

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - گرایش ساخت و تولید

طراحی، ساخت و بهینه سازی یک سامانه فزربادی فعال برای فرکانس های بالا

محمد رضا قاسمی

استاد راهنما :

دکتر حجت

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَى
إِنَّ رَبَّهُ لَسَدِيدٌ
إِلَىٰ عَرْشِهِ الرَّحِيمُ
الَّذِي يُخْرِجُ الْمَوْتَىٰ
وَيُدْخِلُهُمْ فِي الْأَرْحَامِ
إِنَّ رَبَّهُ لَسَدِيدٌ
إِلَىٰ عَرْشِهِ الرَّحِيمُ

تقریح بہ

بدی،

ماورع و

فہم

کہ برلیم حاسقانہ می سوزندر نا من

ساختہ سوع ...

سپاس‌گزاری

در ابتدا خداوند را به خاطر تمامی آنچه که به من عطا نمود و من دانستم یا نداستم شکر می‌گویم. پس از خداوند از پدر و مادر و همسر و برادرانم تشکر می‌کنم که مرا در این امر همراهی نمودند. از اساتید عزیزم در دانشگاه تربیت مدرس، جناب آقایان دکتر حجت، دکتر ناطق، دکتر نیکخواه بهرامی، دکتر محمدی مقدم، دکتر یوسفی کما و دیگر اساتید نهایت تشکر و قدردانی را دارم. در انتها از دوستانم در مجموعه شرکت تحقیقات موتور ایران خودرو، جناب آقایان مهندس نصیری، مهندس امامی، مهندس محمدی، مهندس ثنائی، آقای امین، آقای زارعی و دیگر عزیزان که در *IPCO* نهایت همکاری را با اینجانب داشتند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

امروزه لرزه گیرهای زیادی از لرزه گیرهای لاستیکی و فنری گرفته تا لرزه گیرهای نمدی و چوب پنبه ای استفاده می شوند. برخی در فرکانس های پائین و برخی در فرکانس های بالا^۱ بکار می روند. برخی برای تجهیزات سبک و برخی برای تجهیزات سنگین مناسبند. ویژگی مشترک این لرزه گیرها، غیر فعال بودن آنهاست یعنی در صورت تغییر وزن یا فرکانس، کارائی مناسبی نخواهند داشت. از این رو لرزه گیرهایی با کنترل کننده فعال یا نیمه فعال بوجود آمد تا بتواند مقادیر سفتی و میرائی خود را با توجه به شرایط به گونه ای تغییر دهند که کارائی حداکثر باشد. امروزه فنرهای بادی یکی از انواع پرکاربرد لرزه گیرها می باشند. اصول کلی در فنرهای بادی اینست که در صورت پائین آمدن صفحه بالائی خود، با افزایش حجم باد و در صورت بالا رفتن صفحه بالائی خود، با کاهش حجم باد سعی در برگرداندن صفحه بالائی خود به سطح مبنا دارند. بطور کلی فنرهای بادی به عنوان لرزه گیر ارتعاش، به دو دسته فنرهای بادی بالشتکی و غشائی تقسیم بندی می شوند. هدف از انجام این پروژه اینست که با کنترل مناسب فنرهای بادی بالشتکی، از آنها برای لرزه گیری ارتعاش در فرکانس های بالا استفاده شود. برای این منظور سیستمی باید طراحی شود که اولاً قابلیت تغییر فرکانس نوسان را داشته باشد و ثانیاً باید بتواند شتاب و میزان جابجائی صفحه بالائی را در فشارهای مختلف بالشتک باد اندازه گیری نماید. در نهایت باید کنترل کننده ای طراحی شود که بر اساس سیگنال های ورودی، شیر تناسبی را برای کنترل دبی ورودی به بالشتک یا خروجی از آن به بهترین نحو کنترل نماید. در این پروژه سیستم دارای چند بخش است: ۱) بخش نوسان ساز که با چرخش یک شفت خروج از مرکز ارتعاش هارمونیک تولید می شود و با یک تبدیل کننده (دستگاهی که فرکانس موتور را تغییر می دهد و در نتیجه دور موتور تغییر خواهد کرد) فرکانس نوسان را می توان تغییر داد. ۲) بخش سازه مکانیکی که صفحات بالائی و پائینی بالشتک را در بر دارد و مابقی تجهیزات و سنسورها روی آن نصب می شود. ۳) بخش سنسورها و اندازه گیری که با شتاب سنج های تک جهت پیرو الکتریک، شتاب صفحات بالائی و پائینی بالشتک باد اندازه گیری شده و به کمک یک حرکت سنج خطی، میزان جابجائی صفحه بالائی ثبت و تحلیل می شود. ۴) بخش کنترل که در آن به کمک یک کنترل کننده PID طراحی شده، بر اساس سیگنال دریافتی از حرکت سنج خطی، شیر تناسبی نیوماتیکی کنترل می شود. در نهایت یک لرزه گیر با استفاده از فنر بادی بالشتکی برای استفاده در فرکانس های بالا طراحی و ساخته می شود.

کلید واژه: فنر بادی، لرزه گیر بادی، کنترل فعال، کنترل ارتعاشات

فرکانس ۰ تا ۱۰ هرتز، فرکانس پائین، از ۱۰ تا ۲۰ هرتز، فرکانس میانی و از ۲۰ هرتز به بالا فرکانس بالا محسوب می شود.^۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱	۱
۱-۱- فرکانس طبیعی	۲
۲-۱- میرایی [۳]	۳
۳-۱- فرکانس نوسان نامیرا و میرا در ارتعاش آزاد	۳
۴-۱- نیروی ارتعاشات، قابلیت جابجایی و تشدید [۳]	۳
۵-۱- راندمان ایزولاسیون [۵]	۶
فصل ۲	۷
۱-۲- مقدمه	۷
۲-۲- ضرایب میرایی انواع لرزه گیرها	۸
۳-۲- محدوده کاربرد انواع لرزه گیرها	۸
۴-۲- انواع فنرهای بادی	۹
۵-۲- انواع فنرهای بادی بالشتکی از نظر شکل و کاربرد [۶]	۱۰
۱-۵-۲- فنر بادی تک بالشتکه	۱۰
۲-۵-۲- فنر بادی دو بالشتکه	۱۰
۳-۵-۲- فنر بادی سه بالشتکه	۱۱
۴-۵-۲- فنر بادی مدل آستینی	۱۱
۵-۵-۲- فنر بادی مدل لوله ای	۱۲
۶-۵-۲- فنر بادی مدل تسمه ای	۱۲
۷-۵-۲- مزایای فنرهای بادی [۶]	۱۳
۶-۲- کاربردهای فنرهای بادی بالشتکی [۶]	۱۶
۷-۲- هشت روش برای طراحی مکانیزم ها توسط فنرهای بادی [۲۲]	۱۶
۱-۷-۲- بازوی محرک خطی	۱۶
۲-۷-۲- بازوی محرک گردان	۱۷
۳-۷-۲- گیره	۱۷
۴-۷-۲- پرس	۱۷
۵-۷-۲- محور محرک گردشی	۱۸
۶-۷-۲- بازوی محرک رفت و برگشتی	۱۸
۷-۷-۲- مکانیزم لولایی	۱۹

۱۹	۲-۷-۸- حرکت نوسانی رفت و برگشتی.....
۲۰	۲-۸- مزایای فنرهای بادی به عنوان لرزه گیری ارتعاشات [۶].....
۲۲	۲-۹- کاربردهای فنرهای بادی غشائی برای ایزولاسیون ارتعاشات [۱۰].....
۲۶	۲-۱۰- انواع تعلیق و روش های کنترلی [۲۶].....
۲۶	۲-۱۰-۲- کنترل یا تعلیق غیر فعال [۲۶].....
۲۷	۲-۱۰-۳- کنترل یا تعلیق فعال [۲۶].....
۲۸	۲-۱۰-۴- تعلیق یا کنترل نیمه فعال (شبه فعال) [۲۶].....
۲۹	۲-۱۱- مروری بر تاریخچه تکامل فنرهای بادی [۲۶].....
۳۵	۲-۱۲- مروری بر مقاله های علمی در سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ میلادی.....
۳۹	۲-۱۳- تعیین پارامتر های اساسی سیستم ارتعاشی [۲۶].....
۳۹	۲-۱۳-۱- سفتی فنربادی.....
۴۲	۲-۱۳-۲- میرایی در فنر بادی [۴۲].....
۴۵	۲-۱۳-۳- فرکانس طبیعی فنر بادی [۴۲].....
۴۶	۲-۱۴- هدف پژوهش.....
۴۷	فصل ۳.....
۴۷	۳-۱- مقدمه.....
۴۸	۳-۲- فهرست آزمایشات.....
۴۸	۳-۲-۱- تست مدار کنترلی طراحی شده برای انجام آزمایشات.....
۵۰	۳-۲-۲- اندازه گیری فشار بهینه بالشتک باد.....
۵۰	۳-۲-۳- بررسی تغییر فرکانس نوسان بر عملکرد فنر بادی.....
۵۲	۳-۲-۴- بررسی تاثیر حجم کمکی و یافتن حجم بهینه.....
۵۳	۳-۲-۵- یافتن شرایط بهینه کارکرد شیر نیوماتیکی.....
۵۴	۳-۳- معرفی اجزای اصلی سیستم.....
۵۵	۳-۴- تقسیم بندی اجزای سیستم.....
۵۵	۳-۴-۱- اجزاء الکتریکی.....
۵۵	۳-۴-۲- اجزاء مکانیکی.....
۵۷	۳-۴-۳- حرکت سنج خطی یا LVDT.....
۵۸	۳-۴-۴- شتاب سنج ها.....
۵۹	۳-۵- طراحی و ساخت لرزاننده.....
۶۱	۳-۵-۲- طراحی شفت و جرم نا میزان.....
۶۳	۳-۵-۳- انتخاب الکترو موتور.....
۶۳	۳-۵-۴- انتخاب کوپلینگ.....

۶۴	.....۳-۵-۵- طراحی و انتخاب یاتاقان (بلییرینگ)
۶۷	.....۳-۶- محاسبه و طراحی شیر تناسبی
۶۹	.....۳-۷- طراحی شیر تناسبی نیوماتیکی
۷۰	.....۳-۸- طراحی شتاب سنج
۷۲	.....۳-۹- طراحی صفحه بالائی
۷۳	.....۳-۱۰- انتخاب بالشتک باد
۷۵	.....۳-۱۱- طراحی میل راهنما
۷۶	.....۳-۱۲- طراحی و ساخت فنر لول
۷۸	.....۳-۱۳- سیستم و چیدمان نهائی
۸۲	..... فصل ۴
۸۲	.....۴-۱- مقدمه
۸۳	.....۴-۲- استراتژی کلی مساله و اهداف مورد انتظار از انجام آزمایشات
۸۴	.....۴-۳- انجام آزمایشات و نتایج آن
۸۵	.....۴-۴- طراحی و تست مدار کنترلی
۸۷	.....۴-۵- اندازه گیری فشار بهینه بالشتک باد (حالت استاتیکی)
۱۰۰	.....۴-۶- بررسی تغییر فرکانس نوسان بر عملکرد فنر بادی
۱۰۱	.....۴-۷- آنالیز مودال سیستم طراحی شده با نرم افزار آباکوس
۱۰۲	.....۴-۸- یافتن شرایط بهینه کارکرد شیر نیوماتیکی (حالت دینامیکی)
۱۱۰	.....۴-۹- تحلیل المان محدود فنر بادی با نرم افزار آباکوس در حالت استاتیک (دبی صفر)
۱۲۱	..... فصل ۵
۱۲۱	.....۵-۱- نتایج پژوهش
۱۲۱	.....۵-۲- نوآوری پژوهش
۱۲۲	.....۵-۳- نتایج بدست آمده از پژوهش
۱۲۲	.....۵-۴- پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) معادله تعادل در جرم و فنر [۲].....	۲
شکل (۲-۱) سیستم ارتعاشی یک درجه آزادی برای محاسبه قابلیت انتقال.....	۴
شکل (۳-۱) نمودار قابلیت انتقال بر حسب نسبت فرکانس به ازای ضرایب میرایی مختلف [۴].....	۵
شکل (۴-۱) نمودار بدست آوردن درصد ایزولاسیون در فرکانس های تحریک مختلف [۶].....	۶
شکل (۱-۲) محدوده کارکرد فرکانسی لرزه گیرها [۹].....	۸
شکل (۲-۲) انواع فنرهای بادی بالشتکی [۱۹].....	۹
شکل (۳-۲) فنر بادی غشائی [۲۰].....	۹
شکل (۴-۲) فنر بادی تک بالشتکه [۶].....	۱۰
شکل (۵-۲) فنر بادی دو بالشتکه [۶].....	۱۱
شکل (۶-۲) فنر بادی سه بالشتکه [۶].....	۱۱
شکل (۷-۲) فنر بادی مدل آستینی [۶].....	۱۲
شکل (۸-۲) فنر بادی مدل لوله ای [۶].....	۱۲
شکل (۹-۲) فنر بادی مدل تسمه ای [۶].....	۱۳
شکل (۱۰-۲) نمایش امکان نامیزانی عرضی فنرهای بادی بالشتکی [۲۱].....	۱۴
شکل (۱۱-۲) تفاوت ارتفاع های مورد نیاز بین سیلندر - پیستون و فنر بادی بالشتکی [۲۱].....	۱۵
شکل (۱۲-۲) امکان مایل شدن بدون تطبیق دهنده و مبدل [۲۱].....	۱۵
شکل (۱۳-۲) بازوی محرک خطی به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۶
شکل (۱۴-۲) بازوی محرک گردان به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۷
شکل (۱۵-۲) گیره به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۷
شکل (۱۶-۲) پرس به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۸
شکل (۱۷-۲) محور محرک گردشی به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۸
شکل (۱۸-۲) بازوی محرک رفت و برگشتی به کمک فنر بادی [۲۲].....	۱۸

- شکل (۱۹-۲) مکانیزم لولایی به کمک فنر بادی [۲۲]..... ۱۹
- شکل (۲۰-۲) حرکت نوسانی رفت و برگشتی به کمک فنر بادی [۲۲]..... ۱۹
- شکل (۲۱-۲) کاربردهای فنر بادی به عنوان ایزوله کننده ارتعاشات [۲۱,۲۴]..... ۲۰
- شکل (۲۲-۲) نمایش ارتفاع ثابت عملیاتی به ازای بارهای مختلف [۲۱]..... ۲۱
- شکل (۲۳-۲) نمایش عدم تغییر فرکانس طبیعی فنرهای بادی نسبت به فنرهای فلزی [۶]..... ۲۱
- شکل (۲۴-۲) جزئیات نحوه کارکرد فنر بادی غشائی [۲۵]..... ۲۲
- شکل (۲۵-۲) موقعیت مناسب برای مرکز جرم سیستمی با فنرهای بادی [۱۷]..... ۲۳
- شکل (۲۶-۲) موقعیت پایدار برای مرکز جرم سیستمی با فنرهای بادی [۱۷]..... ۲۴
- شکل (۲۷-۲) شماتیک انواع سیستم های تعلیق [۲۷]..... ۲۶
- شکل (۲۸-۲) قابلیت جابجائی لرزه گیرهای نیوماتیکی [۲۶]..... ۲۹
- شکل (۲۹-۲) اثر سفتی فنر بادی بر قابلیت انتقال [۲۶]..... ۳۰
- شکل (۳۰-۲) چیدمان آزمایش *Gee-Clough* و *Waller* [۲۶]..... ۳۱
- شکل (۳۱-۲) رفتار دوگانه سیستم در فرکانس های بالا و پائین..... ۳۲
- شکل (۳۲-۲) چیدمان آزمایش *Gee-Clough* و *Waller* در سال ۱۹۸۲ [۲۶]..... ۳۲
- شکل (۳۳-۲) چیدمان اول آزمایش *E. Rivin* و *B. IBachrach* در سال ۱۹۸۲ [۲۶]..... ۳۳
- شکل (۳۴-۲) چیدمان دوم آزمایش *E. Rivin* و *B. IBachrach* در سال ۱۹۸۲ [۲۶]..... ۳۳
- شکل (۳۵-۲) چیدمان و نتیجه پژوهش *A. J Nieto* و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۳۷]..... ۳۵
- شکل (۳۶-۲) فنر بادی دو بالشتکه [۳۸]..... ۳۶
- شکل (۳۷-۲) نتایج آزمایش های *Jeung-Hoon Lee* و *Kwang-Joon Kim* [۳۸]..... ۳۶
- شکل (۳۸-۲) نمودار نتیجه گیری برای بهترین قابلیت انتقال [۳۸]..... ۳۶
- شکل (۳۹-۲) چیدمان آزمایش های *Lee* و *Kim* در سال ۲۰۰۶ [۳۹]..... ۳۷
- شکل (۴۰-۲) نمودار نتایج در آزمایشات *Yun-Ho Shin* و *Kwang-Joon Kim* [۴۰]..... ۳۷
- شکل (۴۱-۲) چیدمان آزمایشات *Yun-Ho Shin* و *Kwang-Joon Kim* در سال ۲۰۰۸ [۴۰]..... ۳۸
- شکل (۴۲-۲) چیدمان آزمایشات *Tomonori Kato* و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۴۱]..... ۳۸
- شکل (۴۳-۲) قابلیت جابجائی در حالت های مختلف کنترلی [۴۱]..... ۳۸

- شکل (۲-۴۴) توزیع نیروها در یک فنر بادی [۲۶]..... ۳۹
- شکل (۲-۴۵) شماتیک فنر بادی و حجم کمکی متصل با لوله نازک [۴۲]..... ۴۲
- شکل (۲-۴۶) نمودار *Moody* [۲۹]..... ۴۳
- شکل (۲-۴۷) نمودار بدست آوردن ضریب K_b^* [۴۲]..... ۴۴
- شکل (۲-۴۸) نمودار بدست آوردن ضریب C_o [۴۲]..... ۴۵
- شکل (۲-۴۹) نمودار بدست آوردن ضریب C_{Re} [۴۲]..... ۴۵
- شکل (۳-۱) شماتیک سیستم مورد نیاز پژوهش..... ۴۷
- شکل (۳-۲) شیر تناسبی بادی (سمت راست) و حرکت سنج خطی مورد استفاده در پروژه (سمت چپ) [۴۳,۴۴]..... ۴۹
- شکل (۳-۳) حجم کمکی و فنر بادی..... ۵۲
- شکل (۳-۴) چیدمان طراحی و ساخته شده برای انجام آزمایشات..... ۵۳
- شکل (۳-۵) اجزای سیستم چیدمان آزمایش..... ۵۴
- شکل (۳-۶) شماتیک عملکرد حرکت سنج خطی..... ۵۷
- شکل (۳-۷) حرکت سنج خطی [۴۳]..... ۵۷
- شکل (۳-۸) انواع شتاب سنج ها [۱]..... ۵۸
- شکل (۳-۹) مکانیزم کار شتاب سنج [۱,۴۵]..... ۵۸
- شکل (۳-۱۰) شماتیک حرکت دایره ای..... ۵۹
- شکل (۳-۱۱) هارمونیک بودن نیروی عمودی در حرکت دایره ای خارج از مرکز..... ۵۹
- شکل (۳-۱۲) لرزاننده طراحی شده برای آزمایش..... ۶۰
- شکل (۳-۱۳) لرزاننده ساخته شده برای آزمایشات..... ۶۰
- شکل (۳-۱۴) شفت خروج از مرکز طراحی شده برای آزمایشات..... ۶۱
- شکل (۳-۱۵) تحلیل المان محدود تنش ها در چرخش شفت نامیزان..... ۶۲
- شکل (۳-۱۶) چرخش شفت های نامیزان..... ۶۲
- شکل (۳-۱۷) نحوه انتقال قدرت از شفت موتور به شفت نامیزان..... ۶۴
- شکل (۳-۱۸) یاتاقان و بلبیرینگ استفاده شده در چیدمان آزمایشات..... ۶۶

- شکل (۱۹-۳) شماتیک کنترل چیدمان آزمایشات..... ۶۷
- شکل (۲۰-۳) مدل فیزیکی ارتعاش ۶۷
- شکل (۲۱-۳) ارتعاش و حرکت صفحه بالائی بالشتک..... ۶۸
- شکل (۲۲-۳) سیلندر - پیستون معادل فنر بادی..... ۶۸
- شکل (۲۳-۳) ابعاد بالشتک باد..... ۶۹
- شکل (۲۴-۳) شیر تناسبی نیوماتیکی [۴۴]..... ۷۰
- شکل (۲۵-۳) شتاب سنج های مورد استفاده در پروژه ۷۱
- شکل (۲۶-۳) شتاب سنج تک جهتة مورد استفاده در پروژه..... ۷۲
- شکل (۲۷-۳) کاتالوگ بالشتک استفاده شده در پروژه [۶]..... ۷۴
- شکل (۲۸-۳) تحلیل المان محدود میل راهنما در نرم افزار آباکوس..... ۷۵
- شکل (۲۹-۳) فنر لول طراحی شده برای چیدمان آزمایشات به همراه پایه آن ۷۷
- شکل (۳۰-۳) مونتاژ فنرهای لول در چیدمان ساخته شده برای انجام آزمایشات..... ۷۸
- شکل (۳۱-۳) چیدمان نهائی طراحی شده..... ۷۸
- شکل (۳۲-۳) چیدمان نهائی ساخته شده..... ۷۹
- شکل (۳۳-۳) چیدمان نهائی ساخته شده..... ۷۹
- شکل (۳۴-۳) چیدمان نهائی ساخته شده..... ۸۰
- شکل (۳۵-۳) بخش کنترل استاتیک پروژه..... ۸۰
- شکل (۳۶-۳) بخش کنترل دینامیک پروژه..... ۸۱
- شکل (۱-۴) شماتیک فنر بادی پیشنهادی فرکانس بالا..... ۸۳
- شکل (۲-۴) مدار کنترلی اولیه (مدار P)..... ۸۵
- شکل (۳-۴) مدار کنترلی نهائی (مدار PID)..... ۸۵
- شکل (۴-۴) نرم افزار برداشت اطلاعات و تنظیمات همزمان برای کنترلر PID - آزمایشات حالت دینامیک..... ۸۶
- شکل (۵-۴) واحد کنترل برای برداشت اطلاعات و تنظیمات همزمان در ارتعاش سنج ها - حالت استاتیک..... ۸۷

- شکل (۴-۶) نرم افزار برداشت اطلاعات و تنظیمات همزمان در ارتعاش سنج ها - حالت استاتیک
 ۸۸.....
- شکل (۴-۷) نمودار شتاب - زمان برداشت شده از ارتعاش سنج ها در آزمایشات استاتیک در فشار
 ۲ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز.....
 ۸۹.....
- شکل (۴-۸) نمودار شتاب - زمان برداشت شده از ارتعاش سنج ها در آزمایشات استاتیک در فشار
 ۲.۵ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز.....
 ۹۰.....
- شکل (۴-۹) نمودار شتاب - زمان برداشت شده از ارتعاش سنج ها در آزمایشات استاتیک در
 فشار ۳ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز.....
 ۹۱.....
- شکل (۴-۱۰) نمودار شتاب - زمان برداشت شده از ارتعاش سنج ها در آزمایشات استاتیک در
 فشار ۳.۵ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز.....
 ۹۲.....
- شکل (۴-۱۱) نمودار شتاب - زمان برداشت شده از ارتعاش سنج ها در آزمایشات استاتیک در
 فشار ۴ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز.....
 ۹۳.....
- شکل (۴-۱۲) نمودار نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب فشار باد بالشتک در فرکانس های ۲۵ تا
 ۵۰ هرتز با وزن ۱۷۰ کیلوگرم روی بالشتک در آزمایشات حالت استاتیک.....
 ۹۷.....
- شکل (۴-۱۳) تغییر جرم روی بالشتک.....
 ۹۸.....
- شکل (۴-۱۴) نمودار نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب فشار باد بالشتک در فرکانس های ۲۵ تا
 ۵۰ هرتز با وزن ۲۱۰ کیلوگرم روی بالشتک در آزمایشات حالت استاتیک.....
 ۹۹.....
- شکل (۴-۱۵) نمودار بی بعد شده نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب نسبت فشار باد بالشتک به
 فشار استاتیکی باد بالشتک در فرکانس های ۲۵ تا ۵۰ هرتز با وزن ۱۷۰ کیلوگرم روی بالشتک در
 حالت استاتیک.....
 ۹۹.....
- شکل (۴-۱۶) نمودار بی بعد شده نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب نسبت فشار باد بالشتک به
 فشار استاتیکی باد بالشتک در فرکانس های ۲۵ تا ۵۰ هرتز با وزن ۲۱۰ کیلوگرم روی بالشتک در
 حالت استاتیک.....
 ۱۰۰.....
- شکل (۴-۱۷) نمودار نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب فرکانس در فشارهای ۲ تا ۴ بار با وزن
 ۱۷۰ کیلوگرم روی بالشتک در آزمایشات حالت استاتیک.....
 ۱۰۰.....

- شکل (۴-۱۸) نمودار نسبت شتاب صفحه بالائی بر حسب فرکانس در فشارهای ۲ تا ۴ بار با وزن ۲۱۰ کیلوگرم روی بالشتک در آزمایشات حالت استاتیک..... ۱۰۱
- شکل (۴-۱۹) آنالیز مودال چیدمان آزمایش در نرم افزار آباکوس..... ۱۰۱
- شکل (۴-۲۰) نمائی از نرم افزار برداشت اطلاعات آزمایشات حالت دینامیک..... ۱۰۵
- شکل (۴-۲۱) نمائی از نرم افزار برداشت اطلاعات آزمایشات حالت دینامیک..... ۱۰۵
- شکل (۴-۲۲) نمائی از نرم افزار برداشت اطلاعات آزمایشات حالت دینامیک..... ۱۰۶
- شکل (۴-۲۳) نتایج آزمایشات حالت دینامیک با کنترلر *PID*..... ۱۰۶
- شکل (۴-۲۴) نمودار مقایسه دامنه های جابجائی ارتعاش صفحه بالائی در دو حالت استاتیکی و دینامیکی در حالت بهینه دینامیکی..... ۱۰۹
- شکل (۴-۲۵) نمائی از مدل المان محدود بالشتک باد در حالت استاتیک در نرم افزار آباکوس..... ۱۱۰
- شکل (۴-۲۶) نتایج شماتیک تحلیل المان محدود بالشتک باد در حالت استاتیکی با نرم افزار آباکوس..... ۱۱۱
- شکل (۴-۲۷) نمودار شتاب - زمان حاصل از تحلیل المان محدود برای صفحه بالائی در آزمایشات استاتیک در فشار ۲ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز..... ۱۱۲
- شکل (۴-۲۸) نمودار شتاب - زمان حاصل از تحلیل المان محدود برای صفحه بالائی در آزمایشات استاتیک در فشار ۲.۵ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز..... ۱۱۳
- شکل (۴-۲۹) نمودار شتاب - زمان حاصل از تحلیل المان محدود برای صفحه بالائی در آزمایشات استاتیک در فشار ۳ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز..... ۱۱۴
- شکل (۴-۳۰) نمودار شتاب - زمان حاصل از تحلیل المان محدود برای صفحه بالائی در آزمایشات استاتیک در فشار ۳.۵ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز..... ۱۱۵
- شکل (۴-۳۱) نمودار شتاب - زمان حاصل از تحلیل المان محدود برای صفحه بالائی در آزمایشات استاتیک در فشار ۴ بار و محدوده فرکانسی ۲۵ تا ۵۰ هرتز..... ۱۱۶
- شکل (۴-۳۲) مقایسه نتایج المان محدود (تصویر پائینی) و آزمایش تجربی (تصویر بالائی) برای ارتعاش صفحه بالائی در آزمایش حالت استاتیکی با فشار ۳ بار بالشتک باد و فرکانس نوسان ۴۰ هرتز..... ۱۱۷
- شکل (۴-۳۳) فنر بادی نهائی پیشنهادی برای ساخت در مقیاس صنعتی..... ۱۲۰

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) ضرایب نسبت میرایی لرزه گیرهای پر کاربرد [۱۶].....	۸
جدول (۲-۲) ارتفاع اسمبلی h بر حسب فشار و بار اعمالی روی بالشتک [۲۶].....	۴۰
جدول (۳-۲) سطح A و سطح موثر A_{mean} بر حسب ارتفاع اسمبلی و فشار بالشتک [۲۶].....	۴۱
جدول (۴-۲) مقدار زاویه آلفا [۲۶].....	۴۱
جدول (۵-۲) ضریب اتلاف ناشی از انبساط و انقباض باد در لوله [۴۲].....	۴۳
جدول (۱-۳) لیست آزمایشات حالت استاتیک.....	۵۱
جدول (۲-۳) جدول محاسبه بار شعاعی [۴۶].....	۶۴
جدول (۳-۳) محاسبه ضریب K_a [۴۶].....	۶۵
جدول (۴-۳) محاسبه ضریب K_c [۴۶].....	۶۵
جدول (۵-۳) مشخصات دینامیکی بالشتک [۶].....	۷۲
جدول (۱-۴) مقادیر بیشینه شتاب تجربی	۹۵
جدول (۲-۴) مقادیر بیشینه های شتاب در حات های تجربی و تئوری در حالت استاتیک.....	۹۵
جدول (۳-۴) نتایج مود اول آنالیز مودال برای چیدمان آزمایش	۱۰۲
جدول (۴-۴) سطح بندی پارامترهای ورودی آزمایشات حالت دینامیکی	۱۰۳
جدول (۵-۴) مقایسه دامنه های جابجائی ارتعاش صفحه بالائی در دو حالت استاتیکی و دینامیکی	
در حالت بهینه دینامیکی.....	۱۰۸
جدول (۶-۴) جدول مقایسه نتایج آزمایشات استاتیک و نتایج تحلیل المان محدود.....	۱۱۸
جدول (۱-۲) میرایی لرزه گیرهای پر کاربرد [۱۶].....	۸
جدول (۲-۲) ارتفاع اسمبلی h بر حسب فشار و بار اعمالی روی بالشتک [۲۶].....	۴۰
جدول (۳-۲) سطح A و سطح موثر A_{mean} بر حسب ارتفاع اسمبلی و فشار بالشتک [۲۶].....	۴۱
جدول (۴-۲) مقدار زاویه آلفا [۲۶].....	۴۱
جدول (۵-۲) ضریب اتلاف ناشی از انبساط و انقباض باد در لوله [۴۲].....	۴۳

- جدول (۱-۳) لیست آزمایشات حالت استاتیک..... ۵۱
- جدول (۲-۳) جدول محاسبه بار شعاعی [۴۶]..... ۶۴
- جدول (۳-۳) محاسبه ضریب K_a [۴۶]..... ۶۵
- جدول (۴-۳) محاسبه ضریب K_c [۴۶]..... ۶۵
- جدول (۵-۳) مشخصات دینامیکی بالشتک [۶]..... ۷۲
- جدول (۱-۴) مقادیر بیشینه شتاب تجربی..... ۹۵
- جدول (۲-۴) مقادیر بیشینه های شتاب در حات های تجربی و تئوری در حالت استاتیک..... ۹۵
- جدول (۳-۴) نتایج مود اول آنالیز مودال برای چیدمان آزمایش..... ۱۰۲
- جدول (۴-۴) سطح بندی پارامترهای ورودی آزمایشات حالت دینامیکی..... ۱۰۳
- جدول (۵-۴) مقایسه دامنه های جابجائی ارتعاش صفحه بالائی در دو حالت استاتیکی و دینامیکی
- در حالت بهینه دینامیکی..... ۱۰۸
- جدول (۶-۴) جدول مقایسه نتایج آزمایشات استاتیک و نتایج تحلیل المان محدود..... ۱۱۸

فصل ۱

مقدمه

این پایان نامه متشکل از ۵ فصل می باشد که عنوان فصل اول، مقدمه، عنوان فصل دوم، انواع فنرهای بادی و کاربردهای آن، عنوان فصل سوم، معرفی و طراحی اجزای سیستم به همراه برنامه آزمایشات، عنوان فصل چهارم، نتایج آزمایشات و تحلیل المان محدود بوده و در نهایت عنوان فصل پنجم، نتایج و پیشنهادات می باشد. برای تحلیل ایزولاسیون ارتعاشات، شبیه سازی سیستم به جرم و فنر و دمپر متداول است. جرم m صلب^۲ و فنر^۳ و دمپر^۴، بدون جرم فرض می شود. سفتی فنر^۵ با k و ضریب میرایی با c نمایش داده می شود. در ابتدای فصل اول مروری بر تئوری ارتعاشات صورت می گیرد. در فصل دوم انواع لرزه گیرها معرفی شده و توضیحاتی مجمل آورده شده است. همانطور که می دانیم با استفاده از مشخصه های ذاتی سیستم ارتعاشی و روشهای متناسب می توان تا حدود زیادی ارتعاش را کنترل نمود. اصولاً برای کنترل ارتعاش از سه مشخصه جرم به همراه فنریت (برای فرکانس های پائین) و میرایی (برای فرکانس های بالا) بصورت زوج یا ترکیبی استفاده می گردد. تمام مواد یا سیستم هائی که برای کنترل ارتعاش بکار می روند تحت نام کلی عایق های ارتعاشی یا لرزه گیرهای ارتعاشی نام گذاری می شوند. سپس انواع فنرهای بادی و مزایا و کاربرد هر یک شرح داده شده است. در ادامه همین فصل مروری بر تاریخچه تکامل فنرهای بادی از ابتدا تا کنون صورت گرفته است. در انتهای این فصل پارامترهای اساسی سیستم مانند سفتی، میرایی و فرکانس طبیعی بدست می آیند. در فصل سوم مراحل محاسبه و طراحی چیدمان آزمایش به تفصیل آورده شده است. در فصل چهارم نتایج آزمایشات انجام شده آورده

^۲ Rigid

^۳ Spring

^۴ Damper

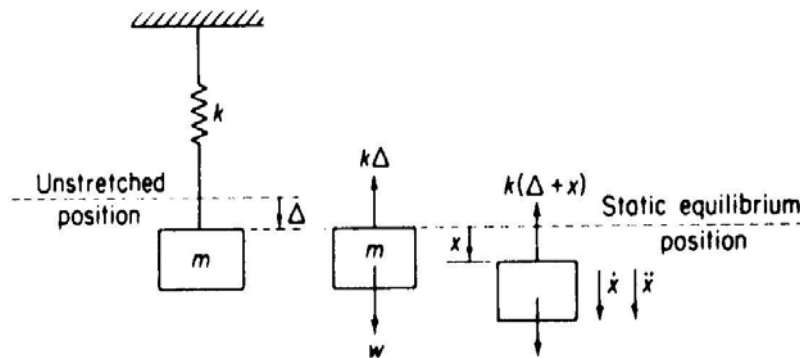
^۵ Stiffness

شده و با نتایج المان محدود مقایسه گردیده است. فصل پنجم مربوط به نتیجه گیری نهائی بوده و پیشنهاداتی برای پژوهش آینده ارائه شده است.

مروری بر تئوری ارتعاشات

۱-۱- فرکانس طبیعی^۶

در یک سیستم جرم و فنر ساده با ایجاد شرایط اولیه مکانی یا سرعت اولیه و حذف عامل به وجود آورنده، سیستم با فرکانس طبیعی خود شروع به نوسان سینوسی پریودیک می نماید. برای سیستم های بدون میرا یا با میرایی ناچیز و سیستم های با میرایی c روابط آورده خواهند شد.



شکل (۱-۱) معادله تعادل در جرم و فنر [۲]

با توجه به شکل (۱-۱) و طبق قانون دوم نیوتن و قانون هوک رابطه (۱-۱) بدست می آید [۳]:

$$m \cdot g = k \cdot \Delta \quad (1-1)$$

رابطه (۲-۱) فرکانس طبیعی جرم و فنر را نشان می دهد.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (2-1)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} = \frac{4.98}{\sqrt{d}}$$

رابطه (۳-۱) فرکانس طبیعی جرم و فنر و دمپر را نشان می دهد.

^۶ Natural Frequency

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (3-1)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$$

۲-۱- میرایی^۷ [۳]

در یک سیستم ساده، دمپینگ به عنوان یک تلف کننده انرژی برای محدود کردن پاسخ سیستم بکار می رود. میرایی بحرانی c_c مقداری از میرایی است که سیستم پس از اختلال در وضع تعادل خود نوسان نخواهد کرد. میرایی بحرانی با جرم سیستم و فرکانس طبیعی ارتباطی بصورت رابطه ۱-۴ دارد.

$$C_c = 2 \cdot m \cdot \omega_n \quad (4-1)$$

نسبت میرایی سیستم c به میرایی بحرانی c_c را نسبت میرایی می گویند و با ζ نمایش می دهند. براساس ζ سه نوع پاسخ می تواند وجود داشته باشد. اگر ζ بزرگتر از ۱ باشد، پاسخ غیر نوسانی میرا شونده است، اگر برابر ۱ باشد، پاسخ غیر نوسانی میرا شونده بوده و در حداقل زمان میرا می شود و اگر کوچکتر از ۱ باشد پاسخ نوسانی میرا شونده است. در واقع $\zeta = 1$ مرز بین پاسخ نوسانی و غیر نوسانی است.

۳-۱- فرکانس نوسان نامیرا و میرا در ارتعاش آزاد^۸

فرکانس نوسانی نامیرایی برابر فرکانس طبیعی است. فرکانس نوسان میرا شونده در رابطه ۱-۵ آمده است:

$$\omega_d = \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (5-1)$$

for: $0 < \zeta < 1$

۴-۱- نیروی ارتعاشات، قابلیت جابجایی^۹ و تشدید^{۱۰} [۳]

اگر سیستم ساده شکل (۲-۱) در معرض یک نیروی نوسانی F فرکانس ω و دامنه جابجایی X قرار گیرد، نیروی F_t توسط فنرها و میرا کننده به پایه منتقل شده و نوسانی با دامنه جابجایی Y را در پایه بوجود می آورد.

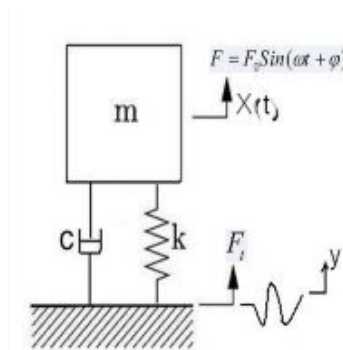
^۷ Damping

^۸ Free Vibration

^۹ Transmissibility

^{۱۰} Resonance

سهولت عبور نیروی ارتعاش از جسم به پایه توسط نسبت $\left| \frac{X}{Y} \right|$ یا $\frac{F_t}{F_0}$ بیان می شود که قابلیت انتقال نام دارد. در بحث ایزولاسیون ارتعاشات، کاهش قابلیت انتقال، فاکتور اصلی طراحی می باشد. در شکل (۲-۱) سیستم ارتعاشی یک درجه آزادی نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) سیستم ارتعاشی یک درجه آزادی برای محاسبه قابلیت انتقال

نیروی منتقل شده به پایه در رابطه (۶-۱) آمده است.

$$F_t = \sqrt{(kX)^2 + (c\omega X)^2} \quad (۶-۱)$$

$$F = F_0 \sin(\omega t + \varphi) \Rightarrow F_0 = \sqrt{(m\omega^2 X - kX)^2 + (c\omega X)^2}$$

در نتیجه قابلیت انتقال از رابطه (۷-۱) بدست می آید.

$$TR = \left| \frac{X}{Y} \right| = \frac{F_t}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + (2\xi \frac{\omega}{\omega_n})^2}{(1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2)^2 + (2\xi \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad (۷-۱)$$

اگر میرایی سیستم ناچیز باشد، $\zeta = 0$ بوده و قابلیت انتقال از رابطه (۸-۱) بدست می آید.

$$TR = \frac{1}{(\frac{\omega}{\omega_n})^2 - 1} \quad (۸-۱)$$