بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران–زلزله

بررسی رفتار چرخه ای و شکل پذیری قابهای فولادی دارای مهاربند های همگرا

مهرداد علی پور

استاد راهنما:

دکتر علی اکبر آقاکوچک

زمستان ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

نگارنده بر خود می‌داند که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای پروفسور آقاکوچک در راستای انجام این پروژه در طول دو سال گذشته تشکر و قدردانی نماید.

چکیده

قابهای مهاربندی همگرای فولادی یکی از متدوالترین سیستم های سازه ای برای مقابله با بارهای جانبی از قبیل زلزله و باد می باشد. این گونه سیستم های سازه ای بسیار اقتصادی هستند و از سختی و مقاومت بالایی بر خوردار هستند. سختی زیاد آن ها از شکل پذیر بودن آن می کاهد. از طرفی نیاز به شکل پذیر بودن سیتم های سازه ای برای مستهلک کردن انرژی در حین زلزله، لازم می باشد. از این رو نیاز به اعمال ضوابطی برای شکل پذیر تر کردن قابهای مهاربندی همگرا احساس می شد. اخیرا آیین نامه های لرزه ای ضوابطی را برای شکل پذیر کردن این نوع سیستم های سازه ای ارائه و آن ها را به دو گروه با شکل پذیری ویژه و عادی تقسیم بندی کرده اند.

زلزله های شدید گذشته نشان داده اند که سیستم مهاربندی همگرا، گرچه یک سیستم مناسب در مقابل بار جانبی و زلزله می باشد ولی ممکن است عملکرد خوبی نداشته و رفتار ایده الی که در آیین نامه ها ذکر شده است را از خود نشان ندهند. در این مطالعه ضوابطی که در آیین نامه ها برای شکل پذیر کردن قابهای مهاربندی همگرا در آیین نامه ها بیان شده بود، مد نظر قرار گرفت. با مدل سازی نمونه هایی که بر اساس این ضوابط طراحی شده بودند، رفتار لرزه ای این نوع سیستم ها با آنی که در آیین نامه ها عنوان شده، مقایسه و بررسی شد. در ادامه تاثیر پارامتر های مختلف موثر در رفتار لرزه ای این گونه قابها بررسی شد. پارامتر هایی که در این مطالعه در نظر گرفته شدند عبارت بودند از: فاصله آزاد انتهایی مهاربند در ورق اتصال، ضخامت ورق اتصال، زاویه مهاربند و هندسه ورق اتصال. اثر فاصله آزاد انتهایی در رفتار لرزه ای این گونه سازه ها، در سیستم های با ورق اتصال مستطیلی و باریک شده بررسی شد. بمنظور داشتن درک بهتر از رفتار لرزه ای و حد نهایی شکل پذیری در این گونه قابها از مفهوم کرنش معادل پلاستیک برای پیش بینی شکست در نواحی بحرانی استفاده شد. این نواحی بحرانی عبارت بودند از: میانه مهاربند و گوشه ورق اتصال محل اتصال آن به تیر یا ستون.

کلید واژه: قابهای مهاربندی همگرا، شکل پذیری عادی و ویژه، ورق اتصال، رفتار لرزه ای.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- پیشینه تحقیق ۵

۲-۱- عضو مهاربندی ۵

۲-۲- ورق اتصال ۱۴

2-2-1- فاصله آزاد انتهایی ۲۷

۲-۲-۲- هندسه ورق اتصال ۲۸

۲-۲-۳- ضخامت ورق اتصال ۲۹

۲-۲-۴- اندازه تیرها و ستون ها ۳۰

۲-۲-۵- زاویه مهاربند ۳۰

۲-۲-۶- طول جوش اتصال مهاربند به ورق اتصال ۳۲

۲-۳- تحلیل شکست ۳۲

۲-۳-۱- پیش بینی شکست ۳۴

۲-۳-۱-۱- روش های تجربی بر اساس تنش ۳۴

۲-۳-۱-۲- روش های بر اساس مکانیک شکست ۳۵

۲-۳-۱-۳- روش های بر اساس کرنش ۳۶

۲-۴- نحوه ی مدل سازی رفتار اعضای قاب ۳۹

۲-۴-۱- مدل کردن رفتار هیستریتیک اعضای فولادی ۳۹

۲-۴-۱-۱- مدل های تجربی ۳۹

۲-۴-۱-۲- مدل های فیزیکی ۴۲
۲-۴-۱-۳- مدل های المان محدود پیوسته ۴۳
۲-۴-۲- مدل کردن تاثیرات خستگی با تکرار کم ۴۶
فصل ۳- مدل سازی عددی و اعتبار سنجی ۵۰
۳-۱- مقدمه ۵۰
۳-۲- مدل سازی در نرم افزار المان محدود ۵۰
۳-۲-۱- مشخصات نمونه ها ۵۰
۳-۲-۲- مشخصات مصالح ۵۲
۳-۲-۳- مش بندی و نوع المان ۵۲
۳-۲-۴- عیوب اولیه قطعه ۵۳
۳-۲-۵- بارگذاری ۵۴
۳-۲-۶- شرایط مرزی ۵۵
۳-۲-۷- تحلیل شکست ۵۵
۳-۳- اعتبار سنجی ۵۶
فصل ۴- رفتار قابهای مهاربندی شده همگرا طراحی شده بر اساس آیین نامه ۶۰
۴-۱- مقدمه ۶۰
۴-۲- مشخصات نمونه های مدل سازی شده ۶۳
۴-۳- نتایج تحلیل ها ۶۷
فصل ۵- مطالعات پارامتری ۷۵
۵-۱- مقدمه ۷۵
۵-۲- نمونه مرجع ۷۶
۵-۳- تاثیر فاصله آزاد انتهایی مهاربند در ورق اتصال ۷۸
۵-۳-۱- جزئیات مدل ها ۷۸

۵-۳-۲- نتایج تحلیل ها ۸۰
۵-۳-۲-۱- نمونه ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت ثابت ورق اتصال ۸۰
۵-۳-۲-۲- نمونه ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت متغییر ورق اتصال ۸۶
۵-۳-۲-۳- نمونه ها با ورق اتصال باریک شده ۹۳
۵-۴- تاثیر ضخامت ورق اتصال ۹۸
۵-۴-۱- مشخصات نمونه ها ۹۸
۵-۴-۲- نتایج تحلیل ها ۹۹
۵-۵- تاثیر هندسه ورق اتصال ۱۰۶
۵-۵-۱- مشخصات نمونه ها ۱۰۷
۵-۵-۲- نتایج تحلیل ها ۱۰۷
۵-۶- تاثیر زاویه مهاربند ۱۱۳
۵-۶-۱- مشخصات نمونه ها ۱۱۴
۵-۶-۲- نتایج تحلیل ها ۱۱۵
فصل ۶- خلاصه و نتیجه گیری ۱۲۱
۶-۱- مقدمه ۱۲۱
۶-۲- خلاصه نتایج ۱۲۲
۶-۳- نتیجه گیری ۱۲۵
۶-۴- پیشنهادات برای مطالعات آینده ۱۲۵
ضمیمه أ -نمودارهای هیستریتیک نمونه ها ۱۳۰
ضمیمه ب -نتایج گرافیکی تحلیل ها ۱۴۵
فهرست مراجع ۱۲۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۳ مشخصات مکانیکی مصالح ۵۲

جدول ۳-۱ مشخصات نمونه اعتبار سنجی [۱۷] ۵۶

جدول ۳-۲ مشخصات مصالح مر بوط به نمونه اعتبار سنجی [۱۷] ۵۷

جدول ۴-۱ مشخصات نمونه های مربوط به آیین نامه ۶۵

جدول ۴-۲ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای سری نمونه های مربوط به آیین نامه ۶۹

جدول ۵-۱ مشخصات نمونه مرجع ۷۶

جدول ۵-۲ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای نمونه مرجع ۷۷

جدول ۵-۳ مشخصات نمونه های سری فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال ۷۹

جدول ۵-۴ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای سری نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال ۸۰

جدول ۵-۵ مشخصات نمونه های سری ضخامت ورق اتصال ۹۹

جدول ۵-۶ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای سری نمونه های ضخامت ورق اتصال ۱۰۰

جدول ۵-۷ مشخصات نمونه های سری هندسه ورق اتصال ۱۰۷

جدول ۵-۸ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای سری نمونه های هندسه ورق اتصال ۱۰۹

جدول ۵-۹ مشخصات نمونه های سری زاویه مهاربند ۱۱۵

جدول ۵-۱۰ نتایج بدست آمده از تحلیل ها برای سری نمونه های زاویه مهاربند ۱۱۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ شکل نمونه های آزمایشگاهی یوریز و مهین [۵] ۷

شکل ۲-۲ کمانش خارج از صفحه مهاربند [۵] ۷

شکل ۲-۳ شکل نهایی نمونه کمانش کرده ی آزمایش یوریز [۵] ۸

شکل ۲-۴ فرضیات و شرایط مرزی آزمایشات یوریز [۵] ۹

شکل ۲-۵ مقایسه نمودار های پوش آور مدل های یوریز [۵] ۹

شکل ۲-۶ مقایسه رفتار کلی هیستریتیک مدل های FNF و FWF [۵] ۱۰

شکل ۲-۷ مقایسه نمودارهای پوش آور رفتار کلی نمونه ها با اتصال مفصلی [۵] ۱۱

شکل ۲-۸ رفتار کلی مدل های FWF و FNF با اتصال مفصلی [۵] ۱۲

شکل ۲-۹ مهاربند X-دوطبقه [۵] ۱۳

شکل ۲-۱۰ مقایسه نمودار های هیستریتیک مدل های X-دوطبقه و شورن ساده دو طبقه [۵] ۱۳

شکل ۲-۱۱ مجموعه آزمایش آستانه اصل ۱۴

شکل ۲-۱۲ (a) کمانش در صفحه (b) خارج از صفحه اعضای مهاری ۱۵

شکل ۲-۱۳ پارگی در ورق اتصالی که در آن فاصله آزادی در انتهای مهاربند وجود ندارد ۱۶

شکل ۲-۱۴ رفتار نرم (انعطاف پذیر) ورق اتصال با منظور نمودن فاصله 2t ۱۶

شکل ۲-۱۵ تعمیم مفهوم وایتمور به صفحات اتصال جوش شده (صفحات با اتصال جوش)(پیشنهاد شده توسط آستانه اصل ۱۹۸۲ [۱۳]) ۱۷

شکل ۲-۱۶ فاصله 2t برای ورق های اتصال در اعضای مهاری با کمانش برون صفحه ای (آستانه اصل ۱۹۸۲[۱۳]) ۱۷

شکل ۲-۱۷ ابعاد نمونه های آزمایش های رابینویچ الف: نمونه های A-1 تا A-4 ب:ابعاد نمونه A-5 مطابق با توصیه آستانه و AISC ۱۷
شکل ۲-۱۸ مجموعه آزمایش ورق های اتصال در آزمایش چرخه ای آستانه اصل ۱۹۹۸ [۱۲] ۱۹
شکل ۲-۱۹ نمونه های آزمایش شده توسط آستانه اصل۸ ۱۹۹ [۱۲] ۲۰
شکل ۲-۲۰ نمودار نیروی برشی- جابجایی برشی نمونه ۱ [۱۲] ۲۱
شکل ۲-۲۱ نمودار نیروی برشی- جابجایی برشی نمونه ۲ [۱۲] ۲۲
شکل ۲-۲۲ نمودار نیروی برشی- جابجایی برشی نمونه ۳ [۱۲] ۲۳
شکل ۲-۲۳ a) مدل آزمایشگاهی مطالعه یو b) شکل مدل های آزمایشگاهی c) نمونه ای از مدل سازی المان محدود d) تاریخچه بارگذاری در مطالعات یو [۴] ۲۵
شکل ۲-۲۴ کمانش در میانه مهاربند و گوشه ورق اتصال در مطالعات یو [۴] ۲۶
شکل ۲-۲۵ a) رعایت فاصله آزاد $2t_p$ در اتنهای مهاربند b) رعایت فاصله آزاد بیضوی ۲۷
شکل ۲-۲۶ هندسه ورق اتصال ۲۸
شکل ۲-۲۷ ضخامت ورق اتصال ۲۹
شکل ۲-۲۸ اندازه تیر و ستون ۳۰
شکل ۲-۲۹ زاویه مهاربند ۳۱
شکل ۲-۳۰ اعمال تنش های پلاستیک بیشتر به ستون در مهاربند با شیب 60° [۴] ۳۱
شکل ۲-۳۱ استفاده از قسمتی از نمودارهای هیستریتیک برای پیش بینی شکست [۲۱] ۳۲
شکل ۲-۳۲ نمودار های هیستریتیک برای مدل های عددی بوک ون و مدل های آزمایشگاهی [۳۱]. ۴۰
شکل ۲-۳۳ مدل های اولیه رفتار هیستریتیک مهاربند ها [۳۲] ۴۰
شکل ۲-۳۴ a) پاسخ آزمایشگاهی مهاربند های فولادی b) پاسخ مدل تجربی [۵] ۴۱
شکل ۲-۳۵ شکل شماتیک مدل های چند المانی برای المان تیر-ستون [۵] ۴۲
شکل ۲-۳۶ چند نمونه از مقاطع مورد استفاده و نحوه ی لایه بندی آنها [۵] ۴۳
شکل ۲-۳۷ مشخصات هندسی و بارگذاری مطالعه پارامتری یوریز [۵] ۴۴

شکل ۲-۳۸ در نظر گرفتن عیب اولیه مهاربند ها [۵]..... ۴۵
شکل ۲-۳۹ a) آزمایش مقطع فولادی تو خالی b) نتایج تحلیل بوسیله OpeenSees [۵] ۴۵
شکل ۲-۴۰ نمودار های هیستریتیک بدست آمده از آزمایش و تحلیل المان محدود برای عضو فولادی با مقطع تو خالی [۵]..... ۴۶
شکل ۲-۴۱ نمودار منحنی های هیستیریتیک بار محوری- جابجایی محوری را برای دو نمونه تک محوری و مکان اتفاق افتادن شکست [۵]..... ۴۷
شکل ۲-۴۲ مقایسه پارامتر ها ی خستگی با تکرار کم برای مصالح و مقاطع مختلف [۵]..... ۴۸
شکل ۳-۱ نمونه ای از مدل های ساخته شده در نرم افزار ۵۱
شکل ۳-۲ مدل سازی رفتار مصالح در نرم افزار [۱۷]..... ۵۲
شکل ۳-۳ مدلی از مش بندی در مدل سازی ها..... ۵۳
شکل ۳-۴ مدل سازی عیب اولیه قطعه [۱۷] ۵۴
شکل ۳-۵ پروتئکل بارگذاری ATC 24 ..... ۵۴
شکل ۳-۶ شرایط مرزی اعمالی در مدل سازی..... ۵۵
شکل ۳-۷ مشخصات اتصال مدل اعتبار سنجی [۱۸]..... ۵۷
شکل ۳-۸ مدل آزمایشگاهی یو [۱۷]..... ۵۷
شکل ۳-۹ نمودار هیستریتیک بدست آمده از اعتبار سنجی و مقایسه آن با نتایج یو[]..... ۵۸
شکل ۳-۱۰ کمانش در میانه مهاربند در مطالعه اعتبار سنجی..... ۵۹
شکل ۳-۱۱ کمانش در ورق اتصال در مطالعه اعتبار سنج..... ۵۹
شکل ۳-۱۲ کمانش کلی برای مدل ها در مطالعه اعتبار سنج ۵۹
شکل ۴-۱ پلان و تراز نمونه های تحلیل شده در نرم افزار تحلیل سازه..... ۶۳
شکل ۴-۲ نمونه ای از قابهای تحلیل شده و شرایط مرزی ۶۳
شکل ۴-۳ رابطه ی پیشنهادی تورنتون[]..... ۶۶

شکل ۴-۴ مشخصات نمونه های الف. نمونه O-R-W ب. نمونه O-R-NC ج. نمونه S-R-2T د.. نمونه S-T-2T ه. نمونهS-R-GPSTIFF ۶۵
شکل ۴-۵ ن نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه O-R-NC..... ۶۸
شکل ۴-۶ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه S-R-2T..... ۶۸
شکل ۴-۷ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهS-R-GPSTIFF ۶۸
شکل ۴-۸ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها..... ۷۰
شکل ۴-۹ کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه ها..... ۷۰
شکل ۴-۱۰ کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه ها..... ۷۰
شکل ۵-۱..... ۷۶
شکل ۵-۲ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه مرجع..... ۷۷
شکل ۵-۳ فاصله آزاد انتهایی..... ۷۸
شکل ۵-۴ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهR12NC28 ..... ۸۲
شکل ۵-۵ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهR12W-2T65 ..... ۸۲
شکل ۵-۶ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه R12-2T94..... ۸۲
شکل ۵-۷ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت..... ۸۵
شکل ۵-۸ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت..... ۸۵
شکل ۵-۹ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت..... ۸۵
شکل ۵-۱۰ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهR10NC28 ..... ۸۸
شکل ۵-۱۱ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهR16W-2T65 ..... ۸۸
شکل ۵-۱۲ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهR22-2T94 ..... ۸۸

شکل ۵-۱۳ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت متغییر ۹۱
شکل ۵-۱۴ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت متغییر ۹۱
شکل ۵-۱۵ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت متغییر ۹۱
شکل ۵-۱۶ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهT12NC28 ..... ۹۵
شکل ۵-۱۷ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهT12W-2T55 ..... ۹۵
شکل ۵-۱۸ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهT12-2T64 ..... ۹۵
شکل ۵-۱۹ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال باریک شده ۹۶
شکل ۵-۲۰ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال باریک شده ۹۶
شکل ۵-۲۱ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال باریک شده ۹۶
شکل ۵-۲۲ ..... ۹۸
شکل ۵-۲۳ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهGPT8 ..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۴ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهGPT20 ..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۵ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه GPT30 ..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۶ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها ضخامت ورق اتصال ۱۰۴
شکل ۵-۲۷ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های ضخامت ورق اتصال ۱۰۴

شکل ۵-۲۸ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های ضخامت ورق اتصال..... ۱۰۴
شکل ۵-۲۹..... ۱۰۷
شکل ۵-۳۰ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه Tap15..... ۱۰۹
شکل ۵-۳۱ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهTap20 ..... ۱۰۹
شکل ۵-۳۲ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه Tap25..... ۱۰۹
شکل ۵-۳۳ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها هندسه ورق اتصال..... ۱۱۲
شکل ۵-۳۴ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های هندسه ورق اتصال ۱۱۲
شکل ۵-۳۵ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های هندسه ورق اتصال ۱۱۲
شکل ۵-۳۶..... ۱۱۴
شکل ۵-۳۷ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهBrAg 37.5 ..... ۱۱۷
شکل ۵-۳۸ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونهBrAg 30 ..... ۱۱۷
شکل ۵-۳۹ نمودار هیستریتیک حاصل از تحلیل نمونه BrAg45..... ۱۱۷
شکل ۵-۴۰ مقایسه پوش نمودار های هیستریتیک نمونه ها زاویه مهاربند..... ۱۱۹
شکل ۵-۴۱ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه های زاویه مهاربند..... ۱۱۹
شکل ۵-۴۲ نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه های زاویه مهاربند ۱۱۹

فصل ۱- مقدمه

در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج ضعف هایی در سیستم قابهای خمشی مشاهده شد. بعد از آن مجددا گرایش چشمگیری به استفاده از قابهای مهاربندی فولادی همگرا به عنوان سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی در بین مهندسان مشاهده شد. سیستم های مهاربندی همگرای فولادی بسیار اقتصادی هستند و همچنین سختی و مقاومت کافی آن ها این نوع سیستم ها را برای طراحی لرزه ای بسیار مناسب کرده است.

به همین دلیل آیین نامه های لرزه ای نیز به این نوع از سازه ها توجه ویژه ای نشان داده اند و ویرایش های جدید این نوع آیین نامه ها آن ها را به دو گروه قابهای مهاربندی همگرای با شکل پذیری ویژه و معمولی تقسیم بندی کرده اند. طبق تعاریف آیین نامه ای سیستم های با شکل پذیری معمولی باید قادر به مقاومت در برابر زلزله سطح طراحی با پذیرش تغییرشکل های غیر الاستیک محدود در اعضای سازه ای و اتصالات آن ها باشند و سیستم های با شکل پذیری ویژه باید قادر به تحمل نیروهای ناشی از زلزله ی سطح طراحی با پذیرش تغییرشکل های غیر الاستیک قابل ملاحظه در اعضای سازه ای خود باشند. آیین نامه های لرزه ای با توجه به اهداف اشاره شده برای هر کدام از این نوع سازه ها ضوابط خاصی را ارائه کرده.[۱]و[۲]

در قابهای مهاربندی همگرا، مهاربندها وظیفه مقاومت در برابر بارهای جانبی را دارند. عضو مهاربندی با جاری شدن در کشش و تغییرشکل غیر الاستیک پس کمانشی در فشار، انرژی را در مدت زمان اثر زلزله مستهلک می کند. در این نوع سازه ها عضو مهاربندی معمولاً بوسیله ورق اتصال به اعضای دیگر قاب مانند تیرها و ستون ها وصل می شوند. کمانش خارج از صفحه مهاربند تغییر شکل قابل ملاحظه ای را به قسمت اتصالات و بخصوص ورق اتصال تحمیل می کند. آیین نامه های کنونی ملزم می دارند که قسمت اتصالات مهاربند به تیر و ستون، ورق اتصال و جزئیات آن مقاوم تر از خود مهاربند باشند، تا از شکست ناخواسته این قسمت ها قبل از شکست خود مهاربند اطمینان حاصل کند. همچنین

برای فراهم کردن امکان چرخش آزادانه ورق اتصال و قسمت انتهایی مهاربند، در قابهای با شکل پذیری ویژه در هنگام کمانش خارج از صفحه مهاربند، فاصله آزادی برابر با 2tp، عمود بر محور مهاربند را پیشنهاد می دهند. این ضوابط و تمهیدات ممکن است منجر به طراحی اتصال قوی و غیر اقتصادی شود و این امر خود امکان دارد روی عملکرد کل سازه تأثیرگذار باشد.

تحقیقات بسیاری در گذشته عملکرد ورق اتصال و مهاربند را مورد ارزیابی قرار داده اند. در بسیاری از این مطالعات فقط عضو مهاربند ی و یا عضو مهاربند ی به همراه ورق اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته است (شابک و براون ۲۰۰۳[۳]). و در کل کارهای کمتری به بررسی اندرکنش کامل عضو مهاربندی و ورق اتصال و کل سازه و تغییر شکل غیر الاستیک ورق اتصال پرداخته اند. اخیرا رئودر و همکارانش [۴] با مدلسازی یک قاب یک دهانه و یک طبقه انجام مطالعات عددی و آزمایشگاهی به بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در عملکرد این گونه قابها پرداختند. مقایسه ها و نتایج حاکی از اختلاف در دقت مدل های طراحی شده کنونی بر اساس آیین نامه ها بودند و پیشنهاد می دادند برای درک بهتر رفتار لرزه ای و بهبود عملکرد این سیستم ها مطالعات بیشتری انجام گیرد. همچنین لازم می داند که باید بتوان رفتار لرزه ای و عملکرد این نوع سیستم را به نحو مطمئن تر و دقیق تری پیش بینی کرد و ارتقا داد. آزمایشات یوریز و مهین(۲۰۰۸)[۵] نشان دادند که عملکرد لرزه ای این نوع سازه ها با آن که در فرضیّات در نظر گرفته شده در طراحی SCBFها متفاوت هستند و لزوم ارائه تصویری واقعی تر را از طراحی و رفتار اتصالات با ورق اتصال را گریز نا پذیر می دانند.

شکست و پیدایش ترک در مرکز مهاربند و گوشه ورق اتصال (قسمت جوش ورق اتصال به تیر و ستون) در آزمایشات و زلزله های گذشته بعنوان اصلی ترین مد های شکست در قابهای مهاربندی گزارش شده اند. علت اصلی این گونه خرابی ها در بار گذاری های لرزه ای در اکثر مواقع خستگی با بسامد کم می باشد. شکست مواد تحت تنش های کمتر از مقاومت حداکثر استاتیکی، که بصورت مکرر به عضو مورد نظر اعمال می شود، خستگی نامیده می شود. بر خلاف خستگی با تکرار زیاد که نمونه ها تحت تعداد سیکلهای زیاد (هزار ها یا ملیون ها) و توالی تنش و کرنش های کوچک در طی شکل گیری

ترک، دچار شکست می شوند، تعدا سیکلهای کم (۱۰ تـا ۱۰۰۰ سـیکل) بـه همـراه نغییـر شـکل هـای پلاستیک بزرگ عامل خستگی با بسامد کم می باشد.

اشکال مختلفی از مهاربند در قابهای مهار بندی همگرا در کار های عملی استفاده می شـود. در مطالعه حاضر قاب با مهاربند قطری در نظر گرفتـه شـد. در مهاربنـدV -شـکل و V-شـکل بـر عکـس و همچنین K-شکل نیروی نا متقارن در محل اتصال اعضای مهاربندی به تیر و ستون بوجود مـی آیـد کـه باعث ایجاد کمانش در این نواحی می شود. عامل این گونه نیروی های نا متعادل جـاری شـدگی یکـی از اعضا ی مهاربندی در حالی که عضو دیگر در حالت کمانش قرار دارد می باشد. این اتفاق در مهاربند های همگرای قطری اتفاق نمی افتد.

هدف اصلی این تحقیق بررسـی رفتـار لـرزه ای قابهـای مهاربنـدی فـولادی و تـاثیر پارامترهـای مختلف در عملکرد این گونه قابها می باشد. برای این منظور از مـدل هـای المـان محـدود اسـتفاده شـده است. در ابتدا با مدلسازی نمونه هایی که بر بر اساس آیین نامه های لرزه ای طراحی شـده بـود، مقایسـه ای بین عملکرد قابهای مهاربندی با شکل پذیری ویژه و عادی انجام شد. سپس به بررسـی تـاثیر پـارامتر های مختلف در رفتار لرزه ای این گونه قابها پرداخته شد. این پارامتر ها عمدتا مربوط بـه قسـمت اتصـال این نوع قابها بودند.

در ادامه ی این گزارش به پیشینه ی این تحقیق پرداخته می شود. سپس نحوه ی مـدل سـازی در نرم افزار المان محدود و فرضیات در نظر گرفته شده، تشریح می شود. از نـرم افـزار ABAQUS 6.8.1 برای مدل سازی نمونه ها استفاده شد.

در فصل چهار مدل های طراحی شده بر اساس آیین نامه های لرزه ای تشریح وبه بررسی نتـایج بدست آمده از تحلیل لرزه ای آنها پرداخته می شود. ۵ مدل بر اساس آیـین نامـه هـای لـرزه ای کنـونی طراحی و مدلسازی می شود. ۲ نمونه از مدل ها بر اساس قابهای مهاربندی بـا شـکل پـذیری عـادی و ۳ نمونه با شکل پذیری ویژه بود

در فصل پنج نیز مدل های متفاوتی که برای بررسی پارامتر های موثر در رفتار لرزه ای سازه ها ساخته شده، معرفی و نتایج حاصل از تحلیل آنها عنوان شده است. پارامتر های بررسی شده عمدتا مربوط به قسمت اتصال این نوع قابها بود. پارامتر های بررسی شده در این بخش عبارت بودند از: فاصله آزاد انتهایی مهاربند در ورق اتصال، ضخامت ورق اتصال، شکل هندسی ورق اتصال و زاویه عضو مهاربندی. در فصل شش نیز مروری کوتاه بر نتایج این تحقیق شده است.

فصل ۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی برخی تحقیقات مهم انجام شده و نتایج آن ها درباره ی قابهای مهاربندی و اعضای آن ها پرداخته می شود. کارهای صورت گرفته روی اعضای مهاربندی و اتصالات آن جداگانه بررسی شده است. در ادامه نیز به نحوه بررسی و مدلسازی جنبه های مختلف این گونه از قابها پرداخته شده است.

۲-۲- عضو مهاربندی

کان[۱] و هانسون[۲] (۱۹۷۶)[۶] آزمایشاتی روی میلگردهای کوچک فولادی انجام دادند که براساس $\frac{kl}{\mathrm{r}}$ بود. که آزمایشات هم به صورت سیکلی دینامیکی و هم سیکلی استاتیکی بودند. در این تحقیقات اثرات بارگذاری دینامیکی را بر روی رابطه نیروی محوری، تغییر شکل محوری بررسی کردند.

در سال ۱۹۷۸ گول[۳]و ژان[۴] [۷] ، سری آزمایشاتی روی مهاربندهایی با اندازه کوچک و مقاطع سردنوردشده انجام دادند. نتایج این آزمایشات برای کالیبراسیون یک مدل عددی برای مدل سازی اثر رفتار مهاربند ها مورد استفاده قرار گرفت.

روی میز لرزان دانشگاه برکلی آزمایشاتی با مقیاس $\frac{3}{5}$ و $\frac{3}{8}$ واقعی توسط قناعت[۵] [۸] انجام شد. در این تحقیقات به این نتیجه رسیدند که سازه های مهاربند ی که برای باد طراحی می شوند، در مقابل

[1] Kahn
[2] Hanson
[3] Goal
[4] Jain
[5] Ghanaat