دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی گرایش پیشرفته

عنوان

تهیه و شناسایی نانوپودر مس تولید شده به روش الکتروشیمیایی

استاد راهنما:

پروفسور محسن محسن‌نیا

استاد مشاور:

دکتر محسن بهپور

به وسیله:

زهرا قاضی زاهدی

دی ماه ۱۳۸۹

تقدیم به بزرگترین نعمات زندگیم:

پروردگار روز و مهربانم

که در تمام مراحل زندگی با صبری مثال زدنی، همه و

شمع روشنند تا غنچه های کوچکشان را به ثمر برسانند.

دوست داشتنی ترین دختر دنیا

خواهر عزیز و دردانه ام

که با تمام کوچکیش در حقم بزرگواری فراوان کرده است

و بهترین دوستم را هم

همسر مهربان و بی نظیرم

که زور وجودش چراغ راهم بود و بدون حمایت هاو

مشاوره اش دستیاری به این افتخار برایم میسر نبود

ارم جناب آقای دکتر [redacted] که زحمت راهنمایی این جانب را در تمامی مراحل انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این نامه تقبل فرمودند، و با راهنمایی های خود به من در راستای هرچه بهتر پیش رفتن مرا حال پایان نامه کمک فراوان نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از محضر استاد ارجمند جناب آقای [redacted] که همواره از مشاوره در خدمت ایشان بودم و از دانششان بهره گرفتم، نهایت سپاس را دارم.

از جناب آقای [redacted] که همواره از استاد عزیز و مهربانم، و نیز جناب آقای دکتر ابراهیمی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل فرمودند تشکر و قدردانی می نمایم.

بر آقای دکتر [redacted] که زحمت نمایندگی تحصیلات تکمیلی را در جلسه دفاعیه این جانب را تقبل فرمودند تشکر می نمایم.

همچنین از کلیه اساتید گرامی و دوستان عزیزم که به هر نحو در مراحل انجام این پایان نامه این جانب مورد لطف و حمایت قرار دادند، نهایت قدردانی را دارم.

چکیده

ذرات پودر مس توسط چندین روش بدست می‌آیند. یکی از این آنها، روش الکتروشیمیایی می‌باشد. در این روش‌ها، داشتن سل الکتروشیمیایی و الکترولیت حاوی یونهای فلزی مورد نظر، ضروری می‌باشد. سل الکتروشیمیایی حاوی سه الکترود کار، کمکی و مرجع است. با اعمال پتانسیل و یا جریان مناسب بر روی سلول الکتروشیمیایی، اتمهای فلز موجود در الکترولیت، روی سطح الکترود کار می‌نشینند. اگر ما از پتانسیل و یا جریان‌های بالا استفاده کنیم، ذرات کوچک می‌شوند. هرچه پتانسیل و یا جریان بزرگتری بر روی سل الکتروشیمی وارد کنیم، سایز ذرات حاصله کوچکتر می‌شود. بنابراین ما می‌توانیم با افزایش بیشتر آن، ذرات در مقیاس نانو داشته باشیم.

چندین پارامتر بر روی کیفیت رسوب حاصله تاثیر می‌گذارد. مانند دانسیته جریان، دما، مواد افزودنی و شکل موج پتانسیل و یا جریان اعمالی. در این مطالعه ما به بررسی اثر این فاکتورها می‌پردازیم.

میکروسکوپ الکترون روبشی جهت مشاهده مورفولوژی وسایز ذراتن نانوی مس تولید شده استفاده شده است. تکنیک پراش اشعهX هم جهت بررسی میزان خلوص ذرات نانوی مس استفاده شده است.

کلمات کلیدی: پودر نانوی مس، رسوب الکتریکی، غلظت، هیدروژن آزاد شده، مورفولوژی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش اشعهX

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه
۱-۱- نانوفناوری چیست؟..... ۲
۱-۲- پیشگامان نانوفناوری..... ۲
۱-۳- شیمی و فناوری نانو ۴
۱-۴- نانوفناوری و کاربردهای آن ۶
۱-۵- نانوذرات ۹
۱- ۶- روش‌های تولید نانوذرات ۱۲
۱-۶- روش‌های متداول تولید نانوپودرهای مس ۱۶
۱-۶-۱- روش‌های شیمیایی ۱۶
۱-۶-۱-۱- فرآیند رفلاکس نمک‌های مس در حلال اتیلن‌گلیکول در جو بی‌اثر ۱۸
۱-۶-۱-۲- فرآیند احیا با استفاده از امواج میکروویو ۱۸
۱-۶-۲- روش فیزیکی..... ۱۹
۱-۶-۲-۱- روش تبخیر حرارتی ۱۹
۱-۶-۲-۲- روش انفجار سیم..... ۲۰
۱-۶-۳- رسوب دهی الکتروشیمیایی ۲۱
۱-۶-۳-۱- عوامل موثر بر فرآیند ۲۵
۱-۶-۳-۱-۱- ولتاژ رسوب دهی ۲۵
۱-۶-۳-۱-۲- زمان رسوب دهی ۲۶
۱-۶-۳-۱-۳- غلظت الکترولیت ۲۷
۱-۶-۳-۱-۴- افزودنی‌های آلی ۲۸
۱-۶-۳-۲- خواص رسوب الکتروشیمیایی ۲۸
۱-۶-۳-۲-۱- خواص مغناطیسی ۲۸
۱-۶-۳-۲-۲- پایداری حرارتی ۳۰
۱-۶-۳-۲-۴- خواص الکتریکی ۳۱
۱-۶-۳-۳- مزایا و معایب فرآیند ۳۲
۱-۷- کاربردهای نانوذرات مس ۳۲
۱-۸- پایداری نانوذرات ۴۱
۱-۸-۱- پایداری الکتروستاتیکی ۴۱
۱-۸-۲- پایداری فضایی ۴۱
۱-۸-۳- پایداری الکتروفضایی ۴۲

۱-۸-۴- پایداری توسط حلال ۴۳
فصل دوم: عملیات تجربی
۲-۱- دستگاه‌ها و وسایل و موادشیمیایی مورد استفاده..... ۴۵
۲-۱-۱- دستگاه‌ها و وسایل آزمایشگاهی ۴۵
۲-۱-۲- دستگاه‌های مورد استفاده جهت تحلیل نتایج ۴۵
۲-۱-۲- مواد آزمایشگاهی ۴۷
۲-۲- روش انجام آزمایشات..... ۴۷
فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری
۳-۱- مقدمه..... ۵۲
۳-۲- مقایسه نتایج SEM نانوذرات سنتز شده..... ۵۴
۳-۲-۱- بررسی اثر غلظت ۵۴
۳-۲-۱-۱- افزایش غلظت سولفات مس ۵۶
۳-۲-۱-۲- افزایش غلظت سولفوریک اسید ۶۴
۳-۲-۲- بررسی اثر دانسیته جریان ۷۲
۳-۲-۳- بررسی اثر دما ۸۳
۳-۲-۴- بررسی اثر موج اعمالی ۸۵
۳-۲-۵- بررسی اثر مواد افزودنی ۹۶
۳-۳- نتیجه XRD نانوذرات سنتز شده ۱۰۳
۳-۳-۱- نتیجه XRD نمونه شماره ۲ ..... ۱۰۳
۳-۴- مقایسه نتایج EDX برخی از نانوذرات سنتز شده ۱۰۴
فصل چهارم: خلاصه نتایج و جمع بندی
۴-۱- جمع بندی ۱۰۸
۴-۲- پیشنهادات ۱۱۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۱-۱- نمودار تصویری نحوه اعمال ولتلژ دو پالسی برای تولید نانو ذرات به روش رسوب الکتروشیمیایی بر روی زیر لایه های بدون حفره.....۲۳
شکل ۱-۲- نمای تصویری از فرایند رسوب دهی الکتروشیمیایی با استفاده از آند فدا شونده فلزی و عوامل پایدارکننده الکترولیت.....۲۵
شکل۱-۳- اثر زمان های جوانه زنی (t1) و رشد (t2) بر اندازه نانو ذرات نقره در فرایند رسوب دهی الکتروشیمیایی توسط ولتلژ در پالسی.....۲۷
شکل۱-۴- اثر غلظت $HClO_4$ بر اندازه نانو ذرات پلاتین تولید شده به روش رسوب الکتروشیمیایی ۲۸
شکل ۱-۵- تصویر شماتیک دو نانوذره پایدارشده از طریق الکتروستاتیکی ۴۱
شکل ۱-۶- شماتیک پایداری فضایی ۴۲
شکل ۱-۷- پایداری الکتروفضایی ۴۳
شکل ۲-۱- تصویر دستگاه اتولب ۴۵
شکل ۲-۲- شماتیکی از سل الکتروشیمیایی و واکنش های درون سل.....۴۸
شکل ۳-۱- منحنی پلاریزاسیون ۵۳
شکل ۳-۲- تصویر SEM نمونه ۱ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۵۶
شکل ۳-۳- تصویر SEM نمونه ۱ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر ۵۷
شکل ۳-۴- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱.....۵۸
شکل ۳-۵- تصویر SEM نمونه ۲ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۵۹
شکل ۳-۶- تصویر SEM نمونه ۲ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۵۹
شکل ۳-۷- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۲.....۶۰
شکل ۳-۸- تصویر SEM نمونه ۳ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۶۱
شکل ۳-۹- تصویر SEM نمونه ۳ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۶۱
شکل ۳-۱۰- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۳.....۶۲
شکل ۳- ۱۱- نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب زمان و مقایسه تغییرات آن با افزایش غلظت سولفات مس.....۶۴
شکل ۳-۱۲- تصویر SEM نمونه ۴ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۶۵
شکل ۳-۱۳- تصویر SEM نمونه ۴ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۶۵
شکل ۳-۱۴- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۴.....۶۶
شکل ۳-۱۵- تصویر SEM نمونه ۵ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۶۷
شکل ۳-۱۶- تصویر SEM نمونه ۵ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۶۷

شکل ۳-۱۷- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۵.....۶۸
شکل ۳-۱۸- تصویر SEM نمونه ۶ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۶۹
شکل ۳-۱۹- تصویر SEM نمونه ۶ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۶۹
شکل ۳-۲۰- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۶.....۷۰
شکل ۳-۲۱- نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب زمان و مقایسه آن با تغییرات غلظت اسید سولفوریک ۷۱
شکل ۳-۲۲- تصویر SEM نمونه ۷ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۷۳
شکل ۳-۲۳- تصویر SEM نمونه ۷ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۷۳
شکل ۳-۲۴- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۷.....۷۴
شکل ۳-۲۵- تصویر SEM نمونه ۸ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۷۵
شکل ۳-۲۶- تصویر SEM نمونه ۸ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۷۵
شکل ۳-۲۷- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۸.....۷۶
شکل ۳-۲۸- تصویر SEM نمونه ۹ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۷۷
شکل ۳-۲۹- تصویر SEM نمونه ۹ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۷۷
شکل ۳-۳۰- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۹.....۷۸
شکل ۳-۳۱- تصویر SEM نمونه ۱۰ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۷۹
شکل ۳-۳۲- تصویر SEM نمونه ۱۰ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۷۹
شکل ۳-۳۳- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۰.....۸۰
شکل ۳-۳۴- تصویر SEM نمونه ۱۱ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۸۱
شکل ۳-۳۵- تصویر SEM نمونه ۱۱ با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.....۸۱
شکل ۳-۳۶- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۱.....۸۲
شکل ۳-۳۷- تصویر SEM نمونه ۱۲ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۸۳
شکل ۳-۳۸- تصویر SEM نمونه ۱۲ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۸۴
شکل ۳-۳۹- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۲.....۸۴
شکل۳-۴۰- اعمال پتانسیل به صورت پالسی.....۸۷

شکل ۳-۴۲- تصویر SEM نمونه ۱۳ با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.....۸۸
شکل ۳-۴۳- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۳.....۸۹
شکل ۳-۴۴- تصویر SEM نمونه ۱۴ با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.....۹۰
شکل ۳-۴۵- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۴.....۹۰
شکل ۳-۴۶- تصویر SEM نمونه ۱۵ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر.....۹۲
شکل ۳-۴۷- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۵ با درنظر گرفتن ذرات درشت.....۹۲
شکل ۳-۴۸- تصویر SEM نمونه ۱۵ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر.....۹۳

شکل ۳-۴۹- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۵ بدون درنظر گرفتن ذرات درشت..... ۹۳
شکل ۳-۵۰- تصویر SEM نمونه ۱۶ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر..... ۹۵
شکل ۳-۵۱- تصویر SEM نمونه ۱۶ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر..... ۹۵
شکل ۳-۵۲- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۶..... ۹۶
شکل ۳-۵۳- تصویر SEM نمونه ۱۷ با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر..... ۹۷
شکل ۳-۵۴- تصویر SEM نمونه ۱۷ با بزرگنمایی ۷۵۰۰ برابر..... ۹۸
شکل ۳-۵۵- تصویر SEM نمونه ۱۸ با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر..... ۹۹
شکل ۳-۵۶- تصویر SEM نمونه ۱۸ با بزرگنمایی ۷۵۰۰ برابر..... ۹۹
شکل ۳-۵۷- تصویر SEM نمونه ۱۹ با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر..... ۱۰۰
شکل ۳-۵۸- تصویر SEM نمونه ۱۹ با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر..... ۱۰۱
شکل ۳-۵۹- توزیع اندازه نانو ذرات نمونه ۱۹..... ۱۰۱
شکل ۳-۶۰- تصویر SEM نمونه ۲۰ با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر..... ۱۰۲
شکل ۳-۶۱- تصویر SEM نمونه ۲۰ با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر..... ۱۰۲
شکل ۳-۶۲- تصویرXRD حاصل از نمونه ۲ ..... ۱۰۳
شکل ۳-۶۳- تصویر EDX حاصل از نمونه ۲..... ۱۰۴
شکل ۳-۶۴- تصویر EDX حاصل از نمونه ۳..... ۱۰۵
شکل ۳-۶۵- تصویر EDX حاصل از نمونه ۴..... ۱۰۶

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی ذرات بر اساس اندازه بر طبق مراجع ۵
جدول ۱-۲- زمینه‌های مختلف کاربرد نانوذرات در صنعت ۷
جدول ۱-۳- مقایسه انواع روش‌های ساخت نانومواد ۱۵
جدول۱-۴- شرایط تولید و کاربرد انواع نانوذرات تولید شده به روش رسوب دهی الکتروشیمیایی ۴۰
جدول ۲-۱- شرایط انجام آزمایش‌ها ۵۰
جدول ۴-۱ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با تغییرات غلظت سولفات مس در روش کرونوآمپرومتریو با غلظت ثابت اسید سولفوریک.....۱۰۹
جدول ۴-۲ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با تغییرات غلظت اسیدسولفوریک در روش کرونوآمپرومتری و با غلظت ثابت سولفات مس ۱۱۰
جدول ۴-۳ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با تغییرات دانسیته جریان در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس ۱۱۱
جدول ۴-۴ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با تغییرات دما در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس ۱۱۲
جدول ۴-۵ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با اعمال پالس، در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس و با زمانهای آندی نا برابر.....۱۱۳
جدول ۴-۶ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با اعمال پالس، در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس ۱۱۴
جدول ۴-۷ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی با افزودن مواد افزودنی، در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس ۱۱۶
جدول ۴-۸ مقایسه میانگین ذرات ومورفولوژی در حضور مواد افزودنی، در غلظت های ثابت اسید سولفوریک و سولفات مس و با روشهای گوناگون اعمال موج در سیستم ۱۱۶

فصل اول:

مقدمه

۱–۱– نانوفناوری چیست؟

نانوفناوری، توانایی انجام کار در سطح اتمی و مولکـولی بـرای ایجـاد سـاختارهای بـزرگ و جدید است. رفتار مواد در ابعاد نانومتر ($۱۰^{-۹}$ m) در مقایسه با رفتار ساختارهای حجـیم بسـیار تفاوت دارد[۱].

نانوفناوری به مواد و سیستم‌هایی مربوط می‌شود که ساختار و اجزای آن‌ها بـه دلیـل ابعـاد نانومتری، خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای را نشـان مـی‌دهـد. هـدف از توسـعه نانوفنـاوری، کنترل ساختارها و دستگاه‌ها در سطح اتمی، مولکولی و فراملکولی و یادگیری چگونگی ساخت و تولید و کاربرد این دستگاه‌هاست. رفتارهای جدید در مقیاس نانو را نمی‌توان از روی مشـاهده های در مقیاس‌های بزرگ‌تر پیش‌بینی کرد. در واقع تغییرات مهم رفتاری را نمی‌توان از کاهش فوق‌العاده‌ی ابعاد دانسـت، بلکـه پدیـده‌هـای ذاتـی و جدیـد حـاکم در مقیـاس نـانو، همچـون محدودیت اندازه و اعتبار بی‌چون و چرای پدیده‌های رابط و مکانیک کوانتومی را بایـد از دلایـل اصلی شمرد. زمانی که بتوانیم انـدازه را کنتـرل کنـیم، ارتقـای ویژگـی‌هـای سـاده و عملکـرد دستگاه‌ها به سطحی فراتر از آن‌چه که امروز می‌دانیم و یا حتی امکـان‌پـذیر فـرض مـی‌کنـیم، میسّر خواهد شد[۲] .

۱–۲– پیشگامان نانوفناوری

بیش از چهل سال پیش در سال ۱۹۵۹، ریچارد فینمن[1] در سخنرانی معـروف خـود اظهـار داشت: «اصول فیزیک، تا آن جایی که من توانایی فهمش را دارم، امکان ساختن اتم به اتم مواد را نفی نمی‌کند.» او همچنین عنوان کرد: «اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند که چگونه ترانزیسـتورها و دیگر سازه‌ها را با مقیاس‌های کوچک بسـازند، پـس خـواهیم توانسـت آن‌هـا را کوچـک‌تـر و

1. Richard Feynman

کوچک‌تر کنیم.» در واقع آن‌ها به مرزهای حقیقی خود در لبه‌های نامعلوم کوانتوم نزدیک خواهند شد و فقط هنگامی این کوچک شدن متوقف می‌شود که خود اتم‌ها تا حد زیادی ناپایدار و غیرقابل فهم شوند. فینمن طراحی دقیق مولکول‌ها را امکان‌پذیر دانست. او پیش‌بینی کرد یک اتم در مقابل اتمی دیگر می‌تواند به گونه‌ای قرار گیرد که کوچک‌ترین محصول مصنوعی را ایجاد کند[۳].

فینمن در ذهن خود یک «دکتر مولکولی» تصور کرد که صدها بار از یک سلول منحصر به فرد کوچک‌تر است و می‌تواند به بدن انسان تزریق شود و درون بدن به اعمال ترمیمی و یا به طور کلی نگهداری بدن بپردازد.

ماروین مینسکی[۱] یابنده‌ی هوش‌های مصنوعی، در دهه ۱۹۷۰-۱۹۶۰ جهان را در تفکراتی که مربوط به آینده می‌شد، رهبری کرد.

اریک درکسلر[۲] دانشجوی مینسکی در اوایل دهه ۸۰، درجه استادی خود در رشته علوم دریافت کرده و با تشکیل یک انجمن دانشجویی، فعالیت‌هایی را تحت عنوان نانوفناوری انجام داد. درکسلر نخستین مقاله علمی خود را در مورد نانوفناوری مولکولی[۳] در سال ۱۹۸۱ ارائه داد. وی همچنین در سال ۱۹۸۶ کتابی[۴] را در زمینه نانوفناوری منتشر کرد. درکسلر تنها کسی است که برای نخستین بار درجه دکتری خود را در نانوفناوری در سال ۱۹۹۱ از دانشگاه MIT دریافت داشت. او یک پیش‌رو در فعالیت‌های انجام شده در نانوفناوری است و هم اکنون رئیس انستیتو فورسایت[۵] و ریسرچ فلو[۶] است[۳] .

1. Marvin Minsky
2. Eric Drexler
3. Molecular Nano Technology(MNT)
4. Engines of Creation: the coming era of nanotechnology
5. Foresight
6. Research Fellow

۱–۳– شیمی و فناوری نانو

در ۱۰ تا ۱۵ سال گذشته، پیشرفت در علوم و فناوری نانو همراه با روش‌های جدید برای ساخت، مطالعه و اصلاح نانوذرات و نانوساختارها بوده است. گسترش و پیشرفت در این زمینه ناشی از پیشرفت در نانوشیمی است. نانوشیمی از دو دیدگاه مهم است: یکی این که خواص شیمیایی مختص هر عنصر را در سیستم‌های نانومتری بررسی می‌کند و مسائل بنیادی جدیدی را در این علم پایه‌ریزی می‌کند. دیگر این که علم نانوشیمی می‌تواند به ساخت، اصلاح و پایداری نانوذرات منفرد کمک کند و همچنین به تهیه نانوساختارهای خودآرا کمک می‌کند. به هر حال تغییر خواص ساختارهای تهیه شده توسط تغییر اندازه و شکل نانوذراتبه طور دلخواه امکان‌پذیر است [۱].

نانوشیمی در مرحله سریعی از پیشرفت است و هنوز سوالات زیادی در مورد تعاریف و واژه‌ها وجود دارد. تفاوت دقیق بین خوشه، نانوذره و نقاط کوانتومی هنوز در تحقیقات مشخص نیست اما به طور کلی واژه خوشه[1] بیشتر برای ذراتی که شامل تعداد کمی از اتم‌ها هستند استفاده می‌شود که تعداد اتم‌ها می‌توانند از قواعد آماری نیز پیروی کنند. در حالی که نانوذره به تعداد اتم‌های کلوخه شده بیشتری اطلاق می‌شود. واژه‌ی نقاط کوانتومی برای ذرات و جزایر نیمه هادی استفاده می‌شود. [۴].

جدول ۱-۱ طبقه بندی نانوذرات را از دیدگاه محققان مختلف نشان می‌دهد. در هر یک از آن‌ها نسبت اتم‌های سطح به حجم ذرات نیز محاسبه شده است.

1. Cluster

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی ذرات نسبت به اندازه بر اساس مراجع

جدول (A): [۴]

حوزه	خوشه های مولکولی	خوشه های حالت جامد	میکروکریستالها	ذره های توده ای
اتم(N)	$N \leq 10$	$10^2 \leq N \leq 10^3$	$10^3 \leq N \leq 10^4$	$N > 10^5$
نسبت سطح به حجم	-	~1	< 1	< 1

جدول (B): [۵]

علم شیمی	ذرات نانو					فیزیک حالت جامد
اتم(N)	10	10^2	10^3	10^4	10^6	Bulk matter
قطر (nm)	1	2	3	5	10	> 100

جدول (C): [۶]

گونه	خوشه‌های خیلی نازک	خوشه‌های نازک	خوشه‌های زمخت
اتم(N)	$2 < N < 20$	$20 < N < 500$	$500 < N < 10^7$
قطر (nm)	$D \leq 1/1$	$1/1 \leq D \leq 3/3$	$3/3 \leq D \leq 100$
نسبت سطح به حجم	-	$0/9 \geq N_s/N_v \geq 0/5$	$0/5 \geq N_s/N_v$

جدول (D): [۷]

شیمی اتمها	نانوشیمی (تعداد اتم در ذره)					شیمی حالت جامد
اتمهای تنها	10	10^2	10^3	10^4	10^6	Bulk
قطر (nm)	1	2	3	5-7	10	> 100

با وجود تمام موفقیت‌های نانوشیمی، هنوز نمی‌توان یک جواب عمومی به این سوال که چگونه اندازه ذرات بر روی خواص آن‌ها موثر است، پاسخ داد. نانوذرات فلزی کمتر از ۱۰nm انرژی اضافی دارند که باعث می‌شود فعالیت شیمیایی بالایی داشته باشند. ذرات در حدود ۱nm برای شرکت در واکنش‌ها نیاز به انرژی فعال سازی ندارند و به راحتی در فرایندهای

کلوخه شدن شرکت می‌کنند که در نتیجه به تشکیل مواد با خصوصیات جدید در فرایند تشکیل نانوذرات فلزی و یا واکنش با دیگر مواد شیمیایی می‌شود. منبع انرژی چنین ذراتی به دلیل باندهای ایجاد نشده اتم‌های سطح و نزدیک سطح است که باعث افزایش غیر عادی پدیده‌ها و واکنش‌های سطح می‌شود [۲].

۱–۴– نانوفناوری و کاربردهای آن

همانطور که اشاره شد، نانوذرات از مدت‌ها قبل مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این ذرات دارای ابعادی کمتر از ۱۰۰nm هستند و معمولاً آن‌ها را در چهار گروه فلزی، سرامیکی، بین فلزی و پلیمری دسته بندی می‌کنند. گوناگونی مواد نانوذره‌ای به خاطر تنوع کاربرد آن‌هاست. نانوذرات در صیقل‌دهنده‌ها، رنگ‌ها، در پوشش‌های جدید عینک (آن‌ها را ضدخش و نشکن می‌سازد)، کاشی‌ها، صفحات خورشیدی، در پوشش‌های الکتروکرومیک برای شیشه جلوی اتومبیل‌ها یا پنجره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کمک این ذرات می‌توان پوشش‌های غیر قابل رنگ آمیزی نیز برای دیوارها ساخت. چسب‌های حاوی نانوذرات دارای خواص نوری هستند که در اپتوالکترونیک کاربرد دارند. پوشش وسایل الکترونیک مانند رایانه‌ها، حاوی ذراتی است که حفاظ پیشرفته‌ای را در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی به وجود می آورند. نانوکامپوزیت‌های پلیمر- سیلیکات که حاوی نانوذرات سیلیکاتی هستند، دارای نسبت استحکام به وزن بالاتر، مقاومت حرارتی بیشتر، امکان بازیافت بهتر و نفوذپذیری کمتری می‌باشند. نانوذرات آلومینیوم به عنوان افزودنی به سوخت راکت‌ها برای افزایش انرژی احتراق مصرف می‌شوند. از نانوذرات همچنین می‌توان در ساخت کاتالیست‌ها با بازدهی بالا استفاده‌کرد. این مثال‌ها به خوبی نشان می دهد که کاربرد نانوذرات بسیار متنوع است. در جدول ۱-۲ برخی از این کاربردها فهرست شده‌اند. صنایع مختلفی نظیر حمل و نقل زمینی،

هوا- فضا، دفاعی و نظامی، آرایشی و بهداشتی، پزشکی، داروسازی و بسته‌بندی از این مواد

جدول ۲-۲- زمینه‌های مختلف کاربرد نانوذرات در صنعت[۸]

حوزه	درحال توسعه	معرفی شده	ثبت شده

استفاده می‌کنند. مهم‌ترین این کاربردها در زیر به اختصار معرفی می‌شوند [۸].

انرژی / نیرو	* سنتز پوشش سلول‌های خورشیدی با استفاده از Tio_2 * ذخیره H_2 با استفاده از هیدریدهای فلزی اصلاح شده * مواد کاتد و آند برای سلول‌های سوختی * کنترل حرارتی سیال با استفاده از مس	*نانوکریستال Ni و هیدریدهای فلزی برای باتری‌ها *کاتالیست‌های سریا (Ceo_2) در موتورهای دیزل	*کاتالیست‌های خودرو
دارویی	*داروهای نانوکریستالی برای جذب ساده-تر انسولین * تقویت‌کننده‌های رشد استخوان * کشف ویروس با استفاده از رفتارهای ضد سرطانی نقاط کوانتومی * مواد مغناطیسی برای ترمیم بدن انسان با جایگذاری قسمتهای مصنوعی * داروهای آنتی‌اکسیدان بر پایه فولرین‌ها	*نقاط کوانتومی CdSe * حامل‌های دارو برای داروهایی با قابلیت انحلال پایین * پوشش ایمپلانت نظیر هیدروکسی آپاتایت * ذرات نشان‌گذاری‌شده برای استفاده در آزمایش‌ها	* نانوذرات نقره قرار گرفته در مرهم زخم * ضد باکتری اکسید روی به عنوان قارچ کش * طلا برای آشکارسازی و برچسب زنی زیستی *رزونانس مغناطیسی با استفاده از ابرپارامغناطیس Fe2o * صفحات خورشیدی با استفاده از ZnO و TiO2
مهندسی	*پوشش‌های مقاوم به حرارت * ممانعت از جرقه با استفاده از فلزات در مقیاس نانو و پودرهای سرامیکی * مواد نانومتخلخل سیلیکونی * حسگرهای شیمیایی * الک‌های مولکولی * لایه‌های بسته بندی بازدارنده رطوبت	* پوشش‌های مقاوم به سایش بر پایه آلومینا و زیرکونیا * نانورس تقویت‌کننده کامپوزیتهای پلیمری * روان ساز روغن‌های هیدرولیک * رنگدانه‌ها * پوشش‌های مقاوم به خراش * شیشه‌های خود تمیزشونده با استفاده از Tio_2 * اصلاح سوخت موشک با استفاده از نانوذرات Al	* تقویت سازه‌ای پلیمرها و کامپوزیت‌ها * پوشش‌های مقاوم بر حرارت * ابزارهای کوچک برش بر پایه کاربید تنگستن * تایرهای اتومبیل * کاتالیست‌ها * آلیاژهای آلومینیم نانوساختار * جوهرهای هادی و مغناطیسی