

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه گیلان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه

کنترل ارتعاشات ساختمان ها با استفاده از سیستم ترکیبی جداگر

پایه غیر خطی - میراگر MR

توسط :

مهدی رشیدی میبیدی

استاد راهنما :

دکتر آرش بهار

تابستان ۱۳۹۳

«تقدیم به پدر و مادر»

که همواره چراغ هدایت اند»

تقدیر و شکر:

شکریان نثار ایزدمنان که توفیق را رفیق را بهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فاضل و اندیشمند خودم جناب آقای دکتر آرش بهار به عنوان استاد

راهنما که همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال شکر را دارم. همچنین از خواهر عزیزم، خاله مهربانم و خانواده پر مهرش به خاطر همه مهربانیشان

سپاسگزارم.

کنترل ارتعاشات ساختمان ها با استفاده از سیستم ترکیبی جداگر پایه غیر خطی – میراگر MR

مهدی رشیدی میبدی

روش جداسازی پایه سازه ها، به عنوان یک روش کنترل غیرفعال سازه ای از زمان های دور تاکنون برای محافظت سازه در برابر نیروی زلزله مورد استقبال محققین قرار گرفته و تا حدودی اجرایی شده است. انواع مختلفی از جداگرها پدید آمدند که در دو دسته کلی می توان آنها را به جداگرهای خطی و غیر خطی تفکیک نمود. از آنجا که جداگرهای خطی تحت تحریک باد یا زلزله خفیف ممکن است، تغییر مکان های افقی نامطلوبی داشته باشند، لزوم استفاده از جداگر غیر خطی نمایان می شود. جداگر غیر خطی مورد استفاده در این پژوهش، جداگر لاستیکی با هسته سربی (LRB) است. در این جداگر، نیروی غیرخطی هسته سربی باعث مشکل شدن طراحی کنترلرها در سیستم کنترل هیبریدی خواهد بود. بنابراین، یک تابع خطی جایگزین ترم هیستریزس نیروی غیرخطی شده که دارای رفتاری مشابه با آن می باشد. به دلیل سختی کم جداگر پایه، لزوم استفاده از ابزارهای میرایی در سطح جداسازی به منظور کاهش تغییر مکان پایه امری آزموده شده است از اینرو از میراگر MR به عنوان ابزار کنترل استفاده شده است. جریان ورودی به میراگر MR با هدف برقرار کردن تعادل مناسب میان تغییر مکان پایه و شتاب های سازه ای به صورت جریان نمایی تعریف شده است که آنرا جریان نمایی نامگذاری کردیم. در انتها، این مجموعه کنترلی پیشنهاد شده، اعتبار سنجی شده و مشخص شده است که شتاب سازه ای و دریفت میان طبقه و همچنین تغییر مکان پایه به طور همزمان مقادیر مطلوبی داشته اند.

کلیدواژه ها: میراگرهای MR، کنترل نیمه فعال، جداسازی در پایه غیرخطی

چکیده فارسی

چکیده انگلیسی

فصل ۱: انگیزه‌ها و اهداف

۳	۱-۱- انگیزه‌ها
۴	۲-۱- اهداف
۵	۳-۱- سازماندهی پژوهش

فصل ۲: جداگرهای پایه و افزایش مقاومت لرزه ای ساختمان‌ها

۷	۱-۲- مقدمه
۷	۲-۲- جداگرهای پایه، دلایل استفاده و سطح کاربرد آن
۱۳	۳-۲- انواع جداگرهای پایه
۱۳	۲-۳-۱- تکیه گاههای لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم
۱۵	۲-۳-۲- تکیه گاه های لاستیکی با هسته سربی
۱۸	۳-۳-۲- تکیه گاه های پاندولی اصطکاکی
۱۹	۴-۲- عیوب و نواقص وارده به ساختمان های جدا شده پایه
۲۰	۵-۲- سیستم های جدا شده پایه هیبریدی
۲۴	۱-۵-۲- سیستم جداسازی پایه فعال
۲۵	۲-۵-۲- سیستم جداسازی پایه نیمه فعال
۲۶	۱-۲-۵-۲- میراگر MR

فصل ۳: تحلیل رفتار جداگر پایه LRB با استفاده از روش شناسایی گام به گام

۴۳	۱-۳- مقدمه
۴۴	۲-۳- معرفی مدل بوک - ون اصلاح شده و پارامترهای آن
۴۵	۳-۳- مروری به برخی از تحقیقات انجام گرفته در زمینه شناسایی
۴۹	۴-۳- روند شناسایی گام به گام پارامترهای مدل بوک- ون
۵۲	۳-۵- کاربرد روند شناسایی گام به گام برای جداگر پایه LRB
۵۲	۱-۵-۲- روند شناسایی
۵۸	۳-۶- ارزیابی روند شناسایی
۶۰	۳-۷- تحلیل رفتار جداگر پایه LRB
۶۶	۳-۸- نتیجه گیری

فصل ۴: معادلات سازه ای و مجموعه کنترلی جدید

۶۷	۱-۴- مقدمه
۶۸	۲-۴- معادلات و پارامتر های سازه ای
۷۰	۳-۴- تشریح سیستم جداگر های پایه
۷۲	۴-۴- میراگر MR اعمالی

۷۴	۵-۴- مجموعه کنترلی پیشنهادی
۷۴	۱-۵-۴- مدل پیشنهادی برای جداگر پایه LRB
۷۸	۲-۵-۴- ایده جدید کنترل میراگر MR
۸۱	۶-۴- معرفی تحریک های ورودی
۸۲	۷-۴- نتیجه گیری

فصل ۵: پیاده سازی عددی

۸۳	۱-۵- مقدمه
۸۳	۲-۵- روند شبیه سازی
۸۵	۳-۵- ارزیابی دقت خطی سازی انجام گرفته برای جداگر پایه LRB
۹۴	۴-۵- شاخص های عملکردی
۱۰۰	۵-۵- منحنی های تاریخچه زمانی
۱۱۳	۶-۵- نتیجه گیری

فصل ۶: نتیجه گیری و تحقیق بیشتر

۱۱۲	۱-۶- نتیجه گیری
۱۱۶	۲-۶- تحقیق بیشتر

فهرست مراجع

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۶۸	جدول ۱-۴- پارامترهای سازه ای و جداسازی ساختمان ۱ طبقه
۷۰	جدول ۲-۴- پارامترهای سازه ای و جداسازی برای ساختمان ۵ طبقه
۷۲	جدول ۳-۴- مشخصات میراگر بکاربرده شده در این پژوهش مطابق [۵۴]
۹۵	جدول ۱-۵- معیارهای ارزیابی مجموعه کنترلی پیشنهادی برای ساختمان جدا شده پایه هنگامیکه زلزله ها در جهت X باشند
۹۶	جدول ۲-۵- معیارهای ارزیابی مجموعه کنترلی پیشنهادی برای ساختمان جدا شده پایه هنگامیکه زلزله ها در جهت Y باشند
۹۸	جدول ۳-۵- معیارهای ارزیابی مجموعه کنترلی پیشنهادی برای ساختمان جدا شده پایه ۵ طبقه هنگامیکه زلزله ها در جهت X باشند
۹۹	جدول ۴-۵- معیارهای ارزیابی مجموعه کنترلی پیشنهادی برای ساختمان جدا شده پایه ۵ طبقه هنگامیکه زلزله ها در جهت Y باشند

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۲- نمونه ای از جداگرهای پایه.....
۸	شکل ۲-۲- تأثیر حضور جداگر بر روی شتاب های سازه ای.....
۹	شکل ۳-۲- بلوک دیاگرام سیستم جداسازی به عنوان سیستم کنترل غیرفعال.....
۱۰	شکل ۴-۲- جداگر لرزه ای استفاده شده در مدرسه شهر [۱] skopje.....
۱۰	شکل ۵-۲- دادگستری و مرکز حقوقی شهر سان برناردینو در لس آنجلس [۱].....
۱۱	شکل ۶-۲- شهرداری سان فرانسیسکو، کالیفرنیا [۱].....
۱۱	شکل ۷-۲- مرکز پستی غرب ژاپن، شهر ساندا [۱].....
۱۲	شکل ۸-۲- شرکت تلفن ملی ایتالیا، شهر آنکونا [۱].....
۱۲	شکل ۹-۲- مجتمع عمومی، شهر آوکلند در نیوزلند [۱].....
۱۴	شکل ۱۰-۲- نشیمن لاستیکی با میرایی کم [۱].....
۱۴	شکل ۱۱-۲- اجزاء تشکیل دهنده و نمونه ای از رفتار تکیه گاههای لاستیکی با میرایی کم.....
۱۵	شکل ۱۲-۲- نحوه انجام آزمایش در [۱۰].....
۱۶	شکل ۱۳-۲- اجزاء تشکیل دهنده و نمونه ای از رفتار تکیه گاههای لاستیکی با هسته سربی.....
۱۶	شکل ۱۴-۲- ساختمان بیمارستان (a. USC)، نما، پلان، موقعیت سنسورها (b) جریات سیستم جداسازی.....
۱۶	(c) چرخه نیرو- تغییر مکان هسته سربی جداگر [۱۲].....
۱۷	شکل ۱۵-۲- ساختمان (a. FCC)، نما، پلان، موقعیت سنسورها (b) مدل تحلیلی (c) شکاف جداسازی [۱۳].....
۱۸	شکل ۱۶-۲- یک نمونه ی آزمایشگاهی از سیستم پاندولی اصطکاکی با دو لغزاننده.....
۱۹	شکل ۱۷-۲- اجزاء تشکیل دهنده و نمونه ای از رفتار سیستم پاندولی اصطکاکی.....
۲۰	شکل ۱۸-۲- پاسخ لاستیک به بارگذاری متقارن- سه ناحیه متناظر با شیب منحنی تنش- کرنش [۲۰].....
۲۱	شکل ۱۹-۲- مدل دو درجه آزادی ساختمان جداشده [۱۴].....
۲۲	شکل ۲۰-۲- تغییر متوسط حداکثر شتاب مطلق سازه فوقانی در برابر نسبت میرایی تکیه گاه [۱۴].....
۲۲	شکل ۲۱-۲- تغییر متوسط حداکثر تغییر مکان تکیه گاه در برابر نسبت میرایی تکیه گاه [۱۴].....
۲۳	شکل ۲۲-۲- نسبت قابلیت انتقال ارتعاش (بار اعمالی یا تحریک تکیه گاهی) [۳].....
۲۷	شکل ۲۳-۲- (بالا) نوع تجاری یک میراگر MR در حالت سیلندری و (پایین) رفتار مایع MR در مواجهه با میدان مغناطیسی.....
۲۸	شکل ۲۴-۲- استفاده از مایع MR به ترتیب از بالا: حالت سیلندری، حالت برشی و فشرده.....
۲۹	شکل ۲۵-۲- نمایی از میراگر ER ساخته شده (بالا)، شماتیک میراگر ER (پایین) [۱۹].....
۳۱	شکل ۲۶-۲- ساختمان استفاده شده در [۹] برای ارزیابی جداگرهای پایه هیبریدی نیمه فعال.....
۳۱	شکل ۲۷-۲- سیاست کنترلی استفاده شده در [۱۶].....
۳۲	شکل ۲۸-۲- مدل ساختمان ۵ طبقه جداشده پایه کنترل شده با میراگر اثر متقابل وفق یافته [۱۹].....
۳۴	شکل ۲۹-۲- (a) مدل تحلیلی و شماتیک میراگر MR. (b) پاسخ نیرو- تغییر مکان مدل شبیه سازی شده و آزمایشگاهی تحت تحریک ۲/۵ هرتر [۳۲].....
۳۴	شکل ۳۰-۲- نمایی شماتیک از سازه معیار استفاده شده که هم در ارتفاع و هم در کف نامنظم است [۳۳].....

- شکل ۲-۳۱- مدل میراگر MR [۳۴]..... ۳۵
- شکل ۲-۳۲- رابطه میان سطح نیرو- لغزش میراگر MR و ولتاژ اعمالی [۳۷]..... ۳۶
- شکل ۲-۳۳- مقایسه پاسخ تغییر مکان و سرعت میان تکیه گاههای غیرخطی اصلی..... ۳۸
- و مدل دوخطی تقریبی در مرکز جرم سازه [۴۰]..... ۳۸
- شکل ۲-۳۴- مقایسه پاسخ نیرو و رفتار هیستریزس میان تکیه گاههای غیرخطی اصلی و مدل دوخطی تقریبی در مرکز جرم سازه [۴۰]..... ۳۹
- شکل ۲-۳۵- دیاگرام شماتیک انتگرال گیر backstepping براساس فیدبک رسیده از میراگر MR [۴۷]..... ۴۰
- شکل ۲-۳۶- الگوریتم کنترل نیمه فعال سلسله مراتبی [۴۳]..... ۴۱
- شکل ۳-۱- دیاگرام سیستم سازه ای تحت شناسایی [۵۳]..... ۴۷
- شکل ۳-۲- ورودی مورد استفاده در روند شناسایی [۵۴]..... ۴۸
- شکل ۳-۳- متغیرهای ورودی - خروجی دامپر MR در [۵۵]..... ۴۸
- شکل ۳-۴- متغیرهای ورودی - خروجی جداگر پایه LRB..... ۴۹
- شکل ۳-۵- نمودار نیرو - تغییر مکان میراگر MR برای سطوح مختلف ولتاژ [۵۳]..... ۵۰
- شکل ۳-۶- نمودار نیرو - سرعت میراگر MR برای سطوح مختلف ولتاژ [۵۳]..... ۵۱
- شکل ۳-۷- نمودار نیرو - سرعت میراگر MR [۵۵]..... ۵۱
- شکل ۳-۸- (a) پلان جداسازی شده؛ (b) مدل المان محدود سازه بالایی؛ و (c) نمای برش خورده‌ی سازه در ارتفاع [۳۳]..... ۵۳
- شکل ۳-۹- تغییر مکان جداگر انتخابی برای شناسایی به عنوان متغیر ورودی..... ۵۳
- شکل ۳-۱۰- نمودار نیرو - تغییر مکان جداگر..... ۵۴
- شکل ۳-۱۱- نمودار نیرو - سرعت در حضور ترم الاستیک..... ۵۴
- شکل ۳-۱۲- نمودار نیرو - سرعت بدون ترم الاستیک..... ۵۵
- شکل ۳-۱۳- نمودار نیرو- سرعت بدون حضور ترم الاستیک (خط پر)- با ترم الاستیک (نقطه چین)..... ۵۵
- شکل ۳-۱۴- نمودار نیروی آپدیت شده - سرعت به منظور محاسبه $Kx, K\omega$ ۵۶
- شکل ۳-۱۵- $\theta(x)$ نسبت به x ۵۶
- شکل ۳-۱۶- $\omega(x)$ نسبت به x ۵۸
- شکل ۳-۱۷- مقایسه نیروی مرجع (خط پر) و نیروی شناسایی شده (نقطه چین)..... ۵۹
- شکل ۳-۱۸- نمودار نیرو - تغییر مکان جداگر برای حالت شناسایی شده (نقطه چین)- حالت مرجع (خط پر)..... ۵۹
- شکل ۳-۱۹- نمودار نیرو - تغییر مکان جداگر تحت تحریک های کوچک تر (خط قرمز نشان خطی بودن منحنی است)..... ۶۰
- شکل ۳-۲۰- نمودار نیرو - تغییر مکان جداگر تحت تحریک بزرگ تر..... ۶۱
- شکل ۳-۲۱- رکورد زلزله Newhall..... ۶۱
- شکل ۳-۲۲- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده (پر)..... ۶۲
- شکل ۳-۲۳- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده بعد از افزایش ترم الاستیک (پر)..... ۶۲
- شکل ۳-۲۴- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده (پر) (بالا)- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده بعد از افزایش ترم الاستیک (پر) (پایین) تحت رکورد Newhall در جهت
- ۶۳..... FPY-FNX (جهت Y)
- شکل ۳-۲۵- رکورد زلزله Sylmar..... ۶۴

- شکل ۳-۲۶- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده (پر) (بالا) نیروی شناسایی شده بعد از افزایش ترم الاستیک (پر) (پایین) تحت تحریک Sylmar در جهت FPX- FNY ۶۴
- شکل ۳-۲۷- نمودار نیروی اصلی (نقطه چین)- نیروی شناسایی شده (پر) (بالا) - نیروی شناسایی شده بعد از افزایش ترم الاستیک (پر) (پایین) تحت رکورد Sylmar در جهت FPY- FNX ۶۵
- شکل ۴-۱- مدل ساختمان ۱ طبقه معرفی شده توسط Spencer [۹] و مورد استفاده در این پژوهش ۶۸
- شکل ۴-۲- مدل ساختمان ۵ طبقه معرفی شده توسط Kelly [۵۷] و مورد استفاده در این پژوهش ۷۰
- شکل ۴-۳- نمودار نیرو- تغییر مکان جداگر انتخاب شده ۷۱
- شکل ۴-۴- میراگر سیال MR بکاربرده شده در این پژوهش مطابق [۵۴] ۷۳
- شکل ۴-۵- مدل بوک- ون + ویسکوز [۵۴] ۷۳
- شکل ۴-۶- منحنی نیرو - سرعت جداگر تحت تحریک 100sint ۷۵
- شکل ۴-۷- منحنی تاریخچه زمانی متغیر داخلی جداگر تحت تحریک 100sint ۷۵
- شکل ۴-۸- منحنی تاریخچه زمانی متغیر داخلی جداگر تحت تحریک 100sint . اصلی (نقطه چین). خطی شده (پر) ۷۶
- شکل ۴-۹- منحنی سرعت- $\text{sgn}(x)$ جداگر تحت تحریک 100sint ۷۶
- شکل ۴-۱۰- منحنی سرعت- متغیر داخلی جداگر تحت تحریک 100sint. اصلی (نقطه چین) و خطی شده (پر) ۷۷
- شکل ۴-۱۱- منحنی نیرو- تغییر مکان جداگر تحت تحریک 100sint در دو حالت اصلی (نقطه چین) و خطی شده (پر) ۷۷
- شکل ۴-۱۲- منحنی تاریخچه زمانی تغییر مکان پایه (آبی) و شتاب سازه فوقانی (قرمز) ۷۹
- شکل ۴-۱۳- نحوه حرکت سازه تحت تحریک زلزله واکسترمم های تغییر مکان پایه و شتاب سازه فوقانی ۷۹
- شکل ۴-۱۴- نحوه تولید جریان توسط تابع پیشنهادی بازا $\rho = 100$ ۸۰
- شکل ۵-۱- بلوک ساخته شده برای ساختمان شبیه سازی شده در Simulink ۸۴
- شکل ۵-۲- بلوک ساخته شده برای جداگر پایه LRB معرفی شده در این پژوهش در Simulink ۸۴
- شکل ۵-۳- بلوک ساخته شده برای الگوریتم کنترلی معرفی شده در این پژوهش در Simulink ۸۴
- شکل ۵-۴- رکورد زلزله Sylmar در دو جهت X و Y ۸۵
- شکل ۵-۵- منحنی تاریخچه زمانی تغییر مکان جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) ۸۶
- و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Sylmar ۸۶
- شکل ۵-۶- منحنی تاریخچه زمانی سرعت جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Sylmar ۸۷
- شکل ۵-۷- منحنی تاریخچه زمانی نیروی غیر خطی جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Sylmar ۸۸
- شکل ۵-۸- منحنی نیرو - تغییر مکان جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Sylmar ۸۹
- شکل ۵-۹- رکورد زلزله Erzinkan در دو جهت X و Y ۹۰
- شکل ۵-۱۰- منحنی تاریخچه زمانی تغییر مکان جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Erzinkan ۹۰

- شکل ۵-۱۱- منحنی تاریخچه زمانی سرعت جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Erzinkan..... ۹۱
- شکل ۵-۱۲- منحنی تاریخچه زمانی نیروی غیر خطی جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Erzinkan..... ۹۲
- شکل ۵-۱۳- منحنی نیرو- تغییر مکان جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت خطی شده (پر) و اصلی (نقطه چین) تحت تحریک Erzinkan..... ۹۳
- شکل ۵-۱۴- رکورد زلزله Kobe در دو جهت X و Y ۱۰۰
- شکل ۵-۱۵- منحنی تاریخچه زمانی تغییر مکان جداگر در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Kobe ۱۰۱
- شکل ۵-۱۶- منحنی تاریخچه زمانی دریافت میان طبقه ساختمان ۱ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Kobe..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۷- منحنی تاریخچه زمانی شتاب سازه ای ساختمان ۱ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Kobe ۱۰۳
- شکل ۵-۱۸- منحنی تاریخچه زمانی جریان ورودی به میراگر MR در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Kobe به صورت ایده آل بدون نویز ۱۰۴
- شکل ۵-۱۹- منحنی تاریخچه زمانی نیروی تولیدی توسط میراگر MR در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Kobe به صورت ایده آل بدون نویز ۱۰۵
- شکل ۵-۲۰- رکورد زلزله Jiji در دو جهت X و Y ۱۰۶
- شکل ۵-۲۱- منحنی تاریخچه زمانی تغییر مکان جداگر برای ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Jiji..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۲- منحنی تاریخچه زمانی دریافت میان طبقه برای ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Jiji..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۳- منحنی تاریخچه زمانی شتاب سازه ای برای ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده تحت تحریک Jiji..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۴- منحنی تاریخچه زمانی جریان ورودی به میراگر MR در ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Jiji به صورت ایده آل بدون نویز ۱۰۹
- شکل ۵-۲۵- منحنی تاریخچه زمانی نیروی تولیدی توسط میراگر MR در ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Jiji به صورت ایده آل بدون نویز ۱۱۰
- شکل ۵-۲۶- نمودار تغییر مکان طبقات در ارتفاع ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Erzinkan..... ۱۱۱
- شکل ۵-۲۷- نمودار شتاب طبقات در ارتفاع ساختمان ۵ طبقه در جهت X (بالا) و در جهت Y (پایین) تحت تحریک Erzinkan..... ۱۱۲

فصل ۱

انگیزه‌ها و اهداف

۱-۱- انگیزه‌ها

محققین در صدد این هستند که با پیشرفت علم و حضور ابزارهای جدید در عرصه تکنولوژی باعث آرامش خاطر ساکنین کره خاکی شوند. یکی از حوزه‌های علوم مهندسی که به نوعی با جان انسان‌ها در ارتباط مستقیم است، مهندسی سازه می‌باشد. مهندسی در این حوزه سعی در استفاده بهینه از مصالح برای ساخت اماکن و سازه‌ها دارند. سازه علاوه بر تحمل بارهای استاتیکی وارده، باید در برابر بارهای دینامیکی همچون زلزله با شدت و بزرگای مختلف نیز مقاومت کند. برای این منظور، یکی از مشکلاتی که مهندسی با آن مواجه هستند، محافظت سازه‌ها در برابر این بارهاست. این هدف از طریق بکارگیری آیین‌نامه‌های طراحی عمومی و قوانین موجود قابل دست‌یابی است اما راه حل بهینه و نهایی نمی‌باشد. این نقص را می‌توان با ترکیب مهندسی کنترل با مهندسی سازه مرتفع نمود. گونه‌های کنترلی که در مهندسی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند، سیاست‌های کنترلی غیرفعال، فعال، نیمه فعال و هیبریدی می‌باشند.

کنترل غیر فعال به سیستم‌هایی اشاره می‌کند که از پاسخ سازه‌ها برای توسعه نیروهای کنترلی بدون نیاز به منبع انرژی برای بکاراندازیشان استفاده می‌کند. از طرف دیگر، کنترل فعال به سیستم‌هایی اشاره می‌کند که به منبع بزرگ انرژی برای بکاراندازی محرک‌ها به منظور اعمال نیروهای کنترلی به سازه نیاز دارند. در این میان، کنترل نیمه فعال، ویژگی‌های سیستم‌های غیر فعال و فعال را با هم ترکیب می‌کند. این سیستم‌ها به منبع کوچک انرژی برای راه‌اندازیشان نیاز دارند و از پاسخ سازه برای توسعه نیروهای کنترلی استفاده می‌کنند. مزیت این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های فعال این است که چنانچه در خلال یک زلزله، منبع انرژی قطع شود و موجود نباشد باعث ناپایداری سازه نمی‌گردد و محرک‌ها به صورت غیر فعال، نیروی کنترلی را به سازه اعمال می‌کنند. سیستم‌های هیبریدی به ترکیبی از سیستم‌های کنترلی غیر فعال و فعال یا غیر فعال و نیمه فعال اشاره می‌کنند.

سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای به عنوان نمونه‌ای از سیستم‌های کنترلی غیر فعال شناخته می‌شوند که باعث کاهش ارتعاشات بوجود آمده تحت تحریک زمین لرزه به سازه فوقانی می‌شوند. یکی از مشکلاتی که این سیستم‌ها با آن

مواجه هستند، وجود تغییر مکان بزرگ پایه تحت تحریک های نزدیک گسل می باشد که این منجر به گسیختگی وانهدام جداگر ها می شود.

به منظور غلبه بر این مشکل، از میراگر های مکمل در کنار سیستم جداسازی استفاده می شود این یعنی سیستم جداسازی هیبریدی. استفاده از میراگرها در کنار سیستم جداسازی خواص مطلوب جداسازی پایه را با انتقال انرژی به مودهای بالاتر از بین می برد که برای رفع این مشکل، میزان میرایی تزریق شده به سیستم جداسازی باید وفق پذیر باشد. استفاده از میراگرهای نیمه فعال به خصوص میراگر MR، وفق پذیری لازم را فراهم می کنند و میرایی را با توجه به الگوریتم کنترلی انتخابی به سازه وارد می کنند.

چنانچه جداگر مورد استفاده در سیستم جداسازی پایه از نوع خطی باشد، تحریک های خفیف زلزله و بادهای قوی باعث ناپایداری سازه می شود و این موجب به هم ریختن آرامش ساکنین آن می شود. برای غلبه بر این مشکل، محققین این عرصه، جداگرهای غیر خطی را پیشنهاد دادند. یکی از انواع جداگرهای غیر خطی، جداگر LRB می باشد که با حضور هسته سربی در داخل بدنه لاستیکی با صفحه فولادی، میرایی را افزایش می دهد و مشکل پایداری را تحت بادهای قوی و زلزله های خفیف حل می کند. با وجود اینکه جداگر پایه LRB مزیت ذکر شده را دارد اما از سویی، نیروی غیر خطی که هسته سربی در دینامیک سازه ایجاد می کند، باعث دشوار گردیدن طراحی الگوریتم های کنترلی می شود و این خود عاملی شده است که رغبت محققین برای تحقیق در این عرصه را نسبت به جداگرهای خطی کمتر می کند.

۱-۲- اهداف

هدف از پژوهش حاضر، طراحی مجموعه کنترلی جدید برای سیستم جداسازی پایه نیمه فعال می باشد. مجموعه کنترلی شامل دو رکن اساسی خواهد بود. (۱) حذف آشفتگی های موجود بواسطه حضور هسته سربی در جداگر پایه LRB که باعث دشوار گردیدن طراحی کنترلهای مورد نیاز می شود. (۲) پدید آوردن کنترلر تولید جریان یا ولتاژ برای میراگر MR به طوری که هدف طراحی سیستم جداسازی هیبریدی یعنی کاهش تغییر مکان پایه و به طور همزمان کاهش ارتعاشات وارد به سازه فوقانی را بدست دهد. در اکثر کارهایی که بر روی جداگر پایه LRB و بطور همزمان میراگر نیمه فعال انجام شده است، حضور میراگر باعث افزایش ارتعاشات سازه فوقانی می شود، هر چند که تغییر مکان پایه را به طور مؤثری کاهش می دهد. بنابراین لزوم ایجاد چنین پژوهشی را واجب دیدیم.

برای طراحی کنترلهای متناسب با سیستم های دینامیکی غیر خطی، روابط پیچیده ریاضی حکمفرما می شود و طراحان این ابزار را دچار دردسرهای محاسبات پیچیده ریاضی می کنند، حال آنکه در این پژوهش هدف این خواهد بود که تا حد امکان از محاسبات کلافه کننده ریاضی صرف نظر شود و از دید مهندسی و فیزیکی به مسأله نگاه شود. به امید اینکه اهداف ذکر شده در طی پژوهش حاصل شوند.

۱-۳- سازماندهی پژوهش

فصل دوم، اطلاعات کلی و مفیدی راجع به جداگرهای پایه و نحوه تکامل آنها به سمت سیستم های هیبریدی را در اختیار قرار خواهد داد. انواع جداگرهای پایه را که پرکاربرد می باشند، با تمرکز بیشتر بر روی جداگر پایه LRB شرح خواهیم داد. نقیصه سیستم های جداگر پایه برشمرده می شود و راهکارهای غلبه بر این مشکلات توضیح داده می شود. در فصل سوم، به تحلیل رفتار جداگر پایه LRB با استفاده از روش شناسایی گام به گام خواهیم پرداخت. روش های شناسایی عموماً برای میراگرهای MR کاربرد دارند. شناخت پارامترهای سیستم یا دینامیک سیستمی که می خواهد کنترل شود بسیار مهم می باشد. به این منظور در این فصل از یک ساختمان ۳ بعدی معیار برای شناسایی پارامترهای نیروی غیرخطی جداگر LRB و میزان مشارکت هر کدام از پارامترها در تولید نیروی غیر خطی هسته سربی این جداگر استفاده می شود.

در فصل چهارم، ساختمان های مدنظر برای ارزشیابی عددی فرمول بندی می شود و معادلات سازه ای آن به نمایش در می آید. در این فصل مجموعه کنترلی جدیدی برای جداگر پایه LRB پیشنهاد می شود که شامل دو رکن اصلی می باشد:

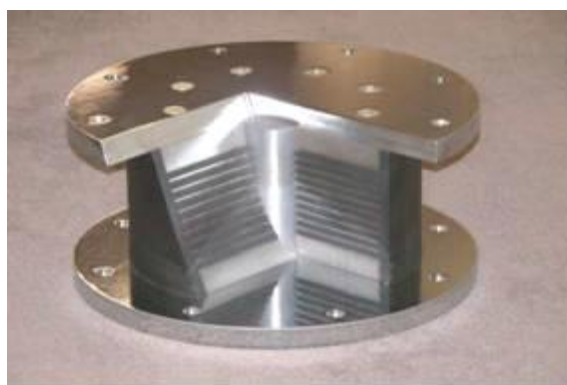
- (۱) تغییر نیروی غیرخطی جداگر پایه LRB به نیروی خطی شده معادل به طوریکه از دقت لازم برخوردار باشد.
- (۲) پیشنهاد تابع جدید تولید جریان یا ولتاژ برای میراگر MR به طوریکه تعادل مناسب را میان کاهش تغییر مکان پایه و کاهش شتاب سازه فوقانی برقرار کند.

فصل پنجم، به ارزشیابی و اعتبارسنجی مجموعه کنترلی پیشنهاد شده در فصل قبل اختصاص دارد. این فصل در دو قسمت به ارزیابی دقت خطی سازی انجام گرفته برای جداگر پایه LRB و ارزیابی مجموعه کنترلی پیشنهادی می پردازد. شاخص های عملکردی و منحنی های تاریخچه زمانی برای تمام مدل های ساخت شده به نمایش در می آیند.

فصل ۲

جداگرهای پایه و افزایش مقاومت لرزه ای ساختمان ها

جداگرهای پایه، سیستم هایی هستند که سازه فوقانی را از زمین جدا می کنند. به طور ساده مفهوم جداسازی سازه از زمین برای جلوگیری از خسارات ناشی از زمین لرزه به آن است. جداگرهای پایه به دلیل انعطاف پذیری بالایی که دارند باعث کاهش ارتعاشات وارده به سازه می شوند و در نتیجه شتاب و جابجایی نسبی سازه فوقانی کاهش می یابد اما از طرفی خود جداگرها باید تغییر شکل های زیادی را تحمل کنند. از مهمترین دغدغه های طراحان و کاربران این ابزار، کاهش این تغییر شکل های بوجود آمده در آنهاست که باعث بوجود آمدن سیستم های جدیدی به نام سیستم های هیبریدی در کنترل سازه ها گشته است و تحقیقات گسترده ای را در این رابطه پدید آورده است.



شکل ۲-۱- نمونه ای از جداگرهای پایه

۲-۱- مقدمه

در اغلب آیین نامه های لرزه ای، سه هدف اساسی زیر در طراحی و ساخت سازه های تحت زلزله مورد توجه قرار دارند:

- ✓ به حداقل رساندن آسیب های ناشی از زلزله در سازه در طول عمر بهره برداری آن.
- ✓ از بین بردن خطرات جانی برای ساکنان و کاربران ساختمان.
- ✓ افزایش قابلیت استفاده از سازه پس از وقوع زلزله.

برای مدت زمان طولانی، روش مرسوم در طراحی لرزه ای ساختمانها، افزایش سختی، مقاومت و شکل پذیری سازه‌ها بوده است. بنابراین، ابعاد اعضای سازه ای و مصرف مصالح مورد انتظار افزایش می یابد که منجر به افزایش هزینه ساختمان ها می شود و پاسخ های لرزه ای نیز به دلیل افزایش سختی سازه ها افزایش می یابد. بنابراین کارایی روش های مرسوم محدود است. برای غلبه بر این مشکلات تعدادی از مباحث کنترل ارتعاش که کنترل سازه ای نامیده می شود مطالعه شده و پیشرفت هایش در سال های اخیر چشمگیر بوده است. کنترل سازه ای یک حوزه متغیر برای مطالعه است و یک بخش تحقیقی رایج می باشد که به کاهش ارتعاشات سازه ای در طی بارگذاریهایی مثل زمین لرزه و بادهای قوی کمک می کند. در اصطلاحات روش های جذب ارتعاش مختلف در کنترل سازه ای می توان به کنترل فعال، کنترل غیر فعال، کنترل هیبریدی و کنترل نیمه فعال اشاره کرد. کنترل غیر فعال بیشتر از مابقی روش های ذکر شده مورد مطالعه واقع شده و در ساختمان ها به کار برده می شود. جداسازی پایه، یک سیستم کنترل ارتعاش غیرفعال است که به منبع انرژی برای راه اندازیش نیاز ندارد و از حرکت سازه برای تولید نیروهای کنترلی استفاده می کند. عملکرد ساختمان های جدا شده پایه در قسمت های مختلف جهان در خلال زمین لرزه ها در سال های اخیر مورد بررسی واقع شده است و به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی جداسازی پایه، یک سیستم مناسب برای رشد و ترقی به منظور طراحی مقاوم لرزه ای برای ساختمان های با ارتفاع متوسط می باشد. کاربرد این تکنولوژی باعث می شود که ساختمان ها در محدوده الاستیک باقی بمانند و بنابراین ایمنی لازم در طی وقوع زمین لرزه های بزرگ فراهم می شود. جداسازی، یک روش جذاب برای محافظت تجهیزات حساس گران قیمت و مؤلفه های غیر سازه ای مورد نیاز درون آن نیز می باشد.

برای رسیدن به اهداف کنترلی مدنظرمان، در این فصل به مرور بخش های زیر می پردازیم:

ابتدا دلایل استفاده از جداگرهای پایه را شرح داده و سپس انواع جداگرهای پایه را که در کاربرد مورد استفاده قرار می گیرند به اختصار توضیح می دهیم. در قسمت بعد به نقص ها و عیوب وارده به سازه های جدا شده با جداگرهای پایه می پردازیم و پدید آمدن شاخه ای جدید به نام سیستم های هیبریدی یا مختلط را مورد ارزیابی قرار خواهیم داد.

۲-۲- جداگرهای پایه، دلایل استفاده و سطح کاربرد آن

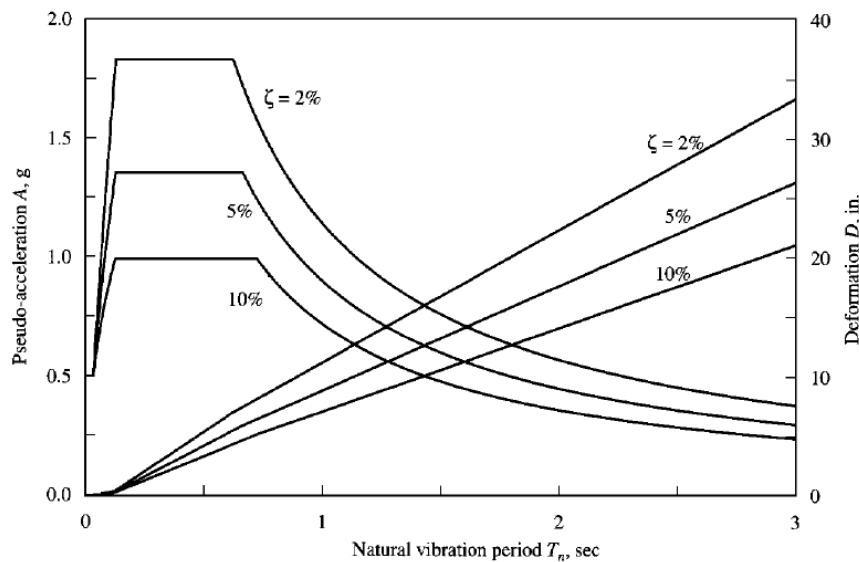
جداسازی لرزه ای^۱ یکی از قدیمی ترین ایده ها است که پیشنهاد می کند یک سازه یا قسمتی از آن یا حتی تجهیزات قرار گرفته در سازه به منظور جلوگیری از خسارات زمین لرزه، از زمین جدا شود [۷] اغلب کاربرد جداگرهای پایه، برای ساختمان های مهم که تجهیزات داخلی حساس دارند، می باشد. وظیفه اصلی که این ابزار سازه ای بر عهده دارند این است که مقاومت لرزه ای را برای یک ساختمان با حداقل کردن دریافت میان طبقه ای و شتاب طبقات به وجود آورند.

^۱. Base isolation

دریافت میان طبقه ای بزرگ به اعضا و المان های سازه ای خسارت وارد می کند ولی می تواند با سخت تر کردن سازه کمتر شود که این باعث افزایش اثر زمین لرزه می شود و شتاب طبقات را نیز زیاد می کند که به تجهیزات حساس داخلی موجود در آن خسارت وارد می کند. شتاب طبقات نیز می تواند به وسیله انعطاف پذیر کردن سازه کاهش یابد که این نیز منجر به افزایش دریافت میان طبقه ای می شود. تنها راه عملی برای کاهش همزمان دریافت میان طبقه و شتاب طبقات استفاده از جداگرهای پایه است. مفهوم جداسازی پایه کاملاً ساده است. سیستمی که سازه یا ساختمان را از مؤلفه های افقی زمین لرزه به وسیله المان های سازه ای با سختی افقی پایین که میان سازه و پی قرار می گیرند، جدا می کند. این عملیات سازه ای، فرکانس اصلی پایین تر از هر دو فرکانس سازه با پای ثابت و فرکانس اصلی زمین لرزه را بدست می دهد [۱].

چوپرا در کتاب دینامیک سازه ها عملکرد جداگرهای پایه را اینگونه توضیح می دهد (شکل ۲-۲):

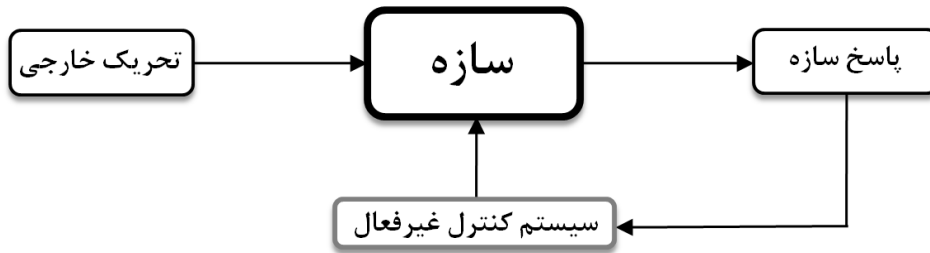
با این لایه جداسازی، سازه دوره تناوب طبیعی^۱ را که بزرگتر از حالت با پای ثابتش است، تجربه می کند؛ این افزایش دوره تناوب، کاهش شتاب و در نتیجه کاهش نیروی القایی ناشی از زلزله را در سازه منجر می شود اما از طرفی تغییر شکل پایه را افزایش می دهد [۲].



شکل ۲-۲- تأثیر حضور جداگر بر روی شتاب های سازه ای [۲]

سیستم جداسازی (شکل ۲-۳) انرژی زلزله را جذب نمی کند اما آن را سریعاً از طریق دینامیک های سیستم دفع می کند. این اثر به میرایی بستگی ندارد اما یک سطح مشخصی از میرایی می تواند در متوقف کردن تشدید ممکن در فرکانس جداسازی سودمند باشد.

^۱. Natural period



شکل ۲-۳- بلوک دیاگرام سیستم جداسازی به عنوان سیستم کنترل غیرفعال

اولین مود که به وسیله سیستم جداسازی پدید می آید، مود غالب است و پاسخ سازه جدا سازی شده کاملاً وابسته به تحریک زلزله روی اولین فرکانس مودال^۱ است. بنابراین وضعیت خاک در محل ساختمان، بر روی سیستم جداسازی تأثیرگذار است. برای وضعیت های عمومی خاک که فرکانس های غالب^۲ زلزله در بین ۱ هرتز و ۱۰ هرتز هستند، جداسازی پایه می تواند به وسیله تغییر فرکانس اصلی سازه به زیر ۱ هرتز از آن محافظت کند. با این وجود، برای ساختمانهای با وضعیت خاک بسیار نرم که فرکانس های غالب زلزله زیر ۱ هرتز می باشند، جداسازی پایه نمی تواند مناسب باشد، چون فرکانس سازه ای را وارد بازه بحرانی می کند. همچنین به علت فرکانس پایین مود اول، آن در تغییر شکل سازه فوقانی حکمفرما می باشد. در مقایسه با اولین مود، سهم مودهای بالاتر در پاسخ سازه جدا سازی شده قابل صرف نظر کردن می باشند. ضریب مشارکت مودهای بالاتر عمدتاً با سختی تکیه گاه متناسب می باشند. افزایش سختی تکیه گاه، پاسخ سازه ای حاوی فرکانس بالا را افزایش می دهد. در کل چنانچه ارتعاش فرکانس- پایین^۳ باشد، به تجهیزات حساس موجود در سازه صدمه وارد نمی شود [۸]. نیاز به بیمارستان ها یا تسهیلات اضطراری پس از زلزله روشن و واضح است. علاوه بر این، شرکت های تجاری در سراسر جهان وجود دارند که هر ثانیه اختلال در روند عملکردیشان خسارت های مالی فراوانی را به آنها وارد می کند. طبق گزارشات ایالات متحده در سال ۲۰۰۰، یک شرکت تجاری به دلیل اینکه یک هکر سیستم های کامپیوتری آنها را هک کرده بود به مدت ۲۲ ساعت از کار افتاد و خسارتی بالغ بر ۵ میلیون دلار در فروش و ۴ بیلیون دلار در سهام به آن وارد شد [۹]. اسنادهای مهم اطلاعاتی و یا مالی نیز وجود دارند که در بسیاری از سازمان ها و مراکز نگهداری می شوند و از دست دادن آنها برای صاحبانشان مشکل ساز خواهد بود. بسیاری از اشیاء گران قیمت تاریخی و باستانی نیز وجود دارند که سرمایه ملی محسوب می شوند و در موزه ها نگهداری می شوند و نباید به آنها خدشه ای وارد شود. همه و همه نشان از این دارند که سازه های مهم بسیاری وجود دارند که دارای محتویات با ارزش می باشند و باید از خسارت ناشی از زمین لرزه ها در امان بمانند. برای محافظت از محتویات و المان های غیر سازه ای در سازه، شتاب های سازه ای باید به حداقل کاهش یابند که این لزوم استفاده از جداگرهای پایه را نشان می دهد.

اینک شایسته است که چند نمونه از جداگرهایی که در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفتند را به صورت خلاصه ذکر کنیم تا اهمیت این تکنولوژی مقاوم در برابر بارهای جانبی در سطح جهانی نشان داده شود. اولین استفاده از یک سیستم جداگر لرزه ای لاستیکی^۴ برای محافظت یک سازه از زمین لرزه در سال ۱۹۶۹ میلادی، مدرسه ابتدایی در skopje یوگوسلاوی بود. (شکل ۲-۴)

^۱. Modal frequency

^۲. Fundamental frequency

^۳. Low-frequency

^۴. Rubber base isolation



شکل ۲-۴- جداگر لرزه ای استفاده شده در مدرسه شهر skopje [۱]

اولین ساختمان جدا شده پایه در ایالات متحده، دادگستری و مرکز حقوقی شهر سان برناردینو^۱ در لس آنجلس^۲ بود. این ساختمان نه تنها اولین ساختمان جدا شده پایه در ایالات متحده بود بلکه اولین ساختمان در سرتاسر جهان بود که از تکیه گاه های جداسازی با لاستیک طبیعی با میرایی بالا^۳ استفاده می کرد. (شکل ۲-۵)



شکل ۲-۵- دادگستری و مرکز حقوقی شهر سان برناردینو در لس آنجلس [۱]

^۱. San Bernardino

^۲. Los Angeles

^۳. High-damping natural rubber