بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – سازه

عنوان

مقاوم‌سازی قاب‌های‌خمشی‌فولادی با دیوار برشی غیر متصل به ستون‌های‌کناری و مهاربندهای‌کششی

استاد راهنما

دکتر یوسف حسین زاده

استاد مشاور

دکتر سامان یغمائی

پژوهشگر

تقی مفید

تابستان ۱۳۹۳

این تلاش علمی، از طرف پدر و مادر عزیزم، تقدیم به آستان رفیع مادرمان.

باشد که مقبول افتد

خدایا به سوی تو شکایت آورم از نفسی که مرا همواره به بدی وادارد و به سوی گناه شتاب دارد و به نافرمانی‌هایت حریص است و به موجبات خشمت دست‌درازی کند مرا به راه‌هایی که منجر به هلاکت می‌شود می‌کشاند و بصورت پست‌ترین نابودشدگان درم آورد بیماری‌هایش بسیار و آرزویش دراز است. اگر شری به او رسد بی‌تاب شود و اگر خیری نصیبش گردد سرکشی کند به اسباب‌بازی و سرگرمی‌های بیهوده بسیار متمایل و از بی‌خبری و فراموشی انباشته است. مرا به سوی گناه شتاب دهد و به نوبت توبه به امروز و فردایم کند.. خدایا به تو شکایت آورم از دشمنی که گمراهم کند و شیطانی که مرا از راه بدر برد سینه‌ام را پر از وسوسه کرده و تحریکات زهرآگینش قلبم را احاطه کرده به هوا و هوسم کمک کند و دوستی دنیا را پیش چشمم آرایش دهد، میان من و فرمان‌برداری و تقرب به درگاهت حائل گردد. خدایا پیش تو شکوه آرم از دلی که سخت شده و بدست وسوسه‌ها بگردد و به زنگ خودبینی و خوی زشت پوشیده شده، و از دیده‌ای که به هنگام گریه کردن از خوف تو خشک است ولی برای نگریستن به مناظر خوش‌آیندش خیره و حریص است. خدایا جنبش و نیرویی برای من نیست جز به نیروی تو و راه نجاتی از گرفتاری‌های دنیا ندارم جز نگهداری تو، پس از تو می‌خواهم به حکمت رسایت و به مشیت جاری و گذرایت که مرا تنها در معرض جود و بخشش خود درآوری و هدف تیرهای بلا و آزمایش قرارم ندهی و مرا در پیروزی بر دشمنان یاری کنی و رسوائی‌ها و عیوبم را بپوشانی و از بلا محافظتم کنی و از گناهان نگاهم داری. **به مهر و رحمتت ای مهربان‌ترین مهربانان.**

(صحیفه سجادیه، مناجات الشاکین)

بهترین تشکرها را نصیب استاد راهنمای بزرگوار و دلسوزم، جناب آقای دکتر یوسف حسین زاده می‌نمایم که در طول دوران تحصیلی کارشناسی و کارشناسی ارشد همواره مشوق راهم بوده‌اند.

از استاد عزیز خود، جناب آقای دکتر یغمائی که زحمت مشاوره و جناب آقای دکتر ولادی که زحمت داوری پایان‌نامه را بعهده داشتند تشکر می‌کنم.

از جناب آقای علیرضا کرد، دوست عزیز و بزرگوارم که بنده را در طول این راه، یاری کردند، کمال تشکر را دارم.

از تمامی دوستان و بزرگوارانی که بعنوان مشوق، در کنار بنده حضور داشتند، خصوصاً دوست عزیز و بزرگوارم جناب آقای علیرضا مظاهری کمال تشکر را دارم.

در نهایت از پدر و مادر بزرگوار و برادران و خواهرم که تمام سرمایه‌های زندگی‌ام هستند، بابت تشویق‌ها و خدماتشان تشکر فراوان دارم.

نام خانوادگی دانشجو: مفید دولت‌آباد **نام**: تقی

عنوان پایان‌نامه:

مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با دیوارهای برشی غیر متصل به ستون‌های کناری و مهاربندهای کششی

استاد راهنما: دکتر یوسف حسین‌زاده

استاد مشاور: دکتر سامان یغمائی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته تحصیلی**: عمران **گرایش**: سازه **دانشگاه**: تبریز

دانشکده: فنی مهندسی عمران **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** ۲۰ /٦/ ۱۳۹۳ **تعداد صفحات:**۸۰

کلیدواژه‌ها: دیوارهای برشی فولادی، قاب‌های خمشی فولادی، دیوار برشی غیر متصل به ستون، رفتار غیرخطی استاتیکی، مهاربند کششی، دیوار برشی نیمه مقید

چکیده:

قابهای خمشی فولادی در نواحی با خطر لرزه خیزی زیاد و خیلی زیاد با شکل پذیری متوسط یا زیاد طراحی می شوند. این قابها با تحمل تغییرشکلها و دورانهای پلاستیک بزرگ در محل مفصلهای پلاستیک اعضا و اتصالات، دارای شکل‌پذیری و ظرفیت استهلاک مناسب می باشند. بنابراین در طراحی لرزه ای این قابها، ضریب رفتار بزرگی در نظر گرفته می شود و نیروهای طراحی آنها نسبت به سایر سیستمهای سازه ای کمتر است. مقاوم سازی قابهای خمشی فولادی موجود، در مواردی نظیر حادثه های پیش بینی نشده، زلزله های شدید یا تغییر کاربری سازه ضرورت پیدا می کند. یکی از روش‌هایی که می‌تواند برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای این قاب‌ها مورداستفاده قرار گیرد، استفاده از دیوار برشی فولادی غیرمتصل به ستون‌های کناری به همراه مهاربندهای کششی است. در این پایان‌نامه، ابتدا مدل اجزای محدود دو نمونه آزمایشگاهی، در نرم افزارهای اجزای محدود ساخته شده و نتایج تحلیل آن، با داده های آزمایشگاهی، مقایسه شده است؛ نمونه اول، قاب مفصلی مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی غیر متصل به ستون‌های کناری و مهاربند و نمونه دوم، قاب خمشی فولادی بدون مهاربند می باشد. پس از اثبات دقت این مدل‌های اجزای محدود، مدل اجزای محدود قاب خمشی فولادی مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی غیرمتصل به ستون های کناری و مهاربند ایجاد شده است. نتایج تحلیل این مدل اجزای محدود، با نتایج سه روش مقاوم‌سازی دیگر که عبارتند از سیستم مهاربند ضربدری نبشی، سیستم مهاربند ضربدری کابلی و سیستم مهاربند ضربدری کابلی که از داخل غلاف استوانه‌ای عبور داده شده است، مقایسه می شود. نتایج تحلیل اجزای محدود، نشان می‌دهد که استفاده از این روش مقاوم سازی، موجب می شود مقاومت جانبی سازه به اندازه ۵۰ درصد افزایش یابد، در حالی که مدل دارای شکل پذیری مناسب می‌باشد و نیاز به تقویت ستون‌های کناری محدود خواهد بود.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: مفاهیم پایه و پیشینه تحقیق ۳

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ تعریف سیستم قاب خمشی فولادی ۳

۱-۳ طراحی قاب‌های خمشی فولادی ۳

۱-٤ مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از سیستم مهاربندی فولادی ٤

۱-۵ مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از سیستم مهاربند کابلی ۵

۱-٦ مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از سیستم دیوار برشی ۸

۱-٦-۱ انواع دیوار برشی ۸

۱-٦-۱-۱ دیوارهای برشی فولادی ۸

۱-٦-۱-۲ دیوارهای برشی بتن مسلح ۹

۱-٦-۱-۳ دیوارهای برشی مرکب ۱۰

۱-٦-۱-٤ دیوارهای برشی با مصالح بنایی ۱۲

۱-٦-۲ تعریف میدان کششی قطری ۱۳

۱-٦-۳ رفتار دیوار برشی فولادی ۱۳

۱-٦-٤ ضوابط طراحی دیوارهای برشی فولادی ۱٤

۱-٦-۵ ظرفیت خمشی دیوار برشی فولادی ۱۵

۱-٦-٦ ظرفیت برشی دیوارهای برشی فولادی ۱۵

۱-٦-۷ طراحی تیرهای فوقانی و تحتانی و ستون‌ها ۱۸

۱-٦-۸ موارد استفاده از دیوارهای برشی فولادی ۱۸

۱-٦-۸-۱ ساختمان ۲۰ طبقه اداری نیپوُن در توکیو ژاپن (۱۹۷۰) ۱۹

۱-٦-۸-۲ ساختمان ۵۱ طبقه شینجو نومورا در توکیو..... ۲۰
۱-٦-۸-۳ بیمارستان ٦ طبقه اُلیو در لس‌آنجلس، کالیفرنیا..... ۲۱
۱-٦-۸-٤ هتل ۳۰ طبقه دالاس، در تگزاس آمریکا..... ۲۲
۱-٦-۹ به‌کارگیری دیوار برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین در ژاپن ۲۳
۱-٦-۱۰ مطالعات آزمایشگاهی انجام‌شده روی دیوارهای برشی فولادی ۲٤
۱-٦-۱۰-۱ تحقیقات انجام‌شده در کانادا..... ۲۵
۱-٦-۱۰-۲ تحقیقات انجام‌شده در ژاپن..... ۳۰
۱-٦-۱۰-۳ تحقیقات انجام‌شده در انگلیس..... ۳۳
۱-٦-۱۰-٤ تحقیقات انجام‌شده در آمریکا..... ۳٦
۱-٦-۱۰-۵ تحقیقات انجام‌شده در ایران..... ٤۲
۱-٦-۱۱ تحقیقات انجام‌شده در مورد دیوار برشی فولادی غیر متصل به ستون‌های اصلی ٤۳
۱-۷ جمع‌بندی ٤۵
فصل دوم : مدل‌سازی اجزای محدود ٤٦
۲-۱ مقدمه ٤٦
۲-۲ مدل‌سازی و مقایسه نتایج تحلیل عددی با داده های آزمایشگاهی ٤٦
۲-۲-۱ نمونه آزمایشگاهی اول ٤۷
۲-۲-۱-۱ مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشی..... ٤۹
۲-۲-۱-۲ مشخصات مکانیکی نمونه‌های آزمایشی..... ۵۰
۲-۲-۱-۳ نوع بارگذاری و نحوه اعمال آن..... ۵۱
۲-۲-۱-٤ نحوه مش بندی مدل اجزای محدود..... ۵۲
۲-۲-۱-۵ منحنی‌های هیسترزیس..... ۵۳
۲-۲-۱-٦ نتایج مدل‌سازی..... ۵٤
۲-۲-۲ نمونه آزمایشگاهی دوم ۵٦
۲-۲-۲-۱ مشخصات هندسی نمونه آزمایشی..... ۵٦
۲-۲-۲-۲ مشخصات مکانیکی نمونه آزمایشی..... ۵٦
۲-۲-۲-۳ نوع بارگذاری و نحوه اعمال آن..... ۵۷

۲-۲-۲-٤ نحوه مش بندی ۵۸
۲-۲-۲-۵ منحنی‌های هیسترزیس ۵۸
۲-۲-۲-٦ نتایج مدل‌سازی ۵۹
فصل سوم: مقایسه‌ی نتایج نمونه‌های اجزای محدود و نتیجه‌گیری ٦۱
۳-۱ مقدمه ٦۱
۳-۲ مقاوم‌سازی قاب‌خمشی‌فولادی با استفاده از دیوار برشی غیر متصل به ستون‌های کناری، به همراه مهاربند ٦۳
۳-۲-۱ مشخصات هندسی سیستم مورد تحلیل ٦۳
۳-۲-۲ انتخاب مقاطع اعضای دیوار برشی ٦٤
۳-۲-۳ مشخصات مکانیکی سیستم مورد تحلیل ٦۵
۳-۲-٤ مشخصات المان‌های مورداستفاده در مدل‌سازی ٦۵
۳-۲-۵ مش بندی ٦۵
۳-۲-٦ تحلیل سیستم و تعیین خروجی های مورد انتظار از نرمافزار ٦٦
۳-۳ بررسی رفتار مدل اجزای محدود، بعد از تحلیل ٦۷
۳-٤ مقایسه چرخه‌های هیسترزیس تغییر مکان- برش پایه ٦۹
۳-۵ مقایسه منحنی اسکلتون چرخه‌های هیسترزیس ۷۲
۳-٦ سختی الاستیک قاب ۷۲
۳-٦ مقایسه تغییرات نیروی محوری ستون ۷۳
۳-۷ جمع‌بندی نتایج ۷٦
۳-۸ ارائه‌ی پیشنهاد برای کارهای آینده ۷۷
فهرست منابع ۷۷

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: نمونه‌ای از اشکال مختلف مهاربند ۵

شکل ۱-۲: الف) مدل آزمایشی هو و تاگاوا؛ ب) غلاف استوانه‌ای و کابل‌های عبوری از آن ٦

شکل ۱-۳: قاب‌های خمشی و مهاربندی‌شده الف) قاب خمشی بدون مهاربند ب) قاب مهارشده با نبشی ج (قاب مهارشده با کابل ضربدری د) قاب مهارشده با کابل و غلاف استوانه‌ای ۷

شکل ۱-٤: وجه تشابه تیرورق و دیوار برشی فولادی ۹

شکل ۱-۵: استفاده از دیوار برشی فولادی در ساختمان ۹

شکل ۱-٦: استفاده از دیوار برشی بتن مسلح در ساختمان‌های بتنی ۱۰

شکل ۱-۷: استفاده از دیوار برشی بتن مسلح در ساختمان‌های فولادی ۱۰

شکل ۱-۸: اجزای دیوار برشی مرکب ۱۱

شکل ۱-۹: دیوار برشی با مصالح بنایی ۱۲

شکل ۱-۱۰: نحوه شکل‌گیری میدان کشش قطری در جان (ورق فولادی) ۱۳

شکل ۱-۱۱: نما و پلان ساختمان فولادی نیپوُن ۱۹

شکل ۱-۱۲: جزئیات دیوار برشی فولادی ساختمان نیپوُن ۲۰

شکل ۱-۱۳: پلان، مقطع عرضی و نمایی از ساختمان ۵۱ طبقه شینجو نومورا در توکیو ژاپن ۲۰

شکل ۱-۱٤: نماهایی از بیمارستان اُلیو در لس‌آنجلس ۲۱

شکل ۱-۱۵: جزئیات دیوار برشی فولادی بکار رفته در ساختمان بیمارستان اُلیو ۲۱

شکل ۱-۱٦: هتل ۳۰ طبقه دالاس ۲۲

شکل ۱-۱۷: نمایی از ساختمان با دیوارهای فولادی با نقطه تسلیم پایین و نمای نزدیک از این دیوارها ۲۳

شکل ۱-۱۸: نخستین آزمایش بر روی دیوار برشی فولادی تحت بار استاتیکی در دانشگاه آلبرتا ۲۵

شکل ۱-۱۹: دومین آزمایش بر روی دیوار برشی فولادی تحت بار استاتیکی در دانشگاه آلبرتا ۲۵

شکل ۱-۲۰: نمای نمونه آزمایشی درایور و یک نمونه از منحنی پسماند ۲٦

شکل ۱-۲۱: نمای نمونه آزمایشی و منحنی پسماند ۲۷
شکل ۱-۲۲: نمونه آزمایشی لوبل روی میز لرزان و منحنی پسماند آن ۲۸
شکل ۱-۲۳: مشخصات نمونه آزمایشی درایور و همکاران ۲۸
شکل ۱-۲٤: منحنی پسماند طبقه اول نمونه آزمایشی درایور و همکاران ۲۹
شکل ۱-۲۵: جزئیات آزمایش بهبهانی فرد و همکاران ۲۹
شکل ۱-۲٦: نمودار دوخطی هیسترزیس طبقه اول آزمایش بهبهانی فرد ۳۰
شکل ۱-۲۷: یک نمونه آزمایشی و پاسخ آن ۳۱
شکل ۱-۲۸: منحنی تنش- کرنش و رفتار چرخه‌ای فولاد نرمه ۳۲
شکل ۱-۲۹: تغییر شکل نمونه آزمایشی و منحنی پسماند آن ۳۲
شکل ۱-۳۰: نمونه آزمایشی همراه با شکاف‌های ایجادشده در آن ۳۳
شکل ۱-۳۱: نمونه‌های آزمایشی در انگلستان و تأثیر بازشو در آن‌ها ۳٤
شکل ۱-۳۲: پاسخ الاستیک دیوار برشی فولادی به بارگذاری ارتعاشی- تغییرات تغییر مکان همراه با زمان، طبقات دوم و پنجم ۳٤
شکل ۱-۳۳: پاسخ الاستیک دیوار برشی فولادی به بارگذاری ارتعاشی-تغییر مکان دیوار برشی در زمان معادل ثانیه ۳ ..... ۳۵
شکل ۱-۳٤: پاسخ غیرالاستیک دیوار برشی فولادی به بارگذاری ارتعاشی - تغییرات تغییر مکان همراه با زمان-طبقات دوم و پنجم ۳۵
شکل ۱-۳۵: پاسخ غیرالاستیک دیوار برشی فولادی به بارگذاری ارتعاشی - تغییر مکان دیوار برشی در زمان معادل ثانیه ۱,۵ ..... ۳۵
شکل ۱-۳٦: پدیده تشدید و خاصیت میرایی چرخه‌ای دیوار برشی فولادی تحت بار ارتعاشی حرکت زمین ۳٦
شکل ۱-۳۷: نمونه آزمایشی به همراه نمودارهای پسماند ۳۷
شکل ۱-۳۸: نمونه آزمایشی به همراه نمودارهای پسماند ۳۸
شکل ۱-۳۹: نمونه آزمایشی آستانه اصل و زائو ۳۹

شکل ۱-٤۰: نمونه آزمایشی همراه با اتصالات پیچی ۳۹

شکل ۱-٤۱: نمونه در پایان آزمایش و منحنی پسماند آن ٤۰

شکل ۱-٤۲: نمونه آزمایشی در طول و پایان آزمایش (الف): تغیر شکل نمونه در دریفت ۱ درصد، (ب): تغیر شکل نمونه در دریفت ۲ درصد، (پ): تغیر شکل نمونه در دریفت ۳ درصد، (ت): تغیر شکل نمونه در پایان آزمایش ٤۱

شکل ۱-٤۳: حلقه‌های پسماند برای نمونه آزمایشی دوم (الف): طبقه دوم (ب): طبقه سوم ٤۱

شکل ۱-٤٤: مشخصات نمونه آزمایش‌شده در مدل تجربی صبوری و همکاران ٤۲

شکل ۱-٤٥: رفتار هیسترزیس دوخطی و سه خطی مدل صبوری و همکاران ٤۲

شکل ۱-٤٦: دیوار برشی غیر متصل به ستون‌های اصلی ٤۳

شکل ۱-٤۷: نمونه آزمایش دیوار برشی غیر متصل به ستون ٤۳

شکل ۱-٤۸: دیوار برشی غیر متصل به ستون‌های اصلی به همراه المان‌های کششی ٤٤

شکل ۱-٤۹: نمونه آزمایشی کوراتا ٤٤

شکل ۲-۱: الف) دیوار برشی بدون مهاربند ب) دیوار برشی با مهاربند [٤۷] ٤۷

شکل ۲-۲: اجزای تشکیل‌دهنده نمونه آزمایشی کوراتا [٤۷] ٤۸

شکل ۲-۳: اجزای تشکیل‌دهنده نمونه آزمایشی کوراتا [٤۷] ٥۰

شکل ۲-٤: نحوه محاسبه کرنش پلاستیک ٥۱

شکل ۲-٥: نحوه قرار گرفتن نمونه آزمایش در قاب بارگذاری [٤۷] ٥۲

شکل ۲-٦: نحوه مش‌بندی مدل اجزای محدود ٥۳

شکل ۲-۷: مدل المان محدود دیوار برشی بدون مهاربند بعد از تغییر شکل ٥٥

شکل ۲-۸: مدل المان محدود قاب خمشی همراه با مهاربند، بعد از تغییر شکل ٥٥

شکل ۲-۹: مشخصات هندسی و مقاطع به‌کاررفته در قاب خمشی آزمایش [۸] ٥٦

شکل ۲-۱۰: نحوه اعمال بار به قاب آزمایشی [۱۰] ٥۷

شکل ۲-۱۱: جزئیات مش بندی مدل اجزای محدود در محل اتصال تیر به ستون ٥۸

شکل ۲-۱۲: مدل المان محدود قاب خمشی بدون مهاربند بعد از تغییر شکل ۵۹

شکل ۳-۱: ابعاد هندسی سیستم ٦۳

شکل ۳-۲: جزئیات هندسی اعضای دیوار برشی ٦٤

شکل ۳-۳: نحوه مدل‌سازی اتصال میله‌های کششی به تیر و VBE ٦۵

شکل ۳-٤: ابعاد هندسی سیستم ٦٦

شکل ۳-۵: صفحه اعمال نیرو ٦٦

شکل ۳-٦: تغییرشکل سیستم، بعد از اعمال بارگذاری ٦۷

شکل ۳-۷: حرکت دورانی در المان‌های مرزی عمودی در محل براکت‌ها ٦۸

شکل ۳-۸: ترتیب گسیخته شدن اعضای سیستم ٦۹

شکل ۳-۹: انواع سیستم مقاوم‌سازی قاب خمشی فولادی [۱۰] ۷۰

شکل ۳-۱۰: قاب خمشی فولادی مقاوم‌سازی شده با دیوار برشی مذکور ۷۰

شکل ۳-۱۰:کمانش کلی بادبند در قاب خمشی با بادبند نبشی ۷۵

فهرست نمودارها

نمودار ۱-۱: سه ناحیه رفتار دیوار برشی فولادی ۱۳

نمودار ۲-۱: منحنی هیسترزیس نمونه آزمایشگاهی[٤٧] ۵۳

نمودار ۲-۲: منحنی هیسترزیس نمونه مدل‌سازی شده اول) بدون مهاربند کششی ٥٤

نمودار ۲-۳: منحنی هیسترزیس نمونه مدل‌سازی شده دوم) با مهاربند کششی ٥٤

نمودار ۲-٤: نحوه بارگذاری بر نمونه آزمایشی [۱۰] ۵۷

نمودار ۲-۵: منحنی هیسترزیس قاب خمشی فولادی بدون مهاربندی [۸] ۵۸

نمودار ۲-٦: منحنی هیسترزیس قاب خمشی فولادی بدون مهاربندی در مدل‌سازی المان محدود ۵۹

نمودار ۳-۱: منحنی هیسترزیس مدل اجزای محدود ٦۷

نمودار ۳-۲: منحنی هیسترزیس مدل اجزای محدود ٦۸

نمودار ۳-۳: تغییرات نیروی محوری ستون راست در پله های بارگذاری ٦۹

نمودار ۳-٤: منحنی هیسترزیس قاب‌های شکل ۳-۹ [۱۰] ۷۱

نمودار ۳-۵: منحنی هیسترزیس قاب (ت) ۷۱

نمودار ۳-٦: مقایسه منحنی‌های اسکلتون ۵ نمونه ۷۲

نمودار ۳-۷: مقایسه تغییرات نیروی محوری در ستون سمت راست برای قاب‌های الف، ب، ج و د [۱۰].. ۷٤

نمودار ۳-۸: تغییرات نیروی محوری در ستون سمت راست برای قاب (ت) ۷٤

فهرست جداول

جدول ۲-۱: مشخصات مکانیکی اجزای آزمایش [٤٧] ۵۰

جدول ۲-۲: بارگذاری نمونه آزمایشی [٤٧] ۵۱

جدول ۲-۳: مشخصات مصالح مصرفی [۱۰] ۵۷

جدول ۳-۱: نسبت‌های سختی اولیه، بار نهائی و جابجایی لحظه خرابی قاب‌ها به مقادیر نظیر قاب (الف) . ۷۲

مقدمه

قاب‌های خمشی فولادی در نواحی با خطر لرزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد، با شکل‌پذیری متوسط یا زیاد، طراحی می‌شوند و به دلیل قابلیت بهره‌برداری از فضای بین قاب‌ها، موردتوجه بیشتر طراحان می‌باشد. این قاب‌ها با تحمل تغییرشکل‌ها و دوران‌های پلاستیک بزرگ در محل مفصل‌های پلاستیک اعضا و اتصالات، دارای شکل‌پذیری و ظرفیت استهلاک مناسبی می‌باشند؛ عمده‌ترین مشکل ساختمان‌های ساخته‌شده با این سیستم در دهه‌های اخیر، تغییر مکان زیاد سازه و درنتیجه خرابی اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای ساختمان می‌باشد.

از میان روش‌های موجود مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی، استفاده از بادبند به‌منظور مقاوم‌سازی توسط برخی محققین بررسی شده است که در فصل‌های بعد به آن‌ها اشاره خواهد شد، نتایج این تحقیقات نشان داده است که مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی با افزودن مهاربند، موجب معایبی مانند ایجاد تغییرشکل ماندگار در قاب، تغییر رفتار شکل‌پذیر قاب به رفتار ترد، کمانش عضو فشاری مهاربند و افزایش نیروی محوری ستون‌های مجاور که نیاز به مقاوم‌سازی ستون و پی را ایجاد می‌کند، می‌شود.

یکی از روش‌هایی که می‌تواند برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای این قاب‌ها مورداستفاده قرار گیرد استفاده از دیوار برشی فولادی غیر متصل به ستون‌های اصلی به همراه مهاربندهای کششی، می‌باشد که به نظر می‌رسد بنا به دلایلی در ایران، تاکنون موردتوجه طراحان، قرار نگرفته است؛ شاید یکی از این دلایل، نبود اطلاعات کافی درباره رفتار این سیستم، در برابر نیروهای جانبی باشد.

در این پایان‌نامه با معرفی رفتار دیوار برشی فولادی غیر متصل به ستون‌های کناری و ارائه مدل تحلیلی مناسب، به بررسی رفتار این سیستم، تحت بارگذاری غیرخطی استاتیکی و چرخه‌ای پرداخته و از نتایج حاصل، در مقاوم‌سازی قاب خمشی فولادی، استفاده کرده و درنهایت، این روش مقاوم‌سازی را با سه روش مقاوم‌سازی دیگر یعنی سیستم مهاربند ضربدری نبشی، سیستم مهاربند ضربدری کابلی، سیستم مهاربند ضربدری کابلی به همراه غلاف استوانه‌ای، مقایسه می‌نماید.

این پایان‌نامه در سه فصل تنظیم شده است.

در فصل اول، به مفاهیم پایه و بررسی منابع پرداخته می‌شود، در فصل دوم با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس[1] مدل‌سازی نمونه‌ها و صحت‌سنجی آن‌ها شرح داده می‌شود، در فصل سوم، نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های اجزای محدود، مانند منحنی‌های هیسترزیس، منحنی‌های اسکلتون، نمودار تغییرات نیروی محوری ستون و رفتار نمونه‌ها، مقایسه و نتیجه‌گیری می‌شود.

[1] ABAQUS

فصل اول: مفاهیم پایه و پیشینه تحقیق

۱-۱ مقدمه

پس از زلزله مهیب نورتریج در سال ۱۹۹۴ و خرابی بسیار بالای قاب‌های خمشی، سازمان مدیریت بحران آمریکا[1] با همکاری چندین سازمان دیگر، مطالعات گسترده‌ای را به‌منظور بررسی دلایل تخریب قاب‌های خمشی فولادی انجام دادند. این‌گونه قاب‌ها به علت شکل‌پذیری بالا در زلزله، متحمل تغییرمکان های جانبی بزرگی می‌شدند و نیرویی بیش از ظرفیت اعضا در آن‌ها ایجاد می‌شد؛ همچنین با افزایش تغییر مکان جانبی، دوران اتصال صلب تیر به ستون نیز افزایش یافته و شکست ترد در اتصالات رخ می‌داد [۱]. برای حل این مشکل، مقاوم‌سازی این قاب‌ها، ضرورت پیدا می‌کند.

۱-۲ تعریف سیستم قاب خمشی فولادی

این اصطلاح، زمانی به یک قاب اطلاق می‌شود که در گره‌های موجود در قاب، اتصالات مفصلی نداشته و به‌جای آن، گره‌ها کاملاً صلب بوده و در برابر چرخش مقاومت کنند. اعضای قاب‌های خمشی رفتاری مثل تیرستون‌ها دارند. البته چرخش کل یک گره با حفظ حالت و زوایای اعضای متصل به آن صورت می‌پذیرد که مقدار چرخش و پخش لنگر در بین اعضا به سختی اعضای متصل، بستگی دارد. گیرداری ستون‌ها، طول مؤثر آن‌ها را کاهش می‌دهد و اجازه می‌دهد ستون‌ها لاغرتر باشند و به دلیل صلب بودن اتصالات، لنگرها و چرخش‌های تیرها هم کاهش می‌یابد. قاب‌های خمشی به نشست، بسیار حساس می‌باشند زیرا کرنش‌های موجود در قاب را تشدید کرده و توزیع تنش در آن‌ها را تغییر می‌دهد. در اتصالات این قاب‌ها، بال اعضاء به‌طور کامل به بال اعضای دیگر متصل می‌شوند که این کار را می‌توان با جوشکاری یا صفحات پیچ و مهره‌دار انجام داد.

۱-۳ طراحی قاب‌های خمشی فولادی

از روش‌های معمول تحلیل سازه‌ها مثل روش تقریبی پورتال، روش کار مجازی، روش کاستیلیانو، روش نیرو، روش شیب افت، روش سختی و آنالیز ماتریسی می‌توان برای تحلیل قاب و به دست آوردن نیروهای داخلی، لنگرها و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی استفاده کرد. ترکیبات بارها برای قاب‌های تحت بارهای مرده، بارهای زنده، زلزله، باد و غیره، بار بحرانی را نتیجه می‌دهند. بیشترین مقادیر لنگر ممکن است تحت بارگذاری‌های مختلف و

[1] FEMA

درجاهای متفاوتی رخ دهد. اگر قاب صلب و یا غیرصلب باشد، کف می‌تواند صفحه و یا دال (در محل ستون‌ها دارای افت است) باشد. هرکدام از آن‌ها با توجه به ابعاد خود و تکیه‌گاه‌های خود می‌توانند رفتارهای مختلفی داشته باشند:

۱- رفتار یک‌طرفه = مشابه تیر پهن با نسبت طول به عرض بیشتر از ۱/۵

۲- رفتار دوطرفه = با نسبت طول به عرض کمتر از ۱/۵ یا ۲ که نامعین هستند.

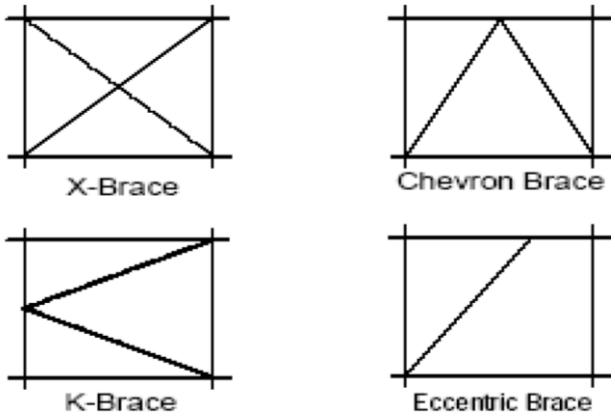
۱-۴ مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از سیستم مهاربندی فولادی

قاب‌های خمشی فولادی در اثر حرکات شدید زمین، تغییر مکان‌های زیادی را تجربه می‌کنند و سه مسئله مهم یعنی آسیب‌دیدگی اعضای غیرسازه‌ای، تشدید اثرات P-Δ و ترک‌خوردگی و شکستن اتصال تیر به ستون را به دنبال دارند. به همین دلیل مهندسین به استفاده بیشتر از قاب‌های مهاربندی‌شده روی آورده‌اند. رفتار هیسترتیک مهاربندی در کشش و فشار متقارن نیست و در هنگام بارگذاری یک‌طرفه معمولاً مقاومت زیادی از دست می‌دهند؛ به همین دلیل، رفتار پیچیده این سیستم، توزیع واقعی نیروهای داخلی و تغییرشکل های آن، با آنچه روش‌های مرسوم طراحی پیش‌بینی می‌کنند، مغایرت دارد. ساده‌سازی‌های طراحی و ملاحظات اجرایی معمولاً موجب می‌شوند که مهاربندی‌های بعضی از طبقات، بسیار قوی‌تر ازآنچه موردنیاز است و در بعضی طبقات، نتایجی نزدیک به اهداف طراحی داشته باشند. همه‌ی مسائل گفته‌شده به‌اضافه درنظرگرفتن از دست رفتن مقاومت مهاربندی پس از کمانش، موجب ضیف شدن بعضی از طبقات سازه شده و باعث می‌شود خرابی‌های ناشی از زلزله و سایر بارهای جانبی در این طبقات، متمرکز گردد؛ این خرابی‌ها اگرچه منجر به خرابی کلی نمی‌شود ولی خرابی اعضای غیر سازه‌ای را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل از سال ۱۹۹۰ ضوابط طراحی مهارها تغییر کرد و البته تحقیقات زیادی برای بهبود وضعیت فوق به‌خصوص در مورد مهاربندی‌های همگرا صورت گرفت. برای حذف این معایب، تحقیقاتی انجام گرفته است و در این تحقیقات، به‌منظور از بین بردن احتمال کمانش و حفظ شکل‌پذیری قاب، روش‌هایی مانند استفاده از بادبندهای غیرفشاری [۲]، بادبندهای مقاوم در برابر کمانش [۳] و بادبندهای فولادی استهلاکی [۴] موردبررسی قرارگرفته است. این تحقیقات در پی یافتن روشی است که بتواند به‌صورت همزمان اهداف بیان‌شده در بالا را تأمین کند.

سیستم مهاربندی متشکل از تیرها و ستون‌هایی است که با اعضایی فولادی و با اتصالاتی مفصلی به هم متصل شده‌اند تا در برابر نیروهای جانبی مقاومت کنند [۵].

به‌طورکلی مهاربندی‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی مهاربندی‌های هم‌محور که در آن‌ها فقط اعضای بادبند بـه کشـش یـا فشار می‌افتند و مهاربندی‌های برون‌محور که در آن‌ها قسمت‌هایی از سازه هم به برش یا خمش افتـاده و در بـاربری دخیل می‌شوند، تقسیم کرد. اشکال مختلف آن که متداول هستند مـی‌تـوان بـه مهاربنـدی‌هـای ضـربدری[۱]، قطـری[۲]، زانویی[۳] و K شکل یا شورون[۴] اشاره کرد (شکل ۱-۱).

مهاربند زانویی متأخرترین سیستم مهاربندی معرفی‌شده در سطح دنیاست که نسبت به سیسـتم‌هـای مهاربنـدی درون محور و برون‌محور، عملکرد بهتری دارد [۶].



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از اشکال مختلف مهاربند

۱-۵ مقاوم‌سازی قاب‌های خمشی فولادی با استفاده از سیستم مهاربند کابلی

مهاربندهای کابلی دارای مزیت‌هایی از قبیل وزن فوق سبک، تنش تسلیم ۸ برابر نسبت به فولاد، کـاهش وزن سازه، تعویض راحت بعد از خرابی و افزایش مقاومت جانبی سازه می‌باشند. با توجه به خواصی که کابـل‌هـا دارنـد، استفاده از آن‌ها در مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی، بسیار مناسب می‌باشد و در بعضی مواقع، برای استهلاک انـرژی در سازه، از ترکیب کابل و میراگرها، استفاده می‌شود [۷].

هو و تاگاوا [۸, ۹] در سال ۲۰۰۹ روشی برای مقاوم‌سازی قاب‌های خمشـی فـولادی بـا اسـتفاده از مهاربنـد کابلی را پیشنهاد نموده‌اند. در این روش، دو کابل فولادی در نقطه برخورد از میان یک غـلاف اسـتوانه‌ای عبـور داده می‌شوند. عضو مهاربندی برای دامنه‌های ارتعاش کم تا متوسط وارد عمل نمی‌شود. برای دامنه‌هـای ارتعـاش بـزرگ،

[۱] X Bracing

[۲] Diagonal Bracing

[۳] Knee Bracing

[۴] Chevron Bracing

عضو مهاربندی تغییرمکان نسبی بین طبقات را در یک محدوده معین کنترل می‌کند. هو و تاگاوا [۹] رفتار قاب با مهاربندی پیشنهادی خود، قاب خمشی بدون مهاربند و قاب خمشی مهارشده با کابل‌های ضربدری را به‌صورت تجربی و تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای بررسی نموده‌اند (شکل ۱-۲).

(ب) (الف)

شکل ۱-۲: الف) مدل آزمایشی هو و تاگاوا؛ ب) غلاف استوانه‌ای و کابل‌های عبوری از آن[۹]

حسین زاده و همکاران [۱۰] در سال ۱۳۹۲ رفتار قاب‌های خمشی فولادی مقاوم‌سازی شده با سه شیوه مهاربندی زیر را بررسی نمودند:

مهاربند ضربدری با نیمرخ نبشی

مهاربند ضربدری با کابل (مدل تجربی هو و تاگاوا)

مهاربند با دو کابل عبور داده‌شده از یک غلاف فولادی استوانه‌ای (مدل تجربی هو و تاگاوا)

در شکل ۱-۳ مشخصات نمونه‌های فوق آمده است.