فصلنامه‌ی علمی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۰

اثر زمان و افزودنی کبالت بر مشخصات فازی، ریزساختار و خواص نوری نانوذرات کالکوپیرید $CuInS_2$ سنتز شده به روش هیدروترمال

نوع مقاله: علمی پژوهشی

سعید رحیمی، سید محمد میرکاظمی*، علی بیت الهی

گروه سرامیک، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

mirkazemi@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۱ تیر ۱۳۹۹

پذیرش: ۱۴ مهر ۱۳۹۹

کلیدواژه:

$CuInS_2$، سلول خورشیدی، کالکوپیرید، دوپانت کبالت، هیدروترمال، زمان، ریزساختار.

چکیده:

در این پژوهش، با استفاده از کلرید مس، کلرید ایندیوم، تیواوره (منبع سولفور) و آب دیونیزه به‌عنوان حلال، با روش هیدروترمال در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت‌زمان‌های ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ ساعت ، ترکیب سه‌تایی $CuInS_2$ با استوکیومتری (۱:۱:۲) سنتز شد و در مرحله بعد، این ترکیب به همراه افزودنی کبالت نیز، در زمان ۲۰ ساعت با استوکیومتری $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ با مقادیر (X=۰/۱ و X=۰/۲) سنتز شد و تغییرات فازی، ریزساختاری و نوری آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از روش‌های پراش اشعه ایکس(XRD)، میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدان (FESEM) و میزان بازتاب‌پخشی (DRS) برای خواص فازی، ریزساختاری و نوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند نانوذرات تک فاز CIS سنتز شده در زمان‌های ۱۶، ۱۸ و ۲۰ ساعت به ترتیب دارای اندازه بلورک ۲۶ nm، ۲۹ و ۳۲ هستند. به کمک اطلاعات پراش صفحات (۱۱۲)، (۲۲۰) و (۳۱۲) برای نمونه سنتز شده در مدت ۲۰ ساعت، مقدار پارامتر شبکه a برابر با ۵۲/۵ آنگستروم و c برابر با ۱۱/۱۱ آنگستروم است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان برای نانوذرات سنتز شده برای نمونه‌ی ۱۸ ساعت به صورت چندوجهی های نامنظم و برای نمونه ۲۰ ساعت به صورت پولکی شکل و با ابعاد نانو در یک جهت هستند. میزان شکاف انرژی برای نمونه تک فاز سنتز شده در زمان ۲۰ ساعت، ۵۴/۱ eV (الکترون ولت) است. میزان شکاف انرژی برای نمونه‌ی $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ (1-Co) با مقادیر (X=۰/۱) نیز ۹۲/۱ الکترون ولت، محاسبه شد.

۱- مقدمه

به دلیل بحران انرژی سنتی، انرژی تجدیدپذیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است و ایده فوق‌العاده‌ای برای حفظ کردن فناوری سبز است. سلول‌های خورشیدی با مواد نیمه‌رسانایی ساخته می‌شود که شکاف انرژی آن برای جذب پرتوهای خورشید بهترین حالت ازلحاظ ولتاژ و آمپر خروجی و نیز بازدهی تبدیل نور به الکتریسیته را داشته باشد. اصول

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

فرایند در عملکرد سلول‌های خورشیدی بر اساس جذب، تولید و جداسازی بار، انتقال بار و جمع‌آوری بار الکتریکی در الکترودها است. مهم‌ترین قسمت یک سلول خورشیدی، لایه جذب‌کننده نور است که الکترون حفره در آن تولید می‌شود[۱، ۳]. مواد نیمه‌رسانای کالکوژنه با ساختار بلوری سولفید روی به‌صورت ترکیب محلول جامد، به علت ضریب جذب بالای نور خورشید، قابلیت تبدیل ساختار الکتریکی از نیمه‌رسانای نوع p به نوع n شکاف انرژی مستقیم و تغییر مقدار شکاف انرژی با تغییر ترکیب شیمیایی به‌عنوان یک ماده، جذب‌کننده بسیار مناسب برای سلول‌های خورشیدی مطرح بوده که با ترکیب I-III-VI شیمیایی به‌صورت شبکه چهاروجهی مرکز پر، کالکوپیریت ابر ساختار سولفید روی یا شبکه شش‌وجهی (ساختار ورتزیت) و یا سولفید روی است [۲]. به‌تازگی بهره‌وری تبدیل قدرت فیلم نازک CIGS در مقیاس آزمایشگاهی به٪ ۲۱/۷ رسیده است. با این حال ساخت این فیلم‌ها باکیفیت بالاتر، نیاز به یک محفظه خلاء بالا که منجر به هزینه‌ی زیاد می‌شود، علاوه بر این ایندیوم و گالیوم کمیاب و گران‌قیمت هستند پس نیاز فوری، پیدا کردن عناصر ارزان‌قیمت و مناسب برای جایگزین کردن بخشی از ایندیوم و گالیوم برای کاهش هزینه مواد اولیه است. به‌تازگی تحقیقات زیادی روی ساخت سلول‌های خورشیدی CIG (S,Se) متمرکز شده است. دست‌یابی به جایگزینی عناصر، ترکیبات بهینه‌شده و فازهای همگن در $CuIn_xM_{1-x}(S,Se)_{2\rightarrow}$(M=Fe,Co,Zn,Ni,Ge,Sn,B, Al) از طریق فرآیندهای استراتژی برای غلبه بر کمیابی و بالا بودن هزینه ایندیوم و گالیوم است [۳]. ترکیب سه‌تایی $CuInS_2$ به‌عنوان یک ترکیب محلول جامد با شکاف انرژی مناسب برای جذب نور خورشید مناسب بوده که با استفاده از آلاییده کردن، شکاف انرژی موردنیاز تنظیم می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی خواص ساختاری، ریزساختاری و نوری این ترکیب سه‌تایی و ترکیب‌های آلیاژی مربوط به آن است. پیچیدگی‌های اصلی برای رسیدن به اهداف ذکرشده شامل تشکیل ساختار سه‌تایی محلول جامد مورد نظر با توجه به تشکیل حداقل مقدار سولفید مس، تنظیم شکاف انرژی باستفاده از عنصر کبالت به‌جای ایندیوم که موجب به وجود آمدن تغییر در مقدار شکاف انرژی هست. انجام فرآیند جانشینی عنصر موردنظر به‌جای ایندیوم در طی فرآیند سنتز شیمیایی وعدم جدایش فازی آن، به دست آوردن ذرات در اندازه نانومتری برای کاربرد لایه‌های نازک، مکانیسم سنتز شیمیایی نانوذرات و پارامترهای سنتز، ازجمله پیچیدگی‌های این تحقیق است [۴، ۵]. در سال‌های اخیر سنتز شیمیایی متعددی مانند سل ژل، همرسوبی تزریق داغ، میکرو موج، هیدروترمال سولوترمال، روش تک مرحله ترمولیز مورداستفاده قرار گرفته شده است [۶]. هیدروترمال را می‌توان به صورت واکنشی شیمیایی همگن یا غیرهمگن در حضور حلال آبی یا غیرآبی در دمایی بالاتر از دمای اتاق و در فشار بزرگ‌تر از یک اتمسفر تعریف کرد. روش‌های شیمیایی سولوترمال یا هیدروترمال با آتوکلاو، با محیط‌های نسبتاً پایدار، برای به دست آوردن ترکیب‌های کالکوژنه مناسب هستند. شاخص‌های ترمودینامیکی از جمله دما، فشار و زمان. دما و فشار عموماً موجب بهبود حلالیت می‌شوند و افزایش آن‌ها امکان افزایش یافتن غلظت پیش ماده در حلال را فراهم می‌آورد که در فرآیند رشد نانوبلورها مؤثر است [۷، ۸، ۹]. نوآوری مقاله، استفاده از روش

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

هیدروترمال بر پایه حلال آبی برای سنتز نـانوذرات CIS در زمان و دمای بهینه و دوپ کردن کبالت به جای ایندیوم بـا همین روش است. در روش هـای پیـشین، سـنتز ایـن نـانو ذرات به همراه افزودنی، با این روش (هیدروترمال) صـورت نگرفته است [۱۰, ۱۱, ۱۲, ۱۴]. در این پـژوهش اثـر مـدت زمان فرایند هیدروترمال و مقادیر۱۰و۲۰ درصد مولی کبالت بر سنتز نانوذرات CIS با استفاده از روش هیدروترمال مـورد بررسی قرارگرفته است.

۲- فعالیت‌های تجربی

مواد اولیه با ترازویی با دقت چهار رقم اعشار توزین و به‌صورت جداگانه در سه عدد بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری با ۲۰ میلـی‌لیتـر آب دیونیزه حل شد و به مدت زمان معین روی همزن مغناطیـسی قرار داده شد. در ابتدا ۱ mmol از کلریـد مـس تـک‌ظرفیتـی (CuCl) معادل با ۰/۱۷۰۴۸ g، ۱ mmol کلرید ایندیوم ($InCl_3$) معادل بـا ۰/۲۹۴ g، ۲ mmol تیـواوره معـادل بـا ۰/۱۵۲۲ g، توزین و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵°C در سه بشر جداگانه با آب مخلوط شدند. سپس ظرف حاوی مس با ظـرف حـاوی ایـنـدیوم ترکیـب شـده و بـه مـدت ۳۰ دقیقـه روی همـزن مغناطیسی قرار داده شد و سپس ظرف حاوی تیواوره به‌صورت قطره‌ای به این ترکیب اضافه شده و به مـدت ۹۰ دقیقـه روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سـپس محلـول را در محفظـه آتوکلاو ریخته و به روش هیدروترمال در دمـای ۱۸۰ درجـه‌ی سـانتی‌گـراد و در زمـان‌هـای ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ ساعت سنتز شد، مشاهده شد محصولِ بعد از هیدروترمال یک سوسپانسیون سیاه رنگ است که سه بار توسط اتانول خالص و سه بار توسط آب مقطر شسته شد تا میزان PH به محـدوده‌ی خنثی نزدیک شد، در مرحله بعد ذرات جدا شده در آون به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه خشک شد و درنهایت یک پـودرِ سیاه رنگ به دست آمد.

۳- مشخصه یابی

به‌منظور بررسی فازهای اصلی و فازهای جانبی ایجاد شـده در طی سنتز و همچنین خواص ساختاری نمونه‌های سنتز شده از آنالیز پراش پرتـوایکس (XRD) سـاخت شـرکت Dron-8 بـا لامپ آند مس با طول‌موج ۱/۵۴۰۶ Å و انـدازه گـام ۰/۰۲ در θ۲ در محدوده °۹۰ – °۲۰ استفاده شد. همچنین بـرای انـدازه بلورک‌ها از رابطه شرر استفاده شد که بـه‌صـورت زیـر تعریـف می‌شود:

$$S = \frac{K\lambda}{B \cos\theta}$$

که در این رابطـه S انـدازه بلـورک، λ طـول‌مـوج پرتـوایکس تابیده‌شده، K فاکتور شکل هست که معمولاً عددی نزدیک به یک به جای آن گذاشته می‌شود، θ زاویه براگ مربوط به پیک ناشـی از پـراش و B عـرض پیـک در نـصف شـدت بیـشینه (برحـسب رادیـان) اسـت. مطالعـات ریزسـاختاری و بررسـی مورفولوژی ذرات سنتز شـده نیـز بـا اسـتفاده از میکروسـکوپ الکترون روبشی گسیل میدان ساخت شرکت Tescan و مـدل MiraII انجام شد.

خواص نوری نـانو ذرات سـنتز شـده بـا اسـتفاده از دسـتگاه از دستگاه SHIMADZO-UV-2550 ساخت کشور ژاپن انجام شد. برای تعیین میزان شـکاف انـرژی از آزمـون انـدازه‌گیـری (طیف بازتاب نفوذی) میزان بازتاب پخشی (DRS) بهره گرفته شد. برای رسیدن به مقدار انرژی نـوار ممنوعـه از ایـن داده‌هـا روش‌های متعـددی وجـود دارد کـه تئـوری کولبکـا- مانـک

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

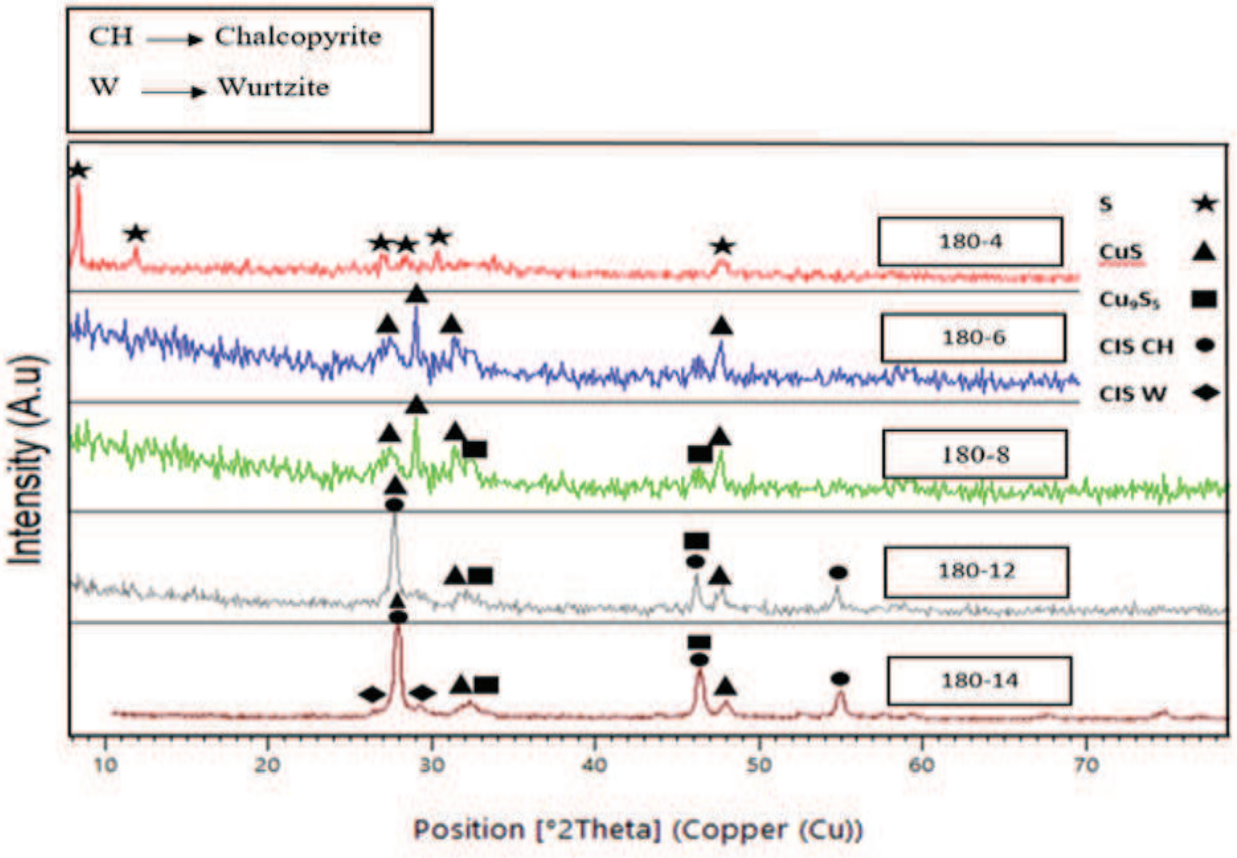
ساده‌ترین و نسبتاً دقیق‌ترین آن‌هاست. طبق این تئوری رابطه‌ای به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۱۳]:

$$\alpha h\vartheta = A(h\vartheta - E_g)^2$$

۴- نتایج و بحث

آنالیز پراش پرتوایکس نمونه‌های سنتز شده در مدت‌زمان‌های ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۴ساعت ، با روش هیدروترمال، در شکل (۱) نشان داده‌شده است. نتایج XRD نمونه‌های ۱۶و ۱۸و۲۰ ساعت در شکل (۲) آورده شده است. بعد از تشکیل فاز کالکوپیریت و ورتزیت CIS در مدت زمان ۱۴ ساعت، با توجه به الگوی پراش اشعه ایکس در شکل(۲) و با افزایش زمان سنتز تا مدت ۲۰ساعت، میزان فازهای ناخالصی کوولیت و دیگنیت کاهش پیدا کرد. با استفاده از رابطه شرر متوسط اندازه بلورک‌های نانوذرات CIS محاسبه شدند.

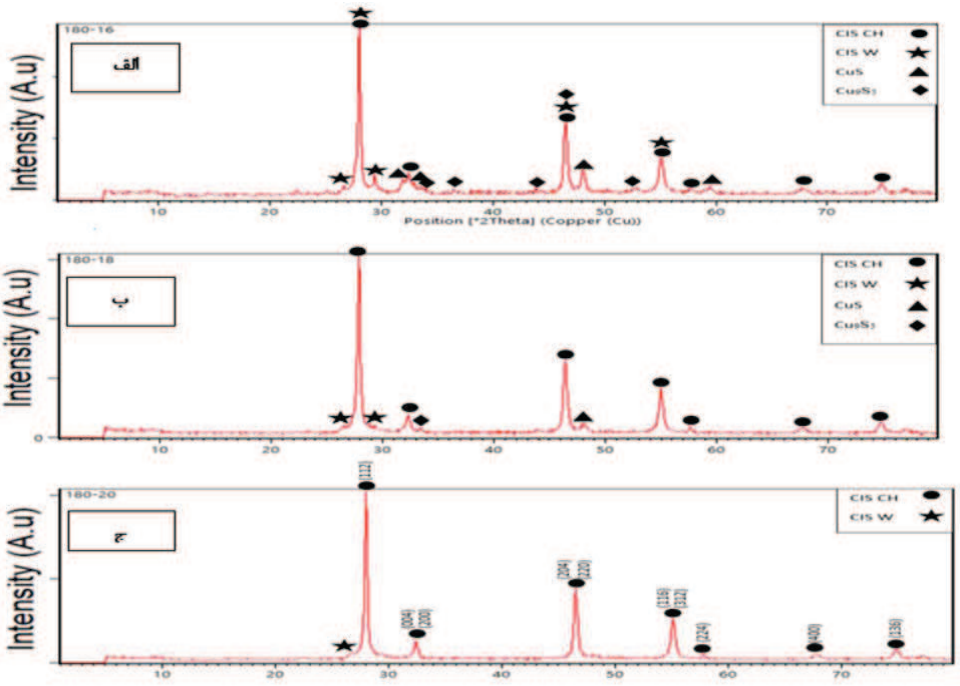
متوسط اندازه بلورک‌ها برای نمونه‌های سنتز شده در زمان‌های ۱۶، ۱۸ و ۲۰ به ترتیب۲۶ nm، ۲۹ و۳۲ هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان سنتز، متوسط اندازه بلورک‌ها تقریباً افزایش یافته است .آنالیز پراش پرتوایکس نمونه‌های سنتز شده با روش هیدروترمال، با ترکیب مقادیر مختلف افزودنی کبالت، در شکل (۳) نشان داده‌شده است.



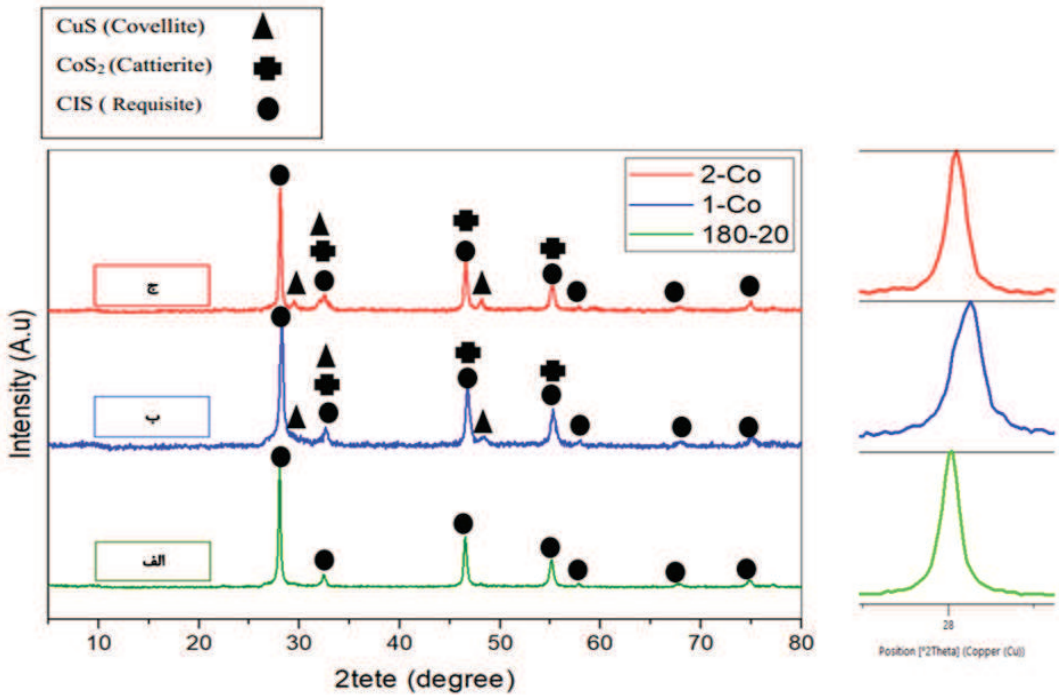
شکل ۱- الگوی پراش پرتوایکس نمونه‌های سنتز شده در زمانهای (۴،۶، ۸، ۱۲، ۱۴ ساعت) هیدروترمال.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]



شکل ۲- الگوی پراش پرتوایکس نمونه‌های سنتز شده به روش هیدروترمال در زمانهای الف)۱۶ساعت ب)۱۸ساعت ج)۲۰ساعت.

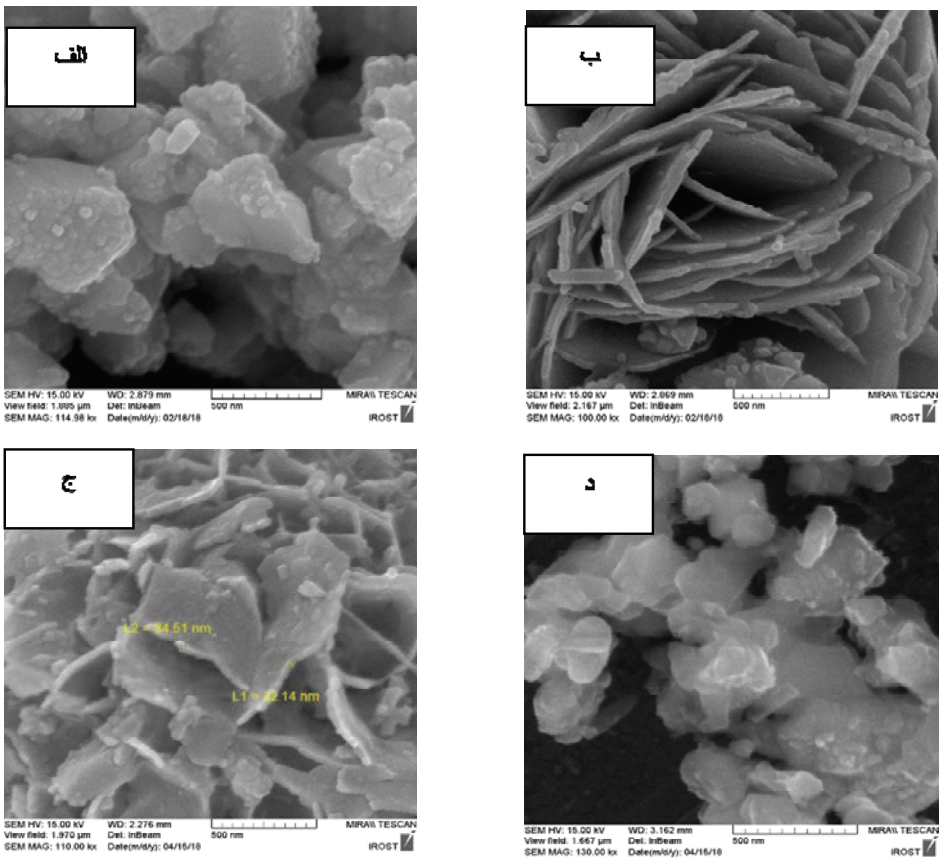


شکل ۳- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های سنتز شده $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ الف) x =۰ ب) x=۰/۱ ج) x=۰/۲

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

با توجه به مقدار جابه‌جایی پیک‌ها و شعاع اتم میزبان یعنی ایندیوم (۷۶ pm) و کوچک‌تر بودن شعاع اتم میهمان یعنی کبالت (۷۲ pm) و پهن‌شدگی پیک‌ها که ناشی از کاهش اندازه ذرات و ایجاد تنش فشاری در ساختار میزبان است ،می‌توان گفت احتمالاً کبالت برای نمونه Co-۱ در ساختار میزبان قرارگرفته و جانشین مقداری از ایندیوم شده است با توجه به الگوی پراش اشعه ایکس، احتمالاً با افزایش مقدار افزودنی، ترکیب مورد نظر ($CuIn_{1-x}Co_xS_2$) از حالت محلول جامد خارج‌شده و باعث افزایش ناخالصی (کاتییریت و کوولیت) در سیستم شده است. در شکل (۴) تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدان نانوذرات سنتز شده در مدت‌زمان فرآیند هیدروترمال ۱۸و ۲۰ ساعت و همین‌طور برای نمونه‌های $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ با مقادیر (X=۰/۱ و X=۰/۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات سنتز شده برای نمونه‌های ۱۸ به صورت چندوجهی‌های نامنظم و برای نمونه ۲۰ ساعت به صورت پولکی شکل و با ابعاد نانو در یک جهت هستند.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدان نانوذرات CIS سنتز شده به روش هیدروترمال الف) مدت‌زمان ۱۸ساعت ب) مدت‌زمان ۲۰ساعت ج) سنتز $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ با مقادیر X=۰/۱ و مدت‌زمان ۲۰ ساعت د) سنتز $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ با مقادیر X=۰/۲ و مدت‌زمان ۲۰ ساعت

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

تصاویر FE-SEM به دست آمده از نمونه (Co-1) سنتز شده در مدت‌زمان ۲۰ ساعت، نشان می‌دهند ذرات به‌صورت صفحه‌ای شکل با قطری در محدوده‌ی nm 50-30و طول چند میکرون مشاهده می‌شوند. ذرات صفحه‌ای شکل، تشکیل تجمع‌هایی گل مانند داده‌اند. البته با مشاهده تصاویر این ذرات برای نمونه (Co-1) در مقایسه با نمونه (۱۸۰-۲۰) نشان می‌دهند که این ذرات حالت صفحه‌ای و پولکی شکل به‌صورت خردشده هستند، که این حالت برای نمونه بدون افزودنی وجود نداشت.

تصاویر FE-SEM به دست آمده در شکل (۴) از نمونه (Co-2) سنتز شده در مدت زمان ۲۰ ساعت، نشان می‌دهند ذرات از حالت صفحه‌ای و پولکی شکل خارج شده‌اند و به حالت کلوخه‌ای شده شدید و با اشکال نامنظم قابل مشاهده هستند.

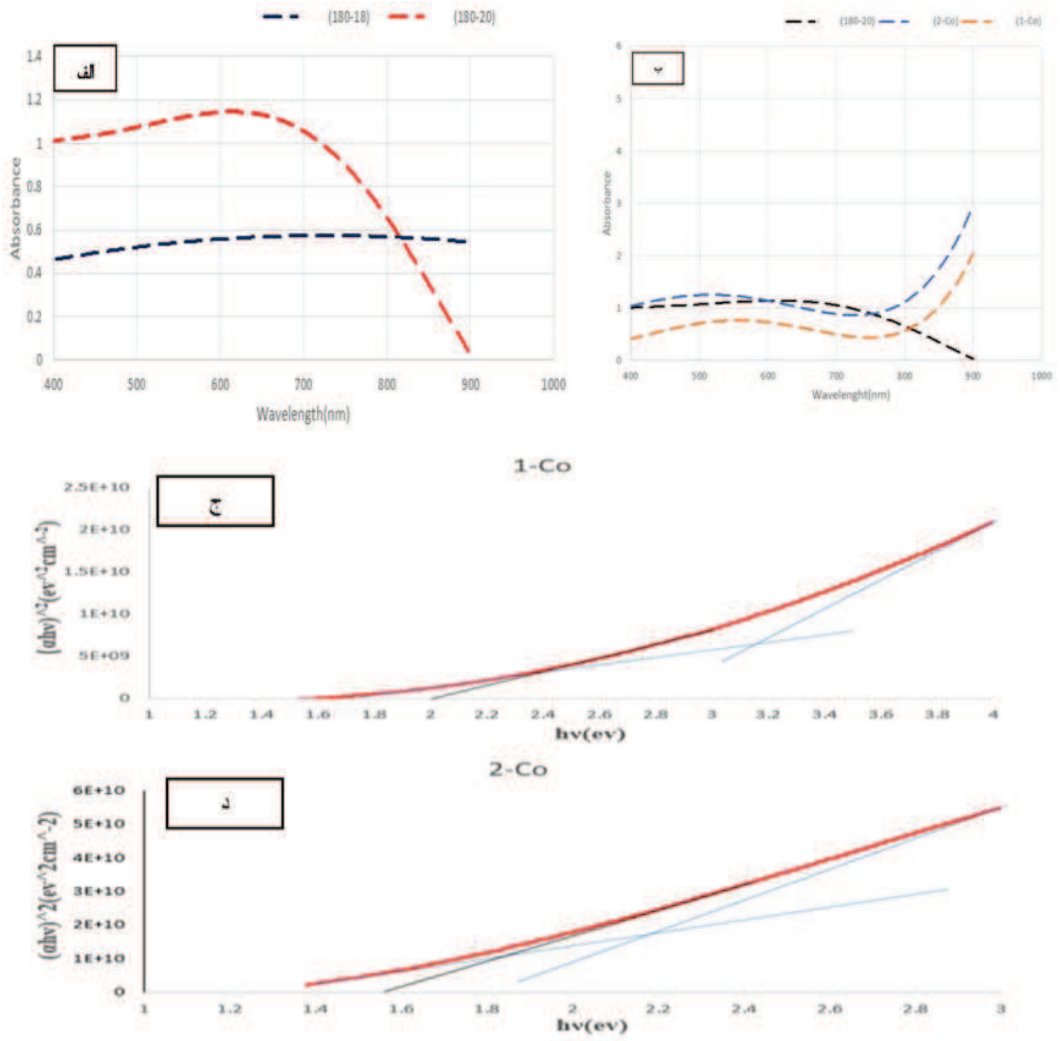
با توجه به این موضوع که مورفولوژی سطح در حال رشد خشن است، منجر به افزایش زبری سطح ذرات و درنتیجه کاهش پراکندگی نور و افزایش جذب خواهد شد. علت تشکیل این ساختار گل- شکل را می‌توان در درجه اول به تمایل رشد صفحه‌ای ذرات CIS با ساختار کالکوپریت و در درجه دوم به ماهیت جوانه‌زنی و رشد ذرات در روش هیدروترمال مربوط دانست. تشکیل ذرات با مورفلوژی گل- شکل به این علت است که در زمان‌های اولیه هیدروترمال ذرات ریز CIS در مقیاس وسیعی تشکیل می‌شوند. این ذرات به علت قطبی بودن حلال (آب) و باردار بودن ذاتی تمایل شدیدی به آگلومره شدن و کاهش انرژی سطحی خود دارند و با گذر زمان سایز این ذرات افزایش می‌یابد. سپس ذرات میکرونی با سطح زبر و زمخت پدید می‌آید. با گذر زمان زبری سطح این ذرات افزایش یافته و تعدادی گلبرگ توسعه نیافته پدیدار می‌شود. با توجه به این که تشکیل این مرفلوژی به دو عامل غلظت و سرعت آزاد سازی یون S^{2-} وابسته است، دوپ کبالت، پیوندهای گوگرد را در ترکیب تیواوره را تضعیف کرده و موجب رهایی سریع‌تر گوگرد در محلول در حین فرآیند هیدروترمال شده است. به همین دلیل تشکیل ذرات با مورفلوژی گل- شکل تسریع شده و در مدت زمان کمتری نسبت به نمونه‌های بدون افزودنی (۲۰ ساعت) تشکیل شده است. عیوب تشکیل‌شده در شبکه در اثر جانشینی کبالت به‌جای ایندیوم باعث ایجاد نیروی الکترواستاتیک شده و ذرات از طرف همان صفحاتی که شامل عیوب هستند به یکدیگر نزدیک شده و درنهایت برای رسیدن به انرژی سطحی پایین‌تر به یکدیگر متصل می‌شوند [۱۵].

طیف جذب این نانو ذرات نزدیک مادون قرمز گزارش‌شده است و طول‌موج تهییج حوالی ۳۵۰ نانومتر است [۱۴]. در شکل ۵ خواص نوری نانوذرات سنتز شده برای نمونه‌های بدون افزودنی و حاوی افزودنی کبالت، آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند هیدروترمال از ۱۸ به ۲۰ ساعت ، مقدار جذب در محدوده مرئی افزایش یافته است و احتمالاً دلیل این امر به حداقل رسیدن فازهای جانبی است. ، با افزایش مقدار افزودنی کبالت برای نمونه (Co-۱) میزان جذب در محدوده‌ی مرئی کاهش یافته است و مقدار آن حدودا ٪ ۴-۵ است که البته این مقدار حدوداً نصف مقدار جذب نمونه خالص است و محدود لبه جذب برای دو نمونه در حوالی nm ۹۰۰ است. در مقایسه نمونه ی خالص و نمونه ی حاوی ۰/۱ کبالت،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

نمونه ی خالص برای کاربرد در سلول های خورشیدی، مناسب تر است. اما در مقایسه نمونه خالص و نمونه ۰/۱ کبالت با نمونه ۰/۲ کبالت، نمونه ی حاوی ۰/۲ کبالت دارای خواص نوری بهتر برای کاربرد در سلول‌های خورشیدی است. با توجه به این موضوع که مورفولوژی سطح در حال رشد خشن است، منجر به افزایش زبری سطح ذرات و در نتیجه کاهش پراکندگی نور و افزایش جذب خواهد شد، که این موضوع در نمودار جذب نمونه حاوی ۰/۲کبالت هم مشاهده می شود.



شکل ۵- الف) مقایسه میزان جذب دو نمونه سنتز شده به مدت ۱۸ و ۲۰ ساعت ب) طیف جذب نمونه‌های سنتز شده $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ ۰/۱= x و ۰/۲= x و مقایسه سه نمونه ۲۰ - ۱۸۰و Co - ۱ و Co - ۱ ج و د) شکاف انرژی نمونه‌های سنتز شده $CuIn_{1-x}Co_xS_2$ الف) ۰/۱= x ب) ۰/۲= x

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

جدول ۱- اطلاعات ثابت شبکه و شکاف انرژی در دمای اتاق برای نمونه‌های با افزودنی کبالت

کد نمونه	a=b(Å)	(c)Å	E_g (eV)
۱۸۰-۲۰	۵/۵۲	۱۱/۱۱	۱/۵۴
۱-Co	۵/۴۸	۱۰/۸۴	۱/۹۲
۲-Co	۵/۵۰	۱۰/۹۱	۱/۵۶

۵- نتیجه‌گیری

نمونه سنتز شده با استفاده از روش هیدروترمال توسط کلرید مس، کلرید ایندیوم و تیواوره با ترکیب آب دیونیزه در دمای ۱۸۰℃ و به مدت ۲۰ ساعت، سبب تشکیل ساختار تک فاز CIS، با حداقل فازهای جانبی و اندازه بلورک ۳۲ nm شد که لبه جذب آن حوالی ۹۰۰ nm و طول‌موج انرژی جذب آن ۶۷۰ nm و در محدوده‌ی مرئی است. افزایش زمان سنتز (۴- ۲۰ ساعت) باعث تقویت فاز کالکوپیریت در مقایسه با فاز شبه پایدار ورتزیت میشود. با افزایش کبالت، طول‌موج انرژی جذب برای نمونه ی ۱۰٪ افزودنی (۱-Co) در محدوده‌ی ۶۵۰-۶۰۰ nm، مشاهده شد که نسبت به نمونه خالص (۱۸۰-۲۰) به سمت طول‌موج‌های کمتر انتقال یافته است و میزان شکاف انرژی افزایش یافت و به مقدار ۱/۹۲ eV رسید با افزایش کبالت، کاهش شکاف انرژی از ۱/۹۲ eVبه ۱/۵۶ مشاهده شد که این کاهش شکاف انرژی میتواند مربوط به ایجاد ترازهای فرعی در نزدیکی لبه ی جذب باشد. نمونه‌ی ۲۰٪ افزودنی (۲-Co) دارای خواص نوری بهتر برای کاربرد در سلول‌های خورشیدی است. با توجه به این موضوع که مورفولوژی سطح در حال رشد خشن است، منجر به افزایش زبری سطح ذرات و در نتیجه کاهش پراکندگی نور و افزایش جذب خواهد شد، که این موضوع در نمودار جذب نمونه‌ی ۲۰٪ افزودنی (۲-Co) هم مشاهده می شود.

مراجع

[1] Luque, A. and Hegedus, S. eds., 2011. Handbook of photovoltaic science and engineering. John Wiley & Sons.

[2] Robbins, M., Phillips, J.C. and Lambrecht Jr, V.G., 1973. Solid solution formation in systems CuMIIIX2-AgMIIIX2 where MIII=Al, Ga, In and X2=S, Se. Journal of Physics.

[3] Cui, Y., Zhang, Z., Du, X., Liu, W., Deng, Y., Liu, S. and Wang, G., 2016. Solution process for fabricating CuIn 0.9 R 0.1 (S,Se)2 (R= Al, Ni, Co)/CdS p–n junctions and their applications in solar cells. New Journal of Chemistry, 40(2), pp.1878-1881.

[4] Aldakov, D., Lefrançois, A. and Reiss, P., 2013. Ternary and quaternary metal chalcogenide nanocrystals: synthesis, properties and applications. Journal of Materials Chemistry C, 1(24), pp.3756-3776 .

[5] Kolny-Olesiak, J. and Weller, H., 2013. Synthesis and application of colloidal $CuInS_2$ semiconductor nanocrystals. ACS applied materials & interfaces, 5(23), pp.12221-12237.

[6] Chang, R.P. and Perng, D.C., 2013. Nano-structured Cu (In,Al) Se_2 near-infrared photodetectors. Thin Solid Films, 529, pp.238-241.

[7] Silvester, E.J., Healy, T.W., Grieser, F. and Sexton, B.A., 1991. Hydrothermal

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]

preparation and characterization of optically transparent colloidal chalcopyrite ($CuFeS_2$). Langmuir, 7(1), pp.19-22.

[8] Yoshimura, M. and Byrappa, K., 2008. Hydrothermal processing of materials: past, present and future. Journal of Materials Science, 43(7), pp.2085-2103.

[9] Wang, Q., Pan, D., Jiang, S., Ji, X., An, L. and Jiang, B., 2006. A solvothermal route to size-and shape-controlled CdSe and CdTe nanocrystals. Journal of Crystal Growth, 286(1), pp.83-90.

[10] Nyari, T., Barvinschi, P., Baˇieş, R., Vlaˇzan, P., Barvinschi, F. and Dékány, I., 2005 Experimental and numerical results in hydrothermal synthesis of $CuInS_2$ compound semiconductor nanocrystals. Journal of Crystal Growth, 275(1-2), pp.e2383-e2387 .

[11] Guo, J., Chang, G., Zhang, W., Liu, X. and He, Y., 2016. Facile synthesis of $CuInS_2$ nanoparticles using different alcohol amines as solvent. Chemical Physics Letters, 647, pp.51-54.

[12] Suchanek, W.L., Lencka, M.M. and Riman, R.E., 2004. Hydrothermal synthesis of ceramic materials. In Aqueous Systems at Elevated Temperatures and Pressures (pp. 717-744).

[13] Khanaki, A., Abdizadeh, H. and Golobostanfard, M.R., 2013. Effects of process parameters on the synthesis and characterization of $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ nanopowders produced by new modified solvothermal method. Materials Science in Semiconductor Processing, 16(6), pp.1397-1404.

[14] Shen, J., Wang, C., Xu, S. and Cui, Y., 2016. Synthesis of nontoxic Co: CuInS 2@ ZnS nanocrystals with both fluorescence and room temperature ferromagnetism. RSC Advances, 6(23), pp.19430-19436.

[15] Cushing, B.L., Kolesnichenko, V.L. and O'Connor, C.J., 2004. Recent advances in the liquid-phase syntheses of inorganic nanoparticles. Chemical reviews, 104(9), pp.3893-3946.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.1.1.6]