

سنتز سبز نقاط کربنی از زیست توده ها

فاطمه صداقتی*

گروه شیمی، مرکز آموزش عالی استهبان، دانشگاه شیراز، استهبان، فارس، ایران

چکیده: نقاط کربنی دسته‌ای از نانو مواد هستند که به عنوان نانوذرات صفر بعدی تعریف می شوند. نقاط کربنی به دلیل خواص نوری ارزشمند شان و کاربردهای مختلف آن مانند تصویربرداری زیستی، کاتالیزوری، ردیابی و تحویل دارو مورد توجه ویژه ای قرار گرفته اند. نقاط کربنی را می توان با استفاده از روشهای بالا به پایین و پایین به بالا سنتز نمود که روش دوم معمولاً برای مقیاس بزرگ و سنتز کم هزینه مرسوم تر است. یکی از راهکارهای سنتز نقاط کربنی استفاده از مواد خام پایدار یا زیست توده سبز است؛ زیرا سازگار با محیط زیست و ارزان بوده و مهمتر از همه به حداقل رساندن تولید زباله کمک می کند. در همین راستا، زباله های زیست توده، پوست میوه، سبزیجات و ضایعات کشاورزی را می توان به عنوان مواد اولیه برای سنتز نقاط کربنی به کار برد. در این مقاله روش های مختلف سنتز از بالا به پایین نقاط کربنی با استفاده از زیست توده های مختلف که بیشتر در پنج سال اخیر ارائه شده اند مرور می شود.

واژگان کلیدی: نقاط کربنی، زیست توده، سنتز سبز.

fsedaghati2013@gmail.com

نقاط کربنی^۱ به عنوان یکی از امیدوارکننده ترین گروه از نانومواد کربنی از زمان کشف آن در سال ۲۰۰۴، که در طول جداسازی و خالص سازی نانولوله های کربنی تک جداره انجام شد، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند [۴]. نقاط کربنی معمولاً نانوذرات شبه کروی با اندازه متوسط کمتر از ۱۰ نانومتر بوده و به دلیل ساختار و اندازه منحصر به فردشان ویژگی های شیمیایی، فیزیکی، نوری و الکترونیکی قابل تنظیمی را از خود نشان می دهند [۵]. سمیت کم، خواص لومینسانس عالی، حلالیت بالا در آب، پایداری حرارتی و نوری، سهولت قرار گرفتن گروه های عاملی مختلف بر روی سطح از ویژگی های قابل توجه آنهاست. این خواص جالب باعث می شود نقاط کربنی در زمینه های متعددی مانند برچسب گذاری زیستی، سنجش نوری، دارورسانی، ساخت حسگرهای زیستی، تبدیل انرژی و کاتالیزور کاربرد داشته باشند [۶،۷]. علاوه بر خواص آنها، سنتز آسان از منابع متعدد کربن موجود، از جمله مواد آلی و معدنی، توجه دانشمندان علم مواد در سراسر جهان را به خود جلب کرده

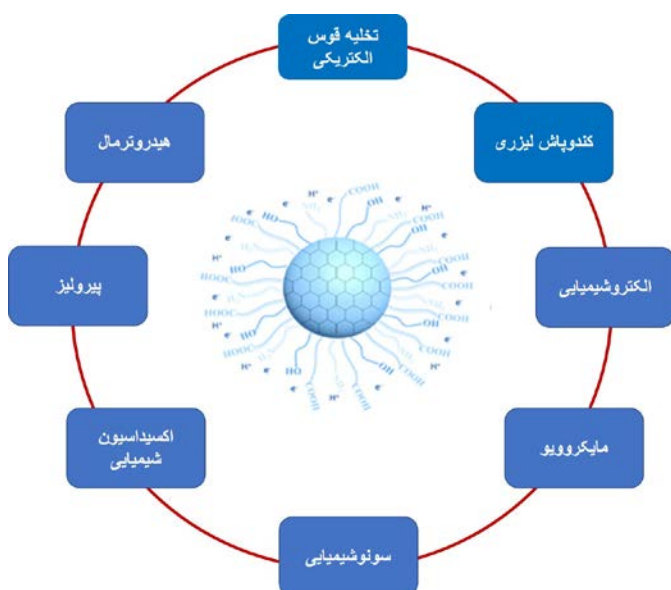
۱- مقدمه

با افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی، موضوع انرژی، محیط زیست و سلامت از جمله چالش های جهانی می باشند. در این راستا مطالعات وسیعی در زمینه معرفی مواد نوین و ارائه روشهای جدید به منظور صرفه جویی در انرژی، تقویت اکوسیستم پایدار و ارتقای رفاه انسان انجام شده است. نانو مواد به دلیل ویژگی های منحصر به فردشان کاربردهای قابل توجهی در زمینه های مختلف دارند. در دهه های اخیر نانومواد کربنی به عنوان موادی با پتانسیل زیاد اثر قابل توجهی بر علم و جامعه گذاشته اند [۱]. در چند سال گذشته تحقیقات زیادی در مورد استفاده از نانومواد کربنی به دلیل داشتن خواص الکتریکی، مکانیکی، حرارتی و نوری منحصر به فردشان در زمینه های متنوع به خصوص در ساخت حسگرهای مختلف انجام شده است [۲،۳].

¹ Carbon dots

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۳



شکل ۱. روش های مختلف سنتز نقاط کربنی.

دیگر، نقاط کربنی سنتز شده از مواد شیمیایی سمیت بالاتری نسبت به نقاط کربنی سنتز شده از منابع طبیعی و به روش سبز نشان می دهند. بنابراین، استفاده از مواد زیست سازگار و ضایعات زیستی به عنوان مواد اولیه مناسب برای سنتز سبز نقاط کربنی مطرح شده است. همچنین، نقاط کربنی حاوی هترواتمها را می توان به راحتی از زیست توده های حاوی اتمهای نیتروژن، گوگرد سنتز نمود. از آنجایی که زیست توده های مختلف شامل گروه های عاملی متفاوتی هستند امکان سنتز نقاط کربنی با گروههای عاملی مختلف و ویژگی های مورد نظر از منابع زیست توده وجود دارد. علاوه بر این، استفاده از مواد زیستی امکان سنتز نقاط کربنی را با روشهای سبز، آسان، ارزان قیمت و با بازده نسبتاً بالا فراهم می کند [۱۶]. هدف از این مقاله بررسی روشهای سنتز سبز و منابع کربنی مختلف است که می توانند برای تولید نقاط کربنی استفاده شوند.

۲- شرایط سنتز سبز

برای پاسخ به این سوال که چه عواملی باعث می شوند یک روش سنتز، سبز در نظر گرفته شود بایستی ۱۲ اصل از اصول شیمی سبز بخصوص موارد زیر که توسط آناستاس و وارنر ارائه شده اند، را در نظر گرفت: (۳) سنتز شیمیایی کم خطر، (۴) طراحی ایمن تر مواد شیمیایی (۵) حلال ها و مواد ایمن تر (۶) طراحی برای بهره وری انرژی و (۷) استفاده از مواد اولیه تجدید پذیر [۸]. این اصول را می

است. مطالعات نشان می دهد که اندازه نانو ذرات، گروههای عاملی بر روی سطح آنها و همچنین نوع روش سنتزی مورد استفاده نقش مؤثری در تعیین خواص و تنظیم ماهیت و ویژگی های نقاط کربنی دارند [۸]. اجزای اصلی تشکیل دهنده نقاط کربنی، کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند که روش سنتز اغلب نسبت این عناصر را تعیین می کند و همچنین افزودن ناخالصی های هترواتم هایی مانند نیتروژن، گوگرد و فسفر خواص آنها را تا حد زیادی بهبود می بخشد [۱]. به دلیل سمیت کم نقاط کربنی، این دسته از ترکیبات می توانند جایگزین مناسبی برای نقاط کوانتومی نیمه هادی بر اساس فلزات سنگین سمی باشند. در حال حاضر، روش های سنتز بسیار متنوعی برای تولید نقاط کربنی وجود دارد که بطور کلی می توانند به روشهای سنتز از بالا به پایین و از پایین به بالا طبقه بندی شوند. در فرآیند از بالا به پایین، ماکرومولکول ها توسط فرایندهای فیزیکی به نانو ذرات تبدیل می شوند، در حالی که رویکرد پایین به بالا عمدتاً شامل پلیمریزاسیون و کربنیزه شدن یک سری از مولکول ها از طریق واکنش شیمیایی می باشد [۹]. مطالعات و مقالات مروری بسیار خوبی در این زمینه به چاپ رسیده است [۱۲، ۸-۱۱]. فرسایش لیزری، تخلیه قوس، روش های الکتروشیمی و روشهای پلاسما به عنوان روشهای بالا به پایین و روشهای هیدروترمال، میکروویو، اولتراسونیک و تخریب گرمایی به عنوان مثال هایی از روشهای پایین به بالا می باشند. شکل ۱ روشهای مختلف سنتز نقاط کربنی را نشان می دهد. بر اساس مطالعات انجام شده، روش هیدروترمال به عنوان یکی از مرسوم ترین روشهای مورد استفاده جهت سنتز این نانوذرات گزارش شده است [۱۲]. خواص نوری و الکتریکی نقاط کربنی بیشتر به نوع مواد اولیه آنها و شرایط سنتز بستگی دارند [۱۳، ۱۴]. عملکرد فوتولومینسانس نقاط کربنی از طریق اندازه گیری بازده کوانتومی ارزیابی می شود. به عبارت دیگر، برای دستیابی به عملکرد مطلوب در کاربردهایی از جمله تصویربرداری زیستی، حسگرهای زیستی، فوتوکاتالیز، دارورسانی، سلول های خورشیدی و غیره سنتز نقاط کربنی که بازده کوانتومی بالایی دارند از اهمیت زیادی برخوردار هستند. نقاط کربنی سنتز شده از منابع کربن معدنی (اسید سیتریک، گرافیت و غیره) دارای بازده کوانتوم پایینی هستند. به طور کلی، ورود اتم های مختلف، از جمله S ، N و غیره، و همچنین اصلاح سطح نانو ذرات برای بهبود بازده کوانتومی استفاده می شود [۱۵]. از سوی

توان به عنوان فاکتورهای مهم مواد اولیه و حلال های تجدیدپذیر غیر سمی که در فرایندهای سنتز ایمن نقاط کربنی استفاده می شوند به کار برد. نقاط کربنی سنتز شده نیز باید غیر سمی بوده و از نظر شیمیایی پایدار باشند.

به طور معمول، سنتز نقاط کربنی به انرژی زیادی نیازمند است. با این حال روش های سنتزی که به انرژی کمتری نیازمندند در اولویت قرار می گیرند. با توجه به موارد توضیح داده شده، در بخش های بعدی انواع منابع توده های زیستی مورد استفاده و همچنین انواع روش های گزارش شده برای سنتز سبز نقاط کربنی آورده می شود.

۳- منابع زیست توده برای سنتز نقاط کربنی

زیست توده به هر ترکیب آلی غیرفسیلی و زیست تخریب پذیر مشتق شده از موجودات زنده روی زمین اشاره دارد. به عبارت دیگر زیست توده ها شامل محصولات اصلی، محصولات جانبی، باقیمانده ها و ضایعات مشتق شده از ارگانسیم های زنده می باشند و می توانند به عنوان یک منبع ایده آل کربنی برای ساخت نقاط کربنی استفاده شوند. نقاط کربنی سبز، ارزان و سازگار با محیط زیست را می توان به آسانی از منابع مختلف زیست توده سنتز کرد [۱۶، ۱۷]. همچنین، سنتز نقاط کربنی از محصولات جانبی، باقیمانده ها یا مواد زائد، موجب تبدیل زیست توده کم ارزش به نانوذرات با ارزش و مفید همراه باحفاظت از محیط زیست می شود. طبیعت مجموعه وسیعی از منابع زیست توده مشتق شده از گیاهان، حیوانات و میکروارگانسیم ها را فراهم می کند. دو دسته مهم از منابع استفاده شده برای سنتز نقاط کربنی را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود: اول، گیاهان و موادغذایی و دوم، مواد زائد زیست توده ها (ضایعات کشاورزی، حیوانی و ...) [۱۸].

۳-۱- گیاهان و غذاها به عنوان منبع کربنی

گیاهان شامل ترکیبات متفاوت کربن دار مانند شکر، اسیدهای آلی، اسید آمینه، پکتین، سلولز، نشاسته و غیره می باشند. قسمت های مختلف گیاه از جمله برگ، ریشه، ساقه، میوه، گل و دانه برای سنتز نقاط کربنی مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۹]. نقاط کربنی مختلف با آب میوه/میوه های مختلف از جمله سیب [۲۰]، گلابی [۲۱]،

موز [۲۲]، هندوانه [۲۳] و انبه [۲۴] ساخته شده اند. مرکبات، به ویژه آب لیمو، به راحتی در دسترس بوده و به دلیل مقادیر بالای اسید سیتریک و قند به یکی از پرمصرف ترین منابع اولیه برای سنتز نقاط کربنی تبدیل شده اند [۲۵]. همان گونه که قبلا اشاره شد، وجود هترواتم در نقاط کربنی باعث افزایش بازده کوانتومی می شود. ایجاد ناخالصی نیتروژن در نقاط کربنی به عنوان یکی از پرکاربردترین موارد شناخته می شود. علت این امر الکترونگاتیوی بالای نیتروژن، شباهت اندازه اتمی نیتروژن و کربن به یکدیگر، وجود جفت الکترون های آزاد روی نیتروژن و انتقال آسان آن به اوربیتال های π ساختار کربن sp^2 است [۲۶]. افزودن نیتروژن به دو روش کلی انجام پذیر است؛ افزودن منابع نیتروژن معدنی مانند فرمامید، آمونیاک، اتیلن دی آمین، و غیره در زیست توده یا انتخاب زیست توده حاوی نیتروژن ذاتی. به عنوان نمونه، تهیه نقاط کربنی دارای ناخالصی نیتروژن و گوگرد با بازده کوانتومی ۳۲ درصد با استفاده از موز به عنوان منبع حاوی کربن، نیتروژن و گوگرد گزارش شده است [۲۲].

تحقیقات مربوط به نقاط کربنی سنتز شده از میوه باعث علاقه به سنتز سایر نقاط کربنی از سبزیجات شده است. تا به حال نقاط کربنی از چندین نوع سبزی مانند عدس، کلم، گوجه فرنگی، هویج، اسفناج و غیره گزارش شده است [۲۷]. در میان سبزیجات غنی از کربوهیدرات، نقاط کربنی سنتز شده از سیب زمینی و ذرت بازده کوانتومی بالاتری نسبت به نقاط کربنی سنتز شده از نیشکر و سیب زمینی شیرین نشان دادند [۳۰-۲۸].

در مطالعه ای توسط رومرو و همکاران در سال ۲۰۱۹، سبزیجات مختلف مانند بروکلی، هویج، کرفس، رازیانه، لوبیا سبز، کدو تنبل، گوجه فرنگی و کلم سفید به عنوان منابع کربن برای روش سنتز فتوشیمیایی نقاط کربنی استفاده شدند [۳۱]. علاوه بر این، کالکال و همکاران در سال ۲۰۲۱ نقاط کربنی سنتز شده از سیر را به عنوان عامل مبارزه با همه گیری کووید-۱۹ مورد بررسی قرار دادند [۳۲]. استفاده از دو منبع کربن طبیعی به جای تنها یک زیست توده برای تسهیل در سنتز نقاط کربنی حاوی هترواتم ها استفاده شده است. به عنوان مثال، هو و همکاران در سال ۲۰۱۷ ساخت نقاط کربنی حاوی N و S را با استفاده از شاه بلوط و پیاز با هم گزارش دادند [۳۳].

غلات مختلف نیز مانند جو، سویا، بلغور جو دوسر و غیره به عنوان منابع کربن برای سنتز نقاط کربنی استفاده شده اند [۱۹، ۳۶-۳۴]. علاوه بر این، نقاط کربنی حاوی نیتروژن از شیر، ماست، گوشت خوک و غیره نیز گزارش شده اند [۳۷-۴۰]. همچنین، گل‌هایی از جمله گل رز [۴۱]، گل های شکوفه گیلاس [۴۲] و زعفران [۴۳] و همچنین منابعی مانند عسل، برگ گیاه، دانه هایی مانند چیا و زیره سیاه نیز به عنوان منابع کربن طبیعی مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۶].

برخی از گیاهان سرشار از مواد فیتوشیمیایی مختلف هستند که دارای فعالیت‌های ضد سرطان، ضد دیابت، محافظ کبد، ضد التهابی و آنتی اکسیدانی می باشند. از این رو، استفاده از این گیاهان به عنوان منبع کربنی می تواند به دلیل زیست سازگاری بالاتر و عوارض جانبی کمتر جهت کاربرد نقاط کربنی برای مطالعات زیستی استفاده شود. در این زمینه چندین گیاه دارویی مانند کورکومین، تولسی، زردچوبه، زنجبیل، گیاهان دارویی آیورودا، گیاهان سنتی چینی و غیره به عنوان منابع کربن نیز مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۶، ۱۸، ۴۴].

۳-۲- مواد زائد زیست توده ها به عنوان منبع کربنی

ضایعات زیست توده تولید شده از فعالیت های کشاورزی، جنگلداری و صنعتی با برخی نگرانی های جدی همراه است. از آنجایی که زباله های زیست توده به درستی مدیریت نمی شوند، برای محیط زیست مضر می باشند. بنابراین تبدیل ضایعات به محصولات با ارزش از نظر حفاظت از محیط زیست و کاهش تقاضا برای منابع طبیعی یک ضرورت اجتماعی است. زباله های زیست توده عمدتاً از ترکیبات غنی از کربن مانند سلولز، همی سلولز، لیگنین، کیتین و غیره بوده بنابراین، این منابع کربن برای سنتز نقاط کربنی مناسب هستند. استفاده از ضایعات زیست توده به عنوان منابع کربنی دارای مزایای دیگری مانند در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، پایداری و زیست سازگار بودن نیز می باشند [۴۵، ۱۶]. در این بخش برخی از تحقیقات انجام شده در مورد استفاده از مواد زائد مختلف از جمله بقایای مواد غذایی و کشاورزی آورده شده است [۴۶].

در میان ضایعات زیست توده، پوست میوه ها از جمله پوست مرکبات، پوست انبه، پوست آناناس و ... به عنوان منابع کربن برای سنتز زیست سازگار نقاط کربنی استفاده شده اند [۲۱، ۴۷]. به عنوان نمونه، نقاط کربنی از پوست لیمو و پرتقال با استفاده از روش کربونیزاسیون در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت سنتز شدند. اگرچه این دو مدل نقاط کربنی دارای خواص مشابهی مانند نشر فلورسانس آبی رنگ، طول موج نشر مستقل از طول موج برانگیختگی، شکل کروی، و غیره بودند، اما کاربردهای متفاوتی را نشان دادند. به نحوی که سنتز از پوست لیمو و پرتقال انتخابگری مناسبی را به ترتیب نسبت به تارترازین و یونهای آهن از خود نشان دادند که این امر می تواند به دلیل وجود گروههای عاملی مختلف بروی سطح نقاط کربنی باشد [۴۸]. هو و همکاران در سال ۲۰۲۱ گزارش کردند که نقاط کربنی سنتز شده از پوست پرتقال و ایتیلن گلیکول با استفاده از روش میکروویو، فلورسانس سبز با بازده کوانتومی ۱۶/۲ درصد ایجاد می کند [۴۹]. در تحقیقات دیگری در سال ۲۰۲۰ گزارش شد که بازده کوانتومی بالا (۱۸/۲٪) بستگی به غلظت روغن فرار موجود در پوست پرتقال دارد [۵۰]. همچنین با استفاده از محتوای هترواتم ذاتی پیاز یا پوست سیر، نقاط کربنی حاوی ناخالصی هترواتم سنتز شدند [۵۱].

یکی از مواد اولیه رایج برای سنتز نقاط کربنی استفاده از بیوپچار/هیدروچار^۱ می باشد. بیوپچار و هیدروچار مواد کربنی هستند که از کربونیزه شدن زیست توده های آلی تولید می شوند. معمولاً برای تولید بیوپچار از فرایند گرماکافت (پیرولیز) آهسته و برای تولید هیدروچار از فرایند کربونیزه شدن گرمابی استفاده می شود [۵۲]. به منظور سنتز نقاط کربنی توسط این روش، یک فرایند دو مرحله ای انجام می شود. در این روش، پسماندهای کشاورزی/غذا ابتدا از طریق تجزیه در اثر حرارت/کربونیزاسیون هیدروترمال به بیوپچار/هیدروچار تبدیل می شوند. سپس با استفاده از اسید غلیظ آنها را به نقاط کربنی تبدیل می کنند. برای مثال ژو و همکاران در سال ۲۰۱۸ از این روش استفاده نموده و گزارش دادند که این روش یک مخلوط از نقاط کربنی با اندازه و نشرهای مختلف (آبی، سبز، زرد و قرمز) تولید می کند [۵۳].

از ضایعات متنوع کشاورزی مانند کاه گندم، پوسته برنج و غیره با روش های مختلف از جمله فراصوت، پیرولیز، هیدروترمال نیز برای

¹ Biochar/hydrochar

سنتز نقاط کربنی استفاده می شود [۵۴،۵۵]. ضایعات کشاورزی عمدتاً حاوی مقادیر زیادی از منابع کربن لیگنوسلولزی شامل لیگنین، سلولز و همی سلولز که در برابر آب و حلال های آلی مقاوم هستند، می باشد. بنابراین، انحلال این اجزا در آب یا حلال های آلی برای تبدیل آنها به نقاط کربنی از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱۶،۲۷].

مواد زائد حیوانی از جمله پوست، صدف، پر و استخوان سرشار از کربن و همچنین هترواتم هایی مانند نیتروژن، فسفر و غیره است. به همین دلیل، ضایعات حیوانی متنوعی برای تولید نقاط کربنی حاوی هترواتم ها با بازده کوانتوم بالا ارائه شده اند. لیو، ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ از پر غاز که نوعی از ضایعات عمده طیور است، برای ساخت نقاط کربنی دوپه شده با هترواتم نیتروژن و گوگرد با نشرفلورسانس آبی رنگ و بازده کوانتومی بالا ۱۷/۱٪ استفاده کردند [۵۶]. دهواری و همکاران در سال ۲۰۱۹ از پوسته خرچنگ که غنی از کیتین و پروتئین است، به عنوان منبع کربن و روش فراصوت برای سنتز نقاط کربنی استفاده کردند [۵۷]. اخیراً نقاط کربنی سنتز شده از استخوان های دنده خوک، ضایعات پوست حیوانات، پوسته تخم مرغ، کود گاوی و ضایعات ماهی ها نیز گزارش شده است [۱۶، ۶۰-۵۸].

۴- روش های سنتز سبز

اغلب از رویکرد پایین به بالا در سنتز نقاط کربنی از زیست توده استفاده شده است. بنابراین، در این بخش سنتز روش های پایین به بالا که شامل سنتز هیدروترمال، سنتز با استفاده از میکروویو، پیرولیز، اکسیداسیون شیمیایی و سنتز با استفاده از اولتراسونیک است، بررسی می شوند.

۴-۱- پیرولیز و کربنیزاسیون حرارتی

پیرولیز نوعی کربنیزاسیون به کمک دما است که اجزای آلی را در دماهای بالاتر تحت یک محیط بی اثر تجزیه می کنند. این روش زیست توده آلی را از طریق از دست دادن آب، تخریب حرارتی و کربنیزاسیون در یک محیط بی اثر به نانوذرات تبدیل می کند. شرایط سنتز مانند زمان، دما و سرعت گرمایش تأثیر مستقیمی بر روی ویژگی های ساختاری و عملکردی محصولات دارند [۶۱].

برای هر دو پیرولیز آهسته و سریع، شرایط فرایند از جمله محدوده دمای حداکثر و زمان ماندگاری در آن دما کم و بیش یکسان است، اما سرعت گرمایش متفاوت بوده به طوریکه معمولاً سرعت گرمایش $1-30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ برای پیرولیز آهسته مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که در پیرولیز سریع سرعت گرمایش بزرگتر از $500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ است. باقری و همکاران اثر پیرولیز را روی اسیدهای سیتریک در محدوده دمای $160-220\text{ }^{\circ}\text{C}$ مطالعه کرده و گزارش دادند که در دمای پایین تر (160 درجه سانتیگراد) در مقایسه با دمای بالا نقاط کربنی با بازده کوانتومی بالاتر تولید می شوند [۶۲]. در مجموع می توان گفت که پیرولیز یکی از ساده ترین و مرسوم ترین روش هایی است که می توان در غیاب هوا/اکسیژن انجام داد اما مشکل اصلی این روش، هزینه بالا و سرعت انتقال حرارت کم است.

۴-۲- روش هیدروترمال

روش هیدروترمال به دلیل هزینه کم و آسانی، یکی از رایج ترین روش ها برای تهیه سنتز سبز نقاط کربنی است. این روش معمولاً نیاز به ظرف واکنش اتوکلاو تحت فشار دارد. دما و زمان دو پارامتر بسیار مهم در این روش می باشند. در مطالعات انجام شده دمای واکنش در محدوده $120-240$ درجه سانتیگراد و زمان واکنش $3-12$ ساعت در یک سنتز نوعی گزارش شده است [۸]. سنتز سبز توسط این روش به استفاده از آب (هیدروترمال) یا حلال های آلی (حلال گرمایی) مانند اتانول اشاره دارد. این روش می تواند نانوساختارهایی با یکنواختی بالا در اندازه و شکل های مختلف را تولید کند. ژانگ و همکاران نقاط کربنی را با استفاده از زیست توده لیگنوسلولزی به روش هیدروترمال در دمای 220 درجه سانتیگراد به مدت 5 ساعت سنتز کردند [۶۳].

حلال همچنین می تواند یک ماده تجدید پذیر باشد که به عنوان منبع کربن در سنتز عمل می کند مانند روغن گردو [۶۴] یا ممکن است سنتز بدون حلال یعنی گرمایش خشک باشد که معمولاً در دمای 300 درجه سانتیگراد در شرایط فشار محیط انجام می شود. هر چند این نوع روش کار ساده به نظر می رسد اما انجام آن نیاز به دماهای بالا و زمان واکنش طولانی دارد. این پارامترهای واکنش را می توان در عین به حداقل رساندن انرژی برای به حداکثر رساندن بازده محصول و کاربرد خاص به آسانی بهینه کرد.

۴-۳- استفاده از سامانه های حرارتی مبتنی بر میکروویو (ریزموج)

سنتز میکروویو زمانی توصیه می شود که نیاز به گرمایش همگن و مدت زمان کوتاه باشد. امواج میکروویو از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز استفاده می کند و برخلاف حالت معمولی کربنیزاسیون، امواج میکروویو با دوقطبی الکتریکی مولکول ها برهمکنش دارد. دوقطبی مولکولی و دوقطبی مولکول آب خود را با میدان الکتریکی میکروویو هم جهت می کنند. در این فرآیند، گرما در یک نمونه تولید و منتقل می شود و انتقال حرارت یکنواخت و همگن با حداقل اتلاف انرژی انجام می شود، در حالی که در حالت گرمایش معمولی، گرمایش یکنواخت نیست و با افزایش فاصله منبع گرمایش تا نمونه، گرما کاهش می یابد. سنتز میکروویو معمولاً یک فرایند یک مرحله ای است که زمان سنتز را کاهش و بازده آن را افزایش می دهد [۶۵].

در سنتز به روش میکروویو از حرارت دادن مخلوط های واکنش، معمولاً با استفاده از توان ۸۰۰ وات فقط برای چند دقیقه استفاده می شود. با وجود این مزایا، تجهیزات تخصصی مورد نیاز ممکن است گران باشد. با این حال استفاده از مایکروویوهای خانگی با کنترل کمتر پارامترها نیز مرسوم است [۱۵]. به عنوان مثال، از شکر سفید به عنوان ماده اولیه برای سنتز نقاط کربنی با اندازه بین ۷ تا ۹ نانومتر به کمک میکروویو (۴۵۰ وات، ۴۰ دقیقه) استفاده شده است [۶۶].

۴-۴- روش اولتراسونیک

روش اولتراسونیک یک روش آسان و کم هزینه برای مقیاس بزرگ سنتز نقاط کربنی است. اگرچه مکانیسم دقیق آن مشخص نیست اما فرض بر این است که تولید کاویتاسیون بر روی سنتز نانوذرات و کارایی آنها اثر می گذارد. این امواج می توانند ایجاد شرایط لحظه ای با دما و فشار بالا معمولاً در محدوده دمای ۵۰۰۰ کلوین و فشار ۱۰۰۰ اتمسفر کنند که این شرایط باعث ایجاد تغییرات شیمیایی و فیزیکی در ماده می شود. با تنظیم پارامترهای موثر بر سنتز مانند فرکانس فراصوت، زمان، نوع حلال، حضور سورفکتانت و نوع ماده اولیه می توان نقاط کربنی با ویژگی های مختلف ساخت [۶۷]. به عنوان نمونه، در یک مطالعه از پوست سیر و ضایعات نیشکر به

روش اولتراسونیک به منظور سنتز نقاط کربنی استفاده شده است. نانوذرات سنتز شده فلورسانس آبی رنگ و حلالیت بسیار خوبی در آب از خود نشان می دهند [۶۸].

۴-۴- روش اکسیداسیون شیمیایی

روش اکسیداسیون شیمیایی شامل اکسیداسیون مواد با اکسیدان هایی قوی مانند HNO_3 ، H_2SO_4 و H_2O_2 می باشد. این روش نسبتاً آسان، مؤثر و راحت برای سنتز نقاط کربنی در مقادیر زیاد بدون نیاز به تجهیزات پیچیده است. به طور کلی نقاط کربنی سنتز شده با این روش، سرشار از اکسیژن و گروه های عاملی مانند OH و COOH هستند که به آنها خواص آب دوستی و فلورسانس استثنایی می دهند. اگرچه این روش دارای مزایای برجسته ای مانند بازده و خلوص بالا، گزینش پذیری بالا و کنترل ساده اندازه ذرات می باشد اما معایبی مانند استفاده از اکسیدان های گران قیمت و اثرات آلاینده زیستی دارند [۶۹]. گونجال و همکاران در سال ۲۰۱۹ نقاط کربنی را از ضایعات چای و با استفاده از روش اکسیداسیون شیمیایی با بازده کوانتومی ۲/۴۷ درصد سنتز کردند [۴۶]. همچنین سنتز نقاط کربنی با فلورسانس آبی، سبز و زرد از گوجه فرنگی به طریق روش اکسیداسیون شیمیایی گزارش شده است [۷۰].

در جدول ۱ خلاصه ای از برخی تحقیقات انجام شده برای سنتز نقاط کربنی با استفاده از منابع مختلف زیست توده، نوع روش سنتزی و کاربرد آنها آورده شده است.

۵- نتیجه گیری

در این بررسی، تحقیقات اخیر در سنتز نقاط کربنی با تاکید بر منابع کربنی جدیدتر شرح داده شده است. استفاده از منابع تجدیدپذیر، ارزان و سبز نه تنها نیاز فوری به سنتز نقاط کربنی در مقیاس بزرگ را برآورده می کند، بلکه موجب حفاظت از محیط زیست می شود. با این حال، با توجه به پیشرفت های اخیر در سنتز سبز نقاط کربنی، بیشتر روش های سنتزی موجود در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. تولید نقاط کربنی در مقیاس بزرگ با استفاده از این مواد اولیه در اکثر موارد انجام نشده است و در نتیجه، هنوز مشخص نیست که آیا نمونه های آماده شده خواص منحصر به فرد ارائه شده در

جدول ۱- سنتر نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از منابع کربنی متفاوت

ردیف	منبع کربنی	روش سنتز	کاربرد	مرجع
۱	پیاز	هیدروترمال	تصویربرداری زیستی	[۷۱]
۲	سیر	هیدروترمال	تصویربرداری زیستی	[۷۲]
۳	پاپایا	هیدروترمال	اندازه گیری یون آهن	[۷۳]
۴	لیمو	هیدروترمال	تصویربرداری زیستی	[۷۴]
۵	شیر سویا	هیدروترمال	الکتروکاتالیست	[۷۵]
۶	سیب زمینی شیرین	هیدروترمال	اندازه گیری یون جیوه	[۷۶]
۷	برگهای بامبو	هیدروترمال	اندازه گیری یون مس	[۷۷]
۸	پوست تخم مرغ	هیدروترمال- مایکروویو	بیوسنسور	[۷۸]
۹	پوسته برنج	پیرولیز	تصویربرداری زیستی	[۵۵]
۱۰	برگ گیاهان	پیرولیز	اندازه گیری یون سرب	[۷۹]
۱۱	پکتین مرکبات	هیدروترمال	تصویربرداری زیستی	[۸۰]
۱۲	برگ چای سبز	پیرولیز- اکسیداسیون شیمیایی	اندازه گیری جفیتینیب	[۸۱]
۱۳	زعفران	هیدروترمال	تصویربرداری زیستی و اندازه گیری پرپلوکائین	[۴۳]
۱۴	زیره سیاه	هیدروترمال	اندازه گیری تتراسایکلین و لیزین	[۸۲]
۱۵	برگ های زردچوبه دارویی	هیدروترمال	خاصیت آنتی باکتریال	[۸۳]
۱۶	پوست پرتقال	هیدروترمال	ردیابی باکتری اشرشیاکولی	[۴۹]
۱۷	پوست خرچنگ	اولتراسونیک	تصویربرداری زیستی	[۵۷]
۱۸	کاغذ باطله	مایکروویو	تصویربرداری زیستی	[۸۴]
۱۹	جلبک ها	هیدروترمال	اندازه گیری هیدروژن پراکسید	[۸۵]
۲۰	پوست انبه	پیرولیز	اندازه گیری یون آهن	[۸۶]
۲۱	مواد زائد پوسته نخل	پیرولیز	اندازه گیری نیتروفتول	[۸۷]
۲۲	علف	هیدروترمال	حذف آلاینده های آلی و معدنی	[۸۸]
۲۳	کاه کتان	هیدروترمال	اندازه گیری آسکوربیک اسید و یونهای کبالت و کروم	[۸۹]
۲۴	پنبه	اکسیداسیون شیمیایی	خازن	[۹۰]

مراجع

مقیاس آزمایشگاهی را نشان می دهند یا خیر. اگر تولید در مقیاس بزرگ از منابع سبز محقق شود، تأثیر زیادی از نظر اقتصادی و زیست محیطی خواهد داشت، زیرا نقاط کربنی کاربردهای بسیار زیادی در حوزه های مختلف دارند.

1. M. Kurian and A. Paul, Carbon Trends **3**, 100032 (2021).
2. S. Abbaszadeh, G. Nikaeen, and S. Yousefinejad, Nanomedicine **16**, 2033 (2021).
3. I. Raya, H. H. Kzar, Z. H. Mahmoud, A. Al Ayub Ahmed, A. Z. Ibatova, and E. Kianfar, Carbon Lett. **32**, 339 (2022).
4. X. Xu, R. Ray, Y. Gu, H. J. Ploehn, L. Gearheart, K. Raker, and W. A. Scrivens, J. Am. Chem. Soc. **126**, 12736 (2004).
5. S. Zhu, Y. Song, X. Zhao, J. Shao, J. Zhang, and B. Yang, Nano Res. **8**, 355 (2015).
6. A. Safavi, F. Sedaghati, H. Shahbaazi, and E. Farjami, RSC Adv. **2**, 7367 (2012).
7. P. Kaur and G. Verma, Mater. Today Sustain. **18**, 100137 (2022).
8. S. Chahal, J. R. Macairan, N. Yousefi, N. Tufenkji, and R. Naccache, RSC Adv. **11**, 25354 (2021).
9. X. Wang, Y. Feng, P. Dong, and J. Huang, Front. Chem. **7**, 1 (2019).
10. Z. Feng, K. H. Adolfsson, Y. Xu, H. Fang, M. Hakkarainen, and M. Wu, Sustain. Mater. Technol. **29**, e00304 (2021).
11. A. Khayal, V. Dawane, M. A. Amin, V. Tirth, V. K. Yadav, A. Algahtani, S. H. Khan, S. Islam, K. K. Yadav, and B. H. Jeon, Polymers (Basel). **13**, 1 (2021).
12. P. Kumar, S. Dua, R. Kaur, M. Kumar, and G. Bhatt, RSC Adv. **12**, 4714 (2022).
13. M. L. Liu, B. Bin Chen, C. M. Li, and C. Z. Huang, Green Chem. **21**, 449 (2019).
14. N. K. Khairol Anuar, H. L. Tan, Y. P. Lim, M.

- Sci. Eng. C **38**, 20 (2014).
31. V. Romero, V. Vila, I. de la Calle, I. Lavilla, and C. Bendicho, *Sensors Actuators B Chem.* **280**, 290 (2019).
32. A. Kalkal, P. Allawadhi, R. Pradhan, A. Khurana, K. K. Bharani, and G. Packirisamy, *Sensors Int.* **2**, 100102 (2021).
33. Y. Hu, L. Zhang, X. Li, R. Liu, L. Lin, and S. Zhao, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **5**, 4992 (2017).
34. Y. Xie, D. Cheng, X. Liu, and A. Han, *Sensors (Switzerland)* **19**, (2019).
35. C. Yu, T. Xuan, Y. Chen, Z. Zhao, Z. Sun, and H. Li, *J. Mater. Chem. C* **3**, 9514 (2015).
36. W. B. Zhao, K. K. Liu, S. Y. Song, R. Zhou, and C. X. Shan, *Nanoscale Res. Lett.* **14**, (2019).
37. S. Dinç, M. Kara, M. Demirel Kars, F. Ayköl, H. Çiçekci, and M. Akkuş, *Appl. Phys. A* **123**, 572 (2017).
38. S. Moonrinta, B. Kwon, I. In, S. Kladsomboon, W. Sajomsang, and P. Paoprasert, *Opt. Mater. (Amst.)* **81**, 93 (2018).
39. L. Wang and H. S. Zhou, *Anal. Chem.* **86**, 8902 (2014).
40. C. Zhao, Y. Jiao, F. Hu, and Y. Yang, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* **190**, 360 (2018).
41. V. Sharma, S. K. Singh, and S. M. Mobin, *Nanoscale Adv.* **1**, 1290 (2019).
42. K. Huang, Q. He, R. Sun, L. Fang, H. Song, L. Li, Z. Li, Y. Tian, H. Cui, and J. Zhang, *Chem. Phys. Lett.* **731**, 136586 (2019).
43. A. A. Ensafi, S. Hghighat Sefat, N. Kazemifard, B. Rezaei, and F. Moradi, *Sensors Actuators B Chem.* **253**, 451 (2017).
44. Y. Choi, X. T. Zheng, and Y. N. Tan, *Mol. Syst. Des. Eng.* **5**, 67 (2020).
45. C. Kang, Y. Huang, H. Yang, X. F. Yan, and Z. P. Chen, *Nanomaterials* **10**, 2316 (2020).
46. D. B. Gunjal, Y. M. Gurav, A. H. Gore, V. M. Naik, R. D. Waghmare, C. S. Patil, D. Sohn, P. V. Anbhule, R. V. Shejwal, and G. B. Kolekar, *Opt. S. So'aib, and N. F. Abu Bakar, Front. Energy Res.* **9**, 1 (2021).
15. A. H. Da Silva Júnior, D. L. Pier Macuvele, H. G. Riella, C. Soares, and N. Padoin, *J. Mater. Res. Technol.* **12**, 688 (2021).
16. S. Dinç, M. Kara, and E. Yavuz, in *Carbon Dots Agric. Syst. Strateg. to Enhanc. Plant Product.* (Elsevier, 2022), pp. 69–116.
17. Y. Lou, X. Hao, L. Liao, K. Zhang, S. Chen, Z. Li, J. Ou, A. Qin, and Z. Li, *Nano Sel.* **2**, 1117 (2021).
18. A. Saravanan, M. Maruthapandi, P. Das, J. H. T. Luong, and A. Gedanken, *Nanomaterials* **11**, 1 (2021).
19. V. Sharma, P. Tiwari, and S. M. Mobin, *J. Mater. Chem. B* **5**, 8904 (2017).
20. V. N. Mehta, S. Jha, H. Basu, R. K. Singhal, and S. K. Kailasa, *Sensors Actuators B Chem.* **213**, 434 (2015).
21. G. S. Das, J. P. Shim, A. Bhatnagar, K. M. Tripathi, and T. Y. Kim, *Sci. Rep.* **9**, 1 (2019).
22. N. Chaudhary, P. K. Gupta, S. Eremin, and P. R. Solanki, *J. Environ. Chem. Eng.* **8**, 103720 (2020).
23. M. Lu, Y. Duan, Y. Song, J. Tan, and L. Zhou, *J. Mol. Liq.* **269**, 766 (2018).
24. C. J. Jeong, A. K. Roy, S. H. Kim, J.-E. Lee, J. H. Jeong, I. In, and S. Y. Park, *Nanoscale* **6**, 15196 (2014).
25. M. He, J. Zhang, H. Wang, Y. Kong, Y. Xiao, and W. Xu, *Nanoscale Res. Lett.* **13**, (2018).
26. Y. Park, Y. Kim, H. Chang, S. Won, H. Kim, and W. Kwon, *J. Mater. Chem. B* **8**, 8935 (2020).
27. W. Meng, X. Bai, B. Wang, Z. Liu, S. Lu, and B. Yang, *ENERGY Environ. Mater.* **2**, 172 (2019).
28. J. Shen, S. Shang, X. Chen, D. Wang, and Y. Cai, *Mater. Sci. Eng. C* **76**, 856 (2017).
29. K. Rajendran, G. Rajendran, J. Kasthuri, K. Kathiravan, and N. Rajendran, *ChemistrySelect* **4**, 13668 (2019).
30. V. N. Mehta, S. Jha, and S. K. Kailasa, *Mater.*

60. H. Liu, J. Ding, L. Chen, and L. Ding, J. Photochem. Photobiol. A Chem. **400**, 112724 (2020).
61. S. Kant Bhatia, A. K. Palai, A. Kumar, R. Kant Bhatia, A. Kumar Patel, V. Kumar Thakur, and Y.-H. Yang, Bioresour. Technol. **340**, 125644 (2021).
62. Z. Bagheri, H. Ehtesabi, M. Rahmandoust, M. M. Ahadian, Z. Hallaji, F. Eskandari, and E. Jokar, Sci. Rep. **7**, 11013 (2017).
63. L. Zhang, S. Lyu, Q. Zhang, S. C. Chmely, Y. Wu, C. Melcher, K. Rajan, D. P. Harper, S. Wang, and Z. Chen, Ind. Crops Prod. **145**, 112066 (2020).
64. E. Arkan, A. Barati, M. Rahmanpanah, L. Hosseinzadeh, S. Moradi, and M. Hajialyani, Adv. Pharm. Bull. **8**, 149 (2018).
65. V. Ahuja, A. K. Bhatt, S. Varjani, K. Y. Choi, S. H. Kim, Y. H. Yang, and S. K. Bhatia, Chemosphere **293**, 133564 (2022).
66. Isnaeni, Y. Herbani, and M. M. Suliyanti, J. Lumin. **198**, 215 (2018).
67. R. Kumar, V. B. Kumar, and A. Gedanken, Ultrason. Sonochem. **64**, 105009 (2020).
68. A. Boruah, M. Saikia, T. Das, R. L. Goswamee, and B. K. Saikia, J. Photochem. Photobiol. B Biol. **209**, 111940 (2020).
69. M. Zulfajri, Y.-T. Kao, and G. G. Huang, Sustain. Chem. Pharm. **22**, 100469 (2021).
70. S. K. Kailasa, S. Ha, S. H. Baek, L. M. T. Phan, S. Kim, K. Kwak, and T. J. Park, Mater. Sci. Eng. C **98**, 834 (2019).
71. S. Zhao, M. Lan, X. Zhu, H. Xue, T.-W. Ng, X. Meng, C.-S. Lee, P. Wang, and W. Zhang, ACS Appl. Mater. Interfaces **7**, 17054 (2015).
72. R. Bandi, B. R. Gangapuram, R. Dadigala, R. Eslavath, S. S. Singh, and V. Guttena, RSC Adv. **6**, 28633 (2016).
73. N. Wang, Y. Wang, T. Guo, T. Yang, M. Chen, and J. Wang, Biosens. Bioelectron. **85**, 68 (2016).
74. G. Oza, K. Oza, S. Pandey, S. Shinde, A. Mewada, M. Thakur, M. Sharon, and M. Sharon, J. Fluoresc. **25**, 9 (2015).
- Mater. (Amst). **98**, 109484 (2019).
47. K. K. Gudimella, T. Appidi, H. F. Wu, V. Battula, A. Jogdand, A. K. Rengan, and G. Gedda, Colloids Surfaces B Biointerfaces **197**, 111362 (2021).
48. T. Chatzimitakos, A. Kasouni, L. Sygellou, A. Avgeropoulos, A. Troganis, and C. Stalikas, Talanta **175**, 305 (2017).
49. X. Hu, Y. Li, Y. Xu, Z. Gan, X. Zou, J. Shi, X. Huang, Z. Li, and Y. Li, Food Chem. **339**, 127775 (2021).
50. M. Wang, R. Shi, M. Gao, K. Zhang, L. Deng, Q. Fu, L. Wang, and D. Gao, Food Chem. **318**, 126506 (2020).
51. K. Bankoti, A. P. Rameshbabu, S. Datta, B. Das, A. Mitra, and S. Dhara, J. Mater. Chem. B **5**, 6579 (2017).
52. H. S. Kambo and A. Dutta, Renew. Sustain. Energy Rev. **45**, 359 (2015).
53. Y. Zhou, Y. Liu, Y. Li, Z. He, Q. Xu, Y. Chen, J. Street, H. Guo, and M. Nelles, RSC Adv. **8**, 23657 (2018).
54. F. Du, M. Zhang, X. Li, J. Li, X. Jiang, Z. Li, Y. Hua, G. Shao, J. Jin, Q. Shao, M. Zhou, and A. Gong, Nanotechnology **25**, 315702 (2014).
55. Z. Wang, J. Yu, X. Zhang, N. Li, B. Liu, Y. Li, Y. Wang, W. Wang, Y. Li, L. Zhang, S. Dissanayake, S. L. Suib, and L. Sun, ACS Appl. Mater. Interfaces **8**, 1434 (2016).
56. R. Liu, J. Zhang, M. Gao, Z. Li, J. Chen, D. Wu, and P. Liu, RSC Adv. **5**, 4428 (2015).
57. K. Dehvari, K. Y. Liu, P.-J. Tseng, G. Gedda, W. M. Girma, and J.-Y. Chang, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. **95**, 495 (2019).
58. C. Campalani, E. Cattaruzza, S. Zorzi, A. Vomiero, S. You, L. Matthews, M. Capron, C. Mondelli, M. Selva, and A. Perosa, Nanomaterials **11**, 1 (2021).
59. F. H. Horst, C. V. da S. Rodrigues, P. H. P. R. Carvalho, A. M. Leite, R. B. Azevedo, B. A. D. Neto, J. R. Corrêa, M. P. Garcia, S. Alotaibi, M. Henini, S. B. Chaves, and M. O. Rodrigues, RSC Adv. **11**, 6346 (2021).

75. C. Zhu, J. Zhai, and S. Dong, *Chem. Commun.* **48**, 9367 (2012).
76. Z. Li, Y. Ni, and S. Kokot, *Biosens. Bioelectron.* **74**, 91 (2015).
77. Y. Liu, Y. Zhao, and Y. Zhang, *Sensors Actuators B Chem.* **196**, 647 (2014).
78. Q. Wang, X. Liu, L. Zhang, and Y. Lv, *Analyst* **137**, 5392 (2012).
79. L. Zhu, Y. Yin, C.-F. Wang, and S. Chen, *J. Mater. Chem. C* **1**, 4925 (2013).
80. X. J. Zhao, W. L. Zhang, and Z. Q. Zhou, *Colloids Surfaces B Biointerfaces* **123**, 493 (2014).
81. Z. Hu, X.-Y. Jiao, and L. Xu, *Microchem. J.* **154**, 104588 (2020).
82. N. Sharma and K. Yun, *Dye. Pigment.* **182**, 108640 (2020).
83. A. Saravanan, M. Maruthapandi, P. Das, J. H. T. Luong, and A. Gedanken, *Nanomaterials* **11**, 369 (2021).
84. Y. Jeong, K. Moon, S. Jeong, W.-G. Koh, and K. Lee, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **6**, 4510 (2018).
85. J. Zhang, X. Liu, J. Zhou, X. Huang, D. Xie, J. Ni, and C. Ni, *Nanoscale Adv.* **1**, 2151 (2019).
86. X.-Y. Jiao, L. Li, S. Qin, Y. Zhang, K. Huang, and L. Xu, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* **577**, 306 (2019).
87. H. Soni and P. S. Pamidimukkala, *Mater. Res. Bull.* **108**, 250 (2018).
88. M. Sabet and K. Mahdavi, *Appl. Surf. Sci.* **463**, 283 (2019).
89. G. Hu, L. Ge, Y. Li, M. Mukhtar, B. Shen, D. Yang, and J. Li, *J. Colloid Interface Sci.* **579**, 96 (2020).
90. Z. Zhao, Y. Huang, W. Ren, L. Zhao, X. Li, M. Wang, and Y. Lin, *ACS Appl. Energy Mater.* **4**, 9144 (2021).

Green synthesis of carbon dots from biomass

F. Sedaghati*

Department of chemistry, Estahban Higher Education center, Shiraz university, Estahban, Fras, Iran

Abstract: Carbon dots are a class of nanomaterial that are also defined as zero-dimension nanoparticles. Quantum dots (QDs) are getting special attention due to their worthy optical properties and different applications such as bioimaging, catalysis, sensing and drug delivery. C-Dots can be prepared using the top-down and bottom-up approaches, in which the latter method is commonly used for large scale and low-cost synthesis. C-Dots can be synthesized using sustainable raw materials or green biomass since it is environmentally friendly, in-expensive and most importantly, helps the minimization of waste production. In the same line, waste biomass, fruit peel, vegetable and agricultural biomass can be used as precursors for QDs synthesis. In this article, different methods of bottom-up synthesis of carbon dots using different biomasses that have been presented mostly in the last five years are reviewed.

Keywords: Carbon dot, Biomass, Green synthesis.