

## بررسی تاثیر حرارت دهی بر فعالیت فوتوکاتالیستی نانوساختارهای روی سولفید سنتز

### شده به روش هم رسوبی

حسنعلی عظیمی\* و رامین یوسفی

گروه فیزیک، واحد مسجدسلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، مسجدسلیمان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۰۸

تاریخ تصحیح: ۰۰/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۴/۱۹

#### چکیده

نانوساختارهای روی سولفید به روش ساده، سبز و مقرون به صرفه‌ی هم رسوبی با استفاده از اسید آمینه ال-سیستین سنتز شدند. پس از سنتز و حرارت دهی نانوساختارها، نمونه‌های بدست آمده توسط دستگاه‌های شناسایی مختلفی مانند، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (FTIR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، الگوی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) و طیف جذبی فرابنفش (UV) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از XRD و FTIR نشان داد که نانوساختارهای روی سولفید با ساختار شش گوشه سنتز شده‌اند. نتایج طیف جذبی فرابنفش نشان داد که با افزایش دمای حرارت دهی، گاف انرژی نمونه‌ها کوچکتر و اندازه‌ی نانوساختارها بزرگتر می‌شود. نانوساختارهای تهیه شده، برای بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی استفاده شدند. مشاهده شد که با افزایش دما، بازدهی فوتوکاتالیستی نانوساختارها کاهش یافته است.

**کلمات کلیدی:** نانوساختارهای روی سولفید، روش هم رسوبی، اسید آمینه ال-سیستین، فعالیت فوتوکاتالیستی.

#### ۱- مقدمه

صنایع نساجی و چرم سازی به عنوان منبع اصلی تولید آلاینده‌های رنگی در اکوسیستم به عنوان مضرترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌های آلی شناخته شده‌اند. در چند دهه گذشته، پساب فاضلاب حاصل از رنگ و صنایع نساجی عمده نگرانی‌های زیست محیطی را بیشتر کرده است که باعث می‌شود آنها به طور بالقوه مضرتر و سمی تر باشند. بنابراین استفاده از روشی ساده و مقرون به صرفه برای سنتز نانوساختارها و استفاده از آنها برای حذف این آلاینده‌ها از آب، یکی از دغدغه‌های محققان در جهان است [۱-۳].

[۳].

یکی از این نانوساختارهای نیمه‌رسانا که می‌تواند به عنوان ماده‌ی فوتوکاتالیست برای حذف این آلاینده‌ها از آب مورد استفاده قرار بگیرد، روی سولفید می‌باشد. نانوساختارهای روی سولفید به عنوان نیمه‌رساناهای ترکیبی گروه دو-شش به دلیل داشتن گاف انرژی مستقیم، پهن ( $3/68\text{eV}$ ) و شعاع اکسیتون بوه‌ر کوچک در دمای اتاق و در حالت توده‌ای، تولید فوتون در پی فرآیند باز ترکیب جفت الکترون-حفره، خواص نوری و الکترونیکی منحصر به فرد، دارای پتانسیل کاربرد بالایی برای رسانندگی الکترونیکی، نوری و خواص فوتوکاتالیستی می‌باشند [۴-۵]. در طول فرآیندهای نوری و فوتوکاتالیستی، چگالی برخورد فوتونهای فرودی با نانوساختارهای نیمه‌رسانای روی سولفید افزایش می‌یابد و در نهایت باعث افزایش انتقال الکترونها از باند ظرفیت به باند رسانش و افزایش جفت الکترون-حفره تولید می‌شود که این اساس عملکرد خوب یک نیمه‌رسانا در یک دستگاه اپتوالکترونیک است. در واقع، در اثر تابش نور خورشید به این نانوساختارها و تولید جفت الکترون-حفره، نانوساختارهای نیمه‌رسانای روی سولفید فعالیت فوتوکاتالیستی خوبی از خود نشان می‌دهند [۶-۱۰].

برای رشد نانوساختارهای نیمه‌رسانای روی سولفید از روش‌های شیمیایی مختلفی مانند سل-ژل [۱۱]، روش هیدروترمال [۱۲]، روش سولووترمال [۱۳]، روش تبخیر حرارتی [۱۴]، روش هم‌رسوبی [۱۵] و غیره استفاده می‌شود. اما در روش هم‌رسوبی شیمیایی، علاوه بر ساده و ارزان بودن، به علت داشتن پارامترهای قابل کنترل در روش رشد، می‌توان به هدف نهایی، همان سنتز نانوساختارها رسید [۱۵]. بنابراین در این تحقیق هدف این است که نانوساختارهای روی سولفید به روش هم‌رسوبی در دمای اتاق سنتز شوند و با حرارتی نمونه‌ها در چند دمای مختلف، بازده فوتوکاتالیستی و نوری آنها بررسی شوند.

## ۲- روش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده

از روی نیترات شش آبه ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )، سدیم سولفید ( $\text{Na}_2\text{S}$ )، سدیم هیدرواکسید ( $\text{NaOH}$ ) و اسید آمینه ال-سیستئین که همگی از شرکت سیگما آلد ریچ هستند و آب مقطر برای سنتز نانوساختارها استفاده شده است.

### ۲-۲- دستگاه‌ها

XRD نمونه‌ها با دستگاه Xpert-Philips با آند مسی، طول موج تحریک  $1/5406$  انگستروم (تابش  $\text{CuK}\alpha$ ) با ولتاژ  $40\text{Kev}$  و جریان  $40\text{mA}$ ، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) توسط دستگاه شرکت Bruker آمریکا مدل ۲۰۰۰ Perkin Elmer System Series Spectrophotometer به روش KBr، طیف جذبی با استفاده از دستگاه UV-Visible مدل Lambda ۲۵ ساخت شرکت Perkin Elmer آمریکا و EDX نمونه‌ها توسط دستگاه FESEM مدل Sigma ساخت شرکت Zeiss انجام شد.

## ۳-۲- روش تهیه نانوساختارهای سولفیدروی

برای رشد نانوساختارهای روی سولفید از روش هم‌رسوبی شیمیایی استفاده شد. ابتدا مقدار ۰/۰۱ مول از روی نیترات  $(Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O)$  در ۵۰ cc آب مقطر و ۰/۰۱۵ مول سدیم سولفید  $(Na_2S)$  در ۵۰ cc آب مقطر در دو بشر جداگانه بوسیله یک همزن مغناطیسی حل شد. سپس محلول سدیم سولفید به محلول روی نیترات اضافه شد که نتیجه آن یک محلول شیری رنگ بدست آمد. در مرحله‌ی بعد برای تنظیم pH بین ۸ تا ۱۱، مقدار ۰/۰۱ مول سدیم هیدرواکسید  $(NaOH)$  و ۰/۰۱ گرم اسید آمینه ال-سیستئین را به عنوان سورفکتانت و برای جلوگیری از بهم چسبیدن ذرات و کنترل ابعاد آنها، در ۵۰ cc آب مقطر بوسیله یک همزن مغناطیسی حل شد و سپس قطره قطره در مدت ۴ ساعت به محلول شیری رنگ اضافه شد. در روش هم‌رسوبی شیمیایی زمانی که غلظت ترکیب از حلالیت آن فراتر می‌رود، ماده رسوب می‌کند. در اینجا در محلول نهایی یک واکنش جاننشینی دوگانه ساده بین روی نیترات و روی سولفید صورت می‌گیرد که به صورت زیر است:



در اینجا روی سولفید کم محلول است و تقریباً به محض تولید در محلول، رسوب می‌کند. سدیم نیترات در محیط آبی محلول است و به صورت یون‌های مجزای  $NO_3^-$  و  $Na^+$  وجود دارد. این یون‌ها تنها نقش همراه یا ناظر را دارند و خود در واکنش شرکت نمی‌کنند. آنگاه محلول بدست آمده با کاغذ صافی ۴۰ Whatman صاف شد و حدود دوازده بار با آب مقطر شستشو داده شد. سپس مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه داشته شد تا پودر کاملاً خشک شود. آنگاه پودر بدست آمده در سه بوته آلومینا در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد، در درون کوره استوانه‌ای قرار داده شد. در هنگام حرارت‌دهی گاز ترکیبی آرگون/هیدروژن  $(Ar/H_2)$  (به نسبت نود درصد آرگون و ده درصد هیدروژن)، از یک طرف وارد لوله کوره می‌شد و طرف دیگر لوله کوره به پمپ خلاء متصل بود تا از ترکیب مواد با اکسیژن محیط جلوگیری شود. در مدت یک ساعت دمای مرکز کوره به ۸۰۰ درجه سانتیگراد رسید و مدت یک ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد و در فشار ۱۰ Torr نگه داشته شد. سپس با خاموش شدن کوره و سرد شدن تا دمای اتاق، نمونه‌ها از داخل کوره برداشته شد. البته دمای نمونه‌ها با قرار دادن نمونه‌ها در فواصل مشخصی از مرکز کوره تنظیم شد. برای این که تمام نمونه‌ها در یک شرایط یکسان حرارت‌دهی شوند و به دلیل داشتن نوسان زیاد دما در مرکز کوره و کمتر بودن مقدار این نوسان در نقاط دورتر از مرکز، دمای مرکز کوره ۸۰۰ درجه سلسیوس گرفته شد. نمونه‌ها را در فواصل مشخصی که از مرکز کوره که دارای دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد بود، قرار داده شد.

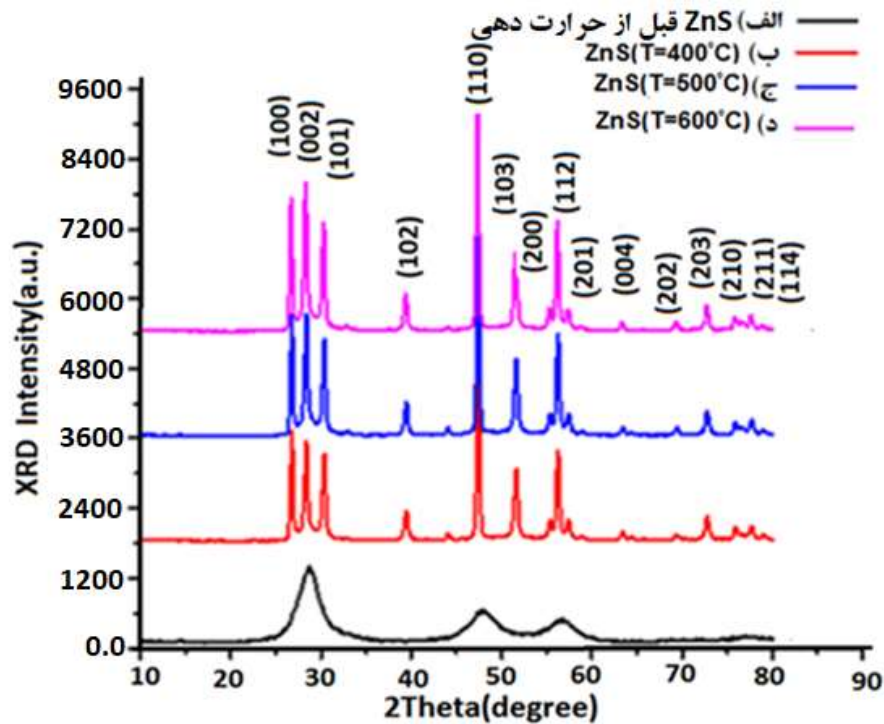
## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)

برای مطالعه و بررسی کیفیت ساختار، شناسایی فاز و حضور ناخالصی‌ها در نانوساختارهای روی سولفید از نمونه‌ها الگوی پراش اشعه ایکس گرفته شد. در شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت‌دهی (نمودار الف)، حرارت‌دهی شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد (نمودار ب)، ۵۰۰ درجه سانتیگراد (نمودار ج) و ۶۰۰ درجه سانتیگراد (نمودار د) را نشان می‌دهد. مشاهده شد که الگوی پراش اشعه ایکس نانوساختارهای روی سولفید با کارت استاندارد (JCPDS-Card36-1450) کاملاً همخوانی دارند [۱۶ و ۱۷]. با مقایسه الگوی پراش نانوساختارهای روی سولفید با کارت استاندارد، سه قله پهن در اطراف زاویه ۲۸/۳۸ درجه، ۴۸/۸۴ درجه و ۵۶/۵۰ درجه مطابق با صفحات (۰۰۲)، (۱۱۰) و (۱۱۲) مشاهده می‌شود. حضور این قله‌های پهن نشان دهنده رفتار نانوکریستالی ذرات با ساختار هگزاگونال (شش‌گوشی) است. از طرفی دیگر با مقایسه نمونه‌های حرارت‌دهی شده با کارت استاندارد مشاهده می‌شود که نانوساختارهای روی سولفید حرارت‌دهی شده نیز دارای ساختار شش‌گوشی هستند. از طرفی با مقایسه الگوی پراش نمونه قبل از حرارت‌دهی با الگوی پراش نمونه‌ها بعد از حرارت‌دهی مشاهده می‌شود که شدت قله‌ها بعد از حرارت‌دهی افزایش یافته است، طوری که بعد از حرارت‌دهی، تعدادی از قله‌ها که در قبل از حرارت‌دهی دیده نمی‌شوند، ظاهر می‌شوند. بنابراین مشاهده می‌شود که حرارت‌دهی سبب افزایش شدت قله‌ها، باریک شدن پهنای قله‌ها و ظاهر شدن قله‌های کوچک مربوط به فاز خالص می‌شوند. از اینرو می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس رابطه شرر اندازه‌ی بلورکهای محصولات بدست آمده با افزایش دما، افزایش پیدا کرده است [۱۸ و ۱۹]. در جدول ۱ اندازه‌ی میانگین این بلورک‌ها بر اساس رابطه شرر لیست شده است. مشاهده می‌شود با افزایش دما، اندازه‌ی بلورک‌ها بزرگتر شده است. در حقیقت هر چه اندازه‌ی بلورک‌ها کوچکتر شود، پیکها پهن‌تر و شدت آنها کاهش می‌یابد. این نشان دهنده این است که در دمای پایین نانوذرات خالص روی سولفید سنتز شده‌اند. البته ناگفته نماند بر اساس آزمایشات انجام شده، این نتیجه گرفته شد که حرارت‌دهی در روش هم‌رسوبی، سبب پایین آمدن کیفیت نانوساختارها می‌شود.

جدول ۱- اندازه‌ی میانگین بلورک‌ها برای نانوساختارهای روی سولفید قبل و بعد از حرارت‌دهی

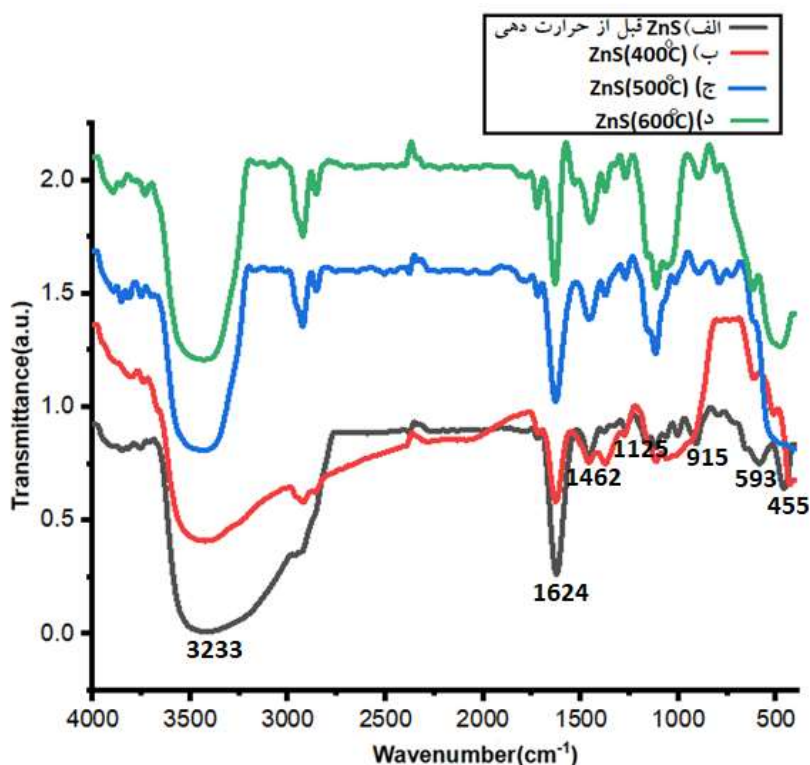
FWHM(degree) ↓	میانگین اندازه ریزبلورکها (nm)	۵۶/۵۰ درجه	۴۸/۸۴ درجه	۲۸/۳۸ درجه
ZnS (بدون حرارت‌دهی)	۴۵/۷۴	۰/۳۹۴۹	۰/۳۸۱۷	۰/۳۵۸۰
ZnS (400 °C)	۴۸/۴۳	۰/۳۷۴۲	۰/۳۶۰۴	۰/۳۱۸۲
ZnS (500 °C)	۵۱/۸۵	۰/۳۴۸۲	۰/۳۳۶۷	۰/۳۰۳۴
ZnS (600 °C)	۵۶/۶۴	۰/۳۱۸۶	۰/۳۰۸۲	۰/۲۸۹۵



شکل ۱- الگوی پراش XRD نانوساختارهای روی سولفید، الف) قبل از حرارت دهی، حرارت دهی شده در سه دمای، ب) ۴۰۰ درجه سانتیگراد، ج) ۵۰۰ درجه سانتیگراد و د) ۶۰۰ درجه سانتیگراد.

### ۲-۳- نتایج طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)

به منظور تعیین نوع گروه‌های عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های نمونه‌های روی سولفید سنتز شده، از نمونه‌ها طیف تبدیل فوریه مادون قرمز گرفته شد. شکل ۲ طیف FTIR از نانوساختارهای روی سولفید در گستره  $4000-500\text{ cm}^{-1}$  در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. می‌توان از شکل ۲ مشاهده کرد که تمام قله‌ها در تمام نمودارها وجود دارند و تنها با افزایش دما عدد موج قله‌ها به سمت عدد موج بالاتر یا پایین‌تر جابجا می‌شوند. از مقایسه این نمودارها با نمودارهای استاندارد، مشاهده می‌شود که قله مشاهده شده در  $455\text{ cm}^{-1}$  مربوط به نوسانات کششی و شکل‌گیری فاز ZnS است. از طرفی این قله با مد  $E_2$  مربوط به ساختار شش‌گوشی ZnS می‌باشد که کاملاً با نتایج بدست آمده از طیف XRD مطابقت دارند [۱]. قله مشاهده شده در  $1462\text{ cm}^{-1}$  مربوط به مدهای خمشی OH و مدهای خمشی C-H است که در تمام نمودارها دیده می‌شود [۲۰]. قله‌های مشاهده شده در  $1624\text{ cm}^{-1}$  و  $3233\text{ cm}^{-1}$  می‌تواند به طور صریح ناشی از نوسانات خمشی مولکول‌های آب جذب شده و نوسانات کششی گروه‌های هیدروکسیل و یا نوار خمشی H-O-H از مولکول‌های جذب شده آب و ارتعاشات کششی  $\text{CH}_2$ - و مدهای کششی  $\text{C}=\text{O}$  باشد [۲۱-۲۷]. از بررسی نمودار طیف FTIR نانوساختارهای روی سولفید نتیجه گرفته شد که نانوترکیبات روی سولفید با ساختار شش‌گوشی شکل دهی شده‌اند.



شکل ۲- طیف FTIR از نانوساختارهای روی سولفید، (الف) قبل از حرارت دهی، حرارت دهی شده، (ب) در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، (ج) در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد و (د) در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد.

### ۳-۳- نتایج UV-Visible و محاسبه‌ی گاف انرژی

به منظور بررسی خواص نوری، طیف جذبی نانوساختارهای روی سولفید در دمای اتاق گرفته شد. شکل ۳ طیف جذبی و گاف انرژی نمونه‌های روی سولفید قبل و بعد حرارت دهی در دمای ۴۰۰ سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. برای محاسبه‌ی گاف انرژی نانوساختارهای روی سولفید از رابطه‌ی بین ضریب جذب ( $\alpha$ )، انرژی فوتون فرودی ( $h\nu$ ) و گاف انرژی نوری که به عنوان رابطه تاک (Tauc) معروف است، استفاده شد.

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

که در آن  $h$  ثابت پلانک،  $\nu$  فرکانس فوتون فرودی،  $\beta$  یک عدد ثابت،  $E_g$  گاف انرژی نانوساختارها و توان  $n$  که به نوع گذار

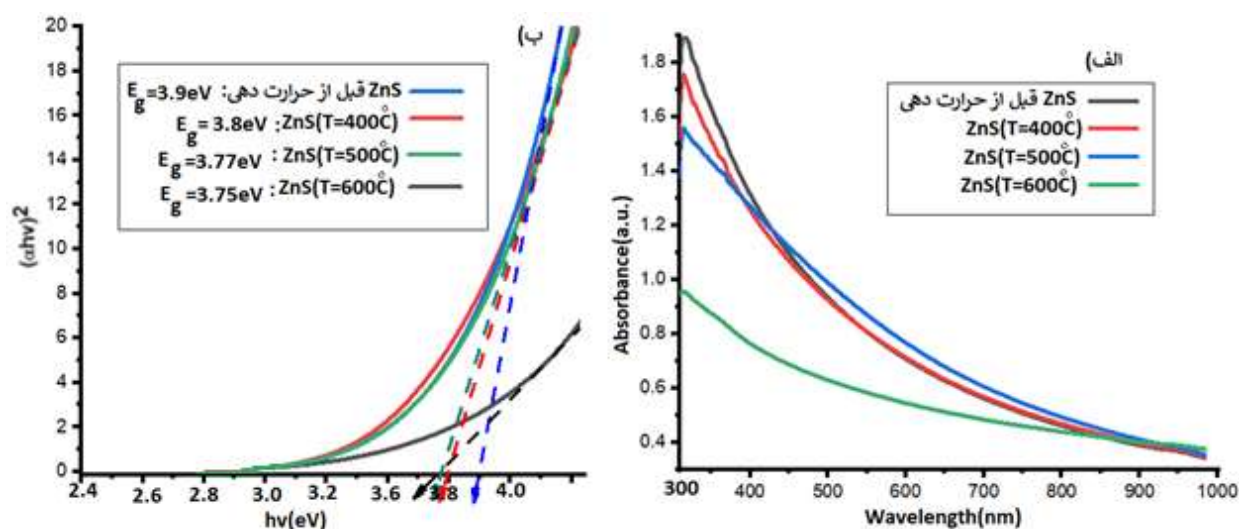
وابسته است. مقدار آن برای گذار مستقیم  $n = \frac{1}{2}$ ، برای گذار غیرمستقیم  $n = 2$  و برای گذار ممنوعه  $n = \frac{3}{2}$  است. با استفاده

از این معادله و با توجه به این که گاف انرژی نانوساختارهای روی سولفید مستقیم ( $n = \frac{1}{2}$ ) است، گاف انرژی نانوساختارهای

روی سولفید قبل از حرارت دهی و بعد از حرارت دهی در دمای ۴۰۰ سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد

محاسبه شد. گاف انرژی نانوساختارها با رسم خطی مماس بر نمودار  $h\nu$  بر حسب  $(\alpha h\nu)^2$ ، در نقطه‌ای که نمودار تقعر پیدا

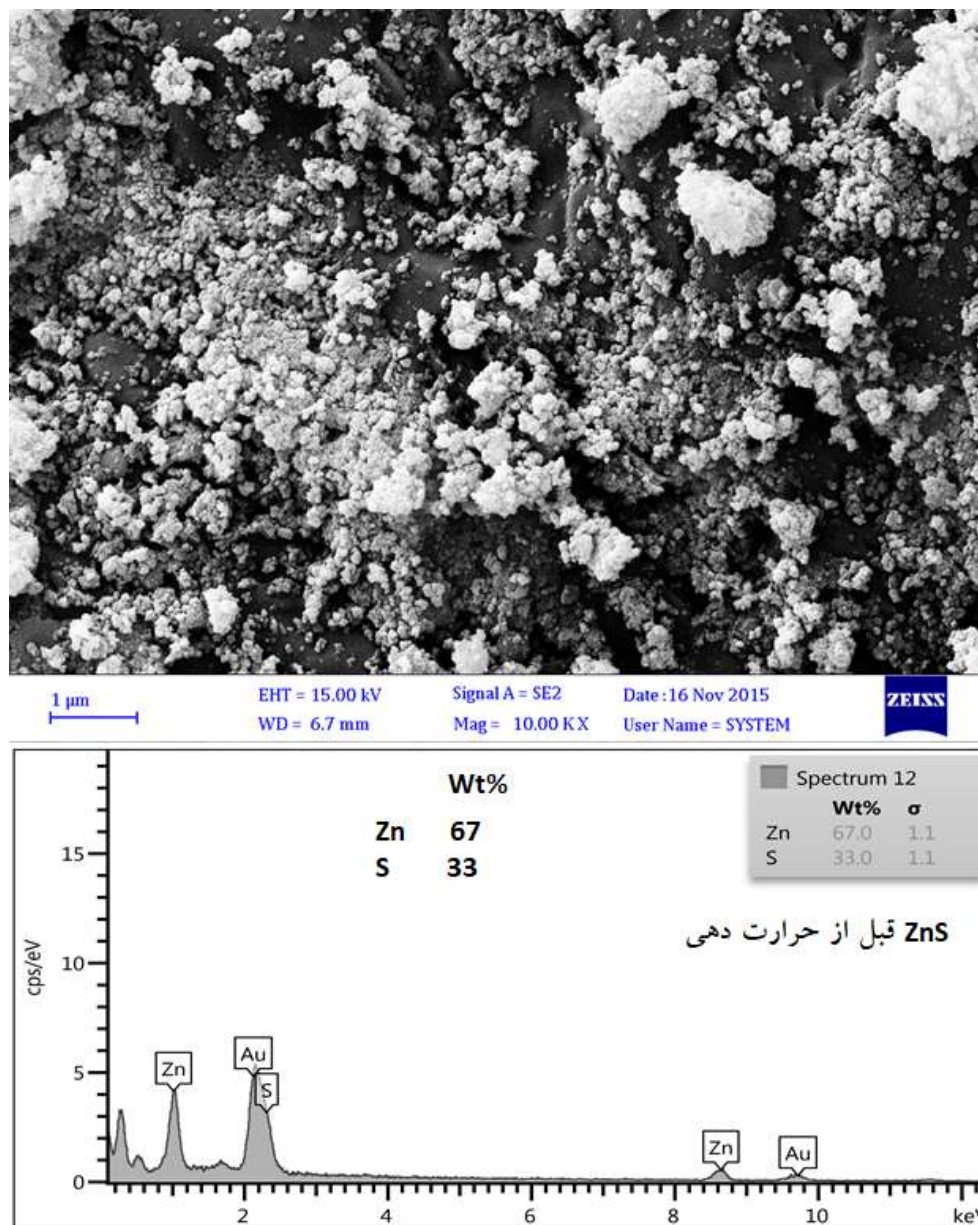
می‌کند و نقطه‌ای که این مماس محور افقی را قطع می‌کند، محاسبه شده است که به نمودار تاک (Tauc) مشهور است [۲۸]. مشاهده می‌شود که نمونه‌های قبل از حرارت‌دهی دارای قله جذب  $320$  نانومتر و گاف انرژی نوری  $3/9$  الکترون ولت و نمونه‌های حرارت‌دهی شده در دمای  $400$  درجه سانتیگراد،  $500$  درجه سانتیگراد و  $600$  درجه سانتیگراد به ترتیب دارای قله جذب  $325$  نانومتر،  $330$  نانومتر و  $332$  نانومتر و به ترتیب دارای گاف انرژی نوری  $3/8$  الکترون ولت،  $3/77$  الکترون ولت و  $3/75$  الکترون ولت است. در این حالت گاف انرژی نمونه قبل از حرارت‌دهی نسبت به نمونه‌های حرارت‌دهی شده بزرگتر است. بنابراین با حرارت‌دهی، گاف انرژی نوری، کوچکتر و طول موج قله جذب افزایش می‌یابد. به عبارتی دیگر با حرارت‌دهی، اندازه بلورکها بزرگتر می‌شوند. از الگوی پراش نانوساختارها و جدول ۱ نیز این نتیجه بدست آمد که با افزایش دمای حرارت‌دهی، قله‌ها باریکتر و اندازه بلورکها بزرگتر شده است.



شکل ۳- طیف جذبی فرابنفش- مرئی و گاف انرژی نمونه‌های روی سولفید قبل و بعد از حرارت‌دهی شده در دمای  $400$  درجه سانتیگراد،  $500$  درجه سانتیگراد و  $600$  درجه سانتیگراد.

#### ۳-۴- نتایج طیف پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)

در شکل ۴ طیف پراش انرژی پرتو ایکس همراه با تصویر FESEM، برای نمونه‌های روی سولفید قبل از حرارت‌دهی نشان داده شده است. در این شکل درصد عناصر موجود در نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت‌دهی مشاهده می‌شود. در طیف پراش انرژی پرتو ایکس برای نانوساختارهای روی سولفید، عناصر روی و گوگرد دیده می‌شود و هیچ اکسیژنی را نشان نمی‌دهد که این بیانگر کیفیت بالای محصول نهایی نانوساختارهای روی سولفید در دمای اتاق است.



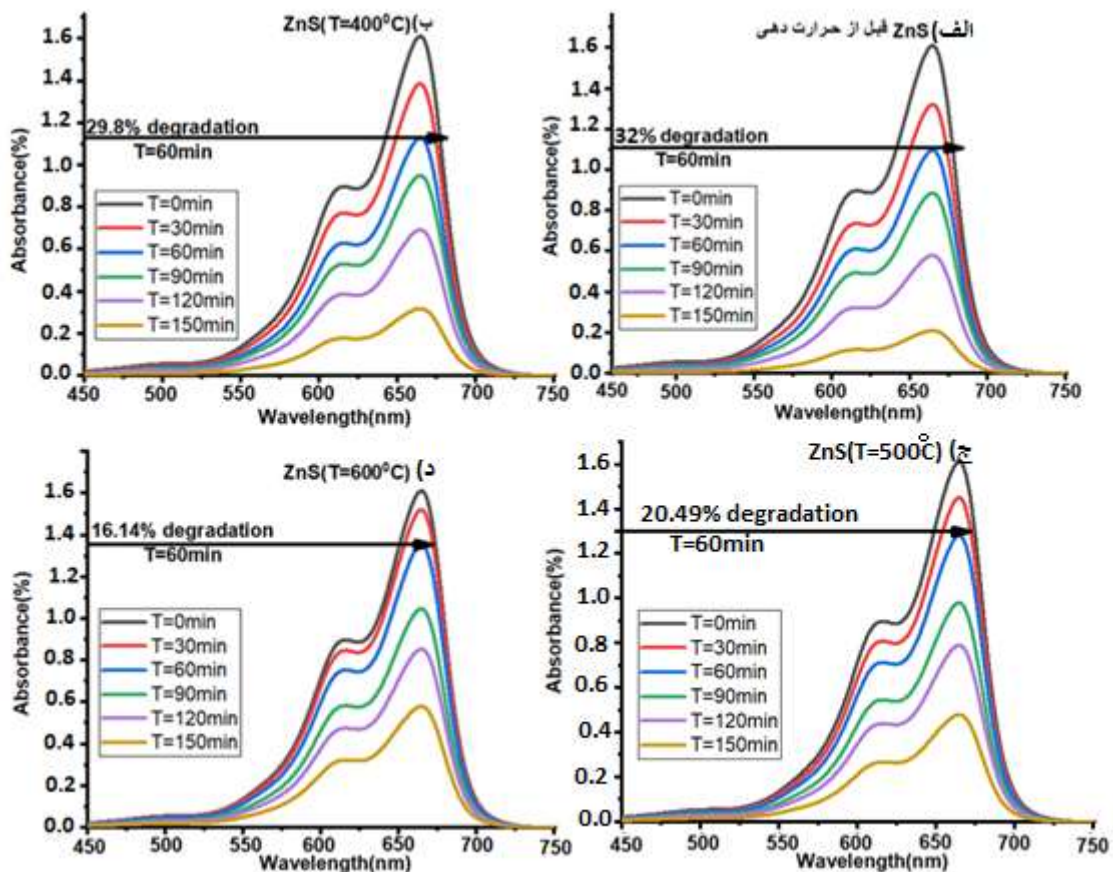
شکل ۴- طیف پراش انرژی پرتو ایکس برای نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت دهی

### ۵-۳- نتایج فعالیت فوتوکاتالیستی

برای بررسی خواص فوتوکاتالیستی نانوساختارهای روی سولفید قبل و بعد از حرارت دهی، ابتدا مقدار ۰/۰۰۵ گرم متیلن بلو در ۵۰ CC آب مقطر حل شد. سپس مقدار ۰/۰۳۳ گرم از هر یک از نمونه‌ها به طور جداگانه در ۵۰ CC محلول متیلن بلو توسط یک همزن مغناطیسی در یک محیط تاریک حل شد. برای این که این نانوترکیبات به خوبی در محلول متیلن بلو حل شوند، به مدت ۳۰ دقیقه محلول در دستگاه آلتراسونیک در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. آنگاه محلول در معرض تابش نور خورشید در ساعت ۱۲ قرار داده شد. از هر نمونه قبل از این که در معرض نور خورشید قرار داده شود، طیف جذب UV-Vis گرفته شد و سپس در معرض نور خورشید قرار داده شد. هر نیم ساعت مقدار ۲/۵ میلی لیتر از آن را برداشته و پس از چندین بار سانتیریویژ



کردن، از آن طیف گرفته شد. شکل ۵ نمودار جذب اپتیکی محلول متیلن بلو، هنگام متلاشی شدن در فرآیند فوتوکاتالیست نانوساختارهای روی سولفید قبل و بعد از حرارت‌دهی در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد در اثر تابش نور خورشید نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که شدت قله جذب متیلن بلو در ۶۶۵ نانومتر با افزایش زمان تابش، کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت‌دهی، در مقایسه با نانوساختارهای روی سولفید حرارت‌دهی شده با همان غلظت، فرآیند فوتوکاتالیست سریعتری دارند و شدت پیک جذب آن در ۶۶۵ نانومتر سریعتر کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مشاهده می‌شود که بعد از گذشت ۶۰ دقیقه، به ترتیب ۳۲، ۲۹/۸، ۲۰/۴۹ و ۱۶/۱۴ از غلظت متیلن بلو توسط نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت‌دهی و بعد از حرارت‌دهی در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد متلاشی شده است. از طرفی مشاهده می‌شود که پس از گذشت ۱۵۰ دقیقه فعالیت فوتوکاتالیستی نانوساختارهای روی سولفید قبل از حرارت‌دهی از سه نمونه‌ی حرارت‌دهی شده بیشتر است. این نشان دهنده این است که افزایش دما، باعث افزایش اندازه بلورکها شده و فعالیت فوتوکاتالیستی کاهش یافته است.



شکل ۵- نمودار جذب اپتیکی محلول متیلن بلو، هنگام متلاشی شدن در فرآیند فوتوکاتالیست توسط نانوساختارهای روی سولفید قبل و بعد از حرارت‌دهی در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد در اثر تابش نور خورشید.

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق نانوساختارهای روی سولفید با استفاده از روش هم‌رسوبی، روشی سبز، ساده و مقرون به صرفه در دمای اتاق سنتز شدند. نتایج حاصل از XRD و FTIR نشان داد که نانوساختارها با ساختار شش گوشه سنتز شده‌اند و حرارت‌دهی و افزایش دما باعث بزرگتر شدن اندازه بلورکها می‌شود. نتایج طیف جذبی نشان داد که با افزایش دما گاف انرژی نانوساختارها کاهش می‌یابد. نتایج EDX نشان داد که نانوساختارهای روی سولفید در دمای اتاق با کیفیت و خلوص بالا سنتز شده‌اند. نتایج حاصل از فرآیند فوتوکاتالیست نشان دادند که با افزایش دما، بازده فوتوکاتالیستی نمونه‌ها کاهش می‌یابد که این بیانگر این است که با افزایش دما و بزرگتر شدن اندازه بلورکها بازدهی فوتوکاتالیستی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

## ۵- تشکر و قدردانی

در اینجا از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان به خاطر در اختیار قرار دادن وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز در این کار تحقیقاتی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## ۶- مراجع

- [1] M. Azarang, A. Shuhaimi, R. Yousefi, et al, *Ceramics International*, **40**(2014) 10217.
- [2] Z. Zhang, Y. Fu, X. Yang, Y. Qu, Q.Li, *ElectrochimActa*, **168** (2015) 285.
- [3] R. Yousefi, F. Jamali-Sheini, M. Cheraghizade, S. Khosravi-Gandomani, *Mater. Sci. Semicond. Process*, **32**(2015)152.
- [4] M. Sookhakian, Y.M.Amin, R.Zakaria, W.J.Basirun, M.R.Mahmoudiam, *J. Alloys Compd.* **632**(2015) 201.
- [5] Y. Kim and D. J.Jang, *RSC Adv*, **3** (2013) 16945.
- [6] M. Azarang, A. Shuhaimi, R. Yousefi, et al, *RSC Advances*, **5**(2015) 21888.
- [7] R. Yousefi, F. Jamali-Sheini, M. Cheraghizade, et al, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **32**(2015) 152.
- [8] F. Jamali-Sheini, R. Yousefi., N. A. Bakr, et al, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **32**(2015) 172.
- [9] A. Qurashi, Z. Zhong, M. W. Alam, *Solid State Sciences*, **12**(2010) 1516.
- [10] M. Samadi, M. Zirak, A. Naseri , et al, *Thin Solid Films*, **605**(2016) 2.
- [11] V.Stanić, T.H.Etsell, A.C.Pierre,R.J.Mikula, *Materials Letters*, **31**( 1997) 35.
- [12] T.T.Q.Hoa, L.V.Vu, T. D.Canh and N. N.Long, *Journal of Physics: Conference Series*, **187**(2009) 012081.
- [13] L. Chai, J. Du, S. Xiong, H. Li, Y. Zhu, and Y. Qian, *Journal of Physical Chemistry C*, **34** (2007) 12658.

- [14] H.J. Yuan, S.S. Xie, D.F. Liu, X.Q. Yan, Z.P. Zhou, L.J. Ci, J.X. Wang, Y. Gao, L. Song, L.F. Liu, W.Y. Zhou, G. Wang, *Journal of Crystal Growth*, **258** (2003) 225.
- [15] P. Iranmanesh, S. Saeednia, and M. Nourzpoor, *Chinese Physics B*, **24**(2015) 046104.
- [16] Y. Kim, and D. J. Jang, *RSC Adv*, **3**(2013)16945.
- [17] J. Yin, J. Wang, H. Li, H. Ma, W. Li, X. Shao, *J. Energy Chem*, **23** (2014) 559.
- [18] S. A. Eric, A. M. Messai, B. M. Bhekkie, C. P. Avinash, K. M. Ajay, *Mat Sci Semicon Proc*, **33** (2015) 119.
- [19] K. Hedayati<sup>1</sup>, A. Zendehnam and F. Hassanpour, *J. Nanostruct* **6**(2016) 207.
- [20] T. S. Chew, R. Daik, and M. A. Abdul Hamid, *J. Polym. Sci. A Polym*, **7**(2015)1221.
- [21] B. Zeng, X. Chen, C. Chen, X. Ning, W. Deng, *J. Alloys Compd*, **582** (2014) 774.
- [22] P. Iranmanesha, S. Saeedniab, M. Nourzpoora, *Chin. Phys. B*, **24** (2015) 46104.
- [23] M. Mobarraz, M. Ganjali, M. Chaichi, P. Norouzi, *Acta Mol. Biomol. Spectrosc*, **96**(2012) 801.
- [24] K. Chakraborty, S. Chakrabarty, P. Das, S. Ghosh, T. Pal, *Mater Sci. Eng. B*, **204**(2016)8.
- [25] H. Labiadhi<sup>1</sup>, K. Lahbib, S. Hidouri, S. Touil, T. Ben Chaabane, *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, **9**(2016)257.
- [26] H. Q. Alijani, Sh. Pourseyedi, M. Torkzadeh-Mahani, M. Khatami, *Journal of Molecular Structure*, **1175**(2019)214.
- [27] A. Mohammadnezhad and H.R. Gholipour Dizaji, *Journal of Applied Chemistry*, **7**( 2013)39.
- [28] S. Baset, H. Akbri, H. Zeynali, and M. Shafie, *Dig. J. Nanomater. Bios*, **6**(2011) 709.

