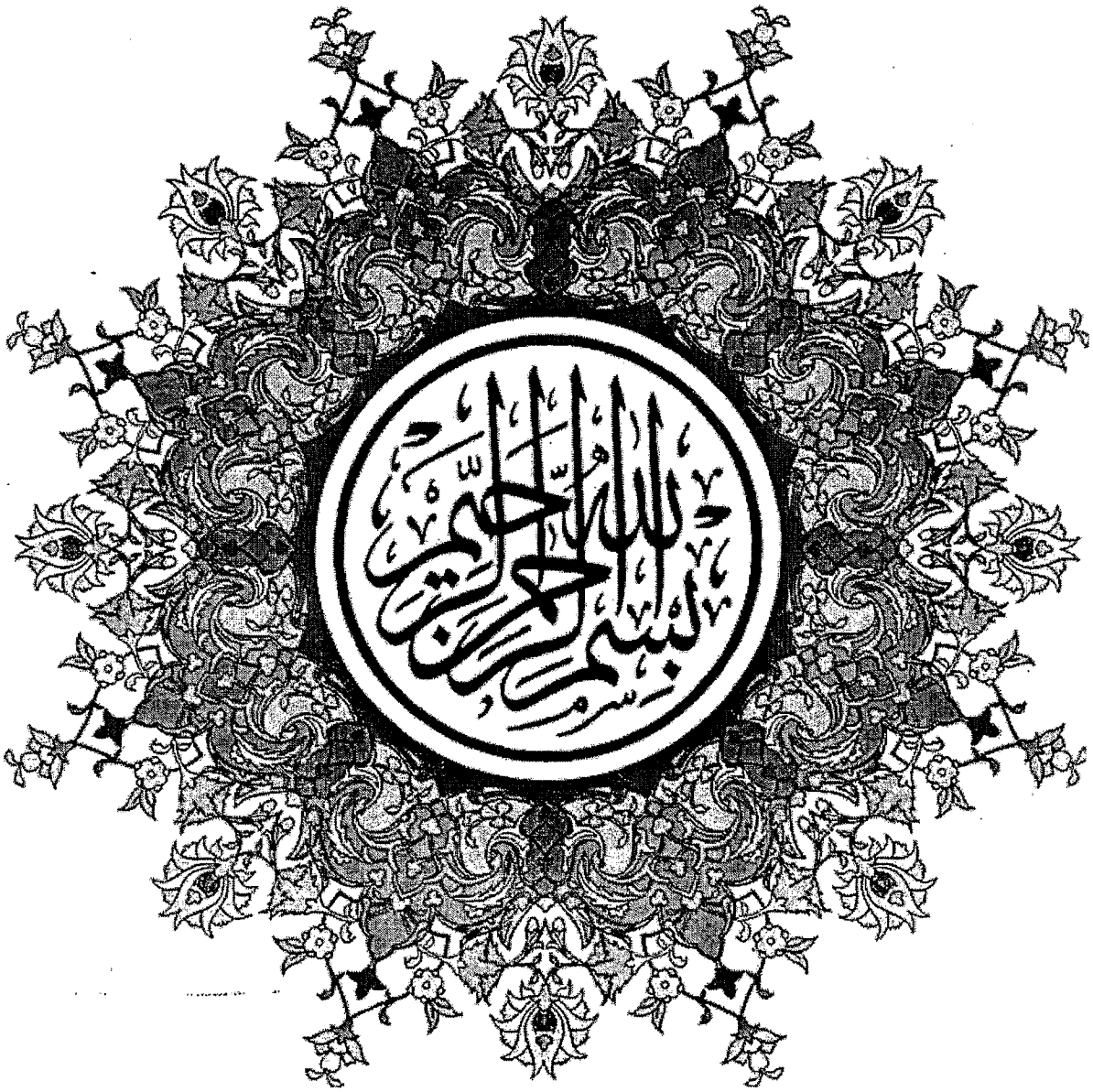


١١٣٧٨٢

دانشگـــاه لـــرستان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

اصلاح نانولوله های کربنی چند دیواره و تک دیواره و بررسی خواص آنها

نگارش

بندر آستین چپ

استاتید راهنما

دکتر رضا سپه وند

دکتر محسن عادلی

استاد مشاور

دکتر علی بهاری

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

۱۳۸۸ /۳/ ۱۰

مرکز اطلاعات مدارک علمی پژوهه
مجتمع مدارک

اسفند ۱۳۸۶

۱۱۳۷۸۲

بسمه تعالی

دانشگاه لرستان

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه ی ارزشیابی پایان نامه ی کارشناسی ارشد

جلسه ی دفاع ازپایان نامه ی کارشناسی ارشد آقای بندر آستین چپ

تحت عنوان :

اصلاح نانولوله های چنددیواره وتک دیواره وبررسی خصوصیات آنها

درتاریخ یازدهم اسفند ماه یکهزاروسیصدوهشتادوشش (۱۳۸۶/۱۲/۱۱) دردانشکده علوم پایه دانشگاه لرستان ارائه گردید و هیئت داوران براساس کیفیت پایان نامه ، استماع دفاعیه ونحوه ی پاسخ به سوال ها ، پایان نامه ایشان رابرای دریافت درجه ی کارشناسی ارشد دررشته فیزیک معادل با ۶ واحد بانمره ی (به حروف)..... (به عدد).....وبادرجه ی .....مورد تایید قرارداد.

هیات داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱- اساتید راهنما : دکتررضاسپه وند/دکترمحسن عادلی	استادیار/استادیار	
۲- استاد مشاور : دکتر علی بهاری	استادیار	
۳- استادمدعو: دکترداریوش سوری	استادیار	
۴- استادمدعو : دکترمهرداددادستانی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتربهمن غضنفری	استادیار	

دکتررضاسپه وند
مدیرگروه فیزیک

دکترعلیرضا غیاثوند
رئیس دانشکده علوم پایه

دکتر ناصر اکبری
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

تقدیم به او

و

تقدیم به خانواده عزیزم، پدر مهربان و مادر دلسوزم و برادران و خواهران گرامیم که پشتیبان و امید

زندگیم می باشند

و تقدیم به روح بزرگ پسر عموی عزیزم مرحوم ایمان آموزگار

و تقدیم به هر آنکس که زیبا می اندیشد و زیبا می بیند،

و تقدیم به تو...

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شکر می کنم که توانایی گذراندن این دوره تحصیلی را به من عطا فرمود و در سایه رحمتهای بی دریق او این پژوهش به نتیجه رسید و این افتخار را نصیب من نمود اولین دانشجویی باشم که در گروه فیزیک در زمینه نانوفناوری به تحقیق بپردازم.

با توجه به اینکه این موفقیت بدون کمک و همراهی دوستان و اطرافیان ممکن نبود بر خود واجب می دانم که از اساتید راهنمای بسیار خوبم آقایان دکتر رضا سپه وند و دکتر محسن عادلی و مشاور بسیار خوبم دکتر علی بهاری نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم، زیرا در این دوره تحصیلی پشتیبان و همراه من بودند و همواره مرا از راهنمایی های ارزنده خود بهرمند می ساختند.

همچنین از همه دوستان عزیزم دانشجویان کارشناسی ارشد و کارشناسی که افتخار آشنایی و مصاحبت با آنان نصیب اینجانب شده و دوستی آنان باعث افتخار و سرافرازیم می باشد تشکر می کنم و سپاسگزارم و برای همه سلامتی، پیروزی و سر بلندی آرزو می کنم.

در پایان از تمام مسئولین و عزیزانی که دکتر رضا سپه وند، دکتر علی بهاری و مرا در راه اندازی اولین آزمایشگاه تحقیقاتی نانوفناوری در دانشگاه لرستان مساعدت نمودند بسیار سپاسگزارم، امیدوارم که با توجه بیشتر به محققین جوان و اساتید پژوهشگر باعث پیشرفت هرچه بیشتر این دانشگاه و کشور عزیزمان شوند.

فهرست

عنوان ..... صفحه

۱- فصل اول/ مقدمه

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) تاریخچه فناوری نانو ۲

۱-۳) نانو ۵

۱-۴) طبقه بندی مواد نانومتری ۶

۱-۵) تعریف فناوری نانو ۷

۱-۶) طبقه بندی فناوری نانو ۸

۱-۶-۱) نانوفناوری مرطوب ۸

۱-۶-۲) نانوفناوری خشک ۹

۱-۶-۳) نانوفناوری محاسباتی ۹

۱-۷)کاربرد فناوری نانو ۹

۱-۷-۱) نانوالکترونیک ۱۰

۱-۷-۲) نانوفناوری زیستی ۱۰

۱-۷-۳) نانوفناوری در صنایع دارویی ۱۱

۱-۷-۴) نانوفناوری در پزشکی ۱۲

۱-۷-۵) نانوفناوری در مخابرات ۱۳

۱-۷-۶) نانوفناوری در مواد آرایشی ۱۳

۱-۷-۷) نانوفناوری در صنایع رنگ ۱۴

۱-۷-۸) نانوفناوری در نساجی ۱۵

۱-۸) روشهای شناسایی و آنالیز مواد نانو ۱۶

۱-۸-۱) میکروسکوپ الکترونی..... ۱۶
۱-۸-۲) پراش الکترونی پر انرژی انعکاسی ۱۹
۱-۸-۳) طیف سنجی تفکیک انرژی ۱۹
۱-۸-۴) میکروسکوپ پروبی روبشی..... ۱۹
۱-۸-۵) پراش اشعه ایکس..... ۲۳
۱-۸-۶) طیف سنجی فتوالکترونی پرتو ایکس..... ۲۳
۱-۸-۷) طیف سنجی رامان ۲۴
۲- فصل دوم/ نانولوله های کربنی
۲-۱) مقدمه ۲۷
۲-۲) تاریخچه ۲۷
۲-۳)انواع کربن و ساختارهای آن ۳۰
۲-۴)نانولوله های کربنی ۳۵
۲-۴-۱) ساختارهای مولکولی نانولوله های کربنی ۳۵
۲-۴-۲) ساختار هندسی..... ۳۶
۲-۴-۳) ساختار الکترونی گرافیت..... ۴۰
۲-۴-۴) ساختار الکترونی نانولوله های کربنی ۴۲
۲-۵) روشهای تولید نانولوله های کربنی ۴۴
۲-۵-۱) مکانیزم رشد نانولوله های کربنی ۴۴
۲-۵-۲) تخلیه قوس الکتریکی ۴۶
۲-۵-۳) سایش لیزری..... ۴۸
۲-۵-۴) رسوب دهی با بخار شیمیایی ۴۹
۲-۵-۵) الکترولیز..... ۵۰

۲-۵-۶) تولید نانولوله های کربنی با استفاده از انرژی خورشیدی ۵۱
۲-۵-۷) تولید نانولوله های کربنی با استفاده از شعله ۵۱
۲-۶) خواص نانولوله های کربنی ۵۲
۲-۶-۱) خواص مکانیکی ۵۲
۲-۶-۲) خواص ارتعاشی ۵۳
۲-۶-۳) خواص الکتریکی ۵۴
۲-۶-۴) خواص حرارتی ۵۵
۲-۶-۵) خواص الکترونی ۵۷
۲-۶-۶) خواص شیمیایی ۵۷
۲-۶-۷) خواص حرکتی ۵۸
۲-۶-۸) خواص مغناطیسی ۵۸
۲-۷) خالص سازی نانولوله ها ۵۹
۲-۷-۱) اکسیداسیون ۶۰
۲-۷-۲) خالص سازی با اسید ۶۱
۲-۷-۳) عملیات حرارتی (پخت) ۶۱
۲-۷-۴) تصفیه با امواج مافوق صوت ۶۱
۲-۷-۵) روش مغناطیسی ۶۲
۲-۷-۶) میکروفیلتراسیون ۶۲
۲-۷-۷) روش برش نانولوله ۶۲
۲-۷-۸) عامل دار کردن با گروهای شیمیایی ۶۳
۲-۷-۹) کروماتوگرافی ۶۳
۲-۷-۱۰) نتیجه گیری ۶۴

۲-۸) کاربرد نانولوله ها..... ۶۴
۲-۸-۱) کاربرد در ساختار مواد ۶۴
۲-۸-۲) کاربردهای الکتریکی و مغناطیسی ۶۵
۲-۸-۳) کاربردهای شیمیایی..... ۷۰
۲-۸-۵) کاربرد در ذخیره انرژی ۷۴
۲-۸-۶) کامپوزیت ها..... ۷۶
۳- فصل سوم/ آزمایشها
۳-۱) مقدمه ۷۸
۳-۱-۱) نانوکامپوزیت ها..... ۷۸
۳-۱-۲) پر کردن نانولوله ها..... ۸۰
۳-۲) مواد استفاده شده ۸۱
۳-۳) وسایل و دستگاه های استفاده شده ۸۲
۳-۴) آزمایشها ۸۲
۳-۴-۱) باز کردن و عامل دار کردن نانولوله های کربنی..... ۸۲
۳-۴-۲) باز کردن و عامل دار کردن نانولوله ها با استفاده از امواج فراصوتی ۸۴
۳-۴-۳) پر کردن نانولوله های کربنی باز شده ۸۴
۳-۴-۳-۱) پر کردن نانولوله های کربنی باز شده با نانوذرات قلع ۸۴
۳-۴-۳-۲) پر کردن نانولوله های کربنی باز شده با نانوذرات نقره..... ۸۵
۳-۴-۳-۳) پر کردن نانولوله های کربنی باز شده با $CoFe_2O_4$ ۸۶
۳-۴-۳-۴) پوشش دادن نانولوله های کربنی با نانوذرات$CoFe_2O_4$ ۸۷
۳-۴-۴) ساخت نانوکامپوزیت ها با اتصال زنجیره های پلیمری به نانولوله های کربنی ۸۸
۳-۴-۴-۱) اتصال پلی کاپرولاکتون به نانولوله های باز شده..... ۸۸

۳-۴-۴-۲) اتصال پلی کاپرولاکتون به نانولوله های پر شده با نانوذرات نقره..... ۸۹
۳-۴-۴-۳) اتصال پلی کاپرولاکتون به نانولوله های پر شده با نانوذرات $CoFe_2O_4$..... ۹۰
۳-۴-۴-۴) تهیه نانوکامپوزیت با اتصال پلی لاکتاید به نانولوله های باز شده ۹۱
۳-۴-۴-۵) اتصال پلی لاکتاید به نانولوله های پر شده با نانوذرات نقره..... ۹۲
۳-۴-۴-۶) اتصال کوپلیمر پلی لاکتاید- کاپرولاکتون به نانولوله های باز شده ۹۳
۳-۴-۴-۷) اتصال کوپلیمر لاکتاید- کاپرولاکتون به نانولوله های پر شده با نانوذرات نقره ۹۵
۳-۴-۵) طیف مادون قرمز (FT-IR)..... ۹۶
۳-۴-۶) طیف تشدید مغناطیسی هسته(NMR) ۹۷
۳-۴-۷) دیاگرام حرارتی(DSC)..... ۹۸
۳-۴-۸) تجزیه گرماوزنی ۹۸
۳-۴-۹) اندازه گیری خواص مغناطیسی با AGFM..... ۹۹
۳-۴-۱۰) پراش اشعه ایکس(XRD)..... ۹۹
۳-۴-۱۱) روش اندازه گیری خواص الکتریکی نمونه های تهیه شده..... ۱۰۰
۳-۴-۱۲) میکروسکوپ الکترونی عبوری ۱۰۱
۴- فصل چهارم/ بحث و نتیجه گیری
۴-۱) بررسی طیف های مادون قرمز(FTIR) ۱۰۳
۴-۱-۱) طیف نانولوله های باز و بسته ۱۰۳
۴-۱-۱) طیف نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۰۴
۴-۱-۲) طیف نانوکامپوزیت پلی لاکتاید..... ۱۰۵
۴-۱-۳) طیف نانوکامپوزیت کوپلیمر لاکتاید-کاپرولاکتون..... ۱۰۶
۴-۲) بررسی طیف تشدید مغناطیسی هسته(NMR)..... ۱۰۷
۴-۲-۱) طیف ^1H NMR نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۰۷

۴-۲-۲) طیف ^{1}H NMR نانوکامپوزیت پلی لاکتاید ۱۰۸
۴-۲-۳) طیف ^{1}H NMR نانوکامپوزیت کوپلیمر کاپرولاکتون-لاکتاید ۱۰۹
۴-۲-۴) طیف ^{13}C NMR نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۱۰
۴-۳) بررسی تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری ۱۱۱
۴-۳-۱) تصویر نانولوله های باز و بسته ۱۱۱
۴-۳-۲) تصویر نانولوله های پر شده با نانوذرات قلع ۱۱۲
۴-۳-۳) تصویر نانولوله های پر شده با نانوذرات نقره ۱۱۳
۴-۳-۴) تصویر نانولوله های پر شده با نانوذرات $CoFe_2O_4$ ۱۱۴
۴-۳-۵) تصویر نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۱۶
۴-۳-۶) تصویر نانوکامپوزیت پلی لاکتاید ۱۱۷
۴-۳-۷) تصویر نانوکامپوزیت کوپلیمر لاکتاید-کاپرولاکتون ۱۱۸
۴-۴) بررسی دیاگرام حرارتی نانوکامپوزیت های ساخته شده ۱۱۹
۴-۴-۱) دیاگرام حرارتی نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۲۰
۴-۴-۲) دیاگرام حرارتی نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون و کوپلیمر ۱۲۰
۴-۵) بررسی نمودارهای تجزیه گرماوزنی(TGA) ۱۲۰
۴-۵-۱) نمودار تجزیه گرماوزنی نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون ۱۲۰
۴-۵-۲) نمودار تجزیه گرماوزنی نانوکامپوزیت با نانولوله های پر شده ۱۲۱
۴-۵-۳) نمودار تجزیه گرماوزنی نانوکامپوزیت کوپلیمر و پلی لاکتاید ۱۲۲
۴-۵) بررسی طیف پراش اشعه ایکس (XRD) ۱۲۲
۴-۵-۱) طیف XRD نانولوله های پر شده با قلع ۱۲۲
۴-۵-۲) تحلیل طیف XRD نانولوله های کربنی پر شده با نقره ۱۲۴
۴-۵-۳) تحلیل طیف XRD نانولوله های پر شده و پوشش داده شده با $CoFe_2O_4$ ۱۲۶

۴-۶) بررسی خصوصیات مغناطیسی نانولوله های پر شده و پوشش داده شده
با $CoFe_2O_4$ ۱۳۱
۴-۷) بررسی و تفسیر خواص الکتریکی نمونه های تهیه شده ۱۳۴
۴-۸) بررسی حلالیت نمونه های ساخته شده ۱۴۴
۴-۹)نتیجه گیری ۱۴۵

نام خانوادگی: آستین چپ	نام: بندر	
عنوان پایان نامه: اصلاح نانولوله های کربنی تک دیواره و چند دیواره و بررسی خصوصیات آنها		
استاد راهنما اول: دکتر رضا سپه وند		
درجه تحصیلی: دکترا	رشته: فیزیک	گرایش: ذرات بنیادی
استاد راهنما دوم: دکتر محسن عادلی		
درجه تحصیلی: دکترا	رشته: شیمی	گرایش: آلی
استاد مشاور: دکتر علی بهاری		
درجه تحصیلی: دکترا	رشته: فیزیک	گرایش: اپتیک و لیزر
محل تحصیل(دانشگاه): دانشگاه لرستان	دانشکده: علوم پایه	گروه آموزشی:فیزیک
تاریخ غارغ التحصیلی: ۱۳۸۶/۱۲/۱۱	تعداد صفحات: ۱۵۰	

کلید واژه ها:

فارسی: نانولوله های کربنی، نانوکامپوزیت، پر کردن، مقاومت الکتریکی، مغناطیس، انرژی فعال سازی، پلیمر

انگلیسی: Carbon nanotubes, Nanocomposite, Filling, Electrical Resistant, magnetic, Active Energy, Polymer

چکیده:

از زمان کشف نانولوله های کربنی در سال ۱۹۹۱ توسط ایجیما تا کنون، نانولوله های کربنی به خاطر ساختار منحصر به فرد و خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی عالی بسیار زیاد مورد توجه قرار گرفته اند. در همین راستا پژوهش هایی زیادی بر روی روشهای اصلاح نانولوله ها از طریق باز کردن، عامل دار کردن، پر کردن و اتصال مولکول ها و پلیمر های مختلف به آنها برای تغییر حلالیت، رسانایی و ساخت نانوکامپوزیت های جدید برای استفاده در زمینه های گوناگون از جمله دارورسانی و پزشکی انجام گرفته است.

در این تحقیق نانولوله های کربنی خالص سازی و با استفاده از روش اکسایش با اسید، عامل دار و باز شدند. جهت ساخت نانوکامپوزیت های مغناطیسی و نیم رسانا، نانولوله های باز شده با عناصر قلع، نقره، آهن و کبالت پر شدند و سپس توسط TEM، XRD ، AGFM شناسایی و خواص الکتریکی و مغناطیسی

آنها اندازه گیری شد. سپس برای تهیه نانوکامپوزیت های زیست تخریب پذیر و همچنین افزایش حلالیت نانولوله ها، زنجیره های پلیمری پلی لاکتاید، پلی کاپرولاکتون و کوپلیمر لاکتاید-کاپرولاکتون به گروهای عاملی ایجاد شده روی نانولوله اتصال داده شدند و با استفاده از TEM، NMR، FT-IR، DSC، TGA و AGFM مورد بررسی و شناسایی قرار گرفتند. بررسی نانولوله های عامل دار شده نشان داد که این اصلاح باعث تغییر حلالیت و همچنین امکان اتصال مولکول های مختلف به آنها را فراهم می آورد. نتایج پر کردن نانولوله ها نشان می دهد که با پر کردن آنها خواص الکتریکی و مغناطیسی نانولوله ها تغییر می کند که می تواند جهت مصارف مختلف صنعتی و الکترونیکی مورد استفاده قرار گیرد. این پژوهش نشان داد که امکان پر کردن حفره نانولوله ها با مواد مختلف معدنی، زیستی و دارویی وجود دارد. آنالیز نانوکامپوزیت های پلیمری زیست تخریب پذیر افزایش حلالیت نانولوله ها را با اتصال پلیمر به آنها تأیید کرد و همچنین ساخت نانوکامپوزیت های پلیمری زیست تخریب پذیر رسانا با خواص مکانیکی جدید را به خوبی نشان داد.

فصل اول

۱

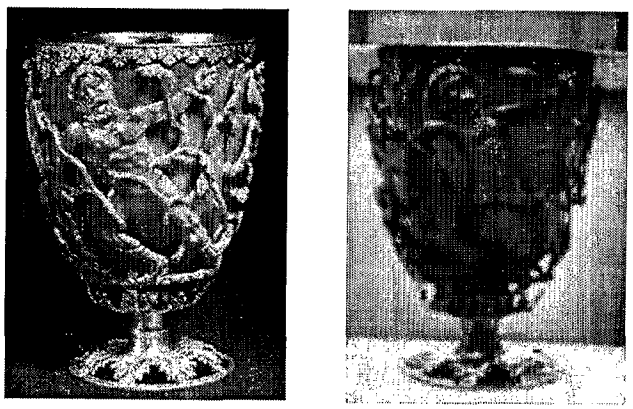
مقدمه ای بر فناوری نانو

۱-۱ مقدمه

از سی هزار سال قبل که اولین سنگ چخماق زده شد و اولین ابزار از سنگ وآهن ساخته شد تا به امروز، برای ساخت وسایل حتی ترانزیستورها و تراشه‌ها از تریلیون اتم استفاده شده و هنوز هم برای ساخت قطعات از اتم ها بصورت توده‌ای[1] استفاده می شودکه با چشم غیر مسلح نیز قابل دیدن می‌باشند. اما از زمانی که جان دالتون وجود اتمها را در سال ۱۸۰۳ به جهانیان پیشنهاد کرد، پژوهشگران در تلاش بوده اند این ذرات کوچک را تحت کنترل خود در آورند و اکنون پژوهشگران فناوری نانو توانسته‌اند با در اختیار گرفتن اتمها تحولات شگرفی را رقم بزنند.

۱-۲ تاریخچه فناوری نانو

استفاده از نانوفناوری[2] توسط انسان برخلاف تصور عمومی دارای سابقه تاریخی طولانی می‌باشد در این رابطه شواهدی مبنی بر نانوساختاری بودن رنگ آبی بکار برده شده توسط قوم مایا وجود دارد و پس از آن رومی‌ها از این مواد در ساخت جامهای با رنگ زنده استفاده کرده اند[۱] به این صورت که آنها از ذرات طلا برای رنگ آمیزی این جامها بهره می گرفتند، نمونه‌ای از این جامها برای اولین بار به نام جام لیکورگوس کشف شد که متعلق به قرن چهارم قبل از میلاد بوده و دارای ذرات نانومتری طلا و نقره است که در نورهای مختلف رنگهای متفاوتی از خود نشان می دهند.



شکل ۱-۱. جام لیکورگوس، متعلق به ۴ قرن قبل از میلاد.

1) Bulk

2) Nanotechnology

بعدها در قرون وسطی از این روش برای ساخت شیشه کلیساها استفاده گردید.

اولین گزارش علمی در این رابطه، گزارش ساخت کلوئید ذرات طلا در سال ۱۸۵۷ توسط مایکل فارادی می‌باشد. بعدها از کربن سیاه به عنوان یک ماده افزودنی برای رنگ کردن و استحکام بخشی به لاستیک استفاده شد.

تحقیقات به صورت منظم و جدی در قلمرو فناوری نانو از اواخر دهه ۱۹۴۰ آغاز شد و در دهه ۱۹۹۰ نخستین نتایج چشمگیر از رهگذر این تحقیق بدست آمد، به عنوان مثال استفاده از کاتالیست‌های با ساختار نانومتری از ۷۰ سال پیش آغاز گردید، در اوایل دهه ۱۹۴۰ ذرات نانومتری تبخیر و ته نشین شده و سیلیکات‌ها ساخته شده و در آمریکا و آلمان به عنوان جایگزینی برای ذرات ریز کربن سیاه برای مقاوم سازی لاستیک به مصرف می‌رسید.

در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ پودرهای نانومتری توسط گرانکوسیت[1] و بورمن[2] با استفاده از روش تبخیر گاز کامل تولید گردید[۲]. بزرگترین تحول در تاریخ نانوتکنولوژی، سخنرانی فیزیکدانی به نام ریچارد فاینمن[3] برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۶۵ و از فیزیکدانهای مشهور دهه ۶۰ میلادی ملقب به پدر علم نانوتکنولوژی در کنفرانس انجمن فیزیک آمریکا در سال ۱۹۵۹ است که سال ۱۹۶۰ منتشر شد. او مفهوم نانوتکنولوژی را بیان نمود که با ارائه مقاله‌ای به نام « فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» در باره دستکاری مواد در ابعاد اتمی صحبت کرد، همین جمله پایه علم نانوتکنولوژی شد و امروزه به عنوان بخشی از آیین نامه انجمن نانوتکنولوژی در آمده است. وی در آن سخنرانی این نکته را مطرح ساخت که اصول علم فیزیک چیزی جز امکان ساختن اشیاء از اتم را بیان نمی‌کند. فاینمن همچنین خطوط حکاکی شده‌ای روی یک سطح را فرض نمود که عرضی به اندازه چند اتم داشتند و تصور کرد که می‌توان این خطوط را بوسیله تابش پرتوهای الکترونی به یک ماده زیر لایه تولید نمود. این بحث پایه و اساس تراشه های سیکلوترونی امروزی است. وی پیشنهاد کرد که می‌توان اتمها را دستکاری کرد و مواد وساختارهای کوچکی تولید نمود که خواص متفاوتی دارند. وی ایده خود را از سیستم‌های بیو لوژیکی گرفت که می‌توانند بسیار کوچک ودر عین حال فعال باشند[۳].

---

1) Granqvist
2) Buherman
3) Richard Feynman

واژه نانوفناوری اولین بار توسط نوریوتانیگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبانها جاری شد؛ او این واژه را برای توصیف موادی که تلورانس ابعادی آنها در حد نانومتری باشد بکار برد. سپس در سال ۱۹۸۶ این واژه توسط اریک درکسلر دانشجوی تحصیلات تکمیلی MIT در کتابی تحت عنوان «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری نانو» باز آفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رسالهٔ دکترای خود مورد بررسی قرار داد و آن را در مقاله‌ای به نام «پروتئین راهی برای تولید انبوه مولکولی ایجاد می‌کند» و همچنین بعدها در کتابی تحت عنوان «موتورهای خلقت»[1] توسعه داد. بینگ و روهور بصورت عملی نظرات درکسلر را توسعه دادند.

بطور کلی می‌توان دوره‌های علمی تا به امروز را به صورت زیر تقسیم بندی نمود[۴ و۵].

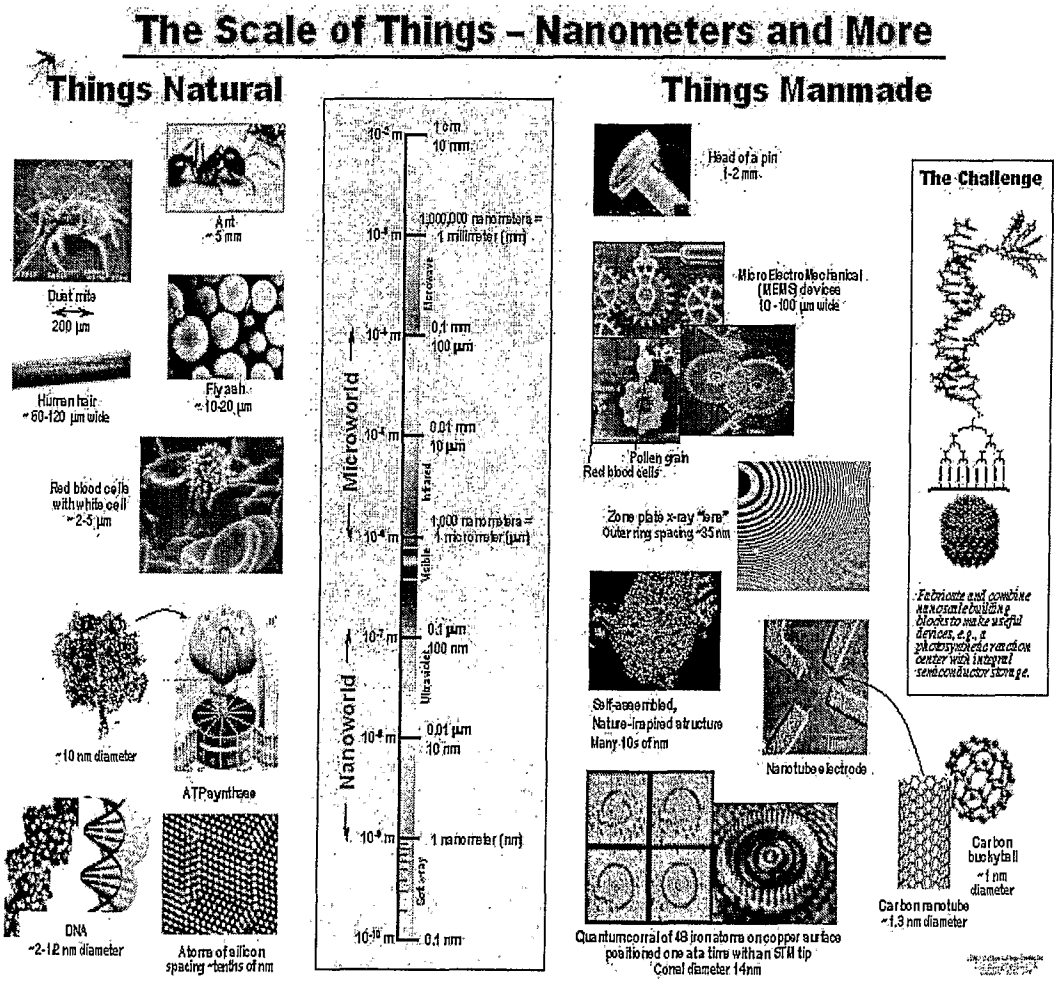
جدول ۱-۱. دوره های تاریخی علم.

نوع کشف	نام	عصر	تاریخ شروع
صنعتی	ابزارها	سنگ	۲۲۰۰۰۰۰ ق.م
صنعتی	متالوژی	برنز	۳۵۰۰ ق.م.
صنعتی	قدرت بخار	صنعتی	۱۷۶۴
اتوماسیون	تولید انبوه	مشتری	۱۹۰۶
اتوماسیون	محاسبات	اطلاعات	۱۹۴۶
پزشکی	مهندسی ژنتیک	ژنتیک	۱۹۵۳
صنعتی	نانوتکنولوژی	دوران نانو	۱۹۹۱
اتوماسیون	سازنده های مولکولی	دوران سازنده ها	؟۲۰۲۰
هر سه	سازنده های زنده	دوران حیات	؟۲۰۵۰

[1] Engine of Creation

۱-۳ نانو

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است، معادل لاتین این کلمه Dwarf است که به معنی کوتوله و قدکوتاه است و در کاربردهای علمی به معنی یک میلیاردم است یعنی یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر است. که اگر چند اتم مثلاً ۱۰ اتم هیدروژن بطور شانه به شانه در کنار یکدیگر قرار بگیرند ایجاد خواهند نمود. این مقیاس را با ذکر مثال های عینی بهتر می توان درک کرد، یک تار موی انسان بطور متوسط قطری حدود nm ۵۰۰۰۰ دارد. یک سلول باکتری قطری معادل چند صد نانومتر دارد. اجزاء سازنده یک پردازشگر پنتیوم با سرعت ۸۰۰ مگا هرتز طولی معادل با nm ۲۰۰ هستند. کوچکترین اشیاء قابل دید توسط چشم غیر مسلح اندازه ای حدود nm ۱۰۰۰۰ دارند [۶ و۵].



شکل ۱-۳. مقایسه ابعادی آنچه بصورت طبیعی وجود دارد.

۱-٤ طبقه بندی مواد نانومتری

ساختارهای مورد مطالعه در فناوری نانو را می توان با توجه به اندازه آنها به سه بخش تقسیم نمود: ۱) اتم و بلور ۲) ریز ساختارها[1] ۳) درشت ساختارها[2]

جدول ۱-۲. ابعاد بکار برده شده در نانوتکنولوژی.

حوزه کاربردی	حدود ابعاد (m)
اتم و بلور	$۱۰^{-۹}$ - $۱۰^{-۱۰}$
ریز ساختارها	$۱۰^{-۶}$
درشت ساختارها	$۱۰^{-۲}$-$۱۰^{-۳}$

مواد نانومتری انواع گوناگونی دارند و می توان به روشهای مختلف آنها را از یکدیگر تفکیک نمود، اما طبقه‌بندی بر اساس ابعاد کلی ترین نوع طبقه‌بندی بشمار می‌رود. این طبقه‌بندی بر اساس نسبت ابعاد آنها در راستای محورهای مختصات، که واحد این محورها ۲۰nm می‌باشد، طبقه بندی شوند و شامل چهار گروه زیر می‌با شند: ۱) مواد صفر بعدی[3]: در این گروه در هیچ راستایی اندازه مواد به واحد نمی‌رسد، مانند خوشه های اتمی و نقاط کوانتمی؛ ۲) مواد یک بعدی[4]: این مواد تنها در یک راستا دارای اندازه‌های بزرگتر از واحد می‌باشند، مانند نانولوله های کربنی[5] و فیبرهای نانومتری؛ ۳) مواد دو بعدی[6]: در این گروه مواد در دو راستا دارای طولی بیش از واحد هستند مانند مواد چند لایه که دارای لایه‌های با ضخامت کمتر از واحد باشند، مانند مواد معدنی فیلاسیلیکیت خاک رس؛ ۴) مواد سه بعدی[7]: در این گروه مواد در هر سه بعد دارای اندازه های بزرگتر از واحد می‌باشند، مانند مواد با فاز نانومتری [۷ و ۸].

---

1) Microstructure
2) Macrostructures
3) Zero Modulation Dimensionality
4) One Dimensionally Modulated
5) Carbon Nanotubes
6) Tow Dimansionally Modulated
7) Three Dimansionally Modulated