بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهرکرد
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

بررسی ارتعاشات نانولوله کربنی دوجداره حامل جریان سیال واقع بر روی بستر ویسکو الاستیک، با استفاده از تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته

استاد راهنما :
دکتر یعقوب طادی بنی

استاد مشاور :
دکتر هادی همائی

پژوهشگر:
حمید ضیغم پور

بهمن ماه ۱۳۹۲

دانشگاه شهرکرد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه آقای حمید ضیغم پور جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی با عنوان : بررسی ارتعاشات نانولوله کربنی دوجداره حامل جریان سیال واقع بر روی بستر ویسکو الاستیک، با استفاده از تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۱ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۲۰ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. **استاد پایان نامه دکتر یعقوب طادی بنی با مرتبه علمی استادیار امضاء**

۲. **استاد مشاور دکتر هادی همائی با مرتبه علمی استادیار امضاء**

۳. **استاد داور دکتر حسین گلستانیان با مرتبه علمی دانشیار امضاء**

۴. **استاد داور دکتر احسان زمانی با مرتبه علمی استادیار امضاء**

دکتر بهزاد قاسمی
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده فنی و مهندسی

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس خدای متعال، که مرا یاری نمود، یکی دیگر از مراحل تحصیل و پیشرفت را به پایان رسانم.

در این جا بر خود لازم می دانم که از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر یعقوب طادی که در تمام مراحل انجام پروژه، بنده را از راهنمایی ارزنده شان بی نصیب ننمودند، کمال تشکر و قدر دانی را به جای آورم؛ و همچنین از جناب آقای دکتر هادی همائی که استاد مشاور این پروژه بودند، سپاس گذارم.

در پایان از خانواده و دوستان عزیز، که با راهنمایی در طول انجام پروژه باعث دگرمی من بودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

حمید ضیغم پور

بهمن ۹۲

تقدیم به همراهان بی توقع :

پدر و مادرم

چکیده

در دو دهه‌ی اخیر خواص جالب و منحصر به فرد نانولوله‌های کربن باعث شده که از این نانو ساختارها برای ساخت دستگاه‌ها در مقیاس نانو مانند نانو حسگرها، نانو محرک‌ها و نانو نوسان گرها استفاده شود، از طرفی عبور جریان مایع در نانولوله‌ها ولتاژ ایجاد می‌کنند و از این روش برای ساخت حسگرهای جریان مایع استفاده می‌شود؛ و همچنین از نانولوله‌ها برای تزریق دارو در سلول‌های سرطانی استفاده می‌کنند. بنابراین عملکرد صحیح و مناسب نانولوله‌های حامل جریان سیال ضروری بوده و نیازمند بررسی و شناخت کامل رفتار مکانیکی آن‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر بررسی رفتار دینامیکی نانولوله‌های کربن حامل جریان سیال توجه محققان زیادی را به خود جلب نموده است. با توجه به این که رفتار دینامیکی نانولوله حامل جریان سیال در مقیاس نانو بررسی می‌شود، تئوری کلاسیک الاستیسیته قادر به پیش بینی رفتار دینامیکی این نانو ساختارها نمی‌باشد؛ و همچنین روش‌های آزمایشگاهی و دینامیک مولکولی پر هزینه و پیچیده می‌باشد، برای این منظور باید از تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته که در آن اثر اندازه نانولوله در نظر گرفته می‌شود، استفاده نمود. تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده از جمله تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته می‌باشد، که در آن تغییرات کرنش در محاسبه انرژی کرنشی در نظر گرفته شده و همچنین یک پارامتر جدید به نام اثر اندازه وارد معادلات ساختاری جسم می‌شود. در این پایان‌نامه ارتعاشات نانولوله دوجداره حامل جریان سیال با استفاده از تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده به ازای پارامترهای مختلف بررسی می‌شود. ابتدا انرژی کرنشی نانولوله با استفاده از تئوری گرادیان کرنش به دست می‌آید، با محاسبه انرژی جنبشی و کار نیروهای ناشی از بستر ویسکو پسترناک و سیال و با استفاده از اصل همیلتون معادلات نانولوله برای دو حالت تئوری تیر تیموشنکو و تئوری پوسته دانل استخراج می‌شود. معادلات نانولوله و شرایط مرزی با استفاده از روش‌های حداقل مربعات دیفرانسیلی و ناویر گسسته سازی شده و مسئله مقدار ویژه به ازای پارامتر های مختلف حل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد تأثیر پارامتر اثر اندازه، مقیاس طول، سختی و میرایی بستر و ویسکوزیته سیال بر فرکانس ارتعاشی نانولوله دوجداره حامل جریان سیال قابل توجه می‌باشد.

کلمات کلیدی : تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده، ارتعاشات، نانولوله دو جداره، سیال، اثر اندازه.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول ---------- ۷
مقدمه ---------- ۷
۱-۱- معرفی مسئله و اهمیت آن ---------- ۷
۱-۲- پیشینه طرح و بررسی منابع ---------- ۸
۱-۳- تعریف مسئله ---------- ۱۰
۱-۴- ساختار پایان‌نامه ---------- ۱۰
فصل دوم ---------- ۱۱
مقدمه ای بر نانولوله های کربنی ---------- ۱۱
۲-۱- مقدمه ---------- ۱۱
۲-۱-۱- فناوری نانو ---------- ۱۱
۲-۲- کاربردهای نانو فناوری ---------- ۱۲
۲-۳- معرفی نانولوله‌های کربنی ---------- ۱۴
۲-۳-۱- مقدمه ---------- ۱۴
۲-۳-۲- کشف نانولوله ---------- ۱۶
۲-۳-۳- انواع نانولوله‌های کربنی ---------- ۱۹
۲-۳-۳-۱- نانولوله‌ی کربنی تک جداره ---------- ۱۹
۲-۳-۳-۲- نانولوله‌ی کربنی چند جداره ---------- ۲۱
۲-۳-۴- ساختارهای غیر ایده‌آل ---------- ۲۲
۲-۳-۵- خواص نانولوله های کربنی ---------- ۲۲
۲-۳-۵-۱- واکنش پذیری شیمیایی ---------- ۲۲
۲-۳-۵-۲- استحکام ---------- ۲۳
۲-۳-۵-۳- خواص حرکتی ---------- ۲۳

۲-۳-۵-۴- خواص الکتریکی ---------- ۲۴
۲-۳-۶- کاربردهای نانولوله‌های کربنی ---------- ۲۴
۲-۳-۶-۱- مواد پیشرفته ---------- ۲۵
۲-۳-۶-۲- کاربردهای الکتریکی و مغناطیسی ---------- ۲۵
۲-۳-۶-۳- کاربردهای شیمیایی ---------- ۲۷
۲-۳-۶-۴- کاربردهای مکانیکی ---------- ۲۸
فصل سوم ---------- ۳۱
ارتعاشات نانولوله دوجداره حامل جریان سیال ---------- ۳۱
۳-۱- مقدمه ---------- ۳۱
۳-۲- تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده ---------- ۳۲
۳-۲-۱- تاریخچه تئوری ---------- ۳۲
۳-۲-۲- فرمولاسیون تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده ---------- ۳۳
۳-۲-۳- فرمولاسیون تئوری گرادیان کرنش در مختصات قطبی ---------- ۳۵
۳-۳- ارتعاشات نانولوله با استفاده از تئوری تیر ---------- ۳۸
۳-۳-۱- مقدمه ---------- ۳۸
۳-۳-۲- فرمولاسیون مسئله ---------- ۳۸
۳-۳-۲-۱- معادلات حاکم بر مسئله ---------- ۴۲
۳-۳-۲-۲- شرایط مرزی ---------- ۴۳
۳-۳-۲-۳- بی بعد کردن معادلات و شرایط مرزی ---------- ۴۴
۳-۳-۲-۴- روش حل مسئله ---------- ۴۵
۳-۴- ارتعاشات نانولوله با استفاده از تئوری پوسته ---------- ۴۸
۳-۴-۱- مقدمه ---------- ۴۸
۳-۴-۲- فرمولاسیون مسئله ---------- ۴۸
۳-۴-۲-۱- معادلات حاکم بر مسئله ---------- ۵۳
۳-۴-۲-۲- روش حل مسئله ---------- ۵۶
فصل چهارم ---------- ۵۹

نتایج و بحث ---------- ۵۹
۴-۱- مقدمه ---------- ۵۹
۴-۲- نتایج بر اساس مدل تیر تیموشنکو ---------- ۵۹
۴-۲-۱- تعداد نقاط مورد نیاز برای همگرا شدن نتایج ---------- ۶۰
۴-۲-۲- مقایسه با نتایج منابع دیگر ---------- ۶۰
۴-۲-۳- بررسی سرعت سیال بر ناپایداری نانولوله ---------- ۶۱
۴-۲-۴- پارامتر اثر اندازه ---------- ۶۲
۴-۲-۵- تأثیر نوع بستر بر فرکانس ارتعاشی نانولوله ---------- ۶۳
۴-۲-۶- تأثیر میرایی بستر ---------- ۶۴
۴-۲-۷- تأثیر دما ---------- ۶۵
۴-۲-۸- اثر ویسکوزیته سیال ---------- ۶۶
۴-۳- نتایج بر اساس تئوری پوسته دانل ---------- ۶۷
۴-۳-۱- مقایسه با نتایج منابع دیگر ---------- ۶۸
۴-۳-۲- مقایسه پایداری فرکانس‌های نانولوله در تئوری‌های مختلف ---------- ۷۰
۴-۳-۳- اثر پارامتر اندازه ---------- ۷۱
۴-۳-۴- تأثیر مقیاس طول بر ناپایداری نانولوله در تئوری‌های مختلف ---------- ۷۲
۴-۳-۵- تأثیر سختی بستر بر ارتعاشات نانولوله ---------- ۷۴
۴-۳-۵-۱- سختی بستر وینکلر ---------- ۷۴
۴-۳-۵-۲- سختی بستر پسترناک ---------- ۷۵
۴-۳-۶- میرایی بستر ---------- ۷۵
فصل پنجم ---------- ۷۶
جمع بندی نتایج و پیشنهادات ---------- ۷۶
۵-۱- مقدمه ---------- ۷۶
۵-۲- مدل سازی نانولوله با استفاده از مدل تیر تیموشنکو ---------- ۷۶
۵-۲-۱- بررسی سرعت سیال بر ناپایداری نانولوله در تئوری‌های مختلف ---------- ۷۷
۵-۲-۲- پارامتر اثر اندازه ---------- ۷۷

۵-۲-۳- تأثیر نوع بستر بر فرکانس ارتعاشی نانولوله ---------- ۷۷
۵-۲-۴- تأثیر میرایی بستر ---------- ۷۷
۵-۲-۵- تأثیر دما ---------- ۷۸
۵-۲-۶- اثر ویسکوزیته سیال ---------- ۷۸
۵-۳- مدل سازی نانولوله با استفاده از مدل پوسته دانل---------- ۷۸
۵-۳-۱- تأثیر نسبت طول به قطر بر ناپایداری نانولوله در تئوری‌های مختلف ---------- ۷۸
۵-۳-۲- سختی بستر ---------- ۷۹
۵-۴- پیشنهادات ---------- ۷۹
پیوست ۱ ---------- ۸۰
پیوست ۲ ---------- ۸۲
مراجع ---------- ۹۳

فهرست تصاویر

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۲-۱: تصویر نانولوله کربنی چند جداره با استفاده از TEM ---------- ۱۴
شکل ۲-۲: اشکال متفاوت مواد با پایه کربن---------- ۱۵
شکل ۲-۳: تصویر نانولوله های تک جداره و چند جداره کشف شده توسط ایجیما ---------- ۱۶
شکل ۲-۴: تصویر گرفته شده TEM نانولوله های کربنی تک جداره ---------- ۱۷
شکل ۲-۵: تصویر گرفته شده TEM از نانولوله کربنی دو جداره ---------- ۱۸
شکل ۲-۶: انواع نانولوله بر اساس نحوه‌ی آرایش کربن‌ها---------- ۲۰
شکل ۲-۷ ورق گرافیتی، پارامترهای ساختاری پایه و اشکال نانولوله های کربنی تک جداره---------- ۲۰
شکل ۲-۸: شکل شماتیک یک نانولوله کربنی چند جداره---------- ۲۱
شکل ۲-۹: نانو پیپاد ---------- ۲۲
شکل ۲-۱۰: شکل شماتیک یک نانولوله کربنی به عنوان نوک AFM---------- ۲۸
شکل ۳-۱: نانولوله دو جداره حامل جریان سیال در مختصات کارتزین ---------- ۳۸
شکل ۳-۲: نانولوله دو جداره حامل جریان سیال در مختصات استوانه ای ---------- ۴۸
شکل ۴-۱: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای تئوری‌های مختلف ---------- ۶۲
شکل ۴-۲: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای اثر اندازه های مختلف ---------- ۶۳
شکل ۴-۳: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای بسترهای مختلف---------- ۶۴
شکل ۴-۴: اثر میرایی بستر بر فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال ---------- ۶۵
شکل ۴-۵: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای دماهای مختلف ---------- ۶۶
شکل ۴-۶: اثر ویسکوزیته سیال بر فرکانس طبیعی نانولوله---------- ۶۷
شکل ۴-۷: مقایسه فرکانس طبیعی میکرو استوانه حامل سیال---------- ۶۹
شکل ۴-۸: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای تئوری‌های مختلف---------- ۷۱
شکل ۴-۹: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال برای اثر اندازه های مختلف ---------- ۷۲
شکل ۴-۱۰: فرکانس طبیعی نانولوله در مقیاس طول و عدد موج n مختلف و تئوری کلاسیک --------- ۷۳
شکل ۴-۱۱: فرکانس طبیعی نانولوله در مقیاس طول و عدد موج n مختلف و تئوری کوپل تنش-------- ۷۳

شکل۴-۱۲: فرکانس طبیعی نانولوله در مقیاس طول و عدد موج n مختلف و تئوری گرادیان کرنش ----- ۷۴
شکل ۴-۱۳: فرکانس طبیعی نانولوله در سختی وینکلر و عدد موج n مختلف ---------- ۷۴
شکل ۴-۱۴: فرکانس طبیعی نانولوله در سختی پسترناک و عدد موج n مختلف ---------- ۷۵
شکل ۴-۱۵: اثر میرایی بستر بر فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل سیال ---------- ۷۵

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۴-۱: فرکانس طبیعی نانولوله دو جداره حامل جریان سیال و تعداد نقاط ---------- ۶۰
جدول ۴-۲: مقایسه فرکانس طبیعی نانولوله با دیگر منابع ---------- ۶۰
جدول ۴-۳: فرکانس طبیعی نانولوله تک جداره با ضخامت‌های مختلف ---------- ۶۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- معرفی مسئله و اهمیت آن

نانو ساختارهای کربن در دو دهه‌ی گذشته توجه افراد زیادی را به خود جلب نموده است. از این رو کاربردهای جدید از این نانو ساختارها توسط پژوهشگران شناسایی شده است. برای نمونه آزمایشگاه های پزشکی برای درمان سرطان از تجهیزات نانویی برای تزریق داروها در سلول‌های خاص استفاده می‌کنند و همچنین محققان فناوری بی سیم دستگاه های فشرده که قابلیت انتشار امواج با فرکانس بالا را دارند، تولید نموده‌اند. به طور کلی نانو ساختار های کربن به صورت گسترده برای تولید نانو حسگرها[۱]، نانو محرک‌ها[۲] و نانو نوسان گرها[۳] که دارای صلبیت زیاد و وزن کم می‌باشند، استفاده می‌شود. با توجه به کاربرد وسیع نانولوله‌ها در دستگاه های در مقیاس نانو پژوهشگران تحقیقات زیادی درباره ارتعاشات این نانو ساختارها انجام داده‌اند. عبور مایع از میان نانولوله های کربن ولتاژ ایجاد می‌کند، از این روش برای ساخت حسگرهای جریان مایع

[1] Nano-sensors
[2] Nano-actuators
[3] Nano-oscillators

برای تشخیص مقادیر بسیار اندک مایعات و نیز برای ایجاد ولتاژ در کاربردهای زیست پزشکی استفاده می‌شود، بنابراین اخیراً ارتعاشات نانولوله حاوی جریان سیال نیز توجه افراد زیادی را به خود جلب نموده است. در ابتدا برای تحلیل دینامیکی نانولوله‌ها روش‌های تجربی و روش شبیه سازی دینامیک مولکولی که از جمله روش‌هایی دقیق می‌باشند، استفاده می‌شد. اما روش‌های تجربی به دلیل گران بودن تجهیزات آزمایشگاه و همچنین دشواری انجام آزمایشات مقرون به صرفه نبود، روش شبیه سازی دینامیک مولکولی نیز دارای محاسباتی طولانی و مشکل بود، از این رو تئوری‌های مکانیک محیط پیوسته کلاسیک برای مطالعه روی خواص مکانیکی نانولوله‌ها به طور وسیعی گسترش یافت. اما با توجه به این که تئوری‌های محیط پیوسته کلاسیک در مقیاس نانو اثر اندازه نانو ساختار را در نظر نمی‌گرفت، ناکارآمد بود. بنابراین تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت.

۱-۲- پیشینه طرح و بررسی منابع

تئوری الاستیسیته کلاسیک به دلیل در نظر نگرفتن پارامتر اثر اندازه برای پیش بینی رفتار دینامیکی مواد در مقیاس نانو و میکرو ناکارآمد می‌باشد، بنابراین تئوری‌های مرتبه بالای محیط پیوسته در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. ما[۱] و همکاران تیر تیموشنکو میکرو ساختار را با استفاده از تئوری کوپل تنش اصلاح شده و همچنین ونگ[۲] و همکاران این تحلیل را با استفاده از تئوری گرادیان کرنش مورد بررسی قرار داده است، آن‌ها با استفاده از مقیاس طول پارامتر اثر اندازه را در تحلیل رفتار دینامیکی و استاتیکی تیر مورد بررسی قرار دادند[۱, ۲]. سالواتات[۳] با مطالعه نانولوله‌ها به این نتیجه رسید که تغییر شکل برشی در نانولوله با مقیاس طول کوچک بیشتر قابل توجه می‌باشد[۳]، ونگ و همکارش نانولوله دو جداره با مدل تیر تیموشنکو در شرایط مرزی مختلف را با استفاده از تئوری کلاسیک مورد بررسی قرار داد و نتایج خود را با مدل تیر اویلر برنولی مقایسه نمود[۴].

با توجه به کاربرد وسیع نانولوله‌ها حاوی جریان سیال در نانو وسیله‌ها، این موضوع توجه محققان زیادی را به خود جلب نموده است. در ابتدا ونگ و همکاران ارتعاشات و ناپایداری نانولوله حامل جریان سیال را با تئوری غیر موضعی مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها نشان دادند با افزایش پارامتر اثر اندازه فرکانس طبیعی نانولوله کاهش می‌یابد[۵]. یون[۴] و همکارش نانولوله تک جداره حاوی جریان سیال را با استفاده از مدل تیر اویلر برنولی مورد مطالعه قرار داد، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سرعت سیال در ناپایداری و ارتعاشات نانولوله نقش مهمی را ایفا می‌کند[۶]. یان[۵] و همکارانش ارتعاشات نانولوله سه جداره را با استفاده از مدل تیر

---

[1] Ma
[2] Wang
[3] Salvetat
[4] Yoon
[5] Yan

اویلر برنولی مورد بررسی قرار دادند[۷]. ونگ کمانش دینامیکی نانولوله دو جداره حامل جریان سیال را با استفاده از مدل تیر اویلر برنولی مورد بررسی قرار داد. او با استفاده از تئوری غیر موضعی اثرات اندازه و اثرات نیروی واندروالس، مقیاس طول، سختی بستر وینکلر و سرعت سیال را بر ارتعاشات نانولوله بررسی نمود[۸]. کی[1] و همکارانش نانولوله دو جداره را با مدل تیر تیموشنکو و با استفاده از تئوری تنش کوپل مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها با در نظر گرفتن نیروی واندروالس، اثرات سختی بستر وینکلر، سرعت بحرانی سیال و پارامتر اثر اندازه و ضریب پواسون را بر ارتعاشات سیال بررسی نمودند[۹].

در سال‌های اخیر با توجه به دقیق‌تر بودن محاسبات در فضای سه بعد، بررسی رفتار دینامیکی میکرو لوله و نانولوله‌ها با استفاده از تئوری پوسته مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. بیگ لو و همکارش ارتعاشات نانولوله را با استفاده از تئوری غیر موضعی و معادلات الاستیسیته در سه بعد بررسی نمود و نشان داد با افزایش پارامتر اندازه و نسبت طول به قطر فرکانس‌های نانولوله کاهش می‌یابد[۱۰]. ژو[2] و همکارش ارتعاشات یک استوانه حامل جریان سیال را در مقیاس میکرو و تئوری کوپل تنش اصلاح شده و مدل تئوری پوسته دانل مطالعه نموده و ناپایداری نانولوله را در مقادیر مختلف سرعت و سختی بستر بررسی نمود[۱۱]. چوی[3] و همکاران ارتعاشات نانولوله حامل جریان سیال را با تئوری الاستیسیته در سه بعد، بررسی نمودند، آن‌ها ناپایداری فلاتر و دیورژانسی نانولوله را برای سه نوع تکیه گاه را با هم مقایسه نمودند[۱۲]. دانشمند و همکاران ارتعاشات نانولوله را با استفاده از تئوری گرادیان تنش و کرنش بررسی نمودند، در این تحقیق نانولوله را با استفاده از تئوری مرتبه اول تنش برشی مدل نموده و نشان دادند اثر مدول برشی، مقیاس طول، پارامتر اندازه و عدد موج بر ارتعاشات نانولوله قابل توجه می‌باشد[۱۳]. قربان پور و همکاران با استفاده از تئوری غیر موضعی و مدل پوسته دانل ارتعاشات غیر خطی نانولوله دوجداره حامل جریان سیال را بررسی نموده و اثر پارامتر اندازه، سختی وینکلر، مدول برشی، چگالی سیال و عدد موج را بر ارتعاشات نانولوله بررسی نمودند[۱۴]. جان نثاری و همکاران تأثیر ویسکوزیته سیال را بر ارتعاشات نانولوله حامل جریان سیال را بررسی نمودند، در این تحقیق از تئوری غیر موضعی و تئوری غیری خطی پوسته دانل استفاده کردند[۱۵]. قربان پور و همکاران ارتعاشات غیر خطی نانولوله دوجداره برون نیتریت حامل سیال را با استفاده از تئوری غیر موضعی و مدل پوسته دانل بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند با کاهش پارامتر اندازه، کاهش طول و افزایش سختی بستر ارتعاشات افزایش می‌یابد[۱۶]. عبداللهیان و همکاران انتشار موج نانولوله دو جداره و سه جداره برون نیتریت حامل جریان سیال را بررسی نمودند و نشان دادند که اثر عدد موج، پارامتر اندازه، ویسکوزیته سیال، سختی بستر و اثر دما بر ارتعاشات نانولوله در سرعت‌های مختلف قابل توجه می‌باشد[۱۷].

با توجه به مطالب ارائه شده، برای مدل نمودن دقیق‌تر نانولوله باید هم وابستگی خواص مواد به اندازه در مقیاس نانو توسط تئوری‌های مرتبه بالا محیط پیوسته و هم مدل سه بعدی توسط مدل پوسته را در نظر گرفت تا به پاسخ‌های قابل قبول دست یافت.

---

[1] Ke
[2] Zhou
[3] Choi

۱-۳- تعریف مسئله

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش پیشینه طرح و بررسی منابع، بررسی ارتعاشات نانولوله دوجداره حامل جریان سیال با استفاده از تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پایان نامه اثر پارامترهای مختلف بر ارتعاشات و پایداری نانولوله دو جداره حامل جریان سیال بررسی می‌شود. در ابتدا نانولوله با استفاده از تئوری تیر تیموشنکو و سپس با تئوری پوسته دانل مدل سازی شده است. معادلات و شرایط مرزی حاکم بر مسئله با استفاده از اصل همیلتون استخراج می‌شود. در ادامه معادلات و شرایط مرزی بدست آمده از مدل تیر با استفاده از روش حداقل مربعات دیفرانسیلی[1] گسسته سازی شده و فرکانس‌های نانولوله به ازای پارامترهای مختلف محاسبه می‌شود. برای مدل پوسته دانل نیز مسئله ارتعاشی با استفاده از روش نویر حل شده است.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

فصل اول مقدمه پایان‌نامه بوده و در فصل دوم مقدمه ای از فناوری نانو و اطلاعاتی درباره نانولوله‌های کربنی بیان می‌شود. فصل سوم فرمولاسیون تئوری گرادیان کرنش اصلاح شده، شرح داده شده است. در فصل چهارم درباره معادلات حاکم بر مسئله و روش حل معادلات بحث می‌شود. در فصل پنجم نتایج مربوط به تأثیر پارامترهای مختلف بر مسئله ارتعاشی نانولوله دو جداره حامل جریان سیال ارائه شده است.

[1] Differential Quadrature Method

فصل دوم

مقدمه ای بر نانولوله های کربنی

۲-۱- مقدمه

۲-۱-۱- فناوری نانو

در سال ۱۹۵۹ فناوری مهندسی مولکولی (نانو فناوری) اولین بار توسط ریچارد فاینمن[1]، برنده جایزه نوبل فیزیک که ملقب به پدر علم فناوری نانو است مطرح شد. او پیشنهاد کرد که می‌توان اتم‌های مجزا را دست‌کاری کرد و مواد و ساختارهای کوچکی را تولید نمود که خواص متفاوتی دارند. در دهه های ۵۰ و ۶۰ میلادی فعالیت‌های زیادی روی ذرات فلزی کوچک در حال انجام بود. در آن زمان این فعالیت‌ها را نانو فناوری نمی‌نامیدند. تولید سیلیکون متخلخل در سال ۱۹۶۵ و یا کار روی تولید ذرات نانومتری فلزات قلیایی به وسیله تبخیر فلز سدیم، پتاسیم و چگالش سریع آن‌ها، از جمله این فعالیت‌ها بود. سیال‌های مغناطیسی نیز در دهه ۶۰ توسعه یافتند. این مواد شامل نانو ذرات مغناطیسی هستند که در یک مایع توزیع شده‌اند[۱۸].

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است. این پیشوند در علم مقیاس‌ها به معنی یک میلیاردم است. بنابراین یک نانومتر، یک میلیاردم متر است. به بیان ساده تر علم نانو مطالعه اصول اولیه مولکول‌ها و ساختارهای با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. این ساختارها را نانو ساختار نامیده می‌شوند. نانو فناوری،

[1] Richard Feynman

کاربرد این ساختارها در دستگاه های با اندازه نانومتری است. تعریف دیگری که می‌توان از نانو فناوری ارائه نمود این است که نانو فناوری شکل جدیدی از ساخت مواد به وسیله کنترل و دست‌کاری واحدهای ساختمانی آن‌ها در مقیاس نانو است. می‌توان گفت نانو فناوری تولید کارآمد مواد و دستگاه‌ها و سیستم‌ها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر و بهره برداری از خواص و پدیده های نو ظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم این شاخه از علم، جنبه چند رشته ای بودن آن است. مفهوم چند رشته ای در آن بدان معناست که نیروی کاری در علوم نانو فناوری باید دارای بینش وسیعی از مفاهیم زیست شناسی، فیزیک، شیمی، اصول مهندسی طراحی، کنترل فرآیند و محصولات باشد. برای درک مفاهیم پایه ای و تدوین قوانین در مقیاس نانو تقریباً به تمامی علوم نیاز است. اصل چند رشته ای بودن نانو فناوری بیانگر این حقیقت است که این علم رشته جدیدی نیست بلکه رویکرد جدیدی در تمام رشته‌ها است و تمام عرصه های مختلف علم و فناوری را در برمی گیرد. آنچه باعث ظهور نانو فناوری شده، نسبت سطح به حجم بالای نانو مواد است. این موضوع یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانو است. در مقیاس نانو، اشیاء شروع به تغییر رفتار می‌کنند و رفتار سطوح بر رفتار توده ای ماده غلبه می‌کند. در این مقیاس برخی روابط فیزیکی که برای مواد معمولی کاربرد دارند، نقض می‌شوند. در حقیقت در این مقیاس، قوانین فیزیک کوانتوم وارد صحنه می‌شوند و امکان کنترل خواص ذاتی ماده از جمله دمای ذوب، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی ماده وجود خواهد داشت[۱۹].

نسبت سطح به حجم ساختارهای نانو، نظیر ذرات نانو و نانولوله‌ها، بسیار زیاد است. بنابراین اجزای ایده آلی برای استفاده در کامپوزیت‌ها، واکنش‌های شیمیایی و ذخیره انرژی هستند. از آنجا که نانو ساختارها خیلی کوچک هستند، می‌توانند در ساخت سیستم‌هایی بکار برده شوند که چگالی المان خیلی بیشتری نسبت به انواع مقیاس‌های دیگر دارند. بنابراین قطعات الکترونیکی کوچک‌تر، ادوات سریع‌تر، عملکردهای پیچیده تر و مصرف بسیار کمتر انرژی را می‌توان با کنترل واکنش و پیچیدگی نانو ساختار، به طور همزمان بدست آورد[۱۹].

در حال حاضر، نانو فناوری یک تکنولوژی توانمند است، اما این پتانسیل را دارد که تبدیل به یک تکنولوژی جایگزین شود. فناوری نانو نه یک فناوری جدید، بلکه نگرشی تازه به کلیه‌ی فناوری‌های موجود است و لذا روش‌های مبتنی بر آن، در اصل همان فناوری‌های قبلی هستند که در مقیاس نانو انجام می‌شوند.

۲-۲- کاربردهای نانو فناوری

در حال حاضر برخی محصولات نانو فناوری موجود عبارتند از:

- تایرهای با پوشش مقاوم تولید شده از ترکیب ذرات مقیاس نانو متری خاک رس غیر آلی با پلیمرها.
- داروهای نانو ذره با ویژگی‌های تحویل دهی و کنترل بسیار بهبود یافته.
- چاپ بهبود یافته با استفاده از ذرات مقیاس نانو متری با بهترین خصوصیات رنگ‌ها و رنگ‌دانه‌ها.
- لیزر و هدهای دیسک مغناطیسی بسیار پیشرفته با کنترل دقیق ضخامت لایه‌ها.

- صنایع هوانوردی و اتوماسیون: مواد تقویت شده با نانو ذره برای بدنه های سبک‌تر، تایرهای تقویت شده با نانو ذره‌ها که فرسایش کمتری داشته و قابل باز یافت هستند، رنگ خارجی که نیاز به شستشو ندارد، پلاستیک‌های غیر قابل اشتعال و ارزان، سیستم‌های الکترونیکی برای کنترل و پوشش خود تعمیر.
- الکترونیک و ارتباطات: سیستم ضبط چند رسانه ای با استفاده از نانو لایه‌ها، صفحات نمایش مسطح، فناوری سیستم‌های بی‌سیم، قطعات و فرایندهای جدید در فناوری اطلاعات و ارتباطات، افزایش هزاران برابری در ظرفیت و سرعت پردازش داده‌ها با قیمت پایین‌تر و بازده مصرفی بیشتر در مقایسه با مدارات الکترونیکی کنونی.
- مواد شیمیایی و مواد: کاتالیزورهایی که بازده انرژی واکنش‌های شیمیایی را بالا برده و بازده عمل احتراق را در وسایل نقلیه موتوری را سبب شده‌اند، دریل‌ها و ابزارهای برش بسیار سخت و غیر شکننده، سیال‌های مغناطیسی هوشمند برای آب بندی خلأ و روان کننده‌ها.
- درمان، بهداشت و علوم زیستی: داروهای نانو ساختاری جدید، سیستم‌های ژنتیکی و دارو رسانی به مکان تعیین شده در بدن، پیوند سازگار اعضا و مایعات بدن، خود تشخیصی برای استفاده در خانه، موادی برای باز سازی بافت‌ها و استخوان‌های بدن.
- ساخت و تولید: مهندسی ابزارسازی مبتنی بر نسل‌های جدیدی از میکروسکوپ‌ها و تکنیک‌های اندازه گیری، فرایندها و ابزارهای جدید برای کنترل مواد در اندازه‌ی اتمی.
- فناوری‌های انرژی: انواع جدیدی از باطری‌ها، فتوسنتز مصنوعی برای انرژی پاک، سلول خورشیدی، چاه کوانتومی، ذخیره‌ی ایمن هیدروژن برای استفاده به عنوان سوخت پاکیزه و صرفه جویی انرژی با استفاده از مواد سبک‌تر و مدارات کوچک‌تر.
- کاوش در فضا: وسایل فضایی کم وزن، مدیریت اقتصادی‌تر انرژی و سیستم‌های رباتیک توانا و خیلی ریز.
- محیط زیست: غشای جداکننده برای فیلتر کردن آلودگی‌ها و حتی نمک از آب، جداکننده های نانو ساختاری برای خارج کردن آلودگی‌ها از پساب صنعتی، مشخص کردن اثرات نانو ساختارها در محیط زیست، تعدیل آسیب‌های صنعتی به محیط زیست با کاهش زیاد در مصرف انرژی و مواد، کاهش منابع آلودگی، فرصت‌های بیشتر برای باز یافت.
- امنیت ملی: آشکارسازها، سم زداهای عوامل زیستی و شیمیایی، و مدارات الکترونیکی بسیار کارامد، پوشش‌ها و مواد نانو ساختاری سخت، سیستم‌های امنیتی ظریف.