دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی نانوفیزیک

عنوان:

سنتز نانو ذرات اکسیدآهن Fe_2O_3 با استفاده از روش شیمیایی

استاد راهنما:

دکتر موسی علی احمد

استاد مشاور:

دکتر سهیل شریفی

تحقیق و نگارش:

احمد رفیعی‌نیا

(این پایان‌نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره‌مند شده است)

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان سنتز نانو ذرات اکسید آهن Fe_2O_3 با استفاده از روش شیمیایی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد نانو فیزیک توسط دانشجو احمد رفیعی‌نیا تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر موسی علی احمد تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب احمد رفیعی‌نیا تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: احمد رفیعی‌نیا

امضاء

تقدیم به:

خدایی که هر چه داریم از اوست.

به **پدر و مادرم**

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

سپاسگزاری

سپاس **خدا** را بر آنچه که از شکر خود به ما الهام کرده و ما را از گناهان دور ساخته، چنان سپاسی که به آن در زمره‌ی سپاس‌گزاران زندگی کنیم وبر هر که بر عفوش پیشی جسته سبقت بگیریم.

استاد گرانقدر **دکتر موسی علی‌احمد**، به جهت راهنمایی‌هایی که از آغاز تا اتمام پایان‌نامه راه‌گشای اینجانب بودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از کمک و مشاوره **دکتر سهیل شریفی**، در انجام مراحل پایان‌نامه تشکر می‌نمایم.

از **دوستان عزیز**: یونس قلندرزهی، محمد کافی میبدی، جواد شعبانی راد، میثم محمدی دادکان، سید مصطفی میرحسینی سرجمع، امیر مهدی زاده مقدم، عماد خاکسار، مهدی راضی، مهدی مشرف، مجتبی محرابیان، فرشید یعقوبی، احمد جمالی، محمدرضا مزینانی، یوسف ولی‌پور،مسعود برادران، ابراهیم حسین‌پور، محمد جمشیدی، حسن حاجی آبادی و سایر عزیزانی که به اتفاق یکدیگر خاطراتی زیبا و بیاد ماندنی را ترسیم نمودیم، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

چکیده:

دراین کار تحقیقی نانوذرات آهن اکسید هماتیت ($\alpha - Fe_2O_3$) و مگهمایت ($\gamma - Fe_2O_3$) به روش هم-رسوبی تهیه شدند. نمونه‌های تهیه شده به وسیله‌ی پراش پرتو ایکس (XRD) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی(VSM) و طیف سنج تبدیل فوریه - مادون قرمز (FT-IR) مشخصه-یابی شده اند.با استفاده از اطلاعات بدست آمده از XRD، اندازه‌ی بلورک های نانوذرات هماتیت ۲۰ نانومتر و این اندازه برای ذرات مگهمایت ۲۶ نانومتر بدست آمده است.

تصاویر SEM نشان می دهد که در هر دو نمونه فوق الذکر، نانوذرات تک پاش و کروی می‌باشند.

اندازه‌گیری مغناطش و رفتار مغناطیسی نمونه‌ها برای نمونه های مختلف در دمای اتاق انجام گرفته است. با توجه به نمودار مغناطش بر حسب دما، نانو ذرات هماتیت، آنتی فرومغناطیس و نانو ذرات مگهمایت سوپر پارا مغناطیس می‌باشند.

کلمات کلیدی: آهن اکسید ، نانوذرات، مگهمایت، هماتیت، مغناطش

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- فصل اول: مفاهیم نانو تکنولوژی ۱

۱-۱- مقدمه و آشنایی با نانو مواد ۲

۱-۲- اثر اندازه کوانتومی ۳

۱-۳- نانوشیمی و فناوری نانو ۴

۱-۴- انواع نانو مواد ۵

۱-۵- نانوذرات ۷

۱-۶- نانوبلورها ۷

۱-۷- نانوکامپوزیت‌ها ۸

۱-۸- نانو کپسول‌ها ۸

۱-۹- نانوحفره‌ها ۸

۱-۱۰- نانوالیاف ۸

۱-۱۱- نانوسیم‌ها ۸

۱-۱۲- فلورین‌ها ۹

۱-۱۳- نانولوله‌های کربنی ۹

۲- فصل دوم: روش‌های تولید شیمیایی، آنالیز و خواص نانو ذرات ۱۰

۲-۱- روش همرسوبی ۱۱

۲-۱-۱- رشد پایانی و تشکیل نانوذرات پایدار ۱۲

۲-۱-۲- رسوبگیری اکسیدها محلول آبی ۱۳

۲-۱-۳- رسوبگیری اکسیدها از محلول غیر آبی ۱۴
۲-۲- روش سل-ژل ۱۴
۲-۲-۱- انواع فرآیند سل-ژل ۱۴
۲-۲-۲- مراحل فرآیند سل-ژل ۱۶
۲-۲-۳- مزایای تکنیک سل-ژل ۱۷
۲-۲-۴- معایب تکنیک سل-ژل ۱۸
۲-۳- روش میکروامولسیون ۱۸
۲-۳-۱- عوامل موثر بر تشکیل مایسل‌ها ۲۰
۲-۴- روش هیدروترمال ۲۰
۲-۴-۱- مزایای روش هیدروترمال ۲۲
۲-۵- پراش پرتو ایکس (XRD) ۲۳
۲-۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ۲۵
۲-۷- طیف سنج تبدیل فوریه مادون قرمز(FT-IR) ۲۷
۳- فصل سوم: آشنایی با فازهای مختلف آهن(III) اکسید ۲۹
۳-۱- فاز آلفای آهن اکسید (III) ۳۰
۳-۲- فاز بتای آهن اکسید (III) ۳۱
۳-۳- فاز گامای آهن اکسید (III) ۳۲
۳-۴- فاز اپسیلون آهن اکسید(III) ۳۳
۳-۵- روشهای ایجاد پلیمورفی در آهن اکسید ۳۴
۳-۵-۱- گذارهای پلیمورفی فاز گامای آهن اکسید ۳۵
۳-۵-۲- اثر اندازه‌ی ذره ۳۵

۳-۵-۳- اثر پوشش دهی و آلاییدگی ۳۶
۳-۶- خواص نانو ذرات ۳۶
۳-۶-۱- خواص مغناطیسی ۳۷
۳-۶-۱-۱- دیامغناطیس و پارامغناطیس ۳۷
۳-۶-۱-۲- فرومغناطیس ۳۸
۳-۶-۱-۳- آنتی فرومغناطیس ۳۸
۳-۶-۱-۴- فری‌مغناطیس ۳۹
۳-۶-۱-۵- تاثیر دما بر رفتار مغناطیسی ۳۹
۳-۶-۱-۶- حوزه‌های مغناطیسی ۴۰
۳-۶-۱-۷- سوپرپارامغناطیس ۴۲
۳-۶-۱-۸- مواد مغناطیسی نرم و سخت ۴۳
۳-۶-۲- هدایت الکتریکی و حرارتی ۴۴
۳-۶-۳- خواص نوری ۴۵
۳-۶-۴- خواص مکانیکی ۴۶
۴- فصل چهارم: کارهای تجربی انجام شده و آنالیز نانو ذرات ۴۷
۴-۱- شرح وسایل مورد استفاده در آزمایش ۴۸
۴-۲- آنالیزها ۵۱
۴-۲-۱- تبدیل فوریه مادون قرمز(FT-IR) ۵۱
۴-۲-۲- پراش پرتو ایکس(XRD) ۵۳
۴-۲-۳- نتایج VSM ۵۷
۴-۲-۴- نتایج حاصل ازSEM ۵۹

۵- فصل پنجم:نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۳

۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۴

۵-۲- پیشنهادات ۶۴

مراجع ۶۶

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول صفحه

جدول ۱-۱. مثال‌های نانو مواد و اندازه آنها ۳

جدول ۱-۲ کاربردهای نانوذرات ۶

جدول ۴-۱ نمونه‌های سنتز شده. ۵۰

جدول۴-۲ داده‌های کامپیوتر برای نمونه . A_6H ۵۴

جدول۴-۳ داده‌های کامپیوتر برای نمونه B_2H ۵۵

جدول ۴-۴ داده‌های کامپیوتر برای نمونه C_1H ۵۶

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل صفحه

شکل ۲-۱ عملیات سل-ژل و محصولات تولید شده با این عملیات ۱۷

شکل ۲-۲. سورفکتانت و کوسورفکتانت ۱۹

شکل ۲-۳. مایسل معکوس و مایسل نرمال. ۱۹

شکل ۲-۴. اتوکلاوهای معمولی مورد استفاده در فرایند هیدروترمال ۲۱

شکل ۲-۵. اتوکلاو چرخان ۲۲

شکل ۲-۶. نمای دستگاه XRD در سمت چپ و شماتیکی از اساس کار آن در سمت راست ۲۳

شکل ۲-۷. نمای SEM و شماتیکی از اجزای داخلی آن ۲۶

شکل ۲-۸. نمای کلی دستگاه‌های پوشش دهی a) طلا در سمت راست و b)کربن سمت چپ ۲۶

شکل ۲-۹ ارتعاشهای کششی سمت راست متقارن و سمت چپ نامتقارن ۲۷

شکل ۳-۱. ساختار بلوری α-Fe_2O_3 ۳۰

شکل ۳-۲. ساختار بلوری β-Fe_2O_3 ۳۱

شکل ۳-۳. ساختار بلوری مگهمایت ۳۳

شکل ۳-۴. ساختار بلوری ε-Fe_2O_3 ۳۴

شکل ۳-۵. . تشکیل حوزه‌ها در طول فرآیند مغناطیده شدن ماده ۴۱

شکل ۳-۶. منحنی پسماند مغناطیسی برای یک مادهی فرومغناطیس ۴۲

شکل ۳-۷. مقایسه‌ی منحنی پسماند مغناطیسی مواد مغناطیسی سخت و نرم ۴۴

شکل ۴-۱. طیف FT-IR مربوط به نمونه A ۵۱

شکل ۴-۲. طیف FT-IR مربوط به نمونه B ۵۲

شکل ۴-۳. طیف FT-IR مربوط به نمونه C ۵۲

شکل ۴-۴. طیف XRD مربوط به الف) A_5H وب) A_6H ۵۳

شکل ۴-۵. طیف XRDمربوط به نمونه الف) B_2 و ب) B_2H ۵۴
شکل ۴-۶. طیف XRD مربوط به نمونه الف) C_2H و ب) C_1H ۵۶
شکل ۴-۷. طیف XRD مربوط به محصولات نهایی، حاصل از سه نمونه سنتز شده..... ۵۷
شکل ۴-۸. منحنی پسماند مغناطیسی برای مواد فرومغناطیس..... ۵۸
شکل ۴-۹. منحنی مغناطیس برای مواد سوپر پارا مغناطیس..... ۵۹
شکل ۴-۱۰. تصویر SEM و مورفولوژی نانوذرات هماتیت. ۶۰
شکل ۴-۱۱. تصویر SEM و مورفولوژی نانوذرات مگهمایت..... ۶۱
شکل ۴-۱۲. تصویر SEM برای نانو ذرات آگلومره‌ی مگهمایت. ۶۲

فهرست علائم

علامت	نشانه
eV	الکترون ولت
$\mu_{\circ}$	تراوایی خلاء
μ_r	تراوایی نسبی
B	چگالی شار مغناطیسی
χ_m	حساسیت پذیری مغناطیسی
K	دمای کلوین
θ_B	زاویه براگ
H	شدت میدان مغناطیسی
λ	طول موج
emu/gr	واحد مغناطش
μm	میکرومتر
nm	نانومتر

فصل اول

مفاهیم نانوتکنولوژی

۱-۱- مقدمه و آشنایی با نانو مواد

هنگامی که گروهی از اتم‌ها تجمع کرده و چند خوشه نانومتری را تشکیل دهند، زمینه تشکیل ذرات نانو فراهم شده و از به هم پیوستن چند خوشه نانومتری ذرات نانو تشکیل می‌گردد [۱].

نانومواد از تجمع خوشه‌های متشکل از اتم‌های عناصر و یا خوشه‌های با مخلوطی از عناصر مختلف تشکیل شده‌اند. عناصر پایه در منابع مختلف بر اساس نوع ساختار با ابعاد آن تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به ترکیب شیمیایی و شکل ظاهری، عناصر پایه به نانو ساختارهای دیگر مجزا می‌شوند. مقیاس نانو به هر ماده‌ای با اندازه مشخص گفته شده، که در علم نانو و فناوری نانو استفاده می‌شود. چشم غیر مسلح قادر به دیدن اجسام نانومتری نمی‌باشد[۱و۲].

رشد چشمگیری در نانو علم و فناوری نانو در چند سال اخیر دیده می‌شود، عمده‌ترین دلیل این مسئله در دسترس بودن روش‌های جدید برای سنتز نانو مواد و نیز دستگاه‌های شناسایی و به کارگیری این مواد است. جدول۱-۱ مثال‌هایی از انواع نانو مواد را نشان می‌دهد. [۱].

جدول ۱-۱. مثال‌های نانو مواد و اندازه آن‌ها.[۱].

نانو مواد	اندازه	
نانو بلورها و کلاسترها (نقاط کوانتومی)	قطر ۱ -۱۰nm	فلزات، نیمه هادی‌ها، مواد مغناطیسی
نانوذرات دیگر	قطر ۱ -۱۰۰ nm	اکسیدهای سرامیکی
نانو سیم‌ها	قطر ۰/۵ -۱۰ nm	فلزات، نیمه هادی‌ها، اکسیدها، سولفیدها، نیتریدها
نانو لوله‌ها	قطر ۱ -۱۰۰nm	کربن، کالکوژنیدهای لایه-ای فلزات
نانو پروس‌های جامد	قطر منفذ ۱۰ nm- ۰/۵	زئولیت‌ها، فسفات‌ها و غیره
آرایه‌های دو بعدی (از نانوذرات)	۲nm -۲ µm	فلزات، نیمه هادی‌ها، مواد مغناطیسی
سطح‌ها و فیلم‌های نازک	ضخامت ۱۰۰۰ nm- ۱	تعداد زیادی از مواد
ساختارهای سه بعدی (ابر شبکه‌ها)	قطر nm در سه بعد	فلزات ، نیمه هادی‌ها، مواد مغناطیسی

۱-۲- اثر اندازه کوانتومی

پدیدهٔ آثار اندازه ذرات کوانتومی از دههٔ ۱۹۶۰ شناخته شده‌است. آثار اندازه کوانتومی در مواد نانو بلوری نیمه‌رسانا، که به عنوان نقاط کوانتومی نامیده می‌شوند، بسیار مشاهده شده‌است. نقطه‌های کوانتومی، زوج های الکترون- حفره دارند که به عنوان اکسیتون‌ها شناخته می شوند. الکترون به وسیلهٔ یک فوتون از نوار ظرفیت به نوار رسانش نانو ذرات برانگیخته می‌شود، سپس حفره با بار مخالف را ترک کرده به طرف حفره‌ای به نوار

رسانش نانو ذرات برانگیخته می شود، سپس حفره با بار مخالف را ترک کرده به طرف حفره‌ای که آن را با نیروی کولنی جذب می‌کند، می‌رود. اکسایتون در اثر اتصال الکترون‌ها به حفره حاصل می‌شود. همین ویژگی است که متداول‌ترین مشخصه اثر اندازه کوانتومی در نانو ذرات و ویژگی‌های نوری آن‌ها را ایجاد می‌کند. مطالعات نوری با طیف‌سنجی فلورسانس و الکترونی فرابنفش نشان می دهد که انرژی که از حالت برانگیختگی الکترونی در این مواد ایجاد می شود، بسیار بزرگ تر از انتقالات درون- پیوندی در یک ذرهٔ ماکروسکوپی است [۱].

۱-۳- نانوشیمی و فناوری نانو

درسال‌های اخیر، پیشرفت در فناوری نانو، با پیچیدگی ابزار جدید برای سنتز، مطالعه و اصلاح نانو ذرات و نانو ساختارها همگام شده‌است. نانو شیمی دو جنبه مهم دارد: یک جنبه آن بصیرت در ویژگی‌های خواص شیمیایی و دوباره فعال‌کردن ذرات است. جنبه دیگر در ارتباط با فناوری نانوست که شامل کاربرد نانو شیمی در سنتز، تبدیل و پایداری نانو ذرات منفرد و هم چنین خود تجمعی جهت‌دار برای سنتز نانو ساختارهای پیچیده‌است [۱]. تغییرات ذرات ساختارهای سنتز شده به لحاظ تنظیم اندازه و اشکال نانو ذرات بسیار شایان توجه‌است و برای توضیح تولید و استفاده موادی با اندازه ساختارهای ما بین اتم‌ها و مواد توده، که حداقل یک بعد آن‌ها اندازه‌ی نانو متری داشته باشد، بیان شده است. برای هر نوع از بر هم کنش‌ها این نکته که چگونه خواص یک نمونه به اندازه آن بستگی پیدا می کند، مهم است. قابل ذکر است که کاهش در اندازه ذره، باعث می‌شود مرز بین فازها مشخص نباشد، به طوری که تشخیص مرز بین فازهای همگن و ناهمگن و بین حالت‌های بی‌شکل و بلوری مشکل شود. علی‌رغم همه پیشرفت‌های نانو شیمی هنوز جوابی کلی به این سوال که چگونه اندازه ذرات ماده به خواص آن ارتباط دارد، داده نشده است [۲].

نانوذرات با اندازه کم‌تر از ۱۰ nm نشان‌دهندی سیستم‌هایی با انرژی و فعالیت شیمیایی بالا هستند. ذرات با اندازه حدود ۱nm انرژی فعال‌سازی برای رسیدن به مرحله تجمع، که تشکیل نانوذرات یا واکنش‌هایی که به ترکیبات شیمیایی با خواص جدید منجر می شوند، نیاز ندارند. انرژی ذخیره شده چنین ذراتی به پیوندهای سطح و نزدیک سطح اتم‌ها مربوط است [۱].

سینتیک واکنش در سیستم‌های با مقیاس کوچک با شکل هندسی محدود با سینتیک کلاسیک متفاوت است؛ زیرا دومی از تغییرات در غلظت‌های ذرات چشم‌پوشی می‌کند. شکل‌گیری‌های تعداد کمی از مولکول‌های واکنش‌دهنده با تغییر در تعداد واکنش‌دهنده‌ها شناسایی می‌شود. این عامل یک زمان تاخیر بین تغییرات در

غلظت واکنش دهنده‌ها با سطوح نانوذرات با اندازه متفاوت به وجود می‌آورد، در نتیجه این امر باعث فعالیت متفاوتشان می‌شود. سینتیک چنین سیستم هایی بر پایه توصیف برخورد تصادفی تعریف می‌شود که بر اساس تغییرات در تعداد واکنش‌دهنده‌ها اتفاق می‌افتد. تکنیک مونت کارلو برای توصیف سینتیک مراحلی که روی سطح نانوذرات اتفاق می‌افتد، استفاده می‌شود [۳].

انسان‌ها، از علم نانو وفناوری نانو در صدها سال پیش، ناآگاهانه استفاده می‌کردند. درست‌کردن شمشیر استیل، به عنوان مثال یکی از کاربردهای فناوری نانو در زمان گذشته بوده‌است. استیل از ترکیب چند فلز که با ذوب-شدن در ابعاد اتمی تشکیل می‌شود [۱].

این گونه تصور می‌شود که با استفاده از علم نانو در فناوری نانو می‌توان موادی با قدرت، دوام و شفافیت بیش-تر تهیه کرد. این مواد می‌توانند باعث تولید ضایعات کم‌تر و مصرف انرژی پایین‌تر شوند. استفاده از این مواد به عنوان پوشاننده به تشکیل با سطوح باخورندگی و خراش کم‌تر منجر می‌شود [۱].

۱-۴- انواع نانو مواد

بیش‌تر ویژگی‌های مواد جامد به واسطه آرایش سه بعدی نامحدود بلوک‌های سازنده خود (نه ویژگی خود بلوک‌های سازنده) مشخص می‌گردد. چه مقدار می‌توان اندازه ذرات یک ماده مستقل را در یک تا سه بعد، کوچک نمود، در حالی که آن ماده هنوز بتواند ویژگی‌های توده‌ای خود را حفظ نماید؟ برای مثال، یک تکه میکروسکوپی از لحاظ الکتریکی هادی است، در حالی که یک اتم فلزی منفرد یا یک خوشه فلزی با تعداد محدودی از اتم‌ها، هادی نمی‌باشند. بنابراین سوال این خواهد بود که در حالی که یک فلز بریده می‌شود و اندازه آن کاهش می‌یابد، در چه اندازه‌ای یک تکه از فلز، خصلت الکتریکی خود را از دست خواهد داد؟ و یا عکس این قضیه ، هنگام بزرگ‌شدن تدریجی اندازه آن، در چه اندازه ای خوشه اتمی فلزی از لحاظ الکتریکی هادی می‌شود؟ این نشان می‌دهد که ویژگی‌های یک ماده می‌تواند به طور معنی داری با اندازه ذرات، تغییر پیدا کند. این قضیه در مورد موادی که دارای اندازه‌ای در حد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند، نیز صادق است. عبارت «مواد نانو ساختار» یا «نانو مواد» به آن دسته از مواد اطلاق می‌گردد که دارای ابعاد نانومتری بوده به گونه‌ای که روی خواص فیزیکی یا شیمیایی آن‌ها موثر باشند [۱].

همان‌گونه که اشاره شد، کاهش در ابعاد ذرات و یا محدود نمودن ذرات در راستای بلوری خاص، عموماً به تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سیستم در آن جهت خاص، منجر می‌گردد [۱].

طبقه‌بندی بر اساس ابعاد را می‌توان کلی‌ترین نوع طبقه‌بندی به شمار آورد. در این طبقه‌بندی مواد و ساختارهای نانومتری را بر اساس نسبت ابعاد آن‌ها در راستای محورهای مختصاتی که واحد محورها در آن بر اساس ۱۰۰ نانومتر در نظر گرفته می‌شوند، طبقه‌بندی می‌کنند که شامل ۴ گروه زیر می‌باشند [۱]:

۱- مواد صفر بعدی که گروهی از نانو مواد هستند که در هیچ راستایی اندازه آن‌ها به واحد نمی‌رسد مانند کلاسترهای اتمی[۱]؛

۲- مواد یک‌بعدی که تنها در یک راستا دارای اندازه‌های بزرگ‌تر از واحد می‌باشد، مانند فیبرهای نانومتری (نانو الیاف) [۱]؛

۳- مواد دوبعدی که تنها در دو راستای دارای طولی بیش از واحد است، مانند صفحاتی با ضخامت نانومتری [۱]؛

۴- مواد سه‌بعدی که در هر سه راستا اندازه بیش‌تر از ۱۰۰ نانومتر دارند [۱].

نانوذرات و نانو حفره‌ها سه‌بعدی می‌باشند. در ادبیات نیمه هادی‌ها، چنین سیستم‌هایی اغلب شبه صفر بعدی نامیده می شوند، به طوری که ساختار، اجازه‌ی هر گونه حرکت آزاد به ذره را در هر بعد نمی‌دهند. نانو ذرات ممکن است آرایشی تصادفی از اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل دهنده داشته باشند (مانند مواد بی‌شکل یا شیشه-ای) یا واحدهای اتمی و مولکولی درون ساختار اتمی منظم بلوری باشند، که الزاماً شبیه آنچه در سیستم‌های بزرگ مشاهده می‌گردد، نمی‌شود. اگر ساختار بلوری باشد، هر نانو ذره می‌تواند از یک تک بلور یا از تعداد متفاوتی از مناطق بلوری یا دانه‌هایی با جهت بلوری- بلوری متفاوت (پلی بلوری)، تشکیل شده باشد [۱].

سیستم‌های محدود به دو بعد (یا شبه یک‌بعدی) شامل نانو سیم‌ها، نانو میله‌ها، نانو رشته‌ها و نانو لوله‌هاست، که می توانند بی‌شکل، تک بلوری یا چند بلوری باشند[۱].

سیستم‌های محدود به یک بعد (یا شبه دوبعدی)، شامل صفحات، فیلم‌های نازک تشکیل شده روی یک سطح و مواد چند لایه‌ای می‌باشند که می‌توانند بی‌شکل و بلوری باشند [۱].

جدول ۱-۲ کاربردهای نانوذرات (مواد سه بعدی)[۳].

۱- کامپوزیت	۷- ساینده‌ها
۲- کامپوزیت‌های ساختاری	۸- باتری‌ها و پیل سوختی
۳- کاتالیزور	۹- روان کننده‌ها
۴- بسته‌بندی	۱۰- پزشکی و داروسازی
۵- روکش‌ها	۱۱- لوازم آرایش
۶- افزودنی‌های سوخت و مواد منفجره	