



دانشگاه سام نور
په

نانوشیمی

(رشته شیمی)

دکتر محمود پایه قدر

دکتر محمد علی کریمی

دکتر عبدالحمید هاتفی مهر جردی

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 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 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 عظیم‌الشأن 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.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

یازده

پیشگفتار

۱	فصل اول. مقدمه‌ای بر نانوفناوری
۱	هدف کلی
۱	هدف‌های یادگیری
۱	مقدمه
۶	۱-۱ تاریخچه نانوفناوری
۷	۲-۱ بخش‌های نانوفناوری
۸	۱-۲-۱ نانوابزارها
۹	۲-۲-۱ نانومواد
۱۱	۳-۲-۱ نانووسایل
۱۲	۴-۲-۱ نانومواد هوشمند
۱۲	۳-۱ ضرورت نانوفناوری
۱۶	۴-۱ مفاهیم بنیادی
۱۷	۱-۴-۱ بزرگ‌تر به کوچک‌تر: دیدگاه موادی
۱۸	۲-۴-۱ ساده به پیچیده: دیدگاه مولکولی
۲۰	۳-۴-۱ نانوفناوری مولکولی
۲۰	۴-۴-۱ شیمی سطح در نانوشیمی

۲۲	۵-۱ مباحث توسعه ای نانومواد
۲۳	۱-۵-۱ نانومواد صفر بعدی
۲۵	۲-۵-۱ نانومواد یک بعدی (نانوسیم ها و نانومیله ها)
۲۶	۳-۵-۱ نانومواد دو بعدی (فیلم های نازک)
۲۷	۴-۵-۱ نانومواد سه بعدی
۲۷	۵-۵-۱ مواد نانو ساختار
۲۸	۶-۱ منشاء نانومواد
۲۸	۷-۱ ترکیب ساختاری نانومواد
۲۸	۱-۷-۱ نانومواد پایه کربن
۲۸	۲-۷-۱ نانومواد پایه فلز
۲۸	۳-۷-۱ درخت سان ها
۲۹	۴-۷-۱ نانوکامپوزیت ها
۲۹	۸-۱ مزایا و معایب نانوفناوری
۳۰	۹-۱ نانوفناوری برای آینده جهان
۳۱	۱-۹-۱ نقش نانوفناوری در توسعه صنعت کشاورزی
۳۲	۲-۹-۱ نانوفناوری و صنعت ساختمان
۳۳	۳-۹-۱ نانوفناوری و صنعت نساجی
۳۶	۴-۹-۱ نانوفناوری و صنعت خودرو
۴۰	۵-۹-۱ نانوفناوری در پزشکی
۴۵	خود آزمایی تشریحی فصل اول
۴۶	منابع فصل اول
۴۷	فصل دوم. شیمی و نانوشیمی
۴۷	هدف کلی
۴۷	هدف های یادگیری
۴۸	مقدمه
۴۹	۱-۲ نانومواد ویژه
۵۰	۱-۱-۲ فولرن ها و نانولوله های کربن
۵۳	۲-۱-۲ نانولوله های کربن
۶۱	۳-۱-۲ مواد میکرو و مزو متخلخل
۷۵	۲-۲ روش های تولید نانو ساختار های اکسید فلزی
۷۶	۱-۲-۲ روش های حالت بخار

۷۹	۲-۲-۲ روش های حالت جامد
۸۰	۳-۲-۲ روش حالت مایع
۸۱	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۸۲	منابع فصل دوم
۸۵	فصل سوم. روش های ساخت نانومواد
۸۵	هدف کلی
۸۵	هدف های یادگیری
۸۶	مقدمه
۸۷	۱-۳ تولید نانوذرات
۸۹	۲-۳ پایداری نانوذرات
۸۹	۱-۲-۳ پایداری الکتروستاتیکی
۸۹	۲-۲-۳ پایداری فضایی
۹۰	۳-۲-۳ پایداری الکتروفضایی
۹۱	۴-۲-۳ پایداری توسط حلال
۹۱	۳-۳ تولید نانو ساختارها
۹۲	۱-۳-۳ روش هیدروترمال - سولوترمال
۹۴	۲-۳-۳ روش صوتی - شیمیایی
۹۷	۳-۳-۳ روش ریزامولسیون
۱۰۰	۴-۳-۳ روش سُل - ژل
۱۰۴	۵-۳-۳ روش تخریب حرارتی
۱۰۴	۴-۳ رسوب دهی شیمیایی فاز بخار (CVD)
۱۰۶	۵-۳ انتخاب پیش ماده
۱۰۷	۶-۳ دما و زمان کلسینه کردن
۱۰۹	۷-۳ اهمیت نانو ساختارهای MgO ، ...
۱۱۰	۸-۳ روش لیتوگرافی در ساخت نانومواد
۱۱۲	۹-۳ روش الکتروریسی در تولید نانومواد
۱۱۴	۱۰-۳ روش ریزموج
۱۱۴	۱-۱۰-۳ امواج ریزموج
۱۱۵	۲-۱۰-۳ برهم کنش مواد با امواج ریزموج
۱۱۶	۳-۱۰-۳ خواص دی الکتریک
۱۱۷	۴-۱۰-۳ تأثیرات امواج ریزموج

۱۱۹	۳-۱۰-۵ انتخاب حلال
۱۲۰	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۱۲۱	منابع فصل سوم
۱۲۳	فصل چهارم. روش‌های بررسی و شناسایی ساختار و اندازه نانومواد
۱۲۳	هدف کلی
۱۲۳	هدف‌های یادگیری
۱۲۴	مقدمه
۱۲۵	۴-۱ روش‌های طیف‌بینی سطحی
۱۲۵	۴-۲ طیف‌بینی نشر الکترون
۱۲۶	۴-۲-۱ طیف‌بینی فوتوالکترون پرتوایکس (XPS)
۱۲۹	۴-۲-۲ طیف‌بینی الکترونی اوژه (AES)
۱۳۰	۴-۲-۳ طیف‌بینی فوتوالکترون فرابنفش (UPS)
۱۳۰	۴-۲-۴ طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه (SIMS)
۱۳۱	۴-۲-۵ طیف‌سنجی جرمی ریزکاوش گر لیزری (LMMS)
۱۳۲	۴-۲-۶ ریزردیاب الکترونی (EM)
۱۳۳	۴-۳ میکروسکوپ‌های الکترونی
۱۳۴	۴-۳-۱ سیستم تصویرسازی
۱۳۸	۴-۳-۲ میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)
۱۴۱	۴-۳-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۱۴۲	۴-۳-۴ میکروسکوپ خازنی پویشی (SCM)
۱۴۳	۴-۳-۵ میکروسکوپ‌های ردیاب پویشی (SPMs)
۱۴۶	۴-۳-۶ میکروسکوپ‌های نیروی الکترواستاتیک (EFM)
۱۴۷	۴-۳-۷ میکروسکوپ ولتاژی پویشی (SVM)
۱۴۷	۴-۳-۸ میکروسکوپ نیروی مغناطیسی (MFM)
۱۴۸	۴-۳-۹ میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی (ESEM)
۱۵۰	۴-۳-۱۰ میکروسکوپ پتانسیل سطحی پویشی (SSPM)
۱۵۰	۴-۴ روش پراش پرتوایکس (XRD)
۱۵۳	۴-۵ روش پراش فوتوالکترون پرتوایکس (XPD)
۱۵۳	۴-۶ روش فوتولومینسانس (PL)
۱۵۴	۴-۷ روش طیف‌سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه (FT-IR)
۱۵۶	۴-۸ روش طیف‌بینی رامان

۱۵۶	۹-۴ روش‌های طیف‌سنجی پراش یونی
۱۵۸	۱۰-۴ روش پراش نوترونی
۱۵۸	۱۱-۴ روش طیف‌بینی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای بتا
۱۵۹	۱-۱۱-۴ مروری بر خواص مغناطیسی مواد
۱۶۰	۲-۱۱-۴ دمای کوری (T_C) و هیستروزیس مغناطیسی
۱۶۴	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۱۶۶	منابع فصل چهارم
۱۶۷	فصل پنجم. خواص نانومواد
۱۶۷	هدف‌های کلی
۱۶۷	هدف‌های یادگیری
۱۶۸	مقدمه
۱۶۸	۱-۵ خواص وابسته به اندازه
۱۷۰	۱-۱-۵ جسم و فصل مشترک
۱۷۵	۲-۵ خواص نوری نانوذرات
۱۷۹	۳-۵ خواص ترمودینامیکی نانوذرات
۱۷۹	۱-۳-۵ انتقال گرما
۱۸۱	۲-۳-۵ نظریه کلاسیک هسته‌زایی
۱۸۳	۳-۳-۵ دمای گذار به حالت شیشه‌ای
۱۸۷	۴-۳-۵ دمای ذوب
۱۸۹	۴-۵ حلالیت
۱۹۱	۵-۵ ساختار الکترونیکی
۱۹۱	۱-۵-۵ حالت‌های گسسته نسبت به ساختار نواری
۱۹۳	۲-۵-۵ اثرات ابعاد و تقارن بر ساختارهای کوانتومی
۲۰۰	۶-۵ تغییر از نافلز به فلز
۲۰۰	۱-۶-۵ معیارهای کلی
۲۰۳	۲-۶-۵ وضعیت ویژه عناصر دوظرفیتی
۲۰۵	۳-۶-۵ معیارهای عملی رفتار فلزی
۲۱۰	۷-۵ زیست‌تقلید: طبیعت منبعی الهام‌بخش برای نانو فناوری
۲۱۱	خودآزمایی‌های تشریحی فصل پنجم
۲۱۳	منابع فصل پنجم

۲۱۵	فصل ششم. کاربردهای نانومواد
۲۱۵	هدف کلی
۲۱۵	هدف‌های یادگیری
۲۱۶	مقدمه
۲۱۷	۱-۶ الکترونیک مولکولی و نانوالکترونیک
۲۲۰	۲-۶ نانوقایق‌ها
۲۲۲	۳-۶ کاربردهای زیستی نانوذرات
۲۲۳	۴-۶ کاتالیزگری توسط نانوذرات طلا
۲۲۵	۵-۶ وسایل کوانتومی با مهندسی نوار - شکاف
۲۲۶	۱-۵-۶ وسایل چاه کوانتومی
۲۲۸	۲-۵-۶ وسایل نقطه کوانتومی
۲۲۹	۶-۶ نانومکانیک
۲۳۲	۷-۶ نشرکننده‌های نانولوله کربنی
۲۳۴	۸-۶ سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی
۲۳۷	۹-۶ بلورهای فوتونیک و هدایت گرهای موج پلاسمون
۲۳۷	۱-۹-۶ بلورهای فوتونیک
۲۴۰	۲-۹-۶ موج‌برهای پلاسمون
۲۴۱	۱۰-۶ نانو لوله‌های کربنی
۲۴۶	۱۱-۶ جمع‌بندی
۲۴۶	خودآزمایی‌های فصل ششم
۲۴۷	منابع فصل ششم

پیشگفتار

در عصری از دانش بشری به سر می‌بریم که دانشمندان و محققین بر این باورند که سه قلمرو نانوفناوری، زیست‌فناوری و فناوری اطلاعات موج سوم انقلاب صنعتی را شکل می‌دهند. اما، در این بین در محافل علمی به کرار از نانوفناوری به‌عنوان موج چهارم انقلاب صنعتی نیز یاد می‌شود. در بطن موضوعیت اصلی این دانش مهار ماده یا دستگاه‌ها در ابعاد کمتر از یک میکرومتر (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) نهفته است.

در واقع نانوفناوری فهم چگونگی کاربرد خواص جدید این مواد و سیستم‌ها است. رفتار و ویژگی متفاوت فیزیکی و شیمیایی مواد در این ابعاد ناشی از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک آن‌ها است. نانوفناوری به‌عنوان دانشی میان‌رشته‌ای مرتبط با رشته‌هایی همچون شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی، ریاضی، اقتصاد، مهندسی مواد، مهندسی شیمی، مهندسی مکانیک، مهندسی برق، علوم کشاورزی، داروسازی و طراحی دارو و پزشکی پدیده‌ای است که توسعه آن همه علوم و فناوری‌ها را متأثر کرده است.

در ایران با وجود قریب دو دهه تأخیر، با برنامه‌ریزی متولیان اجرایی کشور و همت دانشگاهیان از حدود سال ۱۳۸۰ این علم نوظهور به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته و دستاوردهای حائز توجهی را در عرصه جهانی موجب شده‌است. در این راستا، همان‌طوری که انتظار می‌رفت به‌دلیل ارتباط بیشتر و ملموس‌تر علم شیمی با این دانش‌نو، سهم به‌سزای اساتید و محققین شیمی‌دان کشور در این پیشرفت‌ها بر هیچ‌کس پوشیده نیست. با توجه به عدم وجود منبع درسی مناسب و قابل‌فهمی با رویکرد آشنایی

طیف وسیعی از دانشجویان با روش‌های ساخت، شناسایی، خواص و کاربرد نانومواد، کتاب حاضر تهیه و تدوین شده است.

کتاب از شش فصل مجزا تشکیل شده است. خواننده در فصل اول کتاب با تاریخچه، مفاهیم و تعاریف نانوفناوری، نانومواد، انواع نانوساختارها، خواص و روش‌های طبقه‌بندی آن‌ها، شیمی سطح، اهمیت، مزایا، معایب و کاربردهای مهم نانوفناوری آشنا می‌شود.

فصل دوم کتاب شامل مفاهیم نانوشیمی، علم نانو و ساختار شیمیایی و نقش و کاربرد نانولوله‌های کربنی و فولرن‌ها در نانوفناوری است. همچنین نقش مواد فعال سطحی و میسل‌ها، ساختارهای متخلخل و مزومتخلخل تهیه شده از طریق فرایند سُل - ژل، ساختارهای هسته - پوسته و نانوساختارهای اکسید فلزی، روش‌های تولید آن‌ها، مزایا، معایب و کاربردهای آن‌ها شرح داده می‌شود.

در فصل سوم سعی شده است تا انواع روش‌های ساخت نانومواد توضیح داده شود. این فصل شامل بخش‌های اصلی تولید و پایداری نانوذرات، تولید نانوساختارها با استفاده از روش‌های هیدروترمال - سولوترمال، صوتی - شیمیایی، ریزامولسیون، سُل - ژل، تخریب حرارتی و ته‌نشینی بخار شیمیایی CVD^۱ است. علاوه بر این، انتخاب پیش‌ماده، دما و زمان کلسینه‌کردن و اهمیت تعدادی از نانو اکسیدهای فلزی مهم و پرکاربرد نیز تشریح می‌شود. همچنین روش‌های لیتوگرافی، الکتروریسی و ریزموج در تولید نانومواد به همراه برخی فاکتورهای مؤثر در برهم‌کنش امواج ریزموج با مواد توضیح داده می‌شود.

فصل چهارم به معرفی روش‌های تجزیه‌ای سطوح اختصاص دارد. در این فصل روش‌ها، اصول و کاربردهای طیف‌بینی الکترون، ردیاب الکترونی (EM)^۲، میکروسکوپ‌های الکترونی، میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)^۳، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)^۴، میکروسکوپ خازنی پویشی (SCM)^۵، میکروسکوپ‌های ردیاب پویشی (SPMs)^۶ در مطالعه‌ی نانومواد و دستگاه‌وری آن‌ها شرح داده می‌شود.

1. CVD: Chemical Vapor Deposition

2. EM: Electron Microprobe

3. SEM: Scanning Electron Microscope

4. TEM: Transmission Electron Microscopy

5. SCM: Scanning Capacitance Microscope

6. SPMs: Scanning Probe Microscopes

همچنین روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD)^۱، پراش فوتوالکترون پرتو ایکس (XPD)^۲، فوتولومینسانس (PL)^۳، طیف‌سنجی زیرقرمز با تبدیل فوریه (FTIR)^۴، طیف‌بینی رامان، طیف‌سنجی پراش یونی، روش پراش نوترونی و روش طیف‌بینی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای بتا و خواص مغناطیسی مواد و کاربرد آن‌ها در تجزیه‌ی نانومواد توضیح داده می‌شود.

در فصل پنجم خواص نانومواد شامل اثرات مربوط به تغییر اندازه بر ماده، وابستگی اثرات کوانتومی با اندازه ذرات، ارتباط بین اندازه و فصل مشترک مواد توده‌ای، عدد همسایگی و ارتباط آن با پدیده‌های سطحی، اهمیت نسبت سطح به حجم، ارتباط خواص نوری مواد با اندازه آن‌ها، ماهیت پرتابی انتقال حرارت بین نانوذرات، تفاوت رفتار گذار شیشه‌ای و نقطه ذوب بین نانومواد و مواد حجیم، توصیف‌کننده‌های حلالیت، وابستگی دانسیته حالت‌ها در یک نوار نیمه‌هادی به انرژی برای نانوذرات با ابعاد مختلف، ساختار الکترونیکی نانوذرات و رفتار فلزی نانوذرات تشریح می‌شود.

فصل ششم ویژگی‌های کاربردی برخی نانو ساختارها و نانومواد مهم را توضیح می‌دهد. در این فصل مباحث بااهمیتی نظیر ویژگی‌های نانوقایق‌ها، نانوفناوری زیستی، کاتالیزگری نانوذرات، مهندسی شکاف - نوار مربوط به وسایل کوانتومی، مزایای چاه کوانتومی در تهیه لیزرها، نانومکانیک و پیشرفت‌های آن، نشرکننده‌های نانولوله کربنی، سلول‌های فوتوولتاییک حساس‌شده با رنگ و پیشرفته در حوزه پیل‌های خورشیدی، بلور فوتونیک و هدایت گر موج پلاسمون و کاربردهای نوین نانولوله‌های کربنی تشریح می‌شود.

امید است کتاب حاضر به ارتقاء هرچه بیشتر سطح علمی دانشجویان در رشته‌های علوم پایه به‌ویژه شیمی و مهندسی شیمی در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد کمک کند. انشاء...

دکتر محمدعلی کریمی

دکتر محمود پایه قدر

دکتر عبدالحمید هاتفی - مهر جردی

1. XRD: X-Ray Diffraction

2. XPD: X-Ray Photoelectron Diffraction

3. PL: Photoluminescence

4. FTIR: Fourier Transform Infra-Red Spectrometry

فصل اول

مقدمه‌ای بر نانوفناوری

هدف کلی

آشنایی با تعاریف، اهمیت، کاربردهای کلی نانوفناوری و نانومواد

هدف‌های یادگیری

دانشجویان عزیز، بعد از مطالعه این فصل باید توانایی‌های زیر را به دست آورید:

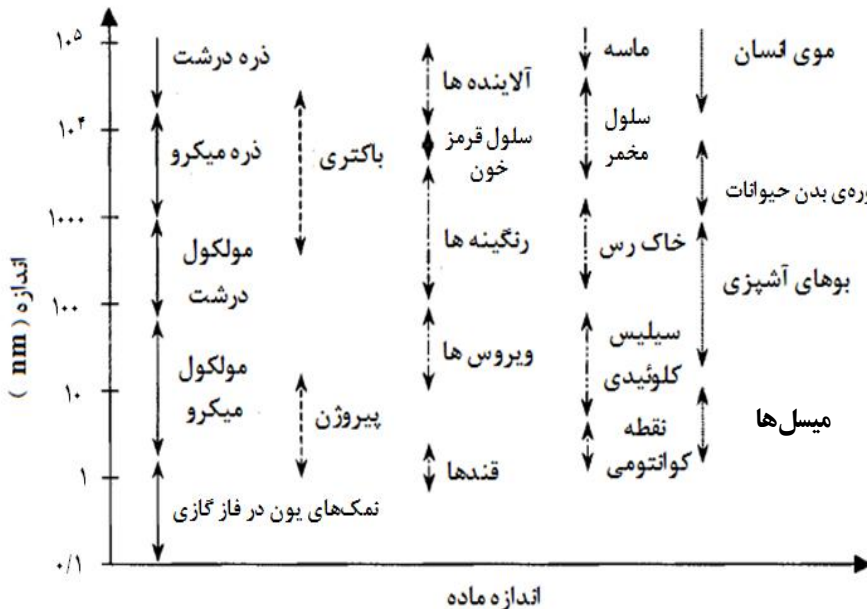
- مفهوم نانوفناوری را درک و مواد مختلفی را که در مقیاس نانو در طبیعت وجود دارد نام ببرید.
- علت اهمیت نانوفناوری و تأثیر آن بر خواص مواد را شرح دهید.
- انواع نانومواد و روش‌های طبقه‌بندی آن‌ها را شرح دهید.
- انواع نانوساختارها و خواص آن‌ها را شرح دهید.
- اهمیت نانولوله‌های کربنی و فولرن‌ها را در نانوفناوری شرح دهید.
- مفهوم شیمی سطح در نانوفناوری و اهمیت آن را شرح دهید.
- مزایا و معایب نانوفناوری را شرح دهید.
- کاربردهای مهمی از نانوفناوری را نام برده و شرح دهید.

مقدمه

نانوفناوری با ساختارهای کوچک یا با مواد در اندازه‌های کوچک سروکار دارد. ابعاد نمونه در این فناوری از زیر نانومتر تا چند صد نانومتر گسترده است. این فناوری که

گاهی اوقات به نانوتک^۱ معروف است، تنظیم اندازه ماده در مقیاس اتمی و مولکولی است. معمولاً، نانوفناوری با مواد، وسایل و ساختارهای دیگر، با اندازه ۱ الی ۱۰۰ نانومتر، حداقل در یک بُعد سروکار دارد. در این مقیاس، اثرهای مکانیک کوانتومی در ناحیه‌هایی که به ناحیه‌های کوانتومی معروف است، اهمیت دارد.

یک نانومتر (nm) معادل یک بیلونیم متر یا 10^{-9} متر است. در شکل ۱-۱، فهرستی از نانو ساختارهای ابعادی صفر و محدوده‌های ابعادی آن‌ها نشان داده شده است. یک نانومتر تقریباً معادل با طول ۱۰ اتم هیدروژن یا ۵ اتم سیلیسیم که در یک خط در کنار هم قرار داده شوند، است [۱ و ۲].



شکل ۱-۱. تعدادی از نانو ساختارها و محدوده‌ی ابعادی آن‌ها

با توجه به کاربردهای گسترده‌ای که نانوفناوری پیدا کرده است، به‌عنوان یک فناوری کلیدی برای حال و آینده مورد توجه قرار گرفته و به این علت، دولت‌ها میلیاردها دلار برای تحقیق و پژوهش در این صنعت، سرمایه‌گذاری کرده و می‌کنند. در

اولین مرحله سرمایه‌گذاری در این فناوری، آمریکا ۳/۷ میلیارد، اتحادیه اروپا ۱/۲ میلیارد و ژاپن ۷۵۰ میلیون دلار سرمایه‌گذاری کرده‌اند[۱].

نانوفناوری بسیار گسترده و متنوع است. به‌طوری‌که از جنبه‌های فیزیکی تا جنبه‌های کاملاً جدید بر پایه خودآرایی مولکولی، یا از توسعه مواد جدید با ابعاد نانو تا کنترل مستقیم ماده در مقیاس اتمی، گسترده شده‌است. در حال حاضر، این فناوری کاربردهای متنوعی در حوزه‌های مربوط به سطح، شیمی، زیست‌شناسی مولکولی، فیزیک نیمه‌هادی‌ها، تولیدات ریز و غیره دارد.

نانوفناوری ابزارها، ماشین‌ها و فراورده‌های فراوانی در اختیار دارد که می‌توان از آن‌ها برای کاربردهای مختلف به نحو احسن استفاده کرد. به‌عنوان مثال، یک کاربرد نانوفناوری در ترمیم سلولی است. با استفاده از روبات‌های در مقیاس نانو، که نانوقایق نام دارند در بدن جست‌وجو انجام می‌شود و نیازهای سلول‌ها (مثل ترمیم آن‌ها) کشف می‌شود و مواد لازم برای رفع این نیازها در اختیارشان قرار داده می‌شود. همچنین در مواردی مانند آسیب مغزی هم این نانوقایق‌ها موضع را تحت کنترل خود درمی‌آورند و آن‌ها را به سمت تمایز به سلول عصبی سوق می‌دهند و به این ترتیب آسیب را ترمیم می‌کنند.

دانشمندان رشته‌های مختلف، در مورد مفاهیم و کاربردهای آینده نانوفناوری به‌طور مرتب تحقیق و پژوهش می‌کنند. این فناوری ممکن است قادر به تولید مواد و وسایل جدید زیادی با کاربردهای بسیار متنوع در زمینه دارویی، الکترونیک، مواد زیستی و تولید انرژی باشد. از طرف دیگر، نانوفناوری نیز مانند هر فناوری جدیدی، پیامدها و معایبی مانند سمیت و تراکم نانومواد در محیط زیست، را در بر دارد.

وقتی اندازه‌ها خیلی کوچک شود، خواص مواد به مقدار قابل‌توجهی تغییر می‌کند. مواد در مقیاس میکرومتر، خواص فیزیکی تقریباً مشابه ماده در حالت توده‌ای را دارند. درحالی‌که خواص مواد در مقیاس نانومتر، به‌طور قابل ملاحظه‌ای با خواص آن در حالت توده‌ای متفاوت است. برای مثال، بلورها در مقیاس نانومتر، دمای ذوب کمتری داشته (اختلاف در دمای ذوب می‌تواند در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و یا بیشتر باشد) و ثابت شبکه در آن‌ها کاهش می‌یابد. علت این است که تعداد اتم‌ها یا یون‌ها در سطح، کسر بزرگی از تعداد کل اتم‌ها یا یون‌ها را تشکیل می‌دهد و لذا انرژی

سطح، نقش بزرگی در پایداری حرارتی دارد. ساختارهای بلوری، هم در دماهای زیاد و هم در دماهای کم در اندازه‌های نانومتر پایدار هستند. بنابراین، مواد فروالکتریک و فرومغناطیس، وقتی که به مقیاس نانومتر کوچک شوند، ممکن است خواص فروالکتریکی و فرومغناطیسی خود را از دست بدهند. اگر ابعاد مشخصه‌ی ماده‌ای که در حالت توده‌ای نیمه‌هادی است در مقیاس نانومتر کوچک شود عایق خواهد شد. فلز طلا در حالت توده‌ای بی‌اثر بوده و خواص کاتالیزوری ندارد، ولی از طلای نانوبلور حتی در دماهای کم نیز به‌عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود.

در پاسخ به این سؤال که نانوفناوری دقیقاً چیست نظریه‌های مختلفی وجود دارد. برای مثال، برخی از پژوهشگران مطالعه میکروساختارهای مواد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، رشد و بررسی ویژگی‌های فیلم‌های نازک را به‌عنوان نانوفناوری می‌دانند. برخی دیگر، رویکرد پایین به بالا برای سنتز و تولید مواد (مانند خودآرایی) برای تشکیل ساختارهای پی‌درپی (مانند پوسته صدف دریایی) را به‌عنوان نانوفناوری تعریف می‌کنند. تحویل دارو، یعنی قراردادن دارو درون لوله‌های کربنی، نیز به‌عنوان نانوفناوری بررسی شده‌است. سیستم‌های میکروالکترومکانیکی^۱ و یا یک آزمایشگاه در یک تراشه^۲، نیز به‌عنوان نانوفناوری به‌کار رفته‌است. دانشمندان خیلی پیشرو با نظریه‌های خیال‌پردازانه، ارائه پدیده‌های بسیار جدید و جالب، مانند زیردریایی‌های کوچک در سیستم جریان خون، نانوربات‌های خود تاشونده ماهر، نانوقایق‌ها برای تشخیص و درمان بیماری و بالابرها فضای ساخته‌شده از نانولوله‌های کربنی را زمینه فعالیت نانوفناوری می‌دانند. با توجه به زمینه‌های کاری مختلف مورد استفاده تعاریف زیاد دیگری از نانوفناوری، وجود دارد. هرکدام از این تعاریف در زمینه‌های تحقیقاتی ویژه‌ای صحیح است، اما هیچ‌کدام از آنها تمام محدوده نانوفناوری را پوشش نمی‌دهد.

به‌طور کلی، نانوفناوری می‌تواند به‌عنوان یک فناوری برای طراحی، ساخت و کاربردهای نانوساختارها و نانومواد درک شود. تحلیل و درک اصولی خواص فیزیکی و پدیده‌های نانومواد و نانوساختارها نیز در نانوفناوری بررسی می‌شود. مطالعه ارتباط‌های اساسی بین خواص فیزیکی، پدیده‌ها و ابعاد مواد در مقیاس نانومتر، به‌عنوان علم نانو

1. MEMS: Microelectromechanical Systems

2. LoC: Lab on Chip

شناخته می‌شود. در ایالات متحده آمریکا، نانوفناوری به صورت «نانوفناوری با مواد و سیستم‌هایی سروکار دارد که فراورده‌ی آن دارای خواص و پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناسی بدیع و بهبودیافته‌ای حاصل از ساختار و اجزای مواد، در اندازه نانومقیاس می‌باشد» تعریف شده است [۳].

برای بررسی خواص و پدیده‌های جدید فیزیکی و کاربردهای واقعی نانوساختارها و نانومواد، اولین مرحله در نانوفناوری، توانایی تولید و فراوری نانومواد و نانوساختارها است. مواد نانوساختار، آن‌هایی هستند که حداقل در یک بعد دارای اندازه نانومتر بوده و شامل نانوذرات (شامل نقاط کوانتومی، وقتی که خواص کوانتومی ارائه می‌دهد)، نانومیل‌ها، نانوسیم‌ها، فیلم‌های نازک و مواد توده‌ای ساخته شده از بلوک‌های ساختمانی نانومقیاس یا دارای ساختارهای نانومقیاس، است.

برای ساختن نانوساختارها و نانومواد، فناوری‌های زیادی شرح داده شده است. این رویکردهای فنی را می‌توان به چند روش طبقه‌بندی کرد. یک روش، گروه‌بندی براساس محیط رشد است، که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

(الف) رشد در فاز بخار، که شامل واکنش پیرولیز لیزری برای سنتز نانوذرات و ته‌نشینی لایه اتمی^۱ برای ته‌نشینی فیلم نازک است.

(ب) رشد در فاز مایع، که شامل فرایند کردن کلوئیدی برای تشکیل نانوذرات و خودآرایی نانولوله‌ها است.

(ج) تشکیل فاز جامد، که شامل جدایی فاز برای ساختن نانوذرات فلزی در بافت شیشه و پلیمرشدن القایی دو فوتونی برای تولید بلورهای فوتونیک سه‌بعدی است.

(د) رشد هیبریدی، که شامل رشد بخار - مایع - جامد (VLS)^۲ نانوسیم‌ها است.

• روش طبقه‌بندی دیگر، گروه‌بندی روش‌ها براساس تشکیل محلول‌ها است که عبارتند از:

(الف) تولید نانوذرات، توسط فراوری کلوئیدی، احتراق شعله‌ای و جدایی فاز.

1. ALD: Atomic Layer Deposition

2. VLS: Vapor-Liquid-Solid Growth

ب) تولید نانومیله‌ها یا نانوسیم‌ها، به وسیله‌ی آب‌کاری بر پایه قالب، رشد محلول - مایع - جامد (SLS)^۱ و رشد آنیزوتروپی^۲ خود به خودی.

ج) تولید مواد توده‌ای نانوساختار، برای مثال، بلورهای با فاصله ترازهای فوتونی توسط خودآرایی نانوذرات.

د) تولید فیلم‌های نازک، توسط رونشستی باریکه مولکولی و تهنشینی لایه اتمی. روش‌های مختلف دیگری مانند رویکردهای بالا به پایین و پایین به بالا و اعمال نیرو نیز برای تولید و فراوری نانومواد و نانوساختارها ارائه شده‌است. سنتز مولکول‌های پلیمری بزرگ، مثالی از رویکرد پایین به بالا است که در آن بلوک‌های ساختمانی منفرد (مونومرها) برای تولید مولکول‌های بزرگ انباشته‌شده و یا به ماده توده‌ای پلیمری تبدیل می‌شوند. رشد بلور، مثال دیگری از رویکرد پایین به بالا است، که گونه‌های رشد یابنده، اتم‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها است که به‌طور مرتب در یک ساختار بلوری مطلوب، روی سطح رشد انباشته می‌شوند.

۱-۱ تاریخچه نانوفناوری

اگرچه نانوفناوری در سال‌های اخیر در تحقیقات دانشمندان مطرح شده‌است، ولی توسعه مفاهیم آن به مدت‌ها قبل برمی‌گردد. ظهور نانوفناوری در دهه ۱۹۸۰، به‌علت پیشرفت‌های تجربی، مانند اختراع میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی^۳ در سال ۱۹۸۱، کشف فولرن‌ها^۴ در سال ۱۹۸۵ و شفاف‌سازی تعمیم چارچوب‌های مفهومی برای نانوفناوری است که در سال ۱۹۸۶ منجر به چاپ کتاب «موتورهای آفرینش» شد.

میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی، دستگاهی برای تصویربرداری از سطح، در سطوح اتمی است که در سال ۱۹۸۱ توسط جرد بینینگ^۵ و هنریچ رورر^۶ در آزمایشگاه

1. SLS: solid-Liquid-Solid growth

۲. نانومواد آنیزوتروپ: گروهی از مواد که خاصیت آن‌ها به جهت آن‌ها وابسته است و برای توصیف آن‌ها به بیشتر از یک عامل ساختاری نیاز است.

3. Scanning Tunneling Microscopy (STM)

4. Fullerene

5. Gerd Binnig

6. Heinrich Rohrer

تحقیقاتی شرکت بین‌المللی ماشین‌های تجاری IBM^۱ زوربخ کشف شد. به‌علت همین کشف، این دانشمندان در سال ۱۹۸۶ موفق به دریافت جایزه نوبل فیزیک شدند [۵ و ۴]. ترکیب فولرن نیز در سال ۱۹۸۵ توسط هری کروتو^۲، ریچارد اسمالی^۳ و روبرت کورل^۴ کشف شد و این دانشمندان نیز به‌طور مشترک در سال ۱۹۸۶ موفق به دریافت جایزه نوبل شیمی شدند [۷ و ۶].

در همین سال‌ها، کیم اریک درکسلر^۵ مفهوم نانوفناوری را توسعه و تعمیم داد و زمینه نانوفناوری مولکولی را ارائه کرد. درکسلر با جمله معروف ریچارد فینمن^۶ که در سال ۱۹۷۹ گفته بود: «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» برخورد کرده بود. از طرف دیگر، عبارت نانوفناوری توسط نوریو تانیگوچی^۷ در سال ۱۹۷۴، ارائه شده بود، که این واژه توسط درکسلر تعمیم و در کتابی به نام «موتورهای آفرینش» منتشر شد. درکسلر، برای اولین بار واژه چسبناک خاکستری^۸ را برای توصیف از کنترل خارج‌شدن یک فرایند خودتکرار شونده نانوفناوری مولکولی فرضی ارائه و به‌کار برد.

در دهه اول سال ۲۰۰۰، نانوفناوری رشد زیادی کرده و اطلاعات و پژوهش‌های زیادی در مورد مفاهیم و توصیف آن با مثال، توسط انجمن سلطنتی انگلستان ارائه شد. همچنین، این سال‌ها منجر به کاربردهای تجاری نانوفناوری گردید. ولی در اوایل به کاربردهای مواد توده‌ای، مانند نانوقره به‌عنوان عامل ضدباکتری، محدود می‌شد. همچنین، پرده‌های خورشیدی شفاف بر پایه نانولوله‌های کربنی برای افزایش مقاومت منسوجات تهیه شدند [۸ و ۹].

۲-۱ بخش‌های نانوفناوری

نانوفناوری را می‌توان به‌عنوان یک سری از روش‌ها دانست که به‌صورت انفرادی استفاده می‌شود و یا با محصولات و کاربردهای دیگر ترکیب و باعث بهبود آن‌ها

1. International Business Machines Corporation

2. Harry Kroto

3. Richard Smalley

4. Robert Curl

5. Kim Eric Drexler

6. Richard Feynman

7. Norio Taniguchi

8. Grey gooey

می‌شود. برخی از این روش‌ها امروزه وجود دارند و برخی دیگر در مراحل توسعه هستند، که ممکن است در سال‌ها یا دهه‌های آینده برای انسان مفید باشند.

• نانوفناوری را می‌توان براساس

(الف) ابزارها،

(ب) مواد،

(ج) وسایل و

(د) مواد و ماشین‌های هوشمند، تقسیم‌بندی کرد. در ادامه توضیحات کوتاهی در مورد هر یک از بخش‌ها داده می‌شود.

فناوری نانو منحصر به یک رشته خاصی نیست، بلکه میان‌رشته‌ای است یعنی به علوم مختلف وابسته است و با استفاده از پیشرفت‌های علوم مختلف می‌توان به پیشرفت‌های فناوری نانو دست یافت. بنابراین، کاربردهای متفاوتی را می‌توان برای این فناوری متصور شد. مانند کاربردهای الکترونیکی، پزشکی، زیستی و ... که از نظر رشته‌ای ارتباط خاصی با یکدیگر ندارند. لذا ممکن است فناوری نانورشته‌ای کاملاً گسسته به نظر آید که موضوعات آن هیچ ارتباطی با هم ندارند.

۱-۲-۱ نانو ابزارها

ساخت، دستکاری و تجزیه‌ی نانوسیستم‌ها، توابع مختلفی را که قبلاً انسان از آن‌ها بی‌خبر بوده، آشکار و روشن می‌کند، به‌طوری‌که استفاده مفید و عرضه آن‌ها، باعث پیشرفت‌های ارزنده‌ای در استانداردهای زندگی می‌شود. مهندسی سیستم‌های خلأ پیشرفته، ایجاد توانایی‌های علمی در علوم مهندسی و پزشکی (مانند نمایش، تطبیق نیروهای مکانیکی و تعیین مشخصات آن‌ها در مقیاس نانو)، ثبت شروع و خاتمه و پیگیری انجام کارهای مختلف در نانو ثانیه‌ها، بررسی پیشرفت روش‌های تجزیه‌ای (مانند تجزیه‌های شیمیایی در ابعاد نانو و از طرفی فرصت دستیابی علوم مهندسی به نانوحسگرها)، عناصرحافظه و تجهیز دستگاه‌های جدید و مؤثر در علم پزشکی از دستاوردهای این فناوری است.

ابزارهای نانوفناوری شامل روش‌های میکروسکوپی و وسایلی است که به استفاده‌کنندگان اجازه می‌دهد تا بخش‌هایی در مقیاس نانو را تجسم و اداره کنند. این