پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران- سازه

موضوع

بررسی عملکرد ورقهای تاشده(آکاردئونی)در اتصال مهاربندهای هم محور

استاد راهنما:

دکتر مرتضی نقی پور

دانشجو:

ایمان قربانی

شهریور۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

الْحَمْدُ لِلَّهِ عَلَى حِلْمِهِ بَعْدَ عِلْمِهِ وَ الْحَمْدُ لِلَّهِ عَلَى عَفْوِهِ بَعْدَ قُدْرَتِهِ

(ستایش خدا را بر حلم او پس از علمش و ستایش خدا را بر عفو او پس از قدرتش)

لازم می‌دانم از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر مرتضی نقی‌پور که این پایان‌نامه مرهون راهنمایی‌های ایشان بوده، تشکر نمایم.

از کمک‌ها و همکاری‌های صمیمانه و دلسوزانه‌ی سرکار خانم دکتر لیلا کلانی ساروکلائی که مسئولیت مشاوره‌ی این تحقیق بر دوش ایشان بوده و با یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشمداشت خود بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان نمودند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند دوستان و اساتید عزیزم، آقایان دکتر نادر هویدایی، دکتر روح اله احمدی جزنی، مهندس حسن طهمورثی، مهندس رضا سلیم بهرامی، مهندس آرمین مقبلی و مهندس محمد دهرویه تشکر ویژه نموده و برایشان شادکامی و موفقیت آرزومندم.

در انتها از تمامی اساتید و دوستانی که مرا در پیشبرد این مجموعه یاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر می‌کنم و از درگاه ایزد منان توفیق روز افزون ایشان را آرزومندم.

تقدیم به :

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

خدای را بسی شاکرم که

از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه

درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم ودانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم. چرا که

این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده‌اند. دستم را گرفتند و راه رفتن را

در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید.

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

این مجموعه، تحفه ای است ناچیز از برایشان.

چکیده

قاب‌های دارای مهاربند همگرا از جمله سیستم‌های سازه‌ای هستند که به منظور مقاومت در برابر بارهای جانبی در سازه‌های فولادی به‌کار می‌روند. از جمله مهاربندهای همگرا که در اجرا بسیار متداول می‌باشد، مهاربندهای ضربدری هستند که در صورت طراحی مناسب و اجرای درست، قاب‌های دارای این نوع مهاربند می‌توانند تغییرشکل‌های پلاستیک را تحمل نموده و انرژی هیسترزیس را از طریق تسلیم مهاربند در کشش و کمانش غیرارتجاعی در فشار جذب نمایند. ورق‌های اتصال به عنوان رابط مهاربند با اعضای سازه‌ای قاب، دارای نقش بسیار مهمی در جذب انرژی می‌باشند. به طوریکه عملکرد نادرست ورق‌های اتصال باعث ناپایداری موضعی و در نهایت تخریب سازه می‌گردد. هرچند تا سال‌های اخیر، فلسفه طراحی لرزه‌ای به‌گونه‌ای بود که ورق‌های اتصال در طول زلزله به حالت الاستیک باقی بمانند و جذب انرژی تنها توسط مهاربند صورت پذیرد، لیکن امروزه تاثیر ورق‌های اتصال بر رفتار قاب‌های مهاربندی مورد توجه بیشتری قرارگرفته است و در مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی صورت گرفته اجازه داده شده است ورق‌های اتصال نیز به همراه مهاربند وارد ناحیه غیرالاستیک گردند و در روند جذب انرژی شرکت کنند و به این طریق جذب انرژی در قاب افزایش یابد. از جمله کارهای صورت گرفته برای رسیدن ورق‌های اتصال به حالت پلاستیک، کم کردن ضخامت ورق اتصال است. در این پایان نامه با ایجاد حالت آکاردئونی در ورق‌های اتصال، سعی در دخالت دادن ورق‌های اتصال در فرآیند جذب انرژی شده است. بدین منظور رفتار قاب مهاربندی ضربدری با ورق‌های اتصال آکاردئونی، تحت بارگذاری چرخه ای و بارافزون مورد بررسی قرار گرفت و منحنی های هیسترزیس و پوش- آور مربوطه رسم گردید و با حالتی که قاب دارای ورق‌های اتصال ساده باشد مورد مقایسه قرار گرفت. از نتایج بدست آمده می‌توان به توانایی تحمل نیروی بیشتر، شکل‌پذیری بهتر، ضریب رفتار بالاتر و افزایش مقدار جذب انرژی در اثر کم شدن پدیده ی باریک شدگی در قاب با ورق اتصال آکاردئونی نسبت به حالت ساده اشاره نمود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : کلیات

مقدمه.....۱

۱-۱- مهاربندهای همگرا و فلسفه طراحی لرزه‌ای..... ۱

۱-۲- ورق‌های اتصال در مهاربندهای همگرای ضربدری..... ۵

۱-۳- تقسیم بندی پایان نامه..... ۵

فصل دوم : تحقیقات گذشته در مورد مهاربندهای ضربدری و ورق‌های اتصال

مقدمه.....۷

۲-۱- سیستم مهاربندی همگرا با مهاربندهای ضربدری ۷

۲-۱-۱- انواع مهاربندهای ضربدری ۸

۲-۱-۱-۱- تقسیم بندی از نظر مقاومتی ۹

۲-۱-۱-۲-تقسیم بندی از نظر شکل پذیری ۱۱

۲-۱-۲- رفتار هسیترزیس مهاربند های ضربدری..... ۱۲

۲-۱-۲-۱- تشریح رفتار سیکلی غیرارتجاعی ۱۲

۲-۱-۲-۲- مقایسه رفتار مهاربندهای ضربدری با مهاربند قطری..... ۱۵

۲-۱-۲-۳- کمانش مهاربندهای ضربدری و تاثیر اتصال وسط ۱۷

۲-۱-۲-۴- اثر لاغری بر منحنی هسیترزیس مهاربندهای ضربدری..... ۲۰

۲-۲- تحقیقات گذشته در مورد مهاربندهای ضربدری..... ۲۱

۲-۲-۱ مطالعات واکابایاشی و همکاران ۲۱

۲-۲-۲- مطالعات Goel & ElTayem 1986-1995 ..... ۲۵

۲-۲-۳- مطالعات Stephan A.Mahin ۲۶

۲-۲-۴- مطالعات Hohbach 1999 & Stoman 1989..... ۲۶

۲-۲-۵- مطالعات Archambault & Tremblay ۲۶

۲-۲-۶- مطالعات داوران و همکاران ۲۸

۲-۲-۷- مطالعات میرقادری و همکاران ۲۹

۲-۲-۸- مطالعات Charles W.Roeder..... ۳۰

۲-۲-۹- مطالعات صبوری و همکاران ۳۲
۲-۲-۱۰- مطالعات فرشچی و همکاران ۳۵
۲-۳- تحقیقات گذشته در مورد ورق های اتصال ۳۷
۲-۳-۱- مطالعات شکری، نقی پور، عبداله زاده ۳۷
۲-۳-۲- مطالعات محمود یحیایی و همکاران ۳۹
۲-۳-۳- مطالعات ویتمور ۴۱
۲-۳-۴- مطالعات چاکرابارتی و بیورهف ۴۳
۲-۳-۵- مطالعات گراس و چاک ۴۴
۲-۳-۶- مطالعات ویلیامز ۴۷
۲-۳-۷- مطالعات چاکرابارتی ۴۹
۲-۳-۸- مطالعات چنگ و همکاران ۵۱
۲-۳-۸-۱- مطالعات چنگ و یام ۵۱
۲-۳-۸-۲- مطالعات چنگ و هو ۵۳
۲-۳-۸-۳- مطالعات چنگ و رابینوویچ و یام ۵۴
۲-۳-۸-۴- مطالعات چنگ، گراندین و والبریچ ۵۵
۲-۳-۸-۵- مطالعات چنگ نست و گراندین ۵۶
۲-۳-۹- مطالعات آستانه اصل و همکاران ۵۷
۲-۳-۱۰- مطالعات آقا کوچک و همکاران ۵۹
۲-۳-۱۱- مطالعات غلامپور و همکاران ۶۱
۲-۳-۱۲- مطالعات انجام شده بر روی تسلیم نواحی مختلف ورق اتصال در اثر تنش‌های مرکب ۶۳

فصل سوم : مدل‌سازی و بررسی صحت آن

۳-۱- معرفی نرم افزار اجزای محدود ۶۶
۳-۱-۱- مقدمه ۶۶
۳-۱-۲- مراحل اساسی در روش اجزای محدود ۶۸
۳-۱-۳- مراحل کار در نرم افزارهای اجزای محدود ۶۸
۳-۱-۴- رفتار غیر خطی در سازه ها ۶۹
۳-۱-۵- تحلیل غیرخطی ۷۰
۳-۱-۶- کنترل همگرایی در سیستم ۷۱
۳-۱-۷- معیارهای گسیختگی و همگرایی جهت آنالیز ۷۱
۳-۲- مشخصات مدل‌ها ۷۴

۳-۳- مدل‌سازی قاب در نرم افزار ۷۷
۳-۳-۱- تعیین المان‌های مورد نظر ۷۷
۳-۳-۲-۱- المان‌های مکعبی ۷۷
۳-۳-۲- تعیین مشخصات مصالح ۷۸
۳-۳-۳- ایجاد مدل ۷۹
۳-۳-۴- مش بندی مدل ۸۱
۳-۳-۵- تعریف شرایط مرزی ۸۲
۳-۳-۶- بارگذاری مدل ۸۳
۳-۴- بررسی صحت مدل‌سازی ۸۵

فصل چهارم : بررسی رفتار مدل‌ها

۴-۱- مقدمه ۸۷
۴-۲- منحنی پوش آور (برش پایه- جابجایی طبقه) مدل‌ها ۸۸
۴-۲-۱- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۸۸
۴-۲-۲- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۶ سانتیمتر ۹۲
۴-۲-۳- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP16 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۹۶
۴-۲-۴- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و ترکیبی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۹۸
۴-۳- رسم نمودار دوخطی مدل‌ها و تعیین ضریب رفتار ۱۰۰
۴-۳-۱- نمودار دوخطی برای قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۰۳
۴-۳-۲- نمودار دوخطی برای قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۶ سانتیمتر ۱۰۶
۴-۳-۳- نمودار دوخطی برای قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP16 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۰۸
۴-۳-۴- نمودار دوخطی برای قاب با ورق اتصال ساده و ترکیبی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۱۰

۴-۴- نمایش تغییرشکل‌ها و تنش فون میسز در بارگذاری یکطرفه ۱۱۳
۴-۵- منحنی هیسترزیس مدل‌ها ۱۱۹
۴-۵-۱- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۱۲۰
۴-۶- نمایش تغییرشکل‌ها و تنش فون میسز در بارگذاری چرخه‌ای ۱۲۳
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
نتایج ۱۲۶
پیشنهادات ۱۲۶
پیوست ها ۱۲۸
پیوست الف
منحنی هیسترزیس ۱۲۸
الف-۱- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۱۲۹
الف-۲- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۶ سانتیمتر ۱۳۴
الف-۳- قاب‌های مدل شده با ورق اتصال ساده و ترکیبی دارای مهاربند با مقطع 2UNP14 و ضخامت ورق اتصال ۱/۴ سانتیمتر ۱۳۹
پیوست ب
کانتورتغییرشکل و تنش فون میسز ۱۴۳
ب-۱- نمایش تغییرشکل‌ها و تنش فون میسز در بارگذاری چرخه‌ای ۱۴۴
منابع و مراجع ۱۵۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲- ۱: تغییر شکل مهاربند با توجه به نوع طراحی ۹

شکل۲- ۲: منحنی هیسترزیس مهاربندهای ضربدری فقط کششی (Bruneau et al 1998) ۱۱

شکل۲- ۳: منحنی هیسترزیس مهاربند تحت بارگذاری سیکلی (Bruneau et al۱۹۹۸) ۱۳

شکل۲- ۴: تغییر شکل مهاربند ضربدری بعد از چند سیکل متوالی ۱۴

شکل۲- ۵: منحنی هیسترزیس مهاربند قطری به صورت مجزا و سیستم واحد ۱۵

شکل۲- ۶: منحنی هیسترزیس مهاربند ضربدری ۱۶

شکل۲- ۷: تغییر شکل غیر ارتجاعی مهاربندهای فشاری ۱۷

شکل۲- ۸: معادلسازی ورق اتصال میانی قاب با فنر ۱۷

شکل۲- ۹: حالات احتمالی کمانش مهاربند فشاری ۱۸

شکل۲- ۱۰: اتصال مفصلی ۱۸

شکل۲- ۱۱: اتصال پیوسته(گیردار) ۱۹

شکل۲- ۱۲: تشکیل مفصل پلاستیک در ورق اتصال انتهایی ۱۹

شکل۲- ۱۳: اثر لاغری بر منحنی هیسترزیس مهاربندهای ضربدری ۲۱

شکل۲- ۱۴: نمونه قابهای مورد آزمایش واکابایاشی ۲۲

شکل۲- ۱۵: رفتار نمونه تحت بارگذاری مونوتونیک ۲۳

شکل۲- ۱۶: رفتار نمونه تحت بارگذاری سیکلی جانبی ۲۳

شکل۲- ۱۷: رفتار نمونه تحت بارگذاری قائم و سیکلی جانبی ۲۳

شکل۲- ۱۸: رفتار نمونه تحت بارگذاری قائم و سیکلی جانبی ۲۴

شکل۲- ۱۹: رفتار نمونه تحت بارگذاری جانبی سیکلی ۲۴

شکل۲- ۲۰: سیستم بارگذاری قاب های آزمایش واکابایاشی ۲۴

شکل۲- ۲۱: مراحل کمانش بابند ضربدری ۲۷

شکل۲- ۲۲: صفحه اتصال پیشنهادی داوران ۲۸

شکل۲- ۲۳: نمونه ای از نمودار های پوش اور حاصل از تحلیل ۲۸

شکل۲- ۲۴: نحوه ی کمانش مهاربند ۲۹
شکل۲- ۲۵: برش پایه - نیروی محوری مهاربند فشاری ۲۹
شکل۲- ۲۶: برش پایه در بارگذاری چرخه ای- لنگر خمشی در وسط نصفه های مهاربند ۳۰
شکل۲- ۲۷: نمونه قاب مورد آزمایش Roeder ۳۱
شکل۲- ۲۸: منحنی هیسترزیس حاصل از مطالعاتRoeder ۳۲
شکل۲- ۲۹: مشخصات بارگذاری نمونه ها و منحنی رفتاری مهاربند با فولاد معمولی و نرم ۳۳
شکل۲- ۳۰: منحنی هیسترزیس نمونه با دهانه ۳۳
شکل۲- ۳۱: منحنی برش پایه نمونه با دهانه ۶ متری ۳۴
شکل۲- ۳۲: منحنی تغییر مکان برای نمونه با دهانه ۶ متری ۳۴
شکل۲- ۳۳: مدل آزمایشگاهی قاب فرشچی و همکاران ۳۵
شکل۲- ۳۵: عملکرد زنجیره ای مسیر انتقال بار در اعضای مهاربندی ۳۷
شکل۲- ۳۶:نمونه اجزای محدود مورد مطالعه شکری و همکاران و نحوه مش بندی آن ۳۸
شکل۲- ۳۷: منحنی تغییرات با کمانشی ورق اتصال با تغییر ضخامت ورق برای مدل ۵۰۰*۵۰۰ ..... ۳۸
شکل۲- ۳۹:تاثیر طول سپری در طرفیت فشاری ورق (مربوط به ورق ۱۲ میلیمتری) ۳۹
شکل۲- ۳۸: تاثیر ابعاد ورق اتصال در بار کمانشی ورق (مربوط به ورق ۸ میلیمتری) ۳۹
شکل۲- ۴۰: مشخصات مدل یحیایی و همکاران ۴۰
شکل۲- ۴۱: نمودار بار – تغییر مکان قاب مهاربندی با و بدون ورق اتصال ۴۰
شکل۲- ۴۲: فرم تغییر شکل و توزیع تنش های فون میسز قاب مهاربندی ۴۱
شکل۲- ۴۳: معرفی پارامترهای عرض موثر ویتمور ۴۲
شکل۲- ۴۴:نمونه مورد آزمایش چاکرابارتی و بیورهف ۴۳
شکل۲- ۴۵: مدل شماتیک اتصال ورق اتصال به تیر با زاویه مهاربند ۳۰ درجه ۴۴
شکل۲- ۴۶: نمونه هایی از انواع زیرسازه های در نظر گرفته شده در مطالعات گراس و چاک ۴۵
شکل۲- ۴۷: مدل اجزای محدود برای اتصال همگرا حول محور قوی ۴۷
شکل۲- ۴۸: شکل کمانش یافته یک مدل ۴۸
شکل۲- ۴۹: عرض ویتمور و طول کمانش شبه ستون ۴۸
شکل۲- ۵۰: پارامترهای استفاده شده در معادلات ۲- ۱۱ تا ۲-۱۳ ..... ۵۰

شکل۲- ۵۱: نمای کلی آزمایش های سریII ۵۲
شکل۲- ۵۲: ورق اتصال، خط خمش و ناحیه مثلثی مقاوم در برابر دوران ۵۴
شکل۲- ۵۳: مدل با اعضای قاب انعطاف پذیر ۵۶
شکل۲- ۵۴: فاصله ۲t در کمانش خارج از صفحه مهاربند ۵۸
شکل۲- ۵۵: نمودار بارگذاری چرخه ای ۵۹
شکل۲- ۵۶: مدل اجزاء محدود مجموعه ورق اتصال و مهاربند ۵۹
شکل۲- ۵۷:اثر مکانیسم خرابی حاکم بر روی منحنی های هیسترزیس ۶۰
شکل۲- ۵۸: اثر مکانیسم خرابی حاکم بر روی میزان جذب انرژی: B1,B3 کمانش ورق و B2,B4 کمانش مهاربند..... ۶۰
شکل۲- ۵۹: اثر ضخامت ورق اتصال ۶۱
شکل۲- ۶۰: ابعاد و مدل اجزاء محدود ۶۲
شکل۲- ۶۱: مقایسه نمودار بار- تغییرمکان ورق اتصال ساده و ورق اتصال باسخت کننده میانی و ورق اتصال با سخت کننده لبه ای ۶۲
شکل۲- ۶۲: مود کمانشی حالات مختلف ورق اتصال ۶۳
الف) گاست پلیت ساده ب) گاست پلیت ساده با سخت کننده میانی پ) گاست پلیت ساده با سخت کننده لبه ای ۶۳
شکل۳- ۱: گام های یک بارگذاری ۷۰
شکل۳- ۲: تقسیم بارگذاری به قسمتهای مختلف ۷۱
شکل۳- ۳: نمودار تنش- کرنش مختلف ۷۲
شکل۳- ۴: سطوح تسلیم رفتارهای مختلف ۷۳
شکل۳- ۵: ابعاد قاب و ورقهای اتصال الف) ورق اتصال ساده ب) ورق اتصال ترکیبی(جلوی خط خمش) ج)ورق اتصال ترکیبی (پشت خط خمش) د) ورق اتصال آکاردئونی ه) نمای کلی قاب (ابعاد به سانتیمتر) ۷۵
شکل۳- ۶: شکل کلی و گره‌های المان مکعبی ۸ گره‌ای Solid45..... ۷۸
شکل۳- ۷: منحنی تنش- کرنش مصالح ۷۹
شکل۳- ۸: اجزای مدل: الف) مقطعی از ستون ب) ورق اتصال ساده ج) ورق اتصال آکاردئونی د) مقطعی از مهاربند و) لقمه و ورق اتصال میانی ه) مقطعی از تیر ۸۰
شکل۳- ۹: مدل نهایی مهاربند با ورق اتصال ساده..... ۸۱
شکل۳- ۱۰: نحوه مش‌بندی اجزای مدل ۸۲
شکل۳- ۱۱: یک مدل نهایی مش‌بندی شده ۸۲

شکل۳- ۱۲: شرایط مرزی مدل ۸۳
شکل۳- ۱۳: محل اعمال تغییر مکان افزایشی در مدل ۸۴
شکل۳- ۱۴: نمودار اعمال تغییرمکان مطابق پروتکل ATC24 ..... ۸۴
شکل۳- ۱۵: محل اعمال بارگذاری به منظور ایجاد نقص اولیه ۸۴
شکل۳- ۱۶: نقص اولیه ایجاد شده در مهاربند(مقیاس به متر) ۸۵
شکل۳- ۱۷: نمودار برش پایه - جابجایی طبقه: الف) نمودارحاصل از مدلسازی ۸۶
ب) نمودار داوران و همکاران ۸۶
شکل۳- ۱۸: چرخه های هیسترزیس الف) نمودار آزمایشگاهی فرشچی و همکاران ب)نمودار حاصل از مدل‌سازی ۸۶
شکل۴-۱: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ساده ۸۸
شکل۴-۲: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L60x7 , ac ۸۹
شکل۴-۳: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L65x7 , ac ۸۹
شکل۴-۴: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L70x7 , ac ۹۰
شکل۴-۵ : منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L65x8 , ac ۹۰
شکل۴-۶: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L65x9 , ac ۹۱
شکل۴-۷: تاثیر ضخامت نبشی بر منحنی برش پایه - جابجایی قاب ۹۱
شکل۴-۸: تاثیر اندازه ابعاد نبشی بر منحنی برش پایه - جابجایی قاب ۹۲
شکل۴- ۹: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ساده ۹۳
شکل۴- ۱۰: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L60x8 , ac ۹۳
شکل۴- ۱۱: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L75x8 , ac ۹۴
شکل۴- ۱۲: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L90x8 , ac ۹۴
شکل۴- ۱۳: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L75x9 , ac ۹۵
شکل۴- ۱۴: تاثیر اندازه ابعاد و ضخامت نبشی بر منحنی برش پایه - جابجایی قاب ۹۵
شکل۴- ۱۵: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ساده ۹۶
شکل۴- ۱۶: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L60x8 , ac ۹۶
شکل۴- ۱۷: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L65x7 , ac ۹۷
شکل۴- ۱۸: تاثیر اندازه ابعاد و ضخامت نبشی بر منحنی برش پایه - جابجایی قاب ۹۷

شکل۴- ۱۹: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x7 ،جلوی خط خمش ۹۸
شکل۴- ۲۰: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x7 ، پشت خط خمش ۹۸
شکل۴- ۲۱: منحنی برش پایه - جابجایی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x5 ..... ۹۹
شکل۴- ۲۲: مقایسه منحنی برش پایه - جابجایی قابهای با ورق اتصال ترکیبی و ساده ۹۹
شکل۴- ۲۳:منحنی ساده شده نیرو - تغییر مکان (نمودار دوخطی)[۳۹] ۱۰۰
شکل۴- ۲۴: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ساده ۱۰۳
شکل۴- ۲۵: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L60x7 ..... ۱۰۳
شکل۴- ۲۶: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x7 ..... ۱۰۴
شکل۴- ۲۷: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L70x7 ..... ۱۰۴
شکل۴-۲۸: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x8 ..... ۱۰۴
شکل۴- ۲۹: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x9 ..... ۱۰۵
شکل۴- ۳۰: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ساده ۱۰۶
شکل۴- ۳۱: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L60x8 ..... ۱۰۶
شکل۴- ۳۲: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L75x8 ..... ۱۰۷
شکل۴- ۳۳: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L90x8 ..... ۱۰۷
شکل۴- ۳۴: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ساده ۱۰۹
شکل۴- ۳۵: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L60x8 ..... ۱۰۹
شکل۴- ۳۶: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x7 ..... ۱۰۹
شکل۴- ۳۷: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x7 ..... ۱۱۰
شکل۴- ۳۸: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x6 ..... ۱۱۱
شکل۴- ۳۹: منحنی دوخطی قاب با ورق اتصال ترکیبی ta , 2L65x5 ..... ۱۱۱
شکل۴- ۴۰: تغییر شکل قاب با ورق اتصال ساده ۱۱۳
شکل۴- ۴۱: تغییر شکل قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L60x7 ..... ۱۱۳
شکل۴- ۴۲: تغییر شکل قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L65x7 ..... ۱۱۴
شکل۴- ۴۳: تغییر شکل قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L70x7 ..... ۱۱۴
شکل۴- ۴۴: تغییر شکل قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L65x9 ..... ۱۱۵

شکل۴- ۴۵: تغییر شکل قاب با ورق اتصال ac,2L60x7 در الف)جابجایی 4cm ب)جابجایی 5cm ۱۱۵
شکل۴- ۴۶: نمایش تنش فون میسز قاب با ورق اتصال ساده ۱۱۷
شکل۴- ۴۷: نمایش تنش فون میسز قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L65x7..... ۱۱۷
شکل۴- ۴۸: نمایش تنش فون میسز قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L70x7..... ۱۱۸
شکل۴- ۴۹: نمایش تنش فون میسز قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac,2L65x9..... ۱۱۸
شکل۴- ۵۰: رفتار هیسترزیس مختلف قاب‌ها ۱۱۹
شکل۴-۵۱: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده ۱۲۰
شکل۴- ۵۲: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L60x7 ..... ۱۲۰
شکل۴- ۵۳: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x7 ..... ۱۲۱
شکل۴- ۵۴: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L70x7 ..... ۱۲۱
شکل۴- ۵۵: تغییر شکل ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۷ (گام آخر) ۱۲۳
شکل۴- ۵۶: تغییر شکل ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۶..... ۱۲۳
شکل۴- ۵۷: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۷ ..... ۱۲۴
شکل۴- ۵۸: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۶ ..... ۱۲۴
شکل الف- ۱: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده ۱۲۹
شکل الف- ۲: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L60x7 ..... ۱۲۹
شکل الف- ۳: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x7 ..... ۱۳۰
شکل الف- ۴: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L70x7 ..... ۱۳۰
شکل الف- ۵: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x8 ..... ۱۳۱
شکل الف- ۶: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی ac , 2L65x9..... ۱۳۱
شکل الف- ۷: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی ac , 2L60x7..... ۱۳۲
شکل الف- ۸: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی ac , 2L65x7..... ۱۳۲
شکل الف- ۹: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی ac , 2L70x7..... ۱۳۳
شکل الف- ۱۰: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی ac , 2L65x8 ..... ۱۳۳
شکل الف- ۱۱: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی ac , 2L65x9 ..... ۱۳۴
شکل الف- ۱۲: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده ۱۳۴

شکل الف- ۱۳: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L60x8 , ac ۱۳۵
شکل الف- ۱۴: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L75x8 , ac ۱۳۵
شکل الف- ۱۵: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L90x8 , ac ۱۳۶
شکل الف- ۱۶: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال آکاردئونی 2L75x9 , ac ۱۳۶
شکل الف- ۱۷: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی 2L60x8 , ac ۱۳۷
شکل الف- ۱۸: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی 2L75x8 , ac ۱۳۷
شکل الف- ۱۹: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی 2L90x8 , ac ۱۳۸
شکل الف- ۲۰: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی 2L75x9 , ac ۱۳۸
شکل الف- ۲۱: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ترکیبی 2L65x7 , ta ۱۳۹
شکل الف- ۲۲: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ترکیبی 2L65x5 , ta ۱۳۹
شکل الف- ۲۳: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ترکیبی 2L65x7 , *ta ۱۴۰
شکل الف- ۲۴: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و ترکیبی 2L65x7 , ta ۱۴۰
شکل الف- ۲۵: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و ترکیبی 2L65x5 , ta ۱۴۱
شکل الف- ۲۶: منحنی هیسترزیس قاب با ورق اتصال ساده و ترکیبی 2L65x7 , *ta ۱۴۱
شکل ب- ۱: تغییر شکل ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۷ (گام آخر) ۱۴۴
شکل ب- ۲: تغییر شکل ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۶ ..... ۱۴۴
شکل ب- ۳: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۷ ..... ۱۴۵
شکل ب- ۴: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب ساده در گام ۵۶ ..... ۱۴۵
شکل ب- ۵: تغییر شکل ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L75x8 , ac در گام ۵۷ ..... ۱۴۶
شکل ب- ۶: تغییر شکل ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L75x8 , ac در گام ۵۶ ..... ۱۴۶
شکل ب- ۷: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L75x8 , ac در گام ۵۷ ..... ۱۴۷
شکل ب- ۸: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L75x8 , ac در گام ۵۶ ..... ۱۴۷
شکل ب- ۹: تغییر شکل ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L90x8 , ac در گام ۵۷ ..... ۱۴۸
شکل ب- ۱۰: تغییر شکل ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L90x8 , ac در گام ۵۶ ..... ۱۴۸
شکل ب- ۱۱: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L90x8 , ac در گام ۵۷ ..... ۱۴۹
شکل ب- ۱۲: تنش فون میسز ایجاد شده در قاب با ورق اتصال 2L90x8 , ac در گام ۵۶ ..... ۱۴۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲- ۱: ابعاد وشرایط بارگذاری قابهای نمونه واکابایاشی ۲۲

جدول۲- ۲: شرایط لازم در روش BDP و آیین نامه AISC در طراحی صفحات اتصال ۳۲

جدول۲- ۳: نتایج بدست آمده از منحنی های هیسترزیس نمونه های مورد تحقیق ۳۳

جدول۲- ۴: مشخصات مهاربندهای مدل شده ۶۰

جدول۳- ۱: پارامترهای نرخ پلاستیسیته ۷۲

جدول۳- ۲: ورق‌های اتصال مدل شده و نحوه نامگذاری آنها ۷۶

جدول۳- ۳: مشخصات مصالح بکار رفته در مدل ۷۹

جدول۴- ۱: علائم بکار رفته در تعیین ضریب رفتار ۱۰۲

جدول۴- ۲: ضریب رفتار قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۰۵

جدول۴- ۳: ضریب رفتار قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۶ سانتیمتر ۱۰۸

جدول۴- ۴: ضریب رفتار قاب با ورق اتصال ساده و آکاردئونی دارای مهاربند 2UNP16 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۱۰

جدول۴- ۵: ضریب رفتار قاب با ورق اتصال ساده و ترکیبی دارای مهاربند 2UNP14 و ورق اتصال به ضخامت ۱/۴ سانتیمتر ۱۱۲

جدول الف- ۱: مساحت زیر منحنی هیسترزیس مدل‌ها ۱۴۲

جدول ب- ۱: دامنه کمانش مهاربند سیکلی در گام آخر بارگذاری ۱۵۰

فصل اول

کلیات

مقدمه

۱-۱- مهاربندهای همگرا و فلسفه طراحی لرزه‌ای

با بررسی اجمالی خسارت وارد بر سازه‌ها در زلزله‌های گذشته، مشخص شده است که سازه‌های فولادی به جهت شکل‌پذیر بودن مصالح و قابلیت جذب انرژی، عملکرد بهتر و اقتصادی‌تری نسبت به سایر سازه‌ها دارند. بطور کلی در مناطق لرزه خیز، از نظر اقتصادی مناسب نیست که طراحی ساختمان‌های رایج، طوری باشد که این سازه‌ها در زلزله‌های شدید، درمحدوده الاستیک باقی بمانند. قبلا تمام سازه ها در محدوده الاستیک و بسته به شدت لرزه‌خیزی منطقه و اهمیت سازه طرح می‌شدند. ولی اکنون طرح لرزه‌ای و با صرفه می‌طلبد که از رفتار جذب کنندگی انرژی با تغییرشکل‌های غیر ارتجاعی درمقابل زلزله شدید استفاده شود. طراحی لرزه‌ای سازه ها معمولا بر این اساس صورت می‌گیرد که اعضائی در سازه باشند که در زلزله های شدید، رفتار غیرارتجاعی از خود نشان داده و انرژی لرزه‌ای را جذب نمایند.

طراحی بر پایه اتلاف انرژی، مستلزم تعیین ضریب رفتار سازه‌ای(ضریب کاهش نیروی زلزله)از طریق ایده‌آل سازی طیف پاسخ الاستیک می‌باشد. در طراحی لرزه‌ای که مبتنی بر طرح ظرفیتی است، مودهای شکست

برای اعضای سازه‌ای کنترل می‌شود، طوری که سازه شامل مناطق شکل پذیر از پیش تعیین شده و ضریب افزایش مقاومت برای سایر اعضای سازه‌ای می‌باشد[۸].

به خاطر هندسه مهاربندهای همگرا، این نوع سیستم عمل خرپایی را بطور کامل با اعضایی که در محدوده الاستیک و تحت بارهای محوری هستند، ایجاد کرده و با تأمین سختی و مقاومت جانبی زیاد و عملکرد مناسب آن در زلزله‌ها، از متداولترین سیستم های باربر جانبی است. از مزیت های دیگر سیستم مهاربندی همگرا، قابلیت تعمیرپذیری در صدمات شدید و نیز تشکیل یک سیستم باربر جانبی مکمل با عملکرد مناسب بصورت سیستم مختلط می توان نام برد.

طبق فلسفه طراحی لرزه‌ای، انتظار می‌رود که سیستم مهاربندی همگرا تحت زلزله های شدید و نادر بتواند پاسخ غیر ارتجاعی پایدار و مداومی از خود نشان دهد. مهاربندهای همگرا باشکل پذیری ویژه می‌توانند تغییرشکل‌های پلاستیک را تحمل نموده و انرژی هیسترزیس را با رفتار پایدار و در طی سیکل‌های متوالی با تسلیم کششی و کمانش غیرارتجاعی در فشار جذب نمایند. استراتژی این فلسفه طراحی طوری است که مطمئن شویم تغییرشکل‌های پلاستیک، فقط در مهاربندها اتفاق می‌افتد و سایر قسمت‌های سازه مثل ستون‌ها و تیرها و اتصالات بدون پذیرفتن خرابی، زلزله‌های شدید را تحمل کرده و باربری ثقلی سازه را حفظ نمایند.

بدین مفهوم که مهاربندها به عنوان عضو کنترل شونده توسط تغییرمکان[۱] و سایر اعضای سازه ای و اتصالات به عنوان عضو کنترل شونده توسط نیرو[۲] در نظر گرفته می‌شوند و در نتیجه رفتار شکل پذیر سازه تأمین می‌شود. در مقایسه با قاب‌های خمشی، در قاب‌های مهاربندی شده محدودیت‌هایی در تغییرشکل‌های غیرارتجاعی برگشت پذیر وجود دارد و مطلوبست که مکانیسم غیرارتجاعی در نقاط خاصی از سازه باشد. مفصل پلاستیک تا حد امکان در سطوح مختلف سازه پخش شود تا اینکه مقدار تغییرشکل پلاستیک در مکان‌های خاص، کاهش یابد.

در اولین سطح، مهاربندها با کمانش غیرارتجاعی یا تسلیم خود انرژی را جذب می‌نمایند و سایر اعضای سازه، مقتضیات ناشی از رفتار غیرارتجاعی مهاربندها را تحمل کرده، پایداری آنها را تأمین می‌نمایند. طراحی موجود که بر اساس روش تنش مجاز است و از آنالیز استاتیکی بهره می‌گیرد، ابهاماتی در این زمینه دارد. همچنین وجود خسارت‌های زیاد در قاب‌های مهاربندی شده (در زلزله های شدید) سبب می‌شوند تا تحقیقات و مطالعات در زمینه رفتار غیرارتجاعی مهاربندها هم بصورت تجربی و هم تئوریک افزایش یابد.

[1]Displacement controlled
[2]Force controlled

رفتار سیکلی مهاربندها شامل پدیده های کمانش غیرارتجاعی، تسلیم مهاربند، کمانش موضعی، کاهش ظرفیت در رفتار پس از کمانش، اثرات بوشینگر و سخت شدگی کرنش در کشش می‌باشد. این پدیده‌ها تقاضای قابل توجهی در سایر اعضاء و اتصالات مهاربندها بوجود می‌آورند. زلزله های شدید گذشته نشان داده‌اند که سیستم مهاربندی همگرا، گرچه یک سیستم مناسب در مقابل بار جانبی و زلزله می‌باشد ولی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند و رفتار ایده‌آل آن‌ها که قبلا ذکر شد، حاصل نشود. مگر اینکه سایر اعضای قاب و اتصالات آنها را مطابق الزامات لرزه‌ای طرح کرده باشیم و رفتار پایدار و ایمن آن‌ها را در برابر مکانیزم‌های شکست طراحی نشده، تثبیت کرده باشیم. نمونه هایی در زلزله های واقعی وجود داشته که در آن تیرها، ستونها، اتصالات جوشی و پیچی دچار خرابی شده اند و یا یکی از مکانیسم های شکست ترد در خود مهاربند اتفاق افتاده است، که در نهایت با چنین رفتار غیرالاستیک کنترل نشده مهاربندها، شکست کلی سازه بوجود آمده است.

عملکرد غیرالاستیک قابل اطمینان مهاربندها، نیازمند ایجاد مسیر مناسب و آزاد برای تغییرشکل‌های پس از الاستیک و قابل پیشگوئی بودن رفتار کمانشی است. از آنجائیکه استراتژی طرح لرزه‌ای در قاب‌های مهاربندی شده، اطمینان یافتن از رفتار غیرارتجاعی فقط در مهاربندهاست، زیرا که تغییرشکل غیرارتجاعی پایدار مهاربندها، منبع اصلی جذب انرژی زلزله است. برای این‌کار و برای محافظت سایر اعضای غیرشکل پذیر و کنترل شونده به نیرو در سازه مهاربندی شده، باید تخمین واقعی و صحیح از رفتار غیرارتجاعی مهاربندها و نیروهای بوجود آمده در آنها هنگام زلزله‌های شدید، داشت. برای رسیدن به اهدافی که ذکر شد و نیز رسیدن به پاسخ شکل پذیر مورد نیاز، باید بر رفتار هیسترزیس و غیرارتجاعی مهاربندها شناخت کامل و مسلطی داشت. زیرا با وجود آنکه تلاش‌هایی در جهت مشخص کردن رفتار هیسترزیس مهاربندها صورت گرفته، ولی در آئین‌نامه های لرزه‌ای نکات مبهم و ناسازگار وجود دارد، برخی از آنها مطابق معیارهای طراحی اولیه می‌باشد و برخی نیز بر اساس روابط هندسی و محدودیت‌های ابعادی می‌باشد.

بنا به دلایلی که ذکر شد و برای پیش بینی رفتار الاستوپلاستیک مهاربندها، باید اطلاع دقیقی از روابط تغییرمکان- بار مهاربندها تحت بارگذاری سیکلی داشت. هر چند که رفتار غیر الاستیک سیکلی مهاربند کاملا پیچیده است.

شاید متداول‌ترین نوع مهاربندهای همگرا، مهاربندی ضربدری است. عمده مزیت مهاربندهای ضربدری از اتصال وسط دو مهاربند به همدیگر ناشی می‌شود، که مهاربند کششی به‌صورت قید در وسط مهاربند فشاری عمل می‌کند و اتکای جانبی قابل توجهی بوجود می‌آورد و در نتیجه رفتار غیر ارتجاعی مهاربند فشاری و مکانیزم تشکیل مفصل پلاستیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین با کاهش طول آزاد مهاربند در این