دانشکده مهندسی عمران

بررسی اثر مولفه ی قائم زلزله بر رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

محمد جواد ستاری

استاد راهنما:

دکتر مجید قلهکی

اسفند ماه ۱۳۹۰

دانشکده مهندسی عمران

بررسی اثر مولفه ی قائم زلزله بر رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

محمد جواد ستاری

استاد راهنما:

دکتر مجید قلهکی

استاد مشاور:

–

اسفند ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه ی آقای/خانم ..... برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش ..... تحت عنوان "....." در جلسه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول:	امضاء:
استاد راهنمای دوم:	امضاء:
استاد مشاور اول:	امضاء:
استاد مشاور دوم:	امضاء:
استاد داور:	امضاء:
استاد داور:	امضاء:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده: ..... امضاء .....

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب **محمد جواد ستاری** متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان **"بررسی اثر مولفه ی قائم زلزله بر رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک"** که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: محمد جواد ستاری

شماره دانشجویی: ۸۸۱۱۱۴۹۰۰۳

امضاء

پایان نامه های تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران دانشگاه سمنان

این پاین نامه تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین نوین مهندسی عمران و در قالب گروه پژوهشی:

☐ روش های اجرایی نوین مهندسی عمران

☐ مصالح نوین مهندسی عمران

☐ سیستم های نوین ساخت

☐ روشهای تحلیل نوین در مهندسی عمران

ارائه شده است.

امضای مدیر گروه پژوهشی　　امضای رئیس پژوهشکده

این صفحه در صورتی تکمیل می گردد که فعالیت پژوهشی مورد نظر در راستای اهداف پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و با حمایت یکی از گروه های پژوهشی صورت پذیرد.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به:

ستارگان آسمان زندگی ام

پدر و مادر مهربانم

که همواره در تمام دوران زندگی هادی و مشوق من بوده اند

تشکر و قدردانی:

خداوند سبحان را شکر می گویم که توانایی انجام این پروژه را همانند بسیاری از نعمـــت هـــای دیگرش به من عطا نمود و مرتبه ای دیگر از عظمت و بزرگی بی کرانش را به مـــن نشـــان داد و صد البته در این مسیر مدیون یاری و راهنمایی های بی دریغ جناب آقای دکتر قلهکی ، استاد راهنمای بزرگوار خویش هستم. در ادامه از تمام کسانی که مرا یاری نمودند تشکر می کنم.

چکیده

بررسی های انجام شده بر روی نحوه و نوع خرابی ساختمانها پس از زلزله های نورث ریج و کوبه حاکی از اثرات تعیین کننده مولفه قائم زلزله ها نسبت به مولفه افقی آنها بود. پس از آن سازه های ساختمانی و پلهای بتنی و فولادی زیادی تحت اثر مولفه قائم طراحی و تقویت گردیدند. از طرفی دیوار برشی فولادی با ورق نازک یکی از سیستم های مقاوم نسبتا جدیدی است که در سه دهه اخیر در طراحی و تقویت ساختمانهای بلند مرتبه به کار گرفته شده و رفتار بسیار مناسبی در برابر مولفه افقی زلزله از خود نشان داده است. لیکن تا کنون رفتار این سیستم تحت مولفه قائم زلزله مورد بررسی قرار نگرفته است.

در پایان نامه ی حاضر تلاش شده تا رفتار این سیستم تحت مولفه ی قائم زلزله و همچنین همزمان با مولفه ی افقی تحقیق و بررسی شود. بر این اساس ابتدا مدل آزمایشگاهی مورد نظر انتخاب شده و پس از کالیبره کردن مدل و صحت سنجی آن در نرم افزار Abaqus ، تحت چندین شتاب نگاشت مولفه های قائم و افقی زلزله که مطابق آیین نامه ی ۲۸۰۰ مقیاس شده بودند ، مدل آزمایشگاهی به همراه مدلهای ۳ ، ۱۰ و ۲۰ طبقه مورد تحلیل دینامیکی تاریخچه ی زمانی غیر خطی قرار گرفت.

پس از انجام تحلیل و به دست آمدن نتایج ، روند تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها و ستونهای مدلها، مودهای مختلف شکست (خرابی) ، نیروی محوری و لنگر خمشی ستونها ، نیروی برشی و لنگر خمشی تیرها (کناره ها و وسط) ، برش طبقات ، تغییر مکان افقی و قائم طبقات و نیز تغییر مکان نسبی طبقات در سه حالت اثر تنها مولفه افقی ، اثر همزمان مولفه های افقی و قائم و نیز اثر تنها مولفه قائم مورد مقایسه ، بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از عملکرد مناسب این سیستم تحت مولفه ی قائم زلزله و حتی همزمان با حضور مولفه ی افقی زلزله می باشد. به گونه ای که ابتدا خرابی و تسلیم شدگی در دیوارهای برشی فولادی رخ داده و سپس تیرها و ستونها دچار تسلیم شدگی و خرابی شدند. همچنین بررسی ها نشان داد که مولفه قائم زلزله تاثیر قابل ملاحظه ای بر نیروی محوری ستونها (افزایش ۱۰۰ تا ۱۵۰۰درصد) ، لنگر خمشی ستونها (افزایش ۱۰۰ تا ۶۰۰ درصد) ، نیروی برشی تیرها (افزایش ۵۰ تا ۳۰۰ درصد) و لنگر خمشی تیرها (افزایش ۵۰ تا ۴۰۰ درصد) می گذارد و روند تشکیل مفاصل پلاستیک و نیز مودهای خرابی در دو حالت اثر همزمان مولفه های افقی و قائم و تنها مولفه قائم نسبت به حالتی که تنها مولفه افقی اثر می کند ، کاملا متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: دیوار برشی فولادی ، مولفه قائم زلزله ، تحلیل دینامیکی غیر خطی ، مودهای خرابی

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مساله ۲

۱-۳- اهمیت وضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۴- نوآوری ۳

۱-۵- اهداف ۳

۱-۶- فرضیات تحقیق و محدودیت ها ۴

۱-۷- روش شناسی تحقیق ۴

۱-۸- ساختار فصول پایان نامه ۵

فصل ۲: مروری بر منابع ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- مولفه قائم زلزله ۹

۲-۲-۱- منشا مولفه قائم زلزله ۹

۲-۲-۲- محتوای فرکانسی مولفه قائم زلزله ۹

۲-۲-۳- محتوای انرژی مولفه قائم زلزله ۱۰

۲-۲-۴- کاهندگی مولفه قائم زلزله با افزایش فاصله ۱۰

۲-۲-۵- پارامترهای موثر بر مولفه قائم زلزله ۱۰

۲-۲-۶- اثر مولفه قائم زلزله بر سازه ها ۱۱

۲-۲-۷- بررسی پریود قائم سازه ها ۱۲

۲-۲-۸- مشاهدات تجربی ۱۳

۲-۲-۸-۱- شکست فشاری ۱۳

۲-۲-۸-۲- شکست فشاری - برشی ۱۵

۲-۲-۸-۳- شکست کششی ۱۵

۲-۲-۸-۴- شکست کششی - برشی ۱۶

۲-۲-۸-۵- شکست برشی ۱۷

۲-۲-۸-۶- شکست چرخشی ۱۹

۲-۳- دیوارهای برشی فولادی ۱۹

۲-۳-۱- معرفی سیستم ۱۹

۲-۳-۲- تئوری میدان کششی قطری ۲۲
۲-۳-۳- آنالیز و طراحی ۲۲
۲-۴- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه اثر مولفه قائم بر سازه ها ۲۳
۲-۵- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه دیوارهای برشی فولادی ۳۷
۲-۶- نتیجه گیری ۴۲

فصل ۳: روش تحقیق **۴۳**
۳-۱- مقدمه ۴۴
۳-۲- انتخاب روش مدلسازی و تحلیلی ۴۴
۳-۳- مشخصات مدل آزمایشگاهی انتخابی ۴۴
۳-۴- معرفی نرم افزار Abaqus ۴۸
۳-۴-۱- مقدمه ۴۸
۳-۴-۲- روش اجزای محدود ۴۹
۳-۴-۳- نرم افزار Abaqus ۵۰
۳-۵- مدلسازی در نرم افزار ۵۳
۳-۵-۱- مقدمه ۵۳
۳-۵-۲- معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار ۵۴
۳-۵-۳- تعیین اندازه مش بندی (آنالیز حساسیت) ۵۴
۳-۵-۴- انتخاب نوع المان ۵۵
۳-۵-۵- تعیین شرایط مرزی و بارگذاری ۵۶
۳-۵-۶- تعیین نوع آنالیز ۵۷
۳-۶- تحلیل استاتیکی غیر خطی بار افزون (PushOver) ۵۸
۳-۶-۱- تحلیل پوش آور چیست؟ ۵۸
۳-۶-۲- فرضیات روش تحلیل پوش آور ۵۸
۳-۶-۳- مزایا و معایب روش تحلیل پوش آور ۵۹
۳-۷- اعتبار سنجی (کالیبره کردن) مدل ۵۹

فصل ٤: بررسی مفاصل پلاستیک و مودهای خرابی **٦١**
۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- تحلیل دینامیکی غیر خطی (تاریخچه زمانی) ۶۲
۴-۳- انتخاب شتاب نگاشتها و مقیاس کردن آنها ۶۳

۴-۳-۱- انتخاب شتاب نگاشتهای زلزله و پارامترهای موثر در آن ۶۳
۴-۳-۲- مقیاس کردن شتاب نگاشتهای زلزله های انتخابی ۶۴
۴-۴- طراحی قابهای ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه ۶۹
۴-۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۴-۲- آنالیز و طراحی دیوارهای برشی فولادی به روش نواری ۶۹
۴-۴-۳- نحوه طراحی قابها در Etabs-V9.6 ..... ۷۴
۴-۵- تحلیل دینامیکی غیر خطی در نرم افزار Abaqus ۷۸
۴-۵-۱- روش های implicit (ضمنی) و explicit (صریح) ۷۸
۴-۵-۲- مدلسازی در نرم افزار Abaqus ۸۳
۴-۶- بررسی روند تشکیل مفاصل پلاستیک ۸۴
۴-۶-۱- مقدمه ۸۴
۴-۶-۲- روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل آزمایشگاهی ۸۵
۴-۶-۳- روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل ۳ طبقه ۸۸
۴-۶-۴- روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل ۱۰ طبقه ۹۱
۴-۶-۵- روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل ۲۰ طبقه ۹۴
۴-۷- بررسی مودهای خرابی (شکست) ۹۹
۴-۷-۱- مقدمه ۹۹
۴-۷-۲- تعریف معیار خرابی در Abaqus ۹۹
۴-۷-۳- بررسی مودهای خرابی (شکست) در مدل آزمایشگاهی ۱۰۳
۴-۷-۴- بررسی مودهای خرابی (شکست) در مدل ۳ طبقه ۱۰۹
۴-۷-۵- بررسی مودهای خرابی (شکست) در مدل ۱۰ طبقه ۱۱۳
۴-۷-۶- بررسی مودهای خرابی (شکست) در مدل ۲۰ طبقه ۱۲۰

فصل ۵: بررسی نیروها و تغییرمکان ها **۱۲۸**

۵-۱- مقدمه ۱۲۹
۵-۲- بررسی نیروی محوری ستونها ۱۲۹
۵-۲-۱- بررسی نیروی محوری ستونها (مدل آزمایشگاهی) ۱۲۹
۵-۲-۲- بررسی نیروی محوری ستونها (مدل ۳ طبقه) ۱۳۱
۵-۲-۳- بررسی نیروی محوری ستونها (مدل ۱۰ طبقه) ۱۳۳
۵-۲-۴- بررسی نیروی محوری ستونها (مدل ۲۰ طبقه) ۱۳۷
۵-۳- بررسی لنگر خمشی ستونها ۱۴۰

۵-۳-۱- بررسی لنگر خمشی ستونها (مدل آزمایشگاهی) ۱۴۰
۵-۳-۲- بررسی لنگر خمشی ستونها (مدل ۳ طبقه) ۱۴۲
۵-۳-۳- بررسی لنگر خمشی ستونها (مدل ۱۰ طبقه) ۱۴۴
۵-۳-۴- بررسی لنگر خمشی ستونها (مدل ۲۰ طبقه) ۱۴۸
۵-۴- بررسی نیروی برشی تیرها ۱۵۲
۵-۴-۱- بررسی نیروی برشی تیرها (مدل آزمایشگاهی) ۱۵۲
۵-۴-۲- بررسی نیروی برشی تیرها (مدل ۳ طبقه) ۱۵۴
۵-۴-۳- بررسی نیروی برشی تیرها (مدل ۱۰ طبقه) ۱۵۶
۵-۴-۴- بررسی نیروی برشی تیرها (مدل ۲۰ طبقه) ۱۶۰
۵-۵- بررسی لنگر خمشی تیرها (کناره ها) ۱۶۴
۵-۵-۱- بررسی لنگر خمشی تیرها (کناره ها) - (مدل آزمایشگاهی) ۱۶۴
۵-۵-۲- بررسی لنگر خمشی تیرها (کناره ها) – (مدل ۳ طبقه) ۱۶۶
۵-۵-۳- بررسی لنگر خمشی تیرها (کناره ها) – (مدل ۱۰ طبقه) ۱۶۸
۵-۵-۴- بررسی لنگر خمشی تیرها (کناره ها) – (مدل ۲۰ طبقه) ۱۷۲
۵-۶- بررسی لنگر خمشی تیرها (وسط) ۱۷۶
۵-۶-۱- بررسی لنگر خمشی تیرها (وسط) – (مدل آزمایشگاهی) ۱۷۶
۵-۶-۲- بررسی لنگر خمشی تیرها (وسط) – (مدل ۳ طبقه) ۱۷۸
۵-۶-۳- بررسی لنگر خمشی تیرها (وسط) – (مدل ۱۰ طبقه) ۱۸۰
۵-۶-۴- بررسی لنگر خمشی تیرها (وسط) – (مدل ۲۰ طبقه) ۱۸۴
۵-۷- بررسی برش طبقات ۱۸۸
۵-۷-۱- بررسی برش طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۱۸۸
۵-۷-۲- بررسی برش طبقات (مدل ۳ طبقه) ۱۹۰
۵-۷-۳- بررسی برش طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۱۹۲
۵-۷-۴- بررسی برش طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۱۹۵
۵-۸- بررسی تغییر مکان قائم طبقات ۱۹۹
۵-۸-۱- بررسی تغییر مکان قائم طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۱۹۹
۵-۸-۲- بررسی تغییر مکان قائم طبقات (مدل ۳ طبقه) ۱۹۹
۵-۸-۳- بررسی تغییر مکان قائم طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۲۰۳
۵-۸-۴- بررسی تغییر مکان قائم طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۲۰۷
۵-۹- بررسی تغییر مکان افقی طبقات ۲۱۰
۵-۹-۱- بررسی تغییر مکان افقی طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۲۱۰
۵-۹-۲- بررسی تغییر مکان افقی طبقات (مدل ۳ طبقه) ۲۱۲

۵-۹-۳- بررسی تغییر مکان افقی طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۲۱۴
۵-۹-۴- بررسی تغییر مکان افقی طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۲۱۷
۵-۱۰- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات (Story Drift) ۲۲۰
۵-۱۰-۱- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۲۲۰
۵-۱۰-۲- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات (مدل ۳ طبقه) ۲۲۲
۵-۱۰-۳- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۲۲۴
۵-۱۰-۴- بررسی تغییر مکان نسبی طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۲۲۷

فصل ٦: جمع بندی و پیشنهادها **۲۳۱**

۶-۱- مقدمه ۲۳۲
۶-۲- جمع بندی ۲۳۲
۶-۲-۱- مفاصل پلاستیک ۲۳۲
۶-۲-۲- مودهای شکست (خرابی) ۲۳۳
۶-۲-۳- نیروها و تغییر مکانها ۲۳۴
۶-۳- نوآوری ۲۳۶
۶-۴- پیشنهادها ۲۳۷

مراجع **۲۳۸**

فهرست اشکال

فصل دوم

شکل (۲-۱) شکست فشاری ستونهای پل بال کریک در زلزله نورث ریج ۱۴
شکل (۲-۲) شکست فشاری ستونهای پل بال کریک در زلزله نورث ریج ۱۴
شکل (۲-۳) شکست کششی ترد در یک خرپای فلزی در زلزله کوبه ۱۵
شکل (۲-۴) شکست کششی- برشی در ستونهای طبقه سوم از ساختمان هشت طبقه Holliday Inn در زلزله نورثریج ۱۶
شکل (۲-۵) شکست برشی-کششی ستونهای طبقه پنجم از ساختمانی ۱۲ طبقه در زلزله کوبه ۱۷
شکل (۲-۶) شکست برشی دال مجوف فروشگاه Bullocks در زلزله نورث ریج.....۱۸
شکل (۲-۷) شکست برشی و واژگونی تیرهای پارکینگ NFC در زلزله نورث ریج.....۱۸
شکل (۲-۸) مشابهت دیوار برشی فولادی و تیرورق طره ای ۲۱
شکل (۲-۹) یک نمونه از دیوار برشی فولادی با سخت کننده.....۲۱
شکل (۲-۱۰) مکانیزم تحمل بار داخل صفحه و تغییر آن به میدان کشش قطری ۲۲
شکل (۲-۱۱) نمودار تغییرات درصد E بر حسب دهانه های مختلف در مدل متقارن . نیروی محوری الف) ستون مدل ۳ طبقه ب) ستون مدل ۱۵ طبقه ۲۹
شکل (۲-۱۲) نمودار تغییرات درصد E بر حسب دهانه های مختلف در طبقات مختلف مدل متقارن . نیروی برشی الف) تیر مدل ۳ طبقه ب) تیر مدل ۱۵ طبقه ۲۹
شکل (۲-۱۳) نمودار تغییرات لنگر خمشی میانه دهانه تیر طبقه اول تحت زلزله ی نورث ریدج (قاب مهاربند فولادی) ۳۱
شکل (۲-۱۴) نمودار تغییرات برش تکیه گاهی تیر طبقه اول تحت زلزله ی نورث ریدج (قاب مهاربند فولادی) ۳۲
شکل (۲-۱۵) نمودار تغییرات لنگر خمشی محل اتصال طره طبقه اول تحت زلزله ی نورث ریدج (قاب مهاربند فولادی) ۳۳
شکل (۲-۱۶) نمودار تغییرات لنگر خمشی میانه دهانه تیرهای تحت زلزله نورث ریدج (قاب خمشی بتنی).....۳۴
شکل (۲-۱۷) مشخصات مدل قاب بتنی پنج طبقه ۳۴
شکل (۲-۱۸) الف) تغییر مکان حداکثر ، ب) حداکثر تغییر مکان نسبی ، ج) طول متوسط ناحیه پلاستیک ۳۵

شکل (۲-۱۹) تغییر شکل های پلاستیک(PD) الف) مقدار متوسط تغییر شکل پلاستیک در ستونها ب) مقدار متوسط تغییر شکل پلاستیک در تیرها ج) مقدار متوسط تغییر شکل پلاستیک در تمامی سازه ۳۶
شکل (۲-۲۰) انرژی هیسترزیس (HE) الف) مقدار متوسط انرژی هیسترزیس در ستونها ب)مقدار متوسط انرژی هیسترزیس در تیرها ج) مقدار متوسط انرژی هیسترزیس در تمامی سازه ۳۶
شکل (۲-۲۱) الف) نسبت لنگر نهایی ستون به لنگر جاری شدن آن ، ب) نسبت نیروی برشی ستون به ظرفیت برشی آن ۳۶

فصل سوم

شکل (۳-۱) تصویر ، نمای کلی و جزئیات نمونه های دیوار برشی فولادی ۴۶
شکل (۳-۲) جزئیات اتصال تیر به ستون صلب ۴۷
شکل (۳-۳) جزئیات اتصال تیر به ستون ساده ۴۷
شکل (۳-۴) آنالیز حساسیت به مش بندی ۵۵
شکل (۳-۵) مدل نهایی در نرم افزار ۵۷
شکل (۳-۶) مقایسه نتایج عددی با داده های آزمایشگاه ۶۰

فصل چهارم

شکل (۴-۱) طیف های پاسخ شتاب سه زلزله و نیز طیف میانگین این سه زلزله ۶۶
شکل (۴-۲) طیف میانگین سه زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد قبل از اصلاح ۶۶
شکل (۴-۳) طیف میانگین سه زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد بعد از اصلاح (مدل آزمایشگاهی).....۶۷
شکل (۴-۴) طیف میانگین سه زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد بعد از اصلاح (مدل سه طبقه) ... ۶۸
شکل (۴-۵) طیف میانگین سه زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد بعد از اصلاح (مدل ۱۰ طبقه) ۶۸
شکل (۴-۶) طیف میانگین سه زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد بعد از اصلاح (مدل ۲۰ طبقه) ... ۶۹
شکل (۴-۷) مدل نواری ۷۰
شکل (۴-۸) مهاربند معادل و مدل نواری ۷۱
شکل (۴-۹) فلوچارت طراحی دیوار برشی فولادی به روش نواری ۷۴
شکل (۴-۱۰) پلان مربع شکل جهت طراحی مدلهای ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه ۷۵
شکل (۴-۱۱) جزئیات مقاطع قوطی ستونها و مقاطع تیر ورق تیرها ۷۶
شکل (۴-۱۲) روش حل مسائل دینامیکی به روش explicit (صریح) ۸۰

شکل (۴-۱۳) روش حل مسائل دینامیکی به روش implicit (ضمنی) ۸۱
شکل (۴-۱۴) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه افقی (مدل آزمایشگاهی) ۸۵
شکل (۴-۱۵) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر همزمان مولفه های قائم و افقی (مدل آزمایشگاهی)..... ۸۶
شکل (۴-۱۶) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه قائم (مدل آزمایشگاهی) ۸۶
شکل (۴-۱۷) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه افقی (مدل سه طبقه) ۸۸
شکل (۴-۱۸) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر همزمان مولفه های قائم و افقی (مدل سه طبقه) ۸۹
شکل (۴-۱۹) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه قائم (مدل سه طبقه) ۸۹
شکل (۴-۲۰) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه افقی (مدل ۱۰ طبقه) ۹۱
شکل (۴-۲۱) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر همزمان مولفه های افقی و قائم (مدل ۱۰ طبقه) ۹۲
شکل (۴-۲۲) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه قائم (مدل ۱۰ طبقه) ۹۳
شکل (۴-۲۳) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه افقی (مدل ۲۰ طبقه) ۹۵
شکل (۴-۲۴) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر همزمان مولفه های افقی و قائم (مدل ۲۰ طبقه)..... ۹۶
شکل (۴-۲۵) روند تشکیل مفاصل پلاستیک تحت اثر مولفه قائم (مدل ۲۰ طبقه) ۹۷
شکل (۴-۲۶) روند خرابی پیش رونده در مصالح ۱۰۰
شکل (۴-۲۷) نمایش شماتیک از مصالح الاستو – پلاستیک با خرابی پیش رونده ۱۰۲
شکل (۴-۲۸) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه افقی (مدل آزمایشگاهی) ۱۰۳
شکل (۴-۲۹) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر همزمان مولفه های افقی و قائم (مدل آزمایشگاهی) ۱۰۴
شکل (۴-۳۰) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه قائم (مدل آزمایشگاهی)..... ۱۰۴
شکل (۴-۳۱) شکل تغییر شکل یافته نهایی مدل آزمایشگاهی تحت اثر مولفه افقی سه زلزله ۱۰۶
شکل (۴-۳۲) شکل تغییر شکل یافته نهایی مدل آزمایشگاهی تحت اثر همزمان مولفه های قائم و افقی سه زلزله ۱۰۷
شکل (۴-۳۳) شکل تغییر شکل یافته نهایی مدل آزمایشگاهی تحت اثر مولفه قائم سه زلزله ۱۰۷
شکل (۴-۳۴) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه افقی (مدل سه طبقه) ۱۱۰
شکل (۴-۳۵) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر همزمان مولفه افقی و قائم (مدل سه

طبقه) ۱۱۰
شکل (۴-۳۶) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه قائم (مدل سه طبقه) ۱۱۱
شکل (۴-۳۷) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه افقی (مدل ۱۰ طبقه) ۱۱۴
شکل (۴-۳۸) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر همزمان مولفه افقی و قائم (مدل ۱۰ طبقه) ۱۱۵
شکل (۴-۳۹) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه قائم (مدل ۱۰ طبقه) ۱۱۶
شکل (۴-۴۰) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه افقی (مدل ۲۰ طبقه) ۱۲۱
شکل (۴-۴۱) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه های افقی و قائم (مدل ۲۰ طبقه) ۱۲۲
شکل (۴-۴۲) روند شروع خرابی (شکست) در اعضای مختلف تحت اثر مولفه قائم (مدل ۲۰ طبقه) ۱۲۳

فصل پنجم

شکل (۵-۱) تغییرات نیروی محوری ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل آزمایشگاهی) ۱۳۰
شکل (۵-۲) تغییرات درصد E نیروی محوری ستونها بر حسب طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۱۳۰
شکل (۵-۳) تغییرات نیروی محوری ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل آزمایشگاهی) ۱۳۱
شکل (۵-۴) تغییرات نیروی محوری ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل سه طبقه) ۱۳۲
شکل (۵-۵) تغییرات درصد E نیروی محوری ستونها بر حسب طبقات (مدل سه طبقه) ۱۳۲
شکل (۵-۶) تغییرات نیروی محوری ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل سه طبقه) ۱۳۳
شکل (۵-۷) تغییرات نیروی محوری ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۱۰ طبقه) ۱۳۴
شکل (۵-۸) تغییرات درصد E نیروی محوری ستونها بر حسب طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۱۳۵
شکل (۵-۹) تغییرات نیروی محوری ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۱۰ طبقه) ۱۳۶
شکل (۵-۱۰) تغییرات نیروی محوری ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۲۰ طبقه) ۱۳۷
شکل (۵-۱۱) تغییرات درصد E نیروی محوری ستونها بر حسب طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۱۳۸
شکل (۵-۱۲) تغییرات نیروی محوری ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۲۰ طبقه) ۱۳۹

شکل (۵-۱۳) تغییرات لنگر خمشی ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل آزمایشگاهی) ۱۴۰
شکل (۵-۱۴) تغییرات درصد E لنگر خمشی ستونها بر حسب طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۱۴۱
شکل (۵-۱۵) تغییرات لنگر خمشی ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل آزمایشگاهی) ۱۴۱
شکل (۵-۱۶) تغییرات لنگر خمشی ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۳ طبقه) ۱۴۲
شکل (۵-۱۷) تغییرات درصد E لنگر خمشی ستونها بر حسب طبقات (مدل ۳ طبقه) ۱۴۳
شکل (۵-۱۸) تغییرات لنگر خمشی ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۳ طبقه) ۱۴۳
شکل (۵-۱۹) تغییرات لنگر خمشی ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۱۰ طبقه) ۱۴۵
شکل (۵-۲۰) تغییرات درصد E لنگر خمشی ستونها بر حسب طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۱۴۶
شکل (۵-۲۱) تغییرات لنگر خمشی ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۱۰ طبقه) ۱۴۷
شکل (۵-۲۲) تغییرات لنگر خمشی ستونها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۲۰ طبقه) ۱۴۹
شکل (۵-۲۳) تغییرات درصد E لنگر خمشی ستونها بر حسب طبقات (مدل ۲۰ طبقه) ۱۵۰
شکل (۵-۲۴) تغییرات لنگر خمشی ستونها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۲۰ طبقه) ۱۵۱
شکل (۵-۲۵) تغییرات نیروی برشی تیرها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل آزمایشگاهی) ۱۵۲
شکل (۵-۲۶) تغییرات درصد E نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات (مدل آزمایشگاهی) ۱۵۳
شکل (۵-۲۷) تغییرات نیروی برشی تیرها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل آزمایشگاهی) ۱۵۳
شکل (۵-۲۸) تغییرات نیروی برشی تیرها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۳ طبقه) ۱۵۴
شکل (۵-۲۹) تغییرات درصد E نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات (مدل ۳ طبقه) ۱۵۵
شکل (۵-۳۰) تغییرات نیروی برشی تیرها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۳ طبقه) ۱۵۵
شکل (۵-۳۱) تغییرات نیروی برشی تیرها در دو حالت مولفه افقی و مولفه های افقی و قائم تواما (مدل ۱۰ طبقه) ۱۵۷
شکل (۵-۳۲) تغییرات درصد E نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات (مدل ۱۰ طبقه) ۱۵۸
شکل (۵-۳۳) تغییرات نیروی برشی تیرها در حالت اثر مولفه قائم زلزله (مدل ۱۰ طبقه) ۱۵۹