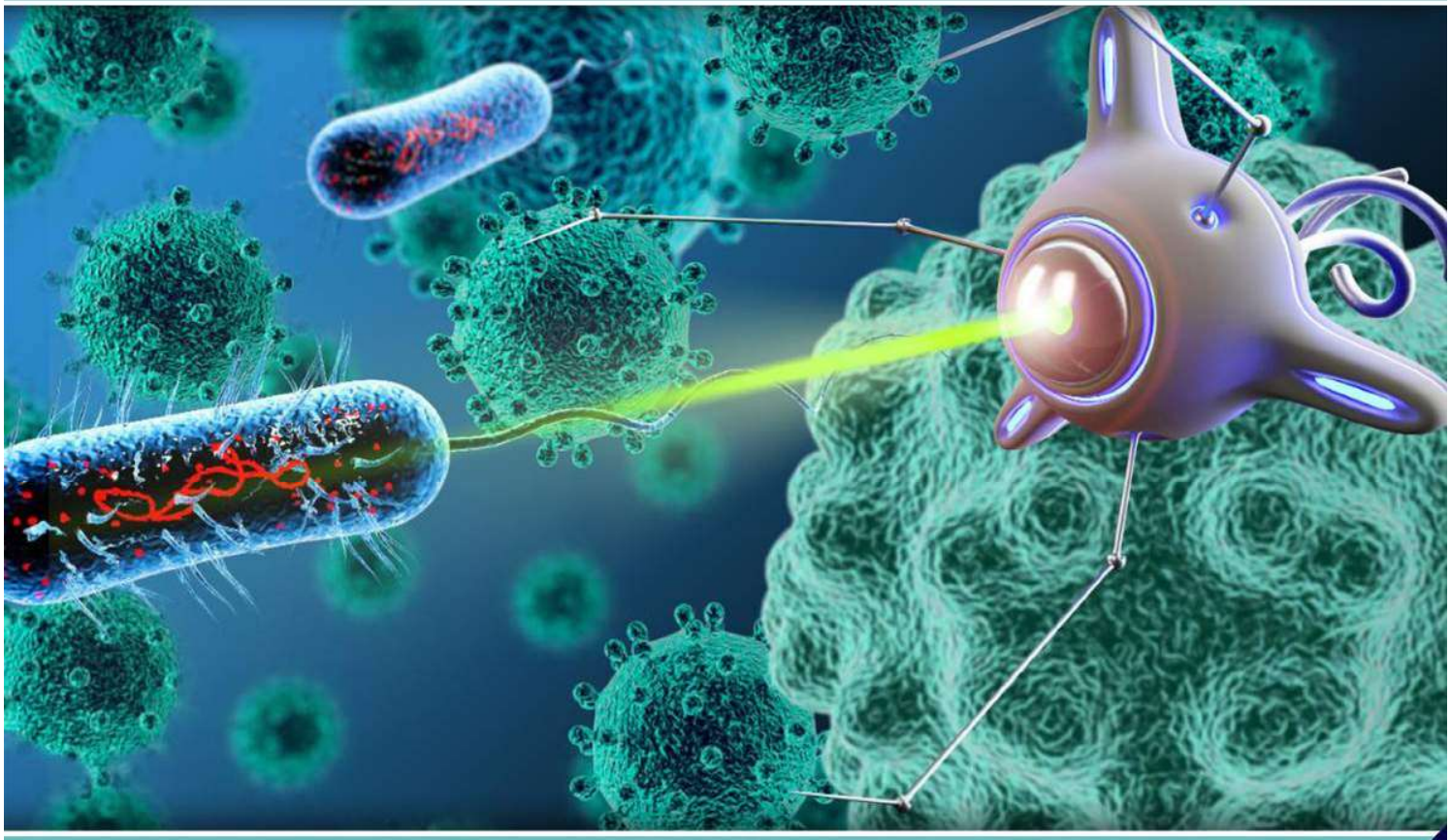
معرفی گرایش نانوفناوری



محمدصالح محمودی و مبینا شادلو،

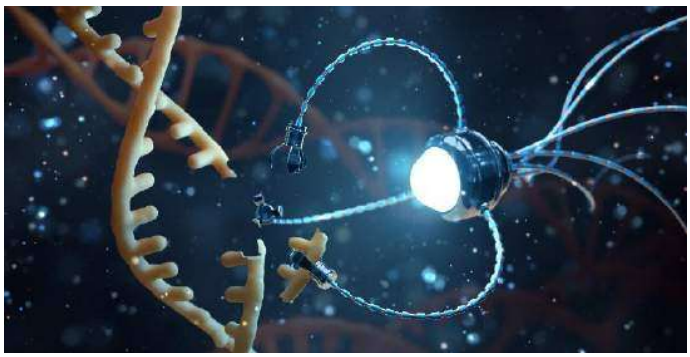
دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران

مقدمه

نانو در زبان یونانی به‌معنی کوتوله است. در مجامع علمی نیز به‌عنوان یک مقیاس بسیار کوچک برای اندازه‌گیری به‌کار می‌رود. در واقع اگر یک متر را به یک میلیارد قسمت مساوی تقسیم کنیم، یکی از آن قسمت‌ها، یک نانومتر است؛ بنابراین یک نانومتر، یعنی یک میلیاردم متر یا 10^{-9} متر.

جالب است بدانید یک نانومتر به اندازه‌ی چیدن ۵ تا ۱۰ اتم در کنار یگدیگر است. پیشوند نانو ممکن است قبل از هر یکای اندازه‌گیری بیاید؛ اما در حوزه‌ی نانومواد، فقط و فقط بحث «طول» مطرح است. مثلاً اگر ماده‌ای یک نانوگرم جرم داشته باشد، آن ماده لزوماً جزو نانومواد نیست. (یا برای مثال واحدهایی مانند نانوثانیه یا نانوهرتز، هیچ ربطی به مفاهیم علوم نانو ندارند.)

نانومواد امروزه در بسیاری از صنایع کاربرد دارند و همین مسئله باعث شده است که فناوری نانو در جهان، زمینه‌ی بسیار مهمی برای فعالیت و تحصیل باشد. از همین رو، در مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مواد و متالورژی گرایشی به نانومواد اختصاص داده شده است که در برخی دانشگاه‌های ایران نیز ارائه می‌شود.



شکل ۱ - شبیه‌سازی عملکرد نانوربات در دستکاری ژن و ترمیم DNA

نانومواد

نانومواد به موادی اطلاق می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در محدوده‌ی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. به‌عنوان مثال نانولوله، یک ساختار لوله‌ای‌شکل است که قطر آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است؛ اما لزوماً طول آن نیز در این مقیاس نیست.

علاوه بر تعریفی که بر اساس اندازه ارائه می‌شود، تعریف دیگری نیز وجود دارد که به تأثیر اندازه[1] مربوط می‌شود. طبق این تعریف، نانومواد، موادی هستند که با کوچک شدن یکی از ابعادشان، خاصیت جدیدی از خود نشان بدهند. خاصیتی که در مقیاس بزرگ‌تر، اثری از آن مشاهده نمی‌شود. پس هرگاه با کاهش اندازه‌ی ذره خاصیتی جدید در آن مشاهده شود، آن را جزو نانومواد به‌حساب می‌آوریم.

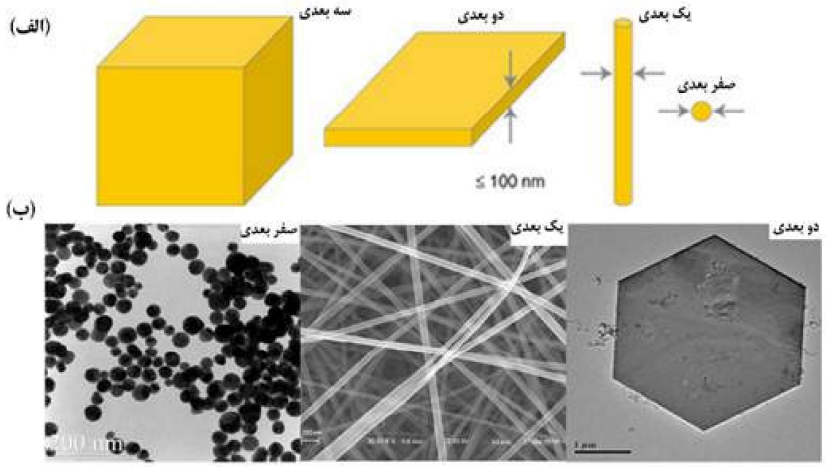
اکثر مواد زمانی که تا اندازه‌های نانومتری کوچک می‌شوند، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی یا حتی ترمودینامیکی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. همین موضوع سبب شده است تا نانومواد پنجره‌ای نو به‌روی کاربردهایی پیشرفته و نوین باز کنند.

بر این اساس، نانوالیاف، نانوکامپوزیت‌ها، نانوکپسول‌ها، نانوبلورها، نانوپوشش‌ها و انواع دیگر نانومواد را می‌توان بهتر تعریف کرد. به‌طور کلی، این‌ها موادی هستند که با به‌کارگیری ساختارهایی در مقیاس نانو (۱ تا ۱۰۰ نانومتر)، خواص جدیدی را در مقایسه با مقیاس بزرگ به‌وجود می‌آورند [۱].

[1] Size Effect

طبقه‌بندی نانومواد

نانومـواد را بـا معیارهـای مختلفـی می‌تـوان طبقه‌بنـدی کـرد؛ امـا مهم‌تریـن طبقه‌بنـدی ایـن مـواد بـر اسـاس ابعـاد اسـت. از ایـن دیـدگاه نانومـواد بـه دسـته‌های صفربعـدی، یک‌بعـدی، دوبعـدی و سـه‌بعدی تقسـیم می‌شـود.



شکل ۲ - نانومواد صفربعدی، یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی

معرفـی و جایگاه علمی علم نانو و نانوفناوری و کاربردها

واژه‌ی نانـو شـامل طیـف وسـیعی از علـوم همچـون شـیمی، فیزیـک، ریاضـی، مهندسـی و زیست‌شناسـی اسـت و در نتیجـه‌ی کاربـرد ایـن فنـاوری در ایـن علـوم، تغییـرات بسـیار بزرگـی ایجـاد می‌شـود.

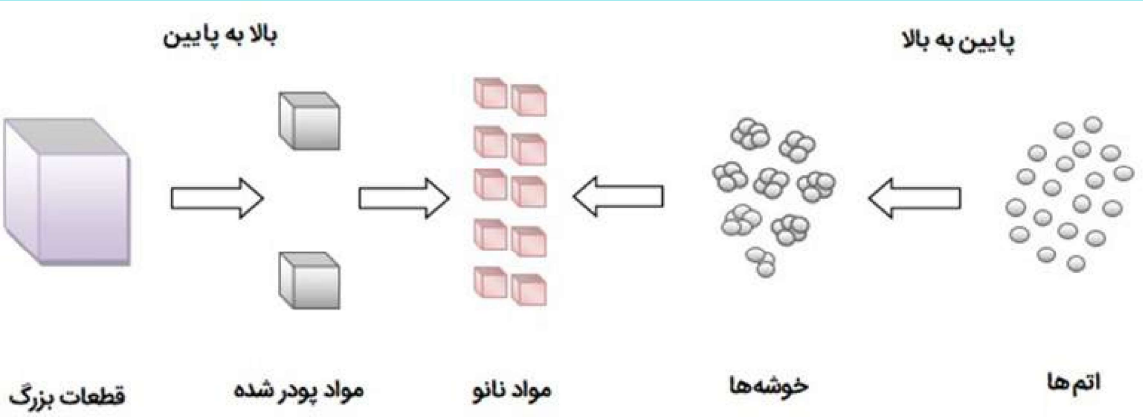
فنـاوری نانـو دانشـی بین‌رشـته‌ای اسـت کـه نمی‌تـوان تنهـا بـا اسـتفاده از قوانیـن حاکـم بـر مکانیـک کوانتومـی یـا خـواص شـیمیایی اتم‌هـا و مولکول‌هـا در دنیـای نانـو آن را به‌درسـتی درک و از آن اسـتفاده کـرد. در کنـار دانشـمندان علـوم شـیمی، فیزیـک و ریاضـی، متخصصان علومـی همچون پزشـکی، مهندسـی و کامپیوتـر بـه رشـد و کارایـی فنـاوری نانو کمـک می‌کننـد. صنایعـی همچـون مـواد، کامپیوتر و پزشـکی در ایـن زمینـه مشـارکت‌های بسـیاری داشـته‌اند و بـه همـان انـدازه از ایـن فنـاوری سـود برده‌انـد.

دو روش کلـی بـرای سـاخت تجهیـزات در فنـاوری نانـو وجـود دارد: **روش بـالا بـه پاییـن و روش پاییـن بـه بـالا**. روش بـالا بـه پایین مثل سـاختن یـک صندلـی از تنه‌ی یـک درخـت اسـت. اول بایـد تنـه‌ی درخـت را بـه قطعه‌هـای کوچـک خـرد و بـا اسـتفاده از ایـن قطعه‌هـا صندلـی درسـت شـود. در صنعـت نیـز ابتـدا بـر روی قطعـه‌ی بـزرگ تغییـر ایجـاد می‌شـود و سـپس آن را بـه قطعـات کوچک‌تـر تقسـیم می‌کننـد تـا بـه ابعـاد نانومتـری برسـند. از ایـن روش بـرای سـاخت ریزپردازنده‌هـا در صنایـع کامپیوتـر اسـتفاده می‌شـود. بـا وجـود موفقیـت زیـاد، ایـن روش در جایـی کـه نیـاز بـه تغییـرات در ابعـاد اتمـی داریـم، ناکارآمـد اسـت؛ زیـرا بـا آن نمی‌تـوان بـر چینـش اتم‌هـا نظـارت داشـت. عمده‌تریـن مشـکلی کـه اسـتفاده از ایـن روش ایجـاد می‌کنـد، زبـری و ناصـاف بـودن سـطح محصـولات تولیـد شـده اسـت.

روش دیگـر، سـاخت تجهیـزات بـا روش پاییـن بـه بـالا اسـت کـه در آن قطعـه، از کنـار هـم قـرار گرفتـن اتم‌هـا سـاخته می‌شـود. اگـر در سـاختار طبیعـت دقـت کنیـد، می‌بینیـد کـه تمـام پدیده‌هـای طبیعـی از ایـن روش سـاخته شـده‌اند. راه‌گشـاترین اسـتراتژی در ایـن روش، مشـاهده‌ی دقیـق روندهـای طبیعـی و شبیه‌سـازی دقیـق فرایندهـای شـیمیایی، فیزیکـی و زیست‌شناسـی آن‌هـا در آزمایشـگاه اسـت. بـا کنـار هـم قـرار گرفتـن کوچک‌تریـن اجـزای سـازنده یـک سـاختار پیچیـده، مثـل اتم‌هـا، بـر اسـاس سـاختاری کـه در طبیعـت وجـود دارد، می‌تـوان آن سـاختار را دقیـق و کامـلاً حساب‌شـده درسـت کـرد. یکـی از نمونه‌هـای

بسیار جذاب روش پایین به بالا، روش خودسازی[۲] است که در آن مولکول‌های موجود در محلول خودبه‌خود با نظم مشخصی بر روی سطح مورد نظر قرار می‌گیرند و ساختاری از پیش تعیین‌شده را به‌وجود می‌آورند. در روش بالا به پایین ساخت چنین ساختارهایی اگر غیرممکن نباشد بسیار دشوار است.

ویژگی‌های اتم‌های جدا از هم در ساختار نانو، تعیین‌کننده خواص میکروسکوپی و حتی ویژگی‌های ظاهری ماده می‌شود. علاوه بر این با استفاده از روش پایین به بالا می‌توان محصولاتی با ویژگی زیست‌سازگاری[۳] بالاتر و دوست‌دار محیط زیست تولید کرد. امید پژوهشگران این است که با استفاده از روش پایین به بالا و الگوبرداری از طبیعت بتوانند اثر مخرب کمتری بر محیط زیست پیرامون جوامع انسانی داشته باشند [۲].



شکل ۳ - دو روش کلی برای ساخت مواد نانویی

نانوفناوری، با در دست گرفتن کنترل در مقیاس نانومتری یا همان سطوح اتمی و مولکولی، توانمندی تولید و ساخت مواد، ابزار و سیستم‌های جدید را فراهم می‌کند. در واقع این فناوری، علم تغییر یا استفاده از خواص جدید مواد و سیستم‌ها در ابعاد نانومتری است که در این سطوح ظاهر می‌شوند.

قابلیت این فناوری در تغییر و تحول جدی در کیفیت زندگی انسان باعث شده است در نقاط مختلف جهان، در بخش‌های آموزش، پژوهش و صنعت، سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی بر روی نانوفناوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین فناوری‌های جدید، انجام گیرد. امروزه فناوری نانو بسیاری از عرصه‌های علمی را درنوردیده و کاربردهای گسترده‌ای یافته است که جا دارد در ادامه به برخی از کاربردهای آن اشاره کنیم [۳].

کاربردهای فناوری نانو

امروزه شاید کمتر صنعتی را بتوان پیدا کرد که تحت تأثیر فناوری نانو قرار نگرفته باشد و این فناوری نو در صنایع الکترونیک، نظامی، پزشکی، کشاورزی و غیره وارد شده و همچنان در حال توسعه و پیشرفت است. نانوتکنولوژی در آینده، موجب ساخت مواد و ابزارهایی با عملکرد مطلوب‌تر خواهد شد. محققین قادر به ایجاد ساختارهایی از مواد خواهند شد که در طبیعت نبوده و شیمی مرسوم نیز قادر به ایجاد آن‌ها نبوده است. یکی از مزایای نانوساختارها، قابل برنامه‌ریزی کردن مواد است که می‌توانیم ویژگی ذاتی آن‌ها را متناسب با نیاز خودمان تغییر دهیم. برای مثال ساختن یا طراحی ماده‌ای سبک با استقامت بالا که نسبت به خوردگی مقاوم باشد. علم نانو با خلق ابزارهایی نوین بر پایه‌ی اصول و معماری جدید، کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد. از جمله کاربردهای نانوفناوری در صنعت الکترونیک، ساخت محصولات و دستگاه‌هایی با بازده‌ی بسیار بالاتر و مصرف انرژی کمتر همچون ماشین‌حساب‌های پیشرفته،

[۲] Self-assembly

[۳] یعنی عمر طولانی داشته باشد، از نظر شیمیایی خنثی باشد و اثر مخرب بر سایر بافت‌ها نداشته باشد

لپ‌تاپ، تلفن‌های همراه و دیگر وسایل الکترونیکی است. ترانزیستورهای ساخته‌شده در ابعاد نانو، قطعات اساسی مدارهای پیچیده‌ی امروزی هستند. بیوتکنولوژی جزو فناوری‌های در حال توسعه است که با به‌کارگیری مفهوم نانو به پیشرفت‌های بیشتری دست خواهد یافت. نانوبیوتکنولوژی به‌عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی قرن ۲۱ شناخته شده است که امکان تعامل با سیستم‌های زنده را در مقیاس مولکولی فراهم می‌آورد. بیوتکنولوژی به نانوتکنولوژی مدل ارائه می‌دهد، در حالی که نانوتکنولوژی با در اختیار گذاشتن ابزار برای بیوتکنولوژی، آن را برای رسیدن به اهدافش یاری می‌رساند. محدودیت‌های شدید سوخت مورد نیاز فرستادن فضاپیما برای مأموریت‌های طولانی به فضا از جمله مشکلاتی است که وجود مواد و ابزارآلات نانوساختاری، حل این مشکل را ممکن ساخته است [۲ و ۴].

واحدهای درسی گرایش نانومواد و نانوفناوری

هر دانشجو در هر دوره‌ی آموزشی و هر رشته‌ای که وارد دانشگاه می‌شود از قبل برای وی یک روند آموزشی تعیین شده است که بهتر است بر اساس آن چارت درسی، درس‌های خود را در هر ترم انتخاب کند. چارت آموزشی علاوه بر عنوان درس‌های پیشنهادی برای هر ترم، حاوی اطلاعات دیگری نیز است از قبیل تعداد واحد پیشنهادی برای هر ترم، دروس اصلی، اختیاری و عمومی، دروس دارای پیش‌نیاز و هم‌نیاز، کد درس‌ها و غیره. معمولاً چارت‌های درسی دانشگاه‌های مختلف شبیه به هم هستند اما ممکن است تفاوت‌هایی جزئی داشته باشند. چارت درسی را از سایت دانشگاه خود (بخش معاونت آموزشی) می‌توانید به‌دست آورید.

لازم به ذکر است در دانشگاه تهران، گرایش کارشناسی ارشد نانومواد یا فناوری نانو وجود ندارد؛ اما به‌منظور معرفی کلی چارت درسی گرایش نانومواد، دو درس مهم از این گرایش را نام برده و به‌طور مختصر توضیح می‌دهیم.

۱- روش‌های سنتز نانومواد[۵]

در اکثر مقالات علمی حوزه‌ی نانو، به‌جای «ساخت»، از واژه‌ی «سنتز» استفاده می‌شود. برای سنتز نانوذرات روش‌های بسیار متنوعی وجود دارد. این روش‌ها به‌طور کلی به دو گروه بالا به پایین و پایین به بالا تقسیم می‌شوند که پیش‌تر در قسمت نانوفناوری به آن‌ها پرداختیم.

۲- روش‌های آنالیز مواد[۶]

روش‌های آنالیز و شناسایی مواد، بسیار حائز اهمیت است. خواص فیزیکی و شیمیایی یک محصول، به نوع مواد اولیه و ریزساختار آن بستگی دارد؛ بنابراین جهت شناسایی ویژگی‌های یک ماده برای انجام پژوهش و نیز کنترل کیفیت محصولات صنعتی، نیاز به روش‌ها و تجهیزات شناسایی خاصی است.

روش‌های آنالیز را می‌توان به **سه** دسته کلی تقسیم‌بندی نمود: **عنصری**، **فازی** و **ریزساختاری**.

- **آنالیز عنصری:** در این روش، تنها نوع عنصر یا مقدار آن مشخص شده ولی ساختار کریستالی عنصر یا ماده تعیین نمی‌شود.
- **آنالیز فازی:** ساختار کریستالی یا کانی‌های موجود در ماده، در این روش مشخص می‌شود.
- **آنالیز ریزساختاری:** در این روش، شکل، اندازه و توزیع فازها بررسی می‌شود. این ویژگی‌ها اثر مهمی بر خواص نهایی ماده دارند.

علاوه بر سه دسته‌ی فوق، دو روش دیگر نیز وجود دارند: **آنالیز سطح و حرارتی** [۵].

تمامی روش‌های آنالیز مواد در این درس بررسی می‌شود. همچنین، در ویژه‌نامه‌ی

[۴] Synthesis Methods of Nanomaterials

[۵] Materials Analysis Methods

«روش‌های آنالیز مواد نانوساختار» نشریه‌ی فراسوی‌مواد، به‌طور تخصصی‌تر با این روش‌ها آشنا شده‌ایم.

در این گرایش علاوه بر واحدهای اصلی و مهم ذکرشده، به دروس دیگری از جمله خواص نانومواد[۶]، نانوکامپوزیت‌ها[۷]، نانومواد پیشرفته[۸]، لایه‌های نازک و پوشش‌های نانو ساختار[۹]، نانوالکترونیک و فناوری قطعات[۱۰]، نانوزیست‌فناوری[۱۱] و غیره پرداخته می‌شود [۶].

معرفی نرم‌افزارهای مناسب گرایش نانومواد

عصر تکنولوژی و ظهور نرم‌افزارهای تخصصی برای رشته‌های مختلف، پژوهش‌ها و ارزیابی‌های علمی محققین را دقیق‌تر و به‌صرفه‌تر نموده است. در ادامه به بررسی ۳ نمونه از نرم‌افزارهای تخصصی بسیار مفید و کاربردی برای پژوهشگران رشته‌ی مواد و متالورژی و گرایش نانومواد می‌پردازیم:

۱- Xpert HighScore:

در علم مواد و مهندسی مواد، فیزیک، شیمی و غیره برای شناسایی و تعیین ساختار مواد، محصولات خوردگی، پوشش‌ها و غیره از آزمونی بر اساس قانون براگ[۱۲] استفاده می‌شود که اطلاعات جامعی درباره‌ی ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. برای مثال یک پره‌ی توربین که در نیروگاه‌های حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، پس از مدتی با توجه به اتمسفر پیرامون آن دچار خوردگی داغ می‌شود. با آنالیز محصولات خوردگی روی پره‌ی توربین می‌توان نسبت به افزایش مقاومت به خوردگی آن اقدام نمود. نرم‌افزارهایی چون Xpert HighScore می‌توانند نتایج آزمون را به‌خوبی تحلیل نموده و نیاز محققان را برآورده سازند.

همچنین نرم‌افزار Xpert HighScore یکی از مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در رشته‌های مهندسی به‌خصوص مهندسی مواد، شیمی، فیزیک، زیست، پزشکی برای فازیابی و آنالیز کامل الگوهای پراش اشعه ایکس[۱۳] است.

علاوه بر فازیابی، تعیین ساختار، اندازه‌ی کریستالیت (و نه اندازه‌ی دانه)، تنش باقی‌مانده، محاسبه‌ی سطح زیر نمودار، ثوابت شبکه و غیره نیز جزو امکانات این نرم‌افزار است [۷].

۲- LAMMPS:

نرم‌افزار LAMMPS نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی دینامیک مولکولی است که مدل‌هایی از ذرات را در محیط آبی، جامد و گاز ارائه می‌دهد و می‌تواند برای مدل‌های اتمی، پلیمرها، مولکول‌های بیولوژیکی، فلزها و غیره به‌کار رود.

در حالت کلی LAMMPS از معادلات حرکت نیوتن برای مجموعه ذرات یا مولکول‌ها یا اتم‌ها از طریق نیروهای کوتاه‌برد یا بلندبرد استفاده می‌کند [۸].

۳- Materials Studio:

متریال استودیو یک محیط مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامل است که به محققان علم مواد و شیمی و فیزیک امکان توسعه‌ی مواد جدید از طریق پیش‌بینی روابط بین ساختار اتمی و مولکولی مواد با خواص و رفتار آن‌ها را می‌دهد با استفاده از متریال استودیو محققان صنایع مختلف می‌توانند مواد بهتری را از جمله دارو، کاتالیزور، پلیمر و کامپوزیت، فلزات و آلیاژها، باتری و سلول‌های سوختی، نانومواد و غیره مهندسی کنند.

متریال استودیو طیف کاملی از قابلیت‌های شبیه‌سازی از ابزار کوانتومی، اتمی، آماری و تحلیلی فراهم می‌کند این طیف گسترده از ابزارها، محققان را قادر به ارزیابی مواد در اندازه‌های طولی و مقیاس‌های زمانی مختلف به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر و ارزیابی عملکرد در کوتاه‌ترین زمان ممکن می‌کند [۹].

---

[۶] Properties of Nanomaterials
[۷] Nanocomposites
[۸] Advanced Nanomaterials
[۹] Thin Films and Nanostructured Coatings
[۱۰] Nanoelectronics and Devices Technology
[۱۱] Nanobiotechnology
[۱۲] $n\lambda = 2d.\sin\Theta$
[۱۳] X-ray Diffraction (XRD)

بازار کار علوم نانو

حوزه‌ی نانو که عمر آن در کشورمان حتی به سه دهه هم نمی‌رسد، این روزها توانسته است بخشی از نیاز داخل کشور را توسط نیروی انسانی داخلی این حوزه چه در عرصه‌ی دارویی و چه صنعتی و غیره برطرف سازد. حوزه‌ی نانو به اندازه‌ای مهم است که امروزه گرایش‌های دانشگاهی آن از انگشت ای یک دست فراتر رفته و دانشجویانی که در رشته‌هایی چون نانوشیمی[۱۴]، نانوفیزیک، نانوفناوری[۱۵]، نانومواد[۱۶]، مهندسی پلیمر[۱۷] و غیره فارغ‌التحصیل می‌شوند، می‌توانند به فراخور رشته‌ی خود وارد بازار کار در حوزه‌ی نانو شوند؛ مسئله‌ای که شاید درباره‌ی سایر رشته‌های جدید کمتر شاهد آن هستیم.

نانو به‌حدی در بخش‌های مختلف زندگی انسان امروزی نفوذ کرده است که رد آن را می‌توان در ساده‌ترین وسایل امروزی مانند فیلتر خودرو تا پیشرفته‌ترین وسایل مانند داروها و حتی تجهیزات نظامی پیدا کرد. نکته جالب دیگر این حوزه آن است که فعالان ایرانی این حوزه، توانسته‌اند به‌رغم وجود تحریم‌ها و ممانعت از حضور شرکت‌های ایرانی در بازارهای بین‌المللی، محصولات خود را راهی بازار سایر کشورها کرده و مسیر صادرات محصولات نانویی را به کشورهایی چون کره جنوبی، استرالیا، مالزی، روسیه، ترکیه، عراق، پاکستان، آلمان، انگلستان، فرانسه، ایتالیا، اسپانیا، کانادا و آمریکای لاتین باز کنند، کشورهایی که برخی از آن‌ها خود ابرقدرتی در حوزه علم و فناوری محسوب می‌شوند، اما به‌خاطر پیشرفت‌های ایران در حوزه‌ی نانو از ورود محصولات ایرانی به بازارهای کشورشان ممانعت نمی‌کنند.

اگر نگاهی به گردش مالی همین حوزه‌ی نوپا در علم و فناوری داشته باشیم، متوجه می‌شویم این حوزه نه‌تنها برای فعالان داخلی بلکه برای سایر کشورها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ گردش مالی‌ای که رقم آن تنها در کشور ایران به ۱۳۰۰ میلیارد تومان در سال ۹۶ رسیده است، درحالی که همین گردش مالی در سال ۹۵، فقط ۷۰۰ میلیارد تومان بود و رشد ۶۰۰ میلیارد تومانی، آن هم تنها ظرف یک سال، نشان از ظرفیت بالای فعالیت در بازار فناوری نانو دارد. ظرفیتی که به‌تبع آن به افزایش اشتغال‌زایی نیز کمک شایانی خواهد کرد.

فناوری نانو که این روزها تنها ۵۰۵ محصول شناسنامه‌دار را در بازار داخلی عرضه کرده و سال گذشته هم بیش از ۱۰۰ میلیارد تومان مالیات به دولت داده است، توانسته با ایجاد ۲۰۰ شرکت دانش‌بنیان در حوزه‌های مختلف نانو، ۲۰ هزار نفر را که عمده‌ی آن ا نیز نیروی انسانی تربیت‌شده از سوی جامعه دانشگاهی هستند، صاحب شغل کند؛ افرادی که یا به‌واسطه ده‌ها شغل مستقیم و غیرمستقیم ایجادشده مرتبط با این بخش راهی بازار کار شده‌اند، یا در سایر مشاغلی که از پیش وجود داشته اما به‌واسطه راه‌اندازی این شرکت ا جانی دوباره گرفته‌اند، این روزها جزو نیروی شاغل کشور محسوب می‌شوند [۱۰].

هزار میلیارد برای راه‌اندازی کسب‌وکار نانویی

با همین چند آمار مختصری که از حوزه نانو منتشر شده است، می‌توان به این نتیجه رسید که نانو می‌تواند در آینده‌ی کشور یکی از حوزه‌های اثرگذار هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ علمی و فناوری باشد؛ چرا که به‌طور میانگین در هر شرکت دانش‌بنیان حدود ۱۰۰ نفر مشغول به کار هستند، هرچند این تعداد نیروی کار بسته به حجم فعالیت شرکت متفاوت است، اما با تثبیت جایگاه فناوری نانو می‌توان به این مهم امیدوار بود که در آینده

[۱۴] Nanochemistry
[۱۵] Nanotechnology
[۱۶] Nanomaterials
[۱۷] Polymer Engineering

هم امکان ایجاد اشتغال برای حداقل هزار دانشجویی که در سال گذشته گرایش‌های مختلف فناوری نانو را برای ادامه‌ی تحصیل انتخاب کرده‌اند، با راه‌اندازی شرکت‌هایی که شاید نیاز به سرمایه‌ی اولیه‌ی چندان بالایی هم نداشته باشند، وجود خواهد داشت. شاید این مسئله دور از ذهن باشد که می‌توان با سرمایه حداقل ۵۰ میلیون تومانی هم شرکتی را در این زمینه ایجاد کرد، یعنی با حداقل یک میلیارد تومان می‌توان برای حدود هزار دانشجوی امروز، در آینده نزدیک شغل مرتبط با فناوری نانو را دست‌وپا کرد [۱۰].

رتبه‌بندی ایران و سایر کشورهای جهان در حوزه‌ی نانوفناوری

۱) از نظر تعداد مقالات منتشرشده

جایگاه ایران:

طی نیم قرن اخیر تقریباً هر ۱۰ سال یک فناوری جدید و تحول‌ساز در جهان ظهور کرده است و در این میان ما همیشه در آرزوی این بوده‌ایم که به‌موقع در چنین فناوری‌هایی وارد شویم تا امکان رقابت داشته باشیم. بنابراین، زمانی‌که بحث فناوری نانو در دنیا مطرح شد، در حالی‌که در آن زمان حتی تعریف مشخصی از این علم در کشور نداشتیم، عزم خود را جزم کرده و از سال‌های آغازین ظهور این فناوری تا حال پیشرفت‌های زیادی کردیم [۱۱].

آغاز حرکت ایران در مسیر نانو از سال ۲۰۰۱ و قبل از تأسیس ستاد فناوری نانو بود که تعداد معدودی از محققان و دانشمندان ایرانی با این فناوری نوظهور آشنا بودند. در آن زمان ایران با انتشار ۱۰ مقاله ISI در خصوص نانو، در رده‌ی پنجاه و هفتم دنیا و ششم منطقه‌ی خاورمیانه قرار داشت. اما اکنون تولیدات علمی ایران به مرحله‌ای رسیده که از مرز ۱۰ هزار مقاله گذشته است و ۲۵ درصد تولیدات علمی ایران مربوط به حوزه‌ی نانو می‌شود [۱۲].

بر اساس ارزیابی‌های پایگاه داده WoS (Web of Science) در سال ۲۰۱۶ میلادی، ۸۳۰۶ مقاله مرتبط با فناوری نانو توسط محققان ایرانی در وب آو ساینس نمایه شد که معادل ۵.۵ درصد از کل مقالات نانو منتشرشده در سال ۲۰۱۶ است. ایران با این سهم از انتشارات نانو با یک رتبه رشد نسبت به سال ۲۰۱۵، در رتبه‌ی ششم دنیا قرار گرفت.

در سال‌های بعد ایران همواره یک روند صعودی را در انتشار علوم نانو طی کرد، به‌طوری‌که از انتشار سالانه ۱۰ مقاله‌ی نانو، به انتشار روزانه ۲۲ مقاله‌ی نانویی رسید. متوسط درصد رشد سالانه مقالات نانو ایران تا سال ۲۰۱۶ حدود ۶۰ درصد بوده است. این تعداد از مقالات نانو بیش از یک پنجم کل مقالات علمی ایران در WoS را شامل می‌شوند، در حالی‌که سهم مقالات نانو از کل مقالات دنیا در سال ۲۰۱۶ میلادی ۹ درصد بوده است [۱۳].

جایگاه سایر کشورهای جهان در مقایسه با ایران:

در سال‌های اخیر، ایران از نظر تولید علم رتبه‌ی چهارم نانو را تثبیت کرده است و قبل از ایران، چین، آمریکا و هند رتبه‌های اول تا سوم در حوزه‌ی نانو را از دیدگاه تولید مقالات به خود اختصاص داده‌اند. به‌طور کل در حال حاضر قدرت‌های علمی جهان در حوزه‌ی نانو، کشورهای آمریکا، هند، چین، ایران، کره‌ی جنوبی، آلمان، ژاپن، فرانسه، انگلستان، روسیه، اسپانیا، ایتالیا، استرالیا، کانادا، تایوان، عربستان، برزیل، لهستان، سنگاپور و ترکیه هستند [۱۴].

۲) از نظر تعداد اختراعات ثبت‌شده

نانوفناوری علم پیونددهنده‌ی دنیای امروز با آینده خوانده می‌شود؛ چرا که در حال حاضر این حوزه محور ابداعات و اختراعات علمی روز دنیا قرار گرفته است؛ یعنی همان نقشی که ۱۵۰ سال پیش برق و الکتریسیته ایجاد کرده بود را ایفا می‌کند و به این ترتیب روزی نیست که خبری از کشفیات و اختراعات جدید دانشمندان با استفاده از نانوفناوری نشنویم و نخوانیم [۱۱].

جایگاه ایران:

ایران در مجموع، ۱۷۲ اختراع مرتبط با فناوری نانو در دفاتر ثبت پتنت آمریکا و اروپا منتشر کرده است. در سال ۲۰۱۶ تعداد ۱۰ پتنت محققان نانو ایران در USPTO به ثبت رسیده است. این آمار تا سال ۲۰۱۸ در مجموع به ۳۷

پرونده ثبت اختراع رسید.

بر این اساس، ایران در پتنت‌های ثبت‌شده در USPTO در سال ۲۰۱۶ رتبه‌ی ۲۴ را داشت؛ اما نسبت تعداد پتنت‌ها به تعداد مقالات نانو نشان می‌دهد که ایران در زمینه‌ی نوآوری و تولید فناوری نانو همانند تولید علم موفق نبوده است. ثبت ۴۶ درصد پتنت نانویی در ازای هر ۱۰۰ مقاله‌ی نانو مؤید این ادعا است. با این حال باید توجه داشت که همین تعداد اختراعات مرتبط با فناوری نانو سهمی در حدود ۳۰ درصد از کل پتنت‌های ثبت‌شده ایران در ادارات ثبت پتنت آمریکا و اروپا را شامل می‌شوند [۱۳].

جایگاه سایر کشورهای جهان:

در میان کشورهای فعال در زمینه فناوری نانو، آمریکا و ژاپن بیشترین اختراعات را ثبت کرده‌اند، پس از آن‌ها چین با رشد چشم‌گیری در حال کم کردن فاصله‌ی خود با این دو کشور است. استرالیا علی‌رغم سهم بسیار اندک در انتشار مقالات، در اختراعات ثبت‌شده جزو پنج کشور اول دنیا است [۱۴].

Rank	Country	Nano-articles	Share (%)
1	China	65,594	39.47
2	USA	24,514	14.75
3	India	14,036	8.45
4	Iran	9,662	5.81
5	South Korea	9,372	5.64
6	Germany	8,448	5.08
7	Japan	7,381	4.44
8	UK	5,667	3.41
9	France	5,412	3.26
10	Russia	5,309	3.19
11	Spain	4,518	2.72
12	Italy	4,227	2.54
13	Australia	4,122	2.48
14	Canada	3,603	2.17
15	Saudi Arabia	3,109	1.87
16	Brazil	3,075	1.85
17	Taiwan	2,885	1.74
18	Turkey	2,491	1.50

جدول ۱ - رتبه‌بندی کشورها بر اساس تعداد مقالات نانو

رتبه‌بندی جهانی مباحث آکادمیک علم نانو و نانوفناوری در سال ۲۰۱۹

۵ کشوری که ۶۱ درصد از ۴۰۰ دانشگاه برتر جهان را در زمینه‌ی علم نانو و نانوفناوری در بر دارند:

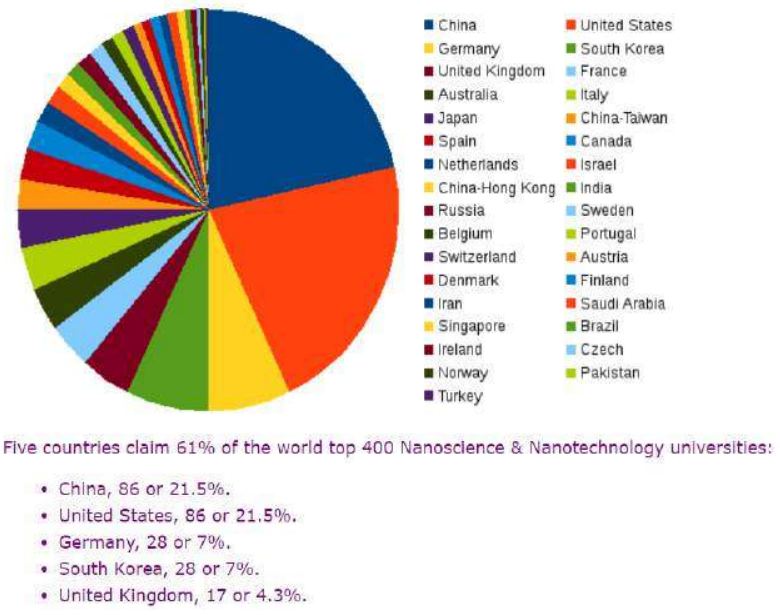
چین با ۸۶ دانشگاه، ۲۱.۵ درصد

ایالات متحده با ۸۶ دانشگاه، ۲۱.۵ درصد

آلمان با ۲۸ دانشگاه، ۷ درصد

کره‌ی جنوبی با ۲۸ دانشگاه، ۷ درصد

بریتانیا با ۱۷ دانشگاه، ۴.۳ درصد [۱۵]



نمودار ۱ - رتبه‌بندی جهانی مباحث آکادمیک علم نانو و نانوفناوری در سال ۲۰۱۹

منابع

[1] Book: Nanostructures & Nanomaterials: Synthesis, perties & Applications by Guozhong Cao

[۲] لینک: فناوری نانو | تعریف، تاریخچه و کاربردها

[۳] لینک: مهندسی نانوفناوری دانشگاه علم و صنعت ایران

[۴] کتاب: نانوتکنولوژی: آیینه‌ی تکنولوژی آفرینش، نوشته‌ی انجمن علمی دانشجویی دانشکده‌ی فنی دانشگاه تهران

[۵] لینک: انواع روش های آنالیز و شناسایی مواد

[۶] فایل: چارت درسی گرایش کارشناسی ارشد نانومواد دانشگاه صنعتی اصفهان

[۷] لینک: نرم‌افزار Xpert HighScore Ver3

[۸] لینک: نرم‌افزار LAMMPS

[۹] لینک: نرم‌افزار Materials Studio

[۱۰] لینک: معجزه اشتغال زایی نانو

[۱۱] لینک: نانو علم و نانوفناوری شیمی زندگی است

[۱۲] لینک: پیشرفت ایران در فناوری نانو طی ۱۵ سال اخیر به روایت تصویر

[۱۳] لینک: جایگاه جهانی ایران در ثبت اختراعات نانو

[۱۴] لینک: وبسایت رسمی ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو

[15] Link: Global Ranking of Academic Subjects 2019: Nanoscience & Nanotechnology