پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

پایان نامه دکتری

مهندسی عمران- مهندسی زلزله

کنترل پیچش سازه های نامتقارن با استفاده از توزیع میراگر ویسکوز

دانشجو : محمدرضا منصوری

استاد راهنما: دکتر عبدالرضا سروقد مقدم

بهمن ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادرم

تقدیر و سپاس

اینک که با یاری خداوند توانستم رساله خود را به پایان برسانم، بر خود لازم می دانم از اعضای خانواده بـه ویـژه پـدر و مادر گرامی ام که در تمام مراحل زندگی مشوق و پشتیبان من بوده اند، تشکر کنم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سروقد مقدم بدلیل راهنمایی های ارزنده در طول انجام رساله سپاسگزارم. بی شـک ایشان همواره به عنوان یک معلم اخلاق ویک الگوی نظم و انضباط برای اینجانب مطرح می باشند.

از آقایان دکتر غفوری آشتیانی، دکتر ضیایی فر، دکتر رحیم زاده، دکتر آقا کوچک و دکتر اربابی بدلیل پذیرش زحمت مطالعه و داوری این رساله و همچنین نقدهای ارزنده در جلسات پیش دفاع و دفاع تشکر می کنم.

از آقای دکتر آرمین عظیمی نژاد که در طول انجام این رساله از راهنماییهای ایشان بهره فراوان برده ام ، تشکر می کنم. همچنین از آقایان مهندس حسن ناصری و مهندس بهرنگ کاشانی که کمک شایانی در ساخت و نصب مـدل آزمایشـگاهی کرده اند تشکر می کنم.

اعضاء هیئت داوران:

استاد راهنما	**امضاء**
استاد مشاور	**امضاء**
استاد مدعو (خارجی)	**امضاء**
استاد مدعو(داخلی)	**امضاء**
مدیر تحصیلات تکمیلی	**امضاء**

چکیده

بررسی رفتار سازه ها در زمین لرزه های گذشته نشان می دهد که پیچش حاصل از نامتقارنی یکی از دلایل آسیب پذیریهای شدید بوده است. بررسیهای فراوانی که بر روی رفتار اینگونه سازه ها در حوزه الاستیک و غیرالاستیک و همچنین روشهای کنترل پیچش از طریق توزیع مناسب سختی و مقاومت اعضای باربر جانبی صورت گرفته، نشان داده اند که با تمهیدات طراحی نمی توان به طور همزمان اثر پیچش را روی چند پارامتر پاسخ خطی و غیرخطی کاهش داد. با توجه به مزیتهای روشهای نوین طراحی لرزه ای که در آنها از تجهیزات الحاقی استهلاک انرژی نظیر میراگرها به منظور کنترل پاسخها در زلزله استفاده می شود، ایده استفاده از توزیع مناسب این تجهیزات برای کاهش اثرات نامتقارنی با توجه به مزایای آن در رفع محدودیتهای توزیع سختی و مقاومت المانهای باربر جانبی و همچنین مقاوم سازی سازه های موجود، مطرح شده است. در این میان استفاده از میراگرهای ویسکوز با توجه به سادگی و مزیتهای رفتاری به عنوان یکی از روشهای مناسب مدنظر بوده اند. در این رساله سعی شده تا توزیعهای مناسب میراگرهای ویسکوز به منظور کاهش اثرات منفی پیچش بر روی عناصر سازه ای و تجهیزات غیر سازه ای ارائه گردد و امکان کاهش همزمان چند پاسخ که بر رفتار آنها حاکم هستند بررسی گردد. بدین منظور در حالت الاستیک اثرات توزیع پلانی میراگر ویسکوز بر مشخصات دینامیکی مدلهای یک طبقه و اثرات توزیع ارتفاعی این تجهیزات در سازه های چندطبقه مورد بررسی قرار گرفته که نشان دهنده تاثیر زیاد چیدمان میراگر بر برخی پارامترهای دینامیکی نظیر درصد میرایی مودهای سازه می باشد. همچنین مطالعات تحلیلی غیرخطی بااستفاده از شتابنگاشتهای مختلف بر روی مدلهای یک طبقه و چند طبقه با توزیعهای مختلف سختی، مقاومت و میراگر در پلان و ارتفاع صورت گرفته است. تغییرات پارامترهای مختلف نظیر نرمی و سختی پیچشی سازه ها، مقادیر مختلف ضریب میرایی میراگرها، خروج از مرکزیت سختی و جرمی و خروج از مرکزیت دو طرفه با زمین لرزه های دو مولفه ای نیز بررسی و اثرات آنها بر نتایج ذکر شده است. بر اساس نتایج بدست آمده با توزیع میراگر می توان اثرات پیچش را بر پاسخهای مهم سازه ای در بسیاری از حالات کاهش داد ضمن اینکه با تغییر برخی از پارامترهای ذکر شده در سازه یا سیستم میراگر امکان کنترل بهینه یک پاسخ یا کنترل همزمان چند پاسخ فراهم می شود که نتایج آن به تفصیل ذکر شده اند. به منظور اعتبارسنجی مطالعات تحلیلی و بررسی عملی رفتار میراگرهای ویسکوز مطالعه آزمایشگاهی بر روی مدل یک طبقه با مقیاس 1/6 با چیدمانهای متفاوت دو میراگر، بر روی میز لرزان انجام شده و نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای پاسخهای موثر بر رفتار پیچشی با هم مقایسه شده اند که تطبیق قابل قبولی را نشان داده اند. در نهایت توزیعهای مناسب میراگر ویسکوز در پلان و ارتفاع ساختمان به منظور کنترل اثرات پیچش بر روی پاسخهای حاکم بر رفتار عناصر مختلف برای سازه های با مشخصات سختی و مقاومت متفاوت تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی

سازه نامتقارن، توزیع میراگر ویسکوز، تعادل پیچشی، شتاب جانبی، خروج از مرکزیت میرایی، سازه چندطبقه، مدل آزمایشگاهی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ث

فصل اول مقدمه ۱

فصل دوم تعاریف، مبانی تئوری و مرور مطالعات گذشته بر روی پیچش سازه های نامتقارن با میراگر ۵

۲-۱- گستره ۶

۲-۲- فرضیات اصلی تحقیق ۶

۲-۳- تعاریف پایه ۶

۲-۳-۱- تعیین سختی و مقاومت عضو باربر جانبی ۷

۲-۳-۲- تعیین خروج از مرکزیت سختی و مقاومت ۸

۲-۳-۳- تعیین فرکانس غیر همبسته جانبی و پیچشی و نسبت آنها ۹

۲-۴- بررسی مطالعات گذشته در زمینه کنترل پیچش سازه های نامتقارن ۱۰

۲-۴-۱- مروری بر مطالعات عمومی بر روی پیچش سازه های نامتقارن ۱۰

۲-۴-۲- مروری بر مطالعات پیچش سازه های نامتقارن با استفاده از تجهیزات کنترلی ۱۲

۲-۴-۳- تعادل پیچشی ۱۵

۲-۴-۴-توزیع ارتفاعی میراگرها ۱۸

۲-۵- مرور اجمالی بر انواع سیستمهای میراگر ۱۹

۲-۵-۱- میراگر سیال ۱۹

۲-۵-۲- رفتار میراگرها سیال از دیدگاه ماکروسکوپیک ۲۱

۲-۶- بررسی رفتار و معادلات سازه های دارای میراگر ویسکوز در حالت الاستیک ۲۲

۲-۶-۱- اثر مقدار میرایی بر پاسخ سازه یکدرجه آزادی ۲۲

۲-۶-۲- بررسی معادلات حاکم بر سازه های دارای میراگر ویسکوز در فضای حالت ۲۳

۲-۶-۳- ماتریس میرایی در ساختمان یک طبقه ۲۶

۲-۶-۴- ماتریس میرایی الحاقی در ساختمان چند طبقه ۲۸

۲-۶-۵- تعیین تقریبی درصد میرایی در ساختمانهای چند طبقه دارای میراگر ویسکوز ۲۹

فصل سوم معرفی مدلهای غیرخطی یک طبقه و بررسی اثرات توزیع میراگر ویسکوز بر مشخصات دینامیکی الاستیک سازه ها ۳۱
۳-۱- گستره ۳۲
۳-۲- معرفی مدلهای تحلیلی یک طبقه ۳۲
۳-۲-۱- مدل پایه متقارن ۳۲
۳-۲-۲- مدلهای نامتقارن ۳۴
۳-۳- توزیع میراگرها ۳۸
۳-۳-۱- تعیین مجموع ضریب میرایی جانبی میراگرها ۴۰
۳-۳-۲- توزیع خطی میراگرها ۴۰
۳-۴- اثر توزیع میراگرها بر مشخصات دینامیکی مدلها در حالت الاستیک ۴۳
۳-۴-۱- اثر توزیع میراگر بر زمان تناوب مودهای سازه ۴۳
۳-۴-۲- اثر توزیع میراگر بر درصد میرایی مودهای سازه ۴۵
۳-۵- نتایج ۴۷

فصل چهارم تعیین توزیع مناسب میراگرهای ویسکوز در مدلهای یک طبقه با نامتقارنی یکجهته ۴۸
۴-۱- گستره ۴۹
۴-۲- مدلسازی غیرخطی سازه ها و مشخصات شتابنگاشتها ۴۹
۴-۲-۱- مدلسازی در نرم افزار Opensees ۴۹
۴-۲-۲- شتابنگاشتها ۵۳
۴-۳- بررسی تاریخچه زمانیهای تغییرمکان و شتاب جانبی ۵۶
۴-۴- بررسی اثر میراگرها بر پاسخ کلی سازه ها ۵۶
۴-۵- بررسی اثر میراگرها بر کاهش اندیسهای پیچشی سازه ها ۶۳
۴-۵-۱- تغییرمکان جانبی لبه های سخت و نرم ۶۳
۴-۵-۲- شتاب جانبی لبه های سخت و نرم ۶۷
۴-۵-۳- چرخش دیافراگم ۷۰
۴-۶- نتایج ۷۱

فصل پنجم بررسی تاثیر پارامترهای مختلف و روشهای مختلف ایجاد نامتقارنی بر توزیع مناسب میراگر ویسکوز ۷۴

۵-۱- گستره ۷۵
۵-۲- اثر تغییرات مجموع ضرایب جانبی میرایی بر نتایج ۷۵
۵-۳- بررسی نتایج برای سازه های کوپل پیچشی و نرم پیچشی ۷۸
۵-۴- بررسی حساسیت نتایج به خروج از مرکزیت جرمی به جای سختی ۸۱
۵-۴-۱- روش ایجاد خروج از مرکزیت جرمی ۸۲
۵-۴-۲- تعیین ممان اینرسی جرمی پلان با وجود خروج از مرکزیت جرمی ۸۳
۵-۴-۳- بررسی پاسخهای مدلهای با خروج از مرکزیت جرمی ۸۴
۵-۵- بررسی نتایج برای حالت خروج از مرکزیت دو طرفه ۸۷
۵-۵-۱- شتابنگاشتهای دو جهته ۸۸
۵-۵-۲- بررسی اثر توزیع میراگرها بر پاسخ کلی سازه در حالت خروج از مرکزیت دوطرفه ۸۹
۵-۵-۳- بررسی اثر توزیع میراگرها بر اندیسهای پیچشی سازه در حالت خروج از مرکزیت دوطرفه ۹۱
۵-۶- نتایج ۹۴

فصل ششم بررسی آزمایشگاهی کنترل پیچش سازه های نامتقارن با استفاده از توزیع میراگر ویسکوز ۹۷
۶-۱- گستره ۹۸
۶-۲- مشخصات میز لرزان و مدل سازه ۹۸
۶-۳- آزمایش کشش فولاد ۱۰۰
۶-۴- مشخصات و آزمایشهای میراگرها ۱۰۱
۶-۴-۱- مشخصات میراگرها ۱۰۱
۶-۴-۲- ابزار و آلات مورد نیاز آزمایش ۱۰۳
۶-۴-۳- تعیین ضریب میرایی میراگرها ۱۰۴
۶-۵- آماده سازی مدل آزمایشگاهی ۱۰۷
۶-۵-۱- چیدمان میراگرها ۱۰۷
۶-۵-۲- شتابنگاشتها ۱۰۸
۶-۵-۳- قرارگیری سازه بر روی میز لرزان ۱۰۸
۶-۵-۴- نصب حسگرها ۱۱۵
۶-۵-۵- بررسی اثر ارتعاشات محیطی بر نتایج ۱۱۵
۶-۶- بررسی تحلیلی مدل آزمایشگاهی ۱۱۷
۶-۶-۱- مدلسازی تحلیلی و فرضیات در نظر گرفته شده ۱۱۷

۶-۶-۲- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی و کالیبراسیون میراگرها ۱۱۸
۶-۶- ۲-۱- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در حالت مدل بدون میراگر ۱۱۸
۶-۶- ۲-۲- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در حالت مدل با میراگر ۱۲۰
۶-۷- بررسی نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی ۱۲۴
۶-۷-۱- تغییرمکان جانبی ۱۲۴
۶-۷-۲- چرخش دیافراگم ۱۲۵
۶-۷-۳- شتاب جانبی ۱۲۶
۶-۸- نتایج ۱۲۷

فصل هفتم بررسی توزیع مناسب میراگرهای ویسکوز در کنترل پیچش سازه های چندطبقه ۱۲۹
۷-۱- گستره ۱۳۰
۷-۲- تعاریف مختلف خروج از مرکزیتها در سازه های چندطبقه ۱۳۰
۷-۳- معرفی مدلهای چندطبقه ۱۳۱
۷-۳-۱- مدل پایه متقارن ۱۳۱
۷-۳-۲- مدلهای نامتقارن ۱۳۴
۷-۳-۳- توزیع میراگرها ۱۳۶
۷-۳-۴- شتابنگاشتها و تحلیل ۱۳۷
۷-۴- تعیین توزیع ارتفاعی مناسب میراگرها ۱۳۷
۷-۵- تعیین توزیع پلانی مناسب میرایی و سختی در سازه های چندطبقه ۱۴۱
۷-۵-۱- اثر توزیع پلانی میراگرها بر پاسخهای کلی سازه ۱۴۱
۷-۵-۲- اثر توزیع پلانی میراگرها بر اندیسهای پیچشی سازه ۱۴۹
۷-۶- نتایج ۱۵۷

فصل هشتم نتایج و پیشنهادات ۱۵۹
۸-۱- جمع بندی نتایج ۱۶۰
۸-۲- نو آوریهای رساله ۱۶۵
۸-۳- پیشنهادات ۱۶۶

مراجع ۱۶۸
پیوست‌ها ۱۷۳
چکیده انگلیسی ۱۸۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱): تعریف سختی و مقاومت المان باربر جانبی بر اساس منحنی Pushover ۷

شکل(۲-۲): دیافراگم سازه همراه با مدلسازی عناصر مقاوم جانبی ۸

شکل(۲-۳): مودهای حرکتی سازه نامتقارن ۱۰

شکل(۲-۴): مدل عمومی دیافراگم با خروج از مرکزیت سختی و جرم ۱۶

شکل(۲-۵): میراگرهای سیال لزج: (الف) میراگر Sumitomo ، (ب) میراگرTaylor و (پ) میراگر Jarret ۲۰

شکل(۲-۶): منحنی رفتاری (الف) میراگرهای ویسکوز و (ب) میراگرهای ویسکوالاستیک ۲۲

شکل(۲-۷): منحنی رفتاری میراگرهای اصطکاکی ۲۲

شکل(۲-۸): ارتعاش آزاد یک سیستم یک درجه آزاد با میرایی های مختلف ۲۴

شکل(۲-۹): ارتعاش آزاد یک سیستم یک درجه آزاد با چهار سطح میرایی $\zeta = 2\%,5\%,10\%,20\%$ ۲۴

شکل(۲-۱۰): (الف) نمودار کاهش در ارتعاش آزاد بدلیل وجود میرایی و (ب) نمودار کاهش پاسخ بر حسب نسبت میرایی ۲۴

شکل(۲-۱۱): میراگر تعبیه شده در مهاربند بین طبقات i و j ۲۷

شکل(۲-۱۲): دیافراگم یک طبقه همراه با المانهای سختی و میراگر ۲۷

شکل(۳-۱): پلان مدل پایه یک طبقه ۳۲

شکل(۳-۲): نمای سه بعدی مدل پایه یک طبقه ۳۳

شکل(۳-۳): نمودار نیرو - تغییر مکان برای (الف) قاب های محور B,A و (ب) قاب های محورD,C ۳۷

شکل(۳-۴): پلان مدلهای یک طبقه شماره ۱ تا ۷ ۳۹

شکل(۳-۵): توزیع خطی ضریب میرایی بین ۴ قاب جهت y با شیب α ۴۱

شکل(۳-۶): توزیع خطی ضریب میرایی بین ۳ قاب جهت y با شیب β ۴۱

شکل(۳-۷): توزیع ضریب میرایی بین قابهای جهت y برای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت میرایی ۴۲

شکل(۳-۸): نمای شماتیک قرارگیری میراگرها در مدلهای یکطبقه در حالت $0 < e_d < 5/18$ ۴۲

شکل(۳-۹): تغییرات شعاع ژیراسیون میرایی در جهت y نسبت به خروج از مرکزیت میرایی در جهت x ۴۳

شکل(۳-۱۰): تغییرات زمان تناوب مودهای غالب جانبی و پیچشی نسبت به خروج از مرکزیت میرایی ۴۴

شکل(۳-۱۱): تغییرات درصد میرایی مودهای غالب جانبی و پیچشی نسبت به خروج از مرکزیت میرایی ۴۶

شکل(۳-۱۲): نمایش تغییرات زمان تناوب و درصد میرایی مودی برای یک سازه نامتقارن سخت پیچشی ۴۶

شکل(۴-۱): (الف) منحنی رفتاری ماده Steel01 و (ب) منحنی هیسترتیک ماده Steel01 ۵۰

شکل(۴-۲): نحوه مدلسازی میراگرها برای مدلهای تحلیلی در نرم افزار Opensees ۵۱
شکل(۴-۳): تغییر مکان جهت y مدل متقارن با توزیع میراگر یکنواخت تحت اثر ارتعاش آزاد ۵۲
شکل(۴-۴): شتابنگاشتهای اصلاح شده جهت تحلیل تاریخچه زمانی پیش از مقیاس نمودن ۵۴
شکل(۴-۵): طیف شتاب شتابنگاشتهای تحلیل تاریخچه زمانی برای میرایی های ۵٪ و۲۰٪ ۵۵
شکل(۴-۶): مقایسه تاریخچه زمانیهای تغییرمکان لبه نرم و سخت مدل ۵ در زلزله Chi-Chi (e_d=0) ۵۶
شکل(۴-۷): مقایسه تاریخچه زمانیهای شتاب لبه نرم و سخت مدل ۵ در زلزله Chi-Chi (e_d=0) ۵۷
شکل(۴-۸): مقایسه تاریخچه زمانیهای شتاب لبه نرم و سخت مدل ۵ در زلزله Manjil (e_d=0) ۵۷
شکل(۴-۹): میانگین و انحراف معیار بیشینه پاسخهای مدل ۵ در زلزله ها با PGA=0.55g در حالت با میراگر به بدون میراگر: (الف) تغییرمکان مرکز جرم، (ب) شتاب مطلق مرکز جرم و (پ) برش پایه ۵۸
شکل(۴-۱۰): تغییرات نسبت بیشینه تغییرمکان مرکز جرم مدلها در حالت با میراگر به حالت بدون میراگر ۵۹
شکل(۴-۱۱): تغییرات نسبت بیشینه شتاب مرکز جرم مدلها در حالت با میراگر به حالت بدون میراگر ۶۰
شکل(۴-۱۲): تغییرات نسبت بیشینه برش پایه مدلها در جهت y در حالت با میراگر به حالت بدون میراگر ۶۱
شکل(۴-۱۳): تغییرات بیشینه برش پایه مدلها در جهت y نسبت به خروج از مرکزیت میرایی ۶۲
شکل(۴-۱۴): میانگین و انحراف معیار "میانگین مربع تغییرمکان جانبی در طول زلزله" برای لبه نرم وسخت مدل ۵ بر حسب خروج از مرکزیت میرایی (PGA=0.55g) ۶۴
شکل(۴-۱۵): میانگین و انحراف معیار "بیشینه تغییرمکان جانبی در طول زلزله" برای لبه نرم وسخت مدل ۵ بر حسب خروج از مرکزیت میرایی (PGA=0.55g) ۶۴
شکل(۴-۱۶): اختلاف میانگین مربع تغییر مکان جانبی لبه های نرم و سخت مدلهای ۱ تا ۷ (میانگین نتایج برای هفت زلزله) برای چهار مقدار PGA نسبت به خروج از مرکزیت میرایی (حالت MSV) ۶۵
شکل(۴-۱۷): تغییرات خروج از مرکزیت بهینه میرایی جهت کنترل تغییرمکان نسبت به خروج از مرکزیت سختی در حالت MSV ۶۶
شکل(۴-۱۸): تغییرات خروج از مرکزیت بهینه میرایی جهت کنترل تغییرمکان نسبت به خروج از مرکزیت سختی در حالت MAV ۶۷
شکل(۴-۱۹): میانگین و انحراف معیار "میانگین مربع شتاب مطلق جانبی در طول زلزله" برای لبه نرم و سخت مدل ۵ بر حسب خروج از مرکزیت میرایی (PGA=0.55g) ۶۷
شکل(۴-۲۰): میانگین و انحراف معیار " بیشینه شتاب مطلق جانبی در طول زلزله" برای لبه نرم و سخت مدل ۵ بر حسب خروج از مرکزیت میرایی (PGA=0.55g) ۶۸
شکل(۴-۲۱): اختلاف میانگین مربع شتاب مطلق جانبی لبه های نرم و سخت مدلهای ۱ تا ۷ (میانگین نتایج برای هفت زلزله) برای چهار مقدار PGA نسبت به خروج از مرکزیت میرایی (حالت MSV) ۶۹

شکل(۴-۲۲): تغییرات خروج از مرکزیت بهینه میرایی جهت کنترل شتاب نسبت به خروج از مرکزیت سختی در حالت MSV ۷۰

شکل(۴-۲۳): تغییرات خروج از مرکزیت بهینه میرایی جهت کنترل شتاب نسبت به خروج از مرکزیت سختی در حالت MAV ۷۰

شکل(۴-۲۴): میانگین و انحراف معیار "میانگین مربع دوران در طول زلزله" و "ماکزیمم دوران در طول زلزله" برای مدل ۵ بر حسب خروج از مرکزیت میرایی (PGA=0.55g) ۷۱

شکل(۴-۲۵): میانگین مربع دوران مدلهای ۱ تا ۷ برای هفت زلزله و چهار PGA نسبت به خروج از مرکزیت میرایی (حالت MSV) (واحد محور قائم Rad^2 و سمت راست لبه نرم است) ۷۲

شکل(۴-۲۶): بیشینه دوران مدلهای ۱ تا ۷ برای هفت زلزله و چهار PGA نسبت به خروج از مرکزیت میرایی (حالت MAV) (سمت راست لبه نرم است) ۷۳

شکل(۵-۱): تغییرات اختلاف تغییرمکان لبه نرم و سخت مدل ۵ برحسب e_d برای مقادیر مختلف ضریب میرایی جانبی (میانگین ۷ زلزله با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۷۶

شکل(۵-۲): تغییرات اختلاف شتاب لبه نرم و سخت مدل ۵ برحسب e_d برای مقادیر مختلف ضریب میرایی جانبی (میانگین ۷ زلزله با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۷۷

شکل(۵-۳): (الف): میانگین مربع چرخش دیافراگم (MSV) و (ب): بیشینه چرخش دیافراگم (MAV) درمدل ۵ برحسب e_d برای مقادیر ضریب جانبی میرایی (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g ۷۸

شکل(۵-۴): تغییرات اختلاف تغییرمکان لبه نرم و سخت مدلهای A و B و C بر حسب e_d (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۸۰

شکل(۵-۵): تغییرات اختلاف شتاب لبه نرم و سخت مدلهای A و B و C بر حسب e_d (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۸۰

شکل(۵-۶): (الف): تغییرات میانگین مربع چرخش دیافراگم (MSV) و (ب): بیشنه چرخش دیافراگم (MAV) برای مدلهای A و B و C بر حسب e_d (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۸۱

شکل(۵-۷): پلان سازه با خروج از مرکزیت جرمی ۸۲

شکل(۵-۸): منحنی تغییرات I_{CM} بر حسب e_m به ازای مقادیر مختلف λ ۸۴

شکل(۵-۹): شکل دیافراگم یک طبقه با خروج از مرکزیت یک جهته جرمی ۸۵

شکل(۵-۱۰): تغییرات اختلاف تغییرمکان لبه نرم وسخت مدلهای با خروج از مرکزیت جرمی بر حسب e_d (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۸۵

شکل(۵-۱۱): تغییرات اختلاف شتاب لبه نرم وسخت مدلهای با خروج از مرکزیت جرمی بر حسب e_d (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) برای (الف) حالت MSV و (ب)حالت MAV ۸۶

شکل(۵-۱۲): تغییرات (الف) میانگین مربع چرخش (حالت MSV) و (ب) بیشینه چرخش دیافراگم (حالت MAV) در مدلهای با خروج از مرکزیت جرمی برحسب e_d (میانگین ۷ زلزله با PGA=0.55g) ۸۷
شکل(۵-۱۳): پلان کلی مدلهای یک طبقه با خروج از مرکزیت دو جهته ۸۹
شکل(۵-۱۴): تغییرات نسبت بیشینه تغییرمکان جهت y مرکز جرم مدلها در حالت با میراگر به حالت بدون میراگر برای حالت (الف) $e_{my}=0.0$ و (ب) $e_{my}=0.25$ (PGA=0.55g) ۹۰
شکل(۵-۱۵): تغییرات نسبت بیشینه شتاب جهت y مرکز جرم مدلها در حالت با میراگر به حالت بدون میراگر برای حالت (الف) $e_{my}=0.0$ و (ب) $e_{my}=0.25$ (PGA=0.55g) ۹۱
شکل(۵-۱۶): تغییرات اختلاف میانگین مربع تغییرمکان لبه نرم وسخت مدلها (حالت MSV) در جهتy برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۲
شکل(۵-۱۷): تغییرات اختلاف بیشینه تغییرمکان لبه نرم وسخت مدلها (حالت MAV)در جهتy برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۲
شکل(۵-۱۸): تغییرات اختلاف میانگین مربع شتاب لبه نرم وسخت مدلها (حالت MSV) در جهتy برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۳
شکل(۵-۱۹): تغییرات اختلاف بیشینه شتاب لبه نرم وسخت مدلها (حالت MAV) در جهت y برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۳
شکل(۵-۲۰): تغییرات میانگین مربع چرخش دیافراگم (حالت MSV) برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۴
شکل(۵-۲۱): تغییرات بیشینه چرخش دیافراگم (حالت MAV) برای مقادیر مختلف e_{my} بر حسب e_{dx} (میانگین ۷ شتابنگاشت با PGA=0.55g) ۹۵
شکل(۶-۱): نمایی از میزلرزان آزمایشگاه سازه ۹۸
شکل(۶-۲): نمای کلی مدل سازه ای بر روی میز لرزان ۱۰۰
شکل(۶-۳): منحنی تنش کرنش در محدوده کلی و محدوده الاستیک برای (الف) نمونه شماره ۱ و (ب) نمونه شماره ۲ ۱۰۱
شکل(۶-۴): (الف) نمای شماتیک سیکل چرخش روغن در یک سرعت گیر، (ب) نما و ابعاد میراگرهای استفاده شده در آزمایش ۱۰۲
شکل(۶-۵): پروفیل ارتفاعی شاسی مورد استفاده جهت تست میراگر ۱۰۳
شکل(۶-۶): جک هیدرولیکی ۵ تن موجود در آزمایشگاه ۱۰۴
شکل(۶-۷): قطعه رابط میراگر به جک هیدرولیکی ۱۰۴
شکل(۶-۸): نمودار نیرو- تغییرمکان میراگر۲ در فرکانسهای حول فرکانس اصلی سازه و فرکانسهای حدی (محور x تغییر مکان به میلیمتر و محور y نیرو برحسب کیلونیوتن می باشد) ۱۰۶

شکل(۶- ۹): نمای تسمه سوراخدار جهت اتصال میراگر به دیافراگم به همراه شماره گذاری سوراخهای تسمه و موقعیت قرارگیری میراگرها در حالات مختلف ۱۰۷
شکل(۶-۱۰): رکوردهای شتاب و تغییرمکان زلزله ها پس از انجام عملیات مقیاس و پردازش فرکانسی ۱۱۰
شکل(۶-۱۱): طیف پاسخ شتاب زمین لرزه ها ۱۱۱
شکل(۶-۱۲): صفحه فلزی زیر خرپاها ۱۱۱
شکل(۶-۱۳): سازه صلب متشکل از پنج سازه خرپایی ۱۱۲
شکل(۶-۱۴): صفحه فلزی روی خرپاها ۱۱۲
شکل(۶-۱۵): صفحات زیر ستونها (ورقهای نشیمن گاهی) ۱۱۲
شکل(۶-۱۶): نصب ستونها همراه با سرستونهای بالا و پایین آن ۱۱۳
شکل(۶- ۱۷): نصب صفحه دیافراگم اول ۱۱۳
شکل(۶- ۱۸): نصب تسمه سوراخدار جهت اتصال میراگر به دیافراگم ۱۱۴
شکل(۶-۱۹): صفحه فلزی متعادل کننده جرمی ۱۱۴
شکل(۶-۲۰): نحوه قرارگیری میراگرها روی سازه صلب در حالت دوم توزیع میراگرها به همراه محل قرارگیری حسگرهای تغییر مکان سنج و شتاب سنج ۱۱۵
شکل(۶-۲۱): بخشی از شتابنگاشت Loma perieta در حالت (الف) اعمال به میز لرزان ، (ب) دریافتی از شتاب سنج روی میز لرزان و (پ) اصلاح حالت ب ۱۱۶
شکل(۶-۲۲): طیف فوریه شتابنگاشت Loma perieta در حالت (الف) اعمال به میز لرزان ، (ب) دریافتی از شتاب سنج روی میز لرزان و (پ) اصلاح حالت ب ۱۱۷
شکل(۶-۲۳): مدلسازی میراگرها در مدل آزمایشگاهی با استفاده از المانهای Zero-Length در نرم افزار Opensees ۱۱۸
شکل(۶-۲۴): تغییرمکان مرکز جرم مدل بدون میراگر تحت شتابنگاشت San Fernando ۱۱۹
شکل(۶-۲۵): تغییرمکان مرکز جرم مدل بدون میراگر تحت شتابنگاشت San Fernando در محدوده ارتعاش آزاد ۱۱۹
شکل(۶-۲۶): مقایسه تغییرمکان مرکز جرم مدل بدون میراگر تحت شتابنگاشت San Fernando در حالت تحلیل و آزمایش ۱۲۰
شکل(۶-۲۷): تغییرمکان مرکز جرم مدل در حالت سوم قرارگیری میراگرها تحت شتابنگاشت San Fernando در محدوده ارتعاش آزاد ۱۲۱
شکل(۶-۲۸): مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان مرکز جرم در حالت دوم توزیع میراگر برای آزمایش، تحلیل و تحلیل با میرایی اصلاح شده برای ۶ شتابنگاشت ۱۲۳

شکل(۶-۲۹): مقایسه نتایج تئوری و آزمایشگاهی (الف) تغییر مکان و (ب) شتاب جانبی مرکز جرم سازه تحت زلزله Narrows Whittier برای حالت سوم توزیع میراگرها ۱۲۴

شکل(۶-۳۰): میانگین بیشینه تغییرمکان لبه سخت، نرم و مرکز جرم سازه تحت ۶ زلزله در (الف) مدل آزمایشگاهی و (ب) مدل تحلیلی ۱۲۵

شکل(۶-۳۱): میانگین بیشینه چرخش دیافراگم سازه تحت ۶ زلزله در (الف) مدل آزمایشگاهی و (ب) مدل تحلیلی ۱۲۶

شکل(۶-۳۲): میانگین بیشینه شتاب لبه سخت، نرم و مرکز جرم سازه تحت ۶ زلزله در (الف) مدل آزمایشگاهی و (ب) مدل تحلیلی ۱۲۷

شکل(۷-۱): نمای سه بعدی مدل پایه چند طبقه ۱۳۲

شکل(۷-۲): منحنی pushover قاب سازه متقارن در جهت y ۱۳۳

شکل(۷-۳): منحنیpushover قابهای سمت چپ و راست مدل با خروج از مرکزیت $e_{s-bot} = -0.05$ و $e_{s-top} = +0.15$ ۱۳۶

شکل(۷-۴): نسبت پاسخهای طبقات سازه متقارن در حالت با میراگر به بدون میراگر در حالات مختلف توزیع ارتفاعی میراگرها برای الف)تغییر مکان بین طبقه ای و ب) شتاب مطلق طبقه ۱۳۹

شکل(۷-۵): نسبت برش پایه سازه متقارن در حالت با میراگر به بدون میراگر در حالات مختلف توزیع ارتفاعی میراگرها ۱۳۹

شکل(۷-۶): (الف) زمان تناوب و (ب) درصد میرایی مودی برای مودهای جانبی جهت y به ازای حالات مختلف توزیع ارتفاعی میراگرها ۱۴۰

شکل(۷-۷): بیشینه تغییرمکان بین طبقه ای مرکزجرم دو طبقه پایین به متر به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 ۱۴۴

شکل(۷-۸): بیشینه تغییرمکان بین طبقه ای مرکز جرم سه طبقه بالا به متر به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 ۱۴۵

شکل(۷-۹): بیشینه شتاب مرکز جرم دو طبقه پایین بر حسب m/s^2 به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 ۱۴۶

شکل(۷-۱۰): بیشینه شتاب مرکز جرم سه طبقه بالا بر حسب m/s^2 به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم است) ۱۴۷

شکل(۷-۱۱): بیشینه برش پایه سازه ها در جهت y بر حسب ton به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 ۱۴۸

شکل(۷-۱۲): بیشینه اختلاف ماکزیمم تغییرمکان بین طبقه ای لبه راست و چپ دو طبقه پایین به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم m است) ۱۵۲

شکل(۷-۱۳): بیشینه اختلاف ماکزیمم تغییرمکان بین طبقه ای لبه راست و چپ سه طبقه بالا به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم m است) ۱۵۳
شکل(۷-۱۴): بیشینه اختلاف ماکزیمم شتاب مطلق لبه راست و چپ دو طبقه پایین به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم m/s^2 است) ۱۵۴
شکل(۷-۱۵): بیشینه اختلاف ماکزیمم شتاب مطلق لبه راست و چپ سه طبقه بالا به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم m/s^2 است) ۱۵۵
شکل(۷-۱۶): بیشینه چرخش دیافراگم دو طبقه پایین به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم rad است) ۱۵۶
شکل(۷-۱۷): بیشینه چرخش دیافراگم سه طبقه بالا به ازای تغییرات پارامترهای ed_1، ed_2، es_1 و es_2 (واحد محور قائم rad است) ۱۵۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول(۳-۱): تغییرات B_{V+1} بر حسب ضریب میرایی مود اول ۳۴

جدول(۳-۲): خلاصه فرضیات و نتایج طراحی مدل پایه یک طبقه ۳۴

جدول(۳-۳): مقاطع تیرها و ستون ها و مشخصات استاتیکی و دینامیکی مدل های یک طبقه ۱ تا ۷ ۳۸

جدول(۳-۴): تغییرات مقادیر ویژه و زمان تناوب مود غالب جانبی و مود غالب پیچشی در سازه متقارن ۴۵

جدول(۴-۱): مشخصات شتابنگاشتهای تحلیل مدلهای یک طبقه با خروج از مرکزیت یکطرفه ۵۳

جدول(۵-۱): درصد میرایی مودهای جانبی و پیچشی مدل متقارن برحسب ضریب میرایی جانبی ۷۵

جدول(۵-۲): مشخصات مدلهای A، B و C مستخرج از مدل شماره ۵ ۷۹

جدول(۵-۳): مشخصات دینامیکی و مقاومتی مدلهای ۱ تا ۷ در جهت x ۸۸

جدول(۵-۴): مولفه های نگاشتهای دو مولفه ای زلزله ۸۹

جدول(۶-۱): جرمهای اجزاء مدل آزمایشگاهی ۹۹

جدول(۶-۲): مشخصات دینامیکی مدل ۱۰۰

جدول(۶-۳): مشخصات دامنه ، فرکانس و تعداد سیکل بارگذاری میراگرها ۱۰۵

جدول(۶-۴): ضرایب میرایی بدست آمده برای میراگرها از آزمایش هارمونیک ۱۰۷

جدول(۶-۵): مشخصات شتابنگاشتهای اعمال شده به میز لرزان (پیش از مقیاس شدن) ۱۰۸

جدول(۷-۱): نتایج طراحی مدل ۵ طبقه متقارن ۱۳۳

جدول(۷-۲): زمان تناوب و جرم مودی موثر مدل متقارن ۱۳۴

جدول(۷-۳): مدلهای نامتقارن بدست آمده از مدل متقارن ۱۳۵

جدول(۷-۴): شتابنگاشتهای استفاده شده در تحلیل سازه های چندطبقه ۱۳۷

جدول(۷-۵): تغییرمکانهای سه مود اول جانبی در جهت y ۱۳۸

جدول(۷-۶): ضریب میرایی طبقات سازه برای روشهای توزیع ارتفاعی میراگرها (واحد: *ton.sec/m*) ۱۳۸

فصل اول

مقدمه

مطالعه آسیبهای زمین لرزه های گذشته نظیر زمین لرزه مکزیک در سال ۱۹۸۵ و زمین لرزه بم در سال ۱۳۸۲ نشان می دهد نامتقارنی در سازه ها یکی از دلایل مهم آسیب پذیری آنها بوده است. بطور کلی این آسیبها نتیجه عدم یکنواختی تغییرمکانهای جانبی سازه در نقاط مختلف دیافراگم است که موجب می شود تغییرشکلهای غیرالاستیک گسترده در تعداد اندکی از المانهای کناری سازه رخ داده و موجب ناپایداری و گسیختگی آن گردد. بطور کلی توزیع نامناسب مقاومت و سختی المانهای باربر جانبی و توزیع نامتقارن اعضای غیر سازه ای نظیر تیغه های باربر و یا میانقابها از عوامل اصلی بوجود آمدن اثرات پیچشی در سازه ها هستند. بدیهی است که حذف کلیه نامتقارنیها به لحاظ محدودیتهای معماری امکان پذیر نیست و از طرفی در بسیاری مواقع مقاوم سازی یک سازه موجود مطرح می باشد که دارای نامتقارنی دیکته شده ای است. ضمن اینکه حتی با فرض توزیع کاملا متقارن سختی و مقاومت عناصر سازه ای و غیر سازه ای، اثرات عدم قطعیت در مشخصات مصالح و وجود مولفه های دورانی زلزله باعث می شود تا در زمین لرزه ها بخشهایی از سازه وارد محدوده غیرخطی شوند و با کاهش سختی آنها توزیع نیروها تغییر نموده و پیچش ایجاد گردد.

نخستین راه حلی که برای کاهش این اثرات ارائه می گردد، کاهش نامنظمی ها در سازه چه در پلان و چه در ارتفاع می باشد. به همین دلیل در آیین نامه های ساختمانی محدودیتهایی در شکل هندسی پلان سازه ها و همچنین توزیع المانهای باربر سازه ای در پلان و ارتفاع در نظر گرفته شده است تا مقدار پیچش حداقل گردد. با توجه به اینکه المانهای سازه ای در زمین لرزه وارد محدوده غیرخطی می شوند که بر رفتار سازه غالب می گردد امروزه آیین نامه های لرزه ای به سمت استفاده از روشهای طراحی بر اساس عملکرد گرایش یافته اند. در این روش طراحی سعی می شود بر اساس سطوح احتمالی مختلف خطر، خسارات سازه ای و غیر سازه ای ایجاد شده در سازه در حد خاصی محدود شده و سازه در حین زلزله مطابق با عملکرد از پیش تعیین شده رفتار کند. به همین دلیل تلاش بسیاری ازمحققان در دهه اخیر نیز بر این متمرکز بوده است که با در نظر گرفتن سطوح عملکردی به بررسی رفتار سازه های نامتقارن در حالت غیرخطی پرداخته و آرایش های مناسب سختی و مقاومت اعضا را ارائه نمایند. ولی این تحقیقات نشان داده اند که امکان کاهش همزمان چند پاسخ موثر بر عملکرد سازه با یک توزیع خاص وجود ندارد. به عنوان نمونه توزیعی که تغییرمکان نسبی بین طبقه ای را کاهش می دهد لزوما توزیعی نیست که تقاضای شکل پذیری المانها را کم می کند.

در دو دهه اخیر همراه با پیشرفت در ساخت و تولید تجهیزات استهلاک انرژی، ایده استفاده از آنها به منظور کنترل پاسخ سازه ها در بارهای دینامیکی نظیر باد و زلزله قوت گرفته است. نمونه این کاربردها در سیستمهای میراگر الحاقی در سازه ها و سیستمهای جداگر پایه مشاهده می گردد. به موازات این کاربردها به تدریج روشهای نوین طراحی سازه ها ارائه شده است که با فلسفه متفاوت با روشهای سنتی پایداری سازه در برابر زمین لرزه را فراهم می کند. در روش سنتی طراحی سازه فرض می شود که در اثر وقوع زلزله سازه وارد محدوده غیرخطی شده و از این طریق بخش زیادی از انرژی زلزله مستهلک می شود. در اینصورت طبیعی است که سازه دچار آسیب شده که میزان آسیب وارده بستگی به سطح عملکرد انتظاری از سازه دارد. در روش نوین طراحی سازه فرض می شود که رفتار غالب سازه الاستیک بوده و در نتیجه از اهمیت شکل پذیری اعضای سازه ای کاسته شده و انرژی زمین لرزه از طریق تجهیزات الحاقی مستهلک شده و یا با استفاده از سیستمهای مختلف جداگر انرژی کمتری به سازه منتقل می شود. بدیهی است که در روش نوین آسیب وارده به سازه کمتر بوده و سطوح عملکرد بالاتری قابل دستیابی است. با توجه به مزایای روشهای جدید طراحی سازه و رفتار مشخص تر سازه های طرح شده با این روش در زلزله، استفاده از آنها در حال گسترش می باشد.