

صلى الله عليه وسلم

## دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت

### مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان‌های پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده‌است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها/ رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و **استاد راهنما و نویسنده** مسئول مقاله باشند.

**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود، باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



دانشکده فنی و مهندسی  
بخش مهندسی مکانیک  
گروه مهندسی ساخت و تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه:

طراحی و ساخت دمپر مغناطیسی با کنترل فعال جریان گردابی

نام دانشجو:

علی اصغر مداح

استاد راهنما:

دکتر یوسف حجت

شهریور ۸۹

تقدیم به روح پاک پدرم که بزرگوارانه زیست و چه زود از میان ما رفت

و

تقدیم به مادرم مهربان‌ترین فرشته دنیای کودکانه دیروز

و

تقدیم به همسرم نیروبخش‌ترین مفهوم دنیای امروز و فردای زندگیم

و

تقدیم به خانواده همسرم که همواره مشوق من بوده‌اند

## تقدیر و تشکر

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و کمک‌های شایان جناب آقای دکتر یوسف حجت که همواره با تشویق و ایجاد انگیزه در جلسات هفتگی مرا به ادامه کار امیدوار نمود.

بدیهی است که در راه انجام هر فعالیتی افراد زیادی همکاری می‌نمایند. ولی همواره نقش محیط تحقیقاتی در این راه بسیار پررنگ است. بر خود واجب می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ و هم‌کاری و هم‌فکری دوستان گرامی، آقایان مهندس محمد رضا کرفی، مهندس سهیل طالبیان، مهندس محمد رحمانی فرد، مهندس دادخواه، و سایر دوستانم در آزمایشگاه اندازه‌گیری و میکاترونیک پیشرفته دانشگاه تربیت مدرس که در برخی از مراحل انجام پایان‌نامه به من یاری رساندند، کمال تشکر را داشته باشم.

چکیده:

در بسیاری از موارد نیروهای اعمالی در دستگاههای مکانیکی از ماهیتی هارمونیک برخوردارند، لذا هنگامی که مکانیزم قابل انعطاف در فرآیند کارکرد ماشین، با این نیروها مواجه می‌شود، ارتعاشات ناخواسته‌ای در سیستم به وجود می‌آید که منجر به کاهش دقت عملکرد ماشین و یا کاهش عمر ماشین می‌شود. روشهای مختلفی برای از بین بردن ارتعاشات یک ساختار مکانیکی وجود دارد و تعداد معدودی از این روشها قادرند بدون تماس، میراکننده ارتعاشات ناخواسته باشند. یکی از این روشها استفاده از نیروی جریان گردابی است. هدف استفاده از نیروی جریان گردابی و کنترل فعال آن برای ساخت میراگر بدون تماس است. جریان گردابی در اثر تغییرات میدان مغناطیسی القاء شده در یک رسانا بوجود می‌آید و بر اساس قانون لنز با میدان بوجود آورنده خود مخالفت می‌کند که باعث ایجاد نیروی دافعه‌ای به نام نیروی جریان گردابی می‌شود. در این پایان نامه به بررسی مکانیزمهای تحریک و میراگرهای جریان گردابی در یک تیر یکسر گیردار پرداخته شده است. نیروی اعمالی به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته و در محیط `simulink` نرم افزار مطلب شبیه سازی شده است. در مجموعه ساخته شده از یک میکرومترهد برای تنظیم فاصله هوایی (`gap`) بین سیم پیچ و تیر و از یک کوپل تخت برای ایجاد جریان گردابی جهت اعمال نیروی ضربه و ارتعاشات آزاد تیر استفاده شده است. نیروی اعمالی به دو روش ضربه و نوع ارتعاش لرزاننده اعمال می‌شود. ارتعاشات توسط سنسور با استفاده از نرم افزار مطلب خوانده شده و با کنترلر طراحی شده در محیط `simulink`، سیگنال مورد نظر جهت تقویت و اعمال جریان گردابی برای میرا نمودن ارتعاشات تیر آلومینیمی به آمپلیفایر فرستاده می‌شود. بعد از محاسبه سفتی و جرم از طریق بارگذاری استاتیکی از روی پاسخ زمانی، کاهش لگاریتمی بدست آمده و ضریب میرایی محاسبه شده است. پاسخ فرکانسی تیر در اثر تحریک ضربه و میرایی میراگر جریان گردابی در آزمایشات مختلف بررسی شده و میزان میرایی در نمودار پاسخ فرکانسی بدست آمده است. با تخمین نیروهای دینامیکی شبیه سازی مدل دینامیکی میراگر انجام شده و تاثیر میرایی در فرکانسهای مختلف توسط ابزار محاسباتی نرم افزار مطلب بوسیله `FFT` گرفتن از سیگنال ورودی بررسی می‌گردد.

کلمات کلیدی: جریان گردابی ارتعاشات تیر، آنالیز ارتعاشات، مدل سازی دینامیکی، شبیه سازی عددی

## فهرست مطالب

فصل ۱	۱
۱-۱- مقدمه ایی بر جریان گردابی	۲
۲-۱- پیشینه و تاریخچه	۳
۳-۱- تعریف مسئله	۵
۴-۱- کنترل فعال ارتعاشات	۵
۱-۴-۱- کاربردهای کنترل فعال ارتعاشات	۷
۲-۴-۱- عملگرهای کنترل فعال ارتعاشات	۸
۵-۱- دمپر جریان گردابی	۹
۱-۵-۱- مزایا و معایب میراگرهای جریان گردابی	۱۰
۶-۱- مروری بر قوانین مغناطیس	۱۱
۱-۶-۱- پدیده القاء	۱۱
۲-۶-۱- القاء از طریق تغییرات فوران (شار)	۱۲
۳-۶-۱- قانون لنز	۱۳
۴-۶-۱- جریانهای القایی گردابی (فوکو)	۱۴
۵-۶-۱- خود القایی	۱۶
۶-۶-۱- انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی	۱۶
۷-۱- سنسور جریان گردابی	۱۷
۸-۱- مروری بر آنالیز ارتعاشات	۲۰
۱-۸-۱- روش های بدست آوردن توابع پاسخ فرکانسی	۲۲
۲-۸-۱- روش های مختلف تحریک قطعه	۲۴
۳-۸-۱- اشکال مختلف سیگنال تحریک	۲۵

۲۷	۴-۸-۱- دقت در تست مودال .....
۲۸	۵-۸-۱- آنالایزر و نقش آن .....
۳۱	۹-۲- فعل و انفعال داخلی مغناطیسی در صفحه رسانا .....
۳۲	۱۰-۱- ارتعاشات عرضی تیرها .....
۳۳	۱-۱۰-۱- استفاده از پارامترهای بدون بعد .....
۳۳	۲-۱۰-۱- میرایی معادل با استفاده از پاسخ تشدید .....
۳۴	۳-۱۰-۱- کاهش لگاریتمی .....
۳۵	۴-۱۰-۱- پدیده تپش .....
۳۶	۱۱-۱- اهداف تحقیق و روند ارائه رئوس مطالب رساله .....
۳۷	<b>فصل ۲</b> .....
۳۸	۱-۲- ساخت مجموعه آزمایشگاهی .....
۳۹	۲-۱-۲- نحوه اتصال اجزاء موجود در سیستم .....
۳۹	۲-۲- اجزا موجود در سیستم میراگر جریان گردابی .....
۴۱	۳-۲- طراحی عملگر میراگر جریان گردابی .....
۴۲	۴-۲- عملگر ضربه جریان گردابی .....
۴۳	۱-۴-۲- سیم پیچ تحریک .....
۴۴	۲-۴-۲- روابط بین فشار وارد بر تیر و سایر پارامترها در ضربه جریان گردابی .....
۴۶	۵-۲- طراحی مدار تقویت جریان .....
۴۶	۶-۲- مدار مبدل ولتاژ به جریان .....
۵۳	۷-۲- جبران کننده .....
۵۴	۸-۲- دیاگرام حلقه کنترل فعال .....



..... فصل ۳	۵۵
..... ۱-۳-۳ مجموعه آزمایشگاهی	۵۶
..... ۲-۳-۳ بخش اول آزمایش‌ها	۵۶
..... ۱-۲-۳-۳ آزمایش میراگر جریان گردابی با استفاده از آنالیز ارتعاشات (آنالیز مودال)	۵۶
..... ۲-۲-۳-۳ آزمایش تاثیر ضربه جریان گردابی در تست مودال محیطی	۶۰
..... ۳-۳-۳ بخش دوم آزمایش‌ها	۶۲
..... ۱-۳-۳-۳ تغییر شکل استاتیکی بر حسب فضای لقی	۶۳
..... ۲-۳-۳-۳ آزمایش اول	۶۶
..... ۳-۳-۳-۳ آزمایش دوم	۷۱
..... ۴-۳-۳-۳ آزمایش سوم	۷۳
..... ۵-۳-۳-۳ پاسخ سیستم در اثر تحریک Sweep signal	۷۶
..... ۶-۳-۳-۳ پاسخ سیستم در اثر تحریک ضربه جریان گردابی	۷۸
..... ۷-۳-۳-۳ بررسی اثر میراگر جریان گردابی در فرکانسهای مختلف	۷۹
..... ۸-۳-۳-۳ تاثیر فرکانس تحریک بر میراگر غیر فعال جریان گردابی	۸۰
..... ۴-۳-۳-۳ مدلسازی پاسخ ضربه در سیمولینک متلب	۸۱
..... ۱-۴-۳-۳ ایجاد مدل ورودی	۸۱
..... ۲-۴-۳-۳ بدست آوردن پاسخ سیستم تیر با در نظر گرفتن میراگر جریان گردابی	۸۳
..... فصل ۴	۸۴
..... ۱-۴-۴ نتیجه گیری	۸۵
..... ۲-۴-۴ پیشنهادات برای ادامه کار	۸۷

## فهرست شکل‌ها

عنوان .....	صفحه
شکل (۱-۱): مجاورت میدان مغناطیسی با صفحه رسانا [۱].....	۲
شکل (۲-۱): شماتیک کنترل فعال [۹].....	۶
شکل (۳-۱): نمایش ولتاژ بر اثر تغییرات فوران (شار) [۱۰].....	۱۲
شکل (۴-۱): مطابق قانون لنز نیروی حاصل از جریان القایی در جهت مخالف حرکت هادی است [۱۰] ..	۱۴
شکل (۵-۱): چگونگی ایجاد جریانهای گردابی [۱۰].....	۱۵
شکل (۶-۱): ایجاد جریانهای گردابی در صفحه فلزی [۱۰].....	۱۶
شکل (۷-۱): سنسور اندازه گیری جریان گردابی [۱۴].....	۱۷
شکل (۸-۱): نمودار خروجی داده‌شده در کاتالوگ سنسور مدل DW-AD-509-M8-390 [۱۵]....	۱۹
شکل (۹-۱): نمودار خروجی سنسور مدل DW-AD-509-M8-390 به همراه نمودار مدل آن [۱۵]	۱۹
شکل (۱۰-۱): آرایش دستگاه‌ها برای اندازه گیری FRF [۱۱].....	۲۳
شکل (۱۱-۱): نحوه تحریک به وسیله چکش (آزمایشگاه مودال دانشگاه سمنان).....	۲۵
شکل (۱۲-۱): اثر نویز در اندازه گیری بوسیله COHERENCE [۱۲].....	۲۸
شکل (۱۳-۱): آنالایزر ۳۲ کاناله (آزمایشگاه مودال دانشگاه سمنان).....	۲۹
شکل (۱۴-۱): قطعه نمونه تحت تحریک در نقطه A [۱۲].....	۳۰
شکل (۱۵-۱): تحریک و پاسخ قطعه به همراه توابع آن‌ها [۱۲].....	۳۰
شکل (۱۶-۱): منحنی تابع پاسخ فرکانسی (FRF) [۱۱].....	۳۱
شکل (۱۷-۱): فعل و انفعال داخلی مغناطیسی در صفحه رسانا [۴].....	۳۱
شکل (۱۸-۱): کاهش لگاریتمی [۹].....	۳۵
شکل (۱-۲): شماتیک قرار گرفتن عملگرها.....	۳۸
شکل (۲-۲): نحوه اتصالات قسمت‌های مختلف سیستم کنترل فعال.....	۳۹
شکل (۳-۲): مجموعه موقعیت دهی دقیق توسط میکرومتر هد.....	۴۰

- شکل (۴-۲) گیره ساخته شده از پلکسی ..... ۴۰
- شکل (۵-۲) شکل شماتیک عملگر [۱۰] ..... ۴۱
- شکل (۶-۲) بعد هسته ..... ۴۲
- شکل (۷-۲) مدار تولید ضربه مغناطیسی [۱۳] ..... ۴۳
- شکل (۸-۲): کویل تخت جریان گردابی [۱۳] ..... ۴۴
- شکل (۹-۲): اشکال مرتبط با رابطه ۲-۲۹ [۱۳] ..... ۴۴
- شکل (۱۰-۲): نمودار شکل موج القایی در قطعه کار [۱۳] ..... ۴۵
- شکل (۱۱-۲): تجهیزات اعمال ضربه ..... ۴۶
- شکل (۱۲-۲): مدار مبدل ولتاژ به جریان [۱۵] ..... ۴۷
- شکل (۱۳-۲): مدار مبدل ولتاژ به جریان دقیق [۱۵] ..... ۴۸
- شکل (۱۴-۲): مدار مبدل ولتاژ به جریان دقیق با زوج ترانزیستور دارلینگتون [۱۵] ..... ۴۹
- شکل (۱۵-۲): مدار تقویت کننده ولتاژ [۱۵] ..... ۵۰
- شکل (۱۶-۲) درایور جریان با یک ترانزیستور ..... ۵۰
- شکل (۱۷-۲) مدار درایور ولتاژ برای سیم پیچ ..... ۵۲
- شکل (۱۸-۲) تحقق کنترلر PID در محیط سیمولینک ..... ۵۴
- شکل (۱-۳) تیر یکسر گیردار ..... ۵۷
- شکل (۲-۳): مجموعه آزمایش مودال برای تیر یکسر گیردار (آزمایشگاه مودال دانشگاه سمنان) ..... ۵۸
- شکل (۳-۳) نمودار FRF بدون میرایی ..... ۵۹
- شکل (۴-۳): نمودار FRF با میراگر نیمه فعال جریان گردابی ..... ۵۹
- شکل (۵-۳): مقایسه دو حالت بدون میرایی و میرایی نمودار FRF ..... ۶۰
- شکل (۶-۳): ستاپ آنالیز مودال برای تیر یکسر گیردار با تحریک جریان گردابی ..... ۶۱
- شکل (۷-۳): نمونه دیاگرام FRF (HAMMER) ..... ۶۲
- شکل (۸-۳): نمودار طیف مقادیر تکین پاسخ (ضربه جریان گردابی) ..... ۶۲

- شکل (۳-۹) ابعاد تیر یکسر گیردار ..... ۶۳
- شکل (۳-۱۰) : نمودار ولتاژ سنسور بر حسب تغییرات جابجایی کویل تخت از تیر ..... ۶۴
- شکل (۳-۱۱) : نمودار جابجایی ماکزیمم تیر بر حسب تغییرات جابجایی کویل تخت از تیر ..... ۶۵
- شکل (۳-۱۲) : نمودار نیروی ماکزیمم تیر بر حسب تغییرات جابجایی کویل تخت از تیر ..... ۶۵
- شکل (۳-۱۳) : پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۶۰ ولت دشارژ با میرایی) ..... ۶۷
- شکل (۳-۱۴) نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۶۰ ولت دشارژ همراه با میرایی) ..... ۶۹
- شکل (۳-۱۵) پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۶۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۰
- شکل (۳-۱۶) : نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۶۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۰
- شکل (۳-۱۷) پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۵۰ ولت دشارژ با میرایی) ..... ۷۱
- شکل (۳-۱۸) : نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۵۰ ولت دشارژ با میرایی) ..... ۷۲
- شکل (۳-۱۹) پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۵۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۲
- شکل (۳-۲۰) نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۵۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۳
- شکل (۳-۲۱) پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۴۰ ولت دشارژ با میرایی) ..... ۷۳
- شکل (۳-۲۲) نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۴۰ ولت دشارژ همراه با میرایی) ..... ۷۴
- شکل (۳-۲۳) : پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۴۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۵
- شکل (۳-۲۴) : نمودار بود ( پاسخ فرکانسی برای ۴۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۷۵
- شکل (۳-۲۵) شماتیک مدار تولید سیگنال متغییر با فرکانس ..... ۷۶
- شکل (۳-۲۶) شماتیک بلوک SIGNAL BUILDER ..... ۷۷
- شکل (۳-۲۷) تحریک بدون تماس مغناطیسی جهت بدست آوردن فرکانس تشدید ..... ۷۷
- شکل (۳-۲۸) نمودار FFT حاصل از SEEWEP فرکانسی با کویل مغناطیسی ..... ۷۸
- شکل (۳-۲۹) تحریک ضربه جریان گردابی جهت بدست آوردن فرکانس تشدید ..... ۷۸
- شکل (۳-۳۰) نمودار FFT حاصل از ضربه جریان گردابی ..... ۷۹
- شکل (۳-۳۱) نمودار FFT حاصل از ضربه با میرایی جریان گردابی ..... ۸۰

- شکل (۳-۳۲): تاثیر فرکانس تحریک بر میراگر جریان گردابی ..... ۸۱
- شکل (۳-۳۳) پاسخ زمانی تیر ( پاسخ فرکانسی برای ۶۰ ولت دشارژ بدون میرایی) ..... ۸۲
- شکل (۳-۳۴) مدل ضربه ورودی به سیستم ..... ۸۲
- شکل (۳-۳۵) : تحقق مدل دینامیکی در سیمولینک متلب ..... ۸۳
- شکل (۳-۳۶) مقایسه بین پاسخ مدل شده با پاسخ بدست آمده ..... ۸۳
- شکل (۳-۳۷) قید گذاری بر روی سیگنال پاسخ ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل (۳-۳۸) مراحل بهینه سازی ضریب بهره ..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل (۵-۱): محل کلید CONNECT TO TARGET در برنامه کنترل ..... ۹۱
- شکل (۵-۲): نحوه نصب کارت‌های DAQ در REAL TIME WINDOWS TARGET ..... ۹۲

نمادها

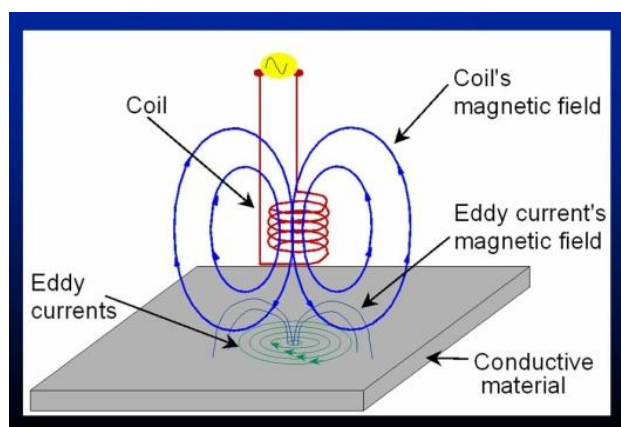
$B$	چگالی شار مغناطیسی
$\mu_0$	ثابت نفوذپذیری مغناطیسی هوا
$F_{magnetic}$	نیروی الکترومغناطیسی
$J$	چگالی جریان
$X$	جابجایی‌های افقی روتور در دو انتهای آن و مقابل سنسورها
$i_{control}$	جریان کنترلی
$F$	نیروهای مغناطیسی اعمال شده به روتور توسط یاتاقان‌های مغناطیسی
$L$	طول تیر
$l$	فاصله آهنربا از تیر
$I_0$	ممان اینرسی روتور حول محور $Y$
$l_r$	فاصله از انتها تا سنسورها
$v$	ولتاژ سنسور
$V_o$	ولتاژ خروجی اپامپ
$V_{cc}$	ولتاژ تغذیه اپامپ
$V_i$	ولتاژ خروجی کارت
$V_p +$	ولتاژ تغذیه ترانزیستور قدرت
$R$	مقاومت الکتریکی
$\varphi$	شار مغناطیسی
$N$	تعداد دورها در کویل الکترومغناطیس
$mmf$	نیروی محرکه مغناطیسی
$\Delta$	ضخامت صفحات هادی
$\sigma$	قابلیت رسانائی
$Lg$	فاصله هوایی بین آهنربا و هادی
$J$	دانسیتته جریان گردابی
$v \times B$ (EMF)	نیروی الکترو مغناطیسی

# فصل ۱

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه ایی بر جریان گردابی

روشهای مختلفی برای از میرا نمودن ارتعاشات ساختارهای مکانیکی وجود دارد، ولی تعداد معدودی از این روشها قادرند بدون تماس، میرا کننده ارتعاشات ناخواسته باشند. یکی از این روشها، استفاده از نیروی جریان گردابی است. شاید از نظر مهندسين مکانیک جریانهای گردابی تعریف سیالاتی داشته باشد و آنها جریان های سیال در یک مسیر دایره ایی وقتی حول یک مانع به حرکت در می آید را به نام جریان گردابه ایی بشناسند اما در اینجا تعریف دیگری دارد. با برقراری میدان مغناطیسی متناوب در یک هادی، جریانهای گردابی در هادی تولید می شود که در نتیجه آن نیرویی تولید خواهد شد که بارزترین خصوصیت آن بدون تماس بودن آن است. این نیرو را می توان در عملگر های جریان گردابی با فرکانس بالا اعمال کرد و نیروی تولید شده را به راحتی کنترل نمود. نیروی جریان گردابی می تواند در زمان بسیار کوتاهی انتقال یابد (کمتر از ۴ میلی ثانیه). این نیرو در بوجود آوردن یک ضربه بسیار مناسب می باشد و نرخ انتقال انرژی را در طی اعمال ضربه بالا می برد. همانطور که در شکل ۱-۱ مشخص است هنگامی که جریان متناوب به یک هادی، مثلاً یک سیم پیچ مسی، اعمال شود، یک میدان مغناطیس در درون و حول هادی شکل می گیرد. با افزایش جریان میدان مغناطیسی نیز افزایش می یابد و با کاهش آن، میدان نیز کاهش می یابد. اگر یک هادی دیگر در فاصله نزدیکی نسبت به میدان متغییر مغناطیسی قرار گیرد، جریانی در این هادی دوم القا می گردد که همان جریان گردابی است. جهت جریان گردابی به گونه ای است که با عامل بوجود آورنده خود مخالفت می کند (قانون لنز). جریان های گردابی ایجاد شده در رسانا، تولید میدان مغناطیسی کرده و در واکنش به میدان اصلی بنا بر قانون لنز ایجاد نیروی دافعه می کند.



شکل (۱-۱): مجاورت میدان مغناطیسی با صفحه رسانا [۱]



جریان گردابی، پهنه وسیعی از امکانات را در اختیار مهندسين قرار می‌دهد. معمولاً حذف این جریانها مورد نظر بوده است. جریانهای گردابی بوجود آمده موجب اتلاف انرژی و پایین آمدن راندمان در ماشینهای الکتریکی و الکترومغناطیسی شده است. جریانهای گردابی غالباً ناخواسته بوجود می‌آیند و تلفات هسته را بالا می‌برند و به همین دلیل هسته های آهنی را بصورت ورقه ورقه می‌سازند تا با این کار جریانهای گردابی ضعیف شده و فقط در ورقه ها، جریان کمی جاری شود. اگر به معادلات استخراج شده استاندارد رجوع کنیم می‌بینیم عوامل موثر بر جریانهای گردابی که در همه این معادلات وجود دارد، پارامترهایی همچون مقاومت ویژه، فرکانس، نفوذ پذیری مغناطیسی و قابلیت رسانایی در مواد مختلف می‌باشد که تغییر در هر کدام از این پارامترها بطور اساسی بر روی جریان گردابی تاثیر می‌گذارد. کاربرد جریان گردابی را در مواردی همچون سنسورها، تستهای غیر مخرب، ترمز جریان گردابی، شکل دهی فلزات، دمپرهای جریان گردابی و آنالیز ارتعاشات می‌باشد.

#### ۱-۲- پیشینه و تاریخچه

ریشه جریان گردابی به کشف پدیده « القای الکترو مغناطیسی » توسط مایکل فارادی در سال ۱۸۳۱ باز می‌گردد. فارادی در اوایل قرن هجدهم، یک شیمیدان در انگلستان بود و اعتبار او بواسطه کشف القای الکترو مغناطیسی، دورانهای الکترو مغناطیس-نوری، دیا مغناطیس و برخی کشفیات دیگر می‌باشد. در سال ۱۸۶۴، ماکسول پایان نامه ی خود را در مورد تئوری حرکت میدان مغناطیسی ارائه داد، که شامل یک سری معادلات بود که تمام پدیده های الکترومغناطیسی در مقیاس بزرگ را توصیف می‌کرد. این پدیده ها شامل تولید و شارش جریان های گردابی در رساناها و میدان های مغناطیسی مربوطه می‌شود بنابراین تمام اثرات میدان های مغناطیسی که مبنای کار بازرسی جریان گردابی می‌باشند، توسط اصول معادلات ماکسول برای مقادیر مرزی بخصوص جهت کاربردهای عملی ارائه می‌شوند. در سال ۱۸۷۹، هیوز (Hughes) متد جریان گردابی را مورد استفاده قرار داد و تفاوت هایی را در رسانایی الکتریکی، تراوایی مغناطیسی و دما، در فلزات ثبت کرد. با این وجود، گسترش متد بازرسی جریان گردابی به آرامی به حرکت خود ادامه می‌داد، که می‌توان علت آن را عدم نیاز به اینگونه متدهای بازرسی و همچنین ضرورت توسعه تئوریهای الکتریکی آتی، برای کاربردهای عملی، دانست. ابزار اندازه گیری ضخامت دیواره در اواسط دهه ی ۱۹۲۰ توسط رانز (Kranz) گسترش یافت [۲]. از مثال های دیگری که سریعاً به عنوان پرونده کاری مورد قبول قرار گرفت و همچنین مقدمه ای را برای چندین جنبه ی متد بازرسی جریان

گردابی ارائه داد، اثر فارو (Farrow) بود، کسی که پیشگام توسعه ی سیستم جریان گردابی برای بازرسی لوله های فولادی جوشکاری شده ، بود. او کار خود را در سال ۱۹۳۰ آغاز کرد و در سال ۱۹۳۵ به پیشرفتی نائل شد که آن، یک سیستم بازرسی که شامل یک کوئل تولید برق اولیه ی مجزا، کوئل آشکار ساز متغیر ثانویه و کوئل سولونوئیدی اشباع کننده مغناطیسی DC می شد. فرکانس های بازرسی مورد استفاده ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتزی بودند Dinger و Gunn در سال ۱۹۴۲، نوعی دتکتورهای جریان گردابی را برای فلزات غیر مغناطیسی ارائه دادند و در اوایل دهه ی ۱۹۴۰، فورستر (Forster) و زوشلاق (Zuschlag) دستگاههای بازرسی جریان گردابی را ساختند [۳]. بیشترین کارها در دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در صنایع هوایی و هسته ای صورت گرفت. کاربرد های جریان گردابی به منظور دمپینگ بیشتر در دو دهه انجام گرفته است. در سال ۱۹۸۷ Weiderick از انجام آزمایشاتی برای تاثیر ترمز مغناطیسی در یک نوار نازک فزی نصب شده در دور یک دیسک آلومینیمی بصورت یک گزارش ارائه نمود. در سال ۱۹۹۳ Maclatchy آزمایشاتی را برای حرکت مغنایس در یک لوله بلند مسی انجام داد که نیروی تاخیر انداز مغناطیسی را که علت آن جریانهای گردابی بود را کشف کرد [۴]. در سال ۱۹۹۷ Teshima در مورد خواص سوپر رساناها و تاثیر آن بر روی دمپرهای جریان گردابی تحقیقاتی انجام داد. ایشان برای بهبود ضریب دمپینگ در دمپر های جریان گردابی از فضای بین سوپر رسانا و مغناطیس برای تشکیل نیرو دمپینگ استفاده نمود [۵]. در سال ۱۹۹۸ Hahn مطالعه ایی درباره دمپر های جریان گردابی انجام داد که تاثیر تغییرات ضخامت شعاعی را در حرکت مغناطیس داخل یک رسانای غیر مغناطیسی لوله ایی شکل بررسی نمود. در سال ۲۰۰۰ Graves مقایسه تئوری بین دمپرهای مغناطیسی و دمپر های جریان گردابی انجام داد و میدان مغناطیسی و حجم مواد بکار رفته شده در هر یک محاسبه نمود. ایشان رابطه حرکت رسانا در داخل میدان و انتقال انرژی الکترو مغناطیسی (EMF) را مورد بررسی قرار داد. در سال (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) Sodano مکانیزم دمپر جریان گردابی غیر فعال جدیدی را برای میرا نمودن ارتعاشات تیر ارائه داد. در این تحقیق پارامترهای مغناطیس ثابت بوده و حرکت صفحه نازک رسانا متصل به نوک تیر باعث ایجاد جریان گردابی در داخل صفحه رسانا و در نتیجه ایجاد نیروی دمپینگ می گردید [۶]. در سال (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) Elbuken مشخص کرد که دمپر جریان گردابی با مکانیزم صفحه رسانای Sodano می تواند موضوع جدیدی در سیستمهای تعلیق باشد. ایشان برای تعلیق یک جسم ۳۸ گرمی، خطای پزیشنینگ را تا یک سوم کاهش داد [۷]. در سال ۲۰۰۷ Tonoli شرایط دینامیکی را برای کوپلرها و دمپرهای جریان گردابی وضع نمود و مدل دینامیکی برای دمپرهای جریان گردابی ارائه کرد. در

سال ۲۰۰۸ ابراهیمی نوع جدیدی از فنر-دمپر مغناطیسی که اساس کارکرد آن جریانهای گردابی بود ارائه داد. در سال ۲۰۰۸ ابراهیمی تحلیل المان محدود و شبیه سازی دمپر جریان گردابی را انجام داد و عملکرد دمپر های جریان گردابی را در سیستمهای تعلیق خودرو مورد بررسی قرار داد[۸].

### ۳-۱- تعریف مسئله

در این تحقیق اثر میرایی جریان گردابی در میرا نمودن ارتعاشات سازه بررسی می شود. دمپر جریان گردابی در حالت های غیر فعال و نیمه فعال و فعال میتواند عمل کند که در این تحقیق نوع فعال آن مورد بررسی قرار می گیرد. مدل دینامیکی انتخاب شده یک تیر یکسر گیردار می باشد که توسط تحریک ضربه جریان گردابی مرتعش می گردد و با استفاده از سیستم کنترل فعال جریان گردابی و کنترل نیروی وارده، ارتعاشات تیر کنترل می گردد. به روش کاهش لگاریتمی ضریب میرایی را برای حالت های مختلف تحریک تیر را بدست می آید و اثر پارامترهای مختلفی چون تغییر فرکانس را بر روی سیستم مشخص می شود.

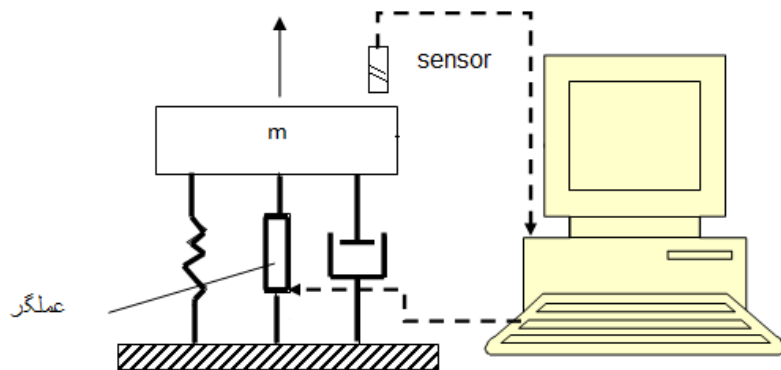
### ۴-۱- کنترل فعال ارتعاشات

عملگرها<sup>(۱)</sup> و حس گرهای پیچیده و بسیار کوچک به همراه کامپیوترهای ارزان قیمت، کاربردهای کنترل فعال ارتعاشی را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داده اند. مرکز یا هسته یک کنترل کننده فعال ارتعاشی، در واقع یک سیستم ریزپردازنده با مبدل های آنالوگ به دیجیتال می باشد تا ورودی های حسگر را پردازش کرده و مبدل های دیجیتال به آنالوگ فرمان های خروجی از ریزپردازنده را به سیگنال هایی برای عملگر تبدیل کنند شکل (۱-۲). اصطلاح فعال<sup>(۲)</sup> نشان دهنده این واقعیت است که این گونه از سیستمها نیاز به منبع قدرت دارند.

---

<sup>1</sup> - actuators

<sup>2</sup> - active



شکل (۱-۲): شماتیک کنترل فعال [۹]

عملگر، نیرویی را به جرمی که هدف، کاهش ارتعاشات آن است، اعمال می‌کند. حسگر، حرکت جرم را اندازه‌گیری می‌کند (جابجایی، سرعت یا شتاب آن، بسته به نوع کاربرد). منطق کنترل<sup>(۱)</sup> که الگوریتم کنترل<sup>(۲)</sup> نیز نامیده می‌شود، در کامپیوتر برنامه‌ریزی می‌شود تا با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها مقدار نیروی اعمالی را مشخص کند.

یکی از مشکلات روش‌های کاهش ارتعاشات که تا به حال در این متن به آنها اشاره شد این است که این روش‌ها فقط در فرکانس‌های خاص کار می‌کنند، زیرا سختی و میرایی آنها، (و در حالت جاذب‌های ارتعاشی، جرم آنها) ثابت بوده و نمی‌توان آنها را بدون جایگزینی عضو مربوطه تغییر داد. مزیت دیگر کنترل فعال ارتعاشی این است که آنها قادر به تغییر دادن سختی و میرایی مؤثر بدون اضافه کردن وزن قابل توجهی می‌باشند. به دلیل اینکه این‌گونه از سیستم‌ها نیاز به یک منبع قدرت دارند، بسیاری از آنها به صورتی طراحی می‌شوند که ایمن از آسیب<sup>(۳)</sup> باشند. به‌عنوان مثال، یک میراگر ایمن حداقل میرایی لازم را در حالت خرابی و یا از کار افتادن یک منبع قدرت یا سیستم کامپیوتر ایجاد می‌کند.

از اصطلاحات بسیاری جهت توصیف سیستم‌های کنترل فعال ارتعاشات استفاده می‌کنند. سازه‌هایی مانند ساختمان‌ها، پل‌ها، کابین‌های هواپیما، و بال‌های هواپیما که شامل این‌گونه سیستم‌ها می‌باشند راه‌سازه‌های باهوش یا هوشمند<sup>(۴)</sup> می‌نامند. مواد سازه‌ای که کنترل‌کننده را همراه خود دارند، مواد

<sup>1</sup> - control logic

<sup>2</sup> - control algorithm

<sup>3</sup> - fail-safe

<sup>4</sup> - smart or interlligent structures