

بہ نام یگانہ لایق ستائش



دانشگاه اراک
دانشکده فنی مهندسی
کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه

کنترل فعال یک ساختمان بلند با استفاده از میراکننده جرمی تنظیم شده فعال

پژوهشگر
مسعود خدادادی

استاد راهنما
دکتر مهدی سلیمانی

زمستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

کنترل فعال یک ساختمان بلند با استفاده از میراکننده جرمی تنظیم شده فعال

توسط:

مسعود خدادادی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های
تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران - سازه
از دانشگاه اراک
اراک - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: ک
دکتر مهدی سلیمانی (استاد راهنما) استادیار
دکتر علیرضا آذربخت (دانشگاه اراک) استادیار
دکتر مهدی موسوی (دانشگاه اراک) استادیار

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

نهال را باران بید
تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش
و سیرابش کند از آب حیات
و آفتاب بید

تا تاباند
نیرو را
و محکم کند
شاخه های تازه رویده را

به نام مادر
بوسه ای بیدزد
دست های را
می شویند غبار سختی روزگار را
و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام پدر
بوسه ای بیدزد
دست های را
که می تابانند
نیرو را
و محکم می کنند استواری پایه های زیستن را

پاسکزاری

قبل از هر چیز پاس بی کران پروردگار یکتا را، که هستی ام بخشد و به طریق علم و دانش را بنمونم شد و به بهمنشینی رحروان علم و دانش متحترم نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیم ساخت. اکنون چگونه پاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از علم و یقین است. چگونه پاس گویم تاثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه می محترم وجودم فروزان ساخته است. آری علی رغم ناتوانی من در وصف بزرگواری و مهربانی استاد عزیز بر خود واجب می دانم نهایت تشکر و قدرانی را از شما استاد فریخته و فرزانه جناب آقای دکتر مهدی سلیمانی داشته باشم. برای من مایه بسی افتخار است که شاکر دشا بوده ام. بیچگاه خطاتی را که با کاشاده رویی و بردباری برای علم آموزی بنده صرف کردید، فراموش نمی کنم. و از خداوند متعال برای شما آرزوی موفقیت و سلامتی در طول زندگی را خواستار می باشم. همچنین لازم است از تلاشهای بیکران جناب آقای دکتر علیرضا آذربخت، استادی که دلسوزانه و از روی محبت مراد پیشبرد اهداف خود در این پایان نامه یاری نمود، کمال تشکر و قدرانی را داشته باشم. و امیدوارم این عزیزان همیشه سر بلند و پیروز باشند.

مسعود خدادادی

دانشکده فنی مهندسی اراک، زمستان ۱۳۹۰

چکیده

از آنجایی که ایمنی سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله و باد یکی از نگرانی‌های اصلی برای مهندسين عمران در ساخت سازه‌های بلند می‌باشد، بنابراین بایستی توجه ویژه‌ای به حفاظت از این گونه ساختمانها در برابر اثرات مخرب باد و زلزله داشت. یکی از روشهای متداول جهت کاهش پاسخ‌های ناخوشایند تحت بارهای غیرمنتظره زلزله و باد استفاده از میراگر جرمی تنظیم شده فعال می‌باشد. لیکن در کارهای قبلی طراحی و بهینه سازی میراگر جرمی تنظیم شده فعال تنها بر اساس یکی از تحریکهای باد یا زلزله صورت گرفته است. حال آنکه میراگر جرمی تنظیم شده ای که بر اساس یکی از تحریکات قالب طراحی شده باشد، ممکن است در مواجهه با تحریک دیگر عملکرد مناسبی نداشته باشد. در این تحقیق یک کنترل کننده تطبیقی فازی برای یک مدل معتبر از یک ساختمان بلند ۷۶ طبقه ارائه شده است. با فرض قرارگیری این ساختمان در شهر منجیل با خاصیت سطح خطر لرزه‌ای و شدت بادخیزی بالا میراگر جرمی بر روی بام ساختمان جهت مقابله با بارهای باد و زلزله نصب می‌شود. همچنین جهت تحریک ساختمان از شبیه‌سازی میدان سرعت باد و زلزله منجیل رخ داده در سال ۱۳۶۹ استفاده می‌شود. با توجه به محتوای فرکانسی متفاوت زلزله و باد نسبت به یکدیگر ابتدا پارامترهای طراحی میراگر جرمی برای اغتشاش باد با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آمده و سپس با استفاده از کنترل کننده فازی (Fuzzy logic controller) و بهینه‌سازی پارامترهای تابع تعلق (Membership Function)، بطور مجزا کنترل کننده‌های فعال (Active tuned mass damper) برای هر یک از اغتشاشات باد و زلزله طراحی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که FLC بهینه و طراحی شده برای هر یک از اغتشاشات عملکرد مناسبی جهت کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه برای اغتشاش دیگر نخواهد داشت. همچنین کنترل کننده تطبیقی در مواجهه با هر یک از اغتشاشات باد و زلزله بطور موفقیت آمیزی عمل می‌کند.

کلید واژه‌ها: ساختمان بلند، کنترل کننده فعال، فازی تطبیقی، الگوریتم ژنتیک، باد، زلزله

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱- مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته..... ۱
- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- پیشینه مطالعاتی..... ۳
- ۱-۲-۱- میراگرهای فلزی..... ۵
- ۲-۲-۱- جداسازهای لرزه‌ای..... ۶
- ۳-۲-۱- میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال..... ۷
- ۴-۲-۱- میراگرهای جرمی تنظیم شده فعال (ATMD)..... ۱۰
- ۳-۱- بیان مسئله..... ۱۲
- ۴-۱- مراحل انجام تحقیق..... ۱۶

فصل دوم

- ۲- سیستمهای کنترل ارتعاشات سازه‌ها..... ۲۰
- ۱-۲- مقدمه..... ۲۱
- ۲-۲- مروری بر علم کنترل..... ۲۲
- ۳-۲- گذری بر علم کنترل..... ۲۳
- ۴-۲- سیستم کنترل..... ۲۴
- ۱-۴-۲- کنترل حلقه باز..... ۲۵
- ۲-۴-۲- کنترل حلقه بسته..... ۲۵
- ۳-۴-۲- کنترل پیش‌خور..... ۲۶
- ۵-۲- کنترل سازه..... ۲۶
- ۱-۵-۲- انرژی ورودی به سازه..... ۲۷
- ۶-۲- مستهلک کننده های انرژی..... ۲۹
- ۱-۶-۲- سیستمهای غیرفعال..... ۲۹
- ۱-۱-۶-۲- سیستمهای جداسازی لرزه‌ای پایه..... ۳۰
- ۲-۱-۶-۲- میراگرهای فلزی..... ۳۳
- ۳-۱-۶-۲- میراگرهای اصطکاکی..... ۳۴

- ۳۵..... ۲-۶-۱-۴- میراگر جرمی متوازن
- ۳۶..... ۲-۶-۱-۵- میراگرهای مایع و ستون مایع هماهنگ شده
- ۳۶..... ۲-۶-۲- سیستمهای نیمه فعال
- ۳۹..... ۲-۶-۳- سیستمهای فعال
- ۳۹..... ۲-۶-۴- سیستمهای هیبریدی

فصل سوم

- ۴۰..... ۳- مدلسازی دینامیکی
- ۴۱..... ۳-۱- مقدمه
- ۴۱..... ۳-۲- مدلسازی دینامیکی
- ۴۲..... ۳-۲-۱- اجزای سیستم های دینامیکی
- ۴۳..... ۳-۲-۲- فرضیات اصلی تحلیل دینامیکی
- ۴۳..... ۳-۳- طراحی سازه
- ۴۵..... ۳-۳-۱- مشخصات سازه‌ای
- ۴۶..... ۳-۳-۲- تعیین جزئیات سقفها و برآورد بارهای مرده و زنده
- ۴۶..... ۳-۳-۳- مشخصات لرزه‌ای سازه
- ۴۸..... ۳-۳-۴- نیروی جانبی ناشی از زلزله
- ۵۱..... ۳-۴- جرم طبقات
- ۵۲..... ۳-۵- محاسبات سختی طبقات
- ۵۳..... ۳-۶- ضریب میرایی طبقات
- ۵۷..... ۳-۷- معادله حرکت
- ۶۲..... ۳-۸- تحلیل ارتعاشی مدل متمرکز
- ۶۵..... ۳-۹- حل معادلات دیفرانسیل در فضای حالت
- ۶۷..... ۳-۱۰- حل عددی معادلات در فضای حالت با استفاده از نرم افزار MATLAB
- ۶۷..... ۳-۱۰-۱- استفاده از S-Function
- ۶۸..... ۳-۱۱- ساختمان ۷۶ طبقه مرجع

فصل چهارم

- ۷۱..... ۴- شبیه‌سازی میدان سرعت باد و ورودی زلزله

۷۲.....	۱-۴ - مقدمه
۷۳.....	۲-۴ - انواع بارهای دینامیکی
۷۴.....	۳-۴ - بادهای و نیروی آیرودینامیکی
۷۵.....	۴-۴ - طراحی سازه در برابر باد
۷۵.....	۱-۴-۴ - تست مدل سازه در تونل باد
۷۶.....	۲-۴-۴ - بارگذاری باد
۷۷.....	۳-۴-۴ - پاسخ سازه در امتداد جهت وزش باد
۷۸.....	۴-۴-۴ - سرعت اصطکاکی U^*
۷۹.....	۵-۴-۴ - پارامترهای ناهمواری زمین
۸۰.....	۵-۴-۴ - شبیه سازی میدان سرعت نوسانی باد
۸۲.....	۱-۵-۴ - فرآیندهای تصادفی بردار مانای سه متغیره
۹۲.....	۶-۴ - زلزله

فصل پنجم

۹۳.....	۵- طراحی جاذب ارتعاشی دینامیکی
۹۴.....	۱-۵ - مقدمه
۹۵.....	۲-۵ - میراگر جرمی تنظیم شده
۹۶.....	۳-۵ - طراحی TMD
۱۰۰.....	۱-۳-۵ - TMD طراحی شده بر اساس تعمیم رابطه دن هارتوگ
۱۰۱.....	۲-۳-۵ - TMD طراحی شده توسط تسای و لین (Tsai & Lin)
۱۰۳.....	۳-۳-۵ - TMD طراحی شده توسط بکره و جانگید (bakre & jangid)
۱۰۵.....	۴-۳-۵ - عملکرد میراگرهای جرمی، بر اساس روابط تجربی
۱۱۲.....	۴-۵ - بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک
۱۱۲.....	۱-۴-۵ - طراحی TMD با استفاده از بهینه سازی تک منظوره
۱۱۵.....	۲-۴-۵ - طراحی TMD با استفاده از بهینه سازی چند منظوره

فصل ششم

۱۲۱.....	۶- طراحی کنترل کننده فعال
۱۲۲.....	۱-۶ - مقدمه

۱۲۲	۲-۶- میراگر جرمی متوازن فعال
۱۲۶	۳-۶- مجموعه های فازی
۱۲۹	۴-۶- طراحی کنترل کننده فازی
۱۳۰	۵-۶- توابع تعلق
۱۳۲	۶-۶- پایگاه قواعد
۱۳۴	۷-۶- ضرایب مقیاس ورودی و خروجی
۱۳۵	۸-۶- طراحی کنترل کننده فازی بهینه
۱۳۸	۹-۶- تحلیل عملکرد ATMD برای تحریک باد
۱۴۳	۱۰-۶- تحلیل عملکرد ATMD برای تحریک زلزله
۱۴۸	۱۱-۶- کنترل تطبیقی

فصل هفتم

۱۵۰	۷- دستاوردهای مطالعه
۱۵۲	۱-۷- مروری بر مسأله مورد مطالعه
۱۵۲	۲-۷- دستاوردهای مسأله
۱۵۵	۳-۷- پیشنهادات برای مطالعات آینده

پیوستها

۱۵۷	پیوست (الف)
۱۶۰	پیوست (ب)
۱۶۷	منابع و مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ : مروری بر مطالعات تجربی و آزمایشگاهی ۵
- جدول ۱-۲ : موارد اجرایی در بکارگیری میراگرهای فلزی ۵
- جدول ۱-۳ : مروری بر مطالعات انجام شده درباره رفتار جداسازهای لرزه‌ای پایه ۶
- جدول ۱-۴ : مثالهای متعدد از اجراء سیستم جداساز لرزه‌ای ۷
- جدول ۱-۵ : تحقیقات انجام شده بر روی سیستمهای کنترل فعال ۱۱
- جدول ۱-۶ : تاریخچه ای از رخداد زلزله‌ها در ایران ۱۴
- جدول ۱-۷ : تاریخچه لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه ۱۵
- جدول ۳-۱ : مشخصات ذاتی مصالح فولادی ۴۵
- جدول ۳-۲ : مشخصات خاک زمین جهت احداث سازه ۴۵
- جدول ۳-۳ : مشخصات ذاتی مصالح فولادی ۴۵
- جدول ۳-۴ : مشخصات لرزه‌ای سازه متناسب با نوع سیستم باربر در جهت Y ۴۷
- جدول ۳-۵ : مشخصات لرزه‌ای سازه متناسب با نوع سیستم باربر در جهت X ۴۸
- جدول ۳-۶ : مقدار مصالح مصرفی فولاد و بتن طبقات ۳۸، ۳۹، ۴۰ در ETABS ۵۱
- جدول ۳-۷ : پارامترهای یک ساختمان واقعی با ۴۰ درجه آزادی ۵۵
- جدول ۳-۸ : چهار فرکانس اصلی به همراه شکل مودی ساختمان ۴۰ طبقه ۶۳
- جدول ۳-۹ : پیوندهای طبیعی سازه ۴۰ طبقه در هر دو مدل نرم افزاری و مدل جرم متمرکز ۶۴
- جدول ۴-۱ : مقادیر نسبت U_*/U_{*1} ۷۹
- جدول ۴-۲ : مقادیر پیشنهادی Z_0 ۸۰
- جدول ۵-۱ : مقادیر ضرایب در بیان روابط برای طراحی سیستم میراگر جرمی TMD ۱۰۵
- جدول ۵-۲ : طراحی TMD براساس روشهای تجربی برای سیستم یکدرجه آزاد ۱۰۷
- جدول ۵-۳ : توابع هدف بکاررفته در طراحی TMD بهینه ۱۱۳
- جدول ۵-۴ : مقادیر برش پایه و جابجایی نسبی بر اساس توابع هدف گوناگون در بهینه سازی برای تحریک باد ۱۱۴
- جدول ۵-۵ : پارامترهای بهینه برای انواع TMD در معرض تحریک باد ۱۱۵
- جدول ۵-۶ : مقادیر برش پایه و جابجایی نسبی بر اساس هدف J_4 در معرض تحریک باد ۱۱۶
- جدول ۵-۷ : پارامترهای طراحی برای TMD بهینه شده مطابق با تابع هدف J_4 در معرض تحریک باد ۱۱۶
- جدول ۵-۸ : پارامترهای بهینه برای TMD در معرض تحریک زلزله ۱۱۷
- جدول ۵-۹ : پارامترهای طراحی شده میراگر جرمی ۱۲۰

- جدول ۱-۶ : توابع تعلق ورودی و خروجی فازی ۱۳۱
- جدول ۲-۶ : پایگاه قواعد فازی برای میراگر جرمی فعال ۱۳۴
- جدول ۳-۶ : مقادیر RMS جابجایی و شتاب در طبقات مختلف برای تحریک باد ۱۴۲
- جدول ۴-۶ : مقادیر RMS جابجایی نسبی و برش طبقات برای تحریک باد ۱۴۲
- جدول ۵-۶ : مقادیر RMS جابجایی و شتاب در طبقات مختلف برای تحریک زلزله ۱۴۷
- جدول ۶-۶ : مقادیر RMS جابجایی نسبی و برش طبقات برای تحریک زلزله ۱۴۷
- جدول ۱-۱ : معرفی گزاره های P,Q ۱۶۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نمایی از آسمان خراشها در جهان (a) برج Citicorp (b) برج John Hancock ۹
- شکل ۱-۲: میراگر جرمی نصب شده در مرکز سیتی کورپ (Citicorp Center) ۹
- شکل ۱-۳: نمودار اجمالی از سیستم کنترل فعال ۱۰
- شکل ۱-۴: مکان یابی شهر منجیل در نقشه ایران (a) مناطق اصلی مستعد زمین لرزه ایران (b) نیروگاه بادی در شهر منجیل ۱۵
- شکل ۱-۵: گسلهای فعال در استان گیلان ۱۵
- شکل ۱-۲: عناصر فیزیکی یک سیستم کنترل ۲۲
- شکل ۲-۲: دیاگرام بلوکی عوامل مؤثر بر سیستم ۲۴
- شکل ۲-۳: دیاگرام بلوکی کنترل حلقه- باز ۲۵
- شکل ۲-۴: دیاگرام بلوکی کنترل حلقه- بسته ۲۵
- شکل ۲-۵: دیاگرام بلوکی کنترل پیش خور ۲۶
- شکل ۲-۶: دیاگرام طراحی سیستم کنترل ۲۸
- شکل ۲-۷: انواع سیستم های غیر اتلاف انرژی ۳۰
- شکل ۲-۸: انواع میراگرهای مکانیکی (a) میراگرهای مارپیچی فولادی (b) هسته سربی (c) میله های فولادی ۳۲
- شکل ۲-۹: سیستم های جداساز لرزه ای (a) تکیه گاه لاستیکی (b) آونگ اصطکاکی ۳۲
- شکل ۲-۱۰: نصب میراگرهای فلزی ADAS در سازه ۳۴
- شکل ۲-۱۱: میراگر اصطکاکی دورانی (RFD) ۳۵
- شکل ۲-۱۲: میراگر جرمی متعادل برای سیستم یکدرجه آزاد ۳۶
- شکل ۲-۱۳: میراگر جرمی مایع هماهنگ شده ۳۶
- شکل ۲-۱۴: کنترل سیستم یکدرجه آزادی با استفاده از میراگر ER ۳۷
- شکل ۲-۱۵: نمایش برانگیختگی سیال MR (a) سیال در غیاب میدان مغناطیسی (b) قرارگرفتن در میدان مغناطیسی (c) شکل گیری ذرات آهنی ۳۸
- شکل ۲-۱۶: نمونه ای از میراگر MR ۳۸
- شکل ۲-۱۷: نمایش عملکرد سیستم فعال برای یک سیستم یکدرجه آزادی تحت اغتشاشات متفاوت ۳۹
- شکل ۳-۱: پلان طبقات در ترازهای ارتفاعی مختلف (a) پلان تپ طبقات (b) پلان طبقه همکف ۴۴
- شکل ۳-۲: مقطع دال بتنی سقف کامپوزیت در طبقات ۱ → ۳۹ ۴۶
- شکل ۳-۳: مقطع دال بتنی سقف کامپوزیت در طبقه بام ۴۶
- شکل ۳-۴: نقشه پهنه بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران ۴۷
- شکل ۳-۵: نمودار طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع 2 ۴۹
- شکل ۳-۶: نسبت تنشها در پلان طبقه دوازدهم ۵۰
- شکل ۳-۷: مقاطع اجرائی برای سقف کامپوزیت در ترازهای ارتفاعی مختلف ۵۰
- شکل ۳-۸: تغییر شکل المانهای سازه ای با قیود انتهایی (a) المان یک سر گیردار (b) المان دو سر گیردار (c) المان مورب (بادبند) ۵۳
- شکل ۳-۹: وابستگی ما بین نسبت میرایی و فرکانس برای میرایی رایلی ۵۴

- شکل ۳-۱۰: نمایش مدل سه بعدی ساختمان و تبدیل آن به قاب برشی و مدل جرم متمرکز ۵۶
- شکل ۳-۱۱: دیاگرام جسم آزاد یک سیستم با دو درجه آزادی تحت تحریک نیروهای متمرکز در طبقات ۵۷
- شکل ۳-۱۲: قاب برشی در معرض اغتشاش باد ۵۹
- شکل ۳-۱۳: قاب برشی در معرض زمین لرزه ۶۰
- شکل ۳-۱۴: شکل مودی سازه با ۴۰ درجه آزادی در چهار مود اصلی (ETABS) ۶۴
- شکل ۳-۱۵: تبدیل معادلات پس از انتقال به فضای حالت ۶۶
- شکل ۳-۱۶: حل معادلات در سیمولینک MATLAB ۶۸
- شکل ۳-۱۷: نمایش پلان ساختمان ۷۶ طبقه بتنی ۶۹
- شکل ۳-۱۸: نمایی از ترازهای ارتفاعی در ساختمان ۷۶ طبقه ۷۰
- شکل ۳-۱۹: اشکال مودی سه مود اول سازه ۷۶ طبقه ۷۰
- شکل ۴-۱: اطلس انرژی باد در ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین ۷۵
- شکل ۴-۲: بخش های مختلف تونل باد آزمایشگاهی ۷۶
- شکل ۴-۳: جریان گردابی باد پس از برخورد با ساختمان ۷۷
- شکل ۴-۴: پروفیل سرعت میانگین برای مناطق مختلف ۷۹
- شکل ۴-۵: نمودار سرعت متوسط باد در ارتفاعات مختلف ۸۰
- شکل ۴-۶: قرارگیری نقاط در امتداد یک خط قائم در ترازهای ارتفاعی ۸۳
- شکل ۴-۷: نمودار چگالی طیفی و تابع همبستگی برای یک بردار سه متغیره (a) تابع چگالی طیفی توان (b) تابع همبستگی ۸۵
- شکل ۴-۸: نمونه توابع تولید شده برای سرعت نوسانی باد در جهت طولی در نقاط با ترازهای ارتفاعی M ۱۰,14.5 در طی بازه زمانی T_0 ۸۶
- شکل ۴-۹: نمونه توابع تولید شده برای سرعت نوسانی باد در جهت طولی در نقطه ای با تراز ارتفاعی 19 M در طی بازه زمانی T_0 ۸۷
- شکل ۴-۱۰: نمونه توابع تولید شده برای سرعت نوسانی باد در جهت طولی در نقاط با ترازهای ارتفاعی 10,14.5 m, در طی بازه زمانی ۱۳۰ ثانیه ۸۷
- شکل ۴-۱۱: نمونه تابع تولید شده برای سرعت نوسانی باد در جهت طولی در سه نقطه با ترازهای ارتفاعی 19 M در طی بازه زمانی ۱۳۰ ثانیه ۸۸
- شکل ۴-۱۲: میدان سرعت طولی آشفته باد بدست آمده از فرآیند سه متغیره گائوسین مانا ۸۸
- شکل ۴-۱۳: مقایسه توابع چگالی طیفی هدف در برابر توابع تبدیل از حوزه زمان به حوزه فرکانس (FFT) در ترازهای ارتفاعی گوناگون ۸۹
- شکل ۴-۱۴: سرعت باد در ترازهای ارتفاعی ۲۶/۸ و ۲۸/۵ متر ۸۹
- شکل ۴-۱۵: سطح مقطع مؤثر هر طبقه عمود بر جهت باد ۹۰
- شکل ۴-۱۶: نیروی تولید شده توسط باد بر سازه در ترازهای ارتفاعی مختلف ۹۱
- شکل ۴-۱۷: اعمال نیروهای آیرودینامیکی باد به مرکز جرم طبقات ۹۱
- شکل ۴-۱۸: شتاب ثبت شده زمین در اثر زلزله منجیل ۹۲
- شکل ۵-۱: ساختار میراگر جرمی غیر فعال ۹۶
- شکل ۵-۲: سیستم یکدرجه آزاد تحت ارتعاش اجباری (a ، $f(t)$) سیستم بدون TMD (b) سیستم تجهیز شده با TMD ۹۷

- شکل ۳-۵: نسبت پاسخ دینامیکی نوسان کننده یکدرجه آزاد با و بدون DVA ۹۸
- شکل ۴-۵: ضریب پاسخ دینامیکی نوسان کننده تجهیز شده با یک DVA برای مقادیر متفاوت ۹۹
- شکل ۵-۵: میراگر جرمی متصل شده به یک سیستم SDOF ۱۰۱
- شکل ۶-۵: ماکزیمم ضریب تشدید دینامیکی برای سیستم اولیه (SDOF) ۱۰۲
- شکل ۷-۵: ماکزیمم ضریب تشدید دینامیکی برای میراگر جرمی (TMD) ۱۰۲
- شکل ۸-۵: اغتشاش باد در حوزه فرکانس ۱۰۷
- شکل ۹-۵: اغتشاش زلزله در حوزه فرکانس ۱۰۸
- شکل ۱۰-۵: مودها و فرکانس اصلی ساختمان ۷۶ طبقه مرجع ۱۰۸
- شکل ۱۱-۵: مقایسه جابجایی و شتاب طبقه ۷۶ در دو حالت بدون TMD و با TMD در معرض اغتشاش باد ۱۰۹
- شکل ۱۲-۵: مقایسه جابجایی و شتاب طبقه ۷۶ در دو حالت بدون TMD و با TMD در معرض اغتشاش زلزله ۱۱۰
- شکل ۱۳-۵: RMS جابجایی و شتاب طبقات تحت هر گونه اغتشاش (a) زلزله (b) باد ۱۱۱
- شکل ۱۴-۵: بهینه سازی تک منظوره در معرض تحریک باد برای توابع هدف J_1, J_2, J_3 ۱۱۴
- شکل ۱۵-۵: بهینه سازی چند منظوره در معرض تحریک باد برای تابع هدف J_4 ۱۱۶
- شکل ۱۶-۵: بهینه سازی چند منظوره در معرض تحریک زلزله برای تابع هدف J_4 ۱۱۷
- شکل ۱۷-۵: RMS جابجایی و شتاب طبقات در برابر تحریک زلزله برای TMD_{EQ} طراحی شده در نقطه هدف اول ۱۱۸
- شکل ۱۸-۵: RMS جابجایی و شتاب طبقات در برابر تحریک زلزله برای TMD_{EQ} طراحی شده در نقطه هدف دوم ۱۱۸
- شکل ۱۹-۵: RMS جابجایی و شتاب طبقات در برابر تحریک زلزله برای TMD_{WIND} و $TMD_{tsai\&fin}$ ۱۱۹
- شکل ۲۰-۵: RMS جابجایی و شتاب طبقات در برابر تحریک باد برای TMD_{WIND} و TMD_{EQ} ۱۱۹
- شکل ۱-۶: الگوریتم کنترلی مدار بسته ۱۲۳
- شکل ۲-۶: الگوریتم کنترلی مدار باز ۱۲۴
- شکل ۳-۶: تجهیزات مورد نیاز در الگوریتم کنترلی مدار باز- بسته ۱۲۵
- شکل ۴-۶: ساختار اصلی سیستمهای فازی یا فازی ساز و غیر فازی ساز ۱۲۸
- شکل ۵-۶: رفتار طبقه آخر در پنج فاز مختلف ۱۳۰
- شکل ۶-۶: توابع تعلق اولیه جابجایی، سرعت و نیروی کنترلی ۱۳۱
- شکل ۷-۶: پنج قانون اگر- آنگاه فازی با استفاده از توابع تعلق ۱۳۲
- شکل ۸-۶: پارامترهای متغیر در توابع تعلق خروجی ۱۳۵
- شکل ۹-۶: کروموزوم مورد نظر متشکل از ۱۸ ژن در روند الگوریتم بهینه سازی ۱۳۶
- شکل ۱۰-۶: بهینه سازی چند منظوره در معرض تحریک باد برای طراحی ATMD براساس تابع هدف J_4 ۱۳۶
- شکل ۱۱-۶: توابع تعلق بهینه شده برای تحریک باد ۱۳۷
- شکل ۱۲-۶: نیروی کنترل اعمالی به ساختمان ۱۳۷
- شکل ۱۳-۶: مدل سیمولینک برای ساختمان با کنترل کننده فازی ۱۳۸
- شکل ۱۴-۶: RMS جابجایی و شتاب طبقات برای سه حالت بدون کنترل، کنترل غیر فعال و فعال ۱۳۸

شکل ۶-۱۵ : نمودار میله‌ای RMS جابجایی و شتاب طبقات برای سه حالت بدون کنترل، کنترل غیر فعال و	۱۳۹
شکل ۶-۱۶ : رفتار ساختمان متناسب با دو تابع هدف بهینه سازی شده (a) جابجایی نسبی طبقات (b) برش	۱۳۹
شکل ۶-۱۷ : جابجایی و شتاب در طبقات ۳۰، ۵۰ و ۶۰.....	۱۴۰
شکل ۶-۱۸ : برش پایه ساختمان در معرض تحریک باد.....	۱۴۰
شکل ۶-۱۹ : نمودار چرخه‌های (a) میرایی (b TMD) فنر بهمراه میراگر لزج به موازات هم در TMD.....	۱۴۱
شکل ۶-۲۰ : RMS برش طبقات در سه حالت بدون کنترل، کنترل غیرفعال و کنترل فعال برای تحریک باد	۱۴۱
شکل ۶-۲۱ : بهینه سازی چند منظوره در معرض تحریک زلزله برای طراحی ATMD براساس تابع هدف J_4	۱۴۳
شکل ۶-۲۲ : توابع تعلق بهینه شده برای تحریک زلزله.....	۱۴۳
شکل ۶-۲۳ : نیروی کنترل اعمالی به ساختمان.....	۱۴۴
شکل ۶-۲۴ : RMS جابجایی و شتاب طبقات برای سه حالت بدون کنترل، کنترل غیر فعال و فعال.....	۱۴۴
شکل ۶-۲۵ : رفتار ساختمان متناسب با دو تابع هدف بهینه سازی شده (a) جابجایی نسبی طبقات (b) برش	۱۴۴
شکل ۶-۲۶ : جابجایی و شتاب در طبقات مختلف (a) طبقه ۷۶ (b) طبقه ۵۰ (c) طبقه ۳۰.....	۱۴۵
شکل ۶-۲۷ : نمودار میله ای RMS جابجایی و شتاب طبقات برای سه حالت بدون کنترل، کنترل غیر فعال و	۱۴۶
فعال.....	۱۴۶
شکل ۶-۲۸ : جابجایی نسبی ساختمان در معرض تحریک زلزله.....	۱۴۶
شکل ۶-۲۹ : RMS برش طبقات در سه حالت بدون کنترل، کنترل غیرفعال و کنترل فعال برای تحریک زلزله	۱۴۷
شکل ۶-۳۰ : جابجایی نسبی میراگر جرمی در برابر تحریکات خارجی (a) اغتشاش باد (b) اغتشاش زلزله.....	۱۴۸
شکل ۶-۳۱ : مقایسه عملکرد FLC طراحی شده برای زلزله در برابر اغتشاش باد.....	۱۴۸
شکل ۶-۳۲ : مقایسه عملکرد FLC طراحی شده برای باد در برابر اغتشاش زلزله.....	۱۴۹
شکل ۶-۳۳ : مدل کنترل تطبیقی ساختمان برای کنترل کننده فازی.....	۱۴۹
شکل ۱-الف : کروموزوم باینری در الگوریتم ژنتیک.....	۱۵۷
شکل ۲-الف : کروموزوم‌های باینری در جمعیت آغازین و نسل بعدی.....	۱۵۸
شکل ۳-الف : تلفیق والدین با بکارگیری روش دو نقطه ای.....	۱۵۸
شکل ۴-الف : فرآیند جهش بر روی یک متغیر باینری.....	۱۵۹
شکل ۵-الف : ارزیابی و مرتب سازی جوابها و حذف جوابهای اضافی.....	۱۵۹
شکل ۱-ب : ساختار اصلی سیستمهای فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز.....	۱۶۱
شکل ۲-ب : ساختار فازی کننده متناسب با توابع تعلق گوناگون.....	۱۶۳
شکل ۳-ب : تابع تعلق بلندی ارتفاع بر حسب cm.....	۱۶۴

۱- فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

بلايا و حوادث طبیعی سخنی است که جایگاه زندگی و آرامش انسان را همراه با ویران شدن خانه و کاشانه او به مخاطره می‌اندازد. هر یک از عناصر جوی با توجه به نوع خطرات و اثربخشی که در جامعه بشری با خود به‌همراه می‌آورند، نقش ویژه‌ای در مسائل اقتصادی و سیاسی یک ملت ایفا می‌کنند. اگرچه ممکن است برخی حوادث مزایا و امتیازات گوناگون برای یک جامعه را شامل شود، ولی نباید از اثرات مخرب آنها در توسعه اقتصادی و زندگی انسانها غافل شد. بطوریکه می‌توان به بیشترین خسارات جانی و مالی در اثر پدیده‌های جوی (زلزله، توفان، سیل،.....) و خطرات ثانویه ناشی از آنها اشاره نمود. تأثیرگذاری بلایای جوی بر جوامع با توجه به وضعیت توسعه اقتصادی و آسیب‌پذیری آنها متفاوت است. به طوری که رویدادهای جوی بیشترین خسارات جانی را در کشورهای کمتر توسعه یافته و بیشترین خسارات مالی را در کشورهای بیشتر توسعه یافته ایجاد می‌کنند. براساس آمارهای بین‌المللی در ۲۷ سال گذشته ۶/۳ میلیون نفر در جهان بر اثر بلایای طبیعی جان باخته‌اند [۱]. و بیش از سه میلیارد نفر آسیب دیده‌اند و بیش از ۲۴۰ میلیارد دلار خسارت مالی وارد شده است. همچنین آمار نشان می‌دهد که بلایای طبیعی روبه افزایش هستند. بطوریکه بر پایه یافته‌های موجود در بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ میلادی شدت بلایا ۱/۴، نسبت جان باختگان ۹/۶ و آسیب دیدگان ۲/۵ و خسارت مالی ۳۸ برابر شده است. و به طور متوسط در هر سال از هر ۳۱ نفر، یک نفر از بلایا آسیب دیده و از هر ۳۱۰۰۰ نفر، یک نفر در اثر واقعه طبیعی جان خود را از دست داده است [۱]. انسان به تعبیری موجودی گیرنده، فرستنده و حساب‌کننده قلمداد شده و با هوشمندی خود قادر است بسیاری از وقایع را که گاه بلیه به نظر می‌رسند به رحمت مبدل کند یا حداقل از میزان خسارات وارده بکاهد. با توجه به آنچه گفته شد ایران نیز از جمله کشورهایی است که در معرض بیشترین بلایای طبیعی قرار داشته و در سال‌های گذشته خسارت‌های فراوان مالی و جانی را در اثر بلایای طبیعی متحمل شده است. بطوریکه یکی از ۱۰ کشور آسیب‌پذیر جهان از حیث وقوع حوادث طبیعی محسوب می‌شود. با توجه به وجود ۷۰ درصد جمعیت کل کشور در شهرها و دارا بودن بیشترین آسیب‌پذیری در زمان رخداد هر یک از حوادث و سوانح، وقوع حوادث طبیعی علاوه بر بروز تلفات انسانی موجب آسیب و خسارت‌های سنگین بر زیرساخت‌های شهری، اماکن مسکونی، تجاری و کارخانجات شده بطوریکه امنیت روحی، روانی، اقتصادی مردم را به خطر می‌اندازد. علی‌رغم اینکه جلوگیری از وقوع اغلب بلایای طبیعی خارج از کنترل انسان به نظر می‌رسند، خسارات و آسیب‌های ناشی از آنها بطور چشمگیری قابل کنترل است.

بطور کلی پیش‌آگاهی و پیشگیری در کلیه امور بهتر از مبارزه و درمان است. در بسیاری از مواقع می‌توان با استفاده از پیشگیری، صدمات و خسارات جانی و اقتصادی ناشی از این گونه

بلايا را به حداقل ممکن رسانيد. و اين مهم نيازمند آگاهی و شناخت آحاد جامعه است. بطوریکه می توان گفت اين موضوع ارتباط مستقیمی با عملیات پیش گیرانه توسط انسان دارد به طور مثال، خسارات ناشی از بلايای طبیعی چون زلزله، طوفان را می توان با مقاوم سازی منازل مسکونی یا استحکام ابنیه و ساخت سازه های بلند با اشکال هندسی متناسب در برابر بارهای جانبی اين دو بلیه به حداقل مقدار خود رسانيد. به طور کلی پیش آگاهی و پیشگیری در تقابل با بلاهای طبیعی از نظر زمانی دارای سه مرحله پیش از وقوع، هنگام وقوع و بعد از وقوع است. هر یک از مراحل سه گانه بترتیب نيازمند تمهیداتی شامل پیش بینی های مورد لزوم بر مبنای اطلاعات درست در امور هواشناسی، زمین شناسی، زیست محیطی، شناخت پدیده ها و استفاده از سازه های موثر در کاهش بلايا، تخصیص اعتبارات در جهت موارد پژوهشی و اجرایی، آماده سازی اذهان عمومی در راستای تقابل با چنین رخدادها و در مرحله بعد از وقوع به کارگیری روشهای مقابله با پدیده های ثانویه و احتمال صدمات مجدد ناشی از حادثه، درخور اهمیت است. مهمترین روش برای مقابله با بلايای طبیعی، علمی نمودن و اجرای درست پروژه های ساختمانی با برنامه ریزیهای جامع منطقه ای، ملی و فراملی است.

۱-۲- پیشینه مطالعاتی

همانطور که در بخش قبل اشاره شد انسانها با شناخت پدیده های طبیعی و پیدا کردن ایده های جدید و بهتر برای حفظ سازه ها در برابر اثرات تخریبی آنها همواره در پی مقابله با بلايا برآمده اند که زلزله به عنوان یکی از هولناک ترین اين پدیده ها توجه بسیاری را به خود جلب نموده است. سرزمین ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن بر روی کمربند جهانی زلزله در طول تاریخ همواره زمین لرزه های بزرگ و خسارت باری را شاهد بوده است. چنانچه در قرن حاضر نیز زلزله یکی از دغدغه های مردمان و دولت های اين سرزمین است. علاوه بر زلزله در سالیان اخیر بعثت پیشرفت هر چه بیشتر ارتفاع سازه ها پدیده تندبادها نیز بعنوان یکی از معضلات برای طراحان سازه اثر بخشی خود را آشکار کرده است. بهمین منظور محققان بسیاری مطالعات خود را بر پایه مقابله با چنین حوادث طبیعی قرار داده اند. قبل از هر چیز لازم است مطالعات انجام شده تا به امروز بر روی روشهای کاربردی برای کاهش اثر بلايا مورد بازبینی قرار گیرند.

با تلاشهای بسیار در کاهش آثار سوانح طبیعی، بروز واژه ای به نام کنترل سازه مورد پذیرش جوامع علمی قرار گرفت. در همین راستا بسیاری از مکانیسمهای بدست آمده در جهت کنترل

سازه به گروه‌های متفاوتی طبقه‌بندی شدند. بعنوان مثال گروه کنترل غیرفعال^۱ شامل دستگاه های جداساز پایه‌ای، میراگرهای ویسکوالاستیک، میراگر جرمی، میراگر تنظیم شده ستون مایع^۲، میراگرهای تسلیم فلزی و میراگرهای اصطکاکی هستند. همچنین در گروه کنترل فعال از میراگرهای جرمی تنظیم شده فعال^۳، مجموعه تاندونهای فعال، محرکها / کنترل کننده‌ها می‌توان نام برد. بواسطه همین موضوع برای کاهش پاسخ در ساختمانهای بلند از میراگرهای جرمی فعال جهت تقابل با ارتعاشات ناشی از باد می‌تواند، استفاده می‌شود [۲].

اولین تحقیقات در زمینه تئوری کنترل سازه‌ها برای ساختمانهای بلند در دهه ۶۰ توسط ایگن فریزینه^۴ انجام گرفت [۳]. او در سال ۱۹۶۰ استفاده از کابل های پیش تنیده (prestressed tendon) به عنوان ابزار کنترلی جهت پایدار ساختن سازه‌های بلند را پیشنهاد کرد در میان سیستمهای کنترلی ذکر شده پیشرفتهای اولیه برای جداسازهای لرزه‌ای در دانشگاه کالیفرنیا برکلی^۵ در سال ۱۹۷۶ صورت گرفت [۴]. پس از آن نیز تحقیقات زیادی بر روی انواع سیستمهای جداساز لرزه‌ای (تکیه‌گاه‌های الاستومریک، لغزشی) انجام گرفت [۵]. در این میان می‌توان به یکی از سازه‌های تجهیز شده با جداسازهای لرزه‌ای در لوس‌آنجلس که به آسانی از زلزله^۶ ۱۹۹۴ نورتریج (Northridge) محافظت شد، نام برد. همزمان با مطالعات فراوان بر روی سیستمهای جداساز لرزه‌ای، انواع دیگر سیستمهای غیرفعال نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. بطوریکه میتوان به بررسی‌های انجام شده درباره کاربرد میراگرهای جرمی غیرفعال بر روی سیستمها با چند درجه آزادی در سال ۱۹۸۶ اشاره کرد [۶]. پس از مطالعات ارائه شده توسط فریزینه، لوزلاتین^۷ یک ایده جدید در طراحی سازه های بلند را مطرح کرد که در آن کابل ها از یک سو به قاب سازه و از سوی دیگر توسط جکهای هیدرولیکی به زمین متصل می‌شدند [۷]. تحقیقات بعدی در این زمینه توسط کوبوری^۷ و مینایی انجام گرفت. بطوریکه می‌توان گفت روشهای متنوعی توسط کوبوری شامل موارد زیر جهت کنترل پاسخ ارتعاشی سازه ارائه شد [۸]:

۱. جداسازی انتقال انرژی از طریق حرکت زمین بواسطه زلزله به یک سازه (base-

Isolation)

۲. تفکیک پریود طبیعی سازه از پهنه فرکانسی غالب حرکت زمین

۳. رسیدن به حالت غیر ثابت و بدون تشدید مشروط بر خصوصیات غیر خطی

۴. بکارگیری نیروی کنترل همچون جرم میراگر/ محرک یا تاندون

¹ Passive control

² Tuned liquid column damper

³ Active tuned mass damper

⁴ Eugene Freyssinet

⁵ University of California at Berkeley

⁶ Lev zelatin

⁷ Kobori