



انتشارات علوم کاربردی

# اصول و کاربردهای نانوتکنولوژی

(جلد اول)



تالیف:  
پریوش حسین پور  
مدرس دانشکده مهندسی شیمی  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

اصول و کاربردهای نانوتکنولوژی (جلد اول)

پریوش حسین پور



# Fundamentals and Applications of Nanotechnology

(First Volume)



انتشارات علوم کاربردی

بیوگرافی

خانم مهندس پریوش حسین پور دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) در رشته مهندسی شیمی با گرایش پتروشیمی به پایان رسانده‌اند. ایشان جهت ادامه مطالعات آکادمیک در مرکز تحقیقات نانوتکنولوژی دانشگاه ایالتی تگزاس UT-Dallas - NanoTech Institute در زمینه نانوتکنولوژی مطالعه و پژوهش نموده‌اند که حاصل آن‌ها در کنفرانس‌های متعدد داخلی و خارجی ارائه شده است. در همین راستا ایده ایشان تحت عنوان کامپوزیت‌های سیمان - نانولوله‌های کربنی به ثبت رسیده است. با توجه به فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی، ایشان موفق به دریافت تقدیرنامه‌های متعدد شده‌اند.

خانم مهندس پریوش حسین پور در دوران خدمت خود در دانشگاه صنعتی امیرکبیر درس‌های آشنایی با مهندسی شیمی و نانوتکنولوژی و کاربردهای آن را تدریس نموده‌اند. درس نانوتکنولوژی و کاربردهای آن با فعالیت‌های ایشان به تصویب رسید و سیلابس درس نیز توسط خودشان تعریف شد. و شروع به تالیف کتاب درسی این درس نمودند تا مجموعه حاضر در اختیار علاقمندان قرار گیرد. ارائه این درس با استقبال دانشجویان کلیه رشته‌های دانشگاه امیرکبیر روبرو شد. در بهمن ماه سال ۱۳۸۱ وزارت علوم درس آشنایی با مهندسی شیمی را برای دانشجویان این رشته تعریف نمودند. مهندس حسین پور از آغاز مشغول به تدریس و تالیف کتاب این درس مطابق سیلابس وزارت علوم شدند. لازم به ذکر است که این کتاب علاوه بر این که سیلابس مورد نظر را پوشش می‌دهد برای سال‌های آتی دانشجویان نیز مرجع مناسبی خواهد بود.

خانم مهندس پریوش حسین پور طی دوران خدمت خود علاوه بر تدریس دروس فوق در آزمایشگاه‌های عملیات واحدهای صنعتی، انتقال حرارت، شیمی فیزیک، و شیمی آلی تدریس داشته‌اند. ایشان مسئولیت‌های متعددی ضمن خدمت به عهده داشته‌اند. جمله ریس هسته تحقیقاتی نانوتکنولوژی، سرپرستی و طراحی سایت دانشکده، و دیگر فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی.

Parivash Hosseinpour  
Amirkabir University of Technology-AUT  
(Tehran Polytechnic)  
Chemical Engineering Faculty



## بیوگرافی

خانم مهندس پریوش حسین پور دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) در رشته مهندسی شیمی با گرایش پتروشیمی به پایان رسانده‌اند. ایشان جهت ادامه مطالعات آکادمیک در مرکز تحقیقات نانوتکنولوژی دانشگاه ایالتی تگزاس UTD – NanoTech Institute در زمینه نانوتکنولوژی مطالعه و پژوهش نموده‌اند که حاصل آن‌ها در کنفرانس‌های متعدد داخلی و خارجی ارائه شده است. در همین راستا ایده ایشان تحت عنوان کامپوزیت‌های سیمان – نانولوله‌های کربنی به ثبت رسیده است. با توجه به فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی، ایشان موفق به دریافت تقدیرنامه‌های متعدد شده‌اند.

خانم مهندس پریوش حسین پور در دوران خدمت خود در دانشگاه صنعتی امیرکبیر درس‌های "آشنایی با مهندسی شیمی" و "نانوتکنولوژی و کاربردهای آن" را تدریس نموده‌اند. درس نانوتکنولوژی و کاربردهای آن با فعالیت‌های ایشان به تصویب رسید و سیلابس درس نیز توسط خودشان تعریف شد، و شروع به تالیف کتاب درسی این درس نمودند تا مجموعه حاضر در اختیار علاقمندان قرار گیرد. ارائه این درس با استقبال دانشجویان کلیه رشته‌های دانشگاه امیرکبیر روبرو شد. در بهمن ماه سال ۱۳۸۱ وزارت علوم درس "آشنایی با مهندسی شیمی" را برای دانشجویان این رشته تعریف نمودند. مهندس حسین پور از آغاز مشغول به تدریس و تالیف کتاب این درس مطابق سیلابس وزارت علوم شدند، لازم به ذکر است که این کتاب علاوه بر این که سیلابس مورد نظر را پوشش می‌دهد، برای سال‌های آتی دانشجویان نیز مرجع مناسبی خواهد بود.

خانم مهندس پریوش حسین پور طی دوران خدمت خود علاوه بر تدریس دروس فوق در آزمایشگاه‌های عملیات واحدهای صنعتی، انتقال حرارت، شیمی فیزیک، و شیمی آلی تدریس داشته‌اند. ایشان مسئولیت‌های متعددی ضمن خدمت به عهده داشته‌اند، از جمله رییس هسته تحقیقاتی نانوتکنولوژی، سرپرستی و طراحی سایت دانشکده، و دیگر فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی.

[www.Parivash-Hosseinpour.com](http://www.Parivash-Hosseinpour.com)

بسم الله الرحمن الرحيم

اصول و کاربردهای نانوتکنولوژی  
(جلد اول)

*Fundamentals and applications Nanotechnology*  
(First Volume)

تالیف:

پریوش حسین پور  
مدرس دانشکده مهندسی شیمی  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

[www.Parivash-Hosseinpour.com](http://www.Parivash-Hosseinpour.com)

برق‌شناسی	• حسین پور، پروش، ۱۳۳۴
عنوان و نام پدیدآور	• اصول و کاربردهای نانوتکنولوژی (پروش حسین پور -
شابک	• تهران: نشر علوم کاربردی، ۱۳۹۵ -
مشخصات ظاهری	• ج: مصور، جدول، نمودار -
شابک	• ۹۷۸۶۰۰۰۹۵۲۹۵۰۳۰۴
واحد نشر، فهرست نویسی	• آریا
موضوع	• نانوتکنولوژی
موضوع	• Nanotechnology
رده بندی کنگره	• T۱۷۲۷ / ج ۵ - ۱۳۹۵
رده بندی شویی	• ۶۲۰۰۵
شماره کتابشناسی ملی	• ۲۲۳۰۳۰۶



انستیتوت اطلاعات و علوم کتابخانه‌های  
جمهوری اسلامی ایران - مرکز اسناد و کتابخانه ملی

اصول و کاربردهای نانوتکنولوژی (جلد اول)

چاپ اول: تابستان ۱۳۹۵

تیراژ: ۵۰۰ نسخه، قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، طرح جلد: مهتاس پروش حسین پور

شابک: ۹۷۸۶۰۰۰۹۵۲۹۵۰۳۰۴

آدرس: تهران - میدان انقلاب - ابتدای کارتر جنوبی - خیابان مهندسزاده - پلاک ۴ - واحد ۱۰

کتابخانه انتشارات و مرکز بخش: ۶۶۹۰۷۶۹۲ - ۶۶۹۰۲۵۸۵

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

"ح...

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که عشق و راستی را از ایشان آموختم...

... و پسر سهراب

که سهراب وار

لحظه به لحظه

در انجام این امر حامی ام بود.

... و استواری سهندگونه‌ی پسر سهند.

"ق..."

## پیشگفتار اول مؤلف

از زمانی که بشر اهمیت و نیاز به شناخت جهان هستی، شناخت خود و محیط اطراف خود را دریافت، همیشه در پی حل مجهولات و معضلات متعاقب آن بوده است. یکی از ابزارهای شناخت، تکنولوژی می‌باشد. تکنولوژی به انسان کمک کرده تا زندگی بهتر و راحت‌تری برای خود مهیا سازد، و ابزار و زمان بیشتری برای تفکر، کنجکاوی‌ها و دیگر مسائلی که همیشه ذهن او را درگیر فهم آن کرده است، فراهم نماید. البته نباید از پیچیدگی‌ها و بعضاً عواقب منفی تکنولوژی به جهت استفاده نابجای بشر، چشم پوشی کرد.

یکی از عمده‌ترین و مهم‌ترین دلایل ورود به دنیای نانو را می‌توان رشد فزاینده تئوری‌هایی دانست که دانش تکنولوژیکی موجود، قادر به پیاده کردن، ساخت و تولید آن‌ها نمی‌باشد. برای مثال دستاوردهای عمده هزاره دوم که عبارتند از تکنولوژی اطلاعات IT، تکنولوژی مواد MT و تکنولوژی زیستی BT، دچار ایستایی شده و پیشرفت آن‌ها بدون بهره‌گیری از نانو تکنولوژی دچار اخلاص خواهد شد. علاوه بر مثال بالا، نانو تکنولوژی کاربردهای بسیار زیادی در حوزه‌های مختلف داراست، که برخی از آن‌ها عبارتند از غذا، دارو، تشخیص پزشکی، بایوتکنولوژی، انرژی، مواد، الکترونیک و کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، سازه و عمران، محیط زیست، نجوم، هوا و فضا، ... و بسیاری دیگر از کاربردها. این طیف وسیع کاربردها لزوم ورود به دنیای نانو را ضروری می‌نماید.

نانو تکنولوژی یک رشته جدید نیست. بلکه دیدگاه و رویکردی جدید به تمام رشته‌ها است. به تعبیر دیگر نگرشی مجدد به کلیه علوم و فنون موجود می‌باشد، البته در مقیاس نانو ( $10^{-9}$  متر). نانو تکنولوژی پدیده‌ی هزاره سوم می‌باشد. گستردگی کاربردها به همراه اثرات اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فنآوری را به عنوان یک زمینه فرارشته‌ای و فرابخشی مطرح نموده است. دانشمندان و صاحب نظران، این مبحث را مساوی و محور آینده دانسته، و معتقدند شکوفایی تکنولوژی‌های موجود، بدون بهره‌گیری از این پدیده نوظهور امکان پذیر نخواهد بود.

در نانو تکنولوژی پارامتر عمده تغییر مقیاس می باشد، که پژوهش، کار، ساخت و تولید در این مقیاس دریچه های جدید و حیرت انگیزی برای شناخت و دانش بشری خواهد گشود. اگر فرآیند همگذاری اتم ها آغاز شود، در عرض چند دهه تغییراتی بسیار بیشتر از آنچه که بشریت از ابتدا تاکنون بدست آورده، حاصل خواهد شد. تاکنون انقلاب های صنعتی و تکنولوژی های مدرن تغییرات عمده و شگرفی در زندگی بشر به وجود نیاورده اند. اگر اولین اختراع بشر را چرخ و اولین اکتشاف او را آتش فرض کنیم، در ادامه چرخ دنده، ماشین بخار، الکتریسیته، تلگراف، تلفن، رادیو، تلویزیون، سینما، اتومبیل، قطار، کشتی، هواپیما، سفاین فضایی، کامپیوتر، موبایل، اینترنت، ماهواره، کپسول های تزریقی اعتباری و شناسایی، اماکن و منازل هوشمند، . . . و دیگر دستگاه ها، ماشین آلات و تجهیزات نظامی، پزشکی و خانگی، همگی فقط و فقط زمان کار و زمان ارتباطات را کاهش داده اند و تغییری بنیادی در سیستم ها و زندگی بشر به وجود نیاورده اند.

هدف در نانو تکنولوژی تغییرات ساختاری و کار کردن روی واحدهای ساختاری می باشد. جایی که خاصیت مواد مشخص می شود، و با تغییر در آن می توان خواص مواد را تغییر داد. این توانایی به انسان اجازه می دهد از محدودیت های اندازه ای که به صورت طبیعی موجود است فراتر رفته به آن غلبه کند. جابه جایی سیمان و فلز با سنگ و چوب، انقلاب بزرگی در سازه ها به وجود آورد و مهار الکتریسیته آن را کامل کرد. تغییراتی که نانو تکنولوژی در آینده به وجود خواهد آورد بسیار بنیادی تر و عظیم تر خواهد بود. کار کردن، ساخت و تولید در این مقیاس پیامدها و ویژه گی های خاص خود را خواهد داشت. شبیه سازی گیاه، حیوان و انسان احتمالا پیچیدگی های اجتماعی و اخلاقی در پی خواهد داشت. به همین علت پدیده حاضر نه تنها نیازمند همکاری و همفکری علوم پایه، تجربی، فنی مهندسی و پزشکی می باشد، بلکه نیاز مبرمی به علوم نظری خصوصا حقوق و قضا نیز دارد. شناخت خطرات و آسیب های احتمالی و نحوه رویارویی با آن، از عمده مسایلی است که باید از هم اکنون مد نظر داشت. نانو تکنولوژی، پدیده ی هزاره سوم، انقلابی شگرف و بنیادی در صنعت، تامین

رفاه و دگرگون نمودن نحوه زندگی انسان به وجود خواهد آورد. در کتاب حاضر، علاوه بر معرفی نانوتکنولوژی و طیف وسیع کاربردهای آن، روش‌های ساخت و تولید نیز بررسی شده‌اند.

در انتها باید اشاره نمایم که شروع مباحث در این کتاب بسیار ساده بیان شده و فرض بر این بوده که مخاطب هیچ اطلاعی از نانوتکنولوژی ندارد؛ ولی پس از آرایه مفاهیم ابتدایی، در ادامه، مطالب کمی پیچیده‌تر می‌شوند و فهم بعضی موارد مشکل می‌باشد. خواننده می‌تواند از چنین قسمت‌هایی عبور کند بدون اینکه خللی در مسیر مطالعه ایشان وارد شود. مؤلف برای اینکه سیر منطقی مباحث دنبال شود و اینکه بعضی از علاقمندان مایلند مبحث روشن‌تر و دقیق‌تر مطرح شود، ناگزیر از طرح کردن جزییات در بعضی از موارد شده است.

**پریوش حسین پور**

**تابستان ۹۵**



## پیشگفتار دوم مؤلف

کتاب حاضر جهت تدریس درس مصوب "نانتکنولوژی و کاربردهای آن"، تالیف شده است. از آنجایی که نانتکنولوژی یک رویکرد و دیدگاه فرارشته‌ای و یا بعبارت دیگر میان رشته‌ای می‌باشد، این مجموعه برای کلیه دانشجویان و پژوهشگران رشته‌های مختلف اعم از علوم پایه، تجربی، فنی مهندسی و پزشکی، حتی علوم نظری، خصوصاً حقوق و قضا (قوانین شبیه‌سازی گیاه، حیوان و انسان در خصوص مبحث مالکیت معنوی) نیز مفید بوده برای تحقیقات آتی ایشان بسیار راه گشا خواهد بود. در مجموع کوشش شده مباحث طرح شده تا جایی که معنا و مفهوم رسا باشد، ساده و باختصار آورده شوند، و از میان موضوعات مطروحه آنچه که مهم‌تر و یا عبارتی کلیدی‌تر است، بیشتر شرح داده شود. لازم به ذکر است که گرچه این کتاب، کتاب درسی می‌باشد، ولی لازم نیست تمام مباحث کلیه فصول، با جزییات در کلاس تدریس شود؛ بلکه این مجموعه می‌تواند بعنوان مرجع مورد استفاده قرار گرفته، و چنانچه دانشجو یا پژوهشگر مایل به مطالعه تکمیلی و ادامه مباحث باشد، همین کتاب کفایت خواهد کرد.

کتاب "نانتکنولوژی و کاربردهای آن" در دوازده فصل نگاشته شده است، پس از تدریس و مطالعه فصول ابتدایی و عام، مدرس یا خواننده می‌تواند بنا به نیاز، موضوع مورد نظر را از فصول مربوطه انتخاب و مطالعه نماید، سپس جهت پیگیری جزییات تخصصی، فصول بعدی را ملاحظه نماید. در این مجموعه، ابتدا مباحث بطور ساده و کلی مورد بررسی قرار گرفته، سپس بصورت تخصصی ادامه داده شده‌اند. در فصل اول نانتکنولوژی پدیده‌ی هزاره سوم، مباحث نانتکنولوژی بطور کاملاً مقدماتی مطرح می‌شوند. فصل دوم ساختمان ماده را مورد بررسی قرار می‌دهد. در فصل سوم کربن و مشتقات آن مورد مطالعه قرار گرفته و در ادامه فصل چهارم شناخت نانولوله‌های کربنی، خواص و کاربرد آن‌ها را، مورد بررسی قرار داده است. در فصل پنجم سنتز نانولوله‌های کربنی شرح داده شده است، برخی از این روش‌های ساخت، برای دیگر نانومواد نیز کاربرد دارند. در فصل ششم طبقه‌بندی نانتوساختارها و چگونگی اثر ابعاد نانومقیاس بر خواص مواد، مورد مطالعه و بررسی قرار

می‌گیرد (جلد اول). فصل هفتم، روش‌های ساخت و تولید نانومواد را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. فصل هشتم به مطالعه چگونگی ساختار، عملکرد و ساخت موتورهای ملکولی می‌پردازد. در فصل نهم، تجهیزات مورد نیاز در نانوتکنولوژی و دستگاه‌های آنالیز نانومواد تولید شده، معرفی و عملکرد آن‌ها شرح داده می‌شود. فصل دهم خطرات و آسیب‌های احتمالی، همچنین معضلات اجتماعی این پدیده را مورد بحث قرار می‌دهد. فصل یازدهم به معرفی پیشگامان نانوفناوری می‌پردازد. و در انتها فصل دوازدهم مباحث نوین و آینده‌نگری در نانوتکنولوژی را مورد بررسی قرار می‌دهد که از جمله مباحث مهم، مسأله مالکیت معنوی، خصوصاً در عرصه شبیه‌سازی گیاه، حیوان و انسان می‌باشد، که نیازمند همکاری و فعالیت اساتید حوزه علوم نظری، خصوصاً حقوق و قضا می‌باشد (جلد دوم). نظر به اینکه مجموعه حاضر کتاب درسی می‌باشد ذکر چند نکته ضروری می‌نماید:

✓ دانشجویان هنگام مطالعه مباحث تخصصی معمولاً باید از مراجع و هندبوک‌ها که اکثراً به زبان انگلیسی می‌باشند، استفاده کنند. لذا در این کتاب سعی بر این بوده تا کلیه اسامی و اصطلاحات همزمان به هر دو زبان فارسی و انگلیسی آورده شوند تا دانشجویان از دیگر منابع و مراجع راحت‌تر استفاده کنند. با توجه به این که بسیاری از واژه‌ها و اصطلاحات در عرصه نانوفناوری جدید بوده و معادلی در زبان فارسی نداشته‌اند، مؤلف برخی از موارد را خود و برخی را از منابع گوناگون معادل سازی نموده است. لذا چنانچه عزیزان معادل‌های رساتری در نظر داشتند، اعلام آن موجب امتنان خواهد بود.

✓ آینده‌نگری و جهت‌گیری‌های لازم برای پیشبرد این عرصه، با توجه به نیازهای موجود، از جمله مواردی است که دانشجویان و پژوهشگران هر رشته راهنمایی و هدایت خواهند شد تا در زمینه تخصصی خود، آگاهی و توانایی کار روی پروژه‌های مورد نیاز خود را کسب کنند. و از آنجایی که دانشجویان کلیه رشته‌ها در این دوره با هم آموزش می‌بینند، فرارشته‌ای و میان رشته‌ای بودن این حوزه را درک کرده، پروژه‌های نهایی خود را با همکاری و همفکری در تیم کاری مربوطه تهیه خواهند نمود.

✓ برنامه آموزشی این دوره Work sheet اول هر ترم به دانشجویان داده می‌شود. در این برگه کلیه عناوین مورد بحث با ذکر تاریخ جلسات هفتگی، تاریخ کوئیزها، بازدیدها، تحویل گزارش بازدیدها، ارائه شفاهی و کتبی پروژه نهایی گروهی، تاریخ امتحان نهایی و نحوه کسب نمره نهایی با جزئیات مشخص شده است.

✓ درس "نانوتکنولوژی و کاربردهای آن" توسط مؤلف برای تدریس در دوره کارشناسی دانشگاه تعریف شد و پس از داوری و تایید، در شورای برنامه ریزی دانشگاه تحت عنوان درس تخصصی - اختیاری به ارزش ۳ واحد درسی در تاریخ ۸۵/۱۱/۲۳ تصویب گردید. اولین دوره در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) در بهار سال ۸۶ برای کلیه رشته‌های دانشگاه، برگزار گردید و با استقبال دانشجویان رشته‌های مختلف روبرو شد. سیلابس این کتاب نیز توسط مؤلف تهیه شده است.

✓ لازم به ذکر است در این کتاب برای درک کلی مبحث می‌توان از مطالعه جزئیات تخصصی مطالب عبور کرد، بدون اینکه خللی به ارتباط کلی مباحث وارد شود. به همین علت این مجموعه به نحوی تالیف شده است که برای کلیه دانشجویان، محققین و علاقمندان به این حوزه قابل استفاده باشد.

✓ ساختار کتاب حاضر به گونه‌ای پایه‌ریزی شده است که با مرور زمان و پیشرفت نانوتکنولوژی، در خصوص موارد آموزشی، می‌توان به راحتی موضوعات جدید را به سرفصل‌های موجود افزود؛ بدون اینکه خللی به ساختار مجموعه وارد آید. زیرا اکثر سرفصل‌هایی که لازم است دانشجویان و علاقمندان برای آشنایی و ورود به دنیای نانو بدانند، در این کتاب آمده است.

سخن آخر اینکه کتاب درسی حاضر برای اولین بار است که به چاپ می‌رسد و مسلماً خالی از اشکال نخواهد بود. همچنین از آنجایی که این پدیده زمینه‌ای نو و فرارشته‌ای می‌باشد، پرداختن به کل این مباحث در یک مجموعه بسیار مشکل بوده و خالی از نقص نخواهد بود. راهنمائی‌های اساتید محترم، دانشجویان گرامی،

عزیزان فعال در صنایع و پژوهشگاه‌ها و دیگر صاحب‌نظران و علاقمندان این عرصه، پر بار شدن این مجموعه را موجب گشته، سپاس مؤلف را تقدیم عزیزانی می‌دارد که زحمت رفع نقایص را عهده دار می‌شوند.

**پریوش حسین پور**

**تابستان ۹۵**

## پیشگفتار آقای دکتر نیک آذر

مجموعه حاضر که با سعی و تلاش خانم مهندس پریوش حسین پور گردآوری و تدوین یافته، اطلاعات مفیدی در زمینه علوم و فنون نانو، و کاربردهای آن در اختیار قرار می‌دهد. مخاطب این کتاب حتی با کمترین پیش زمینه می‌تواند مطالب مفیدی در آن بیابد. سعی و کوشش نگارنده در جهت شناساندن نانو تکنولوژی بطور گسترده، بطوریکه کتاب بتواند مرجع درسی نیز باشد، باعث شده که مطالب کاملاً واضح باشند. بدلیل توجه زیاد نگارنده در جهت امانتداری نیز شیوه‌ی ارایه‌ی مراجع کمی خاص می‌باشد. در مجموع زحمات ایشان در خور تحسین و قدردانی می‌باشد و آرزوی توفیقات روزافزون ایشان را در خدمات بیشتر به جامعه‌ی علمی کشور دارم.

**منوچهر نیک آذر**

**استاد دانشکده مهندسی شیمی**

**دانشگاه صنعتی امیرکبیر**

## تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از نویسندگان، پژوهش‌گران و اساتیدی که از تحقیقات و کتاب‌هایشان بعنوان مرجع در این کتاب استفاده شده است، صمیمانه تشکر نمایم؛ خصوصا جناب آقای پروفیسور غلامعلی منصوری استاد دانشکده‌های مهندسی شیمی، مهندسی پزشکی و فیزیک دانشگاه ایلینویز در شیکاگو، که در زمینه نانو تکنولوژی خدمات فراوانی داشته‌اند، نهایت تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر منوچهر نیک‌آذر استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) که قبول زحمت فرموده با دقت خاص خویش این کتاب را مطالعه و داوری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از کمک‌های آقای مهندس علیرضا منظمی مسؤل IT دانشکده مهندسی شیمی، آقای فاضل شکوهی به دلیل اجرای مناسب طرح جلد، و آقای مهندس کامران کی‌نژاد جهت صفحه آرایی سپاسگزاری می‌نمایم.

پریوش حسین‌پور

## طرح درس

### نام درس: نانوتکنولوژی و کاربردهای آن

#### هدف

هدف از ارائه این دوره علاوه بر آشنایی با نانوتکنولوژی و کاربردهای آن نشان دادن راهی ساده و اصولی به دانشجویان و محققین این حوزه، جهت چرایی لزوم ورود به دنیای نانو می‌باشد؛ و اینکه چرا این پدیده در حال حاضر تا این حد اهمیت داشته و فواید و آسیب‌های ورود به این عرصه چیست؟

با توجه به رشد فزاینده فناوری نانو در جهان، همچنین شروع فعالیت‌ها و توجه ویژه به این پدیده در ایران؛ لزوم آشنایی دانشجویان با نانوتکنولوژی و کاربردهای آن ضروری می‌نماید. از آنجایی که نانوتکنولوژی مختص رشته‌ای خاص نبوده بلکه رویکردی نو به کلیه علوم و فنون می‌باشد، همچنین علمی است فرارشته‌ای؛ لذا ورود به این عرصه برای کلیه رشته‌های فنی مهندسی، پزشکی، علوم پایه و محض و حتی علوم نظری از ضروریات دانش در هزاره‌ی سوم می‌باشد. دانشجویان، محققین و علاقمندان به آشنایی با این حوزه، از ابتدا و به طور کامل مقدماتی با این پدیده آشنا شده، سپس در ادامه وارد بحث‌های تخصصی‌تر خواهند شد. همچنین سعی شده طیف وسیع و گسترده کاربردهای نانوتکنولوژی معرفی و تعریف شوند تا متعاقبا دانشجویان و محققین بتوانند بطور مستقل مطالعات تخصصی‌تر رشته خود را دنبال نمایند.

دانشجویان طی گذراندن دوره، باید با ادبیات علمی آشنا شده و قادر باشند یافته‌ها و تحقیقات خود را به صورت کتبی و شفاهی ارائه دهند، لذا افزودن مبحث ادبیات علمی و مهارت‌های ارتباطات کتبی و شفاهی، “Scientific Literature & Communication Skills” در این درس ضروری می‌نماید. در این درس روش‌های تحقیق، روش‌های نگارش گزارش و پروژه، مقاله و چگونگی تهیه و ارائه شفاهی به دانشجویان آموزش داده می‌شود. دانشجویان پروژه خود را با رعایت اصول گزارش نویسی تهیه کرده و همان تحقیق را به‌طور شفاهی با Power point نیز ارائه خواهند نمود. داشتن مهارت‌های ارتباطی و دانستن روش‌های تحقیق دانشجویان را در

یادگیری سایر دروس کمک شایانی خواهد نمود. همچنین مسئله مالکیت معنوی و لزوم احترام و رعایت حقوق معنوی اندیشمندان، خصوصا در زمینه شبیه‌سازی (گیاه، حیوان و انسان)، از مواردی است که دانشجویان باید با آن آشنا شوند.



## سیلابس درسی مصوب

مهندسی شیمی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)	مصوب مورخ ۸۵/۱۱/۲۳
بشماره نامه ۱۲/۱۵۶۲۰ در تاریخ ۸۵/۱۱/۲۶		
عنوان درس: نانوتکنولوژی و کاربردهای آن	تعداد واحد: ۳	
نوع واحد: نظری	کد هفت رقمی درس: ۲۲۱۵۰۷۳	پیشنیاز: ندارد

### سر فصل های درس:

در این درس نانوتکنولوژی و کاربردهای آن، بطور ساده و عام به دانشجویان معرفی شده، در ادامه مباحث به صورت تخصصی و با جزییات بیشتر مورد مطالعه قرار می گیرند.

۱.

- (a) مقدمه‌ای بر علوم و فنون نانو
- (b) نانوتکنولوژی چیست؟
- (c) معرفی بانک‌های اطلاعاتی

۲.

- (a) چرا علوم و فنون نانو؟
- (b) رویکردی نو به تمام علوم و فنون در مقیاس “ $10^{-9}$ ”
- (c) پیشگامان نانوتکنولوژی
- (d) فنآوری نانو در جهان و ایران

۳.

- (a) خطرات احتمالی، معضلات اجتماعی و آسیب شناسی فنآوری نانو
- (b) کاربردهای نانوتکنولوژی :

(i) غذا، دارو، تکنولوژی اطلاعات (IT)، تکنولوژی مواد (MT)، بیوتکنولوژی (BT)، الکترونیک و کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، ساختمان، انرژی، محیط زیست، نجوم، هوا فضا، . . . و غیره. بطور کلی نگرشی نو به تمام علوم و فنون موجود، و متعاقبا دانش و تکنولوژی‌های جدیدتری که این رویکرد بدنبال خواهد داشت.

۴.

- (a) استانداردهای فنآوری نانو

- (b) نانوتکنولوژی و رشته های فنی مهندسی (کلیه رشته های فنی مهندسی)
- (c) نانوتکنولوژی و رشته های علوم تجربی (علوم پایه و رشته های پزشکی)
- (d) نانوتکنولوژی و رشته های علوم نظری (بوژه علوم قضایی و حقوق)
- (e) نانوتکنولوژی؛ مدل سازی، کامپیوتر و ریاضیات
- (f) نانوتکنولوژی؛ فیزیک، شیمی، مهندسی شیمی و زیر مجموعه های آن
- (g) نانوتکنولوژی و صنعت پتروشیمی، پلیمر و صنایع غذایی

۵.

- (a) نانوسیستم ها
- (i) ماشین ها
- (ii) مواد، ساخت و تولید
- (iii) دلایل ساخت و تولید ملکولی
- (iv) موتورهای ملکولی
- (v) نانوکامپیوترها

۶.

- (a) سیستم های هوشمند
- (b) نانواسمبلرها
- (c) نانوریات ها و واحدهای نانویی (ننیت)
- (d) خودهمگذاری و مواد خودهمگذار

۷.

- (a) فنآوری نانو و مالکیت معنوی و فکری
- (b) تاثیرات اجتماعی و اخلاقی فنآوری های همسو و مکمل (دانش زیست شناسی مصنوعی)

۸.

- (a) ترکیبات با ساختارهای در مقیاس نانو
- (b) کربن: شناسایی، کاربرد، ساخت و تولید
- (c) فرمها و اندازه های متفاوت کربن: گرافیت، گرافن، الماس و فولرن

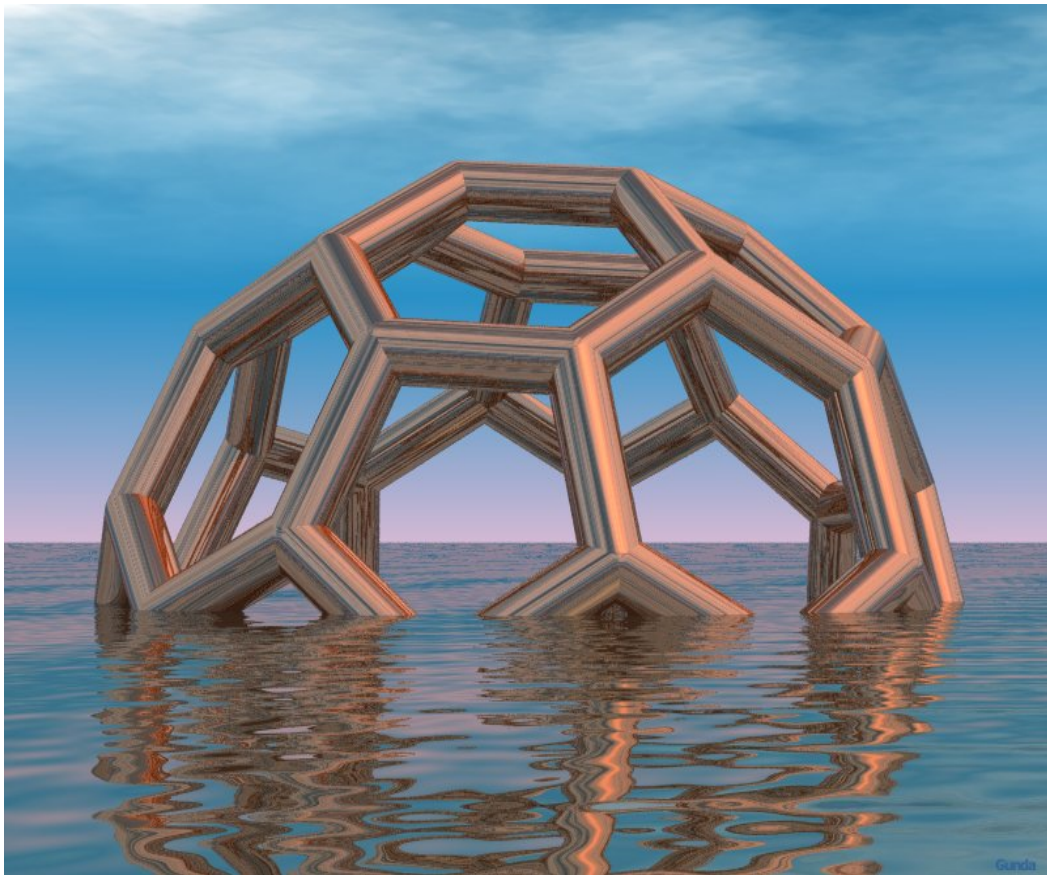
۹.

- (a) شناسایی و کاربرد نانولوله های کربنی، نانوالیاف کربنی و دیگر نانولوله ها و نانوالیاف
- (b) روش های سنتز کربن نانوتیوب ها
- (c) انواع کربن نانوتیوب ها و خواص آنها

۱۰.

- (a) ادبیات علمی و مهارت های ارتباطات کتبی و شفاهی.

- (i) روش تحقیق برای انجام پروژه، نحوه نگارش مقاله، گزارش، پروژه، چگونگی تهیه و ارائه تحقیق انجام شده، بصورت کتبی و شفاهی.
- (ii) دانشجویان پروژه تحقیقی خود را، ضمن اینکه با رعایت اصول گزارش نویسی تحویل می‌دهند، همان تحقیق و گزارش کتبی آن را بصورت شفاهی با Power point ارائه خواهند نمود.



تصویر نمادین توپ باکی Buckyball [16].

## فهرست مطالب

صفحه	عناوین
	پیشگفتار اول مؤلف
	پیشگفتار دوم مؤلف
	طرح درس
	سیلابس درسی مصوب
	<b>فصل اول: نانو تکنولوژی پدیده هزاره سوم</b>
	<i>Nanotechnology the third millennium's phenomenon</i>
۲	مقدمه
۳	مقدمه‌ای بر علوم و فنون نانو
۴	علم و تکنولوژی مارا به کجا خواهد برد؟
۷	نانو تکنولوژی اتمی و ملکولی
۹	ساختارهای نانویی
۱۱	ابعاد
۱۲	تغییر مقیاس ساخت و تولید
۱۴	برخی دلائل اهمیت مقیاس نانو
۱۵	نانواسمبلرها و نانوکامپیوترها
۱۷	دنیای کوچک
۲۰	نانوداروها
۲۲	بیوتکنولوژی
۲۷	شبیه سازی
۲۸	هوا فضا
۳۲	نانوقطعات
۳۳	آسیبها و خطرات احتمالی
۳۷	تهیه و آماده سازی، ایمنی، نگهداری و ذخیره سازی سیستم‌های نانویی
۳۹	جمع بندی مختصر نانو تکنولوژی
۴۱	مراجع فصل اول
	<b>فصل دوم: ساختمان ماده</b> <i>Structure of matter</i>
۴۶	مقدمه
۴۶	تاریخچه

۴۷	پایه و اساس نانو تکنولوژی اتمی و ملکولی
۴۸	مهندسی مواد و علم مواد
۵۰	طبقه بندی مواد
۵۱	سرامیکها
۵۲	خواص سرامیکها
۵۳	ساختمان ماده
۵۳	خواص الکترونیکی اتمها و جامدات
۵۳	اتم مجزا و منفرد
۵۵	تشکیل پیوند میان اتمها
۶۰	جامدات درشت ملکول
۶۱	کریستال (بلور)، قابلیت کریستال شدن و تبلور
۶۲	انواع جامدات بلوری: ینی، ملکولی، شبکه‌ای، فلزی
۶۷	جامدات کریستالی؛ تقارن انتقالی پیوسته و ناپیوسته، واحدهای سلولی متداول
۷۲	شبکه براوه
۷۳	شبکه براوه دو بعدی
۷۳	شبکه براوه سه بعدی
۷۷	شبکه براوه چهار بعدی
۷۹	ساختار و چیدمان فلزات
۷۹	تعیین ساختمان یک ماده
۸۱	اشاره‌ای به برخی از مواد جدید پیشرفته
۸۲	الماس‌واره‌ها
۸۴	باکی بال‌ها
۸۵	نانولوله‌های کربنی
۸۶	سیکلودکسترین، لیپوزم و آنتی‌بادی مونوکلونی
۸۶	فوم‌های فلزی و سرامیک
۸۷	فوم‌های کامپوزیتی
۸۸	مواد چند منظوره وظیفه‌مند
۸۹	نیازهای مواد جدید و پیشرفته
۹۰	مراجع فصل دوم
	<i>Carbon and derivatives</i> فصل سوم: کربن و مشتقات آن

۹۶	مقدمه
۹۶	تاریخچه و ساختار کربن
۱۰۱	آلوتروپی یا چند شکلی های کربن
۱۰۲	گرافیت؛ کربن سپید، گرافیت طبیعی و مصنوعی
۱۰۵	تک کریستال گرافیت
۱۰۵	فولرن
۱۰۶	کربن سیاه یا دوده
۱۰۶	کربن فعال شده
۱۰۸	کربن شیشه ای
۱۰۹	کربن های متخلخل و آئروژل ها
۱۱۰	کربن بی شکل یا آمرف
۱۱۰	کربن مایع
۱۱۱	الیاف کربنی
۱۱۱	کاربردهای الیاف کربنی
۱۱۵	کامپوزیت های کربن - کربن
۱۱۶	کامپوزیت
۱۱۷	تعریف خستگی یا فرسودگی مواد
۱۱۸	دسته بندی کامپوزیت ها
۱۲۱	جاذب های کربنی
۱۲۲	طبقه بندی جاذب های کربنی
۱۲۳	مراجع فصل سوم
	<b>فصل چهارم: نانولوله های کربنی؛ شناسایی، خواص و کاربردها</b> <i>Carbon Nanotubes; Exploration, Properties &amp; Applications</i>
۱۲۸	مقدمه
۱۲۸	تاریخچه
۱۳۰	اکتشاف فولرن و نانولوله های کربنی
۱۳۳	ساختارهای نانولوله های کربنی
۱۳۷	انواع فولرن
۱۴۰	فولرن - باکی بال ها
۱۴۵	طبقه بندی نانولوله های کربنی

۱۴۸	بردار کایرل
۱۵۱	بردار انتقالی
۱۵۱	واحد سلولی
۱۵۲	خواص نانولوله‌های کربنی
۱۶۴	برخی از خواص نانولوله‌های کربنی چند جداره
۱۶۶	کاربردهای نانولوله‌های کربنی
۱۶۷	ساخت نانومیله ردیاب (نانوپراب) از نانولوله‌های کربنی
۱۶۷	نانولوله‌های کربنی بعنوان پایه‌ی کاتالیست‌های هتروژن
۱۶۸	نانولوله‌های کربنی بعنوان نشردهنده‌های میدانی
۱۷۰	پیل‌های سوختی و ذخیره‌سازی هیدروژن در نانولوله‌های کربنی
۱۷۴	دستگاه‌های الکترونیک و نانولوله‌های کربنی
۱۷۹	تقویت کننده‌های میکروویو
۱۸۰	دستگاه اشعه ایکس
۱۸۰	لوله‌های تخلیه گاز
۱۸۰	پلاستیک‌های هدایت‌پذیر
۱۸۱	نساجی و کامپوزیت‌های سه بعدی
۱۸۴	بیونانوداروها
۱۸۵	سیم‌های کوانتومی
۱۸۶	افزودن ناخالصی به نانولوله‌های کربنی
۱۸۷	محلول کردن نانولوله‌های کربنی تک‌جداره
۱۸۷	اشاره‌ای فهرست‌وار به برخی دیگر از کاربردها
۱۹۲	مراجع فصل چهارم
	<b>فصل پنجم: سنتز نانولوله‌های کربنی</b> <i>Carbon Nanotubes Synthesis</i>
۲۰۲	مقدمه
۲۰۲	سنتز نانولوله‌های کربنی
۲۰۴	روش‌های سنتز نانولوله‌های کربنی
۲۰۷	کلیات سه روش عمده سنتز نانولوله‌های کربنی
۲۱۳	سنتز نانولوله‌های کربنی به روش تبخیر لیزری
۲۱۶	سنتز نانولوله‌های کربنی به روش قوس
۲۱۹	رشد بخاری و دیگر متدهای سنتز

۲۲۰	رسوب‌گذاری بخار شیمیایی یا متد رشد بخاری
۲۲۳	عوامل موثر در سنتز نانولوله‌های کربنی
۲۲۵	روش‌های دیگر سنتز نانولوله‌های کربنی
۲۲۷	خالص سازی نانولوله‌های سنتز شده
۲۲۹	گشایش دهانه، تر کردن، پر کردن، تنظیم و در امتداد یکدیگر قرار دادن نانولوله‌ها
۲۲۹	گشایش دهانه نانولوله
۲۳۰	تر کردن نانولوله
۲۳۰	پر کردن نانولوله
۲۳۱	تنظیم و موازی قرار دادن نانولوله‌ها
۲۳۲	دوپینگ، جاگذاری و کامپوزیت‌های BN/C نانولوله
۲۳۳	روش گرمادهی برای کربنی یا ذغالی کردن و گرافیتی کردن
۲۳۶	مکانیزم‌های رشد
۲۴۱	آزمایش رشد
۲۴۲	نمونه‌های عملیاتی آزمایشگاهی از سه روش مهم سنتز CNTs
۲۴۲	یک نمونه آزمایشگاهی سنتز نانولوله‌های کربنی به روش تخلیه قوس الکتریکی
۲۴۲	یک نمونه آزمایشگاهی سنتز نانولوله‌های کربنی به روش تبخیر یا برداشت لیزری
۲۴۷	یک نمونه آزمایشگاهی سنتز نانولوله‌های کربنی به روش رسوب‌گذاری بخار شیمیایی
۲۴۹	تهیه پایه کاتالیست
۲۴۹	تهیه کاتالیست
۲۵۰	روش کار آزمایشگاهی سنتز نانولوله‌های کربنی با متد ریچارد اسمالی
۲۵۴	نتایج حاصل از روش اسمالی
۲۵۸	تشکیل نانولوله‌های کربنی تک‌جداره BN درون نانولوله‌های کربنی
۲۶۰	جا گذاری ملکول‌های ABC در SWCNTs
۲۶۴	خلاصه نتایج تشکیل BNNTs درون SWCNTs
۲۶۴	ساخت ماهیچه یا عضله مصنوعی از رشته‌های حاصل از نانولوله‌های کربنی
۲۶۹	مراجع فصل پنجم
	<b>فصل ششم: طبقه‌بندی نانوساختارها و چگونگی اثر ابعاد نانو مقیاس بر خواص مواد</b> <i>Classification of Nanostructures &amp; how nanoscale dimensions affect properties</i>
۲۸۰	مقدمه
۲۸۰	طبقه‌بندی نانوساختارها، سیستم‌های محدود شده در سه، دو و یک بعد، یا سیستم‌های شبه صفر بعدی، شبه یک بعدی و شبه دو بعدی



۲۸۱	نانوذرات و نانومفذها
۲۸۵	فیلم لانگمیر- بلاجت
۲۸۶	لایه نشانی ملکولی لانگمیر- بلاجت
۲۸۷	بررسی عملکرد فیزیکی درونی فیلم لانگمیر- بلاجت
۲۸۹	کاربردهای فیلم‌های لانگمیر- بلاجت
۲۹۰	ساختار نانومقیاس
۲۹۰	تاثیرات مقیاس طولی نانومتری
۲۹۱	تغییرات در انرژی کل سیستم، تراز فرمی
۲۹۳	تغییرات در ساختار سیستم
۲۹۴	محل‌های خالی در نانوکریستال‌ها
۲۹۵	جابجایی و دررفتگی در نانوکریستال‌ها
۲۹۷	ضریب پویسن
۲۹۸	چگونگی اثر ابعاد نانومقیاس بر خواص مواد
۲۹۸	خواص ساختاری
۳۰۱	خواص حرارتی
۳۰۲	خواص شیمیایی
۳۰۵	خواص مکانیکی
۳۰۶	خواص مغناطیسی
۳۰۷	خواص نوری
۳۰۹	خواص الکترونیکی
۳۱۰	سیستم‌های بیولوژیکی
۳۱۲	تقلید زیستی
۳۱۴	سیکلودکسترین‌ها، لیپوزوم و آنتی‌بادی منوکلونی
۳۱۸	فعالیت‌های پژوهشی و توسعه‌ای در حال انجام
۳۲۲	چشم اندازه‌های آتی در علوم و فناوری نانو
۳۲۳	برنامه‌ریزی و آینده‌نگری
۳۲۳	انرژی‌های همو و لومو
۳۲۸	مراجع فصل ششم
	<b>فصل هفتم: روش‌های ساخت و تولید</b> <i>Fabrication Methods</i>
	مقدمه

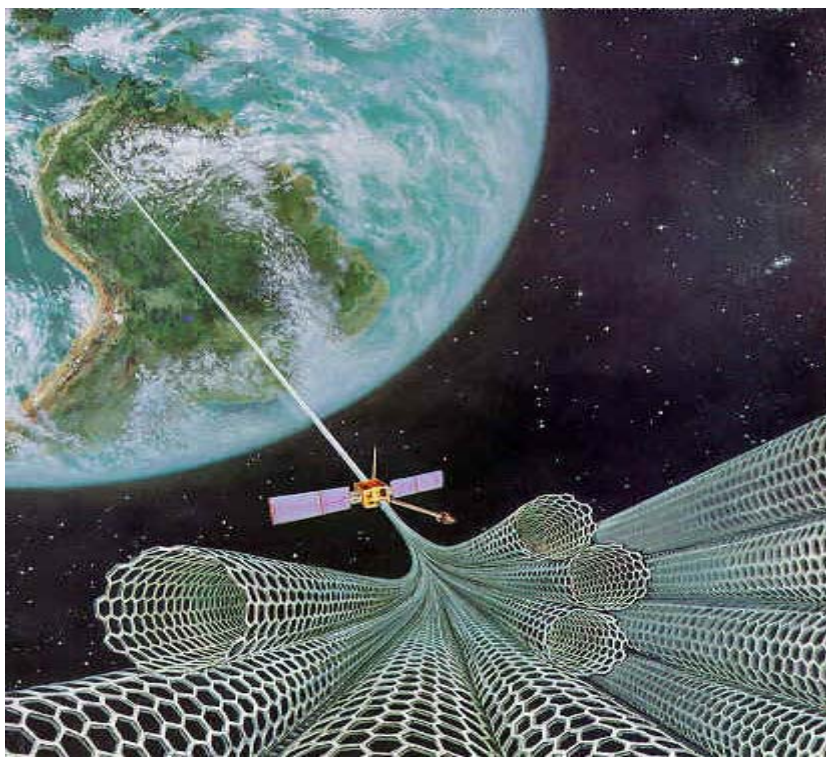
	روش‌های ساخت و تولید
	دسته‌بندی روش‌های عمده ساخت و تولید
	فرآیندهای بالا به پایین و پایین به بالا
	آسیاب کردن
	فرآیندهای لیتوگرافی
	لیتوگرافی نرم
	ماشین کاری، براده برداری
	فرآیندهای پایین به بالا
	متدهای رسوب‌گذاری در فاز بخار
	رسوب‌گذاری بخار فیزیکی PVD
	رسوب‌گذاری بخار شیمیایی CVD
	فرآیندهای رسوب‌گذاری بکمک پلاسما
	تخلیه تابناک جریان مستقیم
	کند و پاش یا اغتشاش مغناطیسی
	رسوب‌گذاری قوس خلا
	روش‌هایی برای الگوسازی رشد مواد
	رده‌بندی و نظام‌دهی نانوسیستم‌ها
	خودهم‌گذاری و خودسامان‌دهی
	...
	مراجع فصل هفتم
	<b>فصل هشتم: موتورهای ملکولی <i>Molecular Engines</i></b>
	مقدمه
	متن ...
	مراجع فصل هشتم
	<b>فصل نهم: تجهیزات و دستگاه‌های آنالیز نانومواد</b>
	<i>Instrumentation &amp; devices for nanomaterial analysis</i>
	مقدمه
	متن ...
	مراجع فصل نهم
	<b>فصل دهم: خطرات و آسیب‌های احتمالی در فن‌آوری نانو</b>

	<i>Probable risks &amp; potential damage in nanotechnology</i>
	مقدمه
	متن . . .
	مراجع فصل دهم
	<i>Nanotechnology Pioneers</i> <b>فصل یازدهم: پیشگامان فنآوری نانو</b>
	مقدمه
	متن . . .
	مراجع فصل یازدهم
	<b>فصل دوازدهم: مالکیت معنوی، مباحث نوین و آینده‌نگری در علوم و فنون نانو</b> <i>Copy right, New topics &amp; future prospects in nanoscience and nanotechnology</i>
	مقدمه
	متن . . .
	مراجع فصل دوازدهم
	ضمایم و پیوست‌ها
	مراجع کلی



## نانوتکنولوژی پدیده هزاره سوم

### *Nanotechnology the third millennium's phenomenon*

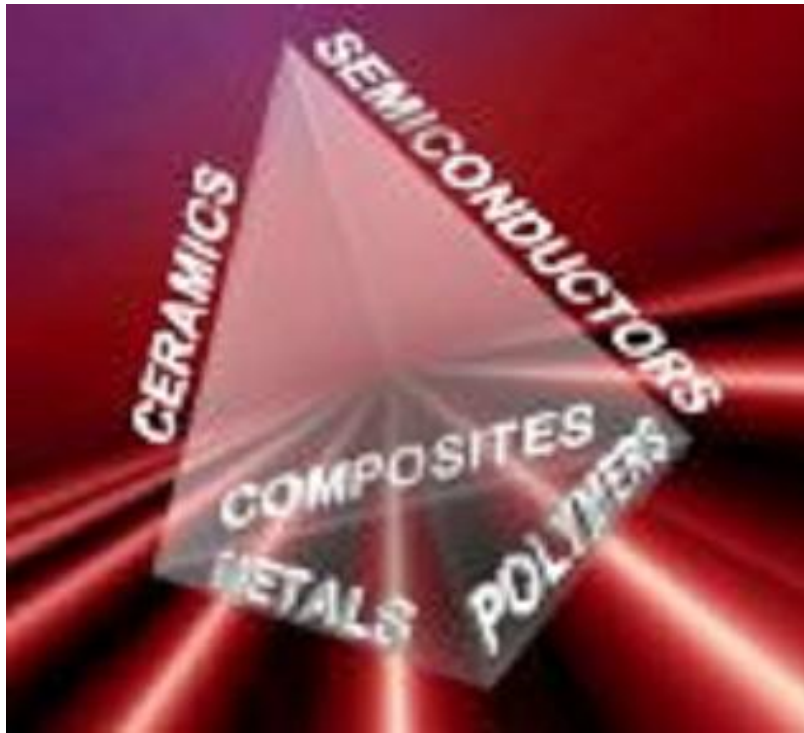


شکل (۱). شمایی از کاربرد نانولوله‌های کربنی در آسانسورهای فضایی به دلیل خواص بی‌همتایشان [1].



ساختمان ماده

*Structure of matter*



شکل (۱). ارتباط خواص مواد با ترکیب و ساختارشان، اولویتهای علم و مهندسی مواد در نانوفناوری [1].

# ۳

کربن و مشتقات آن

*Carbon & Derivatives*

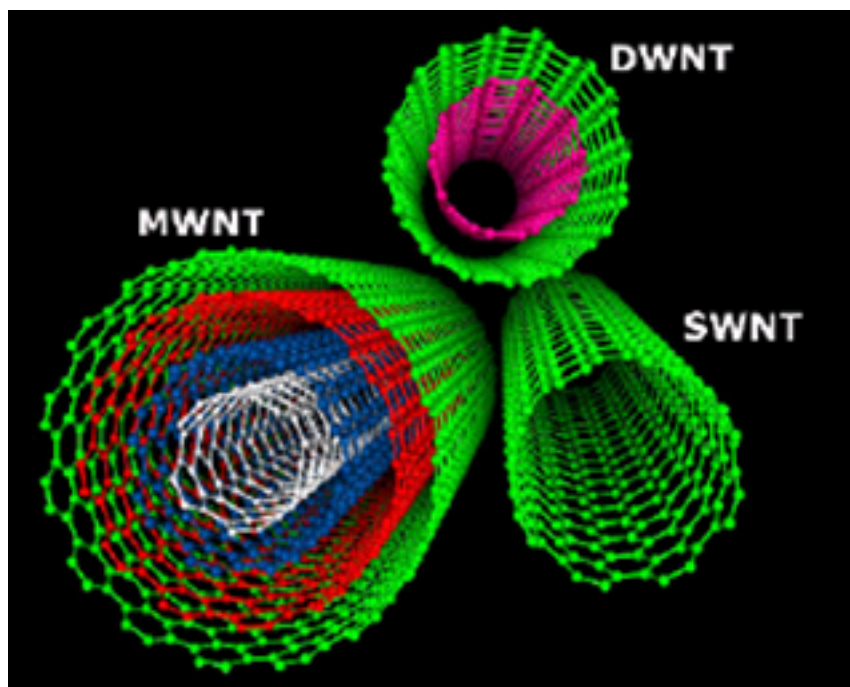


شکل (۱). هر اتم کربن می‌تواند چهار الکترون لایه خارجی‌اش را با چهار اتم مختلف دیگر به اشتراک بگذارد، همچنین با اتم‌های خودش هم می‌تواند این پیوند را انجام دهد [1].



نانولوله‌های کربنی: شناخت، خواص و کاربردها

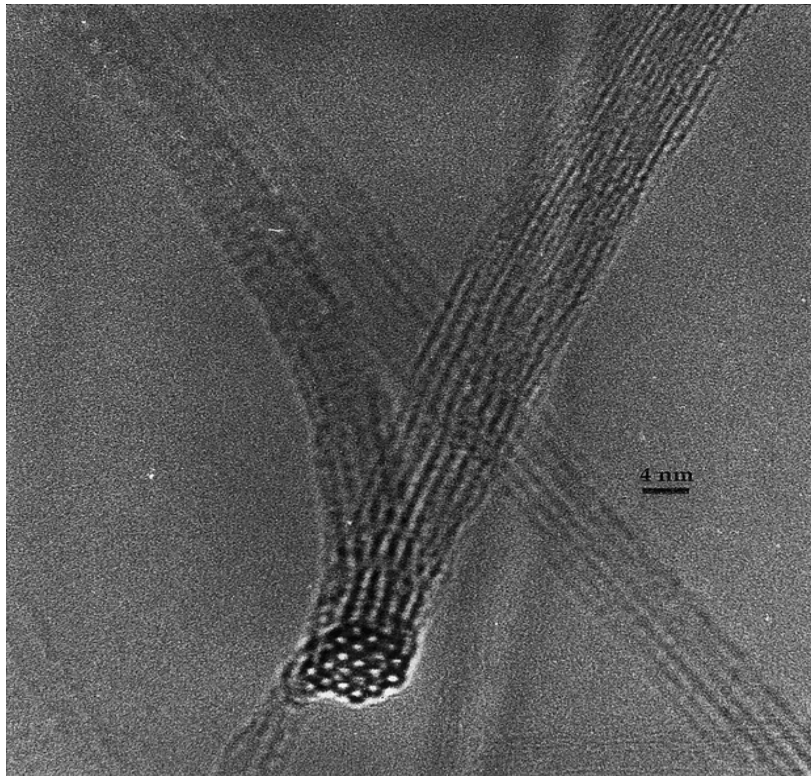
*Carbon Nanotubes: Exploration, Properties & Applications*



شکل (۱). نمایی شماتیک از نانولوله‌های کربنی تک جداره، دو جداره و چند جداره [1].



سنتز نانولوله‌های کربنی  
*Carbon Nanotubes Synthesis*



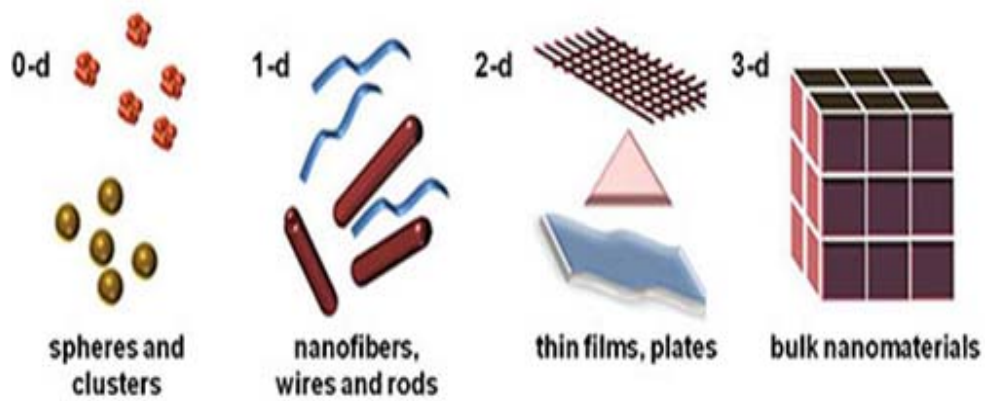
شکل (۱). تصویر HRTEM از ناحیه خم یک دسته ۲۰ تایی SWCNTs، نوار مقیاس 4nm [1].





طبقه‌بندی نانو ساختارها و چگونگی اثر ابعاد نانومقیاس بر خواص مواد

*Classification of Nanostructures and how Nanoscale dimensions affect properties*



شکل (۱). طبقه‌بندی نانو ساختارها از نظر ابعادی؛ صفر، یک، دو و سه بعدی [1].