بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل ارتعاش و کمانش نانو صفحات مثلثی ارتوتروپیک بر اساس تئوری الاستیسیته غیر محلی و با استفاده از روش گالرکین

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی

سید حسین شهیدی

استاد راهنما

دکتر سید علیرضا شهیدی

۱۳۹۰

تشکر و قدردانی

سپاس خدا را به اندازه همه سپاسی که نزدیک ترین فرشتگان و گرامی ترین بندگان و پسندیده ترین ستایش کنندگان او را ستایش کرده اند، سپاسی که بر سپاس های دیگر برتری داشته باشد مانند برتری پروردگار نسبت به آفریدگان خود. هم او که حکمت بیکرانش هدایت لحظه به لحظه انسان را در تقدیرش نوشت و صالحان و نیک اندیشان را راهنمایش ساخت. پس به شکرانه اش وظیفه دارم، که زبان گشایم به تقدیر.

بر خود لازم می دانم از خانواده پر مهرم که رسیدن به این لحظه بدون حضور و همراهیشان ممکن نبود تشکر کنم. پدری که همه هستی ام از اوست و در نبودش همیشه هست، مادر عزیزی که همواره پناهم است، همسری فداکار، خواهران مهربان، برادران عزیزتر از جان و خواهرزاده عزیزم، فرزانه که همدلی هایشان در خاطرم جاودانه خواهد ماند.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر سید علیرضا شهیدی به خاطر راهنمایی های ارزنده و ایجاد شوق و انگیزه در تحقیق و یافتن راهکارهای جدید کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای پروفسور سعید ضیائی راد استاد مشاور پایان نامه صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید گرامی آقایان دکتر حسن نحوی و دکتر حسن موسوی که داوری این پایان نامه را به عهده داشتند به واسطه باز خوانی پایان نامه تشکر می نمایم. از جناب آقای دکتر محمد رضا سلیم پور سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده مکانیک نیز بابت زحماتشان در طول دوره تشکر و قدردانی می نمایم.

از تمامی دوستان خوبم که با دلگرمی و صمیمیت برایم خاطره آفرین بودند بی نهایت سپاسگزارم.

سید حسین شهیدی اسفند ماه ۱۳۹۰

کلیه‌حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و

به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و

همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

و

خواهر، برادر و خواهرزاده ام، که وجودشان شادی بخش و مایه آرامش من است

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- تاریخچه نانو ۲
۱-۱-۱- تعریف علم نانو ۳
۱-۱-۲- نانو به عنوان علمی یک رشته یا چند رشته‌ای ۳
۱-۲- اهداف فناوری نانو ۷
۱-۳- کربن ۷
۱-۳-۱- کاربرد های کربن ۸
۱-۳-۲-آلوتروپهای کربن ۸
۱-۳-۲-الف- گرافین ۸
۱-۳-۲-ب- گرافیت و کاربردهای آن ۱۱
۱-۳-۲-ج- الماس و کاربردهای آن ۱۲
۱-۳-۲-د- فولرن ۱۲
۱-۳-۲-هـ- نانو لوله‌های کربنی ۱۵
۱-۴- نانو تکنولوژی ۱۷
۱-۵- میکروسکوپ‌های پرکاربرد در نانو ۱۹
۱-۵-۱- میکروسکوپ نیروی اتمی ۱۹
۱-۵-۲- میکروسکوپ تونلی رویشی ۲۰
۱-۵-۳- میکروسکوپ کاوشی رویشی ۲۲
۱-۶- ساختارهای نانو ۲۲
۱-۶-۱- مواد نانوی یک بعدی ۲۲
۱-۶-۲- مواد نانوی دوبعدی ۲۳
۱-۶-۳- مواد نانوی سه بعدی ۲۴
۱-۷-کاربردهای فناوری نانو در میان مدت ۲۵
۱-۸- کاربردهای بلند مدت فناوری نانو ۲۷
۱-۹- کاربردهای پزشکی فناوری نانو ۲۸
۱-۱۰- نانو صفحات مثلثی نقره‌ای ۳۱
۱-۱۱- نانو صفحات مثلثی گرافینی ۳۴

۱-۱۲- تاریخچه زمانی و مروری بر کارهای انجام شده ۳۵
۱-۱۳- اهداف ۳۷
۱-۱۴- محتوای فصول ۳۷

فصل دوم: معرفی تئوری الاستیسیته غیر محلی و روش گالرکین

۲-۱- مدل مادی الاستیک غیر محلی ۳۹
۲-۲- روش گالرکین ۴۴
۲-۳- تعریف هندسه مسئله ۴۸

فصل سوم: کمانش و ارتعاش نانو صفحه مثلثی

۳-۱- مقدمه ۵۲
۳-۲- کمانش نانو صفحه مثلثی و معادلات حاکم بر آن ۵۳
۳-۲-۱ روابط تنش و کرنش بر اساس تئوری الاستیسیته غیر محلی در حالت ایزوتروپیک ۵۳
۳-۲-۲ تئوری کلاسیک صفحات ۵۴
۳-۲-۳ روابط تنش و کرنش بر اساس تئوری الاستیسیته غیر محلی در حالت ارتوتروپیک ۵۶
۳-۳- معادله دیفرانسیل نانوصفحه مثلثی با استفاده از تئوری کلاسیک صفحات ۵۷
۳-۴ حل با استفاده از روش گالرکین ۵۸
۳-۵- ارتعاش نانو صفحه مثلثی و معادلات حاکم بر آن ۶۱

فصل چهارم: تحلیل نتایج

۴-۱- مقدمه ۶۳
۴-۲- نتایج ارتعاشات نانو صفحه مثلثی براساس تئوری الاستیسیته غیر محلی ۶۴
۴-۳- نتایج حاصل ازکمانش نانو صفحه مثلثی براساس تئوری الاستیسیته غیر محلی ۷۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه ۸۹
۵-۲- نتیجه گیری ۹۰
۵-۳- پیشنهادات ۹۱
مراجع ۹۲
چکیده انگلیسی ۹۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- جام لیکورگوس منقوش به تصویر مرگ پادشاه لیکورگوس..... ۳

شکل۱-۲- فاینمن در حال مشاهده اولین موتور الکتریکی کوچک‌تر از اینچ..... ۵

شکل ۱-۳ - شبکه‌ای از شش ضلعی‌های منتظم صفحه گرافین..... ۹

شکل ۱-۴- نمونه‌ای از یک صفحه گرافیت..... ۱۱

شکل ۱-۵- نمونه‌ای از ساختار سه بعدی الماس..... ۱۲

شکل ۱-۶- معروفترین فولرن شبیه توپ فوتبال که متشکل از ۲۰ شش ضلعی و۱۲ پنج ضلعی است..... ۱۳

شکل۱-۷- نمونه‌ای از شکل‌گیری نانولوله‌های کربنی از صفحات گرافین..... ۱۵

شکل ۱-۸ - نمونه‌ای از یک نانو لوله تک جداره وچند جداره..... ۱۶

شکل ۱-۹- نمای شماتیک یک میکروسکوپ نیروی اتمی..... ۲۰

شکل ۱-۱۰- نمای شماتیک یک میکروسکوپ تونلی رویشی..... ۲۱

شکل ۱-۱۱- نمای شماتیک یک میکروسکوپ کاوشی..... ۲۲

شکل ۱-۱۲- نمونه‌ای از یک نانو سیم..... ۲۳

شکل ۱-۱۳- نمونه یک نانو سنسور که برای تشخیص سریع سرطان بکار می‌رود..... ۲۹

شکل ۱-۱۴- نمونه یک نانو ربات در حال شناسایی بخش‌های آسیب‌دیده بدن..... ۳۰

شکل ۱-۱۵- نمونه‌ای از عکس‌های افزایش طول نانو صفحات مثلثی در محلول آبی $AgNO_3$ برای دوره‌های زمانی متفاوت الف) ۰ ساعت ب)۱ ساعت ج) ۴ ساعت د)۲۴ ساعت..... ۳۳

شکل ۱-۱۶- الف) نانو صفحه مثلثی تشکیل شده از خوشه‌های سه جزئی ب) هشت وجهی و بیست وجهی تشکیل شده ناشی از تشکیل هسته اتمهای نقره..... ۳۴

شکل ۲-۱- الف) نتایج حاصل از روش تحلیلی ب) نتایج حاصل از روش گالرکین..... ۴۷

شکل۲-۲- تعریف مختصات مساحتی برای مثلث..... ۴۸

شکل ۲-۳- نگاشت صفحه سه‌گوش در مختصات مساحتی..... ۴۹

شکل ۳-۱- نمونه گسسته یک نانو صفحه مثلثی..... ۵۵

شکل ۳-۲- نمونه پیوسته صفحه مثلثی تحت بار یکنواخت داخل صفحه در امتداد لبه‌ها..... ۵۵

شکل۴- ۱- فرکانس طبیعی سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول قاعده ۵ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۶۹

شکل۴- ۲- فرکانس طبیعی سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول قاعده ۱۵ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۶۹

شکل۴- ۳- فرکانس طبیعی سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول قاعده ۳۰ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۷۰

شکل۴- ۴- فرکانس طبیعی دوم سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول ۵ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۷۱

شکل۴- ۵ - فرکانس طبیعی دوم سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول ۱۵ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۷۲

شکل۴- ۶ - فرکانس طبیعی دوم سیستم برحسب پارامتر غیر محلی برای طول۳۰ نانومتر و شش شرط مرزی..... ۷۲

شکل۴-۷- مقایسه بین چهار فرکانس طبیعی اول سیستم نسبت به اثر مقیاس در حالتی که سه طرف صفحه روی تکیه گاه گیردار باشد ۷۳
شکل۴- ۸- بررسی درصد اختلاف برحسب پارامتر اثر مقیاس برای دو فرکانس اول سیستم ۷۴
شکل۴- ۹- بررسی تاثیر خواص ماده بر روی فرکانس‌های ارتعاشی ۷۵
شکل۴- ۱۰- بار کمانشی نانو صفحه مثلثی برحسب مقادیر متفاوتی از اندازه قاعده برای شرایط مرزی ساده ۸۰
شکل۴- ۱۱- بار کمانشی نانو صفحه مثلثی برحسب مقادیر متفاوتی از ضرایب منظر برای شرایط مرزی ساده ۸۱
شکل۴- ۱۲- بار کمانشی نانو صفحه مثلثی برای چهار مود اول برحسب مقادیر متفاوتی از پارامتر غیر محلی با شرایط مرزی ساده .. ۸۲
شکل۴- ۱۳- بررسی تاثیر خواص ماده بر روی بار کمانشی با تکیه‌گاه مفصلی ۸۳
شکل۴- ۱۴- بررسی درصد اختلاف برحسب پارامتر اثر مقیاس برای مود اول‌کمانشی بر حسب چهار شرط مرزی ۸۴
شکل۴- ۱۵- بررسی درصد اختلاف برحسب پارامتر اثر مقیاس برای مود دوم کمانشی بر حسب چهار شرط مرزی ۸۴
شکل۴- ۱۶- بررسی درصد اختلاف برحسب پارامتر اثر مقیاس برای مقادیر متفاوتی از قاعده نانو صفحه مثلثی ۸۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱–۱- تحول نانو فناوری از زمان پیدایش ۶

جدول۱-۲- برخی از خواص فیزیکی $C60$ و $C70$ ۱۴

جدول ۴-۱- مقایسه فرکانس طبیعی بی بعد برای صفحه معمولی قائم الزاویه با خواص ایزوتروپیک ۶۵

جدول ۴-۲- فرکانس‌های طبیعی اول تا سوم برای صفحه معمولی قائم الزاویه با خواص ایزوتروپیک ۶۶

جدول ۴-۳- مقایسه فرکانس طبیعی بی بعد برای صفحه معمولی متساوی الاضلاع با خواص ایزوتروپیک ۶۷

جدول ۴-۴- فرکانس‌های طبیعی بی‌بعد نانو صفحه مربعی در حالت ارتوتروپیک با شرایط مرزی گیردار ۶۸

جدول ۴-۵- مقایسه فرکانس های طبیعی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه ساده وضرایب منظر متفاوت ۷۶

جدول ۴-۶- مقایسه فرکانس های طبیعی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه ساده ومودهای اول تا چهارم ۷۶

جدول ۴-۷- مقایسه فرکانس های طبیعی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه ساده و ضرایب سختی متفاوت ۷۷

جدول ۴-۸- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای صفحه مثلثی معمولی و خواص ایزوتروپیک ۷۸

جدول ۴-۹- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی و خواص ایزوتروپیک ۷۸

جدول ۴-۱۰- بار کمانشی بی‌بعد نانو صفحه مربعی در حالت ارتوتروپیک با شرایط مرزی گیردار ۷۹

جدول ۴-۱۱- بار کمانشی بی‌بعد نانو صفحه مربعی در حالت ایزوتروپیک با شرایط مرزی ساده ۷۹

جدول ۴-۱۲- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه گیردار بر حسب قاعده ۸۷

جدول ۴-۱۳- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه گیردار وضرایب منظر متفاوت ۸۷

جدول ۴-۱۴- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه گیردار ومودهای اول تا چهارم ۸۷

جدول ۴-۱۵- مقایسه بار بحرانی بی بعد برای نانوصفحه مثلثی با تکیه گاه گیردار و ضرایب سختی متفاوت ۸۸

علائم و اختصارات

مختصات مساحتی	L_1, L_2, L_3
مساحت مثلث‌های اول تا سوم	A_1, A_2, A_3
قاعده و ارتفاع صفحه مثلثی	a, b
جرم واحد سطح نانو صفحه	m_0
ماتریس سختی کمانشی نانو صفحه	$[B]$
ضرایب مجهول برای فرض جابجایی	C_i
مولفه‌های تانسور سختی خمشی	D_{ij}
مدول یانگ نانو صفحه ارتوتروپیک در دو جهت x, y	E_x, E_y
مدول برشی نانو صفحه	G_{xy}
ضخامت نانو صفحه	h
ماتریس سختی نانو صفحه	$[K]$
برآیند ممانها	M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}
ماتریس جرم نانو صفحه	$[M]$
برآیند تنش‌های در صفحه	N_{xx}, N_{yy}, N_{xy}
تابع درونیاب	Φ_i
مولفه‌های تانسور تنش محلی	$\sigma_{ij}^{(l)}$
مولفه‌های تانسور تنش غیرمحلی	$\sigma_{ij}^{(nl)}$
بار توزیع‌شده عرضی	q_0
جابجایی اجزا نانو صفحه در دو جهت x, y	u, v
جابجایی سطح میانی نانو صفحه	w
تابع وزن	χ
مولفه‌های تانسور کرنش	ε_{ij}
پارامتر کمانشی	λ_b
پارامتر ارتعاشی	λ_ω
پارامتر غیر محلی	μ
نسبت پواسون نانو صفحه ارتوتروپیک در دو جهت x, y	ν_x, ν_y
چگالی نانو صفحه	ρ
فرکانس‌های طبیعی نانو صفحه	ω

چکیده

نانو تکنولوژی با استفاده از ساختارهای مولکولی پیچیده مانند سلول‌های بدن انسان و امکان تولید ساختارهایی ۱۰۰ برابر محکم تر از فولاد، آغازگر یک تحول صنعتی بزرگ است. این تکنولوژی جدید، از طریق دستکاری اتم‌ها، محصولاتی جدید می‌آفریند و روش ساخت آنها را تغییر می‌دهد، به طوری که مواد حاصل، کوچک‌تر، محکم‌تر و سبک‌تر باشند. این فناوری در حوزه های مختلف زندگی بشری از جمله در صنایع پزشکی، کشاورزی، حمل و نقل، تصفیه آب و هوا، الکترونیک و...مورد استفاده قرار می گیرد.

یکی از مهم‌ترین تولیدات نانوتکنولوژی، صفحات گرافینی هستند. این صفحات در وسایل الکترونیکی به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه سه روش برای تحلیل مکانیکی این صفحات وجود دارد این روش‌ها شامل آزمایشات در ابعاد نانو، شبیه سازی نانوصفحات با استفاده از رایانه و تحلیل نانوصفحات به صورت تئوری است.

در این تحقیق ابتدا با استفاده از اصل کار مجازی معادلات حاکم بر ارتعاش و کمانش نانو صفحات مثلثی براساس تئوری الاستیسیته غیر محلی ارینگن استخراج شده و با استفاده از روش گالرکین، به عنوان یک روش عددی به حل معادلات مذکور برای شرایط مرزی مختلف ساده و گیردار پرداخته شده است. اثر پارامتر مقیاس بر روی مودهای مختلف سیستم مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین با بیان درصد خطای نسبی اثر افزایشی پارامتر غیر محلی بر درصد خطای نسبی را بیان می‌کنیم. در قسمت‌های مختلف این تحقیق، تاثیر پارامتر اثر مقیاس، قاعده نانوصفحه، خواص ماده وتاثیر شرایط مرزی مختلف را بر روی فرکانس‌های طبیعی و بار بحرانی نانوصفحه مثلثی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

آنالیز ارتعاشی و کمانشی، تئوری الاستیسیته غیر محلی، نانو صفحه مثلثی، روش گالرکین، شرایط مرزی ساده و گیردار

فصل اول

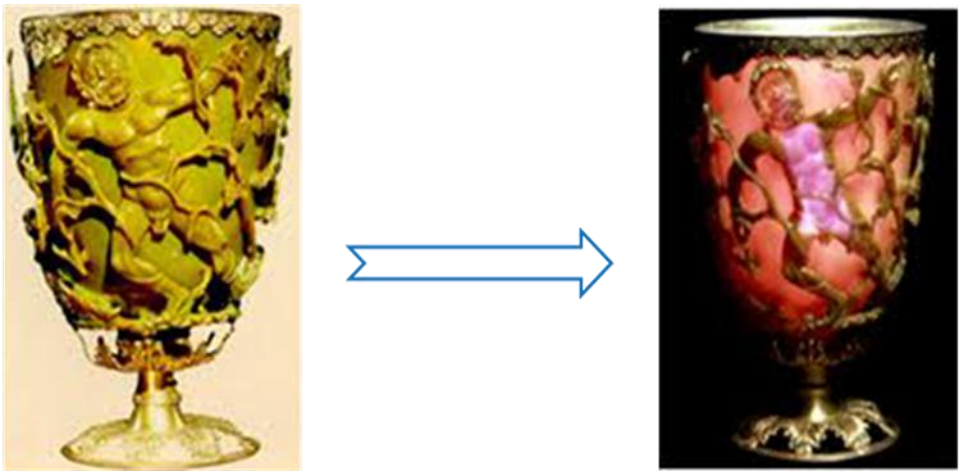
مقدمه

۱-۱- تاریخچه نانو

نقطه شروع و توسعه اولیه فناوری نانو به طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان دموکریتوس[1] فیلسوف یونانی را پدر فناوری و علوم نانو دانست، چرا که در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح او اولین کسی بود که واژۀ اتم را که به معنی تقسیم‌نشدنی در زبان یونانی است، برای توصیف ذرات سازنده مواد به کار برد. همچنین اولین نانوتکنولوژیست‌ها، شیشه‌گران قرون وسطایی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی[2] برای شکل‌دادن شیشه‌های‌شان استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران نمی‌دانستند که چرا با اضافه‌کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر می‌کند. در قرن چهارم پس از میلاد شیشه سازان رومی شیشه هایی حاوی فلزات نانو سایز می ساختند، جام لیکورگوس‌که منقوش به تصویر مرگ پادشاه لیکورگوس[3] است، از شیشه‌ی آهکی کربنات سریم ساخته شده و حاوی نانوذرات طلا و نقره می باشد. وقتی که منبع نور داخل این جام قرار گیرد، رنگ جام از سبز به قرمز پر رنگ تغییر می‌کند. تنوع فوق العاده‌ی رنگ-های زیبا در پنجره‌های کلیساهای جامع قرون وسطی، به‌دلیل وجود نانو ذرات فلزی در این شیشه‌ها بوده است. همچنین شمشیرهای یافت شده در حفاری‌های سرزمین‌های مسلمان همگی گویای این مطلب هستند که بشر مدت هاست که از برخی شگردهای این فناوری در بهینه کردن فرآیندها و ساخت اشیاء باکیفیت تر بهره می‌برده است. اما تنها به دلیل پیشرفت کم فناوری و نبود امکانات امروزی مانند میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ تونلی پیمایشی و غیره نتوانسته حوزه مشخصی برای این فناوری تعیین کند.

---

[1] *Democritus*
[2] *Medieal forges*
[3] *The Lycurgus Cup*



شکل ۱-۱ : جام لیکورگوس منقوش به تصویر مرگ پادشاه لیکورگوس [۱]

۱-۱-۱- تعریف علم نانو

نانو علمی است که به صورت امروزی از دهه‌ی ۸۰ میلادی آغاز به کار کرده و توانسته در بسیاری از زمینه‌ها تحولی شگرف به وجود آورد. در موثر بودن نانو کافی‌است بگوییم که مصرف برق آمریکا برای روشنایی از ۲۰ درصد طی ۱۰ سال به ۱۰ درصد کاهش یافته که دلیل آن نیمه هادی‌های است که درابعاد نانو در دیودهای نوری به کار رفته است. موضوع اصلی علم نانو دست‌کاری و تغییر خواص مواد در مقیاس بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. به عبارتی ما در نانو به دنبال مهار خواص مواد هستیم تا به خواصی بهینه دست یابیم. آن چه نانو را متمایز ساخته، ایجاد همین خواص بهینه و جدید در مواد است که با ابعاد ماکروسکوپیک آن‌ها کاملا تفاوت دارد. مثلا چیدن یک در میان لایه‌ی اتمی یک نارسانا و یک فلز ضعیف موجب ایجاد یک ابر رسانا در دمای معمولی می‌شود، که توسط یک گروه هلندی انجام شده به گونه‌ای که تا پیش از آن دردماهای بسیار پایین امکان‌پذیر بود. علت بوجود آمدن این تغییرات کاملا متفاوت، غلبه‌ی خواص کوانتومی بر خواص ماکروسکوپیک است. در نانومکانیک بیشتر به دنبال بهینه سازی خواص مکانیکی هستیم. لذا با خواص الاستیکی، حرارتی و جنبشی مواد سر و کار داریم و در مقیاس نانومتر آن ها را مورد مطالعه قرار می دهیم.

۱-۱-۲- نانو به عنوان علمی یک رشته‌ای یا چند رشته‌ای

این که به علم نانو چگونه باید نگریست و نانو یک رشته‌ی مستقل است، هنوز هم موضوعی بحث برانگیز میان دانشمندان است و نظریه‌ی واحدی راجع به آن وجود ندارد. عده‌ای معتقدند که نانو یک رشته‌ی مستقل است و موضوع آن مطالعه‌ی خواص مواد در ابعاد نانومترمی‌باشد. موضوعی که آن را بسیار شبیه به علم مواد ولی در ابعاد کوچک جلوه می‌دهد. علت و ریشه‌ی اصلی این نظریه نیز دستاوردهای بسیار زیاد نانو است. از طرفی برخی دیگر

بر این باورندکه، نانو نمی تواند یک علم مسقل حساب شود ولی یک رویکرد و روشی جدید در کلیه‌ی رشته‌ها به حساب می‌آید. این نظریه تا حد زیادی صحیح است چراکه از درمان سرطان گرفته تا لباس‌های نامرئی وساخت تانک‌های مدرن وصنایع غذایی همگی دستاوردی از نانو محسوب می‌شوند. در حقیقت نانو راهی جدید در بسیاری از رشته‌ها گشوده است. نظریه دیگر راجع به نانو این است که، نانو یک علم بین رشته‌ای است، چراکه در بسیاری موارد عامل پیوند بین سایر علوم است و پلی ارتباطی میان علومی نظیر مکانیک کلاسیک، مکانیک آماری، فیزیک حالت جامد، پزشکی، شیمی، الکترونیک و ... است. گروهی دیگر نانو را به عنوان علمی فرا رشته‌ای یاد می‌کنند که غالبا متعصبان علم نانو هستند که از قدرت این علم بسیار حیرت زده شده‌اند.

امروزه تولد نانو را به ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹ در کالتک وسخنرانی ریچارد فاینمن در انجمن فیزیک آمریکا[۴] نسبت می دهند [۱]. فاینمن در این سخنرانی جمله‌ی‌معروفی را به کار برد:

"THERE IS A PLENTY OF ROOM AT THE BOTTOM"

آن پایین فضای بسیار زیادی وجود دارد فاینمن با این جمله می‌خواست ایده‌ی "کوچک شدن" را معنا بخشد و حرکت دانشمندان را به این سمت بکشاند. او ایده‌های خود را از دو چیز گرفته بود. اول، ترانزیستورها و سازه‌های کوچک الکترونیکی و دوم، این‌که بتوان میکروسکوپ‌ها را دقیق‌ترکرد. فاینمن در آن سخرانی دو موضوع را به عنوان اهداف آینده و رقابت برای دانشمندان تعیین‌کرد و برای هر یک ۱۰۰۰ دلار جایزه گذاشت. اول، ایجاد یک موتور الکتریکی در مقیاس یک شصت و چهارم (۱/۶۴) اینچ بود، بر همین اساس می‌توان گفت او اولین فردی است که ایده‌ی طراحی و ساخت یک سامانه‌ی الکتریکی- مکانیکی[۵] را در مقیاس میکرو مطرح نموده است. البته، این جایزه‌ی ۱۰۰۰ دلاری یک سال بعد به شخصی به نام مک لیلان رسید که موفق شد اولین موتور الکتریکی بسیار کوچک را بسازد. ایده‌ی فاینمن اگرچه در ابتدا چندان جدی گرفته نشد، اما به تدریج تحولی عظیم در مهندسی الکترونیک و مهندسی مکانیک ایجاد کرد و موجب شکل‌گیری ایده‌ی سامانه‌های الکتریکی- مکانیکی در مقیاس میکرو گردید. اگرچه سامانه‌های الکتریکی- مکانیکی در مقیاس میکرو، همان‌طور که معرفی شد، در محدوده‌ی مقیاس میکرومتر قرار دارند، اما به دلیل گسترش و توسعه‌ی فرآیندهای ساخت و کاربردهای آن، در آستانه‌ی ورود به محدوده‌ی فناوری نانو قرار دارند لذا، بررسی و کنکاش درباره‌ی مکانیسم عملکرد و روش‌های ساخت آن بسیار مورد توجه علاقه‌مندان و پژوهش‌گران فناوری نانو قرار دارد. دوم، بوجود آوردن فناوری که بتوان دایرۀ المعارف بریتانیکا را روی نوک سوزن نوشت. منظور از مورد دوم نیز رسیدن به فناوری بود که بتوان به ۱/۲۵۰۰۰۰ ابعاد رسید. در زمان فاینمن امکان نوشتن انجیل روی نوک سوزن وجود داشت اما دایره‌المعرف بریتانیا بسیار بلندتر از کتاب

[4] *APS*
[5] *Micro ElectroMechanical Systems*

مقدس بود. به هر جهت ۱۰۰۰ دلار دوم تا ۱۹۸۵ در انتظار بود تا این که به تام نیومن آمریکایی رسید. اگرچه اصطلاح نانو را برای اولین بار نوریو تانیگوشی استاد دانشگاه توکیو به کار برد و مقاله‌ای تحت عنوان"مفهوم اساسی فناوری نانو " در سال ۱۹۷۴ به چاپ رساند اما نانو، از سال ۱۹۸۰ دریچه‌ای تازه در سایر علوم به وجود آورد.

شکل۱-۲ : فاینمن در حال مشاهده اولین موتور الکتریکی کوچک‌تر از اینچ [۱]

مسیر تحول نانوفناوری، به گونه‌ای که در جدول (۱-۱) بیان شده است، جایگاه آن را در کشورهای توسعه یافته آشکار می کند و به همین ترتیب، کشورهای در حال توسعه نیز گام‌هایی در راستای شناخت و پیش برد این مقوله برداشته‌اند. شاید یکی از اصلی‌ترین چالش‌های موجود در این راه، نیاز به محاسبات دقیق‌تر، با تعریف عواملی تاثیر گذار باشد که پیش‌تر در مواجه با مسائل ماکروسکوپی، ضرورتی برای آنها وجود نداشته است، در نتیجه امکانات نرم افزاری موجود نمی‌توانند جواب‌گوی تمامی الزامات برای کنکاش و تحلیل در مقیاس نانو باشند. به همین سبب به طور مداوم؛ روش‌ها و ابزارهایی به منظور برطرف ساختن موانع و درک بهتر سیستم هادر ابعاد نانو ابداع شده اند.

جدول۱-۱- تحول نانو فناوری از زمان پیدایش

سال میلادی	ابداع / کشف / رویداد	توضیح
۱۹۳۱	میکروسکوپ الکترونیکی	عکس برداری زیر نانومتری[۶]
۱۹۵۹	سخنرانی ریچارد فاینمن[۷]	تفکر در مقیاس نانو
۱۹۶۸	اپیتاکسی[۸] باریکه مولکولی	نشان دادن لایه های یگانه اتمی روی یک سطح
۱۹۷۴	نانو فناوری	به کار بردن کلمه (نوری تانیگوچی[۹] ، ژاپن)
۱۹۸۱	میکروسکوپ پیمایشگر تونلی[۱۰]	برای عکس برداری از اتم ها و سطوح مواد
۱۹۸۵	فولرین های باک مینستر[۱۳]	کشف فلورنها توسط اسمالی[۱۱] در دانشگاه رایس[۱۲] ایالت متحده
۱۹۸۶	میکروسکوپ نیروی اتمی[۱۴]	تشخیص برجستگی های سطوح
۱۹۸۹	کاربرد اتم های جداگانه	دی.ام.ایگلر[۱۵]،آی.بی[۱۶].ام،ایالت متحده
۱۹۹۱	نانولوله های کربنی	سومیو آیجیما[۱۷]،استحکام و خواص الکتریکی،ان.ای.سی.،ژاپن
۱۹۹۳	سیستم واقعیت مجازی[۲۰]	و.رابینت[۱۸]،دانشگاه کارولینای شمالی[۱۹]، ایالت متحده
۱۹۹۷	ابزار نانومکانیکی با به کارگیری دی. ان.ای[۲۳]	سیمن[۲۱]،ان.وای.یو[۲۲].،ایالت متحده
۱۹۹۸	ترانزیستور با نانوفناوری	سیز دکر[۲۴] ، دانشگاه دلفت[۲۵] ، هلند
۱۹۹۹	سوییچ زیستی تک مولکولی[۲۷]	جیمز تور[۲۶] ، دانشگاه رایس، ایالات متحده
۲۰۰۱	ابزارهای نانولوله ای	گیت های منطقی[۲۸] (آی بی ام ، ایالات متحده)
۲۰۰۴	غشای نانولوله ای	بروس هیندز[۲۹] (دانشگاه کنتاکی[۳۰] ایالات متحده)

---

[6] . *sub nanometer imaging*
[7] *Richard Feynman*
[8] *Epitaxy*
[9] *Nori Taniguchi*
[10] *Scaning Tunnel Microscope*
[11] *Richard Smalley*
[12] *Rice University*
[13] *Buckminster-fullerencs*
[14] *Atomic Force Microscope*
[15] *D.M.Eigler*
[16] *IBM*
[17] *S. Iijima*
[18] *W.Robient*
[19] *University of North carolina*
[20] *Virtual reality system*
[21] *Seemen*
[22] *NYU*
[23] *DNA*
[24] *Cees Dekker*
[25] *Delft University*
[26] *James Tour*
[27] *Single molecule organic switch*
[28] *Logic gates*
[29] *Bruce Hinds*
[30] *Kentucky University*

۱-۲- اهداف فناوری نانو

همان‌گونه که گفته شد حوزه‌ی کارهای نانوبین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است و گاهی کمی از این محدوده ریزتر یا درشت-ترهم می‌شود. در این مقیاس به طور کلی سه هدف زیر دنبال می‌شود[۲].

۱. مطالعه‌ی خواص مواد در مقیاس نانو، مثلا آب در مقیاس ماکروسکوپیک ویسکوزیته‌ی پایینی دارد در حالی که در مقیاس نانو اصلا روان نیست و لزجت زیادی دارد.

۲. ایجاد ساختارهای نانویی[۳۱]، مثلا کربن مدول الاستیسیته‌ای در حدود ۱۲۵ تا ۱۵۰ گیگا پاسکال دارد در حالی‌که نانو تیوب‌ها که یک ساختار نانویی به حساب می‌آیند مدول الاستیسیته‌ای بین ۱ تا ۶ ترا پاسکال دارند. حال آن که حتی الماس نیز مدول یانگی در حدود ۱.۲ ترا پاسکال دارد. این امر به عنوان تناقض نیز مطرح می‌شود که به آن تناقض یاکوبسون می‌گویند چراکه نخستین بار بوریس یاکوبسون از دانشگاه رایس به این موضوع اشاره کرد و هم چنان موضوعی است که بین دانشمندان مورد بحث است.

۳. ایجاد تغییرات در خواص‌مواد، به‌عنوان مثال ایجاد ابررساناها و یا ایجاد مواد زیست سازگار که بسته به محیط خواص متفاوتی از خود نشان می‌دهند مثل تکنولوژی ذرات کوانتومی در ساخت لباس‌های نامرئی.

۱-۳- کربن

کربن واژه لاتین کربو[۳۲] به معنی ذغال چوب، در دوران ماقبل تاریخ کشف شد و برای مردم باستان که آن را از سوختن مواد آلی در اکسیژن کم تولید می‌کردند،آشنا بود.کربن یکی از عناصر شگفت‌انگیز طبیعت است و به دلیل داشتن توانایی ایجاد ساختارها و اشکال گوناگون یک استثناء به‌شمار می‌رود. کاربردهای متعدد آن در زندگی بشر نیز، به خوبی این نکته را تایید می‌کند. کربن در تمامی جانداران وجود داشته و پایه شیمی آلی را تشکیل می‌دهد. همچنین این غیر فلز ویژگی جالبی دارد که می‌تواند با خودش و انواع زیادی از عناصر دیگر پیوند برقرار کند (تشکیل دهنده بیش از ده میلیون ترکیب) در صورت ترکیب با اکسیژن تولید دی‌اکسید کربن می‌کند که برای رشد گیاهان، حیاتی می‌باشد. در صورت ترکیب با هیدروژن ترکیبات مختلفی بنام هیدروکربن‌ها را بوجود می‌آورد که به شکل سوخت‌های فسیلی، در صنعت بسیار بنیادی هستند. وقتی هم با اکسیژن و هم با هیدروژن ترکیب گردد،گروه زیادی از ترکیبات از جمله اسیدهای چرب را می‌سازد که برای حیات و استر، همچنین طعم دهنده بسیاری از میوه ها بکار می‌رود. در نتیجه می‌توان گفت ترکیبات کربن زیربنای حیات را بر روی زمین می‌سازند.

---

[31] *Nano-Structures*
[32] *carbo*

۱-۳-۱- کاربرد های کربن

کربن بخش بسیار مهمی در تمامی موجودات زنده است و تا آنجا که می‌دانیم بدون این عنصر زندگی وجود نخواهد داشت. عمده‌ترین کاربرد اقتصادی کربن ، فرم هیدروکربن‌ها می‌باشد که قابل توجه‌ترین آنها سوخت‌های فسیلی، گاز متان و نفت خام است. نفت خام درصنایع پتروشیمی برای تولید محصولات زیادی از جمله مهمترین آنها بنزین، گازوئیل و نفت سفید بکار می‌رود که از طریق فرآیند تقطیر در پالایشگاه‌ها بدست می‌آیند. از نفت خام مواد اولیه بسیاری که در مجموع پلاستیک نامیده می شوند، شکل می گیرد.

کاربردهای دیگر کربن :

- ایزوتوپ $14-C$ که در ۲۷ فوریه ۱۹۳۰ کشف شد درسن یابی کربن پرتوزا مورد استفاده است.
- برای تولید فولاد، به آهن کربن اضافه می کنند.
- کربن درمیله کنترل در راکتورهای اتمی بکار می رود.
- قرص‌های ذغال چوب در پزشکی که به صورت قرص یا پودر وجود دارند برای جذب سم از دستگاه گوارشی مورد استفاده اند.

۱-۳-۲-آلوتروپهای کربن

۱. گرافین
۲. گرافیت
۳. الماس
٤. فولرن
۵. نانو لوله‌ها

۱-۳-۲-الف- گرافین

ایده‌ی گرافین به‌صورت نظری، برای اولین بار توسط فیلیپ والاس در سال ۱۹۴۷ بیان شد. محرّک او برای بیان این ایده، تحقیق و فعالیتش روی گرافیت (گرافین سه‌بعدی) بود. صفحات گرافین با کنار هم قرار گرفتن اتم‌های کربن تشکیل می‌شوند. در یک صفحه گرافین، هر اتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند داده است. این سه پیوند در یک صفحه قرار دارند و زوایای بین آن‌ها با یکدیگر مساوی و برابر با ۱۲۰ درجه است. در این حالت، اتم‌های کربن در وضعیتی قرار می‌گیرند که شبکه‌ای از شش ضلعی‌های منتظم را ایجاد می‌کنند (شکل ۱-۳). البته این ایده‌آل‌ترین حالت یک صفحه‌ی گرافین است. در برخی مواقع، شکل این صفحه به گونه‌ای تغییر می‌کند که در آن پنج‌ضلعی‌ها و