بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم و تحقیقات و فناوری

تاریخ: ۱۳۹۰/۶/۲۶

شماره: ۱۲۷۷/۱۱۶۸۵

دانشگاه پیام نور خراسان رضوی

بسمه تعالی

## تصویب نامه دفاع پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان « سنتز نقاط کوانتومی $ZnS:Cu$ و بررسی اثر $Cu$ به عنوان ناخالصی بر خواص ساختاری و اپتیکی آن» که توسط ملیحه میرعرب تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است مورد تائید می باشد.

تاریخ دفاع: ۲۶/۹/۹۰ نمره: ۱۹/۵ درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیات داوران:

| ردیف | نام و نام خانوادگی | هیات داوران | مرتبه دانشگاهی | دانشگاه / موسسه | امضاء |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | دکتر رحیم لطفی اوریمی | استاد راهنما | استادیار | گلستان | |
| ۲ | دکتر محمد رضا بنام | استاد مشاور | دانشیار | پیام نور مشهد | |
| ۳ | دکتر محمد مهدی باقری محققی | استاد داور | دانشیار | دامغان | |
| ۴ | دکتر افضل رقوی | نماینده تحصیلات تکمیلی | استادیار | پیام نور مشهد | |

مشهد – بلوار معلم – معلم ۷۱- صندوق پستی ۴۳۳-۹۱۷۳۵ تلفن : ۵-۸۶۸۳۰۰۲ (۰۵۱۱)

نمابر: ۸۶۸۳۰۰۱- نمایر دبیرخانه : ۸۶۸۳۹۳۶-(۰۵۱۱) نشانی الکترونیکی :info@mshc.pnu.ac.ir

**دانشگاه پیام نور**

**پایان نامه**

**برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**در رشته فیزیک حالت جامد**

**دانشکده علوم**

**گروه علمی فیزیک**

## عنوان پایان نامه:

# سنتز نقاط کوانتومی ZnS:Cu و بررسی اثر Cu به عنوان ناخالصی بر خواص اپتیکی و ساختاری آن

**استاد راهنما:**

**دکتر رحیم لطفی اوریمی**

**استاد مشاور:**

دکتر محمد رضا بنام

**نگارش:**

ملیحه میرعرب

**شهریورماه ۱۳۹۰**

تقدیم به

همســـــر گرامی و صبـــــورم

و دختـــــرم کیمیـا

# قدردانی و سپاسگزاری

منت خـدای را عـزوجـل ، که طـاعتش مـوجب قـربت است ، به شکـــر اندرش مزیـد نعمت.
بدینوسیله از زحمات و تلاش های بی دریغ استاد راهنمایم جناب آقای دکتر رحیم لطفـی اوریمـی که در تدوین و تنظیم این پایان نامه و در مراحل سنتز ما را از راهنمایی خـود دریـغ نداشـته انـد، صمیمانه سپاسگزارم.
در اینجا لازم می دانم از دکتر محمدرضا بنام که قبول زحمت فرمودند و به عنوان مشاور و جنـاب آقای دکتر باقری محققی که به عنوان داور در جلسه دفاعیه بنده شـرکت فرمودنـد کمـال تـشکر و امتنان را داشته باشم.

ملیحه میرعرب
شهریور ۱۳۹۰

## چکیده

هدف از این کار پژوهشی سنتز نقاط کوانتومی ZnS:Cu با تزریق درصد های مختلف ناخالصی Cu (۰/۵– ۵ ٪) و بررسی خواص اپتیکی و ساختاری این نمونه ها بود که پس از موفقیت در سنتز نانو ذرات ، به منظور بررسی خواص اپتیکی و ساختاری نمونه ها از دستگاه پراش پرتو X (XRD )، دستگاه اسپکتروفوتومتر Uv-Vis و فوتولومینسانس (PL) استفاده گردید. با استفاده از نتایج دستگاه پراش پرتوX (XRD ) و به کمک رابطه ی دبای – شرراندازه‌ی نانوذرات حدود ۱–۳ نانومتر به دست آمد.طیف های حاصل از XRD نشان دهنده ی ساختار مکعبی و ششگوشی این نانو ذرات بودند که با افزایش درصد ناخالصی ، درصد ساختار ششگوشی نیز غالب شد.

طیف های PL نمونه ها و باز پخت آن ها دارای دو پیک عمده در نواحی قرمز و بنفش بودند که با افزایش درصد ناخالصی جابجایی قرمز برای قله ناحیه قرمز و جابجایی بنفش برای قله واقع در ناحیه بنفش مشاهده شد. طیف های Uv-Vis نمونه ها نشان می دهد که طول موج آستانه ی جذب با افزایش درصد ناخالصی، افزایش می یابد که نشان دهنده ی جابجایی به قرمز طول موج آستانه ی جذب نمونه ها می باشد. با استفاده از رابطه ی کایونوما شعاع این نانوذرات به دست آمد که در حدود ۲–۱۰ نانومتر بود و نشان می دهد که با افزایش درصد ناخالصی شعاع نانوذرات افزایش می یابد. طیف Uv-Vis نمونه های بازپخت شده ، کاهش طول موج آستانه ی جذب و کاهش اندازه ی شعاع نانوذرات را نشان می دهد.

**فهرست مطالب**

عنوان صفحه

**فصل اول : مقدمه**

۱-۱نانو فناوری ..... ۲

۱-۱-۱ مقدمه ای بر نانو فناوری ..... ۲

۱-۱-۲ نانو فناوری در طبیعت ..... ۲

۱-۱-۳ تاریخچه ..... ۳

۱-۲ کاربرد نانو فناوری..... ٤

۱-۲-۱ انواع مواد نانو ساختار ..... ٤

۱-۲-۲ تغییرات در مقیاس نانو ..... ٥

۱-۳ اهمیت مدل مکانیک کوانتومی ..... ٦

۱-۳-۱ خواص وابسته به اندازه..... ۷

۱-۳-۲ خاصیت اپتیکی ..... ۷

۱-۳-۳ خاصیت الکتریکی ..... ۷

۱-۳-٤ خاصیت فیزیکی ..... ۸

۱-۳-٥ خاصیت شیمیایی ..... ۸

۱-٤ روشهای ساخت مواد نانو..... ۸

۱-٥ بستگی گاف انرژی به اندازه ی نانو ذرات ..... ۱۰

۱-٦ شبکه بلوری ..... ۱۰

۱-٦-۱ انواع عیوب در شبکه ی بلوری ..... ۱۱

**فصل دوم : مفاهیم اساسی در نظریه ی فیزیکی نانوذرات نیمرسانا**

۲-۱ مقدمه..... ۱٤

۲-۲ زمینه ی نظری نانوذرات نیمرسانا ..... ۱٥

۲-۲-۱ گاف انرژی در نیمرساناها ..... ۱٥

۲-۲-۲ مفاهیم جرم موثر و نوارهای انرژی در نیمرساناها ..... ۱٦

۲-۳ نیمرساناهای ترکیبی ..... ۲۰

۲-۳-۱ ساختار مکعبی ..... ۲۱

۲-۳-۲ ساختار ششگوشی ..... ۲۲

۲-۳-۳ مشخصه یابی نانوذرات نیمرسانا با استفاده از روش XRD ..... ۲۲

۲-٤ اثر ناخالصی روی خواص اپتیکی و الکترونیکی نیمرساناها ..... ۲۵
۲-٤-۱ فرآیند جذب اساسی ..... ۲٦
۲-٤-۲ ضریب جذب ..... ۲۷
۲-٤-۳ جذب اکسیتون ..... ۲۸
۲-٤-٤ بازترکیب و سازوکارهای بازترکیب ..... ۲۹
۲-٤-۵ مشخصه یابی نانوذرات نیمرسانا با استفاده از روش (Uv-Vis) اسپکتروفوتومتری ..... ۳۱
۲-٤-٦ مشخصه یابی نانوذرات نیمرسانا با استفاده از روش فوتولومینسانس (PL)..... ۳۲
**فصل سوم : سنتز نقاط کوانتومی ZnS خالص و ناخالص ZnS:Cu**
۳-۱ مقدمه ..... ٤۳
۳-۲ روشهای ساخت مواد نانو ..... ٤۳
۳-۳ نکات مورد توجه در روشهای شیمیایی ..... ٤٦
۳-۳-۱ نقش حلال در سنتز نقاط کوانتومی..... ٤٦
۳-۳-۲ نقش مهار کننده در محیط حلال غیر آبی..... ٤۷
۳-٤ روش تجربی سنتز ZnS خالص و ناخالص ZnS:Cu ..... ٤۸
۳-٤-۱ مواد شیمیایی لازم ..... ٤۸
۳-٤-۲ وسایل و تجهیزات مورد نیاز ..... ٤۹
۳-٤-۳ نحوه تهیه محلول های مورد نیاز ..... ٤۹
۳-۵ تهیه نقاط کوانتومی ZnS خالص و ناخالص ZnS:Cu به روش رسوبگذاری شیمیایی
(غیرآبی – غیر حرارتی) ..... ۵۱
۳-٦ بازپخت نمونه ها ..... ۵۲
**فصل چهارم : مشخصه یابی و تحلیل نتایج**
٤-۱ مقدمه ..... ۵۵
٤-۲ بررسی و تحلیل طیف های XRD..... ۵۵
٤-۳ بررسی و تحلیل طیف های جذبی Uv-Vis ..... ٦۱
٤-٤ بررسی و تحلیل طیف های PL ..... ٦٦
٤-۵ نتیجه گیری ..... ۷۲
٤-٦ پیشنهادات ..... ۷۳
٤-۷منابع ..... ۷٤
پیوست ها ..... ۷۸

**فهرست اشکال**

عنوان صفحه


۱-۱ نمایی از نانوذره ..... ٤
۱-۲ نمایی از نانو سیم ..... ٥
۱-۳ نمایی از نانو لایه ..... ٥
۱-٤ مقایسه روش پایین به بالا و بالا به پایین ..... ۹
۲-۱ طرحواره های نوار ساده الف) رسانا ب) عایق ج) نیمرسانا ..... ۱٥
۲-۲ نمودارهای نوار انرژی برای الف و ب ) فلزات ج) عایق د) نیمرسانا ..... ۱۷
۲-۳ نمودار نوار انرژی ، انرژی بر حسب تکانه برای الف )GaAs ب)Si ..... ۱۸
۲-٤ ساختار بلوری سیلسیم که در آن یک اتم سیلسیم با الف) یک اتم ناخالص ٥ ظرفیتی ب) یک اتم ناخالص ۳ ظرفیتی جایگزین شده ..... ۱۹
۲-٥ نمودار نوار انرژی الف) نیمرسانای نوع n ب) نیمرسانای نوع P ..... ۲۰
۲-٦ ساختار مکعبی سولفید روی ..... ۲۱
۲-۷ ساختار مکعبی شش گوشی ..... ۲۲
۲-۸ پراش پرتو X توسط بلور ..... ۲۳
۲-۹ تصویر هندسی دوربین دبای – شرر ..... ۲٤
۲-۱۰ پهنای پیک در نصف ارتفاع ..... ۲٥
۲-۱۱ فرایند جذب اساسی در نیمرساناها ..... ۲٦
۲-۱۲ الف) ضریب $\alpha_d$ بر حسب $h\nu$ در یک نیمرسانا ب) ضریب جذب $\alpha$ بر حسب $h\nu$ در یک نیمرسانای GaAs ..... ۲۷
۲-۱۳ ضریب جذب $\alpha$بر حسب $h\nu$ در یک نیمرسانا ..... ۲۸
۲-۱٤ تراز اکسیتون و جذب مربوط به آن ..... ۲۸
۲-۱٥ بازترکیب مستقیم ..... ۳۰
۲-۱٦ باز ترکیب غیر مستقیم ..... ۳۰
۲-۱۷ ترازهای انرژی الکترونی ..... ۳۱
۲-۱۸ طیف های بر انگیختگی PL بهنجار شده برای هفت نقطه کوانتومی CdSe ..... ۳۳
۲-۱۹ طیف ترازهای انرژی داخل گاف ناشی از کاهش غلظت Zn و S در نمونه ZnS ..... ۳٤
۲-۲۰ طیف گسیل نقاط کوانتومی سولفید روی ..... ۳٤
۲-۲۱ طیف PL نمونه ZnS:Mn ..... ۳٥

۲-۲۲ طیف Uv-Vis نمونه ی ZnS:Mn ..... ۳۶
۲-۲۳ طیف PL نمونه ی ZnS:Mn در دمای اتاق ..... ۳۷
۲-۲٤ طیف PL نمونه ی تزریق شده و تزریق نشده ی نانوذرات ZnS ..... ۳۷
۲-۲۵ طیف جذب نمونه تزریق شده و تزریق نشده ی نانو ذرات ZnS ..... ۳۸
۲-۲٦ طیف PL نمونه ناخالص ZnS:Cu ..... ۳۹
۲-۲۷ طیف Uv-Vis نمونه ی ZnS:Cu ..... ۳۹
۲-۲۸ طیف جذبی یک نمونه ی ناخالص ZnS:Cu ..... ٤۰
۲-۲۹ طیف جذبی نمونه ی ZnS:Cu ..... ٤۰
۲-۳۰ طیف PL نمونه ی ناخالص ZnS:Cu با افزایش دما ..... ٤۵
۲-۳۱ طیف PL نمونـه ناخالص ZnS:Cu در دمای اتاق ..... ٤۵
۳-۱ مقایسه روش بالا به پایین و پایین به بالا ..... ٤٤
۳-۲ مراحل مختلف روش سل – ژل ..... ٤٦
۳-۳ نمای دستگاه تهیه ی نانو ذرات ZnS به روش شیمیایی غیر حرارتی با افزودن تدریجی $Na_2S$ به محلول ..... ۵۰
٤-۳ مراحل تهیه ی نانو ذرات روی سولفید به روش رسوبگذاری محلول کلوئیدی ..... ۵۱
٤-۱ الف طیف XRD نمونه ی خالص ZnS ..... ۵٦
٤-۱ ب طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ۰/۵ ٪ ..... ۵٦
٤-۱ پ طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ۱٪ ..... ۵۵۷
٤-۱ ت طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ۲٪ ..... ۵۷
٤-۱ ث طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ۳٪ ..... ۵۸
٤-۱ ج طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ٤٪ ..... ۵۸
٤-۱ ح طیف XRD نمونه ی ناخالص ZnS با تزریق ناخالصی Cu ۵٪ ..... ۵۹
٤-۲ نمودارهای UV-ViS نمونه های ناخالص ZnS:Cu بر حسب درصد های مختلف ناخالصی در دمای اتاق ..... ٦۱
٤-۳ الف وب نمودارهای Uv-Vis برخی نمونه های (۱٪ و ۵٪ ) در دماهای ۱۰۰° و ۳۰۰° ..... ٦٤
٤-٤ مقایسه ی طیف PL نمونه خالص ZnS و نمونه ی ناخالص ZnS:Cu بر حسب درصد های مختلف ناخالصی Cu ..... ٦٦
٤-۵ طیف ترازهای انرژی داخل گاف ناشی از کاهش غلظت Zn و S ..... ٦۷

٤-٦ طیف ترازهای انرژی داخل گاف ناشی از تراز ناخالصی و همچنین کاهش غلظت Zn و S ..... ٦٨
٤-٧ الف و ب نمودار PL بعضی از نمونه های بازپخت شده در دمای ٣٠٠° الف ) گسیل بنفش ب) گسیل قرمز ..... ٦٩
٤-٨ نمودار گسیل قرمز در دماهای مختلف ..... ٧٠
٤-٨ الف خالص ..... ٧٠
٤-٨ ب ناخالصی Cu ١٪ ..... ٧١
٤-٨ ج ناخالصی Cu ٥٪ ..... ٧١

**فهرست جداول**

عنوان صفحه


۱-۱ چگونگی تغییر نسب سطح به حجم کره با تغییر شعاع آن..... ٦
۱-۳ مقادیر گشتاور دو قطبی حلال های مورد استفاده به همراه اندازه ی نانوذرات CdS ..... ٤٧
۲-۳ مشخصات مواد مورد استفاده برای تهیه روی سولفید ..... ٤٨
۳-۳ مشخصات مهار کننده ..... ٤٨
٤-۳ مشخصات بازپخت نمونه خالص ..... ٥٢
٥-۳ مشخصات بازپخت نمونه ناخالص ZnS:Cu با ناخالصی Cu ۱٪ ..... ٥٣
٦-۳ مشخصات بازپخت نمونه ناخالص ZnS:Cu با ناخالصی Cu ۳٪..... ٥٣
۷-۳ مشخصات بازپخت نمونه ناخالص ZnS:Cu با ناخالصی Cu ٥٪..... ٥٣
٤-۱برخی از مشخصه های شدت بیشینه و پیک عمده ی طیف XRD در دمای اتاق ..... ٦٠
٤-۲ مقادیر گاف انرژی شیفت قرمز و اندازه ی نقاط کوانتومی نمونه های خالص و ناخالص ZnS بر حسب درصدهای مختلف ناخالصی Cu در دمای اتاق ..... ٦۳
٤-۳ مقایسه ی اندازه ی ذره به کمک رابطه ی دبای – شرر و کایونوما ..... ٦٤
٤-٤ انرژی گاف و اندازه ی نانوذرات محاسبه شده با استفاده از فرمول کایونوما ..... ٦٥
٤-٥ طول موج های گسیل نمونه های خالص و ناخالص ZnS با درصدهای مختلف ناخالصی Cu ..... ٦۷
٤-٦ طول موج گسیل برخی از نمونه های بازپخت شده در دمای ۳۰۰° ..... ۷۰

# فصل اول :

## مقدمه

## ۱-۱ نانو فناوری [۱]

### ۱-۱-۱ مقدمه ای بر نانوفناوری

تصور کنید بتوانید حرکت سلول گلبول قرمز در حال حرکت در داخل سیاهرگتان را مشاهده کنید. یا قادرید تا به طور مثال یک نمونه گلبول سفید (T-cell) را ببینید که به یک میکروب حمله کرده و با در میان گرفتن، آن را نابود می سازد. بتوان ارتعاش مولکولها را در هنگام افزایش درجه ی حرارت در یک ظرف آب مشاهده کرد و یا اتمهای سدیم و کلر را وقتی که بقدر کافی بهم نزدیک می شوند و با انتقال الکترونها به شکل بلور نمک در می آیند را ببینیم . روند پیشرفت فناوری میکروسکوپی در دهه اخیر، مشاهده پدیده های فوق را بطور فزاینده ای امکان پذیر می سازد.

پدیده های مذکور مثالهایی از تلاش در جهت مشاهده ی اندازه و حتی دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی هستند که موضوع اصلی نانو فناوری می باشد [۱]. نانو فناوری به عنوان مطالعه و استفاده ی از ساختارها با اندازه ی بین ۱ الی ۱۰۰ نانومتر تعریف شده است. ویژگی های ساختاری در گستره ی $10^{-7}$ تا $10^{-9}$ متر ( ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) تغییرات مهمی را در رفتار مواد نانو ساختار نسبت به مواد حجیم [۲] ایجاد می کنند.به طور عام مطالعه رفتار و خواص مواد در مقیاس زیر میکرونی را می توان به علوم و فناوری نانو مربوط داشت [۲].از طرفی نانوفناوری به عنوان یک علم میان رشته ای در ارتباط با علومی مثل: فیزیک ، شیمی ، بیولوژی ، مهندسی ، علم مواد، علم کامپیوتر و غیره ..... می باشد. کلمه نانو از کلمه ی Nanos گرفته شده و در زبان یونانی قدیم به معنای کوتوله[۳] و یا هر چیز دیگر از حد معمول می باشد. و پیشوندی در توصیف ((یک بیلیونیم )) چیزی یا $10^{-9}$ متر می باشد. یک نانو متر معادل (۱۰-۱۵) اتم هیدروژن است که کنار یکدیگر قرار می گیرند . قطر موی انسان در حدود (۵۰/۰۰۰ -۱۰۰/۰۰۰) نانومتر است [۳]. ۱ نانومتر برابر است با قطر ۱۰ اتم هیدروژن ، ۵ اتم سیلسیم و یا ٦ اتم کربن که در یک صف کنار هم می باشند [۴].

### ۱-۱-۲ نانو فناوری در طبیعت

تعداد زیادی مواد با ابعاد نانومتری در طبیعت وجود دارند . طبیعت در تولید مواد بنیادی در مقیاس نانو ماهر است. بدن انسان می تواند از مواد طبیعی در مقیاس نانو مثل پروتئین ها و دیگر مولکولها استفاده کند. ضخامت هموگولوبین که اکسیژن را در خون حمل می کند، در حدود ۵ nm است [۵].

---

۱-Nano Technology
۲-Bulk
۳-Dwarf

### ۱-۱-۳ تاریخچه

انسانها بدون دانش و آگاهی از علم نانو تکنولوژی از آن به مدت هزاران سال استفاده کرده انـد. برای مثال از نانو ذرات طلا ، در شیشه کاری منقوش[۴] و نیز در سفال سازی[۵] در قرن دهـم بـه کـار برده شده است. بعضی از روشهای مرتبط با نانو فناوری توسـط ماکـسول[۶] در سـال ۱۸۶۷ بـه کـار گرفته شد. او از یک فرا میکروسکوپ[۷] به روش میدان تاریک[۸] استفاده نمود. زسـیگموندی[۹] اولـین بار واحد نانومتر را ($\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$ میلی متر) صریحا برای تعیین اندازه ذرات به کار گرفـت. او اولـین سیستم طبقه بندی مبنی بر اندازه ذرات در گستره ی نانومتر را گـسترش داد. در اوایـل سـال ۱۹۵۰ دکتر جاگلین[۱۰] و ابریکوسووا[۱۱] اولین اندازه گیری نیروهای سطحی را انجام دادند[۶].

ریچارد فایمن[۱۲] در سال ۱۹۵۹ برای اولین بار در کنفرانـسی تحـت عنـوان (( اینجـا در ایـن پـایین فضای بسیاری است)) بطور علمی به تشریح ویژگی های مواد نانو ساختار پرداخت.

در آن زمان برای ما ممکن نبود که اتم ها و یا مولکولها را به طور منفرد دستکاری کنـیم. زیـرا آنهـا در مقابل ابزار مشخصه یابی ما بسیار کوچک بودند. بنابراین سخن ریچـارد فـایمن کـاملا نظـری و ظاهرا تخیلی به نظر می رسید. او شرح داد که قوانین فیزیک ما را در توانایی دستکاری کـردن اتـم ها و مولکول ها به طور منفرد، محدود نمی کنند. همچنین او بـه درسـتی پـیش بینـی کـرد زمـانی خواهد رسید که دستکاری دقیق ذره های ریز تر ماده ممکن خواهد شد[۷].

کلمه نانو فناوری اولین بار توسط دانشمندان ژاپنـی نوریـو تـاینگوچی[۱۳] (۱۹۹۹-۱۹۱۲) در یـک مقاله در سال ۱۹۷٤ به کار برده شد. او در مقاله اش در مورد تکنولوژی سـاخت و تولیـد اشـیایی سخن گفت که ترکیباتی در مرتبه ی نانومتر (nm) دارند.

این واژه بعد از آن در سال ۱۹۸٦ توسط کـی اریـک درکـسلر[۱٤] در کتـابی تحـت عنـوان ((موتـور آفرینش آغاز دوران نانو فناوری)) آورده شد. او با گسترش نـانو فنـاوری مولکـولی ، هـدایت نـانو سیستم های ماشینی صنعتی را به عهده گرفت.

---

۱-Stained glass

۲-Ceramic

۶-J.C.maxwell

۷-Ultra microscope

۸-Darkfield

۹- Zsigmondy

۱۰- Derjaguin

۱۱-Abrikosora

۱۲-Richard P,feynman

۱۳-NorioTaniguchi

۱٤-K.Erik Drexler

اختراع میکروسکوپ تونلی روبشی[۱۵] در سال ۱۹۸۰ به وسیله ی دانشمندان زوریخی IBM و بعد از آن اختراع میکروسکوپ نیروی اتمی[۱۶]، به دانشمندان این اجازه را داد تا مواد را در سطوح اتمی بسیار کوچک ببینند.

جهش دیگری که در علم نانو فناوری به وقوع پیوست کشف اشکال جدیدی از مولکوی های کربن معروف به باکی بال[۱۷] در سال ۱۹۸۵ بود که این منجر به کشف نانو لوله های کربن[۱۸] در سال ۱۹۹۱ شد. نانو لوله های کربنی ۱۰۰ مرتبه از فولاد مستحکم تر هستند و دارای مشخصه های رسانندگی الکتریکی و گرمایی غیر معمول می باشند[۸].

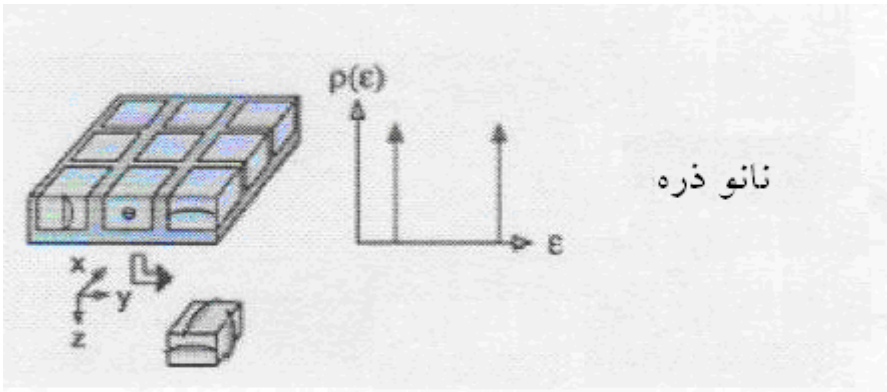
## ۱-۲ کاربرد نانو فناوری

ظهور علم نانو منجر به انقلابی در عرصه ی تکنولوژی در هزاره ی جدید شده است. کاربرد نانو تکنولوژی در حوزه های بسیار وسیعی همچون پزشکی ، الکترونیک ، هوافضا ، سلولهای خورشیدی ، باتری ها ، تصفیه کننده های آب و هوا و غیره می باشد [۹].

### ۱-۲-۱ انواع مواد نانو ساختار:

مواد نانو ساختار را می توان به سه دسته طبقه بندی کرد [۱۰]:

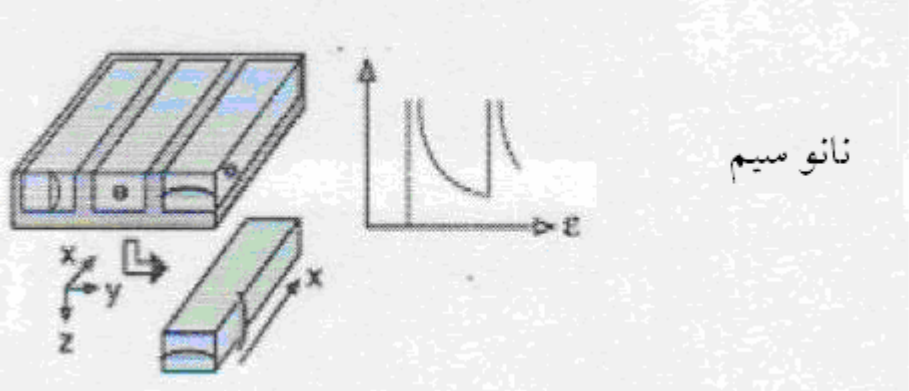
۱- نانو ذرات[۱۹]: نانو ذرات دسته ای از مواد نانو هستند که اندازه ی هر ۳ بعدشان در حدود چند نانو متر می باشد. که اصطلاحا به آنها نانو ساختارهای صفر بعدی گفته می شود. مطابق ( شکل ۱)




شکل ۱-۱ نمایی از یک نانو ذره

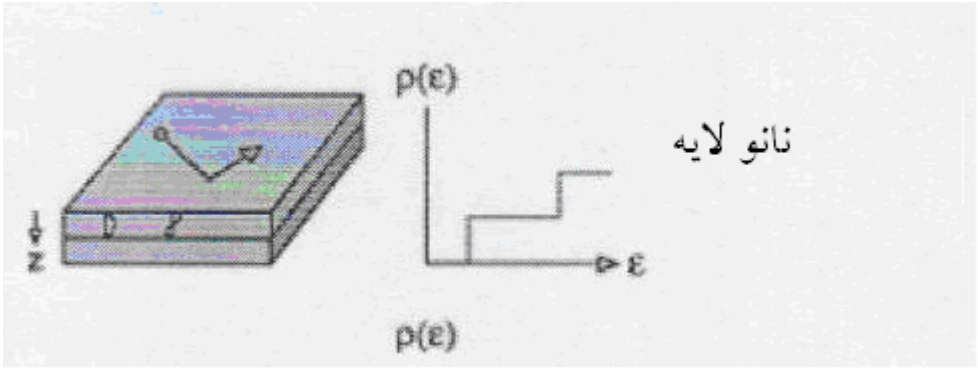
[۱۵]-Tunneling microscope
[۱۶]-Atomic force microscope
[۱۷]-Bucky ball
[۱۸]-Carbon nanotube
[۱۹]-Nano particles

۲- نانو سیم ها[۲۰]: نانو سیم ها ضخامتی به اندازه ی نانو دارند اما می توانند چند صد نانومتر یا حتی بیشتر طول داشته باشند یعنی اندازه آنها در ۲ بعد در حدود چند نانومتر می باشد. که اصطلاحا به این دسته از نانو مواد ، نانو ساختارهای ۱ بعدی گفته می شود.




شکل ۱-۲ نمایی از یک نانو سیم

۳- نانو لایه ها یا نانو فیلم ها[۲۱] : آنها ضخامتی به اندازه ی نانو دارند اما ۲ بعد دیگر آنها می تواند کاملا بزرگ باشد یعنی فقط ۱ بعد آنها در حدود چند نانومتر می باشد. که در اصل به این دسته از نانو مواد ، نانو ساختارهای ۲ بعدی گفته می شود.




شکل ۱-۳ نمایی از یک نانو لایه

**۱-۲-۲ تغییرات در مقیاس نانو**

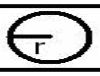
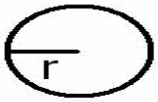
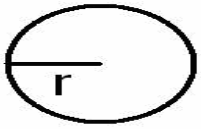
در مقیاس نانو افزایش چشم گیری را در نسبت سطح به حجم مشاهده می کنیم. برای مثال مساحت یک کره با معادله ی $s = ۴\pi r^۲$ و همچنین حجم آن با معادله ی $V = \frac{۴}{۳}\pi r^۳$ داده می شود. بنابراین نسبت سطح به حجم آن برابر $\frac{۳}{r}$ است که این نسبت با کاهش r ، افزایش می یابد [۱۱].

---

[۲۰]-Nano tubes
[۲۱]-Nano films or nsno plates

یکی از ویژگی عمده مواد نانو ساختار نسبت سطح به حجم بالای آنهاست که این منجر بـه ظهـور خواص شیمیایی و فیزیکی جدیدی در این دسته از مواد می گردد که آن را از مـواد حجـیم متمـایز می کند [۱۲].

جدول ۱-۱ چگونگی تغییر نسبت سطح به حجم کره با تغییر شعاع آن

| شکل | شعاع R | نسبت سطح به حجم (3/r) |
|---|---|---|
|  | 1m | 3 |
| | 2m | 1.5 |
|  | 3m | 1 |
|  | 4m | 0.75 |

به عنوان مثال چگونگی تغییر نسبت سطح به حجم یک کره با تغییر شـعاع آن در جـدول ۱-۱ داده شده است[۱۱].

## ۱-۳ اهمیت مدل های مکانیک کوانتومی:

مدل مکانیک کلاسیک می تواند پدیده ها را در ابعاد بزرگ به خوبی شرح دهد اما وقتـی ایـن مدل را برای ابعاد کوچک مانند اتم به کار می بریم، با شکست مواجه می شویم. سـاختارهای نـانو آنقدر بزرگ نیستند تا از قوانین فیزیک کلاسیک برای آنها استفاده کنیم. برای مثال قانون اهـم ، کـه ارتباط بین جریان با ولتاژ را در یک رسانا شرح می دهد، نمی تواند به درسـتی جریـان عبـوری از یک نانو سیم را به دست آورد زیرا در اینجا اثرات مکانیک کوانتومی ظـاهر مـی شـوند. در مقیـاس نانو پدیده های بسیاری وجود دارد که نمی تواند با مکانیک کلاسیک توضـیح داده شـود. در ابعـاد نانومتری برای توصیف پدیده های کوانتومی زیر نیاز به محاسبات مکانیک کوانتومی می باشد[۱۳]:

- گسسته بودن انرژی
- دوگانگی موج – ذره
- تونل زنی کوانتومی [۲۲]
- عدم قطعیت در اندازه گیری [۲۳] برخی از کمیت های منتسب به ذرات خیلی ریز

---

[۲۲]-Quantum tunneling
[۲۳]-Uncertainty of measurement

### ۱-۳-۱ خواص وابسته به اندازه

یکی دیگر از ویژگی های مهم مواد نانو ساختار که منجر به کاربردهای نوین و وسیعی در علوم و فناوری گردیده وابستگی خواص به اندازه است که در ذیل به تشریح آن پرداخته میشود.

### ۱-۳-۲ خاصیت اپتیکی[۲۴] ( رنگ و شفافیت)

رنگ یک ماده می تواند وابسته به اندازه آن باشد. رنگ مشاهده شده از یک جسم به علت جذب جزئی نور بوسیله الکترونها در آن ماده است و بخش جذب نشده نور توسط چشم مشاهده می شود.

روی سطح اکثر فلزات صاف ، نور مرئی توسط چگالی بسیار بالای الکترونها کاملا باز تاب می شود و به همین دلیل است که سطح صفحه ی بعضی فلزات ظاهری شبیه به آینه دارد.

در مقایسه با این قضیه ذرات کوچک مقداری از نور را جذب می کنند و مقداری از آن را منعکس و یا پراکنده می سازند و این منجر به رنگ آن ماده می شود. این خاصیت وابسته به اندازه است [۱۴]. برای مثال طلا، رنگ های مختلفی که وابسته اندازه ذرات هست را از خود نمایش می دهد. توده ی حجیم طلا معمولا به رنگ زرد پدیدار می شود اما همین طلا در مقیاس نانو به رنگ قرمز ظاهر می شود. زیرا در این حالت ذرات طلا ، آنقدر کوچک هستند که الکترونها نمی توانند مانند توده ی حجیم طلا [۲۵] آزادانه در آن حرکت کنند. زیرا حرکت آنها محدود شده است و بنابراین الکترونها واکنش متفاوتی را در برابر نور انجام می دهند[۱۵].

### ۱-۳-۳ خاصیت الکتریکی – رسانایی

در مقیاس نانو خاصیت الکتریکی مواد ضرورتا شبیه به حالت حجیم آنها نیست. موادی که در مقیاس ماکرو ، رسانا هستند ممکن است در مقیاس نانو، رسانندگی شان را از دست بدهند و بالعکس. برای مثال وقتی یک نارسانا را به اندازه کافی نازک می کنیم امکان دارد از طریق فرایند معروف به تونل زنی کوانتومی رسانا شود. یک اثر غیر کلاسیکی است که در مقیاس نانو یا کوچکتر از آن مشاهده می شود[۱۶].

خواص الکتریکی نانو لوله های کربنی با تغییر ضخامت و تعداد دیواره ها تغییر می کند. رفتار الکتریکی آنها می تواند هر یک از حالت های رسانا یا غیر رسانا باشد[۱۷].

---

[۲۴]-Optical
[۲۵]-Bulk gold

### ۱-۳-٤ خاصیت فیزیکی - سختی[۲۶] و نقطه ی ذوب

کربن در شکل گرافیت نرم و چکش خوار است. ولی در مقیاس نانو ، کربن می تواند قویتر از فولاد و ٦ مرتبه براق تر شود. نانو لوله ها طویل هستند، این استوانه ها ی کربنی ۱۰۰ بار از فولاد قویتر و خیلی انعطاف پذیرتر اند.

یکی از خواص منحصر به فرد نانو ذرات این است که آنها دمای ذوب پایین تری از توده ی حجیم همتایشان دارند. این قضیه به این دلیل است که در حالت نانو به علت افزایش نسبت سطح به حجم تعداد اتمهای سطحی نیز بیشتر می شود و همانطور که می دانیم همین اتمهای سطحی هستند که به علت داشتن همسایگان کمتر در ذوب مواد موثرند.

پس در حالت نانو که تعداد اتمهای سطحی بسیار زیادتر است مواد راحت تر ذوب می شوند یعنی دمای ذوب پایین تری دارند. این قضیه به وضوح در آزمایشات تجربی مشاهده شده است به این صورت که مواد نانو دمای ذوب پایین تری نسبت به حالت کپه ای از خود نشان می دهند[۱۸].

### ۱-۳-۵ خاصیت شیمیایی - واکنش پذیری[۲۷] ، سرعت واکنش[۲۸]

واکنش های شیمیایی اغلب شامل اتمهایی هستند که در سطح مواد واقع شده اند بنابراین می توانیم خواص شیمیایی را وابسته به خواص سطحی ماده بدانیم.

از آنجایی که در مقیاس نانو مساحت سطح خیلی بزرگ می شود. بنابراین نانوذرات با سرعت بیشتری در واکنشهای شیمیایی شرکت می کنند. بهمین دلیل می توان از خاصیت کاتالیستی آنها در واکنش های شیمیایی بهره برد.

در مقیاس ماکرو طلا خاصیت کاتالیستی ضعیفی نسبت به دیگر فلزات از خود نشان می دهد. ولی نانو ذرات طلا که کوچکتر از nm ۸ قطر دارند می توانند به عنوان افزایش دهنده ی سرعت بعضی از واکنش های شیمیایی استفاده شوند. یکی دیگر از کاربردهای این ذرات استفاده از آن به عنوان کاتالیست مبدل است که مونواکسید کربن تولید شده توسط وسایل گازسوز را به دی اکسید کربن و آب تبدیل می کند[۱۹].

## ۱-۴ روش های ساخت مواد نانو

بطور کلی روشهای مختلف ساخت مواد نانو ساختار را می توان به دو دسته بالا به پایین و پایین به بالا به شرح زیر تقسیم نمود[۲۰]:

---

[۲۶]-Hardness
[۲۷]-reactivity
[۲۸]-reaction rates