

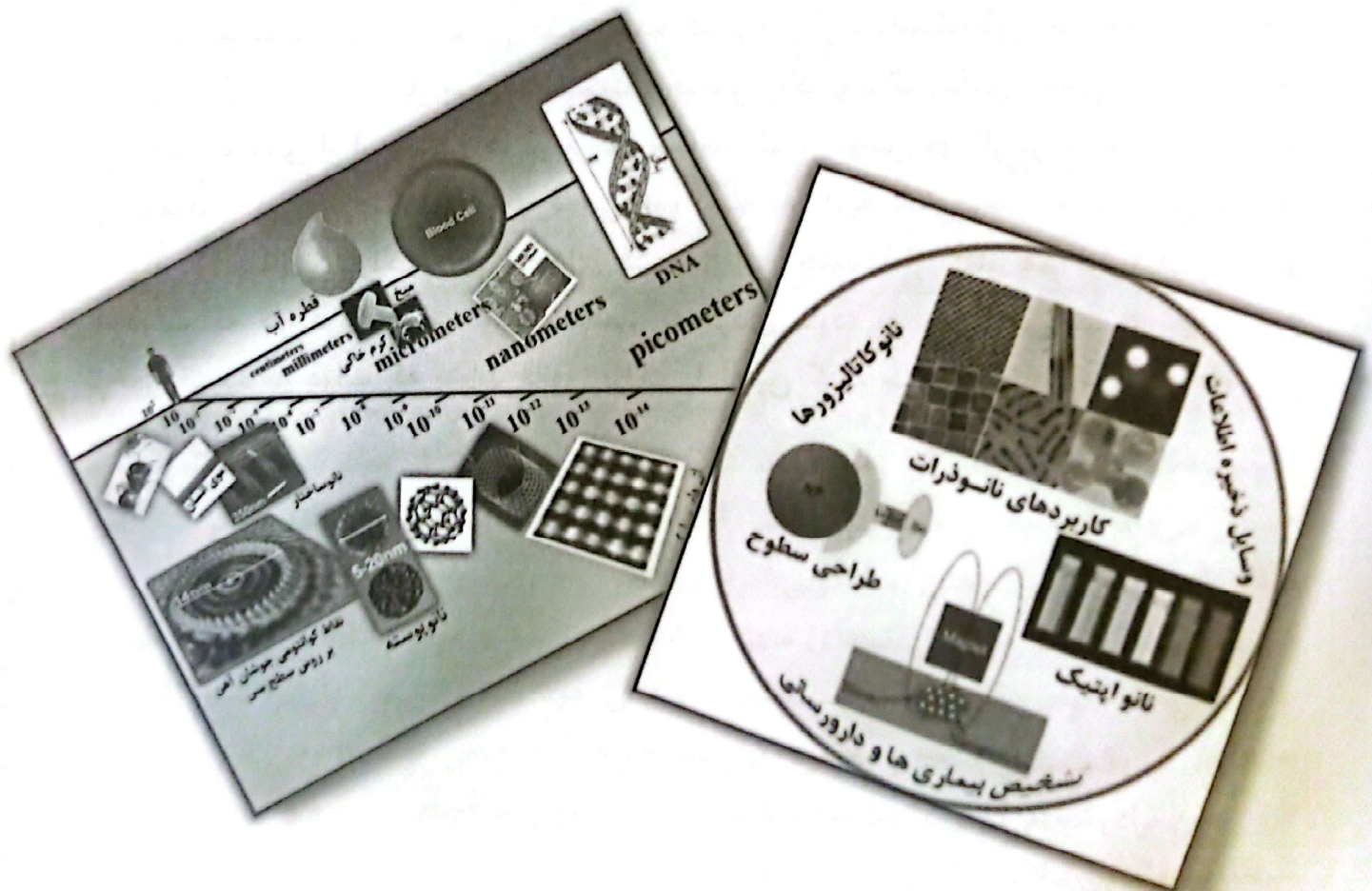
فصل اول:

مقدمه‌ای بر نانوفناوری

پیشوند نانودر علم مقیاس‌ها به معنی یک میلیاردم است. بنابراین یک نانومتر یک میلیاردم متر است. نانوفناوری، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص آن‌ها در مقیاس نانومی باشد. نانوفناوری یک رشته نیست بلکه رویکرد جدیدی در تمام رشته‌هاست.

به دلیل تأثیر این فناوری بر اکثر صنایع و فناوری‌های موجود، عقیده صاحب نظران این است که متخصصان رشته‌های مختلف بدون گرایش به مباحث نانو در دهه‌های آینده، فرصتی برای رشد نخواهند داشت. از این جهت این مسئله برای دانشگاهیان، محققان و مسؤولان هر کشور امری حیاتی است.

در این فصل سعی شده است تا خواننده آشنایی مختصری نسبت به جنبه‌های مختلف این رشته بدست آورد و ضمن پی بردن به اهمیت این رشته، آن را یکی از جذاب‌ترین رشته‌های علمی - پژوهشی قرن اخیر دریابد.^۱



۱ - تصویر بالا) مقایسه مقیاس‌های مختلف به همراه نمونه‌هایی از آن، تصویر پایین) نمایش برخی از کاربردهای نانوفناوری در زندگی روزمره.

۱-۱. مقدمه

شاید بتوان گفت اولین نانوتکنولوژیست‌ها شیشه‌گران قرون وسطا بودند. در آن زمان برای ساخت شیشه‌های کلیساها از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است که بدینوسیله شیشه‌های رنگی بسیار زیبایی بدست می‌آمد. نمونه دیگری از آن، جام مشهور لیکرگوس^۱ متعلق به قرن چهارم میلادی و مربوط به روم است که تصویری از شاه افسانه‌ای، لیکرگوس (شکل ۱-۱) بر آن نقش بسته است. این جام که در موزه بریتانیا نگهداری می‌شود، در نور روز، به رنگ سبز دیده می‌شود ولی با تاباندن نور به داخل جام، به رنگ قرمز دیده می‌شود و بخشی از آن نقش به رنگ صورتی در می‌آید. این خاصیت اپتیکی غیرمعمول بدلیل وجود ذرات طلا و نقره ۷۰ نانومتری است. در واقع ذرات بسیار ریز و در ابعاد نانومتری طلا مسئول چنین پدیده‌ای در جام هستند.

اخیراً در عملیات باستان شناسی کشف شده که برخی از سرامیک‌های لعاب‌دار دوره خلفای عباسی دارای طرحی بسیار پیچیده هستند و چندین رنگ و تالو رنگین کمانی را از خود نشان می‌دهند. تعدادی از این کاشی‌ها در برخی مساجد کشور تونس به کار برده شده است. وقتی نور سفید به این سرامیک‌ها برخورد می‌کند، بسته به زاویه تابش رنگ لعاب عوض می‌شود (مانند بال پروانه یا رنگ روی لوح‌های فشرده). این جلوه‌ها از کنار هم قرارگرفتن تناوبی نانوذرات که هر ذره خواص نوری منحصر به فردی دارد، به وجود می‌آید. هر طول موج برخوردکننده به ذرات که بتواند قانون براگ را تامین کند، منعکس شده و رنگ خاصی را پدیدار می‌نماید.

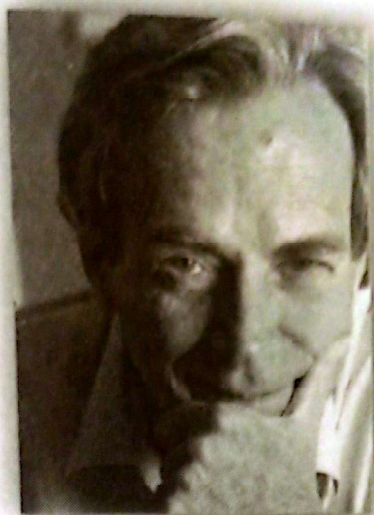


شکل ۱-۱. سمت راست) گلدان شیشه‌ای دوران یونان باستان حاوی نانوذرات طلا که به رنگ قرمز یاقوتی دیده می‌شود. در صورتی که طلا در حالت توده‌ای زرد رنگ است. سمت چپ) جام مشهور لیکرگوس.

ریچارد فاینمن^۱ برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۶۵ و یکی از مشهورترین فیزیکدان‌های دهه ۶۰ میلادی که ملقب به پدر نانوفناوری است (شکل ۱-۲). در سال ۱۹۶۰ در همایش جامعه فیزیک آمریکا طی یک سخنرانی، پیش‌بینی انقلابی و جذابی را بیان نمود. وی بیان کرد فضای زیادی در پایین وجود دارد. همین مطلب پایه علم نانوفناوری شد. وی در آن سخنرانی این نکته را مطرح ساخت که اصول علم فیزیک چیزی جز امکان ساختن اتم به اتم اشیا را بیان نمی‌کنند.

فاینمن همچنین خطوط حکاکی شده‌ای روی یک سطح را فرض نمود که عرضی به اندازه چند اتم داشتند و تصور کرد که می‌توان این خطوط را به وسیله تابش پرتوهای الکترونی به یک ماده زیر لایه تولید نمود. سخنرانی او شامل این مطلب بود که می‌توان تمام دایره‌المعارف بریتانیا را بر روی یک سنجاق نگارش کرد. یعنی ابعاد آن به اندازه یک تقسیم بر بیست و پنج هزارم ابعاد واقعی آن کوچک می‌شود. او همچنین از دوتایی کردن اتم‌ها برای کاهش ابعاد کامپیوترها سخن گفت (در آن زمان ابعاد کامپیوترها بسیار بزرگتر از ابعاد کنونی بودند) اما او احتمال می‌داد که ابعاد آن‌ها را بتوان حتی از ابعاد کامپیوترهای کنونی نیز کوچک‌تر کرد. این بحث، پایه و اساس تراشه‌های سیلیکونی امروزی است.

وی پیشنهاد کرد که می‌توان اتم‌های مجزا را دستکاری کرد و مواد و ساختارهای کوچکی را تولید نمود که خواص متفاوتی دارند. فاینمن در ذهن خود یک دکتر مولکولی را تصور کرد که صدها بار از یک سلول منحصر به فرد کوچکتر خواهد بود و می‌تواند به بدن تزریق شود و درون بدن برای انجام کاری یا مطالعه و تایید سلامتی سلول‌ها، انجام ترمیم و به طور کلی برای نگهداری بدن در سلامت کامل به سیر بپردازد.



شکل ۱-۲. ریچارد فاینمن برنده جایزه نوبل فیزیک و ملقب به پدر نانوفناوری

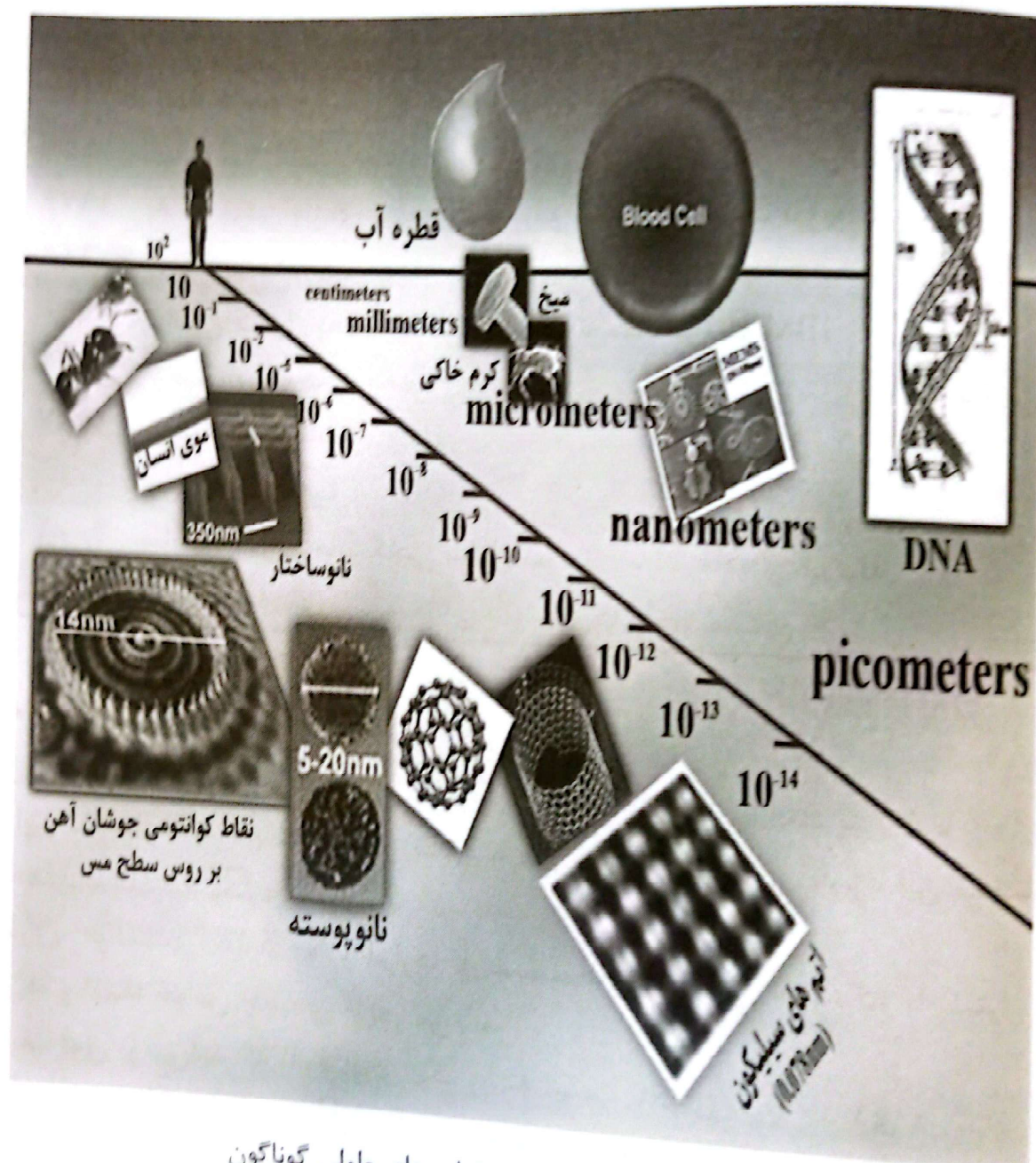
واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی استاد علوم دانشگاه توکیو مطرح شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که ابعاد آن‌ها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. مینسکی توانست به تفکرات فاینمن قوت ببخشد. مینسکی پدر هوش مصنوعی و شاگردش در کسler، گروهی از دانشجویان کامپیوتر را به صورت یک انجمن گرد یکدیگر جمع کردند. او افکار جوانترها را با یکسری ایده‌ها که خودش نانوفناوری نامگذاری کرده بود، مشغول می‌داشت. در کسler تنها درجه دکتری نانوفناوری را در سال ۱۹۹۱ از دانشگاه MIT دریافت داشت. او نیز یک پیشرو در طرح نانوفناوری است. گرچه پیش‌بینی‌های فاینمن در بین دانشمندان هم رده‌اش از پذیرش خوبی برخوردار نشد ولی این پیش‌بینی‌ها امروزه به حقیقت پیوسته است. در دهه ۵۰ و ۶۰ میلادی فعالیت‌های زیادی روی ذرات فلزی کوچک در حال انجام بود. در آن زمان این فعالیت‌ها را نانوفناوری نمی‌نامیدند. تولید سیلیکون متخلخل در سال ۱۹۶۵ و یا تولید ذرات نانومتری (نانوذرات) فلزات قلیایی به وسیله تبخیر فلز سدیم و پتاسیم و چگالش سریع آن‌ها، از جمله این فعالیت‌ها بود. سیال‌های مغناطیسی نیز در دهه ۶۰ توسعه یافتند. این مواد شامل نانوذرات مغناطیسی هستند که در یک مایع توزیع شده‌اند.

۱-۲. نانوحیست؟

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است. معادل لاتین این کلمه، «دوارف»^۱ که به معنی کوتوله و قدکوتاه است. این پیشوند در علم مقیاس‌ها به معنی یک میلیاردم است. بنابراین یک نانومتر یک میلیاردم متر است.

این مقیاس را با ذکر مثال‌هایی عینی، بهتر می‌توان حدس زد. یک تار موی انسان به طور متوسط قطری حدود ۵۰۰۰۰ نانومتر دارد. یک سلول باکتری، قطری معادل چند صد نانومتر دارد. کوچکترین اشیای قابل دید توسط چشم غیرمسلح اندازه‌ای حدود ۱۰۰۰۰ نانومتر دارند.

فقط حدود ۱۰ اتم هیدروژن در یک خط، یک نانومتر را می‌سازند. برای درک بیشتر این مقیاس در شکل (۲-۱) مقایسه‌ای بین مقیاس‌های طولی گوناگون، نشان داده شده است.



شکل ۲-۱. مقایسه‌ای بین مقیاس‌های طولی گوناگون

تاریخ	رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو
۱۸۵۷	تولید محلول کلوئیدی طلا توسط مایکل فارادی
۱۹۰۵	تشریح رفتار محلولهای کلوئیدی توسط آلبرت انیشتین
۱۹۳۲	ایجاد لایه‌های اتمی به ضخامت یک مولکول توسط لانگ‌میر
۱۹۵۹	سخنرانی فاینمن با عنوان "فضای زیاد در آن پایین وجود دارد"
۱۹۷۴	به کار بردن واژه‌ی فناوری نانو برای اولین بار توسط نوریو تانیگوچی
۱۹۸۵	کشف ساختار جدیدی از کربن (C_{60})
۱۹۹۰	توانایی کنترل نحوه قرارگیری اتم‌ها توسط شرکت IBM
۱۹۹۱	کشف نانولوله‌های کربنی
۱۹۹۷	ساخت اولین نانوترانزیستور
۲۰۰۰	ساخت اولین موتور DNA
۲۰۰۱	ساخت مدل آزمایشگاهی سلول سوختی با استفاده از نانولوله
۲۰۰۳	تولید نمونه‌های آزمایشگاهی نانوسلول‌های خورشیدی

۳-۱. نانوفناوری چیست؟

به بیان ساده علم نانو مطالعه اصول اولیه مولکول‌ها و ساختارهای با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. این ساختارها به نام نانوساختار شناخته می‌شود. نانوفناوری، کاربرد این ساختارها در دستگاه‌های با اندازه نانومتری است.

نانوفناوری، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدیدی است که با کنترل کردن مولکول‌ها و اتم‌ها خواص جدیدی ظهور می‌یابد.

از تعاریف فوق بر می‌آید که نانوفناوری یک رشته نیست بلکه رویکرد جدیدی در تمام رشته‌ها ست. نانوفناوری کاربردهای بسیاری در حوزه‌های مختلف از غذا، دارو، تشخیص پزشکی و بیوفناوری تا الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد هوا و فضا و امنیت ملی وجود دارد. کاربردهای وسیع این عرصه و پیامدهای اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فناوری را به عنوان یک زمینه فرارشته‌ای مطرح نموده است و می‌توان گفت یکی از ویژگی‌های مهم نانوفناوری جنبه چند رشته‌ای آن است. مفهوم چند رشته‌ای در نانوفناوری بدان معناست که نیروی کاری نانوفناوری باید دارای بینش وسیعی از مفاهیم زیست‌شناسی، فیزیک، شیمی، اصول مهندسی طراحی، کنترل فرایند و محصولات باشد. برای درک مفاهیم پایه‌ای و تدوین قوانین در مقیاس نانو تقریباً به تمامی علوم نیاز است.

به عنوان مثال علم فیزیک مورد نیاز است، زیرا دنیای نانو دنیای توابع موج، تونل زنی کوانتومی و کشف نیروهای اتمی ناشناخته است. علم شیمی مورد نیاز است، زیرا روش‌های پیوند

مولکول‌ها با یکدیگر و چگونگی ترکیب مواد را به ما می‌آموزد. به اصول مهندسی نیز نیاز است تا بتوان قابلیت تولید و حیات اقتصادی را تضمین نمود. اصل چندرشته‌ای بودن نانوفناوری بیانگر این حقیقت است که این علم، رشته جدیدی نیست بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست و تمام عرصه‌های مختلف علم و فناوری را دربرمی‌گیرد. استفاده از این فناوری در کلیه علوم باعث شده است که تحقیقات در زمینه نانو به عنوان چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان باشد.

۲۷

هر چند آزمایش‌ها و تحقیقات پیرامون نانوفناوری از ابتدای دهه قرن بیستم به طور جدی پیگیری شده اما اثرات تحول آفرین، معجزه‌آور و باور نکردنی نانوفناوری در روند تحقیق و توسعه باعث گردید که نظر تمامی کشورهای بزرگ به این موضوع جلب گردد و فناوری نانو را به عنوان یکی از مهم‌ترین اولویت‌های تحقیقاتی خویش طی دهه اول قرن بیست و یکم محسوب نمایند. به طوری که ژاپن در سال ۲۰۰۱، ۴۰۰ میلیون دلار و در سال ۲۰۰۴، ۹۶۰ میلیون دلار در این زمینه هزینه کرده است و آمریکا برای این امر در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۸ حدود ۳/۷ میلیارد دلار اختصاص داده است.

آنچه باعث ظهور نانوفناوری شده نسبت سطح به حجم بالای نانومواد است. این موضوع یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانو است. در مقیاس نانو، اشیا شروع به تغییر رفتار می‌کنند و رفتار سطوح بر رفتار توده‌ای ماده غلبه می‌کند.

نانوفناوری به طور کلی دارای سه شاخه نانوفناوری خشک، مرطوب و محاسبه‌ای است که از نظر کاربردی در علوم مختلف به خصوص در ساخت و تولید مواد الکترونیکی - پزشکی و صنایع غذایی کاربرد دارد.

در این مقیاس برخی روابط فیزیکی که برای مواد معمولی کاربرد دارند، نقض می‌شوند. برای مثال، یک سیم یا اجزای یک مدار در مقیاس نانو لزوماً از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. قانون اهم، به جریان، ولتاژ و مقاومت بستگی دارد. اما در مقیاس نانو وقتی عرض سیم به اندازه یک یا چند اتم باشد، الکترون‌ها لزوماً باید در صف و به ترتیب و یک به یک از سیم رد شوند. بنابراین ممکن است قانون اهم در این مقیاس تا حدودی نقض شود. درحقیقت در این مقیاس قوانین فیزیک کوانتوم وارد صحنه می‌شوند و امکان کنترل خواص ذاتی ماده از جمله دمای ذوب، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی ماده وجود خواهد داشت. نانوفناوری، فناوری جدیدی است که تمام دنیا را فراگرفته است و به تعبیر دقیق‌تر

"نانوفناوری بخشی از آینده نیست بلکه همه آینده است"

باشند و همین‌گونه نیز هست. در حقیقت دو نوع سطح وجود دارد: یکی در لبه یا محل تماس ماده و دیگری در لبه بیرونی اتم‌ها بر روی یک سطح. در مواد رایج، بیشتر اتم‌ها در سطح قرار نگرفته‌اند. آن‌ها قسمتی از توده‌ی ماده را پدید می‌آورند که به خوبی بلوری و خیلی خوب گسترده و طراحی شده‌اند و گاهی اوقات مملو از انواع نقص‌های ساختاری و ناخالصی‌هایی است که استحکام ماده را از بین می‌برد. در نانومواد، این توده‌ی مواد واقعاً وجود ندارد و اختلاف اصلی در بررسی مواد نانوفناوری، نسبت سطح به توده است که عبارت است از تعداد اتم‌های مرزی سطح تقسیم بر تعداد کل اتم‌ها. مواد با این خاصیت بی‌نظیر هستند و بیش از هر چیزی به همین دلیل است که نانومواد کاملاً متفاوت هستند.

به هر حال نکته‌ی مهم چگونگی تغییرات خواص مواد با اندازه‌ی ذرات است و باید به این نکته توجه کرد که با کاهش اندازه‌ی ذره مفهوم فاز نامشخص‌تر می‌شود و درک پیوندهای بین فازهای همگن و ناهمگن و نیز بین حالات آمورف و بلوری مشکل خواهد بود. در حال حاضر، مفاهیم عمومی شیمی که روابطی مانند ترکیب - خواص، ساختار - جز مولی را تعیین می‌کند، می‌تواند توسط مفاهیم اندازه و خودآرایی بسط داده شود و مکانیسم‌ها و اثرات جدیدی را ایجاد کرد.

با وجود تمام موفقیت‌های نانوشیمی، هنوز نمی‌توان یک جواب عمومی به این سوال که چگونه اندازه‌ی ذرات بر روی خواص آن‌ها موثر است، پاسخ داد.

نانوذرات فلزی کمتر از ۱۰ نانومتر انرژی اضافی دارند که باعث می‌شود فعالیت شیمیایی بالایی داشته باشند. ذرات در حدود ۱ نانومتر برای شرکت در واکنش‌ها نیاز به انرژی فعال سازی ندارند و به راحتی در فرایندهای کلوخه شدن شرکت می‌کنند که در نتیجه به تشکیل مواد با خصوصیات جدید در فرایند تشکیل نانوذرات فلزی و یا واکنش با دیگر مواد شیمیایی می‌شود. منبع انرژی چنین ذراتی به دلیل باندهای ایجاد نشده‌ی اتم‌های سطح و نزدیک سطح است که باعث افزایش غیر عادی پدیده‌ها و واکنش‌های سطح می‌شود.

توضیح رابطه بین اندازه و فعالیت شیمیایی یک ذره اغلب مهم‌ترین مساله در نانوشیمی است. برای نانوذرات، دو نوع اثر اندازه مشاهده شده است:

۱- اثر ذاتی یا درونی که به دلیل تغییرات ویژه در سطح مواد توده‌ای و خواص شیمیایی یک ذره است.

۲- اثرات خارجی که به دلیل بستگی اندازه به عنوان فاکتورهای خارجی است و به اثرات داخلی وابسته نیست.

در محدوده‌ی خاصی از قطر ذرات، اندازه ذرات بر روی خواص آن‌ها مؤثر است که این تأثیر برای ذرات کوچکتر بیشتر است. در جایی که وابستگی‌های نامنظم خواص - اندازه ذره حکمفرماست، از نظر نانوشیمی مطلوب‌تر است.

نانوشیمی ساخت و خواص شیمیایی ذرات با اندازه زیر ۱۰ نانومتر را در طی یک مسیر مطالعه می‌کند. اگرچه بیشتر انتقالات جالب بیشتر در ناحیه زیر ۱ نانومتر ایجاد می‌شود. توضیح مکانیسم‌هایی که بر روی فعالیت ذرات و اندازه‌های ۱ نانومتر و زیر آن وجود دارد. در شیمی مدرن اغلب مسائل اصلی‌اند که به این دلیل است که تعداد ذرات به صورت تابع کوانتومی در برابر اندازه‌ی آن‌ها است. وابستگی فعالیت شیمیایی بر روی اندازه ذرات واکنش دهنده با این حقیقت که خواص اتم‌های مجزای عناصر به خوبی خوشه‌ها و نانوذرات‌اند، توضیح داده می‌شود که خواص آن‌ها با خواص ماکروذرات متفاوت است. برای فهمیدن و آنالیز نسبی وابستگی خواص شیمیایی به اندازه ذرات می‌توان مقایسه‌ای را بین عکس‌العمل انواع مواد، نانوذرات و خوشه با تغییر اندازه آن‌ها انجام داد. تعیین رابطه بین اندازه و خواص آن‌ها از عنصر تا عنصر دیگری متفاوت است و باید برای هر عنصری به صورت ویژه بررسی شود.

در نانوشیمی، برهم‌کنش هر ذره با محیط، ویژه و مخصوص است. هنگام مطالعه خواص انفرادی چنین ذراتی باید بر روی تغییرات کیفی خواص ذرات به صورت تابعی از اندازه توجه شود. اثرات اندازه داخلی در شیمی می‌تواند بوسیله تغییرات ساختار ذرات و افزایش مناطق الکترونی به وسیله سطح ایجاد شده انجام شود. خواص سطح بر روی پایداری و واکنش‌پذیری ذرات موثر هستند. برای تعداد کمی از اتم‌های جذب شده بر روی سطح، واکنش شیمیایی نمی‌تواند در حجم بی‌نهایت بزرگی انجام شود که به دلیل تناسب سطوح نانوذرات و واکنش‌گر است. واکنش سینتیکی در مقیاس‌های کوچک با واکنش سینتیکی کلاسیک متفاوت است. که به دلیل انعطاف‌پذیری غلظت ذرات واکنش‌گر است. واکنش‌ها شامل مقادیر کمی از مولکول‌های واکنش‌گر است که توسط رابطه‌ی گسترده انعطاف‌پذیری تعداد واکنش‌گرها شناسایی می‌شود. این فاکتور توسط تغییرات غلظت واکنش‌گرها در طی زمان بر روی سطوح نانوذرات با اندازه متفاوت است که می‌تواند یک نتیجه برای فعالیت متفاوت‌شان باشد.

همان‌طور که قبلاً بیان شد در نانوذرات، مقادیر قابل توجهی از اتم‌ها بر روی سطح قرار دارد که با کاهش اندازه ذرات این مقدار افزایش می‌یابد. این پدیده باعث افزایش انرژی سیستم می‌شود که نتایج ترمودینامیکی نامشخصی را ایجاد می‌کند. نظیر وابستگی اندازه ذرات با نقطه ذوب نانوذرات، واکنش‌پذیری ذرات، دمای انتقالات اشکال بلوری مختلف، افزایش حلالیت و شیفیت در تعادلات شیمیایی.

مطالعات تئوری و آزمایشگاهی ترمودینامیک ذرات کوچک تصدیق می‌کند که اندازه ذرات همانند سایر متغیرهای ترمودینامیکی یک متغیر فعال در تعیین حالت و واکنش‌پذیری سیستم است. اندازه ذرات می‌تواند معادل دما فرض شود. به علاوه محققان دریافته‌اند که تغییرات اندازه ذرات نانوکریستال‌های فلزی انتقالات فلزی - غیر فلزی را نیز کنترل می‌کند. این پدیده برای ذراتی با اندازه ۱-۲ nm دیده شده است. مطالعات تئوری بر روی ذرات طلا نشان داده است که با کاهش اندازه ذرات، فاصله متوسط بین اتمی افزایش می‌یابد.

به عنوان یک قانون، نانوذرات هنگامی که برهم کنشی با محیط اطراف خود نداشته باشند، به صورت ذرات کاملاً پراکنده و تک پاش وجود خواهند داشت که به دلیل فعالیت بالای آن‌ها، این پدیده فقط در محیط خلا انجام می‌شود. البته مطالعات بر روی نانوذرات نقره با اندازه‌های متفاوت نشان می‌دهد که خواص نوری این نانوذرات در خلا و نیز در فشارهای بالا ناشی از گاز آرگون در دماهای پایین یکسان است. این نانوذرات از رسوبگذاری در آرگون جامد تهیه شده‌اند. طیف اسپکتروسکوپی جرمی خوشه‌های حاوی ۱۰ تا ۲۰ اتم نقره نشان می‌دهد که در فاز گاز این ذرات از هم جدا می‌شوند. بر اساس این مطالعات می‌توان گفت که فرایند رسوبگذاری بر روی شکل و هندسه خوشه‌ها موثر نیست. بنابراین خواص نوری و فعالیت نانوذرات فلزی در گاز و ماتریکس‌های بی‌اثر کاملاً قابل مقایسه‌اند. در موقعیت‌های متفاوتی می‌توان نانوذرات را تهیه کرد. مثلاً در محیط مایع و یا در محیط جامد. در فاز مایع تشکیل هسته‌های فلزی و نانوذرات از اتم‌های مربوطه به دلیل برهم کنش ذرات با محیط اطراف خود است. فاکتورهای بسیار زیادی بر روی تشکیل این ذرات موثر است که مهم‌ترین آن‌ها دما و نسبت واکنش دهنده‌هاست که بر روی خواص شیمی - فیزیکی اتم‌های فلزی، فعالیت و پایداری آن‌ها موثر است.

برهم کنش اتم‌های خوشه فلزی با یک سطح جامد یک پدیده‌ی خارجی است. فرایندهای انجام شده بستگی به خواص سطح (حالت فرم برای تک کریستال‌ها و تغییرات زیاد برای سطوح با جذب سطحی متفاوت) و انرژی ذرات ذخیره شده دارد.

مساله مهم در نانوشیمی یافتن توضیحی برای رابطه‌ی بین اندازه ذرات و فعالیت شیمیایی آن‌ها است. بر طبق داده‌های آزمایشگاهی متفاوت مشخص شده است که اثرات اندازه در شیمی پدیده‌ای است که تغییرات کیفی آشکاری را در خواص شیمیایی و واکنش‌پذیری آن‌ها با تغییرات تعداد اتم‌ها و مولکول‌های هر ذره ایجاد می‌کند.

خواص فیزیکی و شیمیایی نانوذرات فلزی به صورت تناوبی تغییر می‌کند که این خواص به اندازه‌ی ذرات، شکل آن‌ها و نوع سیستم تشکیل دهنده ذرات بستگی دارد. در این راستا تلاش‌های زیادی برای شناسایی خواص هندسی و الکترونی خوشه‌ها و نانوذرات فلزی توسط جدول مندلیف صورت گرفته است. به طور مثال اتم‌های سدیم، ذرات Na_3 ، Na_9 و Na_{19} غیر کوالانسی‌اند در حالی که خوشه‌های هالوژن مانند، نظیر Na_7 و Na_{17} فعالیت بیشتری نشان می‌دهند. کمترین فعالیت برای ذرات معمولی با اوربیتال‌های پر از الکترون است مثل Na_2 ، Na_8 ، Na_{18} . این مشاهدات دریچه جدیدی را برای شناسایی پدیده‌های شیمیایی جدید در واکنش‌های شیمیایی باز می‌کنند.

برای خوشه‌های سدیم با چندین هزار اتم، تغییرات تناوبی در پایداری ذرات ایجاد می‌شود که نجیب را ایجاد می‌کند. خوشه‌هایی با بیشتر از ۱۵۰۰ اتم هندسه قشر بسته حکمفرماست که مجموعه گازهای خوشه‌هایی با ده‌ها هزار اتم رفتار متفاوتی را بر روی واکنش‌پذیری آن‌ها دارند. گه‌گاهی نقش اصلی توسط ساختارهای الکترونی خوشه‌ها ایفا می‌شود. اگرچه ساختار هندسی قشر الکترونی

تمام ذرات اثر قویتری را بر روی واکنش پذیری ذرات دارد. در ذرات واقعی، ساختار الکترونی و هندسی به هم وابسته اند و نمی توان اثرات آن را از هم جدا کرد. مشکل توضیح وابستگی خواص شیمیایی به اندازه ی ذرات در یک واکنش مشکل ناشی از درک درست مکانیسم تشکیل فازهای جامد در مقیاس نانودر طی بلوری شدن به صورت الکتریکی پیچیده شده است. واکنش اتم ها در فاز گاز یا مایع با یک سطح ابتدا با ذرات کوچک خوشه افزایش می یابد. در حالی که بعداً به صورت نانوبلورها رشد می کند. ویژگی های تشکیل فازهای نانومتری در طی بلوری شدن سریع بر روی خواص کیفی و کمی این مواد موثر است. در فاز مایع چنین هسته زایی مانند بلوری شدن است که پس از آن فاز جامد تشکیل می شود.

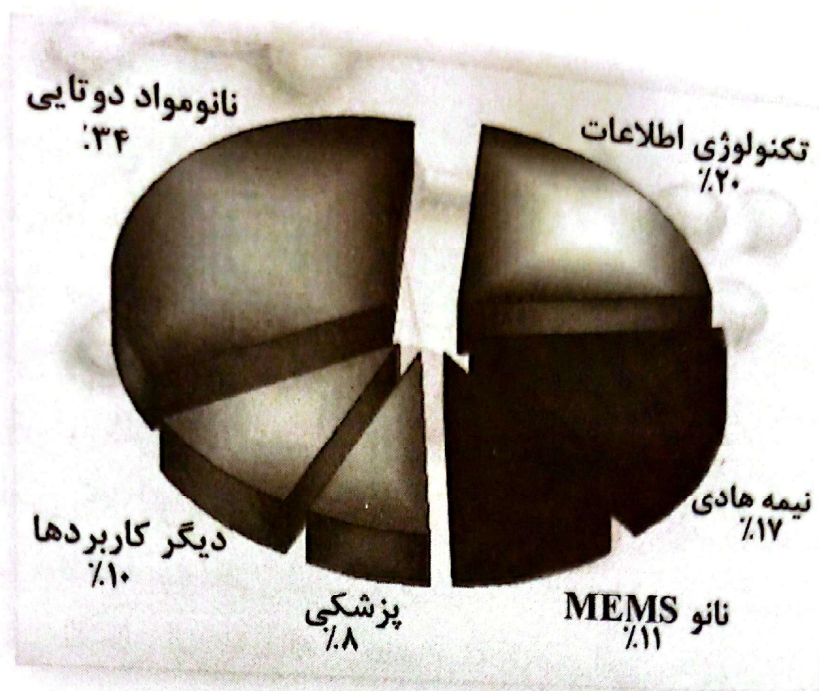
در نانوشیمی هنگامی که اثر اندازه ذرات بر روی خواص آن ها مطالعه می شود از مهم ترین فاکتورهای تاثیرگذار، ناحیه سطحی ذرات و ماهیت لیگاندهای پایدارکننده اطراف آن است. بر طبق برخی از نگرش ها حل این مساله توسط پیدا کردن انرژی های متقارنی در LUMO و یا HOMO ذرات است که این انرژی تابعی از اندازه ی ذره است. بر طبق نگرش های دیگر، شکل نانوذره است که اجازه می دهد در شرایط بهینه شده در واکنش ها شرکت کند.

تاکنون، تعدادی از عناصر جدول تناوبی توسط نانوشیمی به طور مناسبی مورد بررسی شده است در حالی که هنوز عناصر دیگری هستند که به طور کامل بررسی نشده اند.

۱-۵. نانوشیمی و کاربرد آن در حوزه های مختلف

اگر پذیرفته شود که نانوفناوری، توانمندی تولید مواد، ابزار و سیستم های جدید همراه با کنترل در سطوح ملکولی، اتمی و استفاده از خواص آن سطوح است، آن گاه مشخص می شود که کاربردهای این فناوری، در حوزه های مختلف اعم از غذا، دارو، تشخیص پزشکی، فناوری زیستی، الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا، امنیت ملی و غیره خواهد بود؛ به گونه ای که به زحمت می توان عرصه ای را که از آن تاثیر نپذیرد، معرفی نمود. دانشمندان امیدوارند با گسترش فعالیت ها در نانوفناوری، علاوه بر صرفه جویی هایی که در اثر ارتقای کیفیت در محصولات سنتی ایجاد می کنند، به مواد و محصولات با خواص جدید و چند منظوره دست یابند. شکل (۱-۳) مهم ترین کاربردهای نانومواد را به صورت طرح شماتیکی بیان می کند.

با استفاده از سیستم های نانو، درمقایسه با مواد قدیمی یا متداول، محصولات بهتر و ارزان تری را می توان ساخت. در آینده، می توان انتظار داشت که ماشین های مولکولی کنترل شده با کامپیوتر، که ابعاد بسیار کوچک تری از ذرات گرد و غبار دارند، صحت و دقت مولکول های دارویی امروزی را که به عنوان هدف^۱ در بدن به کار می روند، داشته باشند به گونه ای که به جای کل بدن فقط به تک سلول های آسیب دیده در بدن دارورسانی انجام شود. در نانوطب از این نوع ماشین های مولکولی جراحی کنترل شده ای را در سطح سلولی و مولکولی اجرا خواهند کرد.



شکل ۱-۳. طرح شماتیکی از مهم‌ترین کاربردهای نانومواد

ارتش و نیروهای مسلح علاقمندی زیادی به نانوفناوری دارند. از جمله زمینه‌های مورد علاقه می‌توان به سیستم‌های نوری و نیز نانوروباتیک، نانوماشین‌ها، سلاح‌های هوشمند، نانوالکتریک، دنیای مجازی، حافظه‌های با ظرفیت بسیار زیاد، مواد جدید فوق‌العاده سخت برای زره، مواد جدید جاذب انرژی بر پایه نانو برای متوقف ساختن گلوله‌های عمل نکرده و نانوآبزارهای زیستی برای آشکار ساختن و تخریب عوامل شیمیایی و بیولوژیکی اشاره کرد. اغلب این موضوعات به حفاظت بر علیه حمله و کاهش خطرات احتمالی برای افراد نظامی مربوط می‌شود. در آینده، نانوروبات‌ها ممکن است به این توانایی دست یابند تا هواپیماهای معیوب و یا بدنه کشتی‌های سانحه دیده را تعمیر و بازسازی کنند. تحقق چنین چشم‌اندازهایی هنوز ممکن نیست اما در آینده قابل دستیابی است.

همان‌طور که برای کشف جنایت، نانوفناوری کاربردهای جدیدی خواهد داشت و در این راستا سهم بسزایی از خود نشان خواهد داد، نانوفناوری، تأثیرات زیادی را در پزشکی قانونی بر جای خواهد گذاشت، هم در بعد تجزیه‌ی بیولوژیکی و هم در بعد مطالعات شیمیایی و مواد. دستگاه‌های قابل حمل با نانوحسگرهای پیچیده قادر خواهند بود تا تحقیق و بررسی نمونه‌ها را در سطح بالایی از صحت و دقت در محل جنایت اجرا کنند. این دستگاه‌ها بایستی تا حد زیادی سرعت کشف جرم، اثبات اتهام و محکومیت یا مجرم بودن را بهبود بخشند و توانایی کشف سرنخ‌های واقعی را داشته باشند.

کاربردهای دیگر نانوفناوری عبارتند از: محصولات خانگی و بهداشتی، فرایندهای جدید صنعتی، ساخت و تولید، راه‌های تازه برای پاکیزه نگه داشتن، افزایش طول عمر و محافظت از محیط زیست. این مسیرها را به درون دنیای نانوآپتیک و نانوفتونیک رهنمون می‌سازد. جایی که اغلب تحقیقات فعلی در تمام دنیا بر روی آن متمرکز است.

همان‌طور که اشاره شد یکی از خواص مهم نانوذرات نسبت سطح به حجم بالای این ذرات است. با استفاده از این خاصیت می‌توان کاتالیزورهای قدرتمندی را در ابعاد نانومتری تولید نمود. این نانوکاتالیزورها رانده‌مان واکنش‌های شیمیایی را به شدت افزایش داده و همچنین به میزان چشم‌گیری از تولید مواد زاید در واکنش‌ها جلوگیری خواهند نمود.

بکارگیری نانوذرات در تولید مواد دیگر باعث افزایش استحکام آن‌ها می‌شود و یا وزن آن‌ها را کم می‌کند. مقاومت شیمیایی و حرارتی آن‌ها را بالا می‌برد و واکنش‌پذیری آن‌ها را در برابر نور و تشعشعات دیگر تغییر می‌دهد. پس اولین کاربردی که برای نانوذرات می‌توان متصور شد، استفاده از این مواد در تولید نانوکامپوزیت‌هاست. با استفاده از نانوذرات نسبت استحکام به وزن مواد کامپوزیتی افزایش خواهد یافت.

اخيراً در ساخت شیشه‌های ضدآفتاب از نانوذرات اکسیدروی استفاده شده است. استفاده از این ماده علاوه بر افزایش کارایی این نوع شیشه‌ها، عمر آن‌ها را نیز چند برابر نموده است. از نانوذرات همچنین در ساخت انواع ساینده‌ها، رنگ‌ها، لایه‌های محافظتی جدید و مقاوم برای شیشه‌ها و عینک‌ها (ضدجوش و نشکن)، کاشی‌ها و درحفاظت‌های الکترومغناطیس شیشه‌های اتومبیل و در و پنجره استفاده می‌شود.

پوشش‌های ضدنوشته برای دیوارها و پوشش‌های سرامیکی برای افزایش استحکام سلول‌های خورشیدی نیز با استفاده از نانوذرات ساخته شده‌اند. قبلاً بحث شد که با کوچکتر شدن ذرات، خواص فیزیکی آن‌ها تغییر می‌کند. وقتی اندازه ذرات به نانومتر می‌رسند، یکی از خواصی که تحت تاثیر این کوچک شدن قرار می‌گیرد، تاثیر پذیری از نور و امواج الکترومغناطیسی است. با توجه به این موضوع، اخیراً چسب‌هایی از نانوذرات تولید شده‌اند که کاربردهای مهمی در اپتوالکتریک و صنایع الکترونیکی دارند.

بیشترین زمینه‌هایی که نانوذرات در آن استفاده می‌شود، عبارتند از:

مواد کامپوزیتی، کامپوزیت‌های ساختاری، کاتالیزور، بسته‌بندی، روکش‌ها، افزودنی‌های سوخت و مواد منفجره، ساینده‌ها، کاربرد نانوذرات در باتری‌ها و پیل‌های سوختی، روان‌کننده‌ها، پزشکی و داروسازی، محافظت‌کننده‌ها، آنالیز زیستی و تشخیص پزشکی، لوازم آرایشی و غیره. جدول (۱-۳) برخی از کاربردهای نانوپودرهای اکسید فلزی را در صنایع مختلف نشان می‌دهد. شکل (۱-۴) کاربردهای علوم و فناوری نانو را در پزشکی نشان می‌دهد.

نانولوله‌های کربنی نیز دارای کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف می‌باشند که موارد زیر چند نمونه از آن‌ها است:

- ✓ تصویر برداری زیستی دقیق
- ✓ حسگرهای شیمیایی و زیستی قابل اطمینان و دارای عمر طولانی
- ✓ شناسایی و جداسازی کاملاً اختصاصی DNA
- ✓ ژن‌درمانی که از طریق انتقال ژن به درون سلول توسط نانولوله‌ها صورت می‌پذیرد.



شکل ۱-۴. کاربردهای علوم و فناوری نانودر پزشکی

نانوفناوری می‌تواند برای توسعه مواد غذایی در اندازه‌های کوچک بهسازی، کنترل و انتقال محموله، شناسایی آلودگی و ابداع نانوآبزارهای برای زیست‌شناسی سلولی و مولکولی استفاده شود. نانوفناوری شامل ابداع و استفاده از مواد آلی و غیر آلی در مقیاس نانو می‌باشد. نانوفناوری نوید بخش مهیا کردن شیوه‌ای برای طراحی نانومواد است و مواد ساخته شده سازگار با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی‌اند و توسط ساختارهای مولکولی و دینامیکی مشخصی، کنترل می‌گردند. در این تکنیک‌ها قبل از تشکیل فرآورده، ژن‌ها دچار تغییر می‌شوند. نانوفناوری می‌تواند پیشرفت‌های آینده در زمینه علوم غذایی را کامل‌تر و با روش‌های موثرتری انواع دیگری از مواد را تهیه کند.

همچنین نانوفناوری، راه‌های تازه‌ای را برای ساختن سیستم‌های رایانه‌ای و ایمنی انتقال پیام فراهم می‌سازد. این امر با استفاده از کلیدهای سخت‌افزاری خاصی صورت می‌گیرد، به طوری که این نوع کلیدها در برابر هر نوع حمله و نفوذ کامپیوتری^۱ مقاوم و مصون می‌باشند. در حال حاضر، تعداد کمی از موانع و حفاظ‌های رایانه‌ای^۲، توانایی جلوگیری از ورود نفوذگرها^۳ را دارا

هستند. نانوجاپ که از قبل وجود داشته، توانایی ساخت «کلیدها» یا حتی زیست‌حسگرهای نانوپایه ویژه‌ای را که با ترتیب و توالی پویایی از DNA که کدگذاری شده‌اند را دارد.

جدول ۱-۳. برخی کاربردهای نانوپودرهای اکسید فلزات

کاربرد	ترکیب شیمیایی	مزیت‌های نانومواد
مایعات	اکسید آلومینیم، اکسید	سرعت خیلی بالای جداسدن سطحی، کاهش هزینه، کاهش
جلا بخش	سرب، اکسید قلع	مصرف مواد اولیه، پرداخت نهایی بهتر کار
خازن‌ها	تیتانات باریوم، تانتال	کاهش مصرف مواد اولیه، ظرفیت الکتریکی بالاتر، کوچکتر شدن قطعه
رنگدانه‌ها	اکسید آهن، سیلیکات زیرکونیم و اکسید تیناتیم	امکان ساخت لایه‌های نازک، کاهش اندازه‌ی محصولات
دوپ کننده	بسیاری از مواد	کاهش هزینه‌ی تمام شده، کاهش مصرف مواد، خواص فیزیکی - نوری بهتر به علت امکان کنترل دقیق‌تر و بیشتر بر روی ذرات
سرامیک‌های ساختاری	اکسید آلومینیم، تیتانات آلومینیم	بهبود یکنواختی ترکیب شیمیایی، کاهش درجه حرارت لازم برای انجام فرایند، کاهش قیمت تمام شده
کاتالیست‌ها	بسیاری از مواد	بهبود خواص مکانیکی، کاهش هزینه‌های تولید به علت درجه حرارت‌های پایین‌تر واکنش
پوشش	کاربید تنگستن	افزایش فعالیت شیمیایی و افزایش مقاومت سایشی آن‌ها
جوهرهای هادی	آلومینا، نقره، تنگستن، نیکل	پوشش‌های نازک، مقدار ماده مورد نیاز را کم می‌کند. افزایش هدایت الکتریکی، کاهش مصرف فلزات گران قیمت، کاهش درجه حرارت مورد نیاز واکنش، امکان چاپ الکترونی

بسیاری از این اشیاء در آینده ممکن است ساخته شوند، اما برخی از محصولات کاملاً شناخته شده مانند رنگ‌ها و فرایندهایی نظیر نفت و فرایندهای شیمیایی دیگر که در آن‌ها از کاتالیزورهای شیمیایی استفاده می‌شود وابسته به خواص نانوذرات می‌باشند. این مواد و اشیاء مدت زیادی در محیط پیرامون ما وجود داشته‌اند اما مشکل این است که این فناوری هم اکنون شروع به شناخته شدن نموده است و باید در سطح بنیادی درک شود. به هر حال دانشمندان و محققان به تازگی مشغول آموختن این مسئله نموده‌اند که آن‌ها را چگونه بسازند تا خیلی بهتر کار کنند و کارایی بسیار بالایی داشته باشند. بنابراین در آینده‌ایی که پیش روی علوم و فناوری نانو است، وسایل و امکانات جدیدی ایجاد می‌شود که امروزه فقط در حد رویا هستند و بسیاری از لوازم امروزی نیز بهینه شده و یا اینکه توسط وسایل جدیدتری جایگزین می‌شوند.

۱-۶. روش‌های ساخت نانومواد

به طور کلی ذرات نانوساختار و پوشش‌هایی با اندازه کمتر از ۱۰ nm توسط روش‌های بسیاری قابل تولید است. می‌توان روش‌های ساخت نانومواد را به سه دسته اصلی تقسیم بندی نمود. هرچند دسته‌بندی روش‌های ساخت نانومواد، مانند انواع آن‌ها بسیار متنوع می‌باشد. البته هر کدام از این روش‌ها به خودی خود دارای راه کارهای جزئی‌تر می‌باشند.

۱. روش‌های فیزیکی
۲. روش‌های شیمیایی (حالت مایع و با کمک روش‌های شیمیایی تر^۱)
۳. روش‌های مکانیکی

در روش فیزیکی بیشتر واکنش‌ها در فاز گاز انجام می‌شود. بنابراین در دو روش اول، روند تهیه مواد از چینش اتم‌ها (یا مولکول‌ها) آغاز و با ساخت نانومواد پایدار شده پایان می‌پذیرد (در واقع این همان تکنیک از «پایین به بالا» است). اما روش‌های مکانیکی برعکس این موارد است. یعنی این روش، روشی بالا به پایین محسوب می‌شود و نانومواد ساخته شده، نتیجه خرد شدن و تغییر شکل مواد توده‌ای مربوطه هستند. روش فاز بخار و محلول می‌تواند در ساخت پودرها و پوشش‌ها استفاده شود. اما از روش خردایش مکانیکی می‌توان فقط در تهیه پودرها بهره گرفت. در روش فیزیکی عمدتاً ابزارهای بسیار دقیق و در عین حال گران‌قیمتی مورد نیاز می‌باشد که به راحتی هم در دسترس قرار نمی‌گیرند به صورتی که یکی از عیوب اصلی این روش‌ها محسوب می‌شود. در مقایسه با روش فیزیکی، تولید نانومواد با استفاده از واکنش‌های شیمیایی بسیار ارزان‌تر و در دسترس‌تر است. مزیت این روش‌ها ارزان بودن، در دسترس بودن و ساده بودن آزمایش‌ها برای تولید نانوذرات می‌باشد. شاید به این دلیل بخش عظیمی از تحقیقات نانوذرات در دنیا با استفاده از روش‌های شیمیایی انجام می‌پذیرد.

چهار روش اصلی برای ساخت نانوذرات به روش شیمیایی وجود دارد:

۱. استفاده از فاز مایع مانند رسوبگیری مستقیم، افزودن حلال غیرقطبی، از بین بردن حلال، روش سل - ژل و روش هم‌رسوبی.
۲. استفاده از فاز غیرهمگن که شامل ساخت به روش هیدروترمال، گرماکافت و غیره است.
۳. استفاده از محیط واکنش به صورت قطره. مانند امولسیون‌ها، مایسل‌ها، میکروامولسیون‌ها و آئروسل‌ها.
۴. استفاده از فاز بخار شامل روش حرارتی، استفاده از پیش ماده‌های به شکل مایع، گاز و یا جامد.

از آنجا که در روش‌های مکانیکی با پیشرفت واکنش، دمای محیط واکنش افزایش می‌یابد و در نتیجه اندازه ذرات با پیشرفت واکنش بزرگتر می‌شود و معمولاً نمی‌توان با استفاده از این روش نانوذرات با اندازه‌ی بسیار کوچک تهیه کرد. عموماً نانومواد با استفاده از روش واکنش حالت مایع یا گاز تشکیل می‌شوند.

انتخاب روش ساخت نانومواد بسیار مهم بوده و به ترکیب شیمیایی نانوماده و کاربرد آن، همچنین امکانات آزمایشگاهی، هزینه اقتصادی، نوع مواد واکنش‌دهنده اولیه و فاکتورهای بسیار دیگری بستگی دارد، که باید در هنگام انتخاب روش ساخت نانوماده در نظر گرفته شود. در روش‌های ساخت نانومواد باید نکات زیر را مد نظر قرار داد:

✓ تولید این ذرات به شکلی که توزیع اندازه‌ی ذرات یکسان باشد زیرا همان‌گونه که اشاره شد، خواص مواد در مقیاس نانو تابعی از اندازه‌شان هستند.

پایداری نانومواد برای مدت نسبتاً طولانی. به طوری که گذشت زمان باعث به هم چسبیدن و به اصطلاح کلوخه شدن ذرات و در نتیجه تشکیل ذرات بزرگ‌تر نگردد. لذا مطالعه‌ی عوامل مختلف از جمله اثر پیش‌ماده، زمان، دما و سایر شرایط واکنش ضروری است.

روش‌های سل-ژل، CVD و روش‌های شیمیایی از متداول‌ترین روش‌های ساخت نانوذرات است. البته کاربردهایی مانند بیوحسگرها، MRI، انتقال دارو، درمان و بسیاری دیگر نیازمند کنترل دقیق اندازه و شکل نانوذرات است.

با استفاده از سورفکتانت، عوامل پوشاننده، قالب‌ها و مواد خودآرا می‌توان نانوذرات را با اندازه و شکل کنترل شده، تهیه کرد. با انتخاب عوامل پوشاننده مناسب، می‌توان خواص سطح نانوذرات را از حالت آبگریز به حالت آبدوست و یا برعکس تغییر داد. همچنین می‌توان با استفاده از حلال مناسب نانوذرات کاملاً تک‌پاش تهیه کرد. جدول (۱-۴) انواع روش‌های ساخت نانومواد را بایکدیگر مقایسه می‌کند.

۱-۷. نانوفناوری در جهان و ایران

بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، برنامه‌هایی را در سطح ملی برای پشتیبانی از فعالیتهای تحقیقاتی و صنعتی نانوفناوری تدوین و اجرا می‌نمایند؛ زیرا نانوفناوری به عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آن‌ها در جهان را تحت تأثیر جدی قرار خواهد داد. در بخشی از این کشورها، در چند سال اخیر تحرکات شدیدی از طرف دولت‌ها برای سرعت بخشیدن به توسعه نانوفناوری صورت گرفته و فعالیتهایی که تا قبل از این، به صورت خودجوش توسط محققان انجام گرفته است، با تشویق و حمایت‌های مستقیم دولت ادامه یافته‌اند. به عنوان نمونه، دولت آمریکا در سال ۱۹۹۸ با توجه به خواست وسیع محققان و دانشگاهیان، گروه کاری بین بخشی علوم و فناوری نانو را تشکیل داد. این گروه در فوریه همان سال، ۲۰۰۰ گزارش با عنوان «پیشگامی ملی نانوفناوری، به سوی انقلاب صنعتی بعدی» به رئیس جمهور آمریکا ارائه نمودند.

محققان ژاپنی از دهه ۱۹۷۰ میلادی به صورت خودجوش در زمینه‌های تحقیقاتی نانوفناوری وارد شده‌اند، تا آنجا که کلمه نانوفناوری نیز اول بار توسط یک محقق ژاپنی مورد استفاده قرار گرفت. دولت ژاپن اولین بار در ابتدای دهه ۱۹۹۰ بودجه‌ای را برای پشتیبانی از این

تحقیقات اختصاص داد و این روند ادامه یافت تا اینکه در سال ۱۹۹۷، ۱۲۰ میلیون دلار و در سال ۲۰۰۱، ۴۳۰ میلیون دلار اختصاص یافته است.

جدول ۱-۴. مقایسه‌ایی بین انواع روش‌های ساخت نانومواد

روش‌های ساخت	درصد کاربرد
Physical vapour deposition	۱۰
Colloidal chemistry approach	۲۵
Mechanical alloying techniques	۱۰
Mechanical milling	۲۰
Chemical vapour deposition	>۲۰
Sol-gel technique	۳۵
Mechanical grinding	۲۰
Hydrothermal/solvothermal method	>۶
Supercritical fluid precipitation process	۹
Biological/biomimetic techniques	۹
Flame pyrolysis	۶
Laser ablation	۱۲
Ultrasound techniques	<۳
Electrodeposition process	>۹
Electro-explosion	<۳
Plasma synthesis techniques	۳
Microwave techniques	<۳
Other precipitation processes	<۳

۴۰

نانوشیمی

فصل اول: مقدمه‌ای بر نانوفناوری

دولت کره جنوبی نیز پنج زمینه فناوری را به عنوان صنایع نسل بعدی، به عنوان اولویت این کشور اعلام نموده و برای آن‌ها تا سال ۲۰۰۵، مبلغ ۱۰ تریلیون ون معادل ۸ میلیارد دلار اختصاص داده است. فناوری اطلاعات، بیوفناوری و نانوفناوری، فناوری‌های محیط زیست و کره جنوبی، در زمینه نانوفناوری، پرورش ۱۲۶۰۰ کارشناس و متخصص را در ۱۰ سال آینده برنامه ریزی نموده است و با هدف تبدیل شدن به پنجمین کشور پیشرفته دنیا در نانوفناوری پیش می‌رود.

در ایران این علم چند سال است که به صورت جدی مورد توجه قرار گرفته و از سال ۸۲ تلاش برای ساماندهی این علم در کشور آغاز شده است. تاکنون برای ساماندهی مدیریت کلان نانوفناوری کشور، یک ستاد تشکیل شده است که وظیفه اصلی آن تعیین مسیر حرکت و اولویت‌های ملی کشور، رفع موانع در زمان اجرا و خدمت رسانی به بخش‌های اجرایی (خصوصی و دولتی) برای توسعه نانوفناوری است.

هدف اصلی از تشکیل این ستاد؛ رفع موانع، پشتیبانی و در یک کلمه خدمت به توسعه نانو فناوری در کشور است به گونه‌ای که این ستاد از طریق چشم‌اندازسازی، ارائه تسهیلات، ایجاد بازار و رفع مشکلات، زمینه فعالیت بخش خصوصی و تولید ثروت در جامعه را فراهم آورد. از وظایف ستاد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تصویب اهداف، راهبردها و سیاست‌های کلان و برنامه‌های ملی توسعه نانو فناوری در کشور.
- تقسیم وظایف کلی دستگاه‌ها و تعیین مأموریت‌های بخشی و هماهنگی آن‌ها در قالب برنامه بلندمدت ملی.
- نظارت عالی بر تحقق اهداف و برنامه‌ها.

۱-۸. آینده نانو فناوری

به دلیل تأثیر این فناوری بر اکثر صنایع و فناوری‌های موجود، عقیده صاحب نظران این است که متخصصان رشته‌های مختلف بدون گرایش به مباحث نانو در دهه‌های آینده، فرصتی برای رشد نخواهند داشت و شکوفایی بسیاری از فناوری‌های مهم از جمله فناوری اطلاعات و بیوفناوری به عنوان دو دستاورد بسیار عظیم قرن بیستم بدون بهره‌گیری از نانو فناوری دچار اختلاف خواهند شد. از این جهت این مسئله برای دانشگاهیان، محققان و مسئولان هر کشور امری حیاتی است.

امروزه پیشرفت‌های علمی میکروسکوپی و زمینه‌های مرتبط، به ما امکان مشاهده و دستکاری مواد را در مقیاس اتمی یا مولکولی می‌دهد. با در نظر گرفتن سرعت رشد بالای این عرصه‌ها و تأثیری که فناوری نانو از قبل روی صنعت و علم داشته است، پیش بینی اینکه در ۱۵ سال آینده این فناوری ما را به کجا خواهد رساند، مشکل است. با این حال این امکان وجود دارد که به پیشرفت‌های فناوری نانو و عرصه‌های توسعه علمی نگاهی بیندازیم، مشاهده می‌شود که تعداد محصولات توانمند شده با فناوری نانو که در حال ورود به بازار هستند، روبه افزایش است. به عنوان مثال نانوذرات موجود در کرم‌های ضد آفتاب درصد محافظت در برابر اشعه ماورای بنفش را افزایش می‌دهند و یا روکش‌های نانومقیاس در لنزهای شیشه‌ای و الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرند تا ویژگی‌هایی همچون ضد سایش بودن را در آن‌ها ایجاد کنند.

بخش‌های تجاری دیگری هم مانند مدارهای رایانه‌ای یا کاتالیزورهای مورد استفاده در فرایندهای شیمیایی، چندین سال است که از فناوری نانو بهره می‌برند. با این حال بسیاری از پیشرفت‌هایی که به صورت مداوم در مقالات و نشریات به آن‌ها اشاره می‌شود، تنها در سطح آزمایشگاهی قابل اجرا بوده و یا تنها در محصولاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از فناوری‌های بسیار پیشرفته بهره می‌برند. سال‌ها طول خواهد کشید تا بسیاری از این پیشرفت‌های علمی در محصولات مصرفی و عمومی وارد شود. انتقال فناوری‌های نوظهور و جدید توانمند شده با نانو، از آزمایشگاه به محصولات تجاری، به عوامل زیادی بستگی دارد؛ برخی از این عوامل عبارتند از: یکپارچه سازی این فناوری‌ها با محصولاتی که دارای ویژگی‌های قابل تعیین

و تکرارپذیر هستند، هزینه، افزایش مقیاس تولید برای محصولات تجاری، توسعه فناوری‌های مرتبط، فشار بازار و پذیرش محصولات توانمند شده با نانو از سوی مشتریان. تمامی این عوامل پیش بینی می کنند که آیا فناوری‌های نانو خواهند توانست از آزمایشگاه به بازار تجاری راه یابند یا نه؟

هم اینک تعداد نسبتاً کمی از باتری‌ها یا پیل‌های خورشیدی تجاری از پیشرفت‌های فناوری نانو بهره می‌برند. بسیاری از کارهای انجام شده در زمینه الکترودهای نانوکامپوزیتی، باتری‌های نانوساختار، و نانومواد مورد استفاده در پیل‌های خورشیدی، در آزمایشگاه اجرا شده‌اند. با این حال تعداد روز افزونی از شرکت‌ها در حال پذیرش پیشرفت‌های فناوری نانو و استفاده از آن‌ها برای تولید محصول هستند؛ به عنوان مثال شرکت کونارکا^۱ برای تولید پیل‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر مبتنی بر فناوری نانو، چندین کمک هزینه از ارتش آمریکا دریافت کرده است تا با تولید این پیل‌ها بتواند وزن تجهیزات مورد نیازی را که یک سرباز باید با خود حمل کند (به منظور تولید برق برای تجهیزات نظامی) کاهش دهد، به علاوه چندین شرکت از جمله؛ ام‌فاز فناوری^۲، آلتایر نانوفناوری^۳ و توشیبا^۴ به منظور افزایش طول عمر انبارداری باتری‌ها و بهبود سرعت شارژ و تخلیه آن‌ها، در حال توسعه الکترودهای نانوساختار هستند.

یکی از عرصه‌هایی که فناوری نانو به صورت انحصاری، خواهد توانست قابلیت‌های جدید را ایجاد کند، فناوری حسگری است. با در نظر گرفتن اینکه هم اینک می‌توانیم ابزارهایی در مقیاس تک مولکولی بسازیم، امکان افزایش بسیار شدید حساسیت توانایی تشخیص مواد شیمیایی یا فرایندهای خاص و نیز روش‌های جدید حسگری فراهم شده و توانایی تشخیص فرایندها و حوادثی که پیش از این غیرقابل تشخیص بودند، فراهم می‌شود.

امروزه نیز برخی از فناوری‌های حسگری توانمند شده با فناوری نانو، به صورت تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از این فناوری‌ها، سیستم حسگری است که از آرایه‌ای از مواد نانوساختار در یک ماتریکس پلیمر - الیاف برای شناسایی عوامل شیمیایی مختلف بهره می‌برد. به هر حال تعداد روز افزونی از آزمایشگاه‌های سراسر دنیا در حال استفاده از پیشرفت‌های فناوری نانو برای توسعه فناوری‌های حسگری شیمیایی و زیستی هستند.

این رشد منجر به ایجاد گروه جدیدی از محصولات نوظهور توانمند شده با فناوری نانو شده است که علی‌رغم اینکه هنوز در مراحل مختلف آزمایشگاهی و بررسی قرار دارند، این قابلیت را دارند که اندازه ابزار، مقدار نمونه مورد نیاز و زمان لازم برای تجزیه زیستی و شیمیایی را تا حد زیادی کاهش دهند. این ابزارهای حسگری، مبتنی بر فناوری‌های توانمند شده با فناوری نانو، علوم و فناوری‌های جدید و نوظهور نانو مختلفی؛ همچون نانوذرات فلزی عامل‌دار شده، نانوسیم‌ها و نانولوله‌های عامل‌دار شده، مواد ماکروسکوپی با اشکال یا تغییرات سطحی

نانومقیاس و سیستم‌های مکانیکی نانوساختار هستند. تمام این فناوری‌ها بر تغییرات قابل اندازه‌گیری در ویژگی‌های بنیادی ماده یا سیستم‌های ماده استوار است و این تغییرات نتیجه

برهم‌کنش‌هایی است که به دلیل ویژگی‌های نانومقیاس این مواد، قابل تشخیص هستند.

تا سال ۲۰۲۰ احتمالاً بسیاری از پیشرفت‌های حاصل در زمینه طراحی الکترودها و معماری

باتری‌ها در باتری‌های تجاری مورد استفاده قرار خواهند گرفت. فناوری‌هایی همانند

الکترودهای جدیدی که از نانوکامپوزیت‌ها بهره می‌برند، نفوذ زیادی در بازار خواهند داشت،

زیرا این فناوری با طراحی معمول باتری‌ها سازگار است، همچنین محتمل است که طراحی‌های

سه بعدی باتری‌ها (که از نانوساختارها بهره می‌برند) تا حد زیادی در محصولات تجاری وارد

شده باشند. در نهایت، پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه استفاده از نانومواد و نانوساختارها

در پیل‌های خورشیدی، احتمالاً منجر به پیل‌های انعطاف‌پذیر بهتر خواهد شد. کارهای اخیر در

زمینه استفاده از نقاط کوانتومی و سایر پیل‌های خورشیدی توانمند شده با نانوفناوری، نشان

می‌دهد که پیشرفت‌های نانوفناوری می‌تواند منجر به پیل‌هایی شود که بهره تبدیل آن‌ها

معادل و یا شاید بیشتر از بهره تبدیل پیل‌های خورشیدی تجاری امروزی است. با در نظر

گرفتن پیشرفت‌های حاصل در زمینه فرآوری پیل‌های خورشیدی این احتمال وجود دارد که

پیل‌های خورشیدی در محصولات مصرفی؛ همچون مواد ساختمانی (مواد روی پشت بام)،

ابزارهای الکترونیکی (گوشی‌های تلفن همراه و رایانه‌ها) و شاید حتی پارچه‌ها (چادرها یا

لباس‌های خارج از منزل)، مورد استفاده قرار بگیرند.

قابلیت‌های فنی تولید نانوفناوری را می‌توان شامل محصولات خود تکثیرکننده، رایانه‌هایی با

سرعت میلیاردها برابر رایانه‌های امروز، اختراعات بسیار جدید (که امروزه ناممکن است)،

سفرهای فضایی امن و مقرون به صرفه، بکارگیری این علم به اعتقاد کارشناسان در واقع باعث

ختم تقریبی بیماری‌ها، سالخوردگی و مرگ و میر می‌شود و دستیابی به تحصیلات عالی برای

همه بچه‌های دنیا فراهم می‌شود و احیای مجدد بسیاری از حیوانات و گیاهان منقرض شده و

احیا و سازماندهی اراضی ممکن می‌گردد.

اگر ما تصوراتمان را گسترش دهیم، می‌توانیم فناوری‌های را متصور شویم که متفاوت از

فناوری‌های فعلی خواهند بود. به عنوان مثال پردازش و ذخیره اطلاعات می‌تواند بر پایه

بایت‌های اطلاعاتی انجام گیرد که به عنوان ذرات واحدی (الکترون‌ها و یا فوتون‌ها) تعریف

شده اند، بنابراین تغییرات عظیمی در چگالی و مصرف برق ایجاد می‌گردد. مراقبت‌های

بهداشتی و بیوفناوری که می‌توانند متکی بر روش‌های مولکولی نانوساختارهایی شوند که دارو

را در بدن ما به محل دقیق مورد نظر آن می‌فرستند و یا تومورهای سرطانی را در آغاز تکوین

ردیابی می‌نمایند.

انسان می‌تواند موتورها و یخچال‌های بر پایه مواد ترموالکتریک نانوساختاری را متصور شود که

نه تنها قابلیت عملکرد بالاتری از دستگاه‌های امروزی خواهند داشت، بلکه از نظر زیست

محیطی نیز بی‌خطرتر هستند، نانوساختار همچنین خواص مکانیکی فلزات سرامیک‌ها را تنظیم

می‌کند که این امر می‌تواند تأثیر عظیمی بر صنایع حمل و نقل و صنایع فضایی داشته باشد. اگر تمامی این اهداف برآورده شوند، پایه فناوری جدیدی پدید می‌آید که اثرات اجتماعی و اقتصادی اساسی دارد.

در حال حاضر این فناوری در اغلب زمینه‌ها موجود نیست، کلید فناوری تنها در دانش نیست، بلکه در ترکیب دانش و مهندسی است. بنابراین نانومهندسی یکی از مهم‌ترین ارکان موفقیت نانوفناوری می‌باشد، می‌توان این‌گونه بیان کرد که دنیای آینده بدون واژه‌ی نانو بی‌معنی خواهد بود و در آینده هیچ وسیله‌ای بدون فناوری نانو تهیه نخواهد شد.

شکل (۵-۱) تحولات فناوری نانو را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی بررسی کرده است. این تحولات شامل چهار نسل است. نسل اول شامل نانوساختارهای غیرفعال مانند نانوذرات فلزی، پلیمرها و سرامیک‌ها است. این نانوذرات فقط به دلیل نسبت سطح به حجم بالایی که دارند خواص مواد قبلی را بهبود می‌بخشند. نسل دوم تا سال ۲۰۰۵ است که شامل نانوساختارهای فعال است. خواص این نانوساختارها می‌توانند به صورت دلخواه تغییر پیدا کنند. به صورتی که به جای یک افزودنی به عنوان یک وسیله استفاده شوند. در نسل سوم سیستم‌هایی در مقیاس نانو ایجاد می‌شود. در نسل چهارم، مقیاس از این مقدار نیز کوچک‌تر می‌شود به صورتی که به مقیاس اتمی نزدیک می‌شود و نانوسیستم‌های مولکولی طراحی خواهند شد.

	نسل اول تا سال ۲۰۰۰: نانوساختارهای غیر فعال (الف) نانوساختارهای فازهای پراکنده یا تماسی (مثال: آئروسول‌ها و کلونیدها) (ب) نانوساختارهای تولیدی کمکی (مثال: لایه‌ها، نانوذرات فلزی، پلیمرها، سرامیک‌ها)
	نسل دوم تا سال ۲۰۰۵: نانوساختارهای فعال (الف) زیست فعال‌ها با اثرات درمانی (مثال: ادوات زیستی، داروهای هدفیاب) (ب) مواد فعال فیزیکی-شیمیایی (مثال: ترانزیستورهای سه بعدی، فعال‌سازهای تقویت‌کننده)
	نسل سوم تا سال ۲۰۱۰: نانوسیستم‌ها مثال: چیدمانی هدایت شده، روباتیک در مقیاس نانو
	نسل چهارم تا سالهای ۲۰۲۰-۲۰۱۵: نانوسیستم‌های ملکولی مثال: ادوات ملکولی با طراحی اتمی

شکل ۵-۱. نانوفناوری از گذشته تا آینده

۹-۱. خطرات نانومواد

نانوذرات همانند یک شمشیر دولبه دارای اثرات مفید و مضر می‌باشند. بی‌شک اگر به روش‌های صحیح کار با نانوذرات توجه شود از خطرات آن کاسته خواهد شد.

الف) چرا نانوذرات می‌توانند خطرناک باشند؟

وقتی مواد به مقیاس نانو نزدیک می‌شوند در خواص شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها تغییراتی ایجاد می‌شود. بنابراین موادی که در حالت توده‌ای بی‌خطر هستند، وقتی به حالت نانو تبدیل شوند، می‌توانند سمی و خطرناک باشند. به علاوه اندازه کوچک نانوذرات باعث می‌شود تا این مواد بتوانند بر سدهای دفاعی بدن فائق آیند.

مهم‌ترین خواص بحث برانگیز نانوذرات عبارتند از:

الف) فضای سطحی بزرگ که باعث افزایش فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی می‌شود.

ب) ویژگی‌های جدید مانند انحلال‌پذیری و فعالیت بیشتر، شیمی شکل و سطح.

ج) تحرک بسیار زیاد در بدن انسان.

د) توانایی نفوذ به غشا سلولی.

ب) در چه شرایطی نانوذرات خطرناک هستند؟

بعضی بر این باورند که انسان‌ها آنقدر در معرض نانوذرات نمی‌باشند که برای سلامتی آن‌ها خطری داشته باشد. برای مثال گزارش شده است که بلعیدن TiO_2 توسط انسان بی‌ضرر است. اما اگر در معرض نانوذرات بودن بیشتر از حد معمولی گردد احتمال خطرات آن افزایش می‌یابد. عامل دیگری که باعث نگرانی در مورد نانوذرات می‌باشد این است که نانوذرات می‌توانند به دیگر آلاینده‌های خطرناک در آب یا هوا متصل شده و یا با آن‌ها واکنش دهند و در نتیجه ورود آن‌ها را در بدن آسان‌تر سازند. در ارزیابی خطرات نانوذرات نکاتی مانند اندازه، شکل، توزیع اندازه، خواص، بار سطحی، جرم و غلظت نانومواد قابل توجه می‌باشند. اندازه ذرات در توزیع آن‌ها در بدن موثر است. ذرات بزرگ‌تر از 100 nm به مغز استخوان نمی‌رسند و ذرات بزرگ‌تر از 300 nm در خون وجود ندارند. بار سطحی ذرات در توزیع آن‌ها در بدن نقش دارد.

ج) مراحل اثر گذاری نانوذرات بر سلامتی

نانوذرات به دو دلیل می‌توانند برای سلامتی مضر باشند؛ اول اینکه می‌توانند خیلی سریع از طریق پوست و سلول‌های مخاطی جذب بدن شوند و دوم اینکه ممکن است که به دلیل جدید بودن نوع و خواص این مواد، مسمومیت‌های جدید و ناشناخته‌ای را به وجود بیاورند. مفاهیم کلی فرایندها از مرحله در معرض نانوذرات قرار گرفتن تا ایجاد بیماری در شکل (۱-۶) زیر نشان داده شده است.



شکل ۱-۶. مراحل مختلف آلوده‌سازی بدن توسط نانومواد

همانطور که در شکل نشان داده شده است اولین مرحله تاثیرگذاری نانومواد قرارگرفتن در معرض آن‌ها می‌باشد. نکته قابل توجه این است که نانوذرات باید توانایی ورود به بدن و پخش شدن در بافت‌های هدف را داشته باشند. سپس نانوذرات وارد شده به بدن، باعث اختلال در عملکرد دستگاه‌های بدن می‌شوند. این اثرات ابتدا کم و جزئی است، اما چنانچه قرارگرفتن در معرض نانومواد و ورود آن‌ها به بدن ادامه یابد به اثرات غیر قابل برگشت تبدیل می‌شوند.

(د) برخی راه‌های کنترل اثرات مضر نانوذرات

◀ از تماس پوست با نانومواد و یا محلول‌های حاوی نانومواد به صورت مستقیم جلوگیری شود. باید در هنگام کار با این مواد از دستکش، عینک ایمنی و لباس آزمایشگاه استفاده گردد.

◀ شستشوی دست‌ها و رعایت بهداشت فردی در محیط کار با نانوذرات انجام گیرد.

◀ دفع و انتقال زباله‌های نانوذرات طبق اصول زباله‌های شیمیایی خطرناک صورت پذیرد.

◀ وسایل مورد استفاده در کار کردن با نانوذرات باید قبل از استفاده مجدد، تعمیر و یا مصرف، از نظر آلودگی بررسی شوند و پس از هر بار استفاده وسایل و لوازم مورد استفاده به خوبی شستشو داده شوند.