بررسی خرابی پیش رونده در سیستم قاب خمشی و مهاربندی فولادی

امین حلاجی خسروشاه*
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، شبستر، ایران
یاشار یثربی نیا
هیات علمی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی شبستر، شبستر، ایران
amin.hallaji@gmail.com
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۲/۰۲

چکیده:

خرابی پیش‌رونده پدیده‌ای است که یک خسارت جزئی یا شکست موضعی یا خرابی موضعی اولیه از یک المان به المان دیگر موجب فروپاشی در کل سازه یا قسمت بزرگی از سازه می‌گردد. با توجه به اینکه رفتار سازه‌ها در خرابی پیش‌رونده می‌تواند عوامل مختلف از جمله نحوه انتقال بارها در گره‌ها مرتبط باشد، لذا نوع اتصالات و رفتار آنها می‌تواند در خرابی پیش‌رونده سازه بسیار موثر گردد. از اینرو بررسی اثر نوع اتصال در خرابی پیش‌رونده سازه‌ها می‌تواند عملکرد سیستم‌های مقاوم جانبی سازه‌های فولادی را بخوبی نشان می‌دهد. برای بررسی این موضوع از سازه‌های فولادی، سازه‌هایی با تعداد طبقات ۵ ، ۸ ، ۱۰ ، ۱۵ با سیستم مقاوم جانبی خمشی که اتصالات آن گیردار باشد و با سیستم قاب ساده مهاربندی شده که اتصالات آن مفصلی باشد، تحت بارگذاری قرارگرفته و در نرم افزار *SAP2000* مدلسازی و طراحی شده است. با تحلیل تاریخچه زمانی مدلها مشخص می‌گردد که مقدار پاسخ‌های لرزه‌ای از جمله مقدار تغییر مکان جانبی طبقات، برش پایه، مقدار نیروی داخلی ستونها و همچنین گسترش خرابی پیش‌رونده در سازه‌ها در حالت استفاده از قاب خمشی و قاب مهاربندی نسبت بهم متفاوت می‌باشد. لازم به توضیح است که، مقادیر نیروهای محوری، برشی و خمشی المانها در قابهای خمشی بیشتر از قابهای مهاربندی بوده و بر اساس موقعیت حذف ستون متفاوت می‌باشد. لذا می‌توان گفت که مقادیر نیروهای داخلی در قاب خمشی بیشتر از مهاربندی و مقدار جابجایی قائم کمتر از قاب مهاربندی می‌باشد.

کلیدواژگان: خرابی پیش‌رونده، قاب خمشی، قاب مهاربندی

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

خرابی پیش‌رونده را می‌توان به عنوان یک واکنش زنجیره‌ای یا انتشار خرابی تعریف کرد که در آن تحت عللی خاص، صدمه موضعی در ناحیه نسبتاً کوچکی از سازه رخ می‌دهد و در شرایطی این صدمه موضعی، به بخش‌های دیگری از سازه گسترش یافته و در نهایت به خرابی کلی سازه، منتهی می‌شود، به عبارت دیگر بعضی مواقع خرابی محلی عضو، به صورت موضعی باقی نمانده و در کل سازه منتشر می شود. خطرات احتمالی و بارهای غیرعادی که می‌تواند موجب خرابی پیش‌رونده شود، شامل این موارد می‌باشند: خطای طراحی یا ساخت، آتش‌سوزی، انفجار گازها، اضافه‌بار تصادفی، تصادف وسایل نقلیه، انفجار بمب‌ها و غیره. چون احتمال وقوع این خطرات کم است، در طراحی سازه‌ای آن‌ها را در نظر نمی‌گیرند یا با اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم به آن‌ها می‌پردازند. اکثر آن‌ها ویژگی کنش طی مدت زمان نسبتاً کوتاه را دارند و به پاسخ‌های دینامیکی می‌انجامند. خرابی پیش‌رونده در ابتدا توجه محققین را در دهه ۷۰ میلادی، پس از گسیختگی جزئی برجی در رونان پوینت انگلستان به خود جلب کرد. پس از حملات تروریستی مرکز تجارت جهانی در ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱، علاقه مجدد به بررسی گسیختگی پیش‌رونده ایجاد گردید. فلسفه فعلی اکثر آیین‌نامه‌های موجود ساختمانی، طراحی سازه‌ها برای بارهای قابل قبولی است که ممکن است در طول عمر سازه بر آن وارد شود. سازه‌ها را معمولاً برای حوادث غیرطبیعی که می‌توانند موجب خرابی‌های فاجعه‌آمیز شوند طراحی نمی‌کنند. اکثر آیین‌نامه‌های رایج فقط دارای توصیه‌های کلی برای تعدیل تأثیر پیش‌رونده در سازه‌هایی هستند که فراتر از بارهای طراحی‌شان بارگذاری می‌شوند.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

خرابی پیشرونده پدیده‌ای است که یک خسارت جزئی یا شکست موضعی یا خرابی موضعی اولیه از یک المان به المان دیگر که نهایتاً موجب فروپاشی در کل سازه و یا قسمت بزرگ نامتناسبی از آن می گردد. در مورد خرابی ساختمان‌ها سوالات زیادی درباره ناکافی بودن آیین نامه‌های جدید برای جلوگیری از خرابی‌های کلی (Global) collapse و جزئی (Local collapse) ساختمان‌ها مطرح کرده است. سازه‌های ساختمانی برای بارهای عادی مانند وزن خود سازه بارهای مربوط به وسایل و تجهیزات ونیروهای مربوط به زلزله طراحی شده است هرچند احتمال واژگونی یک سازه اندک است اما در صورت رخداد باعث زیان اجتماعی واقتصادی زیاد می‌شود موارد بسیاری از واژگونی کلی و جزئی بر اثر پدیده‌هایی چون ضربه، برخورد وسایل نقلیه، انفجار، خطاهای طراحی، ساخت وساز نامناسب، حمله تروریستی و اضافه بار اتفاقی دیده شده است . در دهه‌های گذشته پدیده خرابی پیش‌رونده پس از واژگونی ساختمان ۲۲ طبقه در رونال یونیت لندن (Ronan point) درسال ۱۹۶۸بر اثر انفجار گاز در یکی از طبقات بالا (مبحث ششم .۱۳۸۵و مبحث دهم .۱۳۸۷ مقررات ملی ساختمان ایران) یا حمله تروریستی به ساختمان آلفردپی موراه (Alfrer p.murrah) درشهر اوکلاهما در سال ۱۹۹۵ (آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ویرایش سوم، استاندارد ۸۴ – ۲۸۰۰) واژگونی ساختمان تجارت جهانی در سال ۲۰۰۱ (سرداری، ۱۳۸۸) (میر قادری، فهیمی، ۱۳۸۹) درایالات متحده انجمن مهندسین عمران امریکا (عسگریان، هاشمی، ۱۳۸۹) اداره خدمات عمومی(General service administration) *GSA2003* وزارت دفاع (Department of defense) DOD2009 به ارائه دستورالعمل برای مقابله با این پدیده پرداخته‌اند (دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، ۱۳۸۵)-(ASCE Standard 7 .05, 2005)

Agnew,marjanishvili به تشریح تحلیل خرابی پیش‌رونده قاب سه بعدی به چهار روش LD, LS,NLS وNLD با نرم افزار SAP2000 پرداختن(Marjanshvili, S. and Agnew, 2006) .

در تحقیقات گذشته نشان داده شده که مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده بصورت ضمنی با فراهم کردن کمینه‌ی مقاومت لازم، پیوستگی و شکل‌پذیری بصورت صریح با فراهم‌کردن مسیرهای انتقال نیرو به گونه‌ای که خرابی موضعی توسعه نیابد و به خرابی کلی منجر نشود یا با مقاوم‌کردن اعضائی که در پایداری کلی سازه تاثیر اساسی دارد فراهم می‌شود در سازه‌های فولادی با قاب خمشی بخاطر اینکه کارکرد سیستم بطور عمده وابسته به رفتار ومقاومت اتصالات جزئیات ونحوه اجراء اتصالات اهمیت زیادی در رفتار سازه دارد. مقاومت اتصالات در برابر خرابی ستون که باعث به وجود آمدن نیروی کششی وایجاد کرنش نیروی محوری، لنگر خمشی در تیر می‌شود . در سازه های با قاب خمشی ویژه نتایج مدل‌سازی بیانگر آن است که قاب‌ها برای نیروهای زلزله طراحی می‌شوند و مقاومت کافی در برابر بارهای غیر عادی که سبب حذف یکی از ستون‌های سیستم باربر می‌شود را ندارد.

Kapil khandel wal و همکاران، در بوجود آمدن خرابی پیش رونده در سازه‌های فولادی با سیستم قاب خمشی ویژه را بررسی کردند که برای نیروهای لرزه‌ای طراحی شده بود نتایج مدل‌سازی نشان داد سیستم‌هایی که در آن‌ها قاب‌های محیطی برای نیروهای زلزله طراحی می‌شوند مقاومت کافی در برابر بارهای غیرعادی که سبب حذف یکی از ستون‌های سیستم باربر بارهای گرانش را ندارند. یکی دیگر از نتایج این تحقیق کاهش بال تیرها برای اتصالات *RBS* آسیب‌پذیری سیستم در برابر خرابی ستون را افزایش می دهد(Kapil Khandelwal, 2008) .

Jin kookim ,dowoon-an اثر زنجیر گونه پتانسیل خرابی پیش‌رونده سازه‌های فولادی قاب خمشی را بررسی کرده و تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی روی سازه‌های ۳و۶ طبقه با بادبند و بدون بادبند را براساس بار جایگزین پیشنهاد شده به وسیله GSA,2003 انجام شد. روش بار جایگزین یک روش مستقل از رخداد است یعنی علت خرابی اولیه را در نظر نگرفته بلکه پاسخ سیستم پس از حذف یکی از عضوهای اصلی بار را در نظر می‌گیرد این روش بیشتر با حذف یک ستون میانی یا گوشه از سازه انجام می‌شود. از این روش برای طراحی سازه جدید یا بررسی ظرفیت سازه‌های موجود استفاده می‌شود (Jinkoo Kim, 2009).

Min yu وهمکاران با سازه‌های فولادی با سقف مرکب را مطالعه کردند در این مطالعه ابتدا مدل‌های تحلیلی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده وسپس اثر استفاده ازکابل‌های پیش‌تنیده در افزایش عمل مشترک سقف بتنی وتیرهای فولادی در مقابله با

Archive of SID

www.SID.ir

نیروهای ایجاد شده در اثر ستون را بررسی کرده‌اند. انجمن ملی استاندارد وتکنولوژی (NIST) یک برنامه تحقیقاتی گسترده برای می تواند در اثریک بار غیر عادی اتفاق بیفتد اجرا کرده است در سال ۲۰۱۰ یک بررسی با همکاری موسسه NIST و مرکز مطالعات وتحقیقات مهندسی آمریکا ERDS روی رفتار اتصالات خمشی فولادی پس از حذف ستون انجام شده است، در این مطالعه برای بررسی رفتار سیستم های سازه‌ای در حالت حدی و برای تعیین ظرفیت باقی مانده در سازه و مقاوم کردن سیستم‌های سازه‌ای، و مدل تحلیلی سه بعدی را با انواع مصالح و انواع مختلف سیستم بررسی کرده‌اند (Min Liu, 2011)

Astane-asl وهمکاران، سازه‌های فولادی متعارف ساخته شده با اتصالات مفصلی در خرابی پیش‌رونده بررسی کرده‌اند یک سازه به ابعاد ۲۰*fot* در ۶۰*fot* را بررسی کردند، این آزمایش نشان داد بعد از خرابی یکی از ستون‌های میانی سازه عمل مشترک بین سقف بتنی و سایر تیرها و ستون‌ها سبب توزیع نیروهای اضافی تولید شده می‌شود به گونه‌ای که در این آزمایش سقف بدون خرابی توانایی تحمل بار مرده و زنده را داشت در این آزمایش، نیرو به سایر قسمت های سازه بخوبی انتقال یافت (Reza Jalali Larijani, 2012)

۳- بیان مسئله و مدلسازی

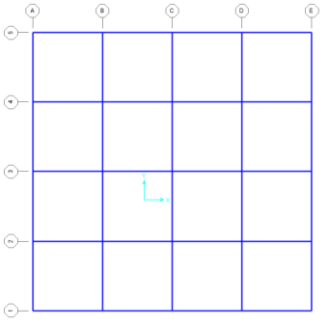
خرابی پیش‌رونده پدیده‌ای است که یک خسارت جزئی یا شکست موضعی یا خرابی موضعی اولیه از یک المان به المان دیگر موجب فروپاشی در کل سازه یا قسمت بزرگی از سازه می‌گردد. با توجه به اینکه رفتار سازه‌ها در خرابی پیش‌رونده می‌تواند عوامل مختلف از جمله نحوه انتقال بارها در گره‌ها مرتبط باشد، لذا نوع اتصالات ورفتار آن‌ها می‌تواند در خرابی پیش‌رونده سازه بسیار موثر گردد. وقتی المانی در یک سازه از حیطه مقاومت خارج می‌گردد، بار آن به المان‌های دیگر منتقل می‌شود. مقدار انتقال و نحوه انتقال و همچنین المان‌های که بار به آنها منتقل می‌گردد می‌تواند در مسیر خرابی پیش‌رونده و همچنین مقدار خرابی تاثیرگذار باشند ، از این رو اتصالات خمشی ومفصلی گره ها که نحوه انتقال نیروها در این دو اتصال متفاوت می‌باشد، می‌توانند در بحث خرابی پیش‌رونده سازه‌ها موثر باشد.

لذا می‌توان با بررسی خرابی پیش‌رونده در سازه‌های فولادی با اتصالات مفصلی و خمشی، اثر نوع اتصال را در میزان خرابی، سطح خرابی و نحوه گسترش آن مشاهده نمود. از این رو بررسی اثر نوع اتصال در خرابی پیش‌رونده سازه‌ها می‌تواند عملکرد سیستم‌های مقاوم جانبی سازه‌های فولادی را بخوبی نشان می‌دهد.

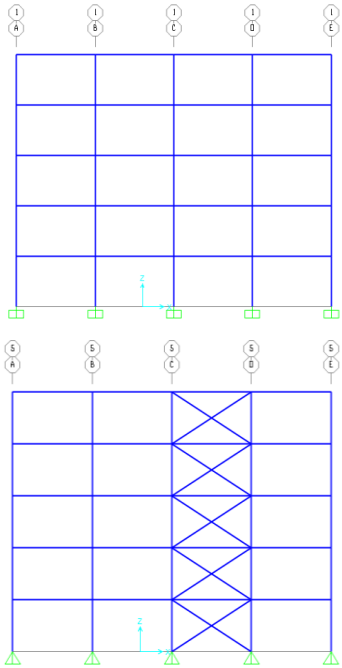
برای بررسی این موضوع از سازه‌های فولادی، سازه‌هایی با تعداد طبقات ۵ ، ۸ ، ۱۰ ، ۱۵ با سیستم مقاوم جانبی خمشی که اتصالات آن گیردار باشد و با سیستم قاب ساده مهاربندی شده که اتصالات آن مفصلی باشد، تحت بارگذاری قرار گرفته و در نرم افزار SAP2000 مدلسازی و طراحی گرفته‌اند. سپس سازه‌ها تحت تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی قرار گرفته و خرابی پیش‌رونده در آنها بررسی و نتایج حاصل از اثر نوع اتصال در خرابی پیش‌رونده تحت نقد و بررسی قرار گرفته و مقدار خرابی و شدت خرابی در سازه مورد گرفته است.

برای بررسی اثر اتصالات مفصلی و گیردار در خرابی پیش‌رونده سازه‌های فولادی، سازه‌هایی با تعداد طبقات مختلف باسیستم مقاوم جانبی مهاربندی ضربدری و سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی بصورت سه‌بعدی در نرم‌افزار مدلسازی شده است. برای بررسی خرابی پیش‌رونده در مدل‌های فوق، ستون گوشه(A-1)، کناری(A-4) و میانی(C-3) بصورت جداگانه و در طبقات اول، وسط و آخر برداشته شده و سازه‌ها تحت تحلیل‌های غیرخطی قرار گرفته و گسترش خرابی ناشی از خرابی پیش‌رونده در هرکدام بررسی شده است. برای انجام طراحی و تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی از نرم‌افزار SAP2000v16 استفاده شده است.

بار مرده برابر ۵۰۰ kgf/m^2 و بار زنده ۲۰۰ kgf/m^2 فرض می‌شود. بعد از تحلیل استاتیکی خطی، اعضای سازه‌ها در نرم‌افزار طراحی شدند. برای طراحی سازه‌ها از آیین‌نامه AISC-10 استفاده شده است. مقاطع مورد استفاده برای تیرها IPE برای ستون‌ها و مهاربندها از BOX استفاده شده است. پلان سازه‌ها و نمونه‌ای از قاب‌های مربوط به هر کدام از سازه‌ها با اتصالات گیردار و مفصلی در اشکال۱ الی ۲ آورده شده است.



شکل ۱- پلان سازه‌ها



شکل ۲- قاب مدل ۵ طبقه با اتصالات گیردار و اتصالات مفصلی

Archive of SID
www.SID.ir

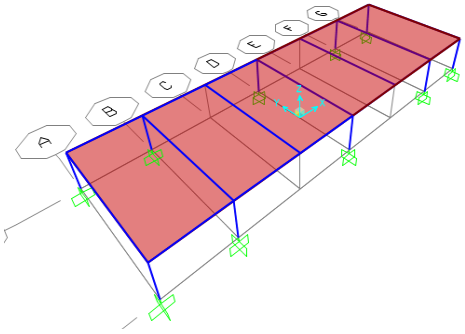
۴- صحت سنجی

برای اثبات صحت مدلهای المان محدود پیشنهادی در این تحقیق یک مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. یکسری آزمایشات تمام مقیاسی توسط پروفسور آستانه‌اصل و همکاران در دانشگاه برکلی آمریکا برای مطالعه خرابی پیش رونده در سازه‌های فولادی متعارف انجام شده است. این نمونه آزمایشگاهی یک سازه فولادی می‌باشد. در این سازه اتصالات تیر به ستون مفصلی بوده و سقف بصورت مرکب شامل دال بتنی و یک ورق فلزی در زیر بتن سقف به همراه تیرهای فلزی فرعی می‌باشد. طول و عرض این سازه به ترتیب برابر ۶۰ و ۲۰ فوت و ضخامت سقف در بیشترین قسمت برابر ۶/۵ اینچ و ارتفاع روی سقف بتنی این سازه تا سطح آزمایشگاه برابر ۶۹ اینچ می‌باشد. مقاطع تیرها از پروفیلهای W18x35 و W21x45 و مقاطع ستونها از پروفیل W14x61 می‌باشد. تمامی مقاطع تیرها و ستونها و صفحات اتصال تیر به ستون از فولاد St37 می باشد. بتن مورد استفاده در دال بتنی سقف از نوع بتن 4000Psi(28 Mpa) می باشد. هدف از این آزمایش بررسی کارکرد و رفتار یک سازه متعارف فولادی در برابر خرابی یکی از ستونها است[۴۶].

شکل ۳- مدل آزمایشگاهی ساخته شده توسط پروفسور آستانه و همکاران

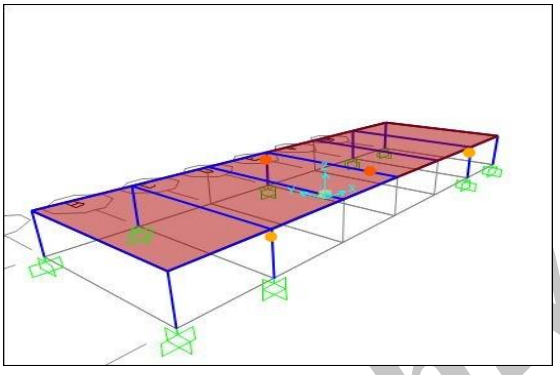
این آزمایش در ساعت سه و پانزده دقیقه بعد از ظهر در تاریخ 14 june سال ۲۰۰۱ انجام گرفته است که به آزمایش 2C معروف است. در این آزمایش ستون میانی به اندازه ۲۴ اینچ به طرف پایین حرکت داده می‌شود و در اثر این حرکت وقتی تغییر مکان به مقدار ۱۹ اینچ رسید اتصالات تیر به ستون دچار خرابی می‌گردد. در نهایت وقتی که تغییر مکان به مقدار ۲۴ اینچ رسید نیرو به مقدار ۶۲/۸ کیلو پوند رسیده و سازه دچار خرابی می گردد.

برای صحت از نتایج سازه‌هایی که در نرم افزار Sap2000 مدلسازی شده‌اند، مدل آزمایشگاهی فوق در نرم‌افزار Sap مدلسازی شده است. برای مدلسازی این سازه در نرم‌افزار از مشخصات آزمایشگاهی برای مصالح و المانها و همچنین مقاطع مشخص شده برای تیرها و ستونها استفاده شده است. مدل ساخته شده در Sap بصورت شکل ۴ می‌باشد.

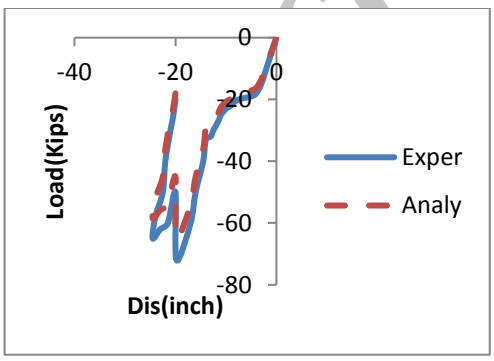


شکل ۴- مدل سه بعدی ساخته شده در sap

بعد از حذف ستون مقدار نیرو در مقابل جابجایی قائم محل حذف ستون استخراج و در طی نموداری آورده شده و با مقدار آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بعد از حذف ستون تعدادی از المانها وارد مرحله غیرخطی شده‌اند که، نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در شکل ۵ و نتایج تحلیلی با مدل آزمایشگاهی در شکل ۶ آورده شده است. با بررسی نتیجه فوق مشاهده می گردد که، مقدار بدست آمده از تحلیل با دقت قابل قبولی منطبق بر نتایج آزمایشگاهی است.



شکل ۵- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک



شکل ۶- بررسی جابجایی قائم در مقابل نیرو برای مدل و سازه آزمایشگاهی

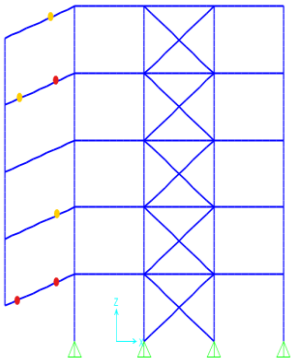
۵- بررسی نتایج

۵-۱ بررسی نحوه گسترش خرابی ها

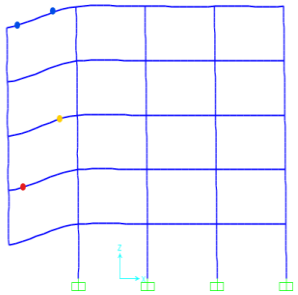
برای بررسی اثر اتصال صلب و مفصلی در مقدار خرابی و سطح آن در المان‌های مقاوم جانبی، نحوه گسترش خرابی در اعضای مقاوم جانبی در هر دو حالت با اتصال مفصلی و گیردار بررسی شده است. در این تحقیق از مفاصل پلاستیک برای تعریف رفتار غیرخطی المانها بر

www.SID.ir

اساس Fema 356 استفاده شده است. لذا در صورتی که در نقاط اختصاص مفصل، تنش المان بیشتر از تنش تسلیم باشد مفصل پلاستیک نمایش داده خواهد شد. نتایج حاصل برای مدل ۵ طبقه در اشکال ۳ الی ۵ آورده شده است.

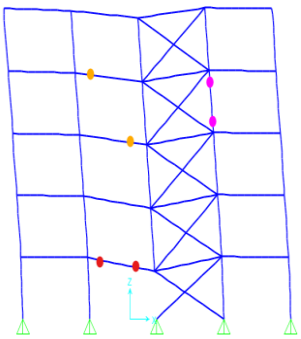


اتصالات گیردار

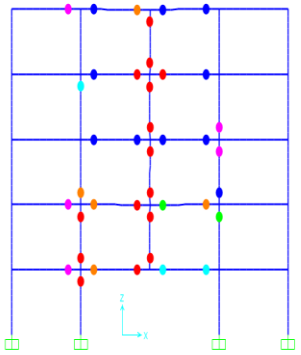


اتصالات مفصلی

شکل ۷- نحوه گسترش خرابی در مدل ۵ طبقه در حالت حذف ستون گوشه طبقه اول

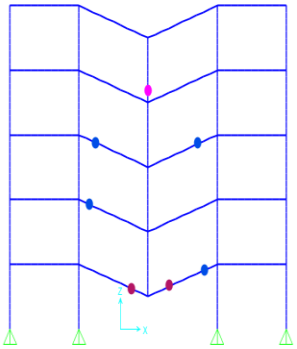


اتصالات گیردار

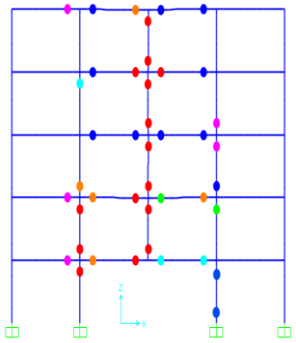


اتصالات مفصلی

شکل ۸-نحوه گسترش خرابی در مدل ۵ طبقه در حالت حذف ستون کناری طبقه اول



اتصالات گیردار



اتصالات مفصلی

شکل ۹- نحوه گسترش خرابی در مدل ۵ طبقه با اتصالات گیردار در حالت حذف ستون میانی طبقه اول

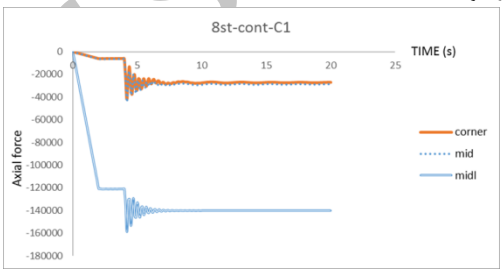
بر اساس نتایج حاصل از گسترش خرابی (نحوه تشکیل مفصل پلاستیک) برای سازه‌های فولادی با اتصالات گیردار و مفصلی مشاهده می‌شود که، میزان خرابی و مقدار خرابی در اثر تغییر اتصال تغییر می‌یابد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که، در سازه‌های با اتصالات گیردار، سطح گسترش خرابی نسبت به سازه‌های فولادی با اتصالات مفصلی بیشتر می‌باشد. به نوعی می‌توان گفت در سازه‌های فولادی با اتصالات گیردار، تعداد المان‌های بیشتری در مقابل خرابی بوجود آمده و گسترش آن در طبقات مشارکت می‌نمایند. اما بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که سطح خرابی المان‌ها در سازه‌های با اتصالات

Archive of SID
www.SID.ir

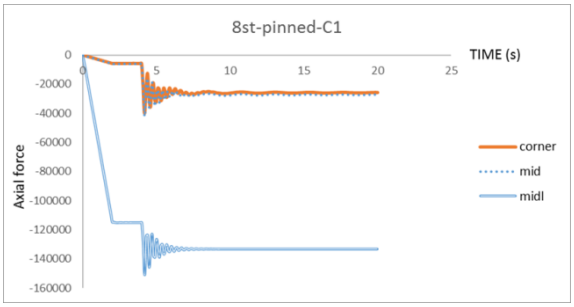
مفصلی بیشتر از سطح خرابی المان‌ها در سازه‌های با اتصالات گیردار می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی سازه‌ها مشاهده می‌شود که، موقعیت ستون حذف شده برای گسترش خرابی و مقدار آن در المان‌ها در هردو سازه مهم موثر می‌باشد. یعنی مقدار خرابی‌های اتفاق افتاده و همچنین سطح خرابی آن‌ها در هر دو اتصال استفاده شده برای سازه‌ها با تغییر موقعیت ستون حذف شده، متفاوت می‌باشد. در شکل‌های بالا، تغییر شکل‌های نشان داده شده بدون Scale واقعی هستند.

۲-۴- بررسی نیروی محوری ستون‌ها

در این تحقیق برای بررسی اثرات ناشی از خرابی پیش‌رونده که حذف ستون در سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، نیروی محوری ستون‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است تا نحوه تغییرات نیروی محوری ستون‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نیروی محوری ستون‌ها که در حالت‌های مختلف حذف ستون‌ها از موقعیت‌های مختلف استخراج شده است در اشکال ۱۰ الی ۱۲ آورده شده است. لازم به توضیح است که ستون سمت راست ستون گوشه مورد بررسی قرار گرفته است.

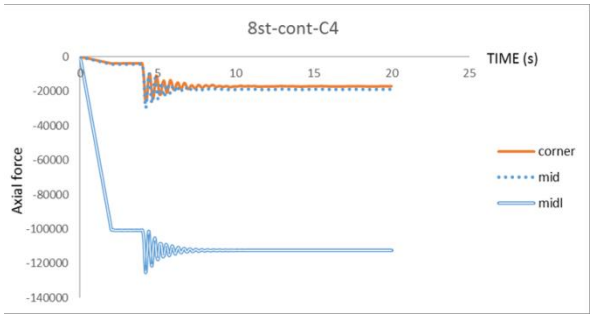


تحت سیستم قاب خمشی

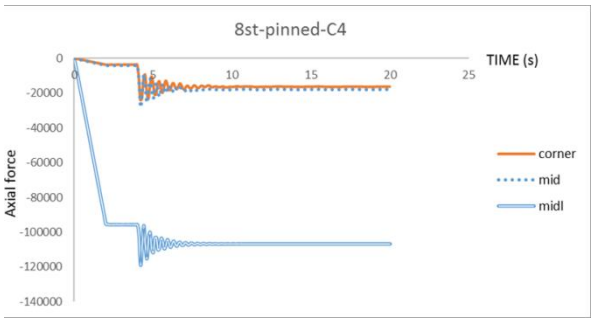


تحت سیستم مهاربندی

شکل ۱۰- نیروی محوری وارد بر ستون در سازه ۸ طبقه
در اثر حذف ستون طبقه اول

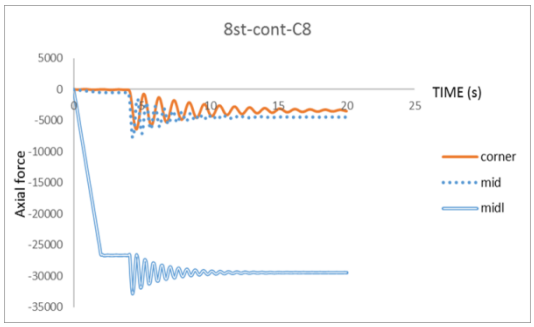


تحت سیستم قاب خمشی

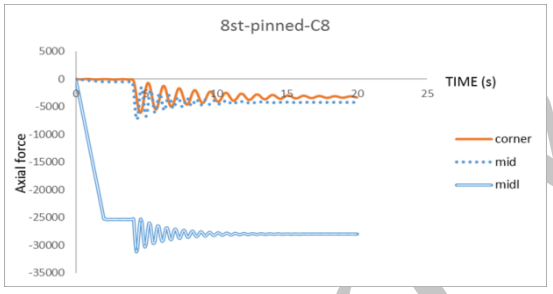


تحت سیستم مهاربندی

شکل ۱۱ – نیروی محوری وارد بر ستون در سازه ۸ طبقه
در اثر حذف ستون طبقه چهارم



تحت سیستم قاب خمشی



تحت سیستم مهاربندی

شکل ۱۲- نیروی محوری وارد بر ستون در سازه ۵ طبقه
در اثر حذف ستون طبقه پنجم

با بررسی نتایج مربوط به نیروی ستون‌ها مشاهده می‌شود که در قاب خمشی با تعداد طبقات کمتر، مقدار نیروی محوری با حذف ستون دچار تغییرات اندکی می‌گردد که قابل چشم‌پوشی است. اما در سازه های با قاب خمشی با تعداد طبقات بیشتر، حذف ستون باعث تغییرات در مقدار نیروی محوری ستون‌ها می‌گردد به طوری که در بعضی از حالت‌های حذف ستون از جمله موقعی که ستون میانی یا کناری طبقه آخر را حذف می‌کنیم، مقدار نیروی محوری ستون‌ها بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

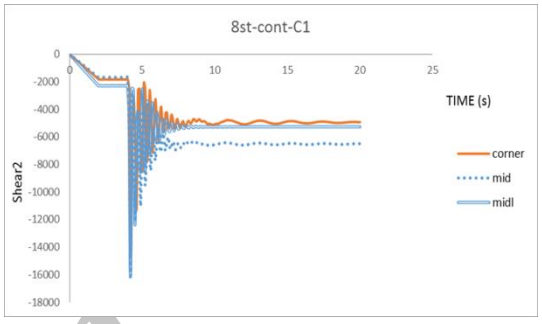
همچنین نتایج نشان می‌دهد که حذف ستون در سازه‌های با سیستم مهاربندی تاثیر قابل توجهی در مقدار نیروی محوری ستون‌ها دارد. البته لازم به ذکر است که موقعیت حذف ستون در سیستم مهاربندی نیز تاثیر قابل توجهی در مقدار تغییرات نیروی محوری دارد. نتایج نشان می‌دهند که، مقادیر نیروی محوری ستون‌ها در قاب‌های خمشی بیشتر از قاب‌های مهاربندی می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

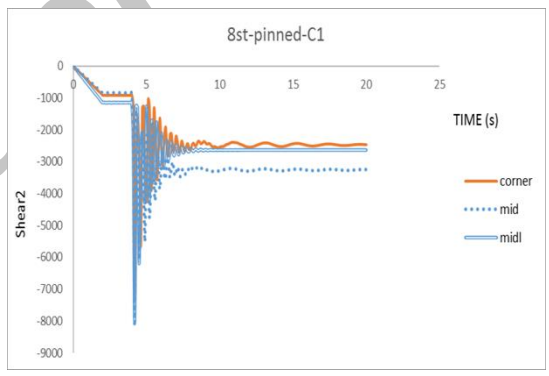
با بررسی نتایج مشاهده می‌گردد که، مقدار نیروی محوری ماندگار در سیستم قاب خمشی بیشتر از سیستم مهاربندی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که، مقدار نیروی محوری ماندگار ستون در سیستم قاب خمشی در حالتی که، ستون از طبقات پایین حذف می شود بیشتر از سایر طبقات است.

۳-۴- بررسی نیروی برشی تیرها

در بحث بررسی خرابی پیش‌رونده، مقدار نیروی برشی تیرها نیز مورد بررسی قرار گرفته است تا اثرات خرابی پیش‌رونده در مقدار تغییرات نیروی محوری تیرها تشریح گردد. نتایج حاصل در اشکال ۱۳ الی ۱۵ آورده شده است.

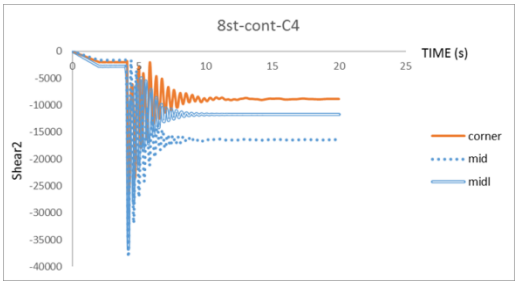


سیستم قاب خمشی

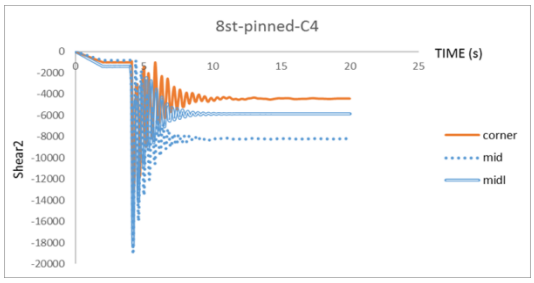


سیستم قاب مهاربندی

شکل۱۳ – نیروی برشی وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه
در اثر حذف ستون طبقه اول

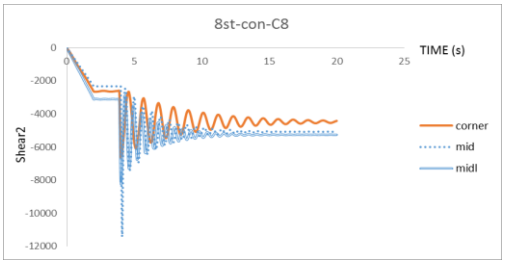


سیستم قاب خمشی

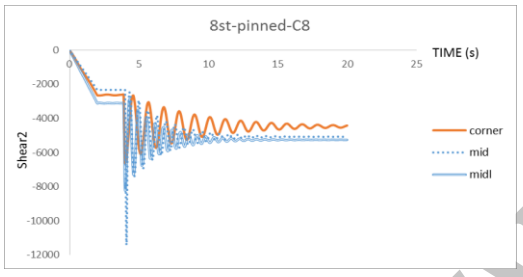


سیستم قاب مهاربندی

شکل۱۴ – نیروی برشی وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه در اثر حذف ستون طبقه سوم



سیستم قاب خمشی



سیستم قاب مهاربندی

شکل۱۵–نیروی برشی وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه
در اثر حذف ستون طبقه پنجم

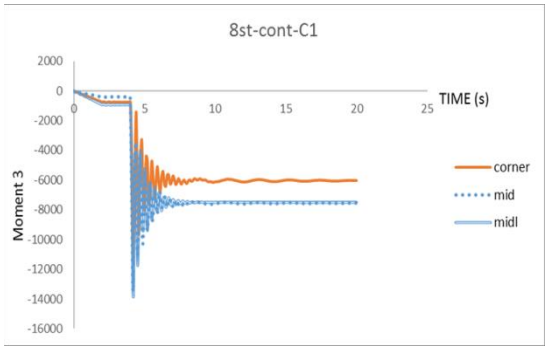
نتایج نشان می‌دهد که خرابی پیش‌رونده در مقدار نیروی برشی تیرها، تاثیر چندانی ندارد. لذا با بررسی مقدار نیروی برشی تیرها در همه‌ی حالاتی که ستون از موقعیت‌های مختلف حذف شده است، مشاهده می‌شود که مقدار نیروی برشی تیرها در طبقه‌ای که ستون وسط حذف می‌شود کاهش می‌یابد و در طبقه طبقات تغییرات قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. نتایج نشان می‌دهد که، حذف ستون کناری در مقادیر نیروی برشی تیرها بسیار مهم بوده و تاثیرات قابل توجهی در مقادیر آن‌ها دارد. مقادیر تاریخچه برش تیر نیز در قاب‌های خمشی و مهاربندی نسبت بهم متفاوت می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل مشاهده می‌گردد که مقدار نیروی برشی ماندگار در سازه‌های قاب خمشی به مراتب بیشتر از سازه‌های قاب مهاربندی است. همچنین لازم به توضیح است که مقدار اختلاف نیروی برشی ماندگار از طبقات مختلف در مدل‌ها تقریبا ثابت است.

۴-۴- بررسی لنگر تیرها در اثر خرابی پیش‌رونده

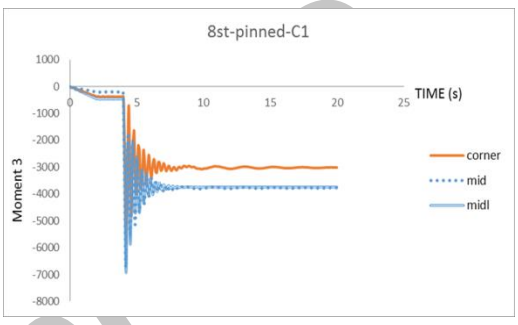
در بررسی خرابی پیش‌رونده، مقدار لنگر تیرها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی نیز همانند نیروی برشی تیرها، لنگر

Archive of SID
www.SID.ir

تیرها در قاب خمشی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل در اشکال ۱۶ الی ۱۸ آورده شده است.

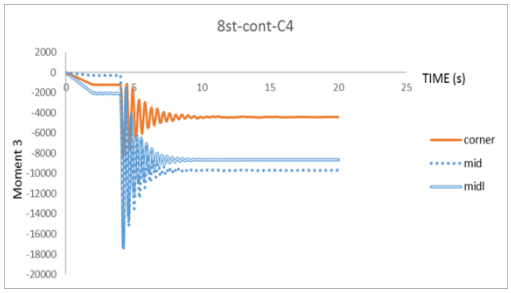


تحت سیستم قاب خمشی

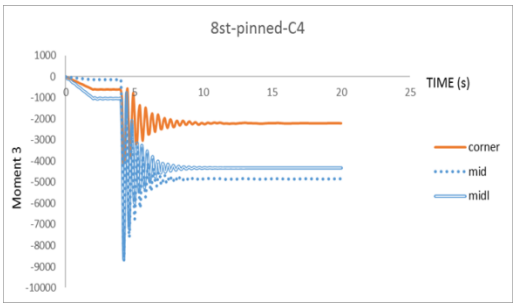


تحت سیستم قاب مهاربندی

شکل ۱۶ – نیروی لنگر وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه در اثر حذف ستون طبقه اول

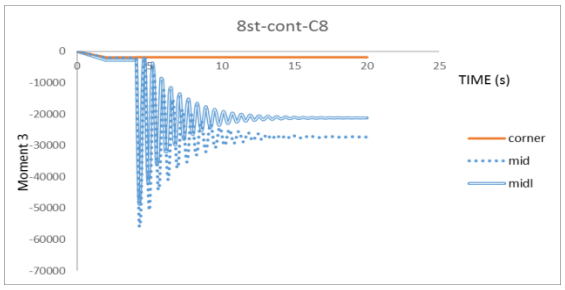


تحت سیستم قاب خمشی

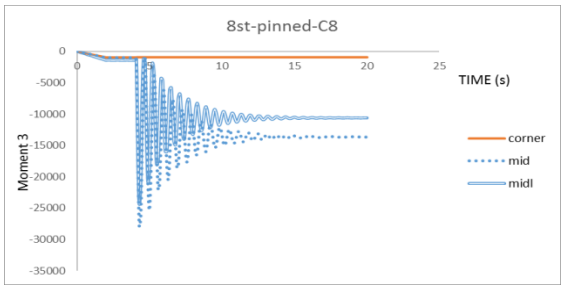


تحت سیستم قاب مهاربندی

شکل ۱۷ – نیروی لنگر وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه در اثر حذف ستون طبقه سوم



تحت سیستم قاب خمشی



تحت سیستم قاب مهاربندی

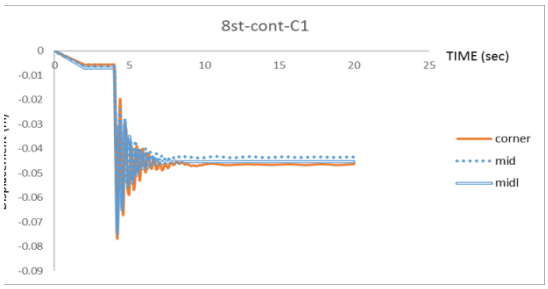
شکل۱۸ – نیروی لنگر وارد بر تیر در سازه ۵ طبقه در اثر حذف ستون طبقه پنجم

در بررسی نتایج مشاهده می‌شود که، مقدار لنگر خمشی تیرها در خرابی پیش‌رونده فقط در طبقاتی که ستون حذف می‌شود و در طبقه پایین‌تر از آن تغییر می‌یابد. از این‌رو مقدار تغییرات لنگر وابسته به حذف ستون و خرابی پیش‌رونده در سازه نبوده و مقدار کاهش یا افزایش قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. نتایج نشان می‌دهد که، در سازه‌های قاب خمشی و سازه‌های مهاربندی موقعیت حذف ستون در مقادیر لنگر خمشی تیرها متفاوت بوده و بر اساس نوع اتصال تیر به ستون، موقعیت حذف ستون در مقادیر لنگر خمشی تیرها بسیار تاثیرگذاراست. نتایج نشان می‌دهند که مقدار لنگر خمشی ماندگار در تیر کنار ستون حذف شده سیستم قاب خمشی بیشتر از سیستم مهاربندی است. همچنین مقدار لنگر خمشی ماندگار در حالتی که ستون از طبقه اول حذف می‌شود نسبت به طبقات دیگر بیشتر است.

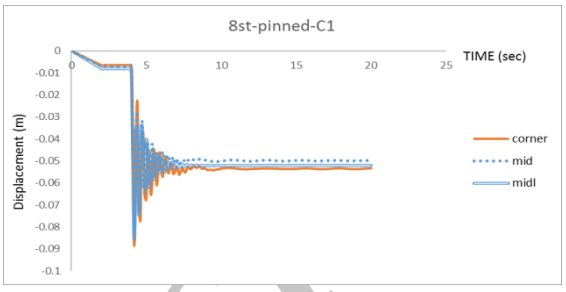
۵-۴- بررسی مقدار جابجایی قائم محل‌ستون حذف شده

برای بررسی تاثیرات خرابی پیش‌رونده در سازه‌های با اتصالات گیردار و مفصلی، مقدار جابجایی قائم محل ستون حذف شده نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی جابجایی حاصل از بارهای ثقلی و بارهای دینامیکی ناشی از زلزله که در اثر حذف ستون ایجاد می گردد، ارزیابی شده است. نتایج برای مدل‌های مورد بررسی در اشکال ۱۹ الی ۲۱ آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

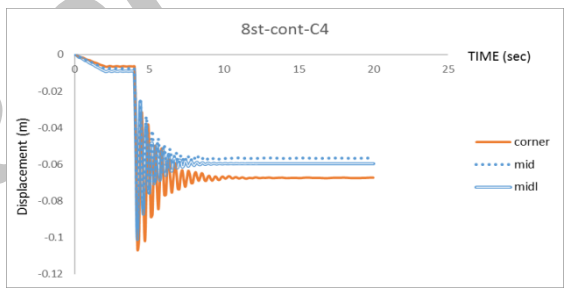


تحت سیستم قاب خمشی



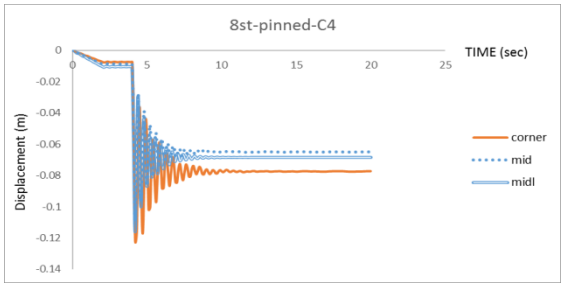
تحت سیستم قاب مهاربندی

شکل ۱۹-جابجایی قائم محل ستون حذف شده
در طبقه اول مدل ۵ طبقه



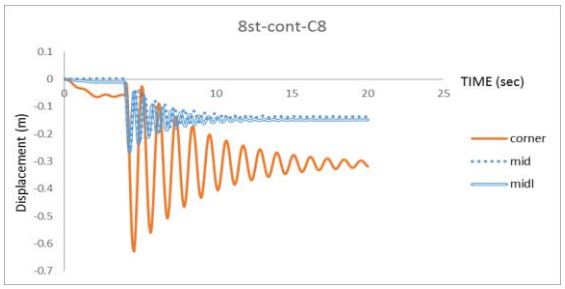
نتایج حاصل از جابجایی قائم محل ستون حذف شده نشان می‌دهندکه؛ در اثر حذف ستون اثر دینامیکی قابل توجه‌ای در محل ستون حذف شده ایجاد می‌گردد. مقدار تغییر مکان قائم در محل ستون حذف شده در حالت‌های مختلف که ستون از موقعیت‌های مختلفی حذف می‌گردد نسبت به هم متفاوت هستند. به طوری که وقتی ستون از گوشه حذف می‌گردد مقدار جابجایی قائم نسبت به حالتی که ستون کناری حذف می‌شود متفاوت است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار جابجایی قائم محل ستون حذف شده در حالتی که اتصالات گیردار است نسبت به حالتی که اتصالات مفصلی است متفاوت می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که مقدار جابجایی قائم محل ستون حذف شده در طبقات بالایی بیشتر از طبقات پایین بوده و در حالتی که ستون طبقه اول حذف می‌گردد مقدار جابجایی قائم کمترین مقدار را دارا است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار جابجایی قائم ماندگار برای حالتی که ستون از گوشه حذف می‌گردد نسبت به حالاتی که ستون از کنار یا وسط حذف می‌گردد بیشتر است. همچنین مقدار جابجایی ماندگار سازه در قاب خمشی کمتر از سیستم مهاربندی است.

تحت سیستم قاب خمشی

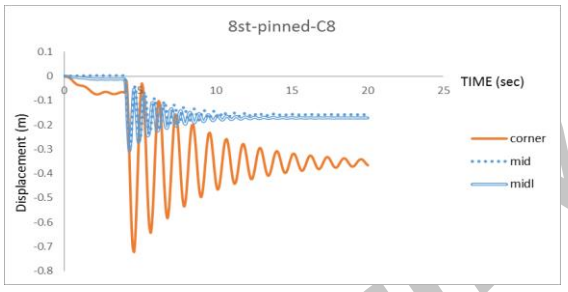


تحت سیستم قاب مهاربندی

شکل ۲۰- جابجایی قائم محل ستون حذف شده
در طبقه سوم مدل ۵ طبقه



تحت سیستم قاب خمشی



تحت سیستم قاب مهاربندی

شکل۲۱- جابجایی قائم محل ستون حذف شده
در طبقه پنجم مدل ۵ طبقه

۵- نتیجه‌گیری

با بررسی خرابی پیش‌رونده در سازه‌های ۵، ۸،۱۰و ۱۵ طبقه، ستون‌ها از سه موقعیت پلانی و سه موقعیت ارتفاعی متفاوتی بر اساس تعداد طبقات حذف شده است. بعد از حذف ستون‌ها و انجام تحلیل تاریخچه‌ی زمانی تحت رکورد زلزله، آثار خرابی پیش‌رونده در سازه با بررسی پاسخ‌های لرزه‌ای تشریح شده است. با جمع‌بندی نتایج مورد بررسی و همچنین مقدار پاسخ‌های لرزه‌ای بدست آمده، نتایج کلی برای خرابی پیش‌رونده در سازه‌های مور مطالعه بصورت زیر می‌باشند:

۱- با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که، خرابی پیش‌رونده در مقدار جابجایی قاب‌های خمشی، تاثیر چندانی نداشته ولی در حالت قاب مهاربندی، مقدار جابجایی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می دهد که مقدار جابجایی سازه‌ها در حالت‌های مختلف حذف ستون، نسبت به هم متفاوت می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- نتایج حاصل از برش پایه مورد بررسی نشان می‌دهند که، مقدار برش پایه‌ی ماکزیمم ایجاد شده در سازه‌های بدون حذف ستون کمتر از مقدار برش پایه ماکزیمم سازه‌هایی است که در آن‌ها ستون حذف شده است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که، مقدار برش پایه‌ی لازم برای خرابی پیش‌رونده در سازه‌ها با اتصالات مفصلی بیشتر از برش پایه لازم برای قاب‌های خمشی می‌باشد. در حقیقت می‌توان گفت که سازه‌های با اتصالات مفصلی نسبت به قابهای خمشی در مقابل بارهای وارده سخت‌تر هستند.

۳- نتایج نشان می‌دهد که گسترش خرابی در سازه‌های با اتصالات گیردار بیشتر از سازه‌های با اتصالات مفصلی است. یعنی در سازه‌های با اتصالات گیردار تعدا المان‌های که در مقابل خرابی مقاومت می‌نمایند بیشتر از سازه‌های با اتصالات مفصلی می‌باشد. اما با بررسی سطح خرابی در المان‌ها مشاهده می‌شود که سطح خرابی المان‌ها در سازه‌های با اتصالات مفصلی بیشتر از سطح خرابی در سازه‌های با اتصالات گیردار است. لذا می‌توان گفت که در قاب‌های خمشی تعداد المان‌های مقاوم در مقابل خرابی پیش‌رونده بیشتر ولی سطح خرابی کمتر و در سازه‌های با اتصالات مفصلی برعکس این موضوع صادق است.

۴- همچنین نتایج نشان می‌دهند که مقدار نیروی محوری ستون‌ها، لنگر خمشی و نیروی برشی تیرها حساسیت زیادی نسبت به خرابی پیش‌رونده در حالت‌های مختلف شروع خرابی ندارند و فقط در طبقه‌ای که خرابی شروع می‌شود و در طبقه‌ی پایین‌تر از آن نیروی داخلی المان‌ها تغییرات اندکی را بر حسب نوع ستونی که حذف می‌شود نمایش می‌دهد.

لازم به توضیح است که خرابی پیش رونده در این تحقیق ربطی به نوع زلزله نداشته و خرابی بخاطر حذف ستون بررسی شده است، لذا تاثیرات حذف ستون تحت هر نوع بارگذاری دلخواهی می‌تواند همانند نتایج این تحقیق باشد.

مراجع

مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران(۱۳۸۵)، بارهای وارد بر ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (ویراست دوم).

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران(۱۳۸۷)، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴ – ۲۸۰۰(ویرایش سوم) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله.

سرداری،هاتف. (۱۳۸۸)کلید مدل‌سازی پیشرفته در SAP 2000، انتشارات علم عمران، تهران.

میر قادری، رسول; فهیمی، فرانک. (۱۳۸۹)"بررسی گسیختگی تدریجی سازه با اتصال خرجینی بر اثر حذف یک ستون در ناحیه تحتانی "،پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران دانشکده فنی تهران.

عسگریان، بهروز; هاشمی، فرشاد .(۱۳۸۹)"بررسی گسیختگی پیش‌رونده در قاب‌های فولادی مهار بندی شده"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران،دانشگاه فردوسی مشهد اردیبهشت.

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود(۱۳۹۲)" دفتر امور فنی تدوین معیارها سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

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

ASCE Standard 7-05, (2005) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-05/ANSI A58), American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

Marjanshvili, S. and Agnew, (2006) E., "Comparison of Various Procedure for ProgressiveCollapse Analysis", Journal of Performance of Constructed Facilities.

Kapil Khandelwal, (2008)Multi-scale computational simulation of progressive collapse of steel frames. Doctoral dissertation, University of Michigan.

Jinkoo Kim, (2009) Taewan Kim. Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames. Journal of Constructional Steel Research 65169-179.

UFC. (2009) United facilities criteria design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington (DC): Department of Defense;.

Min Liu, (2011) Progressive collapse design of seismic steel frames using structural optimization. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, pp. 322–332.

Reza Jalali Larijani, January (2012), "Progressive Collapse Analysis of Two Existing Steel Buildings Using Linear Static Procedure", Eastern Mediterranean University,

SAP2000 Version 14.2.2, , July (2012) Analysis Reference Manual. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.

Archive of SID
www.SID.ir

Evaluating the Progressive Collaps in Moment Frame and Braced Frame

Amin Hallaji khosroshah
Departemant of Civil Engineering, Islamic azad University, Shabestar Branch, Shabestar, Iran
Yashar Yasrebinia
Assistant Professor, Department of civil engineering, Islamic Azad Univereasity, shabestar branch, shabestar, Iran

Abstract:

Progressive Collaps is a phenomenon in which a partial damage or local breakdown or initial local failure from one element to another causes a collapse in the whole structure or a large part of the structure. Due to the fact that the behavior of structures in the progressive failure can be related to various factors, such as how the loads are transferred to the nodes, the type of connections and their behavior can be very effective in the progressive Collaps of the structure. Therefore, the study of the effect of the type of connection in the progressive Collaps of the structures can demonstrate the performance of the Resistant systems of the structural steel well. To investigate this issue, steel structures, structures with a number of floors 5, 8, 10, 15 with a folding backrest system whose fittings are tight and fitted with a simple frame system whose joints are articulated, loaded and designed based on SAP2000 software. By analyzing the time history of the models, it is determined that the number of seismic responses, including the amount of lateral displacement of the classes, the base cut, the internal force of the columns, and the expansion of the failure in the structures in the use of the bending frame and the bracing frame relative to Different. It should be noted that the axial, shear and flexural forces of the elements in the frames are more than the frames, and based on the position of the column removal, it is different. Therefore, it can be said that the values of internal forces in the bending frame are more than the bracing and the amount of vertical displacement and less than the bracing frame.

Keywords: Progressive Collaps, Moment Frame, BraceFrame

Archive of SID

www.SID.ir