



مبانی فناوری نانو

نانومواد و نانوساختارها

انتشارات دانشگاه اصفهان

تدوین و گردآوری:

دکتر ابوالقاسم عباسی کجانی

عضو هیأت علمی گروه زیست فناوری دانشگاه اصفهان



سرشناسه : عباسی کجانی، ابوالقاسم، ۱۳۶۲
عنوان و نام پدیدآور : مبانی فناوری نانو: نانومواد و نانوساختارها/ تدوین و گردآوری ابوالقاسم عباسی کجانی
مشخصات نشر : اصفهان: دانشگاه اصفهان، ۱۴۰۴
مشخصات ظاهری : ۳۸۲ ص.: مصور (بخشی رنگی).
فروست : انتشارات دانشگاه اصفهان؛ ۷۷۷.
شابک : 978-600-110-246-2
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
عنوان دیگر : نانومواد و نانوساختارها
موضوع : نانوتکنولوژی
Nanotechnology
مواد نانوساختار
Nanostructured materials
شناسه افزوده : دانشگاه اصفهان
شناسه افزوده : University of Isfahan
رده بندی کنگره : T ۱۷۴/۷
رده بندی دیوئی : ۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی : ۱۰۰۲۴۹۵۲

عنوان کتاب: مبانی فناوری نانو: نانومواد و نانوساختارها
تدوین و گردآوری: ابوالقاسم عباسی کجانی
ویراستار ادبی: زهره طاهری اندانی
ناشر: دانشگاه اصفهان
نوبت چاپ: اول، بهار ۱۴۰۴
شمارگان: ۱۰۰۰
ناظر فنی: رضا نیکبخت
چاپ و صحافی: دانشگاه اصفهان
قیمت: ۳/۵۰۰/۰۰۰ ریال



تمامی حقوق نشر برای ناشر محفوظ است

مراکز فروش کتاب

اصفهان: دانشگاه اصفهان، چاپخانه دانشگاه، تلفن: ۰۳۱-۳۷۹۳۲۱۸۵ و ۰۳۱-۳۷۹۳۲۰۹۲
پُست الکترونیکی: press@res.ui.ac.ir فروش الکترونیکی کتاب: <https://press.ui.ac.ir>
- میدان آزادی، خیابان دانشگاه، فروشگاه کتاب دانشگاه اصفهان تلفن: ۰۳۱-۳۷۹۳۲۰۶۸
تهران: میدان انقلاب، خیابان شهید لبافی‌نژاد، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۲۳۸
مؤسسه کتابیران، مرکز پخش کتاب‌های دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۹۴۴۰۹ و ۰۲۱-۶۶۴۱۱۱۷۳

پیشگفتار

نانوفناوری دانش طراحی، ساخت و کاربرد نانومواد و نانوساختارها و شناخت ارتباط میان ویژگی‌های مواد با اندازه آن‌ها است. نانوفناوری دانشی نوین است که توانایی آفرینش یک انقلاب نوین را در دنیای دانش دارد. با اینکه فقط چند دهه از پیدایش این رشته جذاب و شگفت‌انگیز می‌گذرد، در این مدت کوتاه نیز نقشی به‌سزا در پیشرفت دانش و افزایش رفاه و آسایش انسان و از میان برداشتن برخی از مشکلات بشر داشته است. ویژگی‌های بارز و بی‌همتای مواد و ساختارهای نانو، همچون ابررسانایی و ابرمغناطیس و ویژگی‌های نوری و مکانیکی، نوید پیشرفتی شگرف را در دانش و فناوری می‌دهند. بسیاری از این ویژگی‌ها را می‌توان در پدیده‌های زیستی و طبیعی یافت و از آن‌ها برای گسترش نانوساختارهای جدید استفاده کرد. این نانومواد و نانوساختارها در کوچک‌سازی ابزارها، حس‌گرها و دستگاه‌ها و افزایش کارایی آن‌ها به کار گرفته شده‌اند. نانوفناوری کاربردهایی گسترده در صنایع گوناگون از جمله الکترونیک، اپتیک، خودروسازی و ساختمان، منسوجات کشاورزی، گرایش‌های گوناگون زیست‌شناسی و پزشکی یافته است که نتیجه تلاش‌ها و همکاری‌های دانشمندان رشته‌هایی گوناگون همچون فیزیک، شیمی، مواد، زیست‌شناسی، داروسازی و پزشکی بوده است.

آموختن مبانی پایه نانوفناوری شامل شناخت ویژگی‌های نانومواد و چگونگی ارتباط آن‌ها با شکل و اندازه مواد، نخستین و ضروری‌ترین گام برای موفقیت در این زمینه است که برای دانشجویان و شیفتگان این رشته لازم است. بدون شناخت کامل و کافی از نانوساختارهای گوناگون و ویژگی‌های آن‌ها، نمی‌توان به طراحی هوشمندانه و هدفمند نانوساختارها و نانوابزارهای جدید و کارآمد دست یافت؛ بنابراین، در گام نخست، باید دانش کافی از اندازه، ریخت‌شناسی، ریزساختار، ساختار بلورین و ترکیب شیمیایی نانومواد گوناگون را به دست

آورد و ویژگی‌های مرتبط با آن‌ها را دانست تا بتوان از فناوری نانو در توسعه ابزارهای جدید برای حل مشکلات صنایع گوناگون و بهبود آن‌ها بهره برد.

پژوهش‌ها در زمینه نانوفناوری به سرعت در زمینه‌های گوناگون رو به گسترش هستند و گرایش‌های گوناگون و اختصاصی بر پایه نانوفناوری گسترش یافته‌اند. نانوزیست فناوری از جمله گرایش‌هایی نوین است که بیشتر به دنبال بهره‌برداری از توانمندی‌های نانوفناوری در زمینه‌های مرتبط با موجودات زنده است و کاربردهایی رو به گسترش در زیست‌شناسی، پزشکی، صنایع غذایی، کشاورزی و محیط‌زیست یافته است. این کتاب با هدف آموزش مبانی دانش نانو به دانشجویانی نگارش شد که به دنبال یادگیری و پژوهش در زمینه نانوزیست فناوری هستند. هرچند شناخت کامل مبانی دانش نانو فراتر از این کتاب است، تلاش شد تا گزیده‌ای از مهم‌ترین و ضروری‌ترین یافته‌ها از منابع معتبر و جدید این رشته گردآوری شود که دانش‌آموزان آن‌ها برای دانشجویان این رشته مفید و لازم است. امید است در نگارش‌های دیگر، جنبه‌های دیگر همچون روش‌های ساخت و مشخصه‌یابی نانو ساختارها و کاربردهای آن‌ها نیز گردآوری شوند.

در فصل اول کتاب، برخی از تعاریف و مروری بر تاریخچه گسترش نانوفناوری ارائه شده‌اند و در فصل دوم کتاب، قوانین مکانیک کوانتومی استفاده شده در تفسیر پدیده‌های وابسته به نانو مطرح شده‌اند. سپس، در فصل سوم، ویژگی‌های گوناگون و منحصر به فرد نانومواد و نانو ساختارها بررسی شده‌اند که ناشی از ابعاد کوچک آن‌ها هستند و نانو ساختارهای مزومخلخل، به عنوان یکی از پرکاربردترین گروه‌های نانومواد در زمینه‌های زیست پزشکی به ویژه در دارورسانی و حذف آلاینده‌ها از آب و هوا، در فصل چهارم بررسی شده‌اند. فصل پنجم به معرفی ساختار و ویژگی‌های مهم‌ترین و پرکاربردترین نانومواد زیست پایه و کامپوزیت‌های زیستی آن‌ها اختصاص یافته است. در فصل ششم کتاب، مهم‌ترین نانو ساختارهای کربنی مرور شده‌اند که کاربردهایی فراوان در زمینه‌های گوناگون زیست پزشکی دارند. نانو ساختارهای بر پایه لیپید که به طور ویژه در دارورسانی کاربرد دارند، در فصل هفتم کتاب بررسی شده‌اند و فصل هشتم به معرفی مهم‌ترین زیست مواد و نانوزیست مواد اختصاص یافته است.

این کتاب در بردارنده گزیده‌ای از مطالب مهم‌ترین و معتبرترین کتاب‌های مرجع نانوفناوری است که هم‌اکنون در دانشگاه‌های معتبر دنیا در حال تدریس هستند. در نگارش کتاب تلاش شد تا همچنان که در بازگردانی مفاهیم امانت‌داری می‌شود، از واژه‌های فارسی استفاده و زبانی ساده و روان به کار گرفته شود. امید است این کتاب بتواند رضایت

خوانندگان را فراهم کند و برای شیفتگان به یادگیری اصول و مبانی فناوری نانو سودمند باشد. تلاش شد تا نگارش کتاب بر پایه سرفصل‌های درس‌های گوناگون دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترای رشته نانوزیست فناوری و گرایش‌های مرتبط دیگر، از جمله دروس اصول نانوفناوری، نانوزیست فناوری (مفاهیم پیشرفته)، زیست‌مواد، نانوساختارها در سلول‌های بنیادی و مصنوعی و نانوسامانه‌های انتقال دارو، انجام شود تا یک کتاب درسی سودمند برای دانشجویان این رشته‌ها باشد.

لازم می‌دانم از داوران بزرگوار که زحمت بازخوانی و اصلاح مطالب کتاب را در مراحل مختلف داوری پذیرفتند، ویراستار گران‌قدر که با دقت بالا و دلسوزی بسیاری متن کتاب را ویراستاری کردند، مدیریت و اعضای محترم شورای انتشارات دانشگاه اصفهان و کارکنان عزیز مرکز انتشارات دانشگاه اصفهان که مرا در چاپ این کتاب یاری کردند، کمال سپاسگزاری را داشته باشم. همچنین، از همیاری دانشجویان محترم دانشکده علوم و فناوری‌های زیستی دانشگاه اصفهان، جناب آقای علی پوراسماعیلی و سرکار خانم پریسا سادات بهشتیان، در طراحی جلد کتاب و رسم برخی از شکل‌های کتاب نیز سپاسگزارم. این کتاب که پایان نگارش آن با سالروز میلاد خجسته حضرت فاطمه زهرا (س) و روز مادر، هم‌زمان شد را به مادرم تقدیم می‌کنم که اولین آموزگار زندگی‌ام بود و عشق به یادگیری و یاد دادن را در من پروراند، باشد که موجب شایسته‌بخش شود.

دکتر ابوالقاسم عباسی کجانی

دکترای تخصصی ریز زیست فناوری

عضو هیأت علمی گروه زیست فناوری، دانشگاه اصفهان

انتشارات دانشگاه اصفهان

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه، تعاریف و تاریخچه فناوری نانو.....	۱.....
۱-۱- فناوری نانو	۱.....
۲-۱- نانو	۳.....
۳-۱- نانومواد	۵.....
۴-۱- فناوری نانوی مصرف کننده	۷.....
۵-۱- تاریخچه فناوری نانو	۸.....
۱-۵-۱- فناوری نانو باستان	۱۰.....
۱-۱-۵-۱- جام لایک گستر	۱۰.....
۲-۱-۵-۱- شمشیرهای دماشتی	۱۰.....
۳-۱-۵-۱- پنجره های شیشه ای رنگی	۱۰.....
۲-۵-۱- نانوفناورهای نخستین	۱۱.....
۱-۲-۵-۱- مایکل فارادی	۱۱.....
۲-۲-۵-۱- ریچارد فاینمن	۱۲.....
۳-۲-۵-۱- کی. اریک درکسلر	۱۳.....
۴-۲-۵-۱- دونالد ام. ایگلر	۱۳.....
۶-۱- فناوری نانو در طبیعت	۱۴.....
۱-۶-۱- رنگ حشره ها	۱۴.....
۲-۶-۱- گکو	۱۵.....
۳-۶-۱- سطح های آبگریز	۱۶.....
۴-۶-۱- پدیده فوتونیک	۱۶.....
منابع	۱۷.....
فصل دوم: مقدمه ای بر فیزیک حالت جامد	۱۹.....
۱-۲- مقدمه	۱۹.....
۲-۲- موج های مادی	۲۹.....
۳-۲- اصل عدم قطعیت هایزنبرگ	۳۱.....
۴-۲- محدودیت الکترون	۳۴.....
۵-۲- مواد نانواندازه و مکانیک کوانتومی	۳۵.....
۱-۵-۲- مواد نانواندازه در نقش میانجی مواد اتمی و بزرگ	۳۵.....
۲-۵-۲- مکانیک کوانتومی	۳۵.....

۳۷	۲-۵-۳- از اتم‌ها تا مولکول‌ها و نقطه‌های کوانتومی
۴۱	۲-۶-۶- کوچک کردن مواد بزرگ تا نقطه کوانتومی
۴۱	۲-۶-۱- سامانه‌های سه‌بُعدی (مواد بزرگ)
۴۵	۲-۶-۲- سامانه‌های دو‌بُعدی
۴۹	۲-۶-۳- سامانه‌های یک‌بُعدی (سیم‌های کوانتومی)
۵۱	۲-۶-۴- سامانه‌های صفر‌بُعدی (نقطه‌های کوانتومی)
۵۳	۲-۷- تراز انرژی یک نقطه کوانتومی (نیمه‌رسانا)
۵۸	منابع
۵۹	فصل سوم: ویژگی‌های نانوذرات
۵۹	۳-۱- مقدمه
۶۰	۳-۲- خوشه‌ها
۶۱	۳-۲-۱- انواع خوشه‌ها
۶۵	۳-۳- نانوذره‌های نیمه‌رسانا
۶۵	۳-۳-۱- اکسایتون‌ها
۶۸	۳-۳-۲- ویژگی‌های نوری نانوذره‌های نیمه‌رسانا
۷۰	۳-۳-۱-۱- تابناکی نوری
۷۲	۳-۳-۲-۲- تابناکی الکتریکی
۷۴	۳-۳-۲-۳- تابناکی کاتدی
۷۵	۳-۳-۲-۴- تابناکی گرمایی
۷۶	۳-۳-۳- مواد پلاسمونیک
۷۸	۳-۳-۴- رزونانس پلاسمون سطحی محلی
۸۵	۳-۳-۵- پلاریتون پلاسمون سطحی
۸۹	۳-۴- نانومغناطیس
۹۱	۳-۴-۱- انواع مواد مغناطیسی
۹۱	۳-۴-۱-۱- مواد دیامغناطیس
۹۲	۳-۴-۱-۲- مواد پارامغناطیس
۹۳	۳-۴-۱-۳- مواد فرومغناطیس
۹۵	۳-۴-۱-۴- مواد پادفرومغناطیس
۹۶	۳-۴-۱-۵- مواد فری‌مغناطیس
۹۶	۳-۴-۲- مواد نانومغناطیسی
۹۷	۳-۴-۱-۲- نانوذره‌های مغناطیسی
۹۹	۳-۴-۲-۲- مواد اکسید مغناطیسی
۱۰۰	۳-۴-۲-۳- ویژگی‌های مکانیکی نانومواد
۱۰۳	۳-۴-۲-۴- ذوب نانوذرات
۱۰۴	منابع

فصل چهارم: نانوسامانه‌های متخلخل: برای انتقال دارو و جذب آلاینده‌ها.....	۱۰۵
۱-۴- مقدمه	۱۰۵
۲-۴- معرفی مواد مزومتخلخل	۱۰۶
۳-۴- دسته‌بندی IUPAC مواد متخلخل	۱۰۷
۴-۴- مسیرهای ساخت برای تشکیل مواد مزومتخلخل	۱۰۸
۴-۴-۱- نقش عوامل فعال سطحی/عوامل هدایت‌کننده ساختار	۱۰۹
۴-۴-۲- بلورهای مایع پراکنده‌گر (LLCs)	۱۱۰
۴-۴-۳- انواع عوامل فعال سطحی	۱۱۳
۴-۴-۱- الگوی عامل فعال سطحی باردار	۱۱۳
۴-۴-۲- الگوهای عامل فعال سطحی طبیعی	۱۱۴
۴-۴-۴- نقش الگوها	۱۱۵
۴-۴-۱- الگوهای نرم	۱۱۵
۴-۴-۲- الگوهای سخت	۱۱۶
۴-۵- انواع مواد مزومتخلخل: ساختار و ویژگی‌ها	۱۱۷
۴-۵-۱- ژئولیت‌ها و کاپوزیت‌های آن‌ها	۱۱۷
۴-۵-۲- سیر تکاملی مواد ژئولیت	۱۲۰
۴-۵-۱- ژئولیت‌های طبیعی	۱۲۰
۴-۵-۲- سنتز مصنوعی ژئولیت‌ها	۱۲۱
۴-۵-۳- ژئولیت‌های کم‌سیلیکا	۱۲۱
۴-۵-۲- ژئولیت‌های پرسیلیکا	۱۲۲
۴-۵-۳- دسته‌بندی ژئولیت‌ها	۱۲۲
۴-۵-۱- دسته‌بندی بر پایه ساختار روزنه	۱۲۲
۴-۵-۲- دسته‌بندی بر پایه واحدهای سازنده ساختار	۱۲۴
۴-۵-۳- دسته‌بندی بر پایه ساختار حلقه	۱۲۵
۴-۵-۳- دسته‌بندی بر پایه نسبت Si به Al	۱۲۶
۴-۵-۳- دسته‌بندی بر پایه ساختار بلوری	۱۲۷
۴-۵-۴- سیلیکای مزومتخلخل	۱۲۸
۴-۵-۱- مواد M41S	۱۳۰
۴-۵-۲- مواد SBA-X	۱۳۲
۴-۵-۵- اکسیدهای فلزی مزومتخلخل	۱۳۵
۴-۵-۶- کربن مزومتخلخل	۱۳۷
۴-۵-۷- مواد مزومتخلخل هیبرید آلی- غیرآلی	۱۴۰
۴-۵-۷-۱- مواد نگه‌دارنده غیرآلی: سیلیکا	۱۴۰
۴-۵-۷-۲- به‌سازی شیمیایی مواد مزومتخلخل: عامل‌دار کردن	۱۴۳
۴-۵-۷-۳- نانوکامپوزیت‌های بسپار/سیلیکای مزومتخلخل	۱۴۵

- ۴-۷-۵-۴- نانوکامپوزیت‌های بسپار/کربن مزومتخلخل ۱۴۹
- ۴-۷-۵-۵- نانوکامپوزیت‌های سیلیکای مزومتخلخل/(اکسیدهای فلزی) ۱۵۰
- منابع ۱۵۰
- فصل پنجم: نانومواد زیست‌پایه و کامپوزیت‌های آن‌ها ۱۵۱
- ۱-۵- مقدمه‌ای بر نانومواد زیست‌پایه ۱۵۱
- ۲-۵- سلولز ۱۵۳
- ۱-۲-۵- ساختار و ویژگی‌های سلولز ۱۵۴
- ۲-۲-۵- نقش زیستی سلولز ۱۵۵
- ۳-۲-۵- کاربرد صنعتی سلولز ۱۵۶
- ۴-۲-۵- منبع سلولز ۱۵۷
- ۵-۲-۵- نانومواد سلولزی ۱۵۸
- ۱-۵-۲-۵- تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها ۱۶۰
- ۳-۵-۲-۵- ساخت و جداسازی نانوذره‌های سلولزی ۱۶۰
- ۳-۵-۲-۵- مشخصه‌یابی و ویژگی‌های نانوسلولز ۱۶۳
- ۶-۲-۵- نانوکامپوزیت‌های سلولزی ۱۷۲
- ۳-۵- کیتین/کیتوسان ۱۷۳
- ۱-۳-۵- ساختار و ویژگی‌های کیتین/کیتوسان ۱۷۴
- ۲-۳-۵- ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی کیتین/کیتوسان ۱۷۵
- ۳-۳-۵- ویژگی‌های زیستی کیتین/کیتوسان ۱۷۵
- ۴-۳-۵- کاربردهای کیتین/کیتوسان ۱۷۶
- ۵-۳-۵- منبع کیتین/کیتوسان ۱۷۶
- ۶-۳-۵- نانومواد کیتین: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها ۱۷۷
- ۷-۳-۵- نانوکامپوزیت‌های کیتین: تهیه، ویژگی‌ها و کاربردها ۱۸۲
- ۴-۵- نشاسته ۱۸۴
- ۱-۴-۵- ساختار و ویژگی‌های نشاسته ۱۸۴
- ۲-۴-۵- منبع نشاسته ۱۸۵
- ۳-۴-۵- نانوذره‌های نشاسته: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها ۱۸۵
- ۱-۳-۴-۵- نامیزه/همگن‌سازی ۱۸۷
- ۲-۳-۴-۵- رسوب‌گیری نانو ۱۸۷
- ۳-۳-۴-۵- آب‌کافت اسیدی ۱۸۸
- ۴-۳-۴-۵- فراآوایی ۱۸۸
- ۵-۳-۴-۵- واکنش شیف‌باز ۱۸۹
- ۴-۴-۵- نانوبلورهای نشاسته ۱۸۹
- ۱-۴-۴-۵- تهیه نانوبلورهای نشاسته ۱۹۰
- ۲-۴-۴-۵- کاربردهای نانوذره‌های نشاسته ۱۹۱

۱۹۲.....	۵-۴-۵- نانوکامپوزیت‌های نشاسته: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۱۹۴.....	۵-۵- پروتئین جداشده سویا
۱۹۴.....	۵-۱-۵- ساختار و ویژگی‌های پروتئین جداشده سویا
۱۹۵.....	۵-۲-۵- منبع پروتئین جداشده سویا
۱۹۵.....	۵-۳-۵- نانومواد پروتئین جداشده سویا: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۱۹۸.....	۵-۴-۵- نانوکامپوزیت‌های پروتئین جداشده سویا: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۲۰۰.....	۵-۶-۵- کازئین
۲۰۰.....	۶-۱-۵- ساختار و ویژگی‌های نانومواد کازئین
۲۰۲.....	۶-۲-۵- منبع کازئین
۲۰۳.....	۶-۳-۵- نانومواد کازئین: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۲۰۴.....	۶-۱-۳-۵- نانوکپسول‌ها/میسل‌های نانواندازه کازئین
۲۰۵.....	۶-۲-۳-۵- نانوذرات کازئین
۲۰۵.....	۶-۳-۳-۵- نانوذرات هم‌تافت پلی‌الکترولیت - کازئین
۲۰۸.....	۶-۴-۳-۵- نانوکامپوزیت‌های کازئین: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۲۱۲.....	۵-۷- آلژینات‌ها
۲۱۲.....	۵-۱-۷- ساختار و ویژگی‌ها
۲۱۳.....	۵-۲-۷- منبع آلژینات‌ها
۲۱۴.....	۵-۳-۷- نانومواد آلژینات: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۲۱۵.....	۵-۴-۷- نانوکامپوزیت‌های آلژینات‌ها: تهیه، مشخصه‌یابی و کاربردها
۲۱۶.....	۵-۸- بسپارهای دیگر
۲۱۶.....	۵-۱-۸- ژلاتین/کلاژن
۲۱۸.....	۵-۲-۸- پروتئین آب پنیر
۲۱۹.....	منابع
۲۲۱.....	فصل ششم: نانوساختارهای کربنی
۲۲۱.....	۶-۱- دگرواره‌های کربن
۲۲۲.....	۶-۲- فولرن‌ها
۲۲۳.....	۶-۱-۲- ویژگی‌های فیزیکی فولرن‌ها
۲۲۳.....	۶-۲-۲- دگرواره C ₆₀
۲۲۶.....	۶-۳-۲- ساختار C ₆₀
۲۲۶.....	۶-۴-۲- ویژگی‌های C ₆₀
۲۲۷.....	۶-۵-۲- به‌سازی C ₆₀
۲۲۷.....	۶-۱-۵-۲- به‌سازی اندوهدرال
۲۲۸.....	۶-۲-۵-۲- به‌سازی اگزوهدرال
۲۲۹.....	۶-۲-۲- متالوفولرن‌ها
۲۳۰.....	۶-۳- گرافن

۲۳۰	۱-۳-۶- شناسایی گرافن
۲۳۱	۲-۳-۶- ساختار گرافن
۲۳۱	۳-۳-۶- ساخت گرافن
۲۳۳	۴-۳-۶- ویژگی‌های الکتریکی گرافن
۲۳۴	۴-۶- نانولوله‌های کربنی (CNTs)
۲۳۵	۱-۴-۶- ساختار نانولوله‌های کربنی
۲۳۹	۲-۴-۶- ویژگی‌های نانولوله‌های کربنی
۲۴۱	۱-۲-۴-۶- ویژگی‌های مکانیکی
۲۴۲	۲-۲-۴-۶- ویژگی‌های الکتریکی
۲۴۳	۳-۴-۶- نانولوله‌های کربنی در نقش نانومواد
۲۴۳	۱-۳-۴-۶- ساخت نانولوله‌های کربنی
۲۴۹	۲-۳-۴-۶- بهسازی‌های شیمیایی نانولوله‌های کربنی
۲۵۰	۳-۳-۴-۶- بهسازی‌های فیزیکی نانولوله‌های کربنی
۲۵۲	۴-۳-۴-۶- نانوکامپوزیت‌های بر پایه نانولوله‌های کربنی
۲۶۰	۵-۳-۴-۶- برهم‌کنش سطحی نانولوله‌های کربنی در نانوکامپوزیت‌ها
۲۶۵	منابع
۲۶۷	فصل هفتم: نانوساختارهای بر پایه لیپید در دارورسانی
۲۶۷	۱-۷- لیپوزوم‌ها
۲۷۱	۱-۱-۷- روش‌های ساخت لیپوزوم‌ها
۲۷۱	۱-۱-۱-۷- وزیکول‌های چندلایه (MLV)
۲۷۲	۲-۱-۱-۷- وزیکول‌های تک‌لایه بزرگ (LUV)
۲۷۳	۳-۱-۱-۷- وزیکول‌های تک‌لایه اکستروده (EUV)
۲۷۳	۴-۱-۱-۷- وزیکول‌های تک‌لایه کوچک (SUV)
۲۷۴	۵-۱-۱-۷- آماده‌سازی وزیکول‌های تک‌لایه بزرگ با وارونگی فاز
۲۷۴	۶-۱-۱-۷- وزیکول‌های تک‌لایه غول‌پیکر (GUV)
۲۷۴	۲-۱-۷- ویژگی‌های لیپوزوم‌ها
۲۷۵	۲-۷- نیوزوم‌ها
۲۷۶	۳-۷- اتوزوم
۲۷۸	۴-۷- ترانسفوزوم
۲۷۸	۱-۴-۷- ویژگی‌های ترانسفوزوم‌ها
۲۷۹	۵-۷- نانوامولسیون
۲۸۱	۶-۷- نانوذره‌های لیپیدی جامد (SLN)
۲۸۲	۱-۶-۷- حامل‌های لیپیدی نانوساختار (NLCs)
۲۸۴	منابع

فصل هشتم: زیست مواد.....	۲۸۵
۸-۱- تعریف زیست مواد	۲۸۵
۸-۲- پیشینه تاریخی	۲۸۹
۸-۳- بسپارهای تجزیه پذیر و جذب شونده	۲۸۹
۸-۳-۱- معرفی	۲۸۹
۸-۳-۲- تاریخچه ای کوتاه درباره بسپارهای تجزیه پذیر	۲۹۰
۸-۳-۳- تعریف فرآیندهای تجزیه، فرسایش سطحی و توده ای	۲۹۱
۸-۳-۴- ویژگی های بسپارهای تجزیه پذیر	۲۹۳
۸-۳-۴-۱- کارکرد ستون فقرات بسپاری	۲۹۴
۸-۳-۴-۲- معماری بسپار	۲۹۶
۸-۳-۴-۳- مسیرها و سینتیک تجزیه	۳۰۱
۸-۳-۴-۴- طراحی و پردازش بسپار	۳۰۹
۸-۳-۴-۵- ملاترها، کارکرد	۳۱۸
۸-۳-۵- هیدروژل ها	۳۲۱
۸-۳-۵-۱- دسته بندی و ساختارهای پایه هیدروژل ها	۳۲۲
۸-۳-۵-۲- ساخت هیدروژل ها	۳۲۴
۸-۳-۵-۳- رفتار آماسی هیدروژل ها	۳۲۹
۸-۳-۵-۴- تعیین ویژگی های ساختاری هیدروژل ها	۳۳۲
۸-۳-۵-۵- هیدروژل های زیست پزشکی	۳۳۲
۸-۳-۵-۶- هیدروژل های «زیرک» یا «هوشمند» پاسخگو به برانگیزاننده ها و کاربردهای آنها	۳۳۷
۸-۴-۱- سرامیک، شیشه و شیشه - سرامیک: مبانی پایه	۳۴۴
۸-۴-۱- معرفی	۳۴۴
۸-۴-۲- سرامیک به نسبت زیست خنثی	۳۴۴
۸-۴-۲-۱- سرامیک آلومینا و زیرکونیا	۳۴۶
۸-۴-۳- سرامیک ها و شیشه های زیست فعال	۳۴۷
۸-۴-۳-۱- سرامیک های زیست فعال	۳۴۸
۸-۴-۳-۲- سرامیک فسفات کلسیم متخلخل	۳۵۰
۸-۴-۳-۳- سیمان فسفات کلسیم	۳۵۷
۸-۴-۳-۴- شیشه های زیستی و شیشه های زیست فعال	۳۵۹
۸-۴-۳-۵- دانه های شیشه زیستی	۳۶۲
۸-۴-۳-۶- کامپوزیت ها و بتونه های شیشه ای زیست فعال برای ترمیم استخوان	۳۶۵
۸-۴-۳-۷- شیشه های زیست فعال متخلخل	۳۶۵
۸-۴-۴- شیشه سرامیک	۳۶۷
منابع	۳۶۸

انتشارات دانشگاه اصفهان

فصل اول

مقدمه، تعاریف و تاریخچه فناوری نانو

۱-۱- فناوری نانو

واژه فناوری نانو، نخستین بار در سال ۱۹۷۴ توسط نوریو تانیگوچی^۱ استفاده شد. او فناوری نانو را «فرایند جداسازی، پایداریسازی و تغییر شکل مواد به وسیله یک اتم یا یک مولکول» تعریف کرد. تانیگوچی همچنین در مقاله‌ای با عنوان «پیرامون نظریه بنیادی فناوری نانو» می‌گوید: «کوچک‌ترین اندازه جداسازی افزایش رشد یا جریان مواد در پردازش مواد، شاید یک اتم یا یک مولکول، یعنی به طول یک دهم تا دودهم نانومتر باشد». از آن هنگام، دانشمندان و مهندسان فناوری نانو را دانش ماده‌ای به اندازه یک میلیاردم متر (10^{-9} متر)، تعریف کردند (جدول ۱-۱). این فناوری شامل دستکاری ماده در اندازه اتمی و مولکولی است. فناوری نانو در تلاش برای توضیح رفتارهای بی‌همتای مواد در اندازه نانو با استفاده از دانسته‌های فیزیک، شیمی و دانش مواد است (۲).

جدول ۱-۱. یکاهای جهانی (۱)

مرتبۀ	نماد	پیش‌وند	مرتبۀ	نماد	پیش‌وند
۱۸-۱۰	a	اتو	۱۰ ^۱	da	دکا
۱۵-۱۰	f	فمتو	۱۰ ^۲	h	هکتو
۱۲-۱۰	p	پیکو	۱۰ ^۳	k	کیلو
۹-۱۰	n	نانو	۱۰ ^۶	M	مگا
۶-۱۰	μ	میکرو	۱۰ ^۹	G	گیگا
۳-۱۰	m	میلی	۱۰ ^{۱۲}	T	ترا
۲-۱۰	c	سانتی	۱۰ ^{۱۵}	p	پتا
۱-۱۰	d	دسی	۱۰ ^{۱۸}	E	اکزا

¹ Norio Taniguchi

فناوری نانو دانش، مهندسی و فناوری کار در اندازه نانو یا در گستره ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. این گستره اندازه در شیمی، به کلوئیدها، میسل‌ها، مولکول‌های بسپاری^۱، بخش‌های جدا شده از فاز در هم‌بسپارهای بلوکی^۲ و ساختارهای مشابه دیگری که به صورت رایج، مولکول‌های بسیار بزرگ یا توده‌هایی^۳ از تعدادی زیاد مولکول‌ها هستند، نسبت داده می‌شود. به تازگی، گروه‌هایی شگفت‌انگیز از نانو ساختارها همچون لوله‌های باکی^۴ (نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره)، نانو میله‌های سیلیکونی و نقطه‌های کوانتومی نیمه‌رسانا پدید آمده‌اند.

دانش نانو و فناوری نانو شامل بررسی و کاربرد اجسام بسیار ریز هستند و می‌توان از آن‌ها در همه زمینه‌های علمی دیگر همچون شیمی، زیست‌شناسی، فیزیک و دانش و مهندسی مواد استفاده کرد. از شیمی مواد برای به دست آوردن نانومواد با اندازه‌ها، شکل‌ها، ویژگی‌های سطحی، نقش‌ها^۵ و ویژگی‌های خودسامانی^۶ اختصاصی که برای انجام نقش‌هایی ویژه طراحی شده‌اند، استفاده می‌شود. امروزه، فناوری نانو از میکروالکترونیک (که در آن، مهندسان روش‌های استفاده شده برای ساخت دستگاه‌های میکروالکترونیک را به سامانه‌های نوین با مدارها و بخش‌های کوچک‌تر از ۷۰ نانومتر گسترش داده‌اند)، دانش مواد (که در آن، بسیاری از ویژگی‌های بسپارها، فلزها و سرامیک‌ها به وسیله ساختارهای ۱ تا ۱۰۰ نانومتری تعیین می‌شوند)، و شیمی (که در آن، معمولاً داروهایی در اندازه نانومتری برای کنترل پروتئین‌ها و هم‌تافت‌های سیگنال‌دهی^۷ و درشت‌مولکول‌هایی با ابعاد نانومتری استفاده می‌شوند)، تشکیل شده است. این فناوری‌ها «نانوی تکاملی»^۸ هستند.

آن فناوری نانویی که شکل و اهمیت آن هنوز شناخته نشده است را «نانوی انقلابی»^۹ می‌گویند؛ یعنی فناوری‌هایی که از مواد نانو ساختار نوین، ویژگی‌های الکترونیکی نقطه‌های کوانتومی و در کل، ساختارهای نوین گوناگون، برای محاسبات و ذخیره و جابه‌جایی اطلاعات استفاده می‌کنند. نانو سامانه‌هایی که از زیست‌شناسی استفاده می‌کنند یا الهام می‌پذیرند نیز بسیار شگفت‌انگیز هستند. تردیدی نیست که دانش نانوی انقلابی کنونی در آزمایشگاه‌های

¹ Polymer

² Block copolymers

³ Aggregates

⁴ Buckytubes

⁵ Defects

⁶ Self-assambly

⁷ Signaling complexes

⁸ Evolutionary nano

⁹ Revolutionary nano

دانشگاه‌ها و شکل‌های نوین فناوری نانو ارزشمند خواهند بود. اکنون، آشکار نیست که چه مقدار از این دانش پرشور و انقلابی به فناوری نوین منتقل خواهد شد و این جابه‌جایی با چه سرعتی رخ خواهد داد؛ با این حال، تاریخ فناوری نشان می‌دهد هر جا دود هست، آتش نیز در پایان خواهد بود؛ یعنی در جایی که دانش نوین به حد کافی باشد، فناوری‌های نوین ارزشمند نیز در نهایت پدید خواهند آمد.

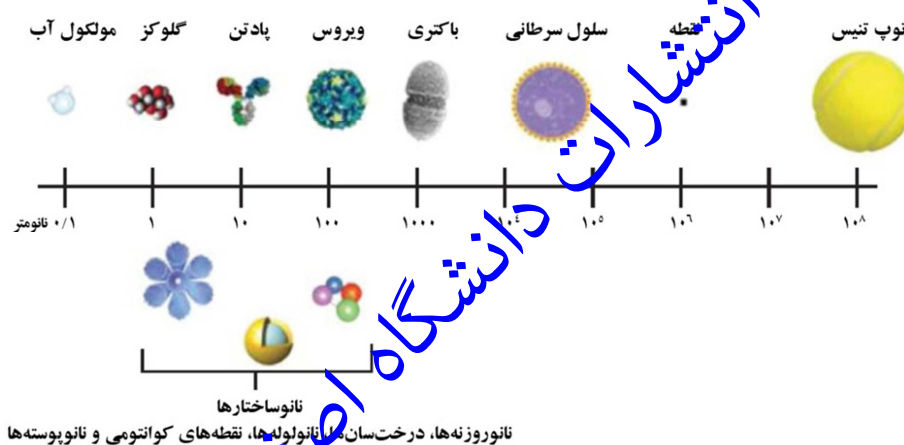
امروزه، شیمی نقش اصلی را در فناوری نانو بازی می‌کند. شیمی به یک معنا، فناوری نانوی نهایی است. شیمی‌دانان با هم‌آوری اتم‌ها و گروه‌هایی از اتم‌ها به وسیله پیوندها، شکل‌هایی نوین از ماده را می‌سازند و در حقیقت، تنها دانشمندانی هستند که این کار را به صورت رایج انجام می‌دهند. آن‌ها در صورت نیاز، سنتز شیمیایی در ابعاد زیرنانومتری را در مقیاس‌های میلیون تن به صورت مقرون به صرفه و با ایمنی زیاد انجام می‌دهند. هرچند توجه به فناوری نانو در آغاز بیشتر روی نانوالکترونیک و دیدگاه‌های خیالی آینده‌پژوهان متمرکز بود، به نظر می‌رسد نخستین فناوری‌های نوین و بالقوه تجاری که از دانش نانوی انقلابی پدید آمده‌اند، در دانش مواد باشند و مواد معمولاً محصول فرایندهای شیمیایی هستند (۳).

۱-۲- نانو

نانو اسمی کوتاه برای فناوری نانو است و خود واژه به‌تنهایی به معنای بسیار کوچک است. اکنون، فناوری نانو روش‌هایی بسیار را در بر می‌گیرد که دانشمندان به کمک آن‌ها می‌توانند با مولکول‌ها و اتم‌های تشکیل‌دهنده دنیای واقعی ما کار کنند. بررسی گردآوری، کنترل یا دست‌کاری مواد در اندازه مولکولی یا اتمی را فناوری نانو می‌نامند که به صورت کوتاه، نانو نامیده می‌شود. فناوری نانو بیشتر شامل بررسی موادی است که اندازه آن‌ها دست‌کم در یک جهت، کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد و شامل ساخت دستگاه‌ها یا موادی با این اندازه است. فناوری نانو زمینه‌ای گسترده است که از فیزیک دستگاهی کلاسیک تا روش‌های نوین بر پایه خودسامانی مولکول‌ها، تکامل مواد با ابعاد نانو و بررسی روش‌هایی با توانایی کنترل مستقیم ماده در اندازه اتمی را در بر می‌گیرد.

Nano - (نماد n) یک پیشوند به معنای 10^{-9} و نشان‌دهنده یک فاکتور در سامانه متریک است. این واژه برگرفته از واژه یونانی νανος به معنای کوتوله است و در سال ۱۹۶۰ به صورت رسمی به عنوان یک استاندارد تصویب شده است. رئیس شرکت اینتل، گوردون

مور^۱، در سال ۱۹۶۵ پیش‌بینی کرد به‌ازای هر یک‌ونیم سال در ده سال آینده، تعداد ترانزیستورهایی که می‌توان در یک مساحت ویژه نصب کرد، دو برابر خواهد شد. این پیش‌بینی به واقعیت تبدیل شد و این پدیده در میان مردم با نام قانون مور شناخته می‌شود. این پدیده در دهه‌های پیشین تا به امروز، بر پایهٔ قانون مور ادامه داشته است. تعداد ترانزیستورها، از چند هزار در ۴۰۰۴ پردازنده در سال ۱۹۷۱ به بیش از ۷۰۰۰۰۰ ترانزیستور در برد اصلی رایانهٔ Core-2-duo افزایش یافت. باید این نکته را نیز در نظر داشت که کاهشی جالب توجه در اندازهٔ هر یک از بخش‌های الکترونیکی در مدارهای پیشرفته، از میلی‌متر به نانومتر، رخ داده است. هم‌زمان، جوامع شیمی، بیوشیمی و ژنتیک مولکولی نیز با سرعتی برابر در یک راستا پیشروی می‌کنند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱. مقیاس نانومتری (۳).

در آغاز دوران جدید دیجیتالی، با امید تغییر در هر دو زمینهٔ زیست‌شناسی و الکترونیک، فناوری‌هایی گوناگون به فناوری نانو نزدیک شده‌اند. حوزهٔ زیست‌نانوفناوری مولکولی^۲ دریچه‌هایی نوین از پژوهش‌های پایه در زیست‌فیزیک و زیست‌شناسی مولکولی تا سنجش زیستی، برجسب‌گذاری زیستی^۳، داده‌پردازی زیستی^۴، داروسازی و پزشکی، ژنومیکس^۵، ذخیرهٔ اطلاعات و تبدیل انرژی و نیز در محاسبات را گشوده است. ما به سخنرانی ریچارد

¹ Gordon Moore

² Molecular bio-nanotechnology

³ Biolabeling

⁴ Bioinformatic

⁵ Genomics

فاینمن^۱، فیزیک‌دان برندهٔ جایزهٔ نوبل، در نشست انجمن فیزیک آمریکا در ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹، اشاره می‌کنیم که گفت: «فضای زیادی در پایین وجود دارد^۲». نخستین بار، واژهٔ فناوری نانو در مقاله‌ای در سال ۱۹۷۴ توسط دانشمند پراوازه، نوریو تانیگوچی از دانشگاه علوم توکیو، استفاده شد. پژوهش‌های فناوری نانو در ابتدای دههٔ ۱۹۸۰، بیشتر به صورت اتفاقی بودند. دکتر کی. اریک درکسلر^۳ پدیده‌ای در اندازهٔ نانو را به صورت نظری برای کنترل دقیق اتم‌ها و مولکول‌ها، معرفی کرد. دانش آکادمیک فناوری نانو در زندگی توسط آر. جونز^۴ در کتابی با عنوان ماشین‌های نرم: فناوری نانو و زندگی^۵ معرفی شد. یک بلورنگار^۶ به نام سیمن^۷ در سال ۱۹۸۰، مفهوم فناوری نانو DNA را ارائه کرد و نشان داد که می‌توان از یک شبکهٔ سه‌بُعدی DNA برای جهت‌دهی مولکول‌های هدف استفاده کرد. آزمایشگاه سیمن در سال ۱۹۹۱، ساخت یک مکعب DNA را به عنوان نخستین شیء سه‌بُعدی با اندازهٔ نانو گزارش کرد و به همین دلیل، در سال ۱۹۹۵، جایزهٔ فاینمن در فناوری نانو را دریافت کرد. هرچند فناوری نانو کاربردهایی شگفت‌انگیز در آینده دارد، از سوی دیگر، همچنانکه برای هر فناوری نوینی پیش‌بینی می‌شود، پرسش‌هایی بسیار پیش می‌آیند که نگرانی دربارهٔ اثر سمی نانو پسماندها بر محیط‌زیست و اثرهای جهانی - اقتصادی آن‌ها را در بر می‌گیرند. این پرسش‌ها نگرانی‌هایی را برای دولت‌ها و روشنفکران^۸ بدید آورده‌اند تا دربارهٔ ضرورت تصویب قانون‌های ویژه برای فناوری نانو گفت‌وگو کنند (۳)

۱-۳- نانو مواد

موادی که یک یا چند بُعد آن‌ها حدود ۱۰۰ نانومتر یا کمتر است، می‌توان جزء نانومواد دسته‌بندی کرد. پیش‌بینی می‌شود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این گونه مواد به طریقی جالب توجه با مواد بزرگ^۸ متفاوت باشد. شکل (۱-۲) برخی از نانومواد اصلی با شکل‌های گوناگون را نشان می‌دهد. بررسی و شناخت نانومواد می‌تواند یک رویکرد بر پایهٔ دانش مواد برای فناوری نانو در نظر گرفته شود.

¹ Richard Feynman

² There is plenty of room at the bottom

³ K. Eric Drexler

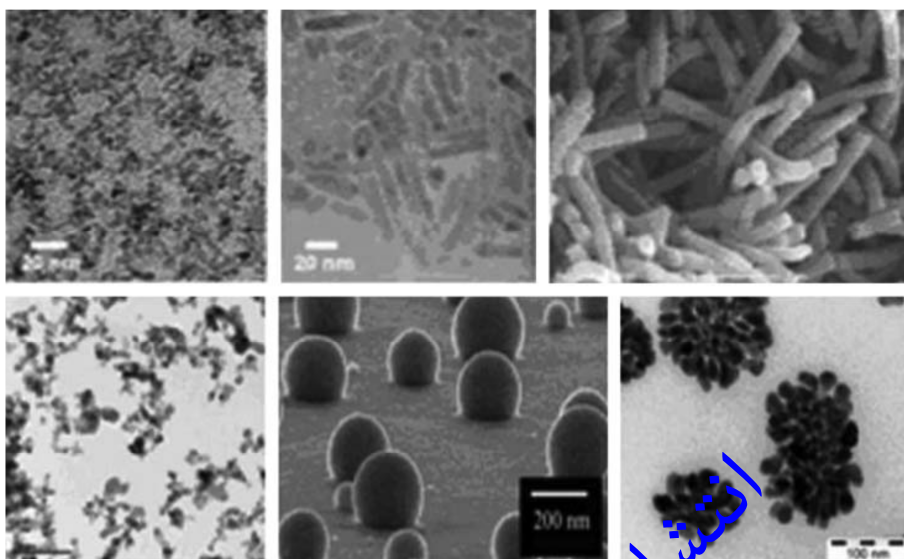
⁴ R. Jones

⁵ Soft Machines: Nanotechnology and Life

⁶ Crystallographer

⁷ Seeman

⁸ Bulk



شکل ۱-۳. شکل‌های ریخت‌شناسی پایه نانومواد (۳)

این رویکرد بررسی موادی با ویژگی‌های خاص در اندازه نانو، به ویژه آن دسته از موادی که ویژگی‌های اختصاصی وابسته به اندازه نانو دارند را در بر می‌گیرد. هرچند اندازه نانو معمولاً کوچک‌تر از یک دهم میکرومتر، دست‌کم در یک بُعد، تعریف می‌شود، این واژه برای مواد کوچک‌تر نیز استفاده می‌شود. یکی از جنبه‌های مهم نانومواد افزایش چشمگیر نسبت سطح به حجم است که احتمال بروز اثرهای مکانیک کوانتومی جدیدی را در چنین موادی افزایش می‌دهد. یکی از نمونه‌های «اثر اندازه کوانتومی»^۱، تغییر در ویژگی‌های الکترونیکی جامدها به سبب کاهش جالب توجه در اندازه ذره‌ها است. این اثر با تبدیل ابعاد از اندازه ماکرو به میکرو پدیدار نمی‌شود، بلکه هنگامی جالب توجه است که مواد به گستره اندازه نانومتری برسند. هنگامی که مواد پایدار به ذره‌های بسیار کوچک تبدیل می‌شوند، به دلیل نسبت سطح به حجم بسیار زیاد، ممکن است بسیار واکنشگر و ناپایدار شوند. یک سری از اثرهای محدودیت کوانتومی در چنین ذره‌هایی پدید می‌آیند که به طرزی جالب توجه، رفتارهایی همچون رسانایی الکتریکی، گرمای ویژه، شکاف نوار^۲ و طول موج‌های نور تابش شده به وسیله آن‌ها را تغییر می‌دهند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی نیز با تغییر از سامانه‌های ماکروسکوپی به محدوده نانو تغییر می‌یابند. ویژگی‌های مکانیکی جدید نانومواد موضوع پژوهش در نانو مکانیک هستند.

¹ Quantum size effect

² Band gap