



مواد کربنی نانومتخلخل: معرفی و کاربردهای آنها

شکوفه گرانمایه* و نگین پورزادی

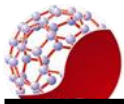
دانشکده شیمی-فیزیک، دانشگاه الزهرا(س)، ونک، تهران

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در جوامع انسانی، حفاظت محیط زیست و بازیافت مواد است و با توجه به محدود بودن ذخایر مواد نفتی، زغال سنگ و گاز که چرخ‌های صنایع را به حرکت درمی‌آورند، بشر در پی راهی برای استفاده بهینه از این صنایع تجدیدناپذیر است. کربن‌های متخلخل بدلیل مساحت سطح بالا و تخلخل زیادی که دارند، می‌توانند در زمینه‌های: کاتالیستی، بازیافت، جداسازی، ذخیره‌سازی، دارورسانی و ... مورد استفاده قرار گیرند. طراحی مولکولی مواد کربنی متخلخل به منظور تنظیم خواص درونی آن‌ها از قبیل: هدایت گازی و الکتریکی یا بررسی برهم‌کنش آن‌ها با مولکول‌های مهمان انجام شده است. در این مقاله به بررسی دو استراتژی بالا به پایین و پایین به بالا به سمت تولید کربن‌های متخلخل بی‌شکل و بلوری، انواع قالب‌ها برای سنتز کربن‌های متخلخل، عوامل مؤثر بر طراحی حفرات مواد کربنی متخلخل، انواع کربن‌های متخلخل و در نهایت کاربردهای مواد کربنی متخلخل می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: کربن‌های متخلخل، حفره، قالب، سنتز، عوامل مؤثر.

ایمیل نویسنده مسئول: Sh.granmayeh@alzahra.ac.ir



۱- مقدمه

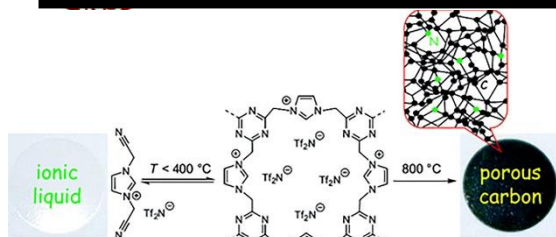
مواد کربنی متخلخل دارای حفراتی در ابعاد نانو با مساحت سطح بالا و تخلخل زیاد هستند که این عوامل سبب کاربردهای فراوان کاتالیستی، تصفیه، جداسازی، حامل دارویی و... شده و نقش آن‌ها را در نانوفناوری پررنگتر کرده است. کربن‌های متخلخل را می‌توان در سه دسته کربن‌های فعال، گرافیت ورقه ورقه شده و هواژل‌های کربن طبقه‌بندی کرد که از بین انواع کربن‌های متخلخل، کربن‌های فعال از مهم‌ترین کربن‌های صنعتی هستند. کربن‌های فعال به گروهی از مواد با مساحت سطح بالا، یک ماده جاذب با ظرفیت جذب بالا و قیمت پایین‌تری می‌شود که نخستین بار حدود ۲۰۰۰ سال پیش برای تصفیه آب برای جداسازی رنگ، بو و مزه‌های غیردلخواه از آب مورد استفاده قرار گرفت و بعدها از شکل گرانولی آن در ساخت ماسک‌های ضدگاز در جنگ جهانی اول استفاده شد و امروزه در زمینه‌های متفاوتی از جمله: بازیافت مواد شیمیایی، حامل‌های دارورسانی به‌عنوان مثال، برای مبارزه با یک نوع باکتری خاص، عملیات‌های خانگی و صنعتی و... کاربرد دارد. رایج‌ترین روش برای سنتز کربن‌های متخلخل، روش بر پایه‌ی الگو است که ما با تغییر الگو، پیش‌ماده‌های آلی و همچنین، با تغییر روش سنتز می‌توانیم کربن‌های متخلخل با توزیع اندازه و توپولوژی منافذ متفاوت داشته باشیم [۱].

۱-۱- استراتژی رو به بالا به سمت تولید کربن متخلخل بی‌شکل

این روش را می‌توان در سه گروه: مایعات یونی، پیش‌سازهای کایرال و کربن‌های متخلخل دوبعدی با گرافن طبقه‌بندی کرد:

۱-۱-۱ مایعات یونی

مایعات یونی می‌توانند به‌عنوان عامل هدایت‌کننده ساختار و حلال نقش ایفا کنند. شکل (۱) نمونه‌ای از کربن‌های متخلخل سنتز شده با مایعات یونی را نشان می‌دهد. در دهه گذشته مایعات یونی به دو دلیل اصلی به‌عنوان پیشگامان کربن هترواتم پیش‌بینی شده‌اند: (الف) نوسان‌پذیر نبودن ذاتی آن‌ها که اجازه می‌دهد تا پیرولیز با عملکرد بالا داشته باشند. (ب) انتخاب جفت آنیون و کاتیون متفاوت [۲].



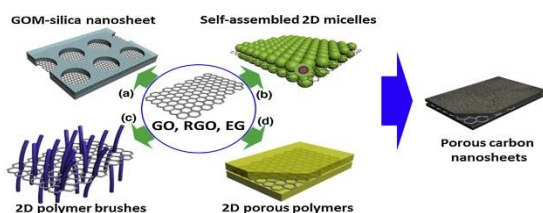
شکل ۱. سنتز یونوترمالی کربن‌های نانومتخلخل دوپ شده با نیتروژن از مایعات یونی خاص [۲]

۲-۱-۱- پیش‌سازهای کایرال

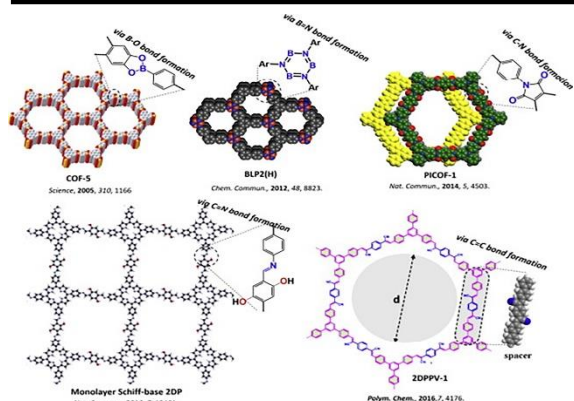
به‌تازگی، Fuchs و همکارانش مواد کربنی کایرال را سنتز کردند. مواد کربنی کایرال از کربنیزاسیون واحدهای سازنده ایمیدازولیم کایرال در نمک مذاب بدست می‌آیند. این ساختارها می‌توانند کربن‌های مزو متخلخل با مساحت سطح حدود ۳۲۵ سانتی متر مکعب بر گرم را ایجاد کنند. محققان ادعا کردند که وجود یون‌های روی در این ساختارها نقش مهمی در هماهنگی شبکه با گروه‌های قطبی ایفا می‌کند و در نتیجه اجازه می‌دهد تا اطلاعات ساختاری درون چارچوب‌های متخلخل کربنی حفظ شوند [۳].

۳-۱-۱- کربن‌های متخلخل دو بعدی با گرافن

گرافن یک ساختار دو بعدی دارد و از یک لایه منفرد و شبکه لانه زنبوری کربنی ساخته شده است. گرافن به علت داشتن ویژگی فوق‌العاده از جمله: هدایت الکتریکی و هدایت گرمایی، چگالی بالا و تخریب‌پذیری حامل‌های بار به ماده‌ای منحصر به فرد تبدیل شده است و همچنین، می‌تواند به عنوان قالبی برای پیش‌ماده‌ها در سنتز کربن‌های متخلخل باشد (شکل ۲). افزایش تعداد گرافن و مواد دوبعدی مبتنی بر گرافن به دلیل فاصله طولانی هدایت الکتریکی و مساحت سطح بالا زمینه را برای تولید دستگاه‌هایی با انرژی و کارایی بالا فراهم کرده است [۴].



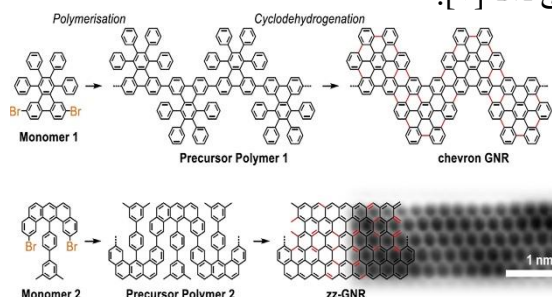
شکل ۲. تهیه‌ی صفحات متخلخل کربنی با استفاده از مواد گرافنی به‌عنوان قالبی برای پیش‌ماده‌ها



شکل ۴. نمونه‌هایی از چارچوب‌های آلی-کوالانسی [۶].

۱-۲-۱- نانوروبان‌های گرافن

نانوروبان‌های گرافن ساختارهای با عرض کمتر از ۵۰ نانومتر هستند. شکل (۵) سنتز پایین به بالای نانوروبان‌های گرافنی در فرم‌های متفاوت را نشان می‌دهد [۷].



شکل ۵. سنتز پایین به بالای نانوروبان‌های گرافن. ابتدا بسپارش تکپارهای ۱ و ۲ اتفاق می‌افتد و پس از هیدروژن زدایی بسپارهای پیشرو ۱ و ۲ نانوروبان‌های گرافنی که به فرم دسته‌صندلی و زیگزاگ هستند، ایجاد می‌شوند [۷].

۱-۳- استراتژی رو به پایین به سمت تولید کربن‌های متخلخل بلوری
این روش شامل: کربن‌های مشتق شده از چارچوب‌های فلز-آلی (MOF) و کربن‌های مشتق شده از کاربیدها می‌شود.

۱-۳-۱- کربن‌های مشتق شده از چارچوب‌های فلز-آلی

چارچوب‌های فلز-آلی ترکیباتی متشکل از یون‌های فلزی با لیگندهای آلی هستند و می‌توانند ساختارهای یک، دو و سه بعدی را تشکیل دهند. این ترکیبات اغلب متخلخل هستند و به‌عنوان الگو

الف) گرافن اکسید مبتنی بر صفحات سیلیکا مزومتخلخل

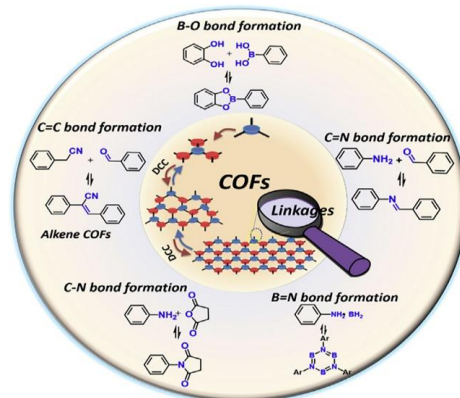
ب) خودآرایی میسل‌های دو بعدی

ج) برس^۱ پلیمر دو بعدی

د) پلیمر متخلخل دو بعدی

۱-۲- استراتژی رو به بالا برای تولید کربن‌های متخلخل بلوری

این روش شامل چارچوب آلی-کوالانسی و نانوروبان‌های گرافن است. چارچوب‌های آلی کوالانسی حاوی واحدهای سازنده معمولی آلی هستند که از طریق پیوند کوالانسی به چارچوب‌های بلوری توسعه یافته‌اند. این ساختارها به دلیل وجود پیوند مستحکم بین اتم‌های بور، کربن و اکسیژن دارای ساختار بلورین و متخلخل، پایداری دمایی، استثنایی، چگالی پایین و سطح ویژه بالایی هستند و از عناصر سبک (نیتروژن، کربن، بور، هیدروژن، اکسیژن) ساخته شده‌اند [۵]. شکل‌های ۳ و ۴ طرحی از چارچوب‌های آلی-کوالانسی را نمایش می‌دهد [۵ و ۶].

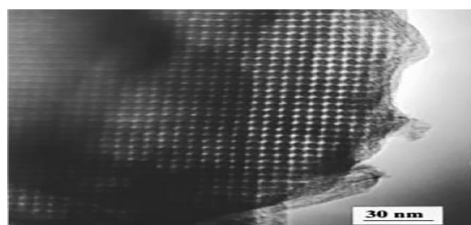


شکل ۳. چارچوب‌های آلی-کوالانسی شکل گرفته از واکنش‌های شیمی کوانتومی دینامیکی متفاوت مانند: بور-اکسیژن، بور-نیتروژن، کربن-نیتروژن، کربن-کربن [۵].

^۱ brush

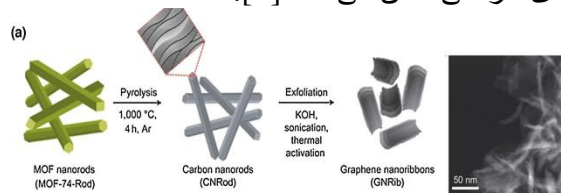
طور کلی پنج مرحله در تولید یک قالب کربن متخلخل وجود دارد [۱۱] که شامل:
 الف) سنتز قالب‌های معدنی
 ب) اشباع قالب با یک قالب آبی (مانند الکل فورفوریل)
 ج) بسپارش پیش ماده‌ها
 د) کربنیزاسیون مواد آلی و
 ز) شست و شوی قالب‌های معدنی می‌شوند.

۲-۱ مواد سیلیکا مزومتخلخل به عنوان قالب
 از جمله موادی که ما می‌توانیم از آن‌ها به عنوان قالب برای تهیه کربن‌های متخلخل استفاده کنیم مواد سیلیکا مزومتخلخل هستند که با استفاده از آمین‌های آلی، ماده فعال در سطح‌ها و بلوک‌های هم‌بسپار سنتز می‌شوند. ریکو^۲ و همکارانش سنتز کربن مزومتخلخل CMK-1 را با استفاده از کربنیزاسیون ساکارز در داخل قالب سیلیکا مزومتخلخل MCM-48 گزارش دادند که در نهایت با حذف قالب با محلول‌های آبی سدیم هیدروکسید، کربن مزومتخلخل CMK-1 به دست می‌آید [۱۲]. (شکل ۸ و ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی و طیف XRD در طول سنتز کربن مزومتخلخل CMK-1 را نشان می‌دهد).



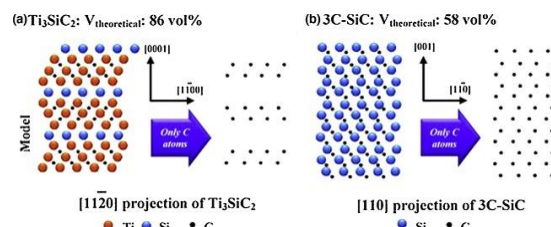
شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی کربن مزومتخلخل CMK-1 تهیه شده از قالب سیلیکا مزومتخلخل MCM-48 [۱۲]

برای سنتز کربن‌های متخلخل استفاده می‌شوند [۸].
 شکل (۶) سنتز نانولوله‌های کربنی را از چارچوب‌های فلز-آلی نشان می‌دهد [۹].



شکل ۶. ابتدا نانولوله‌های MOF-74 در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت تحت پیرولیز قرار گرفته است و سپس، نانولوله‌های کربنی ایجاد شده و پس از لایه برداری و سونوشیمی با پتاسیم هیدروکسید و واکنش‌های حرارتی به نانولوله‌های کربنی تبدیل شده‌اند [۹]

۲-۳-۱ کربن‌های مشتق شده از کاربردها
 این ساختارها به عنوان کربن نانوپودر هم شناخته شده‌اند. ساختارهای کربنی که از پیش ماده‌های کربید استخراج می‌شوند، متخلخل هستند (شکل ۷) و می‌توانند کربن‌های مزو و میکرومتخلخل، بی‌شکل، نانولوله‌های کربنی، گرافن و گرافیت باشند. از جمله کاربردهای این ساختارها می‌توان به جذب و ذخیره‌سازی مایعات و گازهای انتخابی مانند: (هیدروژن، متان، کربن دی‌اکسید) و ذخیره‌سازی انرژی اشاره کرد. این ساختارها دارای پایداری الکتروشیمیایی و هدایت الکتریکی بالا هستند [۱۰].

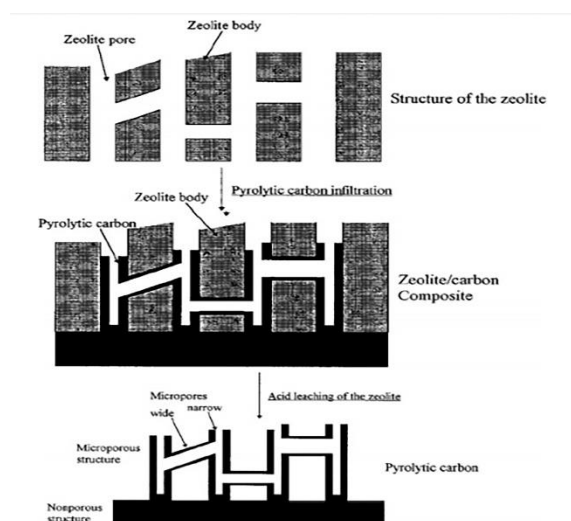


شکل ۷. ساختار اتمی و توزیع اندازه حفرات مواد کربنی مشتق شده از کربیدها [۱۰]

۲- روش‌های تهیه کربن‌های متخلخل
 یکی از روش‌های تهیه کربن‌های متخلخل استفاده از قالب‌هاست که می‌توانیم با تغییر قالب‌ها و پیش ماده‌های آلی کربن‌های متخلخل با ویژگی، توزیع اندازه و توپولوژی منافذ متفاوت داشته باشیم. به

۲-۳ زئولیت ها و کلازها به عنوان قالب
 زئولیت ها بسیار بلورین هستند و به دلیل داشتن ساختار پایدار اهمیت زیادی در کار های تجاری دارند. اندازه و شکل زئولیت ها باعث می شود تا برای فرایندهایی مانند: تبادل یون، کاتالیست، میزبان مولکول های مهمان مناسب باشند و همچنین، زئولیت ها بدلیل ساختار متخلخلشان به عنوان بستر در سنتز کربن های متخلخل مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۱۱).

خاک رس هم به عنوان یک قالب در سنتز کربن های متخلخل مورد استفاده قرار می گیرد. برای مثال، فیلم های نازک گرافیتی با استفاده از کربنی کردن بسترهای آلی در بین لایه های خاک رس تهیه می شوند [۱۴].

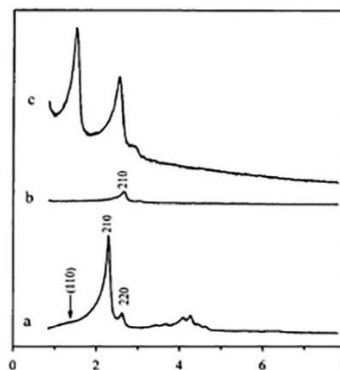


شکل ۱۱. نفوذ کربن پیرولیتیک در زئولیت و به دنبال آن حذف بستر زئولیت [۱۴]

۳- عوامل مؤثر بر طراحی حفرات مواد کربنی متخلخل

۳-۱ اکسایش سطح

هنگامی که نمی توانیم مستقیم از گروه عاملی اکسیژن برای اکسایش سطح مواد کربنی متخلخل استفاده کنیم، اکسایش با گروه های حاوی اکسیژن مثل: استر، فنول، اتر، کربوکسیل انجام می شود. شکل (۱۲) نمونه ای از گروه های سطحی بر TNC اکسید شده را نشان می دهد. این گروه های کربنی با پیوند کوالانسی، هیدروژنی، الکترواستاتیک بر سطح قرار می گیرند [۱۵].



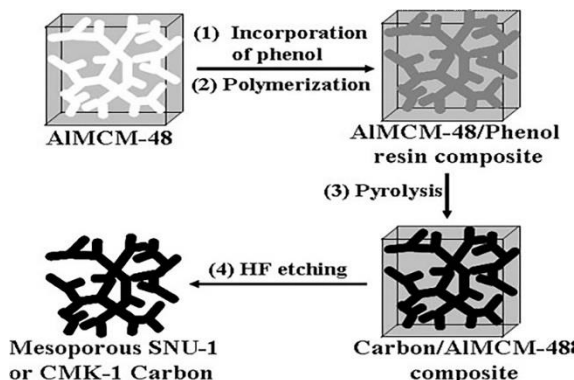
شکل ۹. طیف XRD در طول سنتز کربن مزومتخلخل CMK-1 با استفاده از قالب سیلیکا مزومتخلخل MCM-48 [۱۲]

الف) طیف سیلیکا مزومتخلخل MCM-48

(ب) پس از کربنیزاسیون در داخل حفرات
ج) CMK-1 سنتز شده پس از حذف قالب سیلیکا و کربنیزاسیون.

۲-۲ سنتز کربن های مزومتخلخل یکنواخت با استفاده از قالب سیلیکا مزومتخلخل

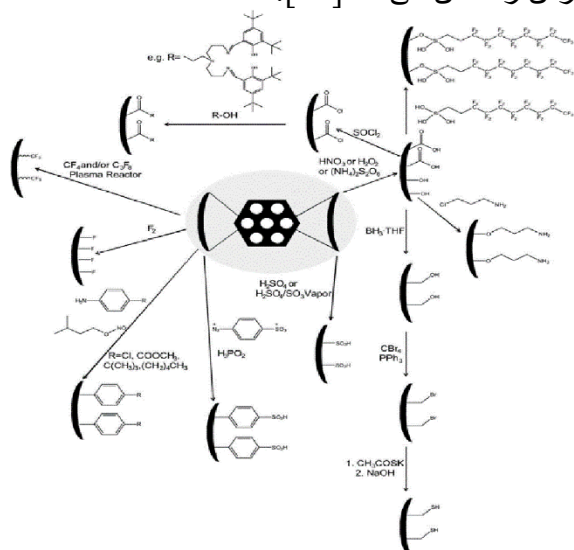
سنتز مواد کربنی متخلخل با تخلخل یکنواخت بسیار چالش برانگیز است. در سال ۱۹۹۲، پژوهشگران سنتز مواد سیلیکا مزومتخلخل M41S را از بسپارش سل-ژل پیش ماده های سیلیکا در حضور خودآرایی ماده عال در سطح گزارش کردند. اندازه حفرات را می توان با کنترل شرایط آزمایشگاهی مانند: نسبت پیش ماده های سیلیکا به ماده فعال در سطح، طول زنجیره ماده فعال در سطح و ... کنترل کرد. شکل (۱۰) سنتز کربن مزو متخلخل CMK-1 از قالب AIMCM-48 را نمایش می دهد [۱۳].



شکل ۱۰. روش سنتز مواد کربنی مزومتخلخل با استفاده از قالب سیلیکا [۱۳]

۳-۳- ییوند زدن

احتمالاً بزرگترین گروه‌های عاملی سطحی بر کربن‌های متخلخل با روش پیوند زدن در دسترس هستند. در روش‌های دیگر گروه‌های فعال مستقیم به سطح کربن متصل می‌شوند اما در این روش ابتدا اکسایش سطح کربن از طریق جوشاندن با اسید نیتریک اتفاق می‌افتد و سپس، فعال‌سازی سطح انجام می‌شود. شکل (۱۴) نمونه‌ای از واکنش پیوند زدن را نشان می‌دهد [۱۷].



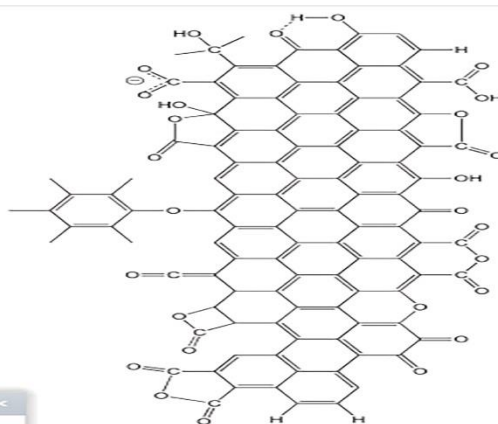
شکل ۱۴. خلاصه‌ای از واکنش پیوند زدن بر سطح کربن نانومتخلخل قالب گیری شده^۳ از طریق پیوند کووالانسی را نشان می دهد [۱۷].

جدول ۱. ارتعاش گروه های عاملی بر سطح کربن
[۲۱] ناحیه تعیین شده (cm^{-1}) گروه عاملی

CO stretch of ethers	1000 -1300
Ether bridge between rings	1230 -1250
Cyclic ethers containing	1025 -1141
Phenolic groups	O_H bend / stretch: 1160 -1200, 2500 -3620

۴-۳- اتصال نانو ذرات

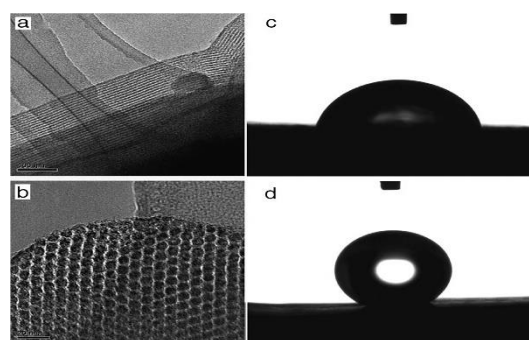
در این روش، یک فاز ثانویه به داخل چارچوب کربنی وارد می‌شود و این روش را می‌توان در سه گروه: ترکیب اشباع، واکنش انتقال فاز و شکل‌گیری کامپوزیت طبقه بندی کرد [۱۸].



شکل ۱۲. دیاگرام گروه‌های سطحی احتمالی بر TNC اکسید شده [۱۵].

۲-۳- هالوژن دار کردن

ویژگی فیزیکی مواد کربنی با اصلاح سطح تغییر می‌کند. برای فعال‌سازی کربن‌های متخلخل می‌توان از جریان گاز F_2 استفاده کرد که در اینجا اتم‌های فلورین با اتم‌های هیدروژن در پیوند کربن - هیدروژن و همچنین، پیوندهای غیراشباع کربن واکنش می‌دهند. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌کنیم کربن‌های مزو متخلخل همچنین، می‌توانند با فلورو آلکیل سیلان اصلاح شوند که در این صورت کربن فعال بسیار آبگریز بوده و زاویه تماس با آب بسیار زیاد شده و جذب آب کم می‌شود [۱۶].



شکل ۱۳. سطح کربن متخلخل پیش و پس از اصلاح با فلورو آلکیل سیلان. قسمت C قبل از اصلاح سطح با فلورو آلکیل سیلان است که جذب آب زیاد بوده اما در قسمت d سطح با فلورو آلکیل سیلان اصلاح شده و زاویه تماس با آب زیاد شده و جذب آب کم شده است. [۱۶]

(۲) لیستی از انرژی‌های اتصال مربوط به هر گروه عاملی را نشان می‌دهد [۲۲].

جدول ۲. انرژی اتصال گروه‌های عاملی بر مواد کربنی [۲۲]

اتم	گروه عاملی	انرژی پیوند
N 1s	Pyridine	398.0
	Pyrole	399.2 – 399.9
	Piridone	399.2 - 400.7
	Quaternary nitrogen in	400.7
	Pyridinium or ammonium Species in graphen layers	

طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه: در این روش سطح نمونه با یون‌های پر انرژی بمباران می‌شود و ذراتی به صورت خنثی، یون مثبت و یون منفی پدید می‌آیند. بیش از ۹۰٪ ذرات خنثی هستند که برای تجزیه و تحلیل مناسب نیستند، به همین علت باید از ذرات باردار جدا شوند که این جداسازی با فیلترهای جرمی انجام می‌گیرد و یون‌ها پس از جداسازی به آشکارساز رفته و از شدت سیگنال آن‌ها برای اندازه‌گیری درصد ترکیب استفاده می‌شود [۲۳].

۴-۳- بررسی سطح داخلی

برای بررسی سطح داخلی کربن‌های متخلخل روش‌های متفاوتی وجود دارد [۲۴].

روش تصویربرداری: با بررسی تصویرهای به دست آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی و الکترونی ما می‌توانیم به وجود گروه‌های عاملی بر سطح کربن پی ببریم و همچنین، با رنگ‌آمیزی گروه‌های عاملی می‌توانیم به پراکندگی آن‌ها نیز پی ببریم.

هم‌دما جذب گاز: با اندازه‌گیری جذب گازهای (نیتروژن، آرگون، کربن دی‌اکسید و ...) می‌توان به بافت حفره مانند: حجم حفرات، توزیع اندازه حفره و مساحت سطح پی برد.

روش الکتروشیمیایی: از این روش برای ارزشیابی سطح مواد کربنی استفاده شده که اطلاعات بدست آمده از دو روش ولتامتری و گالوانواستاتیک بررسی می‌شوند.

۵- کاربردها

مواد کربنی متخلخل کاربردهای زیادی دارند. برای مثال، برای تصفیه آب، ذخیره انرژی و سوخت،

۳-۵- فعال‌سازی با پتاسیم‌هیدروکسید KOH و کربن دی‌اکسید CO₂

فعال‌سازی کربن با KOH یا CO₂ باعث تغییر بافت نمونه می‌شود. برای مثال، زمانی‌که کربن مزومتخلخل CMK-8 تحت درمان حرارتی بالا ۷۵۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. سپس، با KOH فعال‌سازی می‌شود، چارچوب کربنی ما میکرومتخلخل شده و ترکیب حاصل دارای مساحت سطح و حجم منافذ بالاتری می‌شود [۱۹].

۴- بررسی مشخصات کربن‌های متخلخل در حالت توده‌ای، سطوح داخلی و خارجی کربن‌های متخلخل

۴-۱- مشخصات حالت توده‌ای

برای بررسی کربن‌های متخلخل در حالت توده‌ای، از روش NMR حالت جامد و طیف‌سنجی FTIR و رامان استفاده می‌شود.

NMR حالت جامد: از این طیف‌سنجی برای شناسایی بسپارها و مواد آلی استفاده می‌شود. به سه دلیل NMR حالت جامد نسبت به مایع برتری دارد: (الف) حساسیت بیشتری دارد زیرا احتیاجی به رقیق کردن نمونه نیست. (ب) به کمک این روش می‌توان نمونه‌های نامحلول را بررسی کرد. (ج) در مایعات به‌طور معمول جابه‌جایی شیمیایی تحت تاثیر حلال قرار می‌گیرد، اما در حالت جامد این اثر مشاهده نمی‌شود. (د) قطعاتی که بدلیل فعالیت شیمیایی زیاد ناپایدارند یا در اثر گرما تجزیه می‌شوند را، می‌توان با این روش مطالعه کرد [۲۰].

طیف‌سنجی FTIR و رامان: طیف‌سنجی FTIR برای تعیین گروه‌های عاملی بر زغال سنگ، کربن سیاه، کربن سفید و ساختار کربن فعال مناسب است. در جدول (۱)، به لیستی از ارتعاشات گروه‌های عاملی بر سطح کربن اشاره شده است [۲۱].

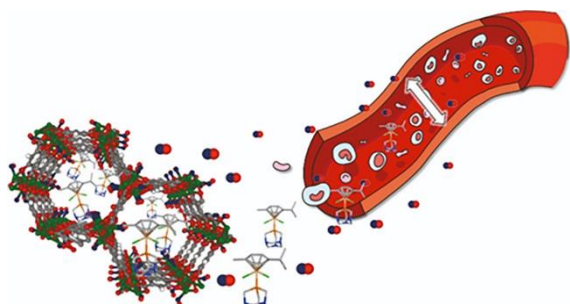
طیف‌سنجی رامان مکمل FTIR است، یعنی ارتعاشات غیرفعال در FTIR، در رامان فعال شده‌اند و قابل مشاهده‌اند [۲۱].

۴-۲- بررسی سطح خارجی

طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس: این طیف‌سنجی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد حضور و مقدار گروه‌های نیتروژن، اکسیژن، فلورین، سدیم و دیگر ترکیبات در اختیار ما قرار دهد و عمق نفوذ آن ۵-۱۵ نانومتر است. جدول

سلول هدف از محرک‌های هوشمند استفاده می‌شود. محرک‌هایی از قبیل: درجه حرارت، آنزیم‌ها و pH که دارو به محض رسیدن به آنها طبق یک الگو شروع به انتشار می‌کند.

سیستم تحویل داروی هدفمند: همانطور که در شکل (۱۵) نشان داده شده است در این سیستم دارو به سمت بافت خاصی هدف‌گیری شده و به دلیل عدم انتشار دارو پیش از موعد به بافت‌های سالم اطراف آسیبی وارد نمی‌شود. این سیستم‌ها به دو قسمت هدف‌گیری منفعل و فعال تقسیم می‌شوند [۲۶ تا ۲۸].



شکل ۱۵. یک سیستم تحویل دارویی. حامل‌های کربنی متخلخل که دارو در آن‌ها بارگذاری شده است از دیواره عروق خونی عبور کرده و به بافت تومور رسیده‌اند [۲۷].

۶- نتیجه‌گیری

بنابراین، ترکیبات با تخلخل نانو یکی از مهمترین گروه نانوساختارها هستند با مزایایی مانند سطح فعال بالا، واکنش‌پذیری زیاد و خصوصیات عایق بودن و همچنین، کاربرد زیادی در زمینه‌های متفاوت دارند. با کنترل محیط فیزیکی و شیمیایی حفره‌ها می‌توان خصوصیات جدیدی را در برهم کنش با مولکول‌های مهمان فراهم آورد که موجب کاربرد بیشتر آنها در زمینه‌های متفاوتی می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله به واسطه حمایت مالی از دانشگاه الزهرا تشکر و قدردانی می‌کنند.

تصفیه گاز، تصفیه شیمیایی، جذب نیتروژن از فاضلاب و به‌عنوان حامل در دارورسانی استفاده می‌شوند که در زیر به کاربرد این دسته از مواد در کاربردهای دارورسانی می‌پردازیم.

نانومواد کربنی مزو متخلخل به دلیل داشتن مساحت سطح بالا، اندازه منافذ قابل تنظیم و حجم منافذ بالا برای پذیرش مولکول‌های مهمان گزینه مناسبی هستند و می‌توان از آن‌ها فمند، کنترل شده و پایدار استفاده کرد. به‌عنوان حامل در دارورسانی استفاده می‌شود، نخستین قدم اصلاح سطح است [۲۵].

اصلاح سطح: ابتدا به منظور ایجاد یک سطح هیدرولیکی، اکسایش با استفاده از یک اسید قوی مانند: سولفوریک اسید یا نیتریک اسید انجام می‌شود. سپس، MCN اکسید شده را می‌توان برای اهداف متفاوت از جمله: دارورسانی، تصویر برداری، پوشش‌بندی و... استفاده کرد.

نحوه بارگیری دارو: بارگیری دارو به سه روش انجام می‌شود: (۱) ذوب (۲) تعادل جذب فیزیکی (۳) تبخیر حلال

در روش ذوب بازده بارگذاری دارو بالاتر است ولی نفوذ مولکول‌های دارویی به عمق منافذ سخت است و توزیع دارو در داخل حامل غیر یکنواخت است.

۱-۵- عوامل موثر بر سرعت رهایش دارو در بدن سرعت رهایش دارو به اندازه ذرات و سایز حفرات وابسته است که با کاهش اندازه ذرات و افزایش سایز حفرات میزان انتشار دارو در بدن افزایش می‌یابد.

۱-۵-۱- بررسی سیستم‌های تحویل دارو

سیستم تحویل داروی فوری: در این سیستم دارو از راه دهان مصرف می‌شود. این سیستم به دلیل سادگی، ایمنی و کمبود عفونت، راحت‌ترین راه است.

سیستم تحویل داروی پایدار: در این سیستم دارو مدت زمان بیشتری در جریان خون وجود دارد و این عامل باعث رهایش طولانی مدت دارو، کاهش عوارض جانبی و رضایت بیمار شده است. سرعت رهایش دارو در سیستم‌های تحویل داروی پایدار به سه عامل: (الف) ساختار پوسته و طول کانال (ب) نیروی متقابل بین حامل دارویی و داروی بارگذاری شده و (ج) اثر مانع نفوذ وابسته است.

سیستم تحویل داروی کنترل شده: شامل واکنش‌های تحریک کننده می‌شود. یعنی به منظور جلوگیری از انتشار دارو پیش از موعد و پیش از رسیدن به

- [19] M. Choi, R. Ryoo, J. Mater. Chem, 17, 4204-4209, (2007).
- [20] D. Reichert . Anal Bioanal Chem, 376, 308–310, (2003).
- [21] P. Painter, M. Starsinic, M. Coleman, Fourier Transform Infrared Spectrosc, 39(5), 885-889, (1985).
- [22] H. Darmstadt, C. Roy, S. Kaliaguine, S. J. Choi, R. Ryoo, Carbon, 40(14), 2515-2746, (2002).
- [23] H. Darmstadt, C. Roy, S. Kaliaguine, S. J. Choi, R. Ryoo, Carbon, 40, 2673, (2002).
- [24] F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. Sing, Adsorption by Powders & Porous Solids, Academic, Page Count: 646, (2013).
- [25] TL, Doane, C. Burda, Chem Soc Rev, 41, 2885-2911, (2012).
- [26] Y. Zhang, Y. Bai, B. Yan, Drug Discov Today, 15, 428-435, (2010).
- [27] F. Qu, G. Zhu, H. Lin, J Solid State Chem, 179, 2027–35, (2006).
- [28] M. Mahkam, Drug Delivery, 17, 158-163, (2010).
- [1] H.O, Pierson, Handbook of carbon graphite, diamond and fullerenes (Noyes), (1993); T.D. Burchell, Carbon materials for advanced technologies (Pergamon), (1999).
- [2] J. H. Davis Jr , Chem. Lett. 33, 1072–1077, (2004) .
- [3] I. Fuchs et al, Angew, Chem, Int, Ed, 55, 408–412, (2016).
- [4] Z. Lei et al, Energy Environ, Science, 9, 1891–1930, (2016).
- [5] C. S. Diercks, O.M. Yaghi, Science, 355(6328), 1585-1590, (2017).
- [6] H. Sahabudeen et al, Nat, Commun, 7 , 13461-13469, (2016).
- [7] P. Ruffieux et al, Nature, 531, 489–492, (2016).
- [8] H. Sato et al, Nat. Mater. 9, 661–666, (2010).
- [9] Q. L. Zhu , Q. Xu. Chem, Soc, Rev, 43, 5468–5512, (2014).
- [10] V. Presser, M. Heon, Y. Gogotsi, Adv, Funct, Mater, 21, 810–833, (2011).
- [11] Yongde Xia, Zhuxian Yanga ,Robert Mokaya, Nanoscale, 2, 639-659, (2010).
- [12] Chengdu Liang, Zuojiang Li, Sheng Dai, Angew Chem. Int. Ed, 47, 3696–3717, (2008).
- [13] J. Lee, S. Yoon, T. Hyeon, S. M. Oh, K. B. Kim, chem Commun, 21, 2177-2178, (1999).
- [14] J. Rodriguez-Mirasol, T. Cordero, L. R. Radovic, J. J. Rodriguez, Chem Mater. 10 (2), 550-558, (1998).
- [15] Andreas Stein, Zhiyong Wang, Melissa, A. Fierke, Advanced Mater, 21, 265-293, (2009).
- [16] K. Xia, Q. Gao, C. Wu, S. Song, M. Ruan, Carbon, 45, 1989 -1996, (2007).
- [17] S. Jun, M. Choi, S. Ryu, H. Y. Lee, R. Ryoo, Stud Surf Sci Catal, 145, 79-84 , (2003).
- [18] H. Kim, P. Kim, J. B. Joo, W. Kim, I. K. Song, J. Yi, J. Power Sources, 157, 196–200, (2006).