



بررسی عملکرد لرزه ای سازه مجهز به جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی در حوزه نزدیک گسل

علیرضا خدادادی¹، محمود میری²، عبدالرحیم جلالی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان

Khodadadi_1@yahoo.com

2- استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

Mmiri@hamoon.usb.ac.ir

3- استادیار گروه عمران دانشگاه تبریز

Jalali@tabrizu.ac.ir

چکیده

برای کنترل پاسخ سازه از روش های کنترل غیرفعال می توان بهره برد. یکی از این روش ها که راه حل مناسبی برای مقابله با تحریکات لرزه ای می باشد، بکارگیری سیستم جداسازی پایه است. در مقاله حاضر قاب فولادی جداسازی شده با جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، تحت رکورد های حوزه نزدیک گسل به روش تاریخچه زمانی غیرخطی مودال تحلیل شده و عملکردهای آن از جمله لنگر ستون طبقات، شتاب طبقات، جابجایی نسبی طبقات و برش پایه بررسی شده است.

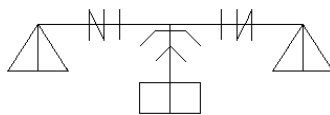
واژه های کلیدی: جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، حوزه نزدیک گسل، تاریخچه زمانی غیرخطی مودال

مقدمه

در مناطق زلزله خیز دنیا جمعیت زیادی زندگی می کنند که در آن نواحی خطر وقوع زمین لرزه هایی با شدت و فراوانی های مختلف وجود دارد. هر ساله وقوع زلزله ها موجب تلفات جانی و خسارات مالی فراوان می شود. در طول سال های مختلف، تکنولوژی ساخت و طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله، در جهت کاهش اثر زلزله بر ساختمان ها، پل ها و نیز ملحققات مستعد آسیب پذیری آن ها، پیشرفت زیادی کرده است. یکی از این روش ها جداسازی لرزه ای است که در واقع نصب سیستمی است که سازه و ملحققات آن را از حرکات لرزه ای مخرب زمین و یا تکیه گاه جدا می سازد.

مدل مورد مطالعه

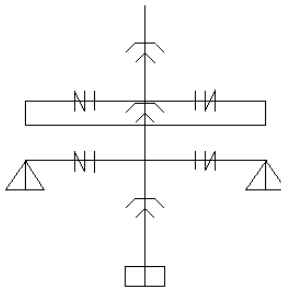
سازه مورد مطالعه قاب فولادی 4 طبقه با ارتفاع 19.5 متر از تراز پایه و 5 دهانه 9.75 متری می باشد که سیستم مقاوم آن در برابر نیروی زلزله قاب خمشی است. این سازه در منطقه ای با پهنه خطر نسبی خیلی زیاد قرار گرفته و خاک منطقه از نوع 1 است. در زیر هر ستون یک جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی به کار رفته است. مجموع جرم روی جداسازها 1213.5 تن می باشد. مدلسازی توسط نرم افزار SAP2000 v14.1 انجام شده است [1]. برای شبیه سازی جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، به چهار شکل موازی (ترکیب 2 جداساز پاندولی اصطکاکی به صورت موازی)، موازی با گپ، سری (ترکیب 3 جداساز پاندولی اصطکاکی به صورت سری)، سری با گپ، می توان جداساز را در نرم افزار مدل کرد. این مدل ها، به صورت اشکال 1 الی 4 می باشد.



شکل (2): مدل موازی با گپ



شکل (1): مدل موازی



شکل (4): مدل سری با گپ



شکل (3): مدل سری

جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی (Triple Friction Pendulum Isolator)

جداسازهای لرزه ای پاندولی اصطکاکی چند قوسی، انواعی پیشرفته و مشتقاتی از جداسازهای پاندولی اصطکاکی هستند که رفتار دلخواه سیستم های پیچیده تطبیقی را از خود نشان می دهند به طوری که رفتار تطبیقی آنها باعث می شود تا سیستم جداساز تحت شدت های مختلف زلزله بهترین رفتار را ارائه دهد. این نوع جداساز از دو یا چند سطح مقعر شکل و یک لغزنده میانی تشکیل شده است. این سطوح مقعر شکل، می توانند شعاع انحنا و ضرایب اصطکاک یکسان و یا متفاوتی داشته باشند. در مطالعات مختلفی به معرفی جداسازهای پاندولی اصطکاکی پرداخته شده است [2,3,4,5,6,7].

برای جداسازها در مدل موازی از شعاع های 0 و 209.55 سانتیمتر و ضریب اصطکاک ماکزیمم 0.06 و در مدل سری از شعاع های 38.1 و 190.5 سانتیمتر و ضرایب اصطکاک ماکزیمم 0.03 و 0.108 استفاده شده است تا سختی موثر و سختی الاستیک در هر دو مدل موازی و سری با هم برابر شود. در مدل ها فرضیات 1 الی 5 برقرار است که در آنها R_{effi} شعاع موثر سطوح جداساز، μ_i ضریب اصطکاک سطح جداساز، d_i^* ظرفیت جابجایی حقیقی هر فصل مشترک لغزش می باشد.

$$R_{eff1} = R_{eff4} \gg R_{eff2} = R_{eff3} \quad (1)$$

$$\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4 \quad (2)$$

$$d_1^* > (\mu_4 - \mu_1)R_{eff1} \quad (3)$$

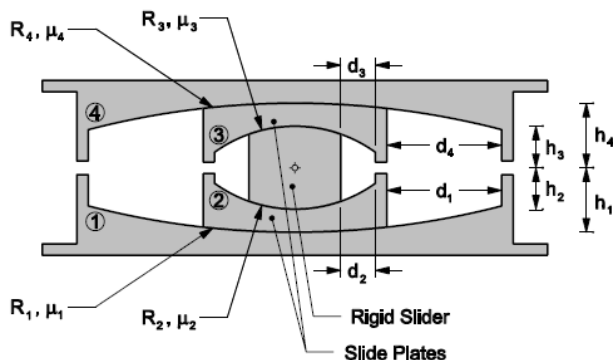
$$d_2^* > (\mu_1 - \mu_2)R_{eff2} \quad (4)$$

$$d_3^* > (\mu_4 - \mu_3)R_{eff3} \quad (5)$$

فرمول محاسبه R_{effi} و d_i^* به شرح زیر است.

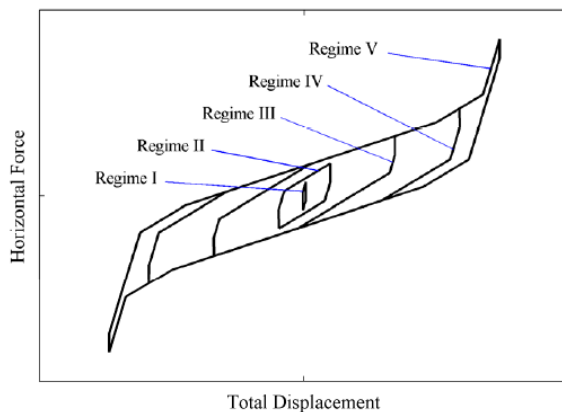
$$R_{effi} = R_i - h_i \quad (6)$$

$$d_i^* = \frac{R_{effi}}{R_i} d_i \quad (7)$$

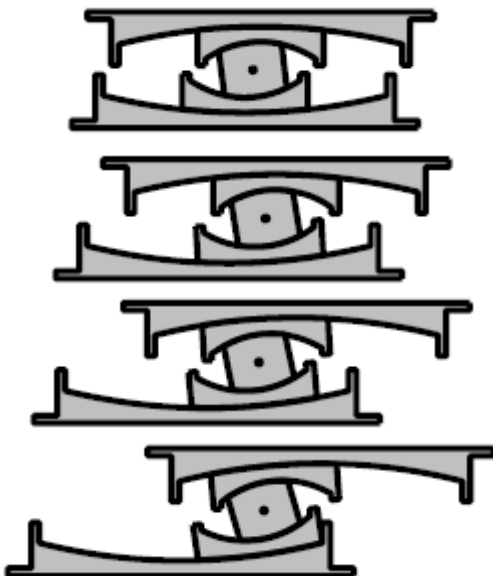


شکل (5): مقطع عرضی جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی

این جداساز زمانی که تحت تحریکات لرزه ای قرار می گیرد چرخه نیرو - جابجایی آن به صورت یکی از رژیم های 5 گانه شکل 6 خواهد شد.



شکل (6): چرخه های نیرو - جابجایی در جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی

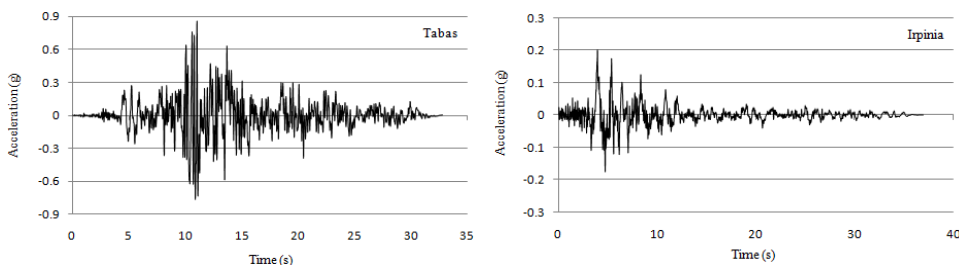




شکل (7): وضعیت جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی در رژیم های 1 تا 5 به ترتیب از بالا به پایین

رکوردهای زلزله

شتابنگاشت حوزه نزدیک زمین لرزه ایرپینیا، ثبت شده در ایستگاه Bagnoli Irpinio با حداکثر شتاب $PGA=0.202g$ و زمین لرزه طیس، ثبت شده در ایستگاه 9101 Tabas با حداکثر شتاب $PGA=0.852g$ مورد استفاده قرار گرفته است که طیف آن ها با طیف آیین نامه 2800 برای زمین های نوع 1 و مناطق با لرزه ای خیزی خیلی زیاد منطبق شده است.



شکل (8): نمودار تاریخچه زمانی زلزله ایرپینیا (شکل راست) و زلزله طیس (شکل چپ)

نتایج

زمانی که قاب به جداساز مجهز نشده است ماکزیمم لنگر در ستون های طبقات تحت زلزله ایرپینیا 554.795 (تن در متر) و تحت زلزله طیس 1021.361 (تن در متر) می باشد. جدول 1 این ماکزیمم مقدار را برای قاب مجهز شده به جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، در حالت های مختلف مدلسازی شده در نرم افزار را نشان می دهد. با توجه به چهار حالت مدلسازی برای این نوع جداساز مشاهده می شود میانگین این ماکزیمم مقدار در قاب جداسازی شده برای زلزله ایرپینیا 395.537 (تن در متر) و برای زلزله طیس 104.202 (تن در متر) می باشد.

جدول (1): ماکزیمم لنگر در ستون های طبقات (تن در متر) تحت زلزله حوزه نزدیک گسل

نحوه مدلسازی جداساز	ماکزیمم مقدار تحت زلزله ایرپینیا	ماکزیمم مقدار تحت زلزله طبس
موازی	409.579	103.486
موازی باگپ	409.742	103.460
سری	381.884	104.941
سری باگپ	380.941	104.920

در قاب مجهز نشده به جداساز، ماکزیمم شتاب طبقات تحت زلزله ایرپینیا 18.456 (متر بر مجذور ثانیه) و تحت زلزله طبس 21.310 (متر بر مجذور ثانیه) می باشد. جدول 2 این ماکزیمم مقدار را برای قاب مجهز شده به جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، در حالت های مختلف مدلسازی شده در نرم افزار را نشان می دهد. با توجه به چهار حالت مدلسازی برای این نوع جداساز مشاهده می شود میانگین این ماکزیمم مقدار در قاب جداسازی شده برای زلزله ایرپینیا 12.885 (متر بر مجذور ثانیه) و برای زلزله طبس 7.798 (متر بر مجذور ثانیه) می باشد.

جدول (2): ماکزیمم شتاب طبقات (متر بر مجذور ثانیه) تحت زلزله حوزه نزدیک گسل

نحوه مدلسازی جداساز	ماکزیمم مقدار تحت زلزله ایرپینیا	ماکزیمم مقدار تحت زلزله طبس
موازی	10.682	8.005
موازی باگپ	10.692	8.004
سری	15.057	7.593
سری باگپ	15.107	7.588

زمانی که قاب به جداساز مجهز نشده است ماکزیمم جابجایی نسبی طبقات تحت زلزله ایرپینیا 53.230 (میلیمتر) و تحت زلزله طبس 97.608 (میلیمتر) می باشد. جدول 3 این ماکزیمم مقدار را برای قاب مجهز شده به جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، در حالت های مختلف مدلسازی شده در نرم افزار را نشان می دهد. با توجه به چهار حالت مدلسازی برای این نوع جداساز مشاهده می شود میانگین این ماکزیمم مقدار در قاب جداسازی شده برای زلزله ایرپینیا 36.902 (میلیمتر) و برای زلزله طبس 4.909 (میلیمتر) می باشد.

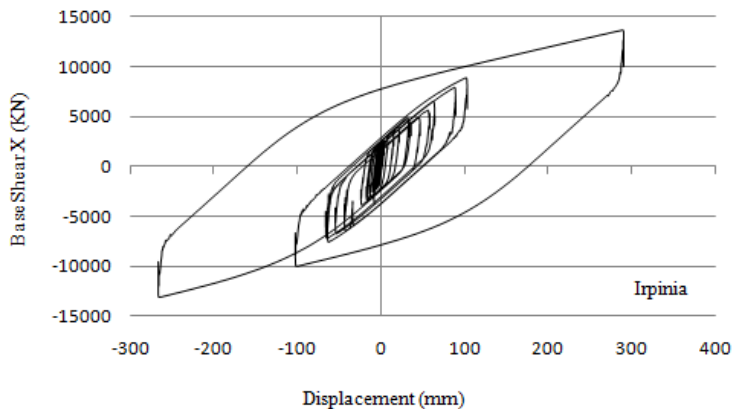
جدول (3): ماکزیمم جابجایی نسبی طبقات (میلیمتر) تحت زلزله حوزه نزدیک گسل

نحوه مدلسازی جداساز	ماکزیمم مقدار تحت زلزله ایرپینیا	ماکزیمم مقدار تحت زلزله طبس
موازی	37.952	4.485
موازی باگپ	37.964	4.486
سری	35.704	5.326
سری باگپ	35.989	5.338

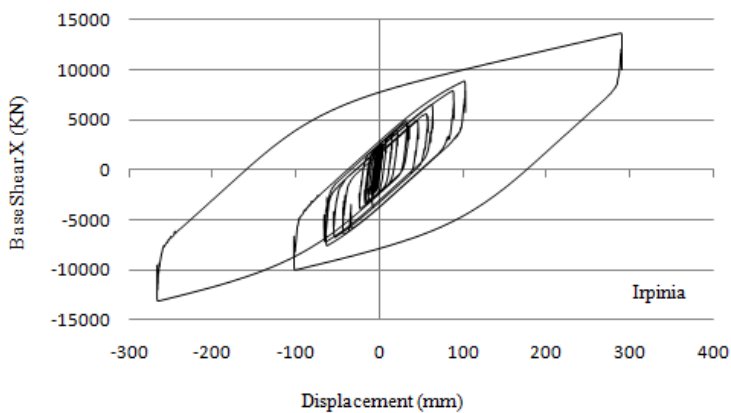
در قاب مجهز نشده به جداساز، ماکزیمم برش پایه تحت زلزله ایرپینیا 17066.383 (کیلو نیوتن) و تحت زلزله طبس 28388.384 (کیلو نیوتن) می باشد. جدول 4 این ماکزیمم مقدار را برای قاب مجهز به جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، در حالت های مختلف مدلسازی شده در نرم افزار را نشان می دهد. با توجه به چهار حالت مدلسازی برای این نوع جداساز مشاهده می شود میانگین این ماکزیمم مقدار در قاب جداسازی شده برای زلزله ایرپینیا 13079.897 (کیلو نیوتن) و برای زلزله طبس 2505.571 (کیلو نیوتن) می باشد. در اشکال 9 تا 16 چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز به کار رفته نشان داده شده است.

جدول (4): ماکزیمم برش پایه (کیلو نیوتن) تحت زلزله حوزه نزدیک گسل

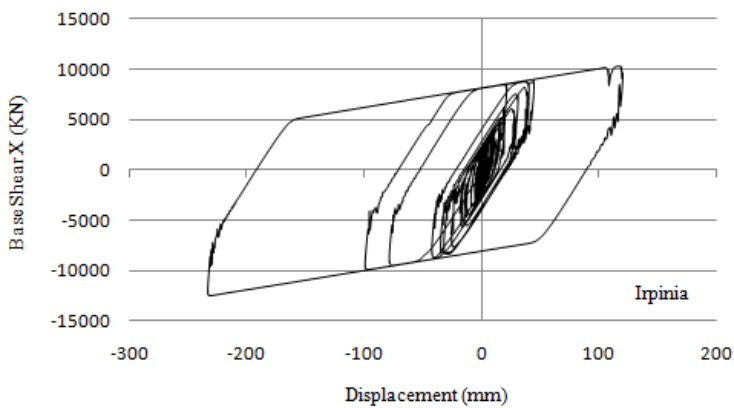
نحوه مدلسازی جداساز	ماکزیمم مقدار تحت زلزله ایرپینیا	ماکزیمم مقدار تحت زلزله طبس
موازی	13630.772	2515.172
موازی با گپ	13635.827	2514.904
سری	12517.444	2495.833
سری با گپ	12535.543	2496.374



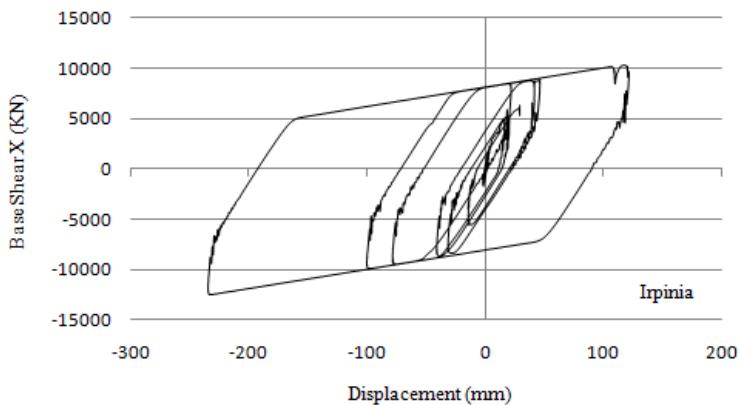
شکل (9): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت موازی تحت زلزله ایرپینیا



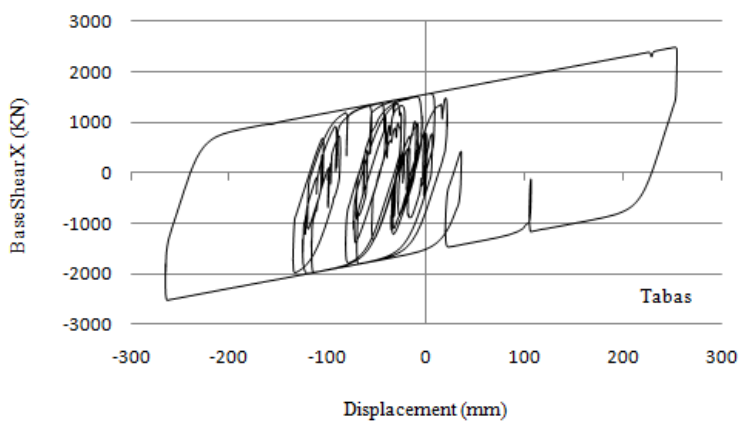
شکل (10): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت موازی با گپ تحت زلزله ایرپینیا



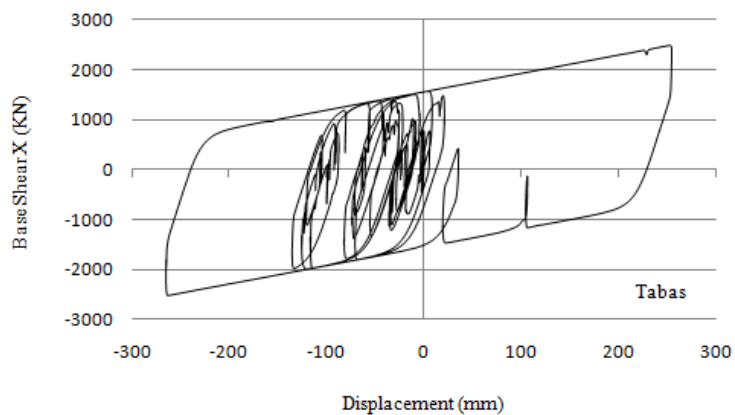
شکل (11): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت سری تحت زلزله ایرپینیا



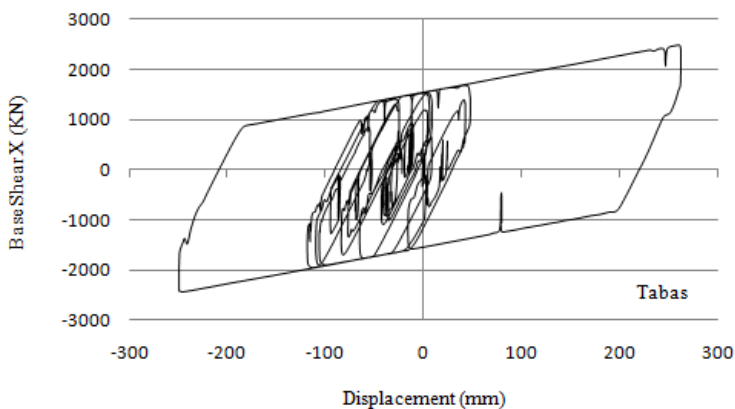
شکل (12): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت سری با گپ تحت زلزله ایرپینیا



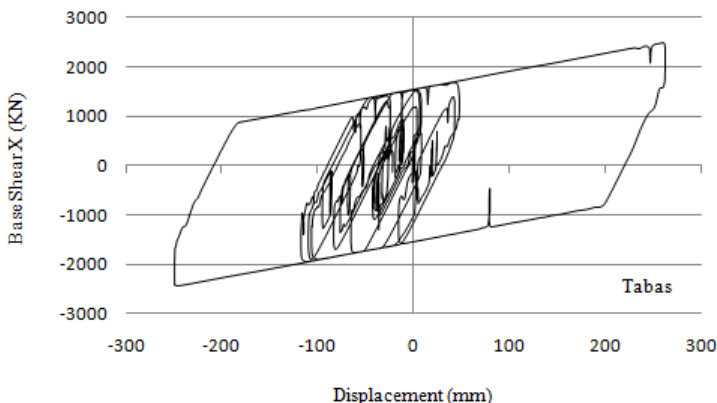
شکل (13): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت موازی تحت زلزله طبس



شکل (14): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت موازی با گپ تحت زلزله طبس



شکل (15): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت سری تحت زلزله طبس



شکل (16): چرخه های برش پایه - جابجایی جداساز مدل شده به صورت سری با گپ تحت زلزله طبس

نتیجه گیری

با جداسازی قاب توسط جداساز پاندولی اصطکاکی سه قوسی، مقادیر عملکردهای قاب از جمله لنگر ستون های طبقات، شتاب طبقات، جابجایی نسبی طبقات و برش پایه در حین تحریکات ناشی از زمین لرزه، نسبت به ساختمان جداسازی نشده، به میزان قابل توجهی کاهش یافت. با مقایسه درصدهای کاهش یافته این مقادیر تحت زلزله های حوزه نزدیک گسل مورد بررسی، مشاهده شد ماکزیمم لنگر ستون های طبقات برای زلزله ایرپینیا و طبس به ترتیب به میزان 28.71 و 89.80 درصد کاهش یافت. میزان کاهش برای ماکزیمم شتاب طبقات تحت زلزله ایرپینیا 30.19 درصد و تحت زلزله طبس 63.41 درصد می باشد. ماکزیمم جابجایی نسبی طبقات برای زلزله ایرپینیا و طبس به ترتیب به میزان 30.67 و 94.97 درصد کاهش یافت. همچنین برای ماکزیمم برش های پایه، به میزان 23.36 و 91.17 درصد، به ترتیب برای زلزله ایرپینیا و طبس کاهش حاصل گردید. در نتیجه استفاده از این جداساز، موجب بهبود عملکرد لرزه ای قاب در هر دو زلزله مورد بررسی گردید. مشاهده می شود مقادیر پاسخ های لرزه ای در زمین لرزه ای که دارای PGA بالاتر است کاهش بیشتری می یابد.

مراجع

- [1] CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, August 2010.
- [2] Naeim F, Kelly J.M., Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [3] Scheaua Fanel, Siesmic, Seismic Base Isolation of Structures Using Friction Pendulum Bearing, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, 2011.
- [4] Lu Lyan-Ywan, Lin Chi-Chang, Lin Ging-Long, Experimental Evaluation of Supplemental Viscous Damping for a Sliding Isolation System Under Pulse-Like



- Base Excitations, Elsevier, Journal of Sound and Vibration, 332 (2013) 1982-1999, 2012.
- [5] Constantinou M.C., Whittaker A.S., Kalpakidis Y., Fenz D.M., Warn G.P., Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading, Technical Report MCEER, August 2007.
- [6] Fenz D.M, Constantinou M.C., Mechanical Behavior of Multi-Spherical Sliding Bearings, Technical Report MCEER, March 2008.
- [7] Ma Q.T., Watkins J., Cutfield M.R., O'Hagan J.T., Volynkin D., Wotherspoon L.M., Blind Prediction on the Seismic Response of a 5 Storey Steel Frame Building on Triple Friction Pendulum Isolators, 15 WCEE, 2012.