بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه زنجان
دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران
(گرایش سازه)

ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فضاکار قیچی‌سان تاشو بر اساس سطح عملکرد

سمیه ملائی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه

استاد راهنما
دکتر علی جعفروند

استاد مشاور
دکتر مهدی مقیمی

خرداد ۱۳۸۹

دانشگاه زنجان
دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران
(گرایش سازه)

ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فضاکار قیچی‌سان تاشو بر اساس سطح عملکرد

سمیه ملائی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه

استاد راهنما

دکتر علی جعفروند

استاد مشاور

دکتر مهدی مقیمی

خرداد ۱۳۸۹

به

همســـرم

تشکر و قدردانی

اینک به‌جاست که مراتب سپاس خود را از زحمات همیشگی استادم؛ آقای دکترعلی جعفروند که سال‌هاست در مقام شاگردی از آموزه های ایشان بهره جسته‌ام، ابراز نمایم.

همچنین، از راهنمایی و کمک‌های بی دریغ استاد گران‌قدر آقای دکتر مهدی مقیمی قدردانی می‌نمایم که بهره‌مند شدن از دانش فراوان و به‌روز ایشان مایه افتخار و مباهات است.

چکیده:

سازه‌های تاشوی مشبک با اعضای قیچی‌سان، یکی از انواع جالب و پرکاربرد سازه‌های فضاکار محسوب می‌گردد. عملکرد این سازه‌ها بر مبنای مکانیزم پانتوگراف می‌باشد. از ویژگی‌های منحصربه فرد این نوع سازه‌ها، قابلیت باز و بسته شدن برای چندین بار و در نتیجه استفاده در موقعیت‌های مختلف با ابعاد متفاوت می‌باشد.

در اینجا، ابتدا به نحوه مدل‌سازی هندسی این سازه‌ها پرداخته شده‌است. ویژگی‌ها و شرایط هندسی خاصی بایستی در ایجاد مدل هندسی سازه‌های تاشو قیچی‌سان رعایت گردد. سپس خصوصیات سازه‌ای اعضای قیچی‌سان مورد بحث قرار گرفته است و فرض‌های ساده کننده جهت ایجاد مدل سازه‌ای معرفی شده‌است. چندین مدل شبکه تخت تاشو و چلیک تاشو، با شرایط هندسی مختلف مورد تحلیل و طراحی توسط برنامه SAP2000,V.14 قرار گرفته‌است. شبکه‌های تخت و چلیک‌های تاشو بیش‌تر از سایر انواع مشابه، کاربرد سازه‌ای زمینی دارد.

هدف اصلی انجام تحلیل غیرخطی استاتیکی تحت مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در مدل‌ها می‌باشد. از آن‌جا که تا چندی پیش، کاربرد این سازه‌ها محدود به کاربردهای فضایی مثلاً در فضاپیماها و ایستگاهای فضایی می‌شد، مطالعات انجام یافته بر این نوع سازه‌ها به رفتار آن‌ها در برابر ارتعاشات دینامیکی ناشی از حرکات فضاپیما پرداخته‌است. در حالی‌که امروزه با گسترش استفاده این سازه‌ها در کاربردهای زمینی، نیاز به مطالعه رفتار آن‌ها در برابر بارهایی که ماهیت لرزه‌ای دارد، احساس می‌گردد. امید است این کار، سرآغاز انجام مطالعات گسترده‌تر و دقیق‌تری بر رفتار این نوع سازه‌ها باشد.

با انجام تحلیل‌های غیرخطی و طراحی به روش تنش مجاز(ASD) مشاهده شده‌است که اثر مؤلفه‌های زلزله و به خصوص مؤلفه قائم در طراحی اعضا، غیرقابل صرف‌نظر کردن است. از لحاظ سطوح عملکرد سازه‌ای، به طورکلی می‌توان گفت که عملکرد چلیک‌های تاشو قیچی‌سان تحت هرسه مؤلفه زلزله بهتر از شبکه‌های تخت تاشو بوده و می‌توان به استفاده از ظرفیت اضافه سازه پس از تشکیل مفاصل غیرخطی، اعتماد کرد. در شبکه‌های تخت، تحت مؤلفه قائم زلزله می‌توان بیش‌تر به استفاده از ظرفیت غیرخطی شبکه اعتماد داشت.

کلید واژه: سازه فضاکار، سازه تاشو قیچی‌سان، رفتار لرزه‌ای، سطح عملکرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات و معرفی

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه سازه‌های فضاکار ۵

۱-۳ سازه‌های فضاکار تاشو ۶

فصل دوم: سازه‌های فضاکار تاشو

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ کاربرد سازه‌های تاشو ۱۳

۲-۳ مکانیزم‌های مختلف در سازه های باز شو و جمع شونده ۱۶

۲-۴ مزایای سازه های فضاکار بازشو و جمع شونده ۱۹

۲-۵ سازه‌های تاشو قیچی‌سان ۲۰

۲-۵-۱ انواع اتصالات در سازه‌های تاشو قیچی سان ۲۴

۲-۵-۱-۱ اتصالات خودتاشو ۲۶

۲-۵-۲ انواع بافتارهای مختلف در سازه‌های تاشو قیچی‌سان ۲۷

۲-۵-۳ اعضای تلسکوپی ۳۰

۲-۶ رفتار لرزه‌ای سازه‌های فضاکار قیچی سان تاشو ۳۱

۲-۷ فرآیند باز و بسته کردن سازه تاشو ۳۲

۲-۸ اهداف پروژه ۳۳

فصل سوم : تاشه پردازی Configuring

۳-۱ مقدمه ۳۶

۳-۲ شرایط هندسی قابلیت تاشویی ۳۶

۳-۳ برنامه فرمین ۳۸

۳-۳-۱ نحوه ایجاد هندسه مدل‌ها ۳۹

۳-۳-۲ آماده سازی مدل جهت استفاده در برنامه SAP2000 ..... ۴۳

۳-۴ برنامه SSDG75 ..... ۴۴

۳-۵ معرفی مدل‌ها ۴۵

۳-۵-۱ مدل‌های دارای بازشو ۴۶

۳-۵-۲ توزیع تکیه‌گاه‌ها ۴۷

۳-۵-۳ مدل‌ها ۴۸

فصل چهارم: بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار تاشو قیچی‌سان

۴-۱ بارگذاری ۵۰

۴-۱-۱ بار مرده ۵۰

۴-۱-۲ بار زنده، بار برف و باران ۵۲

۴-۱-۳ بار باد ۵۴

۴-۱-۴ اثرات دما ۵۷

۴-۱-۵ بار زلزله ۵۸

۴-۱-۵-۱ بار قائم زلزله ۶۰
۴-۲ تحلیل ۶۱
۴-۲-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲-۲ نقاط کاردینال ۶۳
۴-۲-۳ رفتار غیرخطی در سازه‌های تاشو ۶۳
۴-۲-۳-۱ تحلیل استاتیکی افزاینده ۶۴
۴-۲-۳-۲ مفاصل غیرخطی ۶۵
۴-۲-۳-۳ توزیع بار جانبی ۶۷
۴-۲-۳-۴ تحلیل غیرخطی هندسی سازه‌های فضاکار تاشو ۶۹
۴-۳ طراحی سازه‌ای ۶۹
۴-۳-۱ مقدمه ۶۹
۴-۳-۲ ترکیبات بارگذاری ۷۱
۴-۳-۳ آئین نامه طراحی ۷۲
۴-۴ سطح عملکرد سازه‌ها در زلزله ۷۳
۴-۴-۱ روش طیف ظرفیت ۷۵
۴-۴-۱-۱ به دست آوردن نقطه عملکرد در SAP2000 ..... ۷۷
۴-۴-۲ سطح خطر زلزله ۷۷

فصل پنجم : شبکه‌های تخت تاشو قیچی‌سان

۵-۱ مقدمه ۸۱

۵-۲ مدل GR1R1 ..... ۸۳
۵-۲-۱ طراحی ۸۳
۵-۲-۲ مؤلفه افقی زلزله ۸۶
۵-۲-۳ مؤلفه قائم زلزله ۸۹
۵-۲-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۹۲
۵-۳ مدل GR1R1 با ستون درختی ۹۴
۵-۳-۱ طراحی ۹۴
۵-۳-۲ مؤلفه افقی زلزله ۹۵
۵-۳-۳ مؤلفه قائم زلزله ۹۸
۵-۳-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۰۰
۵-۴ مدل GR3R1 ..... ۱۰۱
۵-۴-۱ طراحی ۱۰۲
۵-۴-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۰۳
۵-۴-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۰۶
۵-۴-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۰۹
۵-۵ مدل GR4R1 ..... ۱۱۰
۵-۵-۱ طراحی ۱۱۰
۵-۵-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۱۱
۵-۵-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۱۵

۵-۵-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۱۷

۵-۶ مدل GR3R2 ..... ۱۱۸

۵-۶-۱ طراحی ۱۱۹

۵-۶-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۲۰

۵-۶-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۲۲

۵-۶-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۲۵

۵-۷ مدل GR4R2 ..... ۱۲۶

۵-۷-۱ طراحی ۱۲۶

۵-۷-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۲۷

۵-۷-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۳۰

۵-۷-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۳۳

۵-۸ مدل GR2O1 ..... ۱۳۴

۵-۸-۱ طراحی ۱۳۴

۵-۸-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۳۵

۵-۸-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۳۶

۵-۸-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۳۸

۵-۹ مدل GR2O2 ..... ۱۳۹

۵-۹-۱ طراحی ۱۴۰

۵-۹-۲ مؤلفه افقی زلزله ۱۴۱

۵-۹-۳ مؤلفه قائم زلزله ۱۴۴

۵-۹-۴ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۴۶

۵-۱۰ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۱۴۷

۵-۱۱ بحث و نتیجه‌گیری ۱۴۹

فصل ششم: چلیک‌های تاشو قیچی‌سان

۶-۱ مقدمه ۱۵۲

۶-۲ مدل BR1R3 ..... ۱۵۴

۶-۲-۱ طراحی ۱۵۵

۶-۲-۲ مؤلفه عرضی زلزله ۱۵۶

۶-۲-۳ مؤلفه طولی زلزله ۱۵۹

۶-۲-۴ مؤلفه قائم زلزله ۱۶۲

۶-۲-۵ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۶۴

۶-۳ مدل BR2R3 ..... ۱۶۶

۶-۳-۱ طراحی ۱۶۶

۶-۳-۲ مؤلفه عرضی زلزله ۱۶۷

۶-۳-۳ مؤلفه طولی زلزله ۱۷۰

۶-۳-۴ مؤلفه قائم زلزله ۱۷۱

۶-۳-۵ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۷۳

۶-۴ مدل BR3R3 ..... ۱۷۴

۶-۴-۱ طراحی ۱۷۵

۶-۴-۲ مؤلفه عرضی زلزله ۱۷۶

۶-۴-۳ مؤلفه طولی زلزله ۱۷۹

۶-۴-۴ مؤلفه قائم زلزله ۱۸۱

۶-۴-۵ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۸۳

۶-۴-۶ مدل BR3R3 با طول دو برابر ۱۸۳

۶-۵ مدل BR4R3 ..... ۱۸۶

۶-۵-۱ طراحی ۱۸۷

۶-۵-۲ مؤلفه عرضی زلزله ۱۸۸

۶-۵-۳ مؤلفه طولی زلزله ۱۸۹

۶-۵-۴ مؤلفه قائم زلزله ۱۹۱

۶-۵-۵ نسبت مشارکت جرمی مودها ۱۹۴

۶-۶ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۱۹۵

۶-۷ بحث و نتیجه‌گیری ۱۹۶

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱ نتیجه‌گیری ۲۰۰

۷-۲ پیشنهادات ۲۱۰

مراجع ۲۰۳

پیوست الف: کنترل صحت محاسبات انجام شده توسط برنامه کامپیوتریSAP2000..... ۲۰۷

پیوست ب: برنامه SSDG75 .... ۲۰۹

پیوست پ: باربرداری مفاصل غیرخطی ۲۱۲

چکیده انگلیسی ۲۱۶

فهرست علائم و نشانه‌ها

ارجاع متون [b-a]: مرجع شماره a، صفحه شماره b

ارجاع اشکال وجداول [a]: مرجع شماره a

ارجاع روابط [رابطه b-a]: زابطه شماره a، مرجع شماره b

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱ نمونه‌ای از شبکه تخت فضاکار دولایه ۳

شکل ۱-۲ نمونه‌ای از چلیک شبکه‌ای ۴

شکل ۱-۳ نمونه‌ای از گنبد شبکه‌ای ۵

شکل ۱- ۴ گنبد ژئودزیک قابل گسترش ۷

شکل ۱-۵ چلیک تاشو با اعضای قیچی‌سان ۷

شکل ۲-۱ سازه تاشو فرم آزاد ۹

شکل ۲-۲ سقف تاشو استخر San Pablo در شهر سویل اسپانیا، طراح: Escrig ۱۰

شکل ۲ -۳ انواع سقف تاشو قیچی سان ۱۱

شکل ۲-۴ چادر تاشو ۱۳

شکل ۲-۵ کاربرد گنبد تاشو در ساخت اردوگاه ۱۶

شکل ۲-۶ مکانیزم چتری ۱۶

شکل ۲ -۷ مکانیزم تاشو مفصلی ۱۷

شکل ۲- ۸ مکانیزم قیچی سان ۱۸

شکل ۲-۹ انواع فرم‌های تاشو و قابل گسترش ۱۸

شکل ۲- ۱۰ سازه‌های قابل گسترش: الف- مکانیزم پایه قیچی، ب- اتصال قیچی(Scissor-Link)، ج-شبکه چلیک تاشو سه‌بعدی ۲۱

شکل ۲-۱۱ انواع دوپلت ۲۱

شکل ۲-۱۲ درجات آزادی یک یونیپلت ۲۲

شکل ۲-۱۳ پانتوگراف سه بعدی ۲۲

شکل ۲-۱۴ شبکه تاشو با کابل در لایه زیرین و میله‌های قائم در گوشه‌ها ۲۳

شکل ۲-۱۵ نما و مقطع اتصال میانی برای اعضای لوله ای..... ۲۴

شکل ۲-۱۶ اتصال لولایی ۲۵

شکل ۲- ۱۷ یک اتصال تیپ در یک واحد سه بعدی قیچی‌سان ۲۵

شکل ۲- ۱۸ نمونه‌های اتصال انتهایی در سازه‌های تاشو ۲۶

شکل ۲ –۱۹ مفصل لوله‌ای CFRP ۲۷

شکل ۲ –۲۰ مفصل CFRP ۲۷

شکل ۲-۲۱ سازه خطی تا شو ۲۸

شکل ۲-۲۲ شبکه بلوری تاشو قیچی‌سان ۲۸

شکل ۲-۲۳ چلیک استوانه ای تاشو قیچی‌سان ۲۹

شکل ۲-۲۴ واحد سازنده در گنبد تاشو قیچی‌سان ۳۰

شکل ۲-۲۵ تغییرمحل هندسی لولا با استفاده از میله‌های تلسکوپی ۳۱

شکل ۳-۱ دو دوپلت مجاور ۳۶

شکل ۳-۲ واحدهای سه بعدی مثلثی ۳۷

شکل ۳-۳ شرایط تاشویی دوپلت‌ها ۳۸

شکل ۳ -۴ یک دوپلت تاشو ۴۰

شکل ۳-۵ طرح تولید مدل شبکه تخت تاشو ۴۰

شکل ۳ – ۶ شبکه تخت تاشو حاصل از طرح شکل ۳- ۵ ..... ۴۱

شکل ۳ -۷ دوپلت ذوزنقه‌ای و مستطیلی ۴۱

شکل ۳- ۸ یک قوس از چلیک تاشو ۴۲

شکل ۳-۹ طرح تولید مدل چلیک تاشو ۴۳

شکل ۳- ۱۰ چلیک تاشو حاصل از طرح شکل ۳-۹ ..... ۴۴

شکل ۳- ۱۱ توزیع تکیه‌گاه نوع R1 در پلان ۴۷

شکل ۳-۱۲ توزیع تکیه‌گاه نوع R2 در پلان شبکه تخت ۴۷

شکل ۴-۱ بار مرده گسترده یکنواخت در چلیک ۵۱

شکل ۴-۲ بار برف در چلیک ۵۳

شکل ۴-۳ بار باد بر سطح قوسی ۵۶

شکل ۴-۴ توزیع بار باد راستای عرضی در مدل br1R3 ..... ۵۷

شکل ۴-۵ تغییر محل نقاط کاردینال اعضا در دوپلت ۶۲

شکل ۴-۶ منحنی نیرو – تغییرشکل تعمیم یافته برای اعضا و اجزای فولادی ۶۵

شکل ۴-۷ خرابی در حالت مفصل PM2M3 ..... ۶۶

شکل ۴-۸ منحنی پیشنهادی توزیع نیروی جانبی در ارتفاع چلیک ۶۷

شکل ۵-۱ مدل GR1R1 ..... ۸۴

شکل ۵-۲ معیارهای پذیرش در مفاصل غیرخطی به طور شماتیک ۸۵

شکل ۵-۳ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در مؤلفه افقی – مدل GR1R1 ..... ۸۷

شکل ۵-۴ طیف ظرفیت افقی- مدل GR1R1 ..... ۸۷

شکل ۵-۴ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR1R1 ..... ۸۸

شکل ۵-۶ تسلیم در مؤلفه قائم توزیع مودی – مدل GR1R1..... ۸۹

شکل ۵-۷ تسلیم در مؤلفه قائم توزیع یکنواخت – مدل GR1R1..... ۹۰

شکل ۵-۸ طیف ظرفیت قائم – مدل GR1R1 ..... . ۹۰

شکل ۵-۹ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR1R1 ..... ۹۱

شکل ۵- ۱۰ مدل GR1R1 با ستون درختی ۹۳

شکل ۵-۱۱ تشکیل مفاصل غیرخطی در مؤلفه افقی – مدل GR1R1. با ستون درختی ۹۵

شکل ۵-۱۲ طیف ظرفیت افقی- مدل GR1R1 با ستون درختی ۹۶

شکل ۵-۱۳ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR1R1 با ستون درختی ۹۶

شکل ۵-۱۴ طیف ظرفیت قائم- مدل GR1R1 با ستون درختی ۹۸

شکل۵- ۱۵ منحنی ظرفیت قائم- دل GR1R1 با ستون درختی ۹۸

شکل ۵- ۱۶ مدل GR3R1 ..... ۱۰۰

شکل ۵-۱۷ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای افقی– مدل GR3R1 با کابل کششی..... ۱۰۲

شکل ۵- ۱۸ طیف ظرفیت افقی- مدل GR3R1 با کابل کششی ۱۰۳

شکل ۵-۱۹ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR3R1 با کابل کششی ۱۰۳

شکل ۵- ۲۰ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR3R1 با و بدون کابل کششی ۱۰۴

شکل ۵-۲۱ گسترش تسلیم در مؤلفه قائم زلزله- مدل GR3R1..... ۱۰۵

شکل ۵-۲۲ طیف ظرفیت قائم- مدل GR3R1 با کابل کششی ۱۰۵

شکل ۵-۲۳ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR3R1 با کابل کششی ۱۰۶

شکل ۵- ۲۴ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR3R1 با و بدون کابل ۱۰۶

شکل ۵-۲۵ مدل GR4R1 ..... ۱۰۸

شکل ۵- ۲۶ طیف ظرفیت راستای x هر دو نوع توزیع- مدل GR4R..... ۱۱۰

شکل ۵- ۲۷ طیف ظرفیت راستای y - مدل GR4R1..... ۱۱۲

شکل ۵- ۲۸ منحنی ظرفیت افقی y- مدل GR4R1 ..... ۱۱۲

شکل ۵- ۲۹ توزیع یکنواخت راستای طولی y- مدل GR4R1..... ۱۱۳

شکل ۵-۳۰ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای قائم – مدل GR4R1 ..... ۱۱۴

شکل ۵- ۳۱ طیف ظرفیت قائم- مدل GR4R1 ..... ۱۱۴

شکل ۵- ۳۲ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR4R1 ..... ۱۱۵

شکل ۵-۳۳ مدل GR3R2 ..... ۱۱۷

شکل ۵-۳۴ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای افقی – مدل GR3R2..... ۱۱۹

شکل ۵- ۳۵ طیف ظرفیت افقی- مدل GR3R2. ..... ۱۱۹

شکل ۵-۳۶ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR3R2 ..... ۱۲۰

شکل ۵-۳۷ گسترش مفاصل غیرخطی در زلزله قائم- مدل G3R2 ..... ۱۲۱

شکل ۵-۳۸ طیف ظرفیت قائم – مدل GR3R2 ..... ۱۲۱

شکل ۵-۳۹ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR3R2 ..... ۱۲۲

شکل ۵-۴۰ مدل GR4R2 ..... ۱۲۳

شکل ۵-۴۱ طیف ظرفیت افقی x – مدل GR4R2 ..... ۱۲۵

شکل ۵-۴۲ تشکیل مفصل غیرخطی در مؤلفه طولی y – مدل GR4R2 ..... ۱۲۶

شکل ۵-۴۳ منحنی ظرفیت طولی y – مدل GR4R2 ..... ۱۲۷

شکل ۵-۴۴ منحنی ظرفیت افقی y – مدل GR4R2 ..... ۱۲۷

شکل ۵-۴۵ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای قائم- مدل GR4R2..... ۱۲۸

شکل ۵-۴۶ طیف ظرفیت قائم- مدل GR4R2 ..... ۱۲۹

شکل ۵-۴۷ منحنی ظرفیت قائم - مدل GR4R2..... ۱۲۹

شکل ۵-۴۸ مدل GR2O1 ..... ۱۳۱

شکل ۵-۴۹ طیف ظرفیت افقی – مدل GR2O1 ..... ۱۳۳

شکل ۵-۵۰ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای قائم - مدل GR2O1 ..... ۱۳۴

شکل ۵-۵۱ طیف ظرفیت قائم- مدل GR2O1 ..... ۱۳۵

شکل ۵-۵۲ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR2O1 ..... ۱۳۵

شکل ۵- ۵۳ مدل GR2O2. ..... ۱۳۷

شکل ۵-۵۴ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای افقی – مدل GR2O2 ..... ۱۳۹

شکل ۵- ۵۵ طیف ظرفیت افقی- مدل GR2O2 ..... ۱۳۹

شکل ۵-۵۶ منحنی ظرفیت افقی- مدل GR2O2 ..... ۱۴۰

شکل ۵-۵۷ گسترش مفاصل پلاستیک در مؤلفه قائم زلزله- مدل GR2O2 ..... ۱۴۱

شکل ۵- ۵۸ طیف ظرفیت قائم- مدل GR2O2 ..... ۱۴۲

شکل ۵-۵۹ منحنی ظرفیت قائم- مدل GR2O2..... ۱۴۲

شکل ۶-۱ مدل BR1R3 ..... ۱۵۰

شکل ۶-۲ مفاصل غیرخطی در زلزله عرضی توزیع مودی- مدل BR1R3. ..... ۱۵۲

شکل ۶-۳ مفاصل غیرخطی در زلزله عرضی توزیع یکنواخت- مدل BR1R3. .... ۱۵۳

شکل ۶-۴ طیف ظرفیت عرضی x- مدل BR1R3 ..... ۱۵۳

شکل ۶-۵ منحنی ظرفیت عرضی x- مدل BR1R3 ..... ۱۵۴

شکل ۶-۶ مفاصل غیرخطی در زلزله طولی توزیع مودی- مدل BR1R3..... ۱۵۵

شکل ۶-۷ مفاصل غیرخطی در زلزله طولی توزیع یکنواخت- مدل BR1R3. ..... ۱۵۵

شکل ۶-۸ طیف ظرفیت طولی y- مدل BR1R3. ..... ۱۵۶

شکل ۶-۹ منحنی ظرفیت طولی y- مدل BR1R3. ..... ۱۵۶

شکل ۶-۱۰ مفاصل غیرخطی در زلزله قائم توزیع مودی- مدل BR1R3..... ۱۵۸

شکل ۶-۱۱ مفاصل غیرخطی در زلزله قائم توزیع یکنواخت- مدل BR1R3..... ۱۵۸

شکل ۶-۱۲ طیف ظرفیت قائم- مدل BR1R3. ..... ۱۵۹

شکل ۶-۱۳ منحنی ظرفیت قائم- مدل BR1R3. ..... ۱۵۹

شکل ۶-۱۴ مدل چلیک BR2R3 . ..... ۱۶۱

شکل ۵-۱۵ نحوه تشکیل مفاصل غیرخطی در راستای افقی x– مدل BR2R3..... ۱۶۳

شکل ۶-۱۶ طیف ظرفیت عرضی x- مدل BR2R3 ..... ۱۶۳

شکل ۶-۱۷ منحنی ظرفیت عرضی- مدل BR2R3 ..... ۱۶۴