ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی زیپر مهاربندی شِورون تحت زلزله‌های حوزه نز

با قاب‌های دیک گسل

محسن بختیاری مقدم
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله

فرشته امامی
استادیار گروه عمران - زلزله دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات تهران

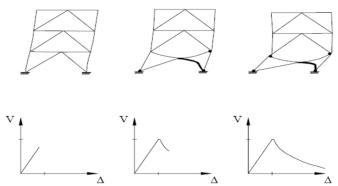
خلاصه

استفاده از قاب‌های مهاربندی شورون (V شکل معکوس)، به‌عنوان یکی از سیستم‌های رایج باربر جانبی در سازه‌های فولادی است. این سیستم‌ها دارای سختی و مقاومت بالایی می‌باشند ولی رفتار پس کمانشی ضعیفی از خود نشان می‌دهند، به این صورت که در اثر کمانش مهاربند در یک طبقه یک نیروی نامتعادل‌کننده قائم در وسط دهانه تیر وارد می‌شود که این امر باعث تمرکز خرابی در آن طبقه و درنهایت انهدام سازه می‌شود. برای مقابله با این وضعیت می‌توان از المان‌هایی قائم (زیپر) استفاده نمود تا نیروی نامتعادل ایجادشده در طبقه را، به طبقات بالاتر انتقال دهد، به چنین قابی اصطلاحاً قاب مهاربندی زیپر گفته می‌شود. در این تحقیق یک مطالعه مقایسه‌ای بین رفتار لرزه‌ای قاب مهاربندی شورون و زیپر صورت گرفته است. برای این منظور بروی نمونه‌های مختلفی از قاب‌های مهاربندی‌شده با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹ و ۱۵ تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ انجام‌یافته است. مدل‌های انتخاب‌شده مطابق ضوابط آیین‌نامه فولاد ایران و استاندارد ۲۸۰۰ طراحی‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آنالیزها، مشاهده‌شده است که رفتار دینامیکی قاب‌های زیپر ازلحاظ کنترل دریفت (تغییر مکان نسبی طبقات) و جابه‌جایی حداکثر طبقات و تاریخچه پاسخ تغییر مکان بام تحت یک زلزله مشخص، بهتر از قاب‌های شورون می‌باشند.

کلمات کلیدی:
مهاربند، شورون، زیپر، رفتار لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی،

۱. مقدمه

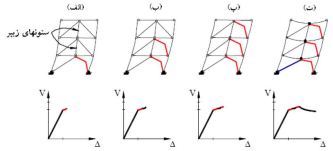
قاب‌های شورون، یکی از انواع قاب‌های مهاربندی‌شده هم‌مرکز هستند. رفتار چنین سیستم‌هایی وابسته به رفتار مهاربندها است (شکل ۱). به‌طورکلی این سیستم‌ها قابلیت بازپخش بیشتر نیروها را پس از خرابی موضعی پیش‌آمده در یک طبقه ندارد و در زلزله‌های گذشته رفتار خوبی را از خود نشان نداده‌اند. به خاطر تأکید بیشتری که در ۲۰ سال اخیر برافزایش شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز شده است، قاب‌های شورون با شکل‌پذیری ویژه (SIVBF) ارائه‌شده‌اند. قاب‌های شورون با شکل‌پذیری ویژه نسبت به قاب‌های شورون معمولی (OIVBF) از عملکرد لرزه‌ای بهتری برخوردار می‌باشند.



شکل ۱- مکانیسم خرابی قاب‌های مهاربندی شورون معمولی و نمودار بار جانبی- تغییر مکان آن

در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون معمولی زمانی که بار جانبی افزایش می‌یابد، مهاربندهای فشاری کمانش کرده و ظرفیت محوری آن‌ها کاهش می‌یابد، این در حالی است که نیروهای مهاربندهای کششی در حال افزایش بوده تا اینکه به حد تسلیم برسند، در این وضعیت در محل اتصال مهاربندها به تیرها نیروی قائم نامتعادل‌کننده بزرگی وارد می‌شود که می‌تواند باعث به وجود آمدن تغییر شکل‌های بزرگ در تیر شود. برایی جلوگیری از کاهش نامطلوب مقاومت جانبی قاب، آیین‌نامه‌های طراحی، الزام می‌دارند که تیرها علاوه بر تحمل نیروهای ثقلی از مقاومت کافی برای مقابله با این نیروی پس کمانشی قابل‌توجه برخوردار باشند. رعایت چنین ضابطه‌ای منجر به وجود آمدن تیرهای بسیار سنگین و عمیق خواهد شد.

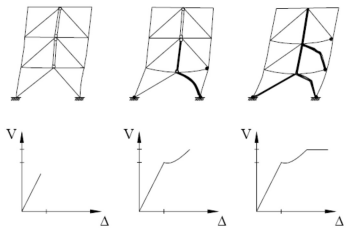
می‌توان تأثیر نامطلوب این نیروی قائم نامتعادل‌کننده را با اضافه کردن المان‌های زیپر مابین نقاط اتصال مهاربندها به تیرها از بین برد. چنین سیستمی برای اولین بار توسط خطیب Khatib و همکاران پیشنهادشده است (شکل ۲). در این سیستم مهاربندی نیروی نامتعادل‌کننده به وجود آمده در یک طبقه، توسط المان زیپر به طبقه بالاتر انتقال می‌یابد، درنتیجه نیروی فشاری وارد بر مهاربند فشاری طبقه دوم افزایش می‌یابد و درنهایت باعث می‌شود که آن مهاربند نیز کمانش کند (شکل ۲- الف و ب).



شکل ۲- مکانیسم خرابی قاب‌های مهاربندی‌شده زیپر معمولی

کمانش تقریباً هم‌زمان مهاربندها در کل ارتفاع سازه باعث توزیع یکنواخت خرابی و خسارت در سازه می‌شود؛ اما زمانی که مکانیسم زیپر در قاب تشکیل می‌شود (شکل ۲ – ت)، ظرفیت جانبی قاب کاهش‌یافته و ناپایدار می‌شود. ایراد مکانیسم زیپر را می‌توان با به‌کارگیری سیستم معروف به قاب زیپر معلق، رفع کرد (شکل ۳). در یک قاب زیپر معلق مهاربندهای طبقه بام طوری طراحی می‌شوند که بعد

از کمانش همه مهاربندهای فشاری و تسلیم مهاربند کششی، در محدوده الاستیک باقی بمانند. ازآنجایی‌که وظیفه اولیه المان زیپر تحمل نیروی کششی است و این المان‌ها تیرها را در وسط دهانه مهار می کنند، بنابراین تیرها می‌توانند به‌صورت انعطاف‌پذیر طراحی شوند. این کار باعث می‌شود که در میزان فولاد مصرفی برای تیرها، صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای ایجاد شود.



شکل ۳ – مکانیسم خرابی در قاب‌های مهاربندی‌شده زیپر معلق

با توجه به موقعیت قرارگیری شهر تهران در پهنه خطرپذیری بسیار زیاد متأسفانه مشاهده می‌گردد (تصویر ۱) در برخی ساختمان‌ها که از سیستم قاب مهاربندی شورون استفاده می کنند، تیر مهاربند برای مقابله با نیروی نامتعادل‌کننده عمودی طراحی نمی‌گردد، در مدل‌سازی چنین قاب‌هایی در زلزله‌های حوزه نزدیک گسل رفتار بسیار نامطلوبی از این نوع قاب‌ها مشاهده می‌شود، تیر مهاربند اگر برای نیروی نامتعادل کننده عمودی طراحی نشده باشد پس از کمانش و تسلیم مهاربند یک طبقه شاهد یک مکانیسم در آن طبقه خواهیم بود که تأثیر بسیار نامطلوبی در رفتار کل سازه خواهد داشت. این اثر نامطلوب را فقط در نتایج تحلیل غیرخطی می‌توان دید. در طراحی خطی چنین قاب‌هایی، کنترل پارامتر جابه-جایی نسبی طبقات (دریفت) نیز در محدوده مجاز است درصورتی‌که تیر مهاربندی برای نیروی نامتعادل‌کننده عمودی طراحی نشده است (شکل ۷). برخی از مهندسین محاسب تیر مهاربند را فقط برای بار ثقلی طراحی می‌کنند و اثر نیروی نامتعادل کننده عمودی را نادیده می‌گیرند. ازآنجاکه طراحی تیر مهاربندی برای نیروی نامتعادل‌کننده عمودی منجر به تیرهای عمیق و سنگین می‌باشد، مطلوب برخی از کارفرمایان ازلحاظ اقتصادی نمی شد.

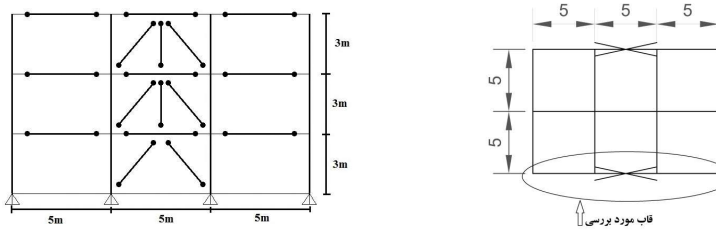
تصویر (۱) ساختمان موجود در حال ساخت عدم طراحی

تیر مهاربند برای نیروی نامتعادل کننده عمودی

در این تحقیق سعی شده است با مدل‌سازی قاب‌های مهاربندی شورون معمولی که تیر مهاربندی فقط برای بار ثقلی طراحی‌شده است و اثر نیروی نامتعادل کننده عمودی در نظر گرفته نشده است پی به رفتار این نوع قاب‌ها در زلزله ای قوی و حوزه نزدیک گسل برده شود و با بهسازی این نوع قاب‌ها با اضافه کردن ستون زیپر و تقویت مهاربند آخرین طبقه که همان قاب مهاربندی زیپر معلق می باشد، به رفع این نوع نقص در قاب شورون پرداخته شود. در ادامه به مقایسه قاب مهاربندی زیپر با قاب مهاربندی شورون ویژه که اثر نیروی نامتعادل کننده عمودی در نظر گرفته‌شده است پرداخته می‌شود.

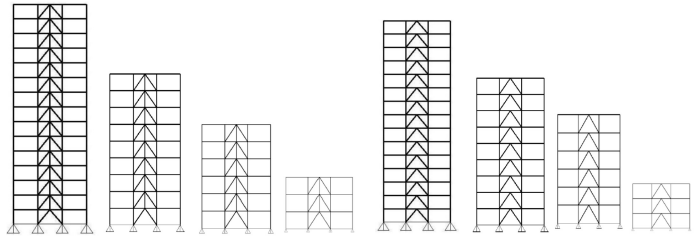
۲. مدل‌سازی و فرضیات مورداستفاده در آنالیزها

مدل سازه‌ای موردبررسی در این تحقیق دارای یک پلان مستطیلی شکل به ابعاد ۱۰×۱۵ متر بوده (شکل ۴) و به نظور کاهش حجم و زمان محاسبات، از مدل دوبعدی مطابق شکل ۵ استفاده‌شده است.



شکل ۴- پلان مدل‌ها موردمطالعه شکل ۵ – قاب سه‌طبقه مهاربندی‌شده زیپر

مدل‌های موردمطالعه در این تحقیق شامل ۸ قاب با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹ و ۱۵ می‌باشند (شکل ۶). ارتفاع طبقات در همه‌ی مدل‌ها ۳ متر است. کلیه اتصالات تیرها، مهاربند به ستون‌ها و زیپرها به تیر به‌صورت مفصلی فرض شده است. برای بارگذاری ثقلی و لرزه‌ای از آیین‌نامه بارگذاری مبحث ششم و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و برای طراحی قاب‌ها و ضوابط لرزه‌ایی از مبحث دهم به روش حالت حدی LRFD، استفاده گردیده است. بارهای ثقلی مرده وزنده طبقات به ترتیب برابر، ۶۰۰ kg/m۲ و ۲۰۰ kg/m۲ می‌باشد. بارگذاری لرزه‌ایی بر اساس پارامترهای زیر محاسبه‌شده است: خطر لرزه یزی منطقه بسیار زیاد، ضریب اهمیت سازه I=۱، خاک از نوع ۳، ضریب رفتار ۵/۵، ضریب اضافه مقاومت Ω=۲ انتخاب‌شده است. فولاد مصرفی از نوع ST-۳۷ می‌باشد، میزان سخت شدگی کرنشی مصالح ۳درصد فرض گردیده است. جرم لرزه‌ایی برابر مجموع بار مرده بعلاوه ۲۰ درصد بار زنده در نظر گرفته‌شده است. ابتدا مدل‌ها از روش استاتیکی خطی طراحی اولیه شده‌اند، سپس المان زیپر، از روش طراحی ظرفیت استفاده‌شده است.

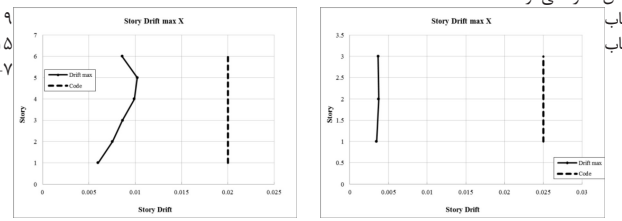


الف- قاب‌های مهاربندی شورون ب- قاب ای قاب مهاربندی زیپر

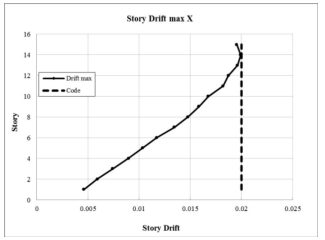
شکل ۶-مدل‌های مهاربندی‌شده شورون معمولی و زیپر با تعداد طبقات مختلف

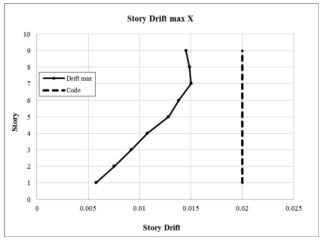
نمودارهای شکل ۷ مربوط به کنترل توزیع نسبت دریفت طبقات قاب مهاربندی شورون معمولی از تحلیل و طراحی استاتیکی خطی می باشد، همان‌طور که از این نمودارها پیداست بااینکه اثر نیروی نامتعادل‌کننده عمودی در تیرهای مهاربندی نادیده گرفته‌شده است اما تمامی مدل‌ها در محدوده مقدار مجاز آیین‌نامه می شند، این نشان می‌دهد اثر نیرو پس کمانشی مهاربندها در پارامترهای کنترل دریفت استاتیکی خطی آیین‌نامه نشان داده نمی‌شود و این اثر فقط در تحلیل‌های غیرخطی می‌توان دید که تأثیر بسیار مهم و بسزایی در رفتار لرزه‌ایی سازه‌ها دارد که در ادامه بدان اشاره می‌گردد.

ج- قاب ۹ طبقه
د- قاب ۱۵ طبقه
شکل ۷-



الف- قاب ۳ طبقه ب- قاب ۶ طبقه





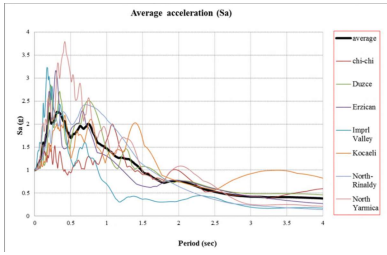
نمودارهای مربوط به توزیع نسبت دریفت بین طبقات در ارتفاع قاب مهاربندی شورون معمولی

۳. آنالیز دینامیکی غیرخطی

در این تحقیق برای انجام آنالیز دینامیکی غیرخطی از روش تاریخچه زمانی، استفاده‌شده است و برای این منظور مدل ای دوبعدی در محیط نرم‌افزار SAP۲۰۰۰[۱۱]، به‌طور جداگانه تحت مؤلفه‌های افقی زلزله‌های مختلف قرارگرفته‌اند. به‌منظور انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی، ۷ زوج شتاب‌نگاشت حوضه نزدیک و دارای پالس و بدون پالس انتخاب می‌شوند. این شتاب‌نگاشتها، از زلزله‌های حوزه نزدیک پیشنهادشده FEMA P۶۹۵ [۱۲] و با شرایط خاک مشابه استاندارد ۲۸۰۰[۲] با خاک فرض شده در مدل‌ها انتخاب‌شده است. خاک فرض شده برای مدل‌ها، خاک نوع ۳ و با سرعت موج‌برشی ۳۷۵-۱۷۵ متر بر ثانیه است که مشابه خاک نوع D آیین‌نامه ASCE [۸] می‌باشد، بر این اساس نام رویداد و دیگر مشخصات شتاب‌نگاشتهای انتخاب‌شده در جدول زیر آورده شده است. به‌منظور دسترسی ساده به شتاب‌نگاشتها RSN اختصاصی سایت PEER نیز در جدول ارائه‌شده است، از هر زوج شتاب‌نگاشت، مقدار PGA حداکثر انتخاب و موردبررسی قرارگرفته است.

RSN	رویداد	محل رخداد	ایستگاه ثبت	سال رخداد	فاصله از گسل (کیلومتر)	بزرگا (ریشتر)	PGA
۸۲۱	Erzican, Turkey	ترکیه	Erzincan	۱۹۷۹	۲۷.۵	۶.۵	۰.۴۹
۱۰۶۳	Northridge-01	آمریکا	Rinaldi Receiving Sta	۱۹۷۹	۲۷.۶	۶.۵	۰.۸۷
۱۵۰۳	Chi-Chi, Taiwan	تایوان	TCU065	۱۹۸۷	۱۶.۰	۶.۵	۰.۸۲
۱۶۰۵	Duzce, Turkey	ترکیه	Duzce	۱۹۹۲	۹.۰	۶.۷	۰.۵۲
۱۶۰	Imperial Valley-06	آمریکا	Bonds Corner	۱۹۷۹	۶.۲	۶.۵	۰.۷۶
۱۰۴۸	Northridge-01	آمریکا	Northridge - Saticoy	۱۹۷۹	۱۸.۹	۶.۵	۰.۴۲
۱۱۷۶	Kocaeli, Turkey	ترکیه	Yarimca	۱۹۹۴	۳.۴	۶.۷	۰.۳۱

ضرایب مقیاس چنان تعیین می‌شود که در محدوده دوره تناوب‌های ۰. ۲T تا ۱. ۵T، مقادیر طیف میانگین از مقادیر طیف پاسخ طرح کمتر نباشد T دوره تناوب اصلی سازه می‌باشد. در این مطالعه مقیاس کردن شتاب گاشتها مشابه روش استاندارد ۲۸۰۰ برای حالت آنالیز دینامیکی دوبعدی است.



۱- ضریب مقیاس مدل ۳ طبقه: ۰/۵۵۸

۲- ضریب مقیاس مدل ۶ طبقه: ۰/۶۶۲

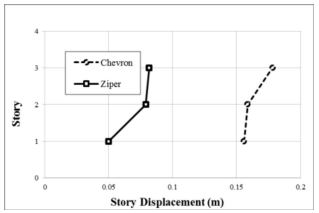
۳- ضریب مقیاس مدل ۹ طبقه: ۰/۵۶۴

۴- ضریب مقیاس مدل ۱۵ طبقه: ۰/۵۸۱ شکل ۸- نمودار طیف پاسخ شتاب میانگین ۷ رکورد حوزه نزدیک گسل

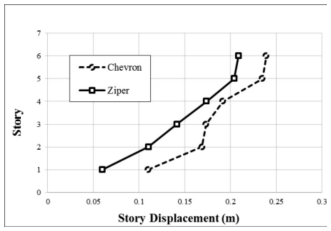
۱،۳ مقایسه ماکزیمم تغییر مکان طبقات در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون و زیپر

در نمودارهای شکل ۹ مقادیر جابه‌جایی حداکثر طبقات، در قاب‌های مهاربندی شورون و زیپر بیان‌شده است. از مقایسه

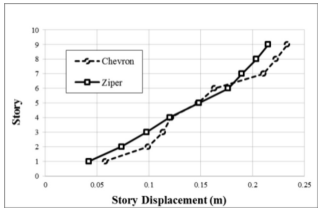
نتایج می‌توان پی برد که قاب زیپر نسبت به شورون، جابه‌جایی حداکثر طبقات کاهش‌یافته است و این درصد کاهش در نمودارهای شکل ۱۰ نشان داده‌شده است. مقادیر کاهش در قاب‌های ۳ و ۶ طبقه بیشتر دیده می‌شود که نشان از اثرات بیشتر زیپر در قاب‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه می‌باشد.



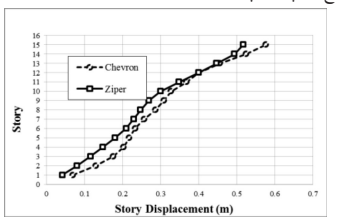
الف- قاب ۳ طبقه



ب- قاب ۶ طبقه

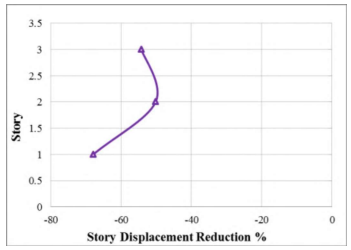


ج- قاب ۹ طبقه

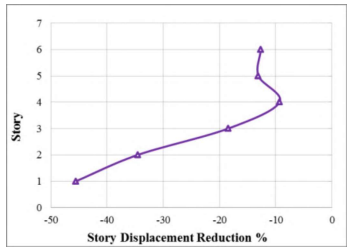


د- قاب ۱۵ طبقه

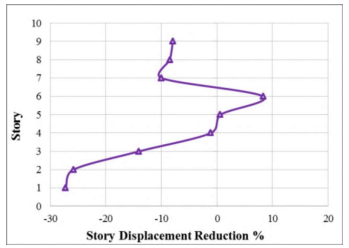
شکل ۹- مقایسه ماکزیمم تغییر مکان طبقات در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون و زیپر



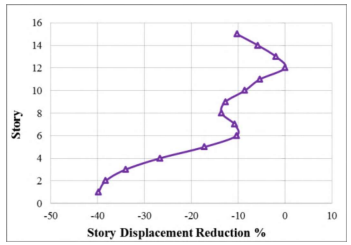
الف- قاب ۳ طبقه



ب- قاب ۶ طبقه



ج- قاب ۹ طبقه

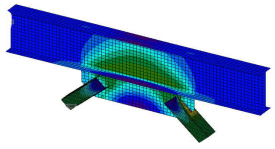


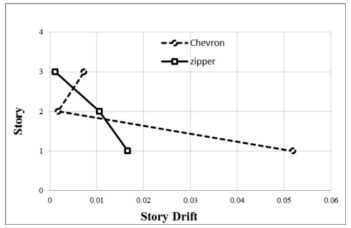
د- قاب ۱۵ طبقه

شکل ۱۰- درصد کاهش تغییرات ماکزیمم تغییر مکان طبقات قاب زیپر نسبت به قاب شورون

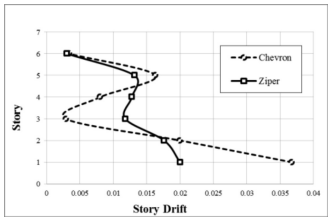
۲،۳مقایسه نسبت دریفت بین طبقات در قاب‌های مهاربندی شورون و زیپر

نمودارهای شکل ۱۱ به‌منظور مقایسه مقادیر نسبت‌های دریفت بین طبقاتی در سیستم‌های مهاربندی‌شده شورون و زیپر ارائه‌شده است، هریک از نمودارهای موجود در حقیقت مقادیر میانگین به دست آماده از تحلیل زلزله‌ها است. از بررسی نمودارهای شکل ۱۱ پی برده می‌شود که سیستم قاب مهاربندی زیپر نسبت به سیستم قاب مهاربندی شورون، از یکنواختی بیشتر و پراکندگی کمتر دردریفت طبقات برخوردار می‌باشد. در قاب شورون در تمامی مدل‌ها در طبقات پایین‌تر مقادیر دریفت بسیار زیاد است که نشان از ایجاد مکانیسم طبقه نرم در طبقات پایین می‌باشد که ناشی از کمانش مهاربند فشاری و تسلیم مهاربند کششی در آن طبقه می‌باشد که با ایجاد نیروی نامتعادل‌کننده عمودی که مقدار بسیار زیادی می‌باشد به تیر طبقه اعمال می‌گردد و باعث ایجاد مکانیسم در آن طبقه می‌گردد که رفتار سازه را در طول ارتفاع قاب دستخوش تغییرات نامطلوبی می‌کند که این مکانیسم ممکن است باعث خرابی و فروریزش در سازه شود که در قاب زیپر چنین رخدادی مشاهده نمی‌گردد؛ زیرا که المان زیپر یا ستون زیپر پس از کمانش مهاربند فشاری وارد عمل شده و از یک مکانیسم کلی در طول ارتفاع سازه جلوگیری می‌کند و با انتقال نیروهای نامتعادل‌کننده عمودی به طبقات بالا و سپس انتقال این نیروها به ستون‌های مجاور و بعدازآن به پی نقش تأثیرگذاری را ایفا می‌کند. نقش المان زیپر، در رفتار قاب، پس از کمانش و تسلیم مهاربند طبقه می‌باشد. در قاب شورون هرگونه خلاف یکنواختی در طبقه بیان‌گر ایجاد مکانیسم در آن طبقه می‌باشد. در قاب ۳ طبقه، طبقه اول و در قاب ۶ طبقه اول مششم و در قاب ۹ طبقه اول و پنجم و هفتم گویای این مطلب می‌باشد. اگر به ترتیب به بررسی نتایج پرداخته شود مشاهده می‌گردد که با افزایش تعداد طبقات اثرات مثبت رفتار لرزه‌ایی قاب زیپر کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در قاب ۱۵ طبقه بااینکه نسبتاً رفتار بهتری از زیپر در مقایسه با قاب شورون مواجهه هستیم اما نتایج دریفت زیپر هم چندان قابل‌قبول نبوده و پراکندگی‌هایی در بعضی از طبقات قاب ۱۵ طبقه مشاهده می‌گردد.

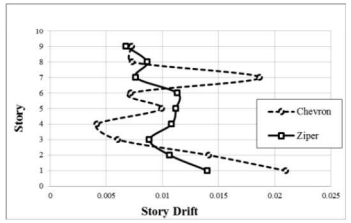




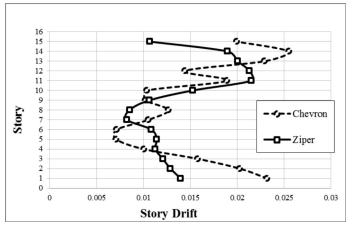
الف- قاب ۳ طبقه



ب- قاب ۶ طبقه



ج- قاب ۹ طبقه

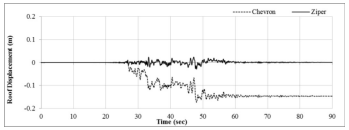


د- قاب ۱۵ طبقه

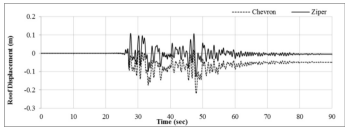
شکل ۱۱-مقایسه نسبت دریفت طبقاتی در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون و زیپر

۳. ۳ مقایسه تاریخچه پاسخ تغییر مکان بام تحت یک زلزله مشخص:

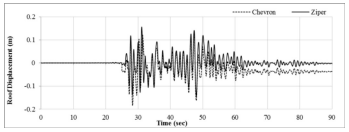
در ادامه یک مقایسه بین مدل‌ها از تاریخچه پاسخ بام تحت یک زلزله، انجام‌گرفته است (شکل ۱۲). زلزله چی چی تایوان را به‌عنوان نمونه انتخاب می‌گردد زیرا یک زلزله بسیار قوی با محتوی فرکانسی بالا و با مدت‌زمان حدود ۹۰ ثانیه می‌باشد (شکل ۱۳). هدف بررسی میزان اثر تغییر مکان ماندگار بروی سازه پس از اتمام زلزله می‌باشد. قاب شورون معمولی به خاطر ایجاد یک ناپایداری یا مکانیسم در یک طبقه با کاهش سختی زیادی مواجه می‌گردد و این کاهش سختی باعث ایجاد یک تغییر مکان ماندگار در قاب می‌شود و قاب حول یک محور دیگر شروع به نوسان می‌کند. همان‌طور که از نمودار تاریخچه قاب شورون پیداست، این کاهش سختی ناشی از کمانش مهاربندهای فشاری و تسلیم مهاربند کششی و تشکیل مفصل پلاستیک در تیر مهاربندی می‌باشد و بدین علت یک تغییر مکان ماندگاری پس از پایان زلزله اتفاق می‌افتد که مقداری حدوداً برابر با ۱۵ سانتی‌متر برای مدل ۳ طبقه، ۵ سانتی‌متر برای ۶ طبقه، ۳ سانتی‌متر برای ۹ طبقه می‌باشد و حدود ۱۶ سانتی‌متر برای مدل ۱۵ طبقه که در مقایسه با زیپر این اثر ماندگار دیده نمی‌شود این بدین علت است که المان زیپر پس از کمانش مهاربند فشاری از ایجاد تشکیل مفصل در تیر مهاربندی جلوگیری به عمل می‌آورد و از اثر کاهش سختی قاب جلوگیری به عمل می‌آورد.



الف- قاب سه‌طبقه



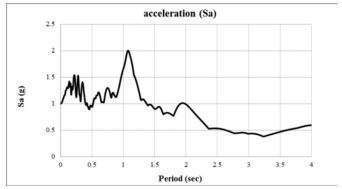
ب- قاب ۶ طبقه



ج- قاب ۹ طبقه

د- قاب ۱۵ طبقه

شکل ۱۲- مقایسه تاریخچه پاسخ تغییر مکان بام تحت زلزله چی چی تایوان در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون و زیپر



شکل ۱۳- نمودار پاسخ شتاب زلزله چی چی تایوان مقیاس شده به 1g

۳. ۴ بررسی نتایج

همان‌طور که از روند نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی پیداست با افزایش تعداد طبقات از اثرات مثبت قاب مهاربندی زیپر کاسته می‌شود. این می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که قاب‌های مهاربندی چه از نوع زیپر باشد یا از نوع شورون ویژه نمی‌تواند عملکرد خوبی از خود در سازه‌های بلند تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل از خود نشان دهد. این نتایج را از مقایسه دریفت مدل‌ها می‌توان پی برد. پس سیستم مهاربندی زیپر برای قاب‌های کوتاه مرتبه و نیز میان مرتبه نتایج خوبی به دنبال خواهد داشت. این مطلب در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۲] بدین گونه بیان گردیده است: طبق بند ۳-۳-۵-۴ در ساختمان‌های با بیشتر از ۱۵ طبقه و یا بلندتر از ۵۰ متر برای مقابله با تمام نیروی جانبی زلزله منحصراً به دیوارهای برشی و یا قاب‌های مهاربندی‌شده نمی‌توان اکتفا نمود و استفاده از سیستم قاب خمشی ویژه و یا سیستم دوگانه الزامی می‌باشد، روند نتایج در این تحقیق نیز گویای این بند استاندارد ۲۸۰۰ می باشد. در این تحقیق ۴ مدل قاب با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹ و ۱۵ طبقه در سه دسته‌کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلندمرتبه در دو نوع قاب مهاربندی شورون معمولی و زیپر مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت؛ که استفاده از قاب مهاربندی‌شده همگرای زیپر برای جبران نقص تیر مهاربندی شورون که برای نیروهای نامتعادل‌کننده عمودی طراحی نگردیده است، در قاب کوتاه مرتبه و نیز میان مرتبه بسیار کارآمد و مفید است. در قاب‌های بلندمرتبه نه تنها سیستم مهاربندی زیپر نمی‌تواند مطلوب باشد بلکه هیچ سیستم مهاربندی به‌تنهایی نمی‌تواند منحصراً کارآمد باشد و طبق استاندارد ۲۸۰۰ بایست از سیستم‌های ترکیبی استفاده نمود.

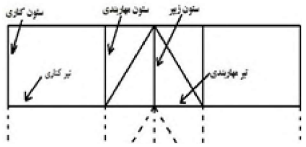
در بالا بیشتر محوریت موضوع، بحث بهسازی و جبران نقص طراحی تیر مهاربندی قاب شورون، مطرح بود در

ادامه این موضوع موردبررسی قرار می‌گیرد که استفاده از المان ستون زیپر در وسط دهانه مهاربندی می‌تواند از طراحی تیرهای عمیق و سنگین در قاب‌های مهاربندی شورون ویژه جلوگیری کند و می‌توان زیپر را به‌جای شورون ویژه پیشنهاد داد و زیپر یک سیستم کارآمد و اقتصادی برای مقابله با بارهای جانبی می‌باشد. برای پرداختن به این موضوع در ادامه قاب مهاربندی زیپر با قاب مهاربندی شورون ویژه در مدل ۶ طبقه مقایسه می‌گردد.

۵. ۳ مقایسه قاب مهاربندی‌شده زیپر با قاب مهاربندی‌شده شورون ویژه

ابعاد مقاطع قاب شورون ویژه و قاب زیپر در جدول ۶ آمده است.

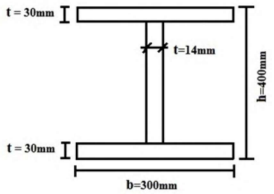
طبقه	ستون کناری	ستون مهاربندی	تیر مهاربندی: شورون ویژه	تیر مهاربندی: زیپر	تیر داخلی	مهاربند: شورون ویژه	مهاربند: زیپر	ستون زیپر
۶	Box 10-0.8	Box 12	PG40×30×2	IPE200	IPE330	Box9	Box16	Box18
۵	Box 10-0.8	Box 14	PG40×30×2	IPE200	IPE330	Box9	Box9	Box18
۴	Box 10	Box 18	PG40×30×2	IPE200	IPE330	Box10	Box10	Box18
۳	Box 12	Box 20	PG40×30×3	IPE200	IPE330	Box11	Box11	Box18
۲	Box 12	Box 22	PG40×30×3	IPE200	IPE330	Box11	Box11	Box18
۱	Box 14	Box 24	PG40×30×3	IPE200	IPE330	Box12	Box12	Box18



جدول ۶- سطوح مقاطع قاب مهاربندی شورون ویژه و قاب مهاربندی زیپر

به‌طور مثال Box۱۸، باکس به ابعاد ۱۸ سانتی‌متر و به ضخامت ۱/۸ سانتی‌متر است و یا Box۱۰-۰. ۸ باکس به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر و به ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر است.

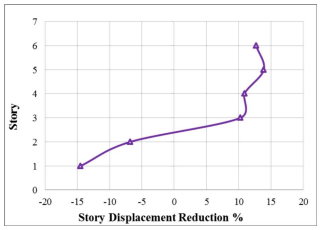
در قاب شورون ویژه طراحی تیر با رعایت ملزومات طراحی لرزه‌ایی [۱] می‌باشد و در نظر گرفتن اثر نیروی نامتعادل‌کننده عمودی، منجر به طراحی تیرورقی سنگینی به ابعاد زیر (شکل ۱۴) برای قاب شورون ویژه می‌شود؛ که در مقایسه با قاب زیپر از یک تیر IPE۲۰۰ استفاده گردیده است. ازلحاظ اقتصادی مقایسه این دو مدل موردبررسی قرار می‌گیرد، با توجه به این‌که وزن تیرورق (شکل ۱۴) برای دهانه ۵ متر برابر با ۹۰۰ کیلوگرم می‌باشد که در ۶ طبقه برابر با ۴۸۰۰ کیلوگرم می‌شود، اما در مقایسه با قاب زیپر تیر IPE ۲۰۰ در طول ۵ متر برابر با ۱۱۲ کیلوگرم در ۶ طبقه که به انضمام ستون زیپر با وزن ۲۷۳ کیلوگرم در ارتفاع ۳ متر در ۵ طبقه که درمجموع برابر با ۲۰۰۰ کیلوگرم است حدوداً بالغبر ۵۰ درصد با کاهش مصرف فولاد در زیپر می‌گردد.

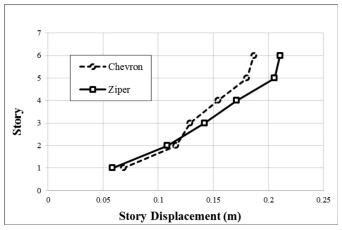


شکل ۱۴-ابعاد تیرورق PG۴۰×۳۰×۳

۵. ۳. ۱ مقایسه نتایج دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی شورون ویژه با قاب زیپر

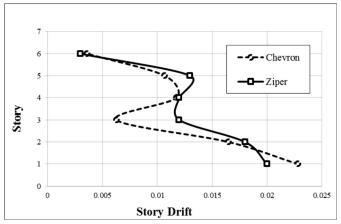
با توجه به نمودار مقادیر حداکثر جابه‌جایی طبقات قاب شورون ویژه با قاب زیپر تفاوت چندانی مشاهده نمی‌گردد و مقادیر نسبتاً یکسان و مشابهی دارند و هر دو قاب عملکرد خوب و قابل قبولی از خود در برابر زلزله‌های حوزه نزدیک از خود نشان می‌دهند.



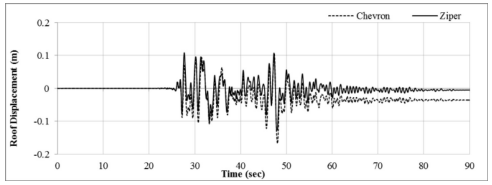


الف- جابه‌جایی حداکثر طبقات ب- درصد کاهش تغییرات ماکزیمم جابه‌جایی طبقات

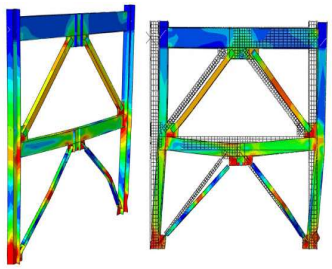
شکل ۱۴- نمودار مقایسه جابه‌جایی حداکثر طبقات قاب مهاربندی شورون ویژه با قاب مهاربندی زیپر



شکل ۱۵- نمودار مقایسه دریفت طبقات قاب مهاربندی شورون ویژه با قاب مهاربندی زیپر

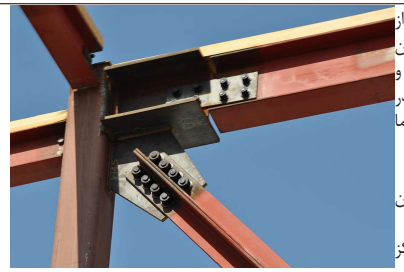


شکل ۱۶- مقایسه تاریخچه پاسخ تغییر مکان بام تحت زلزله چی چی تایوان در قاب‌های مهاربندی‌شده شورون ویژه و زیپر



با توجه به مقادیر دریفت طبقات قاب مهاربندی زیپر پاسخ‌های نسبتاً بهتری نسبت به قاب شورون ویژه نشان می‌دهد، از مقایسه نتایج غیرخطی تاریخچه زمانی قاب مهاربندی شورون ویژه با قاب مهاربندی زیپر پی برده می‌شود که می‌توان از قاب زیپر بجای قاب مهاربندی شورون ویژه استفاده نمود که دیگر نیازی به طراحی و اجرای تیرهای عمیق و سنگین در قاب شورون ویژه نمی‌باشدکه همان‌طور که از قبل اشاره شد ازلحاظ اقتصادی و میزان مصرف فولاد بسیار مرقوم به‌صرفه است.

طبق مطالعات Yigit Ozcelik [۱۴] و مطالعات صورت گرفته در این تحقیق قاب مهاربندی زیپر در قاب‌های کوتاه



مرتبه و میان مرتبه می‌تواند نتایج نسبتاً بهتری از خود در مقایسه با قاب شورون ویژه از خود نشان دهد؛ اما در قاب‌های بلندمرتبه نتایج یکسان و مشابهی مشاهده می‌گردد، حتی ممکن است در برخی موارد شورون ویژه عملکرد نسبتاً بهتری اما نه‌چندان زیاد از خود نشان دهد.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج از آنالیز دینامیکی غیرخطی در این تحقیق می‌توان نتایج زیر را بررسی نمود.

۱- قاب مهاربندی هم‌مرکز معمولی، به دلیل تمرکز نیرو در یک طبقه خاص مستعد تشکیل مکانیسم طبقه نرم است. بهترین پیشنهاد برای بهسازی لرزه‌ایی قاب شورون، استفاده از ستون زیپر و تبدیل آن به قاب زیپر می‌باشد.

۲- در قاب مهاربندی زیپر، کمانش هم‌زمان مهاربندها در کل ارتفاع سازه باعث توزیع یکنواخت خرابی و خسارت در سازه می‌باشد.

۳-در قاب مهاربندی زیپر توزیع یکنواخت‌تر و پراکندگی کمتر در نمودارهای دریفت نسبت به قاب شورون معمولی و ویژه، مشاهده می‌گردد.

۴- در قاب‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه قاب مهاربندی زیپر نتایج بسیار بهتری در مقایسه با شورون معمولی و ویژه از خود نشان می‌دهد که می‌توان به‌جای استفاده از قاب مهاربندی شورون ویژه استفاده نمود.

۵ – قاب مهاربندی زیپر را می‌توان به‌جای قاب مهاربندی شورون ویژه در مناطق حوزه نزدیک گسل پیشنهاد داد.

۶- اجرای قاب مهاربندی زیپر ازلحاظ اقتصادی بسیار کارآمدتر از شورون ویژه می‌باشد زیرا که از اجرای تیرورق‌های عمیق و سنگین پرهیز شده است و این سیستم می‌تواند موردنظر کارفرمایان قرار گیرد.

۷- استفاده از المان ستون زیپر می‌تواند نقص تیرهای مهاربندی که در قاب شورون برای نیروی نامتعادل‌کننده عمودی طراحی نشده است را جبران کند.