



دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

جذب انرژی ارتعاشی یک صفحه غیرخطی با کمک میدان مغناطیسی

نام دانشجو:

بهزاد جانی زاده حاجی

استاد راهنما:

دکتر مرتضی دردل

دکتر محمد هادی پاشایی

استاد مشاور:

دکتر رضا اکبری آلاشتی

بهمن ۱۳۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کپی فرم صورت جلسه دفاع دانشگاه صنعتی نوشیروانی که مهمور به
تحصیلات تکمیلی است

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان نامه یا رساله:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج و مالکیت مادی و معنوی

باسمه تعالی

اینجانب به شماره دانشجویی دانشجوی رشته
..... مقطع تحصیلی..... تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه ارشد/رساله
دکتری تحت عنوان به استاد
راهنمایی دکتر.....حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد
نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف
مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و
مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و
انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و
تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤلیت هرگونه پاسخگویی به
اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و
دانشگاه هیچ‌گونه مسؤلیتی در این خصوص نخواهد داشت. در ضمن تمام دستاوردهای مادی و معنوی
حاصله از پایان نامه ارشد/ رساله دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می باشد و اینجانب هیچ
گونه ادعایی در قبال آن ندارم.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

پیامبر صل الله علیه وآله می فرمایند:

« کستی که برای رضای الهی در پی کسب دانش باشد، هربابی از دانش که به روی وی گشوده

می شود ذلت و خودکم بینی اش در برابر خودش، تواضعش در برابر مردم، ترسش در برابر خدا و

تلاشش در امور دینی افزایش می یابد. چنین شخصی از علمش بهره می برد پس شانه‌ها از علم او

بهره گیری. و کستی که برای دنیا و منزلت نزد مردمان و مکانت نزد حاکمان به دنبال تحصیل

دانش باشد، هربابی از دانش که بر او گشوده می شود، خود بزرگ بینی او در برابر خودش و مردم،

غرورش در برابر خداوند و ستم کاریش در حق دین افزایش می یابد. چنین فردی بهره ای از

علمش نمی برد...» (بحار الانوار، محمد باقر مجلسی)

پس از حمد و سپاس پروردگار متعال، بر خود می دانم که از

زحمات تمام کسانی که حتی کلمه ای به من آموختند به خصوص

دکتر مرتضی دردل و دکتر محمد مهدی پاشایی که رهنمودهای

ایشان راهگشای انجام این پایان نامه بوده است تسکرو

قدر دانی نمایم.

چکیده

اغلب سیستم‌های جذب انرژی، سیستم‌های خطی رزونانسی می‌باشند که فقط در یک بازه‌ی محدود نزدیک فرکانس رزونانس دارای کارایی مناسب می‌باشند و یک انحراف کوچک از فرکانس رزونانس موجب کاهش شدید توان قابل جذب می‌شود. در کار حاضر جذب انرژی ارتعاشی از ورق غیرخطی یک سر گیردار تحت تحریک هارمونیک تکیه‌گاهی به کمک میدان مغناطیسی و افزایش توان قابل جذب در پهنه فرکانسی وسیع‌تر بررسی شده است. همچنین نحوه تأثیر پارامترهای مختلف میدان مغناطیسی و پارامترهای میرایی، اینرسی، سفتی خطی و غیرخطی بر روی رفتار سیستم مورد مطالعه قرار گرفته است و یک روش کنترلی برای بهبود سیستم جاذب پیشنهاد شده است. در مدل‌سازی از روش مد مفروض و رابطه اویلر-لاگرانژ و نیز تئوری مرتبه اول برشی ورق استفاده گردید و تغییر شکل برشی و اینرسی دورانی در نظر گرفته شده است. از آنجا که در بررسی سیستم‌های جذب انرژی، به دست آوردن پاسخ فرکانسی از آن جهت که بهترین محدوده جذب انرژی و عملکرد سیستم را نشان می‌دهد بسیار اهمیت دارد، یک روش نیمه تحلیلی برای حل سریع مساله و یافتن پاسخ فرکانسی به کار گرفته شده است. در این روش ابتدا معادلات حرکت از روش میانگین‌گیری مختلط حل شده و سپس برای حل دستگاه معادلات غیر خطی حاصل از اعمال این روش، از الگوریتم پیوسته شبه کمان استفاده گردید. به منظور اعتبار سنجی روش حل ارائه شده، مقایسه‌ای بین حل عددی و حل نیمه‌تحلیلی در حالت پایا در فرکانس‌های مختلف انجام شده است. همچنین سیستم جذب انرژی خطی و غیرخطی با یکدیگر مقایسه و نیز پایداری پاسخ تناوبی و انشقاق‌های سیستم غیرخطی بررسی شده است. علاوه بر این به منظور بررسی تأثیر افزایش تعداد مدها بر پاسخ سیستم و نیز همگرایی جواب‌ها، مقایسه‌ای بین حل با تعداد مدهای مختلف در جهت X و Y صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: جذب انرژی به کمک الکترومغناطیس، ارتعاشات ورق غیرخطی، روش میانگین‌گیری مختلط، الگوریتم تکرار شبه کمان، روش مد مفروض.

فهرست مطالب

۱		
	<i>فصل ۱. مقدمه و مرور کارهای انجام شده</i>	
۲	مقدمه	۱-۱
۴	تعاریف، اصول و مبانی نظری	۲-۱
۹	مرور پژوهش‌های انجام شده	۳-۱
۱۴	نتیجه گیری	۴-۱
۱۷	فرضیات حاکم بر مسئله	۵-۱
۱۸	<i>فصل ۲. معادلات حاکم بر سیستم</i>	
۱۹	مقدمه	۲-۱
۱۹	مدلسازی اثر الکترومغناطیس	۲-۲
۲۱	معادلات حرکت سیستم جذب انرژی ارتعاشی از تیر یکسرگیردار	۳-۲
۲۵	انتخاب شکل مدهای مناسب	۴-۲
۲۷	حل معادلات حرکت	۵-۲
۲۷	روش میانگین گیری مختلط	۱-۵-۲
۲۸	حل معادلات حرکت در حالت تک مد به کمک روش میانگین گیری مختلط	۶-۲
۲۹	حل معادلات حرکت در حالت دو مد به کمک روش میانگین گیری مختلط	۷-۲
۳۱	معادلات حرکت سیستم جذب انرژی ارتعاشی از صفحه یکسرگیردار	۸-۲
۴۰	انتخاب شکل مدهای مناسب	۹-۲
۴۱	حل معادلات حرکت	۱۰-۲
۴۱	روش میانگین گیری مختلط	۱-۱۰-۲
۴۵	<i>فصل ۳. نتایج و تفسیر آن‌ها</i>	
۴۶	مقدمه	۱-۳
۴۶	نتایج جذب انرژی از تیر مرتعش	۳-۲
۴۶	اعتبارسنجی حل ارائه شده	۱-۲-۳
۴۸	مقایسه جاذب انرژی خطی و غیرخطی	۳-۲-۲
۵۰	بررسی همگرایی نتایج	۳-۲-۳

۵۲	تحلیل پایداری و انشقاق‌ها	۳-۲-۴
۵۳	بررسی اثر تحریک تکیه‌گاهی و پارامترهای سیستم الکترومغناطیس بر رفتار ساختار جذب انرژی	۳-۲-۵
۵۴	تأثیر تحریک تکیه‌گاهی بر رفتار سیستم	۳-۲-۵-۱
۵۵	تأثیر شدت میدان مغناطیسی بر رفتار سیستم	۳-۲-۵-۲
۵۷	تأثیر مکان قرارگیری مغناطیس دائم بر رفتار سیستم	۳-۲-۵-۳
۵۹	بهبود عملکرد جاذب انرژی	۳-۲-۶
۶۱	تأثیر سفتی خطی بر رفتار سیستم	۳-۲-۶-۱
۶۲	تأثیر سفتی غیرخطی بر رفتار سیستم	۳-۲-۶-۲
۶۳	تأثیر میرایی بر رفتار سیستم	۳-۲-۶-۳
۶۴	تأثیر اینرسی بر رفتار سیستم	۳-۲-۶-۴
۶۵	نیروی کنترلی برای بهبود عملکرد جاذب انرژی	۳-۲-۶-۵

۳-۳ نتایج جذب انرژی از صفحه مرتعش

۷۲	اعتبار سنجی حل ارائه شده	۱-۳-۳
۷۴	مقایسه جاذب انرژی خطی و غیرخطی	۲-۳-۳
۷۵	بررسی همگرایی نتایج	۳-۳-۳
۷۵	همگرایی در جهت محور y	۱-۳-۳-۳
۷۶	همگرایی در جهت محور x	۲-۳-۳-۳
۷۷	تحلیل پایداری و انشقاق‌ها	۳-۳-۴
۷۹	بررسی اثر تحریک تکیه‌گاهی و پارامترهای سیستم الکترومغناطیس بر رفتار ساختار جذب انرژی	۳-۳-۵
۷۹	تأثیر تحریک تکیه‌گاهی بر رفتار سیستم	۱-۵-۳-۳
۸۱	تأثیر شدت میدان مغناطیسی بر رفتار سیستم	۲-۵-۳-۳
۸۲	تأثیر مکان قرارگیری مغناطیس دائم بر رفتار سیستم	۳-۵-۳-۳
۸۵	بهبود عملکرد جاذب انرژی	۳-۳-۶
۸۵	تأثیر سفتی خطی بر رفتار سیستم	۱-۶-۳-۳
۸۷	تأثیر سفتی غیرخطی بر رفتار سیستم	۲-۶-۳-۳
۸۹	تأثیر میرایی بر رفتار سیستم	۳-۶-۳-۳
۹۰	تأثیر اینرسی بر رفتار سیستم	۴-۶-۳-۳
۹۱	نیروی کنترلی برای بهبود عملکرد جاذب انرژی	۵-۶-۳-۳

۹۹ فصل ۴. جمع‌بندی و پیشنهادها

۱۰۰	جمع بندی	۱-۴
-----	----------	-----

۱۰۱	پیشنهادها	۲-۴
-----	-----------	-----

۱۰۳ فصل ۵. مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ ساختار جذب انرژی ارتعاشی به روش الکترواستاتیک..... ۴
- شکل ۲-۱ ساختار جذب انرژی ارتعاشی به وسیله پیزوالکتریک..... ۵
- شکل ۳-۱ پیکره‌بندی معمول جذب انرژی با الکترومغناطیس..... ۶
- شکل ۴-۱ نمودار تغییرات توان بر حسب ابعاد..... ۶
- شکل ۵-۱ سیستم جذب انرژی با کمک الکترومغناطیس ویلیام..... ۱۰
- شکل ۱-۲ پیکره‌بندی سیستم جذب انرژی ارتعاشی از تیر یکسرگردار به وسیله الکترومغناطیس..... ۱۹
- شکل ۲-۲ پیکره‌بندی سیستم جذب انرژی ارتعاشی از صفحه به وسیله الکترومغناطیس..... ۱۹
- شکل ۳-۲ تغییر شکل در تیر با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی و اینرسی دورانی..... ۲۲
- شکل ۴-۲ تغییر شکل در ورق با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی..... ۳۳
- شکل ۱-۳ مقایسه نتایج حل عددی و روش نیمه تحلیلی در حالت پایا در فرکانس الف) ۳/۴۴۲ ب) ۲۱/۸۵ ج) ۲۶/۲۵..... ۴۷
- شکل ۲-۳ ساختار جذب انرژی ارائه شده در [۳۴]..... ۴۸
- شکل ۳-۳ مقایسه جابجایی انتهای صفحه در جاذب انرژی خطی و غیرخطی..... ۴۹
- شکل ۴-۳ مقایسه توان الکتریکی قابل جذب در جاذب انرژی خطی و غیرخطی..... ۵۰
- شکل ۵-۳ بررسی همگرایی نتایج برای جابجایی انتهای صفحه..... ۵۱
- شکل ۶-۳ بررسی همگرایی نتایج برای توان الکتریکی قابل جذب..... ۵۱
- شکل ۷-۳ قسمت حقیقی مقادیر ویژه..... ۵۳
- شکل ۸-۳ قسمت موهومی مقادیر ویژه..... ۵۳
- شکل ۹-۳ پاسخ فرکانسی جابجایی سر آزاد تیر به ازای شتاب‌های تکیه‌گاهی مختلف..... ۵۴
- شکل ۱۰-۳ پاسخ فرکانسی توان الکتریکی به ازای شتاب‌های تکیه‌گاهی مختلف..... ۵۴
- شکل ۱۱-۳ پاسخ فرکانسی بخش حقیقی مقادیر ویژه به ازای شتاب‌های تکیه‌گاهی مختلف..... ۵۵
- شکل ۱۲-۳ پاسخ فرکانسی جابجایی سر آزاد تیر به ازای شدت میدان مغناطیسی مختلف..... ۵۶
- شکل ۱۳-۳: پاسخ فرکانسی توان الکتریکی به ازای شدت میدان مغناطیسی مختلف..... ۵۶
- شکل ۱۴-۳ پاسخ فرکانسی بخش حقیقی مقادیر ویژه به ازای شدت میدان مغناطیسی مختلف..... ۵۷
- شکل ۱۵-۳ پاسخ فرکانسی جابجایی سر آزاد تیر به ازای فواصل مختلف مغناطیس دائم از سرگردار تیر..... ۵۸
- شکل ۱۶-۳ پاسخ فرکانسی توان الکتریکی به ازای فواصل مختلف مغناطیس دائم از سرگردار تیر..... ۵۸
- شکل ۱۷-۳ پاسخ فرکانسی بخش حقیقی مقادیر ویژه به ازای فواصل مختلف مغناطیس دائم از سرگردار تیر..... ۵۹
- شکل ۱۸-۳ مقایسه توان مفید و توان تئوری در سیستم جذب انرژی غیرخطی..... ۵۹
- شکل ۱۹-۳ مفهوم محدوده سفتی غالب، میرایی غالب و اینرسی غالب در ارتعاش سیستم یک درجه آزادی..... ۶۱

- شکل ۳-۲۰ تأثیر تغییر سفتی خطی بر جاذب انرژی به ازای $\alpha = -0.5, 0, 3/34, 5$ ۶۲
- شکل ۳-۲۱ تأثیر تغییر سفتی غیرخطی بر جاذب انرژی به ازای $\alpha = -1/0.023, 0/999, /9, /99$ ۶۳
- شکل ۳-۲۲ تأثیر میرایی بر سیستم جذب انرژی به ازای $\alpha = -0/2, 0, 1/1, 3/25$ ۶۴
- شکل ۳-۲۳ تأثیر اینرسی بر سیستم جذب انرژی به ازای $\alpha = 35, 25, 15, 5$ ۶۵
- شکل ۳-۲۴ مقایسه سیستم سفتی متغیر با سیستم سفتی ثابت ۶۷
- شکل ۳-۲۵ تأثیر سفتی غیرخطی ترکیبی بر توان الکتریکی قابل جذب ۶۸
- شکل ۳-۲۶ مقایسه جاذب انرژی با سفتی غیرخطی متغیر و سفتی غیرخطی ترکیبی ۶۹
- شکل ۳-۲۷ مقایسه جاذب انرژی بهبود یافته با سیستم اولیه ۷۰
- شکل ۳-۲۸ مقایسه سیستم بهبود یافته کلی با سیستم‌هایی که فقط یک پارامتر در آن تغییر کند ۷۱
- شکل ۳-۲۹ مقایسه نتایج حل عددی و روش نیمه تحلیلی در حالت پایا در فرکانس الف (۲/۹۳۸ ب) ۶/۰۱۲ ۷۳
- شکل ۳-۳۰ مقایسه جابجایی انتهای صفحه در جاذب انرژی خطی و غیرخطی ۷۵
- شکل ۳-۳۱ مقایسه توان الکتریکی قابل جذب در جاذب انرژی خطی و غیرخطی ۷۵
- شکل ۳-۳۲ بررسی همگرایی نتایج برای جابجایی انتهای صفحه در جهت محور X ۷۶
- شکل ۳-۳۳ بررسی همگرایی نتایج برای توان الکتریکی قابل جذب در جهت محور X ۷۶
- شکل ۳-۳۴ بررسی همگرایی نتایج برای جابجایی انتهای صفحه در جهت محور Y ۷۷
- شکل ۳-۳۵ بررسی همگرایی نتایج برای توان الکتریکی قابل جذب در جهت محور Y ۷۷
- شکل ۳-۳۶ قسمت حقیقی مقادیر ویژه ۷۸
- شکل ۳-۳۷ قسمت موهومی مقادیر ویژه ۷۹
- شکل ۳-۳۸ اثر تحریک تکیه‌گاهی بر پاسخ فرکانسی جابجایی انتهای صفحه ۸۰
- شکل ۳-۳۹ اثر تحریک تکیه‌گاهی بر پاسخ فرکانسی توان الکتریکی قابل جذب ۸۰
- شکل ۳-۴۰ اثر تحریک تکیه‌گاهی بر محدوده پایداری و انشقاق‌های سیستم جذب انرژی ۸۰
- شکل ۳-۴۱ اثر شدت میدان مغناطیسی بر پاسخ فرکانسی جابجایی انتهای صفحه ۸۱
- شکل ۳-۴۲ اثر شدت میدان مغناطیسی بر پاسخ فرکانسی توان الکتریکی قابل جذب ۸۱
- شکل ۳-۴۳ اثر شدت میدان مغناطیسی بر محدوده پایداری و انشقاق‌های سیستم جذب انرژی ۸۲
- شکل ۳-۴۴ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت X بر پاسخ فرکانسی جابجایی صفحه ۸۳
- شکل ۳-۴۵ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت X بر توان الکتریکی قابل جذب ۸۳
- شکل ۳-۴۶ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت X بر محدوده پایداری و انشقاق‌های سیستم جذب انرژی ۸۳
- شکل ۳-۴۷ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت Y بر پاسخ فرکانسی جابجایی صفحه ۸۴
- شکل ۳-۴۸ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت Y بر توان الکتریکی قابل جذب ۸۴

- شکل ۳-۴۹ بررسی اثر مکان مغناطیس دائم در جهت Y بر محدوده پایداری و انشقاق‌های سیستم جذب انرژی..... ۸۵
- شکل ۳-۵۰ تأثیر تغییر سفتی خطی بر جاذب انرژی..... ۸۷
- شکل ۳-۵۱ تأثیر تغییر سفتی خطی بر قسمت حقیقی مقادیر ویژه..... ۸۷
- شکل ۳-۵۲ تأثیر تغییر سفتی غیرخطی بر جاذب انرژی..... ۸۹
- شکل ۳-۵۳ تأثیر تغییر سفتی غیرخطی بر قسمت حقیقی مقادیر ویژه..... ۸۹
- شکل ۳-۵۴ تأثیر میرایی بر سیستم جذب انرژی..... ۹۰
- شکل ۳-۵۵ تأثیر میرایی بر قسمت حقیقی مقادیر ویژه..... ۹۰
- شکل ۳-۵۶ تأثیر اینرسی بر سیستم جذب انرژی..... ۹۱
- شکل ۳-۵۷ تأثیر اینرسی بر قسمت حقیقی مقادیر ویژه..... ۹۱
- شکل ۳-۵۸ مقایسه سیستم سفتی متغیر با سیستم سفتی ثابت..... ۹۳
- شکل ۳-۵۹ تأثیر سفتی غیرخطی ترکیبی بر توان الکتریکی قابل جذب..... ۹۵
- شکل ۳-۶۰ مقایسه جاذب انرژی با سفتی غیرخطی متغیر و سفتی غیرخطی ترکیبی..... ۹۶
- شکل ۳-۶۱ مقایسه جاذب انرژی بهبودیافته با سیستم اولیه..... ۹۷
- شکل ۳-۶۲ مقایسه سیستم بهبودیافته کلی با سیستم‌های که فقط یک پارامتر در آن تغییر کند..... ۹۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مقایسه روش‌های جذب انرژی.....۷
- جدول ۲-۲ نتایج برخی از تحقیقات انجام شده از روش‌های مختلف جذب انرژی.....۷
- جدول ۱-۴ مشخصات ساختار جذب انرژی به وسیله میدان الکترومغناطیس.....۷۲

فهرست علائم

a	طول صفحه	E	مدول الاستیک
b	عرض صفحه	N	تعداد حلقه سیم پیچ
h	ارتفاع صفحه	R_{load}	مقاومت بار
L	طول تیر	R_{coil}	مقاومت سیم پیچ
L_{coil}	طول هر حلقه از سیم پیچ	B	شدت میدان مغناطیسی
ρ	چگالی	A	مساحت
Ω	فرکانس بی بعد تحریک	u	جابجایی در جهت طول
τ	زمان بی بعد	v	جابجایی در جهت عرض
β_y	زاویه برشی در صفحه YZ	w	جابجایی در جهت قائم
β_x	زاویه برشی در صفحه XZ	T	انرژی جنبشی
$\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}$	کرنش محوری	ν	ضریب پواسون
$\gamma_{yz}, \gamma_{yx}, \gamma_x$	کرنش برشی	K	ضریب تصحیح برش

فصل ۱. مقدمه و مرور کارهای انجام شده

۱-۱ مقدمه

جذب انرژی موجود در محیط اطراف و تبدیل آن به انرژی الکتریکی همواره مورد توجه محققان بوده است. به خصوص با افزایش بحران انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی و نیز رشد تکنولوژی و تولید وسایل کم مصرف الکتریکی در دهه‌های اخیر، این مسئله بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و محققان بسیاری به بررسی آن پرداخته‌اند. استفاده از انرژی باد و خورشید در تولید برق نمونه‌هایی آشنا از جذب انرژی محیط در مقیاس بزرگ (در حد مگاوات) می‌باشد. در سال‌های اخیر، استفاده از انرژی‌های کوچک محیط به عنوان یک منبع دائمی تأمین توان در سیستم‌هایی که به منبع توان کم؛ در حد میلی یا میکرو وات لازم دارند؛ مورد توجه ویژه قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از ترموالکتریک‌ها در جذب انرژی گرمایی و آلیاژهای حافظه‌دار نام برد. در بین منابع انرژی قابل دسترس نیز، انرژی جنبشی به علت این که در کاربردهای مختلف در محیط اطرافمان وجود دارد بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. حرکت انسان، جریان رودخانه‌ها، تونل‌های آب و هوا، ارتعاش پل‌ها، ساختمان‌ها، بال هواپیما و غیره از جمله منابع انرژی جنبشی قابل بازیافت می‌باشند. رایج‌ترین زمینه در جذب انرژی جنبشی، تبدیل انرژی جنبشی ارتعاشی به الکتریسیته می‌باشد. مفهوم جذب انرژی ارتعاشی یک مفهوم جدید در ساختارهای مکانیکی است که در آن بجای استهلاک انرژی از طریق میراگرها یا اعمال نیروهای فعال برای مقابله با نیروی ارتعاشی یا عامل ایجاد آن، این انرژی در یک باتری، خازن یا هر وسیله دیگری ذخیره می‌شود. به این ترتیب از میزان ارتعاش سیستم به تدریج کاسته می‌شود ساختارهای مختلفی برای جذب انرژی پیشنهاد شده‌اند که عموماً بر اساس استفاده از مواد هوشمند نظیر پیزوالکتریک‌ها، سیالات مگنتورئولوژیک و غیره می‌باشند. اما یکی از بهترین راه‌ها برای این منظور استفاده از میدان مغناطیسی است. در این سیستم‌ها با استفاده از میدان مغناطیسی و اتصال الکتریکی به سیستم ارتعاشی، طبق قانون فارادی یک نیروی الکتریکی یا ولتاژ الکتریکی تولید می‌شود، که با ذخیره انرژی در یک باتری، از این انرژی استفاده خواهد شد. همان طور که اشاره شد هدف اصلی در این نوع جذب انرژی تأمین توان سیستم‌های کم توان و به خصوص استفاده در سنسورهای بدون سیم^۱ و قابل حمل^۲ می‌باشد. از این ساختارهای جذب انرژی در سیستم‌های مختلفی مخصوصاً در ساختار میکرو الکتریکی مکانیکی (MEMS)، سیستم‌های میکرو، توربین‌های بادی، هواپیمایی و غیره استفاده می‌شود. از موارد کاربرد جذب انرژی جنبشی که تا کنون مورد استفاده قرار گرفته است می‌توان نمونه‌های زیر را نام برد:

^۱ Wireless

^۲ Portable

۱- به عنوان منبع توان دائمی در سنسورهای مادام‌العمر بی‌سیم^۱: این سنسورها در برخی از صنایع و محیط‌ها به صورت شبکه‌ای برای موارد مختلف نظیر اندازه‌گیری دما، فشار، رطوبت و یا ضبط صدا و تصویر استفاده می‌شوند که به علت قرارگیری در مکان‌هایی که امکان تعویض یا شارژ باتری آن‌ها سخت می‌باشد و یا قطع موقت آن ممکن است موجب از دست دادن ثبت داده‌ها در بازه زمانی تعویض باتری شود به کار می‌رود. به عبارت دیگر استفاده از باتری و تعویض آن به معنی دسترسی به این سنسورها می‌باشد که تا حدی معنی بی‌سیم بودن را کمرنگ می‌کند.

۲- سنسور فشار لاستیک خودرو^۲ که فشار تایر را به سیستم مرکزی خودرو ارسال می‌کند.

۳- ساعت‌هایی تولیدشده‌اند که از حرکت دست برای تا مین توان آن‌ها استفاده شده است.

۴- ارتش آمریکا و انگلیس سنسورهایی بی‌سیم ساخته‌اند که در چکمه سربازان قرار می‌گیرد و امکان ارتباط رادیویی با آن‌ها را فراهم می‌کند.

۵- تولید جریان به وسیله نانو ژنراتورها از حرکات بدن انسان برای موارد مختلف مانند تأمین توان دستگاه تنظیم ضربان قلب

به منظور تحقیق و آشنایی با سیستم‌های جذب انرژی و بررسی آن‌ها، در این پایان‌نامه جذب انرژی ارتعاشی صفحه به کمک میدان مغناطیسی مورد مطالعه قرار گرفته است. ساختارهای بسیار زیادی وجود دارند که به صورت صفحه قابل مدل‌سازی هستند، نظیر بال هواپیما، پل‌ها، سطح کشتی و غیره. این سیستم‌ها دچار ارتعاش می‌شوند. مساله جذب انرژی از این سیستم‌ها توسط میدان مغناطیسی در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد. به این منظور ابتدا انواع روش‌های جذب انرژی و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه بررسی گشت. معادلات حاکم بر حرکت برای یک تیر و صفحه تحت تحریک تکیه‌گاهی در میدان مغناطیسی در حالت چند مد و بر اساس تئوری مرتبه اول برشی استخراج گردید و با استفاده از یک روش نیمه تحلیلی پاسخ فرکانسی سیستم بدست آمد. به کمک این روش، جایجایی، ولتاژ، جریان الکتریکی و توان قابل حصول محاسبه گردید و تأثیر پارامترهای مختلف سیستم بر توان قابل حصول بررسی گردید. در نهایت با توجه به مشکلات موجود در سیستم‌های جذب انرژی مانند کوتاهی پهنه فرکانسی مفید برای جذب انرژی و نزدیکی سیکل‌های حدی پایدار و ناپایدار در محدوده مورد نظر، روشی برای بهبود عملکرد ساختار جذب انرژی ارائه

^۱ Wireless sensor lifetime

^۲ The tyre pressure monitoring system (TPMS)

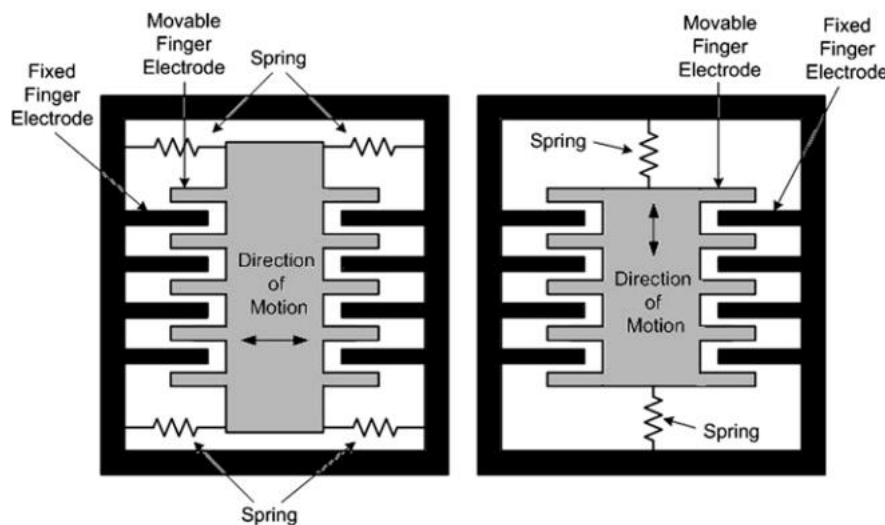
شده است.

در ادامه این فصل مفاهیم، اصطلاحات و روش‌های جذب انرژی توضیح داده خواهد شد و نیز به بررسی و طبقه‌بندی یافته‌های تحقیقات دیگر محققان در سطح دنیا و شناسایی خلأهای تحقیقاتی خواهیم پرداخت. همچنین فرضیات حاکم بر مسئله و اهداف این پایان‌نامه شرح داده خواهد شد.

۲-۱ تعاریف، اصول و مبانی نظری

در کل سه روش عمده برای جذب انرژی ارتعاشی وجود دارد:

الف) الکترواستاتیک: این روش بر مبنای اصول خازن‌های متغیر عمل می‌کند که از دو رساننده که به وسیله ماده‌ای دی‌الکتریک (غیر رسانا) از هم جدا می‌شوند استفاده می‌شود. این رساننده‌ها وقتی در میدان الکتریکی قرار می‌گیرند نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی تولید می‌شود. یک مشکل بزرگ این روش این است که به یک منبع ولتاژ خارجی برای ایجاد میدان الکتریکی نیاز دارد. شکل ۱-۱ ساختار معمول این جاذب‌ها را نشان می‌دهد. (در شکل زیر هوا ماده دی‌الکتریک محسوب می‌شود).

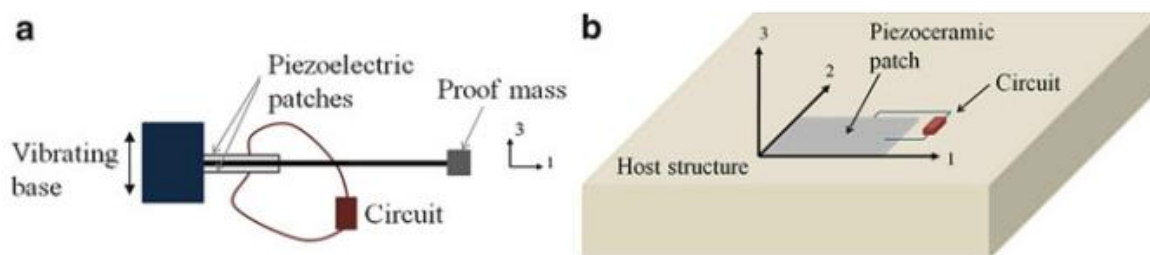


شکل ۱-۱ ساختار جذب انرژی ارتعاشی به روش الکترواستاتیک

ب) پیزوالکتریک: اثر پیزوالکتریک در سال ۱۸۸۰ میلادی توسط پیر و جاکویس کیوری^۱ کشف شد. پیزوالکتریک‌ها موادی هستند که در اثر ایجاد تنش و کرنش مکانیکی، جریان برق تولید می‌کنند لذا پیزوالکتریک‌ها در جایی نصب می‌گردند که بیش‌ترین کرنش مکانیکی بدان ناحیه وارد می‌شود. نمونه‌ای از جذب انرژی از تیر و صفحه‌ی شامل پیزوالکتریک را نشان می‌دهد. این روش پر بازده‌ترین روش است و منبع

^۱ Pierre and Jacques Curie

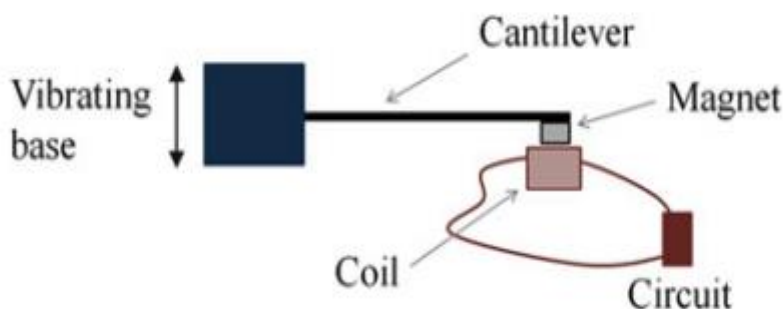
ولتاژ جداگانه نیاز ندارد. ولتاژ خروجی بین ۳-۸ ولت می‌باشد اما استفاده از آن‌ها در میکرو سیستم‌ها پیچیدگی بیشتری دارد زیرا مواد پیزوالکتریک در یک میدان الکتریکی قوی (بزرگتر از $\frac{kV}{mm}$) و نیز در یک دما بالا پولاریزه (قطبی) می‌شوند و از کارایی آن‌ها کاسته می‌شود. در پیزوالکتریک میزان ولتاژ حاصله زیاد است ولی جریان الکتریکی بسیار پایین است [۱].



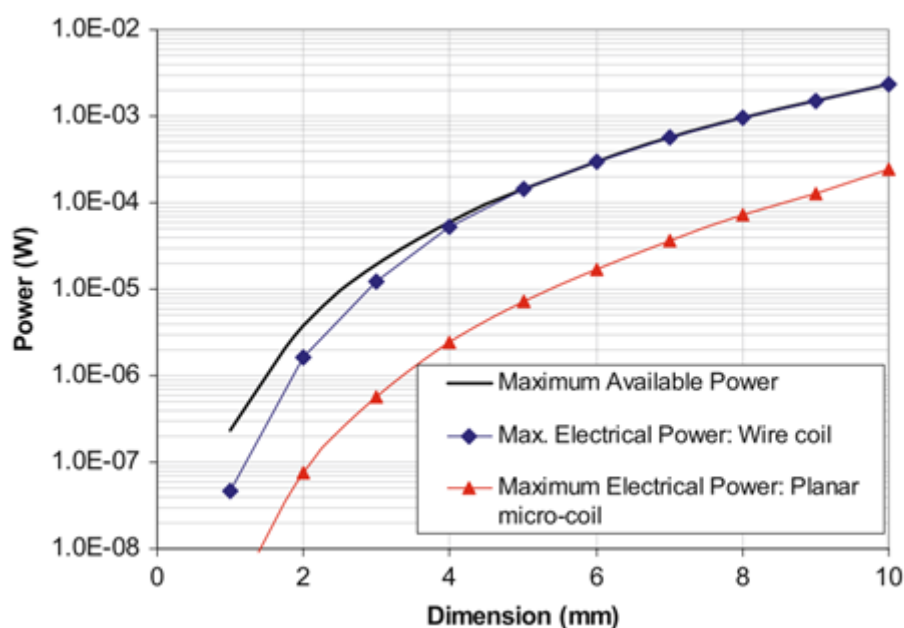
شکل ۲-۱ ساختار جذب انرژی ارتعاشی به وسیله پیزوالکتریک

ج) الکترومغناطیس: این روش بر اساس قانون فارادی عمل می‌کند و شامل یک هسته مغناطیسی و حلقه‌های سیم‌پیچ می‌باشد. طبق این قانون تغییرات شار مغناطیسی گذرنده از حلقه‌های سیم‌پیچ موجب ایجاد جریان در حلقه‌های آن می‌شود. پیکره‌بندی رایج سیستم جذب انرژی با الکترومغناطیس را نشان می‌دهد. میزان توان جذب شده در این روش به شدت میدان مغناطیسی، تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ و سرعت نسبی بین هسته مغناطیسی و حلقه‌های سیم‌پیچ بستگی دارد [۱]. در این روش نیز به منبع ولتاژ خارجی نیاز نمی‌باشد ولی معمولاً یک مغناطیس دائم نیاز دارد که اغلب حجیم می‌باشند. ولتاژ خروجی از آن‌ها معمولاً در حد ۰/۱-۰/۲ ولت می‌باشد لذا برای وسایل با این مقدار ولتاژ کاربرد دارد. یکی از محدودیت‌های استفاده از الکترومغناطیس، ابعاد آن است که اغلب در ابعاد بزرگ استفاده می‌شود. همان طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است با کوچک تر شدن ابعاد میزان توان حاصل شدیداً کاهش می‌یابد [۲]. در جایی که محدودیت ابعادی وجود نداشته باشد به کمک الکترومغناطیس می‌توان بیش‌ترین میزان انرژی را ذخیره کرد. همچنین در پهنه فرکانسی بزرگتری نسبت به سایر روش‌ها می‌توان جذب انرژی انجام داد. در جذب انرژی به وسیله الکترومغناطیس (بر خلاف پیزوالکتریک) میزان ولتاژ حاصله کم ولی جریان الکتریکی زیاد است.

همچنین ذخیره انرژی به وسیله الکترومغناطیس فقط به میزان سرعت نسبی و تغییر شار مغناطیسی بستگی دارد و عواملی مانند محدودیت تنش خستگی و شکست که در موادی مثل پیزوالکتریک می‌باشد وجود ندارد.



شکل ۳-۱ پیکره‌بندی معمول جذب انرژی با الکترومغناطیس



شکل ۴-۱ نمودار تغییرات توان بر حسب ابعاد

راندی مقایسه‌ای تئوری از توان قابل برداشت از سه روش اصلی جذب انرژی ارتعاشی که در بالا به آن‌ها اشاره شد انجام داده است. وی چنین نتیجه گرفت که چگالی توان قابل برداشت از روش پیزوالکتریک و الکترومغناطیس با یکدیگر برابر و تقریباً ده برابر روش الکترواستاتیک می‌باشد [۳]. در جدول ۱-۱ مزیت‌ها و