چکیده:

به منظور بررسی جامعیت فرایندهای سونوشیمی در سنتز نانو مواد مختلف، نانو ذرات سرامیکی Dy_2O_3، نانو ذرات اکسیدی SiO_2 و نانو ذرات پلیمری زیست تخریب‌پذیر سلولز استات به روش سونوشیمیایی در این پروژه تهیه شدند. نکته‌ی قابل توجه اندازه کوچک ذرات تولیدی و توزیع باریک اندازه‌ی این ذرات می‌باشد. در اینجا پارامترهای مختلفی از جمله توان امواج فراصوت، زمان نشر امواج فراصوت، دما و زمان کلسینه شدن، غلظت مواد اولیه، نوع حلال‌ها و غیر حلال-ها را که بر روی ساختار و اندازه‌ی ذرات تولیدی تاثیر گذرا هستند، بررسی شده است. در آخر به منظور شناسایی محصولات یاد شده از تکنیک‌های مختلفی استفاده شد، که عبارتنداز: پراش اشعه‌ی X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، تجزیه‌ی وزن‌سنجی حرارتی (TGA)، فوتولومینسانس (PL) و طیف‌بینی مادون قرمز FT-IR.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده .....الف.....

فهرست مطالب .....ب.....

فهرست جدول‌ها .....د.....

فهرست شکل‌ها .....ذ.....

فهرست علائم و اختصارات .....ش.....

فصل اول

مقدمه

بخش اول: نانوفناوری

۱-۱- تعریف نانوفناوری.....۱

۱-۲- خواص نانو مواد.....۳

۱-۳- طبقه‌بندی نانومواد.....۵

۱-۳-۱- نانو ذرات.....۵

۱-۳-۲- نانو ساختارها.....۵

۱-۴- روش‌های ساخت مواد نانوساختار.....۶

۱-۴-۱- فرآیندهای حالت جامد.....۷

۱-۴-۲- فرآوری نانوذرات در گازها.....۹

۱-۴-۳- روش‌های حالت مایع ۹
۱-۴-۴- سنتز نانو ذرات پلیمری از روش نانورسوب‌دهی ۹
۱-۴-۴-۱-وارونگی فاز ۱۰
۱-۴-۴-۲- جدایی فاز در سیستم‌های سه جزئی ۱۰
۱-۴-۴-۳- بررسی اثر پارامترهای مختلف روی شکل پلیمر ۱۱
۱-۴-۴-۳-۱- نوع پلیمر ۱۲
۱-۴-۴-۳-۲- نوع سیستم حلال / غیر حلال ۱۲
۱-۴-۴-۳-۳- غلظت پلیمر ۱۳
۱-۴-۴-۳-۴- ترکیب درصد حمام انعقاد ۱۴
۱-۴-۴-۳-۵- ترکیب درصد محلول پلیمری ۱۵

بخش دوم :مروری بر صوت و ماورای صوت

۱-۵- موج ۱۸
۱-۵-۱- امواج مکانیکی ۱۸
۱-۵-۲- امواج الکترومغناطیسی ۱۹
۱-۵-۳- امواج صوتی ۱۹
۱-۶- معادله ی موج ساده ارتعاشی ۲۲
۱-۷- عوامل موثر بر سرعت موج صوتی ۲۳
۱-۸- رفتارهای عمومی امواج ۲۴
۱-۹- فراصوت ۲۶
۱-۹-۱- تولید امواج فراصوت ۲۷

۱-۹-۱-۱- سیرن ۲۷
۱-۹-۱-۲- سوتک گالتن ۲۸
۱-۹-۱-۳- نوسانگر مغناطیسی ۲۸
۱-۹-۱-۴- نوسانگر پیزوالکتریک ۲۹
۱-۱۰- سونو شیمی ۳۰
۱-۱۰-۱- منشاء اثرات سونوشیمیایی ۳۰
۱-۱۰-۲- مناطق درگیر طی فرایند حباب‌سازی ۳۱
۱-۱۰-۳- عوامل موثر بر فرایند های سونوشیمی ۳۳
۱-۱۰-۳-۱- ویسکوزیته حلال ۳۷
۱-۱۰-۳-۲- فرکانس صوت ۳۷
۱-۱۰-۳-۳- فشار بخار حلال ۳۷
۱-۱۰-۳-۴- گاز حباب دار ۳۷
۱-۱۰-۳-۵- کشش سطحی حلال ۳۷
۱-۱۰-۳-۶- فشار اعمالی خارجی ۳۷
۱-۱۰-۳-۷- دما ۳۸
۱-۱۰-۳-۸- شدت ۳۸
۱-۱۰-۴- روش‌های مختلف سونوشیمی ۳۸
۱-۱۰-۵- دستگاهوری ۴۰
۱-۱۱- اساس واکنش‌های سونوشیمیایی ۴۱
۱-۱۲- کاربردهای سونو شیمی در نانوفناوری ۴۳

۱-۱۲-۱- سنتز مواد معدنی با ساختار نانو با استفاده از فراصوت ۴۶
۱-۱۲-۱-۱- تهیه‌ی مواد آمورف ۴۷
۱-۱۲-۱-۲- تهیه‌ی کالکوژنیدها ۴۹
۱-۱۲-۱-۳- تهیه‌ی نانو ذرات فلزی ۵۵
۱-۱۲-۱-۴- تهیه‌ی نانو ذرات اکسید فلزی ۵۶
۱-۱۲-۱-۵- تهیه‌ی ترکیبات کربن ۶۰

فصل دوم

بخش تجربی

۲-۱- مواد و وسایل آزمایشگاهی ۶۶
۲-۲- دستگاه‌های مورد استفاده ۶۷
۲-۳- روش انجام آزمایش ۶۸
۲-۳-۱- تهیه نانو ساختارهای Dy_2O_3 ..... ۶۸
۲-۳-۱-۱- تهیه نانو ذرات Dy_2O_3 از مسیر کربناتی ۶۸
۲-۳-۱-۲- تهیه نانو ذرات Dy_2O_3 از مسیر هیدروکسیلی ۶۸
۲-۳-۲- تهیه نانو ذرات SiO_2 ..... ۶۹
۲-۳-۳- تهیه نانو ذرات پلیمری زیست تخریب پذیر سلولوز استات ۷۰
۲-۴- آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر SEM ۷۰
۲-۵- آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر TEM ۷۱
۲-۶- آماده سازی نمونه برای بررسی خواص نوری ۷۱

۲-۷- واکنش‌های انجام شده در سنتز نانوساختارهای ۷۱
۲-۷-۱- واکنش‌های انجام شده در سنتز نانوساختارهای Dy_2O_3 ..... ۷۱
۲-۷-۲- واکنش‌های انجام شده در سنتز نانوساختارهای SiO_2 ..... ۷۲

فصل سوم

بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- معرفی ۷۴
۳-۲- تهیه نانو ساختارهای Dy_2O_3 ..... ۷۵
۳-۲-۱- مقدمه ۷۵
۳-۲-۲- بحث و نتیجه‌گیری داده‌ها ۷۷
۳-۲-۲-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۷۷
۳-۲-۲-۲- آنالیز EDX ۷۸
۳-۲-۲-۳- تصاویر TEM ۸۰
۳-۲-۲-۴- طیف‌سنجی FT-IR ۸۲
۳-۲-۲-۵- طیف بینی فوتولومینسانس ۸۴
۳-۲-۲-۶- آنالیز حرارتی TGA ۸۵
۳-۲-۲-۷- اثر دمای تکلیس بر روی اندازه ذرات ۸۶
۳-۲-۲-۸- اثر زمان فرا صوت بر روی اندازه و شکل ذرات ۸۸
۳-۲-۲-۹- اثر سرعت اضافه کردن عامل رسوب دهنده بر روی اندازه ذرات ۹۰
۳-۳- تهیه‌ی نانوذرات SiO_2 ..... ۹۴
۳-۳-۱- مقدمه ۹۴

۳-۳-۲- بحث و نتیجه‌گیری داده‌ها ۹۲
۳-۳-۲-۱- نتایج الگوی پراش اشعه ایکس(XRD) ۹۶
۳-۳-۲-۲- اثر نوع حلال ۹۶
۳-۳-۲-۳- اثر نسبت $H_2O/TEOS$ ۹۸
۳-۳-۲-۴- اثر غلظت باز ۹۸
۳-۳-۲-۵- اثر نوع باز ۹۹
۳-۳-۲-۶- اثر اندازه ظرف واکنش ۱۰۰
۳-۳-۲-۷- اثر دمای هیدرولیز ۱۰۱
۳-۳-۲-۸- اثر زمان فرا صوت ۱۰۲
۳-۳-۲-۹- اثر توان فرا صوت ۱۰۳
۳-۳-۲-۱۰- آنالیز EDX ۱۰۵
۳-۴- تهیه نانو ذرات پلیمری زیست تخریب‌پذیر سلولوزاستات ۱۰۶
۳-۴-۱- مقدمه ۱۰۶
۳-۴-۲- بحث و نتیجه‌گیری داده‌ها ۱۰۷
۳-۴-۲-۱- بررسی اثر نوع حلال ۱۰۷
۳-۴-۲-۲- بررسی اثر نوع غیر حلال ۱۰۸
۳-۴-۲-۳- بررسی اثر مقدار پلیمر ۱۰۹
۳-۴-۲-۴- بررسی اثر فرا صوت بر تشکیل نانوذرات پلیمری ۱۱۰
۳-۵- جمع‌بندی ونتیجه‌گیری ۱۱۱
منابع و مآخذ ۱۱۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- برخی از ویژگی‌های نانومواد..... ۶

جدول ۱-۲- نانو ساختارهای کالکوژنیدی کره‌های تو خالی یا توپر ZnS یا ZnSe..... ۵۲

جدول ۱-۳- ترکیبات مختلف سنتز شده به روش سونوشیمی به همراه پارامترهای بررسی شده..... ۶۳

جدول ۳-۱- شرایط واکنش در تهیه‌ی Dy_2O_3..... ۷۶

جدول ۳-۲- الکل‌های استفاده شده به همراه ثابت دی الکتریکی آنها..... ۹۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ مقایسه اجسام مختلف بر حسب نانومتر ۷

شکل ۱-۲- شکل ساده‌ای از فرآیند آسیاب مکانیکی ۹

شکل ۱-۳- ارائه شماتیکی از یک سیستم سه تایی با یک گپ حلالیت مایع- مایع ۱۱

شکل ۱-۴- دیاگرام فاز سیستم سه گانه ارئه دهنده اثر برهم کنش بین حلال و غیرحلال روی ساختار نهایی غشا یا پلیمر ۱۳

شکل ۱-۵- مسیر ترکیب درصد یرای سیستم سلولزاستات / دی اکسان / آب در غظتهای مختلف ۱۳

شکل ۱-۶- مسیر ترکیب درصد یرای سیستم سلولزاستات / دی‌اکسان / آب در دو جز حجمی مختلف دی اکسان در حمام انعقاد ۱۴

شکل ۱-۷- مسیر ترکیب درصد یرای سیستم سلولزاستات / دی اکسان / آب در سه جزء حجمی مختلف آب در محلول پلیمری ۱۵

شکل ۱-۸- اثر افزودن آب به محلول پلیمری روی ساختار نهایی پلیمر ۱۶

شکل ۱-۹-اثر اضافه کردن مواد افزودنی بر ساختار پلیمر از روی دیاگرام فاز ۱۷

شکل ۱-۱۰ نمای ساده ای از دستگاه‌های تولید کننده امواج فراصوت، (الف) سوتک گالتن، (ب) سیرن، (ج) نوسانگر پیزوالکتریک و (د) نوسانگر مغناطیسی ۲۹

شکل ۱-۱۱- نمای ساده‌ای از فشردگی و تراکم مولکول‌های محیط در معرض امواج فرا صوتی ۳۱

شکل ۱-۱۲- مناطق به همراه برخی از گونه‌هایی که در اثر تخریب در سه نواحی مختلف حباب انفجاری تشکیل می‌شوند ۳۱

شکل ۱-۱۳- گونه‌هایی که در اثر تخریب حلال آب در مجاورت امواج فرا صوت تشکیل می‌شوند ۳۲

شکل ۱-۱۴- تقسیم‌بندی روش‌های سونوشیمی ۴۰

شکل ۱-۱۵- دستگاهوری سونوشیمی، (الف) دستگاه سونوشیمی، (ب) دستگاه سونوالکتروشیمی، (ج) دستگاه گرماکافت افشانه‌ای فراصوت و (د) دستگاه سونولومینسانس ۴۰

شکل ۱-۱۶- مدل نقطه داغ در مکانیسم تشکیل حفره ۴۲

شکل ۱-۱۷- نمای ساده‌ای از تشکیل حباب‌ها در محیط‌های مختلف ۴۶

شکل ۱-۱۸ سنتز شیمیایی مواد با ساختار نانو ۴۷

شکل ۱-۱۹- تصاویر TEM نانو ذرات آمورف آهن، (a) در حضور پلی وینیل پیرولیدون و (b) در حضور اولئیک اسید به عنوان پایدار کننده ۴۸

شکل ۱-۲۱- تصاویر TEM نانوسیم‌های سولفید نقره، (a) و (b) در بزرگنمایی مختلف، (c) بعد از ۵، (d) ۳۰ و (e) ۶۰ دقیقه از شروع واکنش ۴۹

شکل ۱-۲۲- مراحل مختلف تشکیل کره‌های توپر و تو خالی PbS ۵۰

شکل ۱-۲۳- تصاویر TEM، HR-TEM و SEM از نانو ذرات PbS (a) تا (e)، (f) در غیاب DBS، (g) در حضور CTAB و (h) با استفاده از $Pb(NO_3)_2$ به عنوان منبع Pb ۵۰

شکل ۱-۲۴- نمای ساده‌ای از مراحل تشکیل کالکوژنیدی کره‌های تو خالی یا توپر ZnS یا ZnSe ۵۱

شکل ۱-۲۵- تصاویر SEM، نانو ساختارهای Zno(a,b) در حضور تیواوره، و (c,d) در حضور تیواستامید ۵۳

شکل ۱-۲۶- تصویر (a)، SEM و (b,c)، TEM نانو میله‌های Sb_2S_3 ..... ۵۳

شکل ۱-۲۷- تصویر TEM نانو میله‌های Sb_2S_3، پس از گذشت (a) ۳۰، (b) ۶۰، (c) ۷۵ و (d) ۹۰ دقیقه از شروع واکنش ۵۴

شکل ۱-۲۸- تصاویر SEM نانو سیم‌های سلنیم تشکیل شده در حلال‌های مختلف ۵۶

شکل ۱-۲۹- نمای ساده‌ای از کنترل شکل در تهیه‌ی نانو ذرات ZnO ۵۶

شکل ۱-۳۰- تصاویر TEM ، HR-TEM و SEM نانو ساختارهای Zno (a,b) نانومیله، (c,d) نانو کاپ، (e,f) نانو دیسک،(g,h) نانو گل و (i,j) نانو کره ۵۷

شکل ۱-۳۱- تصاویر TEM مربوط به نانو ذرات $MoTe_2$ کلسینه شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد به مدت (a,b) ۴ و (c,d) ۱۰ ساعت ۵۸

شکل ۱-۳۲- تصاویر XRD از نانو ذرات $MoTe_2$ (a) نمونه تازه تهیه شده و (b) نمونه کلسینه شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت ۶۰

شکل ۱-۳۳- تصویر سه بعدی مربوط به حلقه‌های المپیک $BaFe_{12}O_{19}$ ۶۱

شکل ۱-۳۴- تصویر سه بعدی مربوط به تشکیل ساختار فولرنی ۶۲

شکل ۲-۱ نمای ساده‌ای از دستگاه مولد امواج فراصوت استفاده شده در این پروژه ۶۷

شکل ۲-۲- نمای ساده‌ای از تهیه نانو ساختارهای Dy_2O_3 به روش سونوشیمی ۶۹

شکل ۲-۳- طرحی شماتیکی از تهیه نانو ذرات سیلیس به روش سونوشیمی ۷۰

شکل ۲-۴- طرحی شماتیکی از تهیه نانو ذرات پلیمری به روش سونوشیمی ۷۰

شکل ۳-۱- طیف XRD، (a) نمونه شماره۱، (b) نمونه شماره ۲، (c) نمونه شماره ۳، (d) نمونه شماره ۷، (e) نمونه شماره ۱۷ و (f) نمونه شماره ۱۸ ..... ۷۸

شکل ۳-۲- طیف EDX، (a) نمونه شماره ۳، (b) نمونه شماره ۷ ..... ۷۹

شکل ۳-۳- تصاویر TEM، (a) نمونه شماره ۱، (b) نمونه شماره۳ ..... ۸۰

شکل ۳-۴- تصویر توزیع پراکندگی ذرات در نمونه شماره۳ به همراه تصویر TEM این ذرات ۸۱

شکل ۳-۵- تصویر TEM نمونه شماره ۲ ..... ۷۸

شکل ۳-۶- طیف IR، (a) نمونه شماره ۱، (b) نمونه شماره ۲، (c) نمونه شماره ۳ و (d) نمونه شماره ۷ ..... ۸۳

شکل ۳-۷- طیف PL، (a) نمونه شماره۳، (b) نمونه شماره ۴ و (c) نمونه شماره ۶ ..... ۸۴

شکل ۳-۸- طیف TGA، (a) نمونه شماره ۱ و (b) نمونه شماره ۷ ..... ۸۶

شکل ۳-۹- اثر دمای تکلیس بر روی اندازه ذرات، طیف SEM، (a) نمونه شماره ۴، (b) نمونه شماره ۵ و (c) نمونه شماره ۶ ..... ۸۷

شکل ۳-۱۰- اثر زمان فرا صوت بر روی اندازه و شکل ذرات ، طیف SEM، (a) نمونه شماره ۱۰، (b) نمونه شماره ۱۱ و (c) نمونه شماره ۱۲ ..... ۸۹

شکل ۳-۱۱- اثر سرعت تزریق بر روی ذرات ، طیف SEM، (a) نمونه شماره ۱۳ و (b) نمونه شماره ۱۴..... ۹۰

شکل ۳-۱۲- اثر سرعت تزریق بر روی ذرات ، طیف SEM، (a) نمونه شماره ۱۵ و (b) نمونه شماره ۱۶..... ۹۱

شکل ۳-۱۳- اثر امواج فراصوت بر روی ذرات، طیف SEM: (a) نمونه شماره ۱۷ و (b) نمونه شماره ۱۸ ..... ۹۲

شکل ۳-۱۴ تصاویر مربوط به XRD و TEM حد واسطهای (a) هیدروکسیلی و (b) کربناتی که در تهیه‌ی نانو ذرات Dy_2O_3 به وجود می‌آیند ۹۳

شکل ۳-۱۵- طیف XRD نانو ذرات SiO ۹۶

شکل ۳-۱۶- اثر نوع حلال بر روی اندازه ذرات، ا-بوتانول(a)، ایزوبوتانول (b)، آلیل الکل(c) و ۱هگزانول(d)..... ۹۷

شکل ۳-۱۷- اثر نسبت حجمی $H_2O/TEOS$ بر روی اندازه ذرات، (a)۱۰، (b) ۱۵ و (c)۲۰ ..... ۹۸

شکل ۳-۱۸- اثر غلظت باز بر روی اندازه ذرات SiO_2 ، (a) ۰۵/، (b) ۱۰/ و (c)۱ ..... ۹۹

شکل ۳-۱۹- اثر نوع باز بر روی اندازه ذراتSiO_2 ، ۱و۳-دی آمینو پروپان، اتیلن دی آمین، هیدرازین و تری اتیلن تتراآمین به ترتیب از a تا d ۱۰۰

شکل ۳-۲۰- اثر اندازه ظرف واکنش بر روی اندازه ذراتSiO_2، بشر ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و۵۰۰ میلی لیتری به ترتیب از a تا d ۱۰۱

شکل ۳-۲۱- اثر دمای هیدرولیز بر روی اندازه ذرات SiO_2 ،۳۰، ۴۰، ۵۰ درجه سانتیگراد به ترتیب از a تا c۱۰۲

شکل ۳-۲۲- اثر زمان فرا صوت بر روی اندازه ذرات SiO_2 ، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و۹۰ دقیقه به ترتیب از a تا d..... ۱۰۳

شکل ۳-۲۳- اثر توان امواج فراصوت بر روی اندازه ذرات SiO_2 ، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ وات به ترتیب از a تا d.۱۰۵

شکل ۳-۲۴- طیف EDX نانو ذرات SiO_2 تولیدی ۱۰۵

شکل ۳-۲۵- اثر نوع حلال بر اندازه و ساختار ذرات، (a) تتراهیدروفوران، (b) استون، (c) دی‌اکسان و (d) دی-متیل فرمامید..... ۱۰۷

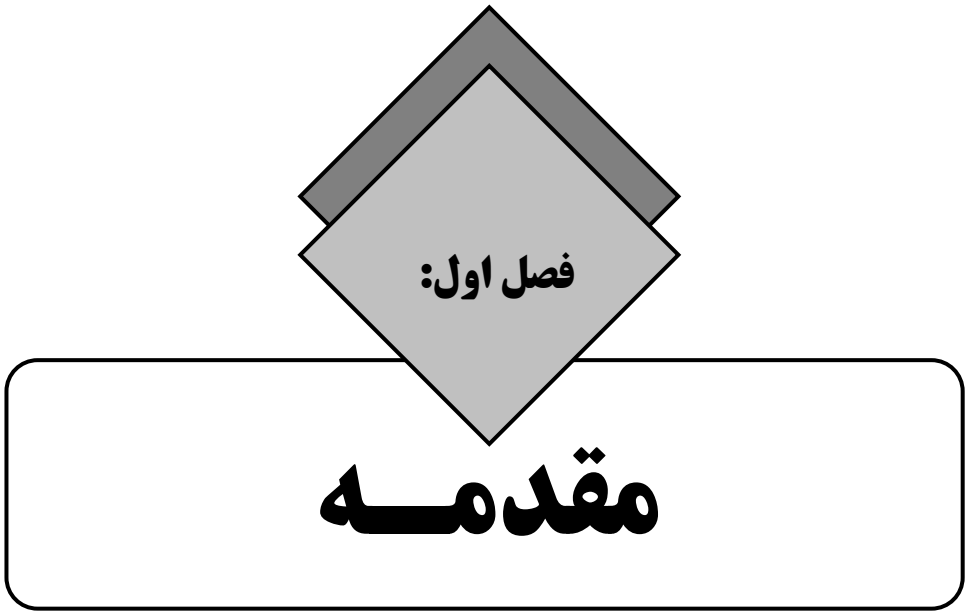
شکل ۳-۲۶- اثر نوع غیر حلال بر اندازه و ساختار ذرات، (a) پروپانول، (b) اتانول، (c) متانول و (d) آب..... ۱۰۸

شکل ۳-۲۷- اثردرصد وزنی پلیمر بر اندازه و ساختار ذرات، (a) ۹، (b) ۶/۸۸، (c) ۴/۷۸ . (d) ۲/۶۵ ..... ۱۰۹

شکل ۳-۲۸- اثر فرا صوت بر تشکیل نانوذرات پلیمری، (a) در حضور فرا صوت و (b) در غیاب فرا صوت..... ۱۱۰

فهرست علائم واختصارات

EDS	Energy Dispersive Spectroscopy
FWHM	Full Width at Half Maximum
FT-IR	Fourier Transform Infra-Red
JCPD	کارت پراش اشعه ایکس
PL	photo luminescent
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscope
TEM	Transmission Electron Microscope
TG-DTA	Thermo Gravimetric- Differential Thermal Analysis
XRD	X-ray diffraction pattern



بخش اول: نانوفناوری

۱–۱– تعریف نانوفناوری:

در بحبوحه سال‌های صنعتی کلمه" بزرگ" از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود. همانند علوم بزرگ، پروژه‌های مهندسی بزرگ و غیره حتی رایانه‌ها در دهه ۱۹۵۰ تمام طبقات ساختمان را اشغال می‌کردند. ولی از زمانی که فاینمن نظرات و منطق خود را بازگو کرد، جهان معنای کوچک اما زیبا را درک می‌کند. ریچارد فاینمن[۱] برنده جایزه‌ی نوبل فیزیک در سال ۱۹۶۵ ملقب به پدر علم نانوفناوری در سال ۱۹۵۹ در سخنرانی معروف خود بیان کرد: «در آن پایین فضای زیادی وجود دارد[۲]». همین جمله پایه‌ی علم نانوفناوری شد. او به گونه ای خیال پردازانه خطوطی حکاکی شده به وسیله ی باریکه ی الکترونی و با عرضی به اندازه چند اتم را فرض کرد که در واقع وجود لیتوگرافی[۳] الکترونی را پیش بینی می‌کرد. هر چند در آن زمان به‌دلیل نبودن وسایل لازم برای مطالعه‌ی مواد در مقیاس نانو، چندان از سخنان او استقبالی نشد ولی

[۱] Richard feynman
[۲] There is a plenty of room at the bottom
[۳] lithography

با پیشرفت میکروسکوپ‌های الکترونی در دهه‌ی ۸۰ میلادی، نانوفناوری وارد مرحله‌ی جدیدی از پیشرفت خود شده است و به سرعت در حال فراگیر شدن در همه‌ی صنایع می‌باشد[۳-۱].

ایده‌ی اصلی تعریف نانو در سال ۱۹۸۰ توسط اریک درکسلر[۱] بیان شد. او نخستین مقاله‌ی علمی خود را در مورد نانوفناوری مولکولی در سال ۱۹۸۱ ارائه داد. وی همچنین در سال ۱۹۸۶ کتابی[۲] را در زمینه‌ی نانوفناوری منتشر کرد. درکسلر نخستین کسی است که درجه‌ی دکتری خود را در نانوفناوری در سال ۱۹۹۱ از دانشگاه MIT دریافت کرد. او یک پیشرو در فعالیت‌های انجام شده در نانوفناوری است.

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است. معادل لاتین این کلمه، دراوو[۳] است که به معنی کوتوله و قد کوتاه است. این پیشوند در علم مقیاس‌ها به معنی یک میلیاردم است. بنابر-این یک نانومتر، یک میلیاردم متر است. شکل ۱-۱ نشان دهنده‌ی این مقیاس می‌باشد.

نانو علم: علم دست‌کاری مواد در مقیاس اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی.

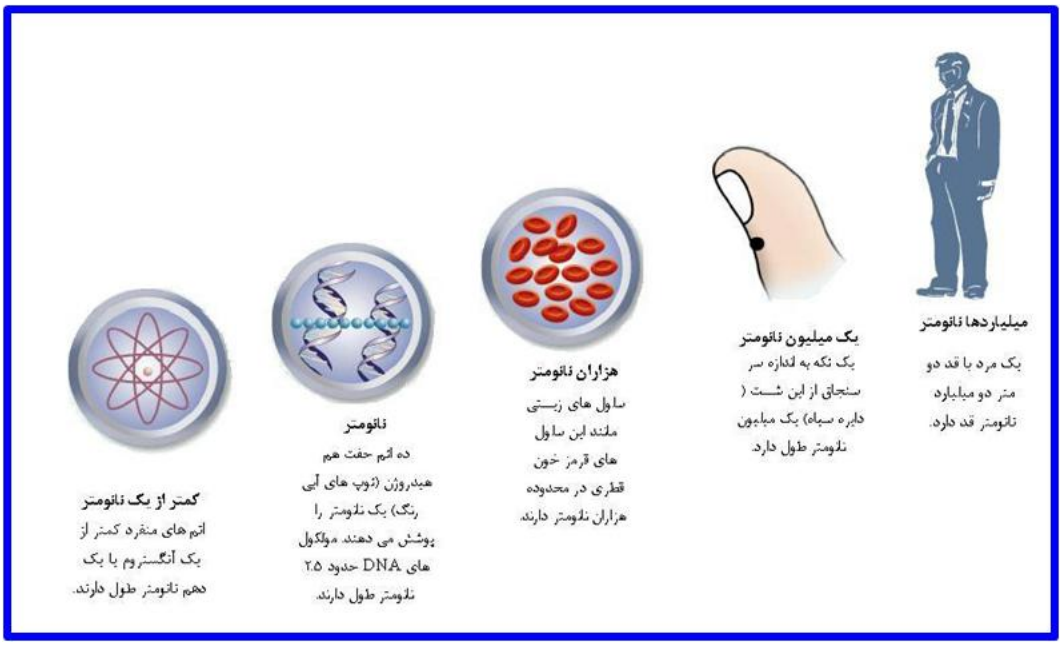
نانوفناوری: نانوفناوری به تولید کار آمد مواد و دستگاه‌ها و سیستم‌ها، با کنترل ماده در مقیاس نانومتری و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های نوظهوری که در این مقیاس روی می‌دهد، اطلاق می‌شود.

مهارت در این فناوری عبارت است از دست‌کاری اتم‌ها به طور جداگانه و قرار دادن دقیق آن‌ها در مکانی که برای رسیدن به ساختار دلخواه و ایده‌ال مورد نیازمی‌باشد.

نانوفناوری به مواد و سیستم‌هایی مربوط می‌شود که ساختار و اجزای آن‌ها به دلیل ابعاد نانومتری رفتار جدید و بهتری را نشان می‌دهند. یکی از پدیده‌های نانوفناوری، نسبت سطح به حجم بالای نانومواد می‌باشد. در این مواد رفتار سطوح بر رفتار توده‌ای غلبه می‌کند، همچنین اثرهای اندازه‌ی کوانتومی ظاهر می‌شود. در حقیقت در این مقیاس قوانین فیزیک کوانتوم وارد صحنه می‌شوند و امکان کنترل خواص ذاتی ماده، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی ماده وجود دارد.

---

[۱] Eric Drexler
[۲] Engines of Creation: the coming era of nanotechnology
[۳] dwarf



شکل ۱-۱ مقایسه اجسام مختلف بر حسب نانومتر.

۱-۲- خواص نانو مواد:

با گذر از مقیاس میکرو به نانو، در خواص فیزیکی و شیمیایی مواد تغییراتی به وجود می‌آید که دو مورد مهم از آنها عبارتند از: افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی. افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ی ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی می‌شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر گذار است. افزایش سطح، واکنش پذیری نانو مواد را به شدت افزایش می‌دهد زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم-های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده ی نمونه بسیار زیاد است، به گونه ای که این ذرات به شدت تمایل به کلوخه ای شدن[۱] دارند. به عنوان مثال در مورد نانوذرات فلزی، به محض قرار گیری در هوا، به سرعت اکسید می‌شوند. در بعضی مواقع برای حفظ خواص مطلوب نانومواد، جهت پیشگیری از واکنش بیشتر، یک پایدار کننده را بایستی به آنها اضافه کرد که آنها را قادر سازد تا در برابر سایش، فرسودگی و خوردگی مقاوم باشند[۴،۵].

[۱] agglomeration

البته این خاصیت مزایایی هم در بر دارد. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزوها و ساختارهایی هم‌چون الکترودها می‌باشد. به عنوان مثال با استفاده از این خاصیت می‌توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به نحو مؤثری بهبود بخشید و یا در تولید نانوکامپوزیت ها با استفاده از این مواد، پیوندهای شیمیایی مستحکم تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار شده و استحکام آن به شدت افزایش می یابد. علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم های ذرات می شود. تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می‌دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (مثل نقطه ذوب) تأثیر گذار است .

علاوه بر این، کوچک تر بودن ابعاد نانوذرات از طول موج بحرانی نور، آنها را نامرئی و شفاف می‌نماید. این خاصیت باعث شده است تا نانو مواد برای مصارفی چون بسته بندی، مواد آرایشی و روکش ها مناسب باشند.

مواد در مقیاس نانو، رفتار کاملاً متفاوت، نامنظم و کنترل نشده ای از خود بروز می‌دهند. با کوچکتر شدن ذرات خواص نیز تغییر خواهد کرد. مثلاً فلزات، سخت تر و سرامیک نرم تر می شود.

ویژگی‌ها و خواص نانومواد که آن‌ها را به عنوان عوامل انقلاب صنعتی در هزاره سوم میلادی قرار داده است بیشتر به دلیل سه نکته‌ی زیر است:

الف) **اثر اندازه کوانتومی:** به محض آنکه ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، شروع به رفتار مکانیک کوانتومی می‌کنند. خواص نقاط کوانتومی مثالی از این دست است. نقاط کوانتومی کریستال‌هایی در اندازه نانو می‌باشند که از خود نور ساطع می‌کنند. انتشار نور توسط این نقاط در تشخیص‌های پزشکی کاربردهای فراوانی دارد. این نقاط گاهی اتم های مصنوعی نامیده می‌شوند؛ چون الکترون‌های آزاد آن‌ها مشابه الکترون‌های محبوس در اتم‌ها، حالات گسسته و مجازی از انرژی را اشغال می‌کنند.

ب) **خواص تابع اندازه:** نه تنها در حوزه‌ی نانومتری خواص مواد نسبت به حالت توده ای متفاوت می‌گردد، بلکه در همان محدوده‌ی نانومتری خواص ماده تابع اندازه‌ی آن می‌باشد. مثلاً بین دو ذره‌ی نانومتری در ابعاد ۱ و ۲ نانومتر شاهد تغییر خواص خواهیم بود و این یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ذرات نانومتری می‌باشد.

ج) **نسبت سطح به توده:** سطح عبارت است از لبه یا مقطع برش یک جسم سه بعدی که خودش دوبعدی است. اگر یک ردیف اتم فقط در یک جهت مرتب شده باشند، یک سمت این اتم‌ها در تماس با سطح است ولی طرف دیگر آن آزاد است. بدیهی است که انتظار داشته باشیم این‌گونه ساختارها نسبت به اتم‌هایی که در توده‌ی ماده و عمق آن واقع شده‌اند، خواص کاملاً متفاوتی داشته باشند و همین‌گونه نیز هست.

به هر حال نکته‌ی مهم چگونگی تغییرات خواص مواد با اندازه‌ی ذرات است و باید به این نکته توجه کرد که با کاهش اندازه‌ی ذره مفهوم فاز نامشخص‌تر می‌شود و درک پیوندهای بین فازهای همگن و ناهمگن و نیز بین حالات آمورف و بلوری مشکل خواهد بود.

۱–۳– طبقه‌بندی نانومواد:

نانو موادبه موادی اطلاق می‌شود که حداقل در یک بعد دارای ابعادی در حد چند نانومتر می‌باشند.این مواد به دو دسته مواد نانوساختار و نانوذرات تقسیم می‌شوند.

۱–۳–۱– نانو ذرات:

طبق تعریف جوامع علمی،یک نانوذره، به ذره ای گفته می‌شود که ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. نانوذرات از طیف وسیعی از مواد ساخته می‌شوند[۵]. متداول‌ترین و پر کاربردترین آن‌ها، نانوذرات سرامیکی هستند. با توجه به تعریف نانوذرات، ممکن است این ذهنیت به‌وجود آید که این ذرات با چنین ابعادی در هوا معلق خواهند ماند، اما در واقع چنین نیست و نیروهای الکترواستاتیکی بین این ذرات، آن‌ها را در کنار هم قرار می‌دهد. بر خی از ویژگیهای نانو مواد در جدول ۱-۱ به طور خلاصه آمده است.

۱–۳–۲– نانو ساختارها:

نانو ساختارها، مواد توده‌ای پلی کریستال هستند که اندازه دانه‌ی آن‌ها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است، به نوعی می‌توان گفت نانو ذرات، اجزای تشکیل دهنده‌ی برخی از مواد نانو ساختار هستند. مواد نانو ساختار را می توان به چند دسته به قرار زیر تقسیم کرد:

۱-نانو لایه ها

۲-نانو پوشش ها

۳- نانو خوشه ها

۴- نانو سیم ها

۵- نانو لوله ها

۶- نانو حفره ها

جدول ۱-۱- برخی از ویژگی‌های نانومواد

خصوصیات	تغییر در خواص
کاتالیستی	اثر کاتالیستی بهتر، به دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر
الکتریکی	افزایش هدایت الکتریکی در سرامیک ها و نانو کامپوزیت های مغناطیسی، افزایش مقاومت الکتریکی در فلزات
مغناطیسی	افزایش مغناطیسیته با اندازه بحرانی دانه ها، رفتار سوپر پارا مغناطیسیته ذرات
نوری	خصوصیات فلوئورسنتی، افزایش اثر کوانتومی کریستال های نیمه هادی
بیولوژیکی	افزایش نفوذ پذیری از بین حصارهای بیولوژیکی (غشاء و سد مغز خون و غیره) و بهبود زیست سازگاری

۱-۴- روش‌های ساخت مواد نانوساختار:

در چند دهه‌ی گذشته روش‌های مختلفی برای تولید نانو ساختارها ابداع و توسعه داده شده است[۹-۶]. تنوع روش‌های تولیدی به همراه استفاده از منابع انرژی مختلف، مواد اولیه متفاوت و شرایط فرآوری به گونه‌ای است که به سختی می‌توان کلیه‌ی فرایندها را با ذکر جزئیات تشریح کرد. یک روش دسته بندی مفید از روش‌های متنوع تولید مواد نانو ساختار بر اساس ماهیت محیطی است که مواد در آن تولید می‌شوند.

در حقیقت سه روش اصلی برای ساخت نانومواد وجود دارد که عبارتند: از فرآوری نانوساختارهادر مایعات،گازها و جامدات (یا روش های مکانیکی). هریک از این روش‌ها ارزش و ویژگی خاص خود را دارند؛ زیرا متناسب با روشی که برای ساخت مواد انتخاب می‌شود، ویژگی

محصول نهایی متفاوت خواهد بود. نکته دیگر اینکه بعضی روش‌ها برای ساخت دسته خاصی از مواد مناسب هستند.

به طور کلی انتخاب هر یک از روش‌های فوق مبتنی بر تامین چندین شرط و متناسب با موارد زیر می‌باشد:

۱- اندازه ذرات مورد نظر، چگونگی توزیع اندازه ذرات، مورفولوژی ترکیب (تک جزئی، چند جزئی) خلوص، استوکیومتری و راندمان تولید محصول.

۲- امکانات تولید ذرات، یعنی میزان پیچیدگی امکانات مورد نظر، شرایط کاری (دما، فشار، سمی بودن و ...) و قیمت.

۱-۴-۱- فرآیندهای حالت جامد:

استفاده از آسیاب‌های گلوله‌ای جهت خرد کردن و کاهش اندازه ی ذرات سا ل‌هاست که به طور صنعتی به کار گرفته می‌شود. در سه دهه‌ی گذشته این فرایند به نحوی تغییر واصلاح شده است که از آن می‌توان برای سنتز مواد پیشرفته با خواص ویژه استفاده کرد. این فرآیند که به آلیاژ سازی مکانیکی موسوم است اولین بار توسط بنجامین[۱] در سال ۱۹۶۶ ابداع شد و بر اساس تکرار فرآیند های شکست ذرات و جوش خوردن آنها در یک محفظه ی حاوی گلوله های سرامیکی یا فلزی کار می‌کند. محلول‌های فوق اشباع، فازهای شیشه ای، آلیاژهای تقویت شده با نانو ذرات اکسیدی، ترکیبات بین فلزی، نانو ساختارها، نانو کامپوزیت ها و نانو پودر ها را می‌توان با این روش فرآوری و تولید کرد.

برخی از عوامل موثر بر فرآیند عبارتند از:

۱. نوع مواد اولیه
۲. افزودن مواد رقیق کننده و فعال سطحی
۳. زمان آسیاب
۴. سرعت چرخش آسیاب
۵. اندازه گلوله های آسیاب
۶. شرایط عملیات حرارتی

مهم ترین مزایای روش های مکانیکی در تولید نانو ذرات به شرح زیر است :

[۱] Benjamin