نگاهی نو به دنیای نانو

مبانی علوم و فناوری نانو

نویسندگان:
امید علی‌زاده، محمد حسن فرجی مطلق

www.nanoclub.ir

www.nanoclub.ir

نگاهی نو به دنیای نانو

مبانی علوم و فناوری نانو

نویسندگان:

امید علی‌زاده

محمد حسن فرجی مطلق

ویراستار علمی: مرضیه شیرازی

www.nanoclub.ir

سرشناسه	:	علی‌زاده، امید، ۱۳۶۸-
عنوان و نام پدیدآور	:	نگاهی نو به دنیای نانو: مبانی علوم و فناوری نانو/نویسندگان امید علیزاده، محمدحسن فرجی‌مطلق؛ ویراستار علمی
	:	مرضیه شیرازی؛ ویراستار ادبی افسانه حجتی‌طباطبایی.
مشخصات نشر	:	تهران: دیدار پارسیان، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	:	۲۰۰ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۵۵۹۲۶۲-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
عنوان دیگر	:	مبانی علوم و فناوری نانو.
موضوع	:	نانوتکنولوژی
موضوع	:	Nanotechnology
شناسه افزوده	:	فرجی مطلق، محمدحسن، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده	:	شیرازی، مرضیه، ۱۳۶۳ - ، ویراستار
رده بندی کنگره	:	T۱۷۴/۷
رده بندی دیویی	:	۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۶۰۴۸۱۴۶

نشر دیدار پارسیان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی، کوچه ایرانشهر، پلاک ۸، طبقه ۴، واحد ۱۳ - تلفن: ۸۸۳۲۱۵۹۷

تلفن مرکز پخش(۱۵-۲۲۸۹۶۴۱۴ -۰۲۱)

www.nanoclub.ir

"این کتاب توسط واحد تاییدیه آموزش ستاد ویژه توسعه فناوری نانو مورد تائید قرار گرفته است"

(لطفا نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را در مورد این کتاب با ما در میان بگذارید.)

نگاهی نو به دنیای نانو

مبانی علوم و فناوری نانو

نویسندگان:	امید علی‌زاده - محمد حسن فرجی مطلق
ویراستار علمی:	مرضیه شیرازی
ناظر آموزشی:	علیرضا منسوب بصیری
ویراستار ادبی:	افسانه حجتی طباطبایی
طراحی و صفحه آرایی:	عباس سندروسی
نوبت چاپ:	اوّل/ زمستان ۱۳۹۸
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
چاپ:	پایدار
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۵۹۲-۶۲-۷
قیمت:	۴۰۰۰۰ تومان

حق چاپ محفوظ است.

پیشگفتار ناشر

آغاز فعالیت‌های انتشاراتی شرکت پژوهشگران نانوفناوری به عنوان اولین تشکل غیر دولتی حوزه علوم و فناوری نانو در ایران، به سال ۱۳۸۰ باز می‌گردد. بسیاری از اولین‌های نانو در ایران، از جمله انتشار اولین کتاب فارسی با نام "نانوتکنولوژی آیینه تکنولوژی آفرینش" به دست اعضای همین تیم صورت گرفته است.

در طی این سال‌ها، با معرفی و شناخته شدن هر چه بیشتر فناوری نانو در ایران، فعالیت مراکز سیاست‌گذاری، دانشگاهی، تحقیقاتی و بعدها بخش خصوصی با هم افزایی بالایی رخ داد که نهایتا به پیشرفت مثال‌زدنی کشور در حوزه فناوری نانو منجر شد.

از دغدغه های اصلی ناشر در طول دو دهه فعالیت، تربیت نسل پژوهشگر در ایران بوده و تضمین ادامه این راه را منوط به آموزش صحیح و گسترده این فناوری برای نسل‌های بعدی می‌داند. رویکرد این مجموعه، همراهی با نسلی است که می‌خواهد فناوری‌های نوین را از ابتدا با استانداردهای روزآمد پژوهشی و آموزشی فرا گیرد و خود را برای ورود به بازار کار، قبل از ورود به دانشگاه آماده نماید.

یکی از نقاط کمتر پرداخته شده در این حوزه در سال‌های گذشته، سرفصل‌های استاندارد و دسته‌بندی دقیق مفاهیم پایه‌ای و نظری از یک سو و مهارت‌های آزمایشگاهی و محاسباتی از سوی دیگر بوده است. در این بخش، کشور نیازمند محتواهای زنجیره‌ای استاندارد به زبان فارسی است که با بیان ساده و قابل فهم، مرجع آموزشی کاملی از پیش‌نیازهای فناوری نانو برای دانش آموزان در پایه‌های تحصیلی متفاوت باشد. با توجه به نیاز مذکور، ناشر وظیفه خود می‌داند محتوای آموزشی دقیق و با بالاترین استاندارد آموزشی را منتشر کرده و در دسترس آینده‌سازان علم و فناوری این مرز و بوم قرار دهد.

بدیهی است هیچ کار انتشاراتی علیرغم کوشش فراوان تیم تالیف و ویراستاری، خالی از ایراد نخواهد بود. امید آنکه اطلاع‌رسانی پژوهشگران و صاحب‌نظران به ناشر در خصوص نقطه نظرات و پیشنهادهای اصلاحی، مسیر را برای بهبود محتوا و رفع نواقص احتمالی در چاپ‌های بعدی هموار نماید.

ناشر

www.nanoclub.ir

پیشگفتار نویسندگان

مهندسی و کنترل کردن مواد و وسایل در ابعاد نانومتری (یک میلیاردم متر)، فناوری نوین و پیشرفت‌های با قابلیت‌های عجیب و جالب توجهی را در اختیار بشر قرار داده است. اگرچه اولین بار، امکان به کارگیری چنین فناوری‌ای در حدود ۵۰ سال پیش مطرح شد، ولی بیشتر کاربردهای حاصل از این فناوری در حدود دو دهه اخیر رخ داده و به نظر می‌رسد برای استفاده هر چه بیشتر از این فناوری ارزشمند هنوز راه درازی در پیش داریم. بین‌رشته‌ای بودن فناوری نانو و قابلیت به کارگیری آن در زمینه‌های علمی و فناوری مختلف از جمله فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، رشته‌های مختلف مهندسی و حتی پزشکی، طیف وسیعی از پژوهشگران و صنعتگران را به خود جلب نموده است به طوری‌که امروزه پژوهشگران مختلف از سراسر دنیا در رقابت تنگاتنگ در این زمینه قرار دارند و کشورهای مختلف جهان از جمله شرط‌های اصلی پیشرفت و پیروزی خود در رقابت‌های بین المللی را توسعه و پیشرفت در این عرصه می‌بینند. توجه به چنین فناوری نوظهوری به عنوان یک راه میان‌بر پیش روی کشورهای در حال توسعه در رقابت سخت با کشورهای پیشرفته دنیا، شرایط استثنایی و فرصت ویژه‌ای را در اختیار این کشورها قرار می‌دهد.

بر این اساس آموزش و ترویج فناوری نانو به صورت عمومی و تخصصی از اولویت‌های برخی کشورهای دنیا به ویژه ایران قرار گرفته است. در این راستا به عنوان نسل اول دانش‌آموختگان رشته تحصیلی نانوفناوری در کشور، بر آن شدیم تا با نگاهی علمی، جامع و واقع بینانه، کتاب " نگاهی نو به دنیای نانو" را در اختیار مخاطب عمومی و دانش‌آموزان علاقه‌مند به این فناوری قرار دهیم. بدیهی است که استفاده از ادبیات اغراق‌آمیز و صرفا شعاری و احساسی، انتظارات و فهم نادرستی را در مخاطب ایجاد می‌کند که به نوبه خود مانعی در برابر حرکت به سوی این فناوری ارزشمند خواهد بود. بر این اساس کتاب حاضر توسط نویسندگانی که همگی از دانش‌آموختگان دانشگاه صنعتی شریف هستند به دور از هرگونه بزرگنمایی و با زبانی ساده به گونه‌ای نوشته شده تا به عنوان مرجع المپیاد دانش‌آموزی نانو که هر ساله به عنوان یکی از مهم‌ترین رویدادهای علمی کشور برگزار می‌گردد، استفاده شود. همچنین علاوه بر دانش‌آموزان عزیز، کلیه مخاطبین عمومی که از دانش سطح دیپلم ریاضی و یا تجربی برخوردار و علاقه‌مند به آشنایی با فناوری نانو بادیدگاه علمی باشند امکان استفاده از این کتاب را دارند.

با توجه به لزوم پرداختن به تمام جوانب گستردهٔ فناوری نانو، کتاب حاضر در هفت فصل به مباحث مختلف مطرح در فناوری نانو پرداخته است. در فصل اول مقدمه‌ای کلی برای ورود به بحث مطرح شده است. فصل دوم، بدون توجه به دنیای نانو، به معرفی کلی مواد، ویژگی‌های آنها و ارتباط این ویژگی‌ها با ساختار مواد در جهان ما می‌پردازد. در فصل سوم به این نکته پرداخته‌ایم که ریز شدن بسیار زیاد مواد، به گونه‌ای که در محدوده ابعاد نانومتری قرار بگیرند چه ویژگی‌های جدید و متفاوتی را در مواد ایجاد می‌کند. همچنین به

این نکته پرداخته شده است که علت بروز این ویژگی‌ها چیست و چه ارتباطی با ساختار نانومواد دارد. فصل چهارم به روش‌های ساخت مواد نانومتری اختصاص یافته و خواننده محترم با مطالعه این فصل با انواع فنون و چگونگی تولید ساختارهای نانومتری آشنا می‌گردد. پس از اینکه نانومواد توسط یک صنعتگر و یا پژوهشگر ساخته می‌شوند نیاز به بررسی و در واقع شناسایی آنها به وسیله ابزارهای ویژه ایجاد می‌گردد. بر این اساس فصل پنجم به روش‌های شناسایی نانومواد پرداخته است. پس از ساخت و شناسایی محصول، نوبت به استفاده از آن در کاربردی مشخص می‌سد از این رو در فصل ششم بسیاری از کاربردهای مهم نانومواد معرفی شده است. در نهایت با توجه به جذابیت خاص بعضی از نانومواد، در فصل هفتم برخی نانومواد که ویژگی‌ها و کاربردهای جالب توجه‌تری دارند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که فناوری نانو علاوه بر نانومواد، شامل ساخت و به کارگیری وسایل نانو نیز می‌گردد که به طور کلی در فصل‌های سوم تا هفتم کتاب به این وسایل پرداخته شده است.

منابعی استفاده شده در تدوین این کتاب در پیوست، آورده شده است. مولفین این کتاب برداشت خود را از این منابع در کتاب آورده‌اند و از این مفاهیم برای چیدن برخی از "قطعات پازل" کتاب بهره گرفته‌اند.

در نهایت از آنجا که نوشته خود را خالی از خطا نمی‌دانیم، پذیرای نظر و پیشنهادهای ارزشمند خوانندگان محترم در جهت ارتقای کیفیت کتاب در چاپ‌های آینده هستیم. امیدواریم با انتشار این اثر، گامی کوچک در راستای رشد و بالندگی کشورمان برداشته و شاهد شکوفایی و درخشش هرچه بیشتر جوانان عزیز در این عرصه باشیم. پیروزی از جانب خداوند بزرگ است.

تقدیم به همسر و دو شکوفه زندگیم

فرجی

تقدیم به همسرم

علی زاده

www.nanoclub.ir

فصل اول

مقدمه‌ای بر فناوری نانو ۵
۱- مقدمه ۶
۲- فناوری ۶
۳- یک نانومتر چقدر کوچک است؟ ۶
یک میلیاردم ۸
۴- فناوری نانو ۹
۵- پنج نکته مهم در بارهٔفناوری نانو ۱۰
نکتهٔ اول: همه چیز از اتم ساخته شده است. ۱۰
نکتهٔ دوم: اتم‌ها در اندازه‌های نانومتری، پیوسته در حال حرکت‌اند. ۱۰
نکتهٔ سوم: مولکول‌ها "اندازه" و "شکل"دارند. ۱۱
نکتهٔ چهارم: مواد در ابعاد نانومتری ویژگی‌های غیر منتظره ای دارند. ۱۲
نکتهٔ پنجم: فناوری نانو اتم‌ها را تغییر نمی‌دهد. ۱۳
۶- تاریخچه فناوری نانو ۱۴
سؤال اول: نخستین محصولات نانویی چه زمانی به وجود آمدند؟ ۱۴
سؤال دوم: نخستین محصولات نانویی ساختهٔ دست بشر متعلق به چه زمانی است؟ ۱۵
جام لیکرگوس ۱۶
شمشیر دمشقی ۱۶
شیشه‌های رنگی ۱۷
لعاب درخشان ۱۸
سؤال سوم: انسان در چه زمانی از فناوری نانو و محصولات آن آگاه شد؟ ۱۹
۷- از فاینمن تا تانیگوچی؛ پرواز از کالیفرنیا به توکیو ۱۹

فصل دوم

ساختار و ویژگی‌های مواد ۲۳
۱- مقدمه ۲۴
۲- علم مواد ۲۴
ساختار و خواص مواد ۲۵
علم مواد و مهندسی مواد ۲۶
فرایند تولید و عملکرد مواد ۲۶
نگاهی دقیق‌تر به ساختار مواد ۲۷
اتم ۲۷
ساختن یک اتم ۲۸
پیوند اتمی ۳۰
پیوندهای شیمیایی و خواص مواد ۳۱
انواع پیوندها ۳۱
علل پیدایش خواص مختلف در مواد ۳۳
الماس و گرافیت؛ خیلی دور، خیلی نزدیک! ۳۴
بلورشناسی ۳۵
نظم ۳۵
دسته‌بندی مواد جامد از نظر نظم ۳۵
انواع مواد بلورین ۳۶
انواع نظم بلنددامنه ۳۸
ثابت شبکه ۴۱
عدد همسایگی ۴۱
تعداد اتم معادل ۴۲
ضریب تراکم اتمی ۴۳
تغییر فاز در مواد ۴۵
نواقص بلوری ۴۶
مواد جامد ۵۱

www.nanoclub.ir

فصل سوم

تغییر خواص مواد در دنیای نانو ۵۵
۱- مقدمه ۵۶
۲- قوانین دنیای نانو ۵۶
هر چه یک ذره کوچک‌تر باشد، درصد اتم‌های سطحی آن بیشتر است. ۵۶
محاسبهٔ نسبت سطح به حجم مواد نانومتری ۵۷
مقایسهٔ نسبت سطح به حجم مواد نانومتری ۵۸
برای یک مقدار مادهٔ ثابت، هر چه اندازهٔ ذرات کوچک‌تر شود، مقدار سطح افزایش می‌یابد. ۶۰
قانون جاذبه اهمیت خود را از دست می‌دهد. ۶۲
تعداد اتم‌های یک ذرهٔ نانومتری بسیار کم و قابل شمارش است. ۶۳
ساختار الکترونی موادتغییر می‌کند. ۶۳
ساختار الکترونی مواد ۶۴
نظریهٔ نواری ۶۵
نظریهٔ نواری و ساختار الکترونی مواد نانومتری ۶۶
۳-خواص غیر منتظره ۶۷
پرواز به فضا با ذرات نانویی آلومینیوم ۶۷
هوای پاک به کمک ذرات نانویی طلا ۶۷
به کمک ایروژل‌هاگرم‌تر بمانیم! ۶۸
ذرات طلا دیگر به رنگ طلایی نیستند! ۶۹
نقاط کوانتومی با رنگ‌های درخشان ۷۲
۴-دسته‌بندی نانومواد ۷۳
نانومواد صفر بعدی ۷۴
نانومواد یک بعدی ۷۴
نانومواد دو بعدی ۷۵
نانومواد سه بعدی ۷۶
با نانومواد، بیشتر آشنا شویم ۷۷

فصل چهارم

روش‌های ساخت نانومواد ۸۳
۱- مقدمه ۸۴
۲- دسته‌بندی کلی روش‌های ساخت ۸۴
دسته‌بندی روش‌های ساخت بر اساس رویکرد ساخت نانوساختارها ۸۴
دسته‌بندی روش‌های ساخت بر اساس فرایند و روش تولید ۸۵
دسته‌بندی روش‌های ساخت بر اساس منشأ مواد اولیه ۸۶
دسته‌بندی روش‌های ساخت بر اساس تعداد مراحل ۸۶
دسته‌بندی روش‌های ساخت بر اساس فاز ساخت ۸۶
۳- روش‌های متداول ساخت مواد در ابعاد نانومتری ۸۷
روش آب گرمایی یا هیدروترمال ۸۷
روش حلال گرمایی یا سولوترمال ۹۰
روش هم‌رسوبی شیمیایی ۹۰
هم‌رسوبی از نمای نزدیک ۹۱
روش سونوشیمی ۹۳
مراحل ساخت نانومواد به روش سونوشیمی ۹۳
عوامل مؤثر بر فرایند سونوشیمی ۹۴
روش الکتروشیمیایی ۹۵
آبکاری الکتریکی ۹۵
آندایزینگ ۹۷
روش قالب‌گیری ۹۸
تولید نانومواد به کمک مایسل‌ها ۹۹
یک قالب نانومتری دیگر ۱۰۰
روش آئروسل ۱۰۰

www.nanoschool.ir

روش های رسوب‌دهی از فاز بخار ۱۰۳
روش رسوب‌دهی از بخار شیمیایی ۱۰۳
روش رسوب‌دهی بخار فیزیکی ۱۰۴
روش بخار- مایع- جامد ۱۰۷
روش الکتروریسی ۱۰۸
آسیاب‌کاری مکانیکی ۱۱۰
عوامل مؤثر در فرایند آسیاب کردن ۱۱۱
۴- پایدارسازی نانومواد ۱۱۲
پایدارسازی الکترواستاتیکی ۱۱۳
پایدارسازی فضایی ۱۱۴

فصل پنجم

روش‌های شناسایی ویژگی‌های نانومواد ۱۱۷
۱- مقدمه ۱۱۸
۲- شناسایی موادی با خواص ناشناخته ۱۱۹
۳- آیا شناسایی خواص مواد همیشه خیلی سخت است؟ ۱۱۹
۴- حواس پنج‌گانه، ابزارهای شناسایی همیشه همراه ۱۱۹
۵- حکایت فیل مولانا ۱۲۱
۶- چرا به ابزار شناسایی نیاز داریم؟ ۱۲۲
۷- شناسایی مواد در ابعاد نانو کمی سخت‌تر است ۱۲۲
۸- معرفی روش‌های شناسایی نانو مواد ۱۲۳
روش میکروسکوپ الکترونی ۱۲۳
الکترون به جای نور ۱۲۳
الکترون، موجودی با رفتار دوگانه ۱۲۴
میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱۲۷
میکروسکوپ الکترونی عبوری ۱۳۱
میکروسکوپ الکترونی و حس بینایی ۱۳۱
میکروسکوپ پروبی روبشی ۱۳۲
میکروسکوپ نیروی اتمی ۱۳۳
میکروسکوپ تونلی روبشی ۱۳۴
روش جذب/ واجذب نیتروژن ۱۳۶
پراکندگی پویای نور ۱۳۷
اثر داپلر ۱۳۸
اثر داپلر و اندازه‌گیری اندازه ذرات در روش پراکندگی پویای نور ۱۳۹
پراش پرتو ایکس ۱۴۰
معرفی روش پراش پرتو ایکس ۱۴۰
سختی‌سنجی ۱۴۳
سختی‌سنجی نانو ۱۴۴

فصل ششم

کاربردهای فناوری نانو ۱۴۷
۱- مقدمه ۱۴۸
۲- نانوالکترونیک ۱۴۸
ترانزیستورهای نانو در پردازشگرها ۱۴۸
سرعت اجرای محاسبات در پردازشگرها ۱۴۹
قانون اول مور ۱۵۰
داستان شاهی که مات شد ۱۵۰
ترانزیستور در دنیای امروز ۱۵۱
قانون دوم مور ۱۵۱
ترانزیستورها در حافظه‌ها ۱۵۱
چالش قانون مور ۱۵۲
نانوفناوری در کمک به پیشرفت نانوفناوری ۱۵۳

www.nanoclub.ir

کاهش مصرف برق با ریز شدن ترانزیستورها ۱۵۳
نقش فناوری نانو در کوچک‌سازی ترانزیستورها ۱۵۴
فناوری نانو در ال ای دی(LED) ها ۱۵۴
۳- نانوفوتونیک: بلورهای فوتونیک ۱۵۷
۴- فناوری نانو در انرژی ۱۵۷
نانو در ابرخازن: ۱۵۷
نانو در باتری: ۱۵۹
پیل سوختی ۱۶۰
ذخیرهٔ ایمن هیدروژن به عنوان سوخت پاک ۱۶۱
تولید هیدروژن از طریق شکافت آب ۱۶۱
سلول‌های خورشیدی نانوساختار ۱۶۲
صرفه‌جویی در انرژی با استفاده از شیشه‌های ساختمانی ۱۶۲
۵- فناوری نانو در حوزهٔ آب ۱۶۳
جنس غشاهای تصفیهٔ آب: ۱۶۴
روش‌های الکتریکی: ۱۶۶
۶- فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی ۱۶۶
جلوگیری از نفوذ اکسیژن از بسته‌بندی مواد غذایی ۱۶۶
کاهش خروج گاز از بطری نوشابه ۱۶۷
۷- فناوری نانو در بهبود خواص پلیمرها ۱۶۸
تأخیر پلیمرها در سوختن ۱۶۸
پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر ۱۶۹
۸- فناوری نانو در صنعت نفت ۱۷۰
۹- فناوری نانو در کاتالیست‌ها ۱۷۱
۱۰- فناوری نانو در رنگ‌های «خود ترمیم‌شونده» ۱۷۱
۱۱- فناوری نانو در حسگرهای گازی ۱۷۲
۱۲- فناوری نانو در پزشکی ۱۷۳
دارورسانی ۱۷۳
کنترل رهایش دارو ۱۷۴
فراگرمادرمانی ۱۷۴
۱۳- پیوند فناوری نانو و فناوری زیستی ۱۷۴
۱۴- فناوری نانو و خاصیت آنتی باکتریال ۱۷۵

فصل هفتم

آشنایی با برخی از نانومواد ویژه ۱۷۷
۱- مقدمه ۱۷۸
۲- نانو رس ۱۷۸
۳- نانوساختارهای کربنی ۱۸۰
گرافن ۱۸۱
نانولوله‌های کربنی ۱۸۳
نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره ۱۸۴
نانولوله‌های کربنی چنددیواره ۱۸۴
خواص و کاربردها ۱۸۵
روش های ساخت ۱۸۵
فولرین‌ها ۱۸۶
معرفی فولرین‌ها ۱۸۶
روش‌های ساخت و خواص ۱۸۷
کاربردها ۱۸۸
۴-نانومواد ویژهٔ دیگر ۱۸۹

منابع ۱۹۲

www.nanoclub.ir

فصل اول
مقدمه‌ای بر فناوری نانو

www.nanoclub.ir

۱- مقدمه

به همان اندازه که دقت و توانایی انسان در مشاهدهٔ محیط پیرامون خود بیشتر شده است، علوم مختلف نیز توسعه یافته‌اند. پیدایش فناوری نانو حاصل افزایش توانمندی بشر در مشاهده است. بشر از زمانی که توانست مواد و اجزاء آن را در ابعاد خیلی ریز مشاهده و بررسی کند، قدم به دنیایی جدید و ناشناخته گذاشت. درست شبیه به زمانی که اولین انسان روی کرهٔ ماه فرود آمد یا اولین ربات شروع به کاوش بر سطح مریخ کرد؛ البته این بار نه در مکانی دور از زمین بلکه همین جا بغل گوشش یا بهتر است بگوییم جلوی چشمانش! این دنیای جدید "دنیای نانو" بود. بشر با ورود به دنیای نانو این امکان را پیدا کرد که خواص مواد را در این ابعاد کنترل و پیش‌بینی کند. اگر چه در حال حاضر بخش‌هایی از دنیای نانو دیگر ناشناخته نیست، هنوز مکان‌های بکر و دست نخوردهٔ فراوانی در آن وجود دارد.

اصطلاح "فناوری نانو" از دوبخش "فناوری" و "نانو" تشکیل شده است. به نظر برخی از دانشمندان، این فناوریِ دولبه توانایی آن را دارد که از مرگ و میر بشر جلوگیری کند و به عقیدهٔ برخی دیگر، ممکن است خودش عامل نابودی نسل بشر باشد. برای آشنایی بیشتر با فناوری نانو، ابتدا واژه‌های "فناوری" و "نانو" را تعریف می‌کنیم و سپس، مفهوم فناوری نانو را توضیح می‌دهیم. اگر به سفر به "دنیای کوتوله‌ها" علاقه‌مندید، در ادامه با ما همراه باشید. حتماً می‌پرسید چرا "دنیای کوتوله‌ها" ! اگر بخش‌های بعدی را بخوانید، خواهید فهمید.

۲- فناوری

فناوری به زبان ساده یعنی آوردن دانش، فن، اطلاعات یا مهارت به عرصهٔ زندگی بشر، با این هدف که مشکلی را حل یا زندگی را راحت تر کند. بر این اساس، هر جا که لفظ فناوری می‌آید، حتماً در آنجا محصولی تولید می‌شود. این محصول می‌تواند یک کالا (مثل فناوری تولید موشک) یا نوعی خدمت فناورانه (مثل فناوری اطلاعات و ارتباطات) باشد؛ از چرخ و کاغذ گرفته تا رایانه و فضاپیما، و برای ساخت هر یک از آنها به مهارت‌ها، فنون و دانش‌هایی نیاز است که در مجموع، فناوری نامیده می‌شوند اما خود این محصولات نتایج فناوری هستند نه خود فناوری.

۳- یک نانومتر چقدر کوچک است؟

هر کمیت فیزیکی با یکای مخصوص به خود بیان می‌شود؛ مثلاً کمیت زمان را با یکای ثانیه و کمیت طول را با یکای متر بیان می‌کنند. در فیزیک دو نوع پیشوند وجود دارد که اگر قبل از هر یکا بیایند، آن را کوچک‌تر یا بزرگ‌تر می‌کنند؛ برای مثال، پیشوند "کیلو"، یکا را هزار (10^{+3}) برابر می‌کند و پیشوندی بزرگ‌کننده است. یک کیلوگرم معادل هزار گرم است. "میلی" نیز پیشوندی کوچک کننده است و قبل از هر کمیتی که بیاید، آن را یک هزارم (10^{-3}) برابر می‌کند. یک میلی‌گرم معادل یک هزارم گرم است. پیشوندهای کوچک کننده و بزرگ کننده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱ - اسامی پیشوندهای کوچک کننده و بزرگ کننده به همراه مقدار کوچک یا بزرگ کردن آنها

دسی	10^{-1}	دکا	10^{+1}
سنتی	10^{-2}	هکتو	10^{+2}
میلی	10^{-3}	کیلو	10^{+3}
میکرو	10^{-6}	مگا	10^{+6}
نانو	10^{-9}	گیگا	10^{+9}
پیکو	10^{-12}	ترا	10^{+12}
فمتو	10^{-15}	پتا	10^{+15}
آتو	10^{-18}	اکسا	10^{+18}
زپتو	10^{-21}	زتا	10^{+21}
یوکتا	10^{-24}	یوتا	10^{+24}

از دیگر پیشوندهای کوچک کننده می‌توان به "میکرو" و "نانو" اشاره کرد. نانو واژه‌ای یونانی به معنای "کوتوله" و "قدکوتاه" است. این واژه از نظر علمی بیانگر پیشوندی به معنای "یک میلیاردم یا 10^{-9}"می‌باشد؛ پیشوندی دقیقاً مشابه سایر پیشوندهایی که با آنها آشنا شده‌اید. برای مثال، یک نانو گرم طلا یعنی یک میلیاردمِ یک گرم طلا ؛ این بدان معناست که شما برای برداشتن مثلاً یک نانو گرم طلا ابتدا باید یک قطعهٔ یک گرمی از آن را به یک میلیارد قطعهٔ هم‌اندازه تقسیم کنید. در این صورت، هر یک از این قطعه‌ها جرمی معادل یک میلیاردم آن قطعه طلا خواهند داشت. همچنین، ده نانو متر یعنی ده میلیاردم متر؛ یعنی اگر یک متر را به یک میلیارد قسمت مساوی تقسیم کنیم و ده عدد از این قسمت‌ها را جدا سازیم، طولی به اندازهٔ ده نانومتر خواهیم داشت.

خود را بیازمایید

- یک خط کش میلی‌متری را در نظر بگیرید. فاصلهٔ دو دندانهٔ کوچک این خط کش، یک میلی‌متر است. یک میلی‌متر برابر با چند متر است؟
- یک متر را باید به چند قسمت مساوی تقسیم کنیم تا طول هر قسمت برابر با یک میلی‌متر شود؟
- یک میلی‌متر را به ۱۰۰۰ قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم؛ طول هر قسمت چقدر می‌شود؟
- آیا این طول را با چشم غیرمسلح می‌توان مشاهده کرد؟ با میکروسکوپ نوری چطور؟
- اگر دوباره همین فاصله را به ۱۰۰۰ قسمت مساوی تقسیم کنیم، طول هر قسمت چقدر می‌شود؟ آیا به راحتی قابل تصور است؟ آیا با چشم یا میکروسکوپ نوری می‌توان آن را مشاهده کرد؟
- با این حساب، در پایان یک متر را به چند قسمت مساوی تقسیم کرده ایم؟

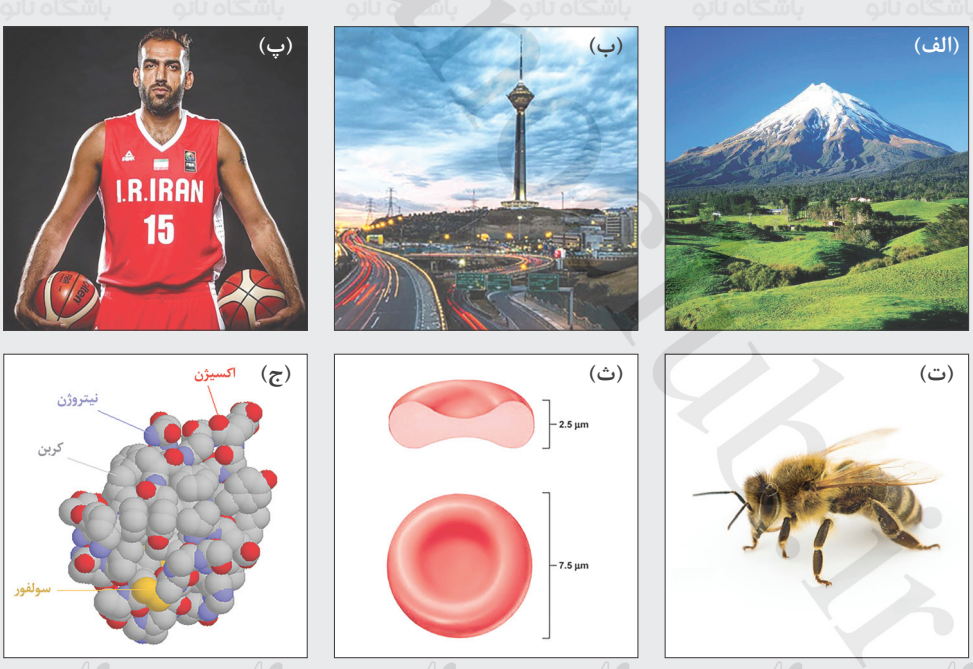
خود را بیازمایید

- یک قطعه طلای ۱۸ عیار را در نظر بگیرید؛ اگر ارزش هر گرم طلای ۱۸ عیار ۴۱۱۳۰۰ تومان باشد، قیمت ۱۰۰ نانوگرم از این قطعه طلا چقدر خواهد بود؟

یک میلیاردم

یکی از راه‌های تصور اجسام با ابعاد خیلی بزرگ یا خیلی کوچک این است که آنها را با اجسامی که در اطراف خودمان سراغ داریم و بزرگی یا کوچکی آنها تا حدودی برای ما قابل درک است، مقایسه کنیم. در اطراف ما کوه‌هایی وجود دارند که بلندی آنها در حد چند کیلومتر است. بلندی قد انسان در حدود متر است. حشرات از انسان کوچک‌ترند و ابعاد آنها در حد میلی‌متر است. می‌دانیم که بدن ما و دیگر موجودات زنده، از سلول تشکیل شده است. سلول‌ها با اینکه خیلی ریزند و با چشم دیده نمی‌شوند، ابعادشان در حد چند میکرومتر است؛ یعنی هزار برابر بزرگ‌تر از ابعاد نانومتری! سلول‌ها گرچه نانومتری نیستند، اجزائی دارند که ابعاد آنها نانومتری است. برای مثال، پهنای رشته‌های DNA و ضخامت غشاء سلولی در حد چند نانومتر است.

اگر بخواهیم ذرات کوچک‌تر از سلول را نام ببریم، اتم و مولکول در ذهنمان نقش می‌بندند. ابعاد یک اتم بسیار کوچک‌تر از نانومتر است. برای مثال، یک اتم آرگون ۷۱ پیکومتر یا ۰٫۰۷۱ نانومتر است، اما درمورد مولکول‌ها چطور؟ آیا مولکول‌ها ابعاد نانومتری دارند؟ جالب است بدانید که ابعاد دسته‌ای از مولکول‌ها، که به آنها "درشت مولکول" می‌گویند، در حد نانومتر است. پروتئین‌ها دسته‌ای از درشت مولکول‌ها هستند که قطرشان به چند ده نانومتر هم می‌رسد. نمونه‌هایی که در این بخش دربارهٔ اندازهٔ آنها سخن گفتیم، در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- (الف) قلهٔ دماوند با ۵۶۱۰ متر (۵ کیلومتر و ۶۱۰ متر) ارتفاع از سطح دریا، (ب) برج میلاد با ارتفاع ۴۲۵ متر
(پ) حامد حدادی، بازیکن تیم ملی بسکتبال ایران با ۲ متر و ۱۸ سانتی‌متر قد، (ت) یک زنبور عسل کارگر با طول حدود ۱۲ میلی‌متر طول
(ث) گلبول قرمز با قطر ۵٫۷ و ضخامت ۵٫۲ میکرومتر، (ج) یک پروتئین (انسولین) با قطر ۵ نانومتر.

٤- فناوری نانو

همان‌طور که پیش از این گفته شد، عبارت "فناوری نانو" ترکیبی از واژه‌های "فناوری" و "نانو" است. با توجه به تعریف این دو واژه، که در بخش‌های پیشین آمد، می‌توان تعریفی تقریبی برای فناوری نانو ارائه کرد. بیایید عبارت "فناوری نانو" را کمی بیشتر بررسی کنیم. طبق مفهوم فناوری می‌توان نتیجه گرفت که در فناوری نانو با یک محصول یا فرایند و یا چیزی شبیه به این دو روبه‌روییم که به بهبود کیفیت زندگی بشر کمک خواهند کرد. نکتهٔ دیگری که از عبارت "فناوری نانو" استنباط می‌شود این است که در بارهٔ ابعادی خیلی ریز و در حد یک میلیاردم متر صحبت می‌کنیم. اکنون شاید بتوان فناوری نانو را به طور دقیق‌تر تعریف کرد.

فناوری نانو را " توانایی ساخت محصولاتی فناورانه در ابعاد حدود ۱۰۰-۱ نانومتر به منظور رسیدن به خواص جدید" تعریف می‌کنند. با توجه به این تعریف، پدیده یا محصولی که در فناوری نانو بررسی می‌شود، باید سه شرط داشته باشد:

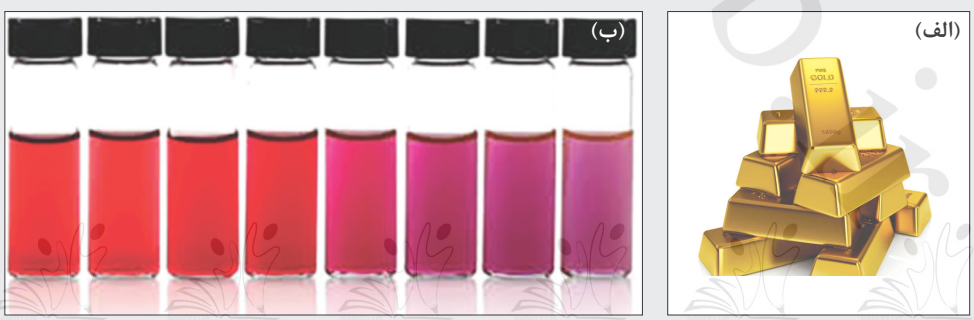
۱- حداقل یکی از اجزاء آن، اندازه‌ای در محدودهٔ نانومتری (۱۰۰-۱ نانومتر) داشته باشد؛

۲- در آن مادهٔ نانومتری، خواصی جدید و در بسیاری موارد " غیر قابل انتظار" مشاهده شود؛

۳- این مادهٔ نانومتری با خواص جدید کاربردهای مختلف داشته باشد.

با توجه به خواص جدید به وجود آمده در ابعاد نانومتری، این مواد یا در موقعیت‌های جدید به‌کار گرفته می‌شوند که پیش از این وجود نداشته‌است و یا برای بهبود فرایندها و کاربردهای پیشین مورد استفاده قرار می‌گیرند. داروررسانیِ هدفمند مثالی برای حالت اول و استفاده از نانوذرات طلا به عنوان کاتالیزور در واکنش‌های شیمیایی، مثالی برای حالت دوم است. در بخش‌های بعد و به ویژه در فصل "کاربردهای فناوری نانو" با نمونه‌های بیشتری آشنا خواهید شد.

نکتهٔ جالب توجه در بارهٔ محصولات نانویی این است که فناوری نانو با اینکه هیچ گونه تغییری در جنس مواد نمی‌دهد، باعث پیدایش خواص فیزیکی و شیمیایی جدیدی در آنها می‌شود. برای مثال، نانو ذرات طلا و شمش طلا با وجود اینکه هر دو از اتم‌های مشابه طلا ساخته شده‌اند و چیدمان اتمی یکسانی هم دارند، بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی شان کاملاً با یکدیگر متفاوت است. برای مثال، طلا در ابعاد بزرگ زرد رنگ است؛ در حالی که اگر آن را کوچک کنیم و به ابعاد نانومتری برسانیم، به رنگ‌های مختلفی غیر از زرد دیده می‌شود (شکل ۲). با علت این پدیده و پدیده‌های مشابه در "دنیای نانو" در فصل ۳ آشنا خواهید شد.



شکل ۲- (الف) چند شمش طلا که به رنگ زرد دیده می‌شوند، (ب) ذرات نانومتری طلا در اندازه‌های مختلف، که به رنگ‌های بنفش و قرمز دیده می‌شوند.

فعالیت

- یک سیب را به دو نیم تقسیم کرده نیمی از آن را رنده کنید. نیمه‌های سالم و نیمه رنده شده را در معرض هوا قرار دهید. رنگ کدام یک سریع تر و بیشتر تیره می‌شود؟ چرا؟
- آیا پدیدهٔ تفاوت در سرعت تغییر رنگ (به عنوان یک خاصیت) در حوزهٔ فناوری نانو قرار می‌گیرد؟ چرا؟

◈ ۵- پنج نکته مهم در بارهٔ فناوری نانو

همان‌طور که تا اینجا متوجه شده اید، موضوع بخشی از فناوری نانو ساختن چیزهایی در اندازهٔ کمتر از ۱۰۰ نانومتر است. این اندازه بسیار کوچک است؛ ما در بارهٔ چیزهایی نزدیک به ابعاد و اندازه‌های اتمی صحبت می‌کنیم. فناوری نانو مفهومی جدید و جذاب است و در بارهٔ آن مطالب بسیار زیادی وجود دارد که باید بدانیم. از میان تمام این نکات ریز و درشت، در این قسمت پنج نکتهٔ اساسی و مهم را فرا خواهیم گرفت که در ادامهٔ مسیر می‌توانند بسیار کمک کننده باشند. در واقع، این پنج نکته را به قول پدربزرگ‌هایمان باید "آویزهٔ گوشمان" کنیم!

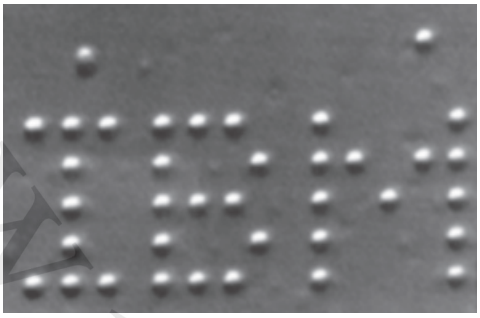
نکتهٔ اول: همه چیز از اتم ساخته شده است.

شاید باورکردنی نباشد اما تقریباً همه چیز از اتم تشکیل شده است؛ از خود شما گرفته تا مسواک و کیف و تبلت و حتی رایانه‌تان. چیزهایی مانند نور، صدا و برق (الکتریسیته) از اتم ساخته نشده‌اند اما خورشید و ماه و دیگر ستارگان و سیاره‌ها همه از اتم ساخته شده‌اند. تعداد این اتم‌ها، بسیار زیاد است. حتی در جایی که به نظر می‌رسد هیچ اتمی وجود ندارد، اتم‌های زیادی وجود دارند. یک سانتی‌متر مکعب هوا (که به اندازهٔ یک حبه قند است) حدود 10^{19} اتم دارد؛ یعنی ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ اتم!

نکتهٔ دوم: اتم‌ها در اندازه‌های نانومتری، پیوسته در حال حرکت‌اند.

اکنون که می‌دانید همهٔ اتم‌ها در حال حرکت دائمی هستند، ببینیم این حرکت را چگونه می‌توان مشاهده کرد. از آنجا که اتم‌ها در ابعاد اتمی جابه‌جا می‌شوند، تعداد اتم‌های متحرک بسیار زیاد است، دیدن حرکت هر یک از آنها دشوار خواهد بود. بنابراین، دانشمندان برای دیدن اتم‌ها دو کار انجام می‌دهند؛ نخست اینکه روی آنچه می‌خواهند در باره‌اش کاوش کنند، خلأ بسیار زیادی اعمال می‌کنند و با این کار از دست تمام اتم‌های مزاحمی که ممکن است بررسی اتم مورد نظر را مختل کنند، خلاص می‌شوند! به خاطر داشته باشید که در یک سانتی‌متر مکعب هوا حدود 10^{19} مولکول وجود دارد. دانشمندان نمی‌توانند در حضور تعداد بسیار زیادی از اتم‌ها، اتم مشخصی را ببینند. دومین کاری که دانشمندان باید انجام دهند این است که دما را آن قدر کاهش دهند که حرکت اتم‌ها به کمترین مقدار خود برسد؛ زیرا همان‌طور که می‌دانید، با افزایش دما اتم‌ها سریع‌تر حرکت می‌کنند. منظور از کاهش دما نزدیک شدن به صفر مطلق است. البته نمی‌توان به صفر مطلق رسید اما می‌توان به این مقدار نزدیک شد. بنابراین، در شرایطی که تعداد اتم‌های مزاحم بسیار کم شده و به سبب کاهش دما، حرکت اتمی به شدت محدود شده است، می‌توان یک اتم مجزا را

دید و وضعیت آن را بررسی کرد و حتی با تعدادی از آنها ساختارهایی در ابعاد نانومتری ایجاد کرد! کاری که اولین بار در سال ۱۹۸۹ گروهی در شرکت آی‌بی‌ام (IBM) انجام دادند و سه حرف اسم این شرکت را با استفاده از اتم‌های زنون روی یک سطح بسیار سرد و در خلأ بسیار زیاد درج کردند (شکل ۳). این کار با استفاده از میکروسکوپ پروبی روبشی صورت گرفت. با این میکروسکوپ در فصل‌های آینده آشنا خواهید شد.



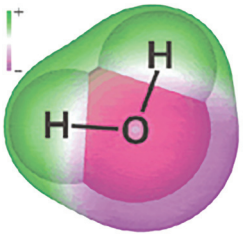
شکل ۳. دست‌کاری اتم‌های زنون روی یک سطح سرد شده در خلأ و نوشتن عبارت *IBM*

واژه‌دان

خلأ چیست؟

به فضای عاری از ماده، خلأ گفته می‌شود. در عمل نمی‌توان فضایی داشت که در آن هیچ ماده‌ای وجود نداشته باشد؛ بنابراین، واژهٔ خلأ به صورت قراردادی به ناحیه‌ای از فضا اطلاق می‌شود که فشار آن کمتر از ۷۶۰ تور (۷۶۰ میلی‌متر جیوه) باشد. هدف اصلی فناوری خلأ، کاهش چگالی ذرات شامل اتم‌ها یا مولکول‌ها یا ذرات دیگر در یک حجم مشخص است.

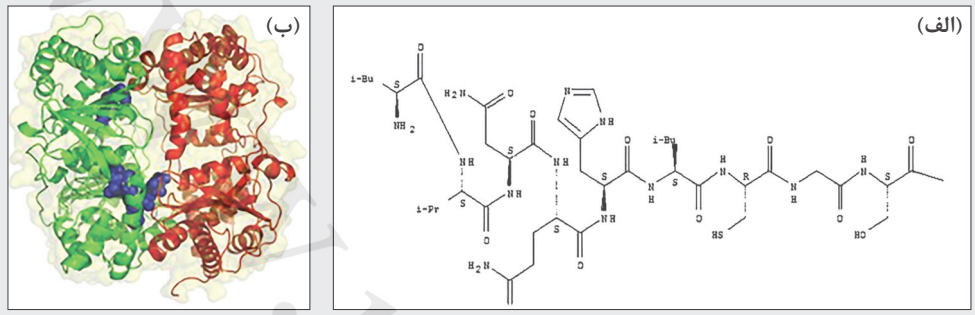
نکتهٔ سوم: مولکول‌ها "اندازه" و "شکل" دارند.



شکل ۴- ساختار فضایی یک مولکول آب

اتم‌ها برای تشکیل مولکول‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید، آب مولکولی است که از یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن تشکیل شده است و بنابراین، با فرمول H_2O نمایش داده می‌شود. در یک مولکول آب، اتم‌های هیدورژن و اکسیژن به صورت خطی در کنار هم قرار نگرفته‌اند. دو پیوند اکسیژن و هیدروژن در این مولکول زاویه‌ای کمتر از ۱۸۰ درجه دارند. همین زاویهٔ پیوند و نحوهٔ قرارگیری اتم‌ها در کنار هم به مولکول آب شکل خاصی می‌دهد و آن را صاحب یک ساختار منحصر به فرد سه بعدی می‌کند. اندازه و شکل مولکول‌ها بر عملکرد و ویژگی‌های آنها تاثیرگذار است. برای مثال، در همین مولکول آب با توجه به نحوهٔ قرارگیری اتم‌ها در کنار هم، در نزدیکی اتم اکسیژن مقداری جزئی بار منفی و در نزدیکی قسمتی که دو اتم هیدروژن قرار گرفته‌اند، مقداری جزئی بار مثبت می بینیم. شاید شنیده باشید که مولکول آب یک مولکول قطبی است؛ یعنی یک سمت آن بار منفی و سمت دیگرش بار مثبت دارد. دلیل قطبی بودن مولکول آب، نحوهٔ قرارگیری اتم‌های آن در کنار یکدیگر است.

مولکول‌های بزرگ‌تر، مانند پروتئین‌ها، اشکال پیچیده‌تری دارند. انسولین پروتئینی است که به ما کمک می‌کند انرژی مواد غذایی را ذخیره سازیم یا از آن استفاده کنیم. شکل انسولین(شکل ۵) نتیجهٔ تمامی اتم‌ها و همهٔ تعاملات بین اتم‌ها و پیوندهای بین اتمی است و باعث می‌شود که این پروتئین بهترین عملکرد خود را داشته باشد. به دلیل تعداد زیاد اتم‌ها و پیوندهای بین اتمی، شکل این مولکول بسیار پیچیده است.



شکل ۵- (الف) ساختار شیمیایی مسطح، (ب) مدل سه بعدی انسولین

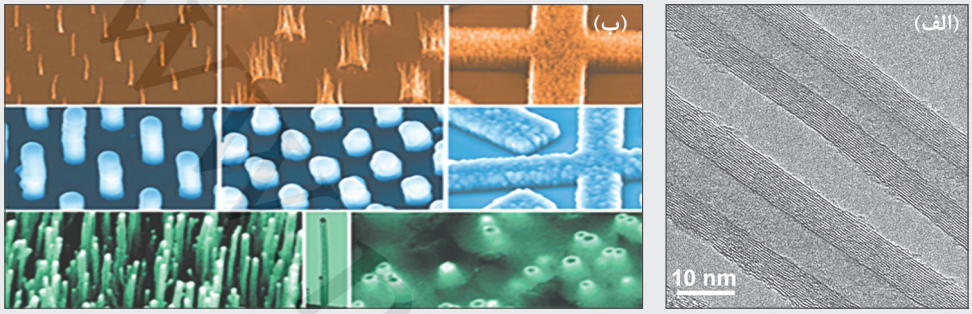
نکتهٔ چهارم: مواد در ابعاد نانومتری ویژگی‌های غیر منتظره ای دارند.

نکتهٔ جالب توجه در بارهٔ فناوری نانو این است که ما می‌توانیم چیزهایی را بسازیم که آن گونه که انتظار داریم رفتار نمی‌کنند! برای مثال، می‌توانیم ذرات کوچکی به نام نقاط کوانتومی ایجاد کنیم که از چند صد اتم ساخته شده اند. آنها نورتابی دارند؛ به این معنی که اگر نوری با یک رنگ خاص (یا طول موج خاص) بر آنها بتابانید، نوری به رنگی دیگر (با طول موج دیگری) را منتشر می‌کند (شکل ۶). خواص این ذرات به اندازهٔ آنها، که فقط چند نانومتر است، و اتم‌هایی که از آنها تشکیل شده‌اند، بستگی دارد. به عبارت دیگر، موادی که از همین اتم‌ها ساخته شده باشند اما اندازه‌شان بزرگ باشد، خاصیت نورتابی ندارند. نقاط کوانتومی در سلول‌های خورشیدی و برای تشخیص بیماری‌ها کاربرد دارند.

شکل ۶- خاصیت نورتابی نقاط کوانتومی؛ این ذرات در تاریکی ابتدا یک طول موج را جذب و سپس طول موج دیگری را منتشر کرده‌اند. طول موج نشر آنها نیز با توجه به اندازه‌ای که دارند متفاوت است و به همین سبب به رنگ‌های مختلفی دیده می‌شوند.

مثال دیگر، نانولوله‌های کربنی است. این لوله‌ها درازند و فقط از کربن تشکیل شده‌اند (شکل ۷). اتم‌های کربن در این ساختار لوله‌ای شکل به شیوهٔ بسیار خاصی به هم متصل شده‌اند. به سبب اتصال خاص

اتم‌های کربن در نانولوله‌های کربنی، خواص منحصر به فردی در آنها به وجود می‌آید. یکی از این خواص این است که آنها می‌توانند به‌عنوان نیمه‌هادی عمل کنند؛ به این معنی که گاهی اجازه می‌دهند الکترون‌ها از میانشان عبور کنند و گاهی اجازه نمی‌دهند. نیمه‌هادی‌ها مواد بسیار مهمی برای ساخت تراشه‌های کامپیوتری هستند؛ زیرا آنها را مانند کلیدهای کوچک برق، بسته به اینکه به الکترون‌ها اجازهٔ حرکت می‌دهند یا نه، می‌توان خاموش و روشن کرد.



شکل ۷- (الف) تصویر میکروسکوپی الکترونی از دو نانولوله کربنی در کنار هم، (ب) تصاویر مختلفی از نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی همچنین بسیار مستحکم‌اند؛ حتی قوی‌تر از فولاد! فولادهایی که به آنها اعتماد داریم و ساختمان‌هایمان را با اتکا به آنها بنا می‌کنیم. نانولوله‌های کربنی در راکت تنیس و دوچرخه به کار می‌روند آنها را بدون اینکه سنگین شوند، مستحکم‌تر می‌کنند (شکل ۸).

شکل ۸- (الف) راکت تنیس، (ب) دوچرخه که در آنها از نانولولهٔ کربنی استفاده شده است.

نکتهٔ پنجم: فناوری نانو اتم‌ها را تغییر نمی‌دهد.

از آنجا که قطر همهٔ اتم‌ها کمتر از ۱ نانومتر (۶۰ تا ۶۰۰ پیکومتر) است، فناوری نانو هیچ گونه دخل و تصرف مستقیمی در ساختار اتمی یک اتم، از قبیل تعداد الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها نمی‌کند. در نتیجه، خواص وابسته به این عوامل - از قبیل ظرفیت پیوند، جرم اتم، تعداد لایه‌های اطراف هستهٔ اتم- به هیچ وجه با

فناوری نانو دچار تغییر نمی‌شوند. با این حال، برخی دیگر از خواص اتم که تا حدودی به محیط اتم و همسایگان آن وابسته‌اند- مثل شعاع اتم، طول پیوند و قدرت پیوند- ممکن است در بعضی موارد با فناوری نانو دچار تغییر شوند.

◈ ٦- تاریخچه فناوری نانو

این تنها بخشی از کتاب جذاب و آموزنده نگاهی نو به دنیای نانو می باشد.

۷ فصل دیگر در انتظار شماست. برای تهیه کتاب به سایت www.nanoclub.ir ، منوی محصولات آموزشی مراجعه فرمایید.

امیدواریم با مطالعه این کتاب با فناوری به روز و پرکاربرد نانو بیشتر آشنا شوید.

www.nanoclub.ir

1-Gecko