

مقایسه خرابی پیش‌رونده در اتصالات خمشی با فولاد کم مقاومت

احمد کریمیان

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

ارسطو ارمغانی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

علاءالدین بهروش

استاد، گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

arastoo_armaghani.iau2018@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۲/۰۸

چکیده:

عملکرد اتصالات تیر به ستون قاب‌های خمشی فولادی رایج، در بحث لرزه‌ای و خرابی پیش‌رونده به‌تنهایی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که پس از زلزله نورتریج و کوبه محققان به ضعف عملکرد این اتصالات پی بردند این در حالی است که اتصالات تأثیر بسیار زیادی در روند استهلاک انرژی در سازه و رفتار سازه در برابر بارهای غیرعادی دارند؛ زیرا اگر چشمه اتصال ضعیف باشد، حتی در صورت اجرای اتصال کاملاً صلب با مقاومت اتصال بیشتر از تیر که باعث می‌شود شکست از ناحیه اتصال نباشد، باعث به وجود آمدن تغییر شکل زیاد و در نتیجه شکست ترد اتصال می‌شود. در این راستا در مطالعه فعلی به بررسی عملکرد دو نوع اتصال رایج خمشی WFP (اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیر سری) و WUF-W (اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی) در برابر پدیده خرابی پیش‌رونده با تغییر در نوع فولاد مورد استفاده در ورق‌های اتصال پرداخته شده است برای این منظور این دو نوع اتصال یک‌بار با فولاد نرمه ساختمانی St37 و یک‌بار با فولاد کم مقاومت آلیاژی Steel LY160، در یک قاب ۸ طبقه فولادی با سناریوهای مختلف حذف ستون (بدون حذف ستون، حذف ستون طبقه همکف، سوم و هفتم) در نرم‌افزار ABAQUS شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مقدار DCR (عبارت است از نسبت تقاضا به ظرفیت که از آن به‌عنوان ضریب تقاضا نیز نام می‌برند) در اتصال WUF-W با جایگزین کردن فولاد آلیاژی بسیار کمتر می‌شود.

کلید واژگان: خرابی پیش‌رونده، اتصالات تیر به ستون، فولاد با آلیاژ پایین، WUF-W.WFP

۱- مقدمه

خرابی پیش‌رونده از آن دسته عواملی است که دلیل وقوع آن عدم پیش‌بینی رخداد آن در زمان طرح سازه بوده و متأسفانه باعث صدمات و فجایع جدی می‌گردد. اگرچه خرابی پیش‌رونده اتفاق نادر در کشورهای توسعه‌یافته است ولی اثر آن بر ساختمان‌ها بسیار مخرب، خطرناک و بسیار پرهزینه است. بدون توجه به پارامترهای مختلف طرح ساختمان اعم از پایداری مناسب، شکل‌پذیری و ... نمی‌توان از پدیده خرابی پیش‌رونده جلوگیری کرد.

پس از زلزله‌های Kobe و Northridge ژاپن محققان دریافتند که اغلب اتصالات خمشی در ناحیه چشمه اتصال دچار شکست ترد جوش شده‌اند. یعنی مفاصل پلاستیک درست در ناحیه اتصال تیر به ستون شکل گرفته و بر اثر لنگر خمشی بیش‌ازحد موجب خرابی تیر و ستون شده است [۱].

پس از تخریب کامل سازه ساختمان رونان پوینت در لندن که در سال ۱۹۶۸ به وقوع پیوست، توجه ویژه‌ای به این مقوله معطوف گشت و این پدیده به‌عنوان یک مبحث جدید جهت گنجاندن در آیین‌نامه‌ها مطرح شد [۲] [۳].

بعد از حادثه ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ و تخریب برج‌های دوقلوی تجارت جهانی در اثر برخورد ۲ هواپیما باعث شد که تحقیقات پیش‌تری در این باره انجام شود [۴].

جینکو کیم و تائووان کیم (۲۰۰۸) به ارزیابی پتانسیل خرابی پیش‌رونده خمشی فولادی که بر اساس آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی کره و به روش LFRD طراحی شده بود، پرداختند. در این مطالعه علاوه بر مقایسه نتایج تحلیل خطی و غیرخطی اثر پارامترهایی مانند محل حذف ستون و تعداد طبقات نیز بررسی شد. مدل‌های موردبررسی در این مطالعه قاب‌های سه، شش و پانزده طبقه بودند و لازم به ذکر است که تمامی مدل‌های به‌صورت دوبعدی موردبررسی قرار گرفتند. آن‌ها در تحقیق خود برای بررسی پدیده پیش‌رونده از روش مسیره‌های جایگزین استفاده کردند. در این روش سازه طوری طراحی می‌گردد که اگر یک عضو از سازه خراب گردد، مسیره‌های دیگر برای انتقال بار وجود دارند که به‌واسطه آن‌ها خرابی در کل سازه رخ نخواهد داد. در نهایت نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. پس از تحلیل مشاهده شد که قاب‌های که تنها برای بارهای ثقیل و جانبی طراحی می‌شوند، لزوماً در مقابل پدیده خرابی پیش‌رونده مقاوم نیستند. همچنین مشاهده شد که پتانسیل خرابی پیش‌رونده هنگامی که ستون‌های گوشه سازه حذف شوند، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر مشاهده شد که با افزایش تعداد طبقات پتانسیل خرابی پیش‌رونده در سازه کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در این تحقیق کلیه اتصالات به‌صورت کاملاً صلب در نظر گرفته شد [۵].

جینکو کیم و تائووان کیم (۲۰۰۹) قاب‌های خمشی فولادی با اتصالات مختلف را در برابر خرابی پیش‌رونده موردبررسی قرار دادند. این اتصالات شامل اتصالات بال جوش شده و جان پیچ شده (wuf-w)، بال با ورق پوششی جوش شده (wepf) و اتصال کاهش‌یافته در مقطع تیر از نوع استخوانی (RBS) بودند که بعد از زلزله نور تریچ توسط محققان پیشنهاد شدند. در این پژوهش ساختمان‌های ۳ و ۶ طبقه موردبررسی قرار گرفتند و نیروی اعضا به‌صورت خطی تا تائیه پنجم افزوده شد تا به مقدار نهایی خود رسید و برای ۲ تائیه بدون تغییر ماند تا سیستم به حالت پایدار برسد و ناگهان در تائیه هفتم برای ایجاد خرابی پیش‌رونده اولیه حذف شد. نتایج حاصل نشان داد که نسبت دریافت داخلی طبقات در سازه با اتصالات wepf کمتر از سازه‌های با اتصالات wuf-w و RBS بود. دلیل این موضوع آن است که قسمتی از بال آن‌ها بریده شده بود. همچنین اتصالات WCPF مقاومت و سختی بالاتری از اتصالات WUF-W دارند. همچنین مقاومت تسلیم ساختمان‌های ۶ طبقه عمدتاً بالاتر از ساختمان‌های ۳ طبقه بود [۶].

Su و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثر تشکیل مکانیسم در محل اتصال تیر به ستون را در توسعه خرابی پیش‌رونده را موردبررسی قرار دادند و با چند مدل آزمایشگاهی به بحث و بررسی پرداختند. نتایج و حاصل نشان داد که انتخاب نوع اتصال می‌تواند نقش تأثیرگذاری بر ظرفیت سازه در برابر خرابی پیش‌رونده داشته باشد [۷].

مین لیو (۲۰۱۰) به طراحی بهینه‌سازی شده یک قاب خمشی فولادی پرداخت به‌طوری‌که این قاب علاوه بر نیروهای جانبی در برابر خرابی پیش‌رونده نیز مقاوم‌سازی شده بود. ایشان در تحقیق خود پتانسیل خرابی پیش‌رونده را توسط روش مسیره‌های جایگزین و معیارهای آیین‌نامه UFC تعیین کردند و در تحلیل قاب از سه روش تحلیل استاتیکی خطی، استاتیکی غیرخطی استفاده نمودند. طراحی بهینه نیز بر اساس به حداقل رساندن وزن فولاد مصرفی انجام شد. در این تحقیق مشاهده شد که طراحی بهینه بر اساس روش سنتی به حداقل رساندن وزن فولاد، که بحث خرابی پیش‌رونده را در نظر نمی‌گیرد، نمی‌تواند معیارهای آیین‌نامه UFC را برای بحث خرابی پیش‌رونده تأمین کند. هشت حالت مختلف حذف ستون را بررسی کردند که طراحی بهینه بر اساس روش استاتیکی خطی بالاترین و سنگین‌ترین طراحی در برابر خرابی پیش‌رونده است، در مقابل روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی به طراحی‌های اقتصادی‌ترین که بحث خرابی پیش‌رونده را نیز در برمی‌گیرد، منجر می‌شود اما در مقابل در این تحلیل‌ها مدل‌سازی و تحلیل‌های کامپیوتری وقت‌گیرتر است [۸].

قدرتمند است، با توجه به اینکه خرابی پیش‌رونده در ساختمان‌های ساخته‌شده اتفاق می‌افتد، لذا لازم است سازه قبل از مدل‌سازی با نرم‌افزار ABAQUS طراحی گردد. ETABS یک نرم‌افزار پیشرفته در مدل‌سازی ساختمان‌ها است؛ اما به خاطر برخی محدودیت‌ها نمی‌توان پدیده خرابی پیش‌رونده را با استفاده از این نرم‌افزار شبیه‌سازی کرد. در این مطالعه ابتدا یک ساختمان ۸ طبقه با استفاده از نرم‌افزار ETABS طراحی و سپس با نرم‌افزار ABAQUS مدل شد. به عبارتی در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ETABS یک ساختمان فولادی ۸ طبقه، بر اساس مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان ایران مدل‌سازی، تحلیل و طراحی شد. مدل ساختمان اشاره‌شده دارای پلان یکسانی در طبقات است و ارتفاع آن برابر ۳/۲۰ متر در نظر گرفته‌شده است. ابعاد تمامی دهانه‌ها برابر ۶ متر و ابعاد دهانه باکس راه‌پله برابر ۴ متر است. سیستم باربر جانبی ساختمان در هر دو جهت X و Y قاب خمشی در نظر گرفته‌شده است. کف سازه نیز از نوع تیرهای کامپوزیت فرض شده است و اجزای سازه‌ای از فولاد ساختمانی St37 با تنش نهایی ۳۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع انتخاب شده‌اند. طراحی در چند مرحله صورت گرفت تا از یک‌سو، انتخاب مقاطع نزدیک به حالت بهینه (از نظر مقدار تنش‌ها و تغییر مکان جانبی سازه) باشد و از سوی دیگر، طراحی اجزا ساده و یکنواخت باشد. بدین ترتیب می‌توان در بخش‌های آتی که به بررسی خرابی پیش‌رونده در سازه‌ها پرداخته می‌شود، میزان تأثیر هر یک از انواع اعضا را بر رفتار کلی سازه، به‌گونه‌ای مناسب و قابل‌درک، تجزیه و تحلیل نمود. ستون‌ها از نوع Box و تیرها از نوع I شکل می‌باشند. ابعاد و خواص مقاطع فولادی در جدول (۲) و خصوصیات مقاطع در جدول (۳) به‌طور خلاصه ذکر شده‌اند.

هاشمی رضوانی (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای اثر طول دهانه‌ها در قاب‌های خمشی فولادی در برابر خرابی پیش‌رونده مورد بررسی قرار داد. برای این منظور تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی را بر روی قاب‌های طراحی‌شده در ناحیه لرزه‌خیزی بالا را در نرم‌افزار Opensees انجام شد. حذف ستون‌ها در طبقه اول از ستون گوشه‌ها و از ستون‌های میانی در ۶ سناریوی مختلف صورت گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش طول دهانه، جابجایی عمودی نقطه جابجا شده افزایش می‌یابد. پس با دو برابر کردن طول دهانه مقدار جابجایی عمودی ۵ برابر می‌شود و همچنین حذف ستون گوشه به نسبت حذف ستون میانی ۲۷٪ تغییر مکان قائم بیشتری دارد پس با افزایش طول دهانه میزان DCR نسبت فرا ظرفیتی مورد نیاز افزایش یافته و در نتیجه پتانسیل خرابی پیش‌رونده افزایش می‌یابد [۹].

کیم و همکاران (۲۰۱۵) اثر دال کف را بر روی خرابی پیش‌رونده در قاب‌های خمشی فولادی را مورد بررسی قرار داد. برای این منظور سازه‌ای را به‌وسیله آنالیز غیرخطی استاتیکی در Abaqus مدل‌سازی شد که هر یک از قسمت‌های سقف اعم از ورق موج‌دار و مش میلگرد روی دال و میزان بتن شبیه‌سازی شد. ستون حذف‌شده جزء ستون‌های خارجی بود و با حذف ستون رفتار و میزان تغییر شکل دهانه دابل مورد بررسی قرار گرفت [۱۰].

ژانک و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای به بررسی اثر اتصالات نیمه صلب در برابر حذف ناگهانی ستون در قاب‌های فولادی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که اتصال نیمه صلب در توزیع بار نقش تأثیرگذاری دارد و به پارامترهایی نظیر محل و زمان حذف ستون دارد [۱۱].

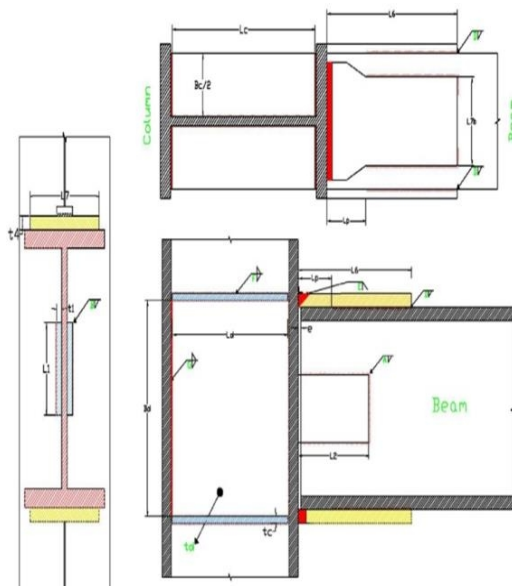
۲- معرفی حالات مورد بررسی

پارامترهای متغیر مورد بررسی در مطالعه حاضر شامل نوع اتصال تیر به ستون (اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیر سری WFP) و اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی یا WUF-W) و نوع فولاد مورد استفاده در محل اتصال تیر به ستون (فولاد ساختمانی St37 و فولاد با آلیاژ پایین steel LY160) و محل حذف ستون در طبقات (بدون حذف ستون و حذف ستون در طبقات همکف، سوم و هفتم) است. حالت‌های مورد بررسی در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی‌ها بر روی قاب‌های فولادی هشت طبقه که در برابر زلزله طراحی شده‌اند، صورت می‌پذیرد. برای بررسی دقیق خرابی پیش‌رونده قاب‌های خمشی فولادی ۸ طبقه از روش اجزای محدود استفاده گردیده است. نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS برای انجام این کار بسیار

جدول ۳- جزئیات مقاطع استفاده شده

Designation	Mass/meter (Kg/m)	Depth (mm)	Width (mm)	Web thickness(mm)	Flange thickness(mm)
IPE300	42.2	300	150	7.1	10.7
Designation	Mass/meter (Kg/m)	Width (mm)	Thickness (mm)		
Box450×450×16	216	450	16		
Box350×350×16	166	350	16		

لازم به توضیح است که اتصالات WFP, WUF-W در آیین نامه FEMA350 معرفی شده است [۱۲]. مقادیر نیرو، بارهای وارده و همچنین مقاطع مورد استفاده در قاب خمشی فولادی ۸ طبقه پس از طراحی استخراج شدند. سپس اتصالات با توجه به مقادیر اشاره شده و ضوابط آیین نامه FEMA 350 طراحی شدند. مشخصات این اتصالات در شکل های (۱) و (۲) و جزئیات اتصالات در جدول (۴) و (۵) ارائه شده است.



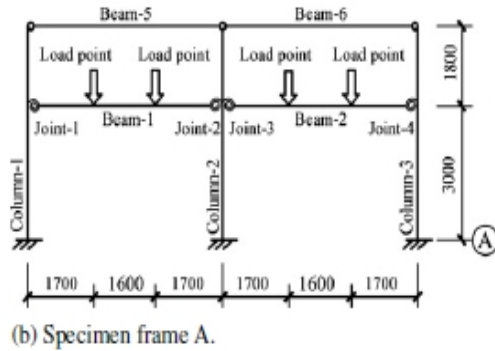
شکل ۱- اتصال WFP

جدول ۱- معرفی حالت های مورد بررسی در این مطالعه

Mode	Columnremoval scenario	Steel type	Connection type	Contraction
۱	---	St 37	WFP	WFP-St37-NR
2	همکف			WFP-St37-RGF
3	طبقه ۳			WFP-St37-RSt3
4	طبقه ۷			WFP-LY160-RSt7
5	---	Steel LY160		WFP-LY160-NR
6	همکف			WFP-LY160-RGF
7	طبقه ۳			WFP-LY160-RSt3
8	طبقه ۷			WFP-LY160-RSt7
9	---	St 37	WUF-W	WUF-W-St 37-NR
10	همکف			WUF-W-St 37-RGF
11	طبقه ۳			WUF-W-St 37-RSt3
12	طبقه ۷			WUF-W-LY160-RSt7
13	---	Steel LY160		WUF-W-LY160-NR
14	همکف			WUF-W-LY160-RGF
15	طبقه ۳			WUF-W-LY160-RSt3
16	طبقه ۷			WUF-W-LY160-RSt7

جدول ۲- نتایج طراحی اعضای ساختمان فولادی ۸ طبقه

طبقات	ستون	تیر
همکف	Box 45×45×1.6	2IPE 300
۱	Box 45×45×1.6	2IPE 300
۲	Box 45×45×1.6	2IPE 300
۳	Box 45×45×1.6	2IPE 300
۴	Box 35×35×1.6	2IPE 300
۵	Box 35×35×1.6	2IPE 300
۶	Box 35×35×1.6	2IPE 300
۷	Box 35×35×1.6	2IPE 300
۸	Box 35×35×1.6	2IPE 300

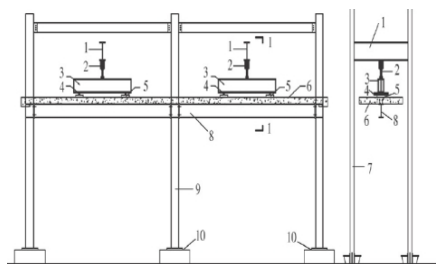


شکل ۳- مشخصات هندسی قاب‌های مطالعه‌ی ونگ و لی



شکل ۴- تصویری از قاب‌های مورد مطالعه در آزمایش ونگ و لی

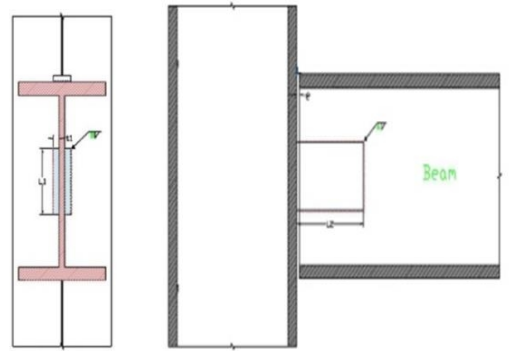
لازم به توضیح است که در مطالعه Fu نیز به منظور صحت‌سنجی از قاب آزمایشگاهی ونگ و همکاران استفاده شده است [۱۴]. روند بارگذاری آزمایش در دو مرحله مختلف انجام شد: مرحله اول شامل پیش بارگذاری و مرحله دوم شامل بارگذاری اصلی بود.



شکل ۵- نحوه بارگذاری قاب‌ها

جدول ۴- مشخصات اتصال WFP

No	property	Name	Value
1	profile	beam	2IPE 300
2	profile	Column	Box
3	plate	$L_1 * L_2 * t_1$	230*230*25
4	plate	$L_6 * L_7 * L_{7b} * t_4$	750*300*232.5*30



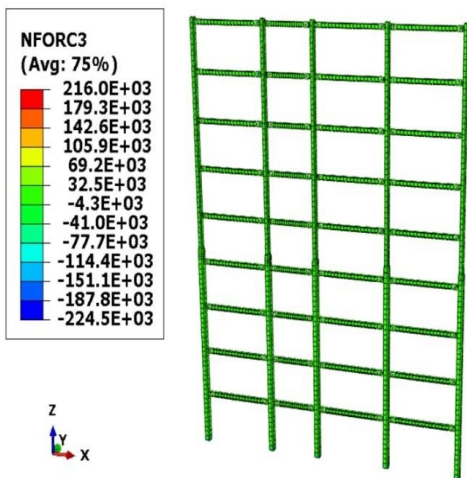
شکل ۲- اتصال WUF-W

جدول ۵- مشخصات اتصال WUF-W

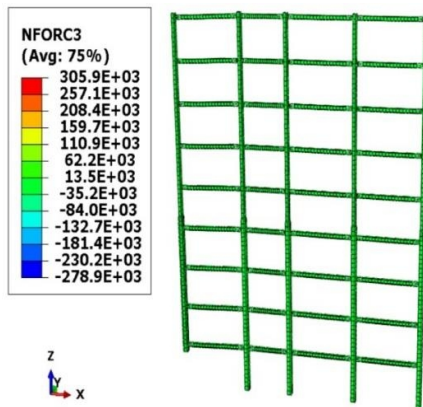
No	property	Name	Value
1	profile	beam	2IPE 270
2	profile	Column	Box
3	plate	$L_1 * L_2 * t_1$	250*250*20

۳- اعتبار سنجی روش اجزاء محدود:

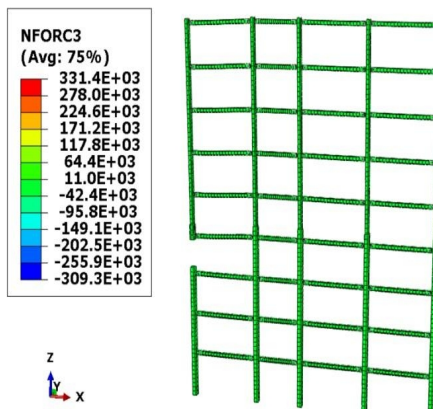
به منظور صحت سنجی روش اجزاء محدود به کاررفته در مطالعه‌ی حاضر، قاب A از مطالعه لی و ونگ (۲۰۰۷) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که اشاره شد، مطالعه اجزاء محدود به کمک نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS انجام گردید. به عبارتی قاب خمشی فولادی ساخته شده در آزمایش لی و ونگ قاب (A)، به کمک نرم‌افزار ABAQUS تا لحظه رسیدن به ظرفیت باربری نهایی شبیه‌سازی گردید. در ادامه جزئیات مربوط به مدل‌سازی ارائه خواهد شد [۱۳].



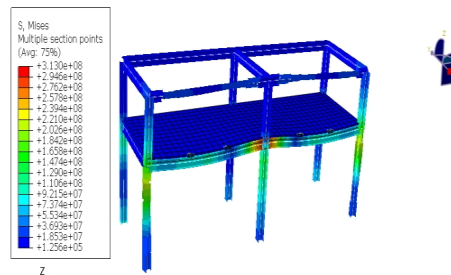
WFP-St37-NR



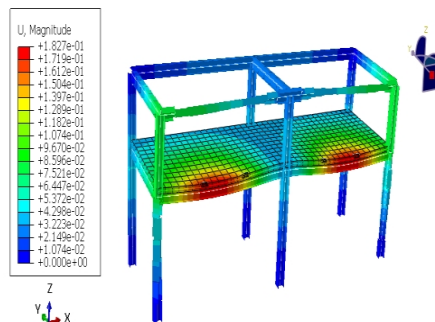
WFP-St37-RGF



WFP-St37-RSt3

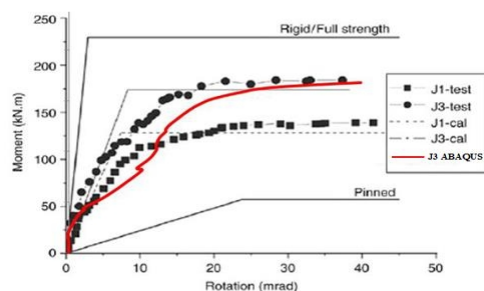


شکل ۶ - تنش ایجادشده در قاب شبیه‌سازی شده با استفاده از روش اجزاء محدود



شکل ۷ - جابجایی ایجادشده در قاب شبیه‌سازی شده

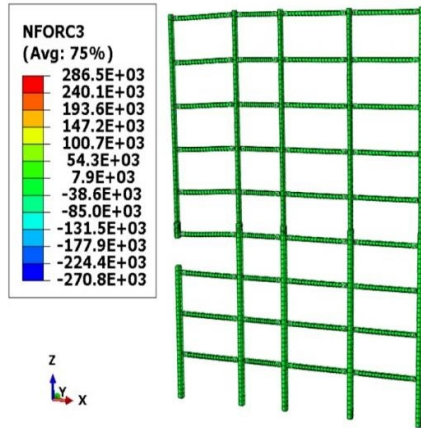
مقادیر لنگر و چرخش متناظر با آن‌ها در حالت‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی با ABAQUS در شکل (۸) ارائه گردیده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشینه مقادیر لنگر و دوران نهایی حاصل شده در روش مدل‌سازی اجزاء محدود به کاررفته در این مطالعه که با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS صورت پذیرفته نسبت به مطالعه آزمایشگاهی از دقت نسبتاً مناسبی برخوردار است.



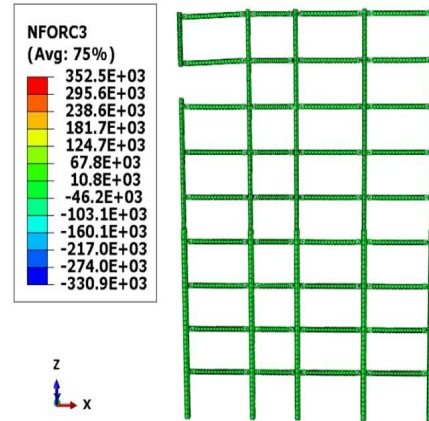
شکل ۸ - مقایسه بین نمودارهای لنگر - دوران مدل‌های اجزاء محدود و آزمایشگاهی

۴- خروجی حاصل از نرم‌افزار

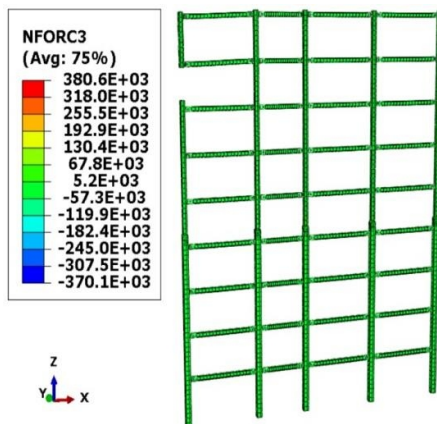
در این بخش نتایج حاصل از تحلیل اجزاء محدود قاب‌های ۸ طبقه ارائه شده است. در شکل (۹) نیروی ایجادشده در قاب‌ها (تیرها و ستون‌ها) ارائه شده است. در این شکل‌ها واحد نیرو برحسب نیوتن است.



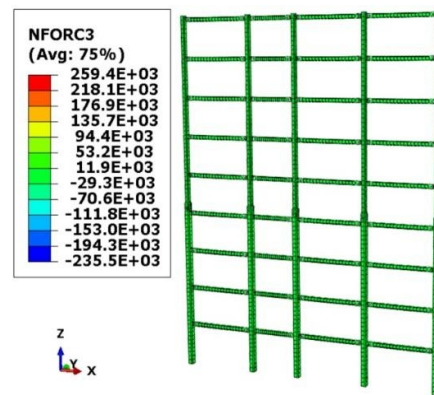
WFP-LY160-RSt3



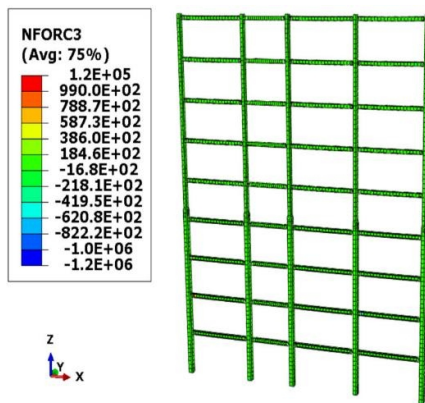
WFP-St37-RSt7



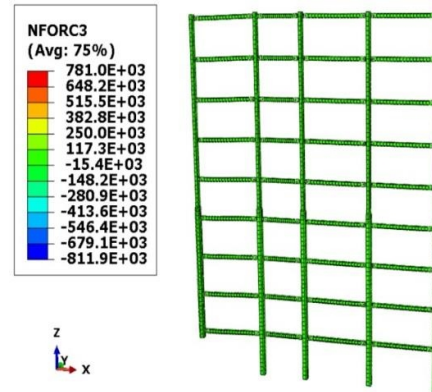
WFP-LY160-RSt7



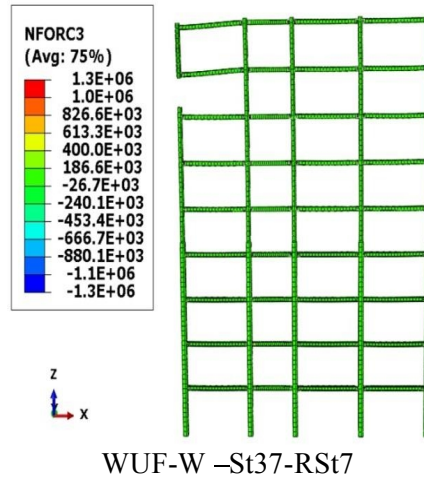
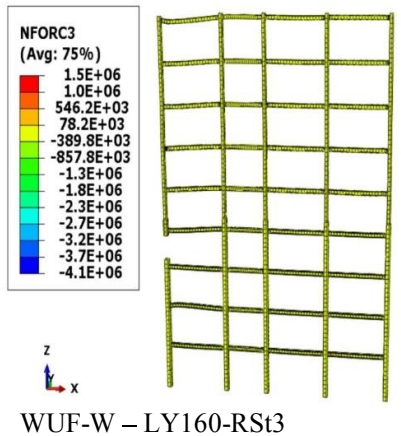
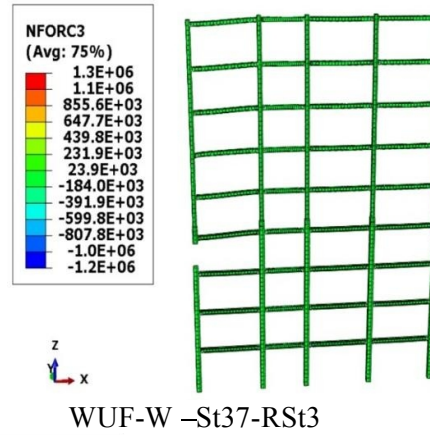
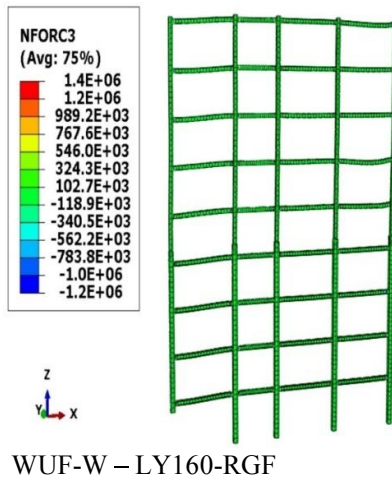
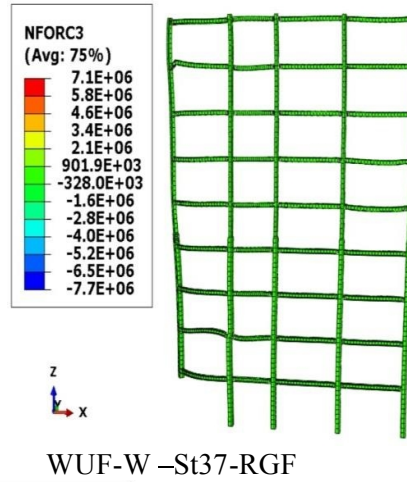
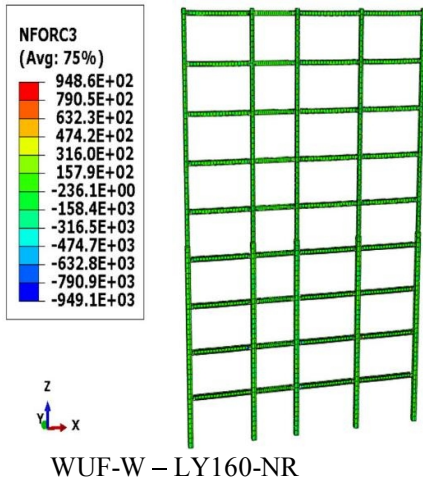
WFP-LY160-NR

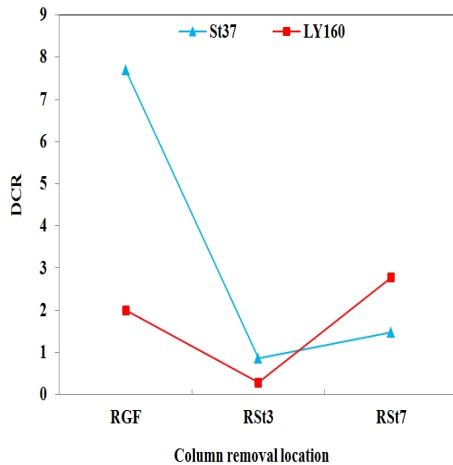


WUF-W -St37-NR



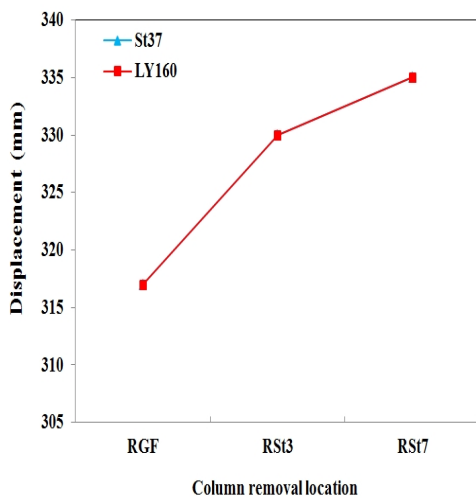
WFP-LY160-RGF



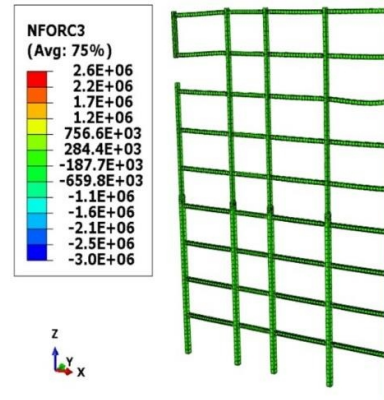


شکل ۱۱ - مقایسه بیشینه نسبت تقاضا به ظرفیت ایجادشده در تیرهای پیرامون محل حذف با بررسی نوع فولاد در اتصال WUF-W

در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) به مقایسه بیشینه جابجایی محل حذف ستون در قاب‌های ۸ طبقه که در محل اتصال از فولاد St37 و LY-160 استفاده گردیده، پرداخته شده است.



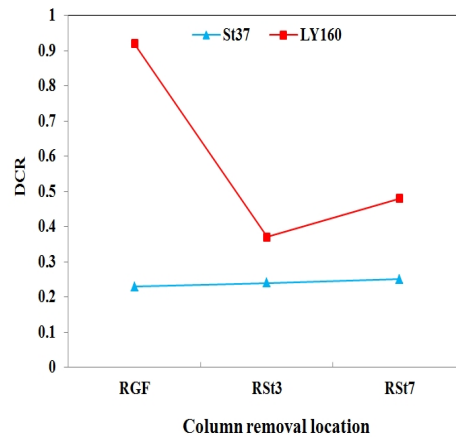
شکل ۱۲ - مقایسه بیشینه جابجایی محل حذف ستون در قاب ۵ طبقه با بررسی نوع فولاد در اتصال WFP



WUF-W - LY160-RSt7

شکل ۹ - شکل تغییر یافته قاب‌های ۸ طبقه مورد بررسی

در شکل (۱۰ و ۱۱) به مقایسه بیشینه DCR تیرهای پیرامون محل حذف برای قاب‌های خمشی فولادی که در آن‌ها در محل اتصال از فولاد St37 و فولاد با نقطه تسلیم پایین استفاده گردیده است، پرداخته شده است. هدف از این مقایسه بررسی نوع اتصال و موقعیت محل حذف است.



شکل ۱۰ - مقایسه بیشینه نسبت تقاضا به ظرفیت ایجادشده در تیرهای پیرامون محل حذف با بررسی نوع فولاد در اتصال WFP

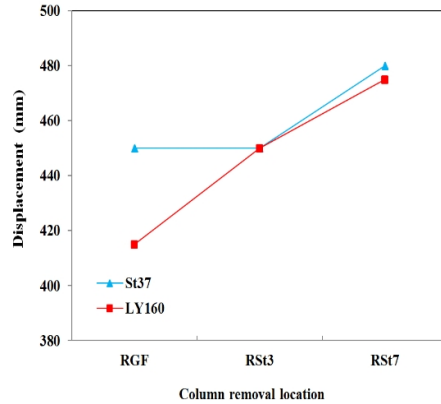
۵- نتایج :

خرابی پیش‌رونده بنا به تعریف آیین‌نامه UFC عبارت‌اند از گسترش یک گسیختگی موضعی از یک المان به المان دیگر که موجب خرابی قسمت بزرگی از سازه خواهد شد [۱۵]. پس از تحلیل نرم‌افزاری حالات انتخابی نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- در قاب‌های ۸ طبقه‌ای که در آن‌ها از اتصالات WFP استفاده شده است، مقادیر DCR حاصل شده به‌طور نسبتاً فراوانی از مقادیر متناظر در قاب‌های با اتصالات دیگر کمتر شده است؛ به عبارتی می‌توان بیان نمود که اتصالات WFP با عملکرد خود سبب می‌شوند که قاب‌های خمشی ۸ طبقه بتوانند رفتار مناسب‌تری را در مقایسه با سایر اتصالات در برابر خرابی پیش‌رونده داشته باشند؛ به طوری که به‌عنوان مثال مقدار DCR حاصل شده برای حالتی که در آن از اتصال WUF-W-ST37 استفاده گردیده است، به میزان ۴۲ برابر بیشتر از مقدار متناظرش در حالت استفاده از اتصال WFP-St37 شده است. از این اختلاف قابل توجه می‌توان به نقش تأثیرگذار اتصالات در جلوگیری از خرابی پیش‌رونده در ساختمان‌های فولادی با قاب خمشی پی برد؛ به طوری که طراحی و انتخاب یک اتصال مناسب تا حد زیادی از وقوع خرابی پیش‌رونده جلوگیری می‌کند.

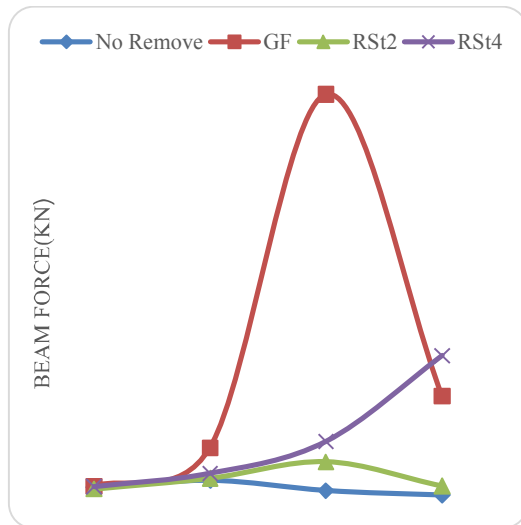
۲- استفاده از فولاد با تنش تسلیم پایین در محل اتصالات فولادی در اتصالات WUF-W مؤثر بوده و مقادیر DCR را تا حدودی کاهش داده است. به‌عنوان مثال هنگامی که ستون در طبقات همکف و سوم حذف می‌شود، مقدار DCR متناظر با حالت استفاده از فولاد LY-160 به ترتیب به میزان ۷۳ و ۶۵ درصد کمتر از مقادیر متناظر در حالت استفاده از فولاد St37 شده است. اما در سایر اتصالات استفاده از فولاد با تنش تسلیم پایین‌تر نه تنها منجر به کاهش مقادیر DCR نشده است، بلکه مقادیر DCR را افزایش نیز داده است. از این رو می‌توان بیان نمود که استفاده از فولاد با تنش تسلیم پایین‌تر با توجه به نوع اتصال می‌تواند در بهبود رفتار قاب‌های خمشی فولادی در برابر خرابی پیش‌رونده مؤثر باشد.

۳- هنگامی که ستون در طبقه همکف قاب‌های ۸ طبقه حذف می‌گردد در بعضی از حالت‌ها مقدار DCR به‌دست‌آمده کمتر از مقادیر متناظر با حالت‌های حذف ستون در طبقات سوم و هفتم است و در بعضی از حالت‌های دیگر برعکس است. از این رو و با توجه به تغییرات اشاره شده می‌توان بیان نمود که نوع اتصال سازه و نوع فولاد مورد استفاده در محل اتصال می‌تواند بر پاسخ سازه در برابر حذف ستون نقش تأثیرگذاری داشته باشد؛ به طوری که در قاب‌های با اتصالات WFP-St37، مقدار DCR در حالت حذف ستون در طبقه هفتم به مقدار ۹ درصد بیشتر از مقدار متناظرش در حالت حذف ستون در طبقه همکف شده است. این در حالی است که در قاب‌های با اتصالات WFP-LY-160، مقدار DCR در حالت حذف ستون در طبقه هفتم به مقدار ۴۷ درصد کمتر از مقدار متناظرش در حالت حذف ستون در طبقه همکف شده است. اگرچه انتظار می‌رود هنگامی که ستون در طبقات پایین‌تر حذف می‌شود، به دلیل بار ثقلی بیشتر رفتار سازه در برابر حذف ستون



شکل ۱۳- مقایسه بیشینه جابجایی محل حذف ستون در قاب ۵ طبقه با بررسی نوع فولاد در اتصال WUF-W

در شکل (۱۴) به مقایسه مقادیر بیشینه نیروی برشی ایجادشده در تیرهای پیرامون ستون حذف شده در قاب‌هایی که در محل اتصال آن‌ها از فولاد St37 و فولاد با نقطه تسلیم پایین steel LY160 استفاده گردیده، پرداخته شده است.



شکل ۱۴- مقایسه بیشینه نیروی برشی ایجادشده در تیرهای پیرامون محل حذف باهدف بررسی نوع فولاد مورد استفاده در محل اتصالات WUF-W , WFP (قاب هشت طبقه)

منابع:

[1]. Carlos, M., Ramirez, D., Lignos, E., Dimitrios, K., Fragility functions for pre-Northridge welded steel moment-resisting beam-to-column connections, *Engineering Structures*, Volume.45, 2012, Page.574-584.

[2]. Ferraioli, M., A modal pushdown procedure for progressive collapse analysis of steel frame structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 2019, 156, 227-241.

[3] Shirinzadeh, M., Haghollahi, A., Rehabilitation in Simple Steel Connections against Progressive Collapse due to Column Removal, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2019, 1-7.

[4]. Zdenek, F. Bazant., *Mechanics of Progressive Collapse: Learning from World Trade Center and Building Demolitions*, *Journal of Engineering Mechanics*, 2007.

[5]. Kim, J., Kim D.W., Development of integrated system for progressive collapse analysis of building structures considering dynamic effects, *Advances in Engineering Software*, vol.40, 2008, no.1, pp.1-8.

[6]. Kim, J., Kim, T., Collapse analysis of steel moment frames with various seismic connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 2009, pp.1316-1322

[7]. Su, Y., Tian, Y., Song, X., Progressive collapse resistance of axially-restrained frame beams, *ACI, structural Journal*, Vol.106, No.5, 2009, pp.600-607. DOI: //dx.doi.org/10.14359/51663101.

[8]. Min, L., Progressive collapse design of seismic steel frames using structural optimization. *Journal of Constructional Steel Research* (Elsevier), Vol.67, 2010, pp.322-332.

[9]. Hashemi Rezvani, A.M., Yousefi, H., Ronagh, R., Effect of span length on progressive collapse behaviour of steel moment resisting frames, *Structures*, 2015, 2015, 81-89

بحرانی‌تر می‌گردد اما در حالت حذف ستون در طبقات بالاتر اعضای بیشتری از سازه در تحمل بارهای ناشی از حذف سهیم می‌باشند و می‌توانند با ایجاد انسجام و پیوستگی در سازه به پایداری سازه در برابر خرابی پیش‌رونده کمک کنند.

۴- در هر دو حالت استفاده از فولاد St37 و LY-160 کمترین نیروی برشی تیرها در قاب‌های دارای اتصال WFP به وجود آمده است. از این نمودار مجدداً می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که انتخاب اتصال در قاب‌های خمشی فولادی نقش تأثیرگذاری بر رفتار اعضای سازه‌ای نظیر تیرها در برابر خرابی پیش‌رونده دارند و انتخاب درست آن‌ها می‌تواند احتمال وقوع خرابی پیش‌رونده ناشی از فقدان یک یا تعدادی از ستون‌ها را کاهش دهد

۵- بیشینه جابجایی ایجادشده در محل حذف ستون در قاب‌های ۸ طبقه با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد هنگامی که ستون در طبقات بالاتر قاب‌های خمشی فولادی ۸ طبقه حذف می‌گردد، جابجایی بیشتری در محل حذف ستون ایجادشده است. به‌عنوان مثال هنگامی که در اتصالات تیر به ستون از اتصال WUF-W- St37 استفاده می‌شود بیشینه جابجایی ایجادشده هنگامی که ستون در طبقه هفتم حذف‌شده است، به میزان ۶/۶۷ درصد از مقدار متناظرش در حالتی که ستون طبقه همکف حذف‌شده، بیشتر گردیده است.

۶- جابجایی ایجادشده در محل حذف ستون قاب ۸ طبقه، هنگامی که از اتصالات WFP استفاده‌شده است، به‌مراتب کمتر از مقادیر متناظر باحالت استفاده از سایر اتصالات شده است. به‌عنوان مثال هنگامی که از اتصالات WUF-W- St37 استفاده‌شده است، در حالت حذف ستون طبقه هفتم مقدار جابجایی به میزان ۴۳ درصد نسبت به مقدار متناظرش در حالت استفاده از اتصال WFP بیشتر شده است. همچنین هنگامی که از اتصالات WUF-W-LY160 استفاده‌شده است، در حالت حذف ستون طبقه هفتم مقدار جابجایی به میزان ۴۱ درصد نسبت به مقدار متناظرش در حالت استفاده از اتصال WFP بیشتر شده است. با توجه به مجموع مقادیر DCR و جابجایی حاصل‌شده می‌توان بیان نمود که اتصالات WFP در قاب‌های ۸ طبقه به‌مراتب دارای عملکرد بهتری در برابر خرابی پیش‌رونده می‌باشند و توانایی بیشتری در انتقال نیروها داشته و خرابی را حدالمقدور محدود می‌نمایند و در هنگام حذف ستون به تیرهای پیرامونی کمک بیشتری در تحمل تنش‌های وارده می‌کنند.

۷- در قاب‌های ۸ طبقه و در اتصالات WUF-W هنگامی که از فلزی با تنش تسلیم پائین‌تر استفاده می‌گردد از ظرفیت بیشتری از سازه جهت دستیابی به سازه‌ای مقاوم در برابر پتانسیل خرابی پیش‌رونده قاب‌های فولادی به‌واسطه بارهای غیرعادی استفاده می‌شود.

- [15]. Unified Facilities Criteria (UFC)., Design of buildings to resist progressive, collapse, Dept of Defense, Washington (DC)., 2009, 4-023-03.
- [10]. Kim, C., Lee, K., Effects of floor slab on progressive collapse resistance of steel moment frames, Journal of Constructional steel Research., 2015, 182-190
- [11]. Zhang, J., Jiang, J., Xu, S., Wang, Z., An investigation of the effect of semi-rigid connections on sudden column removal in steel frames, Structures., Vol. 13, 2018, pp. 166-177.
- [12]. FEMA 350., Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings, Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [13]. Wang, J., Li, G., Testing of semi-rigid steel concrete composite frames subjected to vertical loads, Engineering Structures., 2007, 29-1903–1916.
- [14]. Fu, F., Response of a multi-storey steel composite building with concentric bracing under consecutive column removal scenarios, Journal of Constructional Steel Research. , 2009, 70. 115–126, 2012.

Comparison of Progressive Collapse in Moment Connections with Low-strength Steel

Ahmad karimian

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Arastoo armaghani

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

Alaeddin Behravesht

Professor, Department of Civil Engineering, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

Arastoo_armaghani.iau2018@yahoo.com

ABSTRACT:

The performance of beam – column connection of common steel moment frames has been evaluated in a seismic discuss and progressive collapse alone. After the Northridge and Kobe earthquake, researchers found that the connections were weak. This is while the connections have a huge impact on the process of energy depletion of structure and structure behavior against unusual loads; Because if the panel zone is weak, even in the case of performing a rigid connection with resistance of more than beam which causes failure in the connection area, it causes a large deflection and resulting in a brittle fracture of connection. In this regard, in the current study, the performance Two common types of WFP bending (welded flange plate connection) and WUF-W (welded unreinforced flange-welded web connection) against a progressive coolapse phenomenon have been investigated by changing the type of steel used in plate for this purpose. The purpose of these two types of connection is once with St 37 and once with a steel alloy steel LY160, in a frame 8 steel story with different scenarios, Column removal (without remove the column, removing the column of the ground floor, third and seventh) was simulated in ABAQUS software. The results show that the DCR (criterion which is the Demand Capacity Ratio and it is also called the demand factor) value in the WUF-W connection is much lower by replacing the alloy steel.

Keywords: Progressive collapse, Steel moment frame, Beam-ColumnConnection, Low-alloy steel, WUF-W, WFP