



مطالعه اثر توزیع اندازه بر ویژگی‌های نورتابی نانوذرات اکسید آهن

مصطفی شعبانلو، سید محمدحسین خلخالی*، علی غیاسوند

گروه فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده: در این پژوهش، نانوذرات اکسید آهن با استفاده از روش هم‌رسوبی سنتز شدند. به دنبال آن با حل کردن نانوذرات در تولوئن و کاهش حلالیت آن‌ها با استفاده از استون به‌عنوان پاد حلال، اندازه‌های متفاوتی از نانوذرات اکسید آهن انتخاب و جدا شدند. پس از جداسازی نانوذرات با اندازه‌های متفاوت، ساختار نواری آن‌ها توسط طیف‌شناسی نورتابی (فتولومینسانس) بررسی شدند. برای تعیین فاز و ساختار نانوذرات اکسید آهن از پراش پرتو ایکس و برای بررسی اندازه نانوذرات از آنالیز پراش نور پویا و تصویربرداری میکروسکوپ الکترون عبوری استفاده شد. نتیجه‌های به‌دست آمده قابلیت جداسازی نانوذرات اکسید آهن را تا ۳ نانومتر تأیید می‌کنند و همچنین، نتیجه‌های طیف‌سنجی فتولومینسانس انتقال بیشینه گسیل را به سمت طول‌موج‌های بلندتر، با کاهش اندازه نانوذرات اکسید آهن را نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: اکسید آهن، جداسازی اندازه، فتولومینسانس، پاد حلال.

* m_khalkhali@khu.ac.ir

الکترونیکی ماده را از خوشه‌های اتمی به توده‌ی ماده، ایجاد می‌کنند [۵].

نقاط کوانتومی، نانوذرات نیم‌رسانایی با ویژگی‌های نوری و الکترونیکی وابسته به‌اندازه هستند. نقاط کوانتومی کلوییدی با ساختار آن‌ها و انرژی گاف نواری آن‌ها بین نوار ظرفیت و رسانش مشخص می‌شوند. ویژگی (رفتار) گاف مستقیم ساختار نواری در نیم‌رسانا علت رخ‌دادن فتولومینسانس است و این ویژگی‌ها برای بعضی از کاربردهای یک نیم‌رسانا حیاتی هستند و به این خاطر که فرکانس نور گسیل‌شده نتیجه‌ی اندازه‌ی گاف نواری است، می‌توان با کنترل اندازه‌ی ذرات آن‌ها را کنترل کرد [۶ و ۹]

روش‌های زیادی برای سنتز نانوذرات اکسید آهن توسط پژوهشگران ارائه شده است که از این بین می‌توان به هم‌رسوبی [۱۰]، هیدروترمال [۱۱]، میکروامولسیون [۱۲] و کندسوز لیزر پالسی [۱۳] اشاره کرد. در این میان روش هم‌رسوبی به یکی از بهترین و

۱- مقدمه

نانومواد ویژگی‌های نوری، مکانیکی، فیزیکی و مغناطیسی بهبودیافته‌ای را در مقایسه با نمونه‌ی توده‌ی خود ارائه می‌کنند. در سال‌های گذشته، نانوذرات نیم‌رسانای اکسید فلزی توجه پژوهشگران را به‌دلیل پتانسیل کاربردی آن‌ها در زمینه‌های فیزیک، شیمی، زیستی و علم مواد، به خود جلب کرده‌اند [۱ و ۲]. همچنین، سنتز نانوذرات مغناطیسی که شامل هر دو ویژگی‌های مغناطیسی و نوری باشند، به‌دلیل کارایی چندگانه‌ی آن‌ها مانند حس‌گرها و جداکننده‌های زیستی، بسیار مهم شده‌اند [۳ و ۴]. بسیاری از ویژگی‌های این دسته از نانوذرات وابسته به‌اندازه‌ی آن‌ها است، در نتیجه می‌توان آن‌ها را با اثرهای محدودیت‌های کوانتومی توضیح داد. از نگاه علوم پایه، نانوبلورها یک حالت میانی از ماده، بین خوشه‌های مولکولی شکل و بلورهای توده هستند و در نتیجه قابلیت دنبال کردن تغییرات ویژگی‌های نوری و

ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات اکسید آهن مانند مغناطیس اشباع نیز با اندازه‌ی نانوذرات ارتباط دارد [۲۱].

در این مقاله نخست به دنبال سنتز نانوذرات اکسید آهن به روش هم‌رسوبی و سپس جداسازی نانوذرات با اندازه‌های متفاوت و بررسی طیف فتولومینسانس آن‌ها بودیم. همچنین، برای شناسایی نانوذرات از پراش پرتوی ایکس و برای بررسی اندازه‌ی آن‌ها از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری و آنالیز پراش نور پویا استفاده شد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- سنتز نانوذرات اکسید آهن به روش هم‌رسوبی

در این مرحله نخست ۱ گرم آهن کلراید ۴ آبه ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) با ۴٫۰۶ گرم آهن‌نیترات ۹ آبه ($\text{FeN}_3\text{O}_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه تحت نیتروژن و استیرر با هم ترکیب شدند. سپس این محلول به ۵۰ میلی‌لیتر آمونیاک که تحت نیتروژن و استیرر قرار داشت به صورت قطره‌قطره افزوده شد. پس از افزودن، محلول در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفت و به مدت ۱ ساعت هم خورد. محلول نهایی با ایزوپروپانول شسته شده و در آون خشک شد. بخشی از پودر نهایی سنتز شده برای آنالیزهای پراش پرتوی ایکس برای بررسی فاز ماده آماده شد.

۲-۲- انتخاب اندازه‌های متفاوت از نانوذرات اکسید آهن سنتز شده به روش هم‌رسوبی

در این بخش به نانوذرات اکسید آهن که به روش هم‌رسوبی در بخش پیشین سنتز شده بودند، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر اسیداولئیک افزوده شد و سپس تحت نیتروژن و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد یک ساعت با همزن مغناطیسی هم‌زده شد. نانوذرات پس از هم‌زده شدن، در ۵۰ میلی‌لیتر تولوئن ریخته شدند. پس از حل شدن نانوذرات در تولوئن، مقدار ۲٫۵ میلی‌لیتر از محلول در استوانه مدرج ریخته شد. به ۲٫۵ میلی‌لیتر از محلول نانوذرات اکسید آهن و تولوئن، مقدار ۲٫۵ میلی‌لیتر استون افزوده و پس از ته‌نشین شدن نانوذرات در آن، نمونه سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ نمونه، با اعمال میدان مغناطیسی بخش ته‌نشین شده‌ی محلول جمع‌آوری و مابقی در یک استوانه‌ی مدرج ریخته شد و سپس به آن ۵ میلی‌لیتر استون دیگر افزوده شد و دوباره پس از ته‌نشینی

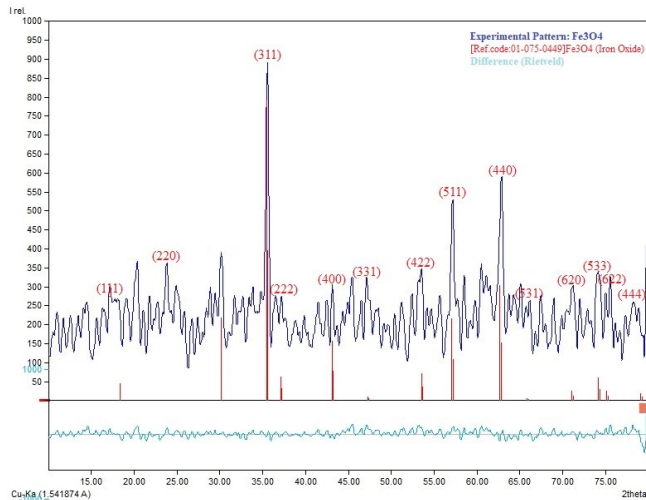
کارآمدترین روش در سنتز نانوذرات اکسید آهن به دلایل فراوانی اعم از زمان کوتاه فرایند، قابلیت استفاده از آب به‌عنوان حلال و انجام واکنش در دمای پایین، ساده بودن، تولید زیاد محصول و مقرون‌به‌صرفه بودن تبدیل شده است [۱۴]. با این حال به‌طور کلی روش‌های سنتز بر پایه‌ی فاز آبی (مانند هم‌رسوبی) مشکلاتی نظیر یک‌دست نبودن اندازه‌ی ذرات سنتز شده را دارا هستند [۱۵].

یکی از روش‌های بهبود نتیجه‌های به‌دست آمده و کنترل اندازه‌ی نانوذرات سنتز شده در روش هم‌رسوبی استفاده از روش‌هایی تحت عنوان انتخاب اندازه است. در این روش (انتخاب اندازه) می‌توان نخست نانوذرات اکسید آهن را به روش هم‌رسوبی سنتز کرده، سپس طی فرایندهای تکراری مانند حل کردن نانوذرات درون یک حلال غیرقطبی با استفاده از سورفکتانت و سانتریفیوژ، نانوذرات با اندازه‌های متفاوت را جدا کرد [۱۶ و ۱۷]. فتولومینسانس تنها یک پدیده‌ی گسیل نور از مواد نیست، بلکه به‌عنوان یک ویژگی در بسیاری از سامانه‌های نانوذرات شامل نقاط کوانتومی، طلا و سیلیسیوم مشخص شده است. درحالی‌که فتولومینسانس این مواد شامل گسیل نور از ناحیه‌ی مرئی تا مادون را شامل می‌شود، فرایندهای برانگیختگی که منجر به این گسیل‌ها می‌شوند، می‌تواند از اکسیتون‌های مقید در نقاط کوانتومی تا پلاسمون‌های سطحی در نانوذرات فلزی متغیر باشد. عیوب داخل نواری و محدودیت‌های کوانتومی نیز نقش مهمی را در نانوذرات متخلخل بازی می‌کنند [۱۸].

در میان این نانوذرات، نانوذرات اکسید آهن پایداری شیمیایی، سازگاری بیولوژیکی، توانایی هدف‌گیری و ویژگی‌های مغناطیسی منحصر به فردی را از خود نشان می‌دهند. نانوذرات اکسید آهن سوپرپارامغناطیس، مانند مگنتایت^۱ و شکل اکسید شده‌ی آن مگمایت^۲ بیشترین استفاده را در کاربردهای پزشکی دارا هستند [۱۹]. کاربردهای در حال افزایش نانوذرات اکسید آهن، موجب پیدایش علاقه در یافتن پروتکل‌هایی برای نانوذرات با قدرت اجرایی بالا شامل کنترل سنتز نانوذرات اکسید آهن با ریخت‌شناسی، ساختار و اندازه‌های متفاوت و فناوری ترکیبی برای تولید در مقیاس بالا و اصلاحات لازم سطحی نانوذرات برای ارتقای سازگاری بیولوژیکی، می‌شود [۲۰]. گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد

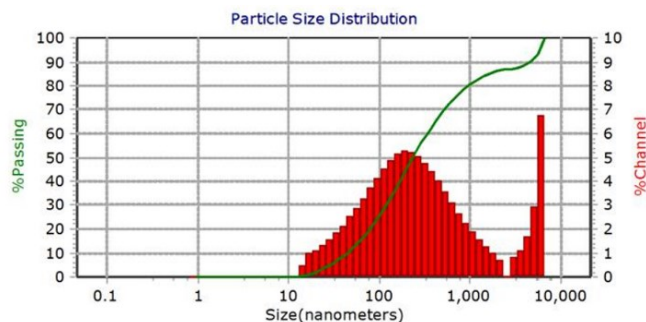
1. Magnetite
2. Maghemite

نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است فاز ماده به خوبی تشکیل شده و قله‌هایی که دارای اندیس نیستند، نشانگر ناخالصی درون ماده است. آنالیز پراش پرتوی ایکس با شماره کارت استاندارد ICSD-084611 مطابقت دارد که نشان‌دهنده تشکیل فاز بلوری مکعبی با گروه فضایی $Fd-3m$ است. این آنالیز صرفاً برای بررسی فاز نانوذرات اولیه سنتز شده، انجام شده است.



شکل ۱: نمودار پراش پرتوی ایکس نانوذرات اکسید آهن

شکل‌های ۲ تا ۵ نتیجه‌های آنالیز پراش نور پویا (توزیع اندازه‌ی نانوذرات) برای نمونه‌های ۱ و ۴ تا ۶ را نشان می‌دهد.



شکل ۲: توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌ی ۱

همان‌طور که از توزیع نانوذرات مشخص است، نانوذرات در نمونه‌ی ۱ دارای توزیع گسترده‌ای هستند که به دلیل مقدار زیاد ذرات در مرحله‌ی اول از انتخاب اندازه و خطای عملیات است که تا حد زیادی اجتناب‌ناپذیر است، زیرا بیشتر ذرات در مرحله‌ی اول به دلیل فاز مغناطیسی نانوذرات اکسید آهن دچار تجمع می‌شوند و کندن و جدا کردن تمامی نانوذرات با اندازه‌ی کوچک مشکل

سانتریفیوژ، بخش ته‌نشین شده با اعمال میدان مغناطیسی جدا و مابقی در استوانه مدرج ریخته و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون افزوده شد. این بار نیز مانند پیش، پودر ته‌نشین شده و محلول جدا و سپس به محلول ۲۰ میلی‌لیتر استون افزوده شد. دوباره با تکرار تمامی مراحل مانند پیش این بار به محلول ۴۰ میلی‌لیتر استون افزوده شد و پس از سانتریفیوژ پودر ته‌نشین شده را جدا و مابقی محلول جدا شد.

پس از آماده‌سازی نمونه‌های بالا، پودرهای ته‌نشین شده و جدا شده در هر بخش با مقداری تولوئن حل شد و برای بهتر حل شدن نانوذرات در تولوئن به آن‌ها کمی اسیداولئیک افزوده شد. در مرحله‌ی آخر ۸۰ میلی‌لیتر استون به کل محلول بدون اعمال سانتریفیوژ انجام شد. جدول ۱ تمامی مراحل انجام این عملیات را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مراحل انجام عملیات انتخاب اندازه

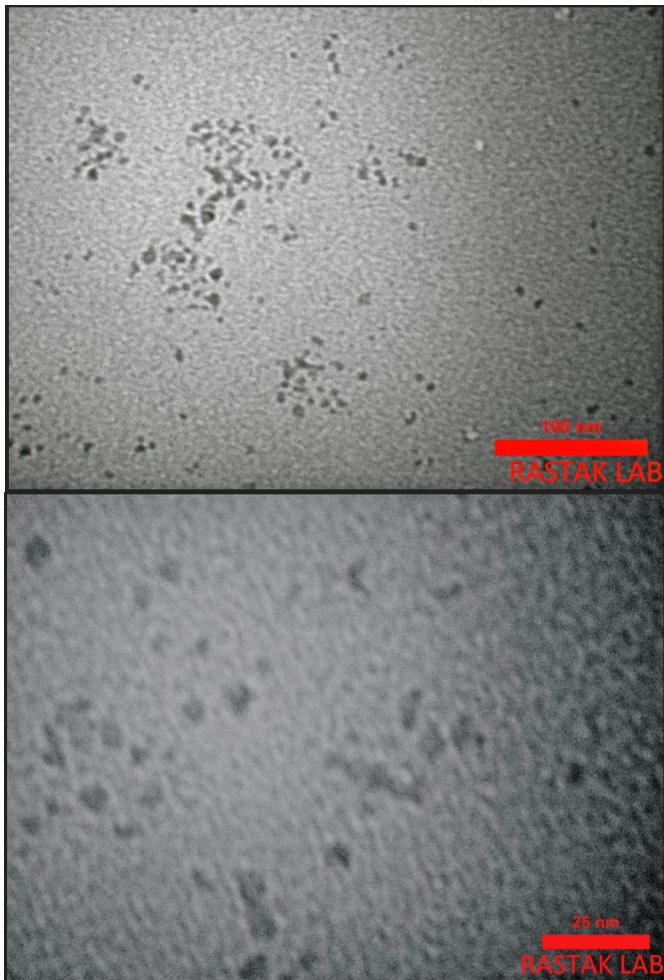
شماره‌ی نمونه	مقدار محلول حاوی نانوذرات (میلی لیتر)	مقدار استون (میلی لیتر)	سانتریفیوژ
۱	۲/۵	۲/۵	بله
۲	۵	۵	بله
۳	۱۰	۱۰	بله
۴	۲۰	۲۰	بله
۵	۴۰	۴۰	بله
۶	۸۰	۸۰	خیر

آنالیز پراش پرتوی ایکس با شرکت بیم گستر تابان (مدل PW1730)، آنالیز پراش نور پویا با دستگاه شرکت میکروتراک (Microtrac مدل NANOTRAC WAVE II) با دقت ۰٫۸ نانومتر متعلق به دانشگاه خوارزمی، آنالیز میکروسکوپ الکترون عبوری با شرکت پرتو رایان رستاک (مدل EM 208S) و همچنین، آنالیز طیف‌سنجی فتولومینسانس با دستگاه اسپکتروفوتومتر فلورسانس (مدل Carry eclipse) متعلق به دانشگاه الزهرا انجام شدند.

۳- نتیجه‌ها و بحث

شکل ۱ نتیجه‌های آنالیز پراش پرتوی ایکس از نانوذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) که نخست به روش هم‌رسوبی سنتز شدند را

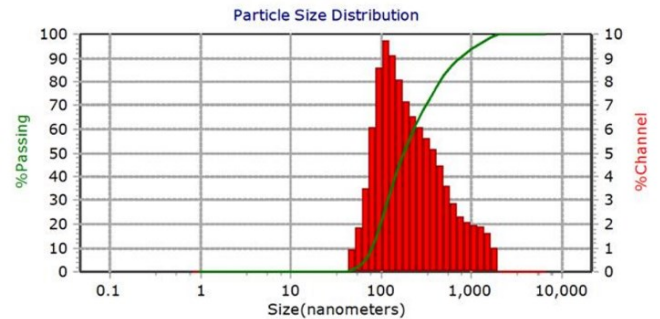
برای بررسی بهتر نتیجه‌ها، آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه‌ی ۶ انجام شد. شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه‌ی ۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصویر مشخص است، این آنالیز نتیجه‌های آنالیز پراش نور پویا را تأیید می‌کند و اندازه‌ی نانوذرات کوچک‌تر از ۳ نانومتر هستند.



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات اکسید آهن

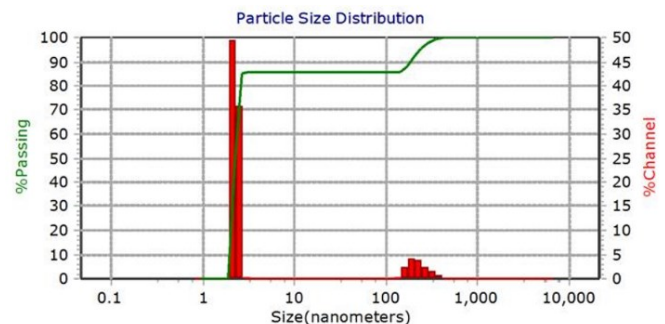
پس از بررسی اندازه‌ی نانوذرات و تأیید مراحل جداسازی و انتخاب اندازه‌های متفاوت، شکل ۷ نتیجه‌های طیف‌سنجی فتولومینسانس نمونه‌های ۱ تا ۴ و ۶ را نشان می‌دهد. همچنین، جدول ۲ طول‌موج‌های بیشینه‌ی گسیل نور در هر یک از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. این نتیجه‌ها تغییر و انتقال بیشینه‌ی گسیل نور را همراه با کاهش اندازه‌ی نانوذرات اکسید آهن و همچنین، محدود شدن پهنای طیف فتولومینسانس را همراه با محدود شدن توزیع نانوذرات اکسید آهن نمایش می‌دهند.

است. در نمونه‌ی ۴ توزیع اندازه‌ی نانوذرات محدودتر شده و اندازه‌های خیلی بزرگ‌تر نیز از آن کاسته شده است.



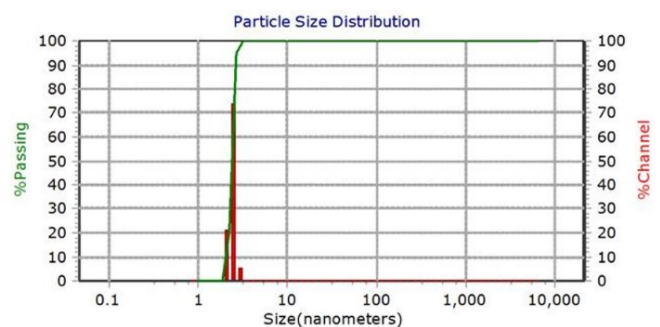
شکل ۳: توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌ی ۳

طی هر مرحله از عملیات اندازه‌های بزرگ‌تر از محلول کلوئیدی همان مرحله جدا شده‌اند، از این‌رو، نمونه‌ی ۴ نیز اندازه‌های درشت‌تر نمونه‌ی بعدی آن یعنی نمونه‌ی ۵ است که این بار به دلیل کمتر بودن تراکم کلی نانوذرات با دقت بهتری انجام گرفته است.



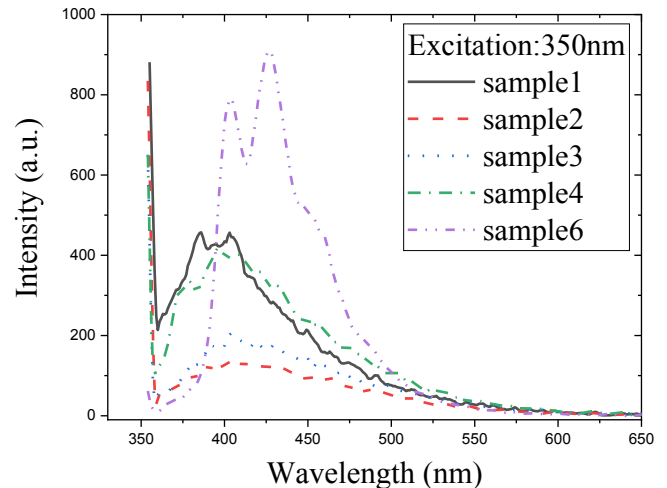
شکل ۴: توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌ی ۴

نمونه‌های ۵ و ۶ نیز دارای توزیع محدودتر هستند که مراحل عملیات را تأیید می‌کنند. به طوری که در نمونه‌ی ۶ فقط نانوذراتی با اندازه‌هایی در محدوده‌ی ۳ نانومتر باقی مانده‌اند.



شکل ۵: توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌ی ۶

مرحله از عملیات، اندازه‌های بزرگ‌تر همان مرحله را جدا می‌کند و این با نتیجه‌ها هم‌خوانی کامل دارد و اما در نمونه‌ی آخر که توزیع اندازه در آن یک‌دست‌تر است و اندازه‌ی نانوذرات بسیار کوچک انتخاب شده است، توزیع طیفی نمودار کاهش یافته و نمودار دارای دو قله با شدت‌های بیشینه است. بر این اساس هرچه توزیع اندازه نانوذرات کوچک‌تر باشد، طیف فتولومینسانس محدودتر شده و دارای قله‌های تیز خواهد بود. برانگیختگی با طول موج ۳۵۰ نانومتر، در نهایت موجب گسیل‌هایی با طول موج‌های مذکور در جدول ۲ می‌شود که این بیشینه‌ها می‌تواند حاصل گذارها از ترازهای نقص متفاوت اکسید فلزی به نوار ۲p در اکسیژن باشد [۲۳]. نکته دیگر که از جدول مشخص است، جابه‌جایی طول موج بیشینه‌ها است که می‌تواند هم به خاطر تغییر اندازه نانوذرات و هم ترکیب محلول مورد استفاده برای پخش نانوذرات باشد [۲۴].



شکل ۷: طیف فتولومینسانس نمونه‌های ۱ تا ۴ و ۶

جدول ۲: بیشینه‌ی طیف فتولومینسانس نمونه‌های ۱-۴ و ۶

شماره‌ی نمونه	بیشینه‌ی اول (نانومتر)	بیشینه‌ی دوم (نانومتر)
۱	۳۸۶	۴۰۳
۲	۳۹۰	۴۰۶
۳	۳۹۳	۴۰۶
۴	۳۹۶	۴۰۷
۶	۴۰۴	۴۲۷

۴- نتیجه‌گیری

سنتر نانوذرات اکسید آهن با موفقیت به وسیله روش هم‌رسوبی انجام شد. همچنین، با استفاده از عملیات انتخاب اندازه که با حل کردن نانوذرات در یک حلال (تولون) و سپس استفاده از پاد حلال (استون) برای کاهش این حلالیت انجام می‌شد، این امکان به ما داده شد تا نانوذرات تا ابعاد ۳ نانومتر شوند.

در این پژوهش اثر اندازه نانوذرات اکسید آهن و کاهش آن تا مرتبه‌ی نقاط کوانتومی بر روی ویژگی‌های فتولومینسانس آن‌ها بررسی و مشاهده شد که هرچه توزیع اندازه نانوذرات محدود شود، طیف فتولومینسانس نیز محدودتر می‌شود و با کاهش اندازه، بیشینه‌ی طیف فتولومینسانس نانوذرات اکسید آهن تغییر و به سمت طول موج‌های بلندتر منتقل می‌شود.

به‌طور کلی با کوچک‌تر شدن اندازه‌ی نانوذرات و ورود به محدوده‌ی نقاط کوانتومی، گاف نانوذرات نیز بزرگ‌تر می‌شود و به دنبال آن انتقال به آبی رخ می‌دهد اما در این میان افزون بر ناخالصی و ناکاملی مواد، تله‌هایی در میان گاف به دلیل بزرگ‌تر شدن گاف ایجاد می‌شود. در حین برانگیخته‌کردن نانوذرات، الکترون از نوار ظرفیت به رسانش رفته و پس از سپری کردن زمان بسیار کوتاهی دوباره به نوار ظرفیت بازمی‌گردد. به‌طور کلی مسیر بازگشت الکترون در نانوذرات کوچک و نقاط کوانتومی به دلیل توضیحاتی که پیش‌تر ارائه شد، به دو نوع باز ترکیب تابشی و غیرتابشی تقسیم می‌شود [۲۲].

در باز ترکیب غیرتابشی، به‌طور عموم انرژی به‌صورت گرما و یا ارتعاشات شبکه آزاد می‌شود. در باز ترکیب تابشی این انرژی به‌صورت موج الکترومغناطیسی از نمونه گسیل می‌شود. به همین دلیل اصولاً انرژی برانگیختگی بیشتر از انرژی گسیل شده از نمونه است، زیرا بخشی از انرژی در حین بازگشت به‌صورت غیرتابشی منتشر می‌شود. با توجه به مطالب بیان شده، اندازه‌ی نانوذرات و توزیع اندازه‌ی آن‌ها فاکتورهای مهمی برای کنترل طیف فتولومینسانس نمونه هستند [۱۸].

با توجه به شکل ۷ دیده می‌شود نمونه‌های ۱ و ۴ دارای شدت‌های نزدیک به هم هستند اما قله‌ها در آن‌ها متفاوت است و این نشان‌دهنده‌ی این است که نمونه‌ی ۱ دارای سهم قابل توجهی از نانوذرات با اندازه‌های کوچک است و نمونه‌های ۲ و ۳ که دارای کمترین شدت هستند نیز، دارای نانوذرات با اندازه‌های بزرگ هستند و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد هر

- Wimmer, J.S., Reparaz, C.M.S., Torres, L., Schmidt-Mende, and S., Polarz, "Nanoparticle shape anisotropy and photoluminescence properties: Europium containing ZnO as a Model Case," *Nanoscale*, 7, 16969-16982, 2015.
- [8] S., Yu, B., Fritz, S., Johnsen, D., Busko, B.S., Richards, M., Hippler, G., Wiegand, Y., Tang, Z., Li, U., Lemmer, and H., Hölscher, "Enhanced photoluminescence in quantum dots-porous polymer hybrid films fabricated by microcellular foaming," *Advanced Optical Materials*, vol. 7, 1900223-1900227, 2019.
- [9] S., Zhu, Y., Song, J., Wang, H., Wan, Y., Zhang, Y., Ning, & B., Yang, "Photoluminescence mechanism in graphene quantum dots: quantum confinement effect and surface/edge state," *Nano Today*, 13, 10-14, 2017.
- [10] C.C., Lin, & C.Y., Lee, "Adsorption of ciprofloxacin in water using Fe₃O₄ nanoparticles formed at low temperature and high reactant concentrations in a rotating packed bed with coprecipitation," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 240, p. 122049, 2020.
- [11] Y., Xu, Y., Zhang, X., Song, & H., Liu, "Facile hydrothermal synthesis of Fe₃O₄ nanoparticle and effect of crystallinity on performances for supercapacitor," *Functional Materials Letters*, vol. 12, no. 2, p. 1950019, 2019.
- [12] G., Asab, E.A., Zereffa, & T., Abdo-Seghne, "Synthesis of Silica-Coated Fe₃O₄ Nanoparticles by Microemulsion Method: Characterization and Evaluation of Antimicrobial Activity," *International Journal of Biomaterials*, 2020.
- [1] R., Nallendran, G., Selvan, & A.R, Balu, "CdO-Fe₃O₄ nanocomposite with enhanced magnetic and photocatalytic properties," *Materials Science-Poland*, 37, 100-107, 2019.
- [2] L.S., Arias, J.P., Pessan, A.P.M., Vieira, T.M.T.D., Lima, A.C.B., Delbem, & D.R. Monteiro, "Iron oxide nanoparticles for biomedical applications: a perspective on synthesis, drugs, antimicrobial activity, and toxicity," *Antibiotics*, 7, 46-54, 2018.
- [3] P., Govindaiah, T.J., Park, Y.J., Jung, S.J., Lee, D.Y., Ryu, J.H., Kim, & I.W., Cheong, "Luminescent Iron Oxide Nanoparticles Prepared by One-Pot Aphen-Functionalization," *Macromolecular research*, 18, 1109-1114, 2010.
- [4] A., Bahadur, A., Saeed, M., Shoaib, S., Iqbal, M.I., Bashir, M., Waqas, M.N., Hussain, and N., Abbas, "Eco-friendly synthesis of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles with tunable size: dielectric, magnetic, thermal and optical studies," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 198, pp. 229-235, 2017.
- [5] P., Gupta, & M., Ramrakhiani, "Influence of the Particle Size on the Optical Properties of CdSe Nanoparticles," *The Open Nanoscience Journal*, vol. 3, no. 1, 2009.
- [6] W.M., Girma, M.Z., Fahmi, A., Permadi, M.A., Abate, & J.Y., Chang, "Synthetic strategies and biomedical applications of I-III-VI ternary quantum dots," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 5, no. 31, pp. 6193-6216, 2017.
- [7] M., Gerigk, P., Ehrenreich, M.R., Wagner, I.,

- Suliman, and E., Mattar, "The significant effect of size and concentrations of iron oxide nanoparticles on magnetic resonance imaging contrast enhancement," *Results in Physics*, 15, 102651-102658, 2019.
- [20] W., Xie, Z., Guo, F., Gao, Q., Gao, D., Wang, B.S., Liaw, Q., Cai, X., Sun, X., Wang, and L., Zhao, "Shape-, size- and structure-controlled synthesis and biocompatibility of iron oxide nanoparticles for magnetic theranostics," *Theranostics*, vol. 8, no. 12, p. 3284, 2018.
- [21] L., Chen, J., Xie, H., Wu, J., Li, Z., Wang, L., Song, F., Zang, M., Ma, N., Gu, and Y., Zhang, "Precise study on size-dependent properties of magnetic iron oxide nanoparticles for in vivo magnetic resonance imaging," *Journal of Nanomaterials*, 2018.
- [22] C.S., Kumar, (Ed.), UV-VIS and photoluminescence spectroscopy for nanomaterials characterization, Berlin: Springer, 2013.
- [23] M.A., Subhan, A.M.M., Fahim, P.C., Saha, M.M., Rahman, K., Begum, & A.K., Azad, "Structural study, photoluminescence and photocatalytic properties of $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{ZnO}$, $\text{AgO} \cdot \text{NiO} \cdot \text{ZnO}$ and $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot \text{AgO} \cdot \text{ZnO}$ nanocomposites," *Nano-Structures & Nano-Objects*, 10, 30-41, 2017.
- [24] J.C., Espínola, & X.H., Contreras, "Effect of dielectric constant on emission of CdSe quantum dots," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 7132-7138, 2017.
- [13] I., Shanenkov, A., Sivkov, A., Ivashutenko, T., Medvedeva, & I., Shchetinin, "High-energy plasma dynamic synthesis of multiphase iron oxides containing Fe_3O_4 and $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ with possibility of controlling their phase composition," *Journal of Alloys and Compounds*, 774, 637-645, 2019.
- [14] R., Rahmawati, A., Taufiq, S., Sunaryono, A., Fuad, B., Yulianto, S., Suyatman, & D., Kurniadi, "Synthesis of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles from iron sands by coprecipitation-ultrasonic irradiation methods," *J. Mater. Environ. Sci*, 9, 155-160, 2018.
- [15] S., Rekha, & E.I., Anila, "PEG capped CaS nanoparticles synthesized by wet chemical coprecipitation method," *AIP Conference Proceedings*, 1942, 050039-050045, 2018.
- [16] T., Fried, G., Shemer, & G., Markovich, "Ordered two dimensional arrays of ferrite nanoparticles," *Advanced Materials*, 13, 1158-1161, 2001.
- [17] O., Perales-Perez, H., Sasaki, A., Kasuya, B., Jeyadevan, K., Tohji, T., Hihara, & K., Sumiyama, "Production of monodispersed particles by using effective size selection," *Journal of applied physics*, 91, 6958-6960, 2002.
- [18] M.E., Sadat, M., Kaveh-Baghbador, A.W., Dunn, H.P., Wagner, R.C., Ewing, J., Zhang, H., Xu, G.M., Pauletti, D.B., Mast, and D., Shi, "Photoluminescence and photothermal effect of Fe_3O_4 nanoparticles for medical imaging and therapy," *Applied Physics Letters*, 105, 091903-091910, 2014.
- [19] M.W., Marashdeh, B., Ababneh, O.M., Lemine, A., Alsadig, K., Omri, L., El-Mir, A.,



Studying the size distribution effect on the Photoluminescence properties of Iron oxide nanoparticles

M. Shabanloo, M. Khalkhali* A. Ghiasvand

Department of physics, Faculty of physics, Kharazmi University, Tehran

Abstract: In this research, iron oxide nanoparticles were synthesized by co-precipitation method. Then by solving the nanoparticles in toluene and reducing the solubility of them by acetone as anti-solvent, different sizes of nanoparticles were selected and separated. After selection and separation, the band structure of the nanoparticles was studied by photoluminescence spectroscopy (PL). X-ray diffraction was used for phase and structure determination of nanoparticles and dynamic light scattering (DLS) and transition electron microscopy (TEM) were used for size determination. The results confirmed the possibility of selection and separation of iron oxide nanoparticles of three nanometers (3nm) and also photoluminescence spectroscopy results showed a red-shift by reducing the size of the iron oxide nanoparticles.

Keywords: Iron oxide, Size selection, Photoluminescence, Anti-solvent