دانشکده عمران

گروه سازه

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران_سازه

**عنوان**

# بهینه سازی پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شونده با استفاده از روش جستجوی سیستم ذرات باردار

**استادراهنما**

دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور

دکتر سیامک طلعت اهری

پژوهشگر

ماریا محمد حسینی خیاوی

بهمن ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

نام: ماریا نام خانوادگی: محمدحسینی خیاوی

**عنوان**: بهینه سازی پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شونده با استفاده از روش جستجوی سیستم ذرات باردار

استاد راهنما: دکتر بهمن فرهمندآذر

استاد مشاور: دکتر سیامک طلعت اهری

مقطع تحصیلی:کارشناسی ارشد رشته: مهندسی عمران گرایش: سازه دانشگاه: تبریز

دانشکده: مهندسی عمران تاریخ فارالتحصیلی: بهمن ۱۳۹۳ تعداد صفحه: ۹۹

کلید واژه ها: بهینه سازی، روش جستجوی سیستم باردار، میراگر جرمی تنظیم شونده ، شناسایی پارامترها، کنترل سازه ها، دینامیک سازه ها، زمین لرزه

**چکیده:**

در این مطالعه پارامترهای بهینه میراگر جرمی تنظیم شونده *(TMD)* تحت تحریکات زلزله به دست آمده است. سیستم جستجوی ذرات باردار( *CSS)*یک روش بهینه سازی فراکاوشی است که به صورت موفقی در این مطالعه به کار گرفته شده است. الگوریتم بهینه سازی *CSS* براساس اصول فیزیک و مکانیک است. در این روش از قوانین کولمب درالکترواستاتیک و قانون نیوتن از مکانیک استفاده می شود. از نرم افزار *MATLAB* برای بهینه سازی عددی استفاده شده است. معیارهای بهینه سازی مقدار ماکزیمم تغییرمکان طبقات است. برای به دست آوردن بهترین نتایج، تمام مشخصات *TMD* بهینه سازی شده است. پارامترهای *TMD* جرم، سختی و میرایی هستند. این پارامترها تحت تحریکات لرزه ای به دست آمده اند. نتایج این روش با سایر روش ها مانند الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات مقایسه شده است. مقایسه ها نشان می دهد که این روش بهینه

سـازی جدید نسبت به سایر روش ها بسیار موثرتر و کارامدتر است زیرا باعث کاهش مناسب تغییر مکان ها می شود.

## تقدیر و تشکر

سپاس خدائی راکه اول است بی آنکه پیش از او اولی باشد، و آخر است بی آنکه پس از او آخری باشد. شکر خدای متعال راکه فرصتی دیگر برای علم آموزی و کسب معرفت عطا نمود.

شروع و انجام این تحقیق میسر نبود مگر با لطف و توجه استاد راهنمای گرامی دکتر بهمن فرهمندآذر در تمامی مراحل، با نظرات و رهنمودهای ارزنده، اینجانب را در دستیابی و ارائهٔ هرچه بهتر مطالب یاری نمودند، نهایت تشکر و قدردانی را اعلام میدارم.

استادمشاور گرامی، دکتر سیامک طلعت اهری همواره پشتیبان اینجانب در تمام مراحل سخت پروژه بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را اعلام میدارم.

از خانواده عزیزم که در طی سال های تحصیل، با همراهی و پشتیبانی بی شائبه شان بی ادعا در کنار من بوده اند و مرا همواره به تلاش بیشتر در نیل به اهدافم تشویق نموده اند، بینهایت سپاسگزارم.

در نهایت

به تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس

در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این پایان نامه را به

**پدر و مادر مهربانم**

تقدیم می نمایم.

# فصل اول

## مروری بر کنترل سازه ها با استفاده از میراگرها و بهینه سازی میراگرها

## فهرست مطالب

**۱ فصل اول.....**

**مروری بر کنترل سازه ها با استفاده از میراگرها و بهینه سازی میراگرها.....**

۱-۱مقدمه.....۱

۱-۲ کلیات.....۲

۱-۳ انواع سیستم های اتلاف انرژی.....۴

۱-۳-۱ سیستم های کنترل غیر فعال.....۴

۱-۳-۲ سیستم های کنترل فعال.....۵

۱-۳-۳ سیستم های کنترل نیمه فعال.....۶

۱-۳-۴ سیستم های دوگانه.....۶

۱-۴ سیستم های کنترل غیر فعال.....۷

۱-۴-۱ میراگرهای فلزی تسلیمی(جاری شونده).....۷

۱-۴-۲ میراگرهای ویسکو الاستیک.....۹

۱-۴-۳ میراگرهای اصطحکاکی.....۱۱

۱-۴-۴ میراگرهای مایع لزج(ویسکوز).....۱۳

۱-۴-۵ میراگر مایع تنظیم شونده.....۱۵

۱-۴-۶ میراگر جرمی تنظیم شونده*(TMD)*.....۱۶

۱-۴-۶-۱ انواع میراگر جرمی تنظیم شونده.....۱۸

۱-۴-۶-۱-۱ میراگر جرمی تنظیم شونده انتقالی.....۱۸

۱-۴-۶-۱-۲ میراگر جرمی تنظیم شونده پاندولی.....۱۸

۱-۵ بهینه سازی.....۱۹

۱-۵-۱ مقدمه.....۱۹

۱-۵-۲ تعریف بهینه سازی.....۲۰

۱-۵-۳ انواع روش های بهینه سازی.....۲۱

۱-۵-۳-۱ الگوریتم ژنتیک.....۲۲

۱-۵-۳-۲ روش بهینه سازی تبرید تدریجی.....۲۳

۱-۵-۳-۳ الگوریتم جستجوی هارمونی.....۲۵

۱-۵-۳-۴ روش بهینه سازی ازدحام ذرات.....۲۶

۱-۵-۳-۵ روش بهینه سازی کولونی مورچگان.....۲۸

۱-۵-۳-۶ الگوریتم زنبور عسل.....۲۹

۱-۵-۳-۷ روش جستجوی تابو *(TS)*.....۳۰

۱-۵-۳-۸ روش بهینه سازی سیستم جستجوی ذرات باردار *(CSS)*.....۳۱

**۲ فصل دوم.....**

**بررسی منابع.....**

۲-۱ مقدمه ای بر طراحی میراگر جرمی تنظیم شونده.....۳۴

۲-۲ مروری بر تاریخچه بهینه سازی میراگر جرمی تنظیم شونده.....۳۵

۲-۳ مثال هایی از میراگرهای جرمی تنظیم شونده موجود.....۴۶

**۳ فصل سوم.....**

**مواد و روش ها.....**

۳-۱ روش جستجوی سیستم ذرات باردار *(CSS)*.....۵۶

۳-۱-۱ قانون فیزیک الکتریسیته.....۵۶

۳-۱-۲ مکانیک نیوتونی..... ۶۰

۳-۲ معادلات حرکت..... ۷۰

**۴ فصل چهارم.....**

**نتایج عددی.....**

۴-۱ مثال عددی..... ۷۷

۴-۲ نتایج عددی..... ۸۴

**۵ فصل پنجم.....**

**بحث و پیشنهادات.....**

۵-۱ بحث و نتیجه گیری..... ۹۰

۵-۲ پیشنهادات برای کارهای پژوهشی آینده..... ۹۲

**مراجع**..... ۹۴

شکل ۱-۱ سیستم *TMD* با یک درجه ی آزادی ..... ۱۸

شکل ۱-۲ میراگر جرمی تنظیم شونده از نوع پاندولی ..... ۱۹

شکل ۲-۱ برج جان هانکوک ..... ۴۷

شکل ۲-۲مرکز *Citicorp* ..... ۴۸

شکل ۲-۳ *TMD* اجرا شده در مرکز *Citicorp* ..... ۴۸

شکل ۲-۴ برج بندر چیپا ..... ۴۹

شکل ۲-۵*TMD* اجرا شده در برج بندر چیپا ..... ۵۰

شکل ۲-۶ نسخه اخیر میراگرهای جرمی تنظیم شونده با استفاده از لاستیک های قیری .... ۵۱

شکل ۲-۷ یک میراگر با اندازه ی واقعی روی میز لرزان ..... ۵۱

شکل ۲-۸*TMD* اجرا شده در برج *Ten Bosch* در ناگاساکی ..... ۵۱

شکل ۲-۹میراگر جرمی تنظیم شده فعال ..... ۵۲

شکل ۲-۱۰ نمای بیرونی برج کریستال ..... ۵۳

شکل ۲-۱۱ تانک های ذخیره یخ برج کریستال ..... ۵۳

شکل ۳-۱دستگاه ازمایش کولمب ..... ۵۷

۳-۲مقدار $rij$ در مقابل میدان الکتریکی در یک کره ی باردار ..... ۵۸

شکل ۳-۳ مشخص کردن برآیند نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره ..... ۶۳

شکل ۳-۴ مقایسه بین معادلات $a$ , $b$ ..... ۶۴

شکل ۳-۵ نحوه ی حرکت یک ذره به موقعیت جدیدش ..... ۶۶

شکل ۳-۶ فلوچارت الگوریتم*CSS* ..... ۶۹

شکل ۴-۱ شتاب زلزله *El centro* در مقابل دوره ی تناوب ..... ۷۹

شکل ۴-۲ شتاب زلزله *El centro* در مقابل زمان ..... ۷۹

شکل ۴-۳ سرعت زلزله ی *El centro* در مقابل زمان ..... ۷۹

شکل ۴-۴ تغییر مکان زلزله ی *El centro* در مقابل زمان ..... ۷۹

شکل ۴-۵ سازه اصلی  بدون میراگر ..... ۸۰

شکل ۴-۶ سازه ده طبقه با میراگر *TMD* ..... ۸۲

شکل ۴-۷ پاسخ های طبقات با میراگر و بدون میراگر در مقابل زمان ..... ۸۷

جدول ۴-۱ مقدار در صد کاهش *(p)* برای الگوریتم های *GA* ، *PSP* ، *CSS* ..... ۸۴

جدول ۴-۲ماکزیمم تغییر مکان طبقات تحت زلزله ی *EL centro* ..... ۸۵

جدول ۴-۳ مقدار پارامترهای بهینه به دست آمده با استفاده از روش های *CSS, PSO, GA* ۸۶

جدول ۴-۴ ماکزیمم تغییر مکان تحت زلزله های مختلف ..... ۸۸

# ۱ فصل اول

# مروری بر کنترل سازه ها با استفاده از میراگرها و بهینه سازی میراگرها

## ۱-۱ مقدمه

یکی از چالش های همیشـگی در مهندسـی یافتن ابزاری مثمر ثمر برای حفاظت سـازه ها و تجهیزات در برابر اثرات مخرب نیروهای طبیعی می باشـد. در این بین زلزله یکی از رخدادهایی اسـت که با وجود تحقیقات زیادی که در مورد آن صورت گرفته است، هنوز امکان پیش بینی زمان، شدت و مکان دقیق آن وجود ندارد. بنابراین به نظر می رسد روش مقابله با زلزله، ایمن سازی سازه ها در برابر آن اسـت. یکی از روش هایی که در چند دهه اخیر موضـوع مطالعات بسـیاری بوده است، ایده کنترل سـازه ها اسـت که برای افزایش کارآیی و ایمنی آن ها در برابر خطرات طبیعی به کار می رود. از بین این روش ها، سـیستم های جذب انرژی سازه ها، در سالهای اخیر به طور وسیعی در صنعت ساختمان مورد توجه قرار گرفته اند. به طور کلی این سـیستم ها شامل وسایل و مصالحی می شوند که میرایی، سـختی و مقاومت سـازه را افزایش داده و می توانند به منظور کاهش خطرات طبیعی محتمل و نیز مقاوم سـازی سـازه های جدید یا سـاخته شده، به کار روند. در سال های اخیر تلاش های بسیاری از سـوی پژوهشـگران و مهندسـان سـراسر دنیا صورت گرفته است که مفهوم جذب انرژی سازه یا ایجاد میرایی اضـافی را به یک تکنولوژی قابل اجرا در صـنعت ساختمان تبدیل نمایند. در سایه این کوشش ها ابزار آلات و وسـایل مختلفی سـاخته شده اند که ویژگی مشترک همه آن ها، افزایش میزان جذب انرژی سـازه است. این امر توسط تبدیل انرژی جنبشی به گرما یا توزیع انرژی بین مودهای ( شکلهای ) ارتعاشـی سـازه انجام می شود. در این فصل به بحث حفاظت سازه ها در مقابل بارهای بحرانی مانند تحریکات زلزله و باد که همیشـه از بزرگترین چالش های مهندسـان سازه و زلزله بوده است، پرداخته شده است.

## ۱-۲ کلیات

همانطور که با دانستن ضریب الاستیسته یک ماده می توانیم محاسبات مربوط به مصالح تشکیل شده از آن ماده را انجام دهیم، با دانستن میرایی یک ماده نیز می توانیم به تحلیل دقیق تری از سیستم های متشکل از آن ماده دست پیدا کنیم. با توجه به اینکه میرایی داخلی (که به جنس ماده بستگی دارد) در جامدات تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر تاثیرات حرارتی، پدیده خستگی و پدیده باشینگر تغییر می کند، برای اینکه بتوانیم مصالح با میرایی معلوم داشته باشیم، باید تاثیرات این عوامل را در مصالح مورد نظر به حداقل برسانیم. پدیده باشینگر نشان دهنده ی انرژی مستهلک شده به واسطه ی رفتار غیر خطی سازه تحت تغییرشکل ها یا نیروهای رفت و برگشتی(تناوبی) است. به طور کلی میراگرها به منظور کاستن پاسخ دینامیکی سازه در برابر بارگذاری باد و زلزله استفاده می شوند. مکانیزم عملکردی اینگونه وسایل به گونه ای است که با انجام تغییر شکل‌های ویژه و اعمال مکانیکی خاصی، مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه بر اثر بارگذاری دینامیکی را جذب و مستهلک می‌سازند. عملکرد اینگونه وسایل موجب می‌شود که انرژی دریافتی سایر اعضای سازه‌ای کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل زیادی درآنها ایجاد نشود. این وسایل را به سادگی می توانند در سازه‌های موجود جاسازی و یا در صورت لزوم بعد از بارگذاری(رخداد زلزله) تعویض نمود .

اتلاف انرژی در میراگرها به صورت تغییر انرژی جنبشی به حرارت توسط اصطکاک یا حرکت در مایع لزج و یا تسلیم شدن فلزات و.... اتفاق می‌افتد، که با تشکیل حلقه‌های پسماند، انرژی را در سیکل بارگذاری جذب می‌کند. سازه به سختی و مقاومت معینی نیاز دارد تا در برابر نیروهای جانبی مقاومت کرده، پایدار بماند. در نتیجه این میراگرها می توانند جایگزین مناسبی برای تامین این سختی اضافی شوند تا با جذب انرژی لرزشی پاسخ‌های سازه را کاهش دهند تا دیگر اعضای سازه در محدوده الاستیک باقی بمانند. روش های مختلفی برای طراحی و مقاوم سازی ساختمان ها با کارائی مناسب در برابر زلزله، مورد آزمایش و تحقیق قرار گرفته است. به واسطه توجه به نحوه توزیع انرژی در یک سازه، امروزه

استفاده از جاذب های انرژی در سازه (مانند میراگرها)، مورد توجه است چرا که باعث کاهش ارتعاش سازه و میرا نمودن آن می گردد. اهمیت این مسئله سبب گردیده است که در این قسمت رفتار میراگرها در جذب انرژی (با به کار گیری هسته مرکزی) و نحوه ی عملکرد بهینه آن ها، مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر نقش میراگرها در جذب انرژی و کاهش انرژی وارده به سازه، نحوه ی چیدمان آن ها در طبقات مختلف نیز، در میزان انرژی باقیمانده در سازه موثر است و می توان در هنگام زلزله، رفتار ساختمان هایی را که نیاز به مقاوم سازی دارند با افزودن این سیستم ها بهبود بخشید و عملیات مقاوم سازی را به طور محدودتر و بهینه ای انجام داد.

در طی یک زلزله، مقدار زیادی انرژی به سازه تحمیل می گردد. این انرژی ورودی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در سازه پدیدار می گردد که می بایست به طریقی جذب و یا مستهلک شود. اگر هیچ نوع میرایی در سازه موجود نباشد، سازه تا بی نهایت به ارتعاش خود ادامه خواهد داد. اما عملا به واسطه خصوصیات سازه، مقداری میرایی در آن بوجود می آید که موجب عکس العمل در مقابل ارتعاش سازه و میرا کردن آن می گردد. کارائی ساختمان را می توان با افزودن جاذب های انرژی به ساختمان افزایش داد. بدین صورت که این وسائل قسمتی از انرژی ورودی زلزله را به تنهایی جذب و مستهلک می نمایند. در روش های مرسوم طراحی، برای اتلاف انرژی از رفتار غیر الاستیک سازه استفاده می گردد. به طوری که به سازه اجازه داده می شود تا از محدوده ی الاستیک خارج و به محدوده ی تغییر شکل غیرالاستیک برسد و در این حالت جاذب های انرژی مقداری از انرژی زلزله را مستهلک می کنند. این عمل اثر مستقیمی بر مقدار جذب انرژی ناشی از تغییر شکل غیر الاستیک دارد، در حالی که اثر غیر مستقیم آن، افزایش نرمی ساختمان و در نتیجه تغییر در میزان انرژی ورودی ساختمان می باشد که مقداری از انرژی زلزله را منعکس کرده و مانع از ورود انرژی به سیستم می گردد. در سیستم های مدرن، استفاده از سیستم های مستهلک کننده ی انرژی، جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است، به همین دلیل از سیستم های مختلف الحاقی در ساختمان استفاده می شود. استفاده از سیستم های میراگر الحاقی موجب کاستن پاسخ های سازه در برابر زلزله و جلوگیری از تخریب آن می گردد.

در این روش، سیستم های مکانیکی مختلفی در اسکلت سازه جاسازی می شود که در هنگام وقوع زلزله اقدام به جذب و استهلاک انرژی در بدنه سازه می نماید.

روشهای مختلفی برای تولید مصالح دارای میرایی معلوم که اصطلاحاً میراگر نامیده می شوند، وجود دارد که ذیلاً به بررسی انواع این روشها و نشان دادن میراگرهای تولید شده به وسیله ی این روشها می پردازیم. البته با توجه به اینکه میراگرها به عنوان عوامل اتلاف انرژی زلزله در سازه ها استفاده می شوند لازم است ابتدا توضیح مختصری پیرامون انواع کلی سیستمهای اتلاف انرژی داده شود.

## ۱-۳ انواع سیستمهای اتلاف انرژی:

انواع سیستم های اتلاف انرژی به چهار دسته ی کلی سیستم های کنترل غیر فعال، سیستم های کنترل فعال، سیستم های کنترل نیمه فعال، سیستم های دوگانه دسته بندی می شوند که در ذیل به بررسی هر یک می پردازیم.

### ۱-۳-۱ سیستمهای کنترل غیر فعال :

سیستم هایی هستند که نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند. این ابزار از نیروهایی که در پاسخ به حرکت سازه در داخل آنها ایجاد می‌شود بهره می گیرند. در اینگونه روش ها، عامل کنترل کننده ارتعاش در محل مناسبی از سازه قرار می گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، به صورت غیرفعال است. با شروع تحریک (مثلاً زلزله)، سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود را در حین تحریک انجام می دهد و پس از خاتمه تحریک مجدداً به حالت غیرفعال باز می گردد، که به دلیل جذب بخشی از انرژی ورودی به سازه، احتمالاً شاهد خرابی جزئی یا کلی در آن خواهیم بود. تکنیک های زیادی از جمله

تکنیک معروف و مرسوم جداسازی پایه[۱]، میراگرهای اصطکاکی[۲]، میراگرهای ویسکوالاستیک[۳]، میراگرهای فلزی[۴]، میراگر مایع تنظیم شونده[۵] و میراگر جرمی تنظیم شونده[۶] از جمله روش های کنترل غیرفعال محسوب می شوند .

### ۱-۳-۲ سیستم کنترل فعال :

در این روش، پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف، به صورت همزمان و با توجه به شرایط لحظه ای سازه کنترل می شود. این سیستم ها همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات می باشد که اصطلاحاً فعال نامیده می شوند. در این گونه سیستم ها ضمن تعیین پاسخ سازه که می تواند شامل شتاب، سرعت و یا تغییرمکان باشد در هر لحظه و با استفاده از یک الگوریتم مشخص، نیروی کنترل مورد نیاز تعیین می گردد، سپس با استفاده از یک منبع انرژی خارجی نسبت به اعمال نیروهای محاسبه شده کنترلی بر سازه اقدام شده و این کار تا زمان کاهش پاسخ سازه به حد مورد نظر ادامه می یابد. از مشکلات عمده این گونه سیستم ها هزینه زیاد اولیه مورد نیاز آن ها از یک سو و نیز عملیات تعمیر و نگهداری سنگین آن ها برای ایجاد امکان استفاده در هر لحظه، می باشد. نقص دیگر این سیستم ها آن است که به دلیل آنکه به سازه انرژی تزریق می نمایند، پتانسیل ناپایدار کردن سیستم را دارا می باشند. مشخصاً در این نوع سیستم ها، چون پاسخ دایماً در حال اندازه گیری و پایش است، کارآیی بیشتری نسبت به سیستمهای غیرفعال خواهند داشت و این روش در چند سال اخیر در ژاپن و آمریکا در بسیاری از سازه ها و به خصوص سازه های بلند و سازه هایی که بر روی زمین های با خاک نرم بنا شده اند و امکان استفاده از تکنیکی مثل جداسازی پایه در آن وجود ندارند و همچنین برای

---

۱ *Base Isolation*
۲ *Friction Dampers*
۳ *Visco elastic dampers*
۴ *Metal dampers*
۵ *Tuned liquid dampers*
۶ *Tuned mass dampers*

کنترل ارتعاش سازه ها در برابر باد استفاده شده است که عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است و بهینه سازی این روش ها همچنان ادامه دارد. نمونه این گونه سیستم‌ها میراگرهای جرمی فعال (AMD[۱]) می باشد.

### ۱-۳-۳ سیستم کنترل نیمه فعال[۲]:

محدودیت های موجود در سیستم های کنترل غیر فعال و فعال، سبب پیدایش سیستم های دیگری به نام سیستم های کنترل نیمه فعال شده است. در سیستم های کنترل نیمه فعال، با صرف انرژی بسیار کم، ضریب میرایی و یا سختی وسیله کنترلی متناسب با نیروی وارده به سازه در هر لحظه تغییر می کند و موجب کاهش هر چه بیشتر ارتعاشات سازه می شود. سازگاری با شرایط مختلف بارگذاری و مصرف انرژی پایین از مزیت های عمده این سیستم ها می باشد. این سیستم ها، دستگاه های قابل کنترلی هستند که نسبت به سیستم‌های کنترل فعال نیازمند انرژی به مراتب کمتری هستند. در این سیستم‌ها انرژی به داخل سیستم تزریق نمی شود و بنابراین پایداری در تمام مراحل باقی خواهد ماند. به عنوان نمونه می توان از میراگر با دریچه متغیر[۳]، ابزار با اصطکاک متغیر[۴] برای ایجاد سختی متغیر نام برد. سیستم‌های نیمه فعال از دستگاه‌های غیر فعال موثرتر هستند، ولی هزینه‌های اضافی برای شیرهای قابل کنترل، سیستم کنترل کامپیوتری، سنسورها و عملیات سنگین تعمیر و نگهداری را می طلبند.

### ۱-۳-۴ سیستم دوگانه[۵]:

این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال به صورت توأم می باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات توسط سیستم غیرفعال صورت گرفته و پس از دفع تأخیر زمانی، سیستم فعال نیز وارد

[۱] *Active mass dampers*
[۲] *Semi - active Energy Dissipation*
[۳] *dampers Variable orifice*
[۴] *Variable friction device*
[۵] *Hybrid system*

عمل می شود و در اینجا سیستم غیرفعال ممکن است به فعالیت ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن، از دور خارج شود. این سیستم ها با جذب و استهلاک درصد بالایی از انرژی ورودی به سازه، شرایط ایمن و پایداری را نسبت به ساختمان های مشابه فراهم می کنند و بجای افزایش شکل پذیری عناصر سازه ای، تکیه بر مستهلک نمودن انرژی لرزه ای دارند.

به طور خلاصه در رابطه با این سیستم ها می توان گفت، سیستم های کنترل فعال پاسخ های سازه را با استفاده از منبع انرژی خارجی قابل ملاحظه ای کنترل می کنند. تامین این منبع انرژی خارجی که به طور مداوم باید این سیستم را کنترل نماید، نیازمند صرف هزینه ی زیادی می باشد. سیستم های کنترل نیمه فعال نیز با اینکه نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند، ولی همچنان پیچیدگی های سیستم های کنترل فعال را دارا می باشند. سیستم های کنترل غیر فعال به منبع انرژی خارجی نیاز نداشته و ساختار ساده تر و کاربردی تری نسبت به دو سیستم فعال و نیمه فعال دارند. به دلایل فوق الذکر و کاربردی بودن سیستم های کنترل غیر فعال در کشور ایران، در این بخش به بررسی سیستم های کنترل غیرفعال علی الخصوص میراگرهای جرمی تنظیم شونده پراخته خواهد شد.

## ۱-۴ سیستم های کنترل غیر فعال:

انواع میراگرها به عنوان عامل اتلاف انرژی غیر فعال شامل میراگرهای فلزی تسلیم(جاری شونده)، میراگرهای ویسکو الاستیک، میراگرهای اصطکاکی، میراگر مایع لزج (ویسکوز)، میراگرهای مایع تنظیم شونده، میراگرهای جرمی تنظیم شونده می باشند. در این بین روش جدا سازی پایه هم به عنوان سیستم کنترل غیر فعال استفاده می شود.