

بررسی پارامترهای موثر بر رفتار لرزهای قاب فولادی مهاربندی با قابلیت حرکت گهواره‌ای کنترل شونده

حدیثه محمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

H.mohammadi@iiees.ac.ir

محمد افشاری

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

m.afshari@iiees.ac.ir

عبدالرضا سروقدمقدم

دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

moghadam@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: قاب فولادی مهاربندی، حرکت گهواره‌ای، فیوز، برگشت‌پذیری، منحنی هیستریسیس پرچمی شکل

چکیده

هنگام رخ دادن زلزله‌های بزرگ، سیستم‌های باربر لرزهای طرح شده بر اساس شکل‌پذیری، دچار خرابی بسیار گسترده‌ای در سراسر سازه می‌شوند، مواردی مانند تغییر شکل‌های ماندگار ایجاد شده باعث اختلال در کاربری ساختمان می‌شود. در سال‌های اخیر برای تضمین برگشت سریع‌تر ساختمان به کاربری، سیستم‌های نوین مختلفی با تلفیق خاصیت‌های برگشت‌پذیری و قابلیت تعمیر، این مهم را محقق کردند. یکی از این سیستم‌ها در سازه‌های فولادی، سیستم کنترل شده با حرکت گهواره‌ای است که شامل سه قسمت می‌باشد: (۱) قاب فولادی مهاربندی که انتظار می‌رود به صورت الاستیک رفتار کند. این قاب به فونداسیون متصل نیست و اجازه دارد از روی فونداسیون بلند شود، (۲) تاندون‌های پس کشیده شده که از بالای سازه به فونداسیون متصل می‌شوند و کمک به برگشت‌پذیری سازه به حالت اولیه خود می‌کنند، (۳) فیوزهای تعویض‌پذیر جاذب انرژی که باعث می‌شوند خرابی در محل‌های مشخصی در سازه (بین دهانه‌ها) متمرکز شود. در این مقاله با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب دوبعدی سه طبقه مهاربندی شده به بررسی معایب و مزایای استفاده از سیستم ذکر شده پرداخته می‌شود. همچنین تاثیر تغییر محل تاندون‌ها، افزایش نیروی تاندون‌ها، قرار دادن فیوز تنها در یکی از طبقات و یا حذف فیوز به طور کل در سازه و تاثیر پارامتر مقاومت فیوز با کاهش و افزایش مقدار آن بر پارامترهای مهم پاسخ در سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. پاسخ‌های بررسی شده عبارتند از: سطح عملکرد، میزان جابه‌جایی نسبی بین طبقات، میزان شتاب افقی و قائم ایجاد شده در طبقات، میزان بلندشدگی ستون‌ها از پایه و نیروی محوری ایجاد شده در ستون‌های طبقه اول. پاسخ‌ها هم در دو زلزله متفاوت و هم در دو سطح خطر مختلف از یک زلزله مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. نتایج به طور کلی نشان دهنده عملکرد بهتر سیستم خسارت محدود در بسیاری از پاسخ‌های مطالعه شده می‌باشد.

مقدمه

با توجه به اینکه ساختمان‌های موجود در کشور بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (کمیته دائمی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، ۱۳۹۳) و به منظور تامین سطح عملکرد ایمنی جانی تحت زلزله طرح ساخته می‌شود، به همین دلیل پس از زلزله‌ای در آن سطح این ساختمان‌ها دچار خسارت و تخریب شده و به منظور استفاده مجدد از سازه احتیاج به صرف وقت و هزینه زیاد به دلیل گستردگی خسارت در سازه می‌باشد. این موضوع باعث ایجاد ایده جدیدی به منظور هدایت خسارت به نقاط مشخصی از سازه شده است، بدین وسیله می‌توان با تعویض المان‌های آسیب‌دیده با سرعت بیشتری از ساختمان‌ها بهره‌برداری کرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به سیستم دارای سه ویژگی حرکت گهواره‌ای، خاصیت برگشت‌پذیری و استفاده از جاذب‌های انرژی در ساختمان اشاره کرد. در این سیستم‌ها ساختمان اصلی به صورت الاستیک رفتار می‌کند، به طوری که جذب انرژی و عملکرد غیرخطی تنها در قسمت‌های مشخصی از ساختمان که از قبل پیش‌بینی شده‌اند، اتفاق می‌افتد. در سال‌های گذشته تحقیقات وسیعی روی سیستم‌های دارای حرکت گهواره‌ای صورت گرفته است.



محققینی مثل Mander et al در سال ۲۰۰۱، Kassis and Tremblay در سال ۲۰۰۸، Eatherton et al. در سال ۲۰۱۰، Azuhata et al. و Hajjar et al. در سال ۲۰۱۳، مطالعات بسیاری در زمینه انواع سیستم‌های خسارت محدود انجام داده‌اند. (Hajjar et al., 2013), (X. Ma et al., 2008). در این مقاله تمرکز اصلی روی بررسی جزئیات و نحوه مدل‌سازی قاب مهاربندبندیه طبقه فولادیو بررسی بهبود عملکرد سیستم با تغییر مشخصات فیوزها و نحوه قرار گیری بهینه آنها، مقدار بهینه نیرو و نحوه قرارگیری تاندونهای پس کشیده در سیستم های دارای جاذب انرژی در قاب و حرکت گهواره ای در محل اتصال به فونداسیون می باشد. در صورت عملکرد مطلوب این سیستم ها از آنها برای بهسازی سازه های فولادیمی توان استفاده نمود. در قسمت های بعدی مقاله، پس از معرفی سیستم قاب دو بعدی انتخاب شده، عملکرد لرزه ای ۱۰ سیستم مختلف از لحاظ تفاوت در محل قرار گیری فیوزها، محل قرار گیری تاندونها، تغییر مشخصات فیوز ها و تاندونها مقایسه شده است. با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به کمک نرم افزار Sap2000 (Computer and Structures, 2010) به بررسی و مقایسه سطوح عملکرد سازه سیستم دارای حرکت گهواره ای و همچنین سیستم‌های با اتصال صلب ستون به فونداسیون پرداخته می شود. سایر پاسخ های بررسی شده عبارتند از شتابافقی و قائم طبقات، جابجایی نسبی طبقات، میزان بلند شدگی در سیستم های دارای حرکت گهواره ای و نیروی محوری ایجاد شده در ستونهای طبقه اول.

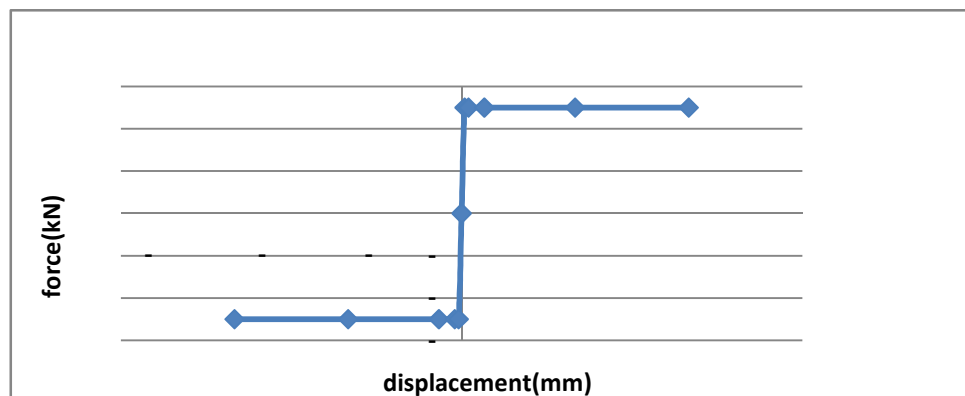
معرفی مدل‌ها و نحوه مدل‌سازی

مدل پیشنهادی شامل دو قاب فولادی مهاربندی بر اساس ساختمان استاندارد اداری می باشد که در سال ۱۹۹۹ توسط Gupta and Krawinkler برای پروژه تحقیقاتی SAC با فرض منطقه ای با ریسک زیاد طراحی شده است. پلان طبقه، جزئیات بارگذاری، مدل قاب دوعبده و مشخصات مقاطع قاب در مقاله ی دیگری، (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳) آمده است. در مدل در نظر گرفته شده، نیروی پس کشیدگی موجود در تاندونها ۲۳۷۰ kN می باشد که این نیرو با ایجاد تغییر درجه حرارتی در المانهای کابل ایجاد شده است. بلند شدگی ستون ها از روی فونداسیون با استفاده از المان Gap مدل شده است که این المان در هنگام بلندشدگی سختی ندارد و در هنگام برگشت به پایین یا در هنگام فشار دارای سختی می باشد. (جدول ۱)

جدول ۱: مشخصات المان Gap (مقدار سختی بر حسب kg/m)

stiffness	1.22E+09
open	0

فیوزها یا جاذب های انرژی با تعریف رفتار الاستو پلاستیک مدل‌سازی شده است. (شکل ۱)



شکل ۱: رفتار الاستو پلاستیک در فیوزها

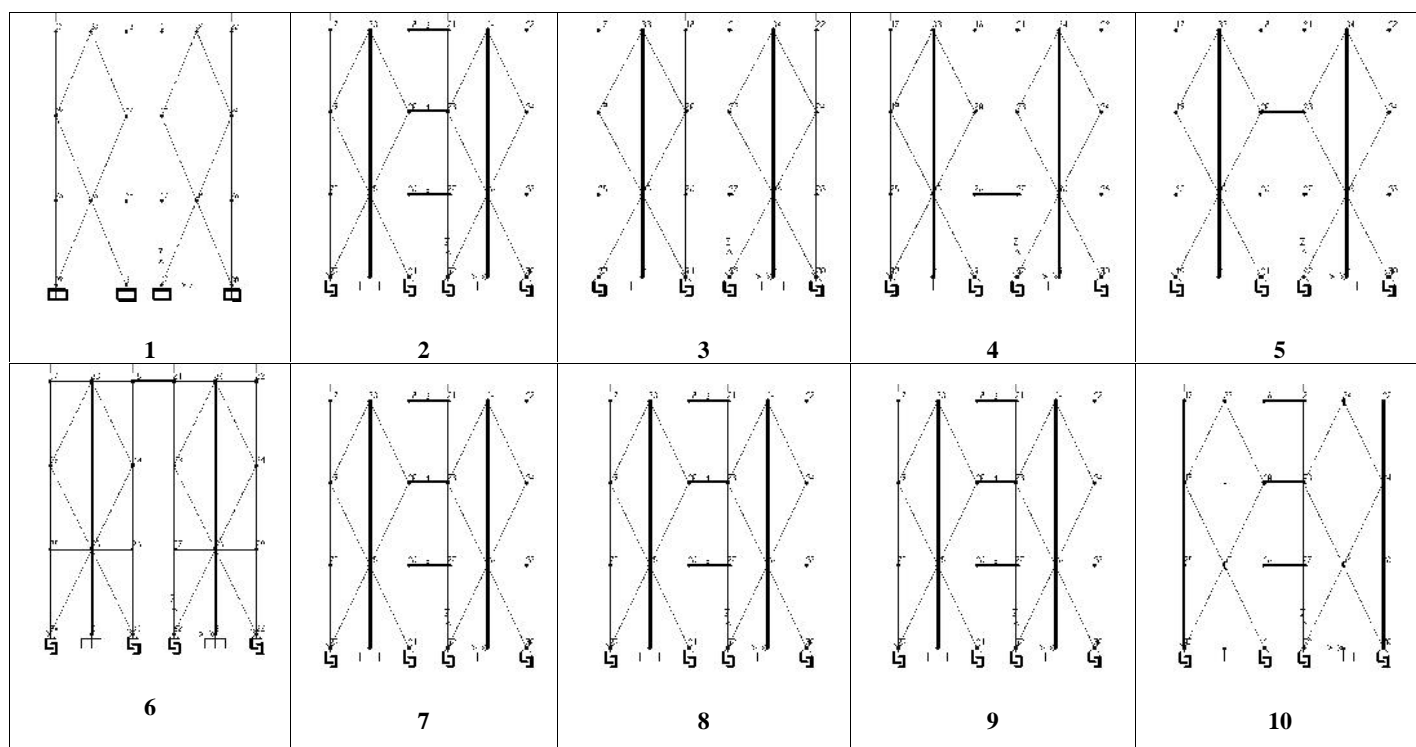
فیوزها دارای سختی ۳۸/۴ kN/mm و مقاومتی برابر با ۵۰ kN می باشند. طول دهانه برابر با ۳/۶ متر و طول فیوزها در دهانه میانی برابر با ۱/۸ متر می باشد. (Eatherton et al., 2010)

چیدمان مدل‌های مورد بررسی:

ده مدل برای بررسی تاثیر پارامترهای انتخابی به شرح جدول ۲ در نرم‌افزار مدل‌سازی شده اند. این مدل‌ها در شکل ۲ به تفکیک نمایش داده شده اند.

جدول ۲: معرفی مدل‌های مورد بررسی در تحلیل

مدل	معرفی
1	مدل پایه گیردار
2	مدل با حرکت گهواره ای مورد مطالعه
3	مدل ۲ با حذف کلیه فیوزها
4	مدل ۲ با فیوز در طبقه ۱
5	مدل ۲ با فیوز در طبقه ۲
6	مدل ۲ با فیوز در طبقه ۳
7	مدل ۲ با دو برابر کردن مقاومت فیوزها
8	مدل ۲ با نصف کردن مقاومت فیوز
9	مدل ۲ با دو برابر کردن نیروی تاندون
10	مدل ۲ با تغییر محل تاندونها

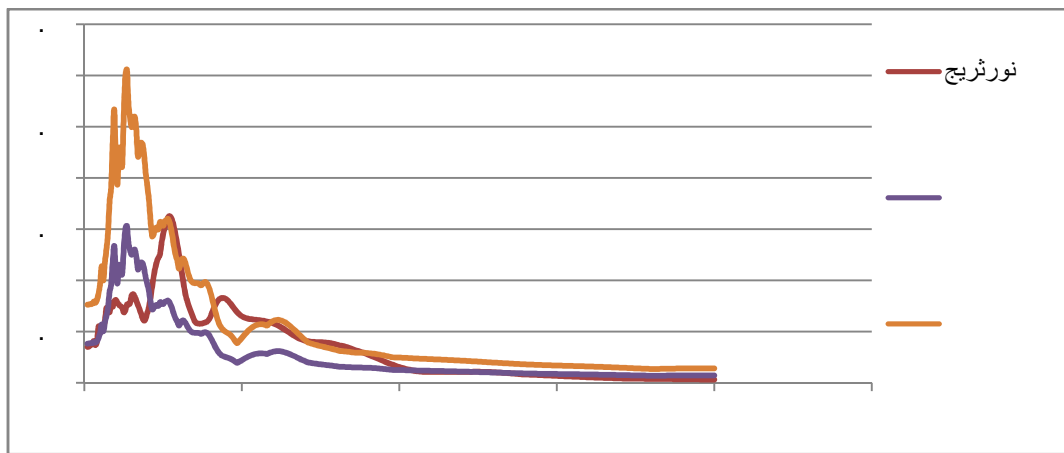


شکل ۲: تصاویر مدل‌های مورد بررسی در تحلیل

مشخصات رکوردهای زلزله در تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی:

- در تحلیل تاریخیچه زمانی انجام شده از دو رکورد زلزله استفاده شده است. رکوردهای انتخاب شده از پیوست A نشریه FEMA P695 و از مجموعه رکوردهای حوزه دور از گسل انتخاب شده اند. طیف شتابرکوردها در ادامه آمده است. (شکل ۳)
- ۱) رکورد زلزله السنترو (مقیاس شده به ماکزیمم شتاب g ۰.۳۵)
 (Imperial Valley 10/15/79 2316, El Centro Array #11, 230 (USGS Station 5058)
- ۲) رکورد زلزله نورث ریج (مقیاس شده به ماکزیمم شتاب g ۰.۳۵) با ID number=1 از جدول A-4A در نشریه یاد شده انتخاب شده است. (FEMA P695, 2009)
- ۳) رکورد زلزله السنترو با سطح خطر دو برابر





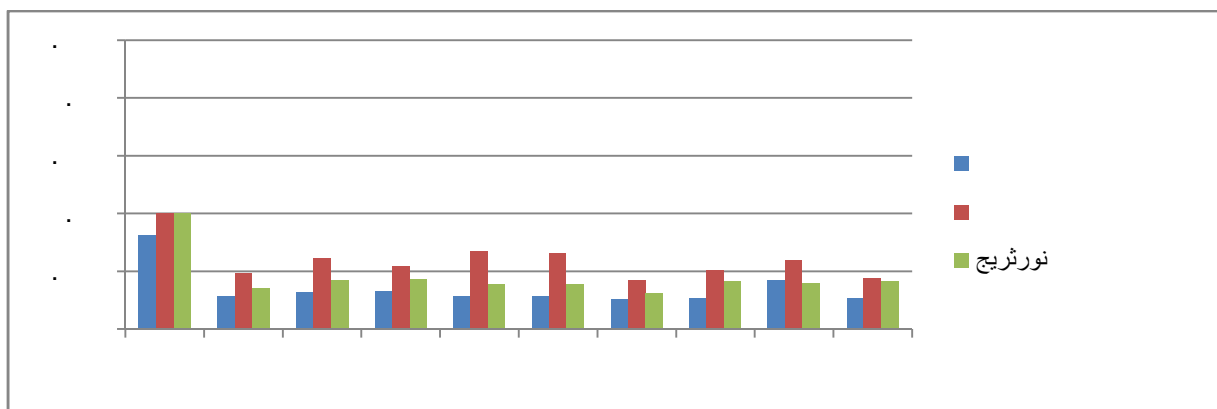
شکل ۳: طیف رکوردهای مورد استفاده در تحلیل

بررسی نتایج تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی غیر خطی مدل‌ها:

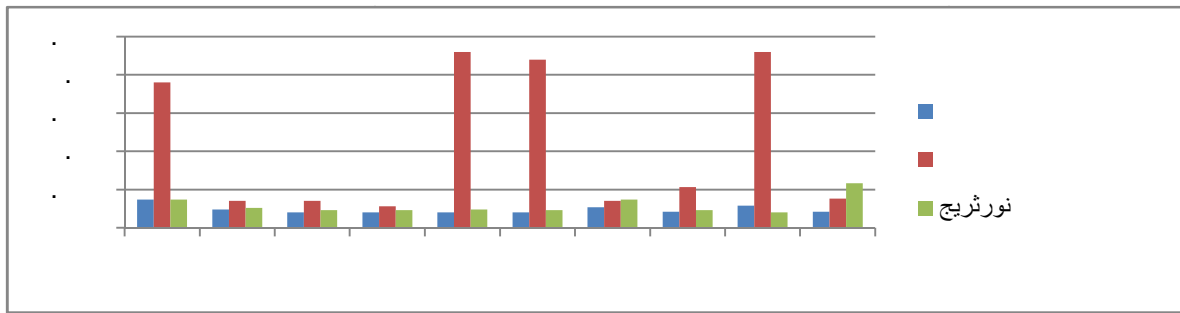
در این قسمت به ترتیب، پاسخ‌های تغییر مکان نسبی طبقات، نیروی محوری ستونهای طبقه اول، شتاب افقی و قائم و میزان بلندشدگی ستونها از پایه و سطح عملکرد مدلها آورده شده است.

نسبت تغییر مکان نسبی طبقات:

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان نسبت جابجایی نسبی طبقه سوم در دو زلزله السنترو و نورثریج، همچنین در زلزله السنترو با سطح خطر دو برابر، به طور کلی در مدل‌های با سیستم خسارت محدود (شامل تاندون‌های پس کشیده، فیوز و اجازه بلند شدن ستونها) کمتر از سیستم با پای گیردار معمولی می‌باشد. در طبقه دوم که نتایج آن برای اختصار در اینجا نیامده است نیز روند تغییر نسبت جابجایی نسبی به همین ترتیب است. ولی در زلزله السنترو با سطح خطر بالاتر، در بعضی از مدل‌ها کمی تغییرات مقادیر متفاوت می‌باشد. برای مثال در مدلی که نیروی تاندون دو برابر شده است، میزان نسبت جابجایی نسبی در سطح خطر بالا تقریباً چهار برابر می‌شود. همچنین به کار بردن فیوز به تنهایی در طبقه دوم و اول در سطح خطر بالا باعث شده تأثیرات نامطلوبی نسبت به حالتی که فیوز به طور کلی حذف و یا فقط در طبقه اول قرار گرفته، داشته باشد. در طبقه اول مشاهده می‌شود که در زلزله السنترو و نورثریج با سطح خطر مشابه، در مدل‌هایی که نیروی تاندون و یا مقاومت فیوز دو برابر شده است، اثر نامطلوبی در میزان نسبت جابجایی نسبی طبقات داشته است. در زلزله السنترو، در مقایسه بقیه مدل‌ها، مدل پای گیردار بیشترین مقدار نسبت جابجایی نسبی را داشته است. به طور کلی در طبقات اول و دوم، در سطوح خطر بالا، مدل‌های با سیستم خسارت محدود نسبت به مدل با پای گیردار، پاسخ بسیار مطلوبی داشته‌اند ولی در سیستم‌هایی که نیروی تاندون دو برابر شده است و یا فیوز به تنهایی در طبقه دو یا سه گذاشته شده است، مقادیر نسبت جابجایی نسبی حتی از حالت پای گیردار هم بیشتر می‌باشد. به نظر می‌رسد قرار دادن تاندونها در وسط دهانه نسبت به قرار دادن تاندونها در کنار ستونها، تأثیر نسبتاً بهتری داشته‌اند. لازم به ذکر می‌باشد که در محاسبه میزان نسبت جابجایی نسبی طبقات در مدل‌هایی که اجازه حرکت گهواره ای را دارد، جابجایی هر طبقه در محاسبات با کسر میزان جابجایی ناشی از دوران پایه از جابجایی کل هر طبقه در نظر گرفته شده است.



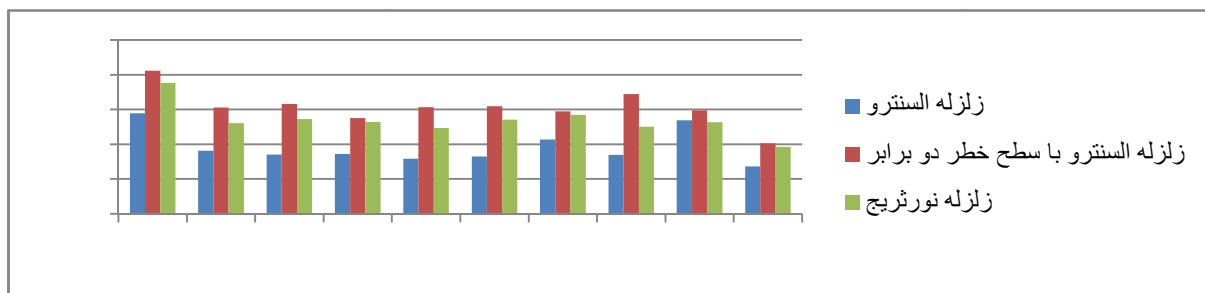
شکل ۴: الف: نسبت جابجایی نسبی طبقه سوم



شکل ۴: ب: نسبت جابجایی نسبی طبقه اول

بیشینه نیروی محوری فشاری در ستون‌های طبقه اول:

شکل ۵ نشان می‌دهد که میزان نیروی محوری ستونها در مدل با خاصیت بلند شدگی نسبت به مدل ۱ که پای گیردار می‌باشد، کاهش پیدا کرده است. مقادیر نیروی محوری ایجاد شده در زلزله نورثریج بیشتر از زلزله سنترو در همان سطح خطر می‌باشند که نشان‌گر حساسیت نتایج به مشخصات زلزله ورودی می‌باشد. در زلزله سنترو در بین مدل‌های دارای سیستم خسارت محدود، مدلی که نیروی تاندون دو برابر است (مدل ۹) و مدلی که مقاومت فیوز در آن دو برابر می‌باشد (مدل ۷)، نیروی محوری بیشتری دارند. در زلزله سنترو با سطح خطر دو برابر، در بین مدل‌های با سیستم خسارت محدود، مدلی که مقاومت فیوز نصف شده است (مدل ۸) بیشترین نیروی محوری و مدلی که تاندونها در کنار ستون‌های خارجی قرار گرفته‌اند (مدل ۱۰)، کمترین میزان نیروی محوری را داشته است.



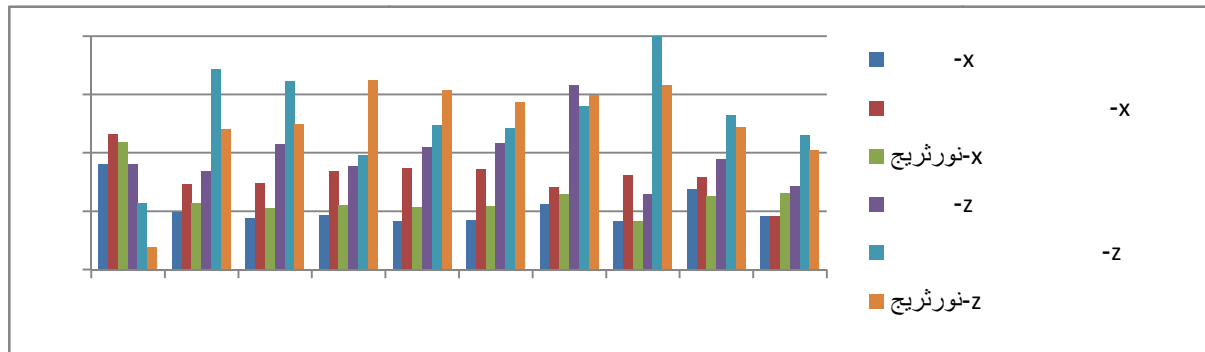
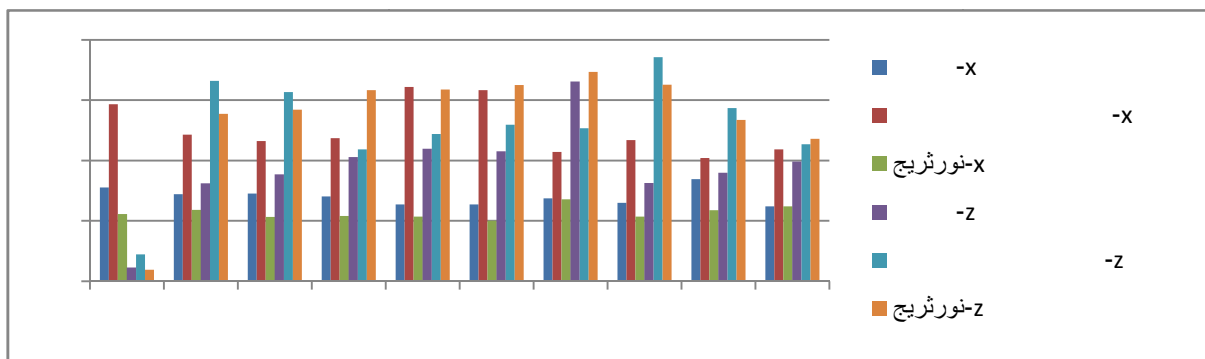
شکل ۵: بیشینه نیروی محوری در ستونها (بر حسب kN)

شتاب افقی و قائم ایجاد شده در طبقات:

همانطور که نتایج شتاب در شکل ۶ مشاهده می‌کنیم، شتاب افقی در طبقه سوم در هر دو زلزله سنترو و نورثریج و همچنین در زلزله با سطح خطر بالای سنترو در مدل پای گیردار (مدل ۱) بیشتر از سایر مدل‌های دارای سیستم خسارت محدود می‌باشد. شتاب قائم ایجاد شده در مدل پای گیردار (مدل ۱) بسیار کمتر از شتاب قائم سایر سیستم‌های خسارت کم که اجازه بلند شدگی از روی پایه را دارند، می‌باشد. در زلزله های سنترو و نورثریج، میزان شتاب افقی در طبقه سوم تقریباً در اکثر مدل‌های دارای سیستم خسارت محدود ثابت است به جز در مدلی که مقاومت فیوز نصف شده است (مدل ۸)، میزان شتاب افقی طبقه سوم مقداری افزایش یافته است. میزان شتاب قائم در طبقه سوم، در مدلی که مقاومت فیوز نصف شده است (مدل ۸) در زلزله با سطح خطر بالا، بیشترین مقدار نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد حذف فیوز در سازه (مدل ۳) تاثیر قابل ملاحظه‌ای در تغییر شتاب طبقه سوم، نسبت به مدل ۲ ندارد. دو برابر کردن نیروی تاندون (مدل ۹) باعث می‌شود که شتاب قائم طبقه سوم در زلزله سطح خطر بالا کاهش پیدا کند. قرار دادن تاندونها در کنار ستون‌های خارجی نیز باعث کاهش شتاب قائم طبقه سوم می‌شود. قرار دادن فیوز به تنهایی در یکی از طبقات (مدل ۴ و ۵) باعث کاهش شتاب افقی در طبقه دوم نسبت به مدل ۲ و مدل ۳ می‌باشد. همچنین دو برابر کردن مقاومت فیوز و نصف کردن آن (مدل ۷ و ۸)، باعث افزایش شتاب قائم در این طبقه می‌گردد.

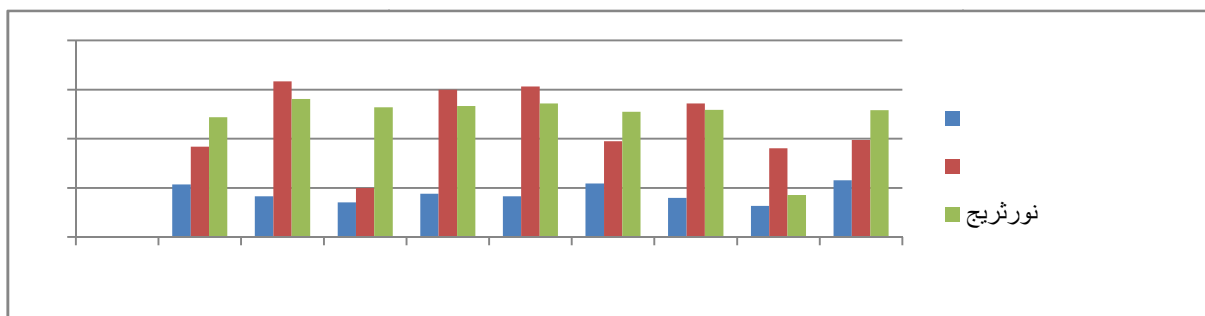
در طبقه اول شتاب افقی در همه مدل‌ها تقریباً بدون تغییر است ولی در سطح خطر بالای زلزله سنترو، شتاب افقی در مدل با سیستم خسارت محدود (مدل ۲) نسبت به مدل با پای گیردار (مدل ۱)، کاهش می‌یابد. قرار دادن فیوز تنها در یکی از طبقات (مدل ۴ و ۵) باعث افزایش شتاب قائم در طبقه اول نسبت به مدل ۲ و مدل ۳ (حذف فیوزها) می‌باشد. در زلزله سنترو و نورثریج مدل با دو برابر کردن مقاومت فیوز، بیشترین شتاب قائم را در طبقه ۱ داشته است. به نظر می‌رسد قرار دادن تاندونها در کنار ستون‌های خارجی (مدل ۱۰) نیز باعث کاهش شتاب‌های این طبقه نسبت به مدل ۲ (تاندونها در وسط دهانه) بشود.



شکله الف- شتاب طبقه سوم (بر حسب m/s^2)شکله ب- شتاب طبقه اول (بر حسب m/s^2)

میزان بلندشدگی پای ستون های با اجازه حرکت گهواره ای:

شکل ۷ میزان حداکثر بلندشدگی پای ستونها را نشان می دهد. با توجه به نتایج زلزله السنتر و نورتریج، میزان بلندشدگی ستونها از روی فونداسیون به نوع زلزله حساس می باشد. میزان بلندشدگی ستونها در مدلی که نیروی تاندون دو برابر شده است نسبت به سایر مدلها کمتر می باشد. قرار دادن فیوز تنها در طبقه اول (مدل ۴) باعث ایجاد کمترین میزان بلندشدگی در زلزله السنتر و با سطح خطر بالا نسبت به سایر مدلها می باشد. حذف کلی فیوز از سازه (مدل ۳) و همچنین قرار دادن فیوز تنها در طبقه دوم (مدل ۵) و طبقه سوم (مدل ۶) باعث افزایش بلندشدگی نسبت به مدلی که دارای فیوز در همه طبقات می باشد (مدل ۲) شده است.



شکله ۷: میزان بلندشدگی پای ستون طبقه اول (بر حسب سانتی متر)

سطوح عملکرد در مدل ها:

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود، سطح عملکرد سیستم به نوع زلزله و سطح خطر انتخابی بسیار وابسته می باشد. در زلزله السنتر تقریباً همه مدلها به صورت الاستیک رفتار کرده اند. در زلزله نورتریج در مقایسه مدل پای گیردار (مدل ۱) و مدل با سیستم خسارت محدود اصلی (مدل ۲)، مشاهده می شود که مدل ۲ به نسبت بهتر عمل کرده است. همچنین مدل ۷ (که در آن مقاومت فیوز دو برابر شده است) و مدل ۱۰ (مدل با تغییر محل تاندون) نامطلوب ترین وضعیت را داشته اند.

در زلزله السنترو با سطح خطر بالا، مدل پای گیردار (مدل ۱) از مدل با سیستم خسارت محدود (مدل ۲) وضعیت بسیار نامطلوبی داشته است. در بین همه مدل ها، مدل با فیوز در طبقه ۱ (مدل ۴) بهترین عملکرد را داشته است. به نظر می رسد قرار دادن فیوز به تنهایی در طبقه ۲ و ۳ (مدل ۶ و ۵) وضعیت نامطلوبی از غیرخطی شدن را ایجاد می کند. مشاهده می شود که دو برابر نیروی تاندون تاثیر بسیار نامطلوبی در سیستم خسارت محدود دارد.

جدول ۳: مقایسه تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مدل ها

	مدل	زلزله السنترو				زلزله السنترو با سطح خطر بالا				زلزله نورتریج			
		B	IO	LS	C	B	IO	LS	C	B	IO	LS	C
مدل پایه گیردار	1	0	0	0	0	0	5	0	6	3	1	0	0
مدل راکینگ اصلی	2	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0
مدل با حذف کلیه فیوزها	3	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0
مدل با فیوز در طبقه ۱	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
مدل با فیوز در طبقه ۲	5	0	0	0	0	4	6	2	5	0	0	0	0
مدل با فیوز در طبقه ۳	6	0	0	0	0	2	8	0	5	0	0	0	0
مدل با دو برابر کردن مقاومت فیوزها	7	0	0	0	0	2	3	0	0	0	4	0	0
مدل با نصف کردن مقاومت فیوز	8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
مدل با دو برابر کردن نیروی تاندون	9	2	0	0	0	5	6	0	7	0	0	0	0
مدل با تغییر محل تاندونها	10	0	0	0	0	1	2	0	0	1	2	0	3

نتیجه گیری

- باتوجه به نتایج مشاهده شده از پاسخ ها، در مقایسه مدل های با پای گیردار و مدل با سیستم خسارت محدود و همچنین مشاهده نتایج حاصل از تغییر پارامترهای با اهمیت در فیوز و تاندون در مدل های با سیستم خسارت محدود می توان به نتایج زیر اشاره کرد:
- به طور کلی در اکثر پاسخها سیستم خسارت محدود که اجازه بلندشدگی از پایه را دارد (مدل ۲) بهتر از مدل با پای گیردار (مدل ۱) بوده است. در بررسی نسبت جابجایی نسبی بین طبقات مشاهده شده است که سیستم های خسارت محدود می توانند باعث کاهش میزان نسبت جابجایی نسبی بعضی طبقات در زلزله با سطح خطر پایین، حتی بیش از ۶۰٪ شوند. همچنین در بعضی از طبقات مشاهده شد که این میزان کاهش در زلزله با سطح خطر بالا می تواند حدود ۸۰٪ باشد. همچنین در مقایسه نتایج مربوط به نیروی محوری ستونهای طبقه اول مشاهده می شود که در سیستم با خسارت محدود (مدل ۲) میزان نیروی محوری در ستونها تا حدود بیش از ۳۰٪ نسبت به مدل پای گیردار (مدل ۱) کاهش می یابد. در مقایسه نتایج مربوط به شتاب افقی طبقات در زلزله های با سطح خطر پایین مشاهده می شود که شتاب افقی در طبقات اول و دوم تقریباً تغییر نمی کند ولی شتاب در مدل با سیستم خسارت محدود (مدل ۲) در طبقه سوم تا حدود بیش از ۴۰٪ کاهش می یابد. یکی از معایب سیستم خسارت محدود که اجازه بلندشدگی از روی پی را دارد این است که در آن شتاب قائم در طبقات نسبت به مدل پای گیردار بسیار افزایش می یابد.
 - در اکثر پاسخ ها مشاهده می شود که قرار دادن فیوز تنها در طبقه اول نسبت به قرار دادن فیوز در سایر طبقات بهتر است.
 - در بررسی سطوح عملکرد و برخی از پارامترهای پاسخ مشاهده می شود که دو برابر شدن نیروی تاندون اثر نامطلوبی ایجاد کرده است.
 - در بررسی نتایج مربوط به قرار گیری تاندون ها در وسط دهانه یا کنار ستونهای خارجی به این نتیجه رسیده شد که مدل ۱۰ در مقایسه سطوح عملکرد نامطلوب تر از مدل ۲ عمل کرده است. ولی در بررسی پارامتر شتاب در طبقات، مدل ۱۰ باعث کاهشی حدود ۲۰٪ در میزان شتاب افقی و کاهشی بیش از ۳۰٪ در میزان شتاب قائم در زلزله با سطح خطر بالا نسبت به مدل ۲ داشته است. بنابراین در صورتی که اجزای غیر سازه ای در سازه از اهمیت بیشتری برخوردار باشند، پارامترهایی مانند شتاب و جابجایی نسبی در طبقات باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند.
 - دو برابر شدن مقاومت فیوز و نصف شدن آن به طور کلی تغییرات مشخص و قابل توجهی در مدلی که در همه طبقات فیوز دارد، ایجاد نکرده است. ولی به نظر می رسد نصف شدن مقاومت فیوزها تاثیر به نسبت بهتری در سطوح عملکرد سازه ایجاد نماید.
 - به طور کلی نتایج حاکی از عملکرد بهتر سیستم خسارت محدود بلند شونده از پایه نسبت به مدل با پای گیردار در اکثر پاسخ ها می باشد. همچنین مشاهده می شود که محل قرار گیری فیوزها و تعداد آنها در سیستم می تواند پاسخ ها و عملکرد سازه را تا حدود زیادی تحت تاثیر قرار



دهد. نیروی اولیه موجود در تاندونهای پس کشیده نیز می تواند پارامترهای پاسخ و عملکرد سازه را تحت تاثیر قرار دهد لذا باید در طراحی سیستم‌های خسارت محدود همه این موارد را بررسی و به صورت بهینه انتخاب نمود.

مراجع

کمیته دائمی بازنگری آیین نامه، آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (۱۳۹۳) استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴، نشریه شماره ۲۵۳، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

محمدی ح، سروقد مقدم ع و افشاری م (۱۳۹۳) تاثیر محل تاندونهای پس کشیده بر عملکرد لرزه ای قاب فولادی مهاربندی با امکان حرکت بلندشونده برگشت پذیر، پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی سازه و فولاد، تهران، ایران

Computer and Structures (2010) Structural Analysis Program, SAP2000, version 14.2.4, Berkeley, CA

Eatherton MR, Hajjar JF and Hall KS(2010) Nonlinear Behavior of Controlled Rocking Steel-Framed Building Systems with Replaceable Energy Dissipating Fuses, Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign, NSEL Report Series Report No. NSEL-026

FEMA P695 (2009) Quantification of Building Seismic Performance Factors

Hajjar JF, Sesen AH, Jampole E and Wetherbee A(2013) A synopsis of sustainable structural systems with rocking, self-centering, and articulated energydissipating fuses, Department of Civil and Environmental Engineering Reports, No. NEU-CEE-2013-01

Ma X, Eatherton MR, Krawinkler H, Hajjar JF, Deierlein GG and Billington S(2008) Controlled Rocking of steel-framed Buildings with Replacable Energy-Dissipating Fuses, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, Beijing, China

