بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه علم و فرهنگ

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

"بررسی تأثیر میراگرهای اصطکاکی و نحوهٔ توزیع آنها در عملکرد لرزه ای قابهای فولادی"

فرنوش روشن طبری

استاد راهنما: جناب آقای دکتر حاجی رسولیها

بهمن ۸۶

تقدیم به

پدر

و

مادر

و خانواده‌ام

خدای متعال را به واسطه این توفیق سپاس

از تمام دوستان و اساتیدی که مرا در پیشبرد این مجموعه یاری نمودند،کمال تشکر را دارم به ویژه :

مراتب تشکر و قدردانی را نسبت به راهنمایی های ارزشمند و سازنده استاد محترم جناب آقای دکتر ایمان حاجی رسولیها ابراز داشته و توفیق روز افزون ایشان را از درگاه خداوند متعال مسألت دارم.

چکیده

بسیاری از ساختمانهای ساخته شده در کشورهای در حال توسعه براساس ضوابط آئین نامه های گذشته طراحی گردیده اند. این سازه ها عموما در طراحی و اجرا دچار ضعف بوده و در برابر زلزله های شدید، بسیار آسیب پذیر می باشد. خرابی های مشاهده در زلزله های اخیر به خوبی لزوم انتخاب روش های جدید و مناسب تر در طراحی لرزه ای و مقاوم سازی سازه ها را نشان می دهد. در این میان، استفاده از میراگرهای اصطکاکی به علت داشتن هزینه های پایین و کارایی مناسب ، یکی از روش های کارآمد در مقاوم سازی لرزه ای سازه ها به شمار می آید. مهمترین عامل در طراحی میراگرهای اصطکاکی تعیین مقدار مناسب بار لغزش می باشد. در صورت انتخاب مقدار زیاد برای نیروی آستانه لغزش، میراگرهای اصطکاکی در هنگام زلزله عملا نمی توانند انرژی زیادی را مستهلک کرده و رفتاری مشابه با بادبند از خود نشان می دهند. این در حالی است که در صورت انتخاب نیروی آستانه لغزش اندک، میراگرهای اصطکاکی نمی توانند جابجایی ایجاد شده در سازه را کنترل کرده و کارآیی چندانی نخواهد داشت. در این تحقیق با در نظر گرفتن قابهای فولادی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه و با استفاده از شش شتاب نگاشت زلزله شدید، کارآیی میراگرهای اصطکاکی در بهبود عملکرد لرزه ای قابهای فولادی بررسی گردیده است. در این راستا تلاش گردیده تا با انتخاب مقادیر مختلف برای مقاومت آستانه لغزش، توصیه هایی برای طراحی مناسب میراگرهای اصطکاکی ارائه گردد. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که عملکرد میراگرهای اصطکاکی در سازه هایی با تعداد طبقات بالاتر، مناسب تر بوده است. علاوه بر آن نشان داده شده است که انتخاب نیروی آستانه لغزشی برابر با ۱۰ تا ۲۰ درصد مقاومت کششی بادبندها عموما به جوابهای مناسب تری منتهی می گردد.

فهرست عناوین

شماره صفحه

۱- کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ هدف تحقیق ۳

۱-۲ ساختار پایان نامه ۴

۲- مبانی اولیه کنترل فعال

۲-۱ معرفی انواع روشهای کنترلی ۶

۲-۲ فرمولهای حاکم بر کنترل غیر فعال ۹

۲-۳ معرفی انواع سیستم های کنترل غیر فعال در سازه ها

۲-۳-۱ میراگرهای جرمی تنظیم شده

۲-۳-۱-۱ معرفی ۱۱

۲-۳-۱-۲ نحوه عملکرد ۱۲

۲-۳-۱-۳ کاربرد ۱۳

۲-۳-۱-۴ مزایا و معایب ۱۴

۲-۳ -۲میراگرهای مایع تنظیم شده

۲-۳-۲-۱ معرفی ۱۵

۲-۳-۲-۲ انواع ۱۵

۲-۳-۲-۳ نحوه عملکرد ۱۶

۲-۳-۲-۴ مزایا و معایب ۱۷

۲-۳-۳ میراگرهای تسلیمی (فلزی)

۲-۳-۳-۱ معرفی ۲۰

۲-۳-۳-۲ انواع ۱۹

۲-۳-۳-۳ مزایا و معایب ۲۱

۲-۳-۴ میراگرهای ویسکوالاستیک

۲-۳-۴-۱ معرفی ۲۲

۲-۳-۴-۲ نحوه عملکرد ۲۲

۲-۳-۴-۳ انواع مدلهای به کار رفته ۲۴

۲-۳-۴-۴مزایا و معایب ۲۵

۲-۳-۵ میراگرهای ویسکوز

۲-۳-۵-۱ معرفی ۲۶

۲-۳-۵-۲ نحوه عملکرد ۲۷

۲-۳-۵-۳مزایا و معایب ۲۸

۲-۳-۶ میراگرهای اصطکاکی

۲-۳-۶-۱ معرفی ۲۹

۲-۳-۶-۲ نحوه عملکرد ۳۰

۲-۳-۶-۳ روابط میرایی اصطکاکی کلمب و سازه ای و میرایی ویسکوز معادل آنها ۳۰

۲-۳-۶-۴ انواع میراگرهای اصطکاکی

۲-۳-۶-۴-۱ اتصالات اصطکاکی ۳۳

۲-۳-۶-۴-۲میراگرهای اصطکاکی پال ۳۴

۲-۳-۶-۴-۲-۱ نحوه طراحی ۳۵

۲-۳-۶-۴-۳ میراگر سومیتومو ۳۷

۲-۳- ۶-۴- ۴مهار کننده اتلاف انرژی ۳۸

۲-۳-۶-۴-۵ میراگرهای اصطکاکی دورانی ۳۹

۲-۳-۶-۵ مزایا و معایب میراگرهای اصطکاکی ۴۱

۳- طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله

۳-۱ معرفی نرم افزار ۴۳

۳-۲ تحلیل و طراحی قابهای فولادی با میراگرهای اصطکاکی ۴۳

۳-۳ مقایسه مدلهای تهیه شده در ***DRAIN-۲DX*** و ***ETABS*** ۴۷

۳-۴ تحریکات دینامیکی ۴۹

٤- تاثیر میراگرهای اصطکاکی در عملکرد لرزه ای قابهای فولادی

۴-۱ بررسی عملکرد لرزه ای سازه ها ۵۱

۴-۲ بررسی پاسخ کلی سازه ها در برابر زلزله ۵۱

۴-۲-۱ تغییرمکان بام ۵۲

۴-۲-۲ تغییرمکان نسبی طبقات ۵۵

۴-۲-۳ پاسخ تغییرمکان طبقات قاب ۱۵ طبقه ۵۷

۴-۲-۴ برش پایه ۵۸

۴-۲-۵ نیرو محوری ۶۰

۴-۲-۶ نیرو محوری طبقات قاب ۱۵ طبقه ۶۱

۴-۲-۷ اتلاف انرژی ۶۳

۴-۲-۷-۱ اتلاف انرژی در المان های سازه ای ۶۴

۴-۲-۸ پاسخ های تاریخچه زمانی طبقات ۶۹

۵- مقایسه نتایج توزیع متفاوت نیروی لغزش

۵-۱ مقدمه ۷۴

۵-۲ بررسی دو توزیع مختلف نیرو ۷۴

۵-۳ تاثیر نحوه توزیع مقاومت آستانه لغزش

۵-۳-۱ تغییرمکان نسبی ۷۸

۵-۳-۲ نیرو محوری و تغییرمکان بام ۷۹

٦- نتایج

۶-۱ مهم ترین نتایج بدست آمده ۸۲

۶-۲ پیشنهاد برای ادامه کار ۸۳

۷- پیوست ها

الف- معرفی قابهای بادبندی ۸۴

ب- معرفی مشخصات نهایی قابها براساس ضوابط آئین نامه UBC ۹۷ ۹۸

ج- نیروی لغزش میراگرهای اصطکاکی ۱۰۵

د- نمودارهای تغییرمکان و نیرومحوری قابهای ۵ و ۱۰ و ۲۰ طبقه ۱۰۵

ه- قوانین بهسازی لرزه ای در به کارگیری میراگرها در بهسازی ساختمانها ۱۱۲

مراجع ۱۲۰

فهرست اشکال **شماره صفحه**

۲-۱ نحوه عملکرد میراگر جرمی ۱۳

۲-۲ میراگر مایع تنظیم شده ستونی دربرج ملینیوم ۱۵

۲-۳ میراگر مایع تلاطمی ۱۶

۲-۴ نحوه قرار گیری میراگر فلزی در قاب ۱۸

۲-۵ نمودار نیرو- تغییرمکان میراگرفلزی و بادبند ۱۸

۲-۶ میراگر تسلیمی مثلثی شکل (***TADAS***) و منحنی پسماند آن ۱۹

۲-۷ میراگر تسلیمی ***X*** – شکل (***ADAS***) ۲۰

۲-۸ سیستم بادبند شکل پذیر ۲۰

۲-۹ میراگرهای تسلیمی در بادبند های هم محور ۲۱

۲-۱۰ انواع معمول میراگرهای ویسکوالاستیک ۲۲

۲-۱۱ نحوه قرار گیری میراگر ویسکوالاستیک در قاب ۲۳

۲-۱۲ حلقه پسماند ایده آل میراگر ویسکوالاستیک ۲۴

۲-۱۳ بخش های تشکیل دهنده میراگر ویسکوز ۲۷

۲-۱۴ میراگر ویسکوز به همراه جزئیات آن ۲۷

۲-۱۵ نیروی میرایی کلمب در مقابل تغییر مکان ۳۱

۲-۱۶ نیروی میرایی ساختاری در مقابل تغیر مکان ۳۲

۲-۱۷ جزییات اتصال لغزشی اولیه پایه ۳۴

۲-۱۸ استفاده از اتصال اصطکاکی در بادبندها ۳۴

۲-۱۹ استفاده از اتصال اصطکاکی خطی و غیر خطی در بادبندهای متصل به تیر ۳۴

۲-۲۰ سمت چپ – نحوه قرار گیری میراگر اصطکاکی ***PALL***، وسط – جزئیات اتصال و راست – حلقه پسماند ۳۵

۲-۲۱ شکلهای جدید میراگر اصطکاکی شرکت پال ۳۵

۲-۲۲ میراگر اصطکاکی سومیتومو ۳۷

۲-۲۳ نحوه نصب میراگر سومیتومو در ساختمان ۳۸

۲-۲۴ منحنی پسماند میراگر سومیتومو ۳۸

۲-۲۵ جزییات میراگر (***EDR***) ۳۹

۲-۲۶ نحوه نصب میراگر (***EDR***) در قاب ساختمانی ۳۹

۲-۲۷ میراگر اصطکاکی جدید دورانی ۴۰

۲-۲۸ اجزای میراگر اصطکاکی دورانی جدید ۴۰

۲-۲۹ مقایسه منحنی پسماند انواع میراگر ۴۱

۳-۱ شکل قاب بکاررفته به همراه نحوه قرارگیری میراگرها در این تحقیق. ۴۴

۳-۲ منحنی پسماند قاب بادبندی با میراگر اصطکاکی ۴۵

۳- ۳ شکل نحوه قرارگیری میراگر در قاب ۴۶

۳-۴ مقایسه پاسخ قاب بدون بادبند با قاب با میراگر اصطکاکی با نیرو لغزش کم ۴۸

۳-۵ مقایسه پاسخ قاب بادبندی با قاب با میراگر اصطکاکی با نیرو لغزش زیاد ۴۹

۳-۶ نمودار شتاب زمان زلزله های بکاررفته ۵۰

۴-۱ نمودار تغییرمکان بام بر حسب درصد لغزش ۵۴

۴-۲نمودار تغییرمکان نسبی بر حسب درصد لغزش ۵۶

۴-۳ نمودار تغییرمکان نسبی قاب ۱۵ طبقه بر حسب درصد لغزش ۵۷

۴-۴ نمودار برش پایه بر حسب درصد لغزش ۵۹

۴-۵ نمودار نیرو محوری بر حسب درصد لغزش ۶۰

۴-۶ نمودار تغییرمکان نسبی قاب ۱۵ طبقه بر حسب درصد لغزش ۶۲

۴-۷ نمودار انرژی تلف شده ***R1*** در المانهای سازه بر حسب درصد لغزش ۶۵

۴-۸ نمودار انرژی تلف شده ***R2*** در المانهای سازه بر حسب درصد لغزش ۶۷

۴-۹ نمودار تغییرمکان زمان قاب ۲۰ طبقه در زلزله کوبه ۷۰

۴-۱۰ نمودار تغییرمکان زمان قاب ۱۵ طبقه در زلزله کوبه ۷۱

۴-۱۱ نمودار تغییرمکان زمان قاب ۱۰ طبقه در زلزله کوبه ۷۲

۴-۱۲ نمودار تغییرمکان زمان قاب ۵ طبقه در زلزله کوبه ۷۳

۵-۱ نمودار تغییرمکان بام و نسبی قاب ۱۵ طبقه با توزیع یکنواخت نیرو ۷۵

۵-۲ نمودار برش پایه قاب ۱۵ طبقه با توزیع یکنواخت نیرو ۷۶

۵-۳ نمودار انرژی قاب ۱۵ طبقه با توزیع یکنواخت نیرو ۷۶

۵-۴نمودار تغییرمکان نسبی طبقات در قاب ۱۵ طبقه ۷۸

۵-۵ نمودار نیرو محوری طبقات در قاب ۱۵ طبقه ۸۵

۵-۶ نمودار تغییرمکان بام- زمان قاب ۱۵ طبقه در زلزله کوبه ۸۶

فهرست جداول صفحه

۳-۱ بررسی نتایج دو نرم افزار ETABS و DRAIN-2DX ۴۷

۵-۱ مقادیر تغییرمکان بام و تغییرمکان نسبی طبقات بر حسب مقادیر نیروی لغزش ۷۷

۱-کلیات

۱-۱- مقدمه

در اثر وقوع زمین لرزه های شدید، ساختمانها دچار آسیب های سخت و حتی فروریختگی کامل می شوند. آسیب های فراوان و جبران ناپذیر جانی و مالی که در سالهای اخیر در کشورهای ایران، ترکیه، تایوان، یونان و امریکا در اثر زلزله رخ داده، مبین اهمیت موضوع بوده و بر لزوم انتخاب روشهای جدید و مناسبتر طراحی سازه ها در برابر زلزله صحه گذاشته است. بنابراین آیین نامه ها، اصلاح شده و درآیین نامه های جدید، طراحی سازه ها بر مبنای تامین ظرفیت شکل پذیری است. در روش های جدید مراحل طراحی سازه در سه سطح عملکرد مطرح می گردد[۹]:

۱- تحت زلزله های کوچک نباید هیچ آسیبی به سازه وارد گردد.

۲- تحت زلزله های متوسط، سازه پایه نمی بایست هیچ آسیب قابل ملاحظه ای را متحمل گردد.

۳- در اثر زلزله های شدید اجازه آسیب قابل ملاحظه سازه ای داده شده است، اما از انهدام سازه و تلفات جانی جلوگیری می شود.

در روشهای طراحی جدید به المانهای سازه ای اجازه تسلیم تحت نیروهای طراحی را می دهند تا انرژی زلزله را بدون شکست مستهلک نمایند. برای همسازی تغییر شکلهای بزرگ مرتبط با تسلیم، المانها برای تامین شکل پذیری مناسب طراحی می شوند. فلسفه مذکور با خرابی و تغییرمکانهای بزرگ متناسب با تسلیم همراه است، بنابراین روشهایی برای حذف تسلیم و خرابی ارائه می گردند همانند استفاده از ابزار کنترلی که باعث

کاهش پاسخ سازه می گردد. این که وسایل کجا، به چه تعداد و به چه اندازه هایی به کار می رود روی پاسخ مطلوب سازه موثر است. شایان ذکر است بدون داشتن یک راه حل منطقی، توزیع یکنواخت آنها روشی برای کاهش پاسخ سازه است، اما لزوما بهترین پاسخ را به دست نمی دهد[۱۰] .

کنترل لرزه ای سازه ها، تکنولوژی جدید علم مهندسی با کاربرد ابزار استهلاک انرژی به منظور کاهش لرزش بیش از حد سازه و ایجاد محدودیت در شکست های سازه ای فاجعه بار ناشی از زمین لرزه و بادهای قوی است، هم چنین این روش برای تقویت سازه های موجود در برابر زلزله نیز قابل استفاده است. استفاده از این ابزار هزینه های ساخت و نیز هزینه های تعمیر و تقویت سازه های موجود را کاهش می دهد، هم چنین خسارات وارده ناشی از تحریکات زلزله را محدود می سازد. [۱۱].

در طراحی سازه ها عواملی نظیر شکل پذیری، ضریب رفتار، ضریب اهمیت ساختمان و شدت لرزه خیزی محل مورد توجه است، اما فاکتور بسیار مهم دیگری به نام میرایی در معادله تعادل دینامیکی وجود دارد که با در نظرگرفتن در صد میرایی مشخص برای سازه ها، دیگر در طراحی نامی از آن به میان نمی آید. عموما با افزایش میرایی از مقدار پاسخ های ساختمان کاسته می شود. میرایی را می توان خاصیتی ذاتی از اجسام دانست که در طی زمان، ارتعاشات جسم را خنثی می کند. میرایی انواع مختلفی دارد که نوع عمومی آن در ساختمان به صورت میرایی ویسکوز خطی فرض می شود و در معادله تعادل دینامیکی به صورت ضریبی از سرعت قرار می گیرد. وسایلی که بتوانند چنین خاصیتی را به صورت شدیدتر از خود نشان داده و به عبارتی پاسخ سازه را در یک ارتعاش آزاد کاهش دهند به عنوان میراگر شناخته می شوند. هر نوع میراگر به صورتی خاص می تواند در جذب انرژی موثر واقع شود که در نهایت موجب کاهش پاسخ سازه می گردد، این تعبیر موجب شکل گیری میراگرهای مختلف می گردد.

به طور کلی استفاده از میراگرها در نیمه دوم قرن بیستم گسترش پیدا کرد. اولین استفاده از میراگرها در ساختمان، مربوط به میراگرهای جرمی و میراگرهای ویسکوز در صنایع دفاعی آمریکا برای محافظت در مقابل حملات نظامی بوده است. کاربرد میراگرها به سرعت در حال گسترش است و برخی آیین نامه ها نظیر FEMA۲۷۳ [۷۷] در ضمیمه هایشان دستورالعمل هایی را برای بهسازی و یا ساخت سازه های جدید با میراگرها مطرح کرده اند، اما جایگاه استفاده از میراگرها هنوز به طور کامل در ساخت و سازهای مهندسی باز نشده است.

۱-۲- هدف تحقیق

با توجه به مزایای میراگرهای اصطکاکی نسبت به سایر وسایل، تمرکز اصلی این تحقیق بر میراگرهای اصطکاکی قرار داده شده است. میراگرهای اصطکاکی با تغییرمکان نسبی طبقه به کار می‌افتد، بنابراین می‌تواند در سازه‌هایی با تغییرمکان نسبی کافی برای فعال شدن میراگرها بکار رود. [۵۷,۴].

میراگرهای اصطکاکی برخلاف میراگرهای ویسکوالاستیک به تغییرمکان وابسته‌اند، یعنی نیروها در اعضای کنترلی با تغییرشکل قاب هم فازند، بنابراین مهم است که نیروها در به طور صحیح در ارتفاع سازه توزیع گردد. بدین معنا که توزیع مناسب میراگرها به انتخاب مناسب نیروی لغزش محدود می‌شود. طراحی میراگر اصطکاکی شامل بدست آوردن نیروی لغزش مناسب است. مقدار نیروی لغزش، رفتار قاب در برابر زلزله شامل اتلاف انرژی و توزیع مجدد نیروها در اعضای سازه‌ای را بدست می‌دهد. میراگرها به جهت تامین سختی و مقاومت اضافی، اتلاف انرژی اضافی و یا تامین هر دو طراحی می‌شوند. انتخاب سیستم، توسط خواص سازه موجود محدود می‌شود. رفتار لرزه‌ای هر سازه عمدتا به ارتباط ویژگی‌های سازه مانند جرم،

سختی، میرایی، مقاومت و شکل‌پذیری و نیز خواص زلزله مثل شتاب ماکزیمم، محتوای فرکانسی و طول مدت زلزله وابسته است. در سازه‌های با میراگر اصطکاکی علاوه بر عوامل فوق ارتباط بین خواص سازه اولیه و خواص سیستم از اهمیت زیادی برخوردار است.

در این تحقیق قابهای فولادی بادبندی و میرا شده توسط میراگر اصطکاکی بررسی شده و بهبود پاسخ‌های سازه با به‌کارگیری میراگر اصطکاکی برآورد شده و در نهایت روشی برای طراحی آنها بیان می‌گردد. قابهای استفاده شده برای تحلیل سازه و بررسی عملکرد میراگرهای اصطکاکی، قابهای ۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ طبقه فولادی است. این قابها بر مبنای ضوابط آیین نامه های [۷۵]UBC-۹۷ و [۷۶] AISC-ASD۸۹ طراحی می شوند. با بررسی مقادیر و توزیع های مختلف نیروی آستانه لغزش و تحلیل مدلها تحت ۶ زلزله، تلاش شد تا محدوده و توزیع مناسب برای مقاومت آستانه لغزش تعیین گردید.

۱-۳- ساختار پایان نامه

با توجه به مقدمه و اهدافی که در بخش(۱-۱) و (۱-۲) بیان شد این مجموعه به هفت فصل زیر تقسیم می شود.

فصل اول : کلیات

این فصل شامل مقدمه ای بر میراگرها و اهداف و ساختار پایان نامه است.

فصل دوم : مبانی اولیه کنترل غیرفعال در سازه ها

در این فصل به معرفی سیستم های کنترل کننده لرزه ای، انواع میراگر ها و عملکرد آنها پرداخته می شود. به دلیل اینکه میراگرهای غیرفعال کاربردی تر، کم هزینه تر و بیشتر مورد اعتماد است، بیشترین تمرکز کار نیز بر روی همین قسمت قرار می گیرد. جهت آشنایی با هر وسیله به نحوه کارکرد و روابط حاکم بر میراگرها ونیز

مزایا و معایب آنها اشاره می شود. نتایج کارهای انجام شده قبلی در زمینه میراگرها ، که به دو صورت آزمایشگاهی و عددی هستند بیان می شود.

فصل سوم : طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله

قاب های فولادی ۵ تا ۲۰ طبقه مطابق آیین نامه های بارگذاری و زلزله، بارگذاری و سپس با انتخاب نوع تحلیل، تحلیل و طراحی می شود. برای اثبات درستی مدل ارائه شده، نتایج حاصله از مدل سازی در دو نرم افزار بکارگرفته شده مطابقت داده می شود.

فصل چهارم : تاثیر میراگرهای اصطکاکی در عملکرد لرزه ای قابهای فولادی

پاسخ های سازه ها در برابر زلزله، مورد بررسی در این تحقیق، بیان شده و طبقه بندی می گردد. پاسخ های کلی سازه در نمودارها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نتایج بدست آمده دسته بندی می شود.

فصل پنجم : مقایسه نتایج توزیع متفاوت نیروهای لغزش

به منظور تعیین میزان تاثیر نیروی لغزش در پاسخ سازه، قابها با توزیع یکنواخت نیروی لغزش در طبقات تحلیل شده و نتایج دو توزیع نیرویی مقایسه می گردد.

فصل ششم : نتایج