بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سینا بخشی‌نژاد دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۴۴۴۶۳۱۰۴ که در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۱۵ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان طراحی سیستم کنترل نیمه‌فعال با سختی متغیر برای سازه‌های غیرخطی دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو: سینا بخشی نژاد

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی عمران- گرایش زلزله

عنوان:

طراحی سیستم کنترل نیمه‌فعال با سختی متغیر برای سازه‌های غیرخطی

استاد راهنما:

دکتر محتشم محبی

استاد مشاور:

دکتر امین قلی زاد

پژوهشگر:

سینا بخشی نژاد

مهر- ۱۳۹۲

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی عمران- گرایش زلزله

عنوان:

طراحی سیستم کنترل نیمه‌فعال با سختی متغیر برای سازه‌های غیرخطی

پژوهشگر:

سینا بخشی نژاد

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی .....

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر محتشم محبی	استادیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر امین قلی زاد	استادیار	استاد مشاور	
دکتر کاظم شاکری	استادیار	داور	

مهر – ۱۳۹۲

مجموعه حاضر را

به خانواده عزیزم

تقدیم می‌کنم

تقدیر و تشکر:

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجلّ از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم، اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ بویژه از استاد ارجمند و گرامی؛ جناب آقای دکتر محتشم محبی که در کمال سعه صدر و با حسن خلق، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و سبب موفقیت و پیشرفت اینجانب در این مرحله از تحصیل بوده اند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

نام خانوادگی دانشجو: **بخشی نژاد** نام: **سینا**

عنوان پایان‌نامه: **طراحی سیستم کنترل نیمه‌فعال با سختی متغیر برای سازه‌های غیرخطی**

استاد راهنما: **دکتر محتشم محبی**

استاد مشاور: **دکتر امین قلی زاد**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: **مهندسی عمران**

گرایش: **زلزله** دانشگاه: **محقق اردبیلی**

دانشکده: **فنی و مهندسی** تاریخ دفاع: **۱۳۹۲/۷/۱۵** تعداد صفحات: **۱۵۹**

چکیده:

در این پایان‌نامه به طراحی سیستم کنترل نیمه‌فعال با سختی متغیر برای سازه‌های غیرخطی و بررسی کارایی آن در کاهش پاسخ‌های سازه تحت اثر تحریکات زلزله پرداخته شده است. برای این منظور دو مکانیزم کنترلی مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال و جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با سختی متغیر به عنوان نمونه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور ارزیابی بهتر کارایی این دو مکانیزم کنترلی نیمه‌فعال در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه، همتاهای غیرفعال این دو مکانیزم نیز مدل سازی و بررسی شده و نتایج با هم مقایسه گردیده است. مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال از طریق قفل و باز کردن سیستم مهاربندی بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی بر پایه‌ی تئوری مود لغزشی متناسب با رفتار سازه‌های غیرخطی جهت تعیین فرمان مناسب برای قفل یا باز کردن مهاربند هر طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال نیز از طریق تنظیم پارامتر سختی بر اساس دو الگوریتم کنترلی نیمه‌فعال متناسب با رفتار سازه‌های غیرخطی بر مبنای ۱- کنترل بهینه‌ی آنی و قانون کنترل برشی و ۲- کنترل بالانس اصلاح شده، جهت تعیین فرمان‌های مناسب برای انتخاب سختی در هر لحظه توسعه یافته است. برای تعیین مقادیر بهینه‌ی پارامترهای سیستم کنترل نیمه‌فعال (شامل ماتریس‌های وزنی در تابع عملکرد الگوریتم کنترل فعال و مقادیر سختی حداکثر و حداقل ابزار نیمه‌فعال) از تعریف یک مسئله‌ی بهینه سازی و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. جهت انجام بررسی روی سازه‌های با رفتار غیرخطی، آنالیز عددی روی یک قاب ساختمانی هشت طبقه‌ی برشی با رفتار دوخطی هیسترسیس انجام گرفته است. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که عملکرد دو مکانیزم کنترل نیمه‌فعال بر اساس الگوریتم‌های کنترلی توسعه یافته در کاهش پاسخ‌های سازه با رفتار غیرخطی مناسب و بهتر از عملکرد همتاهای غیرفعال این دو مکانیزم بوده است. همچنین عملکرد الگوریتم‌های کنترلی با هم متفاوت می‌باشد و در مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال تنظیم سختی بهتر از تنظیم میرایی عمل می‌کند. همچنین عملکرد بهینه جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال در سازه‌های غیرخطی به مشخصات سختی و پارامترهای سیستم کنترلی بستگی دارد و برای عملکرد بهتر سیستم کنترلی باید پارامترهای آن با توجه به مشخصات زلزله‌ی طرح به صورت بهینه طراحی گردد. در انتها عملکرد دو مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال و مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با سختی متغیر در کاهش پاسخ‌های سازه تحت زلزله‌های مختلف با هم مقایسه می‌شوند.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنتیک؛ الگوریتم کنترلی بالانس اصلاح شده؛ الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی؛ جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال؛ کنترل نیمه‌فعال؛ مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: کلیات پایان‌نامه

۱-۱- ضرورت و اهمّیت پژوهش ۲

۱-۲- اهداف پژوهش ۳

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۳

فصل دوم: کنترل سازه

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- کنترل ارتعاش سازه ۸

۲-۳- روش‌های کنترل سازه ۹

۲-۴- کنترل نیمه‌فعال (Semi-Active control) ۱۱

فصل سوم: ابزارها و مکانیزم‌های کنترل نیمه‌فعال

۳-۱- مقدمه ۱۶

۳-۲- ابزارهای کنترل نیمه‌فعال ۱۸

۳-۲-۱- ابزار اریفیس متغیر(Variable Orifice) ۱۸

۳-۲-۲- ابزار اصطکاک متغیر (Variable Friction Device) ۲۰

۳-۲-۳- میراگرهای الکترورئولوژیک (Electrorheological Damper) ۲۳

۳-۲-۴- میراگرهای مگنتورئولوژیک (Magnetorheological Damper) ۲۵

۳-۲-۵- میراگر سیال ویسکوز (Viscous Fluid Damper) ۲۶

۳-۲-۶- ابزار تنظیم سختی VSD ۲۸

۳-۲-۷- ابزار تنظیم سختی Resetable Stiffness Device ۲۹

۳-۲-۸- ابزار تنظیم سختی SAIVS ۳۱
۳-۳- مکانیزم‌های کنترل نیمه‌فعال ۳۳
۳-۳-۱- مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال (SATMD)..... ۳۴
۳-۳-۱-۱- مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با میرایی متغیر ۵۱
۳-۳-۱-۲- معادله‌ی ارتعاش سازه‌ی با رفتار خطی مجهز به مکانیزم SATMD با میرایی متغیر ۵۵
۳-۳-۱-۳- مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با سختی متغیر ۵۶
۳-۳-۱-۴- معادله‌ی ارتعاش سازه با رفتار خطی مجهز به مکانیزم SATMD با سختی متغیر ۵۹
۳-۳-۱-۵- معادله‌ی ارتعاش سازه با رفتار غیرخطی مجهز به مکانیزم SATMD ۶۰
۳-۳-۲- مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال (SAVS)..... ۶۳
۳-۳-۲-۱- معادله‌ی ارتعاش سازه با رفتار خطی مجهز به مکانیزم SAVS ۶۶

فصل چهارم: قوانین و الگوریتم‌های کنترل نیمه‌فعال

۴-۱- مقدمه ۶۸
۴-۲- الگوریتم کنترلی بر مبنای تئوری مود لغزشی ۶۸
۴-۲-۱- اتلاف انرژی ۷۰
۴-۳- الگوریتم بهینه‌ی برشی (Clipped Optimal Control) ۷۱
۴-۳-۱- تابع عملکرد سیستم کنترل فعال ۷۲
۴-۳-۲- تعیین پارامتر سختی ۷۳
۴-۴- الگوریتم کنترلی بالانس اصلاح شده (Modified Balance Control algorithm) ۷۵

فصل پنجم: مطالعات عددی

۵-۱- مقدمه..... ۷۷
۵-۲- مدل سازه‌ی غیرخطی مورد بررسی..... ۷۸
۵-۳- بررسی صحت نتایج..... ۸۰
۵-۴- مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال (SAVS) برای سازه‌های غیرخطی..... ۸۲

۵-۵- مکانیزم جرم میراگر هماهگ شده‌ی نیمه‌فعال (SATMD) برای سازه‌های غیرخطی..... ۱۱۲
۵-۵-۱- کنترل غیرفعال با استفاده از جرم میراگر هماهنگ شده‌ی غیرفعال (TMD) ۱۱۲
۵-۵-۱-۱- طراحی بهینه پارامترهای جرم میراگر هماهنگ شده‌ی غیرفعال به روش Fahim و همکاران ۱۱۴
۵-۵-۱-۲- پارامترهای جرم میراگر هماهنگ شده‌ی غیرفعال بدست آمده توسط Mohebbi و Joghataie ۱۱۶
۵-۵-۲- کنترل نیمه‌فعال با استفاده از جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با سختی متغیر ۱۱۷
۵-۵-۲-۱- طراحی بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم بهینه‌ی برشی مکانیزم SATMD با سختی متغیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۱۸
۵-۵-۲-۱-۱- طراحی مکانیزم SATMD بر اساس پارامترهای بهینه‌ی TMDهای بدست آمده به روش Fahim و همکاران..... ۱۲۱
۵-۵-۲-۱-۲- طراحی مکانیزم SATMD بر اساس پارامترهای بهینه‌ی TMDهای بدست آمده به روش Mohebbi و Joghataie ۱۲۷
۵-۵-۲-۲- طراحی بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم بالانس اصلاح شده‌ی مکانیزم SATMD با سختی متغیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۳۴
۵-۵-۳- مقایسه عملکرد مکانیزم SATMD با سختی متغیر با مکانیزم SATMD با میرایی متغیر ۱۴۲
۵-۵-۴- بررسی عملکرد مکانیزم SATMD با سختی متغیر طراحی شده تحت ارتعاش زلزله‌های دیگر ۱۴۳
۵-۶- مقایسه عملکرد مکانیزم SAVS با مکانیزم SATMD با سختی متغیر ۱۴۴

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

۶-۱- نتایج ۱۴۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۵۰

فهرست منابع و مآخذ ۱۵۲

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳ – ۱: ساختمان‌های مجهز به میراگر هیدرولیکی نیمه‌فعال..... ۲۰

جدول ۳ – ۲: کاربردهای جرم میراگر هماهنگ شده درسازه‌های عمرانی..... ۳۸

جدول ۵ – ۱: حداکثر دریفت سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ ۸۱

جدول ۵ – ۲: حداکثر دریفت و حداکثر شتاب سازه‌ی کنترل نشده و مجهز به TMD ۸۲

جدول ۵ – ۳: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید (W.N)..... ۸۷

جدول ۵ – ۴: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید (W.N)..... ۹۲

جدول ۵ – ۵: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.2$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro ۹۹

جدول ۵ – ۶: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro ۱۰۳

جدول ۵ – ۷ : پاسخ سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.4$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ۲۰ ثانیه از زلزله‌ی Northridge..... ۱۰۹

جدول ۵ – ۸ : مشخصات قاب برشی هشت طبقه‌ی مورد بررسی..... ۱۱۵

جدول ۵ – ۹ : پارامترهای بهینه‌ی TMD برای سازه‌ی چند درجه آزادی با چهار درصد جرمی به روش Fahim و همکاران..... ۱۱۶

جدول ۵ – ۱۰ : مقادیر بهینه‌ی پارامترهای TMD برای سه درصد جرمی..... ۱۱۶

جدول ۵ – ۱۱ : بازه‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای ماتریس‌های وزنی..... ۱۲۱

جدول ۵ – ۱۲ : مقادیر بهینه‌ی پارامترهای ماتریس‌های وزنی برای چهار درصد جرمی بدست آمده از الگوریتم ژنتیک..... ۱۲۱

جدول ۵ – ۱۳: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu=1\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید..... ۱۲۲

جدول ۵ – ۱۴: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 1\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۳

جدول ۵ – ۱۵: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 2\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۴

جدول ۵ – ۱۶: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 2\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۴

جدول ۵ – ۱۷: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۵

جدول ۵ – ۱۸: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۵

جدول ۵ – ۱۹: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۶

جدول ۵ – ۲۰: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۶

جدول ۵ – ۲۱: بازه‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای ماتریس‌های وزنی و مقادیر حداقل و حداکثر سختی.....۱۲۸

جدول ۵ – ۲۲: مقادیر بهینه‌ی پارامترهای ماتریس‌های وزنی و مقادیر حداقل و حداکثر سختی برای چهار درصد جرمی بدست آمده از الگوریتم ژنتیک.....۱۲۸

جدول ۵ – ۲۳: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 0.3\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۲۹

جدول ۵ – ۲۴: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.3\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۰

جدول ۵ – ۲۵: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۱

جدول ۵ – ۲۶: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۱

جدول ۵ – ۲۷: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس

الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۳
جدول ۵ – ۲۸: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۳
جدول ۵ – ۲۹: مقادیر بهینه‌ی مقادیر حداقل و حداکثر سختی برای سه درصد جرمی بدست آمده از الگوریتم ژنتیک.....۱۳۶
جدول ۵ – ۳۰: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس با درصد جرمی $\mu = 0.3\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۶
جدول ۵ – ۳۱: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.3\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۷
جدول ۵ – ۳۲: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس با درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۸
جدول ۵ – ۳۳: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۳۸
جدول ۵ – ۳۴: پاسخ سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به مکانیزم کنترل غیرفعال و نیمه‌فعال با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۴۰
جدول ۵ – ۳۵: حداکثر دریفت، جابجایی کل و شتاب سازه‌ی کنترل نشده و سازه‌ی مجهز به TMD با سختی $k_d, k_{\min}, k_{\max}$ و SATMD با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۴۰
جدول ۵ – ۳۶: پاسخ سازه‌ی مجهز به مکانیزم SATMD با سختی و میرایی متغیر بر اساس الگوریتم بهینه‌ی برشی برای سه درصد جرمی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۱۴۲
جدول ۵ – ۳۷: پاسخ‌های سازه‌ی بدون کنترل، مجهز به مکانیزم TMD و مجهز به مکانیزم SATMD بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی و بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ ۱۴۳
جدول ۵ – ۳۸ : پاسخ‌های سازه‌ی بدون کنترل، مجهز به مکانیزم TMD و مجهز به مکانیزم SATMD بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی و بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ ۱۴۴
جدول ۵ – ۳۹: پاسخ‌های سازه‌ی بدون کنترل، مجهز به مکانیزم TMD و مجهز به مکانیزم SATMD بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی و بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu = 0.3\%$ ۱۴۴
جدول ۵ – ۴۰: پاسخ‌های سازه‌ی بدون کنترل، مجهز به مکانیزم SATMD بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه‌ی برشی با درصد جرمی $\mu = 0.7\%$ و مجهز به مکانیزم SAVS با نسبت سختی‌های $r = 0.2,1$ ۱۴۵

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲ – ۱: دیاگرام سیستم‌های کنترل غیرفعال..... ۹

شکل ۲ – ۲: دیاگرام سیستم‌های کنترل فعال..... ۱۰

شکل ۲ – ۳: دیاگرام سیستم‌های کنترل نیمه‌فعال..... ۱۱

شکل ۳ – ۱: طرح کلی میراگر اریفیس متغیر..... ۱۸

شکل ۳ – ۲: پل بزرگراه I-35 مجهز به میراگر اریفیس- متغیر در اکلاهاما..... ۱۹

شکل ۳ – ۳: میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک (یکی از میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال) : (a) نما (b) طرح کلی..... ۲۳

شکل ۳ – ۴: طرح کلی میراگر ER..... ۲۵

شکل ۳ – ۵: طرح کلی میراگر MR..... ۲۶

شکل ۳ – ۶: ساختار میراگر سیال ویسکوز نیمه‌فعال..... ۲۷

شکل ۳ – ۷: ابزار سختی متغیر نیمه‌فعال..... ۲۸

شکل ۳ – ۸: ابزار تنظیم سختی Resetable Stiffness Device. شماتیک کلی (بالا) و یک نمونه کاربردی (پایین)..... ۲۹

شکل ۳ – ۹: ابزار Resetable متصل به یک سیستم جرم – فنر یک درجه آزادی..... ۳۰

شکل ۳ – ۱۰: نمونه آزمایشی از ابزار Resetable . نمونه هیدرولیکی(سمت راست) و نمونه گازی (سمت چپ)..... ۳۰

شکل ۳ – ۱۱: ابزار تنظیم سختی SAIVS..... ۳۲

شکل ۳ – ۱۲: رفتار نیرو- جابجایی ابزار تنظیم سختی SAIVS..... ۳۳

شکل ۳ – ۱۳: سازه‌ی مجهز شده به TMD در طبقه‌ی آخر..... ۳۵

شکل ۳ – ۱۴: انواع مختلف جرم میراگر هماهنگ شده : (a) آونگ ساده (b) آونگ با میراگر (c) آونگ معکوس با فنر و میراگر(d) دو جرم میراگر (e)میراگر چند مرحله‌ای (f) جرم میراگر تغییر مکانی (g) جرم نوسانی بر روی تکیه گاه لغزشی (h) جرم برروی تکیه گاه‌های لاستیکی..... ۳۶

شکل ۳ – ۱۵: TMD با سختی متغیر مطرح شده توسط Franchek و همکاران..... ۴۲

شکل ۳ – ۱۶:TMD با سختی متغیر مطرح شده توسط Deng و همکاران۱)کاور ۲)میله هدایت کننده ۳)تحمل کننده خطی ۴)کنداکتور مغناطیسی ۵)صفحه برشی ۶)MREs ۷)پایه ۸)آهن ربای الکتریکی ۹)پوسته خارجی..... ۴۳

شکل ۳ – ۱۷:TMD با مدهای چندگانه..... ۴۴

شکل ۳ – ۱۸:TMD با سختی متغییر مطرح شده توسط Nagaya و همکاران ۴۴
شکل ۳ – ۱۹: سازه‌ی کنترل شده با AMD و مقایسه‌ی آن با سازه‌ی مجهز به TMD..... ۴۶
شکل ۳ – ۲۰: نمایی از ترکیب سیستم های DUOX..... ۴۷
شکل ۳ – ۲۱: ساختمان کیوباشی سیوا مجهز به ابزار جرم میراگر فعال در توکیو زاپن..... ۴۸
شکل ۳ – ۲۲: مقایسه سیستم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی غیرفعال و نیمه‌فعال..... ۵۱
شکل ۳ – ۲۳: مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال پیشنهاد شده توسط Hrovat..... ۵۲
شکل ۳ – ۲۴: سازه‌ی مجهز به مکانیزم جرم میراگر هماهنگ شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم سختی متغیر..... ۵۸
شکل ۳ – ۲۵: شماتیک مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال..... ۶۳
شکل ۳ – ۲۶: مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر نیمه‌فعال مطرح شده توسط Kobori و همکاران..... ۶۴
شکل ۳ – ۲۷: مکانیزم مهاربندی با سختی متغیر مطرح شده توسط Zhou و همکاران..... ۶۵
شکل ۴ – ۱: حلقه‌ی هیسترسیس تئوریک مربوط به الگوریتم کنترلی بر پایه‌ی تئوری مود لغزشی..... ۷۰
شکل ۴ – ۲: نحوه‌ی تغییرات مقادیر پارامتر سختی بر اساس قانون کنترل برشی..... ۷۴
شکل ۵ – ۱: مدل سازه‌ی مورد بررسی در این پایان‌نامه..... ۷۹
شکل ۵ – ۲: مدل رفتاری الاستو- پلاستیک دوخطی..... ۸۰
شکل ۵ – ۳ : تاریخچه‌ی زمانی ارتعاش پایه‌ی (a) اغتشاش سفید، (b) زلزله‌ی Elcentro و (c) زلزله‌ی Northridge..... ۸۳
شکل ۵ – ۴: a) حداکثر شتاب طبقات، b) حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید..... ۸۴
شکل ۵ – ۵: حداکثر تغییر مکان جانبی کل طبقات مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید..... ۸۵
شکل ۵ – ۶: حداکثر شتاب (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی (پایین) سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r = 0.1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید..... ۸۹
شکل ۵ – ۷: حداکثر تغییر مکان جانبی کل مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r = 0.1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید ۹۰
شکل ۵ – ۸: نمودار تاریخچه‌ی زمانی a) دریفت طبقه‌ی اول، b) شتاب طبقه‌ی هفتم، c) وضعیت مهاربند وd) نمودار

هیسترسیس طبقه‌ی اول مربوط به سازه‌ی بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SAVS با نسبت سختی جانبی مهاربند به سختی جانبی طبقه $r=0.1$ براساس حالت الگوریتم کنترلی case d تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۹۱
شکل ۵ – ۹: حداکثر شتاب سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۹۳
شکل ۵ – ۱۰: حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی کل (پایین)، مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۹۴
شکل ۵ – ۱۱: نمودار تاریخچه‌ی زمانی a) دریفت طبقه‌ی اول، b) شتاب طبقه‌ی هفتم، c) وضعیت مهاربند وd) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه‌ی بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SAVS با نسبت سختی جانبی مهاربند به سختی جانبی طبقه $r=1$ براساس حالت الگوریتم کنترلی case d تحت ارتعاش پایه‌ی اغتشاش سفید.....۹۵
شکل ۵ – ۱۲: حداکثر شتاب طبقات مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro.....۹۶
شکل ۵ – ۱۳: حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی کل طبقات (پایین) مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro.....۹۷
شکل ۵ – ۱۴: حداکثر شتاب (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی (پایین) طبقات سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.2$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro.....۱۰۰
شکل ۵ – ۱۵: حداکثر تغییر مکان جانبی کل مربوط به سازه کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.2$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro.....۱۰۱
شکل ۵ – ۱۶: نمودار تاریخچه‌ی زمانی a) دریفت طبقه‌ی اول، b) شتاب طبقه‌ی هفتم، c) وضعیت مهاربند وd) نمودار هیسترسیس طبقه‌ی اول مربوط به سازه‌ی بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SAVS با نسبت سختی جانبی مهاربند به سختی جانبی طبقه $r=0.2$ براساس حالت الگوریتم کنترلی case d تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله‌یElcentro.....۱۰۲
شکل ۵ – ۱۷: حداکثر شتاب (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی (پایین) طبقات سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro ۱۰۴

شکل ۵ – ۱۸: حداکثر تغییر مکان جانبی کل مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=1$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ۳۰ ثانیه از زلزله‌ی Elcentro..۱۰۵
شکل ۵ – ۱۹: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت ، b) شتاب، c) وضعیت مهاربند وd) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SAVS با نسبت سختی جانبی مهاربند به سختی جانبی طبقه $r=1$ براساس حالت الگوریتم کنترلی case d تحت ارتعاش ۳۰ ثانیه از زلزله Elcentro.....۱۰۶
شکل ۵ – ۲۰: حداکثر شتاب طبقات (بالا)، حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (وسط) و حداکثر تغییر مکان جانبی کل طبقات (پایین) مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیر فعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت تحت ارتعاش ۲۰ ثانیه از زلزله‌ی Northridge.....۱۰۷
شکل ۵ – ۲۱: حداکثر شتاب (بالا) و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی (پایین) طبقات سازه کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.4$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش ۲۰ ثانیه از زلزله‌ی Northridge.....۱۱۰
شکل ۵ – ۲۲: حداکثر تغییر مکان جانبی کل مربوط به سازه‌ی کنترل نشده، کنترل شده‌ی غیرفعال و کنترل شده‌ی نیمه‌فعال با مکانیزم SAVS با نسبت $r=0.4$ بر اساس چهار حالت الگوریتم کنترلی تحت ارتعاش ۲۰ ثانیه از زلزله‌یNorthridge.....۱۱۱
شکل ۵ – ۲۳: مدل سازه‌ی مجهز شده به جرم میراگر هماهنگ شده‌ی غیرفعال در طبقه‌ی آخر.....۱۱۳
شکل ۵ – ۲۴: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه برشی با درصد جرمی $\mu=0.3\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید.....۱۳۰
شکل ۵ – ۲۵: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه برشی با درصد جرمی $\mu=0.5\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید.....۱۳۲
شکل ۵ – ۲۶: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بهینه برشی با درصد جرمی $\mu=0.7\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید.....۱۳۴
شکل ۵ – ۲۷: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu=0.3\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید.....۱۳۷

شکل ۵ – ۲۸: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu = 0.5\,\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید..... ۱۳۹
شکل ۵ – ۲۹: نمودار تاریخچه زمانی a) دریفت طبقه اول ، b) سختی TMD، c) نمودار هیسترسیس طبقه اول مربوط به سازه بدون کنترل و کنترل شده با مکانیزم SATMD با سختی متغیر بر اساس الگوریتم کنترلی بالانس اصلاح شده با درصد جرمی $\mu = 0.7\,\%$ تحت ارتعاش پایه اغتشاش سفید..... ۱۴۱

فصل اول:

کلیات پایان‌نامه