

کنترل پاسخ لرزه ای ساختمان با جداساز پاندولی اصطکاکی و میراگر ویسکوز غیر خطی

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

جداسازی پایه روش مناسبی برای مقابله با تحریکات لرزه ای است. برای کاهش تغییر مکان سامانه جداسازی و کاهش پاسخ شتاب می توان از میراگر همزمان با جداساز استفاده کرد. در مقاله حاضر ساختمان فولادی 5 طبقه، بدون خروج از مرکزیت و با خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد در حالت جداسازی شده با جداساز پاندولی اصطکاکی به همراه میراگر ویسکوز غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ها تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی شده و پاسخ های لرزه ای با یکدیگر مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: خروج از مرکزیت، جداساز پاندولی اصطکاکی، میراگر ویسکوز غیرخطی، حوزه نزدیک گسل، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

مقدمه

جداسازی لرزه ای روشی برای محافظت ساختمان ها در برابر خسارات ناشی از زلزله بوده و این عمل با محدود ساختن اثر تخریبی زلزله انجام می پذیرد. با توجه به اینکه سازه های نامنظم در مقایسه با سازه های منظم، در هنگام وقوع زلزله از عملکرد مناسبی برخوردار نیستند، بی نظمی های موجود در سازه که در هنگام وقوع زلزله موجب تشدید اثر آن در سازه خواهد شد، باید مورد توجه بیشتری قرار بگیرد. بیشتر روش های مطرح شده، برای سازه های منظم مورد بحث و ارزیابی قرار گرفته اند. در این مقاله کنترل پاسخ های لرزه ای ساختمانی جداسازی شده توسط جداساز پاندولی اصطکاکی و میراگر ویسکوز غیر خطی، در حالت منظم و نامنظم مورد بررسی قرار گرفته است تا تاثیر سیستم جداسازی برای این دو حالت مشخص گردد.

مدل مورد مطالعه

مدل سه بعدی سازه فولادی با کاربری مسکونی و سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط مورد مطالعه قرار گرفته است. این ساختمان شامل 5 طبقه با ارتفاع طبقات برابر 3.2 متر و 5 دهانه 5 متری در جهت x و 3 دهانه 5 متری در جهت y می باشد. موقعیت این ساختمان در منطقه ای با بهنه خطر نسبی خیلی زیاد بوده و خاک منطقه از نوع 2 می باشد. جرم لرزه ای ساختمان به صورت بار مرده و 20 درصد بار زنده در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب جرم کل ساختمان 118.12 ton به دست آمده است. یکی از دلایل ایجاد نامنظمی در ساختمان، فاصله بین مرکز جرم و سختی می باشد. زمانی که این فاصله در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از 20 درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر شود ساختمان نامنظم محسوب می شود. برای اعمال خروج از مرکزیت های مورد نظر، مرکز جرم طبقات در مدل ها، به اندازه های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد بعد سازه برای هر راستا جابجا شده و مرکز سختی مدل ها منطبق بر مرکز هندسی در طبقات قرار گرفته است. برای تیرها و ستون ها از مقطع HEB(IPB) استفاده شده است و فولاد در نظر گرفته شده برای طراحی ساختمان از نوع فولاد ST37 می باشد. طراحی ساختمان بر اساس آیین نامه UBC97 انجام شده است [1]. در زیر هر ستون یک جداساز پاندولی اصطکاکی به کار رفته و به هر جداساز در راستای دو محور افقی متعامد یک میراگر ویسکوز غیرخطی وصل شده است. مدلسازی توسط نرم افزار SAP2000 انجام شده است [2].

جداساز پاندولی اصطکاکی

در مطالعات مختلفی، به معرفی جداساز پاندولی اصطکاکی که با نام جداساز FPS شناخته می شود پرداخته شده است [3,4,5,6]. این جداگر یک سیستم جداسازی اصطکاکی است که به وسیله هندسه خاص خود، عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می کند. این جداساز دارای یک قسمت لغزنده است که بر روی یک سطح کرومی از جنس فولاد ضد زنگ می لغزد. سطحی از این قسمت مفصلی که در تماس با سطح کرومی است با موادی با اصطکاک کم مانند تفلون، پلی اتیلن فوق سنگین (UHMW-PE) پوشیده شده است. این سطح در یک شیار کرومی که آن هم از ترکیباتی با اصطکاک کم پوشیده شده قرار می گیرد. با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کرومی، جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می شود. اصطکاک بین سطح لغزنده و سطح کرومی نیز سبب ایجاد میرایی در جداسازها می شود. در این مقاله برای جداساز، حداکثر تغییر مکان 0.4 متر، شعاع انحنا سطح 2 متر و ضریب اصطکاک سطح 0.09 در نظر گرفته شده است. نیروی مقاوم F که در اثر اعمال بار به یک جداساز پاندولی اصطکاکی در آن ایجاد می شود از رابطه زیر حاصل می شود.

$$F = \frac{W}{R}D + \mu W(\text{sgn}\dot{D}) \quad (1)$$

در این رابطه W بار روی جداساز، R شعاع انحنای سطح، D تغییر مکان افقی، μ ضریب اصطکاک و \dot{D} سرعت لغزش در جداساز می باشد. عبارت اول در رابطه نیروی مقاوم، نیروی بازگرداننده ناشی از بلند شدن جرم بوده که سبب ایجاد سختی افقی می شود. این سختی افقی، دوره تناوب جدا شده را به صورت زیر در می آورد که مستقل از جرم روی آن است. عبارت دوم نیز، نیروی اصطکاک بین قسمت لغزنده و سطح برآمده است. سختی افقی (K_H)، دوره تناوب (T) و فرکانس (ω) سازه جدا شده از روابط زیر بدست می آیند.

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (2)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

ضریب اصطکاک μ از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\mu = f_{max} - (f_{max} - f_{min})\exp(-a|\dot{d}|) \quad (5)$$

در این رابطه f_{min} و f_{max} به ترتیب بیشترین و کمترین ضرایب اصطکاک جداساز در بیشترین و کمترین سرعت های لغزش، α پارامتر کنترل کننده تغییرات μ می باشد. سختی موثر سامانه جداسازی با فرمول زیر تعیین می شود.

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \mu \frac{W}{D} \quad (6)$$

میراگر ویسکوز

در این نوع میراگر یک پیستون مرکزی در محفظه ای پر از سیال حرکت می کند. پیستون با حرکت خود سیال را به منافذ پیرامونی و درونی خود وارد می کند. سرعت سیال در این ناحیه بسیار بالاست. لذا تقریباً تمام انرژی فشاری بالا دست جریان تبدیل به انرژی جنبشی می شود. هنگامی که سیال بعداً در سمت دیگر سر پیستون

به حجم کامل خود برمی گردد، سرعت آن کاهش می یابد و انرژی جنبشی آن از دست رفته و به حالت متلاطم در می آید. این حرکت رفت و برگشتی سبب ایجاد اختلاف فشار زیاد و ایجاد نیرویی عظیم شده که در برابر حرکت میراگر مقاومت می کند. در واقع میراگر ویسکوز وسیله ای است که یک نیروی مقاوم را با توجه به سرعت نیروی وارده به سازه تامین می نمایند. میراگر ویسکوز غیرخطی در راستای دو محور افقی متعامد، به جداساز پاندولی اصطکاکی وصل شده است. توان سرعت میراگر ویسکوز غیرخطی 0.5 در نظر گرفته شده است تا رفتار میرایی آن دارای تابع غیرخطی باشد. نیروی میرایی یک میراگر ویسکوز مایع غیرخطی از رابطه زیر بدست می آید.

$$F_D = c|\dot{u}|^\alpha \text{sgn}(\dot{u}) \quad (7)$$

در این رابطه c ضریب میرایی، \dot{u} سرعت، α توان میرایی میراگر و $\text{sgn}(\dot{u})$ نشانگر علامت و جهت حرکت می باشد. اگر توان سرعت یک باشد نیروی میرایی دارای تابع خطی و در غیر اینصورت دارای تابع غیرخطی می باشد و به اصطلاح این دو حالت را میرایی خطی و میرایی غیرخطی می نامند. توان سرعت در میرایی غیر خطی به طور معمول بین 0.1 تا 2 می باشد. مقدار این عدد وابسته به کاربرد آن است. برای کاربرد لرزه ای، عددی کمتر از یک مناسب است. مزیت اصلی استفاده از توان های پایین سرعت در تابع میرایی این است که باعث محدود شدن پیک نیروهای میرایی در مقادیر پایین و در نتیجه، کاهش مقادیر برش پایه سازه می شود. در مقابل، استفاده از میراگر با تابع خطی، تا حدودی باعث کاهش اثر میرایی و همچنین افزایش نیروها می شود. به طور معمول، توان سرعت در تابع میرایی، بین 0.4 تا 0.7 عملکرد لرزه ای بهتری نسبت به حالت خطی دارد [7, 8, 9, 10].

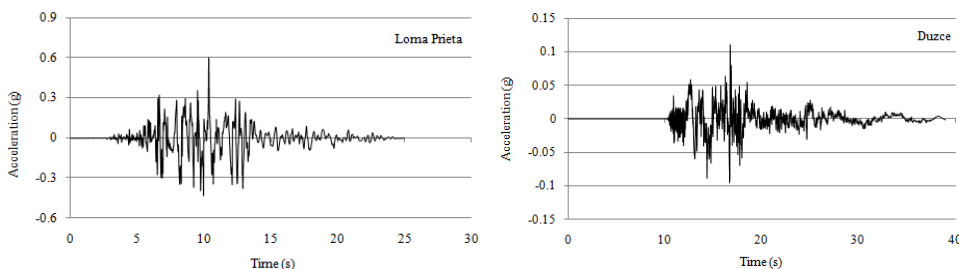
ضریب میرایی مکمل c تابعی از میرایی روسازه (ξ) می باشد که با توجه به سختی کل جداسازها (K) و جرم کل سازه (m) در هر یک از دو محور مورد بررسی با فرمول زیر تعیین می گردد.

$$c = 2\xi\omega m = 2\xi\sqrt{\frac{K}{m}}m = 2\xi\sqrt{Km} \quad (8)$$

رکوردهای زلزله

شتابنگاشت حوزه نزدیک زمین لرزه دوزجه، ثبت شده در ایستگاه Lamont 1058 با حداکثر شتاب PGA=0.111g و زمین لرزه لوما پریتا، ثبت شده در ایستگاه LGPC با حداکثر شتاب PGA=0.605g مورد استفاده قرار گرفته است که طیف آن ها با طیف آیین نامه 2800 برای زمین های نوع 2 و مناطق با لرزه ای خیزی

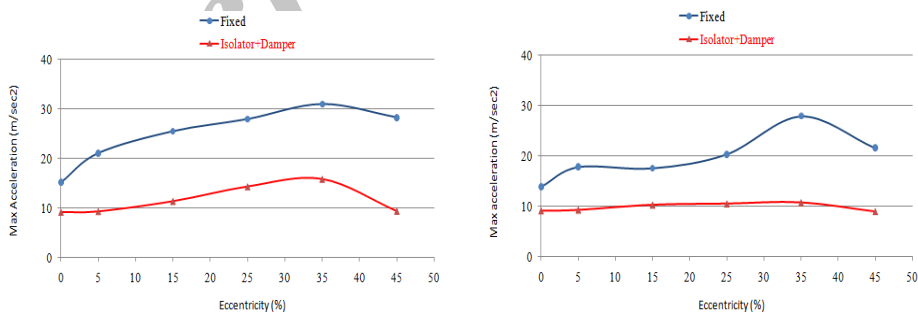
خیلی زیاد منطبق شده است. مدل های سازه ای با اعمال شتابنگاشت به طور همزمان در راستای محور X و Y، آنالیز دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی به روش انتگرال گیری مستقیم شده است.



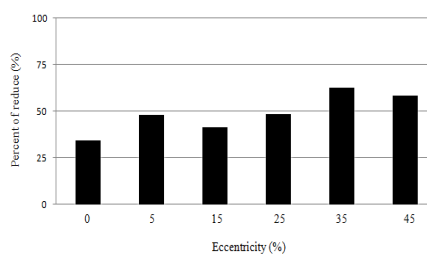
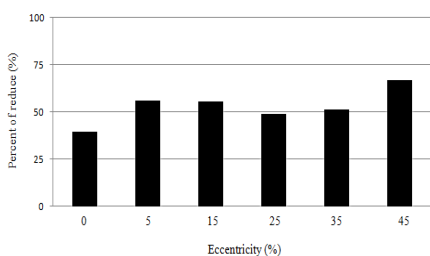
شکل (1): نمودار تاریخچه زمانی زلزله دوزجه (شکل راست) و زلزله لوما پریتا (شکل چپ)

نتایج

با توجه به اشکال 2 و 3 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله دوزجه قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم شتاب 3.4٪ در راستای محور X و 39.4٪ در راستای محور Y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم شتاب در راستای محور X به ترتیب 47.7، 41.3، 48.3، 62.1 و 58.3 درصد و در راستای محور Y به ترتیب 55.7، 55.4، 48.9، 51 و 66.8 درصد کاسته شد.

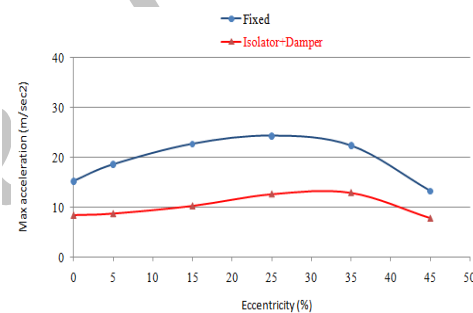
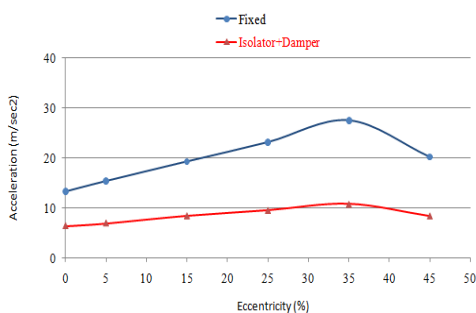


شکل (2): ماکزیمم شتاب در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

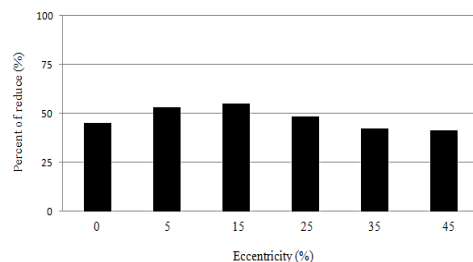
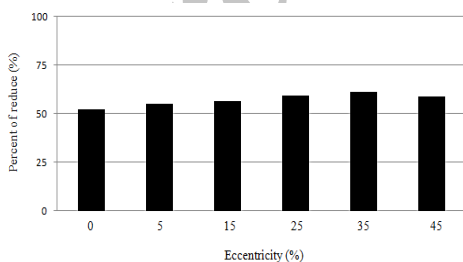


شکل (3): میزان کاهش ماکزیمم شتاب در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

با توجه به اشکال 4 و 5 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله لوما پریتا قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم شتاب 44.7٪ در راستای محور X و 51.8٪ در راستای محور Y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم شتاب در راستای محور X به ترتیب 52.9، 54.7، 48، 42.1 و 40.9 درصد و در راستای محور Y به ترتیب 54.9، 56.3، 58.9، 60.9 و 58.5 درصد کاسته شد.



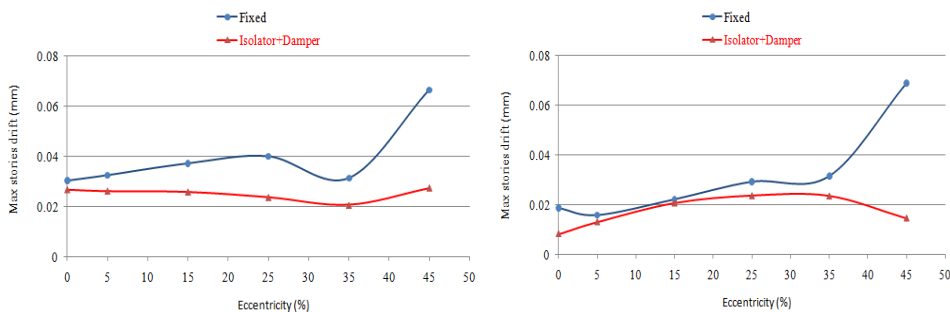
شکل (4): ماکزیمم شتاب در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)



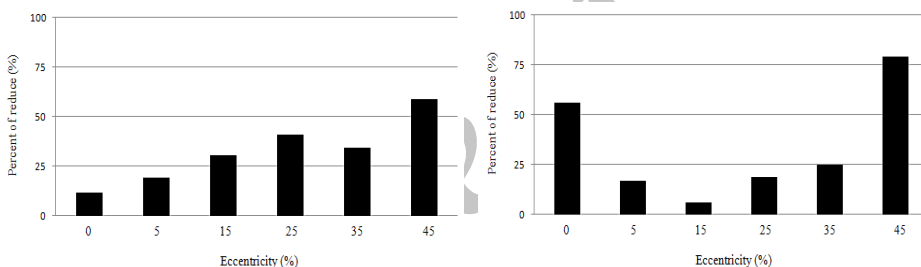
شکل (5): میزان کاهش ماکزیمم شتاب در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

با توجه به اشکال 6 و 7 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله دوزجه قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم دیربفت طبقات 55.8٪ در راستای محور X و 11.4٪ در راستای

محور y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور x به ترتیب 16.9، 6، 18.6، 24.8 و 78.8 درصد و در راستای محور y به ترتیب 19.2، 30.3، 40.7، 34.3 و 58.6 درصد کاسته شد.

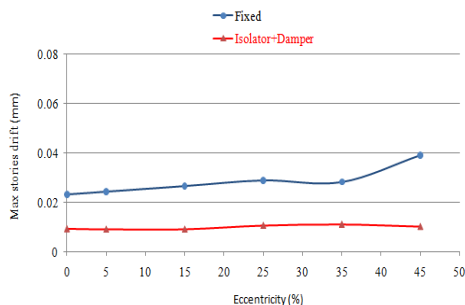
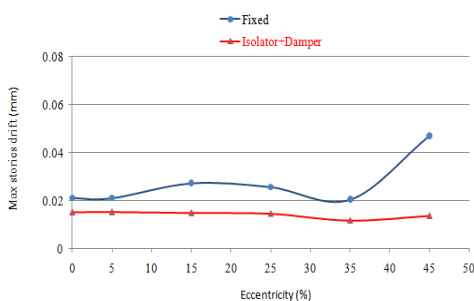


شکل (6): ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور x (شکل راست) و محور y (شکل چپ)

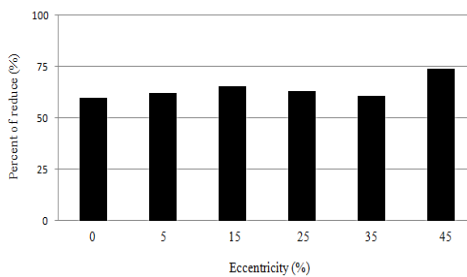
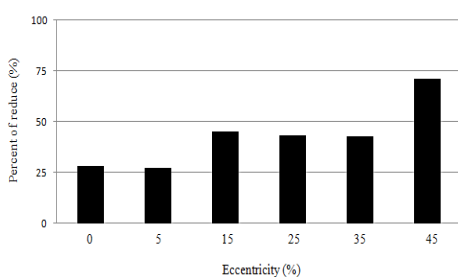


شکل (7): میزان کاهش ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور x (شکل راست) و محور y (شکل چپ)

با توجه به اشکال 8 و 9 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله لوما پریتا قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم دیررفت طبقات 59.5٪ در راستای محور x و 27.7٪ در راستای محور y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور x به ترتیب 62، 65.2، 62.8، 60.4 و 73.5 درصد و در راستای محور y به ترتیب 27.2، 45.1، 43.1، 42.5 و 70.8 درصد کاسته شد.

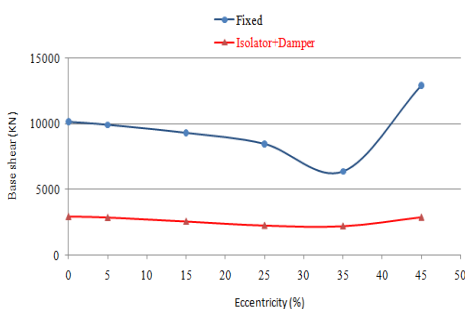
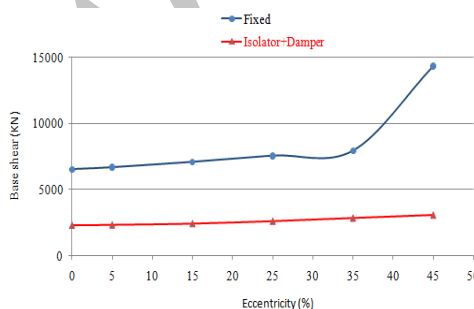


شکل (8): ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

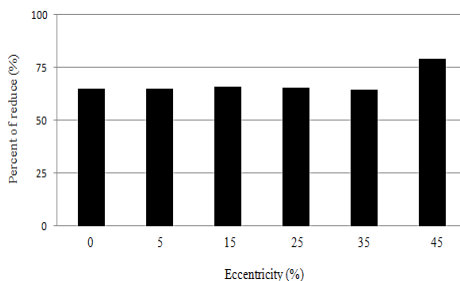
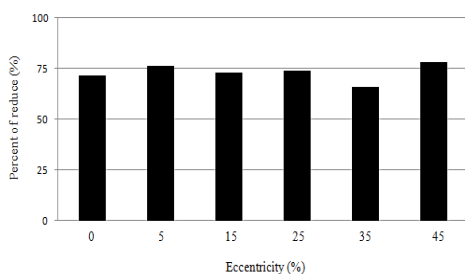


شکل (9): میزان کاهش ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

با توجه به اشکال 10 و 11 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله دوزجه قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم برش پایه 64.4٪ در راستای محور X و 71.3٪ در راستای محور Y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور X به ترتیب 64.8، 65.6، 65.4، 64.2 و 78.7 درصد و در راستای محور Y به ترتیب 75.9، 72.6، 73.47، 65.4 و 77.9 درصد کاسته شد.

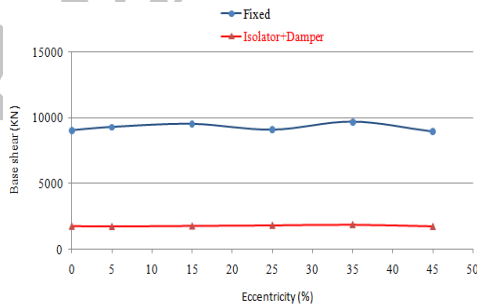
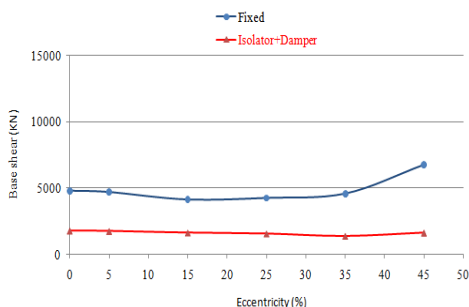


شکل (10): ماکزیمم برش پایه در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

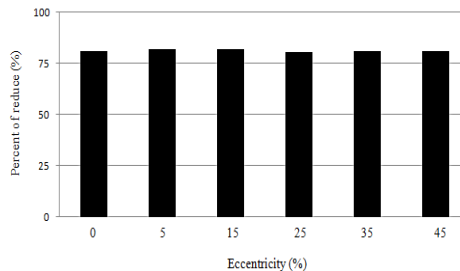
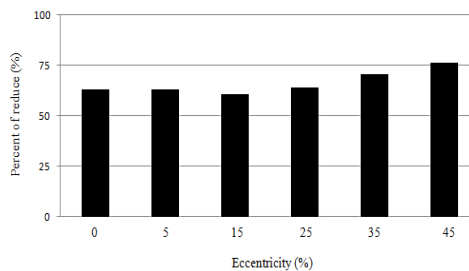


شکل (11): میزان کاهش ماکزیمم برش پایه در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

با توجه به اشکال 12 و 13 زمانی که ساختمان مورد نظر بدون خروج از مرکزیت تحت تحریک زلزله لوما پریتا قرار گرفت با جداسازی ساختمان از میزان ماکزیمم برش پایه 80.9٪ در راستای محور X و 62.9٪ در راستای محور Y کاسته شد. در خروج از مرکزیت های 5، 15، 25، 35 و 45 درصد، ماکزیمم دیررفت طبقات در راستای محور X به ترتیب 81.7، 81.6، 80.2، 80.9 و 80.9 درصد و در راستای محور Y به ترتیب 62.7، 60.7، 63.5، 70.2 و 76 درصد کاسته شد.



شکل (12): ماکزیمم برش پایه در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)



شکل (13): میزان کاهش ماکزیمم برش پایه در راستای محور X (شکل راست) و محور Y (شکل چپ)

نتیجه گیری

با جداسازی ساختمان توسط جداساز پاندولی اصطکاکی و میراگر ویسکوز غیرخطی مکمل وصل شده به جداساز، مقادیر پاسخ های لرزه ای ساختمان از جمله شتاب ساختمان، دیررفت 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 در راستای هر دو محور افقی متعامد و تحت زلزله های حوزه نزدیک گسل مورد بررسی، مشاهده شد ماکزیمم شتاب های ساختمان در حالت های منظم و نامنظم به ترتیب، حداکثر به میزان 56.3 و 66.8 درصد کاهش یافت. حداکثر میزان کاهش برای ماکزیمم دیررفت های طبقات برای حالت های منظم 65.2 و برای حالت های نامنظم 78.8 درصد می باشد. همچنین برای ماکزیمم برش های پایه، به میزان 81.7 و 80.9 درصد، به ترتیب برای حالت های منظم و نامنظم کاهش حاصل گردید. در نتیجه استفاده از این سیستم جداسازی، بر عملکرد لرزه ای ساختمان در حالت های منظم و نامنظم بهبود مناسبی دارد و مقادیر پاسخ های لرزه ای را کاهش قابل ملاحظه ای می دهد.

مراجع

- [1] UBC 97, Uniform Building Code, 1997.
- [2] CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, August 2010.
- [3] Naeim F, Kelly J.M., Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [4] Scheaua Fanel, Siesmic, Seismic Base Isolation of Structures Using Friction Pendulum Bearing, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, 2011.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] GOEL, Rakesh K., Seismic Response Control of Irregular Structures Using Nonlinear Dampers, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 3212, August 1-6, 2004.
- [8] Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F., Yao, J.T.P, Structural Control: Past, Present, and Future, Journal of Engineering Mechanics, Vol.123, No.9, pp.897-971, 1997.
- [9] Symans, M.D., Charney, F.A., Whittaker, A.S, Constantinou, M.C., Kircher, C.A., Johnson, M.W., McNamara, R.J., Energy Dissipation Systems for Seismic



- Applications: Current Practice and Recent Developments, Journal of Structural Engineering, Vol.134, No.1, pp.3-21, 2008.
- [10] Taylor, D.P., Constantinou, M.C., Test Methodology and Procedures for Fluid Viscous Dampers Used in Structures to Dissipate Seismic Energy, Technical Report, Taylor Devices, 1994.

Archive of SID