

ساخت نانوگل‌های Cu_2S و بررسی ویژگی نوری و نور گرمایی آن در دو ناحیه مرئی و فروسرخ

منصور فربد*، علیرضا مبارک مآب، لیلا شریف و فاطمه مطرودی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده: در این کار، نانوگل‌های Cu_2S که یک نیم‌رسانای نوع p و غیرسمی است و دارای گاف نواری غیرمستقیم است، به روش حلالی-حرارتی سنتز و از طریق آنالیزهای XRD و FESEM شناسایی شدند. سپس، خواص نوری آنها از طریق آنالیز UV-Vis اندازه‌گیری و برای بررسی پیوندهای ارتعاشی و شناسایی و مشخص کردن گروه‌های عاملی از آنالیز FT-IR استفاده شد. همچنین، خواص نور گرمایی این نانوگل‌ها در محدوده نور مرئی و فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد این نانوگل‌ها در هر دو محدوده نور مرئی و فروسرخ خواص نور گرمایی خوبی از خود نشان می‌دهد. در ناحیه مرئی، با تابش نور مرئی تابیده شده از لامپ مثال هالید با توان ۴۰۰ وات با شدت 1000 W/m^2 به مدت ۶۰ دقیقه به محلول آب حاوی 30 g/l Cu_2S ، 23°C افزایش دما و در ناحیه مادون قرمز با تابش لیزر ۸۰۸ نانومتر یک افزایش 44°C در مدت زمان ۱۵ دقیقه برای غلظت 10 g/l از Cu_2S مشاهده شد. همچنین، تبخیر سطحی آب، در حضور این نانوگل‌ها با تابش نور مرئی بررسی شد و نشان داد که با افزایش غلظت این نانوگل‌ها تا 30 g/L ، تبخیر سطحی تا ۴ برابر نسبت به آب خالص افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: Cu_2S ، نانوگل، نور گرمایی، تبخیر سطحی

*farbod_m@scu.ac.ir

مورد توجه قرار گرفته است [۶، ۷]. از بزرگترین معضلات دنیای امروز، کمبود آب شیرین است که در اکثر کشورهای جهان، به دلیل روند رو به رشد جمعیت و هزینه‌های هنگفت تصفیه آب، نگرانی‌ها را برای شروع قحطی و جنگ بر سر منابع آب شیرین افزایش داده است. یکی از راه‌های ساده و کاربردی در تصفیه آب، تبخیر و سپس، استفاده از بخار آب برای تولید آب شیرین است؛ اما با توجه به هزینه بالای استفاده از انرژی برای تبخیر آب و همچنین استفاده بی‌رویه از منابع انرژی تجدیدناپذیر، به کارگیری روش‌هایی مقرون به صرفه که در کنار افزایش سرعت تبخیر آب از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی بهره‌بردار، می‌تواند راه‌کاری برای کاهش هزینه و صرفه‌جویی در مصرف

۱- مقدمه

اثر نور گرمایی یا فوتوترمال، نوع خاصی از فعال‌سازی نوری مبتنی بر تبدیل غیر تابشی انرژی الکترومغناطیسی جذب شده است که منجر به افزایش دمای جسم می‌شود [۱]. مواد متفاوتی وجود دارند که علاوه بر جذب ذخیره انرژی گرمایی به صورت ارتعاشات شبکه، به دلیل داشتن سازوکارهای ویژه، طول موج‌های خاصی از نور را جذب و به گرما تبدیل می‌کنند، مانند نانو ساختارهای فلزی [۲] نیم‌رساناها [۳] مواد پلیمری [۴] و نانو ساختارهای کربنی [۵]. بسته به نوع ماده و طول موج‌های مختلف نور تابشی، اثر نور گرمایی در زمینه‌های مختلفی از جمله پزشکی و تصفیه آب

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

برای تهیه سولفید مس از $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ با درصد خلوص ۹۹/۸٪، ساخت شرکت Q-lab ایران و تیوره با درصد خلوص ۱۰۰٪، ساخت شرکت مرک آلمان، اتانول ۹۹/۷٪، ساخت شرکت جهان الکل ایران و آب یون‌زدایی شده استفاده شد.

۲-۲- تهیه Cu_2S

نانوگل‌های Cu_2S در یک فرایند حلالی-گرمایی تولید می‌شوند. برای این کار، ۱/۵ گرم $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و ۱/۲ گرم تیوره، توزین و به دو ظرف مجزا منتقل و ۱۲۰ میلی‌لیتر اتانول خالص به هر یک از آنها افزوده می‌شود و به مدت یک ساعت روی استیرر قرار می‌گیرند. سپس، محلول حاوی $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ را به آرامی به محلول تیوره افزوده تا یک رسوب سبز و زرد بدست آید و به مدت نیم ساعت دیگر روی همزن، هم‌زده می‌شوند تا محلول، سفید رنگ و همگن شود. محلول را به اتوکلاو ۱۵۰ میلی‌لیتر منتقل کرده و تحت دمای 180°C به مدت ۶ ساعت حرارت می‌دهیم. پس از سرد شدن و رسیدن به دمای اتاق شاهد یک رسوب تیره خواهیم بود. رسوب را به وسیله آب یون‌زدایی شده و اتانول چندین بار شست‌وشو داده و با استفاده از گریزانه با دور ۴۰۰۰ rpm جداسازی و تحت خلأ و دمای 50°C خشک شد.

۲-۳- مشخصه‌یابی نمونه‌ها

برای بررسی ویژگی ساختاری نمونه‌ها از دستگاه پراش پرتو ایکس فیلیپس (AW-XDM300) با آند مسی ($\lambda_{\text{Cu}} = 1.5418 \text{ \AA}$) استفاده شد. طیف جذب UV-Visible نمونه‌های Cu_2S با طیف‌سنجی UV-Vis (Photonix Ar (P.P CO.Ltd)) گرفته شد. همچنین از میکروسکوپ الکترونی روبشی Leo 1455 VP (SEM) برای شناسایی ریخت‌شناسی و ریزساختار نمونه‌ها استفاده شد. با استفاده از یک تحلیلگر تصویر SEM به نام Digimizer اندازه ۵۰ نانوذره اندازه‌گیری و اندازه متوسط ذرات گزارش شد. خطا در اندازه‌گیری اندازه ذرات حدود ± 3 نانومتر بود.

انرژی باشد. یکی از این روش‌ها استفاده از فرآیند نورگرمایی برای بهبود سرعت تبخیر آب است [۸]. مواد مختلفی دارای خاصیت تبدیل نور به گرما هستند. یکی از این مواد، نیم‌رساناها هستند. در این پژوهش، برای بهره‌مندی از این مواد در تصفیه آب و تولید بخار خورشیدی از نانوگل‌های Cu_2S استفاده شده است. برای این منظور، به آب حاوی نانوماده مورد نظر، نور در محدوده مرئی (شبه ساز نور خورشید) تابیده و باعث بالا رفتن دمای آب و افزایش تبخیر سطحی آن می‌شود. از طرفی، یکی دیگر از کاربردهای مهم نورگرمایی در زمینه پزشکی، از بین بردن سلول‌های سرطانی و باکتری زدایی است، به همین منظور، نانوذره مورد نظر در اطراف تومور یا باکتری تجمع یافته و با تاباندن لیزر در محدوده فروسرخ نزدیک (NIR) باعث افزایش دما و در نتیجه از بین رفتن تومور و باکتری مورد نظر در آن ناحیه از بافت می‌شود [۹، ۱۰]. Cu_2S یک ماده نورگرمایی نیم‌رسانای نوع p با گاف نواری غیرمستقیم 1.21 eV است، که دارای نقص ساختاری است که ممکن است باعث مهاجرت سطحی حامل‌ها شده و یک اثر تشدید پلاسمونی شبیه نانوذرات فلزات نجیب پلاسمونی را ایجاد کند [۱۱]. این ماده با داشتن ویژگی نوری جالب و همچنین، ماهیت غیرسمی باعث استفاده از آن در کاربردهای مختلفی از جمله زیست پزشکی [۱۲]، سلول‌های خورشیدی [۱۳]، فوتوکاتالیستی [۱۴] و حسگرهای زیستی [۱۵] شده است. تاکنون روش‌های زیادی برای ساخت این ماده بکار برده شده و به صورت کنترل شده در ریخت‌های مختلف مانند نانوذرات [۱۶] نانولوله [۱۷] نانودیسک [۱۸] نانوسیم [۱۹] ساخته شده است. از روش‌های ساخت این ماده می‌توان به روش‌های حلالی-گرمایی [۲۰]، آبی-حرارتی [۲۱] و رسوب الکتریکی [۱۳] اشاره کرد. در این پژوهش، نانوگل‌های Cu_2S به روش حلالی-حرارتی سنتز و به وسیله آزمایش‌های XRD و SEM مشخصه‌یابی شدند. سپس، ویژگی نوری آن با استفاده از طیف-سنجی فروسرخ-تبدیل فوریه FT-IR، فوتولومینسانس و UV-Vis اندازه‌گیری و در نهایت، ویژگی نورگرمایی آن با غلظت‌های مختلف در آب در محدوده نور مرئی و فروسرخ نزدیک بررسی و نتایج آن ارائه شده است.

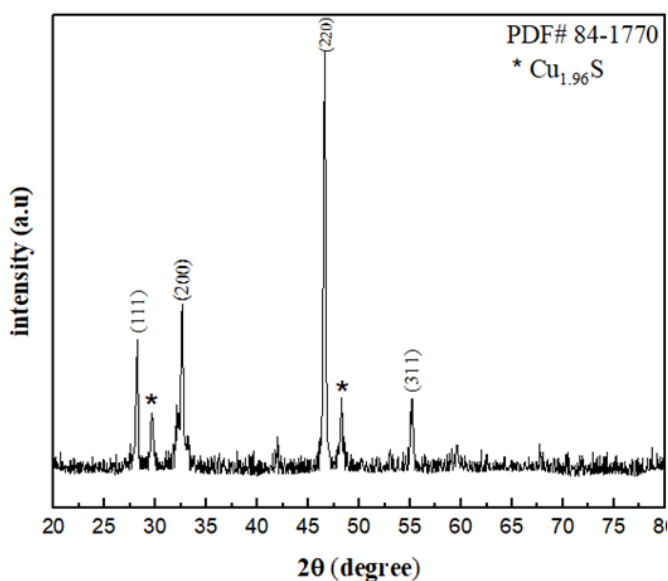
۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصه‌یابی نمونه‌های تهیه شده

شکل ۲، الگوی پراش پرتو X نمونه Cu_2S را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است، چهار قله نمایان شده به پراش از صفحه‌های (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۲۲۲) اختصاص داده می‌شود که مربوط به فاز مکعبی Cu_2S با کارت استاندارد (JCPDS PDF# 84-1770) هستند. همچنین وجود دو قله ستاره‌دار در پراش نمونه، مربوط به فاز $\text{Cu}_{1.96}\text{S}$ با ساختار چهاروجهی است که طبق رابطه (۱) مقدار این فاز ۱۳ درصد محاسبه شد [۲۲] که نشان می‌دهد فاز غالب، فاز مکعبی Cu_2S است. قله‌های نوک تیز و باریک نشان دهنده تبلور بالای نمونه سنتز شده است. در این نمونه، اندازه نانو بلورک‌ها توسط رابطه شرر، ۲۹ نانومتر اندازه‌گیری شد.

$$\text{phase present} = \frac{\sum I(\text{phase})}{A} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، I شدت قله‌های فاز مورد نظر و A شدت کل قله‌ها است.



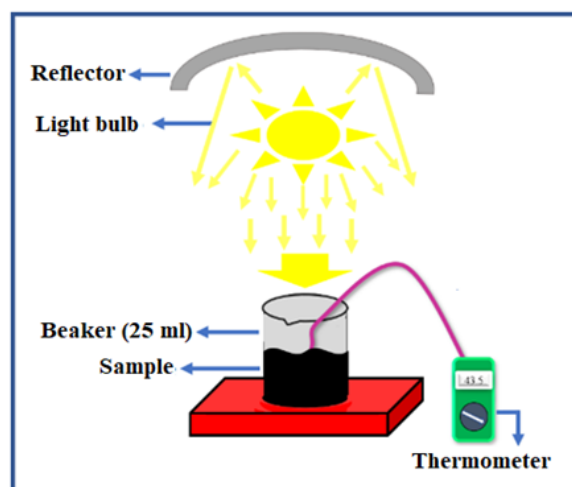
شکل ۲: الگوی پراش پرتو X نمونه‌های Cu_2S .

در شکل ۳، تصاویر FESEM نمونه‌های ساخته شده ارائه شده است. مشاهده می‌شود که ذرات گل ماندی (شکل ۳-الف)

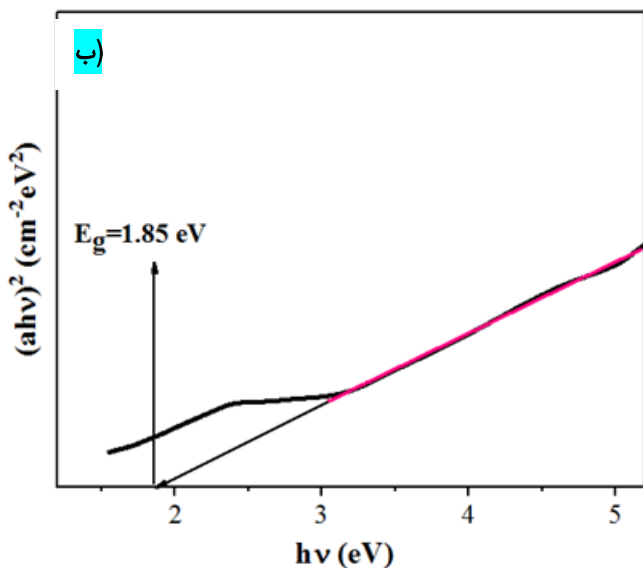
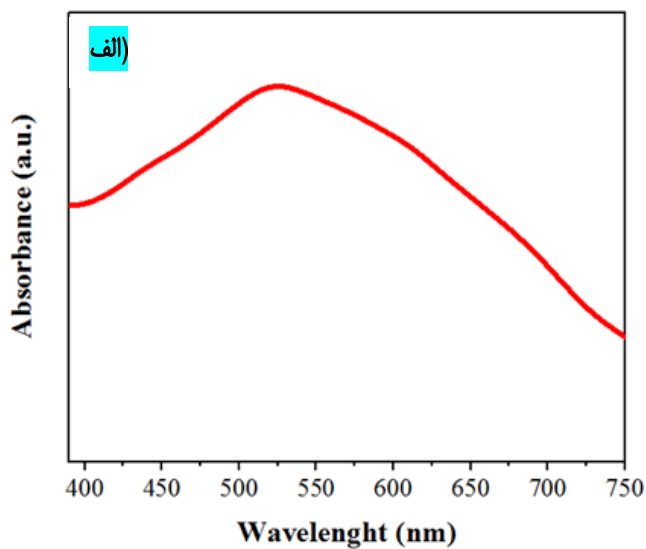
همچنین، برای اندازه‌گیری‌های نورگرمایی در نور مرئی از یک راکتور خانگی با لامپ متال هالید ۴۰۰ وات استفاده شد. موقعیت نمونه آب به نحوی تنظیم می‌شد که توان لامپ در سطح آب 1000 W/m^2 و یا مقدار مورد نظر دیگر بود. برای اندازه‌گیری نورگرمایی در ناحیه فروسرخ نزدیک (NIR)، از لیزر دیودی ۸۰۸ نانومتر استفاده شد.

۴-۲- اندازه‌گیری ویژگی نورگرمایی

ابتدا، مقدار تبخیر ۲۵ میلی لیتر آب یون‌زدایی شده خالص تحت آزمایش قرار می‌گیرد و پس از آن برای مقایسه و تأثیر نانو مواد در بهبود سرعت تبخیر آب، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰ g/l) تهیه شده، ۲۵ میلی لیتر از آن را درون بشر ۲۵ ml ریخته، تحت تابش نور مرئی 1000 W/m^2 به مدت یک ساعت قرار می‌دهیم و هر ۵ دقیقه به وسیله ترموکوپل دمای آن اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری نورگرمایی در محدوده مادون قرمز، نانو ذرات Cu_2S با غلظت‌های مختلف (۱، ۵ و ۱۰ g/l) تهیه شده، یک میلی لیتر از آن را درون سل کوارتز ریخته و در فاصله ۲٫۵ سانتی‌متری، به مدت ۱۵ دقیقه تحت تابش لیزر با طول موج ۸۰۸ نانومتر و توان ۱ وات قرار می‌گیرد و دمای آن هر ۱۵ ثانیه توسط ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۱ نمایی از اندازه‌گیری نورگرمایی در نور مرئی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایی از اندازه‌گیری فوتوترمال در نور مرئی.



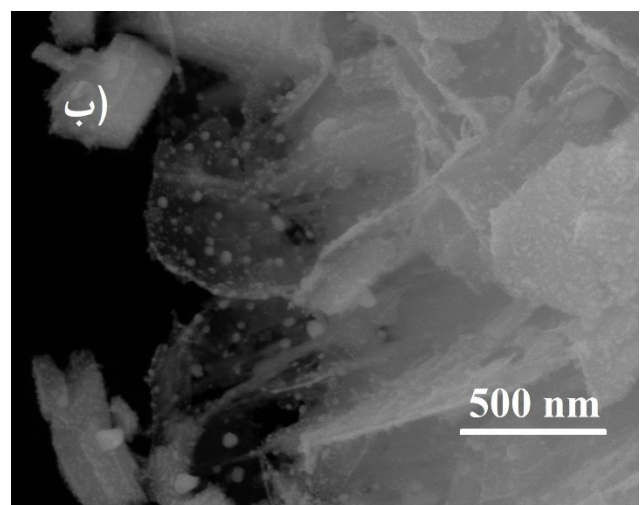
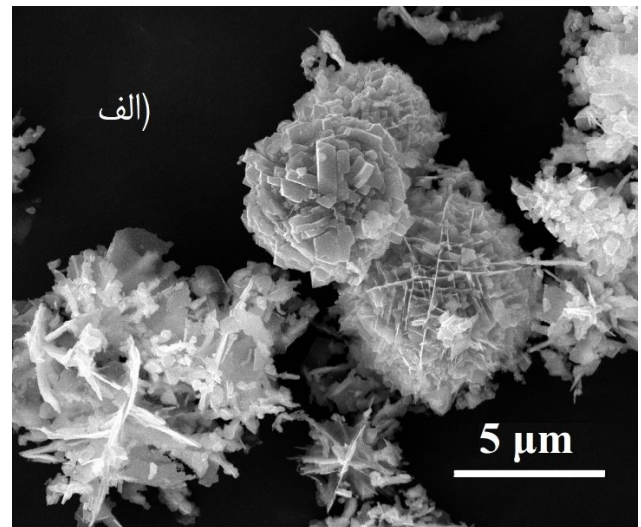
شکل ۴: الف) طیف جذب UV-Vis و ب) نمودار تاک نانوگل‌های Cu_2S .

Cu_2S یک نیمه هادی نوع p است و گاف انرژی جذب را می‌توان با معادله زیر تعیین کرد:

$$\alpha = \frac{\beta(h\nu - E_g)^m}{h\nu} \quad (2)$$

این معادله که به معادله تاک معروف است [۲۴] برای محاسبه گاف نوری Cu_2S استفاده شد. شکل ۴-ب نمودار تاک را نشان می‌دهد. گاف نوری با استفاده از این رابطه و قراردادن توان ۱/۲ به دلیل وجود گاف غیر مستقیم، ۱٫۸۵ eV محاسبه شد که در محدوده جذب نور مرئی قرار دارد. مقدار گاف بیانگر این است که نمونه‌های Cu_2S ویژگی‌های یک ماده نورگرمایی در محدوده نور

به دست آمده که نانوگل نامیده شدند. این نانوگل‌ها از ورقه‌های درهم تنیده‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۳-ب) که با استفاده از نرم‌افزار Digimizer ضخامت ورقه‌های این نانوگل 54 ± 3 نانومتر بدست آمد.

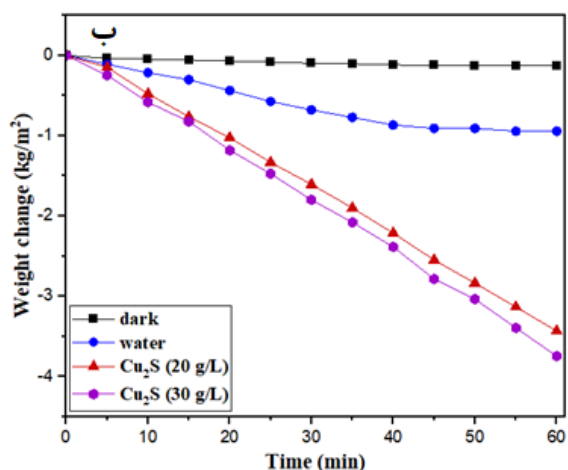
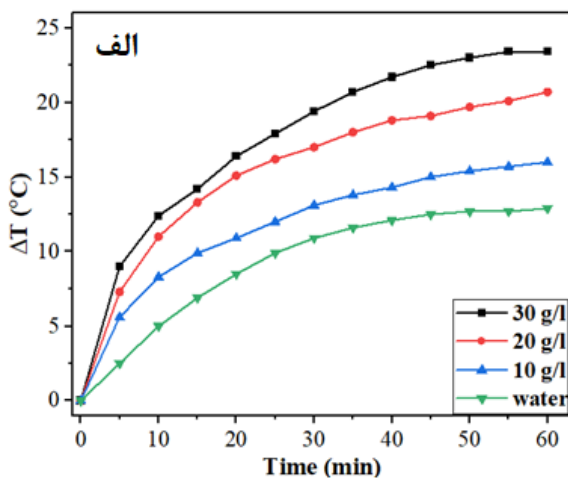


شکل ۳: تصاویر FESEM نانوگل‌های Cu_2S (الف) و ورقه‌های آن (ب).

۳-۲- اندازه‌گیری مشخصات نوری نمونه‌ها

از طیف‌سنجی UV-Vis برای مشخص کردن ویژگی نوری نانوذرات Cu_2S استفاده شده است. شکل ۴-الف) طیف جذب نوری نانوگل‌های Cu_2S را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک طیف سراسری در محدوده مرئی مشاهده می‌شود و دارای قله‌ای در حوالی ۵۲۵ nm است که آن را می‌توان به فرآیند جذب نور به واسطه انتقال بار S^{2-} به Cu^{+1} نسبت داد [۲۳].

مشاهده می‌شود، نور یک بار به مدت یک ساعت به ۲۵ ml آب خالص تابیده شد و نتیجه آن افزایش دمای آب خالص به مقدار 13°C است. سپس نور به مدت یک ساعت به آب حاوی نانوگل‌های Cu_2S با غلظت‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و 30 g/l تابیده شد. مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نانوذرات در آب، شیب افزایش دمای آب بیشتر شده و بیشینه دمای آب نیز افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که در غلظت 30 g/l ، افزایش دمای آب تا 23°C می‌رسد.

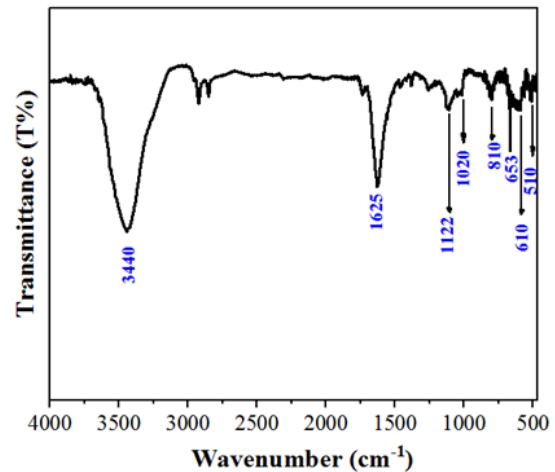


شکل ۶ الف) نمودار نورگرمایی نانوگل‌های Cu_2S با استفاده از نور مرئی (ب) نمودار تغییرات وزن به ازای واحد سطح و در حضور نانو ذرات Cu_2S .

شکل ۶-ب)، نمودار تغییرات وزن بر واحد سطح و در حضور نانو ذرات Cu_2S با غلظت‌های مختلف با تابش نور مرئی به مدت یک ساعت تحت تابش 2000 W/m^2 را نشان می‌دهد. در ابتدا، آزمایش تاریکی انجام شد و نمونه با غلظت 30 g/l بدون حضور

مرئی را دارند و می‌توان از آن برای بالابردن سرعت تبخیر آب استفاده کرد.

طیف فرورسرخ-تبدیل فوریه (FT-IR)، برای شناسایی و مشخص کردن گروه‌های عاملی و پیوند شیمیایی Cu_2S از باز ۵۰۰ تا 4000 cm^{-1} در شکل ۵ نشان داده شده است. قله 510 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند گوگرد با فلز مس (Cu-S) است، قله حوالی 610 cm^{-1} نشان دهنده حالت‌های کششی Cu-S است، قله‌های حوالی 653 ، 810 و 1020 cm^{-1} به ویژگی‌های ریزساختاری نقص‌ها در شبکه Cu_2S نسبت داده می‌شود، قله‌ای که در محدوده 1123 cm^{-1} مشاهده می‌شود نشان دهنده ارتعاشات مولکولی بین گوگرد و اکسیژن (S-O) است و در نهایت، قله جذب در محدوده 1625 cm^{-1} نشان دهنده ارتعاشات خمشی بین اکسیژن و هیدروژن (H-O-H) و طیف 3440 cm^{-1} به ارتعاش کششی پیوند OH به دلیل جذب مولکول‌های آب نسبت داده شده است [۲۵، ۲۶].



شکل ۵: طیف فوتولومینسانس دمای اتاق Cu_2S .

۳-۳-اندازه‌گیری ویژگی نورگرمایی:

۳-۳-۱- نورگرمایی در ناحیه مرئی، تبخیر و شیرین سازی آب

یکی از مؤثرترین کاربردهای نورگرمایی، تولید بخار برای مصارف صنعتی و همچنین، شیرین‌سازی آب است. شکل (۶-الف)، نمودار فوتوترمال نانوگل‌های Cu_2S در آب به‌وسیله تابش نور مرئی با شدت 1000 W/m^2 را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل

۴- نتیجه گیری

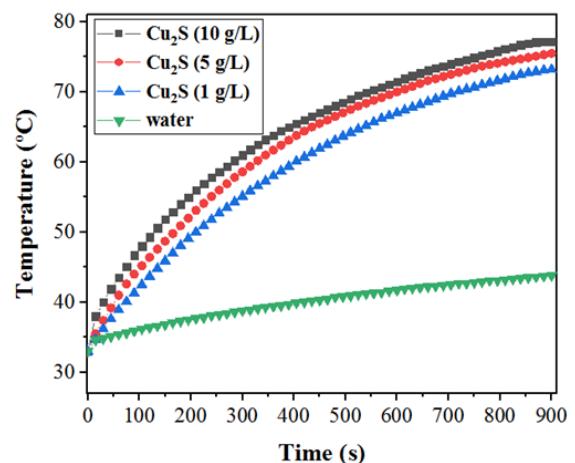
در این پژوهش، نانوگل‌های Cu_2S با ساختار مکعبی به روش حلالی-گرمایی تولید شدند. با استفاده از رابطه شرر اندازه نانو بلورک‌ها ۲۹ nm اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نرم افزار دی جی مایزر اندازه نانو ورقه‌ها 54 ± 3 نانومتر اندازه‌گیری شد. در آزمایش UV-Vis ویژگی نوری نانوگل‌های Cu_2S بررسی و مشاهده شد یک طیف سراسری در محدوده نور مرئی وجود دارد و دارای شدت قله در محدوده ۵۲۵ nm است. با استفاده از معادله تاک، گاف نوری نانوگل‌ها ۱٫۸۵ eV بدست آمد که در محدوده جذب نور مرئی است و نشان می‌دهد از نور مرئی می‌توان برای دستیابی به کاربردهای نورگرمایی استفاده کرد. تغییرات جرم و دمای آب با استفاده از نانو گل‌های Cu_2S با تابش نور مرئی بررسی شد و مشاهده شد که با افزایش غلظت نانو گل‌ها در آب، تبخیر آب با سرعت بالاتری انجام می‌پذیرد که برای تولید بخار و شیرین سازی آب موثر است. همچنین، تبدیل نورگرمایی با تابش لیزر ۸۰۸ nm که برای از بین بردن بافت‌های سرطانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به محلول‌هایی حاوی نانوگل‌های Cu_2S با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ g/l در آب یون‌زدایی شده تایید شد و مشاهده شد افزایش غلظت نانوگل‌ها در آب به طور چشم‌گیری دمای آب را افزایش می‌دهد و برای غلظت ۱۰ g/l نانوگل‌های Cu_2S افزایش دما به 44°C رسید. یکی از محدودیت‌های این پژوهش این بود که آزمایش‌های کاهش جرم و افزایش دما به صورت همزمان انجام نشد که به دلیل محدودیت در سیستم طراحی شده اتفاق افتاد. همچنین، اندازه‌گیری مقدار انرژی تابشی از آب در حال آزمایش امکان‌پذیر نبود. از این نتیجه می‌توان در شیرین‌سازی آب استفاده کرد اما محدودیت دستگاهی امکان جمع‌آوری بخار تولید شده توسط انرژی خورشیدی و اثر نورگرمایی استفاده شده را نداد.

جدول ۱، چند مورد از تغییرات جرم را در مقایسه با نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هماهنگی مناسبی بین آنها مشاهده می‌شود.

نور در دمای اتاق (26°C) مورد آزمایش قرار گرفت و هر ۵ دقیقه جرم آن اندازه‌گیری شد و مشخص شد که مقدار تبخیر آب در اثر گرمای محیط، 0.125 kg/m^2 بوده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، حضور نانو ذرات Cu_2S در آب، باعث افزایش تبخیر سطحی آب می‌شود و همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است تبخیر سطحی آب در حضور نانو گل‌های Cu_2S با غلظت ۳۰ g/l، نزدیک به ۴ برابر افزایش پیدا کرده و به مقدار 3.74 kg/m^2 رسیده است.

۲-۳-۳- نورگرمایی در ناحیه مادون قرمز نزدیک

یکی از کاربردهای مهم نورگرمایی، درمان با نورگرمایی با استفاده از لیزر در پزشکی است. به همین منظور ویژگی نورگرمایی نانوگل‌های Cu_2S با استفاده از لیزر ۳ W با طول موج ۸۰۸ nm و توان 1 W/cm^2 در 900°C ثانیه اندازه‌گیری شد. در این پژوهش محلول‌هایی با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ g/l نانو گل‌های Cu_2S در آب یون‌زدایی شده تهیه شد. شکل ۷، افزایش دما پس از تابش لیزر در طول زمان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای آب بدون حضور نانو گل‌های Cu_2S ، از 33°C به 43°C افزایش یافته است. اما در حضور نانو گل‌های Cu_2S با غلظت ۱ g/l دما به طور چشم‌گیری 39°C درجه افزایش یافته و به 73°C رسیده است. با افزایش غلظت نانوگل‌های Cu_2S مقدار افزایش دما در همان بازه زمانی افزایش یافت. این افزایش برای غلظت ۱۰ g/l به مقدار 44°C اندازه‌گیری شد.



شکل ۷: نمودار فوتوترمال نانوگل‌های Cu_2S در محدوده NIR با استفاده از لیزر.

antibacterial nanocomposite membrane triggered by single NIR light source. *ACS applied materials & interfaces*. 2019;11(30):26581-9.

10. Wang X, Geng Z, Cong H, Shen Y, Yu B. Organic semiconductors for photothermal therapy and photoacoustic imaging. *ChemBioChem*. 2019;20(13):1628-36.

11. Sun Y, Gao J, Liu Y, Kang H, Xie M, Wu F, et al. Copper sulfide-macroporous polyacrylamide hydrogel for solar steam generation. *Chemical Engineering Science*. 2019;207:516-26.

12. Roy P, Srivastava SK. Nanostructured copper sulfides: synthesis, properties and applications. *CrystEngComm*. 2015;17(41):7801-15.

13. Wang J, Rahman MM, Ge C, Lee J-J. Electrodeposition of Cu₂S nanoparticles on fluorine-doped tin oxide for efficient counter electrode of quantum-dot-sensitized solar cells. *Journal of industrial and engineering chemistry*. 2018;62:185-91.

14. Sithole RK, Machogo LF, Moloto MJ, Gqoba SS, Mubiayi KP, Van Wyk J, et al. One-step synthesis of Cu₃N, Cu₂S and Cu₉S₅ and photocatalytic degradation of methyl orange and methylene blue. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2020;397:112577.

15. Fu Y, Jin W. Facile synthesis of core-shell CuS-Cu₂S based nanocomposite for the high-performance glucose detection. *Materials Science and Engineering: C*. 2019;105:110120.

16. Li D, Ma J, Zhou L, Li Y, Zou C. Synthesis and characterization of Cu₂S nanoparticles by diethylenetriamine-assisted hydrothermal method. *Optik*. 2015;126(24):4971-3.

17. Wei Y, He W, Sun P, Yin J, Deng X, Xu X. Synthesis of hollow Cu/Cu₂O/Cu₂S nanotubes for enhanced electrocatalytic hydrogen evolution. *Applied Surface Science*. 2019;476:966-71.

18. Uthirakumar P, Devendiran M, Kim TH, Kalaiarasan S, Lee I-H. Fabrication of flexible sheets of Cu/CuO/Cu₂O heterojunction nanodisks: A dominant performance of multiple photocatalytic sheets under natural sunlight. *Materials Science and Engineering: B*. 2020;260:114652.

19. Chen C-Y, Jiang J-R, Chuang W-S, Liu M-S, Lee S-W. Development of Crystalline Cu₂S Nanowires via a Direct Synthesis Process and Its Potential Applications. *Nanomaterials*. 2020;10(2):399.

جدول ۱- مقایسه مقدار تغییر جرم آب پژوهش حاضر با پژوهش‌های مشابه

ماده فوتوترمال	شدت نور تابشی (kW/m ²)	تغییرات جرم (kg/m ²)	مرجع
Plasmonic TiO ₂	۱	۱٫۵	[۲۷]
Cu ₂ O/Cu ₂ O/CF	۱	۱٫۴۶	[۲۸]
Ag/CuO-GO	۱	۲٫۴۹	[۲۹]
Cu ₂ S	۱	۱٫۴۳	کار حاضر

مراجع

1. Wu X, Chen GY, Owens G, Chu D, Xu H. Photothermal materials: A key platform enabling highly efficient water evaporation driven by solar energy. *Materials Today Energy*. 2019;12:277-96.
2. Vines JB, Yoon J-H, Ryu N-E, Lim D-J, Park H. Gold nanoparticles for photothermal cancer therapy. *Frontiers in chemistry*. 2019;7:167.
3. Namboorimadathil Backer S, Ramachandran AM, Venugopal AA, Mohamed A, Asok A, Pillai S. Clean water from air utilizing black TiO₂-based photothermal nanocomposite sheets. *ACS Applied Nano Materials*. 2020;3(7):6827-35.
4. Sun H, Lv F, Liu L, Gu Q, Wang S. Conjugated polymer materials for photothermal therapy. *Advanced Therapeutics*. 2018;1(6):1800057.
5. Farbod M, Sharif L. Dye adsorption and superb NIR photothermal conversion property of carbon spheres. *The European Physical Journal Plus*. 2022;137(6):1-7.
6. Xi Y, Du C, Li P, Zhou X, Zhou C, Yang S. Combination of Photothermal Conversion and Photocatalysis toward Water Purification. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2022;61(13):4579-87.
7. Wang X, Zhong X, Lei H, Geng Y, Zhao Q, Gong F, et al. Hollow Cu₂Se nanozymes for tumor photothermal-catalytic therapy. *Chemistry of Materials*. 2019;31(16):6174-86.
8. Ibrahim I, Seo DH, McDonagh AM, Shon HK, Tijing L. Semiconductor photothermal materials enabling efficient solar steam generation toward desalination and wastewater treatment. *Desalination*. 2021;500:114853.
9. Sun J, Song L, Fan Y, Tian L, Luan S, Niu S, et al. Synergistic photodynamic and photothermal

20. Huang W, Liu F, Huang Y, Yang W, Zhong H, Peng J. Facile one-pot synthesis of hollow-structured CuS/Cu₂S hybrid for enhanced electrochemical determination of glucose. *Electrochemistry*. 2021;89(4):340-7.
21. Durai L, Badhulika S. Hydrothermal Synthesis of Non-noble Hybrid Cu₂S Decorated Nickel Foam and Its Enhanced Electrocatalytic Activity for Direct Aluminum Fuel Cell Application. *ACS Applied Energy Materials*. 2022;5(8):9343-50.
22. Farhadi S, Siadatnasab F. Copper (I) sulfide (Cu₂S) nanoparticles from Cu (II) diethyldithiocarbamate: synthesis, characterization and its application in ultrasound-assisted catalytic degradation of organic dye pollutants. *Materials Research Bulletin*. 2016;83:345-53.
23. Sheikhi S, Aliannezhadi M, Tehrani FS. Effect of precursor material, pH, and aging on ZnO nanoparticles synthesized by one-step sol-gel method for photodynamic and photocatalytic applications. *The European Physical Journal Plus*. 2022;137(1):60.
24. Hemathangam S, Thanapathy G, Muthukumaran S. Tuning of band gap and photoluminescence properties of Zn doped Cu₂S thin films by CBD method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2016;27(2):2042-8.
25. Al-Jawad SM, Taha AA, Redha AM, Imran NJ. Influence of nickel doping concentration on the characteristics of nanostructure CuS prepared by hydrothermal method for antibacterial activity. *Surface Review and Letters*. 2021;28(01):2050031.
26. Wu D, Zhao C, Xu Y, Zhang X, Yang L, Zhang Y, et al. Modulating solar energy harvesting on TiO₂ nanochannel membranes by plasmonic nanoparticle assembly for desalination of contaminated seawater. *ACS Applied Nano Materials*. 2020;3(11):10895-904.
27. Ying L, Zhu H, Li H, Zhu Z, Sun S, Wang X, et al. Heterostructure design of Cu₂O/Cu₂S core/shell nanowires for solar-driven photothermal water vaporization towards desalination. *Sustainable Energy & Fuels*. 2020;4(12):6023-9.
28. Kospa DA, Ahmed AI, Samra SE, Ibrahim AA. High efficiency solar desalination and dye retention of plasmonic/reduced graphene oxide based copper oxide nanocomposites. *RSC advances*. 2021;11(25):15184-94.



Fabrication of Cu₂S nanoflowers and investigation of its optical and photothermal properties in both visible and infrared regions

Mansoor Farbod^{*}, Alireza Mobarakmoab, Leila Sharif, Fatima Matroodi

Department of physics, Faculty of science, Shahid Chamran university of Ahvaz, Ahvaz, I.R. Iran

Abstract: In this work, Cu₂S nanoflowers, which is a non-toxic p-type semiconductor and has an indirect band gap of 1.21 eV, were synthesized by solvothermal method and characterized through XRD and FESEM analyses. Then, their optical properties were measured through UV-Vis, FT-IR analyses. Also, the photothermal properties of these nanoflowers were investigated in the range of visible and near-infrared light. The results showed that these nanoflowers have good photothermal properties in both visible and infrared light ranges. In the visible region, by irradiating a water solution containing 20 g/l of Cu₂S, a temperature increase of 23 °C was observed during 60 min. and in the infrared region, with 808 nm laser radiation, a 44 °C increase was observed for a concentration of 10 g/l of Cu₂S. Also, surface evaporation of water in the presence of these nanoflowers was investigated with visible light irradiation and showed that the water evaporation increases up to 4 times with increasing the concentration of these nanoflowers.

Keywords: Cu₂S, Nanoflowers, Photothermal, Surface evaporation