



ارزیابی و مقاومسازی قاب خمشی فولادی تحت خرابی پیشرونده

مهدی عبادی جامخانه^{۱*}، مسعود احمدی^۱، علی خیرالدین^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، mehdi.ebadi1985@hotmail.com

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان؛ و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی دانشگاه تهران
kheyroddin@semnan.ac.ir

چکیده

امروزه وقوع خرابی پیشرونده در هنگام زلزله و حتی در انفجار نزدیک به سازه به چالشی مهم تبدیل شده است. خرابی پیشرونده، خرابی تمام یا بخشی از یک سازه است که با گسیختگی موضعی در بخشی از سازه شروع شده و می‌تواند پایداری کل سازه را تهدید نماید. هدف از این تحقیق، بررسی پدیده خرابی پیشرونده در قاب خمشی فولادی شش طبقه تحت سه شتاب نگاشت زلزله و مقاومسازی آن با بادبند می‌باشد. با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی در نرم افزار SAP2000 رفتار غیر خطی آن‌ها و تغییر مکان جانبی بام و برش پایه مورد ارزیابی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: خرابی پیشرونده، مقاومسازی، بادبند، قاب خمشی فولادی، تحلیل دینامیکی غیر خطی

۱- مقدمه

درسال های اخیر، تعدادی از حملات تروریستی در اقصی نقاط جهان و به ویژه در کشورهای خاورمیانه رخ داده است. این موضوع محققان را بر آن داشته است تا مطالعات وسیعی جهت مقاومت سازه در برابر انفجار یا هر حادثه ای که باعث خرابی پیشرونده شود را انجام دهند. علاوه بر این، تعدادی از پروژه های تحقیقاتی برای توسعه مکانیسم و سیستم هایی که می‌تواند خطر این حملات را کاهش دهد، انجام شد. هدف اصلی تمام تلاش های صورت گرفته جهت حفظ امنیت و زندگی ساکنین ساختمان و کسانی که در اطراف ساختمان هستند و با فروپاشی ساختمان و سقوط نخاله های باقیمانده می‌توانند زخمی شوند، می‌باشد. یکی از حوزه های اصلی تحقیق و توسعه در این زمینه پیشگیری از خرابی پیشرونده است. از دیدگاه مهندسی سازه می‌توان ساختمانی را طراحی نمود که در برابر حملات مقاوم باشد یا خرابی های ناشی از برخورد یا انفجار به حداقل برسد. این موضوع برای سال های زیادی مورد توجه ساختمان های حساس و نظامی که حتی بعد از یک حمله انفجار همچنان مردم در آن حضور دارند، بوده است. برای رسیدن به هدف حداقل آسیب، طراحان ممکن است مسائلی مانند زیبایی شناسی خارجی و حتی عملکرد داخلی ساختمان را تغییر دهند.

هرگاه یک یا چند عضو سازه‌ای ناگهان گسیخته شوند و پس از آن ساختمان به صورت پیش رونده خراب شود، دراین حالت هر توزیع بار موجب شکست دیگر المان‌های سازه‌ای یکی پس از دیگری می‌شود؛ تا اینکه حالت جدیدی از تعامل به وجود آید، به طوری که قسمتی و یا تمام سازه خراب شده باشد. مثال‌هایی از سازه‌هایی که خرابی پیش رونده به صورت جزئی یا کامل در آن‌ها اتفاق می‌افتد اندک و کم سابقه است. روناپوینتیک ساختمان آپارتمانی درلندن، ساختمان بانک اعتماد در شهر نیویورک و خرابی برج های تجارت جهانی از جمله خرابی های پیش رونده است. خطرات احتمالی و بارهای غیر عادی که می‌تواند موجب خرابی پیشرونده شود، شامل این موارد می‌باشند. خطای طراحی یا ساخت، آتش سوزی، انفجار گازها، اضافه بار تصادفی، تصادف وسایل نقلیه، انفجار بمب ها . غیره. چون احتمال وقوع این خطرات کم است، در طراحی سازه ای آن‌ها را در نظر

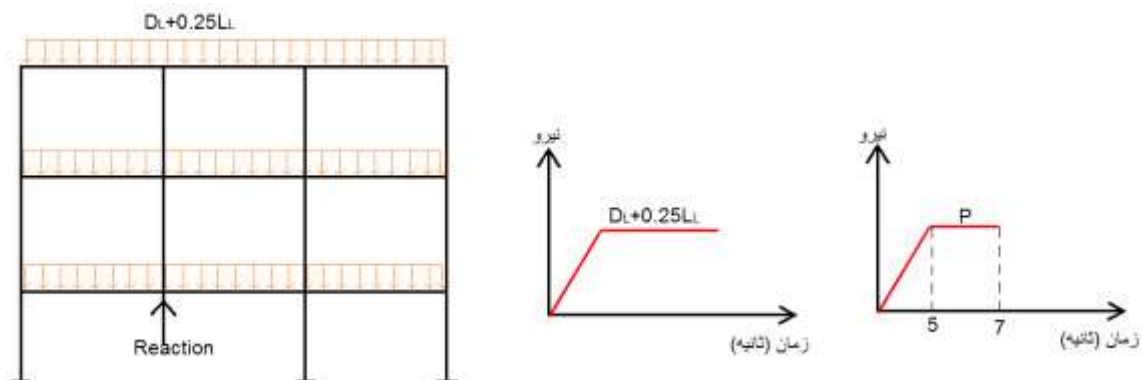
نمیگیرند یا با اندازه گیری های غیر مستقیم به آن ها می پردازند. بطور کلی ساختمان ها برای این قبیل بارها طراحی نمی شوند. از اینرو زمانی که ساختمان ها در معرض چنین بارهای غیر معمولی قرار می گیرند، ممکن است متحمل آسیب های بزرگی شوند. این پدیده همچنین می تواند برای سازه های طراحی شده براساس آئین نامه های جاری، حین رخداد زلزله های شدید مشکلاتی را بوجود آورد و حتی منجر به ویرانی کل سازه گردد. به عبارت دیگر، هر گونه ضعف در طراحی و یا اجرای المان های سازه ای ممکن است باعث بوجود آمدن پدیده خرابی پیشرونده در سازه ها حین بارگذاری انفجار و یا لرزه ای شود [۱]. لذا مطالعه و بررسی تاثیر این پدیده در سازه ها ضروری به نظر می رسد. به منظور برآورده نمودن اهداف مطرح شده، نمونه ای از قاب خمشی فولادی ۶ طبقه، تحت شتاب نگاشت های متفاوت زلزله در دو حالت بدون خرابی موضعی و با خرابی موضعی (تحت ترکیب بار ویژه خرابی پیشرونده از آیین نامه GSA) بررسی شده است. این ارزیابی به کمک نرم افزار SAP2000 و از طریق تحلیل دینامیکی غیر خطی انجام شده است. نتایج استخراج شده از این تحلیل ها شامل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و نحوه ی تشکیل مفاصل پلاستیک اعضا می باشد.

۲- مشخصات سازه

در این تحقیق قاب شش طبقه ی اسکلت فلزی و سیستم قاب خمشی متوسط در نظر گرفته شده است. کاربری قاب ساختمانی از نوع مسکونی و با اعمیت متوسط است. همچنین قاب مورد مطالعه در منطقه با لرزه خیزی زیاد و تیپ خاک از نوع سه در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات یکسان و برابر $3/2$ متر می باشد. تمامی اتصالات صلب، تکیه گاه ها گیردار و سقف ها از نوع تیرچه بلوک می باشند [۲و۳].

۳- نحوه ی اعمال بارگذاری جهت تحلیل دینامیکی سازه تحت خرابی پیشرونده

در تحلیل دینامیکی غیر خطی ابتدا نیروی محوری ستون مورد نظر قبل از حذف، تحت ترکیب بار $D_L+0.25L_L$ محاسبه می شود. سپس ستون مورد نظر با بار نقطه ای محوری معادل جایگزین می شود (شکل ۱). برای شبیه سازی پدیده حذف ناگهانی ستون، نیروی محوری ستون بعد از سپری شدن زمان معینی حذف می شود (شکل ۱). در این روش، نیروی محوری P بصورت خطی به مدت پنج ثانیه افزایش می یابد تا زمانی که به مقدار نهایی برسد و سپس به مدت دو ثانیه به صورت ثابت (بدون تغییر) نگه داشته شده تا سیستم به شرایط پایدار برسد. در این هنگام نیروی رو به بالای P به طور ناگهانی در هفتمین ثانیه حذف می شود (برای مشابه سازی اثر دینامیکی و حذف ناگهانی ستون). نسبت میرایی در نظر گرفته شده در این بررسی $0/05$ می باشد [۴و۵].



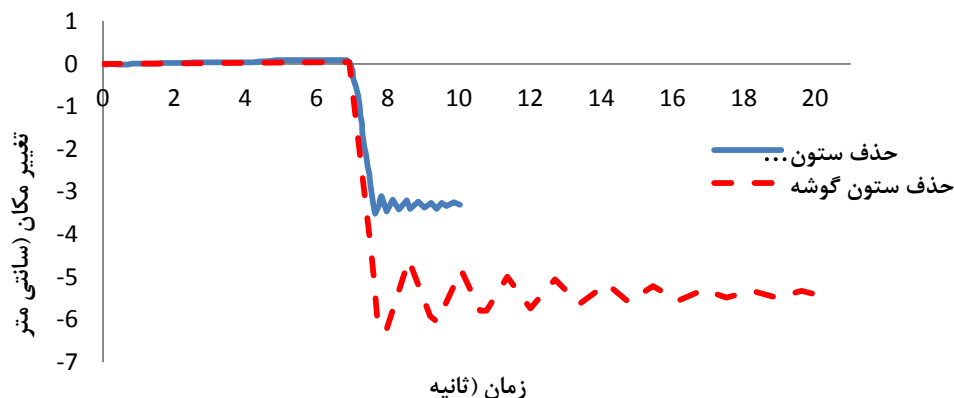
شکل ۱: مدل اعمال بار جهت تحلیل دینامیکی

شایان ذکر است که کلیه ی نمونه ها در سه حالت زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند:

- بدون خرابی موضعی
- با خرابی موضعی و حذف ستون گوشه
- با خرابی موضعی و حذف ستون دوم

۳-۱- پاسخ سازه نسبت به حذف ناگهانی ستون

خطرات احتمالی و بارهای غیر عادی منجر به ایجاد گسیختگی پیشرونده در سازه ها می گردد. با توجه به پاسخ این نیروها طی مدت زمان نسبتاً کوتاه تحلیل دینامیکی این وقایع ضروری به نظر می رسد [۶]. در این قسمت تاثیر بروز خرابی موضعی توسط پدیده حذف ناگهانی ستون در نظر گرفته شده است. پاسخ سیستم نسبت به حذف ناگهانی ستون گوشه و ستون وسط در قاب خمشی فولادی شش طبقه بررسی شده است.



شکل ۲: مقایسه تغییر مکان گره بالای ستون حذف شده در قاب خمشی فولادی

با توجه به شکل ۲ می توان ملاحظه نمود که با حذف ستون گوشه تغییر مکان بالای ستون مورد نظر به مقدار حداکثر ۶/۳ سانتی متر رسیده و در ۵/۴۸ سانتی متر میرا می شود. حال آن که با حذف ستون وسط مقدار تغییر مکان گره ای کاهش می یابد و در ۳/۳۴ سانتی متر میرا می گردد.

۳-۲- تحلیل به روش دینامیکی تاریخچه زمانی

۳-۲-۱- معرفی شتاب نگاشت ها

برای بارگذاری زلزله از سه زوج شتاب نگاشت افقی متعلق به زلزله روی داده در طبس (در ایستگاه های باجستان، فردوس و طبس) استفاده شد. در جدول (۱) مشخصات شتاب نگاشت های مورد استفاده آمده است.

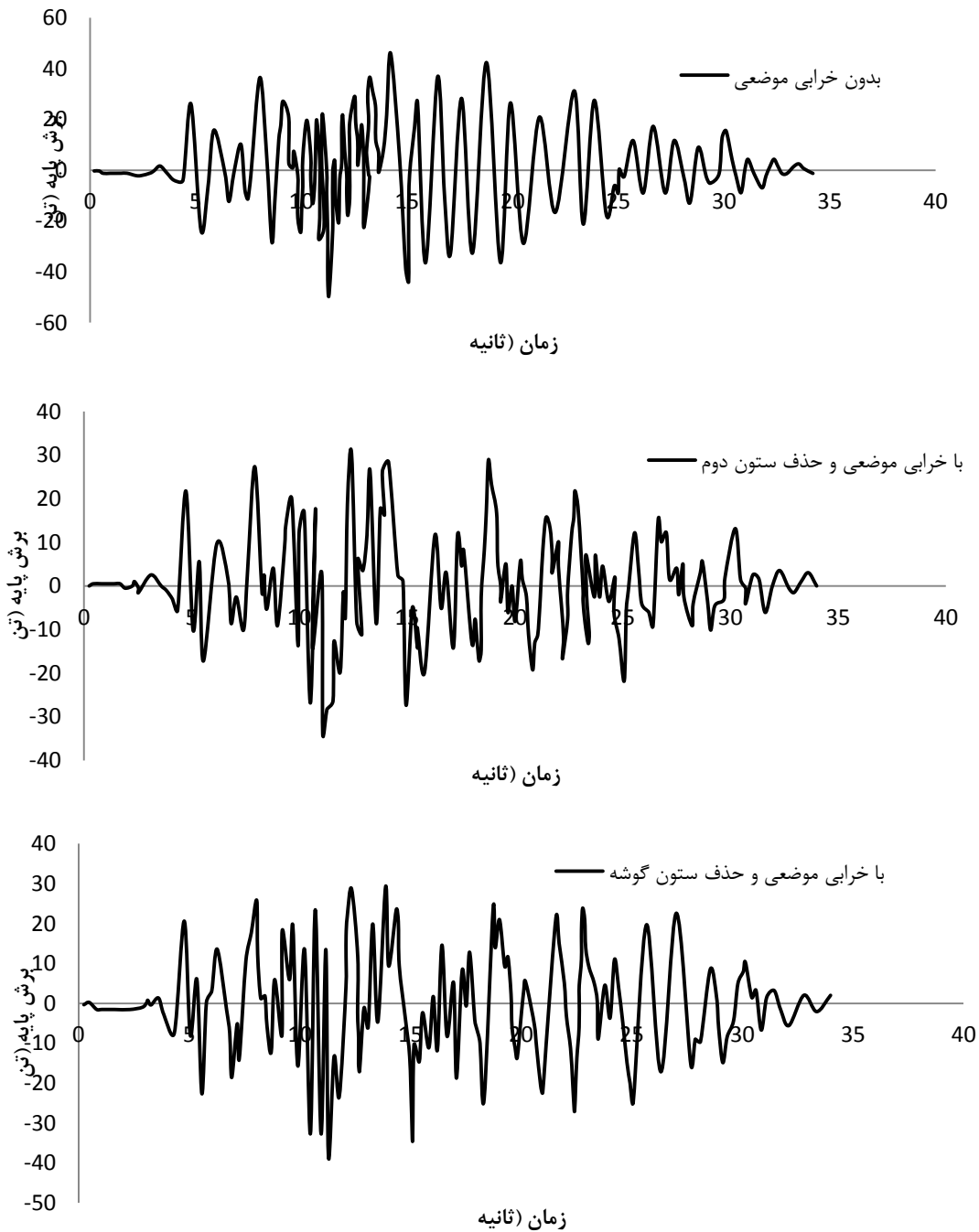
جدول ۱: مشخصات شتاب نگاشت زلزله ی طبس

زلزله طبس	PGA(g)	Station
	0.087	71 Ferdows

۱۳۵۷	0.094	69 Bajestan
	0.852	9101 Tabas

۳-۲-۳- نمودار برش پایه نسبت به زمان

در این بخش تاریخچه برش پایه برای قاب شش طبقه در سه حالت بدون خرابی موضعی و با خرابی موضعی، تحت زلزله طبس نشان داده شده است. حداکثر برش پایه از نمودارهای تاریخچه زمانی برش پایه نسبت به زمان در شکل (۴) آمده است.



شکل ۳- نمودار برش پایه بر حسب زمان در قاب فلزی شش طبقه

۳-۳- شاخص مقاومت در برابر خرابی پیشرونده

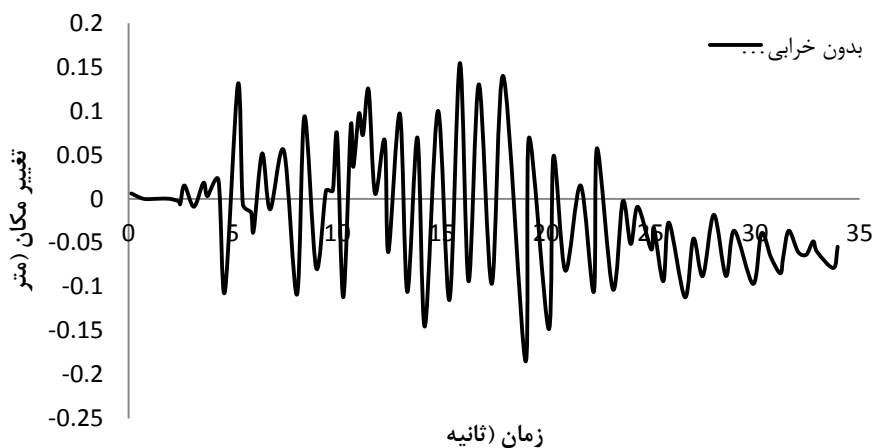
روش های تحلیلی اخیر برای خرابی پیشرونده تنها یک ارزیابی کیفی از مقاومت کلی سیستم سازه ای ارائه می دهد. به همین دلیل برای خرابی پیشرونده نیاز به نتایج کمی و ظرفیت باقی مانده حمل بار در سازه آسیب دیده است. شاخص R سازه ای به عنوان توانایی سازه برای مقاومت در برابر خرابی پیشرونده تعریف می شود و دلالت بر عملکرد کلی سازه آسیب دیده با فرض حذف عضو باربر خراب شده دارد. این شاخص یک خصوصیت سازه ای و مستقل از علت ایجاد خرابی موضعی اولیه است و می تواند بگوید که مسیر جایگزین کافی برای انتقال ایمن بارهای اصلی مولفه آسیب دیده وجود دارد یا خیر [۷ و ۸ و ۹].

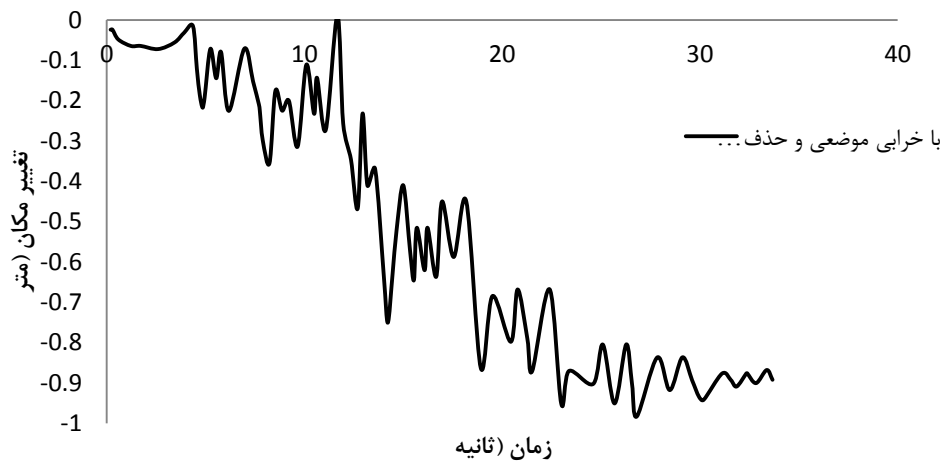
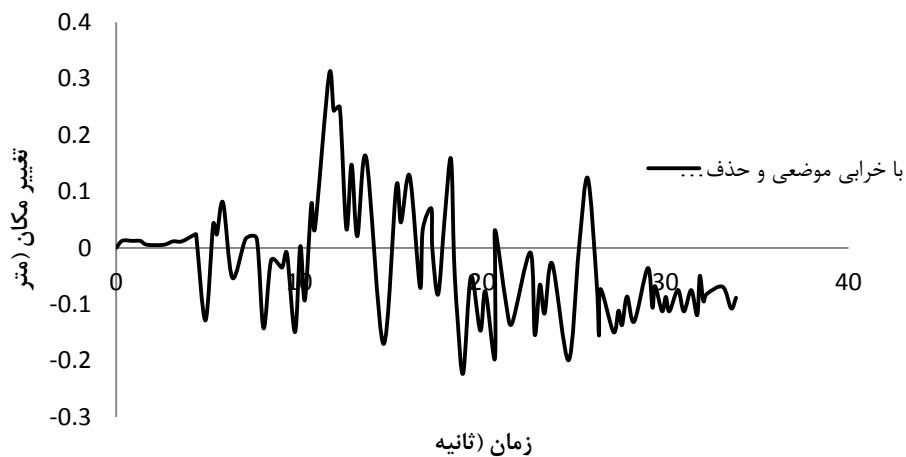
این شاخص در واقع از تقسیم نیروی برشی حداکثر سازه ی آسیب دیده بر حداکثر نیروی برشی سازه بون خرابی حاصل می شود. حداکثر برش پایه را از نمودارهای تاریخچه زمانی برش پایه نسبت به زمان استخراج و نتایج حاصله در جدول (۲) آورده شده اند.

جدول ۲: شاخص مقاومت در برابر خرابی پیشرونده در قاب فلزی ۶ طبقه تحت زلزله طبس

شاخص مقاومت	حداکثر برش پایه با خرابی موضعی (تن)	حداکثر برش پایه بدون خرابی موضعی (تن)	شتاب نگاشت طبس
۰/۶۸۲	۳۳/۹	۴۹/۷	حذف ستون دوم
۰/۷۷۷	۳۸/۶	۴۹/۷	حذف ستون گوشه

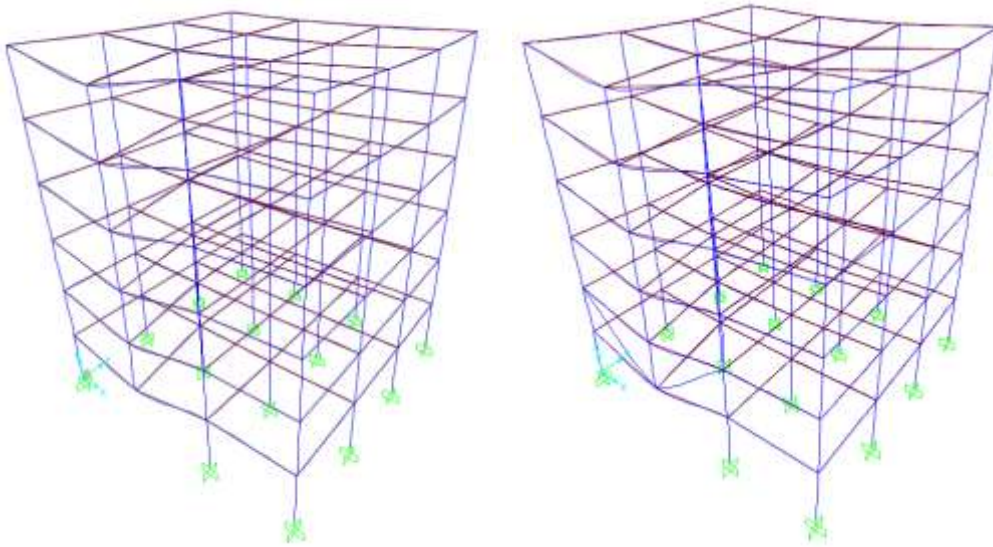
شاخص مقاومت نشان می دهد که محل خرابی عضو تاثیر بسزایی بر روی مقاومت برشی سازه دارد. با توجه به جدول (۲) با خرابی ستون گوشه و دوم در قاب شش طبقه، مقاومت برشی به ترتیب ۲۲/۳٪ و ۳۱/۸٪ کاهش می یابد. بنابراین با خرابی ستون دوم، مقاومت سازه ای در انتقال بارهای مولفه ی آسیب دیده به مقدار زیادی کاهش می یابد. پس چنین می توان گفت که در حفظ مقاومت برشی خرابی ستون دوم نسبت به ستون گوشه حالت بحرانی تری دارد.





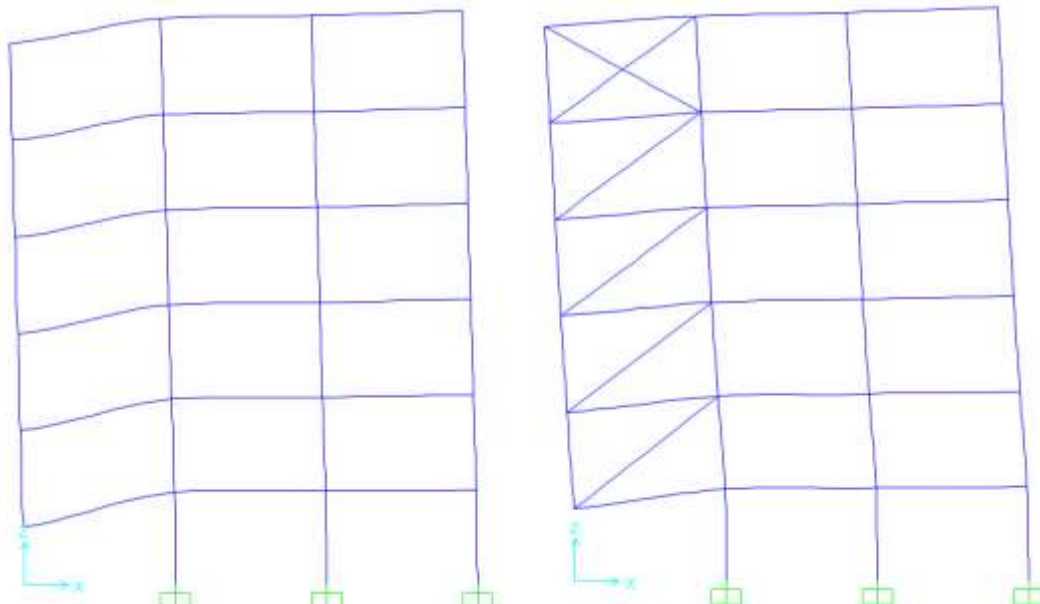
شکل ۴: نمودار تغییر مکان بام نسبت به زمان در قاب خمشی فلزی شش طبقه تحت زلزله طبس

حال از مهاربند جهت مقابله با پدیده ی خرابی پیشرونده استفاده می شود. در شکل (۵) می توانید مقایسه شکل تغییر شکل یافته ی دو حالت بدون مقاومسازی و با مقاومسازی شده توسط بادبند را مشاهده نمائید.



شکل ۵ : شکل تغییر شکل یافته ی سازه با حذف ستون میانی

با مقایسه ی دو حالت و پس از انجام تحلیل، تغییر مکان در گره ی ستون حذف شده برای حالت بدون مقاومسازی و با مقاومسازی به ترتیب ۷ سانتی متر و ۲ سانتی متر بدست آمده اند. با توجه به شکل ۶ مشخص گردید که استفاده از مهاربند کششی در طبقه ی بالای ستون محذوف تغییر مکان گره ی ستون حذف شده از $۱۰/۶$ سانتی متر به $۲/۷$ سانتی متر رسیده است.



شکل ۶ : شکل تغییر شکل یافته ی سازه با حذف ستون گوشه



۴- نتیجه گیری

با بررسی های انجام گرفته مشخص گردید که با حذف ستون میانی، مقاومت سازه در انتقال برش مولفه ی آسیب دیده به مقدار زیادی کاهش می یابد. همچنین با توجه به نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ارائه شده می توان ملاحظه نمود که مکان و موقعیت ستون حذف شده تاثیر بسزایی در نتایج حاصله دارد. نکته ی جالب توجه در مورد حذف ستون میانی اینست که تغییرات گسترده ی تلاش ها و تغییر مکان گره ای مشاهده نمی شود و این امر را می توان چنین توجیه نمود که در محل حذف ستون میانی از طبقه اول، المان های سازه ای بیشتری وجود داشته و این موضوع موجب تقویت کنش زنجیره ای اعضا جهت حمل و انتقال بار و نیز تثبیت فوری وضعیت بوجود آمده می شود. اما نتایج ارائه شده تنها برای سازه ی خاص یا شرایط خاص صادق است. چرا که با تغییر در شکل پلان و منظمی و نامنظمی و فرم سازه در ارتفاع و استفاده از شتاب نگاشت خاص می توان به نتایج متفاوتی دست یافت.

مراجع

- [۱]. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، دفتر امور فنی تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵.
- [۲]. آیین نامه بتن ایران، معاونت امور فنی دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۲.
- [۳]. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات مسکن، ۱۳۸۴.
- [4]. General Services Administration, GSA.(2003), "Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines", American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [5]. Kim, J. Kim, T, "Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames", Journal of Constructional Steel Research, 65 (2009), pp. 169–179.
- [6]. Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames Journal of Constructional Steel Research, 65 (2009), pp. 169–179.
- [7]. Da-Gang Lu, Shuang-Shuang Cui, Peng-Yan Song, Zhi-Heng Chen, (2012), "Robustness assessment for progressive collapse of framed structures using pushdown analysis methods", Int. J. of Reliability and Safety, Vol.6, No.1/2/3, pp.15 – 37.
- [8]. Starossek, U. and Haberland, M. (2008). "Measures of structural robustness – requirements and applications." ASCE SEI Structures Congress 2008, Vancouver, BC, Canada.
- [9]. Saad, A. S., Said, A. M., Sun, Y. (2008), "Overview of Progressive Collapse Analysis and Retrofit Techniques", Proceedings of the 5th International Engineering and Construction Conference.