

بخش ۱: معرفی نانولوله‌های کربنی

مقدمه:

کربن یکی از عناصر شگفت‌انگیز طبیعت است که به چهار صورت مختلف گرافیت، الماس، نانولوله‌ها و باکی‌بال‌ها در طبیعت یافت می‌شود. همه این چهار شکل، جامد هستند و در ساختار آنها اتم‌های کربن به صورت کاملاً منظم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

در این بخش به معرفی این ساختارها، خصوصاً نانولوله‌های کربنی و خواص و ویژگی‌های آن پرداخته شده است.

۱- کربن و انواع ساختارهای کربنی

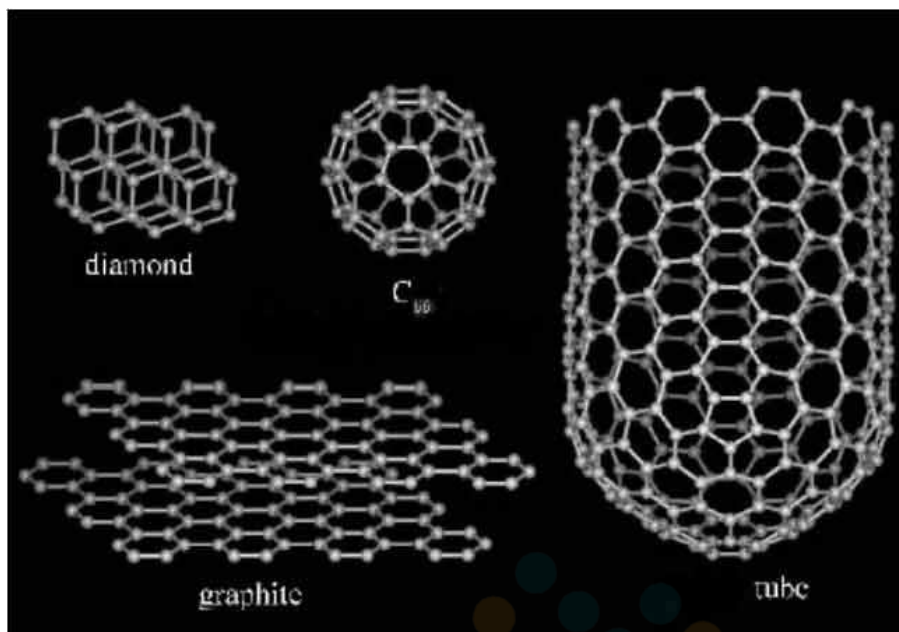
کربن از مهم‌ترین عناصر موجود در طبیعت است و کاربردهای متعدد آن در زندگی بشر، به خوبی این نکته را تایید می‌کند. به عنوان مثال فولاد - که یکی از اصلی‌ترین آلیاژهای مهندسی است - از انحلال حدود دو درصد کربن در آهن به حاصل می‌شود؛ با تغییر درصد کربن (به‌میزان تنها چندصدم درصد) می‌توان انواع فولاد را به دست آورد. «شیمی آلی» نیز علمی است که به بررسی ترکیبات حاوی «کربن» و «هیدروژن» می‌پردازد و مهندسی پلیمر هم تنها براساس عنصر کربن پایه‌گذاری شده است. کربن، به چهار صورت مختلف در طبیعت یافت می‌شود که همه این چهار فرم جامد هستند و در ساختار آنها اتم‌های کربن به صورت کاملاً منظم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این ساختارها عبارتند از:

۱. گرافیت

۲. الماس

۳. باکی‌بال‌ها (مانند C_{60} در شکل زیر)

۴. نانولوله‌ها



شکل ۱: انواع ساختارهای کربنی

۱-۱- گرافیت

گرافیت یکی از مهم‌ترین ساختارهای کربن در طبیعت است و از قرار گرفتن شش اتم کربن در کنار یکدیگر به وجود آمده است. این اتم‌های کربن به گونه‌ای با یکدیگر ترکیب شده‌اند که یک شش ضلعی منتظم را پدید می‌آورند و از مجموع آنها، صفحه‌ای به دست می‌آید که به عنوان یک «لایه گرافیت» در نظر گرفته می‌شود.

این فیلم را دانلود کنید. 

اتم‌های کربن با پیوندهای کووالانسی - که پیوندی قوی و محکم است - به یکدیگر متصل شده‌اند. لازم به ذکر است که اتم‌های کربن به کار رفته در یک لایه گرافیت نمی‌توانند با کربنی خارج از این لایه پیوند کووالانسی بدهند. بنابراین یک لایه گرافیت از طریق پیوندهای واندروالس - که پیوندهایی ضعیف هستند - به لایه زیرین متصل می‌شود. این مساله باعث می‌شود که صفحه‌های گرافیت به راحتی روی یکدیگر بلغزند. به همین دلیل از این ترکیب در «روغن کاری» و «روان کاری» استفاده می‌شود. علت نرمی سطوحی که با مداد روی آنها نوشته شده است نیز همین نکته است.

۱-۲- الماس

در دما و فشارهای خیلی بالا کربن به صورت الماس پایدار است که در آن هر اتم کربن با چهار اتم پیوند کووالانسی برقرار کرده است. به سبب وجود پیوند قوی کووالانسی کربن-کربن جزو سخت‌ترین مواد موجود در طبیعت با سختی ۱۰ در مقیاس مورس محسوب می‌شود. همین ساختار باعث ایجاد خواص شگفت‌انگیزی در الماس گردیده است که از آن جمله می‌توان به هدایت گرمایی چند برابر مس و دمای ذوب حدود ۳۰۰۰ اشاره کرد.

۱-۳- باکی بال‌ها

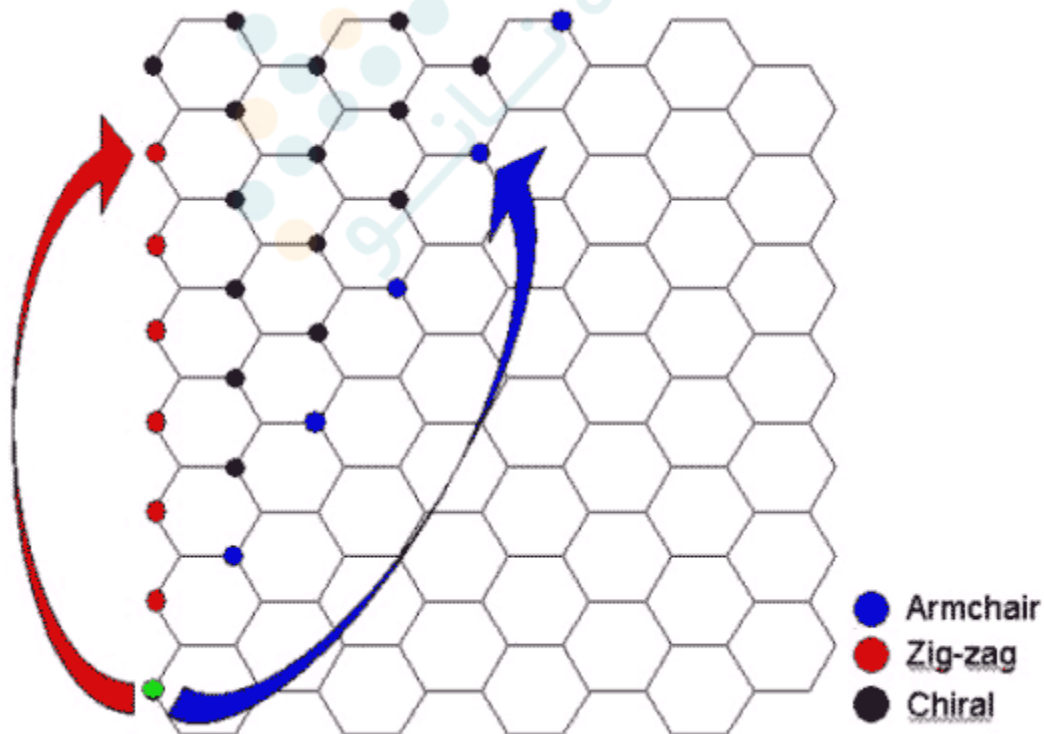
باکی بال‌ها ساختارهای کربنی گلوله‌ای شکل و توخالی هستند که معروف‌ترین آنها C_{60} یا فولرین است. ساختاری شبیه به توپ فوتبال دارد. اتم‌های کربن در آن با پیوند کووالانسی به صورت پنج ضلعی و شش ضلعی به هم متصل شده‌اند. در واقع این کره از ۳۲ قسمت که ۲۰ تای آن شش ضلعی و ۱۲ تای آن پنج ضلعی است تشکیل شده است.

باکی بال‌ها بخاطر خصوصیات شیمیایی و شکل توخالی و قفس مانند خود کاربردهای بسیاری دارند. باکی بال‌ها بی‌نهایت پایدار هستند و می‌توانند فشارها و دماهای بسیار بالا را تحمل کنند. اتم‌های کربن باکی بال‌ها می‌توانند با اتم‌ها و مولکول‌ها واکنش دهند بدون آنکه پایداری و ساختمان کروی آنان دچار تغییر یا عیب شود.

۱-۴- نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی از مهم‌ترین و پرکاربردترین ساختارهای کربنی هستند که اخیراً کشف شده‌اند. آنها از خواص و ویژگی‌های منحصر بفردی برخوردار هستند. نانولوله‌های کربنی علاوه بر اینکه استحکام بسیار بالایی دارند، از انعطاف و پیچش‌پذیری خوبی نیز برخوردارند. یکی از کاربردهای آنها، کامپوزیت است. مهم‌ترین خاصیت نانولوله‌ها، هدایت الکتریکی آنهاست که بستگی به میزان نظم قرار گرفتن اتم‌ها، مقدار این پارامتر متغیر است. آنها مولکول‌هایی استوانه‌ای شکل با انتهای باز یا بسته هستند. ساختار نانولوله‌ها مانند صفحه‌ای از گرافیت است که رول شده باشد.

برای درک بهتر ساختار نانولوله یک لایه گرافیت را در نظر بگیرید. اتم‌هایی را که در یک ردیف قرار گرفته‌اند با (n,m) که نشان‌دهنده مختصات یک نقطه در صفحه است - مکان‌یابی می‌کنیم. به طوری که مختصات n ، مربوط به ستون اتم‌ها و مختصات m مربوط به ردیف اتم‌ها باشد. همان‌طور که می‌دانیم برای تهیه یک لوله از یک صفحه، کافی است یک نقطه از صفحه را روی نقطه‌ی دیگر قرار دهیم. یک نانولوله مانند صفحه گرافیتی است که به شکل لوله درآمده باشد. بسته به اینکه چگونه دو سر صفحه گرافیتی به یکدیگر متصل شده باشند، انواع مختلفی از نانولوله‌ها را خواهیم داشت.



شکل ۲

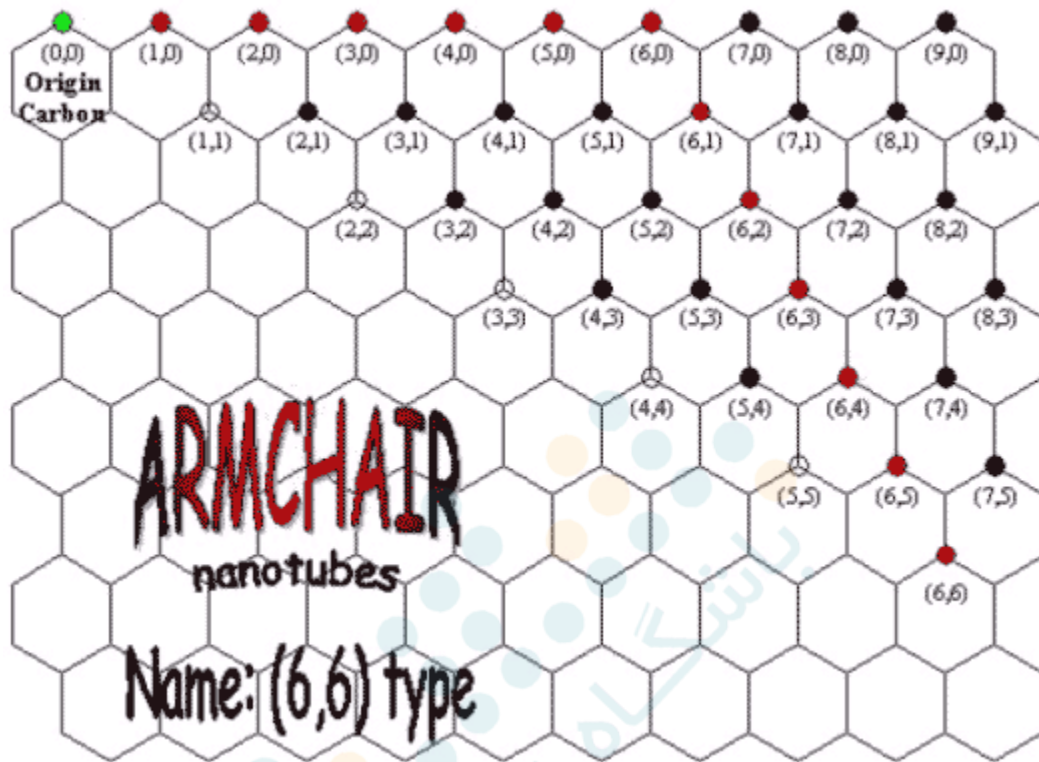
- نوع زیگزاگ
 برای ساختن نوع زیگزاگ نانولوله، مطابق شکل اتم‌ها را در راستای افقی (ستون به ستون) شمرده $\{(1,0), (2,0), \dots\}$ ، اتم انتهایی $(5,0)$ را با خم کردن صفحه، بر روی اتم ابتدایی $(0,0)$ انطباق می‌دهیم. برای اطمینان از درستی روش ساخت باید دقت کنیم که در آخر کار، در راستای افقی یک خط شکسته زیگزاگ به دور نانولوله ببینیم.



شکل ۳

- نوع صندلی
 در صورتی که اتم ابتدایی و اتمی که در وضعیت 45° درجه نسبت به آن قرار دارد، روی هم قرار بگیرند، نانولوله نوع صندلی به دست می‌آید. در این حالت می‌توانیم بین این دو اتم یک خط مستقیم رسم

کنیم که معادله آن « $m=n$ » است. یعنی شماره ستون و ردیف هر یک از آنها با یکدیگر برابر است. در این حالت با یک بار گردش به دور نانولوله تعدادی صندلی پشت سر هم خواهیم دید.



شکل ۴

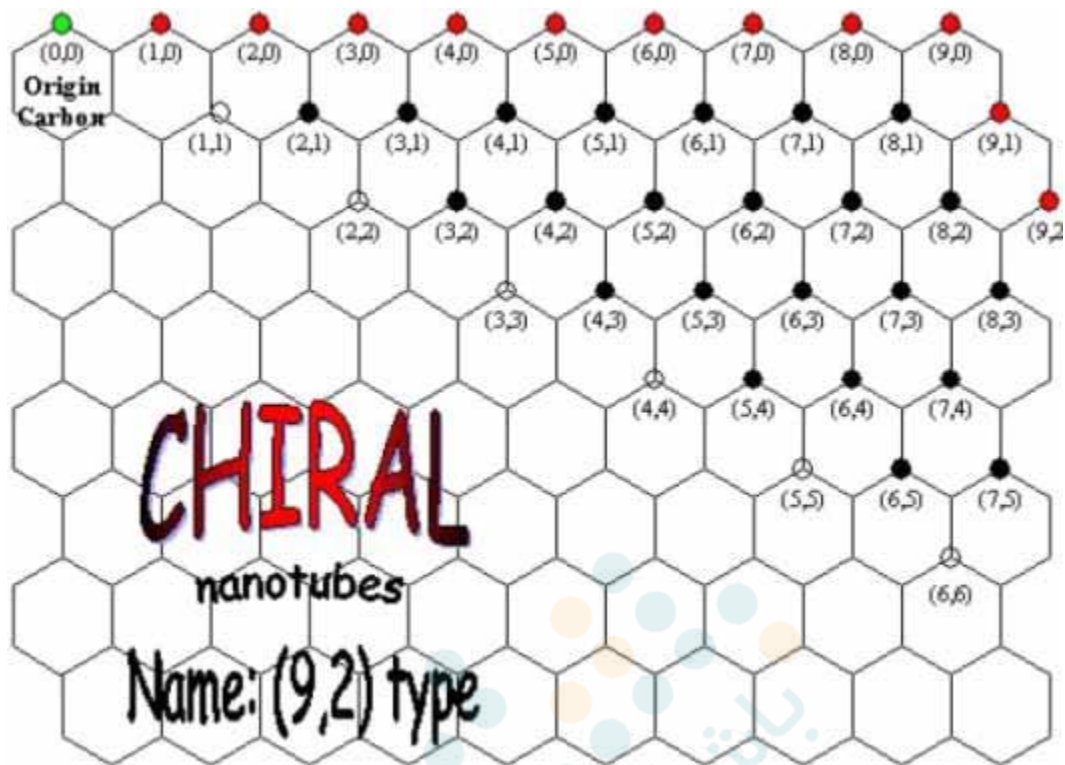
این فیلم را دانلود کنید.



• نوع نامتقارن

در این حالت نیز مشابه روش صندلی عمل می‌کنیم، با این تفاوت که در مختصات اتم انتهایی، $m \neq n$ خواهد بود. اگر یک بار افقی به دور نانولوله بچرخیم مجموعه‌ای از صندلی‌ها را می‌بینیم که نسبت به افق، به صورت مایل قرار گرفته‌اند.

برای ساختن مدلی از هر کدام از انواع نانولوله‌ها فقط کافی است مطابق شکل کاغذ را خم کرده و نقطه‌ی انتهایی را بر نقطه‌ی ابتدایی منطبق نمایید.



شکل ۵

این فیلم را دانلود کنید. 

این لوله‌ها به علت آنکه دارای قطر چند نانومتری می‌باشند «نانولوله» نام گرفته‌اند. یعنی ما با اتصال دونقطه‌ی یک صفحه گرافیتی به هم، لوله‌ای را به دست آورده‌ایم که قطر فضای خالی داخلی آن چند میلیاردم یک متر است (اگر طول یک متر را به یک میلیارد قسمت تقسیم کنیم، ضخامتی معادل یک نانومتر به دست می‌آید).

۱-۴-۱- خواص نانولوله‌ها

هریک از سه نوع نانولوله، به خاطر آرایش اتمی خاصی خود، دارای خواصی می‌باشند که در اینجا به چند ویژگی مشترک بین آنها اشاره می‌کنیم:

خواص مکانیکی

نانولوله‌ها دارای پیوندهای محکمی در بین اتم‌هایشان می‌باشند و به همین علت در برابر نیروهای کششی

مقاومت و استحکام زیادی از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال نیروی لازم برای شکستن یک نانولوله‌ی کربنی چند برابر نیرویی است که برای شکستن یک قطعه فولاد - با ضخامتی معادل یک نان لوله - احتیاج داریم. اما جالب است که بدانیم پیوندهای بین اتمی در نانولوله‌ها علاوه بر ایجاد استحکام بالا، شکل‌پذیری آسان و حتی پیچش را در آنها میسر می‌سازد! در حالیکه فولاد تنها در برابر نیروهای کششی دارای مقاومت است و برای پیچش انعطاف‌پذیری لازم را ندارد.

در بررسی کاربرد نانولوله‌ها و به کارگیری خواص آنها، می‌توانیم به استفاده از این ترکیبات به عنوان «رشته» در مواد مرکب، اشاره کنیم؛ به چنین موادی «کامپوزیت» می‌گویند. ملموس‌ترین مثال کامپوزیت «کاه‌گل» است. کاه‌گل مخلوطی از «کاه» و «گل» است که در آن، کاه به عنوان رشته‌هایی که استحکام و انعطاف‌پذیری بهتری نسبت به گل دارد، پراکنده شده است تا مانع از ترک خوردن آن شود. گل را اصطلاحاً «زمینه» می‌نامیم. نانولوله‌ها نیز چون استحکام و شکل‌پذیری خوبی دارند، در مواد مرکب با زمینه‌های فلزی، پلیمری و سرامیکی استفاده می‌شوند. اما مهم‌ترین فاکتوری که باعث برگزیدن نانولوله به عنوان رشته در مواد مرکب (کامپوزیت) شده است، وزن کم آن است، در حالیکه استحکام آن بالاست. از مهم‌ترین موارد استفاده چنین مواد مرکبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بدنه هواپیما و هلیکوپتر، زه راکت‌های تنیس و...

خواص فیزیکی

مهم‌ترین خاصیت فیزیکی نانولوله‌ها، «هدایت الکتریکی» آنهاست. هدایت الکتریکی نانولوله‌ها بسته به زاویه و نوع پیوندها، از دسته‌ای به دسته دیگر کاملاً متفاوت است؛ هر اتم در جایگاه خود در حال ارتعاش است، وقتی که یک الکترون (یا بار الکتریکی) وارد مجموعه‌ای از اتم‌ها می‌شود، ارتعاش اتم‌ها بیشتر شده و در اثر برخورد با یکدیگر بار الکتریکی وارد شده را انتقال می‌دهند. هرچه نظم اتم‌ها بیشتر باشد، هدایت الکتریکی آن دسته از نانولوله‌ها بیشتر خواهد بود. تقسیم‌بندی ابتدای متن بر اساس نظم اتم‌های کربن در نانولوله و در نتیجه رسانایی آنها انجام شده است؛ برای مثال نانولوله نوع صندلی ۱۰۰۰ بار از مس رساناتر است، در حالی که نوع زیگزاگ و نوع نامتقارن نیمه رسانا هستند. خاصیت نیمه‌رسانایی نانولوله‌ها بسته به نوع آنها تغییر می‌کند.

*خواص فوق‌العاده نانولوله‌ها و روش‌های پیچیده تولید آنها باعث شده است که قیمت هر گرم از این ماده حدود چندصد دلار باشد.

منبع:

مجموعه مقالات سایت باشگاه نانو

