١٤١٤٣٦

دانشگاه لیلان

دانشکدهٔ فنی

گروه عمران

گرایش سازه

تعیین پارامترهای بهینهٔ میراگرهای PALL در کنترل ارتعاشات لرزه ای ساختمانها

از:

شروین مهماندوست

استاد راهنما:

دکتر نصرت الله فلاح

۱۳۸۹/۷/۳

واحد خدمات مدارک علمی و بین
شعبه مدارک

شهریور ۸۸

دفتر تحصیلات تکمیلی

۱۴۱۴۳۶

تشکر و قدردانی:

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر نصرت الله فلاح که دانشمندانه و با سعه صدر در انجام پایان نامه بنده را راهنمایی نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر سعید پورزینلی و جناب آقای دکتر رضا صالح جلالی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را پذیرا شدند صمیمانه سپاسگذارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست جداول ..... خ

فهرست شکل ها ..... د

چکیده فارسی ..... ط

چکیده انگلیسی ..... ظ

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-پیشگفتار ۲

۱-۲- موضوع پایان نامه حاضر ۴

۱-۳-مراحل انجام پروژه ۵

فصل دوم: سیستم های کنترل سازه ها ۶

۲-۱- کنترل سازه ها در برابر زلزله ۷

۲-۲- کاربرد میراگرهای انرژی در کنترل سازه ۱۰

۲-۳-سیستم های کنترل غیرفعال ۱۱

۲-۳-۱-میراگرهای اصطکاکی ۱۲

۲-۳-۲-میراگرهای فلزی ۱۷

۲-۳-۳-میراگر ویسکو الاستیک ۱۹

۲-۳-۴-میراگر ویسکوز مایع ۲۰

۲-۳-۵-سیستم های تغییر دهندهٔ فرکانس سازه ۲۱

۲-۳-۵-۱-جداساز لرزه ای ۲۱

۲-۳-۵-۲-میراگر جرم تنظیم شونده (TMD) ۲۲

۲-۳-۵-۳-میراگر ستون مایع تنظیم شونده (TLCD) ۲۲

۲-۴-سیستم های کنترل فعال ۲۴

۲-۴-۱-کش های فعال *(Active Tendon)* ۲۴

۲-۴-۲-میراگر جرم تنظیم شونده فعال *(ATMD)* ۲۵

۲-۵-سیستم های کنترل نیمه فعال ۲۶

۲-۵-۱-میراگر جرم تنظیم شونده نیمه فعال *(Semiactive Tuned Mass Damper)* ۲۶

۲-۵-۲-میراگر ER *(Electrorheological Dampers)* ۲۷
۲-۵-۳-میراگر *MR* ۲۸
۲-۵-۴-میراگر ویسکوز نیمه فعال *(Semiactive Viscous Fluid Damper)* ۲۸
۲-۵-۵-سیستم های کنترل کنندهٔ سختی *(Semiactive Stiffness Control Devices)* ۳۰
۲-۵-۶-میراگر اصطکاکی نیمه فعال *(Semiactive Friction Damper)* ۳۰
فصل سوم: طراحی ساختمانها با میراگرهای اصطکاکی *PALL* ۳۲
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- هندسه میراگر Pall و مکانیزم اتلاف انرژی در آن ۳۴
۳-۳- طیف طرح بار لغزش ۳۹
۳-۴- بهینه نمودن بار لغزش ۴۰
۳-۴-۱- پارامتر های موثر بهینه ۴۱
۳-۴-۲- میزان تاثیر پارامتر ها ۴۳
۳-۴-۳- تهیه طیف طرح بار لغزش ۴۴
۳-۴-۴- نحوه انتخاب بادبند های قطری ۴۷
۳-۵- طراحی به کمک طیف طرح بار لغزش ۴۷
۳-۶-مروری بر کاربردهای عملی میراگر اصطکاکی *PALL* در سازه ها ۵۱
فصل چهارم: میراگرهای اصطکاکی مجهز به فعال کننده های پیزوالکتریک ۷۱
۴-۱-مقدمه ۷۲
۴-۲-معرفی ۷۲
۴-۳-میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک و الگوریتم کنترل ۷۵
۴-۴-خطی سازی میراگر *PFD* ۷۸
۴-۵- ارتعاش آزاد سازهٔ قاب ۱ طبقه با *PFD* ۷۹
۴-۶- ارتعاش هارمونیک سازهٔ قاب ۱ طبقه با *PFD* ۸۲
۴-۷- الگوریتم کنترلی نیمه فعال و ضرایب بهینه الگوریتم ۸۶
۴-۸-نسبت ضرایب بهینه الگوریتم (e/g) ۸۷
۴-۹-نقش مکانیزم های فعال و غیرفعال در الگوریتم کنترلی ۸۸
۴-۱۰- تعیین تجربی خصوصیات میراگرهای اصطکاکی پیزوالکتریک ۸۹
۴-۱۰-۱- مقدمه ۸۹

۴-۱۰-۲- معرفی ۸۹
۴-۱۰-۳- معرفی میراگر پیزوالکتریک ۹۰
۴-۱۰-۴- تعیین خصوصیات میراگر در حالت غیرفعال ۹۱
۴-۱۰-۵- آزمایش دوام ۹۸
۴-۱۰-۶- تعیین خصوصیات نیمه-فعال فعال کننده پیزوالکتریک ۱۰۰
۴-۱۰-۷- آزمایش *PINPOINT* ۱۰۱
۴-۱۰-۸-مدول فعال کننده و آزمایش جابجایی آزاد ۱۰۳
۴-۱۰-۹-نتیجه گیری ۱۰۴
فصل پنجم: مقدمات الگوریتم ژنتیک ۱۰۵
۵-۱-مقدمه ۱۰۶
۵-۲- تاریخچه الگوریتم های ژنتیک ۱۰۹
۵-۳- مفاهیم پایه ۱۰۹
۵-۴- پیش زمینه بیولوژیکی ژن ها و کروموزوم ها ۱۱۰
۵-۵- کد کردن مقادیر *(ENCODING)* ۱۱۱
۵-۶- تابع *Fitness (Fitness function)* ۱۱۵
۵-۷- تولید مثل (Reproduction) ۱۱۶
۵-۸- انواع روش های انتخاب (Selection) ۱۱۶
۵-۸-۱- روش چرخ رولت (Roulette Wheel) ۱۱۶
۵-۸-۲- روش بولتزمن (Boltzman) ۱۱۷
۵-۸-۳- روش رقابتی (Tournament) ۱۱۷
۵-۸-۴- روش رتبه بندی (Rank) ۱۱۷
۵-۸-۵- روش حالت پایدار (Steady – state) ۱۱۸
۵-۹- عملگرهای GA ۱۱۸
۵-۹-۱- عملگر ادغام (Cross Over) ۱۱۹
۵-۹-۱-۱- روش ادغام تک نقطه ای یا تک مکانی (Single – Sight Cross Over) ۱۲۰
۵-۹-۱-۲- روش ادغام دو نقطه ای (Two – point Cross Over) ۱۲۰
۵-۱۰-۱-۳- روش ادغام چند نقطه ای (Multi – point Cross Over) ۱۲۱
۵-۹-۱-۴- روش ادغام یکنواخت (Uniform Cross Over) ۱۲۲

۵-۹-۱-۵- روش ادغام دو بعدی (Matrix Cross Over) ۱۲۳
۵-۹-۲- نرخ ادغام (Cross Over Rate) ۱۲۳
۵-۹-۲- عمل معکوس سازی (Inversion) ۱۲۴
۵-۹-۲-۱- روش معکوس سازی از انتها و خطی (Linear + End Inversion) ۱۲۴
۵-۹-۲-۲- روش معکوس سازی پیوسته (Continuous Inversion) ۱۲۳
۵-۹-۲-۳- روش معکوس سازی دسته جمعی (Mass Inversion) ۱۲۴
۵-۹-۳- عمل حذف و کپی (Deleting And Duplication) ۱۲۵
۵-۹-۴- عمل حذف و تولید مجدد (Deleting and Regeneration) ۱۲۵
۵-۹-۵- عمل جدا سازی (Segregation) ۱۲۵
۵-۹-۶- عمل ادغام و معکوس سازی (Cross over And Inversion) ۱۲۶
۵-۱۰- عمل جهش یا موتاسیون (Mutation) ۱۲۶
۵-۱۰-۱-نرخ جهش (P_m – Mutation Rate) ۱۲۷
۵-۱۰-۲- عملگرهای بیتی (Bit – wise Operator) ۱۲۷
۵-۱۰-۳- عملگر مکمل یک (Ones Complement – Operator) ۱۲۸
۵-۱۰-۴- عملگرهای منطقی (Logical –Operator) ۱۲۸
۵-۱۰-۵- عملگر AND (&) ۱۲۸
۵-۱۰-۶- عملگر OR (|) ۱۲۸
۵-۱۰-۷- عملگر XOR (^) ۱۲۹
۵-۱۰-۸- عملگرهای شیفت (shift – operators) ۱۲۹
۵-۱۱- چرخه تولید نسل (Generation Cycle) ۱۳۰
۵-۱۲- همگرایی الگوریتم ژنتیک (Convergence) ۱۳۱
۵-۱۳- قضیهٔ الگو : (Goldberg – 1989) ۱۳۲
۵-۱۴- شرط توقف الگوریتم ۱۳۴
۵-۱۵- بهینه سازی چند مرحله ای ۱۳۴
۵-۱۶- برخی از مفاهیم تکمیلی و پیشرفته در GA ۱۳۵
۵-۱۷- بهینه سازی چند وجهی (Multi modal – optimization) ۱۳۵
۵-۱۸- بهینه سازی چند تابعی (Multi – Objective Optimization) ۱۳۶
۵-۱۹- الگوریتم ژنتیک پیوسته (Continuous – Genetic Algorithm) ۱۳۶

۵-۲۰- الگوریتم های ژنتیک موازی (Parallel Genetic Algorithms) ۱۳۶
۵-۲۱- کدگری (Gray code) ۱۳۷
۵-۲۲-شباهت ها و تفاوت های GA با روش های قدیمی بهینه سازی ۱۳۷
۵-۲۳-نکات مهم در هنگام کار با GA ۱۳۸
۵-۲۴- مزایای GA ۱۳۸
۵-۲۵- کاربردهای GA ۱۳۹
فصل ششم: مطالعات عددی ۱۴۰
۶-۱- مقدمه ۱۴۱
۶-۲- مشخصات ساختمان مورد مطالعه و مدل سازی ۱۴۲
۶-۳- پارامترهای معادلهٔ دینامیکی حرکت سازه ۱۴۶
۶-۳-۱- ماتریس سختی ۱۴۷
۶-۳-۲- ماتریس جرم ۱۴۸
۶-۳-۳- ماتریس میرایی ۱۴۸
۶-۴- معادلهٔ دینامیکی حرکت سازه ۱۵۰
۶-۵- شتاب نگاشت های مورد استفاده ۱۵۰
۶-۶- تعیین بار طراحی لغزش با استفاده از تحلیلهای دینامیکی غیر خطی ۱۵۳
۶-۷- بهینه یابی پارامتر های میراگر های اصطکاکی غیر فعال ۱۶۴
۶-۷-۱- ماتریس سختی میراگر ۱۶۴
۶-۷-۲- معادله حرکت سازه با وجود میراگرهای اصطکاکی ۱۶۵
۶-۷-۳- توزیع میراگرها در پلان ساختمان ۱۶۶
۶-۷-۴- توزیع میراگرها در ارتفاع ساختمان ۱۶۶
۶-۷-۵- توزیع بار لغزش بهینه در ارتفاع ساختمان ۱۶۶
۶-۷-۶- تعیین بار طراحی لغزش میراگرها با استفاده از نتایج تحلیل دینامیکی و الگوریتم ژنتیک ۱۶۷
۶-۸- کنترل بار لغزش میراگرهای اصطکاکی با استفاده از فعال کننده های پیزوالکتریک ۱۷۶
۶-۸-۱-تعیین پارامتر های الگوریتم کنترلی ۱۷۶
۶-۸-۲-شرایط بوجود آمدن فازهای لغزشی(*Slip*) و غیرلغزشی (*Stick*) در میراگر اصطکاکی ۱۸۰
۶-۸-۳-پیاده سازی الگوریتم کنترلی ۱۸۱
۶-۸-۴-حل معادله حرکت سازه با وجود میراگر اصطکاکی و نیروی کنترلی ۱۸۴
۶-۸-۵-مقایسه پاسخ های سازه در حالت کنترل نیمه فعال با حالت غیرفعال ۱۸۶

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۲۱۰

۷-۱-مقدمه ۲۱۱

۷-۲-نتیجه گیری ۲۱۲

۷-۳-پیشنهادات ۲۱۳

مراجع ۲۱۴

پیوست ۲۲۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): انواع سیستم های حفاظت سازه ای ۷

جدول (۳-۱): زلزله های استفاده شده در مطالعه فیلیترالت و چری ۴۱

جدول (۳-۲): کمیت های فیزیکی موثر بر بار لغزش بهینه در مطالعه فیلیترالت و چری ۴۲

جدول (۳-۳): مشخصات فیزیکی نمونه های استاندارد ۴۳

جدول(۳-۴): پارامتر های بدون بعد برای مدل های استاندارد ۴۴

جدول (۳-۵): مشخصات قابهای مورد مطالعه ۴۵

جدول (۳-۶): مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مطالعه پارامتری ۴۵

جدول(۳-۷): مقادیر α و β برای تشکیل طیف طرح بار لغزش ۴۷

جدول (۳-۸): مقایسه عملکرد روش های مرسوم مقاوم سازی و استفاده از میراگر های اصطکاکی ۵۳

جدول (۳-۹): مشخصات میراگر های مورد استفاده در سازه مخزن ۳ میلیون گالنی ۶۴

جدول(۴-۱): ابزارآلات آزمایش ۹۳

جدول(۴-۲): نتایج آزمایش دما ۱۰۰

جدول(۴-۳): خصوصیات مواد پیزوالکتریک PZWT-100 ..... ۱۰۰

جدول (۵-۱): نمایش مبنای دو برای اعداد ۱ تا ۱۶ ..... ۱۱۲

جدول (۵-۲): مقادیر متناظر زوایای یک فیبر ۱۱۴

جدول(۵-۳): جدول درستی عملگرها ۱۲۸

جدول(۵-۴): مهمترین کاربرد های الگوریتم ژنتیک ۱۳۹

جدول (۶-۱): مشخصات ستون های ساختمان ۱۴۵

جدول (۶-۲): مشخصات زلزله های مورد استفاده در این تحقیق ۱۵۰

جدول (۶-۳): مقادیر بارهای لغزش بدست آمده برای میراگرها با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۶۹

جدول(۶-۴): حداکثر تغییرمکان، شتاب و برش پایه ساختمان در ۲ حالت کنترل شده ۱۷۵

جدول (۶-۵): فرکانس و پریودهای غالب ۳ زلزلهٔ مورد استفاده ۱۷۸

فهرست شکلها

عنوان صفحه

شکل(۲-۱) : عملکرد سیستم سازه ای بدون سیستم کنترلی ۸

شکل(۲-۲) : عملکرد سیستم سازه ای با سیستم کنترل غیرفعال ۸

شکل(۲-۳) : عملکرد سیستم سازه ای با سیستم کنترل فعال ۸

شکل(۲-۴) : عملکرد سیستم سازه ای با سیستم کنترل مرکب ۸

شکل(۲-۵) : عملکرد سیستم سازه ای با سیستم کنترل نیمه فعال ۹

شکل(۲-۶): میراگر اصطکاکی پال و چگونگی نصب آن در سازه ۱۳

شکل(۲-۷) مقطع طولی میراگر سومیتومو و چگونگی قرارگیری آن در سازه ۱۴

شکل(۲-۸): میراگر اصطکاکی EDR و منحنی های نیرو – جابجایی ۱۴

شکل (۲-۹): میراگر اصطکاکی SBC و منحنی نیرو- جابه جایی ۱۵

شکل(۲-۱۰): میراگر اصطکاکی FDD و اجزای تشکیل دهندهٔ آن ۱۶

شکل(۲-۱۱): نحوهٔ تغییرشکل میراگر اصطکاکی FDD در یک قاب ساختمانی ۱۶

شکل(۲-۱۲): میراگر $ADAS$ و منحنی هیسترزیس آن ۱۷

شکل (۲-۱۳): میراگر $TADAS$ و نحوهٔ قرارگیری آن در ساختمان ۱۸

شکل(۲-۱۴): میراگر محافظت شده در برابر کمانش و مقایسه منحنی هیسترزیس آن با بادبند های معمولی ۱۹

شکل(۲-۱۵): میراگر ویسکوالاستیک و چگونگی نصب آن در ساختمان ۱۹

شکل(۲-۱۶): میراگر ویسکوز مایع ۲۰

شکل(۲-۱۷): تکیه گاه لاستیکی با میرایی زیاد و اجزای تشکیل دهندهٔ آن ۲۱

شکل(۲-۱۸): انواع مختلف سیستم های TMD ۲۲

شکل(۲-۱۹): میراگر $TLCD$ و اجزای تشکیل دهندهٔ آن ۲۳

شکل(۲-۲۰): میراگر $TLCD$ و چگونگی مدل سازی آن ۲۳

شکل(۲-۲۱): شمایی از سیستم کش های فعال ۲۵

شکل(۲-۲۲): میراگر جرم تنظیم شونده فعال و مقایسه با نوع غیرفعال آن ۲۵

شکل(۲-۲۳): میراگر جرم تنظیم شوندهٔ نیمه فعال ۲۷

شکل(۲-۲۴): میراگر ER ۲۷

شکل(۲-۲۵): تصویری از میراگر MR ۲۸

شکل(۲-۲۶): میراگر ویسکوز نیمه فعال ۲۹
شکل(۲-۲۷): شمایی از یک سیستم کنترل کنندهٔ سختی ۳۰
شکل(۲-۲۸): میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک و اجزای تشکیل دهندهٔ آن ۳۱
شکل(۳-۱): منحنی هیسترزیس گره اصطکاکی در بادبند های کششی ۵۴
شکل (۳-۲): شمایی واقعی از دو نوع میراگر اصطکاکی پال ۵۵
شکل (۳-۳) هندسه میراگر اصطکاکی $Pall$ و نحوه تغییر شکل در آن ۵۶
شکل (۳-۴): میراگر اصطکاکی پال و چگونگی نصب آن در ساختمان ۵۶
شکل (۳-۵): معرفی اجزای تشکیل دهندهٔ میراگر اصطکاکی پال ۵۶
شکل(۳-۶): منحنی هیسترزیس واقعی و ایده آل میراگر ۵۶
شکل (۳-۷) رفتار هیسترزیس در یک قاب مجهز به میراگر اصطکاکی ۵۷
شکل(۳-۸): دیاگرام جسم آزاد میراگر اصطکاکی در هنگام لغزش ۵۸
شکل(۳-۹): پاسخ های سازه در مقابل بارهای لغزش مختلف ۵۹
شکل (۳-۱۰) مدل سازه ای پایه در مطالعه پارامتری ۶۵
شکل (۳-۱۱) طیف طرح بار لغزش با T_b/T_u و NS ثابت ۶۷
شکل (۳-۱۲): نمای داخلی کارگاه اصلی هواپیماسازی بوئینگ ۵۱
شکل (۳-۱۳): مقطع یکی از قاب های تشکیل دهنده کارگاه اصلی شرکت بوییِنگ ۵۱
شکل (۳-۱۴): میراگر های اصطکاکی پال بکار رفته در پروژه بوئینگ ۵۳
شکل (۳-۱۵): نمودار انرژی ورودی و انرژی مستهلک شده توسط میراگر های اصطکاکی ۵۴
شکل (۳-۱۶): نموار تاریخچه زمانی جابجایی های طبقه آخر سازه در اثر زلزله ماکزیمم ۵۴
شکل (۳-۱۷): مرکز همایش های موسکون، سان فرانسیسکو ۵۵
شکل (۳-۱۸): نمونه ای از میراگر های اصطکاکی بکار رفته در سازه مرکز همایش های موسکون ۵۶
شکل (۳-۱۹): ساختمان های مرکز توسعه بوئینگ و نمونه ای از میراگرهای مورد استفاده در آنها ۵۷
شکل (۳-۲۰): مرکز مراقبت های پزشکی بیمارستان شارپ مموریال ۵۷
شکل (۳-۲۱): مدل تحلیلی سه بعدی بال های شرقی و غربی ۵۸
شکل(۳-۲۲): نمونه ای از میراگر های مورد استفاده در باد بند های شورون بیمارستان شارپ ۵۹
شکل (۳-۲۳): شتاب نگاشت اصلاح شده زلزله مورد استفاده در جهت x,y ۶۰
شکل (۳-۲۴): نمودار تاریخچه زمانی انرژی ورودی و مستهلک شده در بال شرقی ۶۱
شکل (۳-۲۵): نمودار تاریخچه زمانی انرژی ورودی و مستهلک شده در بال غربی ۶۱

شکل (۳-۲۶): نمودار تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه چهارم برای بال شرقی ۶۲
شکل(۳-۲۷): نمودار تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه چهارم برای بال غربی ۶۲
شکل (۳-۲۸): مخزن آب به ظرفیت ۳ میلیوم گالن در شهر ساکرامنتو، ایالت کالیفرنیا ۶۳
شکل (۳-۲۹): میراگر های پال مورد استفاده در مقاوم سازی مخزن ۶۳
شکل (۳-۳۰): ساختمان کتابخانه دانشگاه کنکوردیا در کانادا ۶۴
شکل (۳-۳۱): استفاده از میراگر های پال در ساختمان کتابخانه دانشگاه کنکوردیا ۶۵
شکل(۳-۳۲): اداره مرکزی دادگستری اتاوا و نمونه ای از میراگر های مورد استفاده در مقاوم سازی آن ۶۶
شکل (۳-۳۳): ساختمان ساختمان مرکزی سازمان هوافضای کانادا ۶۶
شکل (۳-۳۴): ساختمان اداره مرکزی پلیس کبک به همرا میراگر های مورد استفاده در مهاربند های سازه ۶۷
شکل (۳-۳۵): مجتمع تفریحی دمونترال کانادا ۶۸
شکل (۳-۳۶): نمایی از ساختمان فرمانداری مونتری ۶۹
شکل (۳-۳۷): میراگر های اصطکاکی مورد استفاده در مقاوم سازی ساختمان فرمانداری ۶۹
شکل (۳-۳۸): مقایسه تغییر مکان طبقات در روش های مختلف مقاوم سازی ساختمان فرمانداری ۷۰
شکل (۳-۳۹): مقایسه برش طبقات در روش های مختلف مقاوم سازی ساختمان فرمانداری ۷۰
شکل (۴-۱): طرح شماتیک میراگر اصطکاکی نیمه فعال ۷۶
شکل(۴-۲): نصب میراگر اصطکاکی در یک قاب ۱ طبقه ۷۶
شکل(۴-۳): شمایی از میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک ۷۶
شکل(۴-۴): منحنی هیسترزیس میراگرهای مختلف ۷۷
شکل(۴-۵): مقایسه ارتعاش آزاد سیستم $SDOF$ مجهز به PFD با ضرایب الگوریتم مختلف ۸۱
شکل (۴-۶): پاسخ های قاب یک طبقه کنترل شده توسط میراگر اصطکاکی نیمه فعال ۸۵
شکل (۴-۷): حلقهٔ هیسترزیس PFD و میراگر معادل ۸۶
شکل(۴-۸): پاسخ فرکانسی سازه تحت سطوح مختلف کنترل ۸۶
شکل(۴-۹): عملکرد میراگر اصطکاکی کولمب ۸۸
شکل(۴-۱۰): عملکرد میراگر فعال با الگوریتم کنترلی پیشنهادی ۸۹
شکل(۴-۱۱): شمایی از میراگر اصطکاکی پیزوالکتریک PFD ۹۰
شکل(۴-۱۲): موقعیت ابزارآلات در میراگر ۹۲
شکل(۴-۱۳): منحنی هیسترزیس نمونه ۹۴
شکل(۴-۱۴): نیروی عمودی بر حسب زمان تحت بار عمودی ۴۰۰ پوند و فرکانس ۲/۸ هرتز ۹۴

شکل(۴-۱۵) نتایج آزمایشات تعیین خصوصیات بعنوان توابعی از فرکانس ۹۶
شکل (۴-۱۶): نتایج آزمایشات تعیین خصوصیات بعنوان توابعی از نیروی عمودی ۹۷
شکل(۴-۱۷): نتایج آزمایش دوام ۹۹
شکل(۴-۱۸): نتایج آزمایش *PINPOINT* ۱۰۲
شکل(۵-۱): طبقه بندی کلی روش های بهینه سازی ۱۰۷
شکل(۵-۲): طبقه بندی روش های قدیمی (کلاسیک) و روش های جدید ۱۰۸
شکل(۵-۳): جستجوی جواب بهینه در فضای جستجو ۱۱۰
شکل (۵-۴): روش ادغام تک نقطه ای..... ۱۲۰
شکل (۵-۵): روش ادغام دو نقطه ای..... ۱۲۱
شکل (۵-۶): روش ادغام چند نقطه ای با تعداد زوج ۱۲۱
شکل(۵-۷): روش ادغام چند نقطه ای با تعداد فرد ۱۲۱
شکل (۵-۸): ادغام یکنواخت ۱۲۲
شکل (۵-۹): ادغام تصادفی ۱۲۲
شکل(۵-۱۰): نمایش رشته ها بصورت آرایه ۱۲۳
شکل(۵-۱۱): ادغام دوبعدی ۱۲۳
شکل(۵-۱۲): عملیات معکوس سازی ۱۲۴
شکل (۵-۱۳): عملیات حذف و کپی ۱۲۵
شکل(۵-۱۴): عملیات حذف و تولید مجدد ۱۲۵
شکل(۵-۱۵): عملیات جدا سازی ۱۲۵
شکل(۵-۱۶): عملیات ادغام و معکوس سازی ۱۲۶
شکل(۵-۱۷): چرخه تولید نسل ۱۳۱
شکل(۵-۱۸): چرخهٔ GA ۱۳۲
شکل(۵-۱۹): تبدیل کد باینری به کد گری ۱۳۷
شکل(۶-۱): نمای سه بعدی ساختمان ۱۴۳
شکل (۶-۲): پلان های تیرریزی طبقات مختلف ساختمان ۱۴۴
شکل(۶-۳): پلان ستون گذاری ساختمان ۱۴۵
شکل(۶-۴): موقعیت قرارگیری میراگرها در ساختمان ۱۴۶
شکل (۶-۵) شتابنگاشت های زلزلهٔ امپریال وایلی ۱۵۱

شکل (۶-۶) شتابنگاشت های زلزلهٔ کوبه ۱۵۲
شکل (۶-۷) شتابنگاشت های زلزلهٔ رودبار ۱۵۲
شکل(۶-۸): مقادیر جابجایی بیشینهٔ طبقات ساختمان در حالت کنترل نشده ۱۵۴
شکل(۶-۹): تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ امپریال وایلی ۱۵۴
شکل(۶-۱۰): تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ کوبه ۱۵۴
شکل(۶-۱۱): تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ رودبار ۱۵۵
شکل(۶-۱۲): تاریخچه زمانی برش پایه ساختمان در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ امپریال وایلی..... ۱۵۵
شکل(۶-۱۳): تاریخچه زمانی برش پایه ساختمان در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ کوبه ۱۵۵
شکل(۶-۱۴): تاریخچه زمانی برش پایه ساختمان در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ رودبار ۱۵۵
شکل(۶-۱۵): تاریخچه زمانی پیچش طبقهٔ بام ساختمان تحت تحریک زلزلهٔ امپریال وایلی ۱۵۶
شکل(۶-۱۶): تاریخچه زمانی پیچش طبقهٔ بام ساختمان تحت تحریک زلزلهٔ کوبه ۱۵۶
شکل(۶-۱۷): تاریخچه زمانی پیچش طبقهٔ بام ساختمان تحت تحریک زلزلهٔ رودبار ۱۵۶
شکل(۶-۱۸): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام (X) ساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۵۷
شکل(۶-۱۹): برش پایه ساختمان در جهت X با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۵۷
شکل(۶-۲۰): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام (Y) ساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۵۸
شکل(۶-۲۱): برش پایه ساختمان در جهت Y با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۵۸
شکل(۶-۲۲): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام (X) ساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۵۸
شکل(۶-۲۳): برش پایه ساختمان در جهت X با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۵۸
شکل(۶-۲۴): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام در جهت Yساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۵۹
شکل(۶-۲۵): برش پایه ساختمان در جهت Y با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۵۹

شکل(۶-۲۶): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام (X) ساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۵۹
شکل(۶-۲۷): برش پایه ساختمان در جهت X با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۵۹
شکل(۶-۲۸): تغییرمکان بیشینهٔ طبقه بام (Y) ساختمان با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۶۰
شکل(۶-۲۹): برش پایه ساختمان در جهت X با میراگر اصطکاکی به ازای بارهای لغزش مختلف
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۶۰
شکل (۶-۳۰)- جابجایی طبقهٔ بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X
تحت تحریک زلزلهٔ *ImperialValley* ۱۶۱
شکل (۶-۳۱)- برش پایه ساختمان (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۶۱
شکل (۶-۳۲)- جابجایی طبقهٔ بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۶۲
شکل (۶-۳۳)- برش پایه ساختمان (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۶۲
شکل (۶-۳۴)- جابجایی طبقهٔ بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۶۲
شکل (۶-۳۵)- برش پایه ساختمان در جهت X (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۶۲
شکل (۶-۳۶)- تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۶۳
شکل (۶-۳۷)- تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۶۳
شکل (۶-۳۸)- تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام (برای ۲حالت کنترل شده و قاب خمشی) در جهت X
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۶۳
شکل(۶-۳۹): انتقال درجات آزادی میراگر به درجات آزادی سازه با فرض دیافراگم صلب ۱۶۴
شکل (۶-۴۰): اختصاص متغیر برای بار لغزش میراگرها ۱۶۷
شکل(۶-۴۱): عملکرد الگوریتم ژنتیک برای زلزلهٔ رودبار ۱۶۹
شکل (۶-۴۲): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ با میراگر بهینه توزیع شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۷۰
شکل (۶-۴۳): تاریخچه زمانی برش پایه درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۷۰

شکل (۶-۴۴): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۷۱
شکل (۶-۴۵): تاریخچه زمانی برش پایه درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۷۱
شکل (۶-۴۶): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۷۱
شکل (۶-۴۷): تاریخچه زمانی برش پایه درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۷۲
شکل (۶-۴۸): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Imperial Valley* ۱۷۲
شکل (۶-۴۹): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Kobe* ۱۷۳
شکل (۶-۵۰): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت X سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۷۳
شکل (۶-۵۱): تاریخچه زمانی پیچش طبقه بام سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* ۱۷۴
شکل (۶-۵۲): تاریخچه زمانی تغییرمکان نسبی طبقه پنجم سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* (در جهت x) ۱۷۴
شکل (۶-۵۳): مقایسهٔ تغییرمکان نسبی حداکثر طبقات سازهٔ مجهز به میراگر ۳۵ تن و سازهٔ بهینه شده
تحت تحریک زلزلهٔ *Roodbar* (در جهت x) ۱۷۴
شکل (۶-۵۴): طیف پاسخ شتاب مولفه های افقی زلزله *Imperial Valley* ۱۷۷
شکل (۶-۵۵): طیف پاسخ شتاب مولفه های افقی زلزله *Kobe* ۱۷۷
شکل (۶-۵۶): طیف پاسخ شتاب مولفه های افقی زلزله *Roodbar* ۱۷۸
شکل(۶-۵۷): نصب میراگرها در یک سازهٔ چند طبقه ۱۸۱
شکل (۶-۵۸): بلوک شماتیک *Simulink* برای پیاده سازی الگوریتم کنترل ۱۸۲
شکل(۶-۵۹): بلوک *Simulink* برای شرط لغزش/غیرلغزش *(Stick/sliding)* ۱۸۳
شکل (۶-۶۰): بلوک *Simulink* برای تعیین سیگنال کنترلی $u(k)$ ۱۸۴
شکل (۶-۶۱): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت X سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۸۶

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

شکل (۶-۶۲): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت Y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۸۷
شکل (۶-۶۳): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۸۷
شکل (۶-۶۴): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت Y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۸۷
شکل (۶-۶۵): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *ROODBAR* ۱۸۸
شکل (۶-۶۶): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه بام درجهت Y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *ROODBAR* ۱۸۸
شکل (۶-۶۷): برش پایه ساختمان درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ*IMPERIAL VALLEY* ۱۸۹
شکل (۶-۶۸): برش پایه ساختمان درجهت Y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIALVALLEY* ۱۸۹
شکل (۶-۶۹): برش پایه ساختمان درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۸۹
شکل (۶-۷۰): برش پایه ساختمان درجهت y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۹۰
شکل (۶-۷۱): برش پایه ساختمان درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *ROODBAR* ۱۹۰
شکل (۶-۷۲): برش پایه ساختمان درجهت Y سازهٔ کنترل شده با میراگرهای غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *ROODBAR* ۱۹۰
شکل (۶-۷۳): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگر های غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۱
شکل (۶-۷۴): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگر های غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *KOBE* ۱۹۱
شکل (۶-۷۵): تاریخچه زمانی شتاب طبقه بام درجهت x سازهٔ کنترل شده با میراگر های غیرفعال و نیمه فعال
تحت تحریک زلزلهٔ *ROODBAR* ۱۹۲
شکل(۶-۷۶): تاریخچه زمانی نیروی فعال وارده به سازه توسط میراگرهای نصب شده در قاب های 1 و 7
تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۲

شکل (۶-۷۷): تاریخچه زمانی سیگنال کنترلی وارده به فعال کننده های پیزوالکتریک میراگرهای نصب شده در قاب های *1* و *7* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۳

شکل (۶-۷۸): تاریخچه زمانی نیروی غیرفعال وارده به سازه به توسط میراگرهای نصب شده در قاب های *1* و *7* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۳

شکل (۶-۷۹): مقایسه جابجایی بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۳

شکل (۶-۸۰): مقایسه جابجایی بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *KOBE* ۱۹۴

شکل (۶-۸۱): مقایسه جابجایی بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *ROODBAR* ۱۹۴

شکل (۶-۸۲): مقایسه شتاب بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۵

شکل (۶-۸۳): مقایسه شتاب بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *KOBE* ۱۹۵

شکل (۶-۸۴): مقایسه شتاب بیشینهٔ طبقات در ۳ حالت کنترل شده تحت تحریک زلزله *ROODBAR* ۱۹۶

شکل (۶-۸۵): تاریخچه زمانی نیروی فعال وارده به سازه توسط میراگرهای نصب شده در قاب های *1* و *7* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۱۹۹

شکل (۶-۸۶): تاریخچه زمانی نیروی فعال وارده به سازه توسط میراگرهای نصب شده در قاب های *A* و *D* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۲۰۱

شکل (۶-۸۷): تاریخچه زمانی سیگنال کنترلی وارده به فعال کننده های پیزوالکتریک میراگرهای نصب شده در قاب های *1* و *7* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۲۰۳

شکل (۶-۸۸): تاریخچه زمانی سیگنال کنترلی وارده به فعال کننده های پیزوالکتریک میراگرهای نصب شده در قاب های *A* و *D* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۲۰۵

شکل (۶-۸۹): تاریخچه زمانی نیروی غیرفعال وارده به سازه توسط میراگرهای نصب شده در قاب های *1* و *7* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۲۰۷

شکل (۶-۹۰): تاریخچه زمانی نیروی غیرفعال وارده به سازه توسط میراگرهای نصب شده در قاب های *A* و *D* تحت تحریک زلزلهٔ *IMPERIAL VALLEY* ۲۰۹

چکیده

تعیین پارامترهای بهینهٔ میراگرهای *Pall* در کنترل ارتعاشات لرزه ای ساختمانها

شروین مهماندوست

بطور کلی ثابت شده است که رفتار سازه هایی که در معرض بارهای زلزله قرار می گیرند با افزایش میرایی داخلی سازه بهبود می یابند. میرایی انرژی جنبشی اعمال شده به سازه را جذب نموده و از بوجود آمدن حالت تشدید جلوگیری می کند. در طراحی متعارف سازه ها در برابر زلزله، میرایی در سازه بوسیلهٔ مکانیزم غیرخطی در اتصالات تیر–ستون بوجود می آید و بنابراین تولید مقادیر قابل توجه میرایی در سازه می تواند موجب خساراتی در محل اتصالات شود. این خسارات در محل اتصالات سازه ای در جریان زلزله های طولانی و سیکل های زیاد بارگذاری حتی در معرض *PGA* های نسبتاً پایین، می تواند به فروریزش سازه منجر شود. در سال های اخیر تلاشهای فراوانی جهت معرفی ابزارهای ویژهٔ جاذب انرژی که بتوانند میرایی سیستم را افزایش داده و همچنین طی سیکل های زیاد بارگذاری بدون منجر شدن به فروریزش پایدار بمانند، صورت گرفته است. در این راستا استفاده از المان های میراگر اصطکاکی برای سیستم های مختلف سازه ای توسط پال معرفی شده است.

در این تحقیق عملکرد میراگر های اصطکاکی پال بمنظور کاهش پاسخ های یک ساختمان ۱۰ طبقهٔ فولادی که در معرض مولفه های افقی شتابنگاشت های سه زلزله قرار دارند مورد بررسی قرار می گیرد. بمنظور مینیمم کردن پاسخ های سازه، مقادیر بارهای لغزش میراگرها با استفاده از الگوریتم ژنتیک در ارتفاع سازه بهینه یابی می شود. نتایج نشان می دهند که میراگرهای بهینه شده بطور موثری پاسخ های سازه را کاهش می دهند.

میراگر اصطکاکی *Pall* همچنین دارای این مزیت می باشد که می توان در آنها از فعال کننده های پیزوالکتریک بمنظور کنترل بار لغزش استفاده کرد. برای تعیین نیروی اصطکاکی جهت افزایش ظرفیت اتلاف انرژی سیستم، از الگوریتم کنترلی پیشنهاد شده توسط *Chen* و همکاران استفاده می شود. میراگرهای هوشمند مجدداً برای کاهش پاسخ های لرزه ای ساختمان ۱۰ طبقهٔ مورد نظر بکار برده شده اند.

نتایج مدلسازی ها نشان می دهند که سیستم کنترلی پیشنهادی بطور موثری تغییرمکانهای ماکزیمم سازه را تحت تحریکات زلزله کاهش می دهد.

کلید واژه: کنترل ارتعاشات، میراگر اصطکاکی پال، بار لغزش بهینه، فعال کننده پیزوالکتریک