بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مهندسی زلزله

بررسی شکل‌پذیری مهاربندهای واگرا و مقایسه آن با مهاربندهای همگرای ویژه

توسط:

محمد مهدی کیومرثی

اساتید راهنما :

دکتر محسن تهرانی‌زاده

دکتر تورج تقی‌خانی

اسفند ۱۳۸۶

سپاس و قدردانی:

با سپاس بیکران به درگاهش که به انسان شرافت دانش آموزی و دانش اندوزی کرامت فرمود؛
واجب است سپاس این قلم به محضر استادان و آموزگاران بزرگ آدمی که علم و اخلاقشان رهنمای دانشجو است، تقدیم شود تا شاید گوشه ای از زحمات آنان جبران گردد.
نهایت تقدیر و تشکر خود را نسبت به استاتید گرانقدرم آقایان پروفسور محسن تهرانی‌زاده و دکتر تورج تقی‌خانی جهت حمایت ها و راهنمایی‌های ارزنده شان ابراز داشته و سلامتی و توفیق روزافزون آن عزیزان را از خداوند بزرگ مسئلت می نمایم.
در پایان بر خود لازم می‌دانم که از زحمات پدر و مادر بزرگوارم به خاطر تمامی محبت‌ها، راهنمایی‌ها و تشویق‌هایشان صمیمانه تشکر نمایم.

محمد مهدی کیومرثی

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

وارستگانی که حمایت ها، تشویق ها و راهنمایی‌های

ارزنده‌شان، همواره شامل حال من بوده است

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان:

بررسی شکل‌پذیری مهاربندهای واگرا و مقایسه آن با مهاربندهای همگرای ویژه

ارائه شده توسط: محمد مهدی کیومرثی **شماره دانشجویی:** ۸۴۱۲۴۰۷۷ **گرایش:** مهندسی زلزله

اساتید راهنما: دکتر محسن تهرانی‌زاده و دکتر تورج تقی‌خانی **تاریخ تحویل:** ۱۳۸۶/۱۲/۱۴

خسارت شدید مهاربندهای همگرا در زلزله های اخیر ناشی از عدم شکل‌پذیری مناسب، ضرورت بازبینی طراحی این سیستمها را تایید می‌نماید. بر این اساس در سالهای اخیر و پس از زلزله نورتریج مهاربندهای همگرای ویژه (SCBF) معرفی و مطرح شدند. مهاربندهای همگرای ویژه بگونه ای طراحی می شوند که تغییر شکل غیر الاستیک قابل توجهی از خود نشان دهند. تحقیقات آزمایشگاهی بیانگر آنستکه سختی الاستیک قابهای مهاربندی همگرای ویژه قابل مقایسه با قابهای مهاربندی برون محور (EBF) می‌باشد. از طرفی کاربرد عملی مهاربندهای برون‌محور که به دلیل داشتن شکل‌پذیری مناسب و سختی و مقاومت قابل قبول مورد تایید تئوری و آزمایشگاهی محققین متعددی قرار دارد به دلیل هزینه اجرایی قابل توجه همچنان با مشکلاتی روبرو است.

در این پایان‌نامه با استفاده از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی سیستمهای مهاربندی EBF و SCBF، رفتار لرزه ای این سیستمها در قابهای ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه مورد مطالعه و مقایسه قرار می گیرد. درمجموع با توجه به شتابنگاشتهای اعمالی و مدلهای استفاده شده، ۲۷۰ آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی انجام شده است که پارامترهایی از قبیل شکل‌پذیری، میزان جذب و اتلاف انرژی، جابجایی ماکزیمم طبقات برای توزیع‌های مختلف بادبندی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. شتابنگاشتهای مورد استفاده از حوزه نزدیک و همچنین حوزه دور و برای مناطق لرزه خیزی بالا می‌باشد. سیستمها براساس ضوابط لرزه ای توصیه شده UBC97 طراحی و در مدل سازی المانها از دستورالعملهای FEMA356 استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهد در همه سیستمهای فوق با افزایش تعداد دهانه‌های مهاربندی در قابها ظرفیت اتلاف انرژی بیشتر می‌شود. همچنین میزان شکل‌پذیری و اتلاف انرژی سیستمهای همگرای اصلاح شده فوق قابل توجه می‌باشند. این پارامترها، تابعی از میزان PGA و محتوای فرکانسی حرکات لرزه ای ورودی می‌باشند. افزایش PGA سبب افزایش انرژی ورودی و هیسترزیس در هر سه سیستم می‌شود، و در مورد برش پایه ماکزیمم، نرخ رشد افزایش زمانیکه PGA از یک حد معین فراتر می‌رود، کندتر و بعضا ثابت می‌شود. نتایج مربوط به این آنالیزها در قالب جداول و گرافهایی ارایه گردیده اند.

کلمات کلیدی: مهاربندهای همگرای ویژه، مهاربندهای واگرا، تغییرمکان نسبی جانبی طبقات، شکل‌پذیری، تحلیل غیرخطی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- معرفی اجمالی سیستمها ۲

۱-۳- کلیات فصلها ۸

فصل دوم- سیستمهای مهاربندی واگرا (EBF)، همگرا و همگرای ویژه (SCBF)

۲-۱-مقدمه ۹

۲-۲- سیستم مهاربندی واگرا (EBF) ۱۳

۲-۲-۱- فلسفه طراحی قابهای واگرا ۱۳

۲-۲-۲- خصوصیات مهاربندی واگرا ۱۴

۲-۲-۳- مکانیسم جذب انرژی در قابهای واگرا ۱۶

۲-۲-۴- طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند ۱۸

۲-۲-۵- طراحی مهاربند ۱۸

۲-۲-۶- طراحی ستون ۱۹

۲-۲-۷- تعیین مرز پیوندی برشی و خمشی ۱۹

۲-۲-۸- معیارهای موثر در رفتار تیر پیوند ۱۹

۲-۲-۹- مقاومت نهایی تیر پیوند ۲۵

۲-۲-۱۰- خلاصه رفتار لرزه‌ای قابهای مهاربندی واگرا ۲۶

۲-۳- سیستم مهاربندی همگرا (CBF) و همگرای ویژه (SCBF)..... ۲۷
۲-۳-۱- بادبندهای قطری..... ۲۷
۲-۳-۲- سیستم مهاربندی همگرا با بادبندهای x شکل (x braced CBF) ۳۵
۲-۳-۳- نحوه چیدمان بادبندها در سازه..... ۴۱
۲-۴- ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه UBC97 بر اساس روش تنش مجاز..... ۴۲
۲-۴-۱- ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه UBC97 در نواحی۳ و ۴..... ۴۲
۲-۴-۲- ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه UBC97 در نواحی ۱ و ۲..... ۵۱

فصل سوم- نحوه مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی

۳-۱- مشخصات و نکات طراحی و تحلیل سازه‌ها..... ۵٤
۳-۱-۱- مشخصات کلی سیستمها..... ۵۴
۳-۱-۲- طراحی سیستمهای واگرا و همگرای ویژه..... ۵۸
۳-۱-۳- نحوه انجام تحلیل غیرخطی..... ۵۸
۳-۲- مشخصات شتابنگاشتهای استفاده شده در تحلیل قابها..... ۶۰
۳-۳- خصوصیات نرم‌افزار Perform..... ۶۳
۳-۳-۱- رابطه نیرو - تغییرمکان..... ۶۳
۳-۳-۲- بارگذاری سیلکی..... ۶۳
۳-۳-۳- لوپ هیسترتیک..... ۶۴
۳-۳-۴- المان های مورد استفاده شده در نرم‌افزار Perform..... ۶۴
۳-۳-۵- تکنیک حل نرم‌افزار Perform ۶۵
۳-۳-۶- میرایی ویسکوزالاستیک مورد استفاده در نرم‌افزار Perform ۶۶
۳-۳-۷- انرژی در نرم‌افزار perform..... ۶۹

فصل چهارم- تفسیر نتایج تحلیلهای عددی

۴-۱- مقدمه..... ۷۳
۴-۲- برش پایه ماکزیمم در قابهای همگرا، همگرای ویژه و واگرا..... ۷۴
۴-۲-۱- تاثیر افزایش دهانه بادبندی قابهای همگرای ویژه بر برش پایه ماکزیمم..... ۷۴

۴-۲-۲- مقایسه برش پایه ماکزیمم قابهای واگرای خمشی و برشی..... ۷۶
۴-۲-۳- مقایسه برش پایه ماکزیمم سیستمهای مهاربندی همگرا و همگرای ویژه و واگرا..... ۷۸
۴-۳- بررسی میزان انرژی در سیستمهای مختلف..... ۸۳
۴-۳-۱- تاثیر افزایش دهانه بادبندی قابهای همگرای ویژه به انرژی ورودی..... ۸۵
۴-۳-۲- مقایسه انرژی ورودی قابهای واگرای خمشی و برشی..... ۸۸
۴-۳-۳- مقایسه انرژی ورودی سیستمهای مهاربندی همگرای ویژه و واگرا..... ۹۰
۴-۳-۴- تاثیر افزایش دهانه بادبندی قابهای SCBF بر نسبت انرژی پلاستیک به ورودی..... ۹۷
۴-۳-۵- مقایسه نسبت انرژی پلاستیک به ورودی قابهای واگرای خمشی و برشی..... ۹۹
۴-۳-۶- مقایسه انرژی پلاستیک به ورودی قابهای همگرا، همگرای ویژه و واگرا..... ۱۰۲
۴-۴- تغییرمکان جانبی نسبی طبقات..... ۱۱۱
۴-۴-۱- مقایسه تغییرمکان جانبی نسبی طبقه مهاربندهای واگرای خمشی و برشی..... ۱۱۱
۴-۴-۲- بررسی افزایش تعداد دهانه بادبندی در دریفت قابهای SCBF..... ۱۲۷
۴-۴-۳- مقایسه دریفت قابهای مهاربندی همگرا، همگرای ویژه و واگرا..... ۱۴۳
۴-۵- تغییرمکان کلی بام..... ۱۶۰
۴-۵-۱- بررسی ماکزیمم تغییرمکان بام قابهای واگرا و همگرا و همگرای ویژه تحت شتابنگاشتهای حوزه دور..... ۱۶۵
۴-۵-۲- بررسی ماکزییمم تغییرمکان بام قابهای واگرا و همگرا و همگرای ویژه تحت شتابنگاشتهای حوزه نزدیک..... ۱۶۹
۴-۶- شکل‌پذیری طبقات..... ۱۷۳

فصل پنجم – جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۵-۱- مقدمه..... ۱۸۴
۵-۲- برش پایه ماکزیمم..... ۱۸۴
۵-۳- انرژی..... ۱۸۵
۵-۴- جابجایی جانبی نسبی بین طبقات..... ۱۸۵
۵-۵- جابجایی کلی بام..... ۱۸۶
۵-۶- شکل‌پذیری طبقات..... ۱۸۶
۵-۷- پیشنهادات..... ۱۸۷

مراجع..... ۱۸۸

پیوست اول – مشخصات مدلهای بکارگرفته شده در تحلیل‌ها

۱-۱- پ- مقدمه..... ۱۹۲
۱-۲- پ- مقاطع قابهای ۱۰ طبقه..... ۱۹۳
۱-۳- پ- مقاطع قابهای ۱۵ طبقه..... ۱۹۸

پیوست دوم – مقایسه نتایج برنامه‌های SAP2000 و RAM-Perform

۲-۱- پ- مقدمه..... ۲۰۳
۲-۲- پ- تشریح نتایج..... ۲۱۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

زلزله‌های شدید گذشته نشان داده‌اند که سیستم بادبندی همگرا (Concentric Braced Frame)، گرچه یک سیستم مناسب در مقابل بار جانبی و زلزله می‌باشد ولی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند. خسارت شدید مهاربندهای همگرا در زلزله‌های اخیر ناشی از عدم شکل پذیری مناسب، ضرورت بازبینی طراحی این سیستمها را تایید می‌نماید. نمونه‌هایی در زلزله‌های واقعی وجود داشته که در آن تیرها، ستونها، اتصالات جوشی و پیچی دچار خرابی شده‌اند و یا یکی از مکانیسم های شکست ترد در خود بادبند اتفاق افتاده است، که در نهایت با چنین رفتار غیرالاستیک کنترل نشده بادبندها، شکست کلی سازه بوجود آمده است.

خسارت شدید مهاربندهای همگرا در زلزله های اخیر از قبیل مکزیکو ۱۹۸۵ [۱]، لوما پریتا ۱۹۸۹[۲] و نورتریج ۱۹۹۴ [۳و۴] ، ناشی از عدم شکل‌پذیری مناسب، ضرورت بازبینی طراحی این سیستمها را تایید می‌نماید. بر این اساس در سالهای اخیر و پس از زلزله نورتریج مهاربندهای همگرای ویژه (Special Concentric Braced Frame) معرفی و مطرح شدند [۵]. مهاربندهای همگرای ویژه بگونه‌ای طراحی می‌شوند که تغییرشکل غیرالاستیک قابل توجهی از خود نشان دهند [۶]. بادبندهای همگرا با شکل‌پذیری ویژه (SCBF) 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. قابهای مهاربندی شده همگرای ویژه، چنان طراحی و جزییات‌بندی می‌شوند

که در اثر نیروی زلزله، تغییرشکلهای غیرارتجاعی قابل ملاحظه‌ای در مهاربندی‌های کششی و فشاری آنها ایجاد شود [۷].

از طرفی مهاربندهای برون محور (Eccentric Braced Frame) که به دلیل داشتن شکل‌پذیری مناسب و سختی و مقاومت قابل قبول، در سالهای اخیر، کاربرد فراوانی پیدا کرده است، بدلیل هزینه اجرایی قابل توجه همچنان با مشکلاتی روبرو است. در سیستم EBF هر دو عامل شکل‌پذیری و سختی با هم ترکیب می‌شوند. شکل‌پذیری شاخصه مهم قابهای خمشی می‌باشد و سختی نیز شاخصه اصلی قابهای مهاربندی همگرا می‌باشد. سیستم EBF هر دو شاخصه مهم شکل‌پذیری و سختی را به طور همزمان دارا می‌باشد [۸].

بنابراین با توجه به اصلاحات صورت گرفته بر روی مهاربندهای همگرا و معرفی مهاربندهای همگرای ویژه و با توجه به شکل پذیری مناسب سیستمهای واگرا و کاربرد روزافزون این مهاربندها در کشور ما، ضروریست مقایسه ای بین رفتار لرزه‌ای سیستمهای واگرا و همگرای ویژه صورت پذیرد.

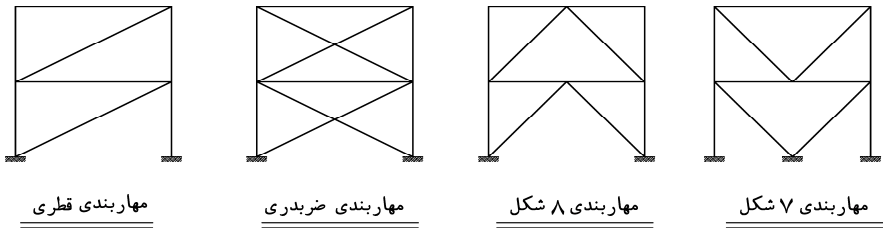
۱-۲- معرفی اجمالی سیستمهای مهاربندی به کارگرفته شده در این مطالعه

ایمنی سازه در مقابل زلزله شدیدا به آنچه که رفتار لرزه‌ای سازه نامیده می‌شود، بستگی دارد. معمولا منظور از رفتار لرزه‌ای سازه، رفتار آنها تحت زلزله‌های شدید و در ناحیه غیرخطی می‌باشد. رفتار غیرخطی یک سیستم سازه‌ای وابسته به عوامل متعددی همچون نوع سیستم، مصالح مصرفی، روش طراحی، زلزله اعمالی و... می‌باشد. تاثیر نوع سیستم بر روی رفتار لرزه‌ای و کاهش پاسخهای آن عامل بسیار مهمی می‌باشد.

با بررسی اجمالی خسارت وارد بر سازه‌ها در زلزله‌های گذشته، مشخص شده که سازه‌های فولادی به جهت شکل‌پذیر بودن مصالح و قابلیت جذب انرژی، عملکرد بهتر و اقتصادی‌تری نسبت به سایر سازه‌ها دارند. به‌طور کلی در مناطق لرزه‌خیز، ازنظر اقتصادی مناسب و مسیر نیست که طراحی ساختمانهای رایج طوری باشد که این سازه‌ها در زلزله‌های شدید، درمحدوده الاستیک باقی بمانند[۸]. قبلا تمام سازه‌ها 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 غیرارتجاعی درمقابل زلزله شدید استفاده شود. طراحی لرزه‌ای سازه‌ها معمولا بر این اساس صورت می گیرد که اعضائی در سازه باشند که در زلزله‌های 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 نیروئی زلزله) از طریق ایده‌ال 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 شکل‌پذیر از پیش تعیین شده و ضریب افزایش مقاومت برای سایر اعضای سازه‌ای می‌باشد.

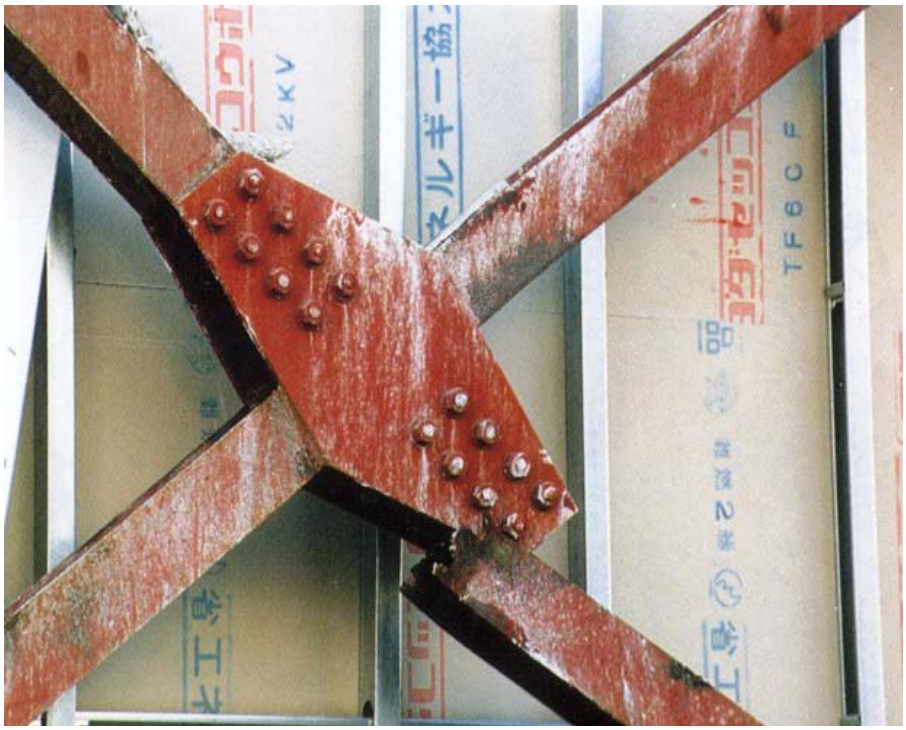
بادبندهای همگرا، عمل خرپائی را به‌طور کامل با اعضائیکه در محدوده الاستیک و تحت بارهای محوری هستند، ایجاد کرده و با تأمین سختی و مقاومت جانبی زیاد و عملکرد مناسب آن در زلزله‌ها، از متداولترین سیستمهای باربر جانبی است [۹].



شکل ۱-۱: نمونه هایی از قابهای CBF [۸]

رفتار سیکلی بادبندها شامل پدیده های کمانش غیرارتجاعی، تسلیم بادبند، کمانش موضعی، کاهش ظرفیت در رفتار پس از کمانش، اثرات بوشینگر و سخت‌شدگی کرنش در کشش می‌باشد که تقاضای قابل توجهی در سایر اعضاء و اتصالات بادبندها بوجود می‌آورند [۷]. در زلزله‌های اخیر شاهد رفتار نامناسب این بادبندها بوده‌ایم که در اشکال ۱-۲، ۱-۳، ۱-۴، ۱-۵ و ۱-۶ نمونه‌هایی از این رفتارهای نامناسب دیده می‌شود.

استفاده از جذب انرژی بادبند فشاری در قابهای مهاربندی همگرا، مفهوم جدیدی است که علاوه بر مزیتهای اقتصادی، می‌تواند عملکرد لرزه‌ای مطمئن‌تری را در زلزله‌های شدید تضمین نماید [۱۰]. با کمانش بادبند، خمش در آن ایجاد می‌شود و در نهایت منجر به تشکیل مفصل پلاستیک در محل لنگر ماکزیمم (در وسط عضو) می‌شود. بوجود آمدن کمانش غیرارتجاعی باعث می‌شود که بادبند فشاری به منبع مهمی برای جذب انرژی لرزه‌ای تبدیل شود. به عبارت دیگر از مهمترین عوامل و پارامترهایی که بر رفتار لرزه‌ای قابهای مهاربندی شده تأثیر می‌گذارد، اثر بادبند فشاری است که در بسیاری از موارد نادیده گرفته می‌شود، ولی تعیین منحنی هیسترزیس بادبند فشاری و مقدار جذب انرژی و نیز تأثیر آن بر عملکرد لرزه‌ای می‌تواند در شناخت بهتر و واقعی رفتار هیسترزیس مؤثر باشد [۷].



شکل (۱-۲): شکست مقطع خالص مقطع در پیچ ها [۷]

شکل (۱-۳): کمانش داخل صفحه مهاربند همگرا [۷]

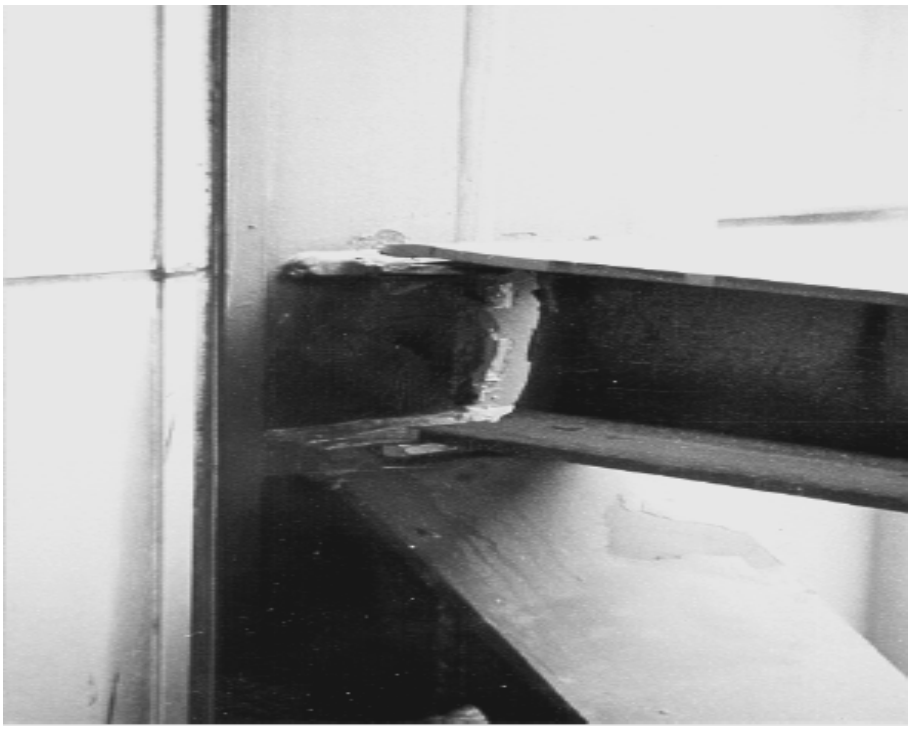
شکل (۱-۴): کمانش خارج از صفحه مهاربندهای همگرا

شکل(۱-۵): گسیختگی اتصالات جوشی بادبندها [۷]

یک سیستم مقاوم لرزه‌ای باید دو خصوصیت کلی زیر را داشته باشد:

الف – در زلزله‌های خفیف و متوسط، سازه بدون خسارت در محدوده الاستیک باقی بماند.

ب – در زلزله‌های شدید سازه با قبول خرابی تا یک سطح مشخص، نباید به مرز انهدام برسد.



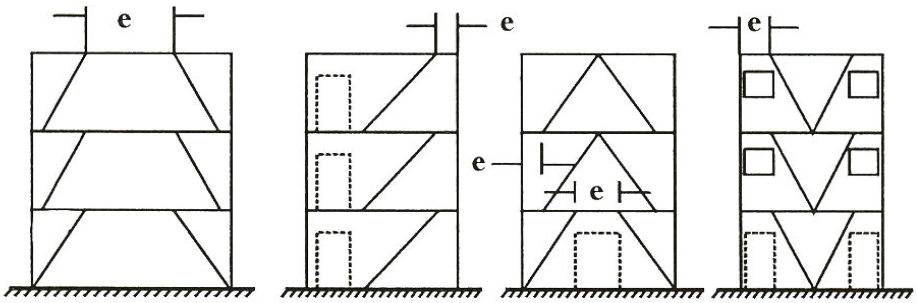
شکل (۱-۵): گسیختگی جوش [۷]

برای تأمین خصوصیت اول، مقاومت و سختی سازه نقش اساسی دارد و برای تأمین خصوصیت دوم، شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی لازم است تا از انهدام کلی سازه جلوگیری شود. قابهای مهاربندی همگرا مقاومت و سختی بالائی دارند که استفاده از آنها هدف اول را به خوبی تأمین می‌کند. اما در مورد شکل‌پذیری و در زلزله‌های شدید اگر بادبند فشاری، کمانش غیرارتجاعی نکند یا کمانش غیرارتجاعی ناپایداری داشته باشد، در اثر بارهای سیکلی، با کاهش سریع سختی و زوال مقاومت، جذب انرژی صورت نگرفته و در نتیجه شکل‌پذیری سیستم کاهش می‌یابد.

با توجه به این مسائل، از سال ۱۹۹۷ در آئین‌نامه ها SEAOC -1999، BSSC – 1997 (الزامات لرزه‌ای برای ساختمانهای جدید NEHRP) و AISC – 1997 بحث شکل‌پذیری ویژه مطرح شد و بادبندهای CBF در دو گروه با شکل‌پذیری ویژه SCBF و شکل‌پذیری متوسط OCBF و تقسیم‌بندی شدند.

برای دستیابی به عملکرد فوق، سایر اعضا و اتصالات سازه، شامل ستونها، وصله ستونها، اتصالات پای ستون و پی ستونهای دهانه مهاربندی شده، تیرهای دهانه مهاربندی شده و وصله آنها، اتصالات تیر به ستون در مسیر نیروهای جانبی، دیافراگم‌ها و اتصالات مهاربندی‌ها باید به نحو مناسب طراحی و جزییات‌بندی شوند [۱۱]. فلسفه طراحی این نوع بادبندها طوری است که مطمئن شویم تغییرشکل های پلاستیک فقط در بادبندها 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.

جدا از مهاربندی‌های همگرا، در ساختمان ها از سیستمهای باربر جانبی مختلفی برای مقابله با نیروی جانبی وارد بر ساختمان استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان به مهاربندی‌های واگرا اشاره کرد، که در دهه اخیر در کشور ما کاربرد فراوانی پیدا کرده است.



شکل (۱-۷): نمونه هایی از قابهای EBF [۸]

سیستم مهاربندی های واگرا توسط پروفسور پوپوف و همکارانش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا برای اولین بار مورد آزمایش قرار گرفت.

در این سیستم قسمتی از طول تیر که بین مهاربندی و ستون یا بین دو مهاربندی قرار می گیرد تیر پیوند نامیده می‌شود. در شکل ۱-۷ نمونه هایی از قابهای واگرا نشان داده شده است. در این شکلها طول تیر پیوند با حرف e نشان داده شده است. تیر پیوند مانند فیوز شکل‌پذیر عمل می‌کند و مقدار زیادی از انرژی ناشی از زلزله را جذب می‌کند. قابهای مهاربندی شده واگرا، قاب‌هایی هستند که در آنها، مهاربندها در هر دهانه، با فاصله کمی از یکدیگر روی محور طولی تیر و یا با فاصله کمی از گره اتصال تیر به ستون، به تیر متصل می‌شوند. در این سازه‌ها، رفتار جانبی لرزه‌ای سازه، ترکیبی از عملکرد خمشی- برشی تیرها و ستونهای دهانه مهاربندی شده و عملکرد کششی- فشاری مهاربندها می‌باشد [۱۱].

از قابهای مهاربندی شده واگرا، انتظار می‌رود که در ناحیه شکل‌پذیر تیر پیوند، تغییرشکلهای غیرارتجاعی بزرگی داشته باشند. در تیرهای پیوند با طول کوتاه، مؤلفه شکل‌پذیر تلاش برشی و در تیرهای پیوند با طول بلند، مؤلفه شکل‌پذیر تلاش خمشی است. ستونهای طرفین دهانه مهاربندی و مهاربندها و کلیه اتصالات دهانه مهاربندی، طوری طراحی شوند که عموماً در محدوده الاستیک باقی بمانند. اتصال تیرهای پیوند کناری که در مجاورت ستون قرار دارند، به ستون، می‌تواند به صورت مفصلی و یا گیردار، باشد. که در نوع با اتصال گیردار، از تیر پیوند انتظار شکل‌پذیری بیشتری می‌رود [۱۱].

همانطورکه در سطور بالا گفته شد، مهاربندهای ضربدری (OCBF) با تشکیل شبکه خرپایی به همراه تیرها و ستونها از مقاومت و سختی قابل ملاحظه ای نسبت به سایر سیستمها در برابر بارهای

جانبی برخوردارند. ولی عدم شکل‌پذیری مناسب همواره یکی از معایب بزرگ در این مهاربندها بوده است. مهاربندهای همگرای ویژه (SCBF) بگونه ای طراحی می‌شوند که تغییرشکل غیرالاستیک قابل‌توجهی از خود نشان دهند [۱۰]. از طرفی قابهای با مهاربندی برون‌محور (EBF) نیز به دلیل داشتن شکل‌پذیری مناسب جهت جذب انرژی در سازه و داشتن سختی و مقاومت کافی جهت کنترل تغییرمکان جانبی می‌توانند ارائه کننده رفتار یک سازه مقاوم باشند. مهارهای قطری، ستونها و قطعات تیرهای خارج از ناحیه پیوند بایستی بگونه‌ای طراحی شوند که تحت نیروی ماکزیمم ناشی از جاری شدن تیر رابط و سخت‌شدگی مجدد آن همواره لزوماً الاستیک باقی بمانند، مگر آنکه در این بخش خلاف آن مجاز دانسته شود [۱۱].

۱-۳- کلیات فصلها

این پایان‌نامه با استفاده از تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی به بررسی، مطالعه عددی و مقایسه رفتار لرزه‌ای سیستمهای مهاربندی همگرا و همگرای ویژه و واگرا، در قابهایی به ارتفاع ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه پرداخته است. پارامترهایی از قبیل میزان جذب و اتلاف انرژی، جابجایی نسبی طبقات، برش طبقات، جابجایی کلی قاب و... مورد مقایسه و مطالعه قرار گرفته است.

روند کلی مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه به این ترتیب است:

در فصل دوم پس از آشنایی با تاریخچه مطالعات و تحقیقات صورت پذیرفته در مورد سیستمهای مهاربندی، فلسفه و نحوه طراحی قابهای مهاربندی مذکور، ضوابط لرزه‌ای ارائه شده توسط آیین نامه UBC97 برای هرکدام از سیستمهای مهاربندی معرفی شده، ارائه می‌گردد.

در فصل سوم، نحوه مدل‌سازی و طراحی قابهای مهاربندی مورد مطالعه ارائه گردیده و مبانی و فرضیات اعمال شده در طراحی آنها معرفی شده است. همچنین جزئیات آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی بررسی و محدودیتها و قابلیتهای نرم‌افزار RAM-Perform در آنالیز غیرخطی به تفصیل بیان می‌گردد. در این فصل جدا از بیان نحوه مدل سازی، شتابنگاشتهای اعمال شده به قابها و خصوصیات آنها و همچنین تعداد دهانه و نوع قابهای ساخته شده نیز نشان داده شده است.

فصل چهارم، فصل مشاهدات می‌باشد که در آن نتایج حاصله از آنالیزهای دینامیکی صورت پذیرفته در قالب گرافها و نمودارها نشان داده شده‌است. در این فصل، پارامترهای لرزه‌ای که در این پایان‌نامه معیار مقایسه بین سیستمهای مختلف مهاربندی قرار گرفته است مورد مطالعه، مقایسه، بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

در فصل پنجم چکیده نتایج بدست آمده در پایان‌نامه بیان شده است.

فصل دوم

سیستمهای مهاربندی واگرا (EBF)، همگرا (CBF) و همگرای ویژه (SCBF)

۲-۱- مقدمه

در ساختمانها از سیستمهای باربر جانبی مختلفی برای مقابله با نیروی جانبی وارد بر ساختمان استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان مهاربندی های همگرا و مهاربندی های واگرا اشاره کرد.
سیستم های مهاربندی همگرا از متداولترین سیستمهای باربر جانبی هستند. سیستم های مهاربندی همگرا که معروف‌ترین نوع آنها سیستم مهاربندی ضربدری یا X شکل است از مفیدترین سیستمها برای کنترل تغییرمکان ایجاد شده در برابر بار های جانبی هستند. به علت پیکربندی خرپاگونه، صلبیت جانبی این سیستمها بسیار زیاد است، به‌طوریکه یک سیستم قاب فولادی با بادبندی همگرا (CBF) از نوع ضربدری در مقایسه با سیستم قاب خمشی(MRF) نظیر آن، می‌تواند تا ده برابر سخت‌تر باشد [۱۲]. این سیستمها در مسیر تکمیل سیستمهای سازه‌ای فولادی جهت مقابله با نیروهای باد ابداع گردیده‌اند. معمولا با افزایش تعداد طبقات و ارتفاع ساختمان و زمانی که استفاده از قاب خمشی به دلیل سختی کمتر غیر اقتصادی می‌شود، جایگزین مناسب برای آن، سیستم های فولادی با بادبندی همگرا (CBF) خواهند بود. مسائل اقتصادی، طرح و روش اجرای آسانتر و بهتر، سیستمهای فولادی با بادبندی همگرا (CBF) را یک انتخاب عالی برای طراحان قرار داده است. از مشکلات عمده این سیستمها شکل‌پذیری و جذب انرژی کم، عمدتا به دلیل کمانش موضعی یا کلی عضو فشاری بادبند و تا حدی هم ضعف و عملکرد نامناسب اتصالات آن می‌باشد که در ادامه به طور کامل مورد بررسی قرار خواهند گرفت. ظرفیت انرژی جذب شده توسط بادبند های همگرای

ضربدری در حقیقت به‌طور کامل وابسته به رفتار چرخه‌ای غیرخطی بادبند قطری، تحت بارهای متناوب کشش و فشار می‌باشد [۸].

بدلیل ضعفهای ذکر شده در سیستم مهاربندی همگرا، بعد از زلزله نورتریج تغییراتی در ضوابط طراحی این سیستم اعمال گردید و قابهای همگرای ویژه (SCBF) معرفی گردیدند. بادبندهای همگرا با شکل‌پذیری ویژه (SCBF) 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[۱]. در شکل ۲-۱ نمونه‌ای از بادبندهای همگرای ویژه را مشاهده می‌کنید.

شکل (۲-۱): نمونه‌ای قابهای مهاربندی همگرای ویژه

قابهای مهاربندی شده همگرای ویژه، چنان طراحی و جزییات‌بندی می‌شوند که در اثر نیروی زلزله، تغییرشکلهای غیرارتجاعی قابل ملاحظه‌ای در مهاربندی‌های کششی و فشاری آنها ایجاد شود. برای دستیابی به عملکرد فوق، سایر اعضا و اتصالات سازه، شامل ستونها، وصله ستونها، اتصالات پای ستون و پی ستونهای دهانه مهاربندی شده، تیرهای دهانه مهاربندی شده و وصله آنها، اتصالات تیر به ستون در مسیر نیروهای جانبی، دیافراگم‌ها و اتصالات مهاربندی‌ها باید به نحو مناسب طراحی و جزییات‌بندی شوند [۱۱]. فلسفه طراحی این نوع بادبندها طوری است که مطمئن شویم تغییرشکل‌های پلاستیک فقط در بادبندها 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.

از طرفی سیستم واگرا از ادغام دو سیستم مقاوم در برابر بار جانبی متداول یعنی قاب خمشی و قاب مهاربندی شده همگرا تشکیل شده است. قاب مهاربندی شده واگرا مزایای هر یک از دو سیستم

متداول اشاره شده را دارا می‌باشد، درحالیکه معایب هر یک از آن سیستمها در سیستم واگرا به حداقل می‌رسد. این سیستم توسط پروفسور پوپوف و همکارانش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا برای اولین بار مورد آزمایش قرار گرفت.

به‌طور مشخص، قابهای مهاربندی شده واگرا سختی الاستیک بالا، پاسخ غیرالاستیک پایدار تحت بارهای جانبی رفت و برگشتی، شکل‌پذیری بالا و نیز ظرفیت اتلاف انرژی مناسب را به نمایش می‌گذارند [۱۳].

قاب مهاربندی شده واگرا در حال حاضر تبدیل به یکی از سیستمهای سازه‌ای متداول در مناطق با لرزه‌خیزی بالا شده است. تحقیقات بر روی رفتار این سیستمها از نیمه دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است و هم اکنون ضوابط مرتبط با تحلیل، طراحی و پیکربندی این سیستمها در بسیاری از آیین‌نامه‌ها و دستورالعملهای لرزه‌ای آمده است [۱۳].

در این سیستم قسمتی از طول تیر که بین مهاربندی و ستون یا بین دو مهاربندی قرار می گیرد تیر پیوند نامیده می‌شود. در این سیستم جزء کوچک تیر (link) مانند فیوز شکل‌پذیری عمل می‌کند و درحالیکه از کمانش مهاربند جلوگیری می‌کند، مقداری از انرژی وارده ناشی از زلزله را نیز جذب می‌کند [۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷].

در سیستم EBF هر دو عامل شکل‌پذیری و سختی با هم ترکیب می‌شوند. شکل‌پذیری شاخصه مهم قابهای خمشی می‌باشد و سختی نیز شاخصه اصلی قابهای مهاربندی همگرا می‌باشد. سیستم EBF هر دو شاخصه مهم شکل‌پذیری و سختی را به طور همزمان دارا می‌باشد [۸].

شکل (۲-۱): اشتباه مرسوم در استفاده از تیرهای لانه زنبوری در تیر پیوند سیستم واگرا [۱۲]