



کاربرد نانوفناوری در علوم پایه

(کلیه رشته‌های علوم پایه)

دکتر علی اصغر شکری دکتر حسن کرمی دکتر شهریار سعیدیان
دکتر علیرضا مظلومی بجزستانی دکتر عقیله حیدری

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

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 عرصه‌ی 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 شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی 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 مجموعه‌ی 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 فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی 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 بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها 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 پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

ابوالفضل فراهانی

رئیس دانشگاه پیام‌نور

فهرست

یازده

۱

۱

۳

۶

۷

۸

۱۰

۱۲

۱۳

۱۴

۱۵

۱۷

۱۷

۱۸

۱۸

۱۸

۱۹

۲۰

۲۲

۲۴

۲۷

۲۷

۲۸

۲۹

۳۰

پیشگفتار

فصل اول: مروری بر فناوری نانو

مقدمه

۱-۱ تعریف فناوری نانو

۲-۱ تاریخچه فناوری نانو

۳-۱ ضرورت توجه به فناوری نانو

۴-۱ خواص نانومواد

۵-۱ سیستم‌های نانومتری

۱-۵-۱ مواد صفر بُعدی

۲-۵-۱ مواد یک بُعدی

۳-۵-۱ مواد دو بُعدی

۴-۵-۱ مواد سه بُعدی

۶-۱ روش‌های تولید نانومواد

۷-۱ ابزارهای شناسایی دنیای نانو

۸-۱ شاخه‌های فناوری نانو

۱-۸-۱ فناوری نانو زیستی

۲-۸-۱ فناوری نانو غیر زیستی

۳-۸-۱ فناوری نانو محاسباتی

۹-۱ کاربردهای فناوری نانو

۱۰-۱ فناوری نانو در جهان

خودآزمایی فصل اول

فصل دوم: طبقه‌بندی نانومواد

مقدمه

۱-۲ طبقه‌بندی نانومواد

۲-۲ نانوذرات

۱-۲-۲ نانوذرات سرمایه‌ی

۳۱	۲-۲-۲ نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای سرامیکی
۳۲	۳-۲-۲ نانوذرات فلزی
۳۲	۴-۲-۲ نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای فلزی
۳۲	۵-۲-۲ کاربردهای نانوذرات
۳۳	۳-۲ نانوساختارها
۳۳	۱-۳-۲ نانوفیبرها یا نانوالیاف
۳۴	۲-۳-۲ نانوسیم‌ها (سیم‌های کوانتومی)
۳۶	۳-۳-۲ نانولوله‌ها
۴۷	۴-۳-۲ فولرین‌ها
۵۱	۵-۳-۲ نانومیله‌ها
۵۱	۶-۳-۲ نانوکپسول‌ها
۵۳	۷-۳-۲ مواد نانوحفره‌ای
۵۵	۴-۲ نانوفیلم‌ها
۵۶	۵-۲ نقاط کوانتومی
۵۷	۱-۵-۲ خواص نقاط کوانتومی
۵۸	۲-۵-۲ کاربردهای نقاط کوانتومی
۵۹	۶-۲ سایر نانومواد
۵۹	۱-۶-۲ نانوپودرها
۶۰	۲-۶-۲ نانوکامپوزیت‌ها
۶۴	۳-۶-۲ مواد نانوبلوری
۶۵	۴-۶-۲ نانوساختارهای آلی منظم
۶۶	۷-۲ خطرات نانومواد
۶۷	خودآزمایی فصل دوم

فصل سوم: روش‌های سنتز و شناسایی نانومواد

مقدمه

۷۱	۱-۳ روش‌های سنتز نانومواد
۷۱	۱-۱-۳ روش‌های بالا به پایین
۷۲	۲-۱-۳ روش‌های پایین به بالا
۸۱	۲-۳ ابزارهای شناسایی دنیای نانو
۹۲	۱-۲-۳ میکروسکوپ‌های الکترونی
۹۳	۲-۲-۳ روش‌های طیف‌سنجی
۱۰۳	خودآزمایی فصل سوم
۱۱۲	

فصل چهارم: کاربرد شیمی در فناوری نانو

مقدمه

۱۱۵	۱-۴ روش‌های شیمیایی سنتز نانومواد
۱۱۶	۲-۴ سنتز الکتروشیمیایی نانوذرات
۱۱۷	۳-۴ سنتز نانوساختارها در حضور امواج اولتراسونیک
۱۲۲	۴-۴ سل-ژل
۱۲۷	۱-۴-۴ روش‌های سل-ژل مبتنی بر پلیمرهای آلی
۱۲۹	۲-۴-۴ سلیکاژل
۱۳۱	۵-۴ روش‌های سولوترمال
۱۳۴	

۱۳۸	۴-۶ روش الکتروهیدروترمال
۱۳۸	۴-۷ روش‌های مبتنی بر تشکیل مایسل
۱۴۳	۴-۸ واکنش‌های حالت جامد
۱۴۴	۴-۹ سایر روش‌ها
۱۴۴	۴-۹-۱ روش‌های خودآرایی
۱۴۵	۴-۹-۲ فرایندهای بر پایه آنروسل
۱۴۶	۴-۹-۳ روش‌های مبتنی بر الگوی پایه
۱۴۶	۴-۹-۴ واکنش‌های جامد-مایع
۱۴۷	۴-۹-۵ سنتز نانوذرات به روش هم‌رسوبی
۱۴۷	۴-۹-۶ سنتز نانوذرات در حضور امواج میکروویو
۱۴۸	۴-۹-۷ سنتز نانوذرات به روش پاشش افشانه‌ای
۱۴۹	خودآزمایی فصل چهارم

فصل پنجم: نانوفیزیک

۱۵۱	مقدمه
۱۵۳	۵-۱ کاربردهای متنوع علم فیزیک در نانو ساختارها
۱۵۳	۵-۱-۱ خواص مکانیکی
۱۵۴	۵-۱-۲ خواص اپتیکی
۱۵۴	۵-۱-۳ خواص الکتریکی
۱۵۵	۵-۲ نانو الکترونیک
۱۵۸	۵-۳ درجه آزادی اسپین الکترون‌ها
۱۵۹	۵-۴ الکترونیک اسپینی
۱۷۲	۵-۵ نانوفوتونیک
۱۷۳	خودآزمایی فصل پنجم

فصل ششم: کاربرد نانوفناوری در ریاضی

۱۷۵	مقدمه
۱۷۸	۶-۱ مدل‌سازی
۱۷۸	۶-۱-۱ انواع مدل‌سازی
۱۷۹	۶-۱-۲ فرایند عملی ساخت یک مدل ریاضی
۱۸۳	۶-۲ محاسبات عددی
۱۸۳	۶-۲-۱ بسط تیلور و مک‌لورن
۱۸۴	۶-۲-۲ حل معادلات غیرخطی
۱۸۸	۶-۲-۳ درونیابی
۱۹۱	۶-۲-۴ برازش منحنی
۱۹۲	۶-۲-۵ مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری
۱۹۶	۶-۲-۶ حل عددی معادلات دیفرانسیل
۱۹۷	خودآزمایی فصل ششم

فصل هفتم: نانوفناوری زیستی

۲۰۱	مقدمه
۲۰۳	۷-۱ واحدهای ساختمانی زیستی
۲۰۳	۷-۱-۱ اندازه نانو ساختارها و واحدهای ساختمانی زیستی

۲۰۵	۷-۱-۲ نانو وایر پلی پپتید و نانوذره پروتئین
۲۰۷	۷-۱-۳ پروتئین و نانوفناوری مولکولی
۲۰۹	۷-۲ دستگاه‌های نانو برگرفته از مواد زیستی نوری
۲۱۲	۷-۳ اسیدهای نوکلئیک
۲۱۲	۷-۳-۱ نانو وایر دورشته ای DNA
۲۱۶	۷-۳-۲ DNA به عنوان یک چسب طبیعی هوشمند
۲۱۷	۷-۳-۳ سیم‌کشی بر فراز دنیای ابعاد نانو
۲۱۸	۷-۴ لیپیدها به عنوان نانوخشت‌ها
۲۱۹	۷-۴-۱ میسل‌ها و وزیکل‌ها
۲۲۰	۷-۴-۲ کاربرد لیپیدها در دارورسانی
۲۲۲	۷-۵ نانوفناوری زیستی از نگاه محصول
۲۲۲	۷-۵-۱ نانوذرات زیستی
۲۲۴	۷-۵-۲ به‌کارگیری نانومواد زیستی در پاک‌سازی محیط زیست
۲۲۶	۷-۵-۳ نانوصافی‌ها، نانو-حسگرها و مواد هوشمند
۲۲۷	۷-۵-۴ ماشین‌سازی نانوفناوری
۲۲۸	۷-۵-۵ کانال‌های یونی در نقش حسگرها
۲۲۹	۷-۵-۶ نانوفناوری زیستی در کشاورزی
۲۳۰	۷-۵-۷ نانوفناوری در پزشکی
۲۳۱	۷-۵-۸ استفاده از نانوفناوری در مغز مصنوعی و هوش طبیعی
۲۳۱	۷-۵-۹ نانوفناوری در خدمت وسایل عکس‌برداری
۲۳۱	۷-۵-۱۰ تأثیر نانوفناوری زیستی بر صنایع غذایی
۲۳۲	۷-۵-۱۱ کاربرد نانوفناوری در پرورش ماهی
۲۳۳	خودآزمایی فصل هفتم

فصل هشتم: فناوری نانو در علوم زمین

مقدمه

۲۳۵	۸-۱ نانوفسیل‌ها و محدوده حیات
۲۳۷	۸-۲ نانوفناوری و دفع آلودگی‌های زیست‌محیطی
۲۴۰	۸-۳ پاک‌سازی خاک
۲۴۲	۸-۴ فناوری نانو در ژئوشیمی
۲۴۳	۸-۵ تأثیر اندازه ذرات بر انحلال
۲۴۵	۸-۶ کاربردهای ژئوشیمیایی نانومفاد در مواد طبیعی
۲۴۶	۸-۷ نانوفناوری و اکتشافات معدنی
۲۴۸	۸-۸ رس‌ها و مواد نانوی طبیعی
۲۵۳	۸-۸-۱ کاربردهای نانورس‌ها و رس‌های آلی
۲۵۶	۸-۸-۲ سایر کاربردها
۲۵۷	۸-۹ نانورس‌های طبیعی
۲۵۸	۸-۱۰ کاربردهای آلفان
۲۵۹	۸-۱۱ مشکلات رس آلفانی در خاک
۲۶۰	خودآزمایی فصل هشتم
۲۶۱	

۲۶۳	منابع و مآخذ
-----	--------------

پیشگفتار

کتابی که در دست دارید با عنوان کاربرد فناوری نانو در علوم پایه، به عنوان یک کتاب آموزشی برای مقطع کارشناسی رشته‌های شیمی، فیزیک، زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و ریاضی بوده و معادل دو واحد درسی می‌باشد.

کتاب مذکور به جهت آشنایی دانشجویان با مفاهیم اصلی فناوری نانو و روش‌های سنتز و شناسایی نانومواد، تألیف شده است. این کتاب شامل هشت فصل بوده و به شکلی ارائه شده است که برای کلیه دانشجویان علوم پایه و نیز رشته‌های مهندسی شیمی قابل استفاده باشد.

در تدوین مطالب این کتاب سعی شده با توجه به اهداف تعریف‌شده، به صورت متنی خودآموز تهیه گردد. هر فصل براساس هدف کلی و هدف‌های رفتاری تنظیم شده است که در واقع نویسندگان انتظار دارند خوانندگان در راستای اهداف، سطح فراگیری و دانسته‌های خود را مشخص و ارتقاء دهند.

با آنکه در تهیه کتاب حاضر زحمات زیادی کشیده شده است، ولی بدون خطا نیز نمی‌باشد، به همین دلیل لازم است اساتید محترم، دانشجویان و متخصصان اهل فن پس از مطالعه، خطاها و اشتباهات را به بخش علوم پایه دانشگاه پیام نور یا دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی و یا به پست الکترونیکی aashokri@tpnu.ac.ir یا karami_h@yahoo.com ارسال نمایند تا در چاپ‌های بعدی اشکالات رفع گردد.

در انتها بر خود لازم می‌دانیم از همت اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر

میرشکرای و آقای دکتر حاج‌علیلو برای گرد هم آوردن مؤلفین این کتاب برای آغاز یک کار گروهی، و نیز از مساعدت‌ها و ویراستاری علمی اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر کریمی و آقای دکتر بنام قدردانی نماییم. همین‌طور از سرکار خانم مهندس هما بهنام برای مساعدت‌های بی‌دریغ‌شان در تایپ، نمونه‌خوانی و صفحه‌آرایی این کتاب تشکر می‌نماییم.

گروه مؤلفین

مردادماه ۱۳۹۳

فصل اول

مروری بر فناوری نانو

هدف کلی

در این فصل ابتدا به معرفی اجمالی فناوری نانو پرداخته و در ادامه، نگاهی به کاربردها و انواع محصولات آن خواهیم داشت.

هدف‌های یادگیری

- پس از مطالعه این فصل، باید قادر باشید به سؤالات ذیل پاسخ دهید:
۱. روند پیدایش علم فناوری نانو را توضیح دهید و علت این که چرا به آن یک علم میان‌رشته‌ای می‌گویند را تشریح نمایید.
 ۲. مفهوم فناوری نانو را بیان کنید و از جهات مختلف آن را دسته‌بندی نمایید.
 ۳. نحوه شناسایی مواد نانو را به روش‌های طیف‌سنجی و میکروسکوپی شرح دهید.
 ۴. لزوم توجه سرمایه‌گذاری کشورهای مختلف جهان بر این فناوری را توضیح داده و موقعیت کنونی جمهوری اسلامی ایران را در این زمینه بیان کنید.

مقدمه

از جنگ جهانی دوم تاکنون با اختراعاتی نظیر کامپیوتر و شناسایی ساختار DNA، پیشرفت علوم و فناوری آنچنان خارق‌العاده بوده که آن را به‌عنوان انقلابی‌ترین دوران در تاریخ علم بشر به‌شمار می‌آورند. به‌عبارت دیگر، در این دوران نه‌تنها فناوری‌های

عصر صنعت به منظور حل معضلات و مشکلات عدیده جوامع بشری و پاسخگویی به مسائل زیست محیطی و بحران های کمبود انرژی توسعه یافته است، بلکه بشر توانسته با دستیابی به فناوری های جدید مانند فناوری اطلاعات و زیست فناوری به پیشرفت های چشمگیری دست یابد. اکنون حتی بشر توانسته است با وارد شدن در عمق ماده، به جای سروکار داشتن با توده های عظیمی از آن، موادی خلق کند که به طرز باورنکردنی نازک و کوچک هستند. این دیگر پیشرفت تلقی نشده بلکه خود انقلابی دیگر محسوب می شود.

به طور کلی، دگرگونی های شگرفی طی چند دهه اخیر به طور خاص در فناوری های زیست محیطی و انرژی های تجدیدپذیر و به طور عام در خلق ثروت از دانش و فناوری در جهان رخ داده است، به گونه ای که انتظار می رود در قرن بیست و یکم، اقتصادهای مبتنی بر دانش در بسیاری از کشورها شکل گرفته و جوامع اطلاعاتی دانش محور که در آنها ثروت ملی و رشد اقتصادی در قالب ایده ها و دانش های فنی سنجیده می شود، یکی پس از دیگری پدیدار شده و توسعه یابند. از جمله دلایل این تحولات می توان به رخداد انقلاب فراصنعتی و جهانی شدن اقتصاد، عقد موافقت نامه های تجاری مختلف بین کشورها و وقوع تحولات شتابان علم و فناوری اشاره نمود. با عنایت به موارد فوق اهمیت دستیابی به علوم و فناوری نانو، به عنوان فناوری آینده جهان، به خوبی مشهود است، به طوری که فناوری نانو را بستر لازم برای شکوفایی بسیاری از فناوری های مهم دیگر از جمله دو دستاورد بسیار عظیم قرن بیستم یعنی فناوری اطلاعات^۱ و زیست فناوری^۲ می دانند. این سه مورد به عنوان فناوری های دگرگون ساز نامیده می شوند.

تعریف فناوری اطلاعات ساده نیست ولی برای فهم آن می توان گفت که نامه های الکترونیک، وبسایت ها و غیره حدود ۸۰ درصد از مفهوم آن را می رسانند. در واقع این فناوری، فرهنگ استفاده و انتقال الکترونیکی نامه ها و ایجاد اطلاعات و در اختیار دیگران قرارداد را شامل می شود. به عنوان مثال با جستجوی موضوعی در سایت های جستجوگری نظیر گوگل دیده می شود که تعداد سایت های ایرانی در آن مورد کم است، این بدان معناست که ما هنوز نتوانسته ایم فناوری اطلاعات را خیلی گسترش دهیم. به

1. Information technology (IT)

2. Biotechnology (BT)

عبارت دیگر، فناوری اطلاعات بیشتر یک فرهنگ‌سازی است تا فناوری، به‌طوری که کار خریداران، فروشندگان و مصرف‌کنندگان را ساده می‌کند. در همین راستا، پیشنهاد ایجاد شهر الکترونیکی در دانشگاه‌ها می‌تواند یک نوع فناوری اطلاعات باشد. در مورد زیست‌فناوری با سلول‌ها، ژن و DNA که در ابعاد نانو هستند سروکار داریم که به‌نوعی با فناوری نانو مرتبط است. در فناوری نانو کار ما ساخت ماشین‌های نانویی، نانوربات، نانوماشین یا به قول فاینمن^۱ نانودکتر و غیره است، اما در زیست‌فناوری که از میلیون‌ها سال قبل وجود داشته و کار می‌کرده، سیستم‌های هوشمندی هستند که فناوری آن در خودش وجود دارد و ما تنها از آن استفاده می‌کنیم. بنابراین در این قسمت، هدف شناخت و نحوه استفاده یا سوءاستفاده از فناوری نانو بوده و در ادامه به تفصیل در مورد آن صحبت خواهیم کرد.

۱-۱ تعریف فناوری نانو

نانو به‌عنوان یکی از پیشوندهای مقیاس اندازه‌گیری در سیستم SI، به‌معنای یک میلیاردم واحد آن مقیاس می‌باشد. برای مثال یک نانومتر معادل یک میلیاردم متر است. ریشه اصطلاح نانو کلمه یونانی وارف^۲ به‌معنای «از حد معمول کوتاه‌تر و کمتر، بسیار ریز و کوچک» می‌باشد. اما در زبان علمی نانو به‌معنای 10^{-9} است. پس یک نانومتر 10^{-9} متر می‌باشد. اگر بخواهیم احساس فیزیکی نسبت به آن داشته باشیم، می‌توان به مثال‌های زیر اشاره کرد: طول موج رنگ آبی تقریباً برابر با ۵۰۰ نانومتر است، میزان فاصله دیسک‌خوان کامپیوتر با صفحه دیسک در هنگام فعال‌بودن برابر با ۱۵ نانومتر است و بالاخره یک نانومتر هشتاد هزار بار از قطر تار موی انسان باریک‌تر است. تمام این مثال‌ها به این منظور است که به فوق‌العاده کوچک‌بودن مقیاس نانو پی ببریم تا بتوان نانو را با ویروس‌ها و یا حتی تک‌مولکول‌های تشکیل‌دهنده آنها مقایسه کرد. تعریف آخر مقیاس نانو نمی‌تواند مقایسه درستی باشد، زیرا ضخامت موی انسان با توجه به خصوصیات فردی هر انسان از چند ده تا چند صد میکرومتر متغیر می‌باشد. بنابراین داشتن یک استاندارد برای بیان مفهوم مقیاس نانو ضروری می‌باشد. با ایجاد ارتباط میان اندازه اتم‌ها و مقیاس نانو می‌توان یک نانومتر را راحت‌تر تصور کرد. یک نانومتر برابر با قطر

1. Richard Feynman

2. Dwarf

۱۰ اتم هیدروژن و یا ۵ اتم سیلیسیم می‌باشد. با وجود اینکه درک اندازه یک اتم برای افراد غیرعلمی ساده نمی‌باشد، ولی تعریف فوق برای افراد معمولی نیز می‌تواند تصور ذهنی مناسبی ایجاد کند. در زیر به برخی از تعریف‌های پذیرفته‌شده فناوری نانو اشاره خواهد شد.

فناوری نانو، توانمندی تولید و ساخت مواد، ابزار و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در مقیاس نانومتر یا همان ابعاد اتمی و مولکولی و استفاده از خواصی است که در این حد ظاهر می‌شوند. به طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند. به طور کلی فناوری نانو، گسترش تولید و استفاده از ابزار و موادی است که حداقل یکی از سه بعد آنها در گستره ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. چیزی که با این تعریف مشخص می‌شود این است که فناوری نانو می‌تواند به عنوان روش‌ها و فناوری‌های دست‌کاری کوچک‌ترین اجزاء ماده یعنی اتم‌ها و مولکول‌ها باشد.

در حالی که تعریف‌های زیادی برای فناوری نانو وجود دارد، مؤسسه ملی فناوری نانو^۱ در آمریکا تعریفی را برای فناوری نانو ارائه می‌دهد که در برگیرنده هر سه تعریف ذیل باشد:

۱. توسعه فناوری و تحقیقات در ابعاد اتمی، مولکولی و یا ماکرومولکولی در مقیاس اندازه‌ای ۱ تا ۱۰۰ نانومتر.
۲. خلق و استفاده از ساختارها، ابزارها و سیستم‌هایی که به خاطر اندازه کوچک آنها، خواص و عملکرد نوینی دارند.
۳. توانایی کنترل یا دست‌کاری مواد در سطوح اتمی.

پژوهشگاه فناوری نانوی انگلستان، فناوری نانو را بدین‌گونه تعریف می‌کند: «قلمروی از علم و فناوری که به ابعاد و تغییرات ۰/۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌پردازد به شرط آنکه این ابعاد یا تغییرات بتوانند نقش مهمی در خواص قطعه ایفاء کنند».

همچنین می‌توان فناوری نانو را براساس اجزاء تشکیل‌دهنده این نام‌گذاری، یعنی «فناوری» و «نانو» تعریف نمود. فناوری در کل به معنای «ساخت ابزارهای کاربردی با استفاده از قوانین علمی» می‌باشد. همانطوری که گفته شد یک نانومتر به اندازه یک

۱. یک نهاد دولتی متولی فناوری نانو در کشور آمریکا است.

میلیارد متر است. بنابراین فناوری نانو به معنای «ساخت ابزارهای کاربردی در اندازه‌های یک میلیارد متر» می‌باشد.

با توجه به اینکه فناوری نانو مقوله‌ای نوپا و گسترده می‌باشد، هنوز هیچ تعریف همه‌جانبه‌ای از آن ارائه نشده است. با این وجود همگان با این توصیف ساده فناوری نانو توافق دارند: «دانشی است که به ما اجازه دست‌کاری مواد را در اساسی‌ترین سطوح یعنی اتم‌ها می‌دهد». در این فناوری همانطور که از نام آن پیداست، امکان ساخت مواد با استفاده از چینش اتم به اتم و مولکول به مولکول و توانایی آرایش مواد با دقت اتمی در حد نانومتر فراهم می‌شود.

دانشمندان، علوم نانو را به چهار گروه شامل مواد (گروه اول)، مقیاس‌ها (گروه دوم)، فناوری‌های الکترونیک، اپتوالکترونیک، اطلاعات و ارتباطات (گروه سوم) و بیولوژی و پزشکی (گروه چهارم) طبقه‌بندی کرده‌اند. این طبقه‌بندی باعث سهولت در بررسی این علوم شد، هرچند که تداخل بعضی از بخش‌ها با یکدیگر امری طبیعی است. برخی دیگر از دانشمندان، فناوری نانو را به سه گروه مواد، ابزارها و سیستم‌ها طبقه‌بندی می‌کنند.

گروه اول شامل موادی است که در سطح نانو در این فناوری به‌کار می‌روند و به آن «مواد نانو»^۱ نیز می‌گویند. نانوماده، به هر ماده‌ای که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس نانومتری (زیر ۱۰۰ نانومتر) باشد اطلاق می‌شود. این تعریف به وضوح انواع بسیار زیادی از ساختارها، اعم از ساخته دست بشر یا طبیعی را شامل می‌شود. منظور از یک ماده نانو ساختار، جامدی است که در کل ساختمان آن، یک نظم اتمی، مولکولی و یا بلوری خاصی در مقیاس نانومتری وجود داشته باشد. در حقیقت این مواد متشکل از بلورها یا دانه‌بندی‌های نانومتری هستند که هرکدام از آنها ممکن است از لحاظ ساختار اتمی، جهات بلورشناسی و یا ترکیب شیمیایی با هم متفاوت باشند. همه مواد از جمله فلزات، نیم‌رساناها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها می‌توانند در ابعاد نانومتری وجود داشته و یا ساخته شوند. همچنین مواد نانو می‌توانند به‌صورت ذرات بی‌شکل^۲، بلوری، ترکیبات آلی، ترکیبات معدنی، به‌صورت منفرد، مجتمع، پودر، کلوئیدی، سوسپانسیون و یا امولسیون باشند.

1. Nanomaterials

2. Amorph

۲-۱ تاریخچه فناوری نانو

همانطور که اشاره شد نانو از یک کلمه یونانی به معنای کوتوله یا چیزی کوچکتر از اندازه معمولی گرفته شده و در اصل، علمی است که درباره اجسام بسیار کوچک مطالعه می کند. ایده علم فناوری نانو شاید برای اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فاینمن فیزیکدان آمریکایی و دارنده جایزه نوبل سال ۱۹۶۵، در سخنرانی معروفش تحت عنوان «آن پایین ها فضای بسیاری هست»^۱ با اشاره به چگونگی چینش مولکول ها و اتم ها و فضای اطراف آنها مطرح شد. این جمله معروف، چشم اندازهای علمی جدیدی را به تصویر کشانده که در آن میلیاردها شیء که وی آنها را کارخانه های کوچک می نامید، در حال ساختن نسخه هایی از خودشان با رفتاری کاملاً مشابه بودند. وی در آن زمان اظهار کرد: «اصول فیزیک، تا آنجایی که من توانایی فهمیدن آن را دارم، امکان جابه جایی ماهرانه اتم به اتم اشیاء را فراهم می سازد و من آن را رد نمی کنم». او در این سخنرانی به بررسی بُعد رشد نیافته علم مواد پرداخت و فرض را بر این قرار داد که اگر دانشمندان فرا گرفته اند که چگونه ترانزیستور و دیگر سازه ها را با مقیاس های کوچک بسازند، پس خواهیم توانست که آنها را کوچک و کوچک تر کنیم. بعد از این سخنرانی، توجه دانشمندان به این مقوله از علم جلب شد و بعد از آن تلاش های زیادی جهت توسعه این دانش صورت گرفت. پانزده سال بعد، دانشمند ژاپنی به نام نوریوتا ینگوجی^۲ اصطلاح فناوری نانو را در دانشگاه توکیو به کار برد. اما در واقع این اریک درکسلر^۳ آمریکایی بود که در سال ۱۹۸۱ اولین مقاله علمی خود را در مورد فناوری نانومولکولی^۴ (MNT) ارائه داد. او با چاپ کتاب مشهور خود در سال ۱۹۸۶ با نام «موتورهای آفرینش، عصر ورود فناوری نانو»^۵ جهان را با اهمیت نانو آگاه ساخت. بینگ و روهرر^۶ نظریات درکسلر را به طریقه علمی توسعه دادند. آنها در سال ۱۹۸۱ میکروسکوپ تونل زنی پویشی^۷ (STM) را اختراع کردند و پنج سال بعد، به خاطر اختراع STM همراه با کشف میکروسکوپ الکترونی جایزه نوبل به آنها اعطاء گردید. آن دو اولین افرادی بودند که توانستند اتم را «بینند» و در واقع از اینجا بود که فناوری نانو آغاز شد.

1. There is plenty of room at the bottom

2. Norioto Yengoji

3. Eric Drexler

4. Molecular Nanotechnology (MNT)

5. Engines of creation. The Coming Age of Nanotechnology

6. Binnig and Rohrer

7. Scanning Tunneling Microscopy

۳-۱ ضرورت توجه به فناوری نانو

از وقتی فاینمن نظرات خود را بازگو کرد، جهان علم روندی به سوی کوچک شدن در پیش گرفت. گسترش علم نانو باعث شد که دانشمندان علوم مختلف مانند فیزیک، شیمی، متالورژی، مکانیک، الکترونیک، زیست‌شناختی و پزشکی توجه خاص خود را به آن معطوف کنند و یک همگرایی بین آنها به وجود آید و از آن به عنوان یک علم بین‌رشته‌ای نام ببرند. علت اهمیت آن این است که با کاهش ابعاد ماده در حد نانومتری از محدوده اعتبار مکانیک کلاسیک به محدوده مکانیک کوانتومی وارد می‌شویم و در نتیجه نتایج کوانتومی قابل مشاهده خواهد بود. یعنی زمانی که اندازه ذرات یک ماده از یک اندازه مشخصی کوچک‌تر می‌شود، علاوه بر ترکیب و ساختار ماده، ابعاد ماده نیز از عوامل تأثیرگذار بر روی خواص ماده خواهد بود. به همین دلیل در بسیاری از موارد، آنها را برای کاربردهای جدید با کارایی بالاتر و مفیدتر نسبت به ابعاد بزرگ قابل استفاده می‌سازد.

به‌طور خلاصه سه عامل می‌تواند اثرگذاری اندازه ذره بر خواص فیزیکی و شیمیایی آن را توجیه نماید:

- (الف) در مواد نانو، ابعاد ماده به اندازه‌های مولکولی و اتمی نزدیک می‌شوند.
- (ب) با کاهش اندازه ذرات تا محدوده نانومتری، نسبت سطح به حجم ذره افزایش چشمگیری می‌یابد.
- (ج) با کاهش اندازه ذره، حجم مرز دانه‌ها افزایش می‌یابد که این امر به نوبه خود بر روی خواص فیزیکی ماده تأثیر می‌گذارد.

در مورد عامل دوم می‌توان گفت که وقتی اندازه ذره کاهش می‌یابد، نسبت تعداد اتم‌های سطحی به تعداد کل اتم‌های سازنده آن ذره افزایش می‌یابد. از طرف دیگر اتم‌های سطحی ذره برخلاف اتم‌های داخلی، از تمام جهات با اتم‌های دیگر درگیر نبوده و این موضوع باعث می‌شود که ترازهای انرژی اتم‌های سطحی با اتم‌های داخلی ذره متفاوت باشند. بنابراین رفتار اتم‌های سطحی در طی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی با رفتار اتم‌های توده، متفاوت خواهد بود. هنگامی که اندازه ذره در حد میکرومتر باشد، نسبت تعداد اتم‌های سطحی به تعداد کل اتم‌های تشکیل‌دهنده ذره، بسیار کم و قابل چشم‌پوشی است. به همین دلیل در مواد معمولی، رفتار اتم‌های سطحی بر رفتار کل ماده

تأثیر محسوسی ندارد. اما در مواد نانو، تعداد اتم‌های سطحی در برابر اتم‌های داخلی ذره قابل توجه بوده و نوع رفتار این اتم‌های سطحی بر رفتار کلی ذره اثر می‌گذارد و باعث می‌شود که مواد نانو، خواص و رفتار متفاوتی با مواد معمولی داشته باشند.

با کاهش اندازه ذرات، نیروها و عواملی که در مورد مواد معمولاً بی‌اهمیت هستند مهم خواهند شد. به عنوان نمونه می‌توان از آنچه در سیالات تحت عنوان «تحلیل ابعادی» به کار برده می‌شود، اشاره کرد. برای مثال عدد وبر (We) که جزء یکی از اعداد بدون بُعد مهم در مدل‌سازی‌های مکانیکی است و از تقسیم نیروهای اینرسی بر نیروهای کشش سطحی به دست می‌آید، در مدل‌های با ابعاد بزرگ می‌تواند صرف‌نظر شود، در حالی که برای مدل‌های کوچک تأثیرات آن به شدت افزایش می‌یابد و قابل صرف‌نظر کردن نیست. همچنین می‌توان به اثرات ویسکوزیته یا چسبندگی، برخوردهای ناشی از حرکت براونی^۱ و نیروهای سطحی نیز اشاره کرد که در مکانیک سیالات اغلب از آنها چشم‌پوشی می‌شود در حالی که در مواد نانو تأثیر آنها قابل توجه است. برای پی‌بردن به نقش نیروهای سطحی باید توجه کرد که ذخیره اطلاعات در ژن و انتخابگری دقیق واکنش‌های بیوشیمیایی براساس تشخیص و جفت‌شدگی شیمیایی صورت می‌گیرد و در این امر نیروهای سطحی نقش عمده‌ای را به عهده دارند.

به علت خواص منحصر به فرد مواد نانو، این مواد روزه‌روز توجه بیشتری را به خود جلب می‌کنند. تغییر اندازه دانه‌ها باعث خواهد شد تا خواص فیزیکی مواد تغییر یابد و افزایش سطح تماس باعث تغییر در واکنش‌پذیری شیمیایی و در نتیجه تغییر در خواص شیمیایی نیز خواهد شد.

۱-۴ خواص نانومواد

گذر از مقیاس میکرو به نانو، موجب تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی می‌شود که دو مورد مهم آن شامل افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی می‌باشد. افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم‌های واقع در سطح ماده به رفتار اتم‌های درونی می‌شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت بدون برهم‌کنش و نیز بر خواص آن در

حین برهم‌کنش با سایر مواد اثر می‌گذارد. افزایش سطح، واکنش‌پذیری نانومواد را به شدت افزایش می‌دهد، زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده نمونه بسیار زیاد می‌شود، به‌گونه‌ای که این ذرات به‌شدت تمایل به کلوخه‌شدن^۱ دارند. به‌عنوان مثال در مورد نانوذرات فلزی به‌محض قرارگیری در معرض هوا، به‌سرعت اکسید می‌شوند. در بعضی مواقع برای حفظ خواص مطلوب مواد نانو و جهت پیشگیری از واکنش بیشتر، یک پایدارکننده را بایستی به آنها افزود تا آنها را قادر سازد که در برابر سایش، فرسودگی و خوردگی مقاوم شوند.

مساحت زیاد، عامل کلیدی در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها می‌باشد. به‌عنوان مثال با استفاده از این خاصیت می‌توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به‌نحو مؤثری بهبود بخشید. همچنین در تولید نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از این مواد، پیوندهای شیمیایی مستحکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات پخش‌شده برقرار می‌شود و استحکام آن به‌شدت افزایش می‌یابد. علاوه بر این افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم‌های ذرات می‌شود. تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات، تغییر قابل توجهی را در خواص ماده موجب می‌شود. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر داده و این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (نقطه ذوب، نقطه جوش و غیره) تأثیرگذار خواهد بود.

به‌محض آنکه ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، شروع به رفتار مکانیک کوانتومی می‌کنند. خواص نقاط کوانتومی مثالی از این نوع رفتار می‌باشد، زیرا نقاط کوانتومی در واقع بلورهایی در اندازه نانو می‌باشند که از خود نور ساطع می‌کنند. انتشار نور توسط این نقاط در تشخیص‌های پزشکی کاربرد فراوانی دارد. این نقاط گاهی «اتم‌های مصنوعی» نیز نامیده می‌شوند، چون الکترون‌های آزاد آنها مشابه الکترون‌های محبوس در اتم‌ها، ترازهای انرژی مجاز و گسسته را اشغال می‌کنند. از این‌رو می‌توان به‌نوعی روی خواص ذاتی مواد در ابعاد نانو کنترل داشت. علاوه بر این، کوچک‌تر بودن ابعاد نانوذرات از طول موج بحرانی نور، آنها را نامرئی و شفاف می‌نماید^۲. این خاصیت

1. Agglomeration

۲. اگر اندازه یک ذره از طول موج نور کوتاه‌تر باشد، آن ذره نمی‌تواند نور را جذب، پراکنده و یا انعکاس دهد، بنابراین نسبت به نور نامرئی می‌شود.

باعث شده است تا مواد نانو برای مصارفی چون بسته‌بندی، مواد آرایشی و روکش‌ها مناسب باشند.

مواد در مقیاس نانو، رفتار متفاوت، نامنظم و کنترل‌نشده‌ای از خود بروز داده و با کوچک‌تر شدن ذرات، خواص آنها نیز تغییر می‌کند. به عنوان مثال، فلزات سخت‌تر و سرامیک‌ها نرم‌تر می‌شوند. برخی از ویژگی‌های مواد نانو در جدول ۱-۱ به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۱ ویژگی‌های مواد نانو

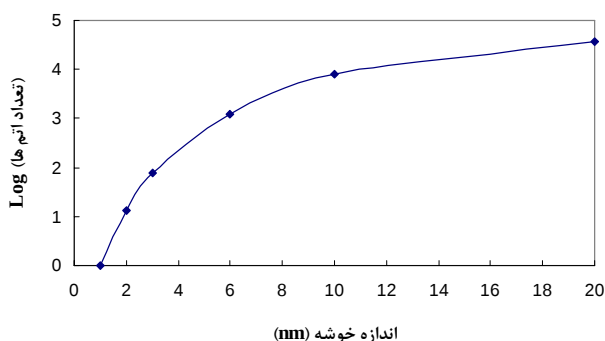
خصوصیات	مثال‌ها
کاتالیستی	اثر کاتالیستی بهتر، به دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر
الکتریکی	افزایش هدایت الکتریکی در سرامیک‌ها و نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی، افزایش مقاومت الکتریکی در فلزات
مغناطیسی	افزایش مغناطیسیت با اندازه بحرانی دانه‌ها، رفتار سوپرپارامغناطیسیت ذرات
نوری	خصوصیات فلوئورسانسی، افزایش اثر کوانتمی کریستال‌های نیم‌رسانا
بیولوژیکی	افزایش نفوذپذیری از بین حصارهای بیولوژیکی (غشاء و سد مغز، خون و غیره) و بهبود زیست‌سازگاری

۱-۵ سیستم‌های نانومتری

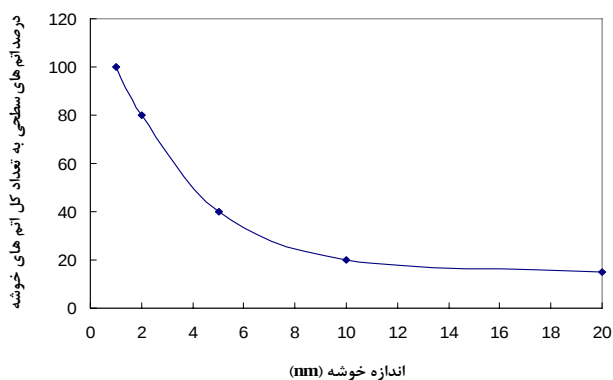
تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری استفاده می‌شود. برای دستیابی به سیستم‌هایی در ابعاد نانومتری لازم است که یک یا چند بُعد از ماده را در اندازه نانومتری کوچک کرد. البته تنها اندازه کوچک مدنظر نیست، بلکه زمانی که اندازه مواد در مقیاس نانو قرار می‌گیرد خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت در برابر خوردگی و غیره تغییر می‌یابد. چنانچه بخواهیم تفاوت فناوری نانو در مقایسه با فناوری‌های دیگر را مورد ارزیابی قرار دهیم، می‌توانیم وجود «عناصر پایه» را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر در مقیاس نانویی هستند که خواص آنها در حالت نانو با خواصشان در مقیاس بزرگ‌تر فرق می‌کند. عناصر پایه سیستم‌های نانومتری انواع گوناگونی نظیر نانوذرات، نانوتیوب‌ها، نانوفیلم‌ها، نانوسیم‌ها، نانوپودرها و غیره را شامل می‌شود. برای تهیه هر کدام از این سیستم‌ها نیز روش‌های متنوعی وجود دارد که می‌توان آنها را از یکدیگر تفکیک و طبقه‌بندی نمود، اما معمولاً متداول‌ترین نوع طبقه‌بندی براساس ابعاد می‌باشد. باید توجه داشت شرط اولیه فناوری نانو این است که حداقل یک بُعد از سه بُعد ماده در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر قرار گیرد. در این طبقه‌بندی علاوه بر این شرط،

مواد و ساختارهای نانومتری را براساس نسبت ابعاد آنها در راستای محورهای مختصات دکارتی با واحدهای بیست نانومتری طبقه‌بندی می‌کنند.

حال ممکن است این سؤال مطرح شود که چرا اندازه بیست نانومتر را به‌عنوان واحد در نظر گرفته‌اند؟ علت این امر را می‌توان در نمودارهایی که در شکل‌های ۱-۱ و ۲-۱ آورده شده است، مشاهده نمود. در این شکل‌ها فرض شده است که هر اتم اندازه‌ای حدود نیم نانومتر دارد که چندین اتم با هم یک خوشه نانومتری را می‌سازند.



شکل ۱-۱ تغییر تعداد کل اتم‌ها نسبت به اندازه خوشه



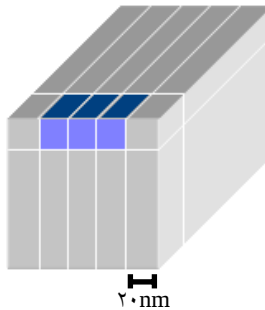
شکل ۲-۱ اثر اندازه خوشه بر تعداد اتم‌های سطحی آن

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، با افزایش اندازه خوشه، تعداد اتم‌های سازنده آن افزایش می‌یابد. با بررسی شکل ۲-۱ در می‌یابیم که وقتی اندازه خوشه حدود ۲۰ نانومتر است، سهم اتم‌های سطحی خوشه حدود ۲۰ درصد تعداد کل

اتم‌های سازنده آن می‌باشد. در این حالت خواص اتم‌های سطحی بر خواص خوشه تأثیر به‌سزایی خواهد داشت و همین موضوع اهمیت اندازه ۲۰ نانومتر را در طبقه‌بندی مواد نانو نشان می‌دهد. مواد نانو از لحاظ ابعاد به چهار گروه زیر تقسیم می‌شود:

۱-۵-۱ مواد صفر بُعدی^۱

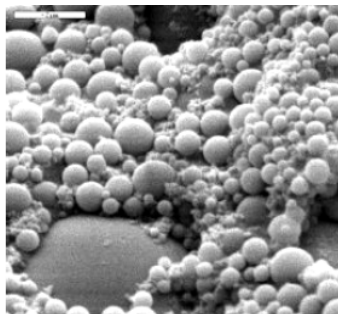
در این گروه موادی قرار می‌گیرند که در هیچ راستایی اندازه آنها به واحد نمی‌رسد، یا به عبارت دیگر اندازه هر سه بُعد آنها کمتر از ۲۰ نانومتر می‌باشد. در این سیستم‌ها چون هر سه بُعدشان در حد نانومتری کاهش می‌یابد، به نانوسیستم‌های صفر بُعدی معروف‌اند (شکل ۱-۳). به این سیستم‌ها نانوذرات، نانوپودرها، نانوخوشه‌ها و یا نانوبلورها نیز می‌گویند.



شکل ۱-۳ شماتیک یک ماده صفر بُعدی

نانوپودرها که تصویر نمونه‌ای از آنها در شکل ۱-۴ نشان داده شده، انواع گوناگونی دارند و از مواد مختلفی نظیر فلزات، نیم‌رساناها، سرامیک‌ها و غیره ساخته می‌شوند. به دلیل گستردگی مواد سازنده نانوذرات، خواص و کاربردهای متنوعی برای آنها وجود دارد. خواص کاتالیستی، الکترونیکی و اپتوالکترونیکی از جمله خواصی هستند که در نانوذرات دیده می‌شوند. همچنین، آنها در دیوهای نشر نوری^۲ (LED)، مدارهای میکروالکترونیکی، حسگرها، پیل‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی و برچسب‌های بیولوژیکی فلئورسان به کار می‌روند.

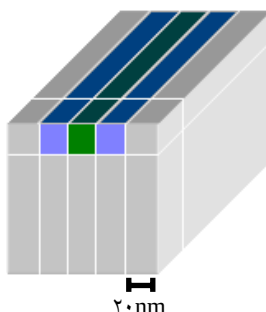
1. Zero Dimensionality Modulation
2. Light Emission Diode (LED)



شکل ۱-۴ نانوپودر

۱-۵-۲ مواد یک‌بُعدی^۱

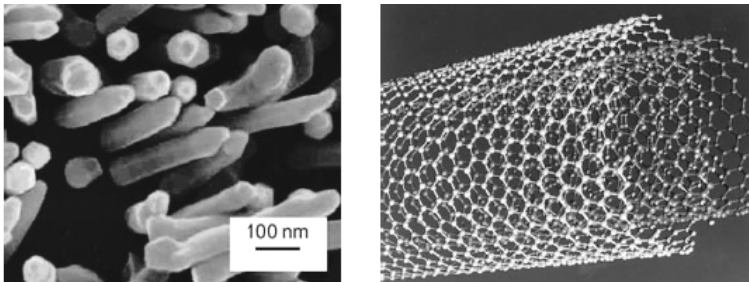
در این گروه موادی قرار می‌گیرند که تنها در یک راستا دارای اندازه‌هایی بزرگ‌تر از واحد می‌باشند، یعنی اندازه یک بُعد از سه بُعد آنها بزرگ‌تر از ۲۰ نانومتر است (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵ نمایش فرضی یک ماده یک‌بُعدی

موادی مانند فیبرهای نانومتری، نانولوله‌های کربنی، نانوسیم‌ها و نانومیله‌ها که تنها در راستای یک محور، دارای طولی بیش از واحد هستند جزء این گروه محسوب می‌شوند (شکل ۱-۶). نانولوله‌های کربنی که دسته بزرگی از نانوسیستم‌ها را تشکیل می‌دهند از کربن ساخته می‌شوند. این نانولوله‌ها در سال ۱۹۹۱ کشف شدند و در حقیقت لوله‌هایی از گرافیت می‌باشند. اگر صفحات گرافیت را پیچیده و به شکل لوله در بیاوریم، به نانولوله‌های کربنی می‌رسیم. نانولوله‌های کربنی دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند به تک‌دیواره شامل یک لوله گرافیت و یا چنددیواره که از

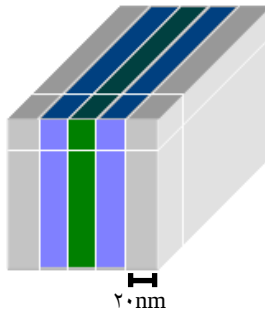
تعدادی لوله‌های متحدالمرکز تشکیل شده است تقسیم شوند. این لوله‌ها خواص بسیار جالبی دارند که منجر به کاربردهای حائز اهمیتی می‌شوند. از این نانولوله‌ها می‌توان در باتری‌ها به‌عنوان ذخیره‌کننده هیدروژن و لیتیم استفاده کرد. همچنین، از آن‌جایی که این نانولوله‌ها استحکام کششی غیرعادی دارند، چنانچه با قیمت پایین ساخته شوند، می‌توان از آنها در مصالح ساختمانی استفاده کرد. نانولوله‌های کربنی چنددیواره را می‌توان مانند پیستون‌ها به‌طرف داخل هل داد و یا به بیرون کشید و در ماشین‌ها به‌کار برد.



شکل ۱-۶ نانولوله کربنی (نصویر سمت راست) و نانولوله ساده (تصویر سمت چپ)

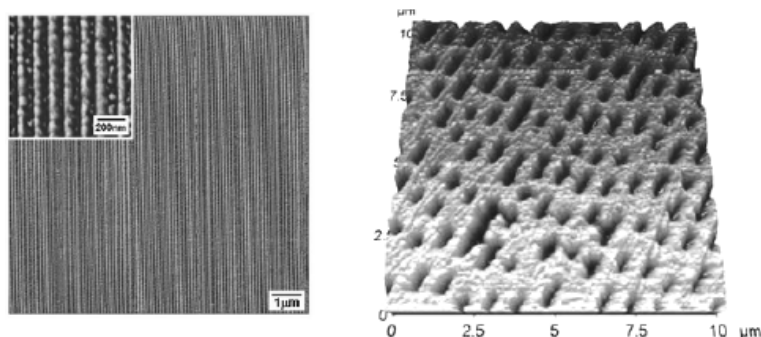
۱-۵-۳ مواد دوبُعدی^۱

در این گروه موادی قرار می‌گیرند که در دو راستا دارای طولی بیش از واحد می‌باشند. به‌عبارت دیگر، اندازه دو بُعد از سه بعد آنها بیشتر از ۲۰ نانومتر می‌باشد. مانند هر ماده چندلایه‌ای که دارای لایه‌های با ضخامت کمتر از واحد است و یا انواع نانوفیلم‌ها که فقط ضخامت آنها کمتر از واحد می‌باشد (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷ نمایش فرضی یک ماده دوبُعدی

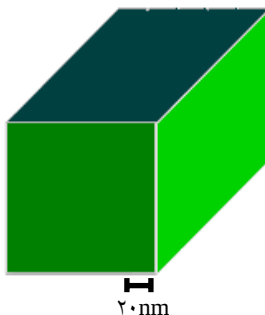
لایه‌های نازک کاربردهای متفاوتی دارند. به‌طور مثال بر روی شیشه‌های عینک یا شیشه‌های اتومبیل چندین لایه از نانوفیلم‌های ضد بازتاب، ضدخش و دیگر لایه‌های مقاوم که همگی شفاف هستند قرار داده و کیفیت این شیشه‌ها را افزایش می‌دهند. همچنین برخی از نانوفیلم‌ها به‌صورت تراشه‌های سیلیکونی در صنعت الکترونیک و در وسایل اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۸-۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ای از نانوفیلم‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱ نمونه‌ای از نانوفیلم‌ها

۱-۵-۴ مواد سه‌بُعدی^۱

در این گروه موادی قرار می‌گیرند که در هر سه بُعد دارای اندازه‌های بزرگ‌تر از واحد هستند، نظیر مواد با فاز نانومتری (در این مواد چند ترکیب فازی مختلف به یکدیگر چسبیده و یک ذره بزرگ‌تری را می‌سازند که در هر سه راستا دارای اندازه‌های بیش از حدود ۲۰ نانومتر می‌باشد ولی حداقل یک بُعد هر فاز از واحد کوچک‌تر است).



شکل ۹-۱ تصویر فرضی از یک ماده سه‌بُعدی