

به‌زیافت پلاستیک برای ساخت نقاط کوانتومی کربن

فاطمه کرمی^۱، مونس رحماندوست^{۲*}، ساره ارجمند^{۳*}

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

چکیده

پلاستیک‌ها به دلیل هزینه پایین تولید و دوام بالا در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما تولید و دفع آن‌ها منجر مشکلات جدی زیست محیطی و سلامتی می‌شوند. زباله‌های پلاستیکی باید با روشی موثر بازیافت شوند چراکه صدها سال زمان لازم است تا به طور طبیعی تجزیه شوند. این مطالعه ابتدا به بررسی چالش‌های زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از پلاستیک‌ها و راهکارهای به‌زیافت آن‌ها و در ادامه به معرفی یکی از روش‌های نوین و خلاقانه برای به‌زیافت پلاستیک‌ها به نقاط کوانتومی کربن می‌پردازد. نقاط کوانتومی نانوذراتی با خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی هستند، و به دلیلی سمیت پایین، انحلال پذیری بالا، فلورسانس قوی، کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف دارند. این راه به عنوان یک راه موثر و دارای مزایای اجتماعی-اقتصادی، برای کاهش آلودگی زیست محیطی و سازگار با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: نقاط کوانتومی کربن، زباله پلاستیکی، بازیافت، فلورسانس، محیط زیست

ایمیل نویسنده مسئول: m_rahmandoust@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸

۱- مقدمه

که قابلیت انحلال بالایی دارند، سمیت آن‌ها بسیار کم است، زیست سازگار^۳ هستند، فلورسنت^۴ خوبی دارند، از لحاظ اقتصادی تولید آن‌ها به صرفه است [۲]. تمام این موارد سبب شده که این ذرات، کاربرد‌های متعددی در زمینه‌های گوناگون زیست-شناسی، فیزیک و شیمی داشته باشند برای مثال می‌توان از آن‌ها به عنوان عاملی جذاب برای تصویر برداری زیستی، تشخیص بیماری‌ها، سلول‌های خورشیدی، به عنوان حسگر و غیره استفاده کرد [۳].

پلاستیک‌ها به طور گسترده به دلیل هزینه تولید کم، سبک بودن و قدرت و دوام بالا استفاده می‌شوند. استفاده بیش از حد از پلاستیک‌ها یکی از اصلی‌ترین عوامل مشکلات زیست محیطی و سلامتی است بنابراین محققان باید به دنبال راه‌حلهایی برای بازیافت آن‌ها باشند. یکی از راه‌های نوین و خلاقانه به‌زیافت^۱ پلاستیک تولید نقاط کوانتومی کربن^۲ است [۱]. نقاط کوانتوم کربن دسته‌ای از نانوذره‌ها با اندازه‌ای کمتر از ۱۰ نانومتر هستند و خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی دارند. از جمله این

³ Biocompatible

⁴ Fluorescent

¹ upcycling

² Carbon quantum dots

۱-۱- پلاستیک

صرفه جویی در انرژی و هزینه تولید، و کاهش میزان زباله‌هایی که به محل‌های دفن زباله می‌رسد [۴]. یکی از نمونه‌های موفق به‌بازیافت پلاستیک، توسعه روشی برای تبدیل پلاستیک‌ها به مواد با ارزش‌تری به نام سورفاکتانت^۵ است که در صنایع مختلف، از جمله تولید صابون، کاربرد دارد. در این روش، تیمی از محققان توانسته‌اند با استفاده از زباله‌های پلاستیکی، سورفاکتانت تولید کنند و بدین ترتیب هم زباله‌های پلاستیکی را کاهش دهند و هم ماده‌ای مفید و کاربردی ایجاد کنند [۵].

۱-۳- بازیافت

علی رغم استفاده گسترده از بازیافت پلاستیک، مقدار زباله‌هایی که درواقع بازیافت می‌شوند، نسبتاً کم است، طبق گزارش سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD)^۶ تنها ۹ درصد از کل زباله‌های پلاستیکی بازیافت می‌شوند، درحالی که بیشتر آن‌ها در محل‌های دفن زباله و یا در محیط‌های طبیعی انباشته می‌شوند [۳]. بازیافت پلاستیک نیز می‌تواند تهدیداتی جدی برای سلامت انسان به همراه داشته باشد. زیرا فرایندهای خرد کردن، ذوب و اصلاح پلاستیک می‌تواند بخارات و ذرات سمی را آزاد کند. علاوه بر این، پلاستیک‌های بازیافتی اغلب حاوی مواد شیمیایی سمی مانند بازدارنده‌های شعله، بنزن و سایر مواد سرطان‌زا هستند که می‌توانند آسیب‌های احتمالی برای انسان، حیوانات و محیط زیست را افزایش دهند. بنابراین کاهش تولید و مصرف پلاستیک برای مقابله با بحران آلودگی ناشی از آن بسیار مهم است. این امر می‌تواند از طریق اقدامات مختلفی مانند کاهش استفاده از پلاستیک‌های یکبارمصرف، ترویج استفاده از

پلاستیک‌ها گروهی از مواد مصنوعی هستند که به دلیل تطبیق‌پذیری بالا با زندگی مدرن، دوام طولانی و هزینه تولید پایین، به بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی روزمره تبدیل شده‌اند. با این حال، فرآیند تولید، مصرف و دفع آن‌ها مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی چشمگیری را به همراه داشته است. این مواد عمدتاً از نفت و گاز، که منابعی غیرقابل تجدید هستند، تولید می‌شوند و در طی فرآیند تولید، گازهای گلخانه‌ای آزاد کرده و به تغییرات اقلیمی دامن می‌زنند. افزون بر این، پلاستیک‌ها اغلب حاوی افزودنی‌های شیمیایی مضر هستند که در هنگام دفع یا بازیافت می‌توانند خطرات جدی برای سلامت انسان ایجاد کنند. زباله‌های پلاستیکی نیز ممکن است میکروپلاستیک‌ها را آزاد کنند؛ ذرات بسیار ریز و مقاومی که پاکسازی آن‌ها از محیط‌زیست دشوار است. این ذرات می‌توانند به آلودگی آب، هوا و خاک منجر شوند و تهدیدی جدی برای حیات وحش و سلامت انسان به شمار روند.

۱-۲- به‌بازیافت پلاستیک

به‌بازیافت، فرایندی نوآورانه است که زباله‌های پلاستیکی را به موادی با کیفیت و ارزش زیست‌محیطی بالاتر تبدیل می‌کند. برخلاف بازیافت معمولی که هدف آن افزایش طول عمر پلاستیک پیش از تبدیل شدن به زباله است و اغلب محصولی با کیفیت و ارزش پایین‌تر تولید می‌کند، به‌بازیافت منجر به تولید موادی با کیفیت بالاتر و کاربردهای متنوع‌تر می‌شود. به‌بازیافت کردن پلاستیک می‌تواند فواید متعددی داشته باشد از جمله، کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید از سوزاندن زباله‌های پلاستیکی،

⁵ Surfactant⁶ Organization for Economic Co-operation and Development

پلاستیکی از بزرگترین مشکلات در شهرها و جوامع بزرگ است و بازیافت پلاستیک‌ها می‌تواند به کاهش میزان زباله‌هایی که نیاز به دفع یا سوزاندن دارند، کمک کند، همچنین سبب ترویج توسعه پایدار شهری و بهبود کیفیت زندگی در شهرها و جوامع شود. ۵. صنعت، نوآوری و زیرساخت^{۱۱} بازیافت پلاستیک، به ارتقای نوآوری و توسعه فناوری‌ها و زیرساخت‌هایی تازه برای مدیریت زباله‌های پلاستیکی کمک می‌کند و می‌تواند باعث ایجاد فرصت‌های تجاری و مشاغلی در اقتصاد سبز شود. ۶. مشارکت برای اهداف^{۱۲}: بازیافت پلاستیک نیازمند همکاری و مشارکت میان ذینفعان مختلف از جمله دولت‌ها، مشاغل و سازمان‌هاست تا با ایجاد ظرفیت، گسترش دانش و تخصص به ارتقای توسعه پایدار در سطوح محلی، ملی و جهانی کمک کنند. به طور کلی، بازیافت پلاستیک می‌تواند با ترویج تولید و مصرف پایدار، کاهش آلودگی دریایی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترویج توسعه پایدار شهری، ترویج نوآوری و ایجاد مشارکت برای توسعه پایدار، بخشی از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل را دنبال کند [۷، ۸].

مواد جایگزین، بازیافت و افزایش آگاهی عمومی در مورد اثرات زیست محیطی و بهداشتی پلاستیک‌ها صورت گیرد [۶].

۴-۱- بازیافت پلاستیک در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل

اهداف توسعه پایدار در قالب برنامه‌ای ۱۵ ساله تا سال ۲۰۳۰ تدوین شده‌اند که دولت‌ها و کشورها را ملزم می‌کند از منابع مالی ملی یا خصوصی و سرمایه‌گذاران حمایت کنند تا بتوانند این اهداف را محقق سازند. این اهداف بر پایه شش عنصر کلیدی طراحی شده‌اند: کرامت، مردم، رفاه، کره زمین، عدالت، و مشارکت [۷]. بازیافت پلاستیک می‌تواند در دستیابی به چندین هدف توسعه پایدار سازمان ملل (شکل ۱) نقش مؤثری ایفا کند:

۱. مصرف و تولید مسئولانه^۷: بازیافت پلاستیک می‌تواند به کاهش زباله و ترویج الگوهای تولید و مصرف پایدار کمک کند، همچنین می‌تواند به افزایش بهره‌وری از منابع و کاهش اثرات زیست محیطی تولید و دفع پلاستیک کمک کند. ۲. زندگی زیر آب^۸: آلودگی پلاستیک یک تهدید بزرگ برای اکوسیستم‌های دریایی و تنوع زیستی است. بازیافت پلاستیک می‌تواند سبب کاهش مقدار زباله‌هایی شود که به اقیانوس‌ها ختم می‌شود. ۳. اقدام اقلیمی^۹: تولید و دفع پلاستیک منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که این امر سبب تغییرات آب و هوایی می‌شود. بازیافت پلاستیک می‌تواند سبب به کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای و دفع پلاستیک کمک کند و در نتیجه از تغییرات منفی آب و هوایی بکاهد. ۴. شهرها و جوامع پایدار^{۱۰}: زباله‌های

⁷ Responsible Consumption and Production

⁸ Life Below Water

⁹ Climate Action

¹⁰ Sustainable Cities and Communities

¹¹ Industry, Innovation, and Infrastructure

¹² Partnerships for the Goals

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



شکل ۱- اهداف توسعه پایدار سازمان ملل [۷، ۸]

کوانتومی و رنگ‌های طبیعی دارند. خواص، رنگ و میزان فلورسنس آن‌ها براساس اندازه‌ای که دارند، متفاوت است. ویژگی‌های نام‌برده، نقاط کوانتومی کربن را برای طیف وسیعی از کاربردها در زمینه‌های مختلف تحقیقات علمی مورد توجه قرار داده‌است. برای مثال به دلیل ویژگی‌های زیستی از جمله زیست-سازگاری و سمیت کم، آن‌ها را برای کاربردهایی از جمله در زیست‌حسگرها^{۱۶}، تصویربرداری زیستی^{۱۷}، کاتالیزور نوری^{۱۸} و انتقال دارو مناسب می‌کند. به ویژه در تصویربرداری زیستی و زیست پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقاط کوانتومی کربن که با هترواتم‌ها یا ترکیبات پلیمری همراه شده اند، برای کاربردهای بیوشیمیایی، بیولوژیکی و زیست‌پزشکی بسیار سودمند هستند [۱۰]. همچنین به دلیل ویژگی‌های الکترونیکی نقاط کوانتومی کربن به عنوان دهنده و پذیرنده الکترون و در واقع خاصیت لومینسانس الکتروشیمیایی^{۱۹}، قابلیت استفاده آن‌ها را در سنسورها^{۲۰}، کاتالیزها^{۲۱} و در صنایع مربوط به انرژی، از جمله؛ سلول‌های خورشیدی^{۲۲} و دیودهای ساطع کننده نور^{۲۳} (LED) امکان‌پذیر می‌کند [۱۱].

۲-۱- روش‌های سنتز

برای تولید نقاط کوانتومی، دو رویکرد کلی وجود دارد: روشهای از بالا به پایین^{۲۴} و روشهای از پایین به بالا^{۲۵} (شکل ۲).

۲- نقاط کوانتومی و نقاط کوانتومی کربن

نقاط کوانتومی از گروهی از مواد نیمه رسانا مانند سلنید کادمیم و سولفید سرب ساخته می‌شوند، این مواد دارای خواص الکترونیکی خاصی هستند و می‌توانند نور را به صورت کارآمدی جذب و ساطع کنند. نقاط کوانتومی کربن، نانومواد کربنی^{۱۳} با اندازه‌ای کمتر از ۱۰ نانومتر هستند که اولین بار در سال ۲۰۰۴ از طریق خالص سازی نانولوله‌های کربنی^{۱۴} به روش الکتروفورز^{۱۵} کشف شدند. جایزه نوبل شیمی در سال ۲۰۲۳ به Aleksey Yekimov, Louis Brus, and Moungi Bawendi برای کشف نقاط کوانتومی کربن اهدا شد [۹]. نقاط کوانتومی کربن به دلیل غیرسمی بودن، فراوانی و هزینه کم به یک ساختار ارزشمند در خانواده کربن‌ها تبدیل شدند. یکی از دلایلی که توجه زیادی را به خود جذب کرده‌اند، فلورسانس قوی و انحلال پذیری بهتر آن‌هاست. به همین دلیل به آن‌ها نقاط فلورسنتی نیز گفته می‌شود. این نقاط کوانتومی خواص خوبی در زمینه بی اثر بودن از نظر شیمیایی، حلالیت بالا، ساخت و تغییر آسان، نسبت به سایر نقاط

¹⁶ Biosensors

¹⁷ Bioimaging

¹⁸ photocatalysis

¹⁹ Electrochemical luminescence

²⁰ Sensors

²¹ Catalysis

²² Solar cells

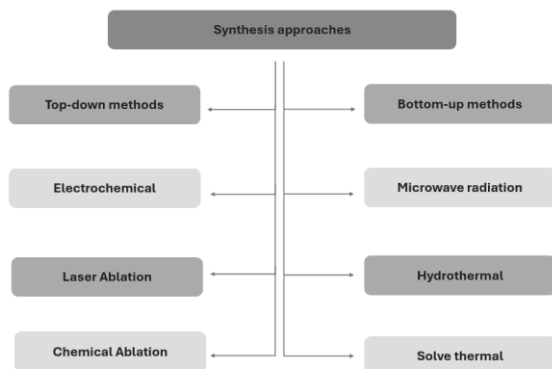
²³ Light emitting diode

²⁴ Top-down methods

¹³ Carbon nano materials

¹⁴ Carbon nanotubes

¹⁵ Electrophoresis



شکل ۱-۲ روش‌های مختلف تولید نقاط کوانتومی

۲-۲- تولید نقاط کوانتومی در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل

تولید نقاط کوانتومی کربن می‌تواند به تحقق چندین هدف از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل کمک کند. این اهداف شامل ۱. سلامت و رفاه^{۲۶}، نقاط کوانتومی کربن به دلیل عدم سمیت و زیست‌سازگاری بالا، در زمینه‌های پزشکی و دارویی کاربرد دارند. این ویژگی‌ها باعث افزایش ایمنی محصولات دارویی و آرایشی می‌شود که تأثیر مثبتی بر سلامت عمومی دارد. ۲. صنعت، نوآوری و زیرساخت، توسعه فناوری‌های نوین مانند نقاط کوانتومی کربن، به تقویت نوآوری در صنعت کمک می‌کند. این نقاط در کاربردهایی نظیر سلول‌های خورشیدی، حسگرها و مواد دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌تواند به رشد اقتصادی و ایجاد زیرساخت‌های پایدار منجر شود. ۳. مصرف و تولید مسئولانه، تولید نقاط کوانتومی کربن از دور ریزهای پلاستیکی و پسماندهای سلولزی، به کاهش زباله‌ها و استفاده بهینه از منابع کمک می‌کند. این فرایند؛ به مدیریت پسماندها می‌انجامد و

به‌منظور بهبود عملکرد نقاط کوانتومی و افزودن گروه‌های عملکردی به سطح آن‌ها، می‌توان این گروه‌ها را حین سنتز یا پس از آن به ساختار نقاط کوانتومی اضافه کرد.

۲-۱-۱ روش‌های بالا به پایین

در این روش‌ها منابع کربنی بزرگ مانند نانولوله‌های کربنی، گرافیت، گرافن، دوده کربن، کربن فعال و غیره با کمک تکنیک‌های مختلف مانند فرسایش لیزری، الکتروشیمیایی به اجزای کوچکتر تقسیم می‌شوند. اگرچه این روش‌ها برای صنایع میکروسیستم بسیار مفید و مناسب هستند اما محدودیت‌هایی نیز دارند، مانند این واقعیت که نانومواد خالص را نمی‌توان از پیش-سازهای بزرگ کربن به دست آورد. خالص سازی آن‌ها بسیار پر هزینه است و کنترل مورفولوژی و اندازه و پراکندگی ذرات ممکن نیست.

۲-۱-۲ روش‌های پایین به بالا

در روش‌های پایین به بالا منابع کربنی کوچکتر مانند آمینواسیدها، پلیمرها، کربوهیدرات‌ها و مواد زائد و دورریختنی از جمله پلاستیک برای ساخت ذرات کوانتومی کربن استفاده می‌شوند. تکنیک‌های متعددی مانند هیدروترمال، پیرولیز، امواج اولتراسونیک و امواج میکروویو در این روش وجود دارد. سایز و ساختار ذرات کوانتومی ساخته شده به عوامل مختلفی وابسته است از جمله حلال، ساختار پیش‌ماده و شرایط واکنش که خود شامل دما، فشار، زمان واکنش و غیره می‌باشد. این روش، نسبتاً به روش‌های بالا به پایین راحت تر انجام می‌شود و هزینه کمتری نیز دارد [۱۲].

²⁶ Good health and well being

²⁵ Bottom-up methods

سنتز نقاط کوانتومی کربن از دور ریزهای پلاستیکی، یک راهکار نوآورانه برای مدیریت پسماندهای پلاستیکی است و به تولید مواد جدید با ویژگی‌های مفید کمک شایانی می‌کند [۱۳].

۱-۳- خواص نوری

شناخت خواص نوری نقاط کوانتومی کربن می‌تواند؛ کاربردهای آن‌ها را در زمینه‌های حسگرها، تصویربرداری و سایر فناوری‌ها تعیین کند. از جمله این خواص می‌توان به جذب نوری^{۲۷}، فتولومینسانس^{۲۸} و بازده کوانتومی^{۲۹} اشاره کرد.

۱-۳-۱- جذب نوری

نقاط کوانتومی کربن معمولاً بیشترین جذب نور را در ناحیه فرابنفش در محدوده (۲۵۰-۴۰۰ نانومتر) نشان می‌دهند. این خاصیت ناشی از جذب فوتون و انتقال الکترون‌ها است که به انتقال الکترونی $\pi \rightarrow \pi^*$ نسبت داده می‌شود. همچنین انتقال الکترون‌های $n-\pi^*$ مربوط به گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (مانند کربوکسیل یا هیدروکسیل) مرتبط هستند. این ویژگی‌ها (جذب قوی در ناحیه فرابنفش و انتقال الکترونی) نقاط کوانتومی کربن را به موادی ایده‌آل برای جذب فوتون در کاربردهای مختلف مانند حسگرهای نوری تبدیل کرده است [۱۴، ۱۵].

۲-۳-۱- فتولومینسانس

فتولومینسانس یا تابش نور به انتشار نور از یک ماده ناشی از فرآیندهای برانگیختگی الکترونیکی اشاره دارد. این ویژگی بر

منجر به تولید مواد جدید و مفید می‌شود که می‌توانند در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرند. ۴. اقدامات اقلیمی، استفاده از نقاط کوانتومی کربن به عنوان جایگزینی برای مواد شیمیایی مبتنی بر نفت و سوخت‌های فسیلی، می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. با توجه به اینکه تولید این نقاط با استفاده از روش‌هایی مانند پیرولیز و هیدروترمال انجام می‌شود، این فرآیندها عموماً کم‌هزینه و کم‌اثر بر محیط زیست هستند. در مجموع، تولید نقاط کوانتومی کربنی، می‌تواند به مدیریت پسماندها و کاهش آلودگی کمک کند و می‌تواند در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل نقش مؤثری ایفا کند.

۳- به‌باز یافت پلاستیک از طریق سنتز نقاط کوانتومی کربن

در ابتدا، برای تولید ذغال کربن، از روش پیرولیز استفاده می‌شود. در این روش، دور ریزهای پلاستیکی تحت دماهای بالا و در شرایط خلا قرار می‌گیرند. این فرایند به گونه‌ای طراحی شده است که از تولید گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کند. پیرولیز یک روش حرارتی است که در آن مواد آلی به محصولات کربنی تبدیل می‌شوند و با کاهش اکسیژن، امکان تولید ذغال کربن با کیفیت بالا فراهم می‌شود [۳].

پس از تهیه ذغال کربن، مرحله بعدی استفاده از روش هیدروترمال است. این روش شامل استفاده از آب در دما و فشار بالا برای تبدیل ذغال کربن به نقاط کوانتومی است. در این مرحله، ذرات کربن تحت تأثیر شرایط خاص هیدروترمال قرار می‌گیرند که منجر به تشکیل ساختارهای نانو و افزایش خاصیت‌های نوری آن‌ها می‌شود.

²⁷ Absorbance

²⁸ Photoluminescence

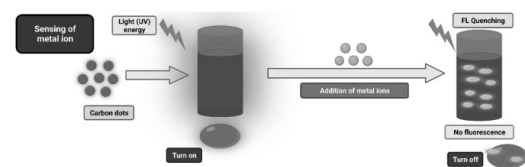
²⁹ Quantum yield

نقاط کوانتومی کربن ساخته شده از پلی اتیلن ترفتالات ، ۳۰٪ گزارش شده است [۱۹].

۲-۳- اهمیت و کاربرد نقاط کوانتومی کربن

۲-۳-۱- حسگر فلزات:

نقاط کوانتومی کربن به دلیل خاصیت فلورسنت قابل اندازه گیری ای که دارند، به عنوان پروب های حسگر به کار می روند. مکانیسم شناسایی بر پایه تعامل بین گروه های عاملی سطح نقاط کوانتومی کربن و مولکول های آنالیت و یون های موجود در محیط های پیرامون آنهاست که منجر به خاموش شدن فلورسنس می شود (شکل ۳). با اضافه کردن، مولکول های خاصی بر سطح نقاط کوانتومی، می توان حساسیت و دقت آنها را برای شناسایی یون مورد نظر بهبود بخشید [۲۰]. از جمله مطالعات انجام شده که سبب خاموش شدن فلورسنت آنها می شود، استفاده از نقاط کوانتومی کربن ساخته شده از پلی الفین در تشخیص فلز مس بود [۱۵]. در مطالعات دیگر برای خاموش کردن فلزات آهن، جیوه، طلا و ... نیز استفاده شده است [۲۰، ۲۱].



شکل ۳- فرایند خاموش شدن فلورسانس نقاط کوانتومی

[۲۰]

۲-۳-۲- تصویربرداری زیستی

نقاط کوانتوم کربن با موفقیت برای تصویربرداری از سلول ها و بافت های سالم، سرطانی، و تیمار شده مورد استفاده قرار

اساس اندازه و گروه های عاملی سطح نقاط کوانتومی کربن متفاوت است.

ممکن است بیشترین انتشار در طول موج ۴۰۰-۴۸۰ نانومتر باشد؛ در این حالت نمونه در زیر نور فرابنفش به رنگ آبی دیده می شود. در صورتی که بیشترین طول موج انتشار آن ۴۸۰-۵۵۰ نانومتر باشد، به رنگ سبز و اگر در محدوده ۵۵۰-۷۰۰ نانومتر باشد، در طیف زرد تا قرمز قرار می گیرد. هرچه سایز ذره کوچک تر باشد، طول موج نشر آن کوتاه تر است [۱۶]. نقاط کوانتومی با خاصیت تابش نوری زیاد، می توانند در حوزه های دارو رسانی، تصویربرداری زیستی و تشخیصی به کار روند [۱۷].

۳-۱-۳- بازده کوانتومی

بازده کوانتومی معیاری برای سنجش کارایی تابش نوری است و به صورت نسبت فوتون های ساطع شده به شکل نور به فوتون های جذب شده توسط ماده تعریف می شود. میزان بازده کوانتومی به اندازه ذرات و گروه های عاملی سطح آن بستگی دارد. در مطالعات مختلف، نقاط کربن کوانتومی با بازده کوانتومی مختلف تهیه و گزارش شده است [۱۸]. برای نقاط کوانتوم کربن سنتز شده از مشتقات پلی استیک نیز بازده کوانتومی متفاوتی در بازه بین حدودا ۵ تا حدود ۷۰ درصد گزارش شده است.

برای مثال، در مطالعه ای، نقاط کوانتومی کربن ساخته شده از پلی الفین، میزان بازده کوانتومی ۴/۸۴٪ است [۱۵]. در مطالعه دیگری، نقاط کوانتومی کربن ساخته شده از کیسه های پلی استیکی، لیوان های پلی استیکی و بطری، به ترتیب برابر با ۶۰٪، ۶۵٪ و ۶۹٪ است [۱۸]. در مطالعه ای نیز، میزان بازده کوانتومی،

۴- نتیجه گیری

به طور کلی، استفاده از زباله‌های پلاستیکی، به عنوان منبعی برای تولید نقاط کوانتومی کربن، یک راهکار نوآورانه و موثر در راستای کاهش آلودگی محیط زیست و مدیریت پسماندها است. با توجه به این که پلاستیک‌ها به دلیل هزینه تولید پایین و دوام بالایی که دارند به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند، و مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید و دفع آن‌ها به چالشی جدی تبدیل شده‌است؛ این مسئله نیازمند راهکارهای جدید برای بازیافت و استفاده مجدد از این مواد است.

به همین دلیل، به بازیافت آن‌ها به نقاط کوانتومی کربن که نانوذراتی با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر هستند و خواصی از جمله پایداری شیمیایی بالا، فلورسنس خوب و سمیت بسیار پایین دارند؛ می‌تواند منجر به تولید و ایجاد محصولاتی با ارزش افزوده بالا شود و همچنین به کاهش آلودگی محیط زیست کمک کند.

از طرفی نقاط کوانتومی کربن ساخته شده می‌توانند در زمینه‌های مختلفی از جمله حسگرها، تصویربرداری، سلول‌های خورشیدی و حتی مسائل پزشکی برای دارورسانی و تشخیص بیماری‌ها نیز به کار روند. چرا که این نقاط خواص منحصر به فردی از جمله پایداری شیمیایی بالا، فلورسنس خوب و همچنین سمیت بسیار پایینی دارند.

تحقیقات بیشتر در زمینه بازیافت پلاستیک و استفاده از آن‌ها برای تولید مواد پیشرفته می‌تواند نقش مهمی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا کند و در عین حال، به بهبود محیط زیست و پیشرفت فناوری‌های سبز کمک شایانی نماید.

گرفته‌اند. با توجه به ساختار نقاط کربنی، نوع پیش‌ماده‌ای که از آن ساخته شده و نوع سلول، این نقاط می‌توانند به بخش‌های مختلف سلول از جمله هسته و ... وارد شوند. بعضی از آن‌ها می‌توانند وارد سلول‌های سرطانی شوند و فرایندهای زیست‌شیمیایی آن‌ها را نشان دهند. نقاط کوانتومی ساخته از پلاستیک به دلیل فلورسنت خوبی که دارند، می‌توانند گزینه مناسبی برای این مسئله باشند [۲۲].

۳-۲-۳- سلول‌های خورشیدی

انرژی‌ای که خورشید سطح زمین ساطع می‌کند که به‌طور قابل توجهی بیشتر از میزان مصرف انرژی جهانی است. انرژی خورشیدی یک منبع پایدار است که استفاده از آن، می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را به‌طور کامل از بین ببرد. سلول‌های خورشیدی، از طریق اثر فتوولتائیک^{۳۰} نور را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. می‌توان از نقاط کوانتومی کربن به عنوان موادی کم هزینه و دوستدار محیط زیست، که خطرات زیست محیطی مواد سمی و فلزاتی مانند کادمیوم و سرب ندارند، استفاده کرد.

این نقاط می‌توانند در لایه‌های مختلف سلول‌های خورشیدی ادغام شوند و کارایی و عملکرد آن‌ها را افزایش دهند [۲۳]. در مطالعه‌ای، نشان داده شده، بهره‌گیری از نقاط کوانتومی کربن در سلول‌های خورشیدی، کارایی و پایداری آن‌ها را افزایش داده‌است. بنابراین، زباله‌های پلاستیکی منابع ارزشمندی برای تولید سلول‌های خورشیدی هستند [۲۴].

³⁰ photovoltaic

- for Cu²⁺ ion sensing and live cell imaging. *sensors and Actuators B: Chemical*, 2018. **254**: p. 197-205.
- [16] Mirlou-Miavagh, F., et al., *Comparative study of synthesis of carbon quantum dots via different routes: Evaluating doping agents for enhanced photoluminescence emission*. *Progress in Organic Coatings*, 2024. **191**: p. 108445.
- [17] Hagiwara, K., S. Horikoshi, and N. Serpone, *Photoluminescent carbon quantum dots: synthetic approaches and photophysical properties*. *Chemistry–A European Journal*, 2021. **27**(37): p. 9466-9481.
- [18] Kumari, M. and S. Chaudhary, *Modulating the physicochemical and biological properties of carbon dots synthesised from plastic waste for effective sensing of E. coli*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2020. **196**: p. 111333.
- [19] Muro-Hidalgo, J.M., et al., *Histamine Recognition by Carbon Dots from Plastic Waste and Development of Cellular Imaging: Experimental and Theoretical Studies*. *Journal of Fluorescence*, 2023: p. 1-19.
- [20] Arpita, et al., *Plastic waste-derived carbon dots: insights of recycling valuable materials towards environmental sustainability*. *Current Pollution Reports*, 2023. **9**(3): p. 433-453.
- [21] Mohammed, L.J. and K.M. Omer, *Converting Plastic Waste into Functional Carbon Nanodots for the Selective Detection of Iron and Mercury Ions*. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 2024: p. 1-11.
- [22] Yang, H.-L., et al., *Carbon quantum dots: Preparation, optical properties, and biomedical applications*. *Materials Today Advances*, 2023. **18**: p. 100376.
- [23] Kumar, P., et al., *A review on advancements in carbon quantum dots and their application in photovoltaics*. *RSC advances*, 2022. **12**(8): p. 4714-4759.
- [24] Chen, Z., et al., *Transformative and sustainable approach to waste plastic mixture valorization*. *Chemical Engineering Journal*, 2024. **499**: p. 156558
- [1] Chaudhary, S., et al., *Upcycling of plastic waste into fluorescent carbon dots: An environmentally viable transformation to biocompatible C-dots with potential prospective in analytical applications*. *Waste Management*, 2021. **120**: p. 675-686.
- [2] Magesh, V., A.K. Sundramoorthy, and D. Ganapathy, *Recent advances on synthesis and potential applications of carbon quantum dots*. *Frontiers in materials*, 2022. **9**: p. 906838.
- [3] Abdelhameed, M., et al., *High-yield, one-pot upcycling of polyethylene and polypropylene waste into blue-emissive carbon dots*. *Green Chemistry*, 2023. **25**(5): p. 1925-1937.
- [4] Jehanno, C., Alty, J.W., Roosen, M. et al., *Critical advances and future opportunities in upcycling commodity polymers* *Nature* 2022. **603**, 803–814.
- [5] Félix, S., et al., *Soap production: A green prospective*. *Waste management*, 2017. **66**: p. 190-195.
- [6] Moore, C., April 3). plastic pollution. *Encyclopedia Britannica*.
- [7] Roy, C.F.a.D., *What Are the UN Sustainable Development Goals?*, in *Council foreign relations*. 2023.
- [8] SDGs, U.N. *SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS*. 2015; Available from: <https://unfoundation.org/what-we-do/issues/sustainable-development-goals/>.
- [9] Mounji Bawendi, L.B., Aleksey Yekimov, *The Nobel Prize in Chemistry 2023*. *NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB* 2024. 2023.
- [10] Das, S., S. Mondal, and D. Ghosh, *Carbon quantum dots in bioimaging and biomedicines*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2024. **11**: p. 1333752.
- [11] Farshbaf, M., et al., *Carbon quantum dots: recent progresses on synthesis, surface modification and applications*. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 2018. **46**(7): p. 1331-1348.
- [12] Yadav, P.K., et al., *Carbon quantum dots: synthesis, structure, properties, and catalytic applications for organic synthesis*. *Catalysts*, 2023. **13**(2): p. 422.
- [13] Chan, K. and A. Zinchenko, *Aminolysis-assisted hydrothermal conversion of waste PET plastic to N-doped carbon dots with markedly enhanced fluorescence*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022. **10**(3): p. 107749.
- [14] Camilli, E., et al., *Cobalt/carbon quantum dots core-shell nanoparticles as an improved catalyst for Fenton-like reaction*. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 2024. **37**: p. 101097.
- [15] Kumari, A., et al., *Synthesis of green fluorescent carbon quantum dots using waste polyolefins residue*