

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ وَسَلِّمْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ



گروه مهندسی زلزله

کنترل ارتعاشات سازه‌های غیرخطی با استفاده از مکانیزم
جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال

استاد راهنما:

دکتر محتشم محبی

توسط:

حامد رسولی دباغ

دانشگاه محقق اردبیلی

دی-۱۳۹۰

تقديم به

خانواده عزيزم

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فرهیخته و فاضل جناب آقای دکتر محتشم محبی که با نکته‌ها و گفته‌های خود، همواره راهنما و راه‌گشایم در تکمیل و اتمام این پایان نامه بوده است، کمال تشکر را دارم. درود فراوان به روح پر فتوح پدر بزرگوارم می‌فرستم و از مادر دلسوز و مهربانم به خاطر همه‌ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی‌ام نسبت به من داشته است صمیمانه سپاسگزارم. همچنین تشکر خالصانه‌ای دارم خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

نام خانوادگی دانشجو : رسولی دباغ	نام : حامد
عنوان پایان نامه : کنترل ارتعاشات سازه‌های غیر خطی با استفاده از مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال	
استاد راهنما : دکتر محتشم محبی استاد مشاور: مهندس رضا کارکن	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰/۱۰/۱۴
تعداد صفحه: ۱۲۰	
کلید واژه ها :	
جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال ؛ سازه‌های غیرخطی؛ کنترل نیمه فعال ؛ کنترل بهینه آبی ؛ قانون کنترل برشی	
<p>چکیده : در این پایان نامه به بررسی نحوه طراحی و ارزیابی عملکرد مکانیزم کنترلی جرم میراگر هماهنگ شده نیمه‌فعال برای کاهش پاسخ سازه‌های غیرخطی تحت اثر زلزله پرداخته شده است. همچنین به منظور ارزیابی بهتر کارایی مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های غیرخطی، مکانیزم‌های جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال و فعال نیز مدل سازی و بررسی شده و نتایج با هم مقایسه گردیده است. جهت انجام بررسی روی ساختمان‌های با رفتار غیر خطی، به عنوان نمونه یک مدل ساختمانی ۸ طبقه از نوع برشی دو بعدی، با رفتار غیرخطی هیسترسیس از نوع دو خطی (Bilinear) تحت اثر اغتشاش سفید در نظر گرفته شده است. به منظور طراحی سیستم کنترلی، جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال از طریق میرایی متغیر انتخاب شده و الگوریتم کنترل نیمه فعال متناسب با رفتار سازه‌های غیرخطی بر مبنای کنترل بهینه آبی و قانون کنترل برشی (clipping) جهت تعیین فرمان های مناسب برای انتخاب میرایی در هر لحظه توسعه یافته است. همچنین برای طراحی بهینه سیستم کنترل و بهبود عملکرد مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال الگوریتمی بر مبنای تعریف یک مسأله بهینه‌سازی برای کاهش ماکزیمم پاسخ سازه و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) پیشنهاد شده است. با استفاده از مکانیزم و الگوریتم کنترلی پیشنهادی به ارزیابی عملکرد مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال در کاهش پاسخ های لرزه ای سازه های غیر خطی پرداخته شده است. نتایج بررسی های انجام شده نشان می دهد که عملکرد سیستم جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال در کاهش پاسخ های سازه ها با رفتار غیر خطی بهتر از عملکرد سیستم جرم میراگر هماهنگ شده غیرفعال بوده اما در مقایسه با مکانیزم جرم میراگر فعال عملکرد ضعیف تری داشته است. همچنین نتایج نشان می دهد که عملکرد بهینه جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال طراحی شده با روش ارائه شده در این تحقیق در سازه های غیر خطی به مشخصات میرایی و پارامترهای سیستم کنترل بستگی دارد و برای عملکرد بهینه سیستم کنترل بایستی پارامترهای آن با توجه به مشخصات زلزله طرح به صورت بهینه طراحی گردد.</p>	

فهرست مطالب

عنوان..... شماره صفحه

فصل اول : کنترل سازه ها

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- مفهوم کنترل ارتعاش در سازه ها..... ۳
- ۱-۳- روش های مختلف کنترل سازه ها..... ۴
- ۱-۳-۱- کنترل غیر فعال..... ۶
- ۱-۳-۲- کنترل فعال..... ۹
- ۱-۳-۳- کنترل نیمه فعال..... ۱۲
- ۱-۳-۴- استراتژی های کنترل هیبریدی..... ۱۵
- ۱-۴- هدف و ضرورت تحقیق..... ۱۶
- ۱-۵- ساختار پایان نامه ۱۸

فصل دوم : کنترل نیمه فعال سازه ها

- ۱-۲- مقدمه ۲۰
- ۲-۲- مکانیزم های کنترل نیمه فعال..... ۲۱
- ۲-۲-۱- اریفیس متغیر..... ۲۱
- ۲-۲-۲- ابزار اصطکا ک متغیر..... ۲۲
- ۲-۲-۳- میراگرهای مایع تنظیم شده ی نیمه فعال..... ۲۴
- ۲-۲-۴- جرم میراگرهای هماهنگ شده نیمه فعال..... ۲۵
- ۲-۲-۵- جاذب های ارتعاش نیمه فعال..... ۲۵
- ۲-۲-۶- ابزار کنترل سختی نیمه فعال..... ۲۶
- ۲-۲-۷- میراگر سیال ویسکوز نیمه فعال..... ۲۷
- ۲-۲-۸- میراگرهای الکتروئولوژیک..... ۲۸
- ۲-۲-۹- میراگرهای مگنتورئولوژیک..... ۲۹
- ۳-۳- قوانین و الگوریتم های کنترل نیمه فعال..... ۳۱
- ۳-۳-۱- الگوریتم کنترلی گراند هوک..... ۳۱
- ۳-۳-۲- روش کنترل اسکای هوک باز - بسته ۳۴

- ۳-۳-۲- قانون کنترل اسکای- هوک پیوسته..... ۳۶
- ۴-۳-۲- قانون کنترل برشی (Clipping Control)..... ۳۷
- ۵-۳-۲- الگوریتم کنترل بنگ- بنگ بر پایه تئوری پایداری لیاپانوف..... ۳۹
- ۶-۳-۲- الگوریتم LQR نیمه فعال..... ۴۱

فصل سوم : جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال

- ۱-۳- جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال ۴۵
- ۱-۱-۳- مطالعات قبلی در زمینه جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال ۴۷
- ۲-۱-۳- محدودیت های جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال..... ۴۹
- ۲-۳- جرم میراگر هماهنگ شده فعال..... ۵۱
- ۱-۲-۳- مطالعات قبلی در زمینه جرم میراگر هماهنگ شده فعال..... ۵۴
- ۲-۲-۳- محدودیت های جرم میراگر هماهنگ شده فعال..... ۵۴
- ۳-۲-۳- انتخاب الگوریتم کنترل فعال جهت طراحی AMD..... ۵۵
- ۴-۲-۳- الگوریتم کنترل فعال..... ۵۶
- ۱-۴-۲-۳- روش عددی نیومارک :..... ۵۷
- ۲-۴-۲-۳- تابع عملکرد سیستم کنترل فعال..... ۵۸
- ۳-۴-۲-۳- تعیین نیروی کنترل..... ۵۸
- ۴-۴-۲-۳- تعیین ماتریس های وزنی R,Q..... ۵۸
- ۳-۳- جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال..... ۵۹
- ۱-۳-۳- مطالعات قبلی در زمینه جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال..... ۶۳
- ۲-۳-۳- انتخاب ابزار کنترل نیمه فعال..... ۶۵
- ۳-۳-۳- معادلات حرکت سازه غیرخطی مجهز به SATMD..... ۶۶
- ۴-۳-۳- توسعه و پیشنهاد الگوریتم کنترل نیمه فعال..... ۶۷

فصل چهارم : مطالعات عددی

- ۱-۴- مقدمه ۷۱
- ۲-۴- مدل مورد بررسی..... ۷۲
- ۳-۴- پاسخ های سازه در حالت کنترل نشده..... ۷۳
- ۴-۴- کنترل غیر فعال با استفاده از جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال..... ۷۹

- ۴-۵- بررسی صحت نتایج.....۸۲
- ۴-۶- کنترل فعال با استفاده از جرم میراگر فعال.....۸۵
- ۴-۷- کنترل نیمه فعال با استفاده از جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال.....۹۱
- ۴-۷-۱- مقایسه SATMD با TMD.....۹۸
- ۴-۷-۷- مقایسه SATMD با AMD.....۹۹
- ۴-۸- طراحی بهینه SATMD با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....۹۹
- ۴-۹- بررسی SATMD طراحی شده تحت رکوردهای زلزله دیگر.....۱۰۱

فصل پنجم : نتایج و پیشنهادات

- ۵-۱- نتایج۱۰۴
- ۵-۲- پیشنهادات.....۱۰۶
- منابع.....۱۰۷

فهرست تصاویر

عنوان..... شماره صفحه

- شکل (۱-۱) دیاگرام سیستم های کنترل غیر فعال ۴
- شکل (۲-۱) دیاگرام سیستم های کنترل فعال ۵
- شکل (۳-۱) دیاگرام سیستم های کنترل نیمه فعال ۶
- شکل (۴-۱) نحوه ارتباط استراتژی مختلف کنترل ۷
- شکل (۵-۱) نمونه هایی از استراتژی های کنترل غیر فعال ۸
- شکل (۶-۱) نمونه هایی از استراتژی های کنترل فعال ۱۰
- شکل (۷-۱) ساختمان کیوباشی سیوا مجهز به ابزار کنترل فعال در توکیو زاپن ۱۱
- شکل (۸-۱) طرح کلی سیستم جرم میراگر هیبریدی ۱۶
- شکل (۱-۲) طرح کلی میراگر اریفیس متغیر ۲۱
- شکل (۲-۲) میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک (یکی از میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال ۲۴
- شکل (۳-۲) طرح کلی جاذب های ارتعاش نیمه فعال ۲۶
- شکل (۴-۲) ابزار سختی متغیر نیمه فعال ۲۷
- شکل (۵-۲) ساختار میراگر سیال ویسکوز نیمه فعال ۲۸
- شکل (۶-۲) طرح کلی میراگر ER ۲۹
- شکل (۸-۲) طرح کلی میراگر MR ۳۰
- شکل (۹-۲) اصول روش کنترل گراند هوک ایده آل ۳۲
- شکل (۱۰-۲) اصول روش کنترل گراند هوک قابل اجرا ۳۲
- شکل (۱۱-۲) سیستم سازه ای مجهز به ابزار با میرایی متغیر ۳۵
- شکل (۱۲-۲) نحوه عملکرد الگوریتم نیمه فعال اسکای هوک باز - بسته ۳۶
- شکل (۱۳-۲) میرایی نیمه فعال بوسیله قانون کنترل اسکای- هوک پیوسته ۳۶
- شکل (۱-۳) سازه مجهز شده به TMD در طبقه آخر ۴۵
- شکل (۲-۳) انواع مختلف جرم میراگر هماهنگ شده ۴۶
- شکل (۳-۳) سازه کنترل شده با AMD و مقایسه آن با سازه مجهز به TMD ۵۲
- شکل (۴-۳) نمایشی از ترکیب سیستم های DUOX ۵۲

- شکل (۳-۵) ساختمان کیوباشی سیوا مجهز به ابزار جر میراگر فعال در توکیو زاپن.....۵۳
- شکل (۳-۶) مقایسه سیستم جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال و نیمه فعال۶۰
- شکل (۳-۷) مکانیزم جرم میراگر نیمه فعال پیشنهاد شده توسط هروات۶۱
- شکل (۳-۸) مکانیزم جرم میراگر نیمه فعال SAIVS پیشنهاد شده توسط ناگاراچایا۶۲
- شکل (۳-۹) ساختار میراگر اریفیس متغیر۶۶
- شکل (۳-۱۰) تغییرات مقادیر ضریب میرایی۶۹
- شکل (۴-۱) مدل مورد بررسی در این پایان نامه.....۷۲
- شکل (۴-۲) مدل رفتاری الاستو- پلاستیک دو خطی.....۷۳
- شکل (۴-۳) رکورد ارتعاش اغتشاش سفید $W(t)$ استفاده شده بعنوان ارتعاش خارجی
- جهت طراحی۷۳
- شکل (۴-۴) منحنی ضریب شکل پذیری هر طبقه برای حال کنترل نشده.....۷۶
- شکل (۴-۵) ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و کل طبقات برای سازه کنترل نشده.....۷۶
- شکل (۴-۶) تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای سازه کنترل نشده تحت ارتعاش $W(t)$ ۷۷
- شکل (۴-۷) منحنی هیستریسیس های طبقات مختلف برای سازه کنترل نشده تحت ارتعاش $W(t)$ ۷۸
- شکل (۴-۸) مدل سازه مجهز شده به جرم میراگر هماهنگ شده غیر فعال در طبقه آخر.....۷۹
- شکل (۴-۹) مقایسه منحنی ضریب شکل پذیری هر طبقه برای حال کنترل نشده و کنترل شده با TMD۸۱
- شکل (۴-۱۰) مقایسه ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و کل طبقات برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با TMD۸۱
- شکل (۴-۱۱) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی ۳ طبقه اول برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با TMD۸۲
- شکل (۴-۱۲) مقایسه نمودار بدست آمده برای تغییر مکان جانبی نسبی طبقه اول در این پژوهش با نتایج محبی و جغتایی.....۸۴
- شکل (۴-۱۳) مقایسه نمودار هیستریسیس طبقه اول بدست آمده در این پژوهش با نتایج محبی و جغتایی.....۸۵

- شکل (۴-۱۴) مقایسه ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و کل طبقات برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با AMD..... ۸۸
- شکل (۴-۱۵) مقایسه منحنی ضریب شکل پذیری هر طبقه برای حال کنترل نشده و کنترل شده با AMD..... ۸۹
- شکل (۴-۱۶) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی ۳ طبقه اول برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با AMD..... ۹۰
- شکل (۴-۱۷) تاریخچه زمانی نیروی کنترل فعال اعمال شده توسط AMD..... ۹۰
- شکل (۴-۱۸) مقایسه نمودار هیسترسیس دو طبقه اول..... ۹۱
- شکل (۴-۱۹) مقایسه ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و کل طبقات برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با SATMD..... ۹۴
- شکل (۴-۲۰) مقایسه ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی و کل طبقات برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با SATMD..... ۹۴
- شکل (۴-۲۱) مقایسه منحنی ضریب شکلپذیری کل طبقات برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با SATMD..... ۹۵
- شکل (۴-۲۲) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی ۲ طبقه اول برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با SATMD..... ۹۷
- شکل (۴-۲۳) مقایسه منحنی هیسترسیس ۲ طبقه اول برای سازه کنترل نشده و کنترل شده با SATMD..... ۹۷
- شکل (۴-۲۴) منحنی تغییرات ضریب میرایی در هر لحظه..... ۹۸

فهرست جداول

عنوان..... شماره صفحه

جدول (۱-۳) کاربردهای جرم میراگر هماهنگ شده در سازه های عمرانی.....	۴۸
جدول (۱-۴) پاسخ های ماکزیمم سازه کنترل نشده تحت ارتعاش $W(t)$	۷۵
جدول (۲-۴) بررسی صحت نتایج بدست آمده	۸۳
جدول (۳-۴) ماکزیمم پاسخ های سازه برای حالت کنترل شده فعال و کنترل نشده.....	۸۸
جدول (۴-۴) ماکزیمم پاسخ های سازه برای حالت کنترل شده نیمه فعال و کنترل نشده تحت ارتعاش (wt).....	۹۶
جدول (۵-۴) پارامترهای بهینه سیستم کنترل جرم میراگر هماهنگ شده نیمه فعال برای ارتعاش (wt).....	۱۰۱
جدول (۶-۴) ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی سازه باتوجه به پارامترهای جدول (۵-۴) تحت حالات مختلف	۱۰۱
جدول (۷-۴) ماکزیمم پاسخ های سازه در برای حالت SATMD و TMD غیر فعال تحت رکورد های زلزله مختلف.....	۱۰۲

فصل اول

کنترل سازه‌ها

فلسفه عمومی روشهای طراحی متداول سازه‌ها بر دو اصل ایجاد سختی و مقاومت در سازه، جهت کنترل تغییرمکان جانبی و جلوگیری از تخریب اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و ایجاد شکل پذیری و قدرت جذب انرژی مناسب در سازه، برای ممانعت از فروریختگی سازه بنا شده است. این نوع سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی از قبیل زلزله و باد که ماهیت همیشه متغیر دارند، دارای ظرفیت محدودی برای اتلاف انرژی ورودی به سازه می‌باشند. در این روشهای طراحی، سازه در مقابل زلزله‌های متوسط و شدید رفتاری غیرارتجاعی دارد و از این رو شکل پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله به صورت تغییرشکل خمیری و ایجاد مفاصل پلاستیک، از خصوصیات اساسی طراحی در این روشها می‌باشد. این مفاصل محل تجمع خسارت بوده و اغلب خسارت وارده به آنها طوری می‌باشد که قابل تعمیرنیستند (نکویی و ضیایی فر، ۱۳۸۷). بر همین مبنا، طی سالیان اخیر، شاخه جدیدی با عنوان کنترل سازه‌ها توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده و کاهش پاسخ سازه‌ای ناشی از اثرات نیروهای دینامیکی با استفاده از سیستم‌های کنترل سازه‌ها، تحقیقات گسترده و روبه رشدی را به دنبال داشته است.

هدف از کنترل سازه‌ها جذب و انعکاس انرژی ایجاد شده توسط بارهای دینامیکی از قبیل باد و زلزله می‌باشد. در واقع، روشهای نوین طراحی لرزه‌ای سازه‌ها اغلب توصیه به حفظ رفتار ارتجاعی سیستم دارند و در عمل با تغییر در مشخصه‌های دینامیکی سیستم در ارتباط با سختی و میرایی آن در جهت کاهش نیرو و انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله می‌پردازند. در روند جدید طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، برای مقابله با انرژی ورودی به سازه، دو دیدگاه وجود دارد. دیدگاه اول شامل طرحهایی است که سبب کاهش نیروی وارد به سازه از طریق افزایش پریود سازه می‌شوند که سیستم‌های جداسازی پایه^۱ در این طبقه بندی قرار می‌گیرند. دومین دیدگاه توصیه بر استفاده از مکانیزم‌های اتلاف انرژی در سازه در جهت افزایش میرایی سازه دارد. در این حالت با قرار دادن ادوات جذب انرژی در محل‌های مناسب سازه، بخشی از انرژی ورودی زلزله بوسیله آنها مستهلک شده، در نتیجه خسارت وارده به سازه کاهش می‌یابد.

رابطه بقای انرژی ارائه شده توسط برترو و یوانگ^۲ (۱۹۹۸) را در نظر بگیرید:

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (1-1)$$

که E انرژی کل ورودی به سازه ناشی از تحریک، E_k انرژی جنبشی سازه، E_s انرژی کرنش الاستیک سازه، E_h انرژی مستهلک شده سازه ناشی از تغییر شکل غیر الاستیک و E_d انرژی مستهلک شده توسط ابزار میرایی الحاقی می‌باشد. برای سازه‌های سنتی طرف راست معادله (۱-۱) فقط شامل E_k ،

^۱ - base isolation systems

^۲ - Uang and Bertero

E_s و E_h می‌باشد. با اضافه کردن E_d یعنی انرژی مستهلک شده توسط ابزار میرایی الحاقی از طریق تئوری کنترل سازه، انرژی جنبشی، انرژی کرنش الاستیک سازه و مهم تر از همه انرژی تغییر شکل غیرالاستیک می‌تواند کاهش یابد که در نتیجه منجر به حفاظت سازه اصلی می‌شود.

۱-۲- مفهوم کنترل ارتعاش در سازه‌ها:

به طور کلی اعمال هرگونه نیرو به یک سازه سبب ایجاد ارتعاش در آن می‌گردد. نیروی وارده به سازه می‌تواند سرچشمه داخلی یا خارجی داشته باشد. نیرویی نظیر باد، منشاء خارجی داشته و به طور مستقیم بر سازه وارد می‌گردد و از طرف دیگر، نیروهایی نظیر زلزله یا اثر ترافیک خارج ساختمان، ارتعاش را از طریق زمین به پایه سازه منتقل کرده، انرژی ارتعاش از شالوده سازه به سایر طبقات انتقال می‌یابد که به این حالت، تحریک پایه گفته می‌شود. نتیجه اعمال نیرو به سازه، ارتعاش طبقات می‌باشد و طراحی مقاوم سازه در برابر بارهای وارده به آن باید به نحوی صورت گیرد که ارتعاشات و نیروهای ایجاد شده ناشی از آن در اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، با تامین ایمنی و آرامش لازم برای کاربرد مورد نظر، تحمل شوند.

مهم ترین معیار طراحی مقاوم یک سازه به خصوص طراحی مقاوم لرزه‌ای، معیار تغییرمکان نسبی طبقه است که بقیه پارامترهای طراحی نظیر برش طبقه و نیروهای داخلی اعضاء به طور مستقیم با آن ارتباط دارند. چنانچه بتوان انرژی وارده به سازه را به نحوی کاهش داد که حداقل تغییرمکان نسبی در طبقات سازه حاصل شود، نیاز مقاومت در اعضاء کاهش خواهد آمد. کنترل ارتعاش سازه در اصل به تعدیل خصوصیات سازه‌ای اطلاق می‌شود تا پاسخ مناسب سازه تحت تاثیر بارهای وارده گرفته شود و به سازه‌ای که ارتعاش آن کنترل شود، سازه با پاسخ کنترل شده گفته می‌شود. در سال‌های اخیر طبقه بندی‌های مختلفی به منظور جداسازی تکنیک کنترل ارتعاشات در سازه‌ها صورت گرفته و روش‌های متعددی برای این منظور به کار گرفته شده است.

مفهوم کنترل پاسخ لرزه‌ای در دهه ۵۰ و با محققین ژاپنی کوبوری و مینایی^۱ نشأت گرفت. آنها به یک نتیجه مهم رسیدند؛ تا زمانی که مشخصات دقیق حرکت لرزه‌ای زمین در ارتباط با یک سازه نمی‌تواند پیش بینی شود، پاسخ لرزه‌ای سازه باید کنترل شود. مینایی تئوری سازه‌های هوشمند فعال که قادر به ایجاد یک پاسخ کنترل شده برای تحمل بارهای زلزله بودند را پیشنهاد کرده بود (کوبوری و مینایی، ۱۹۶۰). ایگن فریزینه^۲ (۱۹۶۰) استفاده از کابل‌های پیش‌تندیده به عنوان ابزار کنترلی جهت پایدار ساختن سازه‌های بلند را پیشنهاد کرد. تا سال ۱۹۷۲ در زمینه کنترل سازه‌ها، تئوری مدونی وجود

^۱ - Kobori and Minai

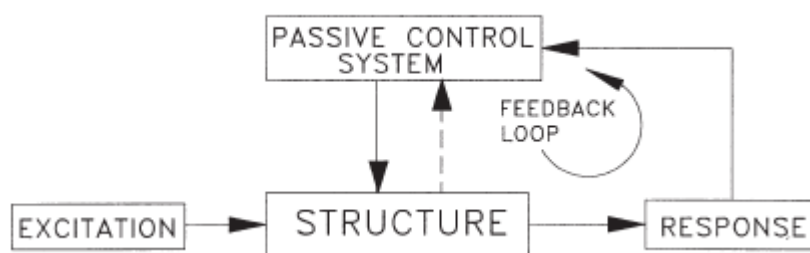
^۲ - Eugene Freyssinet

نداشت تا اینکه در این سال یائو^۱ (۱۹۷۲) یک تئوری کنترل منسجم را که بر اساس اصول کنترل سازه‌ای بنا شده بود ارائه کرد. در این تئوری، یک سیستم کنترل سازه با قدرت پاسخ زیاد جهت حل مساله پایداری در سازه‌ها پیشنهاد شده بود (سونگ^۲، ۱۹۹۰). مقاله مفهومی یائو (۱۹۷۲) کمک شایانی به تحقیقات کنترل سازه‌های در ایالات متحده نمود. او یک سیستم خطا-فعال پیشنهاد نمود که رفتار آن مطابق با تغییرات غیر قابل پیش بینی در بارگذاری و همچنین شرایط محیطی به طور خودکار تغییر می‌کند و در نتیجه پاسخ‌های مطلوبی تحت تمام شرایط بارگذاری ممکن تولید می‌کند (چنگ و همکاران^۳، ۲۰۰۸). پیشرفت‌های قابل توجهی در ادامه این مفاهیم اولیه در زمینه کنترل پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها صورت گرفته و روشهای متعددی معرفی شده است.

۳-۱ - روش‌های مختلف کنترل سازه‌ها:

سیستم‌های کنترل سازه‌ها در قالب چهار گروه اصلی زیر قرار می‌گیرند:

۱. سیستم‌های کنترل غیر فعال: یک سیستم کنترل غیر فعال می‌تواند به صورت یک سیستمی که برای عمل‌کردن نیاز به منبع انرژی خارجی نداشته و از حرکت سازه جهت ایجاد نیروهای کنترلی استفاده می‌کند، تعریف شود. نیروهای کنترلی به صورت تابعی از پاسخ سازه در محل‌های سیستم کنترل غیر فعال ایجاد می‌شوند. در شکل (۱-۱) نحوه عملکرد این سیستم‌ها نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) دیاگرام سیستم‌های کنترل غیر فعال (سیمنز و کونستانینو^۴، ۱۹۹۹)

۲. سیستم‌های کنترل فعال: سیستم کنترل فعال را می‌توان به صورت سیستمی تعریف کرد که معمولاً نیاز به منبع انرژی خارجی زیادی برای عملکرد محرک‌های^۵ الکتروهیدرولیکی یا الکترو-

^۱ - Yao

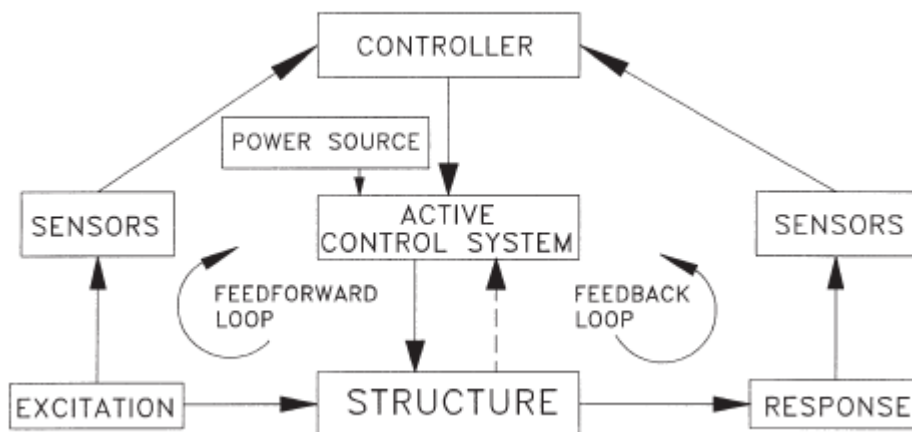
^۲ - Soong

^۳ - Chang et. al.

^۴ - Symans and Constantinou

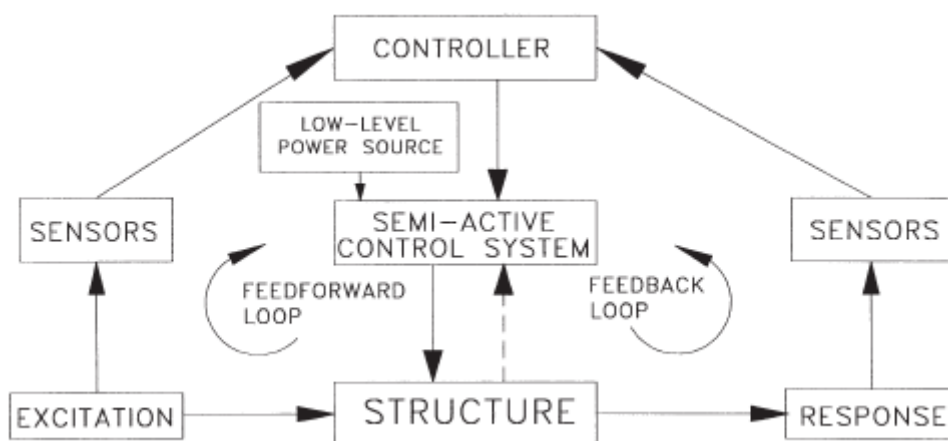
^۵ - actuator

مکانیکی که اعمال کننده نیروهای کنترلی به سازه می‌باشند، دارد. نیروهای کنترل بر اساس پسخورد (فیدبک) گرفته شده از حسگرهایی که تحریک وارده یا پاسخ‌های سازه یا هر دو را اندازه گیری می‌کنند، ایجاد می‌شوند. فیدبک گرفته شده از پاسخ‌های سازه ممکن است در محل‌هایی دور از محل سیستم کنترل فعال اندازه گیری شود که در شکل (۲-۱) نحوه عملکرد این سیستم‌ها نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) دیاگرام سیستم‌های کنترل فعال (سیمنز و کونستانینو، ۱۹۹۹)

۳. سیستم‌های کنترل نیمه فعال: یک سیستم کنترل نیمه فعال می‌تواند به صورت سیستمی تعریف شود که معمولاً برای عملکرد نیاز به منبع انرژی خارجی بسیار کمی (به عنوان مثال یک باتری) داشته و از حرکت سازه جهت ایجاد نیروهای کنترلی استفاده می‌کند که مقادیر این نیروها توسط منبع انرژی خارجی تنظیم می‌گردد. در واقع لازم به ذکر است که سیستم‌های کنترل نیمه فعال ویژگی‌های سیستم‌های کنترل فعال و غیر فعال را ترکیب می‌سازند. در این حالت نیز نیروهای کنترل بر اساس فیدبک گرفته شده از حسگرهایی که تحریک وارده یا پاسخ‌های سازه یا هر دو را اندازه گیری می‌کنند، ایجاد می‌شوند. همچنان که در شکل (۳-۱) نیز نشان داده شده است، فیدبک گرفته شده از پاسخ‌های سازه ممکن است در محل‌هایی دور از محل سیستم کنترل نیمه فعال اندازه گیری شود.



شکل (۳-۱) دیاگرام سیستم‌های کنترل نیمه فعال (سیمنز و کونستانتینو، ۱۹۹۹)

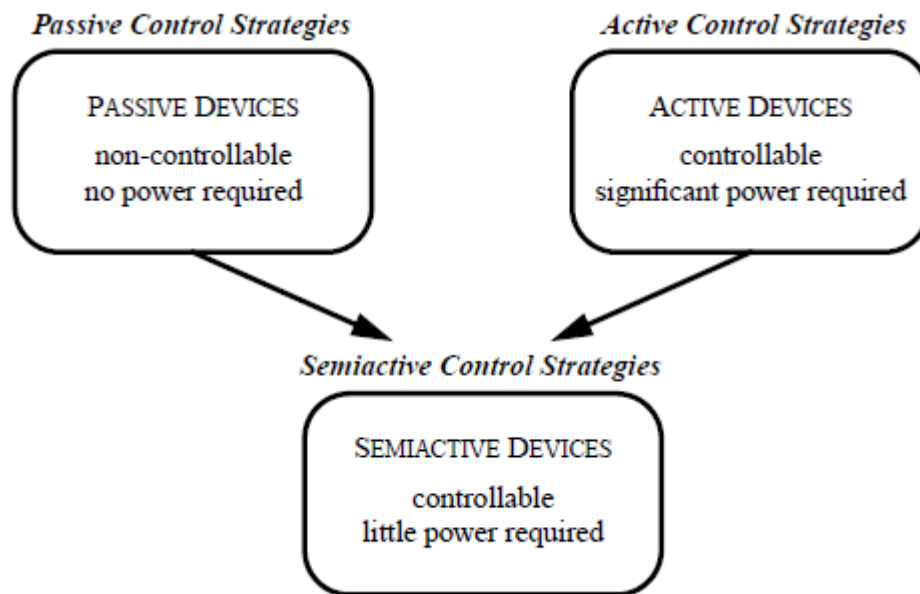
۴. سیستم‌های کنترل هیبریدی: سه گروه اصلی سیستم‌های کنترل توضیح داده شده در بالا گاهی می‌توانند با هم ترکیب شوند که بدین ترتیب سیستم‌های کنترل هیبریدی بوجود می‌آید. سیستم‌های کنترل هیبریدی تشکیل یافته از ترکیب ابزارهای کنترل غیر فعال و فعال و همچنین از ترکیب ابزارهای کنترل غیر فعال و نیمه فعال در مقالات متعددی مورد مطالعه قرار گرفته اند. (ناگراجایا^۱، ۱۹۹۴؛ رینهورن و رایلی^۲، ۱۹۹۴؛ سیمنز و کلی^۳، ۱۹۹۷)

سیستم‌های کنترل غیر فعال دارای محدودیت عدم قابلیت سازگاری با تغییرات سازه‌ای و شرایط بارگذاری متغیر می‌باشند. در مقابل سیستم‌های کنترل فعال، نیمه فعال و هیبریدی دارای قابلیت سازگارشدن با شرایط عملکردی متعددی می‌باشند. ابزارهای فعال قابل کنترل هستند اما نیاز به انرژی قابل توجهی برای راه اندازی دارند. سیستم‌های کنترل نیمه فعال جنبه‌های مثبت سیستم‌های کنترل فعال و غیر فعال را از آن جهت که قابل کنترل هستند (مانند ابزار کنترل فعال) اما نیاز به انرژی کمی برای راه اندازی دارند، ترکیب می‌کنند. شکل (۴-۱) نحوه ارتباط استراتژی مختلف کنترل را به هم نشان می‌دهد.

۱-۳-۱- کنترل غیر فعال:

استراتژی‌های کنترل غیر فعال، سازه‌ها را در برابر انرژی بارهای دینامیکی ایزوله و انرژی وارده به آنها را مستهلک می‌کنند (هاوزنر و همکاران^۴، ۱۹۹۷). در یک استراتژی کنترل غیر فعال یک وسیله استهلاک انرژی غیرفعال به سازه عمرانی متصل می‌شود. این سیستم‌ها که به عنوان سیستم‌های

¹ - Nagarajaiah
² - Reinhorn and Riley
³ - Symans and Kelly
⁴ - Housner et. al.



شکل (۴-۱) نحوه ارتباط استراتژی مختلف کنترل (ریچارد کریستنسون^۱، ۲۰۰۱)

استهلاک انرژی الحاقی نیز یاد می‌شوند توسط محققان زیادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (سونگ و کونستانینو، ۱۹۹۴؛ کونستانینو و همکاران، ۱۹۹۶). ابزار استهلاک انرژی غیرفعال عبارتند از: میراگرهای سیال ویسکوز^۲، میراگرهای ویسکو الاستیک^۳، میراگرهای اصطکاکی^۴، میراگرهای متالیک، جرم میراگرهای هماهنگ شده^۵، میراگرهای مایع تنظیم شده^۶ و جداسازهای پایه^۷ (سونگ و دارگوش^۸ دارگوش^۸، ۱۹۹۷). هدف این سیستم‌ها جذب مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی و در نتیجه کاهش نیاز سیستم سازه‌ای می‌باشد. بسته به نوع ساخت آنها، این سیستم‌ها می‌توانند سختی و مقاومت سازه متصل شده به آن را نیز افزایش دهند (استاندارد ATC برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، ۱۹۹۴).

ابزار غیرفعال توسط ماهیت استهلاکی نیروی کنترلی‌شان و مشخصات ثابت آنها (مثلا ضریب میرایی) توصیف می‌شوند. ابزار غیرفعال اغلب به طور بهینه به منظور حفاظت از سازه در برابر یک بارگذاری دینامیکی خاص تنظیم می‌شوند و از این رو عملکرد این ابزار برای دیگر سناریوها و ترکیبات بارگذاری محدود می‌باشد. به عنوان مثال یک میراگر غیرفعال که به طور بهینه برای کاهش پاسخ‌های کابل در مود اول طراحی شده ممکن است برای کاهش پاسخ کابل در مود دوم و بالاتر بهینه نباشد.

¹ - Richard E. Christenson

² - viscous fluids

³ - viscoelastic

⁴ - friction damper

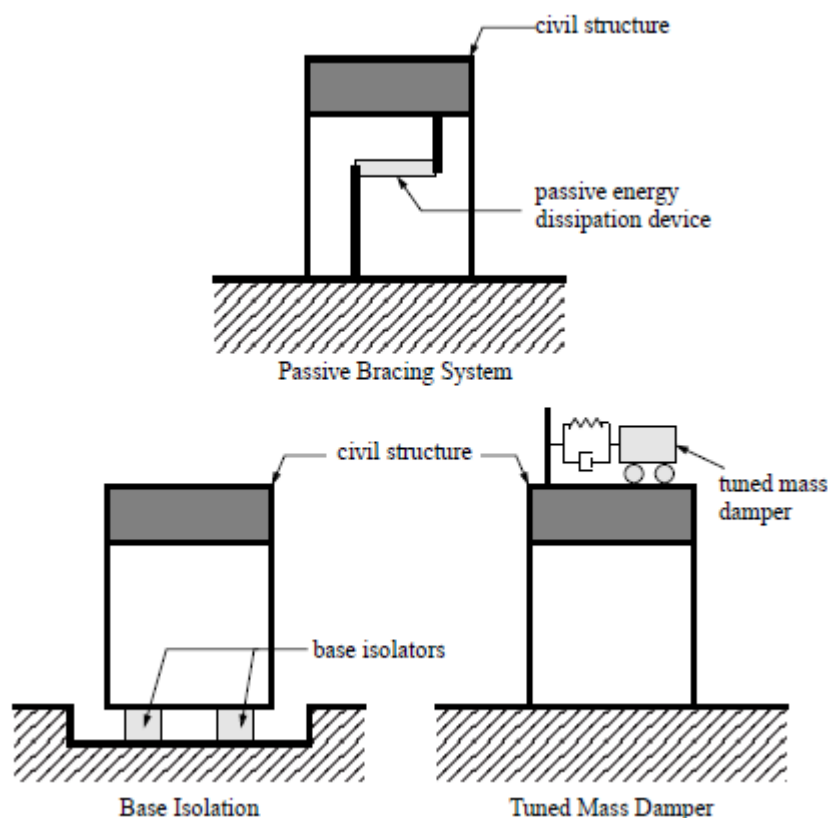
⁵ - tuned mass dampers (TMDs)

⁶ - tuned liquid dampers (TLDs)

⁷ - base isolaton

⁸ - Soong and Dargush

جداسازی پایه یکی از مشهورترین استراتژی‌های کنترل غیرفعال می‌باشد. در این سیستم سازه بر روی جداسازهای لاستیکی قرار می‌گیرد که سازه را در مقابل حرکت زمین ایزوله می‌کنند. این سیستم‌ها با ایجاد تغییر در پریود سازه سبب کاهش نیروهای وارده به آن می‌شوند. از جمله ابزار اتلاف انرژی غیرفعال دیگر، جرم میراگرهای هماهنگ شده (TMDs) می‌باشند. در سازه مجهز به سیستم جرم میراگر هماهنگ شده انرژی از سازه اصلی به TMD انتقال یافته و بدین ترتیب مستهلک می‌شود. سیستم‌هایی مثل جرم میراگرهای هماهنگ شده و یا میراگرهای مایع تنظیم شده فقط در باند فرکانسی باریک مؤثر هستند زیرا این ابزار معمولاً برای فرکانس مود اول سازه تنظیم می‌شوند. چنین میراگرها می‌توانند برای جلوگیری از ارتعاش سازه تحت تحریکات باد که در آن مود اول بر پاسخ سازه غالب است به کار روند اما برای کنترل پاسخ لرزه‌ای که در آن چندین مود مهم می‌باشند دارای نقصان ظرفیت می‌باشند. همچنین ابزارهای استهلاک انرژی غیرفعال می‌توانند به صورت سیستم‌های مهاربندی غیرفعال ما بین طبقات سازه متصل شوند. در شکل (۵-۱) نمونه‌هایی از استراتژی‌های کنترل غیرفعال به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند.



شکل (۵-۱) نمونه‌هایی از استراتژی‌های کنترل غیرفعال (ریچارد کریستنسون^۱، ۲۰۰۱)

^۱- Christenson