

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی عمران

عنوان:

بهبود رفتار سیستم‌های مهاربندی همگرای ویژه فولادی از طریق ایجاد
مهاربندهای متوازن

نگارش:

ساناز اهل حق

استاد راهنما:

دکتر سید رسول میرقادری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران - سازه

تیر ۱۳۸۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی عمران

عنوان:

بهبود رفتار سیستم‌های مهاربندی همگرای ویژه فولادی از طریق ایجاد
مهاربندهای متوازن

نگارش:

ساناز اهل حق

استاد راهنما:

دکتر سید رسول میرقادری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران - سازه

تیر ۱۳۸۷

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب ساناز اهل حق تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این رساله حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این رساله قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو :

امضای دانشجو :

چکیده

قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه به علت تامین سختی جانبی و مقاومت مورد نیاز و نیز کاهش تغییرمکان نسبی طبقات، به عنوان سیستم باربر جانبی کاربرد زیادی دارند. در این سیستم‌ها شکل‌پذیری و جذب انرژی زلزله توسط رفتار غیر ارتجاعی مهاربندها صورت می‌گیرد. بدین ترتیب انتظار می‌رود که مهاربندها در زلزله‌های شدید، وارد محدوده غیر ارتجاعی شوند، در حالیکه سایر اعضای سازه به صورت الاستیک باقی می‌مانند تا باربری ثقلی سازه مختل نشود. تلاش‌های شکل‌پذیر در مهاربندها، تسلیم کششی و کمانش غیر ارتجاعی در فشار می‌باشند. رفتار متفاوت مهاربندها در کشش و فشار، افت مقاومت فشاری مهاربند پس از کمانش و منحنی هیستریزس پیچیده مهاربندها، از جمله عواملی هستند که باعث شده‌اند سیستم‌های مهاربندی شده همگرا رفتار مناسبی در زلزله نداشته باشند. از طرف دیگر، ابعاد مقطع مهاربند بر اساس نیروی فشاری موجود در آنها تعیین می‌شوند که در اغلب اوقات بزرگتر از ابعاد لازم برای تحمل کشش موجود در مهاربند می‌باشد اما اتصال مهاربند به تیر یا ستون و یا تیر دهانه مهاربندی شده در سیستم‌های مهاربندی شده ۸ شکل، باید برای حداکثر ظرفیت کششی و یا اختلاف بین حداکثر ظرفیت کششی و حداقل ظرفیت فشاری طرح شوند. بنابراین ابعاد بدست آمده برای اعضای کنترل‌شونده توسط نیرو بسیار بزرگ می‌گردند.

مهاربندهای متوازن برای بهبود رفتار سیستم‌های مهاربندی از طریق کاهش اختلاف بین ظرفیت کششی و فشاری، قابل استفاده می‌باشند. در این مهاربندها با کاهش مساحت مقطع در قسمتی از طول مهاربند، ظرفیت تسلیم کششی یا فشاری کاهش می‌یابد در حالیکه با در نظر گرفتن جزئیات مناسب ظرفیت کمانشی مهاربند تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌نماید. به این ترتیب اختلاف بین ظرفیت کششی و کمانشی مهاربند کاهش می‌یابد و حتی در مواردی، با استفاده از ورق میانگذر کاهش یافته، کمانش فشاری مهاربند تا رسیدن به تغییرمکان طبقه به تاخیر افتاده و ظرفیت کششی و فشاری تقریباً مشابه هم می‌شوند. در این پایان‌نامه رفتار کششی، فشاری و کمانشی مهاربندهای متوازن، که می‌تواند به صورت کمانش کلی یا موضعی باشد، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته و معیارهای طراحی آنها ارائه شده است.

تقدیر و تشکر

بی شک آغاز و انجام و به پایان رسیدن این پایان نامه، مرهون راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر میرقادری می‌باشد. از ایشان به علت تمام رهنمودها و شکیبایی‌هایشان در دوران تحصیل و به خصوص در مدت انجام این پایان نامه بسیار سپاسگذارم.

از پدر و مادر عزیزم که همواره پشتیبان و همراه من بوده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از تمامی دوستانم که در این مدت با همفکری و همراهی‌شان باعث دلگرمی من و پیشرفت این پایان نامه شده‌اند نیز سپاسگذارم.

فهرست مطالب

ا	فهرست مطالب	
ت	فهرست جدول ها	
ث	فهرست شکل ها	
۱	مقدمه	۱
۵	رفتار قابهای مهاربندی شده در زلزله	۲
۷	بررسی رفتار هیستریزیس یک مهاربند:	۱-۲
۱۵	رفتار قاب های مهاربندی شده همگرا:	۲-۲
۳۲	قابهای مهاربندی شده واگرا	۳-۲
۳۳	قابهای با مهاربندهای مقید در برابر کمانش	۴-۲
۳۷	استفاده از ستون های همبند در قاب های مهاربندی همگرا	۲-۵
۴۳	ضوابط طراحی قابهای مهاربندی شده همگرا	۳
۴۳	ضوابط آیین نامه <i>AISC2005</i> [۲]	۳-۱
۵۲	تحلیل بارافزون	۳-۲
۵۹	طراحی ساختمان مسکونی نمونه	۳-۳
۶۰	تحلیل و طراحی ساختمان سه طبقه:	۱-۳-۳
۷۳	تحلیل و طراحی ساختمان ۶ طبقه	۲-۳-۳
۷۷	مهاربند متوازن	۴
۸۰	ساختار کلی تحقیق	۱-۴
۸۱	مقاطع در نظر گرفته شده	۱-۱-۴
۸۴	انواع تحلیل های انجام شده	۲-۱-۴
۸۵	مشخصات مواد استفاده شده در تحلیل ها	۲-۴
۸۶	روش های تحلیل کمانش و نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق:	۳-۴
۸۸	برنامه <i>ANSYS</i>	۱-۳-۴
۹۱	برنامه <i>ABAQUS</i>	۲-۳-۴
۹۲	برنامه <i>OpenSEES</i>	۳-۳-۴
۹۴	تحلیل	۵
۹۵	رفتار کششی	۱-۵
۱۰۱	رفتار فشاری	۲-۵
۱۰۲	بررسی کمانش الاستیک	۱-۲-۵
۱۰۶	بررسی اولیه رفتار کمانشی و پس کمانشی غیر خطی	۲-۲-۵
۱۰۸	بررسی اثر پارامترهای تحلیل بر روی کمانش	۳-۲-۵
۱۲۳	بررسی اثر ورق اتصال بر رفتار مهاربندها	۳-۵
۱۲۵	تحلیل مهاربند تحت بار چرخه ای	۵-۴

۱۲۶.....	بررسی قاب.....	۵-۵
۱۳۰.....	بررسی اتصال مهاربند با استفاده از ورق میانگذر.....	۶-۵
۱۵۲.....	نتیجه گیری.....	۶
۱۵۶.....	منابع.....	۷

فهرست جدول ها

جدول ۱-۲	ضرایب طراحی سیستم باربر لرزه ای [۳]	۱۷
جدول ۲-۲	مقادیر پیش فرض ضریب C_B برای قاب های خمشی ویژه [۳۶]	۲۷
جدول ۳-۲	مقادیر تقاضا و ضریب نامطمئنی تقاضا برای قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه [۲۲]	۲۸
جدول ۴-۲	مقادیر انحراف معیار و ضریب نامطمئنی تحلیل [۲۲]	۲۹
جدول ۵-۲	مقادیر پیش فرض ظرفیت زاویه تغییرمکان نسبی طبقه و ضریب مقاومت قاب های خمشی ویژه [۳۶]	۳۰
جدول ۶-۲	ظرفیت تغییرمکان جانبی و ضریب مقاومت [۲۲]	۳۱
جدول ۷-۲	پارامتر اطمینان قاب مهاربندی شده همگرای ویژه [۲۲]	۳۱
جدول ۱-۳	پارامترهای طراحی و معیارهای مجاز برای تحلیل های غیرخطی برای مهاربند ها [۱۳]	۵۵
جدول ۲-۳	بارهای ثقلی مفروض در طراحی ساختمان	۶۰
جدول ۳-۳	نیروی جانبی زلزله برای ساختمان سه طبقه	۶۲
جدول ۴-۳	نیروی محوری مهاربندهای ۸ شکل در ترکیب بارهای مختلف	۶۴
جدول ۵-۳	نیروی محوری مهاربندهای ضربدری در ترکیب بارهای مختلف	۶۶
جدول ۶-۳	ظرفیت فشاری و کششی مهاربندهای ساختمان شش طبقه	۷۵
جدول ۱-۴	مشخصات مقاطع در نظر گرفته شده	۸۲
جدول ۱-۵	بار کمانشی و مود شکل کمانشی بدست آمده از تحلیل مقدار ویژه با <i>ABAQUS</i>	۱۰۹
جدول ۲-۵	مقایسه بار کمانشی مدل های مختلف مهاربندی	۱۱۸
جدول ۳-۵	مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مهاربند با اتصال بوسیله ورق میانگذر	۱۳۱
جدول ۴-۵	ابعاد مهاربند متوازن در تقاضاهای متفاوت	۱۵۱

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ انواع سیستم های مهاربندی همگرا..... ۵
- شکل ۲-۲ تغییرشکل های شدید در تیر طبقه در محل اتصال مهاربندهای ۸ شکل [۲۶] ۶
- شکل ۳-۲ منحنی تنش- کرنش هیستریزیس فولاد [۲۸] ۷
- شکل ۴-۲ رفتار چرخه ای یک مهاربند تحت بار چرخه ای متقارن [۱۶] [۱۷]..... ۸
- شکل ۵-۲ کاهش بار بحرانی کمانشی در اثر پدیده بوشینگر [۲۸] ۹
- شکل ۶-۲ مقایسه بار کمانشی در چرخه های متوالی با بار کمانشی در اولین چرخه بارگذاری [۵]..... ۱۰
- شکل ۷-۲ حلقه هیستریزیس مهاربندها با لاغری مختلف، بدست آمده از آزمایش [۲۶] ۱۱
- شکل ۸-۲ اثر شکل مقطع بر روی حلقه هیستریزیس [۱۸] [۲۸]..... ۱۱
- شکل ۹-۲ مقاومت پس کمانشی مهاربندها [۳۳] ۱۲
- شکل ۱۰-۲ رفتار چرخه ای مهاربندها تحت دو الگوی بارگذاری متفاوت [۳۳] ۱۳
- شکل ۱۱-۲ گسیختگی در مقطع خالص [۲۶]..... ۱۴
- شکل ۱۲-۲ گسیختگی اتصال جوشی مهاربند [۲۶]..... ۱۴
- شکل ۱۳-۲ رفتار ورق اتصال هنگامی که انتهای مهاربند به صورت ۹۰ درجه قطع نشود [۵]..... ۱۵
- شکل ۱۴-۲ منحنی برش پایه-تغییرمکان بام برای یک سازه [۱۹] ۱۶
- شکل ۱۵-۲ رفتار غیر الاستیک قاب مهاربندی شده همگرا [۳۳] ۱۸
- شکل ۱۶-۲ پارامترهای رفتار مهاربند [۳۳] ۱۹
- شکل ۱۷-۲ رفتار غیرالاستیک قاب مهاربندی شده ۸-شکل ۱۹
- شکل ۱۸-۲ تعیین مقاومت فشاری مهاربند در تغییرمکان معادل تغییرمکان تسلیم کششی [۳۳] ۲۰
- شکل ۱۹-۲ نسبت $\frac{C'_{u1}}{C_u}$ [۳۳] ۲۰
- شکل ۲۰-۲ نمونه آزمایش شده $SCBF - 1$ [۳۸] ۲۱
- شکل ۲۱-۲ گسیختگی ستون در محل اتصال تیر، الف) در ستون شمالی در تغییرمکان $1,0\Delta_{bm}$ ب) در ستون جنوبی در تغییرمکان $1,5\Delta_{bm}$ [۳۸] ۲۲
- شکل ۲۲-۲ تغییرمکان بام بر حسب برش پایه [۳۸] ۲۳
- شکل ۲۳-۲ مراحل گسیختگی مهاربند قوطی [۳۸]..... ۲۳
- شکل ۲۴-۲ نمودار نیروی محوری-تغییرمکان محوری مهاربند طبقه اول [۳۸]..... ۲۴
- شکل ۲۵-۲ حلقه هیستریزیس عضو مهاربندی بدست آمده از الف) نتایج آزمایشگاهی، ب) نرم افزار *SNAP* و پ) نرم افزار *OpenSEES* [۲۲] ۲۸
- شکل ۲۶-۲ قاب های مهاربندی شده واگرا..... ۳۳
- شکل ۲۷-۲ اجزای یک مهاربند مقید در برابر کمانش..... ۳۴
- شکل ۲۸-۲ منحنی نیروی محوری-تغییرمکان مهاربندهای مقید در برابر کمانش..... ۳۴
- شکل ۲۹-۲ جزئیات مناسب برای جلوگیری از انتقال تنش های تماسی [۲۹]..... ۳۵

- شکل ۲-۳۰ نمونه ای از اتصال مهاربند کمانشی [۳۰]..... ۳۶
- شکل ۲-۳۱ نمونه ای از کاربرد مهاربندهای مقید در برابر کمانش در ساختمان ها [۱۰]..... ۳۷
- شکل ۲-۳۲ سیستم قاب مهاربندی با استفاده از ستون همبند..... ۳۸
- شکل ۲-۳۳ مقایسه بین مکانیزم گسیختگی و منحنی نیرو-تغییر مکان سیستم های مهاربندی متداول و سیستم های مهاربندی با ستون همبند [۳۵]..... ۳۸
- شکل ۲-۳۴ مکانیزم گسیختگی و منحنی نیرو-تغییر مکان سیستم های مهاربندی با ستون همبند [۳۵]..... ۳۹
- شکل ۲-۳۵ رفتار سیستم های مهاربندی با ستون همبند آویزان [۳۵]..... ۳۹
- شکل ۲-۳۶ رفتار سه خطی سیستم های مهاربندی با ستون همبند آویزان [۳۵]..... ۴۰
- شکل ۲-۳۷ نمونه آزمایش شده سیستم مهاربندی با آویز همبند [۳۵]..... ۴۰
- شکل ۲-۳۸ تغییر شکل های سیستم در نسبت تغییر مکان بام $1/10$ [۳۵]..... ۴۱
- شکل ۲-۳۹ مقایسه منحنی بارافزون برای ساختمان سه طبقه مهاربندی با و بدون آویزهای همبند [۳۵]..... ۴۲
- شکل ۳-۱ اثر لاغری بر رفتار چرخه ای مهاربند..... ۴۴
- شکل ۳-۲ ساختمان با مهاربندهای فقط کششی..... ۴۵
- شکل ۳-۳ تغییر شکل در مهاربند ساخته شده از دوپل نبشی [۵]..... ۴۷
- شکل ۳-۴ دیگرام آزاد نیرو در بین لقمه ها، در مقاطع مرکب [۵]..... ۴۷
- شکل ۳-۵ تغییر در نیروی محوری تک نبشی ها در مهاربند مرکب [۵]..... ۴۸
- شکل ۳-۶ جزئیات لازم برای فراهم کردن آزادی دوران خارج از صفحه مهاربندی..... ۴۹
- شکل ۳-۷ نیروی نامتعادل برای طراحی تیر دهانه مهاربندی ۸-شکل..... ۵۰
- شکل ۳-۸ محدوده های حفاظت شده در مهاربندهای ۸ شکل [۲]..... ۵۱
- شکل ۳-۹ شکل شماتیک نشان دهنده نحوه تشکیل سیستم یک درجه آزادی معادل از تحلیل بارافزون [۱۴]..... ۵۳
- شکل ۳-۱۰ رابطه کلی نیرو-تغییر مکان برای اعضای فولادی [۱۳]..... ۵۴
- شکل ۳-۱۱ روش طیف ظرفیت [۱۴]..... ۵۸
- شکل ۳-۱۲ پلان ساختمان های ۳ و ۶ طبقه..... ۶۰
- شکل ۳-۱۳ قاب مهاربندی شده ساختمان سه طبقه در جهت X..... ۶۱
- شکل ۳-۱۴ قاب مهاربندی شده ساختمان سه طبقه در جهت Y..... ۶۱
- شکل ۳-۱۵ پلان تیرریزی طبقات پس از طراحی برای بارهای ثقلی..... ۶۲
- شکل ۳-۱۶ مقاطع بدست آمده برای محور ۱..... ۶۳
- شکل ۳-۱۷ مقاطع بدست آمده برای محور ۳..... ۶۳
- شکل ۳-۱۸ مقاطع بدست آمده برای محور های A و F..... ۶۴
- شکل ۳-۱۹ مقاطع مهاربند ۸ شکل در طبقات ۱ و ۲ و ۳..... ۶۵
- شکل ۳-۲۰ مقطع تیر دهانه مهاربندی ۸ شکل..... ۶۷
- شکل ۳-۲۱ منحنی رفتار غیرخطی برای مهاربند با مقطع دوپل ناودانی..... ۶۹
- شکل ۳-۲۲ منحنی نیرو-تغییر مکان بدست آمده از تحلیل بارافزون با برنامه SAP2000..... ۶۹
- شکل ۳-۲۳ تفاوت بین مفاصل پلاستیک فشاری در مدل ۱ و مدل ۲..... ۷۰

- شکل ۳-۲۴ منحنی نیرو-تغییرمکان بدست آمده از تحلیل بارافزون با برنامه *OpenSEES* و *SAP2000* ۷۱
- شکل ۳-۲۵ منحنی نیروی مهاربندها برحسب تغییرمکان گره کنترل از تحلیل بارافزون با برنامه *OpenSEES* ۷۲
- شکل ۳-۲۶ منحنی نیروی مهاربندها برحسب تغییرمکان محوری آنها از تحلیل بارافزون با برنامه *OpenSEES* ۷۲
- شکل ۳-۲۷ طیف ظرفیت و طیف پاسخ ساختمان سه طبقه ۷۳
- شکل ۳-۲۸ قاب مهاربندی ساختمان شش طبقه در جهت *X* ۷۴
- شکل ۳-۲۹ تیرهای دهانه مهاربندی ۸-شکل ۷۴
- شکل ۳-۳۰ مقایسه منحنی نیرو-تغییرمکان بدست آمده از تحلیل بارافزون با برنامه های *SAP2000* و *OpenSEES* ۷۵
- شکل ۳-۳۱ منحنی نیروی محوری مهاربندها-تغییرمکان بام ۷۶
- شکل ۳-۳۲ طیف ظرفیت و طیف پاسخ ساختمان شش طبقه ۷۶
- شکل ۴-۱ تنش محوری فشاری و کششی مجاز و حداکثر با تغییر ضریب لاغری ۷۸
- شکل ۴-۲ اختلاف بین تنش فشاری و کششی مجاز و حداکثر با تغییرات ضریب لاغری ۷۸
- شکل ۴-۳ مقاطع قوطی و دایره ای معادل و پروفیل طولی مهاربند در تحلیل های اجزاء محدود ۸۱
- شکل ۴-۴ مقاطع قوطی، لوله و تسمه کاهش یافته مورد بررسی ۸۱
- شکل ۴-۵ نمای طولی مهاربند *RB-۵* ۸۲
- شکل ۴-۶ نمای طولی مهاربند *RB-۱۰* ۸۲
- شکل ۴-۷ نمای طولی مهاربند *RB-۱۵* ۸۳
- شکل ۴-۸ پروفیل طولی و مقطع کاهش یافته مهاربند *RB-P* ۸۳
- شکل ۴-۹ پروفیل طولی مهاربند متوازن با ورق میانگذر (مدل "ی") ۸۳
- شکل ۴-۱۰ کاهش مقطع عضو در عمل ۸۴
- شکل ۴-۱۱ نمودار تنش کرنش مصالح فولاد ۸۵
- شکل ۴-۱۲ منحنی تنش-کرنش مصالح *Steel02* ۹۳
- شکل ۵-۱ نماد های به کار رفته در بررسی رفتار کششی مهاربند متوازن ۹۵
- شکل ۵-۲ منحنی نیرو-تغییرمکان محوری برای طول های مختلف کاهش مقطع و نسبت سختی پلاستیک به سختی الاستیک ۰,۰۱ ۹۷
- شکل ۵-۳ منحنی نیرو-تغییرمکان محوری برای طول کاهش ۴۰۰ میلیمتر و نسبت سختی پلاستیک به سختی الاستیک های مختلف ۹۷
- شکل ۵-۴ منحنی نیرو-تغییرمکان محوری برای طول کاهش ۴۰۰ میلیمتر و نسبت مساحت های مختلف ۹۸
- شکل ۵-۵ مقایسه رفتار کششی مقطع کاهش یافته و کامل با استفاده از روش های تحلیل مختلف ۹۹
- شکل ۵-۶ تنش های فون میسز مهاربند متوازن *RB-۵*، در تغییرمکان محوری ۵۰ میلیمتر ۱۰۰
- شکل ۵-۷ مقایسه رفتار کششی مدل های *RB-۵*، *RB-۱۰*، و *RB-۱۵* ۱۰۰
- شکل ۵-۸ میزان کاهش در ظرفیت کششی مهاربند *RB-۱۰* نسبت به مقطع کامل ۱۰۱
- شکل ۵-۹ اختلاف بین تنش فشاری و کششی حداکثر و مجاز با ۳۰٪ کاهش در مساحت مقطع ۱۰۲
- شکل ۵-۱۰ نمادهای به کار رفته برای بررسی کمانش الاستیک، با روش های انرژی ۱۰۲

- شکل ۵-۱۱ تغییرات بار کمانشی با تغییر محل تضعیف در طول عضو، طول ناحیه تضعیف شده برابر با $0.15L$ ۱۰۳
- شکل ۵-۱۲ تغییرات بار کمانشی با تغییر محل تضعیف در طول عضو، طول ناحیه تضعیف شده برابر با $0.1L$ ۱۰۴
- شکل ۵-۱۳ تغییرات بار کمانشی با تغییر محل تضعیف در طول تیر و تغییر طول ناحیه تضعیف شده ۱۰۴
- شکل ۵-۱۴ تغییرات بار کمانشی با تغییر محل تضعیف در طول تیر، طول ناحیه تضعیف شده برابر با $0.15L$ ۱۰۵
- شکل ۵-۱۵ بررسی کمانش الاستیک برای عضو با کاهش مقطع در دو انتها ۱۰۵
- شکل ۵-۱۶ تغییرات بار بحرانی بر حسب تغییر در طول ناحیه کاهش یافته ۱۰۶
- شکل ۵-۱۷ مقایسه رفتار کمانشی مقاطع کامل با استفاده از برنامه OPENSEES ۱۰۷
- شکل ۵-۱۸ مقایسه رفتار کمانشی مقاطع کامل و کاهش یافته با استفاده از برنامه OPENSEES ۱۰۷
- شکل ۵-۱۹ دستگاه اندازه گیری تغییرشکل اولیه [۹] ۱۰۹
- شکل ۵-۲۰ المان بندی مهاربند ۱۱۰
- شکل ۵-۲۱ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود اول و دامنه های تغییرشکل متفاوت ۱۱۱
- شکل ۵-۲۲ تنش های فون میسز در تغییرمکان محوری ۵۰ میلیمتر برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود اول ۱۱۲
- شکل ۵-۲۳ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود سوم و دامنه های تغییرشکل متفاوت ۱۱۳
- شکل ۵-۲۴ تنش های فون میسز در تغییرمکان محوری ۱۷ میلیمتر برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود سوم ۱۱۴
- شکل ۵-۲۵ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود پنجم و دامنه های تغییرشکل متفاوت ۱۱۴
- شکل ۵-۲۶ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود نهم و دامنه های تغییرشکل متفاوت ۱۱۵
- شکل ۵-۲۷ تنش های فون میسز در تغییرمکان محوری ۵۰ میلیمتر برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل مود نهم کمانش ۱۱۵
- شکل ۵-۲۸ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل ترکیب مودهای اول و نهم و دامنه های تغییرشکل متفاوت ۱۱۶
- شکل ۵-۲۹ تنش های فون میسز در تغییرمکان محوری ۵۰ میلیمتر برای مهاربند ۵- RB ، تغییرشکل اولیه معادل ترکیب مدهای اول و نهم کمانش، با دامنه $L/500$ و $3/2 t$ ۱۱۶
- شکل ۵-۳۰ منحنی نیرو-تغییرمکان فشاری برای مهاربند ۵- RB ، مقایسه رفتار مقطع کامل با مقطع کاهش یافته ۱۱۷
- شکل ۵-۳۱ مود شکل های نهم تا سیزده مدل ۱۰- RB ۱۱۹
- شکل ۵-۳۲ مود شکل های نهم تا سیزده مدل ۱۵- RB ۱۱۹
- شکل ۵-۳۳ رفتار کمانشی مهاربند مدل ۱۰- RB در مودهای اول، یازدهم و ترکیبی از آن دو ۱۲۰
- شکل ۵-۳۴ رفتار کمانشی مهاربند مدل ۱۵- RB در مودهای اول، نهم، سیزدهم و ترکیبی از آنها ۱۲۰

- شکل ۳۵-۵ تنش های فون میسز در تغییرمکان محوری حدود ۵۰ میلیمتر برای مهاربند $RB-15$ ، تغییرشکل اولیه معادل ترکیب مودهای اول و نهم کمانش، با دامنه $L/700$ و t ۱۲۱
- شکل ۳۶-۵ مقایسه رفتار کمانشی مهاربندهای $RB-5$ ، $RB-10$ و $RB-15$ تغییرشکل اولیه معادل ترکیبی از مود اول و مود کمانش موضعی..... ۱۲۱
- شکل ۳۷-۵ رفتار کمانشی مهاربند مدل $RB-P$ در مودهای اول و پنجم..... ۱۲۲
- شکل ۳۸-۵ تنش های فون میسز برای مهاربند $RB-P$ ، تغییرشکل اولیه معادل مودپنجم..... ۱۲۲
- شکل ۳۹-۵ مقایسه رفتار کمانشی مهاربند $RB-10$ با استفاده از نرم افزارهای $ABAQUS$ و $OpenSEES$ ۱۲۳
- شکل ۴۰-۵ اثر ورق اتصال بر روی رفتار فشاری مهاربند..... ۱۲۳
- شکل ۴۱-۵ تنش فون میسز فشاری در مهاربند با ورق اتصال..... ۱۲۴
- شکل ۴۲-۵ اثر ابعاد ورق اتصال بر روی رفتار فشاری..... ۱۲۴
- شکل ۴۳-۵ تنش فون میسز کششی در مهاربند با ورق اتصال..... ۱۲۵
- شکل ۴۴-۵ رفتار چرخه ای مهاربند $RB-5$ ۱۲۵
- شکل ۴۵-۵ منحنی نیرو-تغییرمکان مهاربند کامل..... ۱۲۶
- شکل ۴۶-۵ منحنی نیرو-تغییرمکان مهاربند کامل..... ۱۲۷
- شکل ۴۷-۵ منحنی برش پایه-تغییرمکان بام، ساختمان های سه و شش طبقه با مهاربند های متوازن..... ۱۲۷
- شکل ۴۸-۵ منحنی نیروی محوری مهاربندها-تغییرمکان بام، ساختمان سه طبقه..... ۱۲۸
- شکل ۴۹-۵ منحنی نیروی محوری مهاربندها-تغییرمکان بام، ساختمان شش طبقه..... ۱۲۹
- شکل ۵۰-۵ منحنی طیف پاسخ و طیف ظرفیت ساختمان شش طبقه..... ۱۲۹
- شکل ۵۱-۵ اتصال مهاربند با استفاده از ورق میانگذر..... ۱۳۰
- شکل ۵۲-۵ تنش های فون میسز در تغییرمکان ۵۰ میلیمتر تحت بار فشاری اتصال مهاربند با استفاده از ورق میانگذر..... ۱۳۲
- شکل ۵۳-۵ منحنی نیرو-تغییرمکان مهاربند با ورق میانگذر و اتصال معمولی در فشار..... ۱۳۲
- شکل ۵۴-۵ تنش های فون میسز در تغییرمکان ۱۳۰ میلیمتر تحت بار کششی اتصال مهاربند با استفاده از ورق میانگذر..... ۱۳۳
- شکل ۵۵-۵ منحنی نیرو-تغییرمکان مهاربند با ورق میانگذر و اتصال معمولی در کشش..... ۱۳۳
- شکل ۵۶-۵ اتصال مهاربند به کمک ورق میانگذر در مهاربندهای ضربدری..... ۱۳۴
- شکل ۵۷-۵ تنش های فون میسز تحت بار فشاری، مهاربند متوازن با استفاده از ورق میانگذر به طول آزاد ۱۰۰ میلیمتر..... ۱۳۴
- شکل ۵۸-۵ روش هایی برای جلوگیری از کمانش ورق میانگذر..... ۱۳۶
- شکل ۵۹-۵ محدود کردن مهاربند با استفاده از مقاطع نیم قوطی..... ۱۳۶
- شکل ۶۰-۵ شکل کمانش یافته مهاربند مدل "ی"..... ۱۳۷
- شکل ۶۱-۵ منحنی نیرو-تغییرمکان محوری مهاربند مدل "ی"..... ۱۳۷
- شکل ۶۲-۵ پدیده باریک شدگی در کشش..... ۱۳۸
- شکل ۶۳-۵ تقاضای تغییرمکانی در امتداد مهاربند بر حسب ابعاد مختلف قاب..... ۱۳۹
- شکل ۶۴-۵ مقطع مهاربند در نزدیکی ورق اتصال..... ۱۴۱

- شکل ۶۵-۵ منحنی نیرو-تغییر مکان مهاربند متوازن طراحی شده ۱۴۲
- شکل ۶۶-۵ تنش در مهاربند متوازن تحت بار یکطرفه فشاری ۱۴۲
- شکل ۶۷-۵ بارگذاری چرخه ای اعمال شده به مهاربند متوازن ۱۴۳
- شکل ۶۸-۵ منحنی هیستریزیس مهاربند متوازن طراحی شده مدل "ی" ۱۴۳
- شکل ۶۹-۵ کمانش ورق میانگذر در چرخه ۴۰ میلیمتر ۱۴۴
- شکل ۷۰-۵ علت افت های موضعی در منحنی هیستریزیس ۱۴۵
- شکل ۷۱-۵ جزئیات لازم برای جلوگیری از کمانش ورق میانگذر در تحلیل چرخه ای ۱۴۶
- شکل ۷۲-۵ مدل بررسی شده ۱۴۷
- شکل ۷۳-۵ منحنی هیستریزیس مهاربند متوازن ۱۴۷
- شکل ۷۴-۵ تنش ورق میانگذر در گام های مختلف بارگذاری ۱۴۸
- شکل ۷۵-۵ تغییر ابعاد مقطع ورق میانگذر بر حسب تغییر طول محوری ۱۴۹
- شکل ۷۶-۵ جزئیاتی برای جلوگیری از کمانش ورق میانگذر ۱۴۹

قاب‌های مهاربندی شده همگرا برای مقاومت در برابر بارهای جانبی از تلاش‌های محوری اعضای مهاربندی استفاده می‌نمایند. این نوع سیستم‌های باربر جانبی دارای سختی جانبی زیادتری نسبت به قاب‌های خمشی می‌باشند. سختی جانبی زیاد، باعث می‌شود تغییرشکل‌های جانبی قاب مهاربندی شده در هنگام زلزله، کمتر بوده و در نتیجه اثرات ناشی از غیرخطی شدن هندسی و آسیب به اعضای غیر سازه‌ای کاهش یابد. معیارهای تعیین‌کننده رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، سختی، مقاومت و شکل‌پذیری می‌باشد. در یک طراحی لرزه‌ای مناسب، از سازه انتظار می‌رود علاوه بر سختی و مقاومت لازم در برابر بارهای ثقلی و جانبی، بتواند انرژی وارد شده بر سازه در اثر زلزله را جذب نماید. این جذب انرژی می‌تواند با ورود سازه به مرحله غیرارتجاعی صورت گیرد، اما در عین حال نباید در باربری ثقلی سازه نیز خللی وارد شود. بنابراین در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، عناصری در سازه تعیین می‌گردند که به آنها اجازه داده می‌شود وارد مرحله غیرخطی شده و جذب انرژی نمایند، در حالیکه سایر اجزای سازه الاستیک باقی می‌مانند تا باربری ثقلی به خطر نیفتد. در صورتیکه به هیچ یک از عناصر سازه اجازه ندهیم وارد مرحله غیرخطی شوند، طرح سازه ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد.

در قاب‌های مهاربندی شده همگرا، مهاربندها عناصر اصلی مقاومت در برابر بارهای جانبی و عناصر کنترل‌شونده توسط تغییرمکان هستند که از آنها انتظار می‌رود در زلزله‌های شدید غیر ارتجاعی شده و جذب انرژی نمایند. سایر اعضای سازه همانند تیر، ستون و اتصالات باید برای حداکثر نیروهایی که در مهاربند یا کل سیستم ایجاد می‌شود، به صورت الاستیک طرح گردند. تلاش‌های شکل‌پذیر مهاربندها کماتش غیرارتجاعی در فشار و تسلیم در کشش بوده که تأمین‌کننده رفتار غیرخطی مهاربندها می‌باشند.

با توجه به شرایط عملی و اقتصادی موجود و با تعریف دستورالعمل‌های پیچیده و سخت‌گیرانه برای طراحی و ساخت قاب‌های خمشی ویژه بعد از زلزله نورتریج، استفاده از قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه به خصوص برای ساختمان‌های کوتاه و متوسط افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است، اما خرابی‌های این نوع سیستم‌ها در زلزله‌های اخیر، باعث نگرانی و تردید در ظرفیت نهایی تغییرشکل این سیستم‌ها شده است، [۲۲].

علل مختلفی برای رفتار ضعیف سیستم‌های مهاربندی وجود دارد. برای مثال، مهاربندها شکل‌پذیری یا ظرفیت جذب انرژی محدودی تحت بارهای چرخه‌ای داشته و بسیاری از اتصالات رفتار ترد و شکننده‌ای از خود نشان داده‌اند. رفتار چرخه‌ای مهاربندها نیز بسیار پیچیده می‌باشد، رفتار نامتقارن در کشش و فشار و نیز افت مقاومت قابل توجه در فشار. این رفتار پیچیده باعث تفاوت‌های عمده‌ای بین نیروهای داخلی و تغییرمکان‌هایی که با روش‌های معمولی تحلیل که از مدل‌های رفتاری الاستیک استفاده می‌کنند و مقادیر واقع بینانه‌تری که با

روش‌های غیر خطی بدست می‌آیند، می‌شود. عواقب این تفاوت‌ها به این شرح می‌باشد: مهاربندهای انتخاب شده برای بعضی طبقات بسیار قوی‌تر از مقدار مورد نیاز می‌باشند در حالیکه ظرفیت مهاربندهای دیگر بسیار نزدیک به اهداف طراحی می‌باشد و توزیع نیرو در تیرها و ستون‌ها اغلب بسیار متفاوت از آن چیزی است که در زلزله واقعی رخ می‌دهد. در نتیجه این عوامل، خرابی معمولاً در تعداد طبقات کمی متمرکز می‌شود. همچنین کمانش جانبی مهاربندها باعث خرابی اعضای غیر سازه‌ای مجاور با آن می‌شود.

ابعاد مقطع مهاربند معمولاً بر اساس مقدار فشاری که مهاربندها لازم است تحمل نمایند، تعیین می‌شوند که در اغلب اوقات بزرگتر از ابعاد لازم برای تحمل کشش موجود در مهاربند است. از طرفی اتصال مهاربند به تیر یا ستون و اعضای پشت سر آن باید برای نیروی بیشتر، یعنی ظرفیت کششی مقطع مهاربند، طراحی شود. این در حالی است که ابعاد مقطع مهاربند با توجه به تامین رفتار فشاری لازم بدست آمده، که موجب می‌گردد اعضا و اجزای کنترل‌شونده توسط نیرو بسیار بزرگ گردند.

در مهاربندهای ۷ و ۸ تفاوت ظرفیت کششی و فشاری باعث می‌شود که نیروی نامتعادل بزرگی به تیر وارد شود که برای حفظ مقاومت جانبی سازه و عدم آسیب به باربری ثقلی، تیر باید به صورت الاستیک برای این نیرو طراحی شود. بنابراین ابعاد بدست آمده برای تیر دهانه مهاربندی تحت این بارگذاری بسیار بزرگتر از ابعاد لازم تحت بارهای ثقلی گردیده و گاهی اوقات تناسب هندسی اعضای سازه را به صورت جدی مختل می‌نماید.

برای بهبود رفتار و بهینه‌سازی قاب‌های مهاربندی شده همگرا باید ظرفیت فشاری و کششی مهاربندها به هم نزدیک گردند. یکی از روش‌هایی که تا کنون برای بهبود رفتار مهاربندها به کار برده شده است، استفاده از سیستم‌های مهاربندی با استفاده از مهاربندهای مقید در برابر کمانش^۱ می‌باشد. در این سیستم‌ها از کمانش فشاری مهاربند با ایجاد یک غلاف مقید کننده در اطراف آن جلوگیری می‌شود. البته این غلاف‌ها باید به گونه‌ای جزئیات بندی شوند که در باربری کششی یا فشاری شرکت نداشته باشند. این روش با اینکه رفتار مطلوبی برای سیستم مهاربندی ایجاد می‌کند ولی از نظر اجرایی بسیار پیچیده و گران می‌باشد و نیز به علت نداشتن نظام اجرایی کارآمد در کشور، استفاده از این سیستم‌ها باید با مراقبت‌های زیادی همراه باشد.

روش دیگر بهبود رفتار قاب‌های مهاربندی شده همگرا، کاهش تفاوت مقادیر ظرفیت کششی و فشاری مهاربندها از طریق کاهش مساحت مهاربند در نقاط خاصی از طول و در طول محدودی می‌باشد. این نوع مهاربندها در این پایان‌نامه به نام مهاربند متوازن نام گذاری شده‌اند و رفتار فشاری و کششی آنها به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش مساحت مقطع باعث کاهش ظرفیت کششی مهاربند می‌شود و اگر این کاهش مساحت در طولی محدود صورت گیرد و یا به گونه‌ای جزئیات بندی شود که از کمانش‌های موضعی و نامطلوب جلوگیری شود، ظرفیت فشاری مقطع تفاوت قابل ملاحظه‌ای نخواهد کرد.

^۱ Buckling Restrained Braced Frames, BRBF

ساختار پایان نامه:

در فصل دوم این تحقیق، به بررسی ادبیات فنی موجود در زمینه رفتار مهاربندها و قاب های مهاربندی شده همگرا پرداخته می‌شود. در این فصل پیچیدگی‌های رفتار اعضای مهاربندی در فشار بررسی شده و اثرات چرخه‌های متعدد بارگذاری، مقطع مهاربند و لاغری آن بررسی می‌شود. از طرف دیگر در این بخش به بررسی کاربرد روش‌های طراحی بر اساس عملکرد که هم اکنون توسعه خوبی برای قاب‌های خمشی ویژه یافته‌اند، برای قاب‌های مهاربندی پرداخته می‌شود و مراحل انجام این تحلیل ارائه می‌گردند. نتایج آزمایشی که بر روی یک قاب مهاربندی دو طبقه صورت گرفته (۳۸) نیز بررسی شده است. در انتهای این فصل، بعضی از روش‌هایی که برای بهبود رفتار قاب‌های مهاربندی شده بکار می‌روند، از جمله استفاده از مهاربندهای مقید در برابر کمانش و سیستم‌های مهاربندی با ستون همبند مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

در فصل سوم، معیارهای دستورالعمل لرزه‌ای *AISC* [۲]، در ارتباط با طراحی قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه توضیح داده شده و سعی گردیده مفاهیم مستتر در آنها شرح داده شود. سپس روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی و ضوابط مربوط به آن توضیح داده شده است. در این پایان نامه از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای مطالعه و مقایسه رفتار قاب‌ها استفاده گردیده است. در انتهای این فصل نیز دو ساختمان مسکونی سه و شش طبقه با سیستم قاب مهاربندی همگرای ویژه، طبق ضوابط دستورالعمل لرزه‌ای، طراحی شده و بر روی آنها تحلیل بارافزون صورت گرفته است.

در فصل چهارم به بررسی کلی ایده مهاربند متوازن پرداخته می‌شود. مفاهیم مرتبط با مهاربندهای متوازن و علل استفاده و تعریف این سیستم، توضیح داده شده است. مبانی انجام تحلیل‌های تکمیلی بر روی مهاربندها، از جمله مقاطع در نظر گرفته شده، خواص مصالح، روش‌های تحلیل و نرم افزارهای بکار رفته شده آورده شده‌اند. در حقیقت این فصل مقدمه‌ای بر فصل پنجم که در برگیرنده نتایج تحلیل‌ها است، می‌باشد.

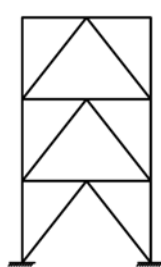
در فصل پنجم ابتدا به بررسی نتایج تحلیل‌های انجام شده بر روی یک عضو در کشش با استفاده از روش‌های مختلف تحلیل پرداخته شده است. سعی شده است ابتدا تحلیل‌ها به صورت دستی و با کمک روابط مقاومت مصالح صورت گرفته و سپس تحلیل‌های تکمیلی‌تر با استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود انجام شده است. پس از بررسی رفتار کششی به مطالعه رفتار فشاری پرداخته شده است. در این قسمت نیز ابتدا کمانش ارتجاعی مهاربندهای کامل و متوازن، با استفاده از روش‌های تقریبی موجود مورد مطالعه قرار گرفته و سپس کمانش ارتجاعی، غیر ارتجاعی و مقاومت پس کمانشی آنها به کمک نرم افزارهای اجزاء محدود بررسی شده است. حالت‌های مختلف نقص اولیه اعمال شده به مدل‌های اجزا محدود و دامنه آن، که برای انجام تحلیل کمانش غیرخطی الزامی است، بررسی شده است. بررسی امکان کمانش موضعی مهاربندهای متوازن بخش عمده ای از تحلیل‌ها را شامل می‌شود. اثر ورق اتصال بر روی رفتار فشاری مهاربند نیز در این فصل مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس قاب های سه و شش طبقه که در فصل سوم طراحی شده بودند با استفاده از مهاربند متوازن طراحی شده و تحلیل استاتیکی غیرخطی بر روی آنها صورت گرفته است. استفاده از اتصال مهاربند به کمک ورق

میانگذر، که شرایط مناسبی برای کمانش داخل صفحه مهاربند فراهم می آورد نیز بررسی شده است. با استفاده از کاهش مساحت ورق میانگذر، امکان رسیدن به انواع مطلوبی از مهاربند متوازن ایجاد شده که در انتهای این فصل به بررسی دقیق آن و تدوین معیارهای طراحی برای مهاربندهای متوازن با ورق میانگذر پرداخته شده است.

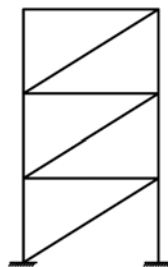
۲ رفتار قابهای مهاربندی شده در زلزله

قاب مهاربندی شده، یک خرپای طره‌ای قائم یا ترکیبی از این خرپاها می‌باشد که برای انتقال نیروهای جانبی وارد بر ساختمان به پی، طرح می‌گردد. همانطور که در مقدمه اشاره گردید، عناصر شکل پذیر در قابهای مهاربندی شده همگرا، مهاربندها بوده که از آنها انتظار می‌رود در زلزله های شدید غیر ارتجاعی شده و جذب انرژی نمایند.

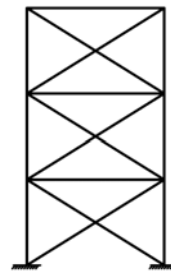
پیکربندی انواع مختلف سیستم‌های مهاربندی همگرا^۲ در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. در سیستم‌های مهاربندی شده همگرا، خطوط مرکزی اجزا همدیگر را در یک یا چند نقطه قطع می‌کنند بطوریکه فاصله بین نقاط تقاطع، یا خروج از مرکزیت e ، کوچکتر یا مساوی عرض کوچکترین عضو متصل شونده به گره باشد. در این سیستم‌ها بسته به جزئیات انتخاب شده برای اتصالات، اتصال تیر به ستون و یا مهاربند به تیر یا ستون می‌تواند مفصلی یا گیردار باشد.



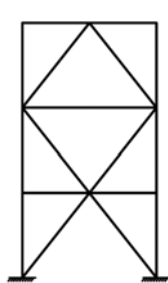
مهاربندهای ۸-شکل



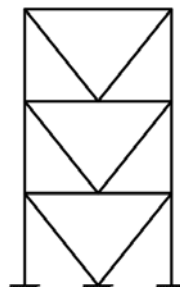
مهاربندهای قطری



مهاربندهای ضربدری



مهاربندهای ضربدری دو طبقه



مهاربندهای ۷-شکل

شکل ۱-۲ انواع سیستم های مهاربندی همگرا

^۲ Concentrically braced frames (CBF)