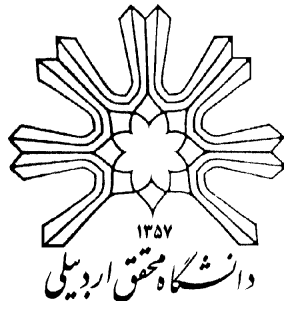


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



گروه مهندسی زلزله

کنترل نیمه فعال سازه‌های غیر خطی

استاد راهنما:

دکتر محتشم محبی

توسط:

سید احسان آقا کوچکی حسینی

دانشگاه محقق اردبیلی

آبان-۱۳۸۹



کنترل نیمه فعال سازه‌های غیر خطی

توسط:

سید احسان آقا کوچکی حسینی

پایان نامه برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی زلزله

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:.....

دکتر محتشم محبی (استاد راهنما و رئیس کمیته).....استادیار

دکتر امین قلی زاده (داور داخلی).....استادیار

دکتر جمال احمدی (داور خارجی).....استادیار

آبان - ۱۳۸۹

تقدیم به

پدر و مادرم

و

آفتاب مهر، ترنم محبت و روشنی بخش زندگی

همسرم

از زحمات استاد گرانقدر خود دکتر محتشم محبی که در مسیر آموختن همواره چراغ راهم بودند صمیمانه

سپاسگزاری می نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: آقا کوچکی حسینی	نام: سید احسان
عنوان پایان نامه: کنترل نیمه فعال سازه‌های غیر خطی	
استاد راهنما: دکتر محتشم محبی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران گرایش: زلزله
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۹/۸/۲۵
تعداد صفحه: ۱۵۷	
کلید واژه‌ها: کنترل سازه؛ کنترل نیمه فعال؛ میراگرهای مگنتورئولوژیک؛ کنترل بهینه‌ی برشی؛ سازه‌های غیر خطی	
<p>چکیده: از آنجایی که سیستم‌های کنترل نیمه فعال مزایای سیستم‌های کنترل غیر فعال و فعال را دارا بوده و به خوبی با الزامات و قیود کاربردهای لرزه‌ای از جمله نیاز به انرژی بسیار کم سازگارند، لذا در تحقیقات و کاربردهای سیستم‌های کنترل سازه‌ها توجه گسترده‌ای را به خود جلب نموده‌اند. همچنین میراگر مگنتورئولوژیک (MR) به عنوان یک مکانیزم کنترل نیمه فعال موفق برای کاهش پاسخ لرزه‌ای، در سال‌های اخیر بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در اکثر تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد سیستم‌های کنترل نیمه فعال، تمرکز عمده بر روی توسعه‌ی الگوریتم‌ها و ارزیابی کارایی مکانیزم‌های کنترل نیمه فعال در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های خطی بوده و تحقیقات در رابطه با سازه‌های غیر خطی محدود می باشد، در حالیکه تحت تحریکات لرزه‌ای قوی ممکن است اعضای سازه‌ای تسلیم شده و سازه وارد ناحیه غیر خطی شود. در این پایان نامه کاربرد میراگر MR برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های غیر خطی بررسی شده است. به خاطر ماهیت غیر خطی ذاتی میراگر MR و همچنین رفتار غیر خطی سازه، یک چالش در کاربرد مؤثر میراگر MR توسعه‌ی یک الگوریتم کنترل نیمه فعال مناسب می‌باشد. برای مدل سازی رفتار دینامیکی میراگر MR از مدل بوک-ون اصلاح شده استفاده شده و الگوریتم کنترل بهینه‌ی برشی برای کاربرد در سازه‌های غیر خطی توسعه داده شده است. برای فیدبک پاسخ‌ها از شتاب که به آسانی قابل اندازه‌گیری است و برای تعیین نیروهای کنترل مطلوب از استراتژی‌های کنترل H_2/LQG به خاطر کاربرد موفقیت آمیزشان در دیگر کاربردهای کنترل سازه‌ی مهندسی عمران استفاده شده است. برای اثبات کارایی روش استفاده شده برای الگوریتم کنترل نیمه فعال و میراگر MR برای کاهش پاسخ‌های سازه غیر خطی، سازه‌های ۳ و ۵ طبقه به صورت قاب برشی با رفتار غیر خطی از نوع دو خطی و هیسترسیس در نظر گرفته شده و میزان کاهش در پاسخ سازه تحت زلزله‌های مختلف تعیین شده است. آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای مختلف الگوریتم کنترلی و مکانیزم MR انجام شده و برای ارزیابی اثر مشخصات زلزله در عملکرد میراگر MR بر روی قاب‌های غیر خطی، نتایج تحلیل عددی تحت تحریکات دور گسل و نزدیک گسل گزارش شده‌اند. نتایج شبیه سازی‌های عددی کارایی روش استفاده شده و همچنین میراگر MR را در بهبود پاسخ لرزه‌ای قاب‌های غیر خطی نشان می‌دهند.</p>	

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کنترل سازه‌ها.....	۱
۱-۱ پیشگفتار.....	۲
۲-۱ استراتژی‌های کنترل غیر فعال.....	۵
۳-۱ استراتژی‌های کنترل فعال.....	۱۴
۴-۱ استراتژی‌های کنترل نیمه فعال.....	۲۲
۵-۱ استراتژی‌های کنترل هیبریدی.....	۳۲
فصل دوم: مکانیزم‌ها و الگوریتم‌های کنترل نیمه فعال.....	۳۷
۱-۲ مکانیزم‌های کنترل نیمه فعال.....	۳۸
۱-۱-۲ اریفیس متغیر.....	۳۸
۲-۱-۲ ابزار اصطکاک متغیر.....	۳۹
۳-۱-۲ میراگرهای جرمی تنظیم شده‌ی نیمه فعال.....	۴۲
۴-۱-۲ میراگرهای مایع تنظیم شده‌ی نیمه فعال.....	۴۳
۵-۱-۲ جاذب‌های ارتعاش نیمه فعال.....	۴۳
۶-۱-۲ ابزار کنترل سختی نیمه فعال.....	۴۵
۷-۱-۲ میراگرهای سیال ویسکوز نیمه فعال.....	۴۶
۸-۱-۲ میراگرهای الکترورنولوژیک.....	۴۷
۹-۱-۲ میراگرهای مگنتورنولوژیک.....	۴۸
۲-۲ الگوریتم‌ها.....	۵۰
۱-۲-۲ کنترل مبتنی بر تئوری پایداری لیپانوف.....	۵۱
۲-۲-۲ الگوریتم کنترل مسیر خودکار نامتمرکز.....	۵۳
۳-۲-۲ روش استهلاک انرژی ماکزیمم.....	۵۴
۴-۲-۲ کنترل بهینه‌ی برشی.....	۵۵

- ۵۷..... ۵-۲-۲ روش اصطکاک همگن تنظیم شده
- ۶۰..... فصل سوم: کنترل ارتعاشات سازه‌ها با استفاده از میراگر MR
- ۶۱..... ۱-۳ سیالات مگنتورئولوژیک (MR)
- ۶۳..... ۲-۳ میراگرهای سیال مگنتورئولوژیک (MR)
- ۶۴..... ۳-۳ مدل‌های ریاضی میراگرهای MR
- ۶۶..... ۱-۳-۳ مدل‌های پارامتریک
- ۶۶..... ۱-۱-۳-۳ مدل بینگهام
- ۶۸..... ۲-۱-۳-۳ مدل بوک-ون
- ۶۹..... ۳-۱-۳-۳ مدل‌های تانژانت هیپربولیک
- ۷۱..... ۴-۱-۳-۳ مدل اصطکاک دال
- ۷۲..... ۲-۳-۳ مدل‌های غیر پارامتریک
- ۷۲..... ۱-۲-۳-۳ مدل‌های شبکه‌ی عصبی
- ۷۳..... ۲-۲-۳-۳ مدل‌های منطق فازی
- ۷۳..... ۳-۲-۳-۳ مدل‌ها
- ۷۴..... ۴-۳ تکنیک‌های کنترل نیمه فعال برای میراگرهای MR
- ۷۴..... ۱-۴-۳ کنترل مبتنی بر مدل
- ۷۵..... ۲-۴-۳ تکنیک‌های کنترل هوشمند
- ۷۶..... ۵-۳ مقدمه
- ۷۷..... ۱-۵-۳ توسعه‌ی الگوریتم کنترل بهینه‌ی برشی برای میراگر MR در سازه‌های با رفتار خطی
- ۸۳..... ۶-۳ مقدمه
- ۸۴..... ۱-۶-۳ کاربرد میراگر MR در سازه‌های غیر خطی
- ۸۶..... ۷-۳ مدل ریاضی و تکنیک کنترل استفاده شده برای میراگر MR در این پایان نامه
- ۸۷..... فصل چهارم: تحلیل و مثال‌های عددی
- ۸۸..... ۱-۴ مقدمه
- ۸۹..... ۲-۴ مدل سازی میراگر MR

۹۲ ۳-۴ مثال‌های عددی

۹۲ ۱-۳-۴ مثال اول

۱۰۶ ۲-۳-۴ مثال دوم

۱۱۳ ۳-۳-۴ مثال سوم

۱۴۲ فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۱۴۳ ۱-۵ نتایج

۱۴۵ ۲-۵ پیشنهادات

۱۴۶ منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۹۵.....	جدول (۱-۴) پارامترهای مربوط به مدل میراگر MR.....
۹۶.....	جدول (۲-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی در برابر زلزله‌ی ال سنترو.....
۹۷.....	جدول (۳-۴) مقایسه‌ی نتایج حاصله از تحلیل عددی انجام شده در این تحقیق با نتایج ارائه شده توسط دایک و همکاران.....
۱۰۰.....	جدول (۴-۴) پارامترهای مربوط به مدل میراگر MR.....
۱۰۱.....	جدول (۵-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی در برابر زلزله‌ی ال سنترو با استفاده از پارامترهای جدول (۴-۴).....
۱۰۲.....	جدول (۶-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی کنترل شده با استفاده از پارامترهای جدول (۴-۱) و به ازای ولتاژهای اعمالی مختلف به میراگر MR.....
۱۰۳.....	جدول (۷-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی کنترل شده به ازای مقادیر مختلف r
۱۰۵.....	جدول (۸-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی کنترل شده در حالت انتخاب ماتریس وزن Q که شتاب تمام طبقات را وزن دار میکند و به ازای پارامترهای r مختلف.....
۱۰۸.....	جدول (۹-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو.....
۱۱۰.....	جدول (۱۰-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی کنترل شده به ازای مقادیر مختلف پارامتر r
۱۱۱.....	جدول (۱۱-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی کنترل شده در حالتی که ماتریس وزن Q شتاب تمام طبقات را وزن دار میکند و به ازای مقادیر مختلف پارامتر r
۱۱۲.....	جدول (۱۲-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی کنترل شده به ازای ولتاژهای ماکزیمم مختلف برای میراگر MR.....
۱۱۳.....	جدول (۱۳-۴) پارامترهای مربوط به مدل میراگر MR.....
۱۱۵.....	جدول (۱۴-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو.....
۱۱۶.....	جدول (۱۵-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو.....
۱۲۰.....	جدول (۱۶-۴) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو به ازاء مقادیر مختلف ولتاژ ماکزیمم اعمال شده به میراگر MR.....

- جدول (۴-۱۷) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو در حالتی که ماتریس وزن Q شتاب طبقه‌ی پنجم را وزن دار میکند و به ازاء ماتریسهای وزن r مختلف ۱۲۱
- جدول (۴-۱۸) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو در حالتی که ماتریس وزن Q شتاب تمام طبقات را وزن دار میکند و به ازاء مقادیر مختلف ماتریس وزن r ۱۲۳
- جدول (۴-۱۹) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی ناشی از ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوحه ۱۲۴
- جدول (۴-۲۰) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوحه ۱۲۶
- جدول (۴-۲۱) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه ۱۳۰
- جدول (۴-۲۲) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی ناشی از ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه ۱۳۲
- جدول (۴-۲۳) پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی ناشی از ۵۰٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۶
- جدول (۴-۲۴): پاسخ‌های ماکزیمم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۸

فهرست تصاویر

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) استراتژی‌های کنترل و ابزار میرایی الحاقی مربوطه	۳
شکل (۲-۱) برج آب به همراه ابزار میرایی	۴
شکل (۳-۱) طرح کلی سازه با استهلاک انرژی غیر فعال	ک
شکل (۴-۱) ساختمان ورزشی سو و بیل گراس بانوان در بیمارستان یادبود هواگ (پرزبیتری)، ساحل نیوپورت، کالیفرنیا و نصب سیستم جداساز پایه	۷
شکل (۵-۱) تکیه گاه الاستومریک با لایه‌های فلزی	۷
شکل (۶-۱) تکیه گاه درپوش - سربی	۸
شکل (۷-۱) تکیه‌گاه لاستیک طبیعی با میرایی بالا تولید شده توسط BTR Andre و برش عرضی تکیه‌گاه تحت آزمایش	۸
شکل (۸-۱) میراگر جرمی تنظیم شده بر روی سازه	۸
شکل (۹-۱) جاذب ارتعاش دینامیکی نامیرا	۹
شکل (۱۰-۱) انواع معمول میراگرهای جرمی تنظیم شده	۹
شکل (۱۱-۱) نمونه‌ای از کاربرد میراگر جرمی تنظیم شده در ساختمان Citicorp, NYC	۱۰
شکل (۱۲-۱) میراگر مایع متحرک با توری‌های سیمی و میله‌ها و میراگر مایع ستونی با اریفیس	۱۰
شکل (۱۳-۱) انواع معمول میراگرهای اصطکاکی	۱۱
شکل (۱۴-۱) انواع معمول میراگرهای تسلیم متالیک	۱۲
شکل (۱۵-۱) میراگر ویسکوالاستیک	۱۳
شکل (۱۶-۱) انواع معمول میراگرهای سیال ویسکوز	۱۴
شکل (۱۷-۱) مثال‌هایی از استراتژی کنترل فعال	۱۵
شکل (۱۸-۱) مقایسه‌ی طرح کلی سازه‌های هوشمند استفاده کننده از میراگر جرمی فعال (AMD) و میراگر جرمی تنظیم شده (TMD)	۱۶
شکل (۱۹-۱) دیاگرام طرح کلی سیستم تاندون فعال	۱۶
شکل (۲۰-۱) سیستم مهاربند فعال با القاگر هیدرولیکی	۱۷

- شکل (۲۱-۱) دیاگرام طرح کلی یک سیستم کنترل فعال..... ۱۷
- شکل (۲۲-۱) ساختمان کیوباشی سیوا کنترل شده به طور فعال در توکیو..... ۱۸
- شکل (۲۳-۱) کاربرد AMD در برج ارتباطی نانجینگ..... ۱۸
- شکل (۲۴-۱) کنترل فعال با سیستم DUOX (AMD همزمان دو جهتی بر روی TMD)..... ۱۹
- شکل (۲۵-۱) کاربرد سیستم DUOX در ساختمان آندو نیشیکیچو، شرکت کاجیما، توکیو، ژاپن، ۱۹۹۳..... ۱۹
- شکل (۲۶-۱) کنترل فعال با Trigon (سیستم جرم آونگی غلتکی)..... ۲۰
- شکل (۲۷-۱) کاربرد Trigon در برج شینجوکو، توکیو..... ۲۰
- شکل (۲۸-۱) طرح کلی سیستم کنترل نیمه فعال..... ۲۴
- شکل (۲۹-۱) پل بزرگ I-35 با میراگرهای نیمه فعال (میراگر دهانه متغیر (SAVA))..... ۲۵
- شکل (۳۰-۱) پیکربندی سیستم سختی متغیر (SAVS)..... ۲۵
- شکل (۳۱-۱) ساختمان کاجیما شیزوکا و میراگرهای هیدرولیکی نیمه فعال (ابزار سختی متغیر)..... ۲۶
- شکل (۳۲-۱) موسسه‌ی تحقیقی فنی کاجیما با سیستم سختی متغیر (سیستم AVS)..... ۲۶
- شکل (۳۳-۱) استفاده از میراگر دهانه متغیر در منطقه‌ی سیودم در مرکز شهر توکیو..... ۲۷
- شکل (۳۴-۱) کاربرد دو میراگر جرمی هیبریدی و ۸۸ میراگر نیمه فعال (دهانه متغیر) در برج سیودم در منطقه‌ی سیودم در توکیو..... ۲۷
- شکل (۳۵-۱) برج موری در منطقه‌ی روپونگی توکیو با ۳۵۶ میراگر دهانه متغیر و ۱۹۲ میراگر غیر فعال..... ۲۸
- شکل (۳۶-۱) کاربرد میراگرهای سیال MR ۳۰ تنی تولید شده توسط شرکت ساوان تکی در نیهون-کاگاکو-میرایکان موزه‌ی ملی ابتکار و علوم پدیداری در توکیو..... ۲۸
- شکل (۳۷-۱) نصب میراگر MR بر روی پل دریاچه‌ی دانگتینگ در هونان، چین..... ۲۹
- شکل (۳۸-۱) ساختمان با پایه‌ی جداشده‌ی هوشمند، با استفاده از میراگر دهانه متغیر در دانشگاه کیو (مدرسه‌ی علم و فناوری ژاپن)..... ۲۹
- شکل (۳۹-۱) ساختمان مسکونی با پایه‌ی جدا شده به همراه میراگر سیال MR ۴۰ تنی تولید شده توسط شرکت ساوان تکی..... ۳۰
- شکل (۴۰-۱) طرح کلی سیستم کنترل هیبریدی..... ۳۳
- شکل (۴۱-۱) طرح کلی میراگر جرمی هیبریدی..... ۳۳

- شکل (۱-۴۲) سیستم هیبریدی با جداساز پایه و القاگرها..... ۳۴
- شکل (۱-۴۳) سیستم مهاربند هیبریدی و ابزار کنترل..... ۳۴
- شکل (۱-۴۴) آزمایش بر روی میراگر برای کنترل مهاربند القاگر- میراگر هیبریدی (HDABC) و ساختمان آزمایشی سه طبقه با HDABC..... ۳۶
- شکل (۲-۱) طرح کلی میراگر اریفیس متغیر..... ۳۸
- شکل (۲-۲) میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک (یکی از میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال)..... ۴۱
- شکل (۲-۳) TMD نیمه فعال..... ۴۲
- شکل (۲-۴) طرح کلی جاذب‌های ارتعاش نیمه فعال..... ۴۴
- شکل (۲-۵) ابزار سختی متغیر نیمه فعال..... ۴۵
- شکل (۲-۶) ساختار میراگر سیال ویسکوز نیمه فعال..... ۴۶
- شکل (۲-۷) طرح کلی میراگر ER..... ۴۸
- شکل (۲-۸) طرح کلی میراگر MR..... ۴۹
- شکل (۲-۹) بیان گرافیکی الگوریتم برای انتخاب سیگنال دستوری..... ۵۶
- شکل (۲-۱۰) نیروی کنترل مطلوب ایجاد شده توسط الگوریتم استهلاک انرژی ماکزیمم..... ۵۸
- شکل (۳-۱) مودهای عملکردی میراگر MR..... ۶۴
- شکل (۳-۲) منحنی‌های نیرو- تغییر مکان و نیرو- سرعت برای میراگر MR تحت تحریک سینوسی و میدان‌های مغناطیسی مختلف..... ۶۵
- شکل (۳-۳) مدل مکانیکی بینگهام..... ۶۶
- شکل (۳-۴) مدل مکانیکی بینگهام توسعه یافته..... ۶۷
- شکل (۳-۵) مدل مکانیکی بوک-ون..... ۶۸
- شکل (۳-۶) مدل مکانیکی بوک-ون اصلاح شده..... ۶۹
- شکل (۳-۷) مدل مکانیکی تانژانت هیپربولیک توسط گیوین و همکاران..... ۷۰
- شکل (۳-۸) مدل مکانیکی تانژانت هیپربولیک توسط گو و همکاران..... ۷۱
- شکل (۳-۹) مدل مکانیکی دال..... ۷۲
- شکل (۳-۱۰) دیاگرام مربوط به اجرای میراگر MR..... ۸۲

- شکل (۳-۱۱) دیاگرام بلوکی سیستم کنترل نیمه فعال برای کاربرد در سازه‌های با رفتار خطی ۸۲
- شکل (۴-۱) طرح کلی میراگر MR ۸۹
- شکل (۴-۲) مدل مکانیکی ساده برای میراگر MR ۹۰
- شکل (۴-۳) مؤلفه‌ی شمال- جنوب شتاب زمین زلزله‌ی ال سنترو ۱۹۴۰ ۹۴
- شکل (۴-۴) مؤلفه‌ی شمال- جنوب شتاب زمین زلزله‌ی ال سنترو ۱۹۴۰ (مقیاس شده‌ی زمانی) ۹۵
- شکل (۴-۵) تغییر مکان نسبی طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو، ارائه شده توسط دایک و همکاران (۱۹۹۶) ۹۷
- شکل (۴-۶) شتاب طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو، ارائه شده توسط دایک و همکاران (۱۹۹۶) ۹۷
- شکل (۴-۷) تغییر مکان نسبی طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۹۸
- شکل (۴-۸) شتاب طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۹۸
- شکل (۴-۹) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحریک شده توسط زلزله‌ی ال سنترو ۹۸
- شکل (۴-۱۰) نمودار برش طبقات سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۹۹
- شکل (۴-۱۱) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR به کار رفته در سازه‌ی سه طبقه‌ی خطی تحریک شده توسط زلزله‌ی ال سنترو ۹۹
- شکل (۴-۱۲) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۱۰۶
- شکل (۴-۱۳) شتاب طبقه‌ی سوم سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۱۰۷
- شکل (۴-۱۴) منحنی حلقه‌های هیسترسیس طبقات سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر زلزله‌ی ال سنترو ۱۰۷
- شکل (۴-۱۵) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط زلزله‌ی ال سنترو ۱۰۹
- شکل (۴-۱۶) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی سه طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط زلزله‌ی ال سنترو ۱۰۹
- شکل (۴-۱۷) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو ۱۱۷
- شکل (۴-۱۸) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سنترو ۱۱۷

- شکل (۱۹-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقات اول تا چهارم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سترو
 ۱۱۸
- شکل (۲۰-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سترو..... ۱۱۹
- شکل (۲۱-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سترو
 ۱۱۹
- شکل (۲۲-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی در برابر ۱۰۰٪ زلزله‌ی ال سترو ... ۱۱۹
- شکل (۲۳-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه..... ۱۲۵
- شکل (۲۴-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه..... ۱۲۵
- شکل (۲۵-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه ... ۱۲۷
- شکل (۲۶-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه..... ۱۲۷
- شکل (۲۷-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقه‌ی اول سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه..... ۱۲۷
- شکل (۲۸-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقات دوم تا پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی هاجینوچه
 ۱۲۸
- شکل (۲۹-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۱۰۰٪ زلزله‌ی
 هاجینوچه..... ۱۲۹
- شکل (۳۰-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۱۰۰٪ زلزله‌ی
 هاجینوچه..... ۱۲۹
- شکل (۳۱-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه .. ۱۳۱
- شکل (۳۲-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی ناشی از ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه..... ۱۳۱
- شکل (۳۳-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه ۱۳۱
- شکل (۳۴-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه..... ۱۳۳
- شکل (۳۵-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه
 ۱۳۳
- شکل (۳۶-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی ناشی از ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه..... ۱۳۳
- شکل (۳۷-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقات اول تا چهارم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۵۰٪ زلزله‌ی کوبه .. ۱۳۴

- شکل (۳۸-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی کوبه ۱۳۵
- شکل (۳۹-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحریک شده توسط ۰.۵٪ زلزله‌ی کوبه ۱۳۵
- شکل (۴۰-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی کوبه .. ۱۳۵
- شکل (۴۱-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی ناشی از ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۷
- شکل (۴۲-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی ناشی از ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۷
- شکل (۴۳-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی تحریک شده توسط ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۷
- شکل (۴۴-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج .. ۱۳۹
- شکل (۴۵-۴) تغییر مکان نسبی (نسبت به زمین) طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۹
- شکل (۴۶-۴) شتاب طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۳۹
- شکل (۴۷-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقات اول تا چهارم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۴۰
- شکل (۴۸-۴) حلقه‌های هیسترسیس طبقه‌ی پنجم سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۴۱
- شکل (۴۹-۴) نمودار ولتاژ اعمالی به میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۴۱
- شکل (۵۰-۴) نمودار نیروی تولیدی توسط میراگر MR در سازه‌ی پنج طبقه‌ی غیر خطی تحت اثر ۰.۵٪ زلزله‌ی نورتریج ۱۴۱

- شکل (۱-۱) استراتژیهای کنترل و ابزار میرایی الحاقی مربوطه
- شکل (۲-۱) برج آب به همراه ابزار میرایی
- شکل (۳-۱) طرح کلی سازه با استهلاک انرژی غیر فعال
- شکل (۴-۱)
- شکل (۵-۱) تکیه گاه الاستومریک با لایه های فلزی
- شکل (۶-۱) تکیه گاه درپوش-سربی
- شکل (۷-۱)
- شکل (۸-۱) میراگر جرمی تنظیم شده بر روی سازه
- شکل (۹-۱) جاذب ارتعاش دینامیکی نامیرا
- شکل (۱۰-۱) انواع معمول میراگرهای جرمی تنظیم شده
- شکل (۱۱-۱) نمونه ای از کاربرد میراگر جرمی تنظیم شده در ساختمان Citicorp, NYC
- شکل (۱۲-۱)
- شکل (۱۳-۱) انواع معمول میراگرهای اصطکاکی
- شکل (۱۴-۱) انواع معمول میراگرهای تسلیم متالیک
- شکل (۱۵-۱) میراگر ویسکوالاستیک
- شکل (۱۶-۱) انواع معمول میراگرهای سیال ویسکوز
- شکل (۱۷-۱) مثال هایی از استراتژی کنترل فعال
- شکل (۱۸-۱) مقایسه ی طرح کلی سازه های هوشمند استفاده کننده از میراگر جرمی فعال (AMD) و میراگر جرمی تنظیم شده (TMD)
- شکل (۱۹-۱) دیاگرام طرح کلی سیستم تاندون فعال
- شکل (۲۰-۱) سیستم مهاربند فعال با القاگر هیدرولیکی
- شکل (۲۱-۱) دیاگرام طرح کلی یک سیستم کنترل فعال
- شکل (۲۲-۱) ساختمان کیوباشی سیوا کنترل شده به طور فعال در توکیو
- شکل (۲۳-۱) کاربرد AMD در برج ارتباطی نانجینگ
- شکل (۲۴-۱) کنترل فعال با سیستم DUOX (AMD همزمان دو جهتی بر روی TMD)
- شکل (۲۵-۱) کاربرد سیستم DUOX در ساختمان آندو نیشیکیچو، شرکت کاجیما، توکیو، ژاپن، ۱۹۹۳
- شکل (۲۶-۱) کنترل فعال با Trigon (سیستم جرم آونگی غلتکی)
- شکل (۲۷-۱) کاربرد Trigon در برج شینجوکو، توکیو
- شکل (۲۸-۱) طرح کلی سیستم کنترل نیمه فعال
- شکل (۲۹-۱) پل بزرگ I-35 با میراگرهای نیمه فعال (میراگر دهانه متغیر (SAVA))
- شکل (۳۰-۱) پیکربندی سیستم سختی متغیر (SAVS)
- شکل (۳۱-۱) ساختمان کاجیما شیزوکا و میراگرهای هیدرولیکی نیمه فعال (ابزار سختی متغیر)
- شکل (۳۲-۱) موسسه ی تحقیقی فنی کاجیما با سیستم سختی متغیر (سیستم AVS)
- شکل (۳۳-۱) استفاده از میراگر دهانه متغیر در منطقه ی سیودم در مرکز شهر توکیو

شکل (۳۴-۱) کاربرد دو میراگر جرمی هیبریدی و ۸۸ میراگر نیمه فعال (دهانه متغیر) در برج سیودم در منطقه‌ی سیودم در توکیو

شکل (۳۵-۱) برج موری در منطقه‌ی روپونگی توکیو با ۳۵۶ میراگر دهانه متغیر و ۱۹۲ میراگر غیر فعال

شکل (۳۶-۱) کاربرد میراگرهای سیال MR ۳۰ تنی تولید شده توسط شرکت ساوان تکی در نیهون-کاگاکو-میرایکان موزه‌ی ملی ابتکار و علوم پدیداری در توکیو

شکل (۳۷-۱) نصب میراگر MR بر روی پل دریاچه‌ی دانگتینگ در هونان، چین

شکل (۳۸-۱) ساختمان با پایه‌ی جداشده‌ی هوشمند، با استفاده از میراگر دهانه متغیر در دانشگاه کیو (مدرسه‌ی علم و فناوری ژاپن)

شکل (۳۹-۱) ساختمان مسکونی با پایه‌ی جدا شده به همراه میراگر سیال MR ۴۰ تنی تولید شده توسط شرکت ساوان تکی

شکل (۴۰-۱) طرح کلی سیستم کنترل هیبریدی

شکل (۴۱-۱) طرح کلی میراگر جرمی هیبریدی

شکل (۴۲-۱) سیستم هیبریدی با جداساز پایه و القاگرها

شکل (۴۳-۱) سیستم مهاربند هیبریدی و ابزار کنترل

شکل (۴۴-۱)

شکل (۱-۲) طرح کلی میراگر اریفیس متغیر

شکل (۲-۲) میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک (یکی از میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال)

شکل (۳-۲) TMD نیمه فعال

شکل (۴-۲) طرح کلی جاذب‌های ارتعاش نیمه فعال

شکل (۵-۲) ابزار سختی متغیر نیمه فعال

شکل (۶-۲) ساختار میراگر سیال ویسکوز نیمه فعال

شکل (۷-۲) طرح کلی میراگر ER

شکل (۸-۲) طرح کلی میراگر MR

شکل (۹-۲) بیان گرافیکی الگوریتم برای انتخاب سیگنال دستوری

شکل (۱۰-۲) نیروی کنترل مطلوب ایجاد شده توسط الگوریتم استهلاك انرژی ماکزیمم

شکل (۱-۳) مودهای عملکردی میراگر MR

شکل (۲-۳) منحنی‌های نیرو-تغییر مکان و نیرو-سرعت برای میراگر MR تحت تحریک سینوسی و میدان‌های مغناطیسی مختلف

شکل (۳-۳) مدل مکانیکی بینگهام

شکل (۴-۳) مدل مکانیکی بینگهام توسعه یافته

شکل (۵-۳) مدل مکانیکی بوک-ون

شکل (۶-۳) مدل مکانیکی بوک-ون اصلاح شده

شکل (۷-۳) مدل مکانیکی تانزانته هیپربولیک توسط گیوین و همکاران

شکل (۸-۳) مدل مکانیکی تانزانته هیپربولیک توسط گو و همکاران