دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد (عمران-سازه)

عنوان:

کاهش بهینه پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از سیستم‌های کنترل نیمه فعال و شبکه عصبی

استاد راهنما:
دکتر محمدرضا قاسمی

تحقیق و نگارش:
احسان برقی

تیر ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان کاهش بهینه پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از سیستم‌های کنترل نیمه فعال و شبکه‌های عصبی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد سازه توسط دانشجو احسان برقی تحت راهنمایی استاد پایان نامه محمد رضا قاسمی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

احسان برقی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۰۶ توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر محمدرضا قاسمی		
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:	دکتر محمدرضا سهرابی		
داور ۲:	دکتر غلامرضا عزیزیان		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر شفیعی		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب احسان برقی تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: احسان برقی

امضاء

تقدیم به:

ساحت مقدس آقا علی ابن موسی الرضا (ع)

محضر حضرت ولی عصر (عجل الله تعالی)

تمام زندگی ام

پدر و مادرم

که دعایشان آرام بخش روحم در تلاطم دریای مواج زندگی است

همسر مهربانم

که بی یاری او این دشوار، ناممکن می نمود

برادر و خواهرانم

حامیان همیشگی ام در مسیر زندگی

سپاسگزاری

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت،

هر نفسی که فرو می رود ممد حیات است و چون برمی آید مفرح ذات پس در هر نفس دو نعمت است و بر هر نعمت شکری واجب

سپاس فراوان ایزد پاک را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند، باری دیگر بی‌هیچ منت مرا مورد رحمت خویش قرار داد و توفیق را رفیق راهم ساخت تا مسئولیتی دیگر را به پایان برسانم. بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات یکان یکان عزیزان جان که هماره مرا مورد محبت خویش قرار دادند قدردانی نمایم. از پدر و مادرم همانان که وجودم وامدار وجودشان است و پیوسته بر غفلت‌هایم قلم عفو کشیدند و دعای خیرشان را توشه‌ام ساختند بی‌نهایت سپاسگزارم. از استاد اندیشمند و بزرگوارم آقای دکتر محمدرضا قاسمی که با سعه صدر و حسن خلق در راستای تحقق این مهم از هیچ کمکی بر من دریغ ننمودند بی‌کران سپاسگزارم. از استادان فرزانه آقایان دکتر مهدی اژدری مقدم و دکتر غلامرضا عزیزیان و دکتر محمدرضا سهرابی و مهندس فرهاد بروشکی که چون شمعی فروزان روشنی بخش مسیرم بودند سپاسگزارم. از آقای دکتر سعید فراهت از گروه مهندسی مکانیک و سرکار خانم دکتر هنگامه کشاورز از گروه مهندسی برق دانشگاه سیستان و بلوچستان و همچنین آقای دکتر عباس کرم الدین از گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد که در زمینه‌های مربوط اطلاعات کافی را در اختیار بنده قرار دادند سپاسگزارم. از خانواده‌ام به سبب حمایت‌های بی‌ریایشان که تمامی خستگی‌های مسیر را به امید و روشنی برایم تبدیل نمودند سپاسگزارم. امید آن‌که در آینده‌ای نه چندان دور پاسخگوی محبتشان باشم. سپاس فراوان نثار یکان یکان دوستان مهرورزم مصطفی رستمی، مریم مغنی‌نژاد، محمد مهدی هوشمند، احمد فرخی، مسعود آرامی فدافن، مجتبی گودرزی، نوید علیزاده، ناصر کاظمی، حمید خوش‌اندام، مرتضی هنرور، فرزاد طوسی، احسان بهادری، سعید قدرتی، محمد خدابخش، محمد پاریزی، مهدی فرزادمهر، فرزاد آزادمنش، حمید نوروزی، محمد ابراهیمی، سجاد موسوی، علی سلاجقه، میلاد صحرایی،سیاوش کیمیایی، ابراهیم امین الرعایایی، جواد کوثری و آقای مهندس جعفر واحدی که در سختی روزگاران یاورم بودند.

چکیده:

روش‌های سنتی کاهش مضرات لرزه‌ای، بر اساس طراحی سازه‌ها با ظرفیت کافی برای جذب انرژی و مقاومت در برابر نیروهای لرزه‌ای وارده به سازه می‌باشد. کنترل سازه‌ها به عنوان یکی از روش‌های جدید در مهندسی عمران توجه محققان زیادی را جلب کرده است. کنترل نیمه‌فعال سازه‌ها که ترکیبی از دو روش کنترل فعال و غیر فعال می‌باشد نشان داده است که قابلیت‌های بالقوه‌ی زیادی در کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها دارد. میراگرهای MR بعنوان یکی از روش‌های کنترل نیمه فعال با ویژگی‌های منحصر بفرد از جایگاه ویژه‌ای در کنترل سازه‌ها برخوردارند. در این پژوهش مدل معکوس رفتار دینامیکی میراگر MR با استفاده از شبکه عصبی RBF بهینه شده بوسیله‌ی الگوریتم PSO ایجاد شده است. این شبکه با دریافت مقدار نیروی کنترل بهینه که بر اساس پاسخ‌های لرزه‌ای سازه و با استفاده از الگوریتم کنترلی LQR تعیین می‌گردد، به تخمین ولتاژ بهینه‌ی ورودی به میراگر MR می‌پردازد. در بررسی‌های بعمل‌آمده از شبکه عصبی پیشنهادی بهینه و شبکه‌های عصبی RBF متداول مشخص گردید که شبکه‌ی پیشنهادی بهینه در فرآیند آموزش دارای خطای نسبتا بالاتری از شبکه عصبی RBF متداول می‌باشد، اما در فرآیند آزمون که شبکه عملیات پیش بینی داده های جدید را انجام می‌دهد شبکه‌ی عصبی پیشنهادی بهینه، خطاهای MAE، MSE و SSE را نسبت به شبکه عصبی RBF متداول در بهترین حالت به میزان ۱۳/۵۶٪، ۳۸/۷۶٪ و ۳۹٪ و به طور میانگین ۶/۶۶ ٪، ۳۶/۸۳٪ و ۳۷/۰۲٪ بهبود بخشید. پس از ایجاد شبکه عصبی پیشنهادی بهینه، در محیط سیمولینک نرم افزار متلب، مدل کلی کنترل سازه ایجاد گردید. این مدل متشکل از ۴ بخش اساسی: تحلیل و تعیین پاسخ‌های لرزه‌ای سازه، تعیین نیروی کنترل بهینه، تخمین میزان ولتاژ بهینه بر اساس نیروی کنترل لازم بوسیله‌ی شبکه عصبی پیشنهادی و تولید نیروی کنترل لازم بوسیله‌ی میراگر MR بر اساس پاسخ‌های سازه و ولتاژ بهینه، می‌باشد. سپس با استفاده از مدل ایجاد شده به عنوان مثال اول یک قاب ۲ بعدی ۳ طبقه یک دهانه تحت ۴ زلزله و چیدمان‌های متفاوت قرار گرفت و مشخص گردید در صورتی که چیدمان میراگرها به گونه‌ای باشد که اکثر میراگرها در طبقات فوقانی سازه توزیع گردند، سیستم کنترلی بیشترین تاثیر را در استهلاک نیروهای لرزه‌ای وارده به سازه دارد. در مثال دوم که یک قاب ۲ بعدی ۸ طبقه یک دهانه می‌باشد با استفاده از نتایج مثال قبل ۶ میراگر به نحو مناسبی در طبقات سازه توزیع گردیدند و تاثیر مقادیر مختلف نسبت‌های میرایی

ذاتی سازه بر روی سیستم کنترلی بررسی گردید. با مطالعه و بررسی نتایج بدست آمده از این مثال، مشخص گردید که با بالا رفتن نسبت میرایی ذاتی سازه‌ها، بیشتر نیروهای لرزه‌ای بوسیله‌ی اعضای سازه مستهلک می‌گردد و فرآیند کاهش پاسخ لرزه‌ای توسط سیستم کنترلی دچار یک سیر نزولی غیر خطی می‌شود. همچنین مشخص گردید که هرچه میزان بیشینه‌ی شتاب زلزله‌های وارده به سازه بیشتر باشد، به نیروی کنترل بزرگتری برای استهلاک نیروهای لرزه‌ای نیاز می‌باشد. که با افزایش نسبت میرایی ذاتی سازه، نیروی کنترل لازم بصورت غیر خطی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سیستم کنترل نیمه فعال، میراگرهای MR، کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها، شبکه عصبی RBF بهینه شده با الگوریتم PSO، الگوریتم کنترل LQR، چیدمان میراگرهای MR.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده: .....ح

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- هدف از این تحقیق ۳

۱-۳- فرضیات تحقیق ۴

۱-۴- روش انجام تحقیق ۴

۱-۵- نحوه تنظیم پایان نامه..... ۵

فصل دوم: کنترل سازه ها ۷

۲-۱- مقدمه..... ۸

۲-۲- تجهیزات و سیستم‌های کنترل سازه ۹

۲-۲-۱- سیستم کنترل غیر فعال سازه‌ها ۹

۲-۲-۱-۱- سیستم‌های جداسازی پی:..... ۱۰

۲-۲-۱-۲- میراگرهای جرمی تنظیم شده :..... ۱۱

۲-۲-۱-۳- میراگرهای مایع تنظیم شده :..... ۱۲

۲-۲-۱-۴- میراگرهای اصطکاکی : ۱۲

۲-۲-۱-۵- میراگرهای فلزی جاری شونده :..... ۱۴

۲-۲-۱-۶- میراگرهای ویسکو الاستیک:..... ۱۵

۲-۲-۱-۷- میراگرهای مایع ویسکوز : ۱۶

۲-۲-۲- سیستم کنترل فعال سازه ها: ۱۶

۲-۲-۲-۱- میراگرهای جرمی فعال: ۱۸
۲-۲-۲-۲- سیستمهای تاندون فعال: ۱۸
۲-۲-۲-۳- سیستمهای مهاربندی فعال: ۱۹
۲-۲-۳- سیستم های کنترل نیمه فعال سازه ها: ۲۰
۲-۲-۳-۱- میراگرهای جرمی تنظیم شده نیمه فعال: ۲۱
۲-۲-۳-۲- میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال: ۲۱
۲-۲-۳-۳- دستگاه‌های کنترل سختی نیمه فعال : ۲۲
۲-۲-۳-۴- میراگرهای الکتروجریانی : ۲۲
۲-۲-۳-۵- میراگرهای مغناطیسی جریانی : ۲۴
۲-۲-۳-۶- میراگرهای ویسکوز نیمه فعال : ۲۵
۲-۲-۴- سیستم های کنترل مرکب سازه ها: ۲۶
۲-۲-۴-۱- میراگرهای جرمی مرکب : ۲۶
۲-۲-۴-۲- سیستم جداسازی پی مرکب : ۲۷
فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۹
۳-۲- استفاده ازمیراگر MR وکنترلگر فازی ۲۹
۳-۳- استفاده از میراگر و یک کنترلگر پیشگوی عصبی ۳۰
۳-۴- استفاده از میراگرMR و شبکه عصبی فازی ۳۱
۳-۵- استفاده ازمیراگرMR کنترلگر فازی همراه با پیشگوی شبکه عصبی ۳۲
۳-۶- استفاده ازمیراگر MR و کنترلگر فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک ۳۴
۳-۷- کنترل شتاب مطلق سازه با استفاده از روش LQG ۳۴
۳-۸- استفاده از شبکی عصبی برای مدل معکوس میراگر MR و کنترلگر فازی تطبیق پذیر ۳۵

۳-۹- استفاده ازمیراگرMR و شناسایی و کنترل سیستم سازه ای درآزمایشگاه..... ۳۷
۳-۱۰- استفاده ازمیراگر MR کنترلگر فازی و کنترلگر هدف LQR ۳۷
فصل چهارم: میراگرهای مغناطیسی جریانی ۳۹
۴-۱- مقدمه..... ۴۰
۴-۱-۱- مدل بینگهام: ۴۱
۴-۱-۲- مدل گاموتا و فیلیسکو:..... ۴۲
۴-۱-۳- مدل بوث - ون ۴۲
۴-۱-۴- مدل بوث - ون اصلاح شده..... ۴۳
۴-۱-۵- مقایسه مدل‌های رفتاری ذکر شده: ۴۵
۴-۲- شبیه‌سازی رفتار میراگر MR ۴۶
۴-۳- معادله حرکت سازه در فضای حالت: ۵۰
۴-۳-۱- روش تنظیم کننده خطی درجه دوم ۵۳
۴-۳-۲- روش کنترلی گوسی خطی درجه دوم ۵۴
۴-۴- الگوریتم‌های کنترل نیمه فعال..... ۵۵
۴-۴-۱- کنترل پرشی بهینه ۵۵
۴-۴-۲- کنترل لیاپانوف مستقیم ۵۶
۴-۴-۳-کنترل بهینه لحظه‌ای ۵۷
۴-۴-۴- کنترل منطق فازی ۵۷
۴-۴-۵- کنترل شبکه عصبی:..... ۵۸
فصل پنجم: الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات ۵۹
۵-۱- مقدمه..... ۶۰
۵-۲- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات: ۶۱

۵-۳- پیاده سازی روش PSO ۶۳

۵-۴- نسخه بهبود یافته الگوریتم PSO ۶۵

فصل ششم: شبکههای عصبی تابع شعاعی بنیادی ۶۶

۶-۱- مقدمه ۶۷

۶-۲- شبکه عصبی بیولوژیکی ۶۷

۶-۲-۱- مفهوم شبکه ۶۸

۶-۳- شبکه عصبی مصنوعی ۶۹

۶-۳-۱- ساختار شبکه ۷۰

۶-۳-۲- روند آموزش شبکه ۷۰

۶-۳-۳- شبکه های تک لایه ۷۱

۶-۳-۴- شبکه های چند لایه ۷۳

۶-۳-۵- شبکه‌های عصبی تابع شعاعی بنیادی ۷۴

۶-۳-۵-۱- شبکه‌های عصبی تابع شعاعی بنیادی آموزش دیده با الگوریتم PSO ۷۶

۶-۴- کد بندی مسئله بهینه‌سازی: ۷۷

۶-۴-۱- بررسی عملکرد شبکه عصبی پیشنهادی ۷۸

فصل هفتم: کاهش پاسخ لرزه ای سازه ها بوسیله ی میراگر MR و شبکه ی عصبی بهینه ۸۴

۷-۱- مقدمه ۸۵

۷-۲- ایجاد مدل کلی کنترل لرزه ای سازه ها ۸۵

۷-۲- ۱- زلزله های مورد استفاده ۸۶

۷-۲- ۲- معیارهای ارزیابی ۸۸

۷-۳- مطالعات موردی ۸۹

۷-۳-۱- سازه ۳ طبقه ۸۹

۷-۳-۲- سازه ۸ طبقه ۹۷

فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۶

۸-۱- بحث و نتیجه گیری ۱۰۷

۸-۲- ارائه پیشنهادات ۱۰۹

مراجع ۱۱۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱. پارامترهای میراگر MR در مدل بوث-ون اصلاح شده [۱۶] ۴۴
جدول ۴-۲. مقادیرخطاهای مدل‌های رفتاری ارائه شده برای میراگرMR ۴۵
جدول ۶-۱. مشخصات بردارهای تغییرمکان و ولتاژ ورودی به میراگر MR ۷۹
جدول ۶-۲. مشخصات شبکه‌ی مورد استفاده ۷۹
جدول ۶-۳. مقایسه معیار MAE آموزش و آزمون ۲ شبکه ۸۰
جدول ۶-۴.نتایج مقایسه معیار MSE فرآیندهای آموزش و آزمون ۲ شبکه ۸۱
جدول ۶-۵. مقایسه‌ی معیار SSE آموزش و آزمون شبکه‌ها ۸۲
جدول ۷-۱. نحوه ی چیدمان میراگرها برای سازه ی ۳ طبقه ۸۹
جدول ۷-۲. بیشینه پاسخهای لرزه ای سازه ی ۳ طبقه تحت زلزله ی السنترو ۹۱
جدول ۷-۳. بیشینه پاسخهای لرزه ای سازه ی ۳ طبقه تحت زلزله ی هاچینو ۹۲
جدول ۷-۴. بیشینه پاسخهای لرزه ای سازه ی ۳ طبقه تحت زلزله ی کوبه ۹۳
جدول ۷-۵. بیشینه پاسخهای لرزه ای سازه ی ۳ طبقه تحت زلزله ی نورثریج ۹۴
جدول ۷-۶. چیدمان های درنظر گرفته شده برای میراگرها در سازه ی ۸ طبقه ۹۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱. فلوچارت کلی اهداف موردنظر در این پایان نامه ۶

شکل ۲-۱. قابلیت انتقال پذیری سیستم یک درجه آزادی برای میرایی های مختلف [۱] ۸

شکل ۲-۲. قابلیت انتقال‌پذیری سیستم یک درجه آزادی با سیستم‌های کنترل فعال،نیمه فعال و غیر فعال [۱] ۹

شکل ۲-۳. نمونه ای از یک سیستم جداسازی پی [۳] ۱۰

شکل ۲-۴. انواع متداول میراگرهای جرمی تنظیم شونده: (الف)پاندول ساده، (ب) میراگر با پاندول، (ج) پاندول وارونه به همراه میراگر و فنر، (د) میراگر دو جرمی، (ه) میراگر چند مرحله‌ای، (و) جرم لغزان به همراه فنر و میراگر، (ز) جرم موزون به همراه تکیه‌گاه دورانی (ح) جرم بر روی تکیه‌گاه لاستیکی [۲]. ۱۱

شکل ۲-۵. میراگرهای مایع تنظیم شونده: (الف) میراگر لزج به همراه شبکه و میله، (ب) میراگر ستونی روزنه‌دار [۲] ۱۲

شکل ۲-۶. انواع معمول میراگرهای اصطکاکی: (الف) میراگر اصطکاکی بادبند ضربدری، (ب) میراگر اصطکاکی سومیتومو [۲] ۱۳

شکل ۲-۷. انواع متداول میراگرهای فلزی جاری شونده: (الف) سیستم مهاربندی فلزی جاری شونده تیلور، (ب) تجهیزات سختی و میرایی افزوده [۲] ۱۴

شکل ۲-۸. میراگر ویسکوالاستیک: (الف) جزئیات میراگر، (ب) میراگر به‌عنوان عضو رابط، (ج) میراگر به‌عنوان عضوی از مهاربند قطری [۲] ۱۵

شکل ۲-۹. انواع متداول میراگرهای مایع ویسکوز: (الف) میراگر مایع ویسکوز GERB (ب) دیوار میراگر ویسکوز [۲] ۱۶

شکل ۲-۱۰. نمای شماتیک یک سیستم کنترل فعال ۱۷

شکل ۲-۱۱. نمای شماتیک از مقایسه یک سازه با میراگر جرمی فعال و میراگر جرمی تنظیم شونده [۲] ... ۱۸

شکل ۲-۱۲. نمای شماتیکی از سیستم تاندون فعال [۲] ۱۹

شکل ۲-۱۳. سیستم مهاربندی فعال با محرک هیدرولیکی [۲] ۲۰

شکل ۲-۱۴. میراگرجرمی تنظیم شده نیمه فعال [۱] ۲۱
شکل ۲-۱۵. دستگاه سختی متغیر نیمه فعال ۲۳
شکل ۲-۱۶. نمای شماتیک از میراگر ER [۱] ۲۳
شکل ۲-۱۷. نمای شماتیک از مایع MR (الف) در حالت مایع جاری، عدم وجـود میـدان مغناطیسـی؛ (ب) در
حالت نیمه جامد، وجود میدان مغناطیسی [۲] ۲۴
شکل ۲-۱۸. نمای شماتیک از یک میراگر MR [۴] ۲۵
شکل ۲-۱۹. نمونه ای از ساختار میراگر ویسکوز نیمه فعال [۲] ۲۵
شکل ۲-۲۰. نمونه ای از ساختار میراگر جرمی مرکب [۱] ۲۶
شکل ۲-۲۱. سیستم مرکب جداسازی پی به‌همراه محرک‌های فعال [۲] ۲۷
شکل ۳-۱. استراتژی کنترل[۷] ۳۰
شکل ۳-۲. کنترلگر شبکه عصبی نیمه فعال [۷] ۳۱
شکل ۳-۳ . دیاگرام بلوکی مربوط به طرح پسخوری نیروی کنترلی [۸] ۳۲
شکل ۳-۴ . ساختمان شبکه عصبی [۹] ۳۳
شکل ۳-۵. ساختار استراتژی کنترل عصبی فازی [۹] ۳۳
شکل ۳-۶ . استراتژ کنترلی مربوط به همبستگی بین کنترلگر فازی و الگوریتم ژنتیک [۱۰] ۳۴
شکل ۳-۷. منحنی احتمال تجمعی حداکثر شتاب طبقه اول [۱۱] ۳۵
شکل ۳-۸ . استراتژی کنترلی با استفاده از مدل معکوس شبکه عصبی میراگرهای MR [۱۲] ۳۶
شکل ۳-۹. استراتژی فازی تطبیق پذیر [۱۲] ۳۶
شکل ۳-۱۰. نمودار جریانی روال شناسایی مدل سیستم سازه‌ای [۱۳] ۳۷
شکل ۳-۱۱. دیاگرام بلوکی حلقه کنترلی پسخوردی شامل کنترلگر هدف [۱۴] ۳۸
شکل ۳-۱۲. دیاگرام بلوکی حلقه کنترلی پسخوردی شامل کنترلگر فازی [۱۴] ۳۸
شکل ۴-۱. نمای شماتیکی از یک میراگر MR [۱۵] ۴۰
شکل ۴-۲. مدل رفتاری بینگهام برای میراگر MR [۱۶] ۴۱
شکل ۴-۳. مدل ارائه شده توسط گاموتا و فیلیسکو [۱۶] ۴۲
شکل ۴-۴. مدل بوث- ون [۱۶] ۴۳

شکل ۴-۵. مدل بوث - ون اصلاح شده [۱۶] ۴۴
شکل ۴-۶. نمای شماتیکی از مدل بوث – ون اصلاح شده شبیه‌سازی شده در سیمولینک نرم‌افزار متلب ۴۷
شکل ۴-۷. تابع تغییر مکان اعمال شده به میراگر ۴۸
شکل ۴-۸. تابع ولتاژ اعمال شده به میراگر ۴۸
شکل ۴-۹. نمودار تغییرات نیروی میراگر به زمان ۴۸
شکل ۴-۱۰. نمودار تغییرات نیروی میراگر به تغییر مکان ۴۹
شکل ۴-۱۱. موج مثلثی تاخیری به‌عنوان تغییر مکان اعمال شده به میراگر ۴۹
شکل ۴-۱۲. تابع پل‌های به‌عنوان ولتاژ ورودی به میراگر ۴۹
شکل ۴-۱۳. نمودار تغییرات نیروی میراگر به زمان ۵۰
شکل ۴-۱۴. نمودار تغییرات نیروی میراگر به تغییر مکان ۵۰
شکل ۴-۱۵. نمای شماتیک از الگوریتم کنترل پرشی برای تعیین سیگنال ورودی به میراگر [۴]..... ۵۶
شکل ۴-۱۶. فلوچارت کنترل نیمه فعال سازه با استفاده از میراگر MR و شبکه عصبی ۵۸
شکل ۵-۱. فلوچارت الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات ۶۳
شکل ۶-۱. یک نمونه عصب واقعی [۲۵] ۶۸
شکل ۶-۲. مدل ریاضی ساده شده عصب واقعی [۲۵] ۶۹
شکل ۶-۳. شبکه عصبی تک لایه با تمام ارتباطات ممکن [۲۹] ۷۲
شکل ۶-۴. شبکه عصبی دو لایه با تمام ارتباطات ممکن [۲۷] ۷۳
شکل ۶-۵. ساختار کلی شبکه تابع شعاعی بنیادی [۲۷] ۷۴
شکل ۶-۶. شکل یک تابع گوسین [۳۰] ۷۶
شکل ۶-۷. فرآیند تولید داده های آموزش و آزمون شبکه عصبی ۷۷
شکل ۶-۸. نمای شماتیک شبکه عصبی تعیین کنندهی ولتاژ مناسب برای میراگر MR ۷۷
شکل ۶-۹. ساختار شبکه RBF [۳۰] ۷۸
شکل ۶-۱۰. بردارهای (a) تغییرمکان، (b) ولتاژ و (c) نیروی میراگر MR ۷۹
شکل ۶-۱۱. مقایسه معیار MAE برای فرآیند آموزش دو شبکه ۸۱
شکل ۶-۱۲. مقایسه معیار MAE برای فرآیند آزمون دو شبکه ۸۱

شکل ۶-۱۳. مقایسه معیار MSE برای فرآیند آموزش دو شبکه ۸۲
شکل ۶-۱۴. مقایسه معیار MSE برای فرآیند آزمون دو شبکه ۸۲
شکل ۶-۱۵. مقایسه معیار SSE برای فرآیند آموزش دو شبکه ۸۳
شکل ۶-۱۶. مقایسه معیار SSE برای فرآیند آزمون دو شبکه ۸۳
شکل ۷-۱. مدل سیمولینک کلی کنترل سازه ۸۶
شکل ۷-۲. تاریخچه زمانی شتاب زمین لرزه های (الف) السنترو، (ب) هاچینو، (ج) نورث ریج و (د) کوبه [۳۲] ۸۷
شکل ۷-۳. نمای شماتیکی از سازه ی مجهز به میراگر MR (الف) بدون تغییر شکل، (ب) تغییر شکل یافته [۱۵] ۹۰
شکل ۷-۴. نمودار تغییرات معیار J1 مربوط به نسبت بیشینه دریفت طبقات برای ۱۳ چیدمان مختلف از میراگرها تحت زلزله های مختلف ۹۵
شکل ۷-۵. نمودار تغییرات معیار J2 مربوط به نسبت بیشینه شتاب طبقات برای ۱۳ چیدمان مختلف از میراگرها تحت زلزله های مختلف ۹۶
شکل ۷-۶. نمودار تغییرات معیار J3 مربوط به نسبت بیشینه برش پایه سازه برای ۱۳ چیدمان مختلف از میراگرها تحت زلزله های مختلف ۹۶
شکل ۷-۷. نمودار تغییرات معیار J4 مربوط به نسبت بیشینه نیروی کنترل در سازه برای ۱۳ چیدمان مختلف از میراگرها تحت زلزله های مختلف ۹۷
شکل ۷-۸. مقایسه معیار J1 برای چیدمان های مختلف از میراگرها در سازه ی ۸ طبقه ۹۸
شکل ۷-۹. نمودار تغییرات معیار J1 مربوط به نسبت بیشینه دریفت طبقات برای نسبتهای میرایی مختلف اعضای سازه ای تحت زلزله های مختلف ۹۹
شکل ۷-۱۰. نمودار تغییرات معیار J2 مربوط به نسبت بیشینه شتاب طبقات برای نسبتهای میرایی مختلف اعضای سازه ای تحت زلزله های مختلف ۱۰۰
شکل ۷-۱۱. نمودار تغییرات معیار J3 مربوط به نسبت بیشینه برش پایه سازه برای نسبتهای میرایی مختلف اعضای سازه ای تحت زلزله های مختلف ۱۰۰
شکل ۷-۱۲. نمودار تغییرات معیار J4 مربوط به نسبت بیشینه نیروی کنترل سازه برای نسبتهای میرایی

مختلف اعضای سازه ای تحت زلزله های مختلف ۱۰۱
شکل ۷-۱۳. نمودار تغییرمکان طبقات تحت زلزله السنترو (الف) سازه با میرایی ذاتی صفر درصد، (ب) سازه با میرایی ذاتی ۲ درصد، (ج) سازه با میرایی ذاتی ۵ درصد و (د) سازه با میرایی ذاتی ۱۰ درصد. (خط پر: کنترل نشده. خط چین: کنترل شده) ۱۰۲
شکل ۷-۱۴. نمودار شتاب طبقات تحت زلزله السنترو (الف) سازه با میرایی ذاتی صفر درصد، (ب) سازه با میرایی ذاتی ۲ درصد، (ج) سازه با میرایی ذاتی ۵ درصد و (د) سازه با میرایی ذاتی ۱۰ درصد. (خط پر: کنترل نشده. خط چین: کنترل شده) ۱۰۳
شکل ۷-۱۵. نمودار نیروی کنترل طبقه اول تحت زلزله ی السنترو با نسبتهای میرایی ۰٪، ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ ۱۰۴
شکل ۷-۱۶. نمودار ولتاژ کنترل طبقه اول تحت زلزله ی السنترو با نسبتهای میرایی ۰٪، ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ . ۱۰۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

از دوران باستان همواره مهندسان عمران مسئول خرابی ساختمان ها بوده‌اند. سنگ نوشته ی حمورابی به‌عنوان یک سنگ باستانی در یکی از قوانین خود این اصل را این‌گونه بیان می دارد که"اگر مهندسی ساختمانی را بسازد و آن‌قدر مستحکم نباشد که توان مقاومت نداشته باشد و تخریب شود و صاحب‌خانه بمیرد، آن مهندس باید کشته شود".

در این قانون منظور از خرابی، تخریبی است که ممکن است بر اساس بارهای معمولی همچون بارهای مرده‌ی کم یا بارهای ناشی از بادهای معمولی رخ دهد. اما تخریب‌های ناشی از بارهای غیرطبیعی مانند زلزله‌ها و توفان‌های سهمگین، شامل این قانون نمی‌شوند زیرا آن‌ها خارج از کنترل مهندس بوده و به‌عنوان یک حادثه مافوق طبیعی فرستاده شده از سوی خدایان برای عذاب مردمان تلقی می‌شده است .

سازه‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی، ساخته و نگهداری شوند که برای کاربری موردنظر مناسب و اقتصادی باشند. آن‌ها باید به‌طور قابل قبولی نیازهای ذیل را تامین کنند:

- در حین استفاده باید برای کارایی در نظر گرفته شده، مناسب و بدون نقص باقی بمانند (شرط سرویس پذیری).
- باید تا حد نهایی استقامت کنند و در برابر اتفاقات حاصل از ساخت و ساز و کاربری موردنظر به‌طور مداوم عکس العمل نشان دهند (شرط حالت حدی نهایی).
- نباید تحت حوادث غیرمترقبه مانند آتش سوزی، انفجار، ضربه یا پیامدهای خطاهای انسانی کاملا تخریب شوند (شرط استحکام).

طراحی بر اساس ظرفیت باربری مجاز، معمولا برای شرایط بارگذاری استاتیکی با یک سطح شکل‌پذیری مناسب ایجاد شده است که سازه در قسمت اعظمی از طول عمر خود در محدوده‌ی الاستیک (تحت بارهای معمولی) باقی می‌ماند و تحت بارهای جانبی غیر منتظره، وارد ناحیه پلاستیک می شود که انرژی وارده باید به‌گونه ای از بین برود. در این حالت حتی اگر اعضای سازه‌ای دچار تخریب ماندگار نیز شوند ساختمان به‌گونه‌ای طراحی شده است که به‌طور کلی خراب نمی شود و بنابراین حادثه جانی نباید اتفاق افتد. از سوی دیگر، سازه باید پس از هر حادثه‌ی مخربی مقاوم‌سازی شود که مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی می‌باشد. همچنین طراحی بر اساس ظرفیت توانایی کاهش ارتعاشات غیر مخرب سازه را از منظر احساس امنیت و آرامش ساکنین ندارد. بنابراین مسئله نوسان ساختمان‌های مرتفع به‌علت بادهای نه چندان شدید با این روش طراحی غیر قابل حل خواهد بود. از همین رو در سازه‌های منعطف مانند پل‌های بلند یا ساختمان‌های مرتفع ارضای شرایط آسایش دشوارتر از شرایط مربوط به مقاومت می‌باشد.

به‌خاطر تمام این دلایل توجه جامعه مهندسی به سمت مفهوم کنترل سازه‌ها جلب شده است. در این روش سازه به‌عنوان یک سیستم دینامیکی که بعضی از مشخصات آن از قبیل میرایی و سختی در جهت کاهش اثر بارهای جانبی قابل تنظیم می