

دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

تحلیل دینامیکی تیر هدفمند تقویت شده با نانولوله‌های کربن

استاد راهنما:

دکتر محمدحسین یاس

نگارش:

نسیم صمدی

دی ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که در تمامی این سال‌ها مشوق و پشتیبان من بوده‌اند.

تقدیر و سپاس

سپاس خداوند متعال را که منت نهاده و توفیق انجام این پروژه را به اینجانب ارزانی فرموده است. اکنون که بایاری و استعانت ایزدمنان این پیمان نامه به انجام رسیده، شایسته است از استاد راهنمای محترم و بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد حسین یاس که بارها سہانی های ارزشمند خویش بنده را در تہیہ این پروژه یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم، همچنین از پدر و مادر عزیزم، این دو موبیت الہی، این دو ہمراہ ہمیشگی، کہ ہموا رہہ پشتیبان و یاور من بوده اند بی نہایت سپاسگزارم. و از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر اکبر علی بیگلر و دانشیار دانشگاہ تربیت مدرس و جناب آقای دکتر مہر داد فروتن استاد یار دانشگاہ رازی کہ داوری این پیمان نامه را بر عہدہ داشتند تشکر کنم.

نسیم صدیقی

دی ماه ۱۳۹۰

چکیده

استفاده از تیرها به عنوان اجزای اصلی سازه‌ها در زمینه‌های مختلف اعم از هوافضا، دریایی، عمرانی و ... بسیار معمول بوده، از سوی دیگر نانوکامپوزیت‌های تقویت شده با نانولوله کربن به دلیل دارا بودن خواص مطلوب مکانیکی، حرارتی و فیزیکی، امروزه به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این‌رو در این تحقیق تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری تیر هدفمند تقویت شده با نانولوله کربن تک دیواره بررسی می‌شود. در قسمت اول بر اساس تئوری تیر اویلر برنولی و تئوری تیر تیموشنکو و با استفاده از روش عددی دیفرانسیل کوادریچر تعمیم یافته، تحلیل ارتعاشات آزاد تیر هدفمند تقویت شده با نانولوله کربن بررسی شده است. در قسمت دوم، بر اساس تئوری تیر اویلر برنولی و با روش المان محدود و نیومارک، تحلیل ارتعاشات اجباری تیر هدفمند تقویت شده با نانولوله کربن تحت بار متمرکز متحرک با سرعت ثابت مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا همگرایی و دقت روش‌های ارائه شده با مقایسه نتایج به‌دست آمده از تحلیل تیر هدفمند، با نتایج دیگر تحقیقات اعتباردهی شده و سپس تاثیر ابعاد هندسی، نوع تکیه‌گاه و از همه مهم‌تر نحوه توزیع نانولوله کربن و درصدحجمی آن بر فرکانس طبیعی و پاسخ دینامیکی تیر مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: معرفی نانوکامپوزیت‌ها

۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- تعریف فناوری نانو.....
۳	۳-۱- تعریف نانوکامپوزیت‌ها.....
۴	۱-۳-۱- تقسیم‌بندی نانوکامپوزیت‌ها بر اساس ماده زمینه.....
۵	۲-۳-۱- انواع نانوکامپوزیت‌ها بر اساس ماده پرکننده.....
۵	۴-۱- پیدایش نانولوله‌های کربن.....
۵	۱-۴-۱- آلوتروپ‌های مختلف کربن.....
۶	۲-۴-۱- ویژگی‌های هندسی نانولوله‌های کربن.....
۹	۳-۴-۱- روش‌های تولید نانولوله‌های کربنی.....
۹	۴-۴-۱- ویژگی‌های نانولوله‌های کربنی.....
۱۵	۵-۱- مواد هدفمند.....
۱۵	۱-۵-۱- کامپوزیت‌های FG-CNTRC.....
۱۲	۶-۱- بیان خواص مکانیکی CNTRC.....
۱۵	۷-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده.....
۱۵	۱-۷-۱- تحقیقات انجام شده پیرامون مواد FGM.....
۱۶	۲-۷-۱- تحقیقات انجام شده پیرامون مواد CNTRC.....
۱۷	۸-۱- ساختار پایان نامه.....

فصل دوم: روش‌های عددی

۱۹	۱-۲- مقدمه.....
۱۹	۲-۲- روش دیفرانسیل کوادریچر.....
۱۹	۱-۲-۲- قوانین دیفرانسیل کوادریچر در یک بعد.....
۲۱	۲-۲-۲- تعیین مختصات گره‌ها (نقاط شبکه).....
۲۲	۳-۲- مقدمه ای بر روش المان محدود.....

فصل سوم: ارتعاشات آزاد و اجباری تیر اویلر برنولی تقویت شده با نانولوله کربن

۲۵	۱-۳- مقدمه.....
----	-----------------

۲-۳- تحلیل ارتعاش آزاد.....	۲۶
۱-۲-۳- روابط کرنش- تغییر مکان.....	۲۶
۲-۲-۳- تنش و منته‌های تنش.....	۲۶
۳-۲-۳- معادلات حرکت.....	۲۷
۴-۲-۳- معادلات حرکت بر حسب ترم‌های تغییر مکان.....	۲۸
۵-۲-۳- بی بعدسازی.....	۲۹
۶-۲-۳- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر.....	۲۹
۱-۶-۲-۳- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر معادلات حرکت.....	۲۹
۲-۶-۲-۳- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر شرایط مرزی.....	۲۹
۳-۳- ارتعاشات اجباری تیر CNTRC تحت بار متمرکز متحرک.....	۳۱
۱-۳-۳- بیان مسئله.....	۳۱
۲-۳-۳- المان تیر.....	۳۱
۳-۳-۳- فرمول بندی المان محدود.....	۳۲
۴-۳-۳- روابط لازم برای حل مسئله دینامیکی.....	۳۳
۵-۳-۳- روش نیومارک.....	۳۳

فصل چهارم: ارتعاشات آزاد تیر تیموشنکو تقویت شده با نانولوله کربن

۱-۴- مقدمه.....	۳۶
۲-۴- فرمول بندی مسئله.....	۳۷
۱-۲-۴- معادلات حاکم.....	۳۷
۲-۲-۴- معادلات حرکت.....	۳۸
۳-۲-۴- معادلات حرکت بر حسب ترم‌های تغییر مکان.....	۳۸
۳-۴- ارتعاش آزاد.....	۳۹
۱-۳-۴- بی بعدسازی معادلات.....	۳۹
۴-۴-۴- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر.....	۴۰
۱-۴-۴-۴- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر معادلات حرکت.....	۴۰
۲-۴-۴-۴- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر شرایط مرزی لبه‌ها.....	۴۱
۵-۴-۴- استخراج فرکانس‌های طبیعی تیر.....	۴۱

فصل پنجم: نتایج، بحث و بررسی

۴۴	۱-۵- مقدمه.....
۴۴	۲-۵- ارتعاشات آزاد تیر FGM.....
۴۴	۱-۲-۵- اعتبار دهی.....
۴۶	۲-۲-۵- بررسی ارتعاشات آزاد تیرهای CNTRC.....
۵۵	۳-۵- ارتعاشات اجباری تیر اویلر برنولی.....
۵۵	۱-۳-۵- ارتعاش اجباری تیر اویلر FGM.....
۵۵	۲-۳-۵- ارتعاشات اجباری تیر اویلر CNTRC.....
۵۷	۱-۲-۳-۵- تاثیرات نوع توزیع نانولوله.....
۵۹	۲-۲-۳-۵- تاثیرات درصد وزنی.....
۶۱	۳-۲-۳-۵- تاثیرات سرعت.....
۶۱	۴-۲-۳-۵- تاثیرات نسبت طول به ضخامت تیر.....
۶۲	۵-۲-۳-۵- تاثیر شرایط تکیه گاهی.....

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶۶	۱-۶- نتیجه‌گیری.....
۶۶	۱-۱-۶- ارتعاشات آزاد تیر اویلر برنولی و تیموشنکو CNTRC.....
۶۷	۲-۱-۶- ارتعاشات اجباری تیر اویلر برنولی CNTRC تحت بار متحرک.....
۶۶	۲-۶- پیشنهادها.....
۷۲	مراجع.....

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) - مقایسه تاثیر اندازه ذرات تقویت کننده ماتریس در برابر تنش.....	۳
شکل (۲-۱) - انواع تقویت کننده‌ها در ابعاد نانو به ترتیب از راست به چپ: ذره ای - لایه ای - رشته ای	۵
شکل (۳-۱) - اشکال مختلف آلوتروپ‌های کربن [۵].....	۶
شکل (۴-۱) - شکل‌گیری نانولوله‌ها از صفحات گرافیت.....	۷
شکل (۵-۱) - نانولوله تک دیواره (سمت چپ) و چند دیواره (سمت راست).....	۷
شکل (۶-۱) - بردار و زاویه کایرال [۷].....	۸
شکل (۷-۱) - انواع نانولوله [۷].....	۸
شکل (۸-۱) - مثالی از مواد هدفمند.....	۱۱
شکل (۹-۱) - مقایسه نحوه ی تغییرات مدول یانگ تیر CNTRC با توزیع مختلف نانولوله کربن.....	۱۴
شکل (۱۰-۱) - تغییرات مدول یانگ برحسب ضخامت تیر FG-X.....	۱۴
شکل (۱-۲) - شماره‌گذاری المان‌ها و گره‌ها در روش المان محدود.....	۲۳
شکل (۱-۳) - تئوری تیر اویلر برنولی [۴۳].....	۲۵
شکل (۲-۳) - هندسه تیر CNTRC.....	۲۶
شکل (۴-۳) - استفاده از تکنیک δ در دیفرانسیل کوادریچر یک بعدی.....	۳۰
شکل (۲-۳) - تیر CNTRC با شرایط تکیه گاهی ساده تحت بار متحرک.....	۳۱
شکل (۳-۳) - المان تیر.....	۳۱
شکل (۱-۴) - تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول.....	۳۶
شکل (۱-۵) - بررسی همگرایی و پایداری فرکانس اساسی تیر تیموشنکو هدفمند به ازای شرایط تکیه‌گاهی مختلف با $E_2/E_1 = 5$ و $L/h = 16$	۵۲
شکل (۲-۵) - تغییرات پارامتر بی بعد اولین فرکانس طبیعی تیر تیموشنکو CNTRC برحسب L/h تکیه‌گاه گیردار - گیردار، $V_{cnt}^* = 0.12$	۵۲
شکل (۳-۵) - تغییرات پارامتر بی بعد اولین فرکانس طبیعی تیر تیموشنکو FG-X بر حسب L/h برای شرایط تکیه گاهی مختلف.....	۵۳
شکل (۴-۵) - تغییرات پارامتر بی بعد اولین فرکانس طبیعی تیر FG-X تیموشنکو بر حسب درصد حجمی برای L/h مختلف.....	۵۴
شکل (۵-۵) - بررسی مطابقت پاسخ تیر هدفمند تحت بار متمرکز.....	۵۶
شکل (۶-۵) - مقایسه تغییر مکان مرکز تیر برای توزیع مختلف نانولوله کربن ($V_{cnt}^* = 0.12$).....	۵۷

عنوان

صفحه

- شکل (۷-۵) - تاثیر توزیع نانولوله‌های کربن بر ضریب عملکرد دینامیکی بر حسب سرعت‌های مختلف ۵۹
- شکل (۸-۵) - تغییر مکان دینامیکی مرکز تیر FG-X بر حسب زمان با سرعت 30m/s ۶۰
- شکل (۹-۵) - تغییر مکان دینامیکی مرکز تیر FG-X بر حسب زمان با سرعت 60m/s ۶۰
- شکل (۱۰-۵) - مقایسه تغییر مکان بی‌بعد مرکز تیر FG-X تحت تاثیر سرعت‌های مختلف ۶۱
- شکل (۱۱-۵) - بررسی تاثیر شرایط تکیه گاهی در پاسخ دینامیکی ۶۱

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴۵.....	جدول (۱-۵) - همگرایی فرکانس طبیعی بی بعد تیر اویلر برنولی هدفمند.....
۴۵.....	جدول (۲-۵) - همگرایی فرکانس طبیعی بی بعد تیر تیموشنکو هدفمند.....
۴۶.....	جدول (۳-۵) - مقایسه مدول یانگ کامپوزیت‌های PMMA/CNT تقویت شده با SWCNT (10,10) در دمای $T_0=300k$
۴۶.....	جدول (۴-۵) - پارامتر بی بعد اولین سه فرکانس طبیعی تیرهای CNTRC بر حسب درصد حجمی مختلف، تکیه گاه گیردار-گیردار.....
۴۷.....	جدول (۵-۵) - پارامتر بی بعد اولین سه فرکانس طبیعی تیرهای CNTRC بر حسب درصد حجمی مختلف، تکیه گاه ساده-ساده.....
۴۹.....	جدول (۶-۵) - پارامتر بی بعد اولین سه فرکانس طبیعی تیرهای CNTRC بر حسب درصد حجمی مختلف، تکیه گاه ساده-گیردار.....
۴۹.....	جدول (۷-۵) - پارامتر بی بعد فرکانس طبیعی تیرهای CNTRC ، تکیه گاه گیردار-گیردار $V_{cnt}^* = 0.12$
۵۶.....	جدول (۸-۵) - DMF تیر هدفمند تحت بار متمرکز متحرک، تکیه گاه ساده-ساده.....
۵۷.....	جدول (۹-۵) - ماکزیمم تغییر مکان‌های بی بعد مرکز تیر.....
۶۲.....	جدول (۱۰-۵) - مقایسه سرعت بحرانی تیر FG-X با نسبت لاغری مختلف.....
۶۳.....	جدول (۱۱-۵) - مقایسه سرعت بحرانی تیر FG-X با شرایط تکیه گاه مختلف.....

فهرست علامتها

عنوان	علامت
طول تیر	L
عرض تیر	b
مدول الاستیک ماتریس	E^m
مدول الاستیک نانولوله کربن	$E_{11}^{cnt}, E_{22}^{cnt}$
مدول الاستیک نانوکامپوزیت	E_{11}, E_{22}
مدول برشی نانولوله کربن و ماتریس	G_{12}^{cnt}, G^m
مدول برشی نانوکامپوزیت	G_{12}
ضخامت	h
پارامتر موثر نانولوله کربن	η_j
کسر حجمی نانولوله کربن و ماتریس	V_{cnt}, V_m
کسر جرمی نانولوله کربن	w_{cnt}
نسبت پواسون نانولوله کربن و ماتریس	ν^{cnt}, ν^m
نسبت پواسون نانوکامپوزیت	ν
چگالی جرمی نانولوله کربن و ماتریس	ρ^{cnt}, ρ^m
چگالی جرمی نانوکامپوزیت	ρ
تغییر مکان محوری تیر	U
تغییر مکان عرضی تیر	W
مولفه‌های سختی تیر	$A_{11}, B_{11}, D_{11}, A_{55}$
مولفه‌های بی‌بعد سختی	$a_{11}, b_{11}, d_{11}, a_{55}$
تنش نرمال در جهت X	σ_x
تنش برشی در صفحه XZ	τ_{xz}
کرنش نرمال و برشی	$\varepsilon_x, \gamma_{xz}$
انرژی پتانسیل	U

T	-----	انرژی جنبشی
V	-----	انرژی پتانسیل بارهای خارجی
علامت		عنوان
ω	-----	فرکانس طبیعی بی بعد تیر
I_1, I_2, I_3	-----	ترم‌های اینرسی
$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$	-----	ترم‌های بی‌بعد اینرسی
A_{ij}	-----	ضرایب وزنی مرتبه اول روش دیفرانسیل کوادریچر
B_{ij}	-----	ضرایب وزنی مرتبه دوم روش دیفرانسیل کوادریچر
t	-----	زمان
F_0	-----	بار متحرک
v	-----	سرعت بار متحرک
K	-----	ماتریس سختی کل
M	-----	ماتریس جرم کل
N	-----	توابع شکل
m	-----	تعداد کل المان
Ψ	-----	دوران سطح مقطع تیر
\mathcal{K}	-----	ضریب تصحیح برشی
α	-----	$\alpha = T_1 / (L / v)$
T_1	-----	اولین تناوب طبیعی
T_{20}	-----	بیستمین تناوب طبیعی
γ, β	-----	پارامترهای انتگرال‌گیری برای روش نیومارک
Δt	-----	استپ زمانی
a_i	-----	ثابت انتگرال‌گیری نیومارک
\dot{w}	-----	بردار شتاب
\dot{w}	-----	بردار سرعت
w	-----	بردار تغییر مکان

فصل اول

معرفی نانوکامپوزیتها

۱-۱- مقدمه

هرچند تاریخ دقیقی از اولین ساخته کامپوزیتی بشر در دست نیست، اما مشاهده موادی چون کاه گل در خانه‌های قدیمی، نشان می‌دهد که بشر از زمان‌های بسیار دور از مزایای کامپوزیت‌ها بهره می‌برده است. کامپوزیت‌ها موادی هستند که از دو یا چند نوع ماده مختلف تشکیل شده‌اند، به شکلی که این اجزا تشکیل‌دهنده در ابعاد ماکروسکوپی قابل تمایز از یکدیگر باشند. اجزاء اصلی کامپوزیت‌ها را ماده زمینه (ماتریس) و تقویت‌کننده (پرکننده) تشکیل می‌دهند. ماده زمینه می‌تواند پلیمری، فلزی و یا سرامیکی باشد، که همین تفاوت در جنس ماده زمینه اساس طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها قرار می‌گیرد. هم‌چنین تقویت‌کننده‌ها نیز می‌توانند به شکل ذرات توده‌ای، صفحات کوچک و یا الیاف نازک باشند، که هر نوع از آن‌ها تاثیر خاصی بر کامپوزیت حاصل، می‌گذارد.

هنگامی که الیاف تقویت‌کننده درون یک ماده پلیمری توزیع شوند، نیروهای اعمال شده به کامپوزیت به‌طور یکنواختی به الیاف منتقل می‌شود و همین امر باعث می‌شود که الیاف ظرفیت باربری ماده زمینه را افزایش دهد، از رشد ترک‌ها در آن جلوگیری کرده و استحکام آن را بیافزاید. در کامپوزیت‌ها، نه فقط خواص هر یک از اجزاء آن برجا باقی می‌ماند، بلکه در نتیجه پیوستن آن‌ها با یکدیگر، خواص جدیدتر و بهتری نیز بدست می‌آید.

علیرغم تاثیرات مطلوبی که وجود الیاف در بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری دارند، نواقص و کمبودهایی در ساختار این کامپوزیت‌ها احساس می‌شود به‌عنوان مثال خواص مکانیکی کامپوزیت، تنها در راستای طولی الیاف بهبود می‌یابد و در راستای عمود بر الیاف، این خواص ضعیف باقی خواهد ماند. هم‌چنین مقاومت سایشی و سختی آن‌ها پایین است. برای رفع این کمبودها کامپوزیت‌های جدیدی با عنوان کامپوزیت‌های چند فازی توسعه یافته‌اند که در ساختار آن‌ها علاوه بر الیاف، از ذرات تقویت‌کننده نیز استفاده شده است. بکارگیری ذرات تقویت‌کننده در ترکیب مواد کامپوزیت مزایای بسیاری به‌همراه دارد. این ذرات با استفاده از مقاومت مکانیکی بالای خود، از رشد ترک‌های ریز که باعث تخریب موضعی ماده زمینه و تمرکز تنش در سطح الیاف می‌شوند، جلوگیری می‌کنند، علاوه بر آن خواص مکانیکی کامپوزیت را در راستاهای عمود بر الیاف تقویت می‌کنند، استحکام فشاری کامپوزیت را افزایش می‌دهند، می‌توانند باعث بهبود خواص حرارتی و الکتریکی کامپوزیت‌ها شوند و بسیاری تاثیرات مطلوب دیگر نیز می‌توانند به‌همراه داشته باشند.

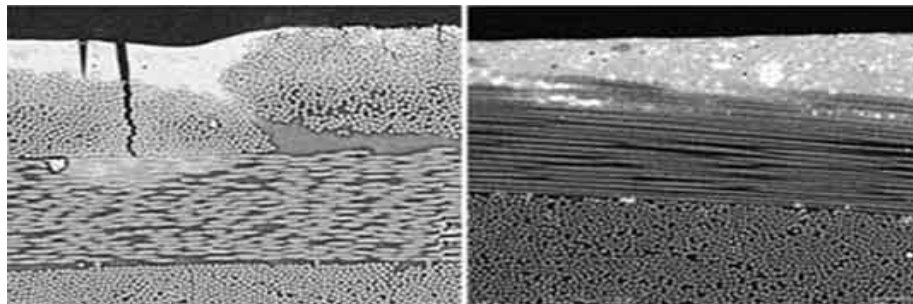
اما باز هم نواقصی در ساختار کامپوزیت‌های چند فازی وجود دارد که کارایی این مواد را کاهش می‌دهد، از آن جمله وزن بالای ذرات تقویت‌کننده، عدم چسبندگی خوب بین زمینه پلیمری و ذرات تقویت‌کننده، به‌وجود آمدن حفره‌های بزرگ در محل قرارگیری ذرات تقویت‌کننده و ایجاد تمرکز تنش در این نقاط، و بسیاری ضعف‌های دیگر را می‌توان برشمرد که می‌بایست برای رفع آن‌ها چاره‌ای اندیشید. طی سالیان گذشته راه حل‌ها و تکنیک‌های مختلفی برای بهبود نواقص موجود ارائه گردیده و برخی از آن‌ها نیز مفید واقع شده‌اند، اما کلید حل بیشتر این مشکلات در دست جدیدترین تکنولوژی دست یافته بشر، یعنی فناوری نانو قرار دارد [۱].

۱-۲- تعریف فناوری نانو

علم و فناوری نانو توانایی به دست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری و بهره برداری از خواص و پدیده‌های این بعد، در مواد، ابزارها و سیستم‌های نوین است. نانو تکنولوژی مطالعه ذرات در مقیاس اتمی برای کنترل آن‌هاست. هدف اصلی اکثر تحقیقات نانو تکنولوژی شکل دهی ترکیبات جدید یا ایجاد تغییراتی در مواد موجود است [۲].

۱-۳- تعریف نانو کامپوزیت‌ها

نانو کامپوزیت، در واقع کامپوزیتی است که یک یا چند جز از آن، ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارد. نانو کامپوزیت‌ها از دو فاز تشکیل شده‌اند. فاز اول یک ساختار بلوری است که در واقع پایه یا ماتریس نانو کامپوزیت محسوب می‌شود. فاز دوم نیز ذراتی در مقیاس نانومتر می‌باشند که به عنوان تقویت‌کننده (مواد پرکننده) به منظور اهداف خاص از قبیل استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی، خواص مغناطیسی و ... در درون فاز اول (ماده پایه) توزیع می‌شوند.



شکل (۱-۱)- مقایسه تاثیر اندازه ذرات تقویت‌کننده ماتریس در برابر تنش

در بحث نانومواد، نانوکامپوزیت‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. حضور ذرات و الیاف در ساختار نانوکامپوزیت‌ها معمولاً باعث ایجاد استحکام در ماده‌ی پایه می‌شود. در واقع هنگامی که ذرات و یا الیاف درون یک ماده‌ی پایه توزیع شوند، نیروهای اعمال شده به کامپوزیت به طور یکنواختی به ذرات یا الیاف منتقل می‌شود. با توزیع مواد پرکننده درون ماده پایه خصوصیات نظیر استحکام، سختی، خواص و تخلخل و.. تغییر می‌کند. ماده‌ی پایه می‌تواند ذرات را به گونه‌ای از هم جدا نگه دارد که رشد ترک به تاخیر افتد. به علاوه اجزاء نانوکامپوزیت‌ها بر اثر برهم کنش سطحی بین ماده‌ی پایه و مواد پرکننده، از خواص بهتری برخوردار می‌شوند. در شکل (۱-۱) دو کامپوزیت نمایش داده شده است که یکی از آن‌ها با ذرات نانو و دیگری با ذرات میکرونی تقویت شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود لایه با ذرات میکرونی (تصویر سمت چپ) در مقابل تنش ترک خورده است در حالی که لایه با ذرات نانویی در مقابل این تنش مقاومت کرده است.

۱-۳-۱- تقسیم‌بندی نانوکامپوزیت‌ها بر اساس ماده زمینه

نانوکامپوزیت‌ها بر اساس نوع ماده پایه آن‌ها به سه نوع پایه پلیمری، پایه سرامیکی و پایه فلزی تقسیم می‌شوند. در این قسمت به صورت مختصر نانوکامپوزیت پایه پلیمری معرفی می‌گردد.

• نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری

در بین نانوکامپوزیت‌ها بیش‌ترین توجه به نانوکامپوزیتی پایه پلیمری معطوف است. از دلایل گسترش نانوکامپوزیت‌های پلیمری، خواص بی‌نظیر مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی آن‌ها است. نانوکامپوزیت‌های پلیمری عموماً دارای استحکام بالا، وزن کم، پایداری حرارتی بالا، رسانایی الکتریکی بالا و مقاومت شیمیایی بالایی هستند. تقویت پلیمرها با استفاده از مواد آلی و معدنی بسیار مرسوم می‌باشد. برخلاف تقویت‌کننده‌های مرسوم که در مقیاس میکرون می‌باشند، در نانوکامپوزیت‌ها تقویت‌کننده، ذراتی در ابعاد نانومتر می‌باشند. با افزودن در صد کمی از نانوذرات به یک پلیمر خالص، استحکام کششی، استحکام تسلیم و مدول یانگ افزایش چشمگیری می‌یابد.

به عنوان مثال، با افزودن تنها ۰،۰۴ درصد حجمی میکا (یک نوع سیلیکات) با ابعاد ۵۰ نانومتر به اپوکسی، مدول یانگ این ماده ۵۸ درصد افزایش خواهد یافت. دلیل دوم توسعه نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری و افزایش تحقیقات در این زمینه، کشف نانولوله‌های کربنی است. این دسته از کامپوزیت‌ها به دلیل خواص منحصر به فردی که دارند به‌طور گسترده‌ای در صنایع خودرو، هوا فضا و.. گسترش یافته‌اند [۳].

۱-۳-۲- انواع نانوکامپوزیت‌ها براساس ماده پرکننده

به طور کلی نانوکامپوزیت‌ها را می‌توان با توجه به ماده تقویت‌کننده در سه گروه کلی طبقه بندی نمود (شکل (۱-۲)).

- ۱- تقویت شده با ذرات (سیلیکا، فلزات، ذرات آلی و غیر آلی)
- ۲- تقویت شده با مواد لایه‌ای (گرافیت، سیلیکات لایه‌ای و دیگر مواد معدنی لایه‌ای)
- ۳- تقویت شده با مواد رشته‌ای (نانوالیاف و نانولوله‌ها)



شکل (۱-۲)- انواع تقویت‌کننده‌ها در ابعاد نانو به ترتیب از راست به چپ: ذره‌ای- لایه‌ای- رشته‌ای

۱-۴-۱- پیدایش نانولوله‌های کربن

ورود به عرصه نانو در مجموعه فناوری‌های نو قرار می‌گیرد و بنابراین قدمت زیادی را نمی‌توان برای آن متصور شد و بی‌گمان نانولوله‌های کربنی^۱ یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این دوره می‌باشد. در این‌جا مختصراً پیشینه استفاده از نانولوله‌های کربن برای ساخت مواد جدید مثل نانوکامپوزیت‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. نانولوله‌های کربنی برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط ایجیما کشف شدند. وی در طی آزمایشات خود به طور اتفاقی نانولوله‌های چند دیواره^۲ را کشف کرد. دو سال بعد از آن ایجیما در تحقیقات خود موفق به تولید نانولوله‌های تک دیواره^۳ نیز گردید [۴].

۱-۴-۱- آلوتروپ‌های مختلف کربن

کربن در طبیعت به چهار صورت یافت می‌شود که همه‌ی اشکال جامد بوده و از پیوندهای کوالانسی اتم‌های کربن در کنار هم تشکیل شده‌اند. این چهار آلوتروپ کربن عبارت‌اند از:

^۱ Carbon Nanotube (CNT)

^۲ Multi Wall Carbon Nanotube (MWCNT)

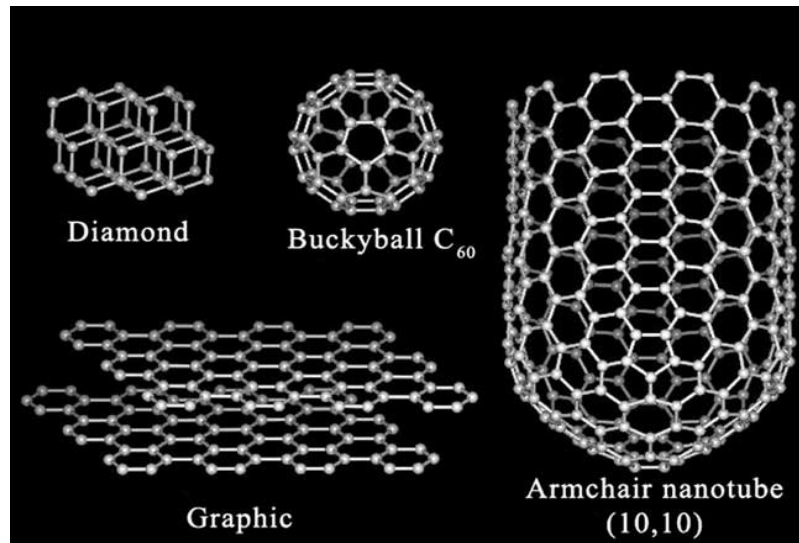
^۳ Single Wall Carbon Nanotube (SWCNT)

۱-گرافیت

۲-الماس

۳-باکی بالها (فلورن‌ها)

۴- نانولوله‌ها



شکل (۱-۳)- اشکال مختلف آلوتروپ‌های کربن [۵]

اولین آلوتروپ کربن که در سال ۱۹۸۵ کشف شد، باک مینستر فولرن نام داشت که به نام‌های دیگر باکی بال و فولرن نیز نام‌گذاری شده است. فولرن‌ها مولکول‌های کروی کربن هستند که به سبب شکل زیبا و خواص شگفت‌انگیز، توجه بسیاری از دانشمندان را به خود معطوف کرده‌اند. بعد از فولرن همان‌طور که قبلاً اشاره شد در سال ۱۹۹۱ نانولوله‌های کربن کشف شدند. شکل (۱-۳) اشکال مختلف آلوتروپ‌های کربن را نمایش می‌دهد [۵].

۱-۴-۲- ویژگی‌های هندسی نانولوله‌های کربن

نانولوله‌های کربن را می‌توان به صورت یک لایه گرافن در نظر گرفت که به صورت یک استوانه تو خالی پیچیده شده است (گرافن یک صفحه منفرد دو بعدی از گرافیت است). (شکل (۱-۴)). چنین ساختاری را یک نانولوله تک دیواره می‌نامند. هم‌چنین لوله‌ای که دارای چند استوانه هم محور است را نانولوله چند دیواره نام‌گذاری می‌کنند (شکل (۱-۵)). نانولوله‌های تک دیواره از دیواره‌های استوانه‌ای به قطر ۱ تا ۲ نانومتر تشکیل شده‌اند. نوع چند دیواره‌ای دیواره‌های ضخیم‌تری دارد و از چندین استوانه هم‌محور که با فاصله ۳ الی ۴ نانومتر (در حد فاصله لایه‌های گرافیت) از هم جدا شده‌اند، تشکیل گردیده است. قطر خارجی نانولوله