

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی کاربردی

عنوان پروژه :

بهینه سازی دستگاه فی در ارتعاشی با فرض ارتعاشات

اتفاقی

نگارش : سینا سوداگر

استاد راهنما : دکتر حسین ساداتی

استاد مشاور : دکتر شهرام آزادی

فهرست مطالب

I چکیده

فصل اول معرفی دستگاههای لرزاننده مواد

- ۱-۱) هدف و تعریف پروژه ۱
- ۱-۲) دستگاه لرزاننده مواد ۱
 - ۱-۲-۱) موارد کاربرد ۳
 - ۱-۲-۲) عملکرد ۶
 - ۱-۳) تشریح دستگاه لرزاننده انتقال مواد ۷
 - ۱-۳-۱) مرتعش کننده ۷
 - ۱-۳-۲) تغذیه کننده ۸
 - ۱-۴) روش تحلیل ۹

فصل دوم معادلات حرکت سیستم

- ۲-۱) مقدمه ۱۳
- ۲-۲) تعیین مرکز جرم ۱۳
- ۲-۳) مرکز جرم در حالت بدون بار ۱۵
- ۲-۴) مرکز جرم در حالت با بار ۱۵
- ۲-۵) معادلات حرکت سیستم ۱۶
 - ۲-۵-۱) فرضیات اعمال شده ۱۶
 - ۲-۵-۲) سختی جانبی فنرهای مارپیچ ۱۸
 - ۲-۵-۳) استخراج معادلات حرکت با استفاده از روابط نیوتن ۱۹
- ۲-۶) حل دستگاه معادلات ۲۶

۲۸	..... تعیین فرکانسهای طبیعی سیستم
۲۹	..... اعمال ورودی با فرکانس متغیر با زمان
۳۳	..... اعمال ورودی ضربه

فصل سوم تحلیل سیستم با فرض ورودی اتفاقی

۳۸	..... مقدمه
۳۸	..... تبدیل فوریه ناپیوسته و تبدیل معکوس فوریه ناپیوسته
۴۱	..... الگوریتم روش پاسخ فرکانسی
۴۳	..... تحلیل حساسیت پارامترهای سیستم نسبت به تغییرات واریانس
۴۹	..... مدلسازی سیستم با اعمال نیروی گسترده
۵۰	..... مقایسه نتایج مدل جرم معادل با مدل نیروی گسترده

فصل چهارم معادلات حرکت ذره

۵۹	..... مقدمه
۵۹	..... فرضیات اعمال شده
۶۰	..... رفتار ذره بر روی صفحه ارتعاشی
۶۰	..... روابط تعادلی ذره
۶۲	..... حرکت پرتابی
۶۳	..... حرکت لغزشی
۶۵	..... حالت ساکن ذره نسبت به فیدر
۶۶	..... شبیه سازی حرکت ذره بر روی فیدر

فصل پنجم آنالیز حساسیت و بهینه سازی

۷۱	..... (۵-۱) مقدمه
۷۱	..... (۵-۲) تابع هدف
۷۲	..... (۵-۳) پارامترهای موثر دستگاه در رفتار تابع هدف
۷۷	..... (۵-۴) آنالیز حساسیت
۷۸	..... (۵-۴-۱) سختی فنرهای ویبراتور
۷۹	..... (۵-۴-۲) جرم متحرک ویبراتور
۸۰	..... (۵-۴-۳) سختی عمودی فنرهای فیدر
۸۰	..... (۵-۴-۴) دامنه نیروی سینوسی اعمالی
۸۱	..... (۵-۴-۵) فرکانس نیروی سینوسی اعمالی
۸۳	..... (۵-۵) بهینه سازی تابع هدف
۸۳	..... (۵-۵-۱) مقید یا نامقید بودن
۸۵	..... (۵-۵-۲) روشهای مشتقی و غیر مشتقی
۸۷	..... (۵-۵-۳) روش گام تصادفی

فصل ششم نتیجه گیری و تحلیل نتایج

۹۱	..... (۶-۱) مقدمه
۹۱	..... (۶-۲) نتایج بهینه سازی با استفاده از مدل نیروی گسترده
۹۱	..... (۶-۲-۱) بهینه سازی برای فرکانس 33 Hz
۹۴	..... (۶-۲-۲) بهینه سازی برای فرکانس 50 Hz
۹۶	..... (۶-۲-۳) بهینه سازی برای فرکانس 60 Hz
۹۸	..... (۶-۲-۴) بهینه سازی با فرکانس متغیر
۱۰۱	..... (۶-۵) نتیجه گیری
۱۰۱	..... (۶-۶) پیشنهادات ادامه کار جهت انجام پروژه های آتی
۱۰۳	..... مراجع

چکیده

در این پروژه به بررسی، تحلیل و بهینه سازی ارتعاشی دستگاه فیدر ارتعاشی صنعتی (Vibratory Feeder) پرداخته شده است. در فیدرهای صنعتی، مکانیک پیچیده حرکت ذرات بر روی فیدر یکی از مشکلات عمده تحلیل این سیستمها بشمار می آید. در اینجا با مدلسازی تقریبی اثر حرکت ذرات بر روی رفتار سیستم با استفاده از مدل جرم معادل به تحلیل و بهینه سازی پارامترهای ارتعاشی سیستم پرداخته شده است.

یکی از مهمترین مشکلات و موانع موجود در مدلسازی و تحلیل سیستمهای فیدر ارتعاشی صنعتی، مدلسازی حرکت ذرات بر روی فیدر مرتعش می باشد. مدلسازی این حرکات با توجه به تاثیر بسیار آنها بر روی رفتار دستگاه از اهمیت بالایی برخوردار است. با این وجود تاثیر شکل، جنس و جرم مواد، اثر ذرات مجاور بر روی یکدیگر، اثر متقابل ذرات و صفحه فیدر بر روی یکدیگر، از جمله عواملی است که مدلسازی حرکات ذرات را بر روی این سیستم با مشکل مواجه نموده و در عمل غیر ممکن می سازد. در این مقاله با مدلسازی اثر ذرات بر روی رفتار سیستم با مدل جرم معادل ذرات، پس از تحلیل حرکت دستگاه با انتخاب یک تابع هدف مناسب بر اساس حرکت ذرات بر روی فیدر مرتعش مقادیر پارامترهای سیستم در حالت رفتار بهینه سیستم در سه حالت دستگاههای فرکانس ثابت ۳۰، ۵۰ و ۶۰ هرتز و همچنین فرکانس متغیر بدست آمده است.

فصل اول

معرفی دستگاههای لرزاننده مواد

۱-۱) هدف و تعریف پروژه

این پروژه به تحلیل و طراحی ارتعاشی یک دستگاه لرزاننده مواد با فرض ارتعاشات اتفاقی خواهد پرداخت. این دستگاه بمنظور انتقال و سرند ذرات حجمی^۱ در واحدهای صنعتی بکار گرفته می شود. در ابتدای سال ۱۳۸۰ در یک شرکت خصوصی داخلی نمونه برداری این دستگاه از یک نمونه خارجی انجام شد، که بدلیل عدم وجود اطلاعات لازم در مورد تنظیم پارامترهای اصلی در این دستگاه نظیر ثابتهای فنرها، فرکانس تحریک مقادیر جرمهای موجود در سیستم، امکان استفاده مطلوب و بهینه از این دستگاه فراهم نشد.

متأسفانه با وجود اینکه سالهاست انواع مختلفی از این دستگاهها در کشورهای دیگر تولید و طراحی می شود و همچنین با وجود نیاز بسیاری که به این سیستمها در واحدهای صنعتی داخلی وجود دارد، هنوز طراحی مدون و علمی بر روی این دستگاهها در داخل کشور صورت نگرفته است تا بتوان بصورت علمی و اصولی به تولید آنها پرداخت. البته در چند سال اخیر، تلاشهایی محدودی در چند شرکت ایرانی بمنظور تولید این دستگاهها صورت پذیرفته که محدود به مشابه سازی از چند نمونه خارجی شده است و در همین محدوده کوچک نیز بدلیل مشکلات متعددی که ناشی از عدم طراحی و تحلیل این دستگاهها می باشد، در عمل بازده بسیار پائینی بدست آمده است. این پروژه تلاش دارد تا با تحلیل و طراحی مجدد بر روی این دستگاه و با استفاده از تحلیل اتفاقی ارتعاشات، پارامترهای موثر و اصلی را در این دستگاه شناسایی کرده و با بهینه کردن مقادیر این پارامترها، راندمان و بازده این سیستم ارتعاشی را به عملکرد بهینه آن نزدیک سازد.

۱-۲) دستگاه لرزاننده مواد

لرزاننده های مواد از جمله دستگاههایی هستند که از ارتعاش بعنوان پدیده ای سودمند برای ایجاد رفتاری مشخص و مورد نظر در مواد استفاده می کنند. این مواد معمولاً بصورت ذراتی با ابعاد و جرم کوچک هستند که انتقال ارتعاش تولید شده به این ذرات موجب بوجود آمدن رفتاری مشخص و مطلوب در آنها خواهد شد. چنین رفتاری از پیش باید توسط طراح مشخص شده و پارامترهای مختلف سیستم بر اساس آن تنظیم شود. تاثیر متقابل ارتعاش در ذرات و سیستم ارتعاشی بر روی یکدیگر، لزوم مدلسازی حرکات ذرات را بمنظور پیش بینی تاثیر رفتار بر روی سیستم نشان می دهد. انجام چنین مدلسازی با توجه به رفتار بسیار پیچیده ذرات و عوامل مختلفی که بر حرکت مجموعه ذرات تاثیرگذار می باشد، کاری بسیار دشوار و پیچیده است. با توجه به مکانیک پیچیده فرآیند انتقال، حتی در سالهای اخیر نیز طراحی تغذیه کننده های ارتعاشی بر اساس روش سعی و خطا انجام می پذیرد [۱]. مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته است هر کدام سعی داشته است تا با در نظر گرفتن یکی از عوامل موثر در

^۱ - Bulk Materials

حرکت مجموعه ذرات مدل مناسبی از حرکت ذرات را ارائه دهد. در سال ۱۹۹۷ پیتر ولف اشتاینر^۲ و فردریش پفیفر^۳ [۱] با مدلسازی ارتعاشی یک دستگاه تغذیه کننده کاسه ای ارتعاشی^۴ به بررسی رفتار اجسام موجود بر روی این فیدر ارتعاشی پرداختند. در این تحقیق از یک مدل یک درجه آزادی استفاده شده و همچنین برای بررسی حرکت اجسام بر روی فیدر نیز از تئوری مسائل تماس استفاده شده است. در سال ۱۹۹۹ آرتور ای. کوید^۵ [۲] در مقاله‌ای حرکات ذرات موجود را بر روی یک فیدر ارتعاشی مورد بررسی و تحلیل قرار داده است. در این مقاله از اثرات شکل ذرات و همچنین حرکات پرتابی ذرات بر روی فیدر مرتعش صرفنظر شده است. همچنین ون دراستاپن^۶، برتی^۷، گولدرگ^۸ و اورمارس^۹ [۳] در سال ۲۰۰۱ با ارائه مقاله‌ای به بررسی تاثیرات شکل ذرات در حرکت بر روی دستگاههای متحرک پرداختند. در سال ۲۰۰۲ نیز ای. الکسیو، ای. گلدشتاین و ام. شپیرو [۴] در مقاله‌ای به مدلسازی یک بعدی حرکت ذرات در یک ستون عمودی پرداختند که در این مقاله شکل ذرات بصورت کره و تماس آنها نیز فقط بصورت قائم فرض شده است.

۱-۲-۱) موارد کاربرد

این دستگاهها در واحدهای صنعتی پیشرفته، در موارد بسیاری بکار گرفته می شوند. بارگیری و تخلیه بار در مسیر، انتقال افقی مواد، بالا بردن مواد، مرتب سازی، جداسازی و مسطح سازی مواد، جداسازی آب، دسته بندی، توزیع، خنک کردن، گرم کردن، فشرده سازی و موارد بسیار دیگر نمونه هایی از کاربرد این دستگاهها است. در شکلهای (۱-۱) تا (۱-۸) نمونه ای از موارد کاربرد این دستگاهها بصورت شماتیک تشریح شده است.

² - Peter Wolf Steiner

³ - Friedrich Pfeiffer

⁴ - Vibratory Bowl Feeder

⁵ - Arthur E. Quaid

⁶ - A. Frank Van der Stappen

⁷ - Robert-Paul Berretty

⁸ - Ken Goldberg

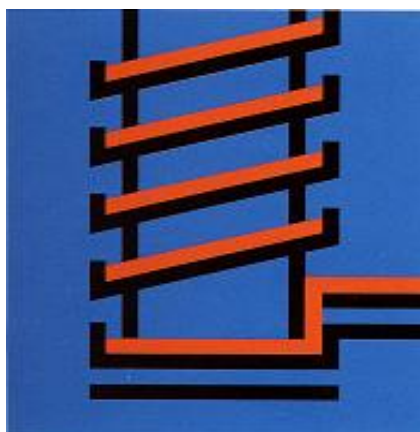
⁹ - Mark H. Overmars



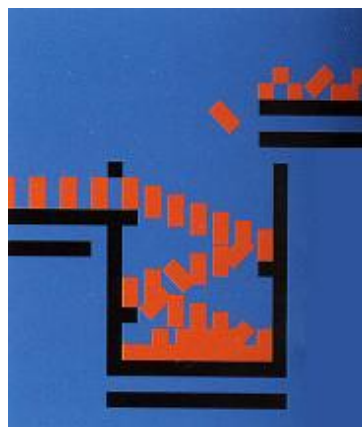
شکل (۱-۲): انتقال افقی ذرات [۵]



شکل (۱-۱): جداسازی آب [۵]



شکل (۱-۴): بالا بردن مواد [۵]



شکل (۱-۳): دسته بندی و توزیع [۵]



شکل (۱-۶): بارگیری و تخلیه [۵]

شکل (۱-۵): خشک کردن، حرارت دادن
خنک کردن، واکنشهای شیمیایی [۵]



شکل (۱-۸) : جداسازی و مرتب سازی [۵]



شکل (۱-۷) : فشرده سازی [۵]

درشکلهای (۱-۹) تا (۱-۱۲) نمونه های ساخته شده ای از این دستگاهها که توسط شرکت AVITEQ برای مصارف صنعتی تولید می شود ، نشان داده شده است.



شکل (۱-۹) : دستگاه انتقال دهنده و مرتب کننده در صنایع دارویی [۵]



شکل (۱-۱۰) : انتقال دهنده و جهت دهنده سه راهه برای ذرات کوچک [۵]



شکل (۱-۱۱) : دستگاه انتقال ذرات کوچک ورودی از نازل [۵]



شکل (۱-۱۲) : دستگاه لرزاننده و انتقال مواد با تحریک مغناطیسی [۶]

۱-۲-۲ عملکرد

در این دستگاهها ابتدا ارتعاش در قسمتی از سیستم بنام مرتعش کننده^{۱۰} تولید می شود. تولید تحریک مورد نیاز در این قسمت برای بدست آوردن ارتعاش مطلوب توسط مکانیزمهای مختلفی صورت می گیرد که به عنوان نمونه میتوان از مکانیزمهای رفت و برگشتی ، نابالانسی دوار ، میدان مغناطیسی نام برد. ارتعاشات تولید شده در این قسمت، موجب ارتعاش قسمتی از سیستم می شود که بمنظور برقراری عملکردی خاص بر روی ذرات، نظیر حرکت به سمت بالا در یک مسیر مارپیچ و یا انتقال ذرات

¹⁰ - Vibrator

در یک مسیر مشخص، با استفاده از رفتار ارتعاشی بدست آمده خواهد شد. در نمونه هایی از این دستگاهها (نظیر تغذیه کننده های کاسه ای ارتعاشی) که از مکانیک ساده تری برخوردار می باشند و همچنین فرکانس تحریک سیستم در محدوده فرکانس طبیعی سیستم می باشد طراحی سیستم بر اساس ارتعاشات در دو حالت تشدید و غیر تشدید صورت می پذیرد ولی در نمونه های پیچیده تر با توجه به افزایش درجات آزادی سیستم و همچنین خارج بودن فرکانس تحریک از محدوده فرکانسهای طبیعی سیستم، انجام چنین دسته بندی مناسب بنظر نمی رسد.

ذکر این نکته ضروری است که هر چند عملکرد کلیه این دستگاهها مشابه بوده و بر اساس استفاده از ارتعاشات بعنوان عامل محرکه دستگاه می باشد، اما با توجه به گستردگی موارد کاربرد و مکانیزمهای مورد استفاده در هر دسته از این دستگاهها برای تولید ارتعاش، امکان انجام یک تحلیل یا طراحی کلی و عمومی برای این همه این دستگاهها وجود ندارد، بلکه در هر مورد با توجه به مکانیزم تولید تحریک در دستگاه، موارد کاربرد دستگاه و عملکرد مورد نیاز و پارامترهای موثر دیگر برای طراحی، باید تحلیل و طراحی جداگانه ای بر روی این سیستمها انجام داد.

۱-۳) تشریح دستگاه لرزاننده انتقال مواد

هدف از این پروژه بازرنگری و بهینه سازی رفتار و عملکرد نمونه ای موجود از دستگاههای لرزاننده مواد می باشد که بمنظور انتقال ذرات و مواد حجمی کوچک مورد استفاده قرار می گیرد. این دستگاه یک سیستم ارتعاشی است که وظیفه آن انتقال مواد ورودی به سیستم به سمت خروجی سیستم می باشد. همچنین علاوه بر انتقال، میتوان بمنظور سرد و جداسازی مواد نیز از آن استفاده نمود. این دستگاه از دو قسمت اصلی بنامهای مرتعش کننده^{۱۱} و تغذیه کننده^{۱۲} تشکیل شده است. در ادامه این بخش به تشریح ساختار و عملکرد این قسمتها خواهیم پرداخت.

۱-۳-۱) مرتعش کننده

در این قسمت از سیستم، نیروی محرکه لازم برای انتقال مواد، تولید شده و به سایر قسمتهای دستگاه منتقل می شود. ویبراتور از یک جرم متحرک و قابل تنظیم، هشت عدد فنر کوئل، یک سیم پیچ الکتریکی جهت تولید میدان مغناطیسی و یک جرم ثابت که به فیدر متصل می شود تشکیل شده است. همانگونه که در شکل (۱-۱۳) نشان داده شده است، سیم پیچ الکتریکی و هسته آن به یک جرم متحرک و قابل تنظیم متصل شده است که مجموعاً یک جرم متحرک را تشکیل می دهد. این جرم توسط چهار فنر کوئل در بالا و چهار فنر کوئل در پایین به جرم ثابت ویبراتور مربوط می شود. با ورود

^{۱۱} - Vibrator

^{۱۲} - Feeder

جریان متناوب به درون سیم پیچ الکتریکی، یک میدان مغناطیسی قوی در اطراف هسته سیم پیچ تولید خواهد شد. این میدان که جهت آن بدلیل متناوب بودن جریان درون سیم پیچ بصورت دائم با یک فرکانس مشخص در حال تغییر است، موجب اعمال یک نیروی متناوب به این جرم متحرک خواهد شد. با اعمال این نیرو به جرم متحرک درون ویبراتور، این جرم مرتعش خواهد شد. ارتعاشات بوجود آمده در این جرم از طریق فنرهای رابط میان جرم ثابت و متحرک به جرم ثابت ویبراتور و سپس به فیدر که متصل به جرم ثابت ویبراتور می باشد، منتقل خواهد شد. البته ویبراتورهایی که بر اساس تولید میدان مغناطیسی در یک سیم پیچ الکتریکی عمل می کنند شامل دو گروه هستند. در گروه اول سیم پیچ و هسته مربوط به آن بر روی یک پایه ثابت قرار گرفته و میدان مغناطیسی تولید شده در درون هسته سیم پیچ فقط موجب اعمال یک نیروی متناوب به جرم متحرک شده و آنرا تحریک خواهد نمود. در دسته دوم، هسته سیم پیچ متصل به جرم متحرک بوده و در واقع خود هسته به عنوان قسمتی از جرم متحرک محسوب خواهد شد. شکل (۱-۱۳) نمونه ای از ویبراتورهایی گروه دوم را نشان می دهد. در این پروژه در قسمت مدلسازی سیستم فقط یک نیروی منفرد بر روی جرم متحرک ویبراتور قرار می گیرد که نشان دهنده مدل دسته اول خواهد بود. البته با توجه به جرم زیاد فیدر نسبت به جرم متحرک ویبراتور و همچنین سختی بالای فنرهای فیدر میتوان از این مدل با تقریب مناسبی برای گروه اول ویبراتورها نیز استفاده نمود. نتایج آزمایشات انجام شده نیز نشان دهنده آن است که پاسخهای این مدل با دقت قابل قبولی با رفتار مشاهده شده در دستگاه نمونه برداری شده مطابقت می کند.

۲-۳-۱) تغذیه کننده

این قسمت از دستگاه در واقع یک صفحه فولادی است که بر روی چند فنر کوپل قرار گرفته است. ارتعاشات منتقل شده از ویبراتور موجب ارتعاش این صفحه در دو جهت قائم و افق و همچنین ارتعاش دورانی حول محور عمود بر این صفحه خواهد شد. با مرتعش شدن فیدر ذرات حجمی قرار گرفته شده بر روی صفحه به سمت قسمت خروجی فیدر حرکت می کنند. شکل (۱-۱۴) شماتیکی از فیدر مورد استفاده در این دستگاه را تشریح می کند.

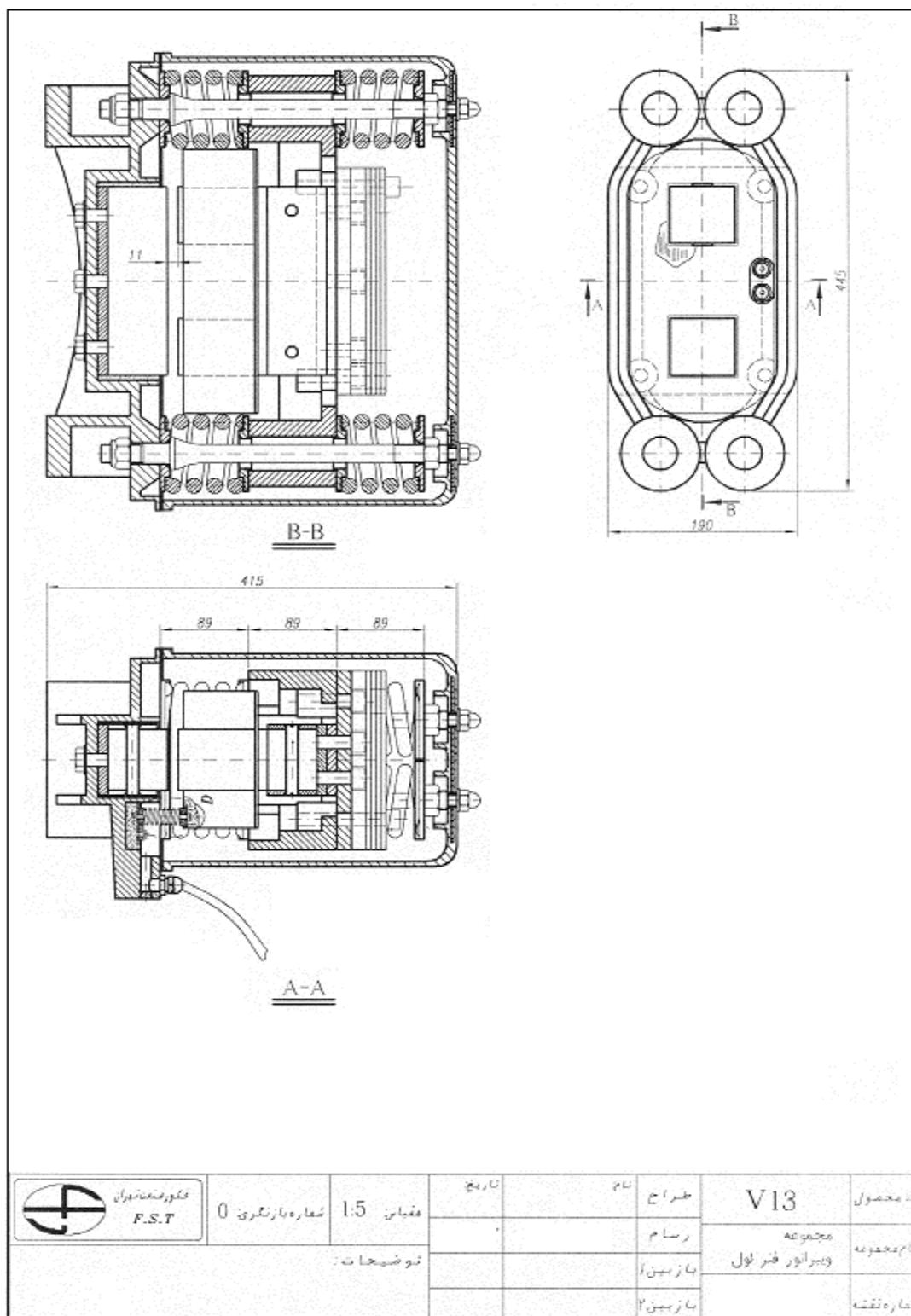
۴-۱) روش تحلیل

وجود ذرات متحرک بر روی دستگاه لرزاننده موجب پیچیده شدن رفتار ارتعاشی در دستگاههای لرزاننده انتقال مواد خواهد شد. از آنجا که مدلسازی حرکت کامل کلیه این ذرات بر روی صفحه لرزاننده بسیار مشکل می باشد و همچنین در صورت انجام، موجب افزایش بسیار زیاد درجات آزادی سیستم خواهد شد بنابراین در عمل یافتن یک پاسخ دقیق و کامل^{۱۳} برای این سیستم ارتعاشی امکان پذیر نمی باشد. لذا برای تحلیل و طراحی این سیستم و سیستمهای مشابه، باید از روشی استفاده نمود

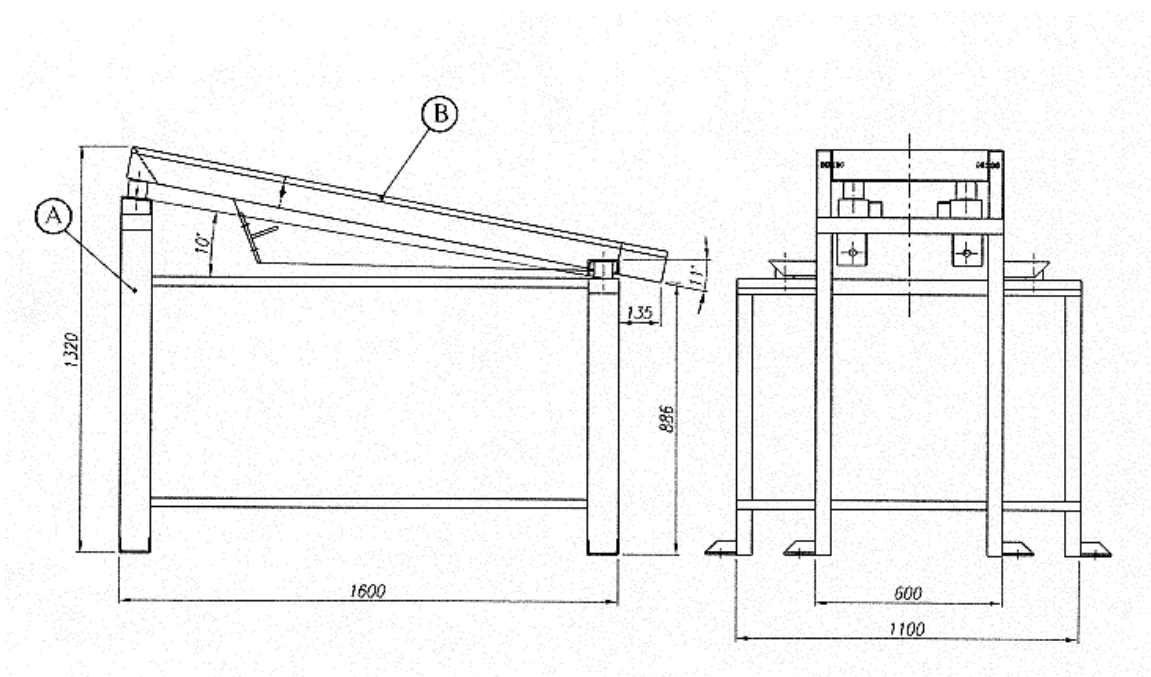
¹³ - Deterministic Solution

تا بتوان رفتار و حرکت ذرات را بر روی صفحه دستگاه و تاثیر آنها بر عملکرد این دستگاه ارتعاشی را تا حد امکان شبیه سازی نمود. در این پروژه برای اعمال تاثیر ذرات در مرحله اول، عملکرد دستگاه با استفاده از اطلاعات بدست آمده برای یک مجموعه نمونه ذرات و همچنین با اعمال محدودیتهای موجود در ساخت دستگاه تاثیر مجموعه ذرات بصورت جرم معادل بر روی صفحه لرزاننده^{۱۴} اعمال گردیده است. سپس با استفاده از روش دیگری تاثیر ذرات بصورت نیروهای اتفاقی بر روی سیستم اعمال شده و نتایج تحلیل سیستم در این حالت نیز بدست آمده است. با تعیین رفتار سیستم با این دو روش، نتایج بدست آمده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و پس از آن با توجه به نتایج بدست آمده برای سیستم، مقادیر بهینه پارامترهای دستگاه بدست آمده است.

¹⁴ - Feeder



شکل (۱-۱۳): نقشه ویبراتور 13V (محصول شرکت فکور صنعت تهران)



شکل (۱-۱۴) : نقشه فیدر 23H (محصول شرکت فکور صنعت تهران)

فصل دوم

معادلات حرکت سیستم

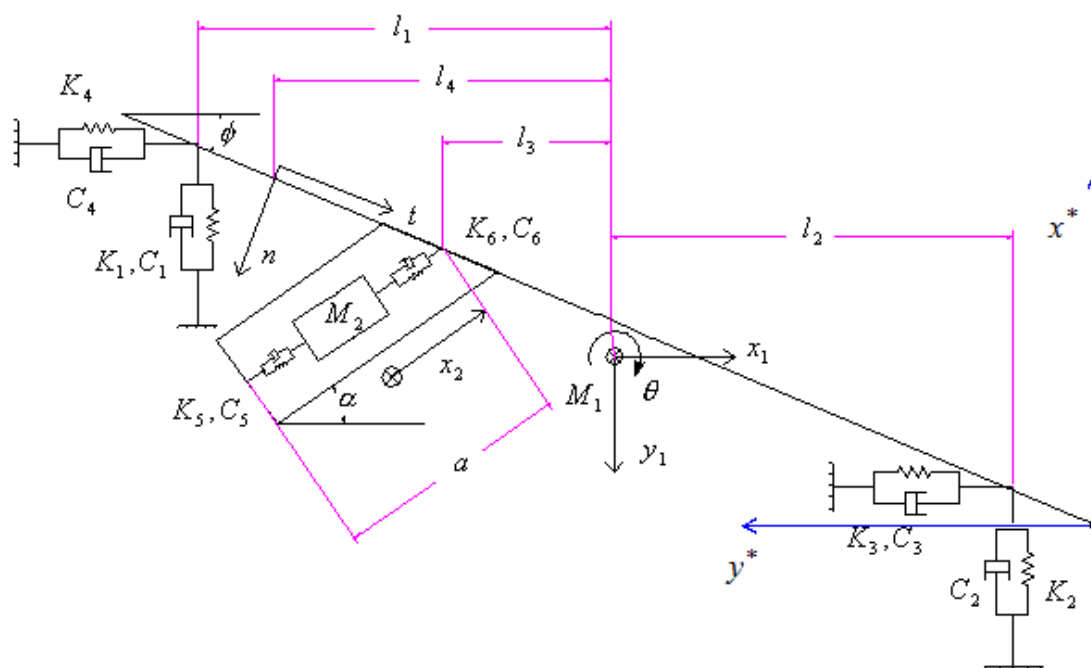
۲-۱) مقدمه

برای انجام تحلیلهای ارتعاشی، اولین گام در تحلیل سیستم بدست آوردن معادلات حرکت سیستم است. برای این منظور ابتدا باید بر اساس ابعاد و اندازه های موجود و همچنین مقادیر جرمهای سیستم، مرکز جرم را برای کلیه جرمهای سیستم تعیین نمود. در این فصل، این محاسبات برای دو حالت با بار و بدون بار برای سیستم انجام گرفته است. در حالت با بار جرمهای ذرات موجود بر روی سیستم به عنوان بخشی از جرم فیدر در نظر گرفته شده و بر این اساس پارامترهای جدید محاسبه می شوند. سپس بر اساس این مقادیر بدست آمده برای پارامترهای سیستم و پس از تعیین معادلات سیستم، فرکانسهای طبیعی سیستم در دو حالت با بار و بدون بار بدست خواهد آمد.

۲-۲) تعیین مرکز جرم

در این قسمت مراکز جرم و مقادیر این جرمها بر اساس ابعاد و اندازه های موجود، برای نمونه دستگاه ساخته شده اندازه گیری شده است. شکلهای (۱-۱۵) و (۱-۱۴) را ملاحظه کنید. در شکل (۲-۱) شماتیکی از مدل ارتعاشی دستگاه نمونه برداری شده ترسیم شده است. همانگونه که در این شکل ملاحظه می شود، در تحلیل این دستگاه از دو جرم مجزای M_1 و M_2 ، استفاده شده است. بطوریکه فیدر و قسمت ثابت وایبراتور (نسبت به فیدر) بعنوان جرم اول (M_1) و قسمت متحرک وایبراتور که توسط میدان مغناطیسی تحریک می شود نیز به عنوان جرم دوم (M_2) در نظر گرفته شده است. در قسمت متحرک وایبراتور (نسبت به فیدر) که بعنوان جرم M_2 شناخته می شود با توجه به کوچک بودن ابعاد این قسمت نسبت به سایر ابعاد سیستم بسادگی میتوان این جرم را بصورت یک جرم متمرکز در نظر گرفت و مرکز جرم آنرا نیز در وسط وایبراتور فرض نمود، درحالیکه برای یافتن مرکز جرم اول M_1 ، که مربوط به جرم فیدر و قسمت ثابت وایبراتور (نسبت به فیدر) می باشد، باید مختصات این مرکز جرم را محاسبه نمود.

بدین منظور ابتدا باید مرکز جرم اجزای مختلف جرم M_1 ، که مربوط به جرم فیدر و قسمت ثابت وایبراتور می باشد را تعیین کنیم. بدین منظور از مقادیر اندازه گیری شده در دستگاه نمونه برداری شده استفاده شده است. این مقادیر در جدول (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): مدل ارتعاشی دستگاه لرزاننده مواد

$x_1^* (m)$	$x_2^* (m)$	$y_1^* (m)$	$y_2^* (m)$	$\alpha (DEG.)$	$\phi (DEG.)$	$a (m)$
859×10^{-3}	1527×10^{-3}	167×10^{-3}	84×10^{-3}	21	11	601×10^{-3}

جدول (۲-۱): مقادیر اندازه گیری شده بر اساس دستگاه نمونه

حال با استفاده از مقادیر داده شده در جدول فوق و با همچنین جایگذاری در رابطه (۲-۱) میتوان مختصات مرکز جرم M_1 را بدست آورد. همچنین با توجه به اینکه جرم M_1 بصورت یک جرم گسترده می باشد، علاوه بر جرم M_1 و مختصات مرکز جرم، ممان اینرسی آن نیز باید تعیین شود.

$$x_G^* = \frac{m'_1 x_1^* + m'_2 x_2^*}{m'_1 + m'_2} \quad , \quad y_G^* = \frac{m'_1 y_1^* + m'_2 y_2^*}{m'_1 + m'_2} \quad (۲-۱)$$

۱- کلیه مقادیر در دستگاه مختصات قائمی بیان شده است که مبدا آن در لبه انتهایی پائینی فی در قرار گرفته است.

بطوریکه در این روابط داریم :

قسمتی از جرم M_1 که مربوط به جرم فیدر است : m'_1

قسمتی از جرم M_1 که مربوط به جرم قسمت ثابت فیدر (نسبت به ویبراتور) است : m'_2

مختصات مرکز جرم m'_1 در دستگاه $x^* - y^*$: (x_1^*, y_1^*)

مختصات مرکز جرم m'_2 در دستگاه $x^* - y^*$: (x_2^*, y_2^*)

مختصات مرکز جرم M_1 در دستگاه $x^* - y^*$: (x_G^*, y_G^*)

۲-۳) مرکز جرم در حالت بدون بار

در این حالت جرم فیدر در حالت بدون بار اندازه گیری می شود. جرم قسمت ثابت ویبراتور نیز که در هر دو حالت با بار و بدون بار یکسان می باشد، اندازه گیری می شود. مقادیر این جرمهای اندازه گیری شده در رابطه (۲-۲) داده شده است.

$$m'_1 = 62.5 \text{ Kg} \quad , \quad m'_2 = 50 \text{ Kg} \quad (2-2)$$

حال با توجه به مطالبی که در بالا ذکر شد، و همچنین با استفاده از مقادیر داده شده در جدول (۲-۱) و با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۲-۱) خواهیم داشت :

$$M_1 = 1125 \text{ kg} \quad , \quad x_G^* = 1156 \times 10^{-3} \text{ m} \quad , \quad y_G^* = 130 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (2-3)$$

ممان اینرسی مربوط به جرم M_1 نیز بسادگی با استفاده از ممان اینرسی های اندازه گیری شده برای دو قسمت مذکور بدست خواهد آمد که مقدار آن در حالت بدون بار برابر $J_0 = 29.57 \text{ kg.m}^2$ داده شده است.

۲-۴) مرکز جرم در حالت با بار

در این حالت جرم فیدر در حالت با بار اندازه گیری می شود. به این ترتیب که بار موجود بر روی فیدر بصورت یک جرم گسترده یکنواخت متصل به فیدر در نظر گرفته می شود. این جرم اضافی بار در اینجا برابر بیشترین ظرفیت باری که فیدر برای آن طراحی شده است در نظر گرفته می شود. این ظرفیت برای چنین دستگاهی در بیشترین حالت برابر 150 kg داده شده است. جرم قسمت ثابت ویبراتور نیز با حالت بدون بار یکسان می باشد. بنابراین خواهیم داشت :