

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





# مروری بر نانومواد

تألیف:

اشرف احمدی شادمہری

گلچین وفادار افشار

ڈالہ باقری حمزیاں علیا

(سال ۱۴۰۴)

سرشناسه

احمدی شادمهری، اشرف، ۱۳۶۲-

عنوان و نام پدیدآور

مروری بر نانومواد/مؤلف اشرف احمدی شادمهری، گلچین وفادار افشار، ژاله باقری حمزبان علیا.

مشخصات نشر

ترتیب حیدریه: انتشارات دانشگاه تربت حیدریه، ۱۴۰۴.

مشخصات ظاهری

: ۱۶۹ ص.

شابک

: ۹۷۸-۶۰۰-۸۳۳۵-۵۰-۴

وضعیت فهرست

فیبیا

نویسی

: کتابنامه.

یادداشت

: مواد نانوساختار

موضوع

Nanostructured materials

شناسه افزوده

: وفادار افشار، گلچین، ۱۳۵۳-

شناسه افزوده

: باقریان حمزبان علیا، ژاله، ۱۳۵۶-

شناسه افزوده

: دانشگاه تربت حیدریه، انتشارات

رده بندی کنگره

: TA۴۱۸/۹

رده بندی دیویی

: ۶۲۰/۵

شماره کتابشناسی ملی

: ۱۰۲۰۳۴۵۵



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه تربت حیدریه

این اثر مشمول قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و هنرمندان است. هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر، پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

عنوان کتاب: مروری بر نانومواد

نویسنده: نویسنده اول، اشرف احمدی شادمهری، گلچین وفادار افشار، ژاله باقری حمزبان علیا

چاپ اول

سال: ۱۴۰۴

بها:

نشانی ناشر: تربت حیدریه، کیلومتر هفت جاده مشهد، دانشگاه دولتی تربت حیدریه

مسئولیت کلیه مطالب این کتاب به عهده نگارنده می‌باشد. دانشگاه تربت حیدریه هیچگونه مسئولیتی در قبال صحت و سقم مطالب ندارد.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه (مروری بر نانومواد).....	أ.....
پیشگفتار (مروری بر نانومواد).....	ت.....
فصل ۱: طبقه‌بندی نانوذرات.....	۱.....
۱-۱ - مقدمه.....	۱.....
۲-۱ - تاریخچه و توسعه نانومواد.....	۳.....
۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد.....	۷.....
۱-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد براساس مورفولوژی.....	۷.....
۲-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد بر اساس یکنواختی و انباشت.....	۷.....
۳-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد براساس ترکیب.....	۸.....
۴-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد بر اساس ابعاد آن‌ها.....	۱۹.....
۵-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد بر اساس منشأ آن‌ها.....	۲۲.....
۴-۱ - خودآرایی.....	۴۲.....
۱-۴-۱ - طبقه‌بندی خودآرایی.....	۴۳.....
۵-۱ - نانومواد و مکانیک کوانتومی.....	۴۵.....
فصل ۲: تعامل سلولی و اثرات سمیت نانوذرات.....	۴۷.....
۱-۲ - تعامل سلول با نانوذرات.....	۴۷.....
۱-۱-۲ - جذب سلولی.....	۴۷.....
۲-۲ - استرس اکسیداتیو، التهاب و سمیت.....	۴۹.....
۱-۲-۲ - تولید استرس اکسیداتیو.....	۴۹.....

- ۵۱ ..... ۲-۲-۲ - التهاب
- ۵۲ ..... ۳-۲-۲ - آنتی اکسیدان ها
- ۵۲ ..... ۴-۲-۲ - آسیب DNA
- ۵۳ ..... ۳-۲ - چالش ها و ارزیابی خطر نانومواد
- ۵۵ ..... ۴-۲ - سمیت نانومواد
- ۵۷ ..... ۱-۴-۲ - اثر دوز و زمان در معرض قرار گرفتن
- ۵۷ ..... ۲-۴-۲ - اثر تجمع و غلظت
- ۵۷ ..... ۳-۴-۲ - اثر اندازه ذرات
- ۵۸ ..... ۴-۴-۲ - اثر شکل ذرات
- ۵۸ ..... ۵-۴-۲ - اثر ناحیه سطح
- ۵۸ ..... ۶-۴-۲ - اثر بار ذرات
- ۵۹ ..... ۷-۴-۲ - اثر ساختار کریستالی
- ۵۹ ..... ۸-۴-۲ - اثر اجزای شیمیایی و عملکرد سطح
- ۵۹ ..... ۹-۴-۲ - پروتئین کرونا
- ۶۰ ..... ۱۰-۴-۲ - اثر قبل از در معرض قرار گرفتن
- ۶۰ ..... ۵-۲ - قوانین نانومواد
- ۶۵ ..... فصل ۳: خواص و کاربردهای نانوذرات
- ۶۵ ..... ۱-۳ - خواص نانوذرات
- ۶۵ ..... ۱-۱-۳ - خواص فیزیکی
- ۶۸ ..... ۲-۱-۳ - خواص شیمیایی
- ۶۹ ..... ۲-۳ - کاربردهای نانوذرات
- ۷۰ ..... ۱-۲-۳ - لوازم آرایشی

- ۷۰ ..... ۲-۲-۳ - الکترونیک
- ۷۱ ..... ۳-۲-۳ - برنامه‌های کاربردی در برداشت انرژی
- ۷۲ ..... ۴-۲-۳ - کاتالیز
- ۷۲ ..... ۵-۲-۳ - برنامه‌های کاربردی در صنایع مکانیکی
- ۷۳ ..... ۶-۲-۳ - غذا
- ۷۳ ..... ۷-۲-۳ - پزشکی
- ۷۷ ..... فصل ۴: سنتز نانوذرات
- ۷۷ ..... ۱-۴ - سنتز نانوذرات
- ۷۷ ..... ۱-۱-۴ - روش پایین به بالا
- ۷۸ ..... ۲-۱-۴ - روش بالا به پایین
- ۷۹ ..... ۲-۴ - روش‌های دیگر سنتز نانوذرات
- ۸۰ ..... ۲-۲-۴ - روش‌های فیزیکی برای سنتز نانوذرات
- ۸۷ ..... ۳-۲-۴ - روش‌های شیمیایی برای سنتز نانوذرات
- ۹۲ ..... ۴-۲-۴ - روش‌های زیستی
- ۹۷ ..... فصل ۵: تعیین مشخصات نانوذرات
- ۹۷ ..... ۱-۱-۵ - شناسایی نانوذرات
- ۹۷ ..... ۲-۱-۵ - نانومتر شناسی، تجزیه و تحلیل ذرات
- ۱۰۲ ..... ۳-۱-۵ - نمونه برداری
- ۱۰۲ ..... ۴-۱-۵ - آلودگی و از بین رفتن نمونه
- ۱۰۲ ..... ۲-۵ - تجزیه و تحلیل اندازه ذرات
- ۱۰۳ ..... ۱-۲-۵ - پیش‌فرکشن
- ۱۰۴ ..... ۲-۲-۵ - فرکشن با استفاده از اولترافیلتراسیون، نانو فیلتراسیون و دیالیز

- ۱۰۵ ..... ۳-۲-۵ - فراکشن جریان میدان
- ۱۰۶ ..... ۴-۲-۵ - کروماتوگرافی اندازه‌ای (SEC)
- ۱۰۶ ..... ۵-۲-۵ - کروماتوگرافی هیدرودینامیکی (HDC)
- ۱۰۷ ..... ۶-۲-۵ - رسوب‌دهی چرخشی دیفرانسیلی (DCS)
- ۱۰۷ ..... ۷-۲-۵ - اندازه‌گیری تحرک پذیری دیفرانسیلی الکتروسپری (ES-DMA)
- ۱۰۸ ..... ۸-۲-۵ - آنالیز ردیابی نانوذرات (NTA)
- ۱۰۹ ..... ۹-۲-۵ - تکنیک‌های پراکندگی نور
- ۱۰۹ ..... ۱۰-۲-۵ - پراکندگی نور دینامیکی (DLS)
- ۱۱۱ ..... ۱۱-۲-۵ - پراکندگی استاتیک نور (SLS)
- ۱۱۱ ..... ۳-۵ - تجزیه و تحلیل غلظت نانوذرات
- ۱۱۲ ..... ۱-۳-۵ - نفلومتری
- ۱۱۲ ..... ۲-۳-۵ - اسپکترومتری نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)
- ۱۱۲ ..... ۳-۳-۵ - طیف سنجی فروشکست القایی لیزری
- ۱۱۳ ..... ۴-۵ - تجزیه و تحلیل شکل نانوذرات
- ۱۱۴ ..... ۱-۴-۵ - آنالیز طیف سنجی
- ۱۱۷ ..... ۵-۵ - روش‌های میکروسکوپی
- ۱۱۷ ..... ۱-۵-۵ - میکروسکوپ الکترونی
- ۱۱۸ ..... ۲-۵-۵ - میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
- ۱۱۹ ..... ۳-۵-۵ - میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۱۲۰ ..... ۴-۵-۵ - میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی و تکنیک‌های مرتبط
- ۱۲۱ ..... ۵-۵-۵ - میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۱۲۲ ..... ۶-۵-۵ - میکروسکوپ الکترونی (EM) میکروآنالیز

- ۱۲۴ ..... ۶-۵ - تجزیه و تحلیل بار سطحی نانوذرات
- ۱۲۴ ..... ۱-۶-۵ - پتانسیل زتا (ζ-پتانسیل)
- ۱۲۵ ..... ۷-۵ - اندازه گیری مساحت سطح
- ۱۲۵ ..... ۱-۷-۵ - روش براناور-امت - تلو (BET)
- ۱۲۵ ..... ۸-۵ - کریستالوگرافی
- ۱۲۶ ..... ۱-۸-۵ - پراش اشعه ایکس (XRD)
- ۱۲۷ ..... ۹-۵ - تکنیک‌های اضافی برای شناسایی ساختار، ترکیب و سایر خصوصیات نانوذرات
- ۱۲۷ ..... ۱-۹-۵ - طیف سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس (XPS)
- ۱۲۸ ..... ۲-۹-۵ - طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)
- ۱۲۹ ..... ۳-۹-۵ - طیف سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)
- ۱۳۱ ..... ۴-۹-۵ - طیف سنجی جرمی (MS)
- ۱۳۱ ..... ۵-۹-۵ - طیف سنجی جرمی بصری- واجذب. یونش لیزری به کمک ماتریکس (MALDI) ..
- ۱۳۲ ..... ۶-۹-۵ - طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)
- ۱۳۳ ..... ۷-۹-۵ - آنالیز توزین حرارتی (TGA)
- ۱۳۵ ..... ۸-۹-۵ - طیف سنجی UV-Vis
- ۱۳۵ ..... ۹-۹-۵ - طیف سنجی فوتولومینسانس (PL)
- ۱۳۷ ..... منابع



## مقدمه

نانومواد به دلیل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی با عملکرد بهتر نسبت به هم‌تایان فله خود، در طیف گسترده‌ای از برنامه‌های الکترونیکی، نوری، الکتروشیمیایی، محیط زیست و زیست پزشکی بکار می‌روند. نانو مواد را بسته به اندازه، ترکیب، شکل و منشأ آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند. از روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای سنتز نانوذرات با طیف متنوعی از مواد، از جمله فلزات، نیمه هادی‌ها، سرامیک‌ها، اکسیدهای فلزی، پلیمرها و غیره با اندازه، خصوصیات سطح، عملکرد و رفتارهای فیزیکوشیمیایی استفاده می‌شود. با استفاده از تکنیک‌های مختلف می‌توان خواص نانوذرات سنتز شده را شناسایی کرد. تقسیم بندی این کتاب منحصر به فرد می‌باشد و در فصول ابتدایی مرور کلی بر تاریخچه و طبقه‌بندی نانومواد پرداخته و سپس به منابع مختلف نانوذرات و مواد نانوساختار از طبیعی تا مصنوعی و اثرات سمی آن‌ها بر روی سلول‌ها و بافت‌های پستانداران می‌پردازد. با توجه به افزایش رشد تولید گازهای گلخانه‌ای و کاربردهای صنعتی آن‌ها، مسائل مربوط به سمیت آن‌ها باید مورد بررسی قرار گیرد و در این بررسی، انواع واکنش‌های سمی مرتبط با نانوذرات و نانومواد و مقررات اجرا شده توسط کشورهای مختلف برای کاهش خطرات مرتبط نیز مورد بحث قرار گرفته است. در فصل‌های بعدی این کتاب کاربردهای اصلی نانوذرات و روش‌های شناسایی خصوصیات نانوذرات نیز مورد بحث قرار گرفته است. از تمامی پژوهشگرانی که در گسترش دانستی‌های ما نسبت به جهان هستی نقش داشته‌اند، در اجر اخروی کتاب سهیم دانسته و مراتب امتنان خود را به پیشگاه پژوهشگران، اساتید و محققان که با رهنمودهای خود، زمینه بهبود محتوایی اثر را فراهم خواهد کرد، تقدیم می‌دارم. امید است مورد رضایت حضرت حق قرار گیرد.

**دکتر اشرف احمدی شادمهری**



## پیشگفتار

اکنون که به یاری خداوند منان و با همکاری دوستان این کتاب به پایان رسیده است بر خود لازم میدانم که از تمامی کسانی که اینجانب را در هر چه بهتر کردن این کتاب یاری نمودند سپاسگزاری و تشکر کنم.

این کتاب مجموعه خوبی از مباحث نانومواد است که مورد نیاز اغلب دانشجویان خصوصاً دانشجویان رشته‌های بیوتکنولوژی، زیست شناسی، مهندسی مواد و سایر رشته‌های مرتبط می‌باشد. امیدوارم این کتاب مورد استفاده محققان و خوانندگان عزیز قرار گیرد.

**دکتر اشرف احمدی شادمهری**



## فصل ۱ : طبقه‌بندی نانوذرات

### ۱-۱ - مقدمه

فناوری نانو به عنوان فناوری امیدوار کننده در بسیاری از بخش‌های جامعه می‌باشد [۱]. این فناوری قادر به سنتز، شناسایی، کاربردهای متنوع و کشف مواد در ناحیه نانومتری (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) می‌باشد. نانوذرات<sup>۱</sup> (NPs) و مواد نانوساختار<sup>۲</sup> (NSM) به عنوان ذرات کنترل شده یا دستکاری شده در سطح اتمی هستند. کاهش اندازه به نانو می‌تواند خواص شیمیایی، مکانیکی، الکتریکی، ساختاری، مورفولوژیکی و نوری را تغییر دهد و باعث افزایش عملکرد نسبت به هم‌تایان خود شوند. این ویژگی‌های اصلاح شده باعث می‌شود که نانوذرات با مولکول‌های زیستی ارتباط برقرار کند و انتقال فیزیکی نانوذرات به داخل ساختار سلولی تسهیل شود. مواد نانوساختار درصد بیشتری از اتم‌ها در سطح خود دارند که این امر منجر به تسریع واکنش در سطح نانوذرات می‌شود [۲]. نانومتر (nm) به عنوان واحدی برای اندازه‌گیری طول‌های بسیار کوچک به کار می‌رود هر نانومتر معادل  $10^{-9}$  متر می‌باشد. در اصل، نانومواد<sup>۳</sup> (NMs) به عنوان موادی با طول ۱-۱۰۰۰ نانومتر حداقل در یک بعد و قطری در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف می‌شوند. امروزه در اتحادیه اروپا<sup>۴</sup> (EU) و ایالات متحده چندین قانون وجود دارد که اشاراتی خاص به نانومواد دارند. با این حال، هنوز تعریف پذیرفته شده بین‌المللی برای نانومواد وجود ندارد. سازمان‌های مختلف در تعریف نانومواد اختلاف نظر دارند. طبق آژانس حفاظت از محیط زیست<sup>۵</sup> (EPA)، "نانومواد می‌توانند در ابعاد بزرگتر خواص منحصر به فردی نسبت به ترکیب شیمیایی معادل خود را نشان دهند". همچنین سازمان

<sup>1</sup> Nanoparticles

<sup>2</sup> Nanostructured Materials

<sup>3</sup> Nanomaterials

<sup>4</sup> European Union

<sup>5</sup> Environmental Protection Agency

غذا و داروی ایالات متحده<sup>۱</sup> (USFDA) "موادی که حداقل در یک بعد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و پدیده‌های وابسته به ابعاد را نشان می‌دهند" به عنوان نانومواد شناخته می‌شوند. به طور مشابه، سازمان بین‌المللی استاندارد سازی<sup>۲</sup> (ISO) نانومواد را به عنوان "ماده‌ای با ابعاد نانو خارجی یا دارای ساختار سطحی با مقیاس نانو داخلی" توصیف کرده است. نانوالیاف، نانوپلات‌ها، نانوسیم‌ها، نقاط کوانتومی و سایر اصطلاحات مرتبط بر اساس این تعریف ISO تعریف شده‌اند. به همین ترتیب، اصطلاح نانومواد به گفته کمیسیون اتحادیه اروپا به عنوان "ماده تولیدی یا طبیعی است که دارای ذرات نامحدود، تجمع یافته و آگلومره است که ابعاد خارجی آن بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است [۳]. کلمه "نانو" از کلمه یونانی "نانوس"<sup>۳</sup> سرچشمه گرفته است، که به معنای کوتوله است. این کلمه "نانو" عدد ۱۰<sup>۹</sup>، یعنی یک میلیاردم از هر واحد را نشان دهد [۴]. اخیراً، موسسه استاندارد انگلیس از تعاریف زیر برای اصطلاحات علمی استفاده می‌کند:

• نانو مقیاس: حدود ۱ تا ۱۰۰۰ نانومتر اندازه.

• علم نانو: علم و مطالعه ماده در مقیاس نانو است که به درک اندازه و خصوصیات وابسته به ساختار آن‌ها می‌پردازد و خروجی‌های فردی یا مولکول‌ها یا تفاوت‌های مربوط به مواد توده‌ای را مقایسه می‌کند.

• فناوری نانو: دستکاری و کنترل ماده در بعد نانو با استفاده از دانش علمی کاربردهای مختلف صنعتی

و زیست پزشکی

• نانومواد: ماده‌ای با هر ساختار داخلی یا خارجی در بعد نانو

• نانو شی: ماده‌ای که دارای یک یا چند بعد نانو مقیاس محیطی است.

<sup>1</sup> US Food and Drug Administration

<sup>2</sup> International Organization for Standardization

<sup>3</sup> Nanos

• نانوذرات: نانو شی با سه بعد نانومقیاس خارجی. زمانی که طول محورهای یک نانو شی متفاوت باشد، از اصطلاحات نانومیل<sup>۱</sup> یا نانو صفحه<sup>۲</sup> به جای نانوذرات استفاده می‌شود.

• نانورشته<sup>۳</sup>: هنگامی که دو بعد نانومقیاس خارجی و یک بعد بزرگتر در یک نانوماده وجود داشته باشد، به آن نانورشته گفته می‌شود.

• نانوکامپوزیت: ساختار چند فاز با حداقل یک فاز در بعد نانومقیاس.

• نانو ساختار: به ترکیبی از قطعات بهم پیوسته در منطقه نانومقیاس گفته می‌شود.

• مواد نانو ساختار: مواد حاوی نانو ساختار داخلی یا سطحی [۵].

## ۲-۱ - تاریخچه و توسعه نانومواد

نانوذرات دارای تایخچه ای شگفت آور و طولانی هستند. تهیه آن‌ها نه نتیجه تحقیقات مدرن است و نه محدود به مواد دست ساز می‌باشد. نانوذرات لزوماً توسط آزمایشگاه‌های سنتز مدرن تولید نمی‌شوند، اما مدت‌هاست در طبیعت وجود دارد و بنابراین می‌توان استفاده از آن‌ها را به دوران باستان ردیابی کرد. نانوذرات به طور طبیعی در مواد آلی (پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها، ویروس ها و مواد آلی دیگر) و همچنین ترکیبات معدنی (اکسی هیدروکسیدهای آهن، آلومینوسیلیکات ها، فلزات و غیره) یافت می‌شوند و با هوازدگی، فوران آتشفشان، آتش سوزی بوجود می‌آیند، یا از طریق فرآیندهای میکروبی تولید می‌شوند [۶]. انسان در بیش از ۴۵۰۰ سال پیش از ماتریکس‌های سرامیکی استفاده شده در نانوالیاف آزیست طبیعی استفاده می‌کرد. مصریان باستان بیش از ۴۰۰۰ سال پیش از نانومواد استفاده می‌کردند و بر پایه فرآیند شیمیایی مصنوعی، با تولید نانوذرات سولفید سرب قطر ۵ نانومتر برای رنگ مو استفاده می‌کردند. به طور مشابه، "آبی مصر" اولین رنگدانه مصنوعی بود که توسط مصریان با استفاده از کوارتز و شیشه به اندازه نانومتری از مخلوط سخت تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. آبی مصر نشان دهنده ترکیبی چند وجهی از

<sup>1</sup> Nanorod

<sup>2</sup> Nanoplate

<sup>3</sup> Nanofiber

SiO<sub>2</sub> و CaCuSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub> (شیشه و کوارتز) است. در مناطق جغرافیایی باستانی امپراتوری روم، از جمله کشورهایمانند مصر، بین النهرین و یونان، استفاده گسترده از رنگ آبی مصر برای اهداف تزئینی در طول کاوش‌های باستان‌شناسی مشاهده شده است. سنتز نانوذرات فلزی با استفاده از روش‌های شیمیایی به قرن ۱۳ و ۱۴ قبل از میلاد باز می‌گردد که مصریان و بین النهرین شروع به ساختن شیشه با استفاده از فلز کردند که می‌توان از آن به عنوان آغاز دوره نانوذرات فلزی یاد کرد. این مواد ممکن است اولین نمونه‌های مصنوعی نانومواد در یک کاربرد عملی باشد. از اواخر عصر برنز (۱۲۰۰-۱۰۰۰ قبل از میلاد مسیح)، شیشه قرمز در ایتالیا یافت شد که با تحریک پلاسمون سطح نانوذرات مس رنگ شده است. به طور مشابه، مینای دندان‌های قرمز نژاد سلتیگ<sup>۱</sup> که از دوره ۱۰۰-۴۰۰ قبل از میلاد مسیح ناشی شده است حاوی نانوذرات مس و اکسید مس هستند. با این وجود، یک قطعه شیشه‌ای رومی مشهورترین نمونه استفاده از نانوذرات فلزی باستانی است. جام لیکورگس یک لیوان شیشه‌ای رومی قرن چهارم است و رنگ‌های مختلفی را نشان می‌دهد: قرمز هنگامی که نور از پشت می‌گذرد، و سبز هنگامی که نور از جلو می‌گذرد. مطالعات جدید نشان می‌دهد که لیوان لیکورگوس حاوی نانوذرات آلایژ فلزی نقره-طلا، با نسبت ۷:۳ به علاوه ۱۰٪ مس است. بعداً، شیشه‌های رنگ آمیزی شده با رنگ قرمز و زرد که در کلیساهای دوره قرون وسطی یافت شدند، از طریق ترکیب کلئیدی نانوذرات طلا و نقره تولید گردید. در طول قرن ۹، بین النهرین شروع به استفاده از سرامیک‌های براق برای تزئینات درخشش فلزی نمود. این تزئینات به دلیل وجود نانوذرات مس و نقره متمایز جدا شده در بیرونی‌ترین لایه‌های براق، خواص نوری شگفت‌انگیز را نشان داد. این تزئینات نمونه‌ای از نانوذرات فلزی است که رنگ‌های سبز روشن و آبی روشن را در شرایط بازتاب خاصی به نمایش می‌گذارد. آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲</sup> (TEM) این سرامیک‌ها یک لایه‌ای از نانوذرات نقره (۱۰-۵ نانومتر) در لایه بیرونی و لایه‌های بزرگتر (۵-۲۰ نانومتر) در لایه داخلی نشان داد. مشاهده شد که فاصله در حدود ۴۳۰ نانومتر بین دو لایه ثابت است و باعث ایجاد اثرات تداخل می‌شود. نور پراش شده از لایه دوم به دلیل پراش نور توسط لایه اول منجر به تغییر فاز می‌شود. این تغییر فاز وابسته به طول موج نور ورودی به طول موج متفاوتی منتقل می‌شود. بعداً، شیشه قرمز با استفاده از این

<sup>1</sup> Celtic

<sup>2</sup> Transmission Electron Microscopy

فرآیند در سراسر جهان تولید شد. در اواسط قرن نوزدهم، از تکنیک مشابهی برای تولید شیشه معروف به ساتسوما<sup>۱</sup> در ژاپن استفاده شد. خاصیت جذب نانوذرات مس در روشنایی شیشه ساتسوما با رنگ یاقوت مفید بود. علاوه بر این، مواد معدنی رس با ضخامت چند نانومتر بهترین نمونه‌های استفاده شده نانومواد طبیعی در دوران باستان است. حتی در ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، از سفال برای سفید کردن پشم و لباس در قبرس استفاده می‌شد [۷ و ۵].

در سال ۱۸۵۷، مایکل فارادی سنتز محلول کلوئیدی نانوذرات طلا را گزارش کرد، که اولین توصیف علمی برای تهیه آماده سازی نانوذرات است و تاریخچه نانومواد را در عرصه علمی آغاز کرد. وی همچنین نشان داد که ویژگی‌های نوری کلوئیدهای طلا در مقایسه با همتای توده‌ای متفاوت نیستند. این احتمالاً یکی از گزارشات قبلی بود که در آن اثرات اندازه کوانتومی مشاهده شد. بعداً، می<sup>۲</sup> (۱۹۰۸) دلیل رنگ‌های خاص کلوئیدهای فلزی را توضیح داد [۸ و ۹]. در دهه ۱۹۴۰، نانوذرات دی اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ ) به عنوان جایگزین کربن سیاه برای تقویت لاستیک تولید می‌شدند. امروزه نانومواد تولید شده می‌توانند از لحاظ مقاومت، رسانایی، دوام و سبکی، ویژگی‌های مواد توده‌ای را به میزان قابل توجهی بهبود بخشند و آن‌ها می‌توانند خواص مفیدی (به عنوان مثال، خود درمان، خود تمیز کننده، ضد یخ و ضد باکتری) ارائه دهند و به عنوان مواد تقویت کننده برای ساخت و ساز یا سنجش اجزای ایمنی عمل کنند. علی‌رغم سایر مزایای ممکن، بهره‌گیری از اثرات اندازه و شکل مفید برای بهبود ظاهر مواد، از کاربرد اصلی نانوذرات محسوب می‌شود. علاوه بر این، با نانومواد تعبیه شده در یک ماتریکس بی اثر (پلیمر یا سیمان) و تشکیل یک نانوکامپوزیت می‌توان نانومواد تجاری ساخت. در سال ۲۰۰۳، سامسونگ در ماشین‌های لباسشویی، دستگاه تهویه هوا، یخچال، دستگاه تصفیه هوا و جاروبرقی، فناوری ضد باکتریایی با نام تجاری نانونقره<sup>۳</sup> معرفی کرد که از نانوذرات یونی نقره استفاده می‌کند. از نانوذرات و مواد نانو ساختار به طور گسترده در صنعت ماشین استفاده می‌شود: به عنوان پرکننده لاستیک برای بهبود چسبندگی به جاده، پرکننده در بدنه خودرو برای بهبود سختی و همچنین به عنوان لایه‌های شفاف که در پنل‌های پنجره

---

<sup>1</sup> Satsuma

<sup>2</sup> Mie

<sup>۳</sup> Silver Nano

برای گرما، مه و یخ استفاده می‌شود [۵]. در اواخر سال ۲۰۰۳، مرسدس بنز یک روکش شفاف بر پایه نانوذرات را برای ساخت انواع رنگ فلزی و غیر فلزی به بازار عرضه کرد. این روکش باعث براقت می‌گردد و مقاومت در برابر خراش را افزایش می‌دهد. آهنرباهای مایع، به اصطلاح فروفلوئیدها<sup>۱</sup>، سوسپانسیون فوق العاده ای از نانوذرات مغناطیسی کوچک با خواص فوق العاده ای هستند [۱۰]. به محض استفاده از میدان مغناطیسی، مایعات به صورت ماکروسکوپی مغناطیسی می‌شوند، که منجر به حرکت نانوذرات در امتداد جهت میدان مغناطیسی می‌شود. تحقیقات اخیر بر ایجاد تلسکوپ‌های نجومی بر پایه زمین با نورهای قابل تطبیق و آینه‌های مغناطیسی با قابلیت تغییر شکل از فروفلوئیدها متمرکز شده است. از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در سلول‌های خورشیدی با قابلیت حساس شدن به رنگ بصورت تجاری استفاده می‌شود. در تابستان سال ۲۰۱۲، لوجی تک<sup>۲</sup> یک صفحه کلید خارجی اپل را با استفاده از نور به بازار عرضه کرد و این نمایشگر اولین استفاده عمده تجاری از سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ است. Abraxane™، نانومواد آلبومین سرم انسانی است و حاوی پاکلی تاکسل<sup>۳</sup> می‌باشد، در بازار داروسازی در سال ۲۰۰۵ تولید و تجاری شد [۵]. در سال ۲۰۱۴، حدود ۱۸۱۴ محصول مبتنی بر فناوری نانو ساخته شده که در بیش از ۲۰ کشور جهان به صورت تجاری در دسترس هستند. برای مستند سازی بازاریابی و توزیع محصولات با قابلیت تجاری سازی، مرکز بین المللی محققان وودرو ویلسون<sup>۴</sup>، پروژه‌های جدید مربوط به نانوفناوری را در قالب فهرست محصولات مصرف کننده<sup>۵</sup> (CPI) نانوفناوری در سال ۲۰۰۵ ایجاد کردند که هدف آن‌ها تحقیقات برای افزایش سود و اطمینان از این فهرست می‌باشد. در سال ۲۰۰۵ فهرست ۵۴ محصول را ارائه دادند. در سال ۲۰۱۰، CPI ۱۰۱۲ محصول از ۴۰۹ شرکت در ۲۴ کشور جهان را گزارش کرد. اگرچه در دوره بین ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ به روزرسانی های اساسی صورت نگرفته است، اما همچنان در گزارش‌های دولت‌ها و مطالعات قبلی بررسی شده است. وب سایت <http://www.nanotechproject.org> بیش از ۲۵۸۰ بار در مقالات Google Scholar مورد استناد قرار گرفته است و به یک شاخص

---

<sup>۱</sup>Ferro fluids

<sup>۲</sup>Logitech

<sup>۳</sup> Paclitaxel

<sup>۴</sup> Woodrow Wilson

<sup>۵</sup> Consumer Products Inventory

خوب از گسترش فناوری نانو در زندگی روزمره تبدیل شده و به مطالعه بیشتر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آن تاکید دارد [۱۱].

### ۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد

نانوذرات به طور کلی بر اساس ابعاد، مورفولوژی، ترکیب، یکنواختی، تراکم و منشأ طبقه‌بندی می‌شوند. باید یک تمایز مهم دیگر بین فیلم‌های نازک نانوساختار یا سایر اشیاء با مقیاس نانومتر ثابت (مانند مدارهای موجود در ریزپردازنده‌های رایانه‌ای) و نانوذرات آزاد ایجاد شود. حرکت نانوذرات آزاد محدود نمی‌شود و به راحتی می‌توانند در محیط و در معرض انسان قرار گیرند که ممکن است خطر جدی برای سلامتی انسان داشته باشند. در مقابل، بسیاری از اشیاء حاوی عناصر نانوساختار که به طور محکم به یک جسم بزرگتر وصل شده‌اند، نانوذرات ثابت‌اند که هنگام برخورد خطری برای سلامتی ندارند. نمونه‌ای از این تمایز مربوط به آزیست ماده‌ای است که در حالت اولیه کاملاً بی‌خطر است (اساساً نوعی سنگ جامد)، اما هنگام استخراج به شکل ماده‌ای در مقیاس نانومتر می‌شود که سرطان زا می‌باشد و خطر جدی برای سلامتی انسان دارد. ذرات الیاف در هوا پخش می‌شوند (آئروسول) و به راحتی در ریه‌ها جذب می‌گردند [۱۲].

#### ۱-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد براساس مورفولوژی

خصوصیات مورفولوژیکی که باید در نظر گرفته شود عبارتند از: صاف بودن، کروی بودن و نسبت ابعاد. یک طبقه‌بندی کلی بین ذرات نسبت ابعاد بالا و پایین می‌باشد. نانوذرات با نسبت ابعاد بالا شامل نانولوله‌ها و نانوسیم‌ها هستند و شکل‌های مختلفی از قبیل مارپیچ، زیگزاگ، تسمه‌ای که طول آن‌ها متفاوت است. مورفولوژی‌هایی با نسبت ابعاد کوچک شامل کروی، بیضی، مکعب، منشور، مارپیچ یا ستون است که شامل مجموعه‌ای از ذرات به عنوان پودر، سوسپانسیون یا کلوئیدها می‌باشد [۱۳].

#### ۲-۳-۱ - طبقه‌بندی نانومواد بر اساس یکنواختی و انباشت

بر اساس شیمی و خواص الکترو مغناطیسی آنها، نانوذرات می‌توانند به عنوان ذرات معلق در هوا، به عنوان سیستم تعلیق، کلوئیدها یا در حالت آگلومره وجود داشته باشند. به عنوان مثال، نانوذرات مغناطیسی تمایل به خوشه‌ای شدن دارند و به حالت آگلومره تشکیل می‌شوند، مگر اینکه سطوح آنها با یک ماده غیر مغناطیسی پوشیده شود. در حالت آگلومره، نانوذرات بسته به اندازه آگلومره ممکن است به صورت ذرات بزرگتر رفتار کنند. با توجه به بهداشت و تنظیم محیط زیست مواد جدید، باید تراکم نانوذرات، اندازه و واکنش سطح به همراه شکل و اندازه در نظر گرفته شود [۱۳].

### ۱-۳-۳ - طبقه‌بندی نانومواد براساس ترکیب

نانوذرات می‌توانند از یک ماده منفرد یا ترکیبی از چند ماده تشکیل شوند. نانوذرات موجود در طبیعت اغلب مجموعه‌ای از مواد با ترکیبات مختلف‌اند. امروزه مواد یک ترکیبی به راحتی با روش‌های مختلف سنتز می‌شوند [۱۳]. بیشتر نانوذرات و مواد نانوساختار را می‌توان بر اساس ترکیب شیمیایی به چهار دسته تقسیم بندی کرد [۵]:

### ۱-۳-۳-۱ - نانومواد بر پایه کربن

به طور کلی، این نانومواد حاوی کربن هستند و به شکل‌های لوله‌های توخالی، بیضی یا کروی وجود دارند. فولرن‌ها<sup>۱</sup> (C60)، نانولوله‌های کربنی (CNTs<sup>۲</sup>)، نانوالیاف کربن، کربن سیاه<sup>۳</sup>، گرافن<sup>۴</sup> (Gr) و آنیون‌های کربن در دسته نانومواد بر پایه کربن قرار دارند (شکل ۱-۱) [۵]. نانومواد بر پایه کربن به دلیل خصوصیات فیزیکی از جمله هدایت الکتریکی بالا و استحکام مکانیکی عالی مورد توجه کاربردهای پزشکی قرار گرفته‌اند، اما آنها تجزیه پذیر نیستند و سطح آنها باید اصلاح شود، زیرا تمایل زیادی به تشکیل توده‌های بزرگ دارند [۱۴].

<sup>۱</sup> Fullerenes

<sup>۲</sup> Carbon Nano Tubes

<sup>۳</sup> Carbon black.

<sup>۴</sup> Graphene



را ایجاد می‌کنند [۲۰]. ساختار مسطح گرافن باعث شده که نقش مهمی در زمینه انتقال موادی مانند مولکول‌های زیستی و فلزات داشته باشد [۲۱]. همچنین گرافن به دلیل ساختار هندسی و منحصر به فردش دارای خواص فیزیکی و شیمیایی و زیست سازگاری قابل توجهی است و می‌تواند در تشخیص بیماری، مواد ضد باکتریایی و ضد ویروسی، هدف قرار دادن سرطان، حامل برای انتقال دارو و مهندسی بافت مورد استفاده قرار گیرد [۲۳].

### ۱-۳-۱-۳- نانو لوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی، یک نانو فویل گرافنی با شبکه لانه زنبوری از اتم‌های کربن به درون استوانه‌های توخالی پیچیده می‌شود تا نانولوله‌های با قطر حداقل ۰.۷ نانومتر برای نانولوله‌های کربنی تک دیواره<sup>۱</sup> (SWCNT) و ۱۰۰ نانومتر برای نانولوله‌های کربنی چند دیواره<sup>۲</sup> (MWCNT) و طول متفاوت از چند میکرومتر تا چند میلی متر تشکیل شود. انتهای آن می‌تواند توخالی باشد و یا توسط یک نیمه مولکول فولرن بسته شود [۱۷]. نانولوله‌های کربنی چند دیواره دارای خواص ضد میکروبی قوی هستند. نانولوله‌های کربن دارای خواص نوری قابل توجهی‌اند، به همین دلیل از آن‌ها به عنوان عوامل نشانه گذاری و تصویربرداری استفاده می‌شود. در حقیقت، نانولوله‌های کربنی دارای انتقال نوری در منطقه نزدیک مادون قرمز<sup>۳</sup> (NIR) هستند، که آن‌ها را در بافت بیولوژیکی و سلول‌ها مفید می‌سازد، زیرا NIR دارای پراکندگی کمتر و عمق نفوذ بیشتری می‌باشند. علاوه بر این، میزان فلورسانس در منطقه NIR نسبت به اشعه ماوراء بنفش یا مرئی بسیار کمتر است. به همین دلایل، نانولوله‌های کربنی عوامل تصویربرداری قوی با وضوح بالاتر در عمق بافت با میکروسکوپ فلورسانس NIR و توموگرافی نوری را دارند. با این حال، مطالعات متعددی سمیت ناشی از نانولوله‌های کربنی را گزارش کرده‌اند. نتایج در مورد زیست سازگاری نانولوله‌های کربنی عمدتاً ناشی از تغییر نانولوله‌ها (به عنوان مثال، اندازه، خصوصیات سطح، بار و عملکرد) و نمونه‌های تست شده (به عنوان مثال در شرایط آزمایشگاه<sup>۴</sup>، مطالعات داخل بدن<sup>۵</sup>، نوع سلول، بافت و

1 Single-Walled Carbon Nanotubes

2 Multi-Walled Carbon Nanotubes

3 Near Infrared

4 In Vitro

5 In Vivo

مدل‌های حیوانات به کار گرفته شده) می‌باشد. علاوه بر این، افزایش سمیت اغلب به حذف ناقص کاتالیزورهای فلزی که برای تهیه نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود، نسبت داده شده است. بیشتر مطالعات داخل بدن بر روی نانولوله‌های کربنی، آن‌ها را ایمن شناسایی کرده‌اند، سمی نیستند و از کلیه خارج می‌شوند، بخش‌های کمی از نانولوله‌ها در اندام‌های خاصی مانند کبد، طحال و ریه‌ها یافت شده‌اند [۱۶].

#### ۱-۳-۳-۱-۴- نانوالیاف کربن

از نانوذرات گرافنی که برای تهیه نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود می‌توان برای تهیه نانوالیاف کربن هم استفاده کرد اما به جای تشکیل لوله‌های استوانه‌ای معمولی به شکل مخروط یا فنجان پیچیده می‌شود [۱۷].

#### ۱-۳-۳-۱-۵- کربن سیاه

ماده‌ای آمورف از کربن تشکیل شده است، به طور کلی کروی شکل به قطر ۲۰ تا ۷۰ نانومتر می‌باشد. تعامل بین این ذرات به حدی زیاد است که در تجمعات به هم متصل می‌شوند و آگلومره‌هایی در حدود ۵۰۰ نانومتر ایجاد می‌کنند [۱۷].

#### ۱-۳-۳-۲- نانومواد بر پایه مواد معدنی

این نانومواد شامل نانوذرات فلزی، اکسید فلزی و مواد نانوساختار هستند [۱۷]. آن‌ها دارای خواص فیزیکی ویژه‌ای مانند خواص نوری، مغناطیسی، الکترونیکی و کاتالیزوری وابسته به اندازه می‌باشند [۲۴].

#### ۱-۳-۳-۱-۲- نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی از فلزاتی به اندازه نانومتر با روش‌های مخرب یا سازنده ساخته می‌شوند. تقریباً تمام فلزات می‌توانند به نانوذرات فلزی سنتز شوند. فلزات متداول برای سنتز نانوذرات عبارتند از: آلومینیوم (Al)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، مس (Cu)، طلا (Au)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، نقره (Ag) و روی (Zn). این نانوذرات دارای خصوصیات متمایز مانند اندازه‌های ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر، ویژگی‌های سطح مانند نسبت ناحیه سطح به حجم بالا، اندازه منافذ، بار سطحی و چگالی بار سطحی، ساختارهای کریستالی و آمورف، شکل‌هایی مانند کروی و استوانه‌ای و رنگی‌اند و به عوامل محیطی مانند هوا، رطوبت، گرما و نور

خورشید و غیره حساسیت و واکنش می‌دهند [۱۷]. نانوذرات فلزی مانند طلا (Au) دارای خواص الکترونیکی و نوری منحصر به فردی و غیر سمی و زیست سازگار می‌باشند و به دلیل بار منفی، می‌توان سطح آن‌ها را با سایر مولکولهای زیستی اصلاح کرد. سطح طلا فرصت خوبی را برای اتصال لیگاندها مانند پروتئین‌ها، الیگونوکلئوتیدها و آنتی بادی‌های حاوی گروه‌های عملکردی مانند فسفین‌ها، تیول‌ها، مرکاپتان‌ها و آمین‌ها فراهم می‌کند، که تمایل بالایی برای سطح طلا دارند. از نانوذرات طلا می‌توان در تکنیک‌های تصویربرداری برای تشخیص بیماری‌ها استفاده کرد. از نانوذرات طلا برای تصویربرداری از سرطان با انتقال نانوذرات طلا به هسته سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود، بنابراین اهمیت این نانوذرات در زیست پزشکی را برجسته می‌کند. به منظور انجام این کار محققان پتید آرژنین-اسید آسپارتیک-گلیسین و یک پتید سیگنال محلی سازی هسته‌ای را به نانوذرات طلا ۳۰ نانومتری کونژوگه کردند. پتید آرژنین-اسید آسپارتیک-گلیسین کونژوگه شده گیرنده‌های اینترگرین  $\alpha v \beta 6$  را در سطح سلول مورد هدف قرار می‌دهد، در حالی که توالی لیزین-لیزین-لیزین-آرژنین-لیزین با کاروفیرین‌ها (ایمپورتین‌ها) در سیتوپلاسم ارتباط برقرار می‌کند، که بعد به هسته منتقل می‌شود [۱۶].

### ۱-۳-۲-۲-۲-۲-۲ نانوذرات اکسید فلزی

نانوذرات اکسید فلزی برای اصلاح خواص نانوذرات فلزی سنتز می‌شوند، به عنوان مثال نانوذرات آهن (Fe) فوراً در حضور اکسیژن در دمای اتاق اکسید می‌شوند و در صورت وجود اکسیژن در دمای اتاق باعث افزایش واکنش و کارایی سنتز می‌گردند. نانوذرات اکسید فلزی عمدتاً به دلیل افزایش واکنش پذیری و کارایی سنتز می‌گردند. نانوذرات اکسید فلزی سنتز شده معمولاً اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ )، اکسید سرب ( $CeO_2$ )، اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ )، مگنتیت ( $Fe_3O_4$ )، دی اکسید سیلیکون ( $SiO_2$ )، دی اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ )، اکسید روی ( $ZnO$ ) می‌باشد. این نانوذرات نسبت به همتایان فلزی خود دارای خواص استثنایی هستند [۱۷]. این نانوذرات دارای فعالیت‌های کاتالیزوری، آنتی اکسیدانی [۲۴]، پایداری شیمیایی، خواص نوری و زیست سازگاری‌اند که آن‌ها را برای کاربردهای زیست پزشکی مناسب می‌سازد. پرکاربردترین آن‌ها اکسید آهن ( $Fe_3O_4$ )، اکسید تیتانیوم یا تیتانیا ( $TiO_2$ )، زیرکونیا ( $ZrO_2$ )، اکسید روی ( $ZnO$ ) و اخیراً سربا ( $CeO_2$ ) است. به عنوان مثال، نانوذرات تیتانیا به دلیل زیست

سازگاری سطحشان در ایمپلنت‌های پزشکی استفاده می‌شوند و نانوذرات سریا به دلیل ظرفیت کاتالیزوری و آنتی اکسیدان به عنوان عوامل آنتی اکسیدان و ضد التهاب عمل می‌کنند. دی اکسید تیتانیوم به دلیل زیست سازگاری، پایداری شیمیایی و خواص نوری در کاربردهای مهمی از جمله بیوسنسور مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر نانوذرات اکسید فلزی که در کاربردهای زیست پزشکی بسیار مور توجه قرار گرفته‌اند می‌توان به نانوذرات اکسید سریم ( $CeO_2$ ) یا نانوسریا اشاره کرد. نانوذرات اکسید سریم خواص منحصر به فردی برای جابجایی بین حالت‌های اکسیداسیون دارد، بنابراین باعث افزایش کاربرد آن‌ها در بیماری‌های مرتبط با استرس اکسیداتیو می‌شود. نانوذرات اکسید سریم کمبودهای زیادی در سطح دارند، به طور عمده کمبود  $O_2$  منجر به ترکیبی از حالت‌های اکسیداسیون سریم (IV) و (III) می‌شود که این امر باعث تشکیل جفت ردوکس می‌گردد، که زیر بنای فعالیت کاتالیزوری نانوذرات اکسید سریم است. این خواص، آن را بعنوان یک آنتی اکسیدان بالقوه نشان می‌دهد. نمونه‌های دیگر از نانوذرات اکسید فلزی، سیلیکای متخلخل ( $SiO_2$ ) است. کاربردهای زیست پزشکی این نانوذرات به دلیل خواص منحصر به فرد آن‌ها از جمله، ناحیه سطح بزرگ، حجم منافذ، اندازه ذرات قابل کنترل و زیست سازگاری خوب می‌باشد. با توجه به این خواص، از نانوذرات سیلیکا مزوپور برای تحویل دارو در زیست پزشکی و بیوسنسورها مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات، استفاده از نانوذرات اکسید روی ( $ZnO$ ) را در تحویل دارو و تصویربرداری زیستی نشان می‌دهد [۱۶]. یکی از ویژگی‌های مهم نانوذرات  $ZnO$  این است که برای محافظت از آن‌ها در سیستم‌های بیولوژیکی باید سطح آن‌ها اصلاح شود، زیرا به راحتی در محلول‌های آب و اسیدی حل می‌شوند. علاوه بر این، برای استفاده از نانوذرات  $ZnO$  برای فلورسانس در تصویربرداری، ابتدا آن‌ها نیاز به دوپینگ دارند، زیرا پهنای باند  $ZnO$  در منطقه UV است و نور UV نمی‌تواند در بافت‌ها نفوذ کند و بنابراین برای سلول‌ها و بافت‌ها مضر می‌باشد [۲۵].

### ۱-۳-۳-۲-۳- نانوذرات سرامیکی

ترکیبات معدنی با خواص متخلخل هستند که برای حمل دارو می‌توانند بکار روند. آن‌ها قادر به انتقال مولکول‌هایی از جمله پروتئین‌ها، آنزیم‌ها یا داروها به دلیل اثرات خارجی pH یا دما هستند [۲۶]. ترکیباتی که بیشتر در نانوذرات سرامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، سیلیس و آلومینیوم هستند، هسته این

نانوذرات محدود به این دو ماده نیست. در واقع، آن‌ها می‌توانند از ترکیب مواد فلزی و غیر فلزی تشکیل شوند. به عنوان مثال، نانوذرات سیلیس مزانشیمی<sup>۱</sup> (MSN) پوشانده شده با  $\text{CeO}_2$  برای رهاسازی بتا سیکلودکسترین به سلول‌های سرطانی ریه به عنوان وسیله‌ای برای تحویل دارو عمل می‌کند. بیشتر مواد سرمایی کاربردهای مختلف در مواد معدنی رس، سیمان و شیشه دارند. سرمیک‌های زیست سازگار، به عنوان بیوسرامیک شناخته شده‌اند و عمدتاً برای استخوان، دندان و سایر کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیو سرمیک‌ها زیست سازگاری خوب، آبگریز، تجزیه پذیر و قابلیت جذب مجدد خوبی دارند. پرمصرف‌ترین نانومواد سرمایی عبارتند از: کلسیم فسفات<sup>۲</sup> (CaP)، سولفات کلسیم و کربنات، تری کلسیم فسفات<sup>۳</sup> (TCP)، هیدروکسی آپاتیت<sup>۴</sup> (HAP)، TCP + HAP، شیشه‌های فعال زیستی، سرمیک‌های شیشه‌ای فعال زیستی، سرمیک‌های بر پایه تیتانیا، سرمیک‌های آلومینا، سرمیک‌های زیرکونیا و کامپوزیت‌های پلیمری سرمیکی هستند. همه این‌ها، علاوه بر کاربردهای زیست پزشکی در بدن، در نانو پزشکی، ارتوپدی، بازسازی استخوان، دندانپزشکی و رشد بافت استفاده می‌شوند [۱۶].

#### ۱-۳-۲-۴- نقاط کوانتومی

این نانوذرات از مواد نیمه هادی با خاصیت فلورسنت ساخته شده‌اند. اندازه نقاط کوانتومی را می‌توان به طور مداوم از ۲ تا ۱۰ نانومتر تنظیم کرد، که پس از کپسوله کردن پلیمر، به طور کلی به قطر ۵-۲۰ نانومتر افزایش می‌یابد. نانو کریستال‌های نیمه هادی دارای خصوصیات نوری منحصر به فرد و جذابی هستند که به یک ابزار ضروری در تحقیقات زیست پزشکی، به خصوص برای تصویربرداری و تشخیص فلورسانس تبدیل می‌شوند. هسته نقاط کوانتومی<sup>۵</sup> (QD) به عنوان داربست ساختاری عمل می‌کند و برای تصویربرداری و داروهای هیدروفوبیک مناسب می‌باشند [۲۷]. به طور کلی، نقاط کوانتومی از یک هسته نیمه هادی (به عنوان مثال، کادمیوم سلنیوم<sup>۶</sup> (CdSe)، کادمیوم تلوریم<sup>۷</sup> (CdTe)، ایندیوم فسفات<sup>۸</sup> (InP)،

<sup>1</sup> Mesoporous Silica Nanoparticles

<sup>2</sup> Calcium phosphate

<sup>3</sup> Tricalcium phosphate

<sup>4</sup> Hydroxyapatite

<sup>5</sup> Quantum Dots.

<sup>6</sup> Cadmium-selenium

<sup>7</sup> Cadmium-tellurium

یا ایندیم-آرسنات<sup>۱</sup> (InAs) تشکیل شده است که با ترکیبی مانند سولفید روی<sup>۲</sup> (ZnS) پوشیده می‌شود تا خواص نوری و فیزیکی آن‌ها را بهبود بخشد و از نشت فلزات سنگین سمی جلوگیری کند. این نانوذرات بیشترین کاربرد را در تصویربرداری و حسگر زیستی دارند. این کاربرد مستلزم آن است که آن‌ها به مولکول‌های زیستی، مانند پروتئین‌ها، پپتیدها یا الیگونوکلئوتیدها کونژوگه شوند تا به مکان‌های خاصی وصل شوند. زیست‌سازگاری نقاط کوانتومی برای کاربردهای بیولوژیکی و زیست‌پزشکی ضروری است. به طور کلی، نقاط کوانتومی زیست‌سازگار از سه مسیر مختلف بدست می‌آیند که شامل: (۱) سنتز زیستی بطور تقلیدی، که از ساختارهای سلولی مصنوعی یا بیومولکول‌ها (اسیدهای نوکلئیک، پپتیدها، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها) به عنوان الگو استفاده می‌کنند، (۲) بیوسنتز، از موجودات زنده در بیوراکتورها استفاده می‌گردد، یا (۳) اصلاح سطح نقاط کوانتومی بدست آمده از سنتز شیمیایی. روش بیوسنتز یک مسیر سبز برای تهیه نقاط کوانتومی زیست‌سازگار است، بدون اینکه محصولات سمی تولید کند یا شرایط واکنش تهاجمی را فراهم سازد. یکی از مهمترین نقاط کوانتومی، نقاط کوانتومی طلا<sup>۳</sup> (GQD) هستند که خواص مشابهی با نانوذرات طلا دارند. اما برخلاف سایر نقاط کوانتومی، آن‌ها فلورسانس را نشان نمی‌دهند. در عوض، آن‌ها دارای خاصیت رنگ‌سنجی‌اند که در اثر رزونانس پلاسمون سطح<sup>۴</sup> (SPR) وابسته به حلالیت، شکل، اندازه ذرات و لیگاند، قابلیت عملکرد سطح، خواص دی‌الکتریک، محیط و توده‌ای شدن القا می‌شوند که آن‌ها را در کاربردهای تشخیص سیستم بیولوژیک مانند تعیین توالی DNA، سنجش‌های هیبریداسیون، اختلالات ژنتیکی، فلوسایتمتری، و ایمونوبلات بسیار مفید می‌سازد. محققان نقاط کوانتومی طلا را سنتز کردند و آن‌ها را به یک قطعه پپتیدی حاوی سیگنال بیرونی هسته و توالی‌های شناسایی کاسپاز-۳ متصل کردند تا مراحل آپوپتوز را بررسی کنند. هنگامی که آپوپتوز ایجاد شد، کاسپاز ۳ فعال گردید، پپتید کاربردی بر روی نقاط کوانتومی طلا شکسته می‌شود تا توزیع درون سلولی نقاط کوانتومی طلا را تغییر دهد و به عنوان تابعی از زمان با نسبت تابش نور از هسته به سیتوپلاسم اندازه‌گیری

<sup>۸</sup> Indium-phosphate

<sup>۱</sup> Indium-arsenate

<sup>۲</sup> Zinc sulfide

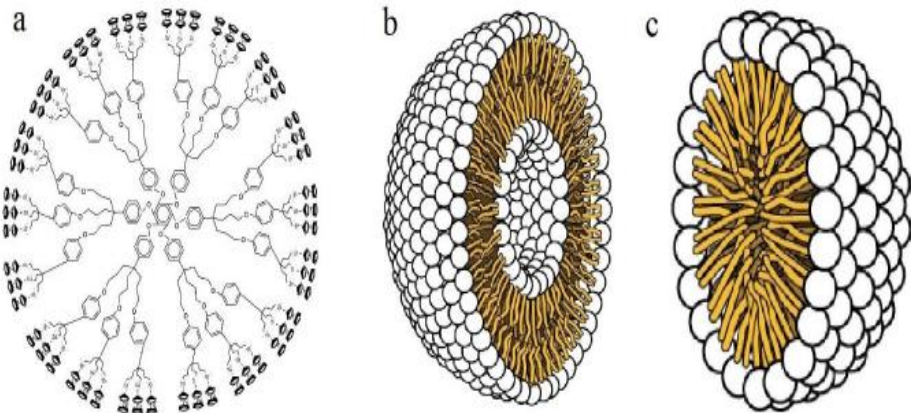
<sup>۳</sup> Gold quantum dots

<sup>۴</sup> Surface Plasmon Resonance

شود. نقاط کوانتومی طلا به عنوان پروب مولکولی عمل می‌کند تا زمان واقعی آپتوتوز سلولی را نظارت کند. بنابراین استفاده از آن در سرطان مفید می‌باشد [۱۶].

### ۱-۳-۳- نانومواد بر پایه مواد آلی

به استثنای نانومواد بر پایه کربن یا مواد معدنی اکثر نانومواد از مواد آلی ساخته شده‌اند. این نانومواد از اتصالات غیر کووالانسی (ضعیف) برای ساخت خود استفاده می‌کنند و نانومواد آلی به ساختارهایی مانند دندریمرها، میسل‌ها، لیپوزوم‌ها و نانوذرات پلیمری تبدیل می‌شوند [۵]. نانوذرات آلی بیشتر از همه در زمینه‌های زیست پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نانوذرات زیست تجزیه پذیر و غیر سمی‌اند و برخی از ذرات مانند میسل و لیپوزوم دارای هسته‌های توخالی‌اند (شکل ۱-۲) و به عنوان نانو کپسول شناخته می‌شوند و در برابر اشعه‌های حرارتی و الکترومغناطیسی مانند گرما و نور حساس‌اند. این خصوصیات منحصر به فرد، آن‌ها را به عنوان گزینه‌ای مناسب برای تحویل دارو تبدیل می‌کند و به دلیل کارآیی، می‌توانند در قسمت‌های خاصی از بدن به عنوان داروی هدفمند تزریق شوند [۱۷].



شکل ۱-۲ - نانوذرات آلی: (a) دندریمرها (b) لیپوزوم‌ها و (c) میسل‌ها [۱۷].