

رشد و بررسی خواص مغناطیسی و نوری نانوساختارهای هسته-پوسته

مگنتیت@اکسیدمس

مریم ناصری پور^۱، آزاده اعظمی^{۱*}، احمد حسن پور^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۳، ش.ص: ۱۶۴-۱۵۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶)

چکیده

نانوساختارهای هسته-پوسته مگنتیت-اکسیدمس جهت کاربرد در فرایند تخریب فوتوکاتالیستی رنگدانه‌های شیمیایی با استفاده از روش‌های ساده شیمیایی رشد داده شدند. خواص ساختاری، مغناطیسی و نوری محصولات بدست آمده به ترتیب با استفاده از مشخصه‌یابی‌های الگوی پراش، میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی و عبوری، حلقه پسماند، طیف جذبی و نورتابناکی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. الگوهای پراش تشکیل فازهای چندبوری مگنتیت (مکعبی) و اکسیدمس (مونوکلینیک) را تایید کرده و تصاویر میکروسکوپ الکترونی تشکیل ساختارهایی در ابعاد نانو را با ریخت‌های کره و تسمه (کمر بند) نشان نشان دادند. مطالعات مغناطیسی که توسط آنالیز حلقه پسماند صورت گرفت نشان دهنده کاهش خاصیت مغناطیسی نانوساختارهای هسته-پوسته می باشد که علت آن را می توان ضعیف بودن خاصیت مغناطیسی اکسیدمس دانست. بررسی خواص نوری نانوساختارهای هسته-پوسته نیز حاکی از وجود لبه جذب آن‌ها در ناحیه مرئی می‌باشد که آن‌ها را برای جذب نور خورشید و شرکت در فعالیت تخریب فوتوکاتالیستی مناسب می‌سازد. نمودار تائوک که جهت تخمین انرژی شکاف باند نوری آن‌ها رسم شده بود نشان داد که ساختارهای هسته-پوسته دارای انرژی شکاف باند نوری کوچک‌تری نسبت به ساختارهای پوسته می‌باشند. طیف نورتابناکی نانوساختارهای هسته-پوسته نیز گسیل‌های نوری در نواحی مرئی و فرابنفش از طیف امواج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: نانوساختارهای هسته-پوسته، مگنتیت، اکسیدمس، تخریب فوتوکاتالیستی، خواص مغناطیسی و نوری.

^۱ - گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول مقاله: a.aezami@gmail.com

پیشگفتار

ساختارهای هسته-پوسته به دسته‌ای از مواد اطلاق می‌شود که متشکل از یک ماده داخلی (هسته) و یک لایه خارجی (پوسته) می‌باشند. ساختارهای هسته-پوسته کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف فناوری از جمله تخریب فوتوکاتالیستی رنگدانه‌های شیمیایی موجود در پساب‌های شیمیایی صنایع مختلف [۱]، تصویربرداری پزشکی [۲]، حسگرهای زیستی [۳]، برجسب زنی سلول‌ها [۴]، سلول‌های خورشیدی [۵]، دارورسانی هوشمند [۶] و ... دارند. انتخاب نوع ماده‌ای که به عنوان هسته و پوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسته به نوع کاربردی می‌باشد که قرار است در آن استفاده شود. لذا با انتخاب هدفمند این مواد می‌توان کارایی دلخواه را از ساختارهای هسته-پوسته گرفت. یکی دیگر از ابزارهایی که می‌توان خواص آن‌ها را کنترل و بهینه کرد، کنترل ریخت و اندازه ساختارهای آن‌ها می‌باشد. هنگامی که ساختارهای هسته-پوسته در مقیاس نانو رشد داده می‌شوند، به علت افزایش نسبت سطح به حجم بازدهی نوری آن‌ها افزایش می‌یابد [۷].

جهت استفاده از ساختارهای هسته-پوسته در عملیات تخریب فوتوکاتالیستی استفاده از نیم رساناهای ترکیبی اکسیدهای فلزی بسیار رایج است. این نیم رساناها غیرسمی، ارزان و در دسترس و دارای انرژی شکاف باند نوری مناسب جهت جذب فوتون‌های نور خورشید می‌باشند. با توجه به مسئله روزافزون آلودگی جهانی، فناوری‌های مرتبط با چرخه‌هایی که بدون آسیب رساندن به محیط پیرامون، باعث از بین بردن آلودگی‌ها می‌شوند، روز به روز مهم‌تر شده و توجه بیشتری را از سوی محققان به خود جلب می‌کنند. به عنوان مثال، فرایند تخریب فوتوکاتالیستی توسط نانوساختارهای هسته-پوسته نیم رسانا از جمله این فناوری‌ها می‌باشد. در این فرایند، نانوذرات نیم رسانا، باعث تجزیه ملکول‌های سمی به ملکول‌های غیرسمی می‌شوند که برای محیط زیست بی‌خطر می‌باشند. در این فرایند، با تابش نور به ساختارهای هسته-پوسته نیم رسانا که درون محلول حاوی

رنگدانه‌های شیمیایی قرار دارند، الکترون‌ها تحریک شده و از باند ظرفیت نیم رسانا به سمت باند هدایت آن گذار می‌کنند. این گذار، باعث تولید رادیکال‌های آزاد از جمله یون هیدروکسید می‌شود. این رادیکال‌های آزاد بسیار فعال بوده و تمایل به واکنش و میل بسمت پایداری یا انرژی کم‌تر را دارند. بنابراین به ملکول‌های رنگدانه شیمیایی حمله کرده، از آن اتم اکسیژن گرفته و تبدیل به ملکول آب می‌کنند که ترکیب بی‌خطری برای محیط زیست می‌باشد [۸، ۹].

امروزه یکی دیگر از ویژگی‌های موادی که در ساخت ساختارهای هسته-پوسته جهت تخریب رنگدانه‌های شیمیایی بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است، استفاده از نیم رساناهایی می‌باشد که سمی نباشند؛ زیرا در فرایند تخریب رنگدانه‌های شیمیایی قرار است ترکیبات سمی و مضر برای محیط زیست به ترکیبات بی‌خطر تبدیل شوند و بنابراین خود ماده پلاینده نباید سمی (مثل نیم رساناهای اکسیدی که با کادمیم و سرب رشد داده می‌شوند) باشد. با توجه به موارد گفته شده و در جهت بدست آوردن موادی با کیفیت و ویژگی‌های مناسب جهت انجام فرایند تخریب فوتوکاتالیستی و همچنین دوستدار محیط‌زیست، در این کار نانوساختارهای هسته-پوسته مگنتیت-اکسیدمس توسط روش‌های ساده و ارزان شیمیایی رشد داده شده و مورد مشخصه‌یابی‌های ساختاری، ریختی، مغناطیسی و نوری قرار گرفته‌اند. این نیم رساناهای اکسیدفلزی غیرسمی یوده و مواد اولیه آن‌ها ارزان و فراوان یافت می‌شود.

مواد و روش‌ها

رشد ساختارهای مگنتیت (هسته) با مخلوط کردن مقدار ۲٫۹ g از کلرید آهن (II) ۴ آبه و ۸٫۱ g از کلرید آهن (III) ۶ آبه با نسبت‌های ۲:۱ درون ۴۰ cc آب دوبار یون زدایی شده و گاززدایی شده تحت تاثیر گاز آرگون صورت گرفت (علت گاززدایی کردن آب دوبار یونیزه شده این است که محصول بدست آمده ناخالصی غیرمغناطیسی نداشته باشد).

می‌شود، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. توسط طیف سنجی‌های جذبی و نورتابناکی خواص نوری ماده مورد نظر مطالعه شد. طیف جذبی توسط طیف سنج مرئی-فرابنفش Hatch DR 5000 UV-Vis Spectrometer و طیف نورتابناکی نیز توسط سیستم Perkin Elmer LS-55 که دارای یک لامپ زنون به‌عنوان منبع تحریک با طول موج ۳۲۵ nm در دمای اتاق صورت گرفت.

نتایج و بحث

شکل ۱ الگوی پراش را برای محصولات بدست آمده نشان می‌دهد. بر این اساس در هر سه الگو محصولات بدست آمده چند بلور بوده و بترتیب با کارت‌های استاندارد شماره ۰۱-۰۸۸-۰۳۱۵ (مگنتیت) با ساختار شبکه بلوری مکعبی) و ۰۰-۰۰۵-۰۶۶۱ (اکسیدمس با ساختار شبکه بلوری مونوکلینیک) مطابقت دارند [۱۱]. در الگوی پراش نمونه هسته-پوسته پیک‌های پراشی اکسیدمس غالب هستند و همچنین نسبت به دو نمونه دیگر، پیک‌های آن پهن‌تر می‌باشد که حاکی از ریزتر بودن آن‌ها است. اندازه ریزبلورک‌ها^۴ با استفاده از رابطه شرر^۵ [۱۲] و چگالی دررفتگی‌ها^۶ که جزء عیوب خطی محسوب می‌شوند نیز توسط رابطه ۱ [۱۳] برای هر دو نمونه محاسبه شدند و بصورت ترسیمی در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کم‌ترین اندازه و بیش‌ترین میزان از چگالی دررفتگی‌ها مربوط به ساختارهای هسته-پوسته می‌باشد که با توجه به پهن-تر بودن پیک‌های پراشی آن قابل پیش‌بینی بود.

$$\delta = \frac{1}{D^2} (\text{Line} / m^2) \quad (1)$$

بطور کلی علت تغییر در میزان چگالی دررفتگی‌ها را می‌توان به مواردی همچون تفاوت در ضریب انبساط حرارتی مواد و تنش و کرنش‌های حرارتی (سرد و گرم شدن) نسبت داد [۱۴، ۱۵].

مخلول بدست آمده روی هیتر استیرر و در دمای ۷۰ °C بمدت ۲ ساعت قرار داده شد. در حین مخلوط شدن میزان مناسب از مخلول ۰.۵ M از هیدروکسیدسدیم به آن اضافه شد. پس از این مدت رسوبات بدست آمده به کمک یک آهنربا جمع‌آوری شده و در دمای ۸۰ °C خشک شدند. سپس یک مرحله اصلاح سازی روی آن‌ها با استفاده از سیترات سدیم^۱ انجام شد. روش رشد ساختارهای پوسته یا همان اکسیدمس نیز در کار قبلی به تفصیل بیان شده است [۱۰]. در نهایت و برای رشد ساختارهای هسته-پوسته ۰.۱۸ g از پودر مگنتیت اصلاح سازی شده را در ۲۰۰ cc آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه درون حمام آلتراسونیک قرار داده شد و ۰.۶ g پودر اکسیدمس به این مجموعه اضافه کرده و آن را بمدت ۶ ساعت هم زده می‌شود تا به شکل هسته-پوسته درآیند. در انتها رسوب حاصله در دمای ۸۰ °C خشک و برای مشخصه‌یابی آماده شد.

جهت اطمینان از خلوص محصولات بدست آمده و بررسی خواص بلوری آن‌ها، مشخصه‌یابی الگوی پراش^۲ با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس Rigaku (Ultima IV) که دارای آند مسی با طول موج ۱.۵۴۰۶ Å است، صورت گرفت. سپس الگوهای حاصله توسط برنامه شناسایی فاز X-pert مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مطالعه خواص ریختی^۳ از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل TeScan, Mira و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) 3-XMU مدل CM120, Philips استفاده شد. سپس با استفاده از برنامه کامپیوتری Digimizaer بروی تصاویر بدست آمده اندازه‌گیری صورت گرفته، داده‌های مستخرج به برنامه کامپیوتری Origin داده شد و هیستوگرام توزیع اندازه ساختارها بدست آمد. خواص مغناطیسی نیز توسط حلقه پسماند که توسط دستگاه مغناطیس سنج ارتعاشی اندازه‌گیری

⁴ -Crystallite size

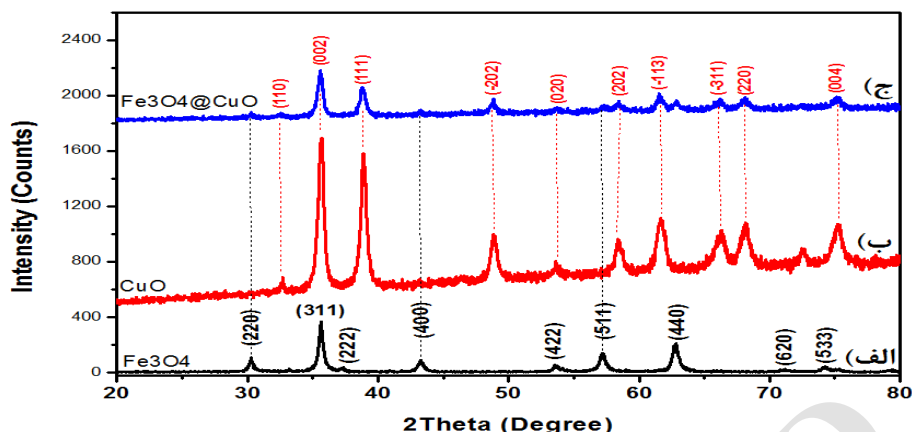
⁵ -Scherrer equation

⁶ -Dislocation density

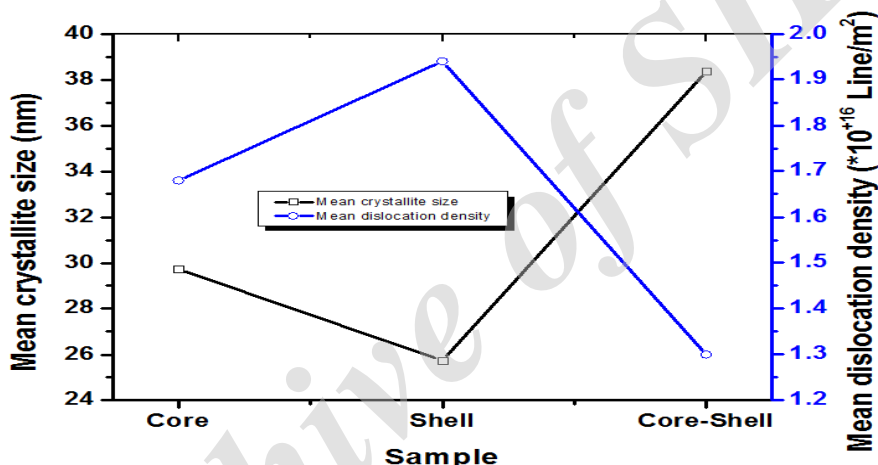
¹ -Na₃C₆H₅O₇

² -X-ray diffraction (XRD)

³ -Morphological



شکل ۱- الگوی پراش ساختارهای (الف هسته، ب) پوسته و (ج) هسته-پوسته



شکل ۲- نمودار توزیع اندازه ریزبلورک و چگالی دررفتگی ها برای ساختارهای هسته، پوسته و هسته-پوسته

برای ساختارهای هسته اشکال کروی^۱ شکل با میانگین اندازه ۳۱/۴۲ nm را نشان می‌دهند. ساختارهای پوسته نیز اشکالی شبیه تسمه یا کمربند^۲ از خود نشان می‌دهند. این ریخت خاص از اکسیدمس قبلا توسط دیگر محققان گزارش شده است [۱۶, ۱۷]. طول متوسط این ساختارها در حد چندین میکرون و قطر متوسط آنها تقریبا ۳۲/۵۲ nm می‌باشد. در مورد ساختارهای هسته-پوسته نیز احجام کروی شکلی مشاهده می‌شود که قطر متوسط آنها حدود ۴۹/۷۶ nm اندازه گیری شد. همان گونه که مشاهده

در اینجا به علت اینکه نمونه هسته-پوسته با توجه مراحل گفته شده در قسمت کار تجربی بیش تر در معرض حرارت‌دهی و سپس سرد شدن قرار داشته است، می‌توان بیش تر بودن چگالی دررفتگی‌ها را نسبت به دو نمونه دیگر توجیح نمود.

برای ارزیابی و مطالعات ریخت شناسی و هم چنین برآورد اندازه ساختارهای رشد داده شده، از روش تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری استفاده شده است. بر این اساس شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی را برای ساختارهای هسته، پوسته، و هسته-پوسته در بزرگنمایی ۱۵۰ هزار برابر را نشان می‌دهد. این تصاویر

1- Spherical

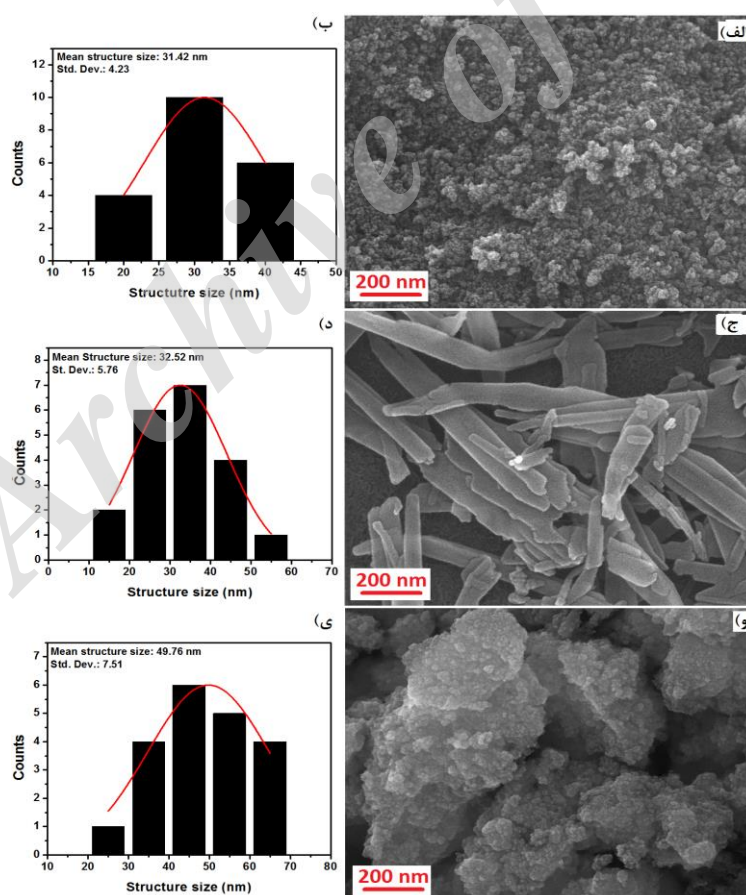
2- Belt

میکروسکوپ الکترونی روبشی تایید می‌کند. در این شکل قسمت‌های تیره‌تر درون هر کره، نشان دهنده مگنتیت (هسته) و هاشیه روشن‌تر اطراف آن اکسیدمس (پوسته) می‌باشد که این وضعیت می‌تواند یکی از نشانه تشکیل ساختار هسته-پوسته باشد.

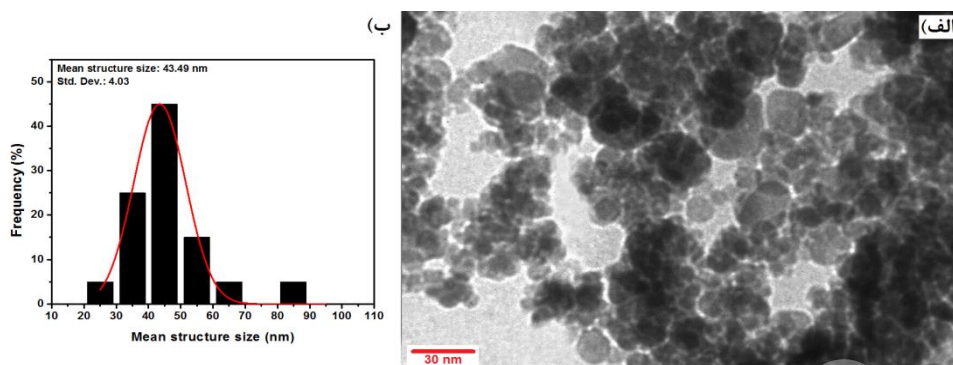
آنالیز حلقه پسماند یک آنالیز سریع و غیرمخرب جهت بررسی خواص و کارایی مغناطیسی نانوساختارها می‌باشد. شکل ۵ حلقه پسماند را برای نانوساختارهای هسته و هسته-پوسته نشان می‌دهد که بر این اساس خاصیت مغناطیسی نانوساختارهای هسته-پوسته نسبت به نانوساختارهای هسته کاهش یافته است. علت آن را می‌توان به نبود یا ضعیف بودن خاصیت مغناطیسی در اکسیدمس نسبت داد. همچنین میزان مغناطش اشباع برای نانوساختارهای هسته-پوسته رشد داده در این کار، نسبت به گزارشات مشابه قبلی بیش‌تر می‌باشد [۷، ۱۸].

می‌شود، اندازه متوسط ساختارهای هسته-پوسته از دو نمونه دیگر بزرگ‌تر بوده که قابل پیش بینی و انتظار نیز می‌باشد. همچنین در مورد آن‌ها چسبندگی ساختارها نسبت به دو نمونه دیگر بیش‌تر به چشم می‌خورد. نکته دیگر در مورد این سه نمونه این است که اندازه گیری‌های انجام شده حاکی از آن است که ما می‌توانیم آن‌ها را نانوساختارهای هسته، پوسته و هسته-پوسته نیز بنامیم. بطور کلی نتایج بدست آمده از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده این است که اندازه متوسط برای هسته-پوسته‌های رشد داده در کار حاضر کوچک‌تر از دو گزارش مشابه قبلی می‌باشند [۷، ۱۸].

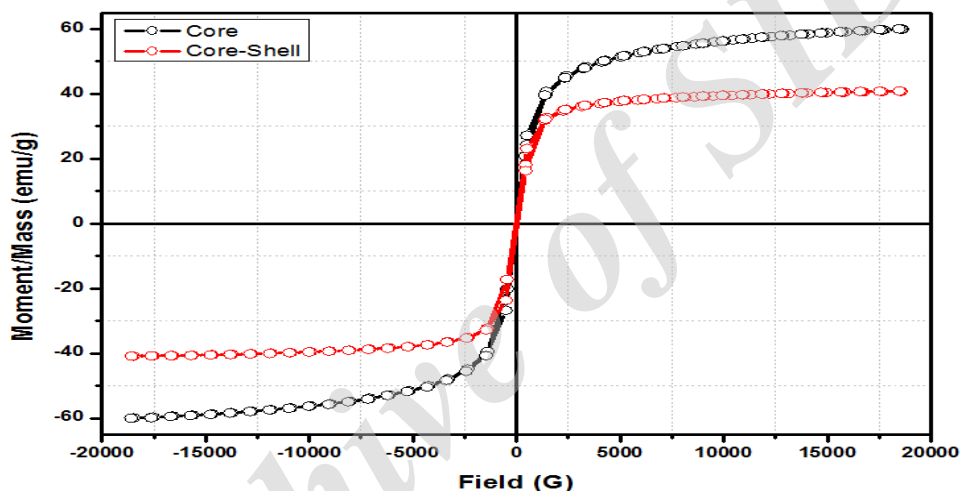
شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و نمودار توزیع اندازه بدست آمده از روی آن را برای نانوساختارهای هسته-پوسته نشان می‌دهد. این شکل نیز ماهیت کروی آن‌ها را در هماهنگی با تصاویر



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و نمودار توزیع اندازه برای ساختارهای الف و ب (هسته، ج و د) پوسته و و و (ی) هسته-پوسته



شکل ۴- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و ب) نمودار توزیع اندازه برای ساختارهای هسته-پوسته



شکل ۵ - حلقه پسماند برای نانوساختارهای هسته و هسته-پوسته

منحنی جذب از پایین رو به بالا تغییر می‌کند. داشتن لبه جذب در ناحیه طیف امواج مرئی توسط نانوذرات هسته-پوسته آن‌ها را به صورت بالقوه جهت استفاده به عنوان ماده فوتوکاتالیست جهت تخریب رنگدانه‌های شیمیایی، با استفاده از نور خورشید که به سادگی در دسترس می‌باشد، مناسب می‌سازد. علاوه بر داشتن لبه جذب در ناحیه طیف امواج مرئی جهت استفاده از انرژی خورشید برای فرایند تخریب فوتوکاتالیستی، عوامل دیگری نیز در میزان این تخریب پذیری از سوی نیم رسانا دخیل هستند که برخی از آن‌ها عبارتند از: اندازه و ریخت ساختار، انرژی شکاف باند

مغناطش اشباع نقطه‌ای از محور افقی حلقه پسماند می‌باشد که در آن نمودار از حالت حرکت خطی خارج شده و شیب آن به سمت صفر میل می‌کند.

برای ارزیابی خواص نوری نانوساختارها در این کار از آنالیزهای طیف جذبی و نورتابناکی استفاده شده است. شکل ۶ الف طیف جذبی را برای نانوساختارهای پوسته و هسته-پوسته نشان می‌دهد. بر این اساس شدت جذب برای نانوساختارهای هسته-پوسته بیش‌تر می‌باشد. همچنین لبه جذب برای هر دو نمونه در محدوده طیف امواج مرئی مشاهده می‌شود. تشخیص لبه جذب از این نظر مهم می‌باشد که می‌تواند تخمین مناسبی از انرژی شکاف باند نمونه مورد نظر به ما بدهد و به نقطه‌ای اطلاق می‌شود که جهت تعمر

باند گسیلی را برای نانوساختارهای پوسته (اکسیدمس) نشان می‌دهد. باند اول در موقعیت 333 nm مرتبط با گسیل لبه باند^۶ اکسیدمس می‌باشد. این باند نسبت به انرژی شکاف باند گسیلی نوع توده‌ای اکسیدمس یک جابجایی آبی^۷ (به سمت طول موج‌های کم‌تر) را نشان می‌دهد که علت آن بالارفتن قابل توجه نسبت سطح به حجم در پی بروز محدودیت‌های کوانتومی در نانوساختارهای پوسته می‌باشد [۲۱].

محدودیت‌های کوانتومی هنگامی بروز می‌کنند که اندازه ساختارهای یک ماده به شعاع بوهر آن نزدیک شوند. قایل ذکر است که شعاع بوهر اکسیدمس در محدوده $29-6 \text{ nm}$ متغییر است [۲۲]. باند گسیلی دوم در موقعیت 421 nm نیز گسیل مربوط اکسیدمس گزارش شده است [۲۱]. باندهای گسیلی در نمونه هسته-پوسته نسبت به نمونه پوسته، از خود شدت بیشتری را نشان می‌دهند که این می‌تواند ناشی از افزایش نسبت سطح به حجم آن‌ها نسبت به نانوساختارهای پوسته باشد. باند گسیلی سوم در موقعیت 480 nm مرتبط با گسیل ناشی از عیوب بلوری همچون جاهای خالی مس، جاهای خالی اکسیژن، بین نشینی مس و ... گزارش شده است. باند گسیلی سوم در موقعیت 668 nm نیز به علت بازترکیب الکترون‌ها و حفره‌های تحریک شده نوری در جاهای خالی اکسیژن بوجود آمده، می‌باشد [۲۳]. باند گسیلی مرتبط با گسیل لبه باند در مورد نانوساختارهای هسته-پوسته نسبت به پوسته یک جابجایی قرمز را نشان می‌دهد که این مشاهده در توافق با نتایج بدست آمده از نمودار تائوک می‌باشد.

نوری آن‌ها، میزان جذب، میزان بلورینگی^۱ و عیوب بلوری [۹، ۱۹، ۲۰].

برای تخمین انرژی شکاف باند نوری نانوساختارهای نیم رسانا، روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از معروف‌ترین آن‌ها استفاده از مدل کوبلکا-مانک^۲ می‌باشد. در این مدل رابطه بین انرژی شکاف باند و ضریب جذب^۳ به صورت زیر بیان شده است [۱۹].

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (2)$$

در این رابطه α ضریب جذب، h ثابت پلانک، ν بسامد، A یک عدد ثابت، E_g انرژی شکاف باند و n مشخصه فرایند گذار می‌باشد. بر این اساس و با رسم مقدار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ نموداری بدست می‌آید که به نمودار تائوک^۴ معروف است (شکل ۶ ب). با رسم مماس بر نقطه‌ای که جهت تقعر نمودار تائوک عوض می‌شود و ادامه دادن آن تا جایی که محور افقی را قطع کند، می‌توان انرژی شکاف باند نوری را بدست آورد. نمودار تائوک مقادیر 1.76 eV و 1.63 eV را به ترتیب به عنوان انرژی شکاف باند نوری نانوساختارهای اکسیدمس (پوسته) و هسته-پوسته، نشان می‌دهد. تغییرات در انرژی شکاف باند نوری نانوساختارهای نیم رسانا غالباً مرتبط با تغییرات در اندازه آن‌ها و تغییرات در سطوح باندهای الکترونیکی خارجی تر آن‌ها می‌باشد. این موقعیت برای لبه جذب و انرژی شکاف باند نوری بدست آمده در مورد نانوساختارهای هسته-پوسته، مشابه مواردی است که ژانگ^۵ و همکارانش در مورد نانوساختارهای هسته پوسته مگنتیت-اکسیدمس که بروش تکلیس مستقیم رشد داده شده بودند، حاصل شده بود [۷].

طیف نورتابناکی نانوساختارهای پوسته و هسته-پوسته در شکل ۷ نشان داده شده است. این طیف ۴

1- Crystallinity

2- Kubelka-Munk

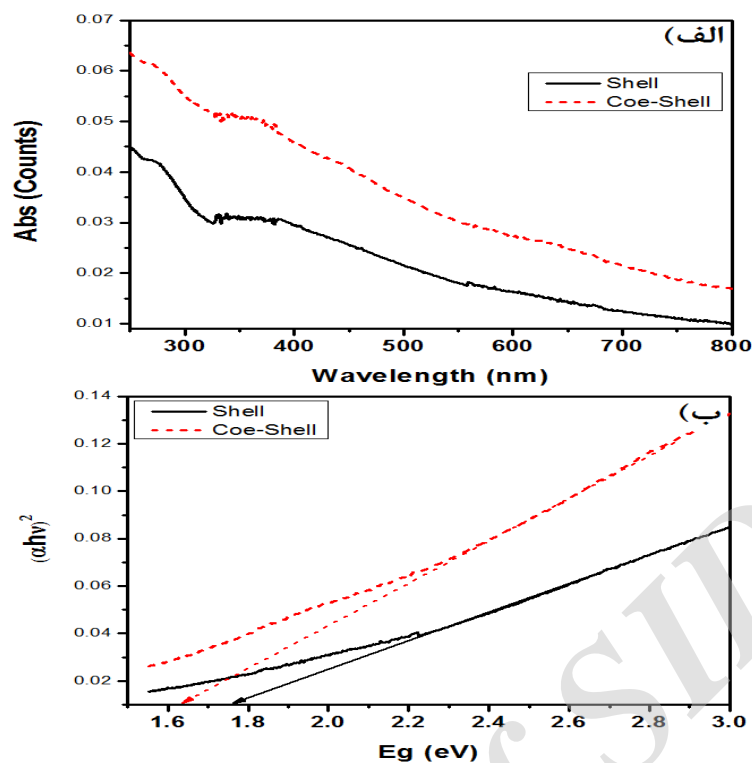
3- Absorbance

4- Tauc plot

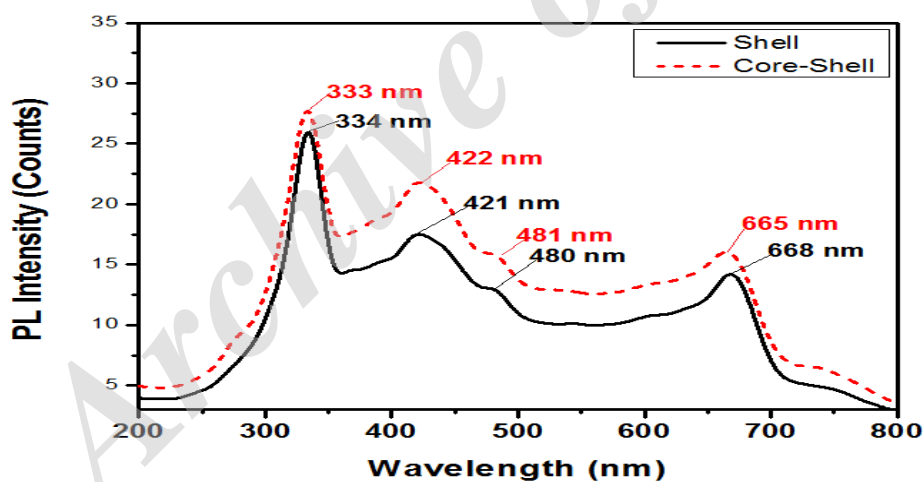
5- Zhang

6- Near band edge (NBE)

7- Blue shift



شکل ۶- الف) طیف جذبی و ب) نمودار تائوک جهت تخمین انرژی شکاف باند نوری نانوساختارهای پوسته و هسته-پوسته



شکل ۷- طیف نورتابناکی نانوساختارهای پوسته و هسته-پوسته

نتیجه گیری

استفاده از رابطه شرر نشان دادند که نمونه هسته-پوسته دارای کمترین مقدار از اندازه ریزبلورک و بیشترین مقدار از چگالی دررفتگی‌ها، نسبت به دو نمونه دیگر می باشد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری تشکیل ساختارهایی در ابعاد نانو و با ریخت‌های کره و

نانوساختارهای هسته-پوسته مگنتیت-اکسیدمس با استفاده از روش هم رسوبی که ساده و ارزان می-باشد، جهت کاربرد به عنوان ماده فوتوکاتالیست در تخریب رنگدانه‌های شیمیایی رشد داده شدند. الگوی پراش تشکیل فاز مکعبی مگنتیت و مونوکلینیک اکسیدمس را تاکید کردند. محاسبات انجام شده با

جهت انجام تخریب فوتوکاتالیستی مناسب می‌سازد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بدین وسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز بواسطه پشتیبانی فنی از این کار اعلام می‌دارند.

تسمه را نشان دادند. آنالیز حلقه پسماند نیز حاکی از کاهش خاصیت مغناطیسی نانوساختارهای هسته-پوسته نسبت به هسته به‌علت نداشتن یا ضعیف بودن خاصیت مغناطیسی اکسید مس می‌باشد. بررسی خواص نوری نیز حاکی از وجود لبه جذب در ناحیه مرئی برای نانوساختارهای هسته-پوسته می‌باشد که آن‌ها را به‌صورت بالقوه برای جذب پرتوهای خورشید

References:

- [1] J. Ding, L. Liu, J. Xue, Z. Zhou, G. He, H. Chen, Low-temperature preparation of magnetically separable Fe₃O₄@CuO-RGO core-shell heterojunctions for high-performance removal of organic dye under visible light, *Journal of Alloys and Compounds* 688 (2016) 649-656.
- [2] Q. Tian, J. Hu, Y. Zhu, R. Zou, Z. Chen, S. Yang, R. Li, Q. Su, Y. Han, X. Liu, Sub-10 nm Fe₃O₄@ Cu_{2-x}S Core-Shell Nanoparticles for Dual-Modal Imaging and Photothermal Therapy, *Journal of the American Chemical Society* 135 (2013) 8571-8577.
- [3] M. Martín, P. Salazar, R. Villalonga, S. Campuzano, J.M. Pingarrón, J.L. González-Mora, Preparation of core-shell Fe₃O₄@poly (dopamine) magnetic nanoparticles for biosensor construction, *Journal of Materials Chemistry B* 2 (2014) 739-746.
- [4] T. Gulin-Sarfraz, J. Zhang, D. Desai, J. Teuho, J. Sarfraz, H. Jiang, C. Zhang, C. Sahlgren, M. Lindén, H. Gu, Combination of magnetic field and surface functionalization for reaching synergistic effects in cellular labeling by magnetic core-shell nanospheres, *Biomaterials Science* 2 (2014) 1750-1760.
- [5] W.E.I. Zhang, M. Saliba, S.D. Stranks, Y. Sun, X. Shi, U. Wiesner, H.J. Snaith, Enhancement of perovskite-based solar cells employing core-shell metal nanoparticles, *Nano letters* 13 (2013) 4505-4510.
- [6] J. Croissant, D. Salles, M. Maynadier, O. Mongin, V. Hugues, M. Blanchard-Desce, X. Cattoën, M. Wong Chi Man, A. Gallud, M. Garcia, Mixed Periodic Mesoporous Organosilica Nanoparticles and Core-Shell Systems, Application to in Vitro Two-Photon Imaging, Therapy, and Drug Delivery, *Chemistry of Materials* 26 (2014) 7214-7220.
- [7] Y.-F. Zhang, L.-G. Qiu, Y.-P. Yuan, Y.-J. Zhu, X. Jiang, J.-D. Xiao, Magnetic Fe₃O₄@ C/Cu and Fe₃O₄@CuO core-shell composites constructed from MOF-based materials and their photocatalytic properties under visible light, *Applied Catalysis B: Environmental* 144 (2014) 863-869.
- [8] R. Yousefi, F. Jamali-Sheini, M. Cheraghizade, S. Khosravi-Gandomani, A. Saaedi, N.M. Huang, W.J. Basirun, M. Azarang, Enhanced visible-light photocatalytic activity of strontium-doped zinc oxide nanoparticles, *Materials Science in Semiconductor Processing* 32 (2015) 152-159.

- [9] R. Yousefi, F. Jamali-Sheini, M. Cheraghizade, L. Zaman, Synthesis and characterization of Pb-doped ZnO nanoparticles and their photocatalytic applications, *Materials Research Innovations* 20 (2016) 121-127.
- [10] M. Nasser, A. Aezami, A. Hassanpour, 1th national conference on applied research in science and engineering, Mashahd, Iran, 2017.
- [11] P.D.F. ICDD, International Centre for Diffraction Data, Powder Diffraction File, Newtown Square, Pennsylvania, USA (1997).
- [12] ر. معمارزاده, س. جوادپور, ف. پناهی, بهینه سازی عوامل موثر بر اندازه نانو ذرات اکسید قلع به روش تاگوچی, فصلنامه علمی - پژوهشی مواد نوین ۳ (۲۰۱۲) ۱۱-۲۰.
- [13] H. Kafashan, F. Jamali-Sheini, M. Azizieh, Z. Balak, M. Cheraghizade, H.N. Vatan, Electrochemical deposition of nanostructured SnS_{1-x}Te_x thin films and their surface characterization, *Journal of Alloys and Compounds* 694 (2017) 1338-1347.
- [14] M. Yamaguchi, M. Tachikawa, M. Sugo, S. Kondo, Y. Itoh, Analysis for dislocation density reduction in selective area grown GaAs films on Si substrates, *Applied Physics Letters* 56 (1990) 27-29.
- [15] R.J. Arsenault, N. Shi, Dislocation generation due to differences between the coefficients of thermal expansion, *Materials Science and Engineering* 81 (1986) 175-187.
- [16] J. Chen, S.Z. Deng, N.S. Xu, W. Zhang, X. Wen, S. Yang, Temperature dependence of field emission from cupric oxide nanobelt films, *Applied Physics Letters* 83 (2003) 746-748.
- [17] J. Chen, N.Y. Huang, S.Z. Deng, J.C. She, N.S. Xu, W. Zhang, X. Wen, S. Yang, Effects of light illumination on field emission from CuO nanobelt arrays, *Applied Physics Letters* 86 (2005) 151107.
- [18] S. Hyun, T. Ko, K. Han, J.H. Oh, A wet-chemical preparation of a Fe₃O₄-CuO composite powder in core-shell structure, *physica status solidi (c)* 1 (2004) 3468-3471.
- [19] F. Jamali-Sheini, R. Yousefi, N. Ali Bakr, M. Cheraghizade, M. Sookhakian, N.M. Huang, Highly efficient photo-degradation of methyl blue and band gap shift of SnS nanoparticles under different sonication frequencies, *Materials Science in Semiconductor Processing* 32 (2015) 172-178.
- [20] S. Humaira, K.C. Kemp, C. Vimlesh, S.K. Kwang, Graphene-SnO₂ composites for highly efficient photocatalytic degradation of methylene blue under sunlight, *Nanotechnology* 23 (2012) 355705.
- [21] X. Zhao, P. Wang, Z. Yan, N. Ren, Room temperature photoluminescence properties of CuO nanowire arrays, *Optical Materials* 42 (2015) 544-547.
- [22] K. Borgohain, N. Murase, S. Mahamuni, Synthesis and properties of Cu₂O quantum particles, *Journal of applied physics* 92 (2002) 1292-1297.
- [23] H.-J. Jeon, M.-K. Jeon, M. Kang, S.-G. Lee, Y.-L. Lee, Y.-K. Hong, B.-H. Choi, Synthesis and characterization of antimony-doped tin oxide (ATO) with nanometer-sized particles and their conductivities, *Materials Letters* 59 (2005) 1801-1810.