



بررسی تاثیر میراگرهای اصطکاکی دورانی در ارتقای رفتار جانبی قاب‌های بتن مسلح فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای

مریم نصیری جهرودی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه شهاب دانش

mj.nasiri29@gmail.com

محمدسجاد زارعیان

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهاب دانش

zareian@shdu.ac.ir; sajjad.zareian@gmail.com

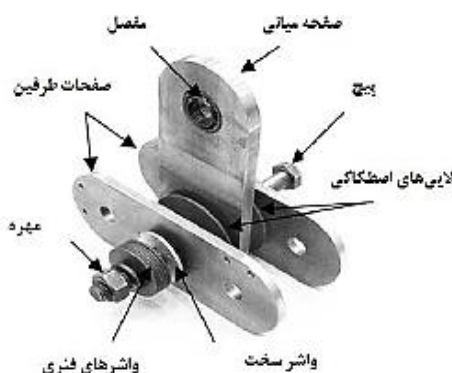
چکیده

ساختمان‌های بتن مسلحی که بر اساس ویرایش قدیمی آیین‌نامه‌ها طراحی و اجرا شده‌اند و یا جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای در ساخت آنها رعایت نشده است، از مقاومت و شکل‌پذیری کافی تحت بارهای جانبی برخوردار نمی‌باشند و این ساختمان‌ها تحت زلزله‌های بزرگ متحمل آسیب‌های شدیدی می‌شوند و لازم است طرحی برای بهسازی لرزه‌ای آنها ارائه گردد. از این رو در این پژوهش، به منظور ارتقای رفتار لرزه‌ای این قاب‌ها، از میراگرهای اصطکاکی دورانی که دارای ظرفیت استهلاک انرژی قابل توجهی می‌باشند، استفاده شد. همچنین با توجه به تاثیر قابل توجه اتصالات تیر- ستون در رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی قدیمی، در مدل‌سازی قاب مورد مطالعه رفتار غیرخطی اتصالات بر مبنای نتایج آزمایشگاهی موجود مدنظر قرار گرفت. به این منظور، ابتدا یک قاب بتنی ۵ طبقه قدیمی که فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای بود، با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی اتصالات در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی گردید. سپس قاب مورد مطالعه به میراگرهای اصطکاکی دورانی مجهز گردید و رفتار قاب با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت بارگذاری چرخه‌ای جانبی افزایش یافته تا تغییر مکان نسبی ۳/۵ درصد ارزیابی شد. پارامترهای مورد بررسی شامل پاسخ هیستریزس برش پایه- تغییر مکان، ظرفیت باربری و استهلاک انرژی و همچنین میرایی هیستریزس معادل بود. نتایج بدست آمده از مدل‌های تحلیلی نشان داد که قاب کنترلی به سبب شکست ترد اتصالات، ظرفیت باربری و استهلاک انرژی محدودی از خود نشان می‌دهد در حالیکه با مجهز نمودن قاب به میراگر، ظرفیت باربری و استهلاک انرژی و همچنین میزان میرایی هیستریزس معادل افزایش قابل توجهی نسبت به قاب کنترلی فاقد جزئیات لرزه‌ای داشته است.

واژه‌های کلیدی: قاب بتن مسلح قدیمی، بهسازی لرزه‌ای، میراگر اصطکاکی دورانی، رفتار غیرخطی اتصالات، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

۱- مقدمه

طول بارگذاری است. میراگر اصطکاکی دورانی از الگوی رفتاری کولمب پیروی می کند (Mualla 2015).



شکل (۱). اجزای تشکیل دهنده میراگر اصطکاکی دورانی (Mualla 2015)

طراحی این میراگر به این گونه است که برای میزان خاصی از نیرو لغزش می کند. میراگر قبل از رسیدن به نیروی لغزش، جذب انرژی انجام نمی دهد. بعد از رسیدن به مرحله لغزش، حین زلزله های بزرگ و تحت نیرویی خاص، میراگر وارد ناحیه غیرخطی شده و سبب اتلاف انرژی ورودی زلزله به سازه می گردد.

با توجه به پتانسیل بالای لرزه خیزی ایران و آسیب پذیر بودن قاب های بتن مسلح فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای و لزوم ارائه راهکاری برای ارتقای رفتار لرزه ای این قاب ها، در این مقاله استفاده از میراگرهای اصطکاکی دورانی به عنوان یکی از مستهلک های انرژی مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین با توجه به تاثیر قابل توجه اتصالات تیر-ستون در رفتار جانبی قاب های بتنی موجود، رفتار غیرخطی اتصالات در مدل سازی قاب بتنی مورد مطالعه در نظر گرفته می شود. به این منظور از نرم افزار OpenSees و تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت بار جانبی چرخه ای استفاده می شود. به منظور انجام این تحقیق، ابتدا اتصال تیر به ستون در حالت فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای در نرم افزار OpenSees

مشاهدات زلزله های گذشته نشان می دهد ساختمان های بتن مسلح قدیمی که بر اساس ویرایش قدیمی آیین نامه ها طراحی و اجرا شده اند و یا جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای در ساخت آنها رعایت نشده است، رفتار غیرشکل پذیری از خود نشان می دهند و در اثر وقوع زلزله متحمل خسارت های قابل توجهی خواهند شد (Shafaei, Hosseini and Marefat 2014). بنابراین لازم است در طرح بهسازی لرزه ای این سازه ها افزایش ظرفیت باربری و استهلاک انرژی آنها مدنظر قرار گیرد.

عملکرد موفقیت آمیز سیستم های اتلاف انرژی در جهت بهبود عملکرد لرزه ای سازه ها در مقابل نیروی زلزله، سبب شده تا از این سیستم ها در ساخت ساختمان های جدید و مقاوم سازی ساختمان های موجود استفاده گردد. میراگرهای اصطکاکی جزو سیستم های اتلاف انرژی محسوب می شوند که از طریق اصطکاک، بخش قابل توجهی از انرژی ورودی زلزله به سازه را جذب و مستهلک می نمایند (Soong and Dargush 1997). یکی از انواع میراگرهای اصطکاکی، میراگرهای اصطکاکی دورانی می باشند که از طریق دوران سطوح اصطکاکی بر روی یکدیگر سبب جذب و مستهلک نمودن انرژی ورودی زلزله می گردند. این نوع میراگرها از صفحات فولادی که مابین آنها پدهای کامپوزیتی با خواص اصطکاکی قرار دارد تشکیل شده اند (Zareian, Esfahani and Hosseini 2020).

اجزای میراگر اصطکاکی دورانی در شکل ۱ ارائه شده است. این میراگرها ضمن داشتن قابلیت استهلاک انرژی بسیار مناسب، به راحتی در سازه نصب شده و پس از وقوع زلزله معمولاً نیاز به تعویض ندارند. همه این مزایا سبب گسترش استفاده از آنها در جهت مقاوم سازی سازه ها شده است (Mualla 2015). این میراگرها دارای حلقه های هیستریزیس مستطیلی شکل می باشند که نشان دهنده رفتار هیستریک پایداری میراگر در

بتن مسلح از نرم‌افزار OpenSees که یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای موجود جهت تحلیل غیرخطی سازه‌ها تحت زلزله می‌باشد، استفاده می‌گردد.

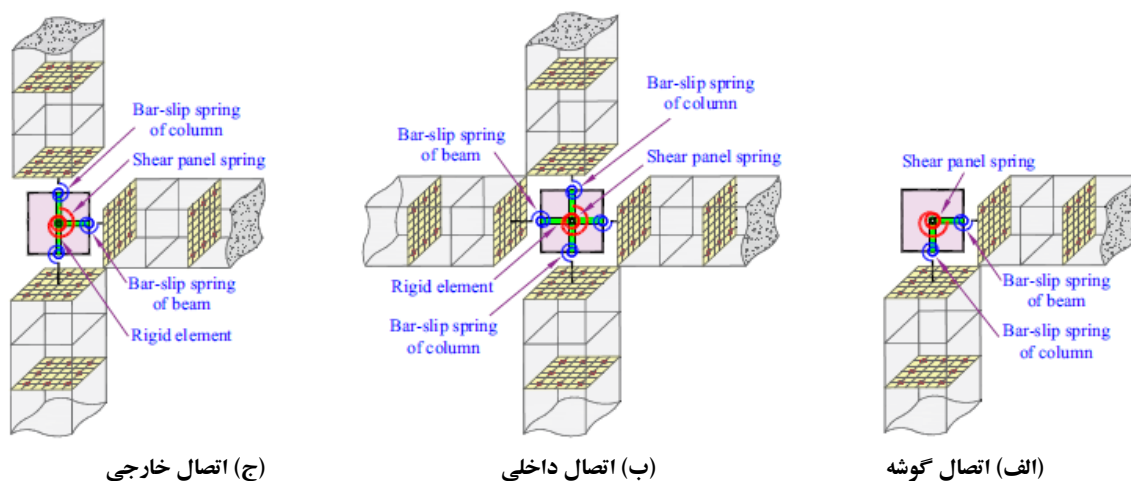
۲-۱- اعتبارسنجی اتصال تیر به ستون بتنی

قاب‌های بتن مسلح قدیمی به دلیل تعداد کم خاموت‌ها و عدم محصورشدگی مناسب ناحیه اتصال و همچنین به دلیل احتمال لغزش میلگردها، متحمل خسارت و تغییرشکل‌های غیرخطی بزرگ می‌شوند؛ لذا در مدل‌سازی این قاب‌ها فرض صلب بودن ناحیه اتصال صحیح نمی‌باشد و باید از مدلی استفاده شود که به خوبی رفتار غیرخطی اتصال را پیش‌بینی نماید. سیفی و همکاران (Seifi et al. 2017) برای مدل‌سازی اتصالات تیر به ستون مدلی را مطابق شکل ۲ پیشنهاد نمودند که در این پژوهش، مدل پیشنهادی آنها جهت مدل‌سازی اتصالات قاب مورد مطالعه استفاده شد. باید توجه داشت به علت آجدار بودن میلگردها در این پژوهش، میزان لغزش بین میلگرد و بتن بسیار محدود می‌باشد، به همین خاطر فنر Bar-Slip که به منظور مدل‌سازی لغزش میلگردها به کار می‌رود در مدل یاد شده به صورت صلب فرض شده است.

مدل‌سازی می‌شود و پاسخ‌های مدل‌های تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی موجود مورد اعتبارسنجی قرار می‌گیرد. همچنین مدل تحلیلی میراگرهای اصطکاکی دورانی در نرم‌افزار ساخته می‌گردد و پاسخ‌های آن مورد اعتبارسنجی قرار می‌گیرد. در ادامه، یک قاب ۵ طبقه بتنی قدیمی که فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای در ناحیه اتصال می‌باشد، با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی اتصالات، در نرم‌افزار مدل‌سازی می‌گردد. سپس به منظور بهسازی لرزه‌ای این قاب، قاب مورد مطالعه به میراگرهای اصطکاکی دورانی مجهز می‌گردد. پس از ساخت مدل‌های تحلیلی، قاب‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای جانبی افزایش یافته تا تغییر مکان نسبی ۳/۵ درصد با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی ارزیابی می‌شوند. پاسخ‌های مورد بررسی در این مطالعه، شامل رفتار هیستریزس برش پایه-تغییر مکان، ظرفیت باربری و استهلاک انرژی و همچنین میرایی هیستریزس معادل می‌باشد.

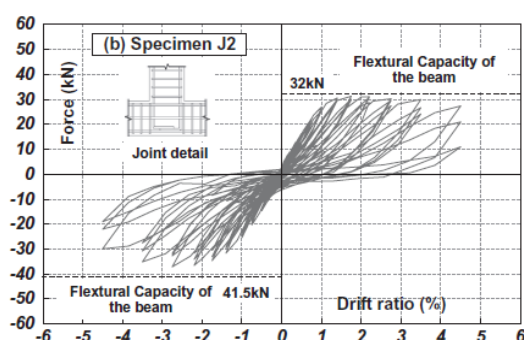
۲- اعتبارسنجی مدل‌های تحلیلی

در این پژوهش به منظور مدل‌سازی میراگر اصطکاکی دورانی و اتصالات تیر به ستون و همچنین مدل‌سازی قاب‌های

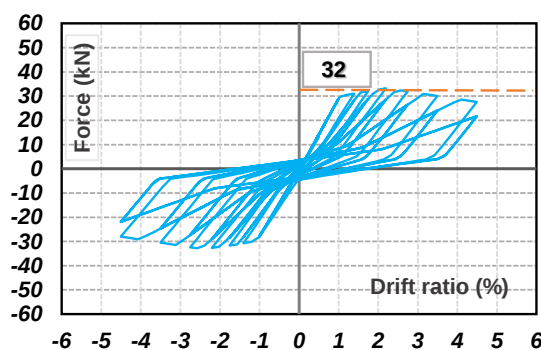


شکل (۲). مدل پیشنهادی برای مدل‌سازی اتصالات تیر به ستون بتنی (Seifi et al. 2017)

و مدل سازی تحلیلی در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. مقایسه نتایج مطالعه آزمایشگاهی با مدل تحلیلی بیانگر این مطلب است ظرفیت باربری، شکل حلقه های هیستریزس و میزان باریک شدگی نمودارها کاملاً به یکدیگر نزدیک می باشد و مدل تحلیلی به خوبی توانسته است رفتار اتصال فاقد جزئیات لرزه ای را مدل سازی نماید.



شکل (۴). منحنی نیرو- جابه جایی اتصال تیر به ستون فاقد جزئیات لرزه ای بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی (Shafaei, Sajjad, et al. 2014)

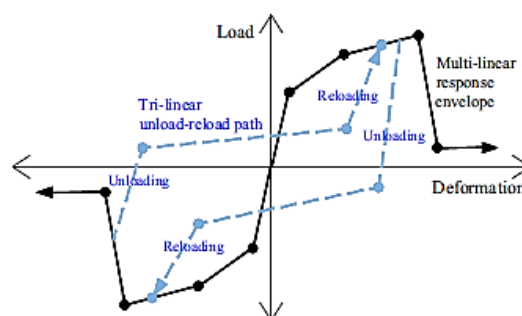


شکل (۵). منحنی نیرو- جابه جایی اتصال تیر به ستون فاقد جزئیات لرزه ای بدست آمده از مدل سازی تحلیلی

۲-۳- اعتبارسنجی میراگر اصطکاکی دورانی

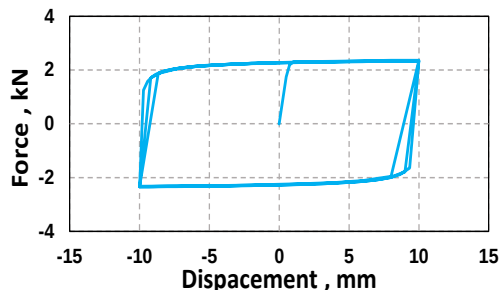
موالا و همکاران در سال ۲۰۰۰ میراگر اصطکاکی دورانی را معرفی نمودند و این میراگر را تحت بارگذاری رفت و برگشتی با دامنه تغییر مکان ۱۰ میلیمتر مطابق شکل ۶ مورد ارزیابی قرار دادند (Mualla 2015).

به این منظور رفتار غیرخطی اتصال تیر به ستون قاب بتنی قدیمی در نرم افزار مدل سازی می شود و بر مبنای مطالعات شفایی و همکاران (Shafaei, Zareian, et al. 2014) مورد اعتبارسنجی قرار می گیرد. در این تحقیق به منظور مدل سازی المان های تیر و ستون بتنی از المان غیرخطی *dispBeamColumn* و برای تعریف نواحی صلب انتهایی از المان *elasticBeamColumn* استفاده گردیده است. همچنین با توجه به اینکه اتصالات تیر- ستون فاقد جزئیات لرزه ای در حین بارگذاری، باربرداری و بارگذاری مجدد وارد ناحیه غیرخطی شده و دچار کاهش سختی و کاهش مقاومت می شوند، لازم است در هنگام مدل سازی این نوع اتصالات از رفتاری استفاده شود که به خوبی بتواند رفتار غیرخطی اتصال را مدل سازی نماید. لذا در این مطالعه برای مدل سازی انعطاف پذیری اتصال از المان *Zero-Length* با مدل رفتاری *Pinching4* (Mazzoni et al. 2006) استفاده شد و پارامترهای این مدل رفتاری بر اساس نتایج آزمایشگاهی استخراج گردید و به مدل اختصاص داده شد. در شکل ۳ منحنی هیستریزس مدل رفتاری *Pinching4* مورد استفاده در مدل سازی رفتار اتصالات مشاهده می گردد.



شکل (۳). منحنی رفت و برگشتی مدل رفتاری *Pinching4* (Mazzoni et al. 2006)

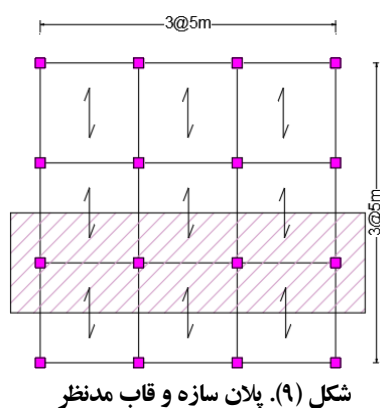
نمودار نیرو- تغییر مکان نسبی اتصال تیر به ستون فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی



شکل (۸). پاسخ بدست آمده از مدل تحلیلی در نرم افزار

۳- معرفی قاب مورد مطالعه

در این بخش یک قاب خمشی بتنی ۵ طبقه قدیمی که فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای می باشد، مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد. این قاب علاوه بر ضعف در ظرفیت باربری جانبی، فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه ای در ناحیه اتصال می باشد. قاب مورد مطالعه دارای ۳ دهانه می باشد که طول هر دهانه برابر با ۵ متر و ارتفاع طبقات برابر ۳/۵ متر است. نوع کاربری سازه، مسکونی بوده و سازه بر روی خاک نوع ۲ قرار گرفته است. سیستم سقف تیرچه بلوک می باشد. پلان سازه ۵ طبقه و قاب مورد بررسی در شکل ۹ مشاهده می گردد.



شکل (۹). پلان سازه و قاب مدنظر

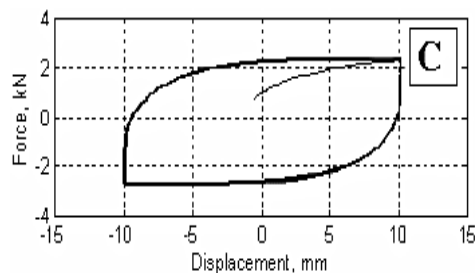
بار مرده طبقات برابر ۵ کیلونیوتون بر مترمربع و بار زنده طبقات برابر با ۲ کیلونیوتون بر مترمربع لحاظ شد. همچنین بار مرده بام و بار زنده بام به ترتیب ۵/۵ و ۱/۵ کیلونیوتون بر



شکل (۶). آزمایش میراگر اصطکاکی دورانی تحت بارگذاری

چرخه ای (Mualla 2015)

در این پژوهش، به منظور صحت سنجی جزئیات مدل سازی میراگر اصطکاکی دورانی، میراگر مورد بررسی توسط موالا در نرم افزار OpenSees مدل سازی گردید. به این منظور، به صفحات فولادی میراگر المان *elasticbeamcolumn* اختصاص داده شد. برای تعریف مفصل اصطکاکی میراگر از المان با طول صفر *Zero-Length* (Mazzoni et al. 2006) و با مدل رفتاری *Steel02* استفاده گردید. میراگر قبل از اینکه به مرحله لغزش برسد، سختی اولیه بسیار زیادی دارد و بعد از ورود به مرحله لغزش، سختی آن ناچیز (صفر) فرض می شود. نتایج پژوهش حاصل از آزمایش موالا در شکل ۷ و نتایج بدست آمده از مدل سازی میراگر در نرم افزار در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر این مطلب می باشد که رفتار مدل تحلیلی تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد و مدل تحلیلی توانسته است رفتار میراگر را به درستی مدل نماید.



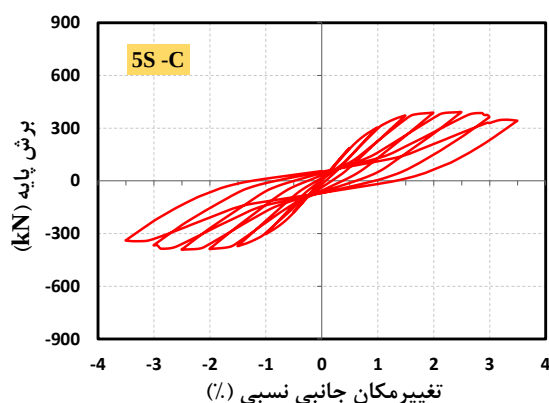
شکل (۷). پاسخ بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی

(Mualla 2015)

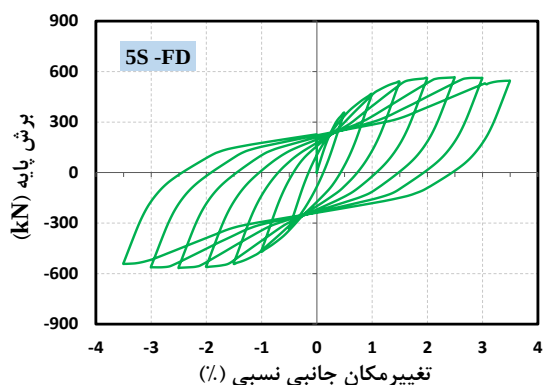
درصدی در هر گام تا دریافت ۳/۵ درصد با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی ارزیابی می‌شود و نتایج بدست آمده مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۵- نمودار هیستریزیس برش پایه-تغییر مکان نسبی

در تحلیل‌های غیرخطی از منحنی‌های هیستریزیس که نشان‌دهنده رفتار واقعی سازه تحت بارگذاری جانبی رفت و برگشتی می‌باشند، استفاده می‌گردد. منحنی‌های هیستریزیس برش پایه در مقابل تغییر مکان جانبی نسبی قاب کنترلی و قاب مقاوم‌سازی شده تحت بارگذاری چرخه‌ای به ترتیب در شکل ۱۰ و ۱۱ نشان داده است.



شکل (۱۰). منحنی‌های هیستریزیس قاب کنترلی



شکل (۱۱). منحنی‌های هیستریزیس قاب مجهز به میراگر

مترمربع در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است بار موثر لرزه‌ای برابر با بار مرده بعلاوه ۲۵ درصد بار زنده در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری بتن برابر ۲۵ مگاپاسکال و تنش تسلیم میلگردها برابر ۴۶۰ مگاپاسکال و تنش تسلیم خاموت‌ها برابر ۳۸۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است.

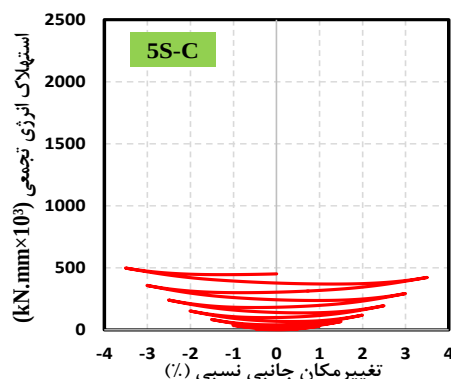
۴- طراحی میراگر اصطکاکی و مهاربند هشتی

نیروی لغزش میراگر و مقدار سختی مهاربندها، دو پارامتر موثر در طراحی میراگرهای اصطکاکی می‌باشند که باید به درستی محاسبه و تعیین گردند. در این مطالعه، برای رسیدن به عملکرد بهینه میراگر، پس از انتخاب مقادیر اولیه برای این دو پارامتر، چندین بار سعی و خطا انجام گرفت و مقادیر نهایی با هدف یکنواخت کردن دریافت طبقات انتخاب گردید. عملکرد بهینه به شرایطی اطلاق می‌گردد که میراگر تحت نیروی زلزله، به موقع وارد مرحله غیر الاستیک شده، جذب انرژی انجام دهد و قاب حداقل جابه‌جایی را تحت نیروی اعمال شده داشته باشد. مهاربندها نیز بر اساس نیروی میراگری که تحمل می‌کنند باید طوری طراحی شوند که تحت حداکثر نیروی زلزله، وارد ناحیه غیرخطی نشده و الاستیک باقی بمانند. در این پژوهش پس از طراحی اولیه و چندین بار سعی و خطا، برای طبقات اول تا سوم، مقدار لنگر لغزش برابر با ۶۰ کیلونیوتن-متر، طبقه چهارم برابر با ۳۰ کیلونیوتن-متر و برای طبقه پنجم مقدار لنگر لغزش برابر با ۱۰ کیلونیوتن-متر بدست آمده است.

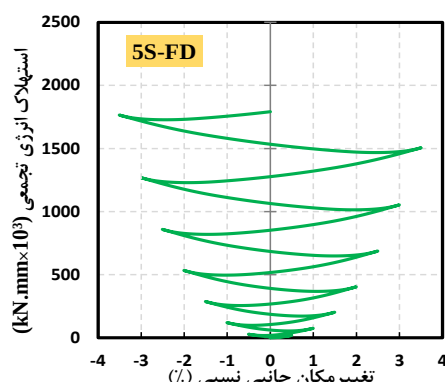
۵- بررسی رفتار جانبی قاب‌های مورد مطالعه

در این بخش، قاب ۵ طبقه مورد مطالعه تحت بارگذاری چرخه‌ای جانبی از دریافت ۰/۵ درصد با میزان افزایش ۰/۵

نشان داده شده است. با مشاهده نمودارها می‌توان دریافت که با مقاوم‌سازی قاب، ظرفیت استهلاک انرژی چندین برابر افزایش یافته است.



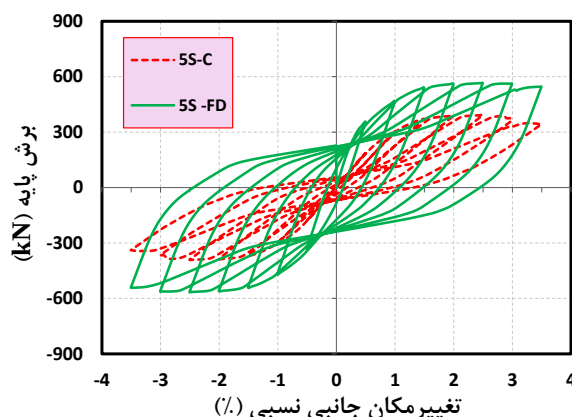
شکل (۱۳). تغییرات انرژی مستهلک شده با افزایش تغییر مکان جانبی نسبی قاب کنترلی



شکل (۱۴). تغییرات انرژی مستهلک شده با افزایش تغییر مکان جانبی نسبی قاب مجهز به میراگر

در ادامه جهت بررسی میزان انرژی مستهلک شده، در شکل ۱۵ نمودار استهلاک انرژی تجمعی در مقابل تغییر مکان نسبی تا ۳/۵ درصد برای قاب ۵ طبقه در دو حالت قاب فاقد جزئیات لرزه‌ای و قاب مجهز به میراگر با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ظرفیت استهلاک انرژی قاب مقاوم‌سازی شده نسبت به قاب کنترلی افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است، به گونه‌ای که ظرفیت

به منظور مقایسه رفتار هیستریزیس قاب ۵ طبقه در حالت کنترلی و مجهز به میراگر، منحنی‌های هیستریزیس برش پایه-تغییر مکان جانبی نسبی آنها در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



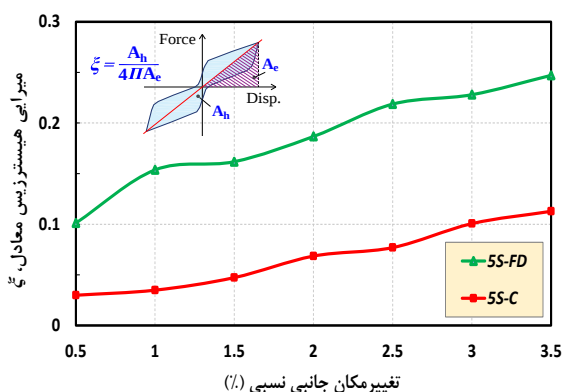
شکل (۱۲). مقایسه منحنی‌های هیستریزیس قاب ۵ طبقه در دو حالت کنترلی و مقاوم‌سازی شده

نتایج بیانگر این است که قاب کنترلی فاقد جزئیات لرزه‌ای، به دلیل گسیختگی اتصالات، دارای ظرفیت باربری و استهلاک انرژی محدودی بوده و حلقه‌های هیستریزیس آن باریک‌شدگی زیادی از خود نشان می‌دهند. از بررسی نمودار قاب مجهز به میراگر ملاحظه می‌شود استفاده از میراگر توانسته است به صورت قابل توجهی ظرفیت باربری و استهلاک انرژی قاب را بهبود بخشد و قاب رفتار شکل‌پذیری‌تری از خود نشان می‌دهد.

۲-۵- نمودارهای استهلاک انرژی تجمعی

منحنی استهلاک انرژی از حاصل جمع مساحت داخل منحنی‌های هیستریزیس در چرخه‌های مختلف بارگذاری بدست می‌آید. نمودار استهلاک انرژی تجمعی متناظر با تغییر مکان نسبی جانبی برای قاب در حالت کنترلی فاقد جزئیات لرزه‌ای در شکل ۱۳ و برای قاب مجهز به میراگر در شکل ۱۴

به منظور بررسی درصد میرایی هیستریزیس قاب‌ها، در این بخش نمودار میرایی هیستریزیس معادل با افزایش تغییر مکان نسبی برای قاب ۵ طبقه در حالت‌های کنترلی و مقاوم‌سازی شده در شکل ۱۷ نشان داده است.



شکل (۱۷). مقایسه میرایی هیستریزیس معادل با افزایش تغییر مکان نسبی قاب در حالت کنترلی و مقاوم‌سازی شده

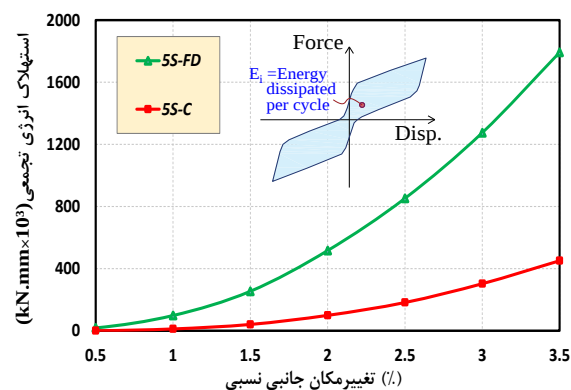
از نتایج بدست آمده می‌توان دریافت که در قاب مجهز به میراگر، میرایی افزایش قابل توجه یافته است. افزایش میرایی سبب کاهش خسارت وارده به سازه و همچنین کاهش جابه‌جایی سازه می‌گردد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی، تاثیر میراگرهای اصطکاکی دورانی در ارتقای رفتار جانبی قاب‌های بتنی فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. اهم نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

(۱) نمودار هیستریزیس قاب کنترلی فاقد جزئیات آرماتورگذاری لرزه‌ای به دلیل گیسختگی اتصالات، دارای ظرفیت باربری و استهلاک انرژی محدود بوده و حلقه‌های هیستریزیس آن باریک‌شدگی زیادی از خود نشان می‌دهند.

استهلاک انرژی قاب مجهز به میراگر نسبت به قاب کنترلی در تغییر مکان‌های جانبی نسبی ۰.۲٪ و ۰.۳٪ به ترتیب بیش از ۴۰۰ و ۳۰۰ درصد افزایش یافته است.



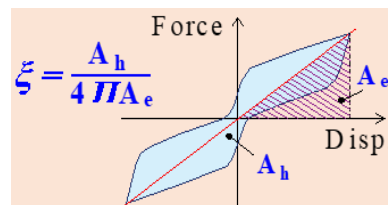
شکل (۱۵). مقایسه انرژی مستهلک‌شده تجمعی با افزایش تغییر مکان نسبی در قاب‌های کنترلی و مقاوم‌سازی شده

۳-۵- ظرفیت باربری جانبی قاب

بر اساس نتایج تحلیلی به دست آمده، ملاحظه می‌شود با افزودن میراگرهای اصطکاکی دورانی، ظرفیت باربری جانبی قاب ۴۴ درصد نسبت به قاب کنترلی افزایش یافته است.

۴-۵- نمودار میرایی هیستریزیس معادل

میرایی هیستریزیس معادل تابعی از انرژی مستهلک شده می‌باشد. مطابق شکل ۱۶ میرایی هیستریزیس معادل از حاصل تقسیم انرژی مستهلک شده در هر چرخه به انرژی مستهلک شده چرخه الاستیک معادل بدست می‌آید.



شکل (۱۶). نحوه محاسبه میرایی هیستریزیس معادل



۴) در قاب مجهز به میراگر، حداکثر ظرفیت باربری نسبت به قاب کنترلی ۴۴ درصد افزایش داشته است.

۵) در قاب مجهز به میراگر میرایی افزایش قابل توجه یافته که بیانگر تاثیر میراگر در افزایش میرایی سازه بوده است. افزایش میرایی سبب کاهش خسارت وارده به سازه و همچنین کاهش جابه جایی سازه می گردد.

۲) با بررسی نمودار هیستریزس قاب مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی ملاحظه می شود استفاده از میراگر توانسته است به صورت قابل توجهی ظرفیت باربری و استهلاک انرژی قاب را بهبود بخشد.

۳) ظرفیت استهلاک انرژی قاب ۵ طبقه مجهز به میراگر نسبت به قاب کنترلی در تغییر مکان های جانبی نسبی ۲٪ و ۳٪ به ترتیب بیش از ۴۰۰ و ۳۰۰ درصد افزایش یافته است.

مراجع

Enlargement Using Prestressed Steel Angles.” 81:265–88.

Shafaei, Jalil, Mohammad Sajjad Zareian, Abdollah Hosseini, and Mohammad Sadegh Marefat. 2014b. “Effects of Joint Flexibility on Lateral Response of Reinforced Concrete Frames.” 81:412–31.

Soong, Tsu T., and Gary F. Dargush. 1997. * *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. Wiley.

Zareian, Mohammad Sajjad, Mohammad Reza Esfahani, and Abdollah Hosseini. 2020. “Experimental Evaluation of Self-Centering Hybrid Coupled Wall Subassemblies with Friction Dampers.” *Engineering Structures* 214(April):11064

Mazzoni, S., F. McKenna, M. Scott, G. Fenves, and B. Jeremic. 2006. “OpenSees Command Language Manual, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER).” *University of California, Berkeley, California*.

Mualla, Imad H. 2015. “Parameters Influencing the Behavior of a New Friction Damper Device Parameters Influencing the Behavior of a New Friction Damper Device.” (April 2000).

Seifi, Ali, Abdollah Hosseini, Mohammad Sadegh Marefat, and Mohammad Sajjad Zareian. 2017. “Improving Seismic Performance of Old-Type RC Frames Using NSM Technique and FRP Jackets.” *Engineering Structures* 147:705–23.

Shafaei, Jalil, Abdollah Hosseini, and Mohammad Sadegh Marefat. 2014a. “Seismic Retrofit of External RC Beam – Column Joints by Joint



ABSTRACT

Reinforced concrete (RC) buildings, which are designed and implemented based on the old edition of the regulations, or the details of seismic reinforcement are not observed in their construction, do not have sufficient resistance and ductility under lateral loads, and these buildings suffer severe damage under large earthquakes, and a plan for their seismic improvement should be provided. Therefore, in this research, in order to improve the seismic behavior of these frames, rotational friction dampers, which have a significant energy dissipation capacity, were used. Also, due to the significant effect of beam-column joints on the seismic behavior of old-type concrete frames, the nonlinear behavior of the joints was considered in the frame modeling based on the existing laboratory results. For this purpose, first, an old-type 5-story concrete frame, which had a weakness in lateral load-carrying capacity, was modeled by considering the nonlinear behavior of joints in OpenSees software. Then the studied frame was equipped with rotational friction dampers and the behavior of the frames was evaluated using non-linear static analysis under increasing lateral cyclic loading up to the drift of 3.5%. The investigated parameters included the hysteresis loops, lateral load-carrying capacity and energy dissipation, as well as equivalent hysteresis damping. The results obtained from the analytical models showed that the control frame shows a limited load-carrying and energy dissipation capacities due to the brittle failure of the joints, while by equipping the frame with a damper, the load-carrying capacity and, energy dissipation as well as the amount of hysteresis damping are equivalent to a significant increase compared to the control frame, it has no seismic details.

Keywords: Old-type RC frame, Seismic rehabilitation, Rotational friction damper, Joint flexibility, Nonlinear static analysis.