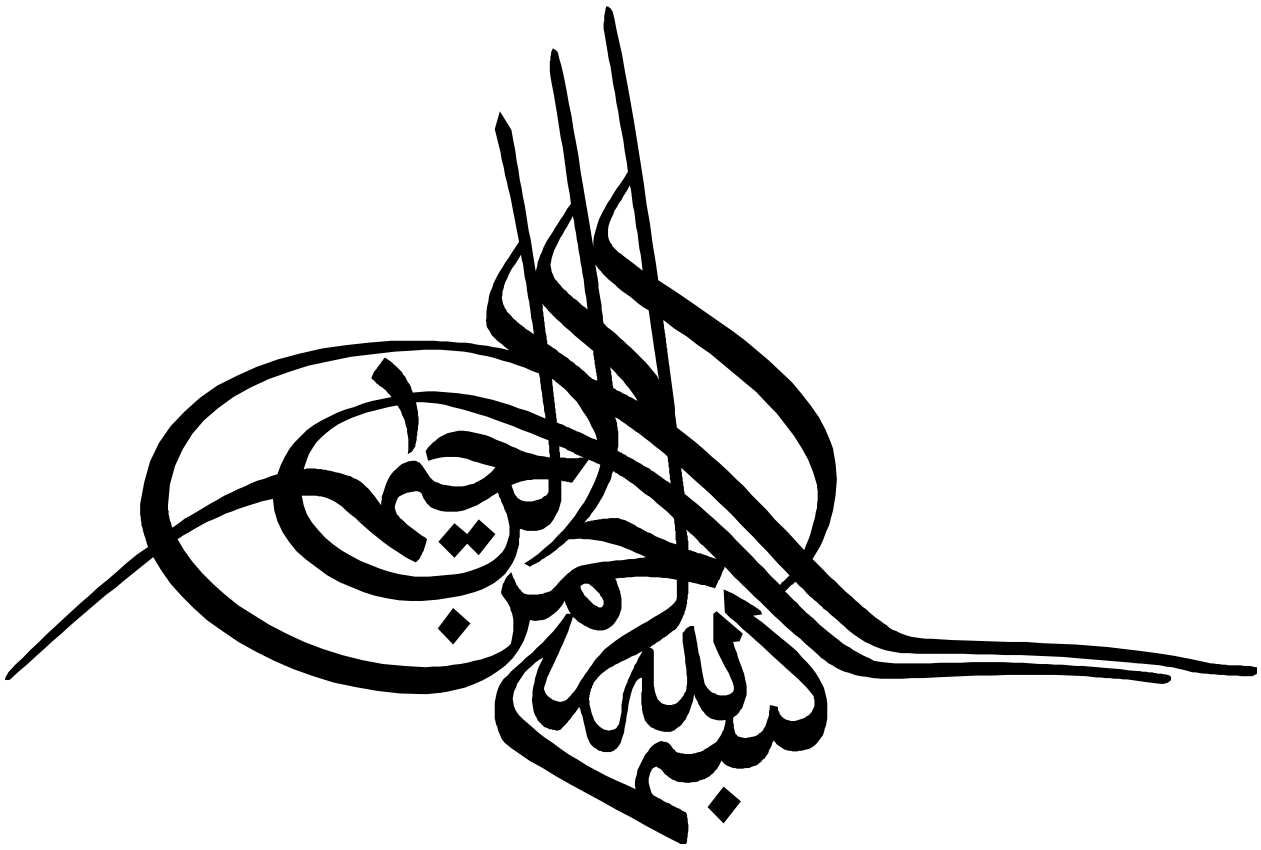

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

رفتار لرزه ای میراگرهای اصطکاکی متغیر برای حفاظت تجهیزات حساس

توسط :

هادی صالحی

استاد راهنما:

دکتر تورج تقی خانی

پاییز ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:۱۳۸۷/۹/۲۴
شماره:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی:هادی صالحی ● دانشجوی آزاد ○ بورسیه ○ معادل
شماره دانشجوئی:۸۵۱۲۴۰۷۱ دانشکده:عمران و محیط زیست رشته تحصیلی: مهندسی عمران گروه: مهندسی زلزله

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: تورج تقی خانی درجه و رتبه: استادیار
نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:
نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : رفتار لرزه ای میراگرهای اصطکاکی متغیر برای حفاظت تجهیزات حساس

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Seismic Performance of Variable Friction Dampers for Protection of Vulnerable Equipment

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد● دکترا ○ سال تحصیلی:۱۳۸۷
کاربردی ● بنیادی○ توسعه‌ای ○ نظری○

تاریخ شروع :۸۶/۷/۱ تاریخ خاتمه :۸۷/۹/۱۷ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :دانشگاه صنعتی امیر کبیر

واژه‌های کلیدی به فارسی: کنترل لرزه ای سازه ها، کنترل نیمه فعال، میراگرهای اصطکاکی متغیر، تجهیزات

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Equipment,Variable friction dampers, Semi-active control,Seismic structural control

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۷۰	تصویر● جدول● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۵۷	تعداد صفحات ضمائم
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:تورج تقی خانی

دانشجو: هادی صالحی

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

دانشکده مهندسي عمران و محيط زيست

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان :رفتار لرزه ای میراگرهای اصطکاکی متغیر برای حفاظت تجهیزات حساس

ارائه شده توسط هادی صالحی شماره دانشجویی ۸۵۱۲۴۰۷۱ گرایش مهندسی زلزله

استاد راهنما : دکتر تورخ تقی خانی تاریخ تحویل :

امروزه سیستمهای کنترلی نیمه فعال به دلیل پایداری پاسخ سازه و قابلیت بالا در کنترل آن به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد . کنترل نیمه فعال با استفاده از میراگرهای اصطکاکی متغیر به منظور بهبود مشخصه های اتلاف انرژی میراگرهای اصطکاکی غیرفعال در سالهای اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. ارتعاشات لرزه ای می تواند سبب به وجود آمدن شتابها و جابجاییهای بزرگ و در نهایت خرابی تجهیزات حساس گردد. سیستمهای کنترلی نیمه فعال با کنترلرهای اصطکاکی با نیروی بسیار کم و از طریق محدودسازی شتاب ورودی و جابجایی دستگاه، می تواند پاسخ تجهیزات فوقانی را به خوبی کنترل نماید.

هدف این مطالعه، بررسی کارآیی تکنولوژی کنترل نیمه فعال با استفاده از میراگرهای اصطکاکی متغیر در کاهش پاسخ لرزه ای تجهیزات و بررسی اثرات الگوریتمها کنترلی H_∞ و H_2/LQG در سیستمهای با کنترلر اصطکاکی می باشد. این تحقیق نشان می دهد که استفاده از میراگرهای اصطکاکی متغیر با خصوصیت تطبیق پذیری در برابر ارتعاشات مختلف زلزله و نیاز به منبع انرژی کم بطور مؤثری در عین حالی که سبب کاهش پاسخ شتاب ورودی به تجهیزات سازه می گردد، جابجایی دستگاه نسبت به طبقه را نیز در کمترین مقدار نگه می دارد. نتایج این مطالعه مشخص می کند که با استفاده از کنترل کننده های اصطکاکی و الگوریتم کنترلی مناسبی که بتواند اثر اختلالات و تحریکات بیرونی را درنظر گیرد، می توان کمک مؤثری در افزایش قابلیت سیستم در کنترل پاسخ تجهیزات نمود.

کلمات کلیدی : کنترل لرزه ای سازه ها، کنترل نیمه فعال، میراگرهای اصطکاکی متغیر، تجهیزات

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه ۷

۱-۱- مقدمه ۷

۱-۲- مفهوم کنترل سازه ۸

۱-۳- عملکرد تجهیزات در زلزله های گذشته ۹

۱-۴- افزایش امنیت لرزه ای با استفاده از تکنولوژی کنترل سازه ۱۰

۱-۵- اهداف مطالعه ۱۱

۱-۶- فصل بندی پایان نامه ۱۲

فصل دوم - تاریخچه سیستمهای کنترل فعال و نیمه فعال و بررسی عملکرد تجهیزات ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- تاریخچه کنترل سازه ۱۴

۲-۳- انواع سیستمهای کنترل سازه ۱۶

۲-۳-۱- کنترل غیر فعال (Passive Control) ۱۶

۲-۳-۲- کنترل فعال (Active Control) ۱۷

۲-۳-۳- کنترل مرکب (Hybrid Control) ۱۸

۲-۳-۴- کنترل نیمه فعال (Semi active Control) ۱۹

۲-۴- انواع کنترل ۲۰

۲-۵- کاربرد سیستمهای کنترل نیمه فعال ۲۳

۲-۶- الگوریتمهای کنترل سازه ۲۴

۲-۶-۱- کنترل بهینه (Optimal Control) ۲۵

۲-۶-۲- کنترل روباست (Robust Control) ۲۶

۲-۶-۳- کنترل پیش بینی کننده (Predictive Control) ۲۶

۲-۶-۴- کنترل هوشمند ۲۷

۲-۷- ارزیابی و مقایسه کنترل فعال و نیمه فعال در سیستم جداسازی لرزه ای ۲۸

۲-۸- بررسی عملکرد تجهیزات در زلزله های گذشته ۲۹

۲-۹- روشهای محافظت تجهیزات ۳۰

۲-۹-۱- جداسازی کل ساختمان ۳۱

۲-۹-۲- جداسازی اعضا بطور جداگانه ۳۲
۲-۹-۳- جداسازی بصورت سیستم کف کاذب ۳۲
۲-۱۰- روشهای طراحی تجهیزات ۳۳
۲-۱۱- معیارهای حفاظت لرزه ای تجهیزات ۳۵
۲-۱۲- بررسی عملکرد تجهیزات فوق مدرن و روش محافظت آنها ۳۶
فصل سوم – میراگر اصطکاکی متغیر ۴۰
۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۲- میراگر اصطکاکی متغیر ۴۱
۳-۳- مطالعات انجام شده برروی میراگر اصطکاکی متغیر ۴۲
۳-۴- مقایسه میراگر اصطکاکی متغیر و غیرفعال ۴۵
۳-۵- تعیین حالت و نیروی میراگر اصطکاکی متغیر ۴۸
۳-۶- کاربرد میراگر اصطکاکی متغیر ۵۱
فصل چهارم – الگوریتمهای نیمه فعال کنترلی مورد مطالعه ۵۵
۴-۱- مقدمه ۵۵
۴-۲- الگوریتم کنترل بهینه LQR ۵۶
۴-۳- الگوریتم کنترل بهینه LQG ۵۹
۴-۴- الگوریتم کنترل PNS ۶۱
۴-۵- الگوریتم کنترل H2 ..... ۶۳
۴-۶- الگوریتم کنترل H2/LQG ۶۵
۴-۷- الگوریتم کنترل H∞ ۶۸
۴-۷-۱- کاربرد الگوریتم کنترل H∞ ۶۹
۴-۷-۲- مشخصه های اصلی طراحی الگوریتم کنترل H∞ ۷۰
۴-۷-۳- مزایای الگوریتم کنترل H∞ ۷۰
۴-۷-۴- مقایسه بین الگوریتم H∞ و LQG ۷۱
۴-۷-۵- ارتباط بین الگوریتم H∞ و روشهای کلاسیک کنترل ۷۱
۴-۷-۶- روش محاسبه نرم H∞ ۷۲
۴-۷-۷- مسأله کنترل H∞ ۷۳
فصل پنجم – مدلسازی و بیان مسأله ۷۷
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- مدل مطالعاتی ۷۸

۵-۳- مدل ریاضی برای تحلیل ۸۰
۵-۴- ورودیهای زلزله ۸۱
۵-۵- مدل کامپیوتری ۹۱
فصل ششم - بررسی نتایج ۹۴
۶-۱- مقدمه ۹۴
۶-۲- پاسخ سیستم "تجهیزات+کف کاذب" به ارتعاشات طبقه ۹۴
۶-۲-۱- زلزله السنترو (EL Centro, 1940) ۹۵
۶-۲-۲- زلزله کوبه (Kobe , 1995) ۱۰۰
۶-۲-۳- زلزله نورثریج (Northridge ,1994) ۱۰۲
۶-۲-۴- زلزله طبس (Tabas , 1978) ۱۰۴
۶-۳- نتایج پاسخ سیستم با استفاده از کنترل H∞ ۱۰۷
۶-۳-۱- زلزله السنترو (El Centro ,1940) ۱۰۷
۶-۳-۲- زلزله کوبه (Kobe ,1995) ۱۱۰
۶-۳-۳- زلزله نورثریج (Northridge ,1994) ۱۱۲
۶-۳-۴- زلزله طبس (Tabas ,1978) ۱۱۴
۶-۳-۵- خلاصه نتایج عملکرد میراگر اصطکاکی متغیر با کنترل H∞ ۱۱۶
۶-۴- نتایج پاسخ سیستم با استفاده از کنترل H2/LQG ۱۱۷
۶-۴-۱- زلزله السنترو (El Centro ,1940) ۱۱۷
۶-۴-۲- زلزله کوبه (Kobe ,1995) ۱۲۰
۶-۴-۳- زلزله نورثریج (Northridge ,1994) ۱۲۲
۶- ۴-۴- زلزله طبس (Tabas ,1978) ۱۲۴
۶-۴-۵- خلاصه نتایج عملکرد میراگر اصطکاکی متغیر با الگوریتم H2/LQG ۱۲۷
۶-۵- نتایج پاسخ سیستم با استفاده از کنترل PNS ۱۲۷
۶-۵-۱- زلزله السنترو (El Centro,1940) ۱۲۸
۶-۵-۲- زلزله کوبه (Kobe,1995) ۱۳۰
۶-۵-۳- زلزله نورثریج (Northridge ,1994) ۱۳۱
۶-۵-۴- زلزله طبس (Tabas ,1978) ۱۳۳
۶-۵-۵- خلاصه نتایج عملکرد سیستم میراگر MR با الگوریتم کنترل PNS ۱۳۴
۶-۶- نتایج پاسخ سیستم با استفاده از کنترل LQR ۱۳۴
۶-۶-۱- زلزله السنترو (El Centro,1940) ۱۳۵

۶-۶-۲- زلزله کوبه (Kobe ,1995) ۱۳۷
۶-۶-۳- زلزله نورثریج (Northridge ,1994) ۱۳۸
۶-۶-۴- زلزله طبس (Tabas,1978) ۱۴۰
۶-۶-۵- خلاصه نتایج عملکرد سیستم میراگر MR با الگوریتم کنترل LQR ۱۴۱
۶-۷- مقایسه نتایج ۱۴۱
۶-۷-۱- زلزله السنترو (El Centro,1940) ۱۴۳
۶-۷-۲- زلزله کوبه (Kobe,1995) ۱۴۶
۶-۷-۳- زلزله نورثریج (Northridge,1994) ۱۴۹
۶-۷-۴- زلزله طبس (Tabas,1978) ۱۵۲
فصل هفتم - نتیجه گیری ۱۶۰
مراجع ۱۶۲

۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

سازه های مهندسی عمدتا بر اثر حوادث لرزه ای بزرگ دچار آسیبهای جدی می شوند، که این آسیبها اغلب منجر به تلفات جانی و خسارات جبران ناپذیر می گردد. در سالهای گذشته هزاران انسان بر اثر این حوادث جان خود را از دست دادند و میلیاردها دلار خسارت نیز به بار آمده است. این رخدادها خطر پذیری محیط پیرامون ما را در برابر حوادث طبیعی یادآوری می کند. مقاوم سازی و محافظت سازه های مهندسی، شامل محتویات سازه و افراد ساکن در آن بدون شک در اولویت کار مهندسین قرار دارد. چالش اصلی مهندسین سازه، ایجاد و گسترش سازه های مهندسی امن تر جهت مقاومت و پایداری بیشتر در برابر اینگونه حوادث می باشد.کاهش اثرات مخرب ناشی از خطرات طبیعی بر زندگی انسان یکی از مهمترین موضوعاتی است که مهندسین عمران امروزه با آن روبرو هستند. در مهندسی سازه و زلزله، یکی از چالشهای اصلی یافتن لوازم و روشهای مدرن برای محافظت سازه‌های موجود و نوساز از خسارات ناشی از نیروهای محیطی از قبیل باد، امواج و زلزله است. البته زلزله در مناطقی مانند ایران از اهمیت بیشتری برای مهندسین برخوردار است.

در حالیکه ارتقای ایمنی ساختمانها، پل‌ها، نیروگاهها، سدها و ... در برابر زلزله، توجه قابل ملاحظه‌ای را در سالهای اخیر معطوف خود ساخته است. بطور تاریخی تلاش کمتری در جهت ارتقای عملکرد تجهیزات بحرانی، سیستم‌های تجهیزات حساس و فرآیند آن در طول و بعد از زلزله صورت گرفته است. خسارات مالی در زلزله‌ها بدلیل خسارات غیرسازه‌ای می‌تواند بیشتر از خسارات سازه‌ای باشد. مخصوصا در موارد کارخانجات صنعتی که هزینه بالقوه محصولات زیان دیده، تجارت زیان دیده و اثر زیست محیطی می‌تواند بیشتر از هزینه خسارت سازه‌ای باشد. ادامه عملکرد کارخانجات صنعتی در صورت وقوع زلزله همان اندازه که به پایداری سازه‌هایشان بستگی دارد به نقش آفرینی سیستم‌های بحرانی نیز نیاز دارد (مثل منبع نیرو و آب).[۱]

۱-۲- مفهوم کنترل سازه

مفاهیم مربوط به کنترل سازه با این که جذاب و جالب هستند اما مفاهیم جدیدی نمی باشند. به مدت چند دهه است که این مفاهیم به عنوان مفاهیم پایه و اساسی مهندسی کنترل و مهندسی الکترونیک در دانشکده های مهندسی برق تدریس می شوند، هم چنین در برخی رشته های دیگر مانند مهندسی مکانیک و هوافضا نیز کاربرد دارند. با این وجود مفهوم کنترل سازه ها در مهندسی عمران جهت مقام سازی سازه ها در برابر زلزله و کاهش اثرات آن موضوع تازه و نویی می باشد[۲].

همان طور که اشاره شد، چالش اصلی مهندسین سازه، ایجاد و گسترش سازه های مهندسی امن تر جهت مقاومت و پایداری بیشتر در برابر حوادث طبیعی می باشد. روشهای مختلفی جهت مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله آزمایش و مورد تحقیق قرار گرفته است. در روشهای مرسوم، ساختمان با استفاده از ترکیبی از سختی، قابلیت شکل پذیری و همچنین استهلاک انرژی در برابر زلزله، از خود مقاومت نشان می دهد. معمولا مقدار میرائی در این قبیل ساختمانها بسیار کم می باشد، به همین دلیل انرژی مستهلک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه ناچیز می باشد. در هنگام زلزله های قوی، این ساختمانها بعد از محدوده رفتار الاستیک تغییر مکانهای زیادی می یابند و فقط به واسطه چگونگی قابلیت تغییر مکان غیرالاستیک خود پایدار باقی می مانند. در شکل زیر خسارات وارد بر سازه ها بر اثر زلزله های قوی را می توان مشاهده نمود. این حوادث، ضرورت استفاده از روشهای مطمئن دیگری را در مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله آشکار می نماید.

شکل۱-۱- خسارات ناشی از زلزله های قوی رخ داده در سالهای گذشته[۲]

به واسطه توجه به نحوه توزیع انرژی در یک سازه امروزه در دنیا روشهای دیگری به منظور کاستن اثرات زلزله مورد توجه قرار گرفته است. در طی یک زلزله مقدار زیادی انرژی به سازه تحمیل می گردد. این انرژی ورودی به دو صورت جنبشی و پتانسیل در سازه پدیدار می گردد که باید به طریقی جذب و یا مستهلک شود. اگر هیچ نوع میرائی در سازه موجود نباشد، سازه تا بینهایت به ارتعاش خود ادامه خواهد داد و دچار خسارات زیادی می گردد. اما عملا به واسطه خصوصیات سازه، مقداری میرائی در آن بوجود خواهد آمد که موجب عکس العمل در مقابل ارتعاش سازه و میراکردن آن می گردد. در این حالت کارآیی ساختمان را می توان با افزودن جاذب های انرژی به سازه افزایش داد، که همان مفهوم کنترل سازه ها می باشد.

در واقع کنترل لرزه ای سازه ها، اصلاح خصوصیات سازه شامل تغییر سختی، میرائی و جرمهای سازه در برابر بارهای دینامیکی خارجی مانند زلزله و باد می باشد. تا امروز برخی روشهای کنترل سازه با موفقیت انجام گرفته است و روشهای دیگری نیز در حال رشد می باشند[۲].

مفهوم کنترل سازه ها برای اولین بار درسال ۱۹۷۲ توسط یائو (Yao) بیان شد، سپس درکنفرانس نهم مهندسی زلزله (9WCEE) در سال ۱۹۸۸در ژاپن این مسأله به طور جدی مطرح شد[۳]. در مارچ ۱۹۹۰ اولین کمیسیون هیئتهای مشترک آمریکا و ژاپن در توکیو در ژاپن برگزار شد، که در آن محققانی مانند هاوسنر، مسری و سونگ (G.Housner , S.Masri , T.T. Soong) حضور داشتند. در این جلسه قرار بر این شد که در آینده طرفین در یک کارگاه بین المللی مشترک در کنار یکدیگر جمع شوند. در تاریخ اکتبر ۱۹۹۰ این کارگاه در کالیفرنیای جنوبی در آمریکا برگزار شد، که پروفسور کوبوری (Kobori) و سایر محققان جهت حضور در آن دعوت شده بودند. اولین کنفرانس کنترل سازه در پاسادنای آمریکا در آگوست ۱۹۹۴ برگزار شد. ۳۳۷ شرکت کننده از ۱۵ کشور و ۲۲۵ مقاله علمی در زمینه های گوناگون کنترل سازه در این کنفرانس شرکت کردند. تشکیلات وابسته به انجمن بین المللی کنترل سازه (IASC) برگزار کنندگان این کنفرانس بودند. در ادامه اولین کنفرانس کنترل سازه که در پاسادنا برگزار شد، دومین کنفرانس در سال ۱۹۹۸ در کیوتوی ژاپن برگزار شد که رئیس تشکیلات برگزاری این کنفرانس پروفسور کوبوری(Kobori) بود. سومین کنفرانس کنترل سازه در کوموی ایتالیا در سال ۲۰۰۲ برگزار شد. بنابراین مشاهده می شود که مقوله کنترل سازه ها از دیرباز مد نظر محققان بوده است و امروزه به عنوان یکی از روشهای مقاوم سازی سازه ها کاربرد فراوانی داشته و به سرعت در حال رشد می باشد[۳].

۱-۳- عملکرد تجهیزات در زلزله‌های گذشته

زلزله‌های اخیر نکات ضعفی را در طراحی وسایل و امکانات و نیز آیین نامه‌های طراحی مخصوصا با در نظر گرفتن خساراتی که می تواند موجب از بین رفتن و خرابی این وسایل و امکانات گردد، آشکار ساخت. بعنوان مثال در زلزله نورثریج(Northridge) سال ۱۹۹۹ در آمریکا، بسیاری از وسایل و امکانات دچار خسارت موضعی شدند و یا به طور کامل غیر قابل استفاده شدند که علت اصلی آن، خرابی تجهیزات در انواع وسیعی از سیستم‌ها بود. در حالت کلی

زلزله سبب ایجاد خسارت قابل توجه و قطع سرویس دهی مراکز درمانی حیاتی و اضطراری و بیمارستانهایی مانند مراکز درمانی الیو ویو (Olive View) ، هولی کراس (Holy Cros) و ایندین هیلز(Indian Hills) شد[۱].
اختلال در خدمات رسانی در تمام این مراکز اساسا بدلیل خرابی تجهیزات شامل سیستم لوله‌کشی اطفا حریق، سیستم گرمایش، تهویه هوا(HVAC)، توزیع نیروی برق و مسایل سیستم کنترل بود. خرابی‌ها در سیستم تجهیزات گوناگونی مانند سیستم ژنراتور تولید برق اضطراری، ارتباطات بیمارستان و سیستم گاز درمانی بوجود آمده بود.
زلزله ازمیت(Izmit) در هفدهم آگوست سال ۱۹۹۹ در قلب صنعتی‌ترین منطقه ترکیه رخ داد و نتایج بالقوه آثار زلزله را در مراکز صنعتی نشان داد. آتش سوزی گسترده و خسارت سازه‌ای، کارکرد بزرگترین پالایشگاه ترکیه را برای چندین ماه متوقف نمود و برخی از قسمتهای آن بیش از یک سال از کار باز ایستادند. خسارت به کارخانجات پتروشیمی و صنعتی باعث توقف مراکز متعددی برای حداقل۲ ماه و یا بیشتر شد. خسارت به کارخانجات پتروشیمی نتایج اقتصادی منطقه‌ای نیز داشت و باعث شد مراکز وابسته با کمبود مواد اولیه روبرو شوند که می‌توان به صنایع لاستیک وتایر در مناطق مجاور اشاره کرد. از جمله مراکز صنعتی که در زلزله ترکیه بدلیل خسارتهای غیر سازه ای متوقف شدند می توان به کارخانه تولید لامپهای برقی و کارخانه نورد فولاد که به صورت موقت از کار ایستادند، اشاره نمود[۱].
مطالعات و بررسیهای گوناگونی صورت گرفته تا عملکرد تجهیزات و سیستم‌ها در زلزله‌های ۳۰ سال اخیر مستند و جمع‌آوری شود. یکی از بزرگترین نیروهای محرک برای تحقیقات دقیق در زمینه عملکرد تجهیزات و سیستمها در مقابل زلزله، نیاز صنایع هسته‌ای در آمریکا به تجهیزات کاملا مطمئن و کارایی بالای این سیستمها بود.

۱-۴- افزایش امنیت لرزه‌ای با استفاده از تکنولوژی کنترل سازه

کنترل پاسخ سازه در اثر زلزله به چند روش میسر است که می‌توان به اصلاح سختی، جرم و میرائی با استفاده از نیروهای غیرفعال و فعال در جهت خلاف اشاره کرد. امروزه، بعضی روشهای کنترل سازه با موفقیت استفاده شده‌اند و روشهای جدیدی ارائه شده که امکان گسترش عملی و ارتقای بازدهی را میسر می‌سازند. افزایش امنیت لرزه‌ای با استفاده از تکنولوژی کنترل سازه به چهار گروه کنترل غیرفعال، فعال ،مرکب و نیمه‌فعال تقسیم می‌شود.
کنترل غیر فعال اشاره دارد به سیستمهایی که به منبع انرژی خارجی نیازی ندارند. در این سیستمها چه آنها که جاذب ارتعاشات دینامیکی بوده و انرژی اضافی را مستهلک می کنند و چه آنها که به صورت جداساز لرزه ای می باشند، نیروهای کنترلی در محل نصب مکانیزم بوجود آمده و فعال می شوند. کنترل فعال بر اثر پیشرفتهایی که در زمینه حسگرها و شیوه های کنترل دیجیتال صورت گرفت، بوجود آمد. نیروی کنترلی در سیستمهای فعال توسط محرکهای الکتروهیدرولیکی یا الکترومکانیکی، بر مبنای اطلاعات باز خورد از پاسخ محاسبه شده سازه و یا اطلاعات پس خورد از تحریکات بیرونی به دست می آید. محاسبات ثبت شده پاسخ و یا تحریکات توسط یک کنترل کننده

نظارت می شود، که این کنترل کننده(کامپیوتر) که از الگوریتمهای کنترلی از پیش تعیین شده استفاده می کند، سیگنال کنترلی مناسب را برای عملکرد محرکها تعیین می نماید. ایجاد نیروی کنترلی توسط محرکهای الکتروهیدرولیکی نیازمند منبع بزرگ انرژی می باشد. کنترل مرکب ترکیبی از کنترل فعال و غیر فعال بوده و شامل مزایای هردو سیستم فوق می باشد. کنترل مرکب جهت غلبه کردن برآسیب پذیری سیستمهای کنترل فعال به کار می رود و نسبت به آنها دارای اطمینان بیشتری بوده و نیازمند انرژی کمتری می باشد[۴].

بمنظور رفع مشکل تأمین مقدار زیادی از انرژی خارجی، سین و اسپنسر (Spencer و Sain) متوجه شدند که بیشتر سیستمهای کنترلی در کارهای مهندسی عمران اساسا بصورت اصلاح میرائی سازه عمل می‌کنند. آنها ادعا کردند که مطالعات اولیه نشان می‌دهد، بکارگیری استراتژی نیمه‌فعال در مقایسه با استراتژی غیرفعال و فعال دارای امتیازاتی است. این روش در عین حالی که تطبیق‌پذیری عملکرد سیستم فعال را در کاهش مؤثر پاسخ در طول آرایش گسترده‌ای از شرایط بارگذاری دینامیکی بدون نیاز به منبع انرژی بزرگ دارا می باشد، همانند استراتژی غیرفعال پایداری سیستم را حین بارگذاری تضمین می‌کند. در این سیستمها مانند سیستمهای غیر فعال نیروهای کنترلی در محل نصب مکانیزم فعال می شوند و همان گونه که اشاره شد، این دستگاهها به منظور برطرف کردن نیاز به یک منبع انرژی خارجی با نیروی بسیار کوچکی طراحی شدند. بدلیل خصوصیاتی که در بالا اشاره شد، روش تکنولوژی کنترل نیمه فعال اخیرا بطور گسترده‌ای برای کاهش پاسخ دینامیکی تجهیزات در معرض زلزله و باد مورد مطالعه قرار گرفته است[۵].

۱-۵- اهداف مطالعه

هدف این مطالعه بررسی کارایی تکنولوژی کنترل سازه در قالب کنترل نیمه‌فعال با استفاده از کنترل کننده های اصطکاکی در کاهش پاسخ لرزه‌ای تجهیزات تحت بار زلزله‌های مختلف است. میراگر اصطکاکی متغیر که تحت کنترل مقاوم (Robust Control) قرار می گیرد، نیروی کنترلی را بمنظور کاهش پاسخ لرزه ای تجهیزات در برابر زلزله های ورودی به سیستم اعمال می کند. هدف این مطالعه یافتن الگوریتم کنترلی مناسب می باشد که بتواند با در نظر گرفتن اثر اختلالات و تحریکات بیرونی بخوبی سبب کاهش پاسخ تجهیزات گردد و بهمین دلیل در این مطالعه رفتار میراگر اصطکاکی متغیر از طریق الگوریتمهای مختلف بررسی شده و انتظار می رود که الگوریتم کنترلی روباست H_∞ بتواند بعنوان الگوریتمی مؤثر معرفی گردد[۶].

زلزله‌های السنترو(Elcentro)، کوبه(Kobe)، نورثریج (Northridge) و طبس بعنوان تحریکات خارجی به مدل اعمال می‌شود. کاربرد این مسأله بر روی تجهیزات حساس داخل ساختمان بر اساس مدلی که کنستانتینو (Constantinou) ولامبرو (Lambrou) برای مراکز کامپیوتری ارائه داده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است[۷]. ساختمان مورد مطالعه که تجهیزات حساس داخل آن قرار گرفته، ساختمان ۷ طبقه‌ای است که ناگار (Naggar) و

حمیدی (Hamidi) برای بررسی عملکرد سیستم SCF در جداسازی لرزه‌ای تجهیزات داخلی مورد بررسی قرار داده‌اند[۸].

۱-۶- فصل بندی پایان‌نامه

فصل ۱، در این فصل ابتدا مفهوم و تاریخچه کنترل سازه بیان می شود، سپس به تاریخچه‌ای از خسارات وارده به تجهیزات در زلزله‌های اخیر اشاره شده و در ادامه روش کنترل سازه بعنوان یکی از روشهای مؤثر در کاهش خسارات وارد بر تجهیزات معرفی می‌گردد. درانتها اهداف این مطالعه به اختصار ذکر می‌گردد.

فصل ۲، این فصل ابتدا تاریخچه کنترل سازه را بیان نموده و سپس روشهای متداول و نوین طراحی سازه و از جمله کنترل سازه معرفی می گردد. در ادامه انواع کنترل و مفاهیم آن ذکر شده وبه انواع متداول الگوریتم‌های کنترلی اشاره می‌شود و استراتژی کنترل فعال و نیمه‌فعال مقایسه و ارزیابی می‌شود. سپس انواع تجهیزات که در ساختمانها قرار دارند و در اثر زلزله می‌توانند دچار خسارت شوند، معرفی شده و روشهای محافظت و طراحی متداول آنها بیان می گردد. در نهایت، معیارهای حفاظت لرزه‌ای تجهیزات ارائه شده و در پایان عملکرد و روشهای حفاظت تجهیزات فوق مدرن بیان می گردد.

فصل۳، در این فصل ابتدا میراگر اصطکاکی متغیر معرفی شده و سپس خصوصیات و مزایای این میراگر به تفضیل بیان می گردد. در ادامه مطالعات تحلیلی و تجربی صورت گرفته برروی میراگر اصطکاکی متغیر بیان شده و مقایسه بین میراگر متغیر و غیرفعال صورت گرفته، نحوه مدلسازی میراگر اصطکاکی متغیر بیان شده و در نهایت برخی کاربردهای این میراگر ذکر می شود.

فصل۴، این فصل با معرفی کنترل نیمه‌فعال بعنوان جایگزین مناسب برای کنترل فعال شروع می‌شود و الگوریتمهای کنترلی LQR ، LQG ، PNS، H_2 ، H_2/LQG و H_∞ مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه، مسأله کنترل H_∞ بطور کامل معرفی شده و مزایا و کاربردهای این الگوریتم بیان می شود.

فصل۵، در این فصل مدلهای مطالعاتی، ریاضی و کامپیوتری شرح داده می‌شود و طیف پاسخ کف سازه مورد مطالعه با زمین مقایسه شده و بر اساس آن مشخصات سیستم جداساز انتخاب می‌شود. در نهایت پاسخ مدل جداسازی شده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است.

فصل۶، در این فصل ابتدا نمودار پاسخ سیستم جداسازی شده همراه با میراگر اصطکاکی متغیر به ارتعاشات زلزله‌های مختلف آورده شده و سپس رفتار میراگر اصطکاکی متغیر همراه با الگوریتمهای کنترلی معرفی شده در فصل چهارم بررسی می گردد و نتایج و نمودارهای مربوط رسم شده و در نهایت پاسخ میراگر اصطکاکی متغیر همراه با الگوریتمهای کنترلی مختلف مقایسه می شود.

فصل۷، شامل نتیجه گیری از موارد ارائه شده می باشد.

۲

فصل دوم

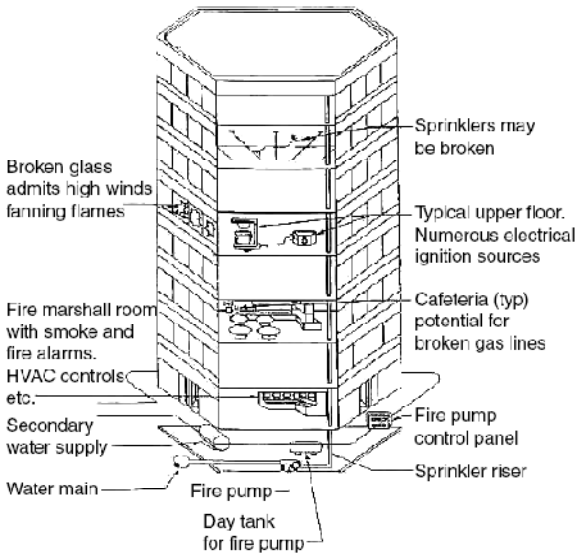
تاریخچه سیستمهای کنترل فعال و نیمه فعال و بررسی عملکرد تجهیزات

۲-۱- مقدمه

سازه های مهندسی عمدتا بر اثر حوادث لرزه ای بزرگ دچار آسیبهای جدی می شوند، که این آسیبها اغلب منجر به تلفات جانی و خسارات جبران ناپذیر می گردد. همان گونه که اشاره شد، مقاوم سازی و محافظت سازه های مهندسی، شامل محتویات سازه و افراد ساکن در آن بدون شک در اولویت کار مهندسین قرار دارد. روشهای مختلفی جهت مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله آزمایش و مورد تحقیق قرار گرفته است. یکی از روشهایی که برای افزایش عملکرد سازه ها در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته، کنترل سازه است. کنترل سازه، اصلاح خصوصیات سازه برای دست یافتن به پاسخ مطلوب سازه در برابر بارهای خارجی است. اصلاح خصوصیات سازه شامل تغییر سختی و میرایی سازه برای حصول پاسخ مطلوب است. کنترل سازه اغلب در موارد بارهای دینامیکی کاربرد دارد و هدف از آن اصلاح خصوصیات سازه برای کاهش مقدار تحریک منتقل شده به سازه است. در واقع می توان گفت که کنترل سازه ها برای سازه های مهندسی به دلیل نیاز به فراهم آوردن طراحی مؤثرتر و مطمئن تر همراه با در نظر گرفتن واقعیت مربوط به محدودیت منابع بوجود آمد و هدف از کنترل سازه، جذب و برگرداندن انرژی است که توسط بارهای دینامیکی مانند باد، امواج، زلزله و یا ترافیک تعریف می شوند.مفاهیم مربوط به کنترل سازه با این که جذاب و جالب هستند اما مفاهیم جدیدی نمی باشند[۲].

تجهیزات، اجزای مکانیکی یا الکتریکی هستند که برای نقش آفرینی سیستم لازم هستند. یک سیستم، گروهی از تجهیزات و زیر سیستم‌های متصل بهم است که نقش خاصی را در مجموع ایفا می‌کنند. مثلا می‌توان به پمپ‌ها، ژنراتورهای الکتریکی، اتاق کنترل موتور و حتی چیزهای ساده ای مثل چراغ الکتریکی هوایی بعنوان تجهیزات اشاره نمود. سیستم‌های کامپیوتری، سیستم تأمین آب یا سیستم تشخیص اعلان خطر و اطفاء حریق، نمونه هایی از

سیستمهای موجود می باشند. سیستم‌هایی که دارای عملکرد بحرانی (مثلا خیلی مهم، از قبیل ایمنی جانی و یا دارای خسارت اقتصادی شدید در صورت بروز خسارت) می باشند، بعنوان سیستم‌های بحرانی نامیده می‌شوند[۱].
سیستم غیر سازه ای اشاره به بخشهایی از ساختمان، وسایل و امکانات دارد که دارای عملکرد سازه ای نمی باشند و بهمین دلیل نمی توانند در برابر بارهای قائم و افقی وارده، از خود مقاومت نشان دهند.



شکل۲-۱- نمونه‌ای از تجهیزات داخل ساختمان[۱]

۲-۲- تاریخچه کنترل سازه

مفهوم کنترل سازه ها برای اولین بار درکنفرانس نهم مهندسی زلزله (9WCEE) در سال ۱۹۸۸در ژاپن به طور جدی مطرح شد. در این کنفرانس، کنترل فعال در ساختمانها و دیگر سازه های عمرانی به عنوان یک تکنولوژی تازه و نوین مورد استقبال جهانیان قرار گرفت. به دلیل افزایش تقاضای عمومی برای کنترل فعال سازه ها در ژاپن، هیئت تحقیق کنترل پاسخ سازه در کمیته تحقیق مهندسی زلزله انجمن علمی ژاپن لیائیسون (Liaison) در سپتامبر۱۹۸۹ تشکیل شد.

اهداف این هیئت تحقیقی عبارت بودند از :

- تعیین مرزها و محدوده کنترل سازه در زمینه های مختلف مهندسی در ژاپن
- تبادل اطلاعات مربوط به کنترل سازه با کشورهای خارجی
- توسعه و گسترش برنامه های علمی آینده برای همکاریهای بین المللی

با شناخت علم و آگاهی جهانی مهندسان عمران از پتانسیل سیستمهای محافظت کننده فعال جهت کاهش خطرات طبیعی، هیئت تحقیق کنترل پاسخ سازه تحت حمایت و توجهات سازمان علمی بین المللی در سال ۱۹۹۰ تشکیل شد. برخی اهداف این هیئت در زیر آورده شده است :

- تسهیل انتقال اطلاعات در پیشرفت مرزهای علمی در موضوع مورد نظر
- توسعه و گسترش نقشه های مقدماتی جهت پیشرفتهای تحلیلی و آزمایشگاهی در زمینه مورد نظر
- همکاری با سازمانهای بین المللی

در سال ۱۹۹۰ اولین کمیسیون هیئتهای مشترک آمریکا و ژاپن در توکیوی ژاپن برگزار شد، که در آن محققانی مانند هاوسنر، مسری و سونگ (G.Housner , S.Masri , T.T. Soong) حضور داشتند. در تاریخ اکتبر ۱۹۹۰ این کارگاه در کالیفرنیای جنوبی در آمریکا برگزار شد، که پروفسور کوبوری (Kobori) و سایر محققان جهت حضور در آن دعوت شده بودند [۳]. همان طور که اشاره شد، اولین کنفرانس کنترل سازه در پاسادنای آمریکا در آگوست ۱۹۹۴ برگزار شد. تشکیلات وابسته به انجمن بین المللی کنترل سازه (IASC) برگزار کنندگان این کنفرانس بودند. در آمریکا تکامل و تحول کنترل سازه به سرعت صورت گرفت، در ژاپن نیز این سیستم به طور موازی گسترش پیدا کرد. سیستم کنترل فعال در بیش از ۲۰ سازه در ژاپن اجرا شد. در اروپا و روسیه نیز کارهای مشابهی در زمینه کنترل در همان زمان انجام گرفت. در آمریکا و مناطق دیگر، سیستمهای جداسازی پایه غیر فعال در ساختمانهای کوتاه و متوسط به صورت یک سیستم قابل قبول مورد استفاده قرار گرفتند[۱۰].

حوادث لرزه ای که در نورثریج کالیفرنیا (۱۹۹۴) و کوبه ژاپن (۱۹۹۵) رخ داد، اهمیت کاهش خطر در طراحی سازه های جدید را مشخص نمود. برای سازه های نرمتر مانند سازه های بلند، به خصوص سازه هایی که در معرض بادهای قوی قرار دارند، میراگرهای کمکی به طرز موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار می گیرند. دستگاههای میرائی که می توانند به صورت ویسکوز، ویسکوالاستیک و یا پلاستیک باشند، در سرتاسر سازه باعث افزایش قابل توجهی در استهلاک انرژی شده و سبب کاهش حرکت سازه می گردند.

در ادامه اولین کنفرانس کنترل سازه که در پاسادنا برگزار شد، دومین کنفرانس در سال ۱۹۹۸ در کیوتوی ژاپن برگزار شد و سومین کنفرانس کنترل سازه نیز در کوموی ایتالیا در سال ۲۰۰۲ برگزار شد. این کنفرانسها بیانگر این نکته بود که علاقه روز افزونی نسبت به بحث کنترل سازه ای در بین محققان وجود دارد. به طور کلی نظریه کنترل سازه ها به بیش از ۱۰۰ سال پیش بازمی گردد، زمانی که جان میلن (John Milne) پروفسور مهندسی در ژاپن، یک خانه چوبی کوچک را ساخت و آن را بر روی تکیه گاههایی که شبیه توپ بودند قرار داد[۱۱].

بنابراین مشاهده می شود که مقوله کنترل سازه ها از دیرباز مد نظر محققان بوده است و امروزه به عنوان یکی از روشهای مقاوم سازی سازه ها کاربرد فراوانی داشته و به سرعت در حال رشد می باشد. توسعه نظریه سیستمهای خطی و کاربرد آن در ارتعاشات، بخصوص در زمینه دینامیک سازه عمدتا در نیمه اول قرن بیستم صورت گرفت. نیروی محرک برای بیشتر آنها موتور با احتراق داخلی بود که در اتومبیلها و هواپیماها استفاده می‌شد که در نقاط

اتصال نیروی دینامیکی زیادی ایجاد می کرد. در طول جنگ جهانی دوم بود که مفاهیمی از قبیل جداسازی ارتعاشات، جذب ارتعاشات و میرائی ارتعاشات توسعه یافت و در عمل بیشتر در سازه هواپیماها استفاده شد.
در سال ۱۹۸۹، سیستم محرک جرم فعال در یک ساختمان واقعی بکار گرفته شد. این اولین کاربرد جهانی سیستم فعال بود و هدف، ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم در برابر زلزله‌های متوسط و بادهای شدید بود. تا کنون، کنترل فعال در بیش از ۳۰ ساختمان استفاده شده است که اکثرا سیستمهای فعال یا مرکب هستند که هدف آنها ارتقای قابلیت سکونت ساختمانهای بلند مرتبه در مقابل حرکت تحت بادهای قوی و زلزله‌های کوچک و متوسط می باشد [۱۰و۳].

۲-۳- انواع سیستمهای کنترل سازه

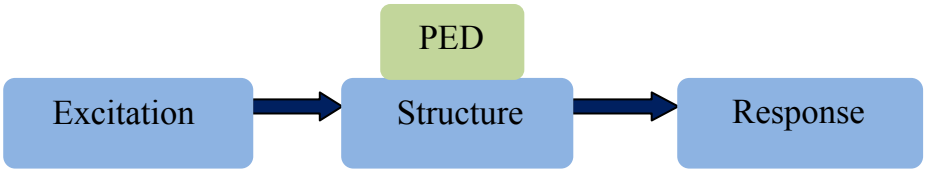
به طور کلی سیستمهای کنترل رفتار سازه ها به چهار دسته تقسیم می شوند:

- کنترل غیر فعال (Passive Control)
- کنترل فعال (Active Control)
- کنترل مرکب (Hybrid Control)
- کنترل نیمه فعال (Semi active Control)

۲-۳-۱- کنترل غیر فعال (Passive Control)

این نوع کنترل اشاره دارد به سیستمهایی که به منبع انرژی خارجی نیازی ندارند. نگهداری از این سیستمها نسبتا آسان می باشد، زیرا آنها نیاز به حسگرها(سنسورها)، محرکها و یا کنترل کننده ها ندارند. در این سیتمها چه آنها که جاذب ارتعاشات دینامیکی بوده و انرژی اضافی را مستهلک می کنند، چه آنها که به صورت جداساز لرزه ای هستند، نیروهای کنترلی در محل نصب مکانیزم بوجود آمده و فعال می شوند. این نوع کنترل شامل سیستمهای جداسازی پایه، میراگرهای مکمل و میراگرهای جرمی تنظیم شده می باشد. سیستم جداساز لرزه ای پایه تلاش می کند که توسط ایزوله کردن و جدا کردن سازه از تحریکات لرزه ای خارجی، پاسخ سازه ای که در معرض تحریکات لرزه ای زمین قرار گرفته است را کاهش دهد. یک سیستم جایگزین برای جداسازهای لرزه ای، سیستم میراگرهای مکمل می باشد که به طور گسترده ای جهت جلوگیری از ارتعاشات استفاده می شوند. در این سیستم دستگاههای مکانیکی، میرائی ذاتی موجود در سازه را افزایش داده و سبب می شود که انرژی ناشی از تحریکات بیرونی مستهلک گردد[۴].

میراگرهای مکانیکی در سازه ها معمولا در بخشی از سیستم مهاربندها، مانند بادبندهای قطری نصب می شوند. دسته سوم سیستمهای غیرفعال، میراگرهای جرمی تنظیم شده می باشند که می توانند مشخصه های دینامیکی سازه را اصلاح نموده و پاسخ سازه را به طور مؤثری کاهش دهند.

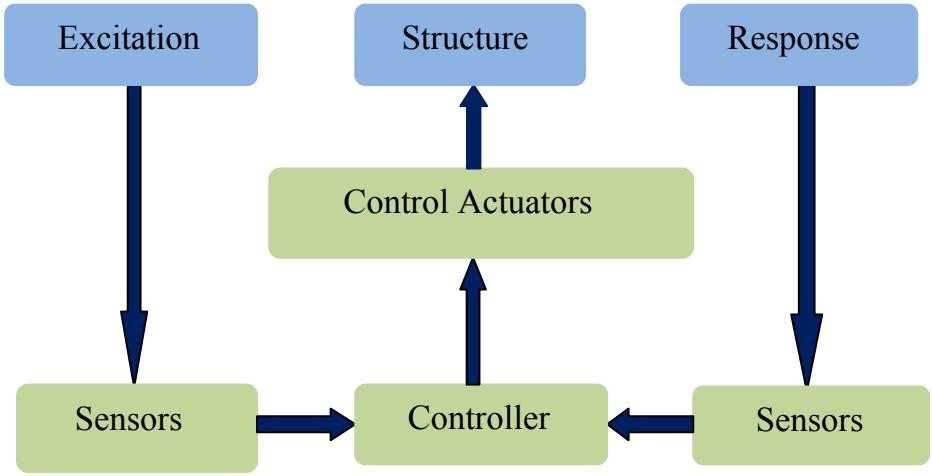


شکل۲- ۲- کنترل غیر فعال سازه ای[۴]

۲-۳-۲- کنترل فعال (Active Control)

بر اثر پیشرفتهایی که در زمینه حسگرها و شیوه های کنترل دیجیتال صورت گرفت سیستمهای کنترل فعال بوجود آمد. مزیت این سیستمها این می باشد که برای بازه وسیعی از فرکانسها و ارتعاشات گذرا مؤثر می باشند. این سیستمها به یک منبع انرژی خارجی بزرگ نیاز دارند، در واقع در سیستمهای کنترل فعال، حسگرها حرکت سازه را اندازه گیری کرده و در ادامه با استفاده از محرکها و استراتژی کنترل بازخورد (Feedback Control) نیروهای خنثی کننده ای را جهت جبران اثرات تحریکات بیرونی به سازه اعمال می کنند. وقتی که قانون کنترل بازخورد خطی استفاده می شود، اشباع نیروی کنترلی در حین زلزله های بزرگ قابل اجتناب نیست. به همین دلیل الگوریتم کنترل غیر خطی با بهره متغیر ارائه شده که جهت بررسی اثرات آن، آزمایشهایی با مقیاس واقعی در انستیتیوی تحقیقاتی دانشگاه کیوتو در حال انجام می باشد.

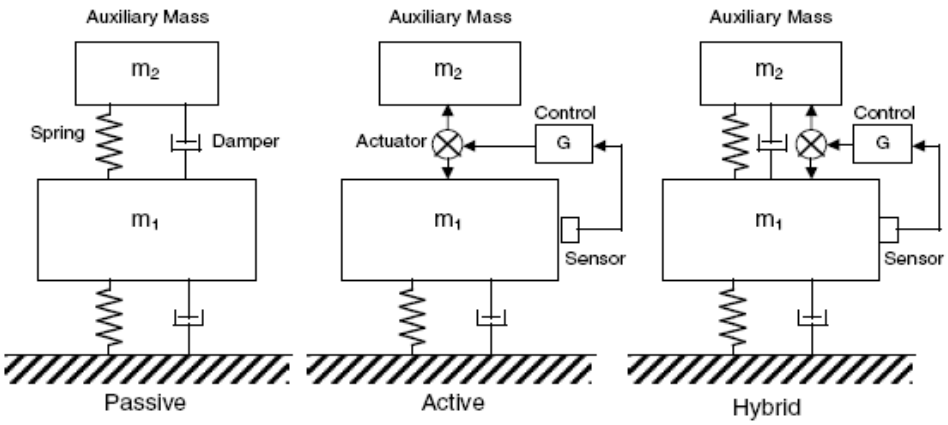
نیروی کنترلی در سیستمهای فعال توسط محرکهای الکتروهیدرولیکی یا الکترومکانیکی، بر مبنای اطلاعات باز خورد از پاسخ محاسبه شده سازه و یا اطلاعات پس خورد از تحریکات بیرونی به دست می آید. محاسبات ثبت شده پاسخ و یا تحریکات توسط یک کنترل کننده نظارت می شود، که این کنترل کننده(کامپیوتر)، که از الگوریتمهای کنترلی از پیش تعیین شده استفاده می نماید، سیگنال کنترلی مناسب را برای عملکرد محرکها تعیین می کند. ایجاد نیروی کنترلی توسط محرکهای الکتروهیدرولیکی نیازمند منبع بزرگ انرژی می باشد که برای سازه های کوچک حدود ۱۰ کیلووات و برای سازه های بزرگ بالغ بر چندین مگابایت می باشد. اثر اولیه برخی از این سیستمهای فعال آزمایش شده به صورت اصلاح میرائی همراه با اندکی اصلاح سختی می باشد[۳و۴].



شکل۲- ۳ - کنترل فعال سازه ای[۴]

۲-۳-۳- کنترل مرکب (Hybrid Control)

کنترل مرکب (پیوندی) ترکیبی از کنترل فعال و غیر فعال بوده و شامل مزایای هردو سیستم فوق می باشد. کنترل مرکب جهت غلبه کردن برآسیب پذیری سیستمهای کنترل فعال به کار می رود و نسبت به آنها دارای اطمینان بیشتری می باشد. همان طور که اشاره شد این سیستم کنترلی، ترکیبی از سیستمهای فعال و غیر فعال می باشد، به طوریکه تا زمانی که انرژی وجود داشته باشد دو سیستم به صورت همزمان کار می کنند، وقتی انرژی بیرونی دچار اختلال می شود سیستم کنترل غیر فعال هنوز کار می کند و باعث کاهش پاسخ سازه می گردد، حتی بعد از اینکه سیستم کنترل فعال از کار کردن بازمی ایستد. نقطه ضعف سیستم کنترل مرکب این است که در حالتی که انرژی و نیرو دچار اختلال و نقصان می شود، فقط نیمی از سیستم مقاوم لرزه ای عمل می کند و در نتیجه نمی توان اطمینان سیستم سازه ای را تضمین نمود.



شکل ۲-۴- میراگر جرمی مرکب، فعال و غیر فعال[۳]