بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی عمران

ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرا با تحلیل دینامیکی افزایشی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی زلزله

نام دانشجو

محمد فلاح اصل

استاد راهنما:

دکتر محسن گرامی

اسفند ماه ۱۳۹۱

دانشکده مهندسی عمران

ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرا (EBF) با تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی زلزله

نام دانشجو

محمد فلاح اصل

استاد راهنما:

دکتر محسن گرامی

استاد مشاور:

دکتر علی خیرالدین

اسفند ماه ۱۳۹۱

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه‌ی آقای **محمد فلاح اصل** برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش مهندسی زلزله تحت عنوان **"ارزیابی لرزه‌ای قاب های مهاربندی شده‌ی واگرا (EBF) با تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)"** در جلسه مورخ / **۱۲** / **۱۳۹۱** بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول: **دکتر محسن گرامی** امضاء:

استاد مشاور اول: **دکتر علی خیر الدین** امضاء:

استاد داور: امضاء:

استاد داور: امضاء:

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

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب **محمد فلاح اصل** متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " **ارزیابی لرزه‌ای قاب های مهاربندی شده‌ی واگرا (EBF) با تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)**" که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران **گرایش مهندسی زلزله** 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 فلاح اصل**

شماره دانشجویی: ۸۹۱۱۱۴۸۰۰۳

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 رئیس پژوهشکده　　امضای مدیر گروه پژوهشی

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 راهنما: دکتر محسن گرامی

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به:

پدر ارجمندم

که تشویق‌ها و راهنمایی‌های ایشان چراغ راهم بوده و خواهد بود

مادر مهربانم

که دعاهای ایشان همیشه پشت و پناهم و مایه‌ی آرامش قلبم بوده و خواهد بود

تشکر و قدردانی:

در ابتدا از زحمات و رهنمودهای ارزنده‌ی استاد عزیزم جناب آقای دکتر گرامی که دلسوزانه در پیشبرد اهداف، مرا یاری فرمودند و محبت ایشان همیشه شامل حال بنده ی حقیر بوده است و محبت های ایشان تنها محدود به پایان نامه ام نبوده است و در جنبه های مختلفی یاریم فرموده اند کمال قدردانی و تشکر را دارم، در ضمن از بذل توجه جناب آقای دکتر خیرالدین که از مشاوره های ایشان بهره مند گردیدم تشکر می نمایم. همچنین از دوستان عزیز آقایان مهندس سیوندی پور و مهندس منتظری به خاطر همراهی و کمک هایشان تشکر می نمایم، در ادامه از زحمات همه جانبه‌ی پدر و مادر عزیزم تشکر و قدردانی فراوان می نمایم زیرا که بی تردید بدون زحمات و مهربانی های این دو بزرگوار رسیدن به این درجه از دانش، برایم بسیار دشوار بود و همیشه خود را مدیونشان می‌دانم، همچنین از برادر عزیزم جناب آقای مهندس امیرحسین فلاح اصل بی نهایت سپاسگزارم زیرا که در مقطعی از انجام این پایان نامه ، خالصانه و بی شائبه به بنده‌ی حقیر کمک‌های فراوانی نمودند.

محمد فلاح اصل

زمستان ۱۳۹۱

چکیده

مطالعات نشان داده اند که قاب های مهاربندی شده‌ی همگرای متداول، عملکرد لرزه ای نامطلوبی دارنـد. از طرفی با توجه به اینکه ارضای شرایط کنترل تغییرمکان در قاب های خمشی دشوار است لذا محققـین در دهه‌ی ۱۹۷۰ سیستمی را ابداع کردند که هم از نظر مقاومت و سختی و هم از نظر کنترل تغییرمکان جانبی عملکرد مطلوبی داشتند و دلیل این امر را می‌توان وجود تیرپیوند که به عنوان فیوز عمل می‌کنـد دانست.

در این مطالعه سه هدف عمده دنبال شده است: ۱- توسعه‌ی مدلی برای شبیه سازی رفتـار مهاربنـدهای با لینک های برشی ، برشی – خمشی و خمشی، ۲- مطالعه رفتار لرزه‌ای قـاب هـای مهاربنـدی شـده‌ی واگرا با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی (تحلیـل دینـامیکی تاریخچـه زمـانی و تحلیـل دینـامیکی افزایشی) و ۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شـده‌ی واگـرا در سـطوح عملکـرد مختلـف بـا استفاده از ساختاری مبتنی بر قابلیت اعتماد لرزه‌ای و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در نیاز و ظرفیت لرزه‌ای.

همچنین تحلیل دینامیکی افزایشی به منظور ارزیابی ظرفیت لرزه ای مـورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت. نتایج حاصل از نزدیک به ۲۴۰۰ تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان داد، که عملکرد قـاب هـای مهاربنـدی شده‌ی واگرا با لینک برشی در سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش بسیار مطلوب تر از قاب های مهاربنـدی واگرا با لینک برشی – خمشی است و همچنین عملکرد قاب هـای مهاربنـدی واگـرا بـا لینـک برشـی – خمشی مطلوب تر از قاب های مهاربندی واگرا با لینک خمشی است.

واژه‌های کلیدی: قاب مهاربندی واگرا، تحلیل دینامیکی افزایشی IDA، سطوح عملکرد، مهندسی زلزلـه بر اساس عملکرد، قابلیت اعتماد لرزه‌ای

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ای بر تحقیق ۲

۱-۲- لزوم انجام تحقیق ۴

۱-۳- اهداف تحقیق ۶

۱-۴- نوآوریهای تحقیق ۶

۱-۵- فرضیه های تحقیق ۶

۱-۶- فرضیات تحقیق ۷

۱-۶-۱- آیین نامه ها و توصیه نامه های مورد استفاده در این پژوهش ۷

۱-۶-۲- نرم افزارهای مورد استفاده ۸

۱-۷- روش شناسی تحقیق (Methodology) ۸

۱-۸- ساختار فصول تحقیق ۹

۱-۹- فلوچارت تحقیق ۱۱

فصل دوم : معرفی و تاریخچه تحقیقات سیستم قاب های مهاربندی واگرا

۲-۱- تاریخچه سیستم قاب مهاربندی واگرا ۱۹

۲-۲- محاسن و معایب سیستم قاب مهاربندی واگرا ۲۱

۲-۲-۱- محاسن ۲۱

۲-۲-۲- معایب ۲۱

۲-۳- بررسی سختی قاب ۲۲

۲-۴- انواع اشکال مهاربندهای واگرا ۲۲

۲-۵- زمان تناوب مقاومت قاب ۲۳

۲-۶- تیر پیوند ۲۴

۲-۷- توزیع نیروها در تیر پیوند ۲۵
۲-۸- مکانیزم جذب انرژی ۲۶
۲-۹- تسلیم و مکانیزم خرابی در تیر پیوند ۲۸
۲-۱۰- ظرفیت دوران تیر پیوند ۲۹
۲-۱۱- اثر کمانش جان تیر پیوند ۳۰
۲-۱۲- تعیین مرز پیوندهای برشی و خمشی ۳۰
۲-۱۳- تعیین طول پیوند در سیستم قاب های مهاربندی واگرا ۳۴
۲-۱۴- مقایسه رابطهای بلند و کوتاه ۳۵
۲-۱۵- مقاومت نهایی تیر پیوند ۳۶
۲-۱۶- تیرهای رابط بلند ۳۸
۲-۱۷- تأثیر نیروی محوری ۳۸
۲-۱۸- تأثیر دال بتنی ۳۹
۲-۱۹- آزمایشات انجام شده بر روی قابهای مهار واگرا ۳۹
۲-۱۹-۱- بررسی رفتار کمانشی و پس کمانشی ۳۹
۲-۱۹-۲- بررسی رفتار تیر با توجه به جزئیات اتصالات ۴۰
۲-۱۹-۳- بررسی نیروی محوری در تیر ۴۲
۲-۱۹-۴- بررسی اثرات سخت شوندگی ۴۲
۲-۱۹-۵- بررسی تغییرمکان سیکلی ۴۴
۲-۱۹-۶- بررسی بارگذاری افزایشی مونوتونیک ۴۴
۲-۱۹-۷- بررسی ناپایداری های قطعه تیر خارج از تیر پیوند ۴۵
۲-۱۹-۸- بررسی بارگذاری سیکلی غیرالاستیک ۴۶
۲-۱۹-۹- بررسی مقاومت نهایی تیر پیوند ۴۶
۲-۱۹-۱۰- تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیرخطی ۴۸
۲-۱۹-۱۱- بررسی تأثیر نسبت عرض به ضخامت بال در عملکرد تیرهای پیوند ۴۹
۲-۱۹-۱۲- ارزیابی محدودیت های لاغری بال و فاکتورهای اضافه مقاومت تیرهای پیوند ۵۱

۲-۱۹-۱۳- بررسی شکست شکل پذیر جان تیر پیوند ۵۳
۲-۱۹-۱۴- پروتکل بارگذاری اصلاح شده ۵۶
۲-۱۹-۱۵- بررسی صلبیت پانل های فولادی برشی تقویت شده ۵۷
۲-۱۹-۱۶- بررسی اثر جوش دادن سخت کننده ها به بال های تیر پیوند ۵۸
۲-۱۹-۱۷- بررسی اثر فاکتور اضافه مقاومت بر روی رفتار لرزه ای قاب های واگرا ۵۹
۲-۱۹-۱۸- بررسی اثر استفاده از مقاطع قوطی در تیرهای پیوند قاب های واگرا ۶۲
۲-۱۹-۱۹- بررسی تأثیر هندسه قاب بر رفتار قاب های مهاربندی واگرا ۶۵
۲-۲۰- بررسی تحقیقات انجام شده بر روی عملکرد لرزه ای قاب های مهاربندی واگرا ۶۵
۲-۲۰-۱- عملکرد تیرهای پیوند بلند در قاب های مهاربندی واگرا ۶۶
۲-۲۰-۱-۱- نتایج آزمایش ۶۹
۲-۲۰-۱-۲- رفتار تیرهای پیوند ۷۰
۲-۲۰-۱-۳- جزئیات سخت کننده تیر پیوند با طول بلند ۷۰
۲-۲۰-۱-۴- نتایج بررسی عملکرد تیرهای پیوند بلند ۷۱
۲-۲۰-۲- رفتار غیرارتجاعی مهاربندهای واگرا با طولهای مختلف تیر پیوند ۷۱
۲-۲۰-۲-۱- عوامل موثر در رفتار سیستم قاب مهاربندی واگرا ۷۲
۲-۲۰-۲-۲- مدل های تحلیلی ۷۲
۲-۲۰-۲-۳- تأثیر تغییر طول تیر پیوند ۷۲
۲-۲۰-۲-۴- سختی ارتجاعی ۷۳
۲-۲۰-۲-۵- ضریب بار ۷۳
۲-۲۰-۲-۶- نتایج بررسی رفتار غیرارتجاعی مهارهای واگرا با طول پیوند مختلف ۷۴
۲-۲۰-۳- مقایسه رفتار لرزه ای مهاربندهای واگرا با پیوندهای افقی و قائم ۷۴
۲-۲۰-۴- بررسی تأثیر طول تیر پیوند در ضریب رفتار قاب های مهار واگرا ۷۷
۲-۲۰-۴-۱- نتایج بررسی تأثیر طول تیر پیوند در ضریب رفتار مهارهای واگرا ۸۰
۲-۲۰-۵- رفتار دینامیکی غیرخطی قاب های مهاربندی واگرا تحت زلزله های نزدیک گسل ۸۱
۲-۲۰-۵-۱- مدل قابهای مهاربندی واگرا ۸۵

۲-۲۰-۵-۲- شتاب نگاشتها زلزله‌های دور و نزدیک گسل ۸۷
۲-۲۰-۵-۳- تحلیل پوش آور استاتیکی غیرخطی ۸۸
۲-۲۰-۵-۴- ضریب شکل پذیری کلی سازه (μs) ۸۹
۲-۲۰-۵-۵- تحلیل های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی ۹۰
۲-۲۰-۵-۵-۱- تغییرمکانها ۹۰
۲-۲۰-۵-۵-۲- برش پایه ۹۲
۲-۲۰-۵-۵-۳- شکل پذیری ۹۳
۲-۲۰-۵-۵-۴- منحنی های هیسترزیس ۹۵
۲-۲۰-۵-۶- نتایج بررسی رفتار غیرخطی قاب های مهار واگرا تحت زلزله های نزدیک گسل ۹۷

فصل سوم : تشریح طراحی بر اساس عملکرد و معرفی تحلیل دینامیکی افزایشی

۳-۱- مقدمه ای از مهندسی زلزله براساس عملکرد ۱۰۰
۳-۲- عدم قطعیت در مهندسی زلزله ۱۰۰
۳-۳- قابلیت اعتماد سازه ها ۱۰۲
۳-۴- مهندسی زلزله بر اساس عملکرد ۱۰۴
۳-۵- پیدایش و توسعه مفاهیم مهندسی زلزله بر اساس عملکرد ۱۰۵
۳-۶- مقدمه ای بر طراحی بر اساس عملکرد ۱۱۱
۳-۶-۱- سطوح عملکرد اجزای سازه ای ۱۱۱
۳-۷- تحلیل دینامیکی افزایشی ۱۱۳
۳-۷-۱- انتخاب پارامتر معیار شدت (IM) و معیار پاسخ (DM) ۱۱۹
۳-۷-۱-۱- پارامتر شدت (نیاز IM) ۱۱۹
۳-۷-۱-۲- پارامتر نیاز (DM) ۱۳۰
۳-۷-۲- تحلیل دینامیکی افزایشی تک رکورده و چند رکورده ۱۳۲
۳-۷-۳- خصوصیات کلی منحنیهای IDA ۱۳۶
۳-۷-۴- الگوریتم جستجو و انباشت جهت مقیاس منحنیهای IDA ۱۳۹
۳-۷-۵- برآورد ظرفیت سازهای و شرایط حدی بر اساس تحلیل IDA تک رکورده ۱۴۲

۳-۷-۶- برآورد مستقیم نیاز و ظرفیت لرزهای سیستمهای یک درجه آزادی و چند درجه آزادی با استفاده از تحلیلهای پوش آور استاتیکی ۱۴۵
۳-۸- منحنی های شکنندگی ۱۴۸
۳-۸-۱- روش تجربی ۱۴۹
۳-۸-۲- روش قضاوت مهندسی ۱۵۰
۳-۸-۳- روش تحلیلی ۱۵۰
۳-۸-۴- روش ترکیبی ۱۵۰
۳-۸-۵- تئوری احتمال منحنی شکنندگی ۱۵۱
۳-۸-۶- تعریف حالت حد خرابی (DS) ۱۵۲

فصل چهارم : مدلسازی تحقیق و معرفی رکوردهای استفاده شده

۴-۱- مقدمه ۱۵۵
۴-۲- بارگذاری زلزله ۱۵۵
۴-۲-۱- مقایسه آیین نامه ASCE7-05 با آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم) ۱۵۵
۴-۳- معرفی مدل های مورد مطالعه ۱۶۲
۴-۴- معرفی مقاطع مورد استفاده ۱۶۵
۴-۵- مشخصات مقاطع مدل های طراحی شده ۱۶۵
۴-۵-۱- مشخصات مقاطع مدل های گروه اول (قاب های ۵ طبقه) ۱۶۵
۴-۵-۲- مشخصات مقاطع مدل های گروه دوم (قاب های ۱۰ طبقه) ۱۶۷
۴-۵-۳- مشخصات مقاطع مدل های گروه سوم (قاب های ۱۵ طبقه) ۱۷۱
۴-۵-۴- خلاصه ای از مشخصات قاب های طراحی شده ۱۷۶
۴-۶- مدلسازی غیرخطی (مدل تحلیلی) قاب های طراحی شده برای تحلیل های غیرخطی ۱۸۰
۴-۶-۱- معرفی نرم افزار مورد استفاده ۱۸۰
۴-۶-۲- المان غیرالاستیک لینک ۱۸۱
۴-۷- خطر لرزه ای در سایت ۱۸۴
۴-۷-۱- معیار شدت زمین لرزه ۱۸۴

۴-۷-۲- طیف یکنواخت ساده شده برای سایت مورد نظر ۱۸۶
۴-۸- مشخصات رکوردهای انتخاب شده..... ۱۸۷

فصل پنجم : نتایج حاصل از آنالیزهای تاریخچه زمانی غیرخطی و آنالیزهای دینامیکی افزایشی بر قاب های مورد مطالعه

۵-۱- آنالیزهای دینامیکی غیرخطی..... ۱۹۱
۵-۱-۱- آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی ۱۹۱
۵-۱-۲- تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)..... ۱۹۵
۵-۱-۲-۱- نمودارهای توزیع حداکثر جابجایی نسبی طبقات در ارتفاع قاب ۱۹۶
۵-۱-۲-۲- منحنی های IDA..... ۲۰۱
۵-۱-۲-۳- صدک های ۱۶٪ ، ۵۰٪ و ۸۴٪ منحنی های IDA..... ۲۰۹
۵-۱-۲-۴- بررسی و مقایسه نتایج صدک ۵۰ درصد منحنی های IDA..... ۲۱۴

فصل ششم : مطالعه عملکرد لرزه ای قاب های مهاربندی شده ی واگرا (قاب های مورد مطالعه)

۶-۱- مقدمه ۲۲۰
۶-۲- تعریف حالت های حدی برای سطوح عملکرد اجزای سازه ای ۲۲۰
۶-۲-۱- سطح عملکرد آستانه فرو ریزش ۲۲۱
۶-۲-۲- سطح عملکرد ایمنی جانی..... ۲۲۱
۶-۲-۳- سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه..... ۲۲۲
۶-۳- ارزیابی ظرفیت لرزه ای قاب های مورد مطالعه ۲۲۲
۶-۳-۱- ارزیابی ظرفیت لرزه ای قاب های مورد مطالعه در سطح عملکرد استفاده بی وقفه ۲۲۳
۶-۳-۲- ارزیابی ظرفیت لرزه ای قاب های مورد مطالعه در سطح عملکرد آستانه فروریزش ۲۲۸
۶-۳-۳- بررسی نتایج حاصل از ارزیابی ظرفیت لرزه ای قاب های مورد مطالعه در سطوح عملکرد مختلف ۲۳۳
۶-۳-۴- ارزیابی ظرفیت لرزه ای قاب های مورد مطالعه بر روی منحنی های صدک ۱۶ و ۵۰ و ۸۴ درصد در سطح عملکرد مختلف..... ۲۳۹
۶-۴- توزیع احتمال ظرفیت قاب های مورد مطالعه ۲۴۴
۶-۴-۱- روش های تعیین پارامترهای توزیع احتمال ظرفیت قاب های مورد مطالعه ۲۴۵

۶-۴-۲- پارامترهای توزیع احتمال ظرفیت سازه در سطوح عملکرد مختلف ۲۴۵
۶-۵- ترسیم منحنی های شکنندگی ۲۵۷
۶-۵-۱- منحنی های شکنندگی در سطح عملکرد استفاده بی وقفه ۲۵۷
۶-۵-۲- منحنی های شکنندگی در سطح عملکرد آستانه فروریزش ۲۶۰
۶-۵-۳- بررسی و مقایسه منحنی های شکنندگی در سطح عملکرد استفاده بی وقفه و آستانه فروریزش بر اساس احتمال ۵۰ درصد ۲۶۳
۶-۶- ساختار استفاده شده به منظور ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب های مورد مطالعه ۲۶۷
۶-۷- ارزیابی عملکرد قاب های مورد مطالعه، تنها با در نظر گرفتن عدم قطعیت های لرزه ای ۲۷۰
۶-۷-۱- روش مبتنی بر شدت، برای ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب ها ۲۷۰
۶-۷-۲- محاسبه میانگین نرخ وقوع سالیانه ۲۷۱
۶-۷-۳- محاسبه میانگین نرخ وقوع در ۵۰ سال ۲۷۲
۶-۷-۴- نتایج ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب ها در سطوح عملکرد مختلف ۲۷۳

فصل هفتم : نتایج

۷-۱- مقدمه ۲۸۰
۷-۲- نتایج ۲۸۰
۷-۳- پیشنهادات ۲۹۲

منابع و مراجع ۲۹۳

فهرست اشکال

شکل (۱-۱): فلوچارت کلی تحقیق ۱۲

شکل (۱-۲): فلوچارت معرفی مدل ها..... ۱۲

شکل (۱-۳): فلوچارت بارگذاری مدل ها ۱۳

شکل (۱-۴): فلوچارت طراحی قاب ها..... ۱۴

شکل (۱-۵): فلوچارت طراحی قاب ها..... ۱۵

شکل (۱-۶): فلوچارت فرمول بندی ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب های مورد مطالعه ۱۶

شکل (۱-۷): فلوچارت مهندسی زلزله بر اساس عملکرد (PBEE) ۱۷

شکل (۲-۱): تغیرات سختی نسبت به تغیرات e/L [۲و۱۱] ۲۲

شکل (۲-۲): انواع اشکال مهار بندهای واگرا [۱۲] ۲۲

شکل (۲-۳): ارتباط زمان تناوب اصلی با نسبت e/L [۱۲] ۲۳

شکل (۲-۴): تغییرات تابع مقاومت نهایی قاب با نسبت e/L [۱۲] ۲۴

شکل (۲-۵): نیروهای موجود در تیر پیوند قاب واگرا [۱۳] ۲۵

شکل (۲-۶): مکانیزم جذب انرژی قابهای مهار واگرا [۱۴]..... ۲۷

شکل (۲-۷): تغییرات دوران نرمالیزه شده مورد نیاز در مقابل نسبت e/L [۱۱و۱۵]..... ۲۸

شکل (۲-۸): انواع مفصلهای پلاستیک در قابهای واگرا [۱۷] ۳۱

شکل (۲-۹): منحنی اندر کنش خمش و برش برای یک مقطع بال پهن [۱۳] ۳۲

شکل (۲-۱۰): تقسیم بندی تیر پیوند در قابهای مهار واگرا [۱۱] ۳۳

شکل (۲-۱۱): منحنی تغییرات مقاومت قاب مهاربندی واگرا نسبت به تغییرات e/L [۱۱] ۳۷

شکل (۲-۱۲): تغییرشکل و منحنی برش-تغییرمکان نمونه های تیر پیوند بدون سخت کننده [۲] ۴۰

شکل (۲-۱۳): تغییرشکل و منحنی برش-تغییرمکان نمونه های تیر پیوند با سخت کننده [۲] ۴۰

شکل (۲-۱۴): چیدمان آزمایش انجام شده توسط پوپوف و Malley بر روی تیرهای پیوند [۱] ۴۱

شکل (۲-۱۵): مقایسه ی منحنی های برش-تغییرمکان حاصل از آزمایش و مدل پیشنهادی [۲۱] ۴۸
شکل (۲-۱۶): پیکربندی های مختلف مورد مطالعه قابهای مهار واگرا [۲۸] ۴۸
شکل (۲-۱۷): شرایط مرزی- (الف) مدل در حالت اولیه (ب) مدل در حالت تغییر شکل یافته [۲۹] ۴۹
شکل (۲-۱۸): تغییرشکل و منحنی هیسترزیس برش در برابر دوران غیرارتجاعی برای یکی از نمونه های آزمایش [۲۹]..... ۵۰
شکل (۲-۱۹): تغییرشکل و منحنی هیسترزیس برش در برابر دوران غیرارتجاعی برای یکی از نمونه های آزمایش [۲۹]..... ۵۰
شکل (۲-۲۰): پروتکل بارگذاری [۲۷] ۵۲
شکل (۲-۲۱): تغییر شکل یکی از نمونه ها پس از آزمایش [۲۷] ۵۳
شکل (۲-۲۲): پاسخ نمونه ی نشان داده شده در شکل (۲-۲۱) [۲۷] ۵۳
شکل (۲-۲۳): (الف) تنظیمات آزمایش برای نمونه های تیر پیوند آزمایش شده توسط (ب) مدل اجزای محدود ساخته شده برای انجام مطالعات [۳۰] ۵۴
شکل (۲-۲۴): مقاطع نمونه و جزئیات آنها [۳۰] ۵۴
شکل (۲-۲۵): منحنی های تنش-کرنش استفاده شده برای قسمت های مختلف تیر پیوند (a) بال تیر پیوند- (b) جان تیر پیوند و سخت کننده ها- (c) ناحیه شکلK - (d) جوش [۳۰] ۵۵
شکل (۲-۲۶): تاریخچه ی بارگذاری برای تیر پیوند (الف) الگوی پیشنهادی (ب) الگوی AISC2002 [۳۱] ۵۶
شکل (۲-۲۷): یک نمونه پانل برشی [۳۲] ۵۷
شکل (۲-۲۸): پلان سازه ی تحت تحریک شتاب [۳۳] ۵۹
شکل (۲-۲۹): پیکربندی قاب مهار واگرای K [۳۳] ۵۹
شکل (۲-۳۰): ضریب اضافه مقاومت نرمالایز شده ی تیر پیوند در سیستم طراحی شده با آنالیز استاتیکی و مودال مقادیر میانگین (دایره) و مقادیر ماکزیمم (خط تیره) [۳۳] ۶۰
شکل (۲-۳۱): مقدار میانگین حداکثر دوران های پلاستیک نرمالایزه شده ی تیرهای پیوند [۳۳] ۶۰
شکل (۲-۳۲): مقدار میانگین حداکثر دوران های پلاستیک نرمالایز شده ی تیر پیوند تکی [۳۳] ۶۱
شکل (۲-۳۳): ضریب رفتار قاب های مهاربندی واگرا [۳۳] ۶۱
شکل (۲-۳۴): نتایج آنالیزهای عددی با مقاومت تسلیم تصادفی $\sigma f = 10\ MPa$ و $\sigma f = 20\ MPa$ حداکثر دوران های پلاستیک نرمالایز شده ی تیرهای پیوند تکی در سازه ی ۱۲ طبقه که توسط آنالیز مودال طراحی شده است و تحت یک شتاب نگاشت قرار گرفته است [۳۳] ۶۲

شکل (۲-۳۵): احتمالات تسلیم ستون و عضوهای مهاری قبل از خرابی تیرهای پیوند بعنوان تابعی ازضریب اضافه مقاومت مصالح [۳۳] ۶۲
شکل (۲-۳۶): مقطع عرضی قوطی شکل با سخت کننده های خارجی [۳۴] ۶۳
شکل (۲-۳۷): توصیف تنظیمات آزمایش (الف) در ارتفاع (ب) در پلان [۳۴] ۶۳
شکل (۲-۳۸): توصیف جزئیات تیر پیوند [۳۴] ۶۴
شکل (۲-۳۹): منحنی های تنش – کرنش (الف) مصالح جان (ب) مصالح بال [۳۴] ۶۴
شکل (۲-۴۰): مقایسه ی منحنی های آزمایشگاهی و تحلیلی هیسترزیس برش تیر پیوند دربرابر دوران تیر پیوند [۳۴]..... ۶۴
شکل (۲-۴۱): تیرپیوند تغییرشکل یافته در۰/۱۲۳رادیان در سیکل ۱۹ (الف) نمونه آزمایشگاهی (ب) نتایج آنالیز اجزاء محدود [۳۴]..... ۶۵
شکل (۲-۴۲): الف- نمونه ی مهاربند واگرای مورد آزمایش، ب- مدل ساخته شده در آزمایشگاه [۳۶] ۶۷
شکل (۲-۴۳): جزئیات مدل آزمایشی [۳۶] ۶۸
شکل (۲-۴۴): جزئیات سخت کننده های تیر پیوند در نمونه های آزمایشی [۳۶]..... ۶۸
شکل (۲-۴۵): انواع اتصال مهاربند به تیر پیوند [۳۶] ۶۹
شکل (۲-۴۶): منحنی های پوش آور تیرهای برشی [۳۷]..... ۷۳
شکل (۲-۴۷): مقایسه ی تغییرشکل سیستم مهار واگرا [۳۸]..... ۷۵
شکل (۲-۴۸): پلان سازه مورد مطالعه [۳۹] ۷۸
شکل (۲-۴۹): پیکربندی های مختلف مورد استفاده [۳۹] ۷۸
شکل (۲-۵۰): هندسه ی قاب ۲ بعدی ۳ دهانه [۴۹]..... ۸۵
شکل (۲-۵۱): نمودار پوش آور قاب $\mathbf{3S-0.5e}$ [۴۹]..... ۸۸
شکل (۲-۵۲): نمودار پوش آور قاب $6S-0.7e$ [۴۹] ۸۸
شکل (۲-۵۳): نمودار پوش آور قاب $12S-0.9e$ [۴۹]..... ۸۹
شکل (۲-۵۴): نمودار تغییرمکان ماکزیمم قاب $\mathbf{3S-0.5e}$ [۴۹]..... ۹۱
شکل (۲-۵۵): نمودار تغییرمکان نسبی طبقات قاب $3S-0.5e$ [۴۹]..... ۹۱
شکل (۲-۵۶): نمودار تغییرمکان نسبی طبقات قاب $6S-0.7e$ [۴۹]..... ۹۱