

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1401.8.2.12.2](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1401.8.2.12.2)

درصد همانندی: ۱۲٪

## سنتر نقاط کوانتومی کربنی با عصاره مرکبات به منظور افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی با کاربرد در شناورهای دریایی

عبدالرسول قرائتی<sup>۱\*</sup>، سید سعید به آئین<sup>۲</sup>

agharati@pnu.ac.ir

\* نویسنده مسئول، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

s.behaein@student.pnu.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱

### چکیده

نقاط کوانتومی کربنی، به دلیل سنتر ساده، زیست سازگاری، انتشار نور قابل تنظیم و انتقال طول‌موج‌های ماورای بنفش به طیف مرئی در سیستم‌های اپتوالکترونیکی کاربردهای فراوانی دارد؛ بنابراین در این مقاله، ابتدا با استفاده از روش گرمایی و سیستم اتوکلاو، نقاط کوانتومی کربنی از عصاره طبیعی مرکبات سنتر شد. سپس با استفاده از روش‌های مشخصه‌یابی پراش پرتوایکس، آنالیز پراکندگی نور، میکروسکوپ عبوری گسیل میدانی، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتوایکس، طیف‌سنجی نور فرابنفش-مرئی و طیف‌سنجی فوتولومینسانس، ساختار نقاط کوانتومی کربنی سنتر شده بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد ابعاد نقاط کوانتومی کربنی در محدوده ۱۰ تا ۵۰ نانومتر بوده که به دلیل ویژگی محدودیت کوانتومی در این مقیاس و ایجاد نوار باند ممنوعه انرژی متفاوت، امکان جذب طول‌موج‌های مختلف نوری فراهم شده که باعث افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی می‌شود. ساختار نقاط کوانتومی کربنی در ناحیه مزوپروس سلول‌های خورشیدی پروسکایتی استفاده می‌شود و به دلیل تنوع طیف نور خورشید به‌ویژه در محدوده امواج نور مرئی در سطح دریا و زمان نسبتاً طولانی تابش نور خورشید، امکان استفاده بیشتر از این نوع سلول‌های خورشیدی در شناورهای دریایی فراهم می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سلول خورشیدی، نقاط کوانتومی کربنی، عصاره مرکبات، روش گرمایی

## ۱. مقدمه

با توجه به اینکه حدود ۶۰ درصد هزینه شناورهای دریایی مربوط به سوخت‌های فسیلی است، بنابراین لزوم جلوگیری از اتلاف منابع انرژی و صرفه‌جویی در آن در صنعت دریانوردی ضروری به نظر می‌رسد [۱]. سلول‌های خورشیدی با قابلیت جذب انرژی امواج الکترومغناطیسی در محدوده ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. البته به دلیل هزینه بالای ساخت سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد نیم هادی و همچنین عدم سازگاری با محیط‌زیست، در صنعت دریایی کمتر استفاده شده است. با این حال در دهه اخیر، به دلیل رایگان بودن این منبع انرژی، عدم ایجاد آلودگی‌های زیستی، عدم تولید گازهای گلخانه‌ای و کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی، استفاده از آن در صنایع دریایی رو به افزایش بوده و به‌عنوان نماد فناوری و توسعه‌یافتگی در این صنعت به حساب می‌آید [۲-۴].

انرژی ساطع شده از خورشید به‌طور متوسط در هر ثانیه برابر  $1.7 \times 10^{20}$  کیلووات ساعت است که فقط در حدود ۷۱٪ انرژی یادشده به سطح زمین می‌رسد [۵]. بنابراین می‌توان با استفاده از سلول‌های خورشیدی تا حد زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرد. انرژی خورشیدی به‌صورت تابش الکترومغناطیسی در ناحیه طول‌موج‌های نور ماورای بنفش تا مادون‌قرمز گسیل می‌شود. در اثر تابش خورشید به مدت ۴۰ روز می‌توان انرژی موردنیاز یک قرن را ذخیره نمود [۶].

کشور ایران بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی مناطق جهان در بالاترین رده کمربند تابشی قرار دارد. میزان تابش انرژی در کشور بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ وات ساعت در مترمربع در سال تخمین زده شده که بیشتر از میزان متوسط جهانی است. همچنین در ۹۰ درصد از خاک کشورمان به دلیل قرار گرفتن در کمربند تابشی خورشید بیش از ۳۰۰ روز آفتاب وجود دارد. میزان کل انرژی دریافتی در وسعت ایران  $10^6$  مگاژول در سال تخمین زده می‌شود که حدود چهار هزار برابر کل انرژی مصرفی در کشور است [۷].

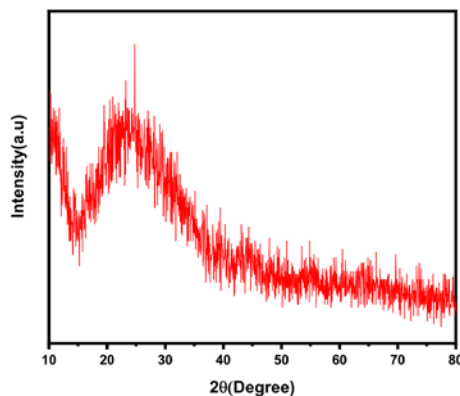
یکی از عواملی که می‌تواند باعث افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی شود، جذب طول‌موج‌های مختلف از نور ماورای بنفش تا مادون‌قرمز است که در این راستا، استفاده از فناوری نانو و تولید نقاط کوانتومی مبتنی بر مواد طبیعی می‌تواند راهگشا باشد [۸]. نقاط کوانتومی، ذراتی هستند که در هر سه بعد، ابعاد نانومتری دارند که به‌عنوان ساختارهای صفر بعدی یا شبه اتمی معروف‌اند [۹]. نقاط کوانتومی نیم هادی، قطر فیزیکی کمتر از شعاع اکسایتون بوهر داشته و فاصله بین ترازهای انرژی در آن‌ها برخلاف مواد توده، گسسته است که این ویژگی باعث وابستگی شکاف انرژی به اندازه آن‌ها می‌شود. با کاهش بیشتر ابعاد نقاط کوانتومی، فاصله ترازهای انرژی بیشتر شده و به دلیل محدودیت کوانتومی ایجادشده، این ذرات خواص متفاوتی نسبت به توده مواد نیم هادی دارند [۱۰]. نقاط کوانتومی کربنی با اندازه‌های زیر ۳۰ نانومتر پتانسیل کاربردی فراوانی در حسگرهای زیستی [۱۱]، تصویربرداری زیستی [۱۲]، تصفیه آب [۱۳] و خواص آنتی باکتریال [۱۴]، سلول‌های خورشیدی [۱۵] و غیره دارند. نقاط کوانتومی کربنی، به‌عنوان نوع جدیدی از نانومواد کربنی از نانوذرات شبه کروی مجزا تشکیل شده‌اند. این نقاط کوانتومی، برای اولین بار از اجزای نانوذرات فلورسنت در خلال خالص‌سازی نانولوله‌های کربنی تک جداره در سال ۲۰۰۴ کشف شدند [۱۶]. نقاط کوانتومی کربنی به‌عنوان یکی از آلوتروپ‌های جدید کربن، مزایای قابل توجه زیادی از جمله عدم سمیت [۱۷]، زیست سازگاری [۱۸] و پایداری شیمیایی [۱۹] را نشان می‌دهند.

روش‌های سنتز زیادی برای نقاط کوانتومی کربنی وجود دارد؛ مانند روش پیرولیز [۲۰]، اکسیداسیون اسیدی [۲۱]، سنتز الکتروشیمیایی [۲۲]. اما این روش‌ها در مقایسه با سنتز گرمایی [۲۳]، نسبتاً پیچیده یا گران هستند. اندازه نقاط کوانتومی کربنی که به روش گرمایی سنتز می‌شوند، به شدت تحت تأثیر تجزیه و پلیمریزاسیون قرار می‌گیرد. به‌خصوص در طول تجزیه، ساکارز در محلول آبی به فروکتوز و گلوکز هیدرولیز می‌شود و به دنبال آن به ترکیبات آلی کوچک‌تر (مانند فورفورال‌ها و اسیدهای ضعیف) تجزیه می‌شود. این

با سرعت ۱۲ هزار دور در دقیقه قرار داده شد تا ذرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر از هم جدا شوند.

### ۳. یافته‌ها

برای تشخیص ساختار نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده از پراش پرتو ایکس<sup>۱</sup> استفاده شد. بدین منظور مقداری محلول را به روش لایه نشانی روی بستر شیشه‌ای انباشت می‌شود تا برای آزمایش پراش پرتو ایکس آماده شود. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، قله مربوط به کربن در زاویه  $2\theta$  برابر ۲۴ درجه که مربوط به صفحه (۰۰۲) است، مشاهده شد. با توجه به اینکه لایه ایجاد شده بر بستر شیشه‌ای ضخامت بسیار کمی دارد به همین دلیل منحنی نویزهای زیادی دارد.



شکل ۱. نمودار پراش پرتو ایکس از نمونه نقاط کوانتومی سنتز شده

آزمایش پراکندگی نور پویا<sup>۲</sup> برای تعیین توزیع نقاط کوانتومی کربنی موجود در محلول به‌عنوان روش غیرمخرب و سریع برای تعیین اندازه ذرات در محدوده نانومتر استفاده شد. مطابق جدول ۱، متوسط اندازه ذرات نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده زیر ۵۰ نانومتر است.

جدول ۱. نتایج آمایش پراکندگی نور پویا برای نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده

Peak No.	S.P. Area Ratio	Mean	S.D.	Mode
1	1.00	53.7nm	0.0nm	53.7nm
2	---	---nm	---nm	---nm
3	---	---nm	---nm	---nm
Total	1.00	53.7	0.0nm	53.7nm

با توجه به اینکه هیچ دو مولکولی با ساختار مشابه طیف مادون قرمز مشابهی تولید نمی‌کنند؛ بنابراین از دستگاه سنجش مادون قرمز تبدیل فوریه<sup>۳</sup> برای تشخیص نوع

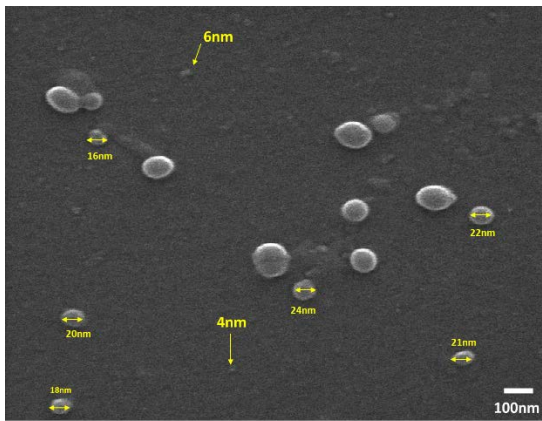
ترکیبات آلی سپس به مولکول‌های بزرگ‌تر پلیمریزه می‌شوند که در نهایت به تشکیل نقاط کوانتومی کربنی در راکتور گرمایی منجر می‌شوند [۲۴].

درحالی که هسته‌زایی همگن برای فلزات، سرامیک‌ها و ترکیبات آلی به‌خوبی بررسی شده است، انرژی آزاد فعال‌سازی آن به‌طور کلی بزرگ‌تر از هسته‌زایی ناهمگن است. با توجه به اینکه سطح راکتور گرمایی می‌تواند مسیرهای جنبشی مطلوبی را برای هسته‌زایی نقاط کوانتومی کربنی فراهم کند، انتظار می‌رود، هسته‌زایی ناهمگن مکانیسم کلیدی برای هسته‌زایی در راکتور روش گرمایی باشد [۲۵-۲۸].

بنابراین در این مقاله، سنتز نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از آب مرکبات به روش گرمایی انجام شد و مشخصه‌یابی نمونه‌ها با دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی، پراش پرتو ایکس، طیف‌سنجی فوتولومینسانس و طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس مورد آنالیز قرار گرفتند. همچنین تأثیر افزودن نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از سامانه شبیه‌ساز نور خورشید به منظور افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی شناورهای دریایی مورد بحث قرار می‌گیرند.

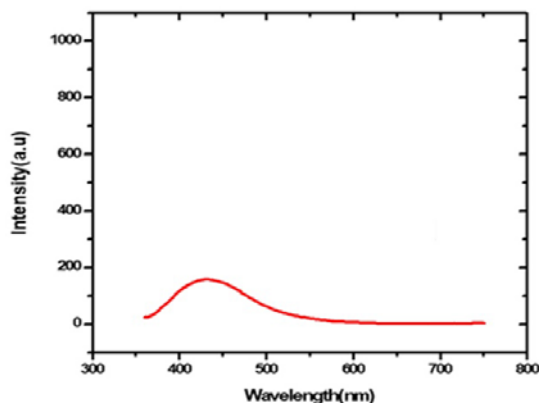
### ۲. مواد و روش‌ها

به منظور سنتز نقاط کوانتومی کربنی، ابتدا حدود ۳۰ سی‌سی عصاره مرکبات تهیه و با جدا کردن هسته و پالپ از آن، از کاغذ صافی عبور داده شد. محلول حاصل در اتوکلاو از جنس استیل که ظرف داخل آن از جنس تفلون است، گذاشته شد. سپس اتوکلاو در کوره به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. هنگام قرار دادن اتوکلاو در کوره برای افزایش دمای کوره رمپ زمانی استفاده شد که در مدت زمان دو ساعت دمای کوره به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و پس از گذشت ۲۴ ساعت، دما طی مدت دو ساعت به ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. بعد از این مرحله، محلول حاصل را با استفاده از فیلترهای سرنگی ۲۲۰ نانومتری از داخل اتوکلاو خارج کرده و در سانتریفیوژ



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده

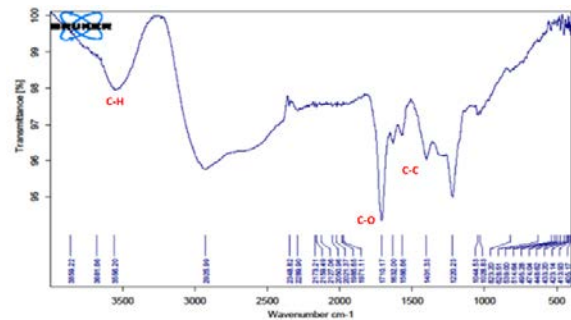
ویژگی‌های اپتیکی نمونه با استفاده از طیف‌سنجی فوتولومینسانس در طول موج تابش ۲۸۰ نانومتر در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نمونه قله‌ای پهن در طول موج ۴۲۵ نانومتر دارد که ناشی از برانگیختگی اتم‌های نقاط کوانتومی کربنی توسط نورتابشی است که باعث می‌شود الکترون‌هایی که به دور هسته‌هایشان می‌چرخند از حالت پایه به حالت منفرد برانگیخته ناپایدار یا حالت منفرد برانگیخته دوم منتقل شوند. متعاقباً، با بازگشت الکترون‌ها به حالت پایه از اولین حالت منفرد برانگیخته، فلورسانس تولید می‌شود که نتیجه این پدیده، جابه‌جایی طول موج از ناحیه فرابنفش به ناحیه مرئی است.



شکل ۵. طیف فوتولومینسانس از نمونه نقاط کوانتومی کربنی در طول موج تابشی ۲۸۰ نانومتر

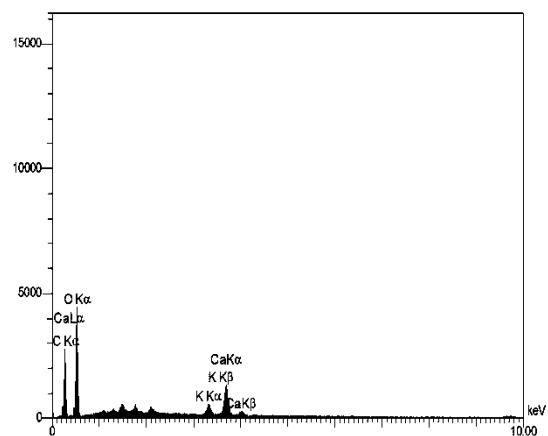
برای دستیابی به نوار باند ممنوعه انرژی نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده، طیف‌سنجی نور فرابنفش- مرئی از محلول محتوی نقاط کوانتومی کربنی در طول موج‌های ۳۰۰ تا ۷۰۰

پیوندهای نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، گروه پیوند C-H در باند جذب ۳۵۴۳ و پیوندهای C-C و C-O در باندهای جذب ۱۷۰۷ و ۱۵۶۷ در گروه هیدروکسیل، کربوکسیل و آمینه قرار دارند.



شکل ۲. نمودار سنجش مادون‌قرمز تبدیل فوریه از نمونه نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده

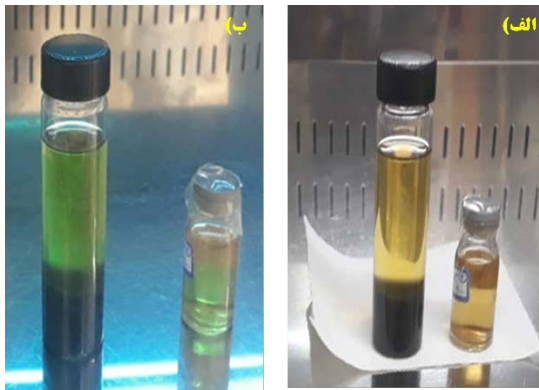
برای تعیین مواد تشکیل‌دهنده نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده از طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، قله‌های تشدید مربوط به اتم‌های کربن و اکسیژن قابل مشاهده است.



شکل ۳. نمودار طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس از نمونه نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده

برای پی بردن به اندازه دقیق ذرات، ابتدا محلول نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده را به روش لایه نشانی چرخشی<sup>۴</sup> روی لام شیشه‌ای انباشت کرده و پس از خشک شدن در دمای اتاق، نمونه برای انجام تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی آماده شد. شکل ۴، ابعاد نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده اغلب زیر ۵۰ نانومتر هستند.

مرئی نقاط کوانتومی کربنی دارای رنگ زرد بوده که پس از تابش نور فرابنفش، رنگ محلول به سبز تغییر می‌یابد.



شکل ۸. تغییر رنگ محلول حاوی نقاط کوانتومی کربنی در اثر تابش نور فرابنفش

#### ۴. نتیجه گیری

بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در ساخت سلول‌های خورشیدی به دلیل اهمیت آن در ذخیره و استفاده از انرژی‌های برگشت‌پذیر باعث شده که با توجه به گسترش طیف نور خورشید به ویژه در فرکانس‌های نزدیک به نور مرئی که از آن ساطع می‌شود، استفاده از سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی کربنی در شناورهای دریایی امری ضروری شود. بدین منظور در این کار پژوهشی، نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از روش هیدروترمال سنتز شده و ویژگی‌های آن بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده قابلیت جابه‌جایی طول موج تابشی از ناحیه فرابنفش به ناحیه مرئی را دارند. ساختار نقاط کوانتومی کربنی در ناحیه مزوپروس سلول‌های خورشیدی پروسکایتی استفاده می‌شود که این دستاورد می‌تواند باعث افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی مورد کاربرد در شناورهای دریایی شود.

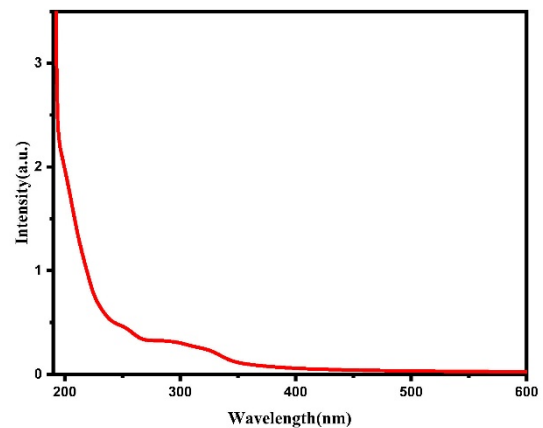
#### سپاسگزاری

از همکاری پرسنل آزمایشگاه لایه‌نشانی و فناوری نانو دانشگاه شیراز تشکر و قدردانی می‌گردد.

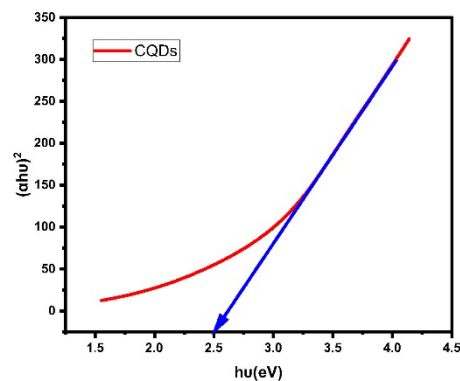
نانومتر مطابق شکل ۶ انجام شد. با استفاده از روش تاک<sup>۵</sup> مقدار گاف نواری ( $E_g$ ) با برون‌یابی ناحیه خطی نمودار  $(\alpha \cdot hv)^{(1/\gamma)}$  بر حسب  $hv$  مطابق رابطه (۱) برآورد می‌شود.

$$(\alpha \cdot hv)^{(1/\gamma)} = B(hv - E_g) \quad (1)$$

که در رابطه بالا  $h$  ثابت پلانک،  $\nu$  فرکانس فوتون،  $B$  مقدار ثابت،  $\gamma$  در صورتی که باند گاف مستقیم باشد، برابر ۲ و اگر غیرمستقیم باشد برابر ۱/۲ است. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، با رسم منحنی مربوطه و خط مماس بر آن، در محل برخورد این خط مماس با محور  $hv$ ، مقدار باند گاف ۲/۵ الکترون‌ولت به دست آمد.



شکل ۶. نمودار طیف‌سنجی نور فرابنفش-مرئی از نقاط کوانتومی کربنی



شکل ۷. منحنی تاک برای تعیین مقدار باند گاف انرژی

با استفاده از تابش نور با طول موج ماورای بنفش به نمونه محلول حاوی نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده، تغییر رنگ محلول به دلیل ویژگی‌های اپتیکی فوق‌العاده نقاط کوانتومی کربنی مشاهده شد. مطابق شکل ۸ مشاهده می‌شود که در نور

- Review of Anti-infective Therapy. 2021 Jan 2;19(1):35-44.
- [14] Sharma K, Raizada P, Hasija V, Singh P, Bajpai A, Nguyen VH, Rangabhashiyam S, Kumar P, Nadda AK, Kim SY, Varma RS. ZnS-based quantum dots as photocatalysts for water purification. *Journal of Water Process Engineering*. 2021 Oct 1;43:102217.
- [15] Molaei MJ. The optical properties and solar energy conversion applications of carbon quantum dots: A review. *Solar Energy*. 2020 Jan 15;196:549-66.
- [16] Lim SY, Shen W, Gao Z. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*. 2015;44(1):362-81.
- [17] Lim SY, Shen W, Gao Z. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*. 2015;44(1):362-81.
- [18] Tungare K, Bhorl M, Racherla KS, Sawant S. Synthesis, characterization and biocompatibility studies of carbon quantum dots from Phoenix dactylifera. *3 Biotech*. 2020 Dec;10(12):540.
- [19] Dua S, Kumar P, Pani B, Kaur A, Khanna M, Bhatt G. Stability of carbon quantum dots: a critical review. *RSC advances*. 2023;13(20):13845-61.
- [20] Shang W, Cai T, Zhang Y, Liu D, Liu S. Facile one pot pyrolysis synthesis of carbon quantum dots and graphene oxide nanomaterials: All carbon hybrids as eco-environmental lubricants for low friction and remarkable wear-resistance. *Tribology International*. 2018 Feb 1;118:373-80.
- [21] Lim SY, Shen W, Gao Z. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*. 2015;44(1):362-81.
- [22] Rocco D, Moldoveanu VG, Feroci M, Bortolami M, Vetica F. Electrochemical Synthesis of Carbon Quantum Dots. *ChemElectroChem*. 2023 Feb 1;10(3):e202201104.
- [23] Xie Y, Zheng J, Wang Y, Wang J, Yang Y, Liu X, Chen Y. One-step hydrothermal synthesis of fluorescence carbon quantum dots with high product yield and quantum yield. *Nanotechnology*. 2019 Jan 2;30(8):085406.
- [24] Yushan L, Wei L, Peng W, Shouxin L. Preparation and applications of Carbon Quantum Dots prepared via hydrothermal carbonization method. *Progress in Chemistry*. 2018 Apr 15;30(4):349.
- [25] Hasan MR, Saha N, Quaid T, Reza MT. Formation of carbon quantum dots via hydrothermal carbonization: Investigate the effect of precursors. *Energies*. 2021 Feb 13;14(4):986.
- مراجع**
- [1] Tan R, Duru O, Thepsithar P. Assessment of relative fuel cost for dual fuel marine engines along major Asian container shipping routes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020 Aug 1;140:102004.
- [2] Karatuğ Ç, Durmuşoğlu Y. Design of a solar photovoltaic system for a Ro-Ro ship and estimation of performance analysis: A case study. *Solar Energy*. 2020 Sep 1;207:1259-68.
- [3] Pan P, Sun Y, Yuan C, Yan X, Tang X. Research progress on ship power systems integrated with new energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 Jul 1;144:111048.
- [4] Huang M, He W, Incecik A, Cichon A, Królczyk G, Li Z. Renewable energy storage and sustainable design of hybrid energy powered ships: A case study. *Journal of Energy Storage*. 2021 Nov 1;43:103266.
- [5] Li Z, Xu X, Sheng X, Lin P, Tang J, Pan L, Kaneti YV, Yang T, Yamauchi Y. Solar-powered sustainable water production: state-of-the-art technologies for sunlight–energy–water nexus. *ACS nano*. 2021 Jul 19;15(8):12535-66.
- [6] Mokhtari M. Evaluation of optimal absorption of solar energy to supply electric energy to urban settlements in line with the sustainable development of Shiraz city. In *International Conference on Civil, Architecture, Development and Reconstruction of Urban Infrastructure in Iran 2020*.
- [7] Ahmad FA. Valuation of solar power generating potential in Iran desert areas. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2018 Jul 12;22(6):967-72.
- [8] Kim MR, Ma D. Quantum-dot-based solar cells: recent advances, strategies, and challenges. *The journal of physical chemistry letters*. 2015 Jan 2;6(1):85-99.
- [9] Lim SY, Shen W, Gao Z. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*. 2015;44(1):362-81.
- [10] Zhou W, Coleman JJ. Semiconductor quantum dots. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2016 Dec 1;20(6):352-60.
- [11] Frasco MF, Chaniotakis N. Semiconductor quantum dots in chemical sensors and biosensors. *Sensors*. 2009 Sep 10;9(9):7266-86.
- [12] Jin S, Hu Y, Gu Z, Liu L, Wu HC. Application of quantum dots in biological imaging. *Journal of nanomaterials*. 2011 Jan 1;2011:1-3.
- [13] Alavi M, Jabari E, Jabbari E. Functionalized carbon-based nanomaterials and quantum dots with antibacterial activity: a review. *Expert*

- [26] Sarkar S, Banerjee D, Ghorai UK, Das NS, Chattopadhyay KK. Size dependent photoluminescence property of hydrothermally synthesized crystalline carbon quantum dots. *Journal of Luminescence*. 2016 Oct 1;178:314-23.
- [27] Gomes MF, Gomes YF, Lopes-Moriyama A, de Barros Neto EL, de Souza CP. Design of carbon quantum dots via hydrothermal carbonization synthesis from renewable precursors. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2019 Dec;9:689-94.
- [28] Singh H, Bamrah A, Khatri M, Bhardwaj N. One-pot hydrothermal synthesis and characterization of carbon quantum dots (CQDs). *Materials Today: Proceedings*. 2020 Jan 1;28:1891-4.

#### پی‌نوشت‌ها

1. X-Ray diffraction
2. dynamic light scattering
3. FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROMETER-FTIR
4. Spin Coating
5. Tack