



# بررسی اثر اندازه نانوذرات نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن در ویژگی‌های فلورسانسی آن‌ها

رحیم قاسمی چالشتری<sup>۱</sup> | سهراب منوچهری<sup>۲\*</sup> | علی عرب<sup>۲</sup>

۱- پژوهشکده اپتیک و لیزر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- گروه فیزیک، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

**چکیده:** در این پژوهش، نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن به روش میکروویو با استفاده از پیش‌ماده‌های اسید سیتریک و اوره در محیط آبی همگن سنتز شدند. توزیع متفاوتی از اندازه ذرات نانوساختار به کمک یک دستگاه گریزان با نیروی گریز از مرکز متفاوت مرتب سازی و گزینش و ذرات بزرگ حذف شد. نمونه سنتز شده برای بررسی تشکیل ساختار بلوری و اندازه نانوذرات با آنالیز پراش پرتو ایکس شناسایی شد. پهن شدگی قله پراشی نشان از کوچک بودن اندازه نانوذرات سنتز شده داشت. ویژگی‌های نوری نمونه‌ها با دستگاه‌های طیف سنج فرابنفش-مرئی و فوتولومینسانس بررسی شد. طول موج قله های جذب به اندازه ذرات بستگی داشت و با کاهش اندازه ذرات جابجایی به سمت آبی داشت. از نمودار تاوک انرژی گاف با کاهش اندازه ذرات از ۲/۳۹ الکترون ولت به ۲/۶۲ الکترون ولت افزایش نشان داد. نشر نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده، تحت تحریک نور فرابنفش دارای تابش فلورسانس در ناحیه طیفی مرئی سبز- آبی بودند.

**واژگان کلیدی:** نقاط کوانتومی کربن، آلییده با نیتروژن، روش میکروویو، فوتولومینسانس، فلورسانس.

\*manoochehri@mut-es.ac.ir

بی شکل هستند. نقاط بسپاری، نقاط کربنی هستند که از اتصال عرضی یا آب‌پوشی (دهیدراتاسیون) بسپارها حاصل می‌شوند [۲]. سان و همکارانش، در سال ۲۰۰۶ به روش فرساب لیزری نانوذرات کربن فلورسنت را از پودر گرافیت ساخته و از آن پس، نقاط کوانتومی کربن نامیده شدند [۳]. نقاط کوانتومی کربنی به دلیل ویژگی‌های نوری مناسب، زیست سازگار بودن، سمیت پایین و منابع تهیه فراوان بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و در موارد بسیاری مانند تصویربرداری زیستی- حسگرهای زیستی- سیستم‌های انتقال دارو، سلول‌های خورشیدی- دیودهای نور گسیل، کاتالیست‌ها، حسگرهای شیمیایی و پودرهای انگشت‌نگاری فلورسانس برای نمایان‌سازی اثر انگشت پنهان به کار گرفته شده‌اند [۴-۷]. معمولاً در تهیه‌ی نقاط کوانتومی کربنی سه مشکل کلی وجود دارد که بایستی مورد توجه قرار گیرد: الف) تجمع ذرات

## ۱- مقدمه

نقاط کربن، دسته ای از مواد کربن پایه با اندازه ذرات معمولاً کوچکتر از ۱۰ نانومتر هستند که در سال ۲۰۰۴ توسط ژو و همکارانش، در فرایند خالص‌سازی نانولوله‌های کربنی تک دیواره کشف شدند [۱]. نقاط کربن بر اساس ساختار درونی خود دسته‌بندی شده‌اند. نقاط کربن، طبق این تقسیم‌بندی به نقاط کوانتومی گرافن، نانونقاط کربن (carbon nanodots)، و نقاط بسپاری دسته‌بندی می‌شوند [۲]. نقاط کوانتومی گرافن معمولاً اشاره به خرده‌های نانویی تک لایه یا چند لایه با اندازه ذرات کمتر از ۱۰ نانومتر حاصل از شکسته شدن صفحات گرافن دارند که دارای نشر فلورسانس هستند. گرافن اصلاً این ویژگی فلورسانسی را ندارد. نانونقاط کربن، به طور کلی معرف ذرات کروی کربن متشکل از کربن با هیبرید  $sp^2$  یا تجمعی از ذرات

به توزیع مناسب اندازه ذرات از گریزانه تدریجی سوسپانسیون حاوی نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده استفاده شد.

## ۲- روش سنتز و دستگاه های مشخصه یابی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و تجهیزات

برای سنتز تک مرحله‌ای نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن؛ از پیش ماده‌های سیتریک اسید و اوره ساخت شرکت مرک با درصد خلوص بیش از ۹۹ درصد، بترتیب به عنوان منبع کربن و منبع نیتروژن استفاده شد. برای تشکیل نقاط کوانتومی کربنی از یک دستگاه تابش میکروویو با توان ۸۰۰ وات و برای مرتب‌سازی اندازه نانوذرات سنتز شده و کاهش توزیع اندازه ذرات، از یک دستگاه گریزانه با نیروی گریز از مرکز متفاوت استفاده شد.

الگوی پراش پرتو ایکس با دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس (X'Pert PRO MPD, PANalytical Company) با تابش Cu-K $\alpha$  با طول موج  $\lambda=1/54.06 \text{ \AA}$  ثبت شد. طیف جذب فرابنفش - مرئی با دستگاه طیف‌سنجی Avaspec 2048 تولید شرکت Avantes هلند ثبت شد. طیف فوتولومینسانس با دستگاه طیف‌سنج لومینسانس LS55 تولید شرکت PerkinElmer امریکا ثبت شد.

### ۲-۲- سنتز نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن

برای سنتز تک مرحله‌ای نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن؛ مقادیر وزنی برابر از پیش‌ماده‌های سیتریک اسید و اوره به ۱۰ میلی لیتر آب مقطر افزوده شد. به منظور دستیابی به محلول همگن و شفاف، بمدت ۱۰ دقیقه مواد درون بشر هم‌زده شدند. سپس، محلول به دست آمده به مدت ۵ دقیقه تحت تابش میکروویو ۸۰۰ وات قرار گرفت و ترکیبی قهوه‌ای رنگ مایل به سیاه حاصل شد. ترکیب به دست آمده به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس، ماده حاصل که شامل نقاط کوانتومی کربنی با اندازه‌های گوناگون و توزیع اندازه ذرات وسیع است، در محیط آبی آسیاب شد. به مخلوط آسیاب شده، آب مقطر افزوده شد و مدتی به حال سکون قرار گرفت. سوسپانسیون از ذرات ته نشین شده جدا و برای

فرایند کربونیزاسیون؛ این مشکل را معمولاً با استفاده از روش‌های سنتز الکتروشیمیایی، پیرولیز محدود شده یا محلول‌های شیمیایی می‌توان بر طرف کرد، ب) کنترل اندازه و یکنواختی ذرات؛ برای داشتن ویژگی‌های یکسان و مطالعات مکانیزه اهمیت دارد و برای بهینه کردن اندازه و یکنواختی ذرات، می‌توان از عملیات دیالیز، فیلتراسیون، ژل-الکتروفورز، گریزانه و کروماتوگرافی ستونی بهره برد، پ) ویژگی‌های سطحی؛ برای انحلال پذیری و کاربردهای خاص می‌توان در حین عملیات آماده سازی و یا پس از آن سطح نقاط کوانتومی کربنی را تغییر داد [۳]. مطالعات انجام شده بیانگر این است که ساختار شیمیایی، منشاء فوتولومینسانس نقاط کوانتومی کربنی است. این ساختار شامل هسته مزدوج گرافیتی و گروه‌های عاملی موجود در سطح نقاط کوانتومی کربنی است. بازده کوانتومی فوتولومینسانس نقاط کوانتومی کربنی چالش دیگر پژوهشگران است. به دلیل حضور حالت‌های تله انرژی سطح ناشی از گروه‌های عاملی، مسیرهای غیرتابشی مانع از بازده مناسب می‌شود و تعدد این گروه‌های عاملی موجب نشر وابسته به طول موج تحریک می‌شود. از طریق اصلاح سطح می‌توان بازده و طول موج نشر را تنظیم نمود و برای کاربرد خاص، سطح این ذرات را اصلاح کرد [۸ و ۹]. برای سنتز نقاط کوانتومی کربنی از روش‌های متنوعی مانند فرسب لیزری، فرسب شیمیایی، کربنیزاسیون الکتروشیمیایی [۵]، تابش میکروویو [۱۰ و ۱۱]، هیدروترمال [۱۲] و سولوترمال [۱۳] بهره برده می‌شود. در اغلب این روش‌ها به جزء روش کربونیزاسیون الکتروشیمیایی کنترل اندازه ذرات ضعیف است. روش‌های فرسب لیزری، تابش میکروویو و آب‌گرمایی و حلال گرمایی سریع هستند. روش‌های تابش میکروویو، آب‌گرمایی و حلال گرمایی (دوستدار محیط زیست) زیست سازگار هستند. بازده کوانتومی روش فرسب لیزری پایین و حالت‌های سطحی قابل تنظیم است. فرسب شیمیایی چند مرحله و کربونیزاسیون الکتروشیمیایی تک مرحله است [۳ و ۱۴].

هدف این مقاله بررسی ویژگی‌های فلورسانسی نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن است. در این مقاله برای سنتز نقاط کوانتومی کربن آلییده با نیتروژن از روش میکروویو استفاده شد و پیش ماده‌های سیتریک اسید و اوره بترتیب به عنوان منبع کربن و منبع نیتروژن به کار برده شدند و برای کنترل و دستیابی

می‌دهد که یاخته بسیط نمونه ساخته شده با این روش منقبض شده است. دلیل این موضوع می‌تواند اتم‌های نیتروژن موجود در ساختار نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده باشد. همچنین می‌تواند به دلیل فقدان اتم‌های کربن برای شعاع‌های بزرگتر از اندازه شعاع نقطه کوانتومی که با افزایش نسبت سطح به حجم در نقاط کوانتومی کربنی تولید شده است، سبب افزایش جاذبه پیوندی در درون نانوذره و انقباض آن شود.

### ۳-۲- بررسی ویژگی‌های طیف جذب فرابنفش- مرئی

نقاط کوانتومی کربنی معمولاً دارای جذب نوری در ناحیه فرابنفش با یک دنباله (دم) که به ناحیه مرئی گسترش می‌یابد، هستند. طیف جذب نوری نقاط کوانتومی کربنی دارای دو باند اصلی است که قله‌های آنها در طول موج‌های حدود ۲۵۰ و ۳۵۰ نانومتر قرار دارند [۱۵]. قله موجود در طول موج حدود ۲۵۰ نانومتر مربوط به گذارهای  $\pi-\pi^*$  پیوندهای C=C آروماتیک شبکه کربن است در حالیکه قله موجود در طول موج حدود ۳۵۰ نانومتر مربوط به گذارهای  $n-\pi^*$  ساختارهای دارای اکسیژن و نیتروژن در لبه ساختار کربن است [۱۶]. ترکیبات فوق‌العاده رنگی که دارای یک سیستم زنجیره مزدوج طولی (long-chain conjugated system) یا یک رنگ ساز آروماتیک چند حلقه‌ای هستند در ناحیه مرئی جذب دارند [۱۶]. شکل ۲ طیف جذب فرابنفش- مرئی برای نمونه‌های نقاط کوانتومی کربنی ساخته شده را نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود، برای نقاط کوانتومی کربنی با ذرات درشت (نمونه A) قله‌های جذب در طول موج‌های ۴۱۸ و ۲۵۶ نانومتر و شانه‌های جذب در طول موج‌های ۳۱۴ و ۲۸۰ نانومتر دیده می‌شود. برای نقاط کوانتومی کربنی با ذرات ریز (نمونه B) قله‌های جذب در طول موج‌های ۴۰۸، ۳۴۰ و ۲۴۰ نانومتر و شانه‌ی جذب در طول موج ۲۷۶ نانومتر دیده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش اندازه نقاط کوانتومی کربنی جابجایی به سمت ناحیه آبی رخ داده است.

مرتب‌سازی اندازه نانوذرات سنتز شده و کاهش توزیع اندازه ذرات، از دستگاه گریزانه با نیروی گریز از مرکز متفاوت استفاده شد. ابتدا نانوذرات ته‌نشین شده با نیروی گریز از مرکز ۴۷۰ جداسازی و با حرف A نام‌گذاری شدند که دارای بزرگترین اندازه نقاط کوانتومی کربنی ساخته شده با این روش هستند. سپس، محلول باقیمانده با نیروی گریز از مرکز ۶۷۱۰ گریزانه شد. نانوذرات باقیمانده در محلول که ته‌نشین نشدند با حرف B نام‌گذاری شد. این ذرات دارای کوچکترین اندازه نقاط کوانتومی کربنی ساخته شده با این روش هستند.

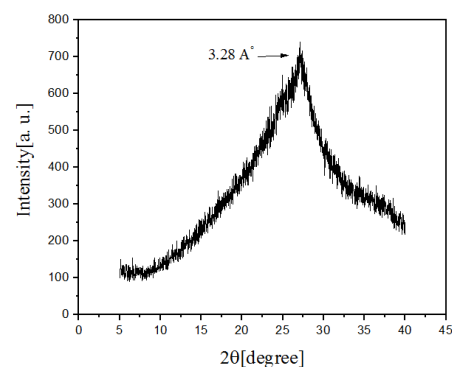
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی ویژگی‌های ساختاری

الگوی پراش پرتو ایکس نمونه B نقاط کوانتومی کربن آلیپیده با نیتروژن در شکل ۱ نشان داده شده است. این الگو دارای یک قله پهن در زاویه  $2\theta = 27/01^\circ$  درجه است که بر اساس کارت مرجع (۱۴۸۷-۴۱) و گزارش دیگر مقالات [۱۰]، مربوط به نقاط کوانتومی کربن (گرافیت) با ساختار شش‌گوشی است. پهنای بزرگ قله پراشی حکایت از اندازه بسیار کوچک نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده است. اندازه فاصله صفحات بلوری، d، با توجه به زاویه پراش  $\theta$  از رابطه براگ،

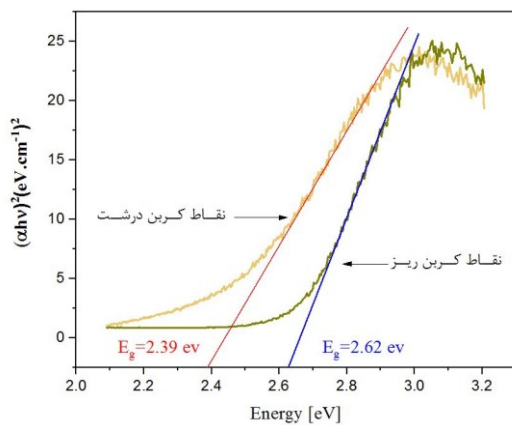
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

تعیین شد و برابر ۳/۲۸ نانگستروم محاسبه شد. این قله پهن مربوط به صفحه بلوری (۰۰۲) با بیشترین شدت در کارت‌های مرجع گزارش شده است و این اندازه از مقدار ۳/۳۷۵۶۳ نانگستروم گزارش شده در کارت مرجع کوچکتر است. این نتیجه نشان



شکل ۱: الگوی پراش پرتو ایکس نقاط کوانتومی کربن آلیپیده با نیتروژن

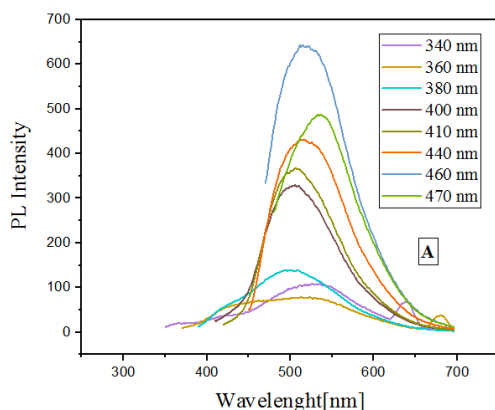
اندازه بزرگتر از ۵ نانومتر و نمونه B دارای اندازه ذراتی کوچکتر از ۵ نانومتر است.



شکل ۳: گراف نوری نقاط کوانتومی کربنی با اندازه ذرات درشت و ریز

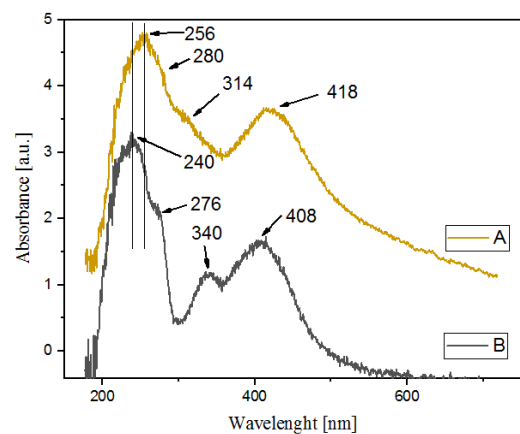
### ۳-۳- بررسی ویژگی‌های طیف فوتولومینسانس

یکی از جالب‌ترین ویژگی‌های نقاط کوانتومی کربنی هم از دیدگاه بنیادین و هم برای کاربردهای خاص، ویژگی فوتولومینسانس آن‌ها است. طیف نشر فوتولومینسانس نقاط کوانتومی کربنی وابسته به طول موج تحریک است. بطوریکه با افزایش طول موج تحریک، طول موج نشر فوتولومینسانس نیز ابتدا افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، یک جابه‌جایی قرمز مشاهده می‌شود. سپس، در طول موج تحریک معینی بیشترین نشر فوتولومینسانس اتفاق می‌افتد و با افزایش بیشتر طول موج تحریک نشر فوتولومینسانس کاهش می‌یابد.



شکل ۴: طیف فوتولومینسانس نقاط کوانتومی کربن آلاینده با نیتروژن (A)

این ویژگی در نمودار فوتولومینسانس ذرات با اندازه درشت نقاط کربن آلاینده با نیتروژن نمونه A (شکل ۴) و همچنین نمودار



شکل ۲: طیف جذب فرابنفش - مرئی نقاط کوانتومی کربنی آلاینده با نیتروژن

همچنین، برای ذرات درشت به دلیل توزیع اندازه گسترده تر قله‌ها با ارتفاع کمتر به صورت شانه دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد که تغییر اندازه ذرات می‌تواند موجب تغییر ویژگی‌های نوری اصلی نقاط کوانتومی کربنی شود. قله مربوط به گذارهای  $\pi-\pi^*$  پیوندهای C=C آروماتیک شبکه کربن در طول موج حدود ۲۵۰ نانومتر در هر دو نمونه با اندازه ذرات درشت و ریز دیده می‌شود. اما با کوچک شدن اندازه ذرات قله موجود در طول موج حدود ۳۵۰ نانومتر مربوط به گذارهای  $\pi-\pi^*$  تنها در نمونه با اندازه ذرات ریز دیده می‌شود. این موضوع می‌تواند به دلیل غالب شدن آثار سطحی در نمونه با اندازه ذرات ریز باشد که نسبت سطح به حجم آنها افزایش یافته است و پیوندهای نیتروژن در سطح منشاء غالب جذب در این طول موج است.

شکل ۳، نمودار تاوک نقاط کوانتومی کربنی درشت و ریز که با استفاده از طیف جذب فرابنفش - مرئی رسم شده است را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار گاف نوری مستقیم برای نقاط کوانتومی کربنی درشت و ریز بترتیب ۲/۳۹ و ۲/۶۲ الکترون ولت به دست آمد که نشان دهنده این است که با کاهش اندازه ذرات گاف اپتیکی نقاط کوانتومی کربنی افزایش یافته است. این گاف اپتیکی با طیف فوتولومینسانس نقاط کربن آلاینده با نیتروژن با اندازه ریز و درشت مطابقت خوبی دارد. محمود ثابت و همکارانش، نقاط کوانتومی کربنی را از چمن به روش هیدروترمال با میانگین اندازه ذرات حدود ۵ نانومتر سنتز نمودند و گاف انرژی آن را ۲/۵ الکترون ولت اندازه‌گیری کردند [۱۷]. در مقایسه با پژوهش ایشان می‌توان نتیجه گرفت که نمونه A دارای ذراتی با

در طول موج حدود ۴۵۵ نانومتر مشاهده می‌شود که در تحریک با طول موج ۳۶۰ نانومتر شدت گسیل بهتری را نتیجه می‌دهد. اما با افزایش طول موج به ۳۸۰ نانومتر شدت گسیلی در این طول موج کاهش می‌یابد و طول موج گسیلی دیگری در طول موج حدود ۵۱۲ نانومتر ظاهر می‌شود.

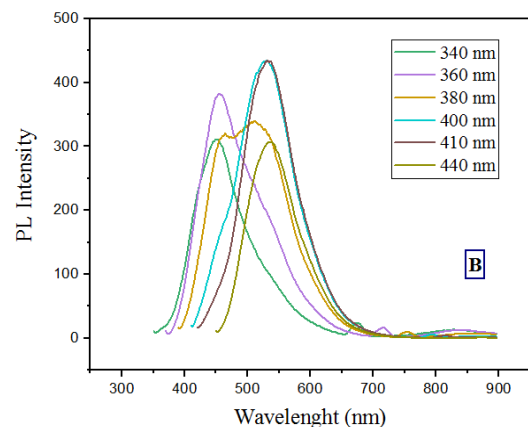
با تغییر طول موج تحریک به طول موج های ۴۰۰ و ۴۱۰ نانومتر طول موج گسیلی ۴۵۵ نانومتر حذف و طول موج گسیلی ۵۱۲ نانومتر به ۵۳۰ نانومتر جابجا شده و بیشترین شدت مربوط به این طول موج‌ها می‌باشد. با افزایش بیشتر طول موج تحریک، شدت گسیل این طول موج نیز کاهش می‌یابد. پس بهترین طول موج های تحریک نمونه B برای گسیل در طول موج ۴۵۵ نانومتر تحریک با طول موج ۳۶۰ نانومتر است که نور تحریک فرابنفش را به رنگ آبی تابش می‌کند. همچنین، برای گسیل نور سبز با طول موج ۵۳۰ نانومتر، در نمونه B بهترین طول موج تحریک ۴۰۰ نانومتر است. یکی از دلایل این رفتار می‌تواند توزیع اندازه باریک و اندازه ذرات ریز در نمونه B باشد. در نقاط کوانتومی کربنی نشر وابسته به اندازه، ناشی از اندازه هسته گرافیتی و اثر محدودیت کوانتومی است. نشر وابسته به طول موج تحریک ناشی از حالت‌های نقص سطح بواسطه گروه‌های عاملی موجود در سطح هسته گرافیتی (نقاط کوانتومی کربنی) است. مسئول برخی از طول موج‌های نشر، فلونئورفورهای مولکولی (مولکول‌های لومینسانس واسط) سنتز شده در دماهای پایین و همچنین، آرایش نقاط کوانتومی کربن با اتم های هترواتم مانند (N, S, Br, ...) است. در گزارش یانگ [۱۱]، نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده به روش آب گرمایی در طول موج تحریک ۴۰۰ نانومتر، دارای تابش بهینه در طول موج ۴۵۵ نانومتر بودند که ۴۰ نانومتر از طول موج تحریک این مقاله بیشتر است. همچنین در گزارش میترا [۱۳]، نقاط کوانتومی کربن در طول موج تحریک ۳۵۰ نانومتر، دارای تابش بهینه در طول موج ۴۴۵ نانومتر بوده‌اند. تفاوت نتایج می‌تواند ناشی از اندازه ذرات و حالت‌های سطحی گروه‌های عاملی موجود در سطح نانوذرات باشد [۴ و ۱۱].

برخلاف نتایج این پژوهش و گزارشات مشابه [۲، ۱۴ و ۱۵]، لیو و همکارانش نقاط کوانتومی کربنی را از پیش ماده فولیک اسید

فوتولومینسانس ذرات با اندازه ریز نقاط کربن آلیبده با نیتروژن نمونه B (شکل ۵) به خوبی مشاهده می‌شود، که توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است [۳ و ۱۴].

با توجه به نمودار طیف فوتولومینسانس، نمونه A در طول موج‌های تحریک ۳۴۰، ۳۶۰ و ۳۸۰ فوتولومینسانس ناچیزی دارد. این نتیجه با طیف جذب فرابنفش - مرئی که در طول موج ۳۵۰ نانومتر قله جذبی را نشان نمی‌داد همخوانی خوبی دارد. اما در طول موج‌های تحریک ۴۰۰، ۴۱۰، ۴۴۰، ۴۶۰ و ۴۷۰ نانومتر بترتیب طول موج های گسیلی ۵۰۵، ۵۰۷، ۵۱۵، ۵۱۸ و ۵۳۶ نانومتر مشاهده می‌شود که همگی در ناحیه سبز طیف مرئی قرار دارند. با افزایش طول موج تحریک، ابتدا شدت طول موج گسیلی افزایش می‌یابد، بطوریکه بیشینه شدت گسیل مربوط به طول موج تحریک ۴۶۰ نانومتر است و پس از آن شدت گسیل کاهش می‌یابد. پس بهترین طول موج تحریک نمونه A مربوط به طول موج ۴۶۰ نانومتر با گسیل نور سبز در طول موج ۵۱۸ نانومتر است. همچنین، با افزایش طول موج تحریک، طول موج گسیل کمی جابجایی به سمت قرمز را نشان می‌دهد.

این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که وابستگی طول موج نشر به طول موج تحریک در نمونه ما وابسته به حالت های سطحی متفاوت ناشی از تله‌های سطحی متفاوت است که با مسیرهای غیرتابشی نیز همراه است. این موضوع در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است [۸].



شکل ۵: طیف فوتولومینسانس نقاط کوانتومی کربن آلیبده با نیتروژن (B)

با توجه به نمودار طیف فوتولومینسانس نمونه B، در طول موج های تحریک ۳۴۰ و ۳۶۰ نانومتر تنها یک طول موج گسیلی



- [1] X. Xu, R. Ray, Y. Gu, H. J. Ploehn, L. Gerheart, K. Raker, W. A. Scrivens, "Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments," *Journal of the American Chemical Society*, 126, 12736-12737, 2004.
- [2] Y. Song, S. Zhu, B. Yang, "Bioimaging based on fluorescent carbon dots," *RSC Advances*, 4, 27184-27200, 2014.
- [3] Y. Wang and A. Hu; "Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications"; *Journal of Materials Chemistry C*, 2, 6921-6939, 2014.
- [4] M. Tuerhong, X. Yang, Y. Xue-BO, "Review on Carbon Dots and Their Applications," *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 45, 139-150, 2017.
- [5] L. Lin, Y. Luo, P. Tsai, J. Wang, X. Chen; "Metal Ions Doped Carbon Quantum Dots: Synthesis, Physicochemical Properties, and Their Application," *Trends in Analytical Chemistry*, 103, 87-101, 2018.
- [6] M. Ashrafzadeh, R. Mohammadinajad, S. Kumar Kailasa, Z. Ahmadi, E. Ghasemipour, A. Pardakhty, "Carbon dots as versatile nanoarchitectures for the treatment of neurological disorders and their theranostic applications: A review," *Advances in Colloid and Interface Science*, 278, 102123-102135, 2020.
- [7] M. Wang, M. Li, A. Yu, Y. Zhu, M. Yang, C. Mao, "Fluorescent Nanomaterials for the Development of Latent Fingerprints in Forensic Sciences," *Advanced Functional Materials*, 14, 1606243-1606260, 2017.
- [8] M. Kumar Barman, A. Patra, "Current Status and Prospects on Chemical Structure Driven Photoluminescence behavior of Carbon Dots," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 37, 1-22, 2018.
- [9] M. Pajewska-Szmyt, B. Buszewski and R. Gadzala-Kopciuch, "Sulphur and nitrogen doped carbon dots synthesis by microwave assisted method as quantitative analytical nano-tool for mercury ion sensing," *Materials chemistry and Physics*, 242, 122484-122493, 2020.

به روش آب گرمایی با بازده بالا سنتز کردند. آنها بیان می‌کنند که نقاط کوانتومی کربنی سنتز شده دارای بازده کوانتومی فوتولومینسانس بالا و نشر فوتولومینسانس مستقل از طول موج تحریک است و این موضوع را مرتبط با غیر فعال سازی سطح که بر نمونه خود انجام داده‌اند، دانسته و حالت های سطحی را در این نمونه تک انرژی می‌دانند و معتقدند که همه الکترون های تحریک شده با تابش به حالت پایه گذار می‌کنند [۱۲ و ۱۷].

## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، نقاط کوانتومی کربن آلیایده با نیتروژن با روش میکروویو تحت تابش میکروویو ۸۰۰ وات در محیط آبی به صورت تک مرحله سنتز شدند و سپس، با استفاده از دستگاه گریزانه با نیروی گریز از مرکز متفاوت توزیع متفاوت از اندازه نانوذرات بدست آمد. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه تأیید کننده تشکیل فاز نقاط کوانتومی کربن آلیایده با نیتروژن بود و پهنای بزرگ قله پراشی حکایت از بسیار کوچک بودن اندازه ذرات داشت. یاخته بسیط نمونه ساخته شده با این روش نسبت به نمونه مرجع انقباض داشت. طیف فرابنفش - مرئی نمونه ها جابه جایی آبی با کاهش اندازه ذرات را داشت که نشان می دهد تغییر اندازه ذرات می‌تواند موجب تغییر ویژگی‌های نوری اصلی نقاط کوانتومی کربنی شود. طیف فوتولومینسانس نشان داد که با کاهش اندازه ذرات افزون بر گسیل در ناحیه سبز با طول موج ۵۳۰ nm، در ناحیه آبی طیف مرئی با طول موج ۴۵۵ nm گسیل خواهد داشت که نقاط کوانتومی کربن آلیایده با نیتروژن را کاندیدای مناسب برای کاربردهایی از قبیل زیست پزشکی و نمایان سازی اثر انگشت پنهان، می سازد. بهترین طول موج تحریک نمونه با اندازه ذرات درشت مربوط به طول موج ۴۶۰ نانومتر با گسیل نور سبز در طول موج ۵۱۸ نانومتر است و بهترین طول موج های تحریک نمونه با اندازه ذرات ریز برای گسیل در طول موج ۴۵۵ نانومتر تحریک با طول موج ۳۶۰ نانومتر است که نور تحریک فرابنفش را به رنگ آبی تابش می کند. همچنین، برای گسیل نور سبز با طول موج ۵۳۰ نانومتر، برای نمونه با اندازه ذرات ریز بهترین طول موج تحریک ۴۰۰ نانومتر است.

## مراجع

- [10] S. Yang, X. Sun, Z. Wang, X. Wang, G. Guo, Q. Pu; "Anomalous Enhancement of Fluorescence of Carbon Dots through Lanthanum Doping and Potential Application in Intracellular Imaging of Ferric Ion," *Nano Research*, 11, 1369-1378, 2017.
- [11] P. Yang, Z. Zhu, M. Chen, W. Chen, X. Zhou, "Microwave-assisted Synthesis of Xylan-derived Carbon Quantum Dots for Tetracycline Sensing," *Optical Materials*, 85, 329-336, 2018.
- [12] H. Liu, Z. Li, Y. Sun, X. Geng, Y. Hu, H. Meng, J. Ge, L. Qu, "Synthesis of Luminescent Carbon dots with ultrahigh Quantum Yield and Inherent Folate Receptor Positive Cancer Cell Target ability," *Scientific Reports*, 8, 1086-1094, 2018.
- [13] S. Mitra, S. Chandra, S. H. Pathan, N. Sikdar, P. Pramanik, A. Goswami, "Room Temperature and Solvothermal Green Synthesis of Selfpassivated Carbon Quantum Dots," *RSC Advances*, 3, 3189-3193, 2013.
- [14] K. J. Mintz, Y. Zhou, R. M. Leblanc, "Recent Development of Carbon Quantum Dots Regarding their Optical Properties, Photoluminescence Mechanism, and Core Structure," *Nanoscale*, 11, 4632-4652, 2019.
- [15] C. M. Carbonaro, R. Corpino, M. Salis, F. Mocchi, S. V. Thakkar, Ch. Olla, P. C. Ricci, "On the Emission Properties of Carbon Dots: Reviewing Data and Discussing Models," *Journal of Carbon Research C*, 5, 60, 2019.
- [16] D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, J. A. Vyvyan, "Introduction to Spectroscopy," Cengage Learning; 5 Edition, USA, 2015.
- [17] M. Sabet, K. Mahdavi, "Green Synthesis of High Photoluminescence Nitrogen-doped Carbon Quantum Dots from Grass via a Simple Hydrothermal Method for Removing Organic and Inorganic Water Pollutions," *Applied Surface Science*, 463, 283-291, 2019.



# Nanoparticle Size Effect Investigation of Nitrogen-doped Carbon Quantum Dots with their Fluorescence Properties

R. Ghasemi Chaleshtori<sup>1</sup>, S. Manouchehri<sup>2\*</sup>, A. Arab<sup>2</sup>

1 Institute of optic and laser, Faculty of Science, University, Malek Ashtar University of Technology

2 Department of Physics, Faculty of Science, Malek Ashtar University of Technology

**Abstract:** In this study, the nitrogen-doped carbon quantum dots were synthesized via microwave method using citric acid and urea precursors in a homogeneous aqueous solution. A centrifuge machine was used to eliminate large particles from the samples and to sort nanosized particles with variable centrifugal forces. X-ray diffraction pattern was obtained in order to study the formation of crystalline structure type of the sample and the size of crystallite. The broadening of peak indicated the nanosized formation of synthesized particles. Optical properties of the samples were examined by ultraviolet-visible and photoluminescence spectrometers. The absorption peaks wavelengths depended on particle sizes and had blue shift by decreasing of particle sizes. The Tauc plot indicated that energy gap increased from 2.39 eV to 2.62 eV with decreasing particle size. Emission peaks of nitrogen-doped carbon quantum dots, under the excitation of ultraviolet light, had fluorescence radiations in the visible spectral region of the green-blue.

**Keywords:** carbon quantum dots, nitrogen doped, microwave method, photoluminescence, fluorescence