دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

عنوان:

ارتعاشات و ناپایداری الکترومگنتومکانیکی نانولوله‌های دوجداره نیتریدبور- فرومگنتیک به عنوان سازه‌های ساندویچی حاوی جریان سیال ضربان دار و ویسکوز واقع بر بستر ویسکوپاسترناک

استاد راهنما:

پروفسور علی قربانپور آرانی

استاد مشاور:

دکتر حیدری

توسط:

محمد باقر عزیزخانی

شهریور ۹۳

بسمه تعالی

تاریخ :
شماره :
پیوست :

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد باقر عزیزخانی — شماره دانشجویی: ۹-۱۳۵۲۰۰۰۸

رشته : مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی) — دانشکده : مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه : ارتعاشات ناپایداری الکترومگنتو مکانیکی نانو لوله های دو جداره تیتراید بور- فرومگنتیک به عنوان سازه های ساندویچی حاوی جریان سیال ضرباندار ویسکوز واقع بر بستر ویسکوپاسترناک

تعداد واحد پایان نامه : ۶ واحد — **تاریخ دفاع :۹۳/۶/ ۲۶**

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۳/۶/۲۶ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹ و درجه عالی به تصویب رسید .

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	پروفسور علی قربانپور	استاد	
۲.متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر محمد عارفی	استادیار	
۳.متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر محسن ایرانی رهقی	استادیار	
٤. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر محمد عارفی	استادیار	

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی مکانیک

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۱۱۱۳۱ دورنگار ۵۱۱۲۴۲۴
www.kashanu.ac.ir

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان

تعهدنامه

در این پایان نامه با عنوان:

۱- مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد و در مواردی که از یافته‌های علمی و پژوهشی دیگر محققان تحت عنوان کتاب، پایان‌نامه، مقاله و غیره استفاده نموده‌ام؛ رعایت کامل امانتداری را در ذکر مشخصات و منابع و مآخذ استفاده شده نموده و آن را در فهرست مربوطه‌اش درج کرده‌ام.

۲- تمامی یا بخشی از پایان‌نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی یا امتیازی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی توسط اینجانب و یا فرد دیگری ارائه نگردیده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

۳- مقالات مستخرج از این پایان‌نامه/ رساله کاملاً حاصل پژوهش اینجانب بوده و از هرگونه جعل در داده ها و یا تغییر پرهیز شده است.

۴- کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج، مطالعات، اختراعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه برای دانشگاه کاشان محفوظ است. نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

۵- درصورت اثبات تخلف در هر زمان مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه کاشان از درجه اعتبار ساقط و با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوط رفتار خواهد شد.

نام و نام خانوادگی استاد راهنما:

امضاء

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد پیامبر عزیزخانی

امضاء

آدرس: کاشان - بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۱۱۹ - دورنگار ۵۵۱۱۱۲۱
www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

همسرم

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

و

پدر و مادر عزیزم

که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر است

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود . در اینجا بر خود لازم میدانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نمودهاند تقد یر و تشکر نمایم.

از استاد راهنمای گرامی و بزرگوارم جناب **آقای پروفسور علی قربانپور** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نمودهاند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از جناب **آقای دکتر حیدری** به عنوان مشاور که با راهنمایی خود مرا مورد لطف قرار دادند کمال تشکر را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقایان **دکتر ایرانی** و اساتید داور، که این پایان نامه را مطالعه نموده اند تشکر می‌نمایم. و همچنین استاد ناظر تحصیلات تکمیلی جناب آقای **دکتر .....** که درجلسه دفاعیه شرکت نمودند تشکر می‌نمایم.

در پایان از تمامی کسانی که عاشقانه در کنارم ایستادند و رنجهای با من بودن را به جان خریدند به خصوص مادر مهربانم و عزیزانی که سایبان گرمشان را از دست داده ام بی نهایت سپاسگزارم.

محمد باقر عزیزخانی

چکیده

در این تحقیق، ارتعاشات و ناپایداری دینـامیکی یـک سیسـتم دولایـه ویسکوالاسـتیک شـامل نانولوله‌ی نیترید بور دو جداره که توسط یک نانولایه فرومغنـاطیس پوشـش داده شـده اسـت، مورد تحلیل قرار می گیرد. این سیستم حاوی جریان ضربان دار بوده که نیـروی حاصـل از آن توسط معادلات ناویر- استوکس که در آن سرعت سیال توسط عدد نادسن تصحیح شـده‌اسـت، محاسبه شده است. به منظور شبیه سـازی محـیط ویسکوالاسـتیک اطـراف سیسـتم، از مـدل ویسکو پاسترناک شامل فنرهای عمودی، لایه برشی و ضریب دمپ استفاده شـده اسـت. مـدل های تیر اویلر برنولی و تیموشنکو برای شبیه‌سازی نانولوله‌هـا اسـتفاده شـده و اثـرات مقیـاس کوچک با استفاده از تئوری ارینگن در نظر گرفته شده است. همچنین تئوری های کلوین-ویت و گورتین-مودراچ به ترتیب برای در نظر گرفتن خـواص ویسکوالاسـتیک مـاده و تـنش هـای سطحی به کار گرفته شده است. برای بدست آوردن معادلات حاکم بر سیستم، از روش انرژی و اصل همیلتون استفاده شده است. نتایج این پـروژه در دو بخـش تحلیـل ارتعاشـات و پایـداری دینامیکی ارائه شده است که برای تحلیل از روش عددی تفاضلات مربعی استفاده شـده اسـت. هدف از انجام این تحقیق، بررسی پارامترهایی همچـون اثـر مقیـاس کوچـک، سـرعت سـیال، ضخامت لایه فرومغناطیس، نسبت های بـدون بعـد هندسـی، تـنش هـاس سـطحی و محـیط ویسکوالاستیک روی فرکانس، سرعت بحرانی و ناپایداری دینامیکی سیستم مـی باشـد. نتـایج حاکی از آن است که با درنظر گرفتن تنش های سطحی فرکانس، سـرعت بحرانـی و محـدوده ناپایداری دینامیکی سیستم بیشتر می شود.

کلمات کلیدی: ارتعاشات و ناپایداری دینامیکی، نانولوله نیترید بور، مواد فرمغناطیس، سرعت ضربان دار، تنش های سطحی، تئوری کلوین-ویت.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-فصل اول: مقدمه ای بر فناوری نانو ۱

۱-۱-تعریف فناوری نانو..... ۱

۱-۲-چه انتظاری باید از فناوری نانو داشت؟..... ۳

۱-۳-عناصر پایه در فناوری نانو..... ۱۰

۱-۳-۱- نانولایه ها..... ۱۲

۱-۳-۲-نانوپوشش ها..... ۱۳

۱-۳-۳-نانوخوشه ها ۱۵

۱-۴-۳-نانوسیم ها..... ۱۵

۱-۳-۵-نانولوله ها..... ۱۷

۱-۳-۶-نانو حفره ها..... ۱۷

۱-۳-۷-نانو ذرات..... ۱۸

۱-۴-انواع گونه های کربن..... ۱۹

۱ -۴-۱-ویژگی های نانولوله ی کربنی..... ۱۹

۱-۴-۲-روش های تولید نانو لوله ی کربنی..... ۲۵

۱-۴-۲-۱-روش تخلیه قوس الکتریکی..... ۲۶

۱-۴-۲-۲-روش سایش لیزری ۲۷

۱-۴-۲-۳-روش رسوب بخار شیمیایی..... ۲۸

۱-۴-۳-کاربرد نانو لوله ی کربنی ۲۸

۱-۴-۳-۱-تهیه الیاف از نانولوله های کربنی..... ۲۹

۱-۴-۳-۲-نانو کامپوزیت های کربنی..... ۲۹

۱-۴-۳-۳-کاربردهای پزشکی..... ۲۹

۱-۴-۳-۴-کاربرد در صنعت نفت..... ۳۰

۱-۴-۳-۵-به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت..... ۳۰

۱-۴-۳-۶-استفاده در نمایشگرهای تشعشع میدانی..... ۳۰

۱-۴-۳-۷-استفاده از نانولوله های تک دیواره در صنعت الکترونیک:..... ۳۱

۱-۴-۳-۸- ساختار تو خالی نانولوله و کاربرد به عنوان ذخیره کننده و پیل سوختی..... ۳۲

۱-۴-۳-۹-ساخت نانوماشین ها با استفاده از نانولوله های کربنی..... ۳۳

۱-۴-۳-۱۰-تولید حسگرها..... ۳۴

۱-۵-نانولوله های نیترید بور..... ۳۵

۱-۵-۱-روش های تولید نانو لوله نیترید بور..... ۳۷

۱-۵-۱-۱-روش تخلیه قوس الکتریکی..... ۳۸

۱-۵-۱-۲-روش تبخیر لیزری..... ۳۸

۱-۵-۱-۳-واکنش های جانشینی ۳۹

۱-۵-۱-۴-روش رسوب بخار شیمیایی..... ۳۹

۱-۵-۱-۵-روش اسیای گلوله ای..... ۴۰

۱-۵-۱-۶-روش انقباض بخار تحت فشار..... ۴۰

۱-۵-۲-ویژگی های نانو لوله های نیترید بور..... ۴۱

۱-۵-۳-نانوکامپوزینت های نانو لوله ای نیترید بور..... ۴۲

۱-۶-پیشینه..... ۴۳

فصل دوم : مدل تیر اویلر – برنولی..... ۴۹

۲-۱-تیر اویلر برنولی..... ۴۹

۲-۲-معادلات حرکت..... ۵۴

۲-۳-انرژی کرنشی..... ۵۴

۲-۴-انرژی جنبشی..... ۵۶

۲-۵-کار نیروها..... ۵۷

۲-۶-اصل کمترین انرژی پتانسیل..... ۵۸

۲-۷-تئوری الاستیسیته ی سطح..... ۵۹

۲-۸-تئوری غیر موضعی..... ۶۳

۲-۹-معادلات حرکت بی بعد.....۶۶

فصل سوم : مدل تیر تیموشینکو.....۷۰

۳-۱-تیر تیموشینکو.....۷۰

۳-۲-روش انرژی.....۷۳

۳-۳-انرژی کرنشی.....۷۳

۳-۴-انرژی جنبشی.....۷۵

۳-۵-کار نیروها.....۷۶

۳-۶-اصل همیلتون.....۷۷

۳-۷-تئوری الاستیسیته ی سطح.....۷۸

۳-۸-تئوری غیر موضعی.....۸۲

۳-۹-معادلات حرکت بی بعد.....۸۶

فصل چهارم: روش عددی DQM ۹۱

۴-۱-مقدمه.....۹۱

۴-۲-معرفی روش DQM.....۹۲

۴-۲-۱-انتخاب نقاط نمونه.....۹۴

۴-۲-۲-توابع تست و اعمال روشDQM.....۹۶

۴-۲-۲-۱-توابع تست روش DQM ۹۶

۴-۲-۲-۱-۱-روش اول.....۹۷

۴-۲-۱-۱-۲-روش دوم.....۱۰۰

۴-۳-شرط مرزی و نحوه ی اعمال ان.....۱۰۳

۴-۳-۱-تکنیک دلتا.....۱۰۳

۴-۳-۲-تکنیک اصلاح ضرائب وزنی.....۱۰۳

۴-۴-پروسه حل معادلات حاکمه بر اساس روش DQM.....۱۰۶

فصل پنجم : نتایج عددی و نمودارهای حاصله ۱۰۹

۵-۱-نتایج عددی و بحث در نمودارهای دینامیکی.....۱۰۹

۵-۱-۱-مدل تیر اویلر برنولی.....۱۰۹

۵-۱-۲-مدل تیر تیموشینکو.....۱۱۹

۵-۲- نتایج عددی و بحث در نمودارهای ارتعاشاتی.....۱۳۱

۵-۲-۱- مدل تیر اویلر برنولی.....۱۳۱

۵-۲-۲- مدل تیر تیموشینکو.....۱۴۷

فصل ۶ : نتیجه گیری و پیشنهادات.....۱۶۷

۶-۱-نتیجه گیری.....۱۶۷

۶-۲-پیشنهاد ادامه کار.....۱۶۹

فهرست مراجع.....۱۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱-نانولایه ها..... ۱۲

شکل۱-۲-نانو پوشش ها..... ۱۴

شکل ۱-۳-نانو خوشه ها..... ۱۵

شکل ۱-۴-نانو سیم ها..... ۱۶

شکل ۱-۵-نانولوله ها..... ۱۷

شکل ۱-۶-نانوذرات..... ۱۸

شکل۱-۷-انواع گونه های کربنی..... ۱۹

شکل ۱-۸-استفاده در صنعت الکترونیک..... ۳۲

شکل ۱-۹-ذخیره کننده ی پیلی..... ۳۴

شکل۱-۱۰- کریستال‌های نیترید بور..... ۳۷

شکل ۲-۱-تیر اویلر برنولی ۴۹

شکل ۲-۲-تیر تغییر شکل یافته..... ۵۰

شکل ۲-۳-ساختارهای مهم نانولوله..... ۵۰

شکل ۳-۱-اثر برش بر روی تیر..... ۷۰

شکل ۳-۲-بررسی نیرو بر روی مقطعی از تیر تیموشینکو..... ۷۱

شکل ۴-۱-شبکه بندی با فواصل نامساوی شکل.....۹۵

شکل ۵-۱-دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد ضخامت به طول نانو لوله.....۱۱۰

شکل۵-۲ بیانگر دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد ضخامت به طول روکش فرومگنت.....۱۱۱

شکل۵-۳ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان داربرای مقیاس کوچک.....۱۱۲

شکل ۵-۴ نمودار دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس ضربان دار بی بعدبرای محیط های مختلف.....۱۱۳

شکل ۵-۵ بیانگر دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها.....۱۱۴

شکل ۵-۶ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای قسمت بدون بعد ضخامت.....۱۱۵

شکل۵-۷ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای عددهای نادسن.....۱۱۶

شکل ۵-۸ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار در صورت وجود یا عدم وجود اثر سطح.....۱۱۷

شکل ۵-۹ دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای تنش های پسماند.....۱۱۸

شکل ۵-۱۰ بررسی دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس.....۱۱۹

شکل ۵-۱۱ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد ضخامت به طول نانو لوله..... ۱۲۰
شکل ۵-۱۲ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد ضخامت به طول روکش فرومگنت ۱۲۱
شکل ۵-۱۳ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان داربرای مقیاس کوچک ۱۲۲
شکل ۵-۱۴ اثر محیط های مختلف را روی نمودار دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس ضربان دار بی بعد ۱۲۳
شکل ۵-۱۵ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها..... ۱۲۴
شکل ۵-۱۶ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای قسمت بدون بعد ضخامت..... ۱۲۵
شکل ۵-۱۷ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای عددهای نادسن مختلف..... ۱۲۶
شکل ۵-۱۸ دامنه سرعت ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار در صورت وجود و عدم وجود اثر سطح..... ۱۲۷
شکل ۵-۱۹ دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای تنش های پسماند..... ۱۲۸
شکل ۵-۲۰ دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس..... ۱۲۹

شکل ۵-۲۱ دامنه ضربان دار بی بعد بر حسب فرکانس بی بعد ضربان دار برای مقایسه دو مدل تیموشینکو و اویلر برنولی.....۱۳۱
شکل ۵-۲۲ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت نانولوله به طول ان.....۱۳۲
شکل ۵-۲۳ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت نانولوله به طول ان.....۱۳۲
شکل ۵-۲۴ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت روکش فرو مگنت به طول آن.....۱۳۳
شکل ۵-۲۵ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت روکش فرو مگنت به طول آن.....۱۳۴
شکل ۵-۲۶ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال به ازای مقادیر مختلف مقیاس کوچک.....۱۳۵
شکل ۵-۲۷ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال به ازای مقادیر مختلف مقیاس کوچک.....۱۳۶
شکل ۵-۲۸ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای محیط های مختلف.....۱۳۷
شکل ۵-۲۹ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای محیط های مختلف.....۱۳۸
شکل ۵-۳۰ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها.....۱۳۹
شکل ۵-۳۱ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها.....۱۳۹

شکل ۵-۳۲ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نادسن نامبرهای مختلف..... ۱۴۰
شکل ۵-۳۳ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نادسن نامبرهای مختلف..... ۱۴۱
شکل ۵-۳۴ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای ضخامت نانولوله..... ۱۴۲
شکل ۵-۳۵ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای ضخامت نانولوله..... ۱۴۲
شکل ۵-۳۶ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای وجود و عدم وجود اثر سطح..... ۱۴۳
شکل ۵-۳۷ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای وجود و عدم وجود اثر سطح..... ۱۴۴
شکل ۵-۳۸ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای تنش پسماند..... ۱۴۵
شکل ۵-۳۹ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای تنش پسماند..... ۱۴۵
شکل ۵-۴۰ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس..... ۱۴۶
شکل ۵-۴۱ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس..... ۱۴۷
شکل ۵-۴۲ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت نانولوله به طول ان..... ۱۴۸
شکل ۵-۴۳ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت نانولوله به طول ان..... ۱۴۹

شکل ۵-۴۴ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت روکش فرو مگنت به طول آن..... ۱۵۰
شکل ۵-۴۵ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت ضخامت روکش فرو مگنت به طول آن..... ۱۵۱
شکل ۵-۴۶ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال به ازای مقادیر مختلف مقیاس کوچک..... ۱۵۲
شکل ۵-۴۷ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال به ازای مقادیر مختلف مقیاس کوچک..... ۱۵۳
شکل ۵-۴۸ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای محیط های مختلف..... ۱۵۴
شکل ۵-۴۹ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای محیط های مختلف..... ۱۵۵
شکل ۵-۵۰ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها..... ۱۵۶
شکل ۵-۵۱ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نسبت بدون بعد شعاع خارجی لایه های برن نیترید به شعاع داخلی لوله ها..... ۱۵۷
شکل ۵-۵۲ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای نادسن نامبرهای مختلف..... ۱۵۸
شکل ۵-۵۳ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای نادسن نامبرهای مختلف..... ۱۵۸
شکل ۵-۵۴ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای ضخامت نانولوله..... ۱۵۹
شکل ۵-۵۵ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای ضخامت نانولوله..... ۱۶۰

شکل۵-۵۶ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای وجود و عدم وجود اثر سطح.....۱۶۱

شکل۵-۵۷ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای وجود و عدم وجود اثر سطح.....۱۶۱

شکل۵-۵۸ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال برای تنش پسماند.....۱۶۲

شکل ۵-۵۹ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال برای تنش پسماند.....۱۶۳

شکل ۵-۶۰ تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس.....۱۶۴

شکل ۵-۶۱ تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال در صورت وجود یا عدم وجود واندروالس.....۱۶۵

شکل ۵-۶۲ مقایسه تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به سرعت سیال بین دو تیر تیموشینکو و اویلر برنولی.....۱۶۶

شکل ۵-۶۳ مقایسه تغییرات فرکانس میرایی نسبت به سرعت سیال بین دو تیر تیموشینکو و اویلر برنولی.....۱۶۶

فصل اول : مقدمه ای بر فناوری نانو

۱–۱–تعریف فناوری نانو

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانوابعادی در حدود ۱nm تا ۱۰۰ nm می‌باشد. (۱ نانومتر یک میلیاردیم متر است).

اولین جرقه فناوری نانو (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود) در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال ریچارد فاینمن طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم.

واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی[1] استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبانها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت م واد (وسایل) دقیقی که تلورانس ابعادی آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال ۱۹۸۶ این واژه توسط کیم اریک درکسلر[2] درکتابی تحت عنوان «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری‌نانو»بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکترای خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آنرا در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها ماشین‌های مولکولی چگونگی ساخت و محاسبات آنها» توسعه داد.

پس ما می توانیم فناوری نانو را در حالات مختلف تعریف کنیم:

---

[1] - Norio Taniguchi

[2] - Kim Eric Drexler