

دانشگاه شاهرود
پایه

فناوری نانو و کاربردهای آن در مهندسی

دکتر حمید مظفری

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.^۱

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتابخوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده اند.

دانشگاه پیام نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه جا و همه وقت، به عنوان دانشگاهی کتاب محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره گیری از تجربه های گرانقدر استادان و صاحب نظران برجسته کشورمان، کتاب ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می رسانند، سپاسگزاری می نمایم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام نور را منزلگاه اندیشه سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام نور

فهرست مطالب

نه	پیشگفتار
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر فناوری نانو
۱	مقدمه
۷	۱-۱ تاریخچه و تکامل فناوری نانو
۹	۲-۱ اهمیت و اثرات فناوری نانو در مهندسی
۱۱	۳-۱ مبانی نظری و اصول اولیه در نانو تکنولوژی
۱۲	۴-۱ پیشرفت‌های اخیر و کشف‌های برجسته در زمینه نانو تکنولوژی
۱۳	۵-۱ تفاوت‌ها و مقایسه با تکنولوژی‌های مرسوم در مهندسی
۱۴	۶-۱ نقش نانو تکنولوژی در حل چالش‌ها و مسائل مهندسی
۱۵	۷-۱ چشم‌انداز آینده و توقعات از توسعه فناوری نانو در مهندسی
۱۶	منابع
۱۹	فصل دوم: تاریخچه و تکامل فناوری نانو
۱۹	مقدمه
۲۰	۱-۲ نقش افراد برجسته در توسعه فناوری نانو
۲۳	۲-۲ واکنش‌ها و تأثیرات جهانی از رشد نانو تکنولوژی
۲۴	۳-۲ تکامل تئوری نانو تکنولوژی از دیدگاه مهندسی
۲۵	۱-۳-۲ مفاهیم ابتدایی در تئوری نانو تکنولوژی
۲۶	۲-۳-۲ تأثیر تحول تئوری نانو تکنولوژی بر مهندسی
۲۷	۳-۳-۲ تجارب و ابتکارات اولیه در تکامل تئوری
۲۸	۴-۳-۲ ارتباط تئوری نانو با تئوری‌های مهندسی دیگر
۲۹	۵-۳-۲ نقش تحقیقات پایه در پیشرفت تئوری نانو تکنولوژی
۲۹	۶-۳-۲ رویکردها و مدل‌های تئوریک در مهندسی نانو
۳۰	منابع

فصل سوم: مواد نانوساختار و کاربردها

مقدمه

- ۳-۱ مفاهیم اولیه درباره مواد نانو
- ۳-۲ انواع مواد نانوساختار
- ۳-۲-۱ نانوموادهای فلزی
- ۳-۲-۲ نانوموادهای آلی
- ۳-۲-۳ نانوموادهای سرامیکی
- ۳-۳ روش‌های ساخت مواد نانوساختار
- ۳-۳-۱ ساختاردهی در حالت نانو
- ۳-۳-۲ روش‌های نانوفابریکاسیون
- ۳-۴ خصوصیات مواد نانو
- ۳-۴-۱ خواص مکانیکی
- ۳-۴-۲ خواص الکترونیکی
- ۳-۴-۳ خواص حرارتی
- ۳-۵ کاربردهای مواد نانو در مهندسی
- ۳-۵-۱ کاربردهای نانومواد فلزی
- ۳-۵-۲ کاربردهای نانومواد آلی
- ۳-۵-۳ کاربردهای نانومواد سرامیکی
- ۳-۶ چالش‌ها و فرصت‌ها در مواد نانوساختار
- ۳-۶-۱ مسائل ایمنی و زیست‌محیطی
- ۳-۶-۲ چالش‌های فناوریانه در تولید و استفاده از مواد نانو

منابع

فصل چهارم: ابزارها و تجهیزات شناسایی نانومواد

مقدمه

- ۴-۱ میکروسکوپ‌ها
- ۴-۱-۱ میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۴-۱-۲ میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۴-۱-۳ میکروسکوپ‌های نوری با قابلیت رزولوشن بالا
- ۴-۱-۴ میکروسکوپ نیرو-آتمی
- ۴-۲ ابزارهای تحلیلی
- ۴-۲-۱ اسپکتروسکوپ‌های (طیف‌سنجی) نانو
- ۴-۲-۲ رزونانس‌های مغناطیسی هسته‌ای
- ۴-۲-۳ طیف‌سنجی مادون قرمز
- ۴-۲-۴ طیف‌سنجی جذبی - عبوری یا مرئی - فرابنفش
- ۴-۲-۵ طیف‌سنجی رامان
- ۴-۲-۶ طیف‌سنج پراش اشعه ایکس

۱۰۳	۴-۲-۷ مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب
۱۰۵	۴-۳ دستگاه‌های نانوپردازش و نانوچاپ
۱۰۶	منابع
۱۰۷	فصل پنجم: روش‌های ساخت نانومواد
۱۰۷	مقدمه
۱۰۷	۵-۱ روش‌های فیزیکی
۱۰۷	۵-۱-۱ روش رسوب‌دهی فیزیکی بخار
۱۱۰	۵-۱-۲ روش رسوب فیزیکی از محلول
۱۱۰	۵-۱-۳ روش نانولیتوگرافی
۱۱۱	۵-۲ روش‌های شیمیایی
۱۱۲	۵-۲-۱ روش تهیه سل-ژل
۱۱۶	۵-۲-۲ روش هیدروترمال
۱۱۷	۵-۲-۳ روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار
۱۲۱	۵-۲-۴ روش رسوب‌دهی لایه اتمی
۱۲۲	۵-۳ روش‌های بیولوژیکی
۱۲۳	۵-۳-۱ سنتز نانوذرات با استفاده از میکروارگانیسم‌ها
۱۲۵	۵-۳-۲ ساخت نانومواد با استفاده از پپتیدها و پروتئین‌ها
۱۲۶	۵-۳-۳ استفاده از سلول‌ها برای تولید نانومواد
۱۲۷	۵-۴ روش‌های از بالا به پایین
۱۲۸	۵-۴-۱ آسیاب‌کردن
۱۲۹	۵-۴-۲ الکتروریسی
۱۳۰	۵-۴-۳ لیتوگرافی
۱۳۳	۵-۴-۴ تخلیه قوس الکتریکی
۱۳۴	۵-۴-۵ سنتز فرسایش لیزری
۱۳۵	منابع
۱۳۷	فصل ششم: نانوالکترونیک و کاربردهای آن در مهندسی
۱۳۷	مقدمه
۱۳۸	۶-۱ دستگاه‌ها و عناصر نانوالکترونیکی
۱۳۹	۶-۱-۱ نانوسنسورهای الکترونیکی
۱۴۰	۶-۱-۲ نانوترانزیستورها
۱۴۱	۶-۱-۳ مدارهای یکپارچه نانو
۱۴۲	۶-۱-۴ نانومواد الکترونیکی
۱۴۳	۶-۱-۵ نانوچیپ‌ها
۱۴۴	۶-۲ تکنولوژی‌های نانوالکترونیکی
۱۴۵	۶-۲-۱ تکنیک‌های CMOS در مقیاس نانو

- ۱۴۶ ۲-۲-۶ تکنولوژی‌های نوین در نانوالکترونیک
- ۱۴۶ ۳-۶ کاربردهای نانوالکترونیک در الکترونیک مصرفی
- ۱۴۹ ۴-۶ کاربردهای نانوالکترونیک در ارتباطات
- ۱۵۰ ۱-۴-۶ اثر نانوالکترونیک در بهبود ارتباطات بی‌سیم
- ۱۵۱ ۲-۴-۶ کاربرد نانوالکترونیک در اینترنت اشیا IOT
- ۱۵۲ ۵-۶ کاربردهای نانوالکترونیک در پزشکی
- ۱۵۳ ۱-۵-۶ سنسورها و دستگاه‌های پزشکی مبتنی بر نانوالکترونیک
- ۱۵۴ ۶-۶ چالش‌ها و آینده نانوالکترونیک
- ۱۵۵ منابع

۱۵۷ فصل هفتم: نانومکانیک و کاربردهای آن در مهندسی

- ۱۵۷ مقدمه
- ۱۵۸ ۱-۷ مفاهیم اصلی در نانومکانیک
- ۱۵۹ ۲-۷ ماشین‌آلات و دستگاه‌های نانومکانیک
- ۱۶۰ ۳-۷ شبیه‌سازی و مدل‌سازی در نانومکانیک
- ۱۶۱ ۱-۳-۷ شبیه‌سازی‌های مولکولی
- ۱۶۲ ۲-۳-۷ شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای با روش‌های المان محدود
- ۱۶۵ ۳-۳-۷ شبیه‌سازی‌های دینامیک مولکولی
- ۱۶۷ ۴-۷ خواص مکانیکی در نانومواد
- ۱۶۷ ۱-۴-۷ استحکام و سختی نانومواد
- ۱۶۹ ۲-۴-۷ انعطاف‌پذیری و تغییر شکل در مقیاس نانو
- ۱۶۹ ۳-۴-۷ رفتار مکانیکی در حالت‌های حرارتی و فشار در مقیاس نانو
- ۱۷۰ ۵-۷ شکل‌دهی و پردازش نانومواد
- ۱۷۲ ۶-۷ کاربردهای نانومکانیک
- ۱۷۵ ۱-۶-۷ کاربردهای نانومکانیک در مهندسی مواد
- ۱۷۷ ۲-۶-۷ کاربردهای نانومکانیک در هوافضا و صنایع دفاعی
- ۱۸۰ ۳-۶-۷ کاربردهای نانومکانیک در صنعت خودرو و صنایع حمل‌ونقل
- ۱۸۳ ۴-۶-۷ کاربردهای نانومکانیک در حوزه انرژی
- ۱۸۶ ۷-۷ تأثیر نانومکانیک در طراحی مواد
- ۱۸۶ ۱-۷-۷ بهینه‌سازی طراحی مواد با استفاده از نانومکانیک
- ۱۸۷ ۲-۷-۷ تأثیر نانومکانیک در مهندسی مواد پیشرفته
- ۱۸۸ ۸-۷ چالش‌ها و آینده نانومکانیک
- ۱۹۰ منابع

۱۹۱ پیوست

تقدیم به

پدرم، پشتوانه زندگیم

مادرم، دلگرمی زندگیم

همسرم، همراه و همیار زندگیم

دخترم، امید زندگیم

پیشگفتار

فناوری نانو واژه‌ای است که به تمام فناوری‌های پیشرفته در زمینه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌گردد. این فناوری که امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده، یک رویکرد جدید در تمامی رشته‌ها است، با دستکاری در سطوح اتمی و مولکولی توانایی تولید مواد، ابزار و سیستم‌های نوین را دارد. این فناوری، روشی جدید برای حل مشکلات بوده و پاسخگوی بسیاری از سؤالات مهمی در علوم مختلف است که بشر تاکنون موفق به رفع یا پاسخ‌دادن به آن‌ها نشده است و به‌همین دلیل، این فناوری به‌عنوان انقلاب صنعتی و علمی قرن بیست‌ویکم شناخته شده است. از آنجاکه خواص در مقیاس نانومتری به‌نحو مطلوبی دستخوش تغییر می‌شود، محصول این فناوری امکان ساخت مواد و تجهیزاتی با کارایی بیشتر خواهد بود.

امروزه استفاده از فناوری نانو در تمامی جنبه‌های زندگی بشر امری مشهود است و وجود آن در عصر حاضر در تمامی علوم احساس می‌شود. این فناوری در انواع صنایع غذایی، پزشکی، داروسازی، خودروسازی، الکترونیک، مکانیک و غیره بسیار پرکاربرد می‌باشد. به‌علاوه در هر فناوری و صنعتی، به موادی احتیاج است تا به‌وسیله آن به اهداف موردنظر نائل گشت و در فناوری نانو نیز عناصری وجود دارند که به عناصر پایه شهرت دارند و یا به‌کارگیری هریک از آن‌ها در زمینه‌های مختلف، می‌توان مواد جدیدی تولید کرد و یا خدمات سودمندی ارائه داد.

این کتاب با عنوان «فناوری نانو و کاربردهای آن در مهندسی» به‌منظور بررسی عمیق و جامع فناوری نانو و ارائه نقش آن در حوزه مهندسی تدوین شده است. فناوری

نانو به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات دانش مدرن، ابزارها و فرصت‌های جدیدی را برای توسعه و پیشرفت علم و فناوری فراهم کرده است. این کتاب با بررسی اصول و مبانی فناوری نانو، به همراه کاربردهای آن در مختلف زمینه‌های مهندسی، به خواننده ارائه می‌دهد تا بهترین بهره را از این فناوری نوین ببرند. در این راستا، این کتاب با استفاده از رویکردهای علمی و کاربردی، سعی دارد مفاهیم پایه‌ای فناوری نانو را برای خواننده علاقه‌مند به مهندسی به زبانی ساده و قابل فهم تشریح کند. همچنین، با معرفی مطالعات موردی و پروژه‌های عملی در حوزه‌های مختلف مهندسی، کاربردهای واقعی فناوری نانو را به تصویر می‌کشد.

در ادامه، این کتاب به بررسی جزئیات فناوری نانو می‌پردازد و به خواننده توضیح می‌دهد که چگونه این فناوری از مقیاس مولکولی به عنوان یک پایه اصلی برای ایجاد مواد و ساختارهای جدید، به کار گرفته می‌شود. همچنین، به بررسی انواع نانو مواد، روش‌های تولید، و ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها پرداخته می‌شود.

در انتها، با ارائه مطالبی در مورد آخرین پیشرفت‌ها و تحولات در حوزه فناوری نانو الکترونیک و نانومکانیک، این کتاب تلاش می‌کند تا به خواننده اطلاعات به روز و کاربردی را در این حوزه ارائه دهد. همچنین، با بررسی چالش‌ها و مسائل اخلاقی و محیطی مرتبط با استفاده از فناوری نانو، این کتاب به خواننده کمک می‌کند تا با دانش کافی و آگاهی در مورد این فناوری، بهترین تصمیمات را در حوزه مهندسی و فناوری اتخاذ کند.

امیدوارم که این کتاب، به عنوان یک منبع معتبر و جامع، به افزایش دانش و آگاهی خوانندگان در زمینه فناوری نانو و کاربردهای آن در مهندسی کمک کند. در پایان از همه اساتید، دانشجویان و پژوهشگران گرامی تقاضا دارم که با ارائه نظرات سازنده خود، بنده را در رفع نواقص و کاستی‌های این اثر یاری نمایند.

با آرزوی موفقیت و پیشرفت برای همه علاقه‌مندان به علم و فناوری.

آدرس پست الکترونیکی ۱: mozafari.h@gmail.com

آدرس پست الکترونیکی ۲: mozafari.h@pnu.ac.ir

فصل اول

مقدمه‌ای بر فناوری نانو

مقدمه

نانوتکنولوژی یک علم و فناوری جدید است که به طراحی و ساخت مواد و دستگاه‌هایی با اندازه‌های بسیار کوچک (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) می‌پردازد. در این اندازه، مواد و ساختارهای نانو ویژگی‌های خاصی دارند که باعث می‌شود خصوصیات جدید و متفاوتی پیدا کنند.

نانوتکنولوژی به ارتباط و همکاری بین علوم مختلف نظیر فیزیک، شیمی، بیولوژی، مهندسی و علوم رایانه متکی است. این فناوری به‌عنوان یک پل ارتباطی بین علوم اساسی و کاربردی عمل می‌کند و در حوزه‌های مختلف از پزشکی تا الکترونیک و انرژی به‌کار می‌رود. از جمله کاربردهای نانوتکنولوژی می‌توان به تولید داروهای نانو، سنسورهای نانو، الکترونیک نانو، پوشش‌های نانو، و مصنوعات نانو در صنایع مختلف اشاره کرد. این فناوری به‌دلیل قابلیت‌های خارق‌العاده‌ای که ارائه می‌دهد، به‌عنوان یک پارادایم جدید در تحول صنایع و تکنولوژی شناخته می‌شود. در شکل ۱-۱ به‌کارگیری فناوری نانو در صنعت نساجی را نشان می‌دهد که می‌تواند مزایایی از قبیل لطافت، آنتی باکتریال، ضدآب، دوام خوب و حفظ خواص و نوبودن جنس البسه بعد از شستشوهای مکرر داشته باشد.

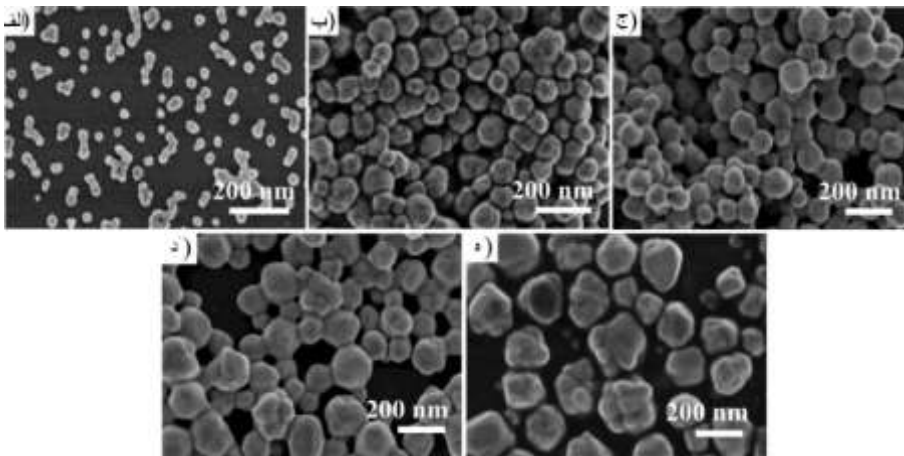


شکل ۱-۱. نمونه‌ای از کاربرد فناوری نانو در صنعت نساجی [۱]

عناصر پایه در حقیقت همان عناصر در مقیاس نانو می‌باشند که خواص آن‌ها در حالت نانومقیاس با خواص مواد در مقیاس بزرگ‌تر متفاوت است. این عناصر در سه گروه نانوذره، نانوکپسول و نانولوله کربنی تقسیم می‌شوند. اولین و اساسی‌ترین عنصر پایه، نانوذره است. منظور از نانوذره، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. نانوذرات از مواد مختلفی چون نانوذرات فلزی، نانوذرات سرامیکی، نانوذرات پلیمری و نانوذرات نیمه‌رسانا تشکیل می‌شوند. دومین عنصر پایه، نانوکپسول است در رابطه با نانوکپسول شایان ذکر است که کپسول‌هایی وجود دارند که دارای قطر نانومتری بوده و می‌توان مواد موردنظر را درون آن‌ها قرار داد و اصطلاحاً کپسوله کرد. عنصر پایه سوم که نانولوله‌های کربنی می‌باشد، صفحات گرافنی هستند که به صورت لوله‌ای شکل در ابعاد نانومتر درست شده باشند.

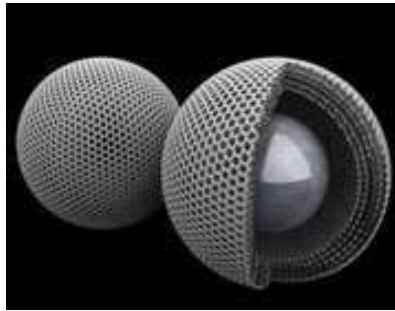
نانوذرات در میان عناصر پایه در نانوفناوری، نخستین عنصر که اصلی‌ترین نیز به‌شمار می‌رود و به‌طور گسترده‌ای در این فرایند کاربرد دارد. نانوذره به ذره‌ای گفته می‌شود ابعاد آن بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها، شامل نانوذرات ترکیبی نظیر ساختارهای هسته لایه نیز می‌باشند. از اشکال دیگر نانوذرات همچنین می‌توان به نانوکره‌ها، نانومیل‌ها و نانوفنجان‌ها اشاره کرد. نانوذرات در اندازه‌های پایین، نانوخوشه نام‌گذاری شده و نانوبلورها و ذرات کوانتومی نیمه‌هادی‌ها نیز زیرمجموعه نانوذرات محسوب می‌گردند. این نانوذرات در کاربردهای بیودارویی (داروهای زیستی) به‌عنوان حامل دارو و عوامل تصویربرداری استفاده می‌شوند. تأکید می‌شود که گوناگونی مواد نانوذره‌ای به اندازه تنوع کاربردهای آن‌ها می‌باشد. تعیین

مشخصات نانوذرات برای کنترل سنتز و کاربرد آن‌ها امری ضروری است. شکل ۲-۱ تصویری از نانوذرات طلا توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوذرات طلا با اندازه ذرات، (الف) ۴۸ nm، (ب) ۹۴ nm، (ج) ۱۲۵ nm، (د) ۱۶۲ nm، (ه) ۲۰۳ nm [۲]

خواص این ترکیبات با استفاده از روش‌های گوناگون مانند استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی، طیف‌سنجی فوتوالکترون و نیز روش‌های تعیین اندازه و سطح ویژه ذرات سنجیده می‌گردد. نانوذرات در حال حاضر از طیف وسیعی از مواد ساخته می‌شوند که معمول‌ترین آن‌ها نانوذرات سرامیکی، فلزی، پلیمری و نانوذرات نیمه‌رسانا هستند. نانوکپسول‌ها پس از نانوذرات، دومین عنصر پایه در فناوری نانو محسوب می‌شوند. به هر ذره‌ای که دارای یک پوسته و یک فضای خالی برای قراردادن مواد مورد نظر به درون آن باشد، نانوکپسول گفته می‌شود. نانوکپسول‌ها دارای قطری نانومتری هستند که برای ساخت آن‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. شکل ۳-۱ تصویری از یک نانوکپسول نشان داده است.



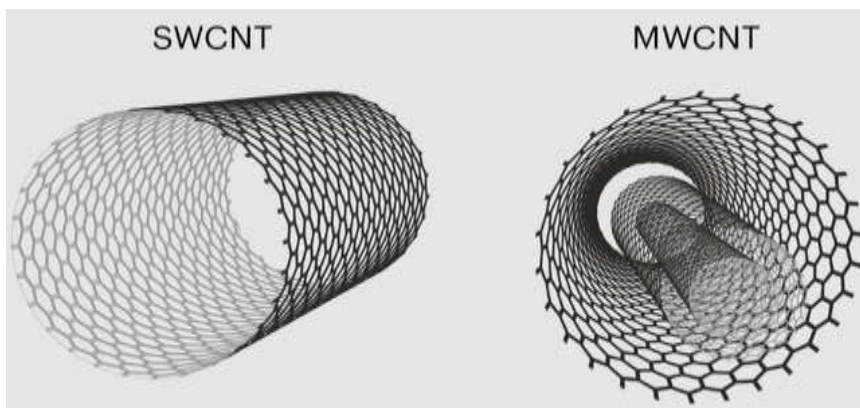
شکل ۱-۳. تصویری از یک نانوکپسول [۳]

از آنجاکه این نوع کپسول‌ها دارای خواص آب‌گریزی و آب‌دوستی هستند، بنابراین در هنگام استفاده از آن‌ها ممکن است یک اختلال ایجاد شود که در بعضی مواقع با هدف کاربردی مورد نظر سازگاری پیدا نمی‌کنند و به همین دلیل باید روکش شوند. برای روکش کردن این کپسول‌ها از پروتئین‌ها، پلیمرها، مواد مصنوعی و طبیعی دیگری استفاده می‌کنند.

نانوکپسول‌ها انواع متنوعی دارند، از جمله نانوکپسول‌های پلیمری که در ساختار آن‌ها از پلیمرها استفاده می‌شود. به دنبال فرایندی که «پلیمریزاسیون امولسیون^۱» نام دارد، نانوکپسول‌های پلیمری شده در اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون تولید می‌شود. از مهم‌ترین کاربرد نانوکپسول‌ها می‌توان به استفاده از آن‌ها در صنعت داروسازی اشاره کرد. نانوامولسیون‌ها نوع دیگری از نانوکپسول‌ها هستند که از بعضی مولکول‌های «سورفکتانت^۲» مانند فسفولیپیدها^۳ تشکیل شده‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم این نوع مولکول‌ها این است که از یک طرف آب‌گریز و از سوی دیگر آب‌دوست هستند و به همین دلیل هنگامی که در یک محیط آبی قرار می‌گیرند، خود به خود نانوکپسول را تشکیل می‌دهند. در این حالت، مولکول در طرفی که آب‌گریز است قرار می‌گیرد و از تماس با آب حفظ می‌شود. لیپوزوم‌ها^۴ هم که از جنس چربی هستند، در این گروه از نانوکپسول‌ها جای می‌گیرند. از این نوع نانوکپسول‌ها در تهیه مواد شوینده از جمله خوشبوکننده‌های لباس، پودرهای رختشویی و نیز همانند کپسول‌های پلیمری در صنعت داروسازی استفاده می‌شود که به شکل وریدی و خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1. Emulsion Polymerization
 2. Surfactant
 3. Phospholipids
 4. Liposomes

نانو لوله‌های کربنی^۱ ساختارهای نانومتری از کربن هستند که به صورت لوله‌های توخالی با قطر چندنانومتر و طول‌های بسیار بلند (میلی متر یا بیشتر) تشکیل می‌شوند. این نانولوله‌ها به دو نوع اصلی نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره^۲ که دارای یک لایه کربن هستند و نانولوله‌های کربنی چنددیواره^۳ که شامل چندین لایه کربن هستند که به شکل لوله‌های هم‌مرکز قرار گرفته‌اند، تقسیم می‌شوند. در شکل ۱-۴ تصاویر نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چنددیواره نشان داده شده است. نانولوله‌های کربنی دارای استحکام کششی بسیار بالایی هستند که می‌توانند تا صدبرابر قوی‌تر از فولاد باشند. این نانولوله‌ها می‌توانند به عنوان نیمه‌رسانا یا رسانا عمل کنند، که این ویژگی‌ها آن‌ها را در صنعت الکترونیک بسیار جذاب می‌کند. همچنین نانولوله‌های کربنی قابلیت هدایت حرارتی بالایی دارند و می‌توانند در کاربردهای حرارتی و خنک‌کننده‌ها استفاده شوند. نانولوله‌های کربنی چنددیواره معمولاً دارای خصوصیات مکانیکی و حرارتی بهتری نسبت به نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره دارند و در کاربردهایی چون تقویت مواد و ذخیره‌سازی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

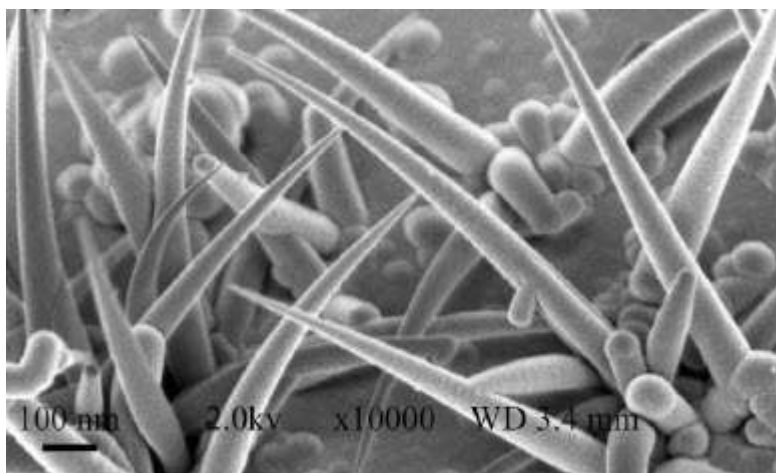


شکل ۱-۴. نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چنددیواره

نانوسیم‌ها نیز یکی دیگر از عناصر پایه‌ای نانوساختارهای مورد استفاده در فناوری نانو به شمار می‌روند که دارای ساختاری با قطری در حد نانومتر و طول نامحدود هستند و

به دلیل اینکه در این ابعاد آثار کوانتومی دارای اهمیت می باشد، به آن ها نانوسیم های کوانتومی هم می گویند. از نانوسیم ها برای ساخت مدارهای الکتریکی و الکترونیکی در اندازه های بسیار کوچک یا در حد نانومتر استفاده می کنند. نانوسیم ها را به اشکال مختلفی تهیه می کنند که یک مورد آن، استفاده از روش لیتوگرافی یا چاپ روی یک سطح است. نانوسیم ها را به روش های گوناگونی می سازند که فرایند خودآرایی فرایندی خودبه خودی است که در طی آن گونه های شیمیایی با نظم خواص بر روی یکدیگر قرار می گیرند و سیستم منظمی را به وجود می آورند.

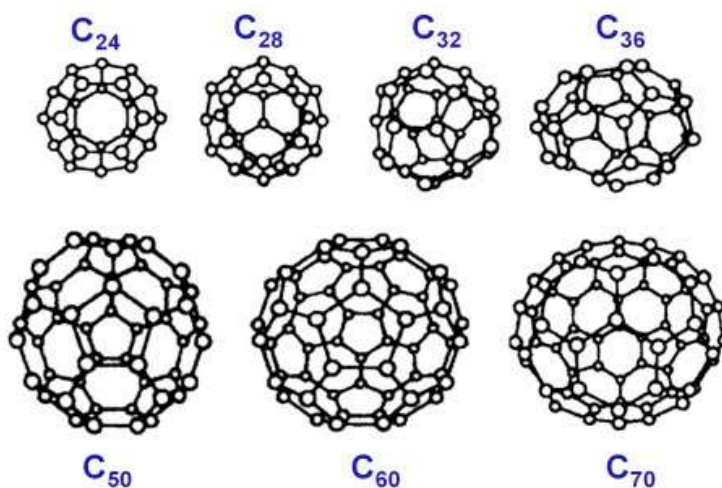
از نانوسیم ها به دلیل خواص الکتریکی که دارند به عنوان حسگرها استفاده می کنند. همچنین در ساخت غشاهای جداسازی گازها، سیستم های میکروآنالیز، تجهیزات آشکارسازی امواج رادیویی و تولید سیستم های میکروالکترو مکانیکی سرامیکی به کار می روند. نانوسیم ها به اشکال گوناگونی از جمله نانوسیم های فلزی، آلی و نیمه هادی تهیه می شوند. شکل ۱-۵ تصویری از یک نمونه از نانوسیم ها را نشان داده است.



شکل ۱-۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه ای از نانوسیم ها [۴]

از دیگر عناصر نانو ساختاری می توان به فولرین ها اشاره کرد که در گذشته اغلب از ساختارهای کروی از جنس کربن تشکیل شده اند، اما امروزه علاوه بر کربن از عناصر دیگری از جمله نیتروژن نیز در ساختار آن ها استفاده می کنند. بعدها این عنصر جزء عناصر

پایه در فناوری نانو معرفی شده است. از فلورین‌ها در ساخت روان‌کننده‌ها، روغن‌های موتور، ارسال هدفمند داروها، درمان سرطان و ایدز، ساخت لاستیک‌های بسیار سبک و تولید دیودهای نورافشان با عمری بالا استفاده می‌کنند. فولرین‌ها را به اشکال کربنی، غیرکربنی، درون‌وجهی و چندلایه‌ای و نیز مشتقات شیمیایی فولرین تهیه می‌کنند. عناصر دیگری نیز غیر از عناصر یادشده در فناوری نانو مورد استفاده قرار می‌گیرند که کاربردهای گوناگونی در زمینه‌های مختلف این فناوری دارند. نمونه‌ای از انواع متداول از ساختارهای اتمی فولرین را در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.



شکل ۱-۶. نمونه‌ای از انواع متداول از ساختارهای اتمی فولرین [۵]

۱-۱ تاریخچه و تکامل فناوری نانو

تاریخچه و تکامل فناوری نانو به‌طور کلی شامل مراحل زیر است:

الف) پیشینه تاریخی: ایده‌ها و مفاهیم مرتبط با نانوتکنولوژی از قدیمی‌ترین زمان‌ها وجود داشته‌اند. به‌عنوان مثال، در سال ۱۹۵۹، فیزیکدان معروف ریچارد فاینمن در یک سخنرانی با عنوان «هنگامی که شما به‌اندازه خودرو نگاه می‌کنید، چه می‌بینید؟» توجه به ابعاد نانو و تأثیر آن بر روی علم و فناوری را جلب کرد. بنابراین، در طول تاریخ بشر از زمان یونان باستان، مردم و به‌خصوص دانشمندان آن دوره بر این باور بودند که مواد را می‌توان آن‌قدر به اجزای کوچک تقسیم کرد تا به ذراتی رسید که

خردناشدنی هستند و این ذرات بنیان مواد را تشکیل می‌دهند. نقطه شروع و توسعه اولین فناوری نانو به دوران ماقبل تاریخ و زمانی که بشر اولیه از نانومواد طبیعی استفاده می‌کرد، برمی‌گردد. آموختیم که اولین مهندس فناوری در حقیقت خود طبیعت بوده است. چنانچه به‌طور مثال مولکول‌های کربن در مقیاس نانومتری در حفره‌های دیوارهای غارها قرار گرفته که نتیجه آن باقی‌ماندن آن‌ها برای هزاران سال است. در دوران صنعتی و پسا صنعتی و در صنایع برقی نیز کوچک‌سازی اجسام، مقوله جدیدی نبوده است. هزاران سال و در خاور دور، کوچک بودن، ارزش و بهای ویژه‌ای داشته است. چنانچه در متون ادبی کلاسیک ژاپن در قرن دهم از کوچکی به‌عنوان زیبایی یاد شده است. در آثار باستانی دوران مختلف تاریخی همچون قرون وسطا نیز اثری از مواد نانو ساختار دیده شده است.

ب) شروع تحقیقات علمی: در سال ۱۹۷۴ ناریوتا اینگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو برای اولین بار از واژه فناوری نانو استفاده کرد. وی این واژه را برای توصیف ابزار دقیقی که ابعادش نزدیک به نانومتر است، استفاده کرد. بنابراین، در دهه ۱۹۸۰، تحقیقات علمی در زمینه نانومواد و نانو ساختارها آغاز شد. این تحقیقات شامل مطالعه خصوصیات و رفتار مواد در ابعاد نانو بود و به تدریج منجر به شناخت بهتر از این دنیای کوچک شد. واژه فناوری نانو در سال ۱۹۸۶ توسط کی اریک درکسلر در کتابی تحت عنوان «موتور آفرینش آغاز دوران فناوری نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکتری خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آن را در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها ماشین‌های مولکولی، چگونگی ساخت و محاسبات آن‌ها» توسعه داد. در حقیقت درکسلر پایه‌گذار نانوفناوری مولکولی بوده است [۶].

ج) پیدایش نانو تکنولوژی: در دهه ۱۹۹۰، مفهوم نانو تکنولوژی به‌عنوان یک حوزه جدید علمی و فناوری مطرح شد. این حوزه شامل تحقیقات بنیادین و کاربردی بر روی مواد و ساختارهای نانو بود. در واقع نانو تکنولوژی فهم و به‌کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم‌هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی - عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک - از خود نشان می‌دهند.

د) پیشرفت‌های فناوری: با پیشرفت فناوری و توسعه روش‌های تولید نانومواد، تکنولوژی نانو به سرعت در حوزه‌های مختلف از پزشکی و الکترونیک تا محیط‌زیست و

انرژی به‌کار گرفته شد. فناوری نانو در موج چهارم انقلاب صنعتی، پدیده‌ای عظیم است که در تمامی گرایش‌های علمی راه‌یافته و از فناوری‌های نوینی است که با سرعت هرچه تمام‌تر در حال توسعه می‌باشد. نانوفناوری یک دانش به‌شدت میان‌رشته‌ای است و به رشته‌هایی چون مهندسی مواد، پزشکی، داروسازی و طراحی دارو، دامپزشکی، زیست‌شناسی، فیزیک کاربردی، ابزارهای نیم‌رسانا، شیمی ابرمولکول و حتی مهندسی مکانیک، مهندسی برق، مهندسی شیمی، مهندسی کشاورزی و مهندسی نساجی نیز مربوط می‌شود.

ه) تحولات فعلی: در حال حاضر، نانوتکنولوژی به‌عنوان یک فناوری کلیدی در جهان مدرن شناخته می‌شود و کاربردهای گسترده‌ای دارد. تحقیقات بسیار زیادی در این حوزه انجام می‌شود و پتانسیل‌های بسیار زیادی برای استفاده از خصوصیات منحصر به فرد نانومواد در زمینه‌های مختلف وجود دارد. در دهه اول قرن بیست و یکم کنفرانس‌ها و همایش‌های تخصصی حوزه فناوری نانو شروع به‌کار کردند. آرام‌آرام با شناخته‌شدن اهمیت و بزرگی این فناوری و نقشی که در آینده فنی و اقتصادی دنیا دارد، کشورهای بزرگ و پیشرفته برای بهره‌گیری از فرصت این فناوری برای بیشتر کردن فاصله خود با دنیا، وارد میدان مسابقه می‌شوند.

با پیشرفت هرچه بیشتر فناوری نانو، امیدواریم که بتوان از این فناوری برای حل مسائل پیچیده و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه در زمینه‌های مختلف استفاده کرد. هرچند موج‌های علمی و فنی معمولاً با یک فاصله زمانی چند دهه‌ساله به ایران می‌رسد، اما فناوری نانو در ایران، مسیری غیر از دیگر فناوری‌ها را در پیش گرفته است. در سال ۱۳۸۲ ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به‌منظور توسعه همه‌جانبه این فناوری در کشور و در نهایت حصول ثروت از آن تشکیل گردیده، که نتیجه آن حضور ایران در میان ده کشور پیش‌رو در این حوزه فناوری برای سالیان متمادی است.

۱-۲ اهمیت و اثرات فناوری نانو در مهندسی

فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری نوین با پتانسیل‌های بسیار زیاد در حوزه مهندسی و صنایع مختلف شناخته می‌شود. فناوری نانو در مهندسی اهمیت زیادی دارد و اثرات متعددی بر زمینه‌های مختلف مهندسی دارد که برخی از اهمیت‌ها و اثرات فناوری نانو در مهندسی عبارت‌اند از:

- **ساخت مواد نانو:** توانایی ساخت مواد و ساختارهای نانو با خصوصیات منحصر به فرد، امکان پیشرفت‌های بزرگ در زمینه مواد ساختمانی، الکترونیک، پزشکی، انرژی و غیره را فراهم می‌کند.
- **حفظ محیط زیست:** استفاده از نانومواد در فرایندهای تولید و مصرف محصولات مختلف می‌تواند به کاهش مصرف منابع طبیعی، کاهش آلودگی آب و هوا، و حفظ محیط زیست کمک کند.
- **پزشکی و بهداشت:** استفاده از نانومواد در تشخیص بیماری‌ها، درمان‌های نوین، تولید داروهای هدفمند و تجهیزات پزشکی پیشرفته، امکانات جدید و بهبود در خدمات بهداشت و درمان را فراهم می‌کند.
- **الکترونیک و ارتباطات:** استفاده از نانومواد در تولید تراشه‌های الکترونیکی، سنسورهای حسگر، تجهیزات ارتباطات بی‌سیم و دستگاه‌های الکترونیکی پیشرفته، باعث افزایش کارایی و کاربرد این دستگاه‌ها می‌شود.
- **ساخت سطح:** استفاده از نانوپوشش‌ها و نانومواد برای بهبود خواص سطح، از جمله مقاومت در برابر خوردگی و سایش، ضد عفونی و خصوصیات دیگر سطح، در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، هوافضا، الکترونیک و غیره بسیار مفید است.
- **بهبود عملکرد مواد:** استفاده از نانومواد به عنوان مواد پایه در ساخت مواد مهندسی، مانند پوشش‌های سطحی، کامپوزیت‌ها و مواد سازه، باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی، الکتریکی و نوری آن‌ها می‌شود.
- **افزایش کارایی سیستم‌ها و دستگاه‌ها:** استفاده از فناوری نانو در طراحی و ساخت دستگاه‌ها و سیستم‌های مهندسی، مانند حسگرها، باتری‌ها، فیلترها و سیستم‌های انرژی، منجر به بهبود کارایی، کاهش اندازه، و افزایش عمر مفید آن‌ها می‌شود.
- **بهبود عملکرد سیستم‌های نقلیه:** استفاده از مواد نانویی در تولید مواد سبک و مقاوم برای استفاده در صنعت خودروسازی، هوافضا و صنایع دریایی، بهبود عملکرد و کارایی این سیستم‌ها را افزایش می‌دهد.
- **کاهش مصرف انرژی:** استفاده از فناوری نانو در طراحی و تولید مواد با قابلیت‌های حرارتی و الکتریکی بهتر، بهینه‌سازی فرایندهای تولید و استفاده انرژی، و بهره‌وری بالاتر در سیستم‌ها و دستگاه‌ها، منجر به کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری محیطی می‌شود.

- توسعه فناوری‌های نوین: فناوری نانو با ایجاد فرصت‌های جدید در زمینه‌های مختلف مانند نانوالکترونیک، نانویوتکنولوژی، نانومواد، و...، منجر به توسعه فناوری‌های نوین و راهکارهای پیشرفته در مهندسی می‌شود.

به‌طور کلی، فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری چابک و نوآورانه، تأثیر بسزایی در تحول صنایع و مهندسی دارد و نقش مهمی در بهبود عملکرد، کارایی و پایداری سیستم‌ها و دستگاه‌ها ایفا می‌کند. به‌عنوان مثال، نانوسیال توسعه‌یافته در دانشگاه سانوی مصرف انرژی را تا ۱۰ درصد در چیلرهای صنعتی کاهش می‌دهد. این فناوری توسط یکی از شرکت‌های تولیدکننده یخچال و چیلر صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و عملکرد آن تأیید شده است. این نانوسیال تقریباً ۴۰ درصد سریع‌تر انتقال حرارت را انجام می‌دهد، یعنی همان مقدار گرما را در زمان بسیار کوتاه‌تری منتقل می‌کند. این نانوسیال جدید مبتنی بر گرافن عملکرد خنک‌کنندگی بهتری داشته و بنابراین کاهش مصرف برق را به‌دنبال دارد، عمر تجهیزات گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع^۱ را افزایش می‌دهد و درعین‌حال هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد و مهم‌تر از همه، ردپای کربن را نیز کم می‌کند [۷]. امیدواریم که با استفاده بهینه از این فناوری، بتوان بهبود و پیشرفت‌های بزرگ در زمینه‌های مختلف را به‌دست آورد.

۱-۳ مبانی نظری و اصول اولیه در نانوتکنولوژی

نانوتکنولوژی به‌عنوان یک حوزه پیشرفته از علم مواد، فیزیک، شیمی و مهندسی، به تحقیق و توسعه مواد و ساختارهای نانومتری می‌پردازد. در زیر مبانی نظری و اصول اولیه در نانوتکنولوژی را شرح خواهیم داد:

الف) اندازه نانومتری: یکی از ویژگی‌های اصلی در نانوتکنولوژی، اندازه نانومتری است. یعنی ساختارها، مواد و دستگاه‌ها در ابعاد نانومتر (۱ نانومتر برابر با 10^{-9} متر) ساخته می‌شوند. این ابعاد بسیار کوچک‌تر از ابعاد مواد معمولی است و باعث تغییر خواص منحصر به فرد آن‌ها می‌شود.

ب) خصوصیات نانومتری: به‌دلیل ابعاد بسیار کوچک، مواد نانومتری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و الکترونیکی منحصر به فردی دارند که باعث امکانات جدید در زمینه‌های مختلف می‌شود. ماده در مقیاس نانو می‌تواند خصوصیات و رفتارهای عجیب و جالبی داشته