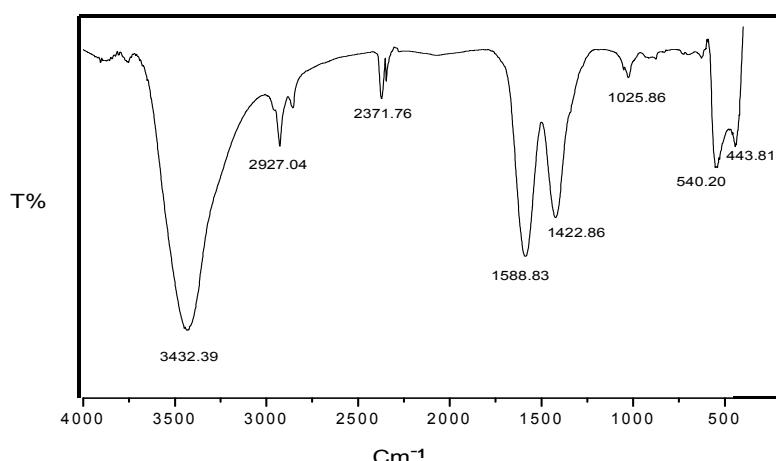
گستره‌ی طول موج  $390\text{ nm}$  رخ می‌دهد. از پیامدهای ورود اجسام به گستره‌ی بعدان نانو، گستگی ترازهای انرژی و بزرگتر شدن گاف انرژی نسبت به ماده‌ی توده‌ای است. هر قدر اندازه‌ی ذرات کوچک‌تر باشد پهنای ترازها و گاف انرژی بزرگ‌تر خواهد شد. بنابراین با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات، جذب آن به سمت انرژی‌های بالاتر و طول موج‌های کمتر جایه جا می‌شود. چنان که از شکل (۹) پیداست، در بیناب وابسته به نمونه‌ی نانو ذره اکسید روی، بیشینه‌ی جذب در  $371\text{ nm}$  و در بیناب‌های وابسته به هسته-پوسته با نسبت مولی  $1-10$  بیشینه‌ی جذب در طول موج  $374\text{ nm}$  رخ داده است. به عبارتی طول موج بیشینه‌ی جذب به سمت مقادیر بیشتر جابه‌جا شده است که آن را می‌توان به اثر افزایش اندازه ذرات نسبت داد [۱۷].

بررسی‌های بیناب سنجی نوری فرو سرخ تبدیل فوریه

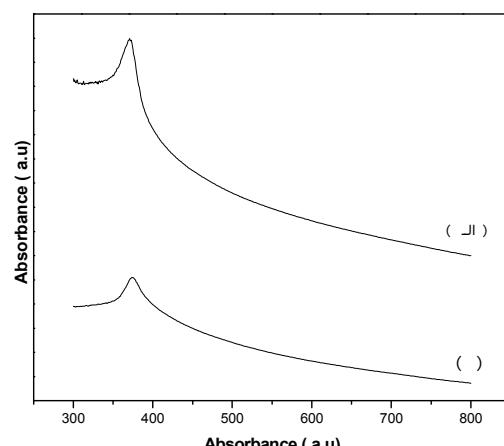
در شکل (۸)، بیناب فروسرخ نانوپودرهای هسته-پوسته  $\text{ZnO}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ -آمده است. نتایج بررسی‌های صورت گرفته با FTIR-نشان از تشکیل پیوندهای شیمیایی دارد به این صورت که قله‌های موجود در بازه‌ی  $3432/39\text{ cm}^{-1}$  و  $2371/76\text{ cm}^{-1}$  را می‌توان به ارتعاش‌های کششی گروه هیدروکسیل O-H و قله‌های بین  $1588/83\text{ cm}^{-1}$  و  $1422/86\text{ cm}^{-1}$  به پیوندهای استات نسبت داد. قله‌های موجود در گستره‌ی  $1025/86\text{ cm}^{-1}$  و  $443/81\text{ cm}^{-1}$  به نوسان‌های پیوندهای Zn-O و قله موجود در  $540/20\text{ cm}^{-1}$  و  $400/20\text{ cm}^{-1}$  می‌توانند به ارتعاش‌های پیوند Fe-O وابسته باشند [۱۶].

بررسی‌های بیناب دیدگانی-فرابنفش

بیشینه‌ی جذب (درآشامی) اکسید روی در حالت توده‌ای در



شکل ۸ بیناب تبدیل فوریه فروسرخ نانو پودرهای هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی با نسبت مولی  $1-10$ .

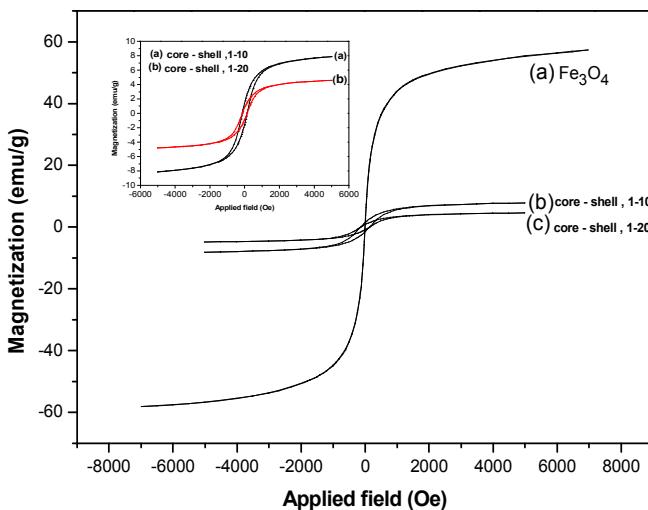


شکل ۹ بیناب دیدگانی-فرابنفش (الف) نانو پودرهای اکسید روی، (ب) هسته-پوسته مگنتیت-اکسید روی با نسبت مولی  $1-10$ .

به دلیل حضور نانو ذرات اکسید روی، مغناطش اشباع در سیستم هسته-پوسته نسبت به نانوذرات خالص مگنتیت کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهد و این به خاطر آن است که در این حالت مغناطیدگی در ماده‌ی بیشتری نسبت به ماده‌ی خالص توزیع می‌شود و در نتیجه مغناطیدگی در واحد حجم و یا همان مغناطش کاهش می‌یابد. همچنین بررسی مغناطش اشباع و میدان ودارندگی برای دو نمونه هسته-پوسته با نسبت‌های مولی مختلف مگنتیت به اکسید روی (۱-۰ و ۱-۲۰) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت مولی اکسید روی به مگنتیت مقدار مغناطش اشباع تغییر کرده است اما میدان ودارندگی تغییر محسوسی نداشته است. این نشان می‌دهد که افزایش نسبت پوسته تاثیری در ناهمسانگردی بلوری مگنتیت ندارد. نتایج در جدول (۲) درج شده‌اند.

### بررسی‌های مغناطیسی

مغناطش نمونه‌های مگنتیت و مگنتیت-اکسید روی که از روی چرخه‌های پسماند در یک میدان بیشینه‌ی  $8\text{ KOe}$  در دمای اتاق تعیین شده‌اند، در شکل (۱۰) آمده است. مغناطش اشباعی نانوذرات مگنتیت به دست آمده  $58\text{ emu/g}$  است که نسبت به حالت توده‌ای آن ( $98\text{ emu/g}$ ) کاهش یافته است [۱۸]. علت این کاهش را می‌توان به بی‌نظمی گشتاورهای مغناطیسی اتم-های لایه‌ی سطحی (اثر اسپین شیشه) در نانوذرات نسبت داد [۱۹]. هر چه ذره کوچکتر می‌شود اثر این لایه‌ی مرده سطحی نسبت به حجم کل ذره که دارای نظم مغناطیسی است بزرگتر شده و در نتیجه مغناطش کاهش می‌یابد [۲۰]. مقدار میدان‌های ودارندگی مغناطیسی برای نانوذرات مگنتیت خالص بسیار ناچیز است به طوری که می‌توان آن را در حد صفر گرفت که نشان می‌دهد ذرات مگنتیت ابرپارا مغناطیسی‌اند.



شکل ۱۰. چرخه‌ی پسماند (الف) نانوذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4-\text{ZnO}$  (ب) با نسبت مولی ۱-۰، (ج) با نسبت مولی ۱-۲۰.

جدول ۲ بررسی میزان مغناطش اشباع بر حسب میدان ودارندگی نمونه‌های نانو پودری اکسید آهن و هسته-پوسته اکسید آهن-اکسید روی.

نانو ذرات مگنتیت	مغناطش اشباع (emu/g)	میدان ودارندگی (Oe)
نانو ذرات مگنتیت-اکسید روی نسبت مولی ۱-۰	۵۷,۳۳۰.۲	تقریباً صفر
نانو ذرات مگنتیت-اکسید روی نسبت مولی ۱-۲۰	۷,۸۷۷.۲۳	۱۴۰
	۴,۵۹۰.۲	۱۴۰

ایکس وابسته به نانوذرات هسته-پوسته می‌توان به حضور ساختارهای  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\text{ZnO}$  در این ماده پی برد. در تصاویر به دست آمده از TEM نیز ساختار هسته-پوسته به صورت نقاط روشن و تاریک مشاهده می‌شود. بررسی مغناطش بر حسب میدان نشان می‌دهد که با افزایش نسبت مولی اکسید روی به مگنتیت، میزان مغناطش تغییر یافته ولی مقادیر میدان‌های ودارندگی تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته است.

### برداشت

در این پژوهش تهیه‌ی نانوذرات مگنتیت با روش سل-زل و نانوذرات اکسید روی به روش همرسوبی با موفقیت انجام شد. سرانجام با اصلاح سطح نانوذرات مگنتیت با سیترات سدیم با تشکیل یک مایع مغناطیسی پایدار و افزودن نانوذرات اکسید روی به آن، نانوپودرهای هسته-پوسته اکسید آهن-اکسید روی تهیه شد. از بررسی ستیغ‌های موجود در پراش پرتو

- solar cells", Journal of Physical Chemistry 111 (2007) 8692–8698.*
- [11] Zhang R., Kumar S., Zou S., Kerr L.L., "High-density vertically aligned ZnO rods with a multistage terrace structure and their improved solar cell efficiency", *Crystal Growth and Design* 8 (2007) 381–383.
- [12] Suliman A.E., Tang Y.W., Xu L., "Preparation of ZnO nanoparticles and nanosheets and their application to dye-sensitized solar cell", *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91 (2007) 1658–1662.
- [13] Moustaghfir A., Tomasella E., Jacque M., Rivaton A., Mailhot B., Gardette J.L., Beche E., "ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings for the photoprotection of polycarbonate", *Journal of Thin Solid Film* 515(2006)662-665.
- [14] Xiong H., Xu Y., Ren Q., Xia Y., "Stable aqueous ZnO@polymer core-shell nanoparticles with tunable photo luminescence and their application in cell imaging", *Journal of the American Chemical Society* 130 (2008) 7522 – 7523.
- [15] Jing X., Haibin Y., Wuyou F., Kai D., "Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol-gel method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 39(2007)307-311.
- [16] Lavat A.E., Wagner C.C., Tasca J.E., "Interaction of Co-ZnO pigments with ceramic frits : A combined study by XRD, FTIR and UV-visible", *Ceramics International* 34 (2008) 2147-2153.
- [17] Zhang H., Yang D., Li S., Ma X., Ji Y., Xu J., Que D., "Controllable growth of ZnO nanostructures by citric acid assisted hydrothermal process", *Journal of Materials Letters* 59 (2005) 1696 - 1700.
- [18] Han D. H., Wang J.P., Luo H.L., "Crystallite size effect on saturation magnetization of fine ferrimagnetic particles", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 136 (1994) 176-182.
- [19] Lin C.R., Chu Y.M., Wang S.C., "Magnetic properties of magnetite nanoparticles prepared by mechanochemical reaction", *Materials Letters* 60 (2006) 447-450.
- [20] Curiale J., Granada M., Troiani H.E., Sanchez R.D., Leyva A.G., Levy P., Samwer K., "Magnetic dead layer in ferromagnetic manganite nanoparticles", *Applied Physics Letters* 95 (2009) 043106-043109.

## قدردانی

مریم آسان لازم می داند از زحمات آقایان حامد احمدی و میثم دارابی پرسنل محترم آزمایشگاه مرکزی علوم و تحقیقات خوزستان به خاطر تهیه‌ی پراش پرتو ایکس و بیناب فرو سرخ تبدیل فوریه صمیمانه تشکر و قدردانی نماید.

## مراجع

- [1] Soundarya N., Zhang Y., "Use of Core-Shell Structured Nanoparticles for Biomedical Applications", *Journal of Biomedical Engineering* 1 (2008) 34-42.
- [2] Zeng H., Sun Sh., Li J., Wang Z.L., Liu J.P., "Tailoring magnetic properties of core/shell nanoparticles", *Journal of Applied Physics Letters* 85 (2004) 792-294.
- [3] Xinchao W., Viadero R., "Synthesis of magnetite nano particle with ferric iron recovered from acid mine drainage for : Implications environmental" , *Journal of Physicochemical and Engineering Aspects* 294 (2007) 280-286.
- [4] Cabrera L., CUTieeeeerez S., Menendez N., Morales M.P., Herrasti P., "Magnetite nano particles: Electrochemical synthesis an characterization", *Journal of Electrochimica Acta* 53 (2008) 3436 - 3441.
- [5] Ashour A., Kaid M., "Physical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis", *Journal of Applied Surface Science* 252 (2006) 7844-7848.
- [6] Weifeng Liu., Guotong Du., Yanfeng S., Yibin Xu., Tianpeng Y., Xinsheng W., Yuchun Ch., Fabin Q., "Al-doped ZnO thin films deposited by reactive frequency magnetron sputtering : H<sub>2</sub> - induced property changes", *Thin Solid Films* 515(2007)3057-3060.
- [7] Wang Z.S., Huang C.H., Huang Y.Y., Hou Y.J., Xie P.H., Zhang B.W., Cheng H. M., "A highly efficient solar cell made from a dye-modified ZnO covered TiO<sub>2</sub> nanoporous electrode", *Chemistry of Materials* 13 (2001) 678–682.
- [8] Kluth O., Rech B., Houben L., Wieder S., Schope G., Beneking C., Wagner H., Loffl A., "ZnO:Al coated glass substrates for silicon based thin film solar cells", *Thin Solid Films* 351(1999) 247-253.
- [9] Choopun S., Tubtimtae A., Sanhaveesuk T., Nilphai S., Wongrat E., Hongstit N., "Zinc oxide nanostructures for applications as ethanol sensors and dye- sensitized solar cells", *Applied Surface Science* 256 (2009) 998–1002.
- [10] Tornow J., Schwarzburg K., "Transient electrical response of dye-sensitized ZnO nanorod