Modares Journal of Biotechnology Volume 11, Issue 1, Winter 2020 Pages: 77-84 Type: Original Research

Encapsulation Carbon Quantum Dots in Alginate Hydrogel for Use as Mercury Sensor

Roshani Sh.¹ MSc, Ehtesabi H.¹ PhD, Bagheri Z.^{*1} PhD

¹ Life Sciences & Biotechnology Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Mercury is one of the most harmful pollutants in the environment, which in the event of ingestion into the human body is not metabolized and severe nervous, respiratory and metabolic disorders will occur due to the formation of stable complexes with biological molecules. Therefore, the development of precise, fast and inexpensive methods for mercury detection in the environment is very important. Carbon guantum dot is a new fluorescent substance with unique physical and chemical properties which is taken into consideration for diagnostic applications, especially for heavy metals detection at low concentrations. In the present study, carbon dots with blue fluorescent emission were synthesized using the pyrolysis method and characterized. Fluorescent emission intensity of synthesized carbon dots was decreased significantly in interacting with mercury. Then, for providing an easy-to-use mercury detection method, carbon dot was encapsulated in sodium alginate hydrogel. Quenching fluorescent intensity of encapsulated carbon dots in the hydrogel structure was evaluated in the presence of mercury and 3 micromolar detection limit was obtained. Encapsulating carbon dots in hydrogel structure not only extend the use of carbon dot as a mercury sensor but also can be used as an adsorbent for mercury pollutant from the environment.

Keywords Carbon Quantum Dots [Not in MeSH]; Heavy Metal [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68019216]; Hydrogel [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68020100]; Mercury Sensor [Not in MeSH]

Corresponding Author Tel: -

Fax:

Post Address: Life Sciences & Biotechnology Faculty, Shahid Beheshti University, Daneshjou Boulevard, Velenjak, Tehran, Iran. Postal Code: 1983969411 ze_bagheri@sbu.ac.ir Received: June 18, 2019 Accepted: September 7, 2019 ePublished: March 14, 2020

کپسولهکردن نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات بهمنظور استفاده بهعنوان حسگر جیوه

شبنم روشنی MSc

دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران **حمیده احتسابی PhD** دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

زينب باقرى^{*} PhD

دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیدہ

جیوه از خطرناکترین آلایندههای زیست- محیطی است که در صورت ورود به بدن انسان متابولیزه نمیشود و با تشکیل کمپلکسهای پایدار با مولکولهای زیستی اختلالات عصبی، تنفسی و متابولیکی متعددی را در پی خواهد داشت. بنابراین توسعه روشهای دقیق، سریع و ارزان برای تشخیص جیوه در محیط زیست اهمیت زیادی دارد. نقطه کوانتومی کربنی یک ماده فلورسنت جدید با خواص فیزیکی و شیمیایی منحصربهفردی است که برای کاربردهای تشخیصی بهخصوص برای تشخیص فلزات سنگین در غلظتهای کم مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر، نقاط کوانتومی کربنی با نشر فلورسنت آبی با استفاده از روش پیرولیز سنتز و مشخصهیابی شد. نشر فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده در میانکنش با جیوه به میزان قابل توجهی کاهش یافت. در ادامه برای سهولت استفاده از این ماده برای تشخیص جیوه در هیدروژل آلژیناتسدیم انکپسوله شد. امکان خاموشسازی توسط جیوه در ساختار هیدروژل ارزیابی شد و کمترین غلظت قابل شناسایی جیوه در ساختار جدید برابر ۳میکرومولار به دست آمد. استفاده از ساختار هیدروژلی علاوه بر اینکه سبب گسترش کاربردهای حسگر جیوه می شود، می تواند برای حذف جیوه از محیط نیز به کار رود. كليدواژهها: نقاط كوانتومی كربنی، فلزات سنگین، هیدروژل، حسگر جیوه

> تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۶ *نویسنده مسئول: ze_bagheri@sbu.ac.ir

مقدمه

فلزات سنگین از جمله آلایندههای زیست محیطی هستند که مواجهه انسان با بعضی از آنها از طریق آب و مواد غذایی میتواند مسمومیت های خطرناکی را ایجاد کند^[2,1]. از اساسی ترین مسایل در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیزه شدن و به دنبال آن تجمع در اندامهای حساسی نظیر کبد و کلیه ها است. همچنین فلزات سنگین جایگزین املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن و سبب اختلالات عصبی، تنفسی، غدد، کمخونی و غیره می شوند^[3] در این میان ارزیابی و تعیین دقیق میزان آلودگی با توجه به مکان و نمونه مورد بررسی نیازمند توسعه و ساخت ابزارهای دقیق اندازه گیری است. در حال حاضر فلزات سنگین با تکنیک های مختلفی نظیر ولت سنجی، اسپکتروسکوپی فلورسانس اشعه ایکس سنجیده می شوند^[1, 4, 1] با اینکه این روش ها حساسیت بالایی نسبت به حضور فلزات سنگین در محیط دارند، معمولاً نیازمند ابزارهای دقیق

و اپراتورهایی آموزش دیده هستند. در حالی که "پایش بهصورت لحظه به لحظه" و "در موقعیت لازم" با استفاده از این روشها بهسختی قابل دستیابی است. طراحی و ساخت حسگری که در عین داشتن حساسیت بالا برای آلودگیهای فلزات سنگین (بهخصوص فلز جیوه که در مقادیر کم نیز خطرناک است) دارای مزیتهایی نظیر بهصرفهبودن و قابل حملبودن باشد، گسترش کاربردهای آن را در پی خواهد داشت ومیتوان در مکانهای فاقد امکانات آزمایشگاهی از آن استفاده کرد^[8-6].

نقاط کوانتومی کربنی دستهای از نانومواد کربنی صفر بعدی هستند که طولی کمتر از ۱۰نانومتر دارند^[9, 10]. این مواد دارای شبکه بلوری واضحی هستند که در آنها فاصله لایههای گرافیت از یکدیگر ۳٤/٥٠نانومتر است[11-13]. سطح نقاط کوانتومی کربنی با گروههای عاملی مختلفی مانند اپوکسی، کربونیل، هیدروکسیل و کربوکسیل پوشیده شده است که باعث افزایش آبدوستی و آمادگی آنها برای عملکردی کردن با گونههای مختلف آلی، پلیمری و زیستی میشود ^[2] [12, 14]. مهمتر از همه، نقاط کوانتومی کربنی خواص اپتیکی خاصی همچون فوتولومینسانس از محدوده فرابنفش دور تا مادون قرمز نزدیک دارند که از طریق کنترل اندازه، واردکردن ناخالصی در آنها و اصلاح سطح و لبههای آنها قابل تنظیم است^[1, 11, 15]. داشتن چنین ویژگیهایی نظیر حلالیت آبی خوب، سمیت کم و زیستسازگاری بالا^[16, 17]، خواص فیزیکو شیمیایی منحصربهفردشان نظیر بازده کوانتومی بالا، پایداری نوری زیاد و غیره سبب شده است که نقاط کوانتومی کربنی برای کاربردهای تشخیصی بهخصوص برای تشخیص فلزات سنگین در غلظتهای کم مورد توجه قرار بگیرند. در حسگرهای جیوهای که بر مبنای نقاط کوانتومی کربنی عمل میکنند، میانکنش یون جیوه با این نانوذرات کاهش شدت فلورسانس را در پی دارد. گروههای کربوکسیل و هیدروکسیل سطحی نقاط کوانتومی کربنی با جیوه میانکنش میدهند و کمپلکسی از یونهای جیوه و نقاط کوانتومی کربنی ایجاد میشود. در كمپلكس ایجادشده تغییراتی در ساختار الكترونی نقاط كوانتومی كربنى ايجاد مىشود كه از طريق انتقالات الكترونى، نوتركيبى غیرتابشی اگزایتونها تسهیل و به خاموشی فلورسانس این نانوذرات منجر می شود.

هیدروژلها، شبکههای سه بعدی انعطاف پذیری از پلیمرهای حلال در آب هستند که برای انکپسوله کردن انواع مختلفی از مولکولهای زیستی و نانوذرات مورد استفاده قرار می گیرند. هیدروژلها بهطور کلی به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول هیدروژلهایی هستند که بهصورت دمایی غیربرگشت پذیر هستند و مولکولهای ژل شونده با پیوندهای کوالانسی دارای اتصالات عرضی شدهاند. دسته دوم هیدروژلهایی هستند که بهصورت دمایی برگشت پذیر هستند و مولکولهای ژل شونده آن با میان کنش های ضعیف فیزیکی کنار هم قرار گرفته اند^[10-18]. هیدروژلها کاربردهای متنوعی دارند که از آن جمله می توان به مهندسی بافت، انتقال دارو و ایمپلنتهای درمانی اشاره کرد^[25-20]. کامپوزیت های هیدروژل با نانوذارت در کاربردهای

تشخیصی زیستی نیز به کار رفتهاند. در بررسی انجام شده توسط *پاچکو* و همکاران، از هیدروژل اکریلاتی برای انکپسوله کردن نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده به روش شیمی سبز و از نانوکامپوزیت تهیه شده به عنوان بستر قابل حمل برای سنجش ترکیبات آروماتیک استفاده شده است^[26].

در این مطالعه سنتز نانوکامپوزیت آلژینات- نقاط کوانتومی کربنی به هدف سنجش جیوه انجام شده است. به این منظور ابتدا نقاط کوانتومی کربنی با خاصیت فلورسنت بالا سنتز شده است. قطر و توزیع اندازه نقاط کوانتومی کربنی ساختهشده با استفاده از نستهای روش تفرق دینامیک نور و میکروسکوپ الکترونی عبوری انجام شد. با استفاده از روش اسپکتروفلوریمتری، نشر فلورسانس نانوذرات سنتزشده ارزیابی و بازده کوانتومی محاسبه شد. سپس نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات انکپسوله شدند و برای تشخیص جیوه مورد استفاده قرار گرفتند. با بررسی میزان تغییرات شدت فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی انکپسولهشده، مقدار جیوه شدت فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی انکپسولهشده، مقدار جیوه پتانسیل بالایی در تشخیص جیوه از خود نشان داد و میتوان بهآسانی مقادیر بسیار جزیی جیوه را با استفاده از ساختار تهیهشده

مواد و روشها _{مواد}

سیتریکاسید، سدیمهیدروکسید و کلسیمکلرید (مرک؛ آلمان) و سدیمآلژینات، جیوهکلرید و کوئینینسولفات (سیگما آلدریچ؛ ایالات متحده) تهیه و به همان شکل اولیه استفاده شدند.

سنتز نقاط کوانتومی کربنی و بهینهسازی شرایط سنتز

تكنيكهاى مختلفى براى ساخت نقاط كوانتومى كربنى فلورسانسى گزارش شده است كه در اين ميان پيروليز سيتريكاسيد بهعنوان يك روش پايين به بالاى آسان توانايى توليد نقاط كوانتومى كربنى با توزيع يكسان اندازه و ساختار را دارد. در اين روش مىتوان با كربنى سنتزشده را كنترل كرد و علاوه بر اين بهعلت استفاده از يک پيشماده، بازده محصول نهايى زياد است^[1]. با توجه به مزاياى بيانشده در اين مطالعه از روش پيروليز سيتريكاسيد براى سنتز نقاط كوانتومى كربنى استفاده شد. بهطور كلى يكگرم سيتريكاسيد بدون آب بهعنوان ماده در دماى $2^\circ -17$ به مدت ٥٠ دقيقه حرارت داده شد. مايع بهدستآمده با استفاده از محلول سيتريكاسيد راى سنتز ماداده شد. مايع بهدستآمده با استفاده از محلول سديم مادر تا رسيدن به H4 برابر هفت خنثىسازى شد. در ادامه با انجام فرآيند انجماد سرد، محصول بهدستآمده بهصورت پودر درآمد. انجام فرآيند انجماد سرد، محصول بهدستآمده بهصورت پودر درآمد. انجام فرآيند انجماد سرد، محصول بهدستآمده بهصورت پودر درآمد.

کپسولهکردن نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات

برای تهیه هیدروژل آلژینات- نقاط کوانتومی کربنی، محلول ۲% آلژینات تهیه شد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۲°۴۰ همزده شد. در

کپسولهکردن نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات بهمنظور استفاده بهعنوان حسگر جیوه ۷۹

ادامه مخلوط بهدست آمده از فیلتر ۲/۰ عبور داده شد. ۵میلیگرم از نقاط کوانتومی کربنی به مخلوط اضافه شد. در مرحله بعد یکمیلیلیتر از مخلوط حاصل توسط سرنگ BD کشیده و سرنگ در دستگاه سرنگ پمپ ثابت شد. مخلوط توسط شلنگ تفلونی به ظرف حاوی کلریدکلسیم ۸% هدایت شد. سرعت تزریق سرنگ پمپ برای تولید ذرات با قطر مورد نظر بهینه شد. با این روش دانههایی با قطر میوسط ۳میلیمتر در ظرف حاوی محلول کلریدکلسیم تشکیل میشود. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، کلسیم با برقراری ارتباط بین گروههای کربوکسیل موجود در نقاط کوانتومی کربنی و آلژینات باعث بهدام افتادن نقاط کوانتومی کربنی در آلژینات میشود.



شکل ۱) مراحل سنتز نقاط کوانتومی کربنی با روش پیرولیز سیتریکاسید؛ الف) پودر خشک سیتریکاسید؛ ب) سیتریکاسید پیرولیزشده؛ پ) پودر نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده



شکل ۲) شماتیکی از نحوه بهدامافتادن نقاط کوانتومی کربنی در شبکه سه بعدی هیدروژل

تشخیص براساس گوشی هوشمند

به منظور دستیابی به یک ابزار اندازه گیری کمی ساده و ارزان برای تشخیص میزان فلورسانس، یک برنامه اندروید رایگان IJ_Mobile(ای 1.1; 2013) به کار برده شد. برای تنظیم فلوریمتر گوشی هوشمند همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، یک دستگاه ژل داک به عنوان منبع تابش فرابنفش مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه به پنج لامپ فرابنفش ۸واتی ۳۵ تانومتری مجهز است که توزیع شدت یکنواخت مناسبی را فراهم میکند. همچنین فیلتر با پهنای باند میدهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونهها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونهها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونهها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونهها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونه ها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونه ها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونه ها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونه ها می دهد و پرتوهای دیگر را حذف میکند. بعد از قراردادن نمونه ها می دم انقک ژل داک، با استفاده از دوربین تلفن همراه با وضوح ماه دانومتر به کار برده شد. سپس تصاویر گرفته شده با استفاده از

۸۰ شبنم روشنی و همکاران .

گزینه نمودار (plot) در برنامه IJ_Mobile پردازش شد که میتواند برای مقایسه شدت نشر نمونههای مختلف بهصورت همزمان استفاده شود. شکل ۲ نمونهای از تصویر گرفتهشده توسط تلفن همراه و نمودار مربوط به آن در برنامه IJ_Mobile را نشان میدهد.



شکل ۳) تصویر گرفتهشده توسط تلفن همراه و نمودار مربوط به آن در برنامه IJ_Mobile

مشخصهيابى نقاط كوانتومى كربنى سنتزشده

تفرق دینامیک نوربا استفاده از دستگاه Sympatec) Nanophox کربنی در GmbH: آلمان) برای تعیین توزیع سایز نقاط کوانتومی کربنی در حالت خودکار با زاویه پراکندگی ۹۰ درجه و منبع نور لیزر هلیوم-نئون با حداکثر شدت ۱۰میلیوات و طول موج ۲۳۲/۵۰نانومتر مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین برای تایید ویژگیهای مورفولوژیکی نقاط کوانتومی کربنی ساختهشده، میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل EM10C (Route (Siges) آلمان) در ۸۰کیلووات استفاده شد. برای آمادهسازی نمونهها، محلول نقاط کوانتومی کربنی به مدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه سونیکاتور مدل S3000 (Misonix) ایالات متحده) تحت امواج اولتراسونیک قرار گرفت و سپس روی یک شبکه مسی مخصوص میکروسکوپ که پوشیده از کربن است، با احتیاط قرار داده شد. سپس نمونه برای مدتی بهمنظور خشکشدن در مکانی به

زیستفناوری دانشگاه تربیت مدرس

دور از گرد و غبار نگهداری و بعد از آن تصویربرداری انجام شد. با استفاده از طیفسنجی فلورسانس، نشر فلورسانت مواد سنتزشده ارزیابی شد. طول موج تحریک ۳۶۰نانومتر در نظر گرفته و از ماده کوئینینسولفات برای محاسبه بازده کوانتومی استفاده شد.

تستهای تشخیص جیوه با استفاده از سیستم هیبرید هیدروژل-نقاط کوانتومی کربنی

محلول کلریدجیوه با غلظتهای ۱، ۱۰ و ۱۰میکرومولار و ۱۰میلیمولار تهیه شد. میزان نشر در طول موج ۴۱۰نانومتر دانههای هیدروژل حاوی نقاط کوانتومی کربن در غلظتهای مختلف محلول کلریدجیوه با استفاده از سیستم تصویربرداری ثبت شد. به این صورت که دانههای هیدروژلهای حاوی نقاط کوانتومی کربنی به مدت ۲ ساعت در محلولهای جیوه با غلظتهای مختلف و سپس روی صفحه دستگاه UV قرار گرفتند و پس از تحریک با طول موج ۱۰۶۳نانومتر شدت نور فلورسنت هر یک از غلظتهای جیوه اندازهگیری شد. در این مطالعه هیبرید هیدروژل- نقاط کوانتومی کربنی در آب بهعنوان شاهد در نظر گرفته و اثر غلظتهای مختلف جیوه بر نقاط کوانتومی کربنی نسبت به آن سنجیده شد.

یافتهها و بحث

سنتز هيبريد هيدروژل- نقاط كوانتومى كربنى

نمودار توزیع اندازه ذرات سنتزشده در نمودار ۱ و اندازه ذرات کربنی سنتزشده در شکل ۴ نشان داده شده است. اندازه متوسط ذرات نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده ۳نانومتر است. توزیع اندازه ذرات ۲ تا ۵نانومتر به دست آمد.

همانطور که در نمودار ۲ مشاهده میشود با استفاده از طیفسنجی فلورسانس طیف نشر نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده در طول موج ۴۶۰نانومتر با طول موج تحریک ۳۶۰نانومتر به دست آمد. بازده کوانتومی نقاط کربنی با استفاده از روش مقایسهای و فرمول زیر تعیین شد:

$$Q_{CDS} = Q_R \frac{I_{CDS}}{I_R} \frac{A_R}{A_{CDS}} \frac{n_{CDS}^2}{n_R^2}$$





شکل ۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نقاط کوانتومی کربنی سنتزشده



نمودار ۲) طیفسنجی فلورسانس نقاط کوانتومی کربنی با طول موج تحریک ۱۳۶۰نانومتر و طول موج نشر ۴۶۰نانومتر

در این فرمول، I شدت تحریک در ۲۶۰۰نانومتر و A مقدار جذب در این طول موج است. کوئینینسولفات در ۱/۰مولار سولفوریکاسید (H2SO4) با بازده کوانتوم برابر ۵۴% بهعنوان نمونه مرجع برای محاسبه بازده کوانتومی استفاده شد. ncD و nr به ترتیب ضریب شکست محلول استاندارد و کربن دات هستند که مقدار آنها برابر یک در نظر گرفته شده است. مقادیر جذب در طول موج تحریک با اسپکتروفتومتر اندازهگیری شد و طیفهای نشر فلورسانس در طول موج ۴۷۰نانومتر برای طول موج تحریک ۴۰۰نانومتر ثبت شد که مقادیر اندازهگیریشده در جدول ۱ آورده شده است.

كوئينينسولفات	نسبت به ک	. كربنى	نقاط	كوانتومى	ا بازده	جدول ۱)
---------------	-----------	---------	------	----------	---------	---------

	كوئينينسولفات بهعنوان	نقاط كربنى
	مرجع (R)	(CDs)
شدت نشر در ٤٧٠نانومتر (I)	27743.15541	50409.94811
جذب در ۳٦۰نانومتر (A)	0.03	0.10
بازده کوانتومی (درصد)	54.00	29.45

شکل ۵- الف محلول نقاط کوانتومی کربنی در زیر نورهای فرابنفش و سفید را نشان میدهد. برای اطمینان از خاصیت فلورسانس نقاط کوانتومی کربنی بعد از فرآیند انجماد سرد، پودر بهدستآمده با استفاده از میکروسکوپ فلورسانت مورد مطالعه قرار گرفت که نتیجه

کپسولهکردن نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات بهمنظور استفاده بهعنوان حسگر جیوه ۸۱ در شکل ۵- ب نشان داده شده است و رنگ آبی درخشان نشان میدهد که خاصیت اپتیکی نقاط کربنی، در حالت جامد و پودر نیز حفظ شده است.

در شکل ۶ تصویر میکروسکوپی دانههای هیدروژل- نقاط کوانتومی کربنی نشان داده شده است. همانطور که مشخص است اندازه دانهها تقریباً یکنواخت است.



شکل ۵) الف) محلول نقاط کوانتومی کربنی در زیر نورهای فرابنفش و سفید؛ ب) تصویر میکروسکوپ فلورسانس پودر نقاط کوانتومی کربنی



شکل ۶) دانه های هیدروژل- نقاط کوانتومی کربنی

تستهای تشخیص جیوه با استفاده از سیستم هیبرید هیدروژل-نقاط کوانتومی کربنی

شکل ۷ تغییر رنگ هیبرید نقاط کوانتومی کربنی تحت پرتو فرابنفش قبل و بعد از تیمار با محلول جیوه را نشان میدهد. همانطور که مشخص است جیوه باعث ازبینرفتن نور درخشان فلورسنت نقاط

۸۲ شبنم روشنی و همکاران ـــ

کوانتومی کربنی شده است. شکل ۸ هیبرید هیدروژل نقاط کوانتومی کربنی در حضور غلظتهای مختلف جیوه را نشان میدهد و نمودار ۳ توسط برنامه IJ_Mobile ثبت شده است. محدوده پاسخ خطی بین ۱ تا ۳۰میکرومولار به دست آمد. با استفاده از رابطه LOD=3.3 σ/s که در آن به ترتیب **ס** و s انحراف استاندارد و

شیب خط رگرسیون هستند، حد پایین غلظت تشخیص ⁴+Hg برابر ۳میکرومولار به دست آمد^[27]. لازم به ذکر است که برای استخراج نتایج از گزینه Data در برنامه IJ_Mobile استفاده شد. نمودار ۴ منحنی پاسخ خطی اثر غلظت جیوه بر میزان نشر فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی است.



شکل ۲) هیبریدهای سنتزشده؛ الف) زیر نور مرئی؛ ب) تحت پرتو فرابنفش؛ پ) بعد از اثر جیوهکلرید



شکل ۸) اثر غلظتهای مختلف جیوه بر میزان نشر فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی کپسولهشده در هیدروژل (از چپ به راست: غلظت صفر، ۱، ۱۰ و ۱۰۰میکرومولار و ۱میلیمولار جیوه



نمودار ۳) نمودار بهدست آمده توسط برنامه IJ Mobile مربوط به اثر غلظتهای مختلف جیوه بر میزان نشر فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی کپسولهشده در هیدروژل



نمودار ۴) منحنی پاسخ خطی اثر غلظت جیوه بر میزان نشر فلورسنت نقاط کوانتومی کربنی

کپسولهکردن نقاط کوانتومی کربنی در هیدروژل آلژینات بهمنظور استفاده بهعنوان حسگر جیوه ۸۳ colorimetric aptamer sensor. Anal Lett. 2017;50(3):544-53.

5- Zhou Z, Wang Q, Wang J, Zhang CC. Imaging two targets in live cells based on rational design of lanthanide organic structure appended carbon dots. Carbon. 2015;93:671-80.

6- Li J, Ma J, Chen Sh, Huang Y, He J. Adsorption of lysozyme by alginate/graphene oxide composite beads with enhanced stability and mechanical property. Mater Sci Eng C. 2018;89:25-32.

7- Udalova AY, Dmitrienko SG, Apyari VV. Methods for the separation, preconcentration, and determination of tetracycline antibiotics. J Anal Chem. 2015;70(6):661-76. 8- Feng W, Ueda E, Levkin PA. Droplet microarrays: From surface patterning to high-throughput applications. Adv Mater. 2018;30(20):1706111.

9- Pan D, Zhang J, Li Z, Wu M. Hydrothermal route for cutting graphene sheets into blue-luminescent graphene quantum dots. Adv Mater. 2010;22(6):734-8.

10- Zhou Ch, He X, Ya D, Zhong J, Deng B. One step hydrothermal synthesis of nitrogen-doped graphitic quantum dots as a fluorescent sensing strategy for highly sensitive detection of metacycline in mice plasma. Sens Actuators B Chem. 2017;249:256-64.

11- Ge J, Lan M, Zhou B, Liu W, Guo L, Wang H, et al. A graphene quantum dot photodynamic therapy agent with high singlet oxygen generation. Nat Commun. 2014;5(1):4596.

12- Suryawanshi A, Biswal M, Mhamane D, Gokhale R, Patil Sh, Guin D, et al. Large scale synthesis of graphene quantum dots (GQDs) from waste biomass and their use as an efficient and selective photoluminescence on-off-on probe for Ag+ ions. Nanoscale. 2014;6(20):11664-70.

13- Kozak O, Sudolska M, Pramanik G, Cigler P, Otyepka M, Zboril R. Photoluminescent carbon nanostructures. Chem Mater. 2016;28(12):4085-128.

14- Zhu Z, Ma J, Wang Z, Mu Ch, Fan Z, Du L, et al. Efficiency enhancement of perovskite solar cells through fast electron extraction: The role of graphene quantum dots. J Am Chem Soc. 2014;136(10):3760-3.

15- Ananthanarayanan A, Wang X, Routh P, Sana B, Lim S, Kim DH, et al. Facile synthesis of graphene quantum dots from 3D graphene and their application for Fe3+ sensing. Adv Funct Mater. 2014;24(20):3021-6.

16- Bagheri Z, Ehtesabi H, Hallaji Z, Latifi H, Behroodi E. Investigation the cytotoxicity and photo-induced toxicity of carbon dot on yeast cell. Ecotoxicol Environ Saf. 2018;161:245-50.

17- Bagheri Z, Ehtesabi H, Hallaji Z, Aminoroaya N, Tavana H, Behroodi E, et al. On-chip analysis of carbon dots effect on yeast replicative lifespan. Analytica Chimica Acta. 2018;1033:119-27.

18- Hunt NC, Hallam D, Karimi A, Mellough CB, Chen J, Steel DH, et al. 3D culture of human pluripotent stem cells in RGD-alginate hydrogel improves retinal tissue development. Acta Biomater. 2017;49:329-43.

19- Vinson BT, Phamduy TB, Shipman J, Riggs B, Strong AL, Sklare SC, et al. Laser direct-write based fabrication of a spatially-defined, biomimetic construct as a potential model for breast cancer cell invasion into adipose tissue. Biofabrication. 2017;9(2):025013.

20- Gothard D, Smith EL, Kanczler JM, Black CR, Wells JA, Roberts CA, et al. In vivo assessment of bone regeneration in alginate/bone ECM hydrogels with incorporated skeletal stem cells and single growth factors. PLoS One. 2015;10(12).e0145080.

غلظت جيوه بر ميزان نشر فلورسنت نقاط كوانتومى كربنى

هیبرید هیدروژل- نقاط کربن ساختار سه بعدی مناسبی برای تشخیص جیوه است. ²+Hg با اتصال به گروههای کربوکسیل نقاط کوانتومی کربنی سبب کاهش نشر و خاموشی این نانوذرات میشود. توسعه هیدروژل فلورسانس جامد ارزانقیمت میتواند گزینه مناسبی بهعنوان پروب فلورسنت برای تعیین انتخابی و حساس یونهای جیوه در محیط آبی باشد. از آنجایی که جداسازی این مواد هیبریدی ساده و بدون هزینه است میتوانند مورد بازیابی قرار گیرند و تعداد دفعات بیشتری استفاده شوند که کاهش هزینههای تولید را به همراه خواهد داشت.

نتيجهگيرى

در مطالعه حاضر، با معرفی یک نانوساختارهای هیبریدی جدید، تشخیص و حذف فلز سنگین بهصورت همزمان نشان داده شده است. ابتدا نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از یک روش ساده و ارزان سنتز و مشخصهیابی شدند. سپس هیبرید نقاط کوانتومی کربنی با سدیمآلژینات ساخته شد و قابلیت هیبرید ساختهشده برای تشخیص جیوه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که وجود مقادیر بسیار جزیی جیوه میتواند میزان نشر فلورسانس را کاهش دهد. توسعه این هیدروژل فلورسانس جامد ارزانقیمت میتواند گزینه مناسبی بهعنوان پروب فلورسانس برای تعیین انتخابی و حساس یونهای جیوه در محیط آبی باشد.

تشکر و قدردانی: مطالعه حاضر در دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است. از معاونت پژوهشی این دانشگاه برای حمایت مالی این پروژه کمال تشکر و قدردانی میشود.

تاییدیهاخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است. **سهم نویسندگان:** شبنم روشنی (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر

اصلی (٤٠%)؛ حمیده احتسابی (نویسنده دوم)، روششناس/تحلیلگر آماری (۳۰%)؛ زینب باقری (نویسنده سوم)، نگارنده بحث (۳۰%)؛ منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1- Bagheri Z, Ehtesabi H, Rahmandoust M, Ahadian MM, Hallaji Z, Eskandari F, et al. New insight into the concept of carbonization degree in synthesis of carbon dots to achieve facile smartphone based sensing platform. Sci Rep. 2017;7(1):11013.

2- Ding C, Zhu A, Tian Y. Functional surface engineering of C-dots for fluorescent biosensing and in vivo bioimaging. Acc Chem Res. 2014;47(1):20-30.

3- Sarreshtehdar Emrani A, Danesh NM, Lavaee P, Ramezani M, Abnous K, Taghdisi SM. Colorimetric and fluorescence quenching aptasensors for detection of streptomycin in blood serum and milk based on double-stranded DNA and gold nanoparticles. Food Chem. 2016;190:115-21.

4- Yuan F, Zhao H, Wang X, Quan X. Determination of oxytetracycline by a grapheme-gold nanoparticle-based

۸۴ شبنم روشنی و همکاران ـ

2018;193:119-28.

25- Javanbakht S, Nazari N, Rakhshaei R, Namazi H. Cucrosslinked carboxymethylcellulose/naproxen/graphene quantum dot nanocomposite hydrogel beads for naproxen oral delivery. Carbohydr Polym. 2018;195:453-9.

26- Martín-Pacheco A, Del Río Castillo AE, Martín C, Herrero MA, Merino S, García Fierro JL, et al. Graphene quantum dot-aerogel: From nanoscopic to macroscopic fluorescent materials. Sensing polyaromatic compounds in water. ACS Appl Mater Interfaces. 2018;10(21):18192-201.

27- Picard M, Thakur S, Misra M, Mohanty AK. Miscanthus grass-derived carbon dots to selectively detect Fe 3+ ions. RSC Adv. 2019;9(15):8628-37.

21- Longo GS, Szleifer I. Adsorption and protonation of peptides and proteins in pH responsive gels. J Phys D Appl Phys. 2016;49(32):323001.

22- Hu Y, Chen T, Dong X, Mei Z. Preparation and characterization of composite hydrogel beads based on sodium alginate. Polym Bull. 2015;72(11):2857-69.

23- Alizadehgiashi M, Khuu N, Khabibullin A, Henry A, Tebbe M, Suzuki T, et al. Nanocolloidal hydrogel for heavy metal scavenging. ACS Nano. 2018;12(8):8160-8.

24- Maity S, Parshi N, Prodhan Ch, Chaudhuri K, Ganguly J. Characterization of a fluorescent hydrogel synthesized using chitosan, polyvinyl alcohol and 9-anthraldehyde for the selective detection and discrimination of trace Fe3+ and Fe2+ in water for live-cell imaging. Carbohydr Polym.