



Original Article

# Biocompatibility Assessment of Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dots Prepared by a Hydrothermal Method

Fateme Naderi Movahed, Kouros Rahimi\*<sup>ID</sup>

Department of Condensed Matter Physics, Faculty of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

Received: 2026-02-14

Revised: 2026-05-25

Accepted: 2026-06-06

**Abstract:** In this study, a suspension of nitrogen-doped carbon quantum dots (N-CQDs) was synthesized via a hydrothermal method at 180 °C, utilizing citric acid and urea as carbon and nitrogen precursors, respectively. Dynamic Light Scattering (DLS) analysis revealed that the particle size distribution was predominantly within the range of 2–7 nm. Elemental mapping and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) confirmed the uniform distribution of carbon and nitrogen throughout the sample. The ultraviolet-visible (UV-Vis) absorption spectrum exhibited a distinct peak at 300 nm and an absorption edge at 363 nm. Photoluminescence (PL) spectroscopy demonstrated excitation-dependent emission behavior; specifically, the emission peak of N-CQDs shifted from 412 nm to 473 nm as the excitation wavelength increased from 300 nm to 400 nm. Biocompatibility assessment using the MTT assay on the MDA-MB-231 breast cancer cell line indicated high biocompatibility and negligible cytotoxicity of the synthesized N-CQDs. Notably, a cell viability rate of over 80% was maintained at concentrations up to 500 µg/mL after 48 hours of incubation. In conclusion, the synthesized N-CQDs possess favorable optical properties and substantial biological stability, suggesting their potential suitability for biomedical applications, particularly bioimaging.

**Keywords:** Nitrogen-doped Carbon Quantum Dots (N-CQDs); Hydrothermal Synthesis; Photoluminescence; Biocompatibility; MTT Assay; Bioimaging

\*Corresponding Author. Email: [k.rahimi@alzahra.ac.ir](mailto:k.rahimi@alzahra.ac.ir)

## How to Cite This Article:

Naderi Movahed, F, Rahimi, K. Biocompatibility Assessment of Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dots Prepared by a Hydrothermal Method. *Nanomeghyas*. 2025; 12(3): 391-398. DOI: [10.22034/ns.2026.2085410.1422](https://doi.org/10.22034/ns.2026.2085410.1422)





## ارزیابی زیست‌سازگاری نقاط کوانتومی کربنی آلیپده به نیتروژن سنتز شده به روش هیدروترمال

فاطمه نادری موحد، کوروش رحیمی\*

گروه فیزیک ماده چگال، دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۵

**چکیده: چکیده:** در این پژوهش، سوسپانسیون نقاط کوانتومی کربن آلیپده به نیتروژن (N-CQDs) به روش هیدروترمال در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  با استفاده از سیتریک اسید و اوره به عنوان منابع کربن و نیتروژن سنتز شد. تحلیل پراکندگی دینامیکی نور (DLS) نشان داد که اندازه‌ی ذرات عمدتاً در بازه  $2-7\text{ nm}$  است. تحلیل نقشه عنصری و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) وجود یکنواخت کربن و نیتروژن را در سرتاسر نمونه تایید کرد. طیف جذبی فرابنفش- مرئی (UV-Vis) قله‌ای در طول‌موج  $300\text{ nm}$  و لبه جذبی در  $363\text{ nm}$  را نشان داد. طیف فوتولومینسانس (PL) نیز رفتار وابسته به طول‌موج برانگیختگی را نشان داد، به طوری که قله‌ی نشر N-CQDs با تغییر طول‌موج برانگیختگی از  $300\text{ nm}$  به  $400\text{ nm}$  از  $412\text{ nm}$  به  $473\text{ nm}$  جابه‌جا شد. نتایج ارزیابی زیست‌سازگاری با استفاده از آزمون MTT بر روی رده سلولی سرطانی MDA-MB-231 نشان‌دهنده زیست‌سازگاری بالا و عدم سمیت قابل توجه نمونه N-CQDs سنتز شده تا غلظت‌های  $500\text{ }\mu\text{g/mL}$  با نرخ زنده‌مانی بیش از  $80\%$  درصد پس از  $48$  ساعت می‌باشد. در مجموع، نمونه N-CQDs سنتز شده از ویژگی‌های نوری مناسب و پایداری زیستی مطلوبی برخوردار بوده و قابلیت استفاده در کاربردهای زیست‌پزشکی نظیر تصویربرداری زیستی را دارد.

**واژگان کلیدی:** نقاط کوانتومی کربنی آلیپده به نیتروژن، سنتز هیدروترمال، فوتولومینسانس، زیست‌سازگاری، آزمون MTT، تصویربرداری زیستی

\* نویسنده مسئول. ایمیل: k.rahimi@alzahra.ac.ir

### نحوه استناد به این مقاله:

نادری موحد، فاطمه، رحیمی، کوروش. ارزیابی زیست‌سازگاری نقاط کوانتومی کربنی آلیپده به نیتروژن سنتز شده به روش هیدروترمال. *نانو مقیاس*، ۲۰۲۵، ۱۲(۳)، ۳۹۸-۳۹۱.

DOI: [10.22034/ns.2026.2085410.1422](https://doi.org/10.22034/ns.2026.2085410.1422)



## ۱- مقدمه

اندازه و خواص فلورسانسی CQDs دارند. در دماهای حدود  $80^{\circ}\text{C}$  و محیط‌های بسته، واکنش‌های تراکمی و کربنی‌شدن فعال‌تر شده و رشد ذرات در ابعاد  $2\text{ nm}$  تا  $10\text{ nm}$  پایدار می‌گردد. بنابراین، سنتز کنترل‌شده به روش هیدروترمال، روشی مناسب برای تولید CQDs با اندازه، توزیع و پایداری قابل تکرار است و زمینه را برای مطالعات زیست‌پزشکی هموار می‌سازد [۱۴].

مطالعات نشان داده‌اند که این نانوذرات پتانسیل بالایی برای عبور از موانع زیستی و نشان‌دار کردن اختصاصی سلول‌ها دارند [۱۵]. روش‌های متنوع در سنتز، استفاده از پیش‌سازهای شیمیایی مختلف و اصلاحات سطحی می‌تواند رفتار زیستی و سمیت این نانوذرات را به شدت تغییر دهد. بنابراین، پیش از هرگونه کاربرد، به ویژه در تصویربرداری زیستی اطمینان از زیست‌سازگاری و عدم سمیت سلولی CQDs یک ضرورت به‌شمار می‌رود [۱۶].

در این پژوهش، CQDs آلاینده به نیتروژن (N-CQDs) با استفاده از روش هیدروترمال و پیش‌سازهای سیتریک اسید و اوره به ترتیب به‌عنوان منبع کربن و نیتروژن سنتز شدند. ویژگی‌های ساختاری، ریخت‌شناسی و نوری نانوذرات حاصل با بهره‌گیری از روش‌های EDS، DLS، UV-Vis و PL مشخصه‌یابی گردید. در ادامه، زیست‌سازگاری نانوذرات برای کاربردهای زیستی با استفاده از آزمون MTT و ارزیابی زنده‌مانی سلولی بر روی رده‌ی سلول سرطانی MDA-MB-231 که در مواجهه با N-CQDs قرار گرفتند، بررسی شد تا پتانسیل آن‌ها به‌عنوان یک پروب تصویربرداری ایمن تایید گردد.

## ۲- بخش آزمایشگاهی

## ۲-۱- مواد و ساخت

در این پژوهش، سوسپانسیون N-CQDs به روش هیدروترمال سنتز شد و این روش به دلیل سادگی،

سرطان همچنان یکی از اصلی‌ترین چالش‌های سلامت عمومی در جهان محسوب می‌شود و آمارهای اخیر نشان می‌دهند که سرطان سینه شایع‌ترین بدخیمی تشخیص داده‌شده در میان زنان در مقیاس جهانی است [۱]. تشخیص زودهنگام و دقیق این بیماری، نقشی مهم در افزایش نرخ زنده‌مانی و موفقیت روش‌های درمانی ایفا می‌کند. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در روش‌های درمانی متداول، سمیت بالینی ناشی از درمان‌ها و دقت ناکافی در هدف‌گیری اختصاصی بافت‌های توموری، از مهم‌ترین موانع در بهبود اثربخشی درمان و کاهش عوارض جانبی محسوب می‌شوند [۲].

در این راستا، نانومواد کربنی به‌ویژه نقاط کوانتومی کربنی (CQDs) به‌عنوان سامانه‌های زیست‌سازگار و چندمنظوره به‌عنوان رویکردی موثر برای تشخیص زودهنگام، تصویربرداری دقیق و درمان هدفمند سرطان مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳-۵].

کوانتوم‌دات‌های کربن به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردی همچون پایداری نوری بالا، حلالیت در آب و قابلیت اصلاح سطحی توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند. همچنین CQDs با ساختار کربنی زیست‌سازگار بوده و جایگزین مناسبی برای رنگ‌های آلی و نقاط کوانتومی نیمه‌رسانای سمی (حاوی فلزات سنگین) شده‌اند [۶ و ۷]. CQDs به علت خواص فلورسانسی منحصربه‌فرد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نانوساختارها برای کاربرد در تصویربرداری زیستی، زیست‌حسگری و سامانه‌های دارورسانی هدفمند مورد توجه قرار گرفته‌اند [۸-۱۱]. خواص نوری و فلورسانسی CQDs به‌شدت وابسته به اندازه، ساختار بلوری، و گروه‌های عاملی سطحی آن‌ها است و امکان نشر نور در ناحیه‌ی وسیعی از طیف مرئی تا فروسرخ نزدیک (NIR) را فراهم می‌کند [۱۲ و ۱۳]. کنترل متغیرهای سنتز، از جمله زمان واکنش و دمای فرایند هیدروترمال، نقش تعیین‌کننده‌ای در

بر این انجام آزمون MTT بر روی رده سلول سرطانی MDA-MB-231 در آزمایشگاه جامع تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی سمنان جهت بررسی زیست‌سازگاری و سمیت سلولی N-CQDs سنتز شده انجام شد. آزمون MTT، یک روش رنگ‌سنجی ساده است که از نمک تترازولیومی به‌نام 3-(dimethylthiazol-2-yl)-4,5-diphenyltetrazolium bromide استفاده می‌کند و به‌عنوان ابزاری زیستی برای برآورد زنده‌مانی سلولی کاربرد دارد. اعتبار آزمون MTT بر این فرض استوار است که تنها سلول‌های زنده، نمک‌های تترازولیوم را به مشتقات رنگی فورمازان کاهش می‌دهند [۱۷]. در این پژوهش، جهت انجام آزمون MTT رده‌ی سلول سرطانی MDA-MB-231، در پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای در مواجهه با غلظت‌های مختلف نمونه‌ی N-CQDs سنتز شده، در بازه‌ی  $\mu\text{g}/\text{mL}$  ۵۰۰۰ - ۰/۵ قرار گرفتند. فرآیند در دو بازه‌ی زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت و برای هر غلظت با دو تکرار انجام شد. همچنین برای اطمینان از درستی نتایج، گروه‌های کنترل نیز در کنار نمونه‌ها بررسی شدند. در پایان، میزان جذب نوری (OD) در طول موج ۵۷۰ توسط دستگاه Microplate Reader خوانده شد و درصد زنده‌مانی سلول‌ها نسبت به نمونه‌ی کنترل محاسبه گردید.

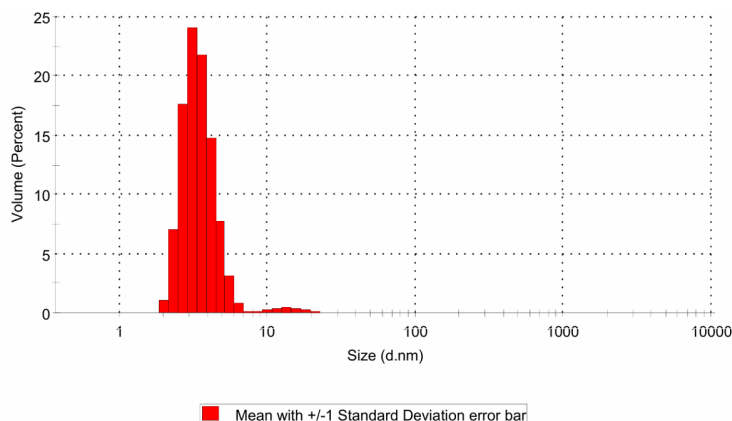
### ۳- نتایج و بحث

شکل ۱ نمودار توزیع اندازه‌ی هیدرودینامیکی ذرات نمونه‌ی N-CQDs سنتز شده را بر اساس تحلیل DLIS نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، اندازه ذرات N-CQDs عمدتاً در بازه ۲-۷ nm متمرکز بوده و بیشینه درصد حجمی این ذرات (۲۴/۱٪) مربوط به ذراتی با قطر هیدرودینامیکی حدود ۳ nm است. علاوه بر این، کسر کوچکی از ذرات دارای اندازه‌هایی بین ۱۰ nm تا ۲۰ nm هستند. اما ذرات بزرگتر از ۲۰ nm عملاً وجود ندارند. این توزیع نشان‌دهنده یکنواختی نسبی و موفقیت در سنتز نقاط کوانتومی با اندازه‌ی

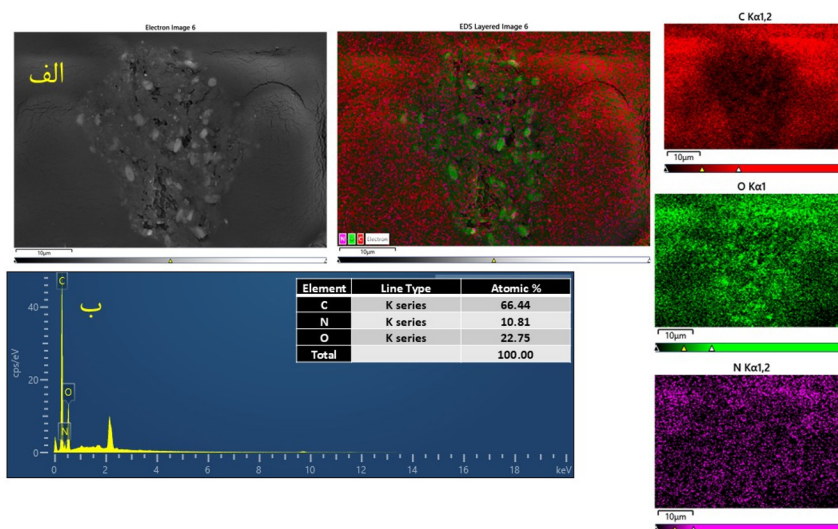
هزینه پایین و امکان کنترل اندازه و ساختار نانوذرات انتخاب گردید. ابتدا ۱ گرم سیتریک اسید (شرکت Merck با درصد خلوص بیش از ۹۹٪) در ۱۵ ml آب یون‌زدایی شده حل شد و پس از هم‌زدن کامل، ۰/۵ گرم اوره (شرکت Merck و درصد خلوص بیش از ۹۹٪) به‌عنوان منبع نیتروژن افزوده گردید. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه تحت هم‌زدن مغناطیسی قرار گرفت تا محلولی یکنواخت به دست آید. سپس این محلول به درون تفلون (با ظرفیت ۲۵ ml) اتوکلاوی از جنس فولاد ضدزنگ ریخته شد. اتوکلاو در آون در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. پس از اتمام فرآیند، اتوکلاو به‌صورت طبیعی در دمای اتاق سرد شد. سوسپانسیون حاصل به رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز درآمده بود. سپس این سوسپانسیون به مدت ۱۵ دقیقه تحت سانتریفیوژ  $4000\text{ rpm}$  قرار داده شد و سپس از فیلتر سر سرنگی  $0.22\text{ }\mu\text{m}$  عبور داده شد تا ذرات درشت جدا شوند. نتیجه نهایی، سوسپانسیونی پایدار بدون ته‌نشینی در بلند مدت (چند هفته) بود.

### ۲-۲- مشخصه‌یابی

جهت مشخصه‌یابی و بررسی ویژگی‌های ساختاری سوسپانسیون N-CQDs سنتز شده، از مجموعه‌ای از روش‌های تحلیل استفاده شد. توزیع اندازه‌ی هیدرودینامیکی ذرات به وسیله روش پراکندگی دینامیکی نور (DLS) و با استفاده از دستگاه مدل ZS90 ساخت شرکت MALVERN (انگلستان) تعیین گردید. ترکیب عنصری و خلوص نمونه نیز به‌وسیله طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) تعیین شده بر روی میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، مدل X 5000 محصول شرکت CIQTEK (چین) ارزیابی شد. طیف جذب فرابنفش-مرئی (UV-Vis) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-3600iPlus ساخت شرکت Shimadzu (ژاپن) و طیف‌های فوتولومینسانس (PL) با استفاده از دستگاه اسپکتروفلوریمتر مدل RF-6000 ساخت شرکت Shimadzu (ژاپن) ثبت شدند. علاوه



شکل ۱: توزیع اندازه هیدرودینامیکی ذرات N-CQDs سنتز شده بر اساس تحلیل DLS

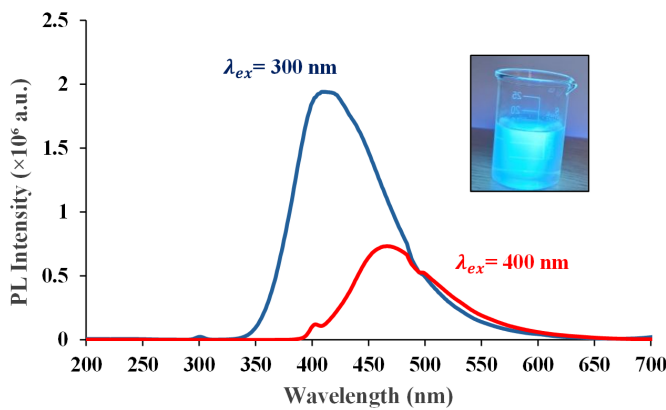


شکل ۲: تصاویر نقشه عنصری، (ب) طیف EDS از N-CQDs سنتز شده

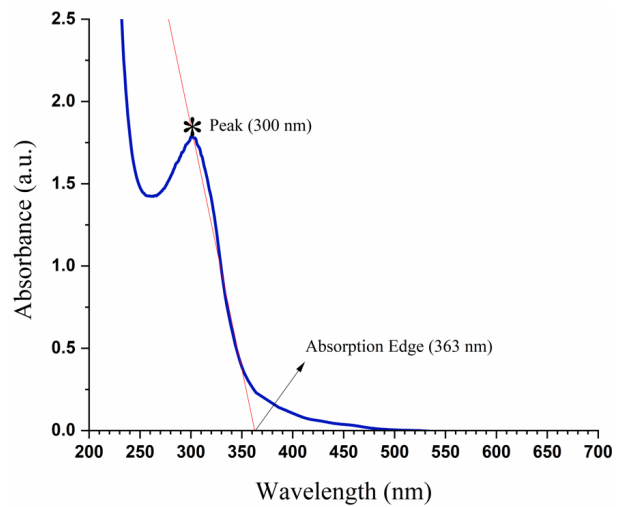
عنصری توزیع نسبتاً یکنواخت عناصر کربن، نیتروژن و اکسیژن را در ناحیه‌ی اسکن شده نشان می‌دهند که تاییدی بر همگنی شیمیایی ترکیب نمونه است. شکل ۳ طیف جذب نوری UV-Vis سوسپانسیون آبی نمونه‌ی N-CQDs سنتز شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک قله‌ی جذب مشخص در طول موج ۳۰۰ nm وجود دارد. این قله معمولاً به گذار الکترونی  $n \rightarrow \pi^*$  نسبت داده می‌شود که حضور پیوندهای C=N و C=O را در ساختار تایید می‌کند [۱۸ و ۱۹]. این مشاهده با نتایج تحلیل EDS که حضور اکسیژن و نیتروژن را تایید کرد مطابقت دارد.

شکل ۴ طیف PL نانوذرات N-CQDs سنتز شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص

زیر ۱۰ nm است. این ابعاد کوچک برای نفوذپذیری سلولی در کاربردهای زیستی بسیار مطلوب است. بررسی طیف EDS نمونه‌ی سنتز شده در شکل ۲ حضور غالب عنصر کربن با درصد اتمی ۶۶/۴۴٪ را تایید می‌کند که اسکلت اصلی ذرات را تشکیل داده است. مشاهده‌ی قله‌ی نیتروژن با درصد اتمی ۱۰/۸۱٪ نشان دهنده‌ی وارد شدن موفق اتم‌های نیتروژن به درون ساختار شبکه‌ی کربنی است که می‌تواند نقش موثری در بهبود ویژگی‌های فوتولومینسانس ایفا کند. همچنین حضور اکسیژن با درصد اتمی ۲۲/۷۵٪ بیان‌گر وجود گروه‌های عاملی اکسیژن دار بر سطح نانوذرات است که منجر به آبدوستی بالا و پایداری مناسب سوسپانسیون در محیط‌های آبی می‌گردد. علاوه بر این نقشه‌های



شکل ۴: طیف PL نمونه N-CQDs سنتز شده در طول موج‌های برانگیختگی ۳۰۰ و ۴۰۰ nm، تصویر داخلی: محلول آبی N-CQDs تحت تابش UV با طول موج حدود ۳۷۰ nm



شکل ۳: طیف جذب UV-Vis نمونه N-CQDs سنتز شده

در غلظت‌های بالا ( $5000 \mu\text{g/mL}$ ) میزان جذب رنگ فورمازان، کاهش جزئی نشان داده که به احتمال زیاد ناشی از تجمع سطحی ذرات بر روی غشا یا جذب نوری N-CQDs در ناحیه‌ی جذب MTT است.

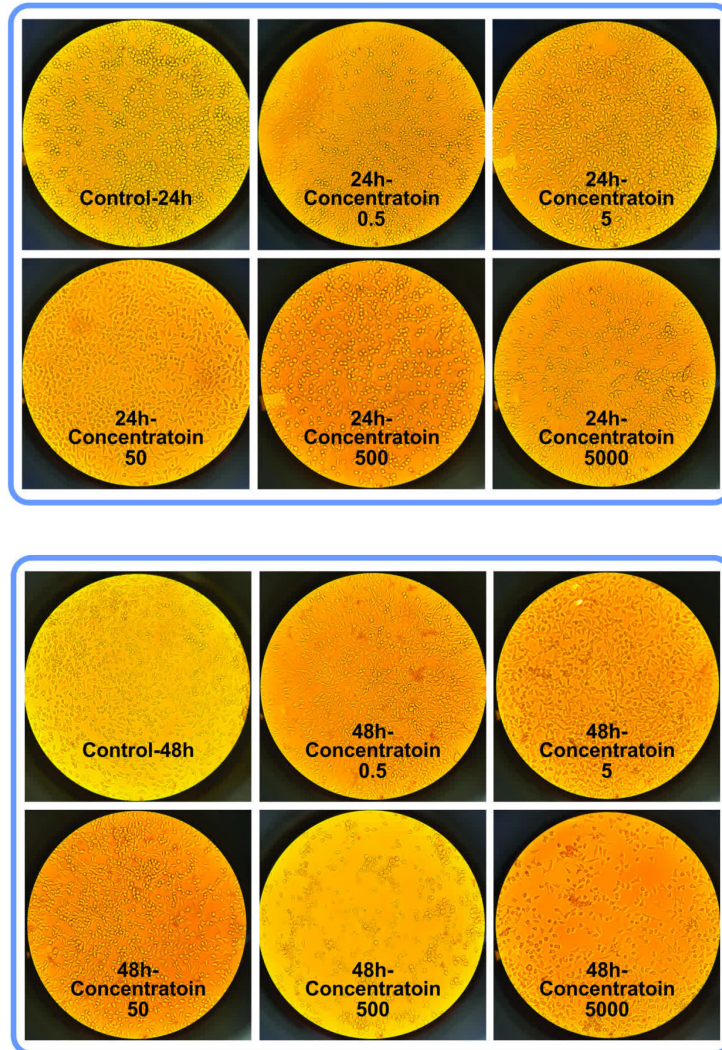
مشاهدات میکروسکوپی نشان داد که ریخت‌شناسی طبیعی و شکل دوکی سلول‌ها در مواجهه با نمونه‌های با غلظت پایین حفظ شده و مشابه نمونه‌ی کنترل است. در غلظت‌های بسیار بالا تراکم سلول‌ها کمی کاهش یافته است ولی شواهدی مبنی بر تخریب گسترده‌ی سلولی (مانند کروی شدن یا جدا شدن سلول‌ها) مشاهده نمی‌شود. مجموع این نتایج نشان داد N-CQDs سنتز شده دارای سمیت سلولی بسیار ناچیز و پتانسیل کاربرد ایمن در حوزه‌ی تصویربرداری زیستی را دارد. برای تایید نهایی این نتایج و عملکرد انجام مطالعات بیشتر ضروری است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش نقاط کوانتومی کربنی آلییده به نیتروژن (N-CQDs) با بهره‌گیری از روش هیدروترمال تک‌مرحله‌ای، با استفاده از پیش‌سازهای سیتریک اسید و اوره سنتز شدند. تحلیل DLS توزیع اندازه ذرات را در بازه ۲ nm تا ۷ nm (با بیشینه

است، CQDs سنتز شده رفتار فوتولومینسانس وابسته به طول موج برانگیختگی را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های بارز این نانوذرات است. تحت طول موج برانگیختگی ۳۰۰ nm قله‌ی نشر قوی (۴۱۲ nm) در ناحیه‌ی آبی طیف مشاهده می‌شود. با افزایش طول موج برانگیختگی به ۴۰۰ nm قله‌ی نشر به ۴۷۳ nm جابه‌جا می‌شود که معمولاً ناشی از اندازه‌های مختلف ذرات و یا توزیع متنوع ترازهای انرژی سطحی می‌باشد. حضور اوره در این سنتز باعث تشکیل پیوندهای کربن-نیتروژن و گروه‌های عاملی مختلف روی سطح ذرات شده و این گروه‌های سطحی، ترازهای انرژی جدیدی را در شکاف انرژی ایجاد می‌کنند که به عنوان تله‌های سطحی عمل کرده و باعث نشر نور در طول موج‌های مختلف می‌شوند [۱۸ و ۱۹]. همانطور که در تصویر داخلی در شکل ۴ دیده می‌شود، نمونه‌ی N-CQDs سنتز شده تحت تابش UV، (با طول موج حدود ۳۷۰ nm) نور آبی درخشانی را منتشر می‌کند که با داده‌های طیف‌سنجی همخوانی دارد.

نتایج آزمون MTT بر روی رده سلولی MDA-MB-231 در بازه‌های زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج بیانگر حفظ نرخ زنده‌مانی سلولی در محدوده‌ی بیش از ۸۰٪ در غلظت‌های پایین‌تر از  $500 \mu\text{g/mL}$  در هر دو زمان آزمون است.



شکل ۵: نتایج آزمون MTT نمونه N-CQDs سنتز شده پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت

و عدم سمیت سلولی جای‌گزینی امیدبخش برای کاربرد در تصویربرداری زیستی به‌شمار می‌رود.

## ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه الزهرا (س) قدردانی می‌کنند.

## عدم تعارض منافع

نویسندگان این مقاله بدین‌وسیله اعلام می‌دارند که در ارتباط با انجام، تحلیل، نگارش و انتشار این پژوهش، هیچ‌گونه تعارض منافع مالی، شخصی، علمی یا سازمانی وجود ندارد.

فراوانی در حدود ۳ nm نشان داد. همچنین طیف EDS حضور نیتروژن (۸۱/۱۰٪) و کربن (۶۶/۴۴٪) و اکسیژن (۲۲/۷۵٪) را نشان داد که آرایش موفق و تشکیل گروه‌های عاملی سطحی را تایید کرد. نانوذرات سنتز شده دارای نشر فلورسانس وابسته به طول‌موج برانگیختگی هستند، با تغییر طول‌موج برانگیختگی از ۳۰۰ nm به ۴۰۰ nm نشر از ۴۱۲ به ۴۷۳ nm جابه‌جا می‌شود که ناشی از توزیع ترازهای انرژی سطحی و نقص‌های ساختاری ناشی از حضور نیتروژن است. نتایج آزمون MTT نشان داد که تا غلظت‌های ۵۰۰  $\mu\text{g/mL}$  و پس از ۴۸ ساعت، نرخ زنده‌مانی سلولی بالای ۸۰٪ حفظ می‌شود. در نهایت این مطالعه نشان می‌دهد که N-CQDs سنتز شده به دلیل روش تولید آسان، پایداری نوری

## مراجع

- [10] Y. Sun, S. Zheng, L. Liu, Y. Kong, A. Zhang, K. Xu, C. Han, "The cost-effective preparation of green fluorescent carbon dots for bioimaging and enhanced intracellular drug delivery," *Nanoscale Research Letters*, 15, 55, 2020. <https://doi.org/10.1186/s11671-020-3288-0>
- [11] L. J. Desmond, A. N. Phan, P. Gentile, "Critical overview on the green synthesis of carbon quantum dots and their application for cancer therapy," *Environmental Science: Nano*, 8, 848-862, 2021. <https://doi.org/10.1039/D1EN00017A>
- [12] C. He, P. Xu, X. Zhang, W. Long, "The synthetic strategies, photoluminescence mechanisms and promising applications of carbon dots: Current state and future perspective," *Carbon*, 186, 91-127, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.10.002>
- [13] R. Ghasemi Chaleshtori, S. Manouchehri, A. Arab, "Nanoparticle size effect investigation of nitrogen-doped carbon quantum dots with their fluorescence properties," *Nanomeghyas*, 8, 86-92, 2018. [In Persian]
- [14] V. Strauss, H. Wang, S. Delacroix, M. Ledendecker, P. Wessig, "Carbon nanodots revised: the thermal citric acid/urea reaction," *Chemical Science*, 11, 8256-8266, 2020. <https://doi.org/10.1039/D0SC01605E>
- [15] H. Zhang, G. Wang, Z. Zhang, J. H. Lei, T. M. Liu, G. Xing, J. Qu, S. Qu, "One step synthesis of efficient red emissive carbon dots and their bovine serum albumin composites with enhanced multi-photon fluorescence for in vivo bioimaging," *Light: Science & Applications*, 11, 113, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00798-5>
- [16] H. B. Sousa, C. S. Martins, J. A. Prior, "You don't learn that in school: an updated practical guide to carbon quantum dots," *Nanomaterials*, 11, 611, 2021. <https://doi.org/10.3390/nano11030611>
- [17] D. T. Vistica, P. Skehan, D. Scudiero, A. Monks, A. Pittman, M. R. Boyd, "Tetrazolium-based assays for cellular viability: a critical examination of selected parameters affecting formazan production," *Cancer Research*, 51, 2515-2520, 1991.
- [18] H. Qi, L. Qiu, X. Zhang, T. Yi, J. Jing, R. Sami, D. A. El-Hady, A. O. Al-Ghamdi, M. M. Rahman, "Novel N-doped carbon dots derived from citric acid and urea: fluorescent sensing for determination of metronidazole and cytotoxicity studies," *RSC Advances*, 13, 2663-2671, 2023. <https://doi.org/10.1039/D2RA07150A>
- [19] C. J. Reckmeier, J. Schneider, Y. Xiong, J. Häusler, P. Kasák, W. Schnick, A. L. Rogach, "Aggregated molecular fluorophores in the ammonothermal synthesis of carbon dots," *Chemistry of Materials*, 29, 10352-10361, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b03344>
- [1] E. Heer, Y. Ruan, N. Mealey, M. L. Quan, D. R. Brenner, "The incidence of breast cancer in Canada 1971-2015: trends in screening-eligible and young-onset age groups," *Canadian Journal of Public Health*, 111, 787-793, 2020. <https://doi.org/10.17269/s41997-020-00305-6>
- [2] F. Kazeminava, S. Javanbakht, Z. Latifi, M. Rasoulzadehzali, M. Abbaszadeh, B. Alimohammadzadeh, M. Mahdipour, A. Fattahi, M. Nouri, H. Hamishehkar, "Ultrasound-assisted encapsulating folic acid-based carbon quantum dots within breast cancer cell-derived exosomes as a co-receptors-mediated anticancer nanocarrier for enhanced breast cancer therapy," *Scientific Reports*, 14, 16941, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67934-6>
- [3] C. Fang, M. Zhang, "Nanoparticle-based theragnostics: Integrating diagnostic and therapeutic potentials in nanomedicine," *Journal of Controlled Release*, 146, 2, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.05.013>
- [4] Y. Liu, S. Zeng, W. Ji, H. Yao, L. Lin, H. Cui, X. Li, Y. Li, H. Zhang, G. Pan, "Emerging theranostic nanomaterials in diabetes and its complications," *Advanced Science*, 9, 2102466, 2022. <https://doi.org/10.1002/advs.202102466>
- [5] S. Samimi, M. S. Ardestani, F. A. Dorkoosh, "Preparation of carbon quantum dots-quinic acid for drug delivery of gemcitabine to breast cancer cells," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 61, 102287, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.102287>
- [6] H. Liu, X. Zhong, Q. Pan, Y. Zhang, W. Deng, G. Zou, P. Chen, Z. Zhang, X. Ji, "A review of carbon dots in synthesis strategy," *Coordination Chemistry Reviews*, 498, 215468, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215468>
- [7] K. Naik, S. Chaudhary, L. Ye, A. S. Parmar, "A strategic review on carbon quantum dots for cancer-diagnostics and treatment," *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 882100, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.882100>
- [8] K. D. Patel, R. K. Singh, H. W. Kim, "Carbon-based nanomaterials as an emerging platform for theranostics," *Materials Horizons*, 6, 434-469, 2019. <https://doi.org/10.1039/C8MH00966J>
- [9] H. Saljoughi, F. Khakbaz, M. Mahani, "Synthesis of folic acid conjugated photoluminescent carbon quantum dots with ultrahigh quantum yield for targeted cancer cell fluorescence imaging," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 30, 101687, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101687>