

## بررسی عوامل تأثیرگذار بر رشد و خواص نوری نانوذرات سولفیدمنگنز

بهاره قنبری<sup>۱</sup>، فرید جمالی شینی<sup>۳\*</sup>، رامین یوسفی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۲</sup>گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۳</sup>مرکز تحقیقات مهندسی سطح پیشرفته و نانومواد، گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۴</sup>گروه فیزیک، واحد مسجد سلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، مسجد سلیمان، ایران

دریافت: 1396/02/06 ویرایش نهائی: 1396/09/10 پذیرش: 1396/12/13

### چکیده

از فرآیند ماکروویو-هیدروترمال برای رشد نانوذرات سولفیدمنگنز استفاده شد. تأثیر عواملی همچون غلظت، نوع حلال، توان و همچنین اثر دمای تابش دهی ماکروویو روی خواص نوری مورد بررسی قرار گرفت. نانوذرات سولفیدمنگنز توسط دستگاه‌های شناسایی مختلفی همانند پراش سنج پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی و عبوری، پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) و طیف سنج جذبی مورد مطالعه قرار گرفتند. الگوی حاصل از پراش انرژی پرتو ایکس و پراش پرتو ایکس به ترتیب بیانگر وجود عناصر مورد نظر و تشکیل فاز سولفیدمنگنز می‌باشند. تصاویر میکروسکوپ‌های الکترونی حاکی از رشد نانوذراتی کروی شکل و به هم چسبیده دارند. مطالعه طیف جذبی نشان داد که افزایش دما انرژی شکاف باند نوری نانوذرات را افزایش داده و شدت جذب نسبی کاهش می‌یابد.

**کلیدواژگان:** ماکروویو-هیدروترمال، نانوذرات سولفیدمنگنز، خواص نوری

### مقدمه

دارای سه فاز بلوری پایدار می‌باشد: 1- ساختار پایدار  $\alpha$ -MnS با ساختار سنگ نمک و ساختارهای شبه پایدار 2-  $\beta$ -MnS چهار ضلعی و 3-  $\gamma$ -MnS<sup>۱</sup> شش ضلعی [۱۴، ۱۵]. هر دو ساختار  $\beta$ -MnS و  $\gamma$ -MnS فاز شبه پایدار سولفیدمنگنز می‌باشند که می‌توانند فقط در شرایط دمای پایین وجود داشته باشند و در دما و فشار بالا (100-400 °C) به حالت پایدار تبدیل می‌شوند [۱۶، ۱۷].

در مطالعات قبلی روش‌های مختلفی برای رشد نانوذرات سولفیدمنگنز از قبیل هیدروترمال، سولوترمال، رسوب الکتروشیمیایی و ... استفاده شده

نانومواد به دلیل خواص منحصر به فرد و کاربردهای بالقوه که در فناوری‌های مختلف می‌توانند داشته باشند توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [6-1]. به طور کلی خواص فیزیکی و شیمیایی نانوذرات به ترکیب شیمیایی، اندازه، شکل، ابعاد و فاز آنها بستگی دارد [6-10]. در سال‌های اخیر سولفیدمنگنز (MnS) توجه زیادی را به دلیل داشتن خواص نوری، الکتریکی و مغناطیسی به خود جلب کرده است [11، 12]. سولفیدمنگنز یک نیم‌رسانای مهم مغناطیسی با هدایت الکتریکی حفره غالب (*p-type*) است [13] که عموماً

\* نویسنده مسئول: faridjamali2003@yahoo.com

<sup>۱</sup> نوع Wurtzite

مختلف الکل، آب مقطر، اتیلن گلیکول استفاده شد. در مرحله چهارم با نسبت 0/04:0/05، توان 500 W و حلال اتیلن گلیکول در سه دمای مختلف 120°C، 180°C و 220°C نمونه‌ها رشد داده شدند. همه محلول‌های آماده شده به ترتیب در اتوکلاو دستگاه ماکروویو (Milestone Co., Italy) قرار گرفت و بعد از حرارت دهی اتوکلاو در دمای اتاق سرد شد. سپس محلول‌های به دست آمده 4 مرحله به وسیله سانتریفیوژ با اضافه کردن اتانول به آن با دور 3000 rpm به مدت 5 min شستشو داده شد و در آن با دمای 70°C به مدت 2 ساعت خشک گردید.

بررسی ساختاری نمونه‌ها با پراش سنج پرتو ایکس (XRD, Rigaku Ultima IV,  $\text{CuK}\alpha=1.5406 \text{ \AA}$ ) در محدوده 20°C تا 80°C صورت گرفت. ریخت شناسی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, VEGA, TESCAN-LMU) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM, CM120, Philips) و آنالیز عنصری توسط پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) که بروی SEM نصب شده بود صورت گرفت. همچنین از طیف سنجی نور مرئی-فرابنفش (UV-Vis, Hatach 5000) برای بررسی خواص نوری نمونه‌ها استفاده شد.

### بحث و نتیجه گیری

#### خواص ساختاری

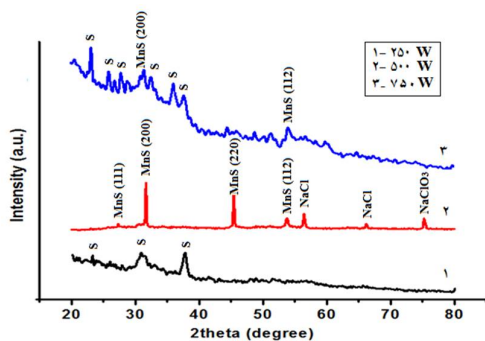
الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده در مولاریته‌های مختلف  $\text{MnCl}_2:\text{Na}_2\text{S}$  (0/02:0/05، 0/04:0/05، 0/05:0/05) در شکل 1 نشان داده شده است. نمونه با نسبت 0/02:0/05 دارای فازهای  $\text{MnS}$  (JCPDS Card No 00-040-1288)،  $\text{NaCl}$  (JCPDS Card No 01-089-2780) و  $\text{NaClO}_3$  (JCPDS Card No 01-085-2189) [22] می‌باشد.

است [16-19]. با توجه به این موضوع تعیین روشی برای تولید این ماده در ابعاد نانو، یکی از چالش‌های موجود می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های شیمیایی به دلیل ارزانی و سادگی مورد توجه قرار گرفته است که در این بین روش رشد ماکروویو به دلیل کنترل آسان اندازه ذرات، عدم نیاز به خلأ، خلوص بالا و همگنی محصول مورد توجه بوده است. لذا رشد نانوذرات به روش مخلوطی از فرآیندهای ماکروویو و حلال گرمایی، زمان واکنش و تولید محصول را به مقدار قابل توجهی تقلیل می‌دهد [20,21]. در این پژوهش از روش ماکروویو-هیدروترمال (در حضور حلال‌های آبی و غیر آبی) برای رشد نانوذرات سولفیدمنگنز استفاده شده است. در فرآیند رشد عوامل گوناگونی مدنظر قرار گرفت تا تأثیر هر یک بر فرآیند رشد بررسی شود. مشخص شد که نوع حلال و دمای واکنش در رشد نانوذرات سولفیدمنگنز اثر قابل توجهی دارد. نانوذرات سولفیدمنگنز با مشخصه‌یابی‌های مختلفی به منظور مطالعه خواص ساختاری، میکروسکوپیکی و نوری مورد بررسی قرار گرفتند.

### کارهای آزمایشگاهی

کلیه آزمایش‌ها به گونه‌ای طراحی شد که در سه مرحله شرایط مختلفی ایجاد شود تا عوامل رشد بررسی گردد. از منگنز کلراید چهارآبه ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )، سدیم سولفات ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) و حلال‌های الکل، آب مقطر و اتیلن گلیکول به عنوان حلال برای تولید نانوذرات سولفیدمنگنز استفاده شد. در مرحله اول مولاریته‌های مختلف  $\text{MnCl}_2:\text{Na}_2\text{S}$  (0/02:0/05، 0/04:0/05، 0/05:0/05) در 60 mL حلال الکل حل شد. در مرحله دوم نسبت 0/04:0/05 در سه توان 250 W، 500 W و 750 W با شرایط ثابت نگه داشته شد. در مرحله سوم با نسبت 0/04:0/05 در توان 500 W از سه حلال

رشد کرده‌اند. در نتیجه در مراحل بعدی آزمایش، از توان 500W استفاده می‌شود. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده با حلال‌های مختلف در شکل 3 نشان داده شده است. حلال آب مقطر دارای فازهای  $Mn_3O_4$  و  $MnS$  (JCPDS Card No 01-080-0382) [22]، S و می‌باشد.

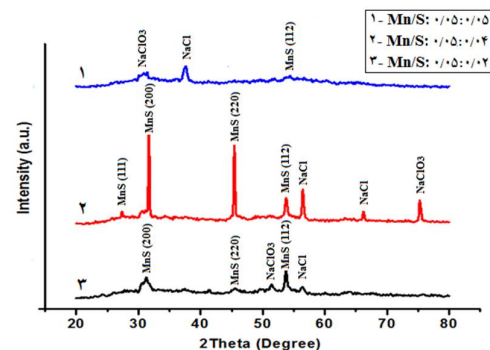


شکل 2. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده با فرآیند ماکروویو-هیدروترمال با توان‌های 250 W، 500 W و 750 W در دما  $120^\circ C$  و زمان تابش دهی 10 min.

با تغییر حلال به الکل تغییراتی در قله‌ها حاصل شد. این فازها شامل فازهای  $Mn_3O_4$ ، S و  $MnS$  می‌باشد و تعدادی از فازهای اضافی حذف شده است. همچنین با تغییر حلال به اتیلن گلیکول فاز  $MnS$  تشکیل شد و همه فازهای اضافی حذف شدند. برای به دست آوردن اندازه بلورک، سه قله‌ای که دارای شدت بیشتری بودند انتخاب شده و میانگین آنها در نمونه آب مقطر 71/60 nm، در نمونه الکل 21/79 nm و در نمونه اتیلن گلیکول 34/01 nm می‌باشد.

نوع حلال مصرفی در فرآیند ماکروویو اثر قابل ملاحظه‌ای بر تشکیل فاز خالص نانوذرات سولفیدمنگنز دارد. به بیان دیگر، هر چه حلال قطبی‌تر باشد، توانایی آن در برهم‌کنش با انرژی ماکروویو بیشتر خواهد بود و این منجر به افزایش سرعت واکنش می‌گردد. به‌طور کلی، در روش ماکروویو می‌توان از حلال‌های معمول که در دیگر روش‌ها به‌کار می‌رود، استفاده نمود.

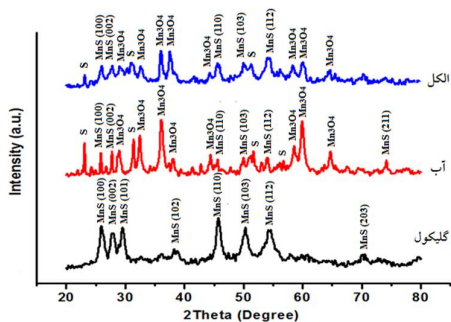
در اثر تغییر مولاریته به 0/05:0/04 و 0/05:0/05 تغییرات در شدت قله‌ها ایجاد شد که این تغییرات در مورد نمونه با مولاریته 0/05:0/04 مناسب ارزیابی شده و بنابراین این نمونه به‌عنوان بهترین مولاریته انتخاب شد. نسبت مولاریته در فرآیند ماکروویو تغییراتی در فازها به وجود می‌آورد. شرایط آزمایش امکان به‌وجود آوردن  $MnS$  با فاز خالصی را مهیا نکرد و محصول نهایی دارای فازهای دیگری می‌باشد. اکنون تأثیر توان‌های مختلف دستگاه به‌عنوان عامل اثرگذار بر فرآیند رشد بررسی می‌شود. الگوی پراش نمونه در توان‌های 250 W، 500 W و 750 W به ترتیب در شکل 2 ترسیم شده است. نمونه 250 W دارای فاز S (JCPDS Card No 01-089-2780) [22] می‌باشد. در اثر تغییر توان به 500W تغییرات اساسی در فاز و شدت قله‌ها به‌وجود آمد.



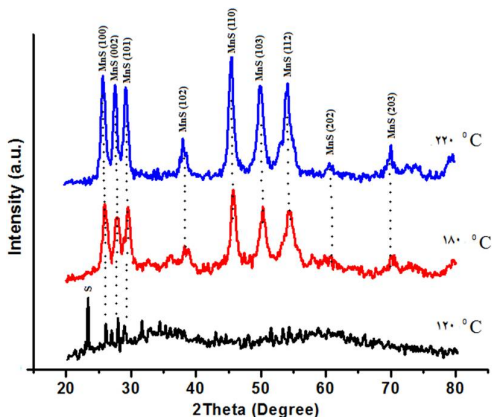
شکل 1. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده با فرآیند ماکروویو-هیدروترمال در مولاریته‌های مختلف در دمای  $120^\circ C$  و زمان تابش دهی 10 min با حلال الکل.

این فازها شامل فازهای  $MnS$ ،  $NaClO_3$  و  $NaCl$  می‌باشد. همچنین در توان 750W فازهای S و  $MnS$  تشکیل گردید. توان‌های مختلف در فرآیند ماکروویو اثر قابل ملاحظه‌ای بر تشکیل فاز خالص نانوذرات سولفیدمنگنز دارد. پهنای قله در نصف شدت سولفیدمنگنز در نمونه 500 W کاهش یافته که نشان دهنده تغییرات بلوری نانوذراتی است که در این شرایط

افزایش دما اندازه ذرات کوچکتر می‌شود. علت آنرا می‌توان در این دانست که با افزایش دما، یک انرژی آزاد گیبس به وجود می‌آید که منجر به شکل‌گیری تعداد زیادی هسته‌های کوچک می‌شود [26].



شکل 3. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده با فرآیند ماکروویو- هیدروترمال در حلال‌های مختلف در دما  $180^{\circ}\text{C}$  و زمان تابش دهی 10 min.



شکل 4. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده با فرآیند ماکروویو- هیدروترمال با دمای تابش دهی  $120^{\circ}\text{C}$ ،  $180^{\circ}\text{C}$  و  $220^{\circ}\text{C}$  و زمان تابش دهی 10 min.

جهت بررسی بیشتر ریخت و اندازه نمونه‌های به دست آمده، از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شده است که شکل 6 این تصاویر را به همراه نمودار توزیع اندازه ذرات برای هر نمونه نشان می‌دهد. این تصاویر ذرات بهم چسبیده کروی شکل را در هماهنگی با تصاویر SEM نشان می‌دهند که افزایش دما اندازه متوسط ذرات را کاهش داده است.

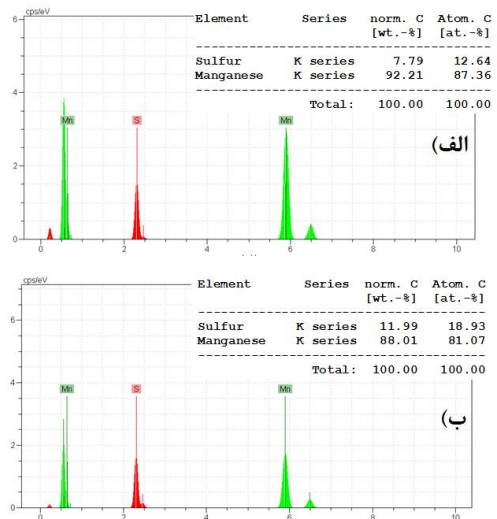
مسئله‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد، برهم‌کنش حلال با امواج ماکروویو است. بسته به خاصیت دی‌الکتریکی حلال‌ها، آنها با ماکروویو برهم‌کنش‌های متفاوتی دارند. بیشترین تانژانت اتلاف، بالاترین تبدیل انرژی ماکروویو به گرما را منجر می‌شود و بیشترین تأثیر را در گرمایش خواهد داشت که در این میان اتیلن گلیکول بیشترین تانژانت اتلاف را دارا می‌باشد [23].

جدول. مقایسه عملکرد حلال‌های مختلف در برابر ماکروویو [23,24].

حلال	نقطه جوش ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$ $\epsilon''/\epsilon'$	جذب امواج ماکروویو
اتیلن گلیکول	197	37,0	47,950	1,350	خیلی خوب
اتانول	78	24,3	22,866	0,941	خوب
آب	100	80,4	9,889	0,123	متوسط

مطابق جدول 1 جذب امواج ماکروویو توسط حلال اتیلن گلیکول بیشتر از اتانول و آب می‌باشد که نتایج به دست آمده با آن مطابقت دارد. در جدول 1  $\epsilon'$  (ثابت دی‌الکتریک) نشان دهنده قطبش‌پذیری مولکول در میدان دی‌الکتریک و  $\epsilon''$  (اتلاف دی‌الکتریک) نشان دهنده کارایی تبدیل امواج الکترومغناطیس به گرما می‌باشد. الگوی پراش نمونه‌های رشد داده شده در دماهای مختلف در حلال اتیلن گلیکول در شکل 4 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که فاز غالب در دمای  $120^{\circ}\text{C}$  گوگرد می‌باشد. با افزایش دما فاز خالص سولفیدمنگنز با ساختار بلوری هگزاگونال تشکیل می‌گردد. همچنین با افزایش دما به  $220^{\circ}\text{C}$  شدت قله‌ها و اندازه بلورک افزایش می‌یابد. این افزایش شدت قله‌ها با افزایش دما قبلاً نیز برای ساختارهای سولفیدمنگنز که با روش هیدروترمال رشد داده شده بودند، مشاهده و گزارش شده است [25]. شکل 5 تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ها را در دماهای تابش دهی مختلف نشان می‌دهد. برای هر دو نمونه ذرات بهم چسبیده کروی شکل در کنار هم قرار گرفته‌اند که با

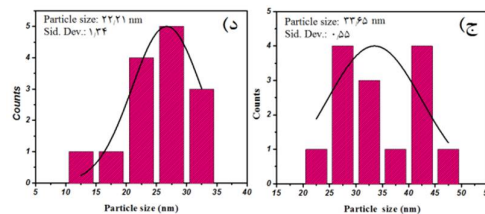
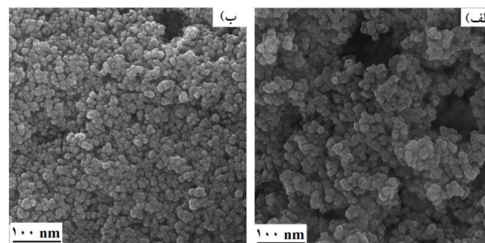
اتمی را تأیید می‌کند. همچنین در شکل 7 ب برای نمونه  $220^{\circ}\text{C}$  حضور اتم‌های منگنز حدود 81 درصد اتمی و سولفور با حدود 19 درصد اتمی مشخص می‌باشد. از مقایسه این دو نمونه مشخص می‌شود که با افزایش دما درصد اتم‌های منگنز کاهش و درصد اتم‌های سولفور افزایش پیدا کرده است.



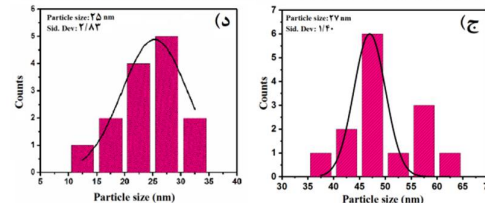
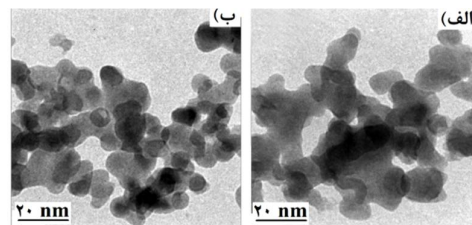
شکل 7. طیف EDX نمونه  $180^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد (ب) نمونه  $220^{\circ}\text{C}$ .

### خواص نوری

برای بررسی خواص نوری فاز خالص MnS تشکیل شده از طیف جذبی استفاده شد که شکل 8 آنرا نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، شدت جذب نسبی نمونه‌ها با افزایش دمای تابش دهی کاهش یافته و لبه جذب حدوداً  $350\text{ nm}$  می‌باشد. جهت تخمین انرژی شکاف باند نوری نانوذرات از روش ترسیمی نمودار تاک استفاده شده است. این نمودار (شکل 9) انرژی شکاف باند نوری نانوذرات سولفید منگنز را به ترتیب  $3.09\text{ eV}$  برای دمای  $180^{\circ}\text{C}$  و  $3.18\text{ eV}$  برای دمای  $220^{\circ}\text{C}$  نشان می‌دهد که این انرژی باند با لبه جذب مطابقت دارد.



شکل 5. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و نمودار توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رشد داده شده در دمای الف و ج) دمای  $180^{\circ}\text{C}$  و ب و د) دمای  $220^{\circ}\text{C}$ .



شکل 6. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و نمودار توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رشد داده شده در دمای الف و ج)  $180^{\circ}\text{C}$  و ب و د)  $220^{\circ}\text{C}$ .

با توجه به اینکه در شرایط آزمایشگاهی با حلال اتیلن گلیکول و در دماهای  $180^{\circ}\text{C}$  و  $220^{\circ}\text{C}$  فاز خالص MnS تشکیل می‌گردد، لذا به منظور شناسایی بهتر نمونه‌های به دست آمده آنالیز پراش انرژی پرتو ایکس انجام شده که شکل 7 آنرا نشان می‌دهد. در این طیف‌ها عناصر Mn و S دیده می‌شود. آنالیز EDX (شکل 7الف) نمونه  $180^{\circ}\text{C}$  حضور اتم‌های منگنز را حدود 87 درصد اتمی و سولفور را با حدود 13 درصد

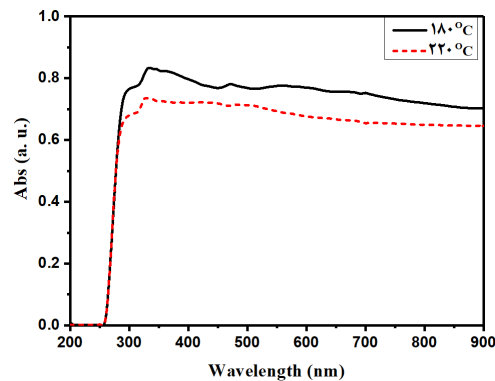
تاک به صورت خطی است، به این معنی که حالت گذار در این نانوذرات به صورت مستقیم است [17].

### نتیجه گیری

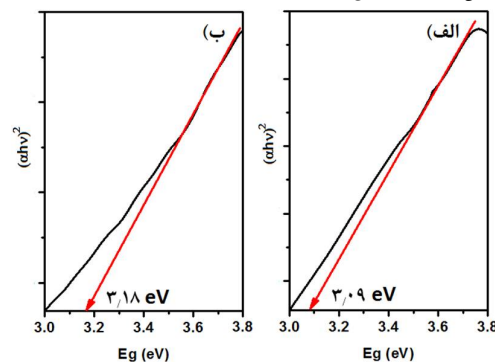
در این مطالعه اثر عوامل تأثیرگذار بر رشد نانوذرات سولفیدمنگنز به روش ماکروویو-هیدروترمال بررسی شد. الگوهای پراش نشان دادند که پس از انجام آزمایش‌های متفاوتی از قبیل نسبت غلظت‌ها، توان‌ها، نوع حلال‌ها و بررسی اثر دما فاز خالص سولفیدمنگنز در حلال اتیلن گلیکول تشکیل می‌شود. همچنین این نتایج نشان داد که نوع حلال مصرفی و دما در فرآیند نانوذرات سولفیدمنگنز دارد. جذب امواج ماکروویو توسط حلال اتیلن گلیکول بیشتر از اتانول و آب می‌باشد که نتایج به دست آمده با آن مطابقت دارد. همچنین با افزایش دمای تابش دهی در حلال اتیلن گلیکول فاز خالص و شدت بهتری از قله‌ها به دست می‌آید. تصاویر میکروسکوپ‌های الکترونی حاکی از کوچکتر شدن اندازه ذرات با افزایش دما می‌باشند. همچنین طیف جذبی نانوذرات نشان دهنده این است که این افزایش دما شدت جذب نسبی نمونه‌ها را کاهش می‌دهد. انرژی شکاف باند نوری نانوذرات سولفیدمنگنز از  $3.09\text{eV}$  برای دمای  $180^\circ\text{C}$ ، به  $3.18\text{eV}$  برای دمای  $220^\circ\text{C}$  افزایش پیدا می‌کند.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات مهندسی سطح پیشرفته و نانومواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به واسطه پشتیبانی فنی از این کار کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارند.



شکل 8. طیف جذبی نمونه‌های رشد داده شده در دماهای مختلف.



شکل 9. نمودار تاک جهت تخمین انرژی شکاف باند نوری نانوذرات سولفیدمنگنز رشد داده شده در دمای الف)  $180^\circ\text{C}$  و ب)  $220^\circ\text{C}$ .

طبق نمودار نمایان می‌شود که با کاهش اندازه ذرات (با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی) انرژی شکاف باند نوری افزایش می‌یابد. این نتیجه‌گیری در توافق با کارهای دیگران می‌باشد [27]. همان‌طور که می‌دانیم، نوارهای انرژی به وسیله ادغام شدن گروهی از ترازهای انرژی هم‌جوار، ایجاد می‌شوند. هنگامی که اندازه ذرات کوچکتر می‌شود، مقدار همپوشانی اوربیتال‌ها یا ترازهای انرژی کاهش می‌یابد و عرض نوار باریک‌تر می‌شود. این موضوع سبب می‌گردد که افزایش اندازه انرژی بین نوار ظرفیت و نوار رسانش به وجود آید و انرژی شکاف باند بیشتر شود [28]. همچنین نمودار

## مرجع‌ها

- [1] Z. Ganjiani, F. Jamali-Sheini, R. Yousefi, Electrochemical synthesis and physical properties of Sn-doped CdO nanostructures, *Superlattices and Microstructures* **100** (2016) 988-996.
- [2] R. Yousefi, F. Jamali-Sheini, M. Cheraghizade, S. Khosravi-Gandomani, A. SÁaedi, 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.
- [3] S. Sohila, M. Rajalakshmi, C. Ghosh, A.K. Arora, C. Muthamizhchelvan, Optical and Raman scattering studies on SnS nanoparticles, *Journal of Alloys and Compounds* **509** (2011) 5843-5847.
- [4] F. Jamali-Sheini, R. Yousefi, N. Ali Bakr, M. Cheraghizade, M. Sookhajian, 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.
- [5] S.R. Suryawanshi, S.S. Warule, S.S. Patil, K.R. Patil, M.A. More, Vapor-Liquid-Solid Growth of One-Dimensional Tin Sulfide (SnS) Nanostructures with Promising Field Emission Behavior, *ACS Applied Materials & Interfaces* **6** (2014) 2018-2025.
- [6] F. Jamali-Sheini, R. Yousefi, Field Emission Studies of Au doped ZnO Nanowire Arrays, *Journal of Research on Many-body Systems* **1** (2012) 19-24.
- [7] J. Yang, Z. Li, W. Zhao, C. Zhao, Y. Wang, X. Liu, Controllable synthesis of Ag-CuO composite nanosheets with enhanced photocatalytic property, *Materials Letters* **120** (2014) 16-19.
- [8] U. Jabeen, S.M. Shah, N. Hussain, A. Fakhr e, A. Ali, A. Khan, S.U. Khan, Synthesis, characterization, band gap tuning and applications of Cd-doped ZnS nanoparticles in hybrid solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **325** (2016) 29-38.
- [9] C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, M.A. El-Sayed, Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes, *Chemical Reviews* **105** (2005) 1025-1102.
- [10] S. Goswami, H.J. Pant, J. Biswal, J.S. Samantray, V.K. Sharma, A. Dash, Synthesis, characterization and application of Au-198 nanoparticles as radiotracer for industrial applications, *Applied Radiation and Isotopes* **111** (2016) 18-25.
- [11] Y. Gui, L. Qian, X. Qian, Hydrothermal synthesis of uniform rock salt ( $\alpha$ -) MnS transformation from wurtzite ( $\gamma$ -) MnS, *Materials Chemistry and Physics* **125** (2011) 698-703.
- [12] Y. Zheng, Y. Cheng, Y. Wang, L. Zhou, F. Bao, C. Jia, Metastable  $\gamma$ -MnS Hierarchical Architectures: Synthesis, Characterization, and Growth Mechanism, *The Journal of Physical Chemistry B* **110** (2006) 8284-8.
- [13] Y. Liu, Y. Qiao, W.-X. Zhang, Z. Li, X.-L. Hu, L.-X. Yuan, Y.-H. Huang, Coral-like  $\alpha$ -MnS composites with N-doped carbon as anode materials for high-performance lithium-ion batteries, *Journal of Materials Chemistry* **22** (2012) 24026-240.
- [14] G. Pandey, H.K. Sharma, S.K. Srivastava, R.K. Kotnala,  $\gamma$ -MnS nano and micro architectures: Synthesis, characterization and optical properties, *Materials Research Bulletin* **46** (2011) 1804-1810.
- [15] P. Zhao, Q. Zeng, X. He, H. Tang, K. Huang, Preparation of  $\gamma$ -MnS hollow spheres consisting of cones by a hydrothermal method, *Journal of Crystal Growth* **310** (2008) 4268-4272.
- [16] J. Yu, H. Tang, Solvothermal synthesis of novel flower-like manganese sulfide particles, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **69** (2008) 1342-1345.
- [17] D. Fan, H. Wang, Y. Zhang, J. Cheng, B. Wang, H. Yan, Preparation of crystalline MnS thin films by chemical bath deposition, *Materials Chemistry and Physics* **80** (2003) 44-47.
- [18] F. Zuo, B. Zhang, X. Tang, Y. Xie, Porous metastable  $\gamma$ -MnS networks: biomolecule-assisted synthesis and optical properties, *Nanotechnology* **18** (2007) 215608.
- [19] L. Amirav, E. Lifshitz, Spray-Produced Coral-Shaped Assemblies of MnS Nanocrystal Clusters, *The Journal of Physical Chemistry B* **110** (2006) 20922-20926.
- [20] J. Lu, P. Qi, Y. Peng, Z. Meng, Z. Yang, W. Yu, Y. Qian, Metastable MnS Crystallites through Solvothermal Synthesis, *Chemistry of Materials* **13** (2001) 2169-2172.
- [21] S. Wang, K. Li, R. Zhai, H. Wang, Y. Hou, H. Yan, Synthesis of metastable  $\gamma$ -manganese sulfide crystallites by microwave irradiation, *Materials Chemistry and Physics* **91** (2005) 298-300.
- [22] P.D.F. ICDD, International Centre for Diffraction Data, *Powder Diffraction File, Newtown Square, Pennsylvania, USA* (1997).

- [23] S. Horikoshi, N. Serpone, *Microwaves in nanoparticle synthesis: fundamentals and applications*, John Wiley & Sons 2013.
- [24] C.O. Kappe, D. Dallinger, S.S. Murphree, *Practical microwave synthesis for organic chemists*, John Wiley & Sons 2008.
- [25] Y. Zhang, H. Wang, B. Wang, H. Yan, M. Yoshimura, Low-temperature hydrothermal synthesis of pure metastable  $\gamma$ -manganese sulfide (MnS) crystallites, *Journal of Crystal Growth* 243 (2002) 214-217.
- [26] R.C. Singh, M.P. Singh, O. Singh, P.S. Chandi, Influence of synthesis and calcination temperatures on particle size and ethanol sensing behaviour of chemically synthesized SnO<sub>2</sub> nanostructures, *Sensors and Actuators B: Chemical* 143 (2009) 226-232.
- [27] I. Oidor-Juárez, P. García-Jiménez, G. Torres-Delgado, R. Castanedo-Pérez, O. Jiménez-Sandoval, B. Chao, S. Jiménez-Sandoval, Substrate temperature effects on the growth and properties of  $\gamma$ -MnS thin films grown by rf sputtering, *Materials Research Bulletin* 37 (2002) 1749-1754.
- [28] A. Sarkar, A.B. Ghosh, N. Saha, D.N. Srivastava, P. Paul, B. Adhikary, Enhanced photocatalytic performance of morphologically tuned Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> NPs in the degradation of organic pollutants under visible light irradiation, *Journal of Colloid and Interface Science* 483 (2016) 49-59.



## Investigating effective parameters on the growth and optical properties of MnS nanoparticles

Bahareh Ghanbari<sup>1, 2</sup>, Farid Jamali-Sheini<sup>3,\*</sup>, Ramin Yousefi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>Department of Physics, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>3</sup>Advanced Surface Engineering and Nano Materials Research Center, Department of Physics, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>4</sup>Department of Physics, Masjed-Soleiman Branch, Islamic Azad University (I.A.U), Masjed-Soleiman, Iran

Received: 26.04.2017    Final revised: 01.12.2017    Accepted: 04.03.2018

### Abstract

In this research, hydrothermal-microwave process was used for synthesis of manganese sulfide (MnS) nanoparticles (NPs). The effects of growth parameters such as concentration, solution type, and power were investigated. After synthesis, different thermo-radiations of microwave were applied and optical properties were studied. Different characterization methods for study of NPs properties such as X-ray diffraction (XRD), transmission and scanning electron microscopy (TEM and SEM), energy dispersive X-ray, and UV-Visible spectroscopy were used. XRD patterns and EDX spectra represent formation of polycrystalline MnS phase and the existence of desired elements, respectively. Electron microscopy images showed the composition of NPs in the form of adherent spherical particles. With increasing synthesis temperature, optical energy band gap increased and relative absorbance intensity decreased.

**Keywords:** Hydrothermal-microwave, MnS nanoparticles, Optical properties

---

\* Corresponding Author: faridjamali@iauahvaz.ac.ir