

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
مَنْ مَرَّ بِهَذَا  
مَرْجُلٍ فَسَلِّمْ عَلَيْهِ  
وَيُحَيِّهِ بِمَا حَيَّاهُ  
وَيُصَلِّ بِمَا صَلَّاهُ  
وَيُحَيِّهِ بِمَا حَيَّاهُ  
وَيُصَلِّ بِمَا صَلَّاهُ



دانشگاه مازندران

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد

موضوع:

ساخت و مشخصه‌یابی فیلترهای نانولوله‌ای و بررسی کارآیی آنها

اساتید راهنما:

دکتر علی اصغر حسینی

دکتر اصغر صدیق‌زاده

اساتید داور:

دکتر محمد رضا پهلوانی

دکتر سید نورالدین میرنیا

نام دانشجو:

رامین سلطانی

شهریور ۱۳۸۷

## سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر علی‌اصغر حسینی و جناب آقای دکتر اصغر صدیق‌زاده که در انجام این تحقیق و نگارش این پایان نامه همواره راهنمای من بودند تشکر و قدردانی کنم.

از تمامی دوستان و کارکنان آزمایشگاه مهندسی محیط زیست سازمان انرژی اتمی ایران متشکرم. همچنین از همکار گرامی سرکار خانم محمدی که در تمام مراحل انجام این پروژه در کنار من بودند سپاسگزارم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که تمام وجودم

سرشار از عشق به آنهاست.

## چکیده

این کار تحقیقاتی از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول، نانولوله‌های کربنی به روش رسوب-گذاری بخار شیمیایی رشد داده شدند. از گازهای آرگون، استیلن و آمونیاک بترتیب بعنوان گازهای حامل، منبع کربنی و گاز واکنش‌گر و همچنین از فلزات کبالت و نیکل که روی زیرلایه‌های سیلیکونی لایه‌ناشی شده بودند بعنوان کاتالیزور استفاده شد. برای بررسی عوامل تاثیر گذار در رشد نانولوله‌ها چهار آزمایش ترتیب داده شد که عبارتند از: (۱) بررسی تاثیر جریان آمونیاک، (۲) بررسی تاثیر نوع کاتالیزور، (۳) بررسی تاثیر ضخامت لایه کاتالیزور و (۴) بررسی تاثیر دما در رشد نانولوله‌های کربنی. نانولوله‌های سنتز شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری و طیف‌سنجی رامان مورد بررسی قرار گرفتند.

در بخش دوم کار تجربی یک روش جدید برای کاهش اندازه حفره‌های غشاءها پیرکسی ابداع شد. در این روش سعی شد تا نانولوله کربنی را در داخل حفره‌های غشاءهای پیرکسی رشد داده شوند. بدین منظور پودرهای کاتالیزوری (کبالت و نیکل)، با پودر پیرکس مخلوط شدند. به کمک یک دستگاه پرس، از مخلوط حاصل قرص‌هایی به قطر ۱cm تولید شد. با زینتر کردن این قرص‌ها غشاءهای متخلخلی ساخته شدند. سپس بمنظور رشد نانولوله‌ها، غشاءهای زینتر شده، تحت فرایند رسوب‌گذار بخار شیمیایی قرار گرفتند. نمونه‌های حاصل، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تصاویر SEM نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی روی سطح و همچنین داخل حفره‌های غشاء پیرکسی رشد کرده و موجب کاهش اندازه حفره‌های آنها شده‌اند. با بررسی عوامل مختلف (مانند در صد کاتالیزور در پودر پیرکس و دمای سنتز نانولوله)، سعی شد تا به بهترین نمونه ممکن دست یابیم. این نمونه تحت آزمون نقطه حباب قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با رشد نانولوله‌ها اندازه حفره‌ها بطور چشمگیری کاهش یافته است. همچنین میزان کارایی غشاء حاصل در فیلتراسیون ذرات ۵۰۰ میکرونی بررسی شد. نتایج نشان می‌داد کارایی این غشاء از حدود ۶۷٪ (قبل از رشد نانولوله‌ها) به ۱۰۰٪ (پس از رشد نانولوله‌ها) افزایش پیدا کرده است.

## واژه‌های کلیدی

نانولوله کربنی، رسوب‌گذاری بخار شیمیایی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری، طیف‌سنجی رامان، غشاء پیرکسی، آزمون نقطه حباب.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه‌ای بر فناوری نانو
۱	۱-۱ تعریف فناوری نانو
۲	۲-۱ اهمیت نانومقیاس
۳	۳-۱ تاریخچه فناوری نانو
۵	۴-۱ نانومواد
۵	۱-۴-۱ تعریف نانومواد
۶	۲-۴-۱ روشهای ساخت نانومواد
۷	۳-۴-۱ برخی از نانومواد
۷	۱-۳-۴-۱ نانوذرات
۹	۲-۳-۴-۱ نانوبلورها
۹	۳-۳-۴-۱ نانوالیاف
۱۰	۴-۳-۴-۱ نانوسیم‌ها
۱۱	۵-۳-۴-۱ نانوکپسول‌ها
۱۱	۶-۳-۴-۱ فولرین‌ها
۱۲	۷-۳-۴-۱ نانولوله‌ها
۱۳	۵-۱ کاربردهای فناوری نانو
۱۳	۱-۵-۱ پزشکی
۱۴	۲-۵-۱ محیط زیست
۱۶	۳-۵-۱ هوا فضا
۱۶	۴-۵-۱ خودروسازی

۱۷	۵-۵-۱ سایر کاربردها
۲۱	۶-۱ خطرات فناوری نانو
	فصل دوم: نانولوله‌های کربنی
۲۳	۱-۲ کربن
۲۴	۲-۲ ساختارهای تجمعی کربن
۲۴	۱-۲-۲ کربن آمورف
۲۵	۲-۲-۲ الماس
۲۵	۳-۲-۲ گرافیت
۲۸	۴-۲-۲ فولرین
۳۰	۳-۲ نانولوله‌های کربنی
۳۰	۱-۳-۲ تاریخچه نانولوله‌های کربنی
۳۱	۲-۳-۲ انواع نانولوله‌های کربنی
۳۴	۴-۲ ویژگی‌های نانولوله‌های کربنی
۳۴	۱-۴-۲ خصوصیات مکانیکی
۳۵	۲-۴-۲ خواص الکترونی
۳۶	۳-۴-۲ خصوصیات گرمایی
۳۷	۴-۴-۲ خصوصیات اپتیکی
۳۷	۵-۴-۲ خصوصیات مغناطیسی
۳۷	۶-۴-۲ خصوصیات شیمیایی
۳۸	۵-۲ روش‌های تولید نانولوله‌های کربنی
۳۸	۱-۵-۲ تخلیه قوس الکتریکی
۳۹	۲-۵-۲ روش تبخیر با لیزر (تبخیر لیزری)
۴۱	۳-۵-۲ رسوب گذاری بخار شیمیایی

۴۱	۲-۵-۳-۱ آماده سازی کاتالیزور
۴۲	۲-۵-۳-۲ تکنیکهای مختلف رشد نانولوله‌ها به روش CVD
۴۲	۲-۵-۳-۱ رسوب گذاری بخار شیمیایی حرارتی
۴۳	۲-۵-۳-۲ رشد فاز بخار
۴۴	۲-۵-۳-۳ رسوب گذاری بخار شیمیایی بهبود یافته توسط پلاسما (PECVD)
۴۵	۲-۵-۳-۴ رسوب گذاری بخار شیمیایی کاتالست الکلی (ACCVD)
۴۶	۲-۵-۴ فرایند تسهیم نامتناسب منوکسید کربن در فشار بالا (HiPCO)
۴۷	۲-۵-۵ رشد نانولوله‌ها با استفاده از شعله (سنتز شعله)
۴۷	۲-۵-۶ روش آسیاب کردن گلوله‌ای
۴۸	۲-۶ مکانیزم رشد نانولوله‌های کربنی در روش TCVD
۵۰	۲-۷ کاربردهای نانولوله‌های کربنی
۵۰	۲-۷-۱ الکترونیک
۵۱	۲-۷-۲ انرژی
۵۲	۲-۷-۳ پزشکی
۵۲	۲-۷-۴ سایر کاربردها
	فصل سوم: مقدمه‌ای بر فیلتراسیون
۵۴	۳-۱ فیلتراسیون
۵۵	۳-۲ تعریف فیلتر
۵۵	۳-۳ مکانیزم‌های فیلتراسیون
۵۶	۳-۳-۱ پالایش سطحی
۵۶	۳-۳-۲ پالایش عمقی
۵۷	۳-۳-۳ فیلتراسیون عمقی
۵۷	۳-۳-۴ فیلتراسیون کیک



۵۸	۴-۳ مکانیزم‌های گیراندازی ذرات
۵۹	۱-۴-۳ تصادم اینرسی
۵۹	۲-۴-۳ برخورد مستقیم
۶۰	۳-۴-۳ انتشار
۶۱	۴-۴-۳ تهنشینی
۶۱	۵-۴-۳ جاذبه الکتروستاتیکی
۶۲	۵-۳ ارزیابی یک فیلتر
۶۲	۱-۵-۳ کارایی فیلتر
۶۳	۲-۵-۳ افت فشار
۶۳	۳-۵-۳ نفوذ پذیری
۶۴	۴-۵-۳ ابعاد حفره‌ها
۶۶	۵-۵-۳ عمر فیلتر
۶۶	۶-۳ فیلتراسیون غشایی
۶۶	۱-۶-۳ تعریف غشاء
۶۷	۲-۶-۳ تکامل تاریخی غشاءها
۶۹	۳-۶-۳ طبقه‌بندی غشاءها
۶۹	۱-۳-۶-۳ طبقه‌بندی بر مبنای طبیعت غشاء
۶۹	۲-۳-۶-۳ طبقه‌بندی بر مبنای ریخت‌شناسی غشاء
۷۳	۴-۶-۳ روشهای عملیاتی فیلتراسیون غشایی
۷۵	۵-۶-۳ فرایندهای غشایی
۸۲	۶-۶-۳ غشاءهای پیرکسی
۸۴	۷-۳ استفاده از نانولوله‌های کربنی در فیلتراسیون

فصل چهارم: سنتز نانولوله‌های کربنی به روش رسوب‌گذاری بخار شیمیایی حرارتی

۸۷	۱-۴ مقدمه
۸۷	۲-۴ تجهیزات و مواد اولیه
۸۸	۱-۲-۴ زیرلایه سیلیکونی
۸۹	۲-۲-۴ سیستم اکسیداسیون زیرلایه
۹۰	۳-۲-۴ کاتالیزورهای کبالت و نیکل
۹۱	۴-۲-۴ دستگاه لایه‌نشانی
۹۱	۵-۲-۴ گازهای آرگون استیلن و آمونیاک
۹۱	۶-۲-۴ دستگاه CVD
۹۳	۷-۲-۴ دستگاه آنالیز SEM
۹۳	۲-۴-۲ دستگاه آنالیز TEM
۹۴	۹-۲-۴ طیف‌نگاری رامان
۹۵	۳-۴ انجام آزمایشات
۹۵	۱-۳-۴ آماده‌سازی زیرلایه ولایه‌نشانی کاتالیزور
۹۵	۱-۱-۳-۴ تمیز کردن زیرلایه
۹۵	۲-۱-۳-۴ اکسیداسیون زیرلایه
۹۶	۳-۱-۳-۴ لایه‌نشانی کاتالیزور
۹۶	۲-۳-۴ سنتز نانولوله‌ها
۹۶	۱-۲-۳-۴ بررسی تاثیر آمونیاک
۱۰۲	۲-۲-۳-۴ بررسی تاثیر نوع کاتالیزور
۱۰۶	۳-۲-۳-۴ بررسی تاثیر ضخامت لایه کاتالیزور
۱۱۰	۱-۲-۳-۴ بررسی تاثیر دما بر رشد نانولوله‌ها

فصل پنجم: افزایش کارایی غشاءهای پیرکسی با کمک نانولوله‌های کربنی

۱۱۵	۱-۵ مقدمه
-----	-----------

۱۱۶	۲-۵ دستگاه‌ها و مواد مورد نیاز
۱۱۷	۳-۵ مراحل تجربی ساخت غشاءها
۱۱۸	۱-۳-۵ آزمایش شماره ۱: بررسی امکان رشد نانولوله‌های کربنی داخل حفره‌های غشاء متخلخل پیرکسی
۱۲۱	۲-۳-۵ آزمایش شماره دو: بررسی تاثیر مقدار کاتالیزور در غشاء تولید شده
۱۲۴	۳-۳-۵ آزمایش شماره ۳: اعمال نتایج دو آزمایش قبل در بهینه کردن کیفیت غشاء تهیه شده
۱۳۲	۴-۳-۵ آزمون نقطه جاب
۱۳۳	۵-۳-۵ آزمون کارایی
۱۳۴	۴-۵-۵ نتیجه گیری و پیشنهاد
۱۳۶	منابع و مراجع

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱ اتمهای زنون توسط STM روی زیرلایه نیکلی قرار داده شده‌اند
۲۵	شکل ۱-۲ ساختار کریستالی الماس
۲۶	شکل ۲-۲ ساختار بلوری گرافیت
۲۷	شکل ۳-۲ نحوه قرار گرفتن صفحات گرافیت روی یکدیگر. سمت راست: نوع آلفا. سمت چپ: نوع بتا
۲۸	شکل ۴-۲ طیف جرمی زمان پرواز خوشه‌های کربن تولیدی توسط تبخیر گرافیت با لیزر
۲۹	شکل ۵-۲ فولرینهای $C_{60}$ ، $C_{70}$ ، $C_{76}$ ، $C_{78}$
۳۱	شکل ۶-۲ مدل‌هایی از نانولوله‌های کربنی تک جداره
۳۳	شکل ۷-۲ شبکه گرافن با بردارهای پایه $a_1$ و $a_2$ .
۳۴	شکل ۸-۲ (الف، ب) و (ج) تصاویر TEM از نانولوله‌های کربنی چند جداره. (د) تصاویر شماتیک از نانولوله‌های چند جداره
۳۶	شکل ۹-۲ SWNT های فلزی و نیمه رسانا با گاف نواری کوچک توسط دوایر پر و SWNT های نیمه رسانا با گاف نواری بزرگ توسط دایره‌های توخالی نشان داده شده‌اند
۳۹	شکل ۱۰-۲ طرح شماتیک دستگاه تخلیه قوس
۴۰	شکل ۱۱-۲ طرح شماتیک دستگاه سایش با لیزر
۴۳	شکل ۱۲-۲ تصویر شماتیک دستگاه مورد استفاده در روش رسوب گذاری بخار شیمیایی حرارتی
۴۳	شکل ۱۳-۲ طرح شماتیک دستگاه رشد از فاز بخار
۴۴	شکل ۱۴-۲ طرح شماتیک دستگاه PECVD
۴۵	شکل ۱۵-۲ طرحی از دستگاه ACCVD
۴۹	شکل ۱۶-۲ مکانیزم رشد نانولوله کربنی در روش CVD
۵۶	شکل ۱-۳ شماتیک پالایش سطحی
۵۶	شکل ۲-۳ شماتیک پالایش عمقی

- شکل ۳-۳ شماتیک فیلتراسیون عمقی ۵۷
- شکل ۳-۴ فرایند فیلتراسیون کیک ۵۸
- شکل ۳-۵ مکانیزم تصادم اینرسی ۵۹
- شکل ۳-۶ مکانیزم برخورد مستقیم ۶۰
- شکل ۳-۷ مکانیزم انتشار ۶۰
- شکل ۳-۸ فرایند تهنشینی ۶۱
- شکل ۳-۹ فرایند جاذبه الکتروستاتیکی (الیاف و ذره دارای بار مخالف هستند) ۶۲
- شکل ۳-۱۰ دستگاه آزمون نقطه حباب (شکل چپ) و بزرگنمایی قسمت نگهدارنده فیلتر (شکل راست) ۶۵
- شکل ۳-۱۱ شماتیک یک غشاء متخلخل ۷۰
- شکل ۳-۱۲ شماتیک یک غشاء غیر متخلخل ۷۰
- شکل ۳-۱۳ شماتیک یک غشاء حامل ۷۱
- شکل ۳-۱۴ الف) یک غشاء متقارن ب) یک غشاء نامتقارن ۷۲
- شکل ۳-۱۵ روش فیلتراسیون انتهای بسته ۷۳
- شکل ۳-۱۶ روش شار عرضی ۷۴
- شکل ۳-۱۷ نمودار نحوه تغییر ضخامت کیک فیلتر و شارش سیال بر حسب زمان، برای روش فیلتراسیون انتهای بسته (شکل چپ) و روش شار عرضی (شکل راست) ۷۴
- شکل ۳-۱۸ طرح شماتیک یک فرایند غشایی ۷۵
- شکل ۳-۱۹ طرح شماتیک فرایند تبخیر نفوذی ۷۸
- شکل ۳-۲۰ الف) غشاء مایع امولسیون ب) غشاء مایع ساکن ۸۰
- شکل ۳-۲۱ شماتیک فرایند الکترودیالیز ۸۱
- شکل ۳-۲۲ طرح شماتیک فرایند جداسازی گازها ۸۲
- شکل ۳-۲۳ طرح شماتیک اتصال ذرات به یکدیگر در فرایند زینترینگ ۸۳
- شکل ۳-۲۴ تصویر SEM یک غشاء پیرکسی تولید شده با روش زینترینگ ۸۴

- شکل ۳-۲۵ غشاء پلی ایمید سیلوکسان که ۱۰٪ نانولوله کربنی  
 ۸۴
- شکل ۳-۲۶ الف) شماتیک دستگاه CVD استفاده شده توسط اسریواستاوا برای تولید فیلتر نانولوله ای ب) عکس فیلتر تولید شده  
 ۸۵ ج) تصویر SEM از نانولوله های همراستا که جداره های فیلتر را تشکیل داده اند
- شکل ۳-۲۷ الف) تصویر SEM فیلتر الیافی فلزی ب) تصویر SEM همان فیلتر بعد از رشد نانولوله های کربنی  
 ۸۶
- شکل ۴-۱ سیستم اکسیداسیون زیر لایه  
 ۹۰
- شکل ۴-۲ دستگاه CVD به همراه طرح شماتیک آن  
 ۹۲
- شکل ۴-۳ دستگاه SEM مدل XL30 ساخت شرکت فیلیپس  
 ۹۳
- شکل ۴-۴ دستگاه TEM مدل EM208S ساخت شرکت فیلیپس  
 ۹۴
- شکل ۴-۵ تصاویر SEM نمونه A (NH<sub>3</sub>= 0sccm)  
 ۹۷
- شکل ۴-۶ تصاویر SEM نمونه B (NH<sub>3</sub>= 30sccm)  
 ۹۸
- شکل ۴-۷ تصاویر SEM نمونه C (NH<sub>3</sub>= 80 sccm)  
 ۹۸
- شکل ۴-۸ طیف رامان نمونه C (NH<sub>3</sub>= 80 sccm)  
 ۱۰۰
- شکل ۴-۹ تصاویر TEM نمونه C (NH<sub>3</sub>= 80 sccm)  
 ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰ تصاویر SEM نمونه D (کاتالیزور کبالت)  
 ۱۰۳
- شکل ۴-۱۱ تصاویر SEM از کلنی دیده شده در نمونه D  
 ۱۰۳
- شکل ۴-۱۲ تصاویر SEM نمونه E (کاتالیزور نیکل)  
 ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳ تصاویر TEM نمونه E (کاتالیزور نیکل)  
 ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴ طیف رامان نمونه D (کبالت) سمت راست و نمونه E (نیکل) سمت چپ  
 ۱۰۶
- شکل ۴-۱۵ تصاویر SEM نمونه F  
 ۱۰۷
- شکل ۴-۱۶ تصاویر SEM نمونه G  
 ۱۰۸
- شکل ۴-۱۷ تصاویر SEM نمونه H  
 ۱۰۸
- شکل ۴-۱۸ طیف رامان نمونه F  
 ۱۰۹
- شکل ۴-۱۹ طیف رامان نمونه G  
 ۱۰۹

- ۱۱۰ شکل ۴-۲۰ طیف رامان نمونه H
- ۱۱۱ شکل ۴-۲۱ تصاویر SEM نمونه I (۵۸۰°C)
- ۱۱۲ شکل ۴-۲۲ تصاویر SEM نمونه J (۶۵۰°C)
- ۱۱۳ شکل ۴-۲۳ تصاویر SEM نمونه K (۷۵۰°C)
- ۱۱۳ شکل ۴-۲۴ تصاویر SEM نمونه L (۸۵۰°C)
- ۱۱۴ شکل ۴-۲۵ طیف رامان نمونه‌های الف (I، ب (J، ج (K و د) L
- ۱۱۶ شکل ۵-۱ پرس ۱۲ تنی
- ۱۱۷ شکل ۵-۲ کوره ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد
- ۱۱۹ شکل ۵-۳ نمودار تغییر دما بر حسب زمان در مرحله زینتر کردن قرص
- شکل ۵-۴ تصاویر SEM نمونه آزمایش شماره یک- تصویر الف سطح غشاء را نشان می‌دهد، سایر تصاویر از روزنه‌های این غشاء گرفته شده است.
- ۱۲۰
- ۱۲۲ شکل ۵-۵ نمودار تغییر دما بر حسب زمان در مرحله زینتر کردن قرص‌ها
- ۱۲۳ شکل ۵-۶ تصاویر SEM نمونه ۱
- ۱۲۳ شکل ۵-۷ تصاویر SEM نمونه ۲
- ۱۲۳ شکل ۵-۸ تصاویر SEM نمونه ۳
- ۱۲۴ شکل ۵-۹ تصاویر SEM نمونه ۴
- ۱۲۷ شکل ۵-۱۰ تصاویر SEM نمونه‌ها قبل از فرایند CVD الف) نمونه ۱ ب) نمونه ۲ ج) نمونه ۳ د) نمونه ۴
- ۱۲۸ شکل ۵-۱۱ تصاویر SEM نمونه ۱ پس از فرایند CVD
- ۱۲۹ شکل ۵-۱۲ تصاویر SEM نمونه ۲ پس از رشد نانولوله‌ها
- ۱۳۰ شکل ۵-۱۳ تصاویر SEM نمونه ۳ پس از رشد نانولوله‌ها
- ۱۳۱ شکل ۵-۱۴ تصاویر SEM نمونه ۴ پس از رشد نانولوله‌ها
- ۱۳۲ شکل ۵-۱۵ سیستم آزمون نقطه حباب
- ۱۳۳ شکل ۵-۱۶ سیستم تست کارایی غشاء

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹۱	جدول ۱-۴ برخی از مشخصات کاتالیزورها
۹۶	جدول ۲-۴ مدت زمان عبور بخار آب و مقدار ضخامت لایه اکسیدی تشکیل شده برای نمونه‌های مختلف
۹۶	جدول ۳-۴ نوع کاتالیزور و ضخامت آنها برای نمونه‌های مختلف
۹۷	جدول ۴-۴ مقدار جریان آمونیاک برای نمونه‌های مختلف
۱۱۱	جدول ۵-۴ دمای سنتز برای بار نمونه‌های مختلف
۱۲۱	جدول ۱-۵ در صد کبالت در نمونه‌های مختلف
۱۲۵	جدول ۲-۵ در صد کبالت در نمونه‌های مختلف
۱۳۳	جدول ۳-۵ اندازه بزرگترین حفره برای نمونه ۴ قبل و بعد از رشد نانولوله‌ها
۱۳۴	جدول ۴-۵ کارایی غشاء شماره ۴ قبل و بعد از رشد نانولوله‌ها



## لیست علائم و اختصارات

A	آنگستروم (Angstrom)
ACCVD	رسوب‌گذاری شیمیایی کاتالیست الکلی (Alcohol catalytic chemical vapour deposition)
CVD	رسوب‌گذاری بخار شیمیایی (Chemical vapour deposition)
ELM	غشاء مایع امولسیون (Emulsion Liquid Membrane)
Gpa	گیگا پاسکال (Giga pascal)
h	ساعت (hour)
ILM	غشاء مایع ساکن (Immobilized Liquid Membrane)
KJ	کیلو ژول (Kilo Joule)
Kcal	کیلو کالری (Kilocalorie)
m	متر (meter)
min	دقیقه (minute)
mm	میلیمتر (millimeter)
MWCNT	نانولوله‌های کربنی چند جداره (Multi walled carbon nanotube)
nm	نانومتر (nanometer)
PECVD	رسوب‌گذاری بخار شیمیایی بهبود یافته توسط پلاسما (Plasma enhanced chemical vapour deposition)
ppm	قیمت در میلیون قسمت (parts per million)
SEM	میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscope)
SWCNT	نانولوله‌های کربنی تک جداره (Single walled carbon nanotube)
STM	میکروسکوپ روبشی تونلی (Scanning Tunneling Microscopy)
TCVD	رسوب‌گذاری بخار شیمیایی حرارتی (Thermal chemical vapour deposition)

TEM

ميكروسكوب الكتروني عبور (Transmission Electron Microscope)

VLS

بخار-مايع-جامد (Vapour-Liquid-Solid)

$\mu m$

ميكرومتر (micrometer)

## فصل اول: مقدمه‌ای بر فناوری نانو

### ۱-۱ تعریف فناوری نانو<sup>۱</sup>

نانو<sup>۲</sup> یک کلمه یونانی به معنی کوتوله و کوچک می‌باشد. در اصطلاحات علمی برای بیان یک بیلیونیم یا  $10^{-9}$  یک کمیت، از پیشوند نانو استفاده می‌شود. بنابراین یک نانومتر، یک بیلیونیم متر می‌باشد ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) [۱]. برای اینکه درک شهودی از این کمیت داشته باشیم، می‌توان گفت که قطر موی انسان و گلبول قرمز بترتیب  $80000$  و  $7000$  نانومتر می‌باشند.

فناوری نانو عبارت است از تحقیق و توسعه فناوریهای مختلف در مقیاس اتمی و مولکولی. اگر بخواهیم یک تعریف کمی از فناوری نانو داشته باشیم، می‌توان گفت که به مطالعه و کنترل و بکارگیری پدیده‌ها و مواد در محدوده  $1$  تا  $100$  نانومتر علم نانو گفته می‌شود و به کاربرد علم نانو در فناوریهای مختلف، فناوری نانو اطلاق می‌گردد. از این تعریف کاملاً واضح است که دانش و فناوری نانو یک رشته و شاخه جدیدی از علم نمی‌باشد بلکه نگرشی نوین در تمامی رشته هاست.

---

<sup>۱</sup> Nanotechnology

<sup>۲</sup> Nano

فناوری نانو از دو جهت می‌تواند به بشر خدمت کند:

۱. با تولید ابزار، وسایل و سیستم‌های بسیار کوچک (مانند نانوروباتها<sup>۱</sup> و ترانزیستورهای مولکولی)

۲. با دستکاری اتم به اتم و مولکول به مولکول مواد و ساختارهای موجود، به منظور بهبود کیفیت آنها

و یا تغییر خواصشان

## ۲-۱ اهمیت نانومقیاس

همانطور که گفته شد دامنه کارایی فناوری نانو از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. این مقیاس مرز بین دنیای مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی است. افراد به نانومقیاس علاقمندند زیرا خصوصیات مواد در این ابعاد با خصوصیاتشان در اندازه‌های بزرگتر، کاملاً متفاوت است.

خصوصیات مواد در مقیاس نانو به دو دلیل با خواصشان در ابعاد بزرگتر متفاوت است: اول اینکه هنگامی که اندازه ذرات کاهش یابد، نسبت اتمهای موجود در سطح ذره به کل اتمهای موجود در آن افزایش می‌یابد. برای مثال در یک ذره ۳۰ نانومتری ۵٪ اتمها در سطح ذره قرار دارند در حالیکه این کمیت برای ذراتی با اندازه های ۱۰ و ۳ نانومتر بترتیب ۲۰٪ و ۵۰٪ می‌باشد. بنابراین نانوذرات دارای مساحت سطح<sup>۲</sup> بزرگتری به ازای واحد جرم می‌باشند. این امر سبب می‌شود تا مواد بسیار واکنش پذیرتر شوند (بعضی از موادی که در حالت طبیعی خنثی هستند، هنگامیکه در اندازه‌های نانو ساخته شوند، واکنش پذیر می‌گردند). دومین دلیل تغییر خصوصیات مواد در ابعاد نانو این است که اثرات کوانتومی در این ابعاد شروع به حکمفرما شدن می‌کنند که می‌تواند روی رفتار نوری، الکتریکی و مغناطیسی مواد تاثیر بگذارد.

---

<sup>۱</sup> Nanorobots

<sup>۲</sup> Surface area