

بررسی تاثیر استفاده از میراگرهای ویسکوز در بهبود عملکرد قاب‌های خمشی فولادی در برابر خرابی پیشرونده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی

وحید حاتمی دزدارانی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر
Vahid.hatami2019@yahoo.com

محمدرضا نیسی دغلاوی

کارشناس ارشد عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه شهید چمران اهواز
Mohammaddaghlavi@gmail.com

چکیده

در این پژوهش، اثر استفاده از میراگرهای ویسکوز بر پتانسیل خرابی پیشرونده قاب‌های خمشی فولادی با تعداد طبقات مختلف و با استفاده از روش مسیر جایگزین و تحلیل دینامیکی غیرخطی با سناریوی حذف ستون‌های کناری و میانی، مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور قاب‌های خمشی فولادی ۳، ۵ و ۸ طبقه ۳ دهانه با عرض دهانه ۵ متری که در مجموع ۱۲ مدل می‌باشند، جهت بررسی پتانسیل خرابی پیش‌رونده، با استفاده از نرم‌افزار Sap2000 مورد بررسی قرار گرفته‌اند. خروجی‌های مورد بررسی در مدل‌ها شامل تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده، تعداد و سطح عملکرد مفاصل پلاستیک ایجاد شده و DCR تیر و ستون بحرانی می‌باشند. نتایج تحلیل‌های انجام شده بر روی مدل‌ها نشان داد که بطور کلی با افزایش تعداد طبقات، پتانسیل خرابی پیش‌رونده در قاب‌ها در حالت حذف ستون میانی و کناری در طبقه همکف کاهش پیدا می‌کند. نتایج تحلیل به وضوح نشان داد که استفاده از میراگر ویسکوز در قاب‌های خمشی فولادی باعث بهبود عملکرد سازه و کاهش پتانسیل خرابی پیش‌رونده در آن می‌شود. ضمن اینکه حذف ستون میانی نسبت به ستون کناری، باعث ایجاد مفاصل پلاستیک بیشتری در اعضای سازه‌ای شده و پتانسیل خرابی در سازه را افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: تحلیل دینامیکی غیرخطی، خرابی پیش‌رونده، شکل‌پذیری، قاب خمشی فولادی، مسیر جایگزین، میراگر ویسکوز

۱- مقدمه

مهندسان همواره در تلاش برای پیش بینی مجموعه رخدادهایی بوده‌اند که در طول عمر مفید سازه بر کارایی و استقامت آن اثر قابل توجهی داشته باشد. فروپاشی پیشرونده از آن دسته عواملی است که دلیل وقوع آن عدم پیش بینی رخداد آن در زمان طراحی سازه می‌باشد. یکی از مکانیزم‌هایی که در دهه‌های اخیر توجه به آن افزایش پیدا کرده است خرابی پیشرونده است. خرابی پیشرونده، پدیده‌ای است که طی آن، خسارت جزئی در یکی از اعضای سازه، باعث خسارت کلی در سازه می‌شود. در حقیقت، با گسیختگی موضعی در بخشی از سازه، پایداری کل سازه مورد تهدید قرار می‌گیرد. خسارت جزئی در عضو می‌تواند ناشی از انفجار، آتش‌سوزی، برخورد وسیله نقلیه به سازه، نشست ناگهانی و غیره باشد. این آسیب‌ها اغلب در مدت‌زمان کوتاه و به‌صورت دینامیکی به سازه اعمال می‌شود. وجود دو عامل برای رخ دادن خرابی پیش رونده در یک سازه نیاز می‌باشد. اولین عامل یک بارگذاری غیر عادی که بتواند سبب خرابی اولیه در اعضای سازه ای گردد و دومین عامل عدم وجود پیوستگی، شکل پذیری و درجه نامعینی کافی در سازه که سبب پیشروی خرابی اولیه در اعضای سازه‌ای گردد. به منظور کنترل پدیده خرابی پیشرونده در سازه‌ها باید یکی از دو عامل فوق کنترل شوند. یعنی یا باید اعضای سازه‌ای به گونه‌ای طراحی گردند که در برابر بارگذاری‌های غیر عادی خراب نشوند و یا سازه به گونه‌ای طراحی گردد که در صورت خرابی یکی از المان‌های باربر ثقلی‌اش، خرابی‌ها گسترش پیدا نکنند که این امر نیازمند وجود پیوستگی، شکل‌پذیری و درجه نامعینی کافی در سازه می‌باشد. در سال‌های اخیر، با توجه به حوادث ناشی از خرابی‌های پیشرونده، در اکثر آیین‌نامه‌ها بر کنترل این موضوع تأکید شده است. بعد از تخریب ساختمان رونان در سال ۱۹۶۸ و توجه بیشتر مهندسين به بحث خرابی پیشرونده، موجی از تحقیقات بر روی روش‌های پیشگیری و یا کاهش پتانسیل سازه به خرابی پیشرونده آغاز گردید. نتیجه آن در ابتدا به صورت تغییرات در آیین‌نامه‌ها بود؛ ولی پس از گذشت چند سال و وقوع چندین حادثه مشابه، از جمله حوادث تروریستی ۱۱ سپتامبر آمریکا، آیین‌نامه‌های مجزایی جهت کاهش و یا جلوگیری از تخریب تنظیم گردید. در آیین‌نامه‌های سنتی طراحی سازه، بحث خرابی پیشرونده به صورت غیر مستقیم و با تعریف درجه اهمیت برای سازه‌ها در نظر گرفته می‌شد، اما اخیراً آیین‌نامه‌هایی برای بحث خرابی پیشرونده در سازه‌ها تدوین شده است. از معتبرترین و جدیدترین این آیین‌نامه‌ها می‌توان به آیین‌نامه UFC و GSA اشاره کرد. آیین‌نامه UFC اولین بار در سال ۲۰۰۵ تدوین شد و پس از آن در سال ۲۰۱۰ میلادی ویرایش شده است.

در سازه‌های فولادی با قاب خمشی، به خاطر این‌که کارکرد سیستم به‌طور عمده وابسته به رفتار و مقاومت اتصالات است، جزئیات و نحوه اجزاء اتصالات، اهمیت زیادی در رفتار سازه دارد. مقاومت اتصالات، در برابر خرابی ستون که باعث به وجود آمدن نیروی کششی و ایجاد اندرکنش نیروی محوری- لنگر خمشی در تیر می‌شود، به‌طور کامل بررسی نشده است و بررسی کارکرد آن‌ها در برابر خرابی پیش‌رونده الزامی است. همان‌گونه که قبلاً گفته شد، از میان روش‌های متعدد برای طراحی سازه در برابر خرابی پیش‌رونده، روش مسیر جایگزین، یک روش مناسب است. در این روش سازه طوری طراحی می‌شود که اگر یکی از اعضا خراب شود، راه‌های جایگزین برای انتقال نیرو وجود داشته باشد، و سازه دچار خرابی کلی نشود. تحلیل‌ها باید نشانگر این موضوع باشند، که تیرها و اتصالات، توانایی توزیع دوباره‌ی نیروهای ایجادشده در سازه را دارند. برای اثبات درستی مدل‌های تحلیلی برای نشان دادن رفتار غیرخطی اتصالات، ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و انجام آزمایش ضروری است. در حال حاضر طراحی و ارزیابی ظرفیت سازه‌ها در برابر خرابی پیش‌رونده بر اساس معیارهایی که برای ارزیابی طرح لرزه‌ای استفاده می‌شوند انجام می‌شود.

یکی از سیستم سازه‌ای که مقاومت خوبی در برابر خرابی پیش‌رونده از خود نشان می‌دهد، سیستم قاب خمشی فولادی است. مطالعات و تحقیقات گذشته نشان داده است، که این سیستم مقاومت و شکل‌پذیری بالایی در برابر پدیده خرابی پیش‌رونده از خود نشان می‌دهند. باور متداول در این سازه‌ها اتصالات به‌صورت کاملاً صلب در نظر گرفته می‌شوند، اما در عمل اکثر اتصالات فولادی به‌کاررفته در قاب‌های ساختمانی، نیمه گیردار می‌باشند. اتصالات قاب‌های فولادی تأثیر قابل توجهی روی عملکرد این سازه‌ها به‌ویژه زمانی که سازه تحت تأثیر بارهای بحرانی مانند انفجار، زلزله‌های شدید، آتش و ... قرار می‌گیرد، دارد.

از جمله روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای مقاوم سازی سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از سیستم‌های جاذب انرژی می‌باشد که بدون افزایش قابل توجه در سختی سیستم، قابلیت اتلاف انرژی مجموعه را به مقدار زیادی افزایش می‌دهند. بدین منظور سیستم‌های جاذب انرژی متنوعی ابداع و معرفی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به میراگرهای فلزی، اصطکاکی، ویسکوز و ویسکوالاستیک اشاره نمود. اساس کار این وسایل بر این است که با انتقال مکانیزم اتلاف انرژی در مفاصل پلاستیک ایجاد شده در اعضای اصلی سازه، به یک عضو ثانوی، باعث کاهش تغییر شکل‌های پلاستیک در سازه و صدمه وارده به آن می‌شوند. عملکرد میراگرهای فلزی و اصطکاکی وابسته به میزان تغییر مکان ایجاد شده در آنها و در مورد میراگرهای ویسکوز وابسته به سرعت ایجاد شده در آنها است.

با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش اثر میراگرهای ویسکوز موجود در سازه طبق روش مسیر جایگزین (دینامیکی غیرخطی) بررسی خواهد شد تا اثر میراگرهای ویسکوز بر رفتار قاب‌های خمشی فولادی در برابر خرابی پیشرونده به دست آید.

۲- خرابی پیشرونده

خرابی پیشرونده اشاره به زنجیره‌ای از خرابی‌ها در یک سازه دارد که در اثر خرابی اولیه در سازه پدید آمده‌اند، به طوری که این خرابی پدید آمده در سازه با خرابی اولیه نامتناسب می‌باشد. آیین‌نامه UFC ملزومات طراحی برای ساختمان‌های موجود و ساختمان‌های جدید را طوری تعیین می‌کند تا پتانسیل خرابی پیشرونده در آنها به حداقل برسد و این سازه‌ها در مقابل حوادث غیرقابل پیش بینی معمول، دچار آسیب سازه‌ای جزئی و محدود شوند (UFC, 2010).

باتوجه به این نکته که محل آسیب اولیه در سازه نامشخص می‌باشد، آیین‌نامه UFC هیچ محدودیتی در محل ایجاد آسیب نمی‌گذارد و به این نکته اشاره می‌کند که با آسیب به هرستون دلخواه از سازه، سازه نباید دچار آسیب جدی شود و باید بتواند با باز توزیع مناسب بار، ایمنی جانی افراد را تأمین کند. در این موارد طراح باید با استفاده از روش‌های مناسب مقاوم سازی، طوری سازه را طراحی و یا تقویت کند که سازه توانایی مقابله در برابر خرابی پیشرونده را داشته باشد (UFC, 2010).

تخریب پیشرونده عبارت است از شکست کل سازه و یا بخش نسبتاً وسیع یا مهمی از آن، ناشی از حوادث محلی مانند شکست در یک یا چند عضو باربر ثقلی و یا جانبی و عدم توانایی اعضای مجاور برای باز توزیع اضافه بار از طریق مسیری که بتواند پایداری و پیوستگی کلی را حفظ کند.

تخریب پیشرونده عکس‌العمل‌های زنجیروار از شکست می‌باشد که توسط از دست رفتن یک و یا تعدادی از اجزای باربر آغاز می‌شود. عامل شروع تخریب پیشرونده می‌تواند عوامل انسانی مانند انفجار، آتش‌سوزی و برخورد وسایل نقلیه و یا خطرهای طبیعی مانند زلزله باشد. وقتی که یک عضو باربر سازه‌ای دچار شکست یا از دست دادن مقاومت می‌شود، بار عضو از طریق مسیری جایگزین به اعضای مجاور منتقل می‌شود. آزاد شدن انرژی داخلی به دلیل حذف عضو سازه‌ای منجر به افزایش نیروهای داخلی دینامیکی در اعضای مجاور می‌شود. باز توزیع نیروهای داخلی سازه از طریق مسیرهای انتقال بار منجر به حمل بار اضافی ناشی از حذف عضو سازه‌ای توسط سایر اعضای سازه‌ای می‌شود. اگر اضافه بار توزیع شده از ظرفیت تحمل اعضای صدمه دیده مجاور تجاوز کند، ممکن است شکست محلی دیگری را به وجود آورد. این چنین شکست‌های پیاپی ممکن است از آلمانی به آلمانی دیگر پخش شود و سرانجام به تخریب کل سازه و یا بخش وسیعی از آن منجر شود (Hashemi et al, 2015).

موضوع تخریب پیشرونده اولین بار در سال ۱۹۶۸ و بعد از تخریب بخشی از ساختمان رونان در نیوهام انگلستان مطرح شد. این موضوع برای اولین بار باعث گردید تا برخی کشورها نظیر بریتانیا و کانادا استانداردهایی برای جلوگیری از خرابی پیشرونده تنظیم نمودند. در سال ۱۹۷۶ دستورالعمل‌های ساختمانی بریتانیا الزام نمود ساختمان‌ها طوری طراحی شوند که خرابی‌های نامتناسب را با یکپارچه کردن اعضای سازه‌ای، افزودن درجه نامعینی و فراهم کردن مقاومت کافی برای مقابله با بارهای غیرعادی، تحمل کرده و در برابر آن مقاومت کنند. این الزامات به منظور ساخت سازه‌های مقاوم، شکل‌پذیر و با توانایی

باز توزیع بارهای وارده تنظیم گردید. به مدت سه دهه و پیشرفت‌های نسبتاً کم در موضوع تخریب پیش‌رونده، تخریب ساختمان مورا در شهر اوکلاهما در سال ۱۹۹۵ باعث توجه دوباره محققین به این موضوع شد (Fema356, 2000). مهمترین و معروفترین نمونه، تخریب پیش‌رونده برج‌های تجارت جهانی است که به وسیله حملات هوایی در سپتامبر ۲۰۰۱ مورد اصابت قرار گرفتند و به صورت زنجیری کاملاً منهدم شدند (NIST). این سه نمونه از تخریب پیش‌رونده مراحل مهمی را در توسعه تحقیقات و توصیه‌های دستورالعمل‌ها و الزامات آیین‌نامه‌ها و استانداردها برای جلوگیری از تخریب پیش‌رونده رقم زدند.

۱-۲- روش تحلیل دینامیکی غیرخطی

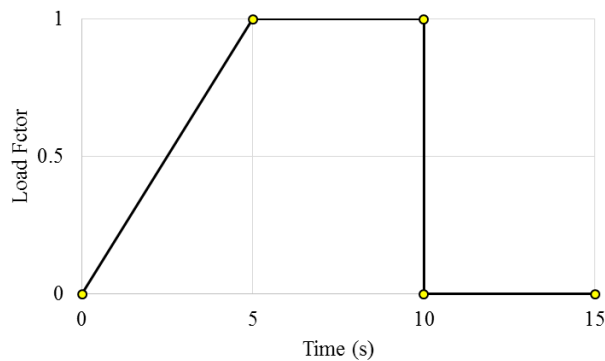
آیین‌نامه‌ها سه روش تحلیل استاتیکی خطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیرخطی را جهت انجام تحلیل خرابی پیش‌رونده معرفی می‌نمایند که در ادامه به بررسی مختصر روش تحلیل دینامیکی غیرخطی پرداخته شده است. این روش رفتار واقعی‌تر سازه را در بر می‌گیرد. در این روش، ارزیابی اعضا به این صورت انجام می‌شود که ابتدا نیروهای داخلی موجود در اعضای متصل به گره محل حذف محاسبه می‌شود سپس ستون مذکور از مدل‌سازی حذف شده و عکس‌العمل‌های متناظر در گره مذکور اعمال می‌شود.

بر اساس آیین‌نامه UFC جهت تحلیل سازه تحت خرابی پیش‌رونده در تحلیل‌های دینامیکی برخلاف تحلیل‌های استاتیکی، از ضرایب افزایش دینامیکی در ترکیب بار مربوط به خرابی پیش‌رونده استفاده نمی‌شود و یک ترکیب بار ثقلی به کلیه کف‌ها اعمال می‌شود. در رابطه (۱) این ترکیب بار نشان داده شده است (UFC, 2010).

$$G_{ND} = 1.2D + 0.5L \quad (1)$$

که در رابطه فوق D بار مرده و L بار زنده می‌باشد.

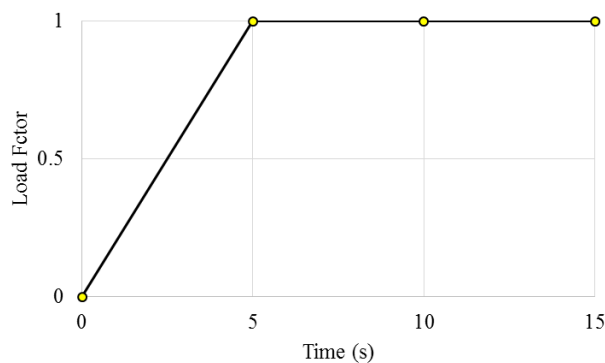
در تحلیل دینامیکی غیرخطی در هر حالت حذف ستون به این صورت عمل می‌شود که در اولین گام ترکیب بار ثقلی مربوط به تحلیل دینامیکی غیرخطی به صورت استاتیکی به سازه آسیب ندیده وارد می‌گردد و نیروهای انتهایی ستونی که قرار است حذف گردد خوانده می‌شود. در گام بعدی ترکیب بارهای ثقلی و همچنین نیروهای ستون حذف شده که در گام قبل خوانده شده است به صورت استاتیکی روی سازه آسیب دیده گذاشته می‌شوند. البته لازم به ذکر است که نیروهای ستون در جهت عکس به سازه اعمال می‌گردند. پس از چند ثانیه که سازه به حالت تعادل استاتیکی رسید، نیروهای ستون که روی سازه قرار داشتند به صورت ناگهانی، برای شبیه‌سازی حذف ناگهانی ستون سازه، حذف می‌گردند و تحلیل ارتعاش آزاد روی سازه با فرض میرایی ۵٪ انجام می‌گردد. نحوه اعمال و حذف بار ستون با استفاده از تعریف یک تابع تاریخچه زمانی مطابق شکل (۲) به نرم افزار معرفی می‌گردد.



شکل (۲): نحوه اعمال و حذف بار ستون در تحلیل دینامیکی غیرخطی

لازم به ذکر است که بارهای ثقلی (مرده و زنده) وارد بر سازه نیز با یک تابع تاریخچه زمانی که توسط کاربر تعریف می گردد، مطابق شکل (۳) به سازه اعمال می گردد.

همان طور که در شکل های (۲) و (۳) دیده می شود، بارهای ثقلی و نیروی ستون به طور همزمان و به صورت تدریجی در مدت زمان پنج ثانیه به سازه اثر داده می شوند. در ثانیه پنجم، کل بارهای ثقلی سازه به آن وارد شده اند و نیرویی که به جای ستون و برای شبیه سازی اثر ستون به سازه اعمال می شود نیز به مقدار نهایی خود یعنی همان نیروهای محوری و خمشی ستون رسیده است. در این لحظه سازه ما همانند یک سازه آسیب ندیده عمل می کند. حال پس از پنج ثانیه نیروی ستون به یکباره برای شبیه سازی خرابی ناگهانی ستون حذف می شود در حالی که بارهای ثقلی همچنان بر روی سازه قرار دارند.



شکل (۳): نحوه اعمال بارهای ثقلی در تحلیل دینامیکی غیرخطی

باید توجه شود که گام زمانی مورد استفاده در تحلیل دینامیکی غیرخطی، باید از یک دهم دوره تناوب مودی از سازه که بیانگر حرکات قائم دهانه هایی که بالای محل حذف ستون هستند، کوچک تر باشد. پس از حذف المان مورد نظر تحلیل باید تا زمانی که گره بالای محل ستون در سازه به جابجایی ماکزیمم خود برسد ادامه پیدا کند. به عبارت دیگر حداقل مدت زمان تحلیل باید طوری تعیین گردد که حداقل یک حرکت رفت و برگشتی در محلی که المان مورد نظر حذف شده اتفاق بیفتد.

در تحلیل‌های غیرخطی، ظرفیت اعضای کنترل شونده توسط تغییر مکان، برابر با تغییر شکل‌های مجاز تعیین شده برای آنها در آیین نامه UFC می‌باشد و ظرفیت اعضای کنترل شونده توسط نیرو نیز از ضرب مقاومت حد پایین آنها در ضریب کاهش مقاومت ϕ از آیین نامه ACI 318 برای سازه‌های بتنی و از آیین نامه AISC برای سازه‌های فولادی و یا سایر آیین‌نامه‌های مشابه بدست می‌آید. مقادیر نیاز اعضای کنترل شونده توسط تغییر مکان و نیاز اعضای کنترل شونده توسط نیرو نیز از تحلیل دینامیکی غیرخطی این سازه‌ها در مقابل خرابی پیش‌رونده بدست می‌آید. به طور کلی با در نظر گرفتن مطالب فوق می‌توان گفت که یک سازه توانایی مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده را دارد، اگر رابطه (۲) برای تمامی اعضای آن صدق کند. در این رابطه ضریب DCR^۱ نسبت ظرفیت تقاضا می‌باشد (UFC, 2010).

$$DCR = \frac{\text{نیاز}}{\text{ظرفیت}} \leq 1 \quad (۲)$$

۳- میراگرهای ویسکوز

دو نوع میرایی در هنگام لرزش برای وسایل جاذب انرژی وجود دارد. وسایل کنترل تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هستریتیک هستند، آنها دارای نیروی محدودی و وابسته به نیرو هستند و بر پایه سرعت تحریک، نیروی داخلی شان افزایش پیدا نمی‌کند. از طرف دیگر میراگرهای ویسکوز، محدود به نیرو نیستند و نیروی داخلی آنها وابسته به سرعت تحریک است. میراگرهای ویسکوز اولین بار در نیمه پایانی قرن ۱۹ برای خنثی سازی اثرات ضربه توپ‌ها در کشتی استفاده شد. در نیمه اول قرن بیستم یک کمپانی اتومبیل سازی به صورت گسترده‌ای استقامت آنها را افزایش داده و آنها را برای نیازهای سیستم‌های معلق وسایل نقلیه استفاده کرد. در طی جنگ سرد، میراگرهای ویسکوز برای جداسازی سیلوها و سنگرهای پرتاب موشک استفاده شد. به علاوه استفاده و توسعه آن برای توپ‌های بزرگ و کشتی جنگی افزایش یافت. در پایان سال ۱۹۸۰ نوع کوچکی از این میراگرها به صورت گسترده‌ای توسط پیمانکاران نظامی برای کاربرد بخش غیر نظامی استفاده شد. پیمانکاری نظامی به نام تیلور^۲، آزمایشاتی را در همکاری با مرکز ملی مهندسی زلزله در دانشگاه نیورک در بوفالو انجام داد و بر روی تطبیق پذیری میراگرهای ویسکوز در کاربردهای ساختمانی برای مقابله با حرکت ناشی از باد و زلزله تحقیق کرد. از آن پس در بیش از ۱۱۰ کاربرد سازه‌ای بزرگ میراگرهای ویسکوز به کار گرفته شد (سپهری، ۱۳۹۵).

نسبت میرایی ایجاد شده در سازه توسط میراگر با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\zeta_d = \frac{T \sum C_j \varphi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum m_i \varphi_i^2} \quad (۳)$$

در رابطه فوق T پریود مود اصلی سازه، C_j ضریب میرایی طبقه j ، φ_{rj} جابجایی افقی نسبی دو انتهای میراگر در اثر تغییر شکل سازه در مود اول تغییر شکل، θ_j زاویه میراگر با راستای افق در طبقه j ، m_i جرم لرزه‌ای طبقه i ، φ_i تغییر مکان طبقه i در اثر تغییر شکل سازه در مود اول تغییر مکان می‌باشند (سپهری، ۱۳۹۵).

سختی میراگرها از رابطه (۴) به دست می‌آید.

¹ Demand Capacity Ratio

² Devices Taylor

$$\tau = \frac{C}{K_{nonlinear}} \quad (4)$$

در این رابطه C همان ضریب میرایی محاسبه شده در قسمت قبل می‌باشد. پارامتر τ برابر نسبت ضریب میرایی به سختی میراگر تعریف می‌شود. اگر سختی به گونه‌ای اختیار شود که این پارامتر بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱ معکوس فرکانس طبیعی سازه بدست آید، مناسب خواهد بود. از همین رو مقدار پارامتر τ برابر ۰/۰۱ معکوس فرکانس طبیعی سازه در نظر گرفته شد. فرکانس طبیعی سازه نیز از رابطه (۵) قابل محاسبه است (سپهری، ۱۳۹۵).

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

در جدول (۱) مقادیر میرایی و سختی میراگرهای ویسکوز مورد استفاده در این تحقیق جهت مدل‌سازی، آورده شده است.

جدول (۱): میرایی و سختی میراگرهای ویسکوز مورد استفاده در مدل‌سازی

مدل	C ($\frac{kg-sec}{m}$)	K (kg/m)
۳ طبقه	1706759	898294211
۵ طبقه	1972206	1038003158
۸ طبقه	2593523	1365012105

۴- فرضیات مدل‌ها

در این بخش به معرفی مشخصات و اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی و طراحی مدل‌های مورد نظر پرداخته شده است. در جدول (۲) مشخصات کلی مدل‌ها آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات کلی مدل‌ها

زیاد	خطر نسبی زلزله
مسکونی	کاربری ساختمان
۳-۵-۸	تعداد طبقات
۳ متر	ارتفاع طبقات
تیپ III	نوع خاک
قاب خمشی فولادی	سیستم باربر جانبی

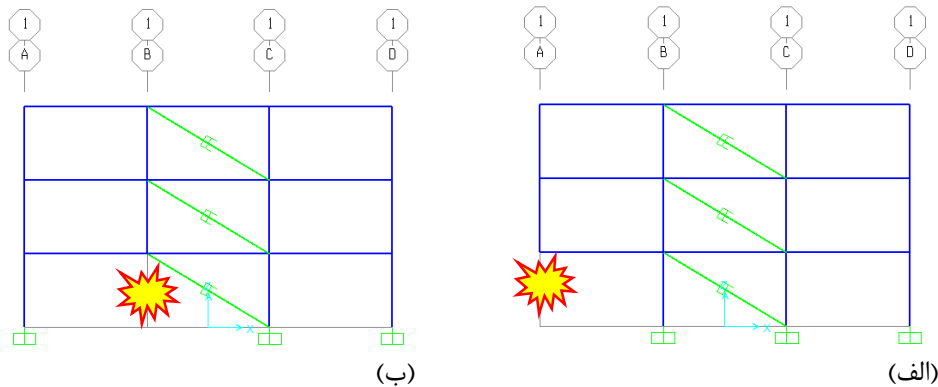
در جدول (۳) مشخصات مصالح فولادی مصرفی در این پژوهش آورده شده است.

جدول (۳): مشخصات مصالح مصرفی

7850 kg/m ³	وزن مخصوص فولاد
2x10 ⁶ kg/cm ²	مدول الاستیسیته
0.3	نسبت پواسون
240 mpa	تنش تسلیم
370 mpa	تنش نهایی

لازم به ذکر است که در این پژوهش مقدار بار مرده و زنده وارد بر قاب‌ها به ترتیب برابر ۱۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر در نظر گرفته شده است.

نمای مدل ۳ طبقه مورد بررسی به عنوان نمونه و همچنین موقعیت حذف ستون‌های میانی و کناری در مدل‌ها به صورت شماتیک در شکل (۱) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت حذف ستون‌ها در مدل‌های مورد بررسی (الف: حذف ستون کناری، ب: حذف ستون میانی)

۴-۱- مشخصات مدل‌های مورد بررسی

هر یک از قاب‌های ۳، ۵ و ۸ طبقه طراحی شده، با دو سناریوی حذف ستون شامل حذف ستون میانی و کناری در طبقه همکف و در دو حالت با و بدون میراگر که جمعاً ۱۲ مدل می‌باشند، تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی قرار گرفته و تحلیل خرابی پیش‌رونده بر روی آنها انجام شده است. لازم به ذکر است که در نام‌گذاری مدل‌ها، حرف SMF بیانگر قاب خمشی فولادی (Steel Moment Frame)، عدد بعد از حرف N بیانگر تعداد طبقات و حروف MC و SC به ترتیب نماینده Middle Column و Side Column بوده و بیانگر سناریوی حذف ستون میانی و کناری می‌باشند. حروف W/D و WO/D نیز به ترتیب بیانگر سازه بدون میراگر و با میراگر می‌باشند. در جدول (۴) مشخصات مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش آورده شده است.

جدول (۴): مشخصات مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش

شماره مدل	تعداد طبقات	ستون حذف شده	نام مدل
۱	۳	کناری	SMF-N03-SC-WO/D
۲	۳	کناری	SMF-N03-SC-W/D
۳	۳	میانی	SMF-N03-MC -WO/D
۴	۳	میانی	SMF-N03-MC-W/D
۵	۵	کناری	SMF-N05-SC-WO/D
۶	۵	کناری	SMF-N05-SC-W/D
۷	۵	میانی	SMF-N05-MC -WO/D
۸	۵	میانی	SMF-N05-MC-W/D
۹	۸	کناری	SMF-N08-SC-WO/D
۱۰	۸	کناری	SMF-N08-SC-W/D
۱۱	۸	میانی	SMF-N08-MC -WO/D
۱۲	۸	میانی	SMF-N08-MC-W/D

۵- نتایج طراحی مدل‌ها

طراحی کلیه مدل‌های مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار ایتبس و آیین‌نامه AISC360-05 انجام شده است. ضوابط طراحی لرزه‌ای نیز با استفاده از زیرمنوی Special Seismic Data for Design موجود در منوی Define نرم‌افزار ایتبس به مدل‌ها اختصاص داده شده است. لازم به ذکر است که ضریب اضافه مقاومت از جدول ۱۰-۳-۲-۲ آیین‌نامه مبحث دهم مقررات ملی برای قاب‌های خمشی برابر ۳ بدست آمده است. در جدول (۵) نتایج طراحی مدل‌ها آورده شده است. لازم به ذکر است که طراحی قاب‌ها به شکلی انجام شده که نسبت تنش در تیرها و ستون‌ها از ۰/۷ کمتر نشود.

جدول (۵): نتایج طراحی مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش

نتایج طراحی قاب‌های ۳ طبقه		
ستون‌ها	تیرها	عضو
TUBO200x200x200	IPE300	طبقه ۱
TUBO180x180x10	IPE300	طبقه ۲
TUBO140x140x10	IPE300	طبقه ۳
نتایج طراحی قاب‌های ۵ طبقه		
ستون‌ها	تیرها	عضو
TUBO240x240x20	IPE360	طبقه ۱
TUBO220x220x20	IPE360	طبقه ۲
TUBO200x200x20	IPE360	طبقه ۳
TUBO180x180x10	IPE360	طبقه ۴
TUBO140x140x10	IPE360	طبقه ۵
نتایج طراحی قاب‌های ۸ طبقه		
ستون‌ها	تیرها	عضو
TUBO300x300x20	IPE400	طبقه ۱
TUBO280x280x20	IPE400	طبقه ۲
TUBO260x260x20	IPE400	طبقه ۳
TUBO240x240x20	IPE400	طبقه ۴
TUBO220x220x20	IPE400	طبقه ۵
TUBO200x200x20	IPE400	طبقه ۶
TUBO180x180x20	IPE400	طبقه ۷
TUBO160x160x10	IPE400	طبقه ۸

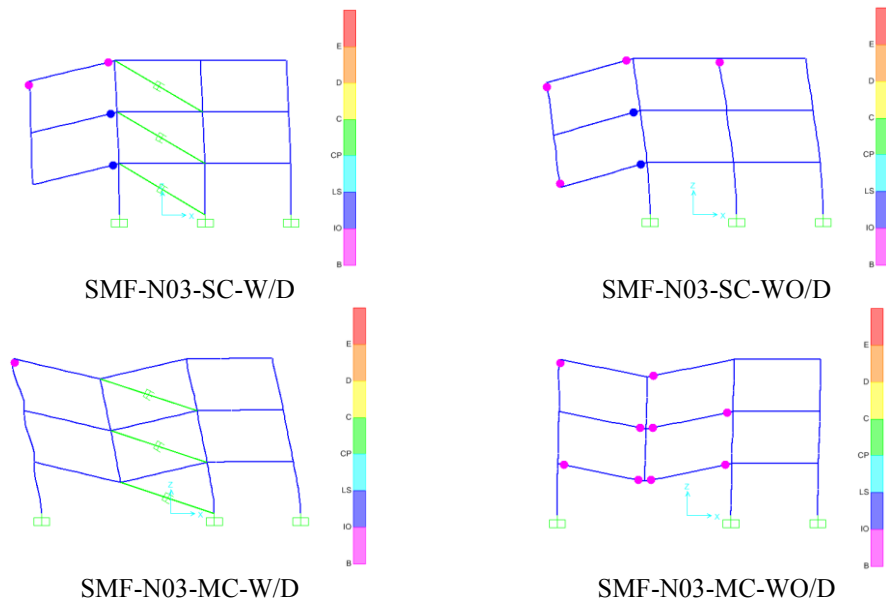
۶- نتایج تحلیل مدل‌ها

در این بخش از تحقیق، نتایج تحلیل خرابی پیش‌رونده در مدل‌ها آورده شده و به بحث در ارتباط با این نتایج پرداخته شده است.

۶-۱- نتایج تحلیل مدل‌های ۳ طبقه

در این بخش، نتایج تحلیل مدل‌های ۳ طبقه آورده شده است.

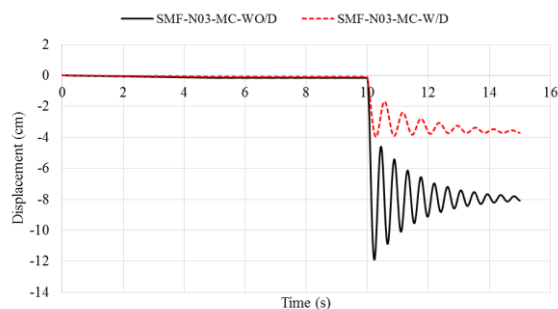
مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل‌های ۳ طبقه با و بدون میراگر در حالت حذف ستون میانی و کناری در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشند.



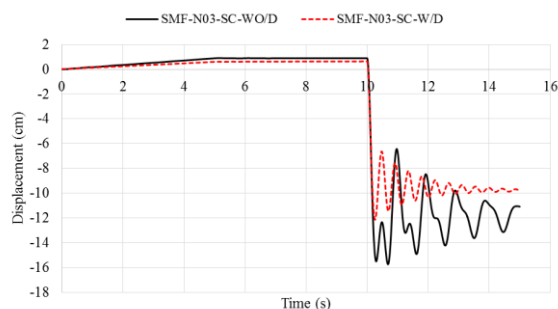
شکل (۲): مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل‌های ۳ طبقه

با دقت در شکل (۲) می‌توان دید که در مدل‌های ۳ طبقه با حذف ستون کناری، مفاصل پلاستیک تشکیل شده در تیرها و ستون‌ها در سطوح عملکرد استفاده بی وقفه (IO) و ایمنی جانی (LS) می‌باشند و به سطح عملکرد آستانه فروریزش (CP) نرسیده‌اند. با بررسی مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل‌های ۳ طبقه با حذف ستون میانی و کناری می‌توان دید که استفاده از میراگر باعث بهبود تعداد و سطح عملکرد مفاصل پلاستیک شده و بطور کلی بهبود عملکرد سازه در برابر خرابی پیشرونده شده است. در حالت حذف ستون میانی، نسبت به ستون کناری در سازه ۳ طبقه بدون میراگر مفاصل پلاستیک بیشتری ایجاد شده است. ضمن اینکه تعداد مفاصل پلاستیک در حالت استفاده از میراگر، به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده‌اند که این مسئله بیانگر این است که در حالت حذف ستون میانی، میراگر ویسکوز تاثیر بیشتری در کاهش پتانسیل خرابی پیشرونده در مدل‌های ۳ طبقه، نسبت به حالت حذف ستون کناری، داشته است.

جهت مقایسه تاثیر استفاده از میراگر در خرابی پیشرونده قاب‌ها، در شکل (۳) نتایج تغییرمکان گره بالای ستون حذف شده برای مدل‌های ۳ طبقه در دو حالت با و بدون میراگر، در قالب یک نمودار واحد آورده شده است. با دقت در این نمودارها می‌توان دید که در مدل‌های ۳ طبقه، تغییرمکان ایجاد شده در گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر ویسکوز نسبت به حالت عدم استفاده از میراگر ویسکوز، کاهش پیدا کرده است که بیانگر بهبود عملکرد قاب‌های با میراگر ویسکوز و افزایش مقاومت این قاب‌ها نسبت به قاب‌های بدون میراگر، می‌باشد.



حذف ستون میانی



حذف ستون کناری

شکل (۳): تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده در مدل‌های ۳ طبقه

جهت جمع‌بندی نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های ۳ طبقه، در جدول (۶) تعداد و سطح عملکرد مفاصل پلاستیک، حداکثر جابجایی قائم گره بالای ستون حذف شده و مقدار ضریب DCR مربوط به تیر و ستون بحرانی در مدل‌های ۳ طبقه آورده شده است. با دقت در این جدول می‌توان دید که بطور کلی در مدل‌های ۳ طبقه، مقدار حداکثر DCR ستون‌ها و حداکثر جابجایی گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر، کمتر از حالت بدون میراگر بوده که به وضوح بیانگر تاثیر مثبت استفاده از میراگرهای ویسکوز در بهبود عملکرد قاب خمشی فولادی در برابر خرابی پیشرونده می‌باشد. ضمن اینکه در حالت حذف ستون کناری نسبت به ستون میانی جابجایی بیشتری در گره بالای ستون حذف شده ایجاد شده است.

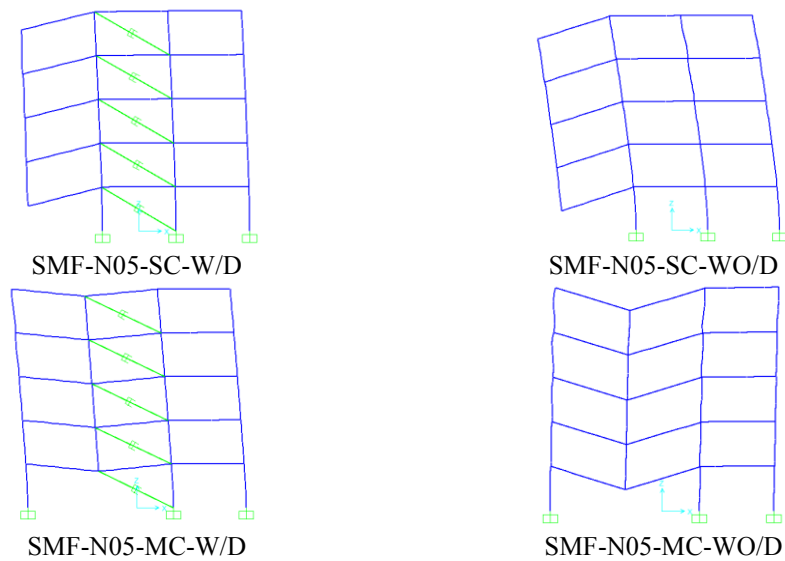
جدول (۶): خلاصه نتایج تحلیل مدل‌های ۳ طبقه

DCR (Column)	DCR (Beam)	Δ_{max} (cm)	<CP	LS>CP	IO>LS	>IO	محل حذف
0.905	1.847	15.733	0	0	2	4	ستون کناری (بدون میراگر)
0.746	1.826	12.148	0	0	2	2	ستون کناری (با میراگر)
1.435	1.623	10.178	0	0	0	9	ستون میانی (بدون میراگر)
1.339	1.192	3.978	0	0	0	1	ستون میانی (با میراگر)

۲-۶- نتایج تحلیل مدل‌های ۵ طبقه

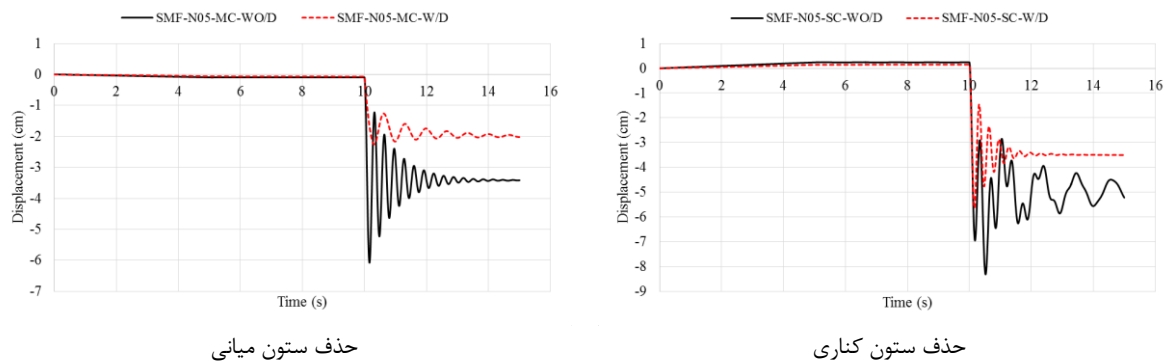
در این بخش، نتایج تحلیل مدل‌های ۵ طبقه آورده شده است.

مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل‌های ۵ طبقه با و بدون میراگر در حالت حذف ستون میانی و کناری در شکل (۴) قابل مشاهده می‌باشند. با دقت در این شکل می‌توان دید که در مدل‌های ۵ طبقه با حذف ستون میانی یا کناری در طبقه همکف، هیچگونه مفصل پلاستیکی در اعضا ایجاد نشده است که بیانگر بهبود عملکرد قاب در برابر خرابی پیشرونده با افزایش ارتفاع ساختمان می‌باشد.



شکل (۴): مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل‌های ۵ طبقه

در شکل (۵) نتایج تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده برای مدل‌های ۵ طبقه در دو حالت با و بدون میراگر آورده شده است. با دقت در این نمودارها می‌توان دید که در مدل‌های ۵ طبقه نیز همانند مدل‌های ۳ طبقه، تغییر مکان ایجاد شده در گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر ویسکوز نسبت به حالت عدم استفاده از میراگر ویسکوز، کاهش پیدا کرده است که بیانگر بهبود عملکرد قاب‌های با میراگر ویسکوز و افزایش مقاومت این قاب‌ها نسبت به قاب‌های بدون میراگر، می‌باشد.



شکل (۵): تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده در مدل‌های ۵ طبقه

در جدول (۷) تعداد و سطح عملکرد مفاصل پلاستیک، حداکثر جابجایی قائم گره بالای ستون حذف شده و مقدار ضریب DCR مربوط به تیر و ستون بحرانی در مدل‌های ۵ طبقه آورده شده است. با دقت در این جدول می‌توان دید که بطور کلی در مدل‌های ۵ طبقه، مقدار حداکثر DCR ستون‌ها و حداکثر جابجایی گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر، کمتر از حالت بدون میراگر بوده که بیانگر عملکرد مناسب میراگرهای ویسکوز در بهبود عملکرد قاب خمشی فولادی در برابر خرابی پیشرونده می‌باشد.

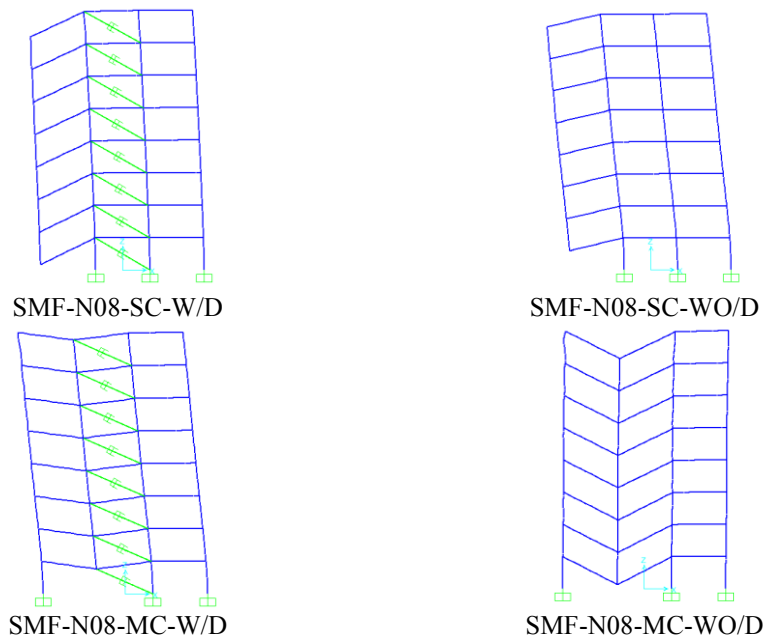
جدول (۷): خلاصه نتایج تحلیل مدل های ۵ طبقه

DCR (Column)	DCR (Beam)	Δ_{max} (cm)	<CP	LS> >CP	IO> >LS	>IO	محل حذف
0.553	1.184	8.314	0	0	0	0	ستون کناری (بدون میراگر)
0.41	1.187	5.645	0	0	0	0	ستون کناری (با میراگر)
0.935	1.037	5.204	0	0	0	0	ستون میانی (بدون میراگر)
0.795	0.712	2.256	0	0	0	0	ستون میانی (با میراگر)

۳-۶- نتایج تحلیل مدل های ۸ طبقه

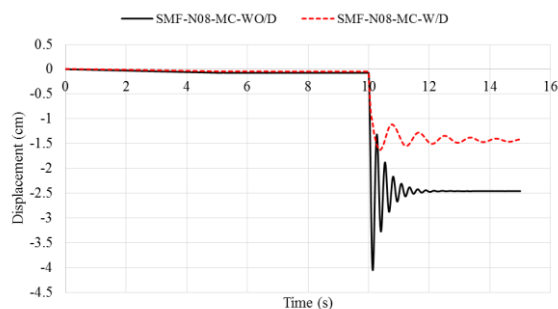
در این بخش، نتایج تحلیل مدل های ۸ طبقه آورده شده است.

مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل های ۸ طبقه با و بدون میراگر در حالت حذف ستون میانی و کناری در شکل (۶) قابل مشاهده می باشد. با دقت در این شکل می توان دید که در مدل های ۸ طبقه نیز به مانند مدل های ۵ طبقه با حذف ستون میانی یا کناری در طبقه همکف، هیچگونه مفصل پلاستیکی در اعضا ایجاد نشده است که بیانگر بهبود عملکرد قاب در برابر خرابی پیشرونده با افزایش ارتفاع ساختمان می باشد.

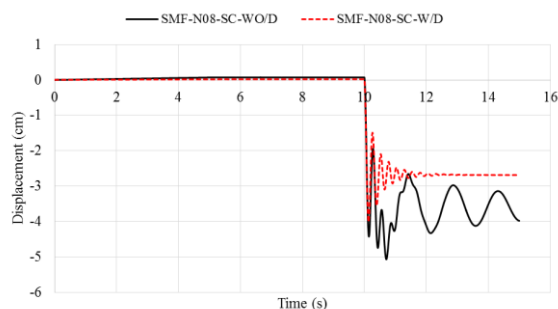


شکل (۶): مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل های ۸ طبقه

در شکل (۷) نتایج تغییرمکان گره بالای ستون حذف شده برای مدل های ۸ طبقه در دو حالت با و بدون میراگر، آورده شده است. با دقت در این نمودارها می توان دید که در مدل های ۸ طبقه نیز به مانند سایر مدل ها، تغییرمکان ایجاد شده در گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر ویسکوز نسبت به حالت عدم استفاده از میراگر ویسکوز، کاهش پیدا کرده است.



حذف ستون میانی



حذف ستون کناری

شکل (۷): تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده در مدل‌های ۸ طبقه

در جدول (۸) تعداد و سطح عملکرد مفاصل پلاستیک، حداکثر جابجایی قائم گره بالای ستون حذف شده و مقدار ضریب DCR مربوط به تیر و ستون بحرانی در مدل‌های مختلف آورده شده است. با دقت در این جدول می‌توان دید که بطور کلی در مدل‌های ۸ طبقه، مقدار حداکثر DCR ستون‌ها و حداکثر جابجایی گره بالای ستون حذف شده در حالت استفاده از میراگر، کمتر از حالت بدون میراگر می‌باشد. علاوه بر این کاهش مقادیر جابجایی ایجاد شده در گره بالای ستون حذف شده نسبت به مدل‌های ۵ طبقه، بیانگر بهبود عملکرد قاب در برابر خرابی پیشرونده با افزایش ارتفاع آن می‌باشد.

جدول (۸): خلاصه نتایج تحلیل مدل‌های ۸ طبقه

DCR (Column)	DCR (Beam)	Δ_{max} (cm)	<CP	LS	>CP	IO	>LS	>IO	محل حذف
0.375	0.977	5.066	0	0	0	0	0	0	ستون کناری (بدون میراگر)
0.278	0.987	4.014	0	0	0	0	0	0	ستون کناری (با میراگر)
0.713	0.835	3.463	0	0	0	0	0	0	ستون میانی (بدون میراگر)
0.584	0.545	1.626	0	0	0	0	0	0	ستون میانی (با میراگر)

۷- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج کلی بدست آمده از تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- بطور کلی با افزایش تعداد طبقات، پتانسیل خرابی پیشرونده در قاب‌ها در حالت حذف ستون میانی و کناری در طبقه همکف کاهش پیدا می‌کند.
 - ۲- استفاده از میراگر ویسکوز در قاب‌های خمشی فولادی باعث بهبود عملکرد سازه و کاهش پتانسیل خرابی پیشرونده در آن می‌شود.
 - ۳- حذف ستون کناری نسبت به ستون میانی، باعث ایجاد مفاصل پلاستیک بیشتری در اعضای سازه‌ای شده و پتانسیل خرابی در سازه را افزایش می‌دهد.
- پیشنهادات زیر جهت ادامه این تحقیق ارائه می‌شوند
- ۱- بررسی پدیده خرابی پیشرونده در قاب‌های خمشی فولادی با مدلسازی انواع اتصالات صلب از قبیل اتصالات RBS.
 - ۲- تحلیل خرابی پیشرونده در مقابل بارهای انفجاری، آتش‌سوزی و ...
 - ۳- بررسی تاثیر جداگرهای لرزه‌ای پایه بر روی پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه
 - ۴- بررسی خرابی پیشرونده در قاب‌های نامنظم در ارتفاع

منابع

معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، (۱۳۸۵)، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود. نشریه شماره ۳۶۰، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری.

سپهری، ا. (۱۳۹۵)، تحلیل و طراحی میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای براساس ASCE7-10 در Opensees و Sap2000 و Perform 3D، نشر علم عمران.

موسوی، ح، صباغ یزدی، س و قره جانلو، س، (۱۳۹۴)، مدل سازی میراگر ویسکوز غیرخطی در یک سازه سه طبقه با رفتار مصالح غیرخطی به وسیله نرم افزار ABAQUS، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز.

کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰"، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.

دفتر مقررات ملی ساختمان، "مبحث دهم- طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، ویرایش دوم، نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲.

UFC. United facilities criteria design of buildings to resist progressive collapse (UFC42303). (2010). Washington (DC): Department of Defense.

GSA, Progressive collapse analysis and design guidelines for new pffice buildings and major modernization projects. (2003). The U.S General Services Administration.

Hashemi R. F., Yousefi, A., Ronagh, H., (2015), Effect of span length on progressive collapse behaviour of steel moment resisting frames, Structures, 3, 81-89.

Fema 356. pre- standard and commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Building Seismic safety Council Federal Emergency Management Agency, Washington DC (FEMA Publication No.273),2000.

NIST, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce.

Investigating the effect of using viscose dampers in improving the performance of steel moment frames against progressive collapse using nonlinear dynamic analysis

Vahid Hatami Dezdarani

Mohammadreza Neisi Daghilavi

Dept. of Civil Engineering Shoushtar Azad University

Dept. of Civil Engineering Shahid Chamran University

Vahid.hatami2019@yahoo.com

Mohammaddaghilavi@gmail.com

Astract

In this thesis, the effect of the use of viscous dampers on the progressive collapse potential of steel moment frames with different number of floors, using alternate path method and nonlinear dynamic analysis with side and middle column removal scenario, Has been studied. For this purpose, moment frames of 3, 5 and 8 storey 3-span, 5-meter span widths are 12 models in total to investigate the potential Progressive collapse have been investigated using Sap2000 software. Outputs investigated in the models include the displacement of the node above the removed column, the number and level of performance of the plastic joints created, and the DCR of the beam and critical column. The results of the analyzes performed on the models showed that with the increase in the number of progressive collapse potential classes in the frames, the middle and side column elimination was reduced in the ground floor. The results of the analysis clearly showed that the use of viscous dampers in the moment steel frames improves the performance of the structure and reduces the potential for progressive collapse. Removing the middle column from the side column causes more plastic joints in the structural members and increases the potential for damage to the structure.

Keywords: Nonlinear Dynamic Analysis, Progressive Collapse, Ductility, Steel Moment Frame, Alternative Path, Viscous Damper.