دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی هوافضا
گروه سازه‌های هوایی

پایان‌نامه‌ی دوره کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا

عنوان:

بررسی رفتار کمانشی نانولوله‌های کربنی معیوب تحت شرایط بارگذاری مختلف جهت کاربرد در نانو کامپوزیت‌ها

استاد راهنما:

سرکار خانم دکتر ذاکری

توسط:

امید افضل نژاد

پاییز ۱۳۹۲

م

خداوند

شاهد مهربان

تأییدیه هیات داوران

برای پایان‌نامه

اعضای هیئت داوران، نسخه نهایی پایان‌نامه آقای: امید افضل نژاد

را با عنوان:

بررسی رفتار کمانشی نانولوله‌های کربنی معیوب تحت شرایط بارگذاری مختلف جهت کاربرد در نانو کامپوزیت‌ها

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
Î! استاد راهنما	دکتر مهناز ذاکری	استادیار	
Ï! استاد ممتحن	دکتر علی مظفری	استادیار	
Ð! استاد ممتحن	دکتر مجتبی فرخ	استادیار	
Ñ! نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مجتبی فرخ	استادیار	

مقدمه

رر،ما ، مهر م و .کان

راجایِ ن .بی را . شان ا ست.

سپاس

با سپاس فراوان از خداوند منان که مرا توفیق تحصیل و کسب دانش بخشیده و در تمام مراحل زندگی به خصوص انجام این پایان‌نامه مرا یاری نموده است. برخود لازم می‌دانم که از زحمات زیاد سرکار خانم دکتر ذاکری که در انجام این پایان‌نامه با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود مرا یاری نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم، هم چنین از تمامی دیگر استادان، به خصوص جناب آقای دکتر فرخ و کلیه‌ی دوستانی که در طول تحصیل افتخار بهره‌مندی از معلومات و دانش آن‌ها را داشته‌ام سپاس‌گزارم و از خداوند متعال توفیق روزافزون همگی را خواستارم.

با تشکر
امید افضل‌نژاد
پاییز ۱۳۹۲

چکیده

نانولوله‌های کربنی به علت خواص مهم و منحصر به فردی که دارند همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین فراورده‌های فناوری نانو شناخته می‌شوند، از همین رو افرادی زیادی در سال‌های گذشته در پژوهش‌های متفاوتی سعی در شناخت رفتار دقیق‌تر آن داشته‌اند.

در این پژوهش به کمک روش‌های اجزامحدود و مکانیک مولکولی به مدل‌سازی و تحلیل ساختارهای مختلفی از نانولوله‌های کربنی پرداخته می‌شود . ساختارهای مورد بررسی به نحوی انتخاب شده‌اند که دارای طول و قطر یکسان اما زاویه‌ی کایرال متفاوت هستند چراکه به این صورت می‌توان اثرات طول و قطر را حذف کرد. پس از انجام مدل‌سازی، اثرات زاویه‌ی کایرال و عیوب مختلفی چون عیب جای خالی و عیب استون ولز بر رفتار کمانشی نانولوله‌های کربنی در دو حالت بارگذاری محوری و پیچشی بررسی می‌گردد.

برای انجام شبیه‌سازی نانولوله‌های کربنی از دو نرم افزار MATLAB و ANSYS کمک گرفته شده است. در ابتدا به کمک برنامه‌ای در محیط MATLAB مختصات گره‌ها و المان‌ها در یک فایل خروجی با فرمت APDL ذخیره و سپس در محیط نرم‌افزار ANSYS فراخوانی می‌شود. برای بدست‌آوردن خواص المان تیر معادل با پیوندهای کربنی، انرژی پتانسیل ناشی از برهم کنش بین اتمی را با انرژی کرنشی تیر برابر قرار داده و خواصی چون مدول یانگ، مدول برشی و قطر المان بدست می‌آیند.

آنچه که از نتایج مشاهده می‌شود این است که زاویه کایرال بر روی کمانش محوری نانولوله‌ها تاثیر بسیار ناچیزی دارد به طوری که می‌توان گفت پارامترهای طول و قطر نسبت به زاویه‌ی کایرال بسیار تاثیرگذارتر است. اما در حالت بارگذاری پیچشی تغییرات گشتاور بحرانی نسبت به زاویه‌ی کایرال قابل ملاحظه است اما نمودارهای حاصل رفتار مشخص و ثابتی را ازخود نشان نمی‌دهد. با تحلیل نمودارها مشخص شد که نانوله‌های آرمچیر از نانولوله‌های زیگزاگ در مقابل پیچش پایدارتر هستند. هم‌چنین در بین ساختارها با زاویه‌ی کایرال ۱۹/۱۱ قوی‌ترین ساختار است.برای نانولوله‌ها با زاویه‌ی کایرال ۱۵/۴۹ مشاهده شد که این ساختارها بیشترین اختلاف گشتاور بحرانی را در دو حالت چپ‌گرد و راست‌گرد، نسبت به سایر ساختارها دارد.

در بررسی اثرات عیب جای خالی مشاهده شد که با افزایش تعداد پیوندهای حذف شده گشتاور بحرانی بیشتر افت می‌کند اما تغییرات در این مرحله هم زیاد چشم‌گیر نیست. همچنین در مراحل ایجاد عیب، نوع پیوندهای حذف شده مهم و تاثیرگذار هستند. وجود عیوب در ساختار نانولوله همچنین باعث افزایش اختلاف گشتاور بحرانی در دو حالت چپ‌گرد و راست‌گرد می‌شود. با بررسی اثرات مکان عیوب دیده شده اثر وجود عیب در مرکز نانولوله نسبت به ابتدای نانولوله محسوس‌تراست که البته برای عیب جای خالی نسبت به عیب استون ولز این تغییرات بیشتر است. در بررسی دیگری که اثر زاویه‌ی کایرال بر گشتاور بحرانی در حضور عیب‌های جای خالی و استون ولز انجام شد در این حالات هم زاویه ۱۹/۱۱ بیشترین پایداری را داشت.

در نهایت به طور کلی در مورد کمانش پیچشی نانولوله‌ها می‌توان گفت در نسبت منظری‌های بالا اثرات طول به مراتب مهم‌تر از سایر پارامترها است به طوری که اثرات وجود عیب‌های جای‌خالی و استون ولز هم کم‌تاثیر می‌شود.

کلید واژه:

نانولوله تک جداره، کمانش پیچشی، زاویه کایرال، عیب جای خالی، عیب استون ولز، مدل سازی اجزا محدود

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها ..... ج

فهرست نمودارها ..... ه

فهرست جدولها ..... و

فهرست علائم و نشانهها ..... ز

فصل ۱- مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- نانو فناوری ۲

۱-۳- نانولولههای کربنی ۴

1-3-1- انواع نانولوله‌های کربنی ۷

۱-۳-۲- خواص نانولوله‌های کربن ۱۰

۱-۳-۳- کاربرد نانولوله‌های کربنی ۱۲

۱-۴- مروری بر کارهای گذشته ۱۲

۱-۴-۱- مقدمه ۱۲

۱-۴-۲- نانولولههای کربنی سالم ۱۳

1-4-3- نانولولههای کربنی معیوب ۱۷

۱-۵- اهداف پروژه ۱۹

۱-۶- ساختار پروژه ۲۰

فصل ۲- مدل‌سازی نانولوله‌های کربنی ۲۱

۲-۱- روشهای شبیه‌سازی ۲۲

۲-۱-۱- روش دینامیک مولکولی ۲۲
۲-۱-۲- روش مونت‌کارلو ۲۳
۲-۱-۳- مدل‌سازی بر پایه‌ی اصول اولیه ۲۴
۲-۱-۴- مدل محیط پیوسته ۲۴
2-1-5- مدل‌سازی چند مقیاسی ۲۵
۲-۱-۶- روش اجزا محدود ۲۶
2-2- استخراج مشخصات فیزیکی و هندسی المان تیر ۳۲
فصل ۳- بررسی رفتار کمانشی نانولوله‌های کربنی ۴۲
۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- کمانش محوری ۴۴
3-2-1- صحت سنجی مدل سازی ۴۴
۳-۲-۲- نانولوله‌های کربنی سالم ۴۷
۳-۳- کمانش پیچشی ۵۲
۳-۳-۱- صحت سنجی مدلسازی ۵۲
۳-۳-۲- نانولوله‌های کربنی سالم ۵۴
فصل ۴- نتایج و پیشنهادها ۶۰
۴-۱- جمعبندی مطالب ۶۱
۴-۲- دستاوردهای پروژه ۶۱
۴-۳- پیشنهادهایی برای ادامهی کار ۶۵
فهرست مراجع ۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: سه نوع نانولوله که در سال ۱۹۹۱ توسط ایجیماکشف شد[۵].....۴

شکل ۱-۲: فولرین[۵] ۵

شکل ۱-۳: تشکیل نانولوله وفولرین از ورق گرافیت[۶] ۶

شکل ۱-۴: بردار و زاویه کایرال در یک صفحه‌ی گرافن[۷].....۸

شکل ۱-۵: انواع نانولوله‌های تک جداره[۸] ۹

شکل ۱-۶: نانولوله چند جداره[۴].....۱۰

شکل ۱-۷: انرژی الکتریکی بر حسب قطر نانولوله[۵] ۱۱

شکل ۱-۸: شماتیک یاتاقان اتمی[۹] ۱۱

شکل ۱-۹: انواع عیوب جای خالی منفرد، دوگانه و سه‌گانه [۴۰].....۱۸

شکل ۱-۱۰: عیوب جای خالی و استون ولز [۴۱] ۱۸

شکل ۲-۱: مقیاس‌های مورد استفاده در نظریه‌های مختلف [۴۵] ۲۲

شکل ۲-۲: تکنیک مدل سازی محیط پیوسته بر اساس مدل اتمی جهت مدل سازی نانولولهها [۴۶]..۲۶

شکل ۲-۳: المان تیر[۵۱] ۲۸

شکل ۲-۴: المان تیر-فنر [۴۶] ۲۹

شکل ۲-۵: شبکه بندی نانولوله به کمک المانهای فنر [۵۵] ۳۰

شکل ۲-۶: پیوند بین اتمها در دو حالت فیزیکی و اجزا محدود [۵۷] ۳۱

شکل ۲-۷: اتصال فنر پیچشی با فنر خطی کششی [۵۷].....۳۲

شکل ۲-۸: تغییر شکلهای بین مولکولی [۴۶] ۳۳

شکل ۲-۹: مدل سازی نانولولههای کربنی با المان تیر[۴۶] ۳۶

شکل ۲-۱۰: نانولولهی زیگزاگ (۲۶,۰) مدل شده در نرم افزار انسیس ۳۷

شکل ۲-۱۱ : نانولولهی آرمچیر (۱۵,۱۵) مدل شده در نرم افزار انسیس.....۳۷
شکل ۲-۱۲ : نانولولهی کایرال (۲۱,۸) مدل شده در نرم افزار انسیس ۳۸
شکل ۲-۱۳: صفحهی گرافن (۱۵,۱۵).....۳۸
شکل ۲-۱۴: صفحهی گرافن (۲۶,۰).....۳۹
شکل ۲-۱۵: صفحهی گرافن (۲۱,۸).....۳۹
شکل ۲-۱۶ : هندسه و مشخصات المان BEAM4 [۶۰] ۴۱
شکل ۳-۱: کمانش سازههای مختلف در شرایط بارگذاری مختلف (الف)کمانش پوسته تقویت شده....۴۳
شکل ۳-۲: استفاده از گره مرجع برای اعمال شرایط مرزی.....۴۴
شکل ۳-۳: مدهای کمانش محوری برای نسبت منظری ۳ .....۵۱
شکل ۳-۴: مدهای کمانش محوری برای نسبت منظری ۸ .....۵۱
شکل ۳-۵: مدهای کمانش محوری برای نسبت منظری ۱۲ .....۵۲
شکل ۳-۱۳: مدهای کمانش پیچشی برای نسبت منظری ۳ .....۵۸
شکل ۳-۱۴: مدهای کمانش پیچشی برای نسبت منظری ۸ .....۵۹
شکل ۳-۱۵: اعمال شرایط مرزی دوسر مفصل.....۵۹

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۳-۱: مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج گذشته ۴۵

نمودار ۳-۲: تغییرات بار بحرانی بر حسب کایرالیتی (مد کلی) ۴۹

نمودار ۳-۳: تغییرات بار بحرانی در اولین مد موضعی بر حسب کایرالیتی ۵۰

نمودار ۳-۶: تغییرات گشتاور پیچشی بحرانی بر حسب زاویهی کایرال برای نانولولهی تک جدارهی بدون عیب با نسبت منظری ۱۲ ۵۵

نمودار ۳-۷ : مقدار اختلاف بین گشتاورهای پیچشی بحرانی چپ گرد و راست گرد ۵۶

نمودار ۳-۸: تغییرات گشتاور پیچشی بحرانی بر حسب زاویهی کایرال- نسبت منظری ۸ ۵۷

نمودار ۳-۹: تغییرات گشتاور پیچشی بحرانی بر حسب زاویهی کایرال- نسبت منظری ۳ ۵۷

نمودار ۳-۱۰: مقایسهی مقادیر اختلاف بین گشتاورهای پیچشی بحرانی چپ گرد و راست گرد برای نسبتهای منظری مختلف ۵۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مشخصات المان تیر[۵۰] ۲۸

جدول ۲-۲: مقادیر ثوابت [۴۶] ۲۹

جدول ۳-۱ : ارزیابی نتایج با کارهای گذشته ۴۶

جدول ۳-۲: مشخصات نانولوله‌های انتخاب شده ۴۷

جدول ۳-۳: مشخصات گره‌ها والمان‌های نانولوله‌های انتخاب شده ۴۸

جدول ۳-۴: ساختارهای مورد استفاده در بررسی زاویه‌ی کایرال ... **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۳-۶:مقایسه‌ی نتایج مدول برشی پژوهش حاضر با کارهای گذشته ۵۴

جدول ۳-۷: ساختارهای مورد استفاده در بررسی زاویه‌ی کایرال ... **Error! Bookmark not defined.**

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت یا نشانه
بردار کایرال	
اعداد صحیح معرف کایرالیتی یا نوع نانولوله	n
بردارهای یکه بردار کایرال	
قطر نانولوله	
طول نانولوله	
طول پیوند کربنی	
زاویه‌ی کایرال	
نیروی وارد بر مولکول i ام	
جرم مولکول i ام	
شتاب مولکول i ام	
انرژی کرنشی محوری	
انرژی کرنشی خمشی	
انرژی تغییر زاویه‌ی پیچشی	
انرژی نغییر زاویه‌ی خارج صفحه ای	
انرژی ناشی از نیروهای واندروالس	
سفتی محوری یا ثابت نیرویی کشش پیوند	
سفتی خمشی یا ثابت نیرویی خمش پیوند	
سفتی پیچشی یا ثابت نیرویی پیچش پیوند	
اندازه‌ی تغییرات محوری	Δ
اندازه‌ی تغییرات زاویه خمشی بین پیوندها	Δ

اندازه‌ی تغییرات زاویه پیچشی	Δ
مدول یانگ	
ممان سطح	
مدول برشی	
قطر المان	
اندازه‌ی ضلع المان مربعی	
طول المان	
نانومتر	
انگستروم متر	
ممان سطح در راستای محور y	
ممان سطح در راستای محور Z	
نصف طول نانولوله	
مکان عیب در نصف طول نانولوله	

فصل ۱– مقدمه و کلیات

- مقدمه
- نانو فناوری
- نانولوله‌های کربنی
- مروری بر کارهای گذشته
- اهداف پروژه
- ساختار پروژه

۱-۱- مقدمه

نانوفناوری سطح استاندارد زندگی را بالا برده، ایمن‌تر کرده، سطح سلامتی را افزایش داده و استفاده از منابع محدود را بهینه کرده است. به عبارت دیگر نیازهای مهم زیادی هستند که انسان سعی در رفع کردنشان داشته است زیرا می‌دانسته که با استفاده از این نیازها می‌تواند یک آینده مطمئن‌تر برای خود بسازد. اگر کاربردهای نانو فناوری بتوانند کاملا موفقیت‌آمیز شوند، بشر به مطمئن‌تر کردن زندگی آینده‌اش امیدوارتر خواهد بود[۱].

۱-۲- نانو فناوری

وقتی نیل آرمسترانگ[1] پا بر کره ماه نهاد، آن را گام‌های کوتاه یک انسان اما خیزشی بزرگ برای بشر نامید. نانو[2] ممکن است برای دنیای امروز خیزش بزرگ دیگری را بنمایاند، اما گامی چندان کوتاه که گام‌های نیل آرمسترانگ نسبت به آن به اندازه ابعاد منظومه شمسی است[۲].

پیش‌وند نانو در اصل یک کلمه یونانی به معنی کوتوله و قد کوتاه است. این پیش‌وند در علوم، معادل یک میلیاردم است؛ لذا یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر است. برای درک عینی این مفهوم بهتر است چند مثال ذکر شود؛ یک تار موی انسان به طور متوسط چیزی حدود ۵۰۰۰۰ نانومتر قطر دارد. در شکل زیر نمودار مقیاس‌های طولی آورده شده است. اما نانو فناوری به این صورت تعریف می‌شود: «ساخت وسایل با دقت اتمی و یا مولکولی نانو فناوری نامیده می‌شود[۳].» دانش نانو به بیان بسیار ساده‌تر عبارت است از مطالعه اصول بنیانی مولکول‌ها و ساختارهایی با دسته کم دارای بعدی به اندازه تقریبی یک تا صد نانومتر. چنین ساختارهایی را نانو ساختار می‌گویند[۲]. نانو در واقع بیانگر مرز بین مکانیک کلاسیک

[1] N.A.Armesterong

[2] Nano

و مکانیک کوانتومی است. نانو فناوری مدرن، امکان تهیه نانو بلورهایی با ابعاد ۵۰ نانومتر را به ما داده است، با این علم، نانو سیال ستاره جدیدی است که در آسمان انتقال حرارت درخشید[۱].

عبارت نانو فناوری اولین بار توسط ناریو تانیگوچی[۱] در سال ۱۹۴۷ برای توصیف مقداری کمتر از یک میکرون مورد استفاده قرار گرفت. سه رویداد اساسی شروع کشف نانوفناوری بودند که همگی توسط برندگان نوبل انجام شد.

رویداد اول: الهام گرفتن

در سال ۱۹۵۹ فیزیک‌دان بزرگ دانشگاه کالیفرنیا یعنی ریچارد فاینمن[۲] سخنرانی مشهور خودش یعنی «جای زیادی در پایین وجود دارد» را درباره‌ی مهندسی اتمی انجام داد.

رویداد دوم: باور کردن

در سال ۱۹۸۱ گرد بینینگ[۳] از مرکز تحقیقاتی IBM توانستند یک ریزبین اسکن تونلی[۴] طراحی کنند که برای اولین بار محققان را قادر به دیدن و اداره‌ی اتم‌ها می‌کرد.

رویداد سوم: ساختار نانو

در سال ۱۹۸۵ روبرت اف کرل جونیور[۵] و هارول دبلیو کروتو[۶] و ریچارد ئی اسمالی[۷] توانستند باکی بال‌ها[۸] را کشف کنند که مولکول‌هایی به شکل توپ فوتبال از کربن و دارای پهنایی کمتر از ۰/۷ نانومتر بودند[۱].

---

[1] Norio Taniguchi

[2] Richard Feynman

[3] Gerd Binnig

[4] Scanning Tunneling Microscopy (STM)

[5] Robert F. Curl Jr

[6] Harold W. Kroto

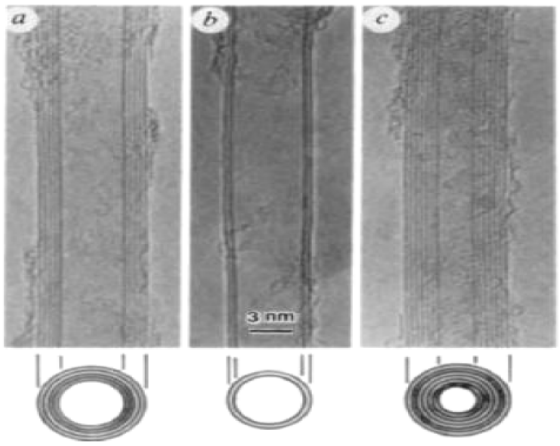
[7] Richard E. Smalley

[8] Buckyball

۱-۳- نانولوله‌های کربنی

در سال ۲۰۰۶ مارک مونتیوکس[۱] و ولادیمیرکوزنتسف[۲] در مقاله‌ای در نشریه کربن به بیان مبدأ و منشأ نانولوله‌ها پرداختند. اغلب مقالات معروف و علمی، کشف لوله‌های نانومتری تو خالی را به سومیو ایجیما[۳] از کمپانی NEC در سال ۱۹۹۱ نسبت می‌دهند، ولی تاریخ لوله‌های نانومتری گرافیتی به گذشته‌های دور و به سال ۱۹۵۲ بر می‌گردد. در آن سال رادوشکویچ و لوکیانویچ[۴] تصاویری واضح از لوله‌های ۵۰ نانومتری کربنی را در نشریه روسی شیمی فیزیک به چاپ رساندند[۴].

در سال ۱۹۸۵، کرتو و اسمالی با نتایج عجیبی در طیف جرمی کربن تبخیر یافته مواجه شدند. پس از آن حادثه فولرین‌ها کشف شدند و پایداری آن‌ها در حالت گازی اثبات شد. اولین مشاهدات فولرین‌ها در طیف نگاری جرمی غیرمنتظره بود و اولین روش تولید انبوه توسط کرچمر و هافمن تا سال‌ها قبل از پی بردن به آن که این روش فولرین تولید می‌کند، استفاده می‌شد.جست جو برای دیگر فولرین‌ها نیز آغاز شد و در سال ۱۹۹۱ نانولوله‌های کربنی توسط ایجیما و همکارانش کشف شدند[۴].



شکل ۱-۱: سه نوع نانولوله که در سال ۱۹۹۱ توسط ایجیماکشف شد[۵]

[1] Marc Monthoux

[2] Vladimir Kuzntsov

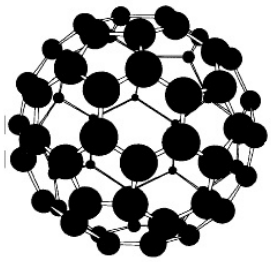
[3] Iijima

[4] Radushkovich and Lukyanovish

در مقاله‌ای که توسط ابرلین و اندو و کویاما[1] و در سال ۱۹۷۶ چاپ شد، الیاف‌های توخالی کربنی در ابعاد نانومتری به روش رشد بخار، به وضوح نشان داده‌شده بودند. در سال ۱۹۸۷ در آمریکا اختراعی به نام جورج تننت[2] برای تولید الیاف‌های مجزای استوانه‌ای کربن با قطری بین ۳/۵ تا ۷۰ نانومتر و طولی حدود ۱۰۲ برابر قطر آن ثبت شد. اخیرا کشف نانولوله‌ها را به آندو و شفاف‌سازی ساختار نانولوله را به ایجیما نسبت می‌دهند[۴].

تا سال ۱۹۸۰، سه نوع ترکیب مختلف از عنصر کربن (دگرشکل‌های مختلف عنصر کربن) به نام‌های الماس، گرافیت و کربن بی‌شکل (کربن غیر بلوری) شناخته‌شده بودند، اما امروزه ما می‌دانیم که خانواده کاملی از سایر اشکال کربن نیز وجود دارند. اولین آن‌ها که کشف شد باکمینسترن فولرین[3] نام داشت که به نام‌های دیگر باکی بال و فولرین[4] هم نام‌گذاری شده است. حدود ۳۰ شکل متفاوت یا حتی بیشتر از فولرین‌ها و نیز خانواده‌ای گسترده از آن‌ها که به نام نانولوله‌ها موسوم‌اند، وجود دارد.

فولرین C۶۰ نخستین مولکول کربن کروی شناخته‌شده با کربن‌های مرتب شده، در قالب کره‌ای به شکل توپ فوتبال هست. در این ساختار ۶۰ اتم کربن وجود دارد و تعدادی از حلقه‌های پنج عضوی به وسیله‌ی حلقه‌های شش عضوی از هم جداشده‌اند.



شکل ۱-۲: فولرین[۵]

[1] A. Oberlin, M. Endo and T. Koyama

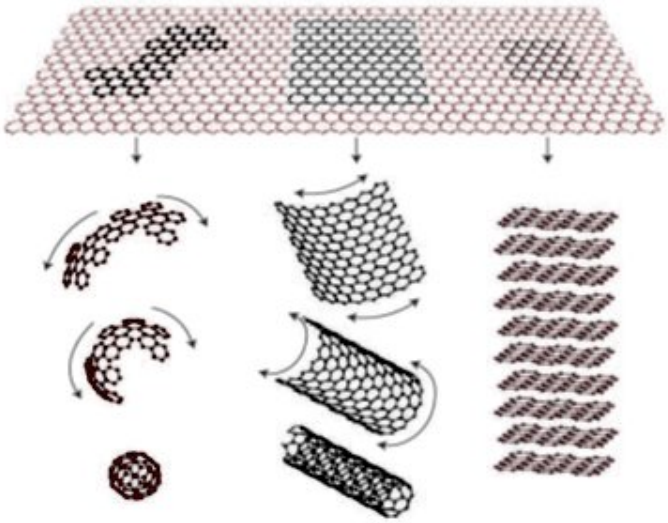
[2] George Tanen

[3] Buckminster Fullerene

[4] Fullerene

دومین مولکول کربن کروی شناخته‌شده در همان گروه راگبی بال[1] (C70) هست که شبیه به توپ راگبی است و ساختارش نسبت به فولرین یک حلقه‌ی کربنی شش عضوی اضافه‌تر دارد. تعداد زیادی از ساختارهای بالقوه دیگری نیز وجود دارند که شامل تعداد یکسانی از اتم‌های کربن (هم پارها) می‌باشند. بسته به بود یا نبود حلقه‌های پنج عضوی و یا هفت عضوی، ساختار بسیاری از شکل‌های دیگر فولرین‌ها تا C120 و یا فراتر، مشخص و خواص آن‌ها مطالعه شده است. هم چنین امکان رسم ساختار بیشتر آن‌ها با حلقه‌های پنج عضوی در مکان‌های مختلف و گاهی در کنار یکدیگر وجود دارد. گفته می‌شود که اتم‌های درون فولرین، اندوهدرال[2] یا درون وجهی می‌باشند.

نانولوله‌های کربنی نسبت به فولرین‌ها مهم‌تر می‌باشند، چرا که از گرافیت تشکیل می‌شوند. ساختار مولکولی گرافیت به ورقه‌ای از سیم بسیار نازک شبیه است که متشکل از حلقه‌های شش وجهی کربن می‌باشند.



شکل ۱-۳: تشکیل نانولوله وفولرین از ورق گرافیت[۶]

[1] Rugbyball

[2] Endohedral