



بررسی عملکرد سازه‌ی جداساز شده با تکنولوژی آلیاژ حافظه‌دار شکلی

شقایق الوندی^۱، مهدی قاسمیه^۲
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۰۶)

چکیده

اغلب سیستم‌های مستهلک کننده انرژی دارای محدودیت‌هایی از قبیل عمر مفید، پایداری، نگهداری، پیچیدگی نصب، احتیاج به تعویض و اعمال تغییر در هندسه سازه پس از وقوع زلزله می‌باشند. در سال‌های اخیر استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی (Shape Memory Alloy) در جهت بهبود رفتار جداسازهای پایه مورد توجه قرار گرفته است. عدم باقی‌گذاشتن کرنش پسماند، قابلیت استهلاک مناسب انرژی، مقاومت در برابر خستگی و خوردگی از خصوصیات منحصر به فرد این آلیاژ می‌باشد. هدف از این مقاله بررسی اثر استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی هوشمند، با خصوصیت رفتار فوق الاستیک، در سازه‌های جداساز شده در پایه می‌باشد. در تحقیق حاضر دستگاه جداساز نوین با استفاده از تکنولوژی آلیاژهای حافظه‌دار ارائه گردیده است. به همین منظور سازه ۳ طبقه فولادی مدلسازی شده و مزیت دستگاه جداساز نوین ارائه شده در مقایسه با جداسازهای رایج نیز مورد بررسی قرار گرفته است. دستگاه جداساز ترکیبی با SMA با استفاده از پاسخ‌های متفاوت آلیاژ در سطوح مختلف کرنش باعث بهبود عملکرد سازه در طول زلزله می‌شود. نتایج تحلیل تاریخچه زمانی بیانگر افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و محدود نمودن تغییر مکان نسبی بین پایه و سازه فوقانی می‌باشد.

کلمات کلیدی

جداسازهای پایه، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، تحلیل تاریخچه زمانی، الاستومر

Performance Analysis of base Isolated System Equipped with Shape Memory Alloy

S. Alvandi, M. Ghassemieh

ABSTRACT

Most energy dissipation system have some limitations and drawbacks such as difficulties related to ageing, durability, complexity of the installation, maintenance and placing permanent displacements after strong earthquakes. Characteristics such as large strain range without any residual deformation, high damping capacity, excellent re-centering, high resistance to fatigue and corrosion and durability have made shape memory alloy an effective damping device or part of base isolators. This paper investigates the seismic performance of an elastomeric bearing type base isolation system utilizing the shape memory alloys. To provide this investigation, a nonlinear structural model has been developed. The results of dynamic time history analyses reveal the significant characteristics of the proposed structural isolation system. This smart base isolation utilizes the different responses of shape memory alloys at several levels of strain to control the displacements of the rubber bearing and base shear at excitation level. Furthermore the proposed based isolation systems has enhanced performance in terms of response reduction and re-centering capacity.

KEYWORDS

Base isolation systems, Elastomeric bearing, Shape memory alloys, Time history analysis

۱- کارشناس ارشد زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، sh.alvandi89@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، mghassem@ut.ac.ir



روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در اصل مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی یک سازه با مقاومت زیاد و شکل‌پذیر که قادر به تحمل نیروهای داخلی ناشی از زلزله است مدنظر قرار می‌گیرد. که در نتیجه ابعاد اعضا افزایش یافته و اعضای اضافی بابدندی یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت‌کننده به وجود می‌آید.

افزایش سختی سازه در مقابل باعث جذب نیروی بیشتر زلزله و نیاز به مقاوم‌تر کردن سازه را به دنبال خواهد داشت که خود موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه می‌گردد. براساس مشاهدات، پس از زلزله‌های شدید سازه‌های ساخته شده براساس روش‌های طراحی و ساخت مرسوم، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می‌کنند که این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند، احتمال قطع خدمات ارائه شده از شبکه‌های مختلف در شریان‌های حیاتی مانند تلفن، حمل و نقل، بیمارستان‌ها، برق و آب را به همراه دارد.

بنابراین برای دسته‌ای از سازه‌ها مانند بیمارستان‌ها، ساختمان‌های دارای ارزش هنری، پل‌های مهم، نیروگاه‌های برق هسته‌ای، موزه‌ها و سازه‌های مهمی که در مناطق با احتمال زیاد وقوع زلزله‌های شدید قرار دارند، روش طراحی بر اساس شکل‌پذیری ممکن است مناسب نباشد. این امر نیاز به پیش‌بینی تمهیدات لازم برای ارتقای سطح ایمنی این بناها در برابر زلزله را به همراه دارد. با این پیش زمینه، روش‌های کنترل لرزه‌ای سازه‌ها به عنوان روش‌هایی که در آن‌ها با کمک تعبیه تجهیزاتی در سازه، مشخصات و رفتار دینامیکی آن در زمان ارتعاش تنظیم شده و نیروهای کمتری به سازه در حال ارتعاش اعمال می‌گردند، گزینه‌ای مناسب و قابل بررسی در طراحی لرزه‌ای یک ساختمان هستند.

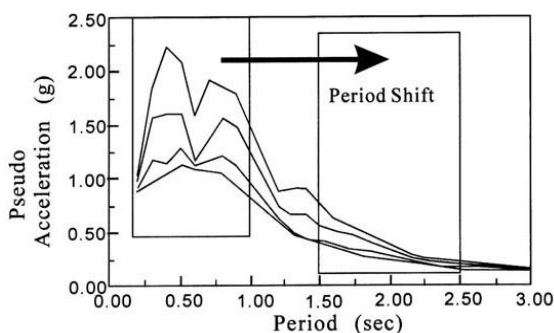
سیستم جداساز لرزه‌ای تکنولوژی جدیدی برای کنترل لرزه‌ای سازه‌ها و یک روش مقاومت در برابر زلزله بر اساس مفهوم کاهش تقاضای لرزه‌ای به نسبت افزایش ظرفیت مقاومتی سازه می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از

آلیاژهای حافظه دار شکلی (Shape Memory Alloy) در جهت بهبود رفتار جداسازهای پایه مورد توجه قرار گرفته است. عدم نیاز به تعویض پس از زلزله، قابلیت استهلاک زیاد انرژی، مقاومت بالا در برابر خوردگی و خستگی، قابلیت بازگشت به حالت اولیه به وسیله اعمال دما و عدم باقی‌گذاشتن کرنش پسماند از خصوصیات این آلیاژ می‌باشد. در بین آلیاژهای حافظه دار شکلی، نیتول که ترکیبی از نیکل و تیتانیوم است، بیشترین کاربرد را دارا می‌باشد. این آلیاژ به علت ویژگی فوق الاستیک و حافظه شکلی قادر به تحمل کرنش‌های بزرگ تا حدود ده درصد، بدون کرنش پسماند بوده و همچنین قادر به حذف کرنش‌های پسماند به کمک اعمال دما می‌باشند [۱].

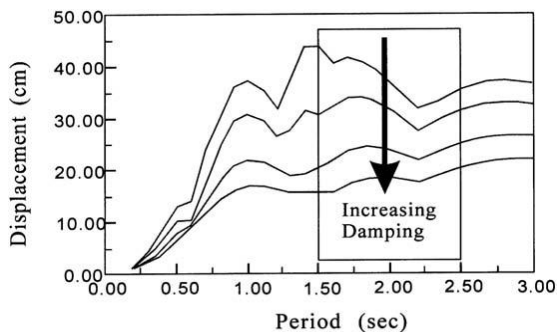
محققین بسیاری کاربرد آلیاژهای حافظه دار را در سیستم‌های جداساز پایه مورد بررسی قرار داده‌اند. corbi یک قاب با عملکرد برشی را که با استفاده از کابل‌های SMA در تراز پایه جداسازی شده بود، مورد بررسی قرار داد [۲]. این جداساز قادر به اتلاف انرژی دینامیکی بوده و همچنین مانع ورود سیستم به فاز پلاستیک می‌گردد. سیستم جداساز پیشنهاد شده با استفاده از کابل‌های SMA ظرفیت دینامیکی سازه را به علت کاهش پاسخ‌ها و توانایی بازگشت‌پذیری افزایش بخشید. Khan و Lagoudas با به‌کارگیری فنر SMA، سیستم یک درجه آزادی را تحت تحریکات ایجاد شده توسط میز لرزه تحلیل نمودند [۳]. فنرهای SMA زمانی به بیشترین تأثیر خود در سیستم جداساز می‌رسند که فرکانس ارتعاش سازه به فرکانس رزونانس نزدیک بوده و یا تحت ترازهای بارگذاری بالاتر قرار گیرد. Casiati و همکارانش دستگاه جداساز نوینی را با استفاده از میله‌های SMA معرفی کردند که نتایج این تحقیق بیانگر اتلاف انرژی بالا به دلیل رفتار فوق الاستیک آلیاژ که منجر به منحنی نیرو-تغییر مکان گسترده‌ای می‌گردد، می‌باشد [۴]. Wilde و همکارانش به بررسی پلی مرتفع با ترکیب الاستومر و آلیاژ حافظه‌دار در مقایسه با جداساز با هسته سربی پرداختند. سیستم جداساز هوشمند با استفاده از پاسخ‌های متفاوت آلیاژ در ترازهای متفاوت کرنش جابجایی‌های تکیه‌گاه لاستیکی را کنترل می‌کند [۵].



زلزله‌های بزرگ الاستیک باقی می‌ماند [۱۱]. در نتیجه جداساز لرزه‌ای به‌طور مؤثری شتاب و تغییر مکان نسبی بین طبقات را کاهش داده و بنابراین راه حلی اقتصادی جهت کاهش خسارت غیرسازه‌ای فراهم می‌گردد. دو مشخصه مهم فوق در شکل‌های (۱) و (۲) قابل مشاهده است. ویژگی اول که اثر انتقال پریود نامیده می‌شود، همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، اگر پریود ارتعاش سازه به‌طور مؤثری افزایش یابد کاهش قابل توجهی در شتاب یا برش پایه سازه امکان‌پذیر می‌گردد. مقدار کاهش به‌طور کلی به ماهیت تکان زمین و زمان تناوب سازه گیردار وابسته است. به‌طور کلی برای افزایش تناوب سازه به انعطاف‌پذیری اضافی احتیاج است که همین امر مطابق شکل (۲) منجر به تغییر مکان‌های نسبی بزرگی در تراز جداساز می‌گردد. ویژگی دوم اثر اتلاف انرژی می‌باشد. که اگر میرایی اضافی بر سیستم اثر کند تغییر شکل‌های سازه شاخصاً کاهش می‌یابد و همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود میرایی بیشتر در سازه به منزله برش پایه کمتر خواهد بود [۱۲].



شکل (۱): طیف شبه شتاب زلزله



شکل (۲): طیف تغییر شکل زلزله

Dolce و همکارانش خواص منحصر به فرد آلیاژ حافظه‌دار شکلی را در دستگاه‌های کنترل لرزه‌ای غیرفعال شامل جداسازهای لرزه‌ای جدید و دستگاه‌های اتلاف انرژی در قالب نمونه‌های آزمایشگاهی بررسی کردند [۶]. Xue و همکارانش در سال ۲۰۰۵ عملکرد پوسته مشبک فضایی را با استفاده از تکیه‌گاه‌های لاستیکی مجهز به SMA بررسی کردند [۷]. Choi و همکارانش در سال ۲۰۰۶ با مجهز نمودن تکیه‌گاه‌های الاستومری (Bearing Elastomeric) با سیم‌های SMA، کاربرد جدیدی از این آلیاژ برای رفع کمبودهای جداسازهای هسته سربی متداول در تکیه‌گاه‌های پل ارائه نمودند [۸].

در مقاله حاضر، سازه ۳ طبقه فولادی که توسط براندو و جانستون براساس پروژه فولادی فاز دوم سک واقع در منطقه لس‌آنجلس کالیفرنیا طراحی شده، در نظر گرفته شده است. سازه‌ی در نظر گرفته شده به‌عنوان الگو توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. این سازه با استفاده از تکیه‌گاه‌های الاستومری جداسازی شده و همچنین به تکنولوژی آلیاژ حافظه‌دار نیز مجهز گردیده است. سازه تحت زلزله Elcentro با PGA برابر ۰/۳۸g و زلزله Kobe با PGA برابر ۰/۵۱g قرار گرفته است. با استفاده از نرم‌افزار Opensees تحلیل تاریخچه زمانی انجام شده و نتایج حاصل در ادامه بیان شده است.

۲- تکنولوژی جداساز پایه

جداسازی سازه‌ها یکی از شناخته‌ترین راه‌های حفاظت از سازه در مقابل نیروهای زلزله می‌باشد. که روش کنترل غیرفعال بوده که معمولاً بین پی و پای سازه نصب می‌شود. در پل‌ها، جداسازها بین عرشه و پایه‌ها به‌عنوان تکیه‌گاه‌های پل نصب می‌گردد. در ساختمان‌ها، جداساز پایه از سازه در مقابل زلزله تحت دو روش فوق محافظت می‌کند: روش اول به وسیله منحرف کردن انرژی لرزه‌ای و انعطاف‌پذیر کردن پای ساختمان در جهت جانبی، باعث افزایش پریود ساختمان می‌شود [۱۰]. کاربرد صحیح از این تکنولوژی منجر به عملکرد بهتر سازه شده تا جاییکه تحت

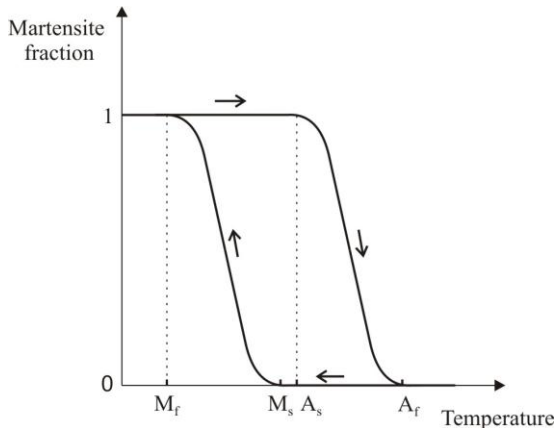
در مهندسی زلزله، پارامتر پاسخ شبه شتاب $A(t)$ یک کمیت مهم بوده چراکه با ضرب آن در M نیروی استاتیکی یا همان برش پایه سازه به دست می آید. طیف پاسخ شبه شتاب همانند شکل (۱)، بیانگر نقطه اوج $A(t)$ وابسته به پریود طبیعی ارتعاش سازه بوده که با ضرب آن در پاسخ جابجایی حاصل از شکل (۲) و طبق رابطه (۱) به دست می آید [۸].

$$A(t) = w^2 u(t) = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u(t) \quad (1)$$

۳- تکنولوژی آلیاژهای حافظه دار شکلی هوشمند

آلیاژهای حافظه دار شکلی در دو حالت کریستالی مارتنزیت و آستنیت موجود می باشند. حالت مارتنزیت در دمای پایین و تنش های بالا پایدار بوده و باعث تشکیل رفتار حافظه شکلی شده و حالت آستنیت در دمای بالا و تنش های پایین پایدار بوده و باعث ایجاد رفتار فوق الاستیک می گردد. لذا با اعمال بارگذاری های حرارتی و یا مکانیکی این دو فاز می توانند به یکدیگر تبدیل شوند. در حالت بدون تنش مواد حافظه دار شکلی دارای چهار دمای شاخص بوده که A_s و A_f دمای آغاز و پایان فاز آستنیت و M_s و M_f دمای محیط بالاتر از A_f باشد، ماده در فاز آستنیت قرار دارد و رفتار فوق الاستیک از خود نشان می دهد و اگر دمای محیط کمتر از M_f باشد، ماده در حالت مارتنزیت قرار دارد و رفتار حافظه شکلی از خود بروز خواهد داد. زمانی که ماده تحت حالت بدون تنش قرار داشته باشد و تحت بار گرمایی قرار گیرد، تا زمانی که دمای ماده به A_s نرسیده است، به صورت مارتنزیت است. زمانی که به A_s می رسد، از حالت مارتنزیت به آستنیت تبدیل شده تا به دمای بالاتر از A_s و به سمت A_f برود. سرانجام زمانی که به دمای A_f می رسد، تبدیل فاز پایان یافته و ماده به حالت کاملاً آستنیت در می آید. در تبدیل معکوس، زمانی که دمای ماده کاهش یابد تا دمای زیر M_s ، در حالت کاملاً آستنیت قرار دارد. وقتی به دمای M_s می رسد، کریستال های آستنیت به مارتنزیت تبدیل گردیده و زمانی که دمای ماده به M_f

می رسد، تبدیل از آستنیت به مارتنزیت کامل شده است. در تبدیل معکوس، در دمای بین M_f و M_s ، ماده به صورت ترکیبی از آستنیت و مارتنزیت می باشد. در شکل (۳) نحوه این تغییر رفتار به نمایش در آمده است.



شکل (۳): نسبت مارتنزیت در برابر دما برای یک ماده حافظه دار شکلی در حالت بدون تنش

اعمال تنش به یک ماده حافظه دار شکلی که در حالت اولیه آستنیت قرار دارد و دمای آن بالاتر از A_f می باشد، موجب می شود که آستنیت به مارتنزیت ایجاد شده توسط تنش تبدیل شود، چرا که آستنیت در تنش های بالا پایدار نمی باشد. این تبدیل منحنی تنش- کرنش ماده را بصورت غیرخطی در می آورد. در انتها تمام آستنیت ها به مارتنزیت تبدیل خواهد شد و تبدیل پایان خواهد پذیرفت. لذا ماده دچار سخت شدگی می شود. در هنگام باربرداری، مارتنزیت ناپایدار می شود و تبدیل معکوس رخ می دهد. تبدیل معکوس از روی یک مسیر متفاوت ماده را به مکان اولیه می رساند. این رفتار همانند شکل (۴) را رفتار فوق الاستیک و یا شبه الاستیک می نامند چرا که هیچ کرنش پسماندی بر روی ماده باقی نمی ماند [۱۳].

۴- مشخصات مدل

جهت بررسی تأثیر آلیاژهای حافظه دار با رفتار سوپرالاستیک در جداسازی پایه، یک سازه فولادی سه طبقه مدل گردید، مشخصات سازه در شکل (۵) نشان داده شده است. برای تعیین مشخصه رفتاری فوق الاستیک آلیاژ



$$D_D = \left[\frac{g}{4\pi^2} \right] \frac{S_1 T_D}{B_I} \quad (2)$$

که در آن S_1 مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله طرح، و B_I پارامتری است که به میرایی مؤثر سیستم جداساز β وابسته می‌باشد.

زمان تناوب مؤثر سازه‌ی جداساز شده در جابجایی طرح مطابق رابطه (۳) می‌باشد:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D \min} g}} \quad (3)$$

که به‌عنوان یک معیار کلی حداقل مقدار عددی حدود ۳ برابر دوره تناوب اصلی نوسان سازه جداسازی نشده در نظر گرفته می‌شود.

سیستم جداساز، پی و تمام المان‌های سازه‌ای زیر جداساز برای تحمل حداقل نیروی لرزه‌ای جانبی طراحی شده‌اند. مقدار این نیرو از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. که مقدار آن نباید از نیروی حداکثر جداساز در هر جابجایی و همچنین جابجایی طرح کمتر اختیار گردد.

$$V_b = K_{D \max} D_D \quad (4)$$

که $K_{D \max}$ سختی مؤثر حداکثر سیستم جداساز در جابجایی طرح در جهت افقی مطابق رابطه (۵) می‌باشد:

$$K_{D \max} = \frac{\sum |F_D^+|_{\max} + \sum |F_D^-|_{\min}}{2D_D} \quad (5)$$

می‌توان محدوده تغییرات سختی را در حدود $\pm 10\%$ سختی متوسط جداساز در نظر گرفت [۱۵].

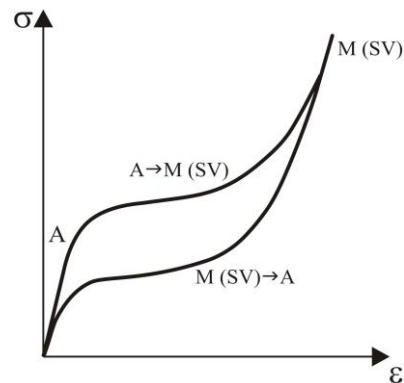
سیستم بالای تراز جداسازی جهت تحمل مینیمم نیروی برشی V_s ، مطابق رابطه (۶) طراحی شده است:

$$V_s = \frac{K_{D \max} D_D}{R_1} = \frac{V_b}{R_1} \quad (6)$$

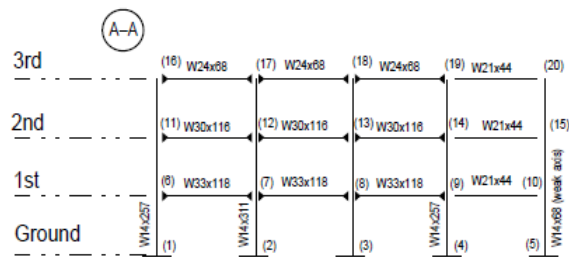
ضریب R_1 با توجه به سیستم سازه‌ای روسازه تعیین می‌شود، که مقدار آن برابر سه هشتم مقدار R (ضریب رفتار سازه ثابت) بوده و باید دقت شود که حداقل مقدار ضریب R_1 ، ۱ و حداکثر مقدار آن ۲ می‌باشد.

مقدار V_s نباید کمتر از مقادیر زیر در نظر گرفته شود:

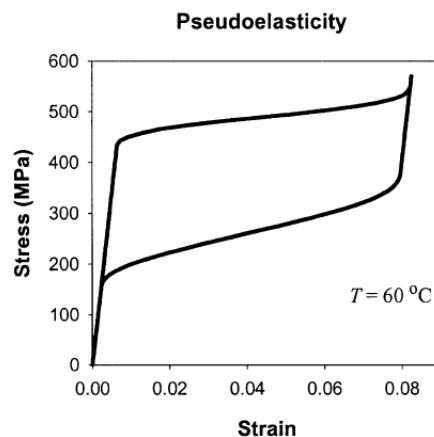
حافظه‌دار شکلی هوشمند همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده از مقاله Brocca و همکارانش استفاده گردیده است [۱۳].



شکل (۴): رفتار فوق الاستیک آلیاژهای حافظه‌دار شکلی هوشمند



شکل (۵): قاب خمشی ۳ طبقه فولادی



شکل (۶): رفتار فوق الاستیک آلیاژ حافظه‌دار شکلی [۹]

۵- روش طراحی سیستم جداساز

سیستم جداساز برای تحمل تغییرمکان جانبی طرح طبق رابطه (۲) طراحی شده است [۱۴]:

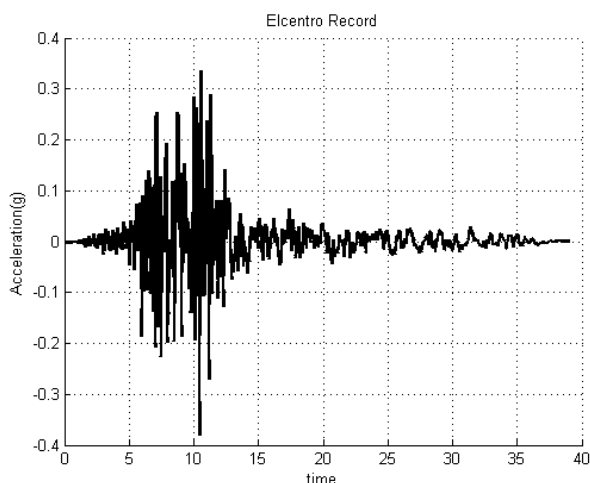
وجود آلیاژ و بار دیگر با وجود آلیاژ حافظه‌دار مدل‌سازی شده است. برای انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی شتاب‌نگاشت زلزله میدان دور از پایگاه اطلاعاتی PEER NGA انتخاب شده است. که این شتاب‌نگاشت مربوط به زلزله Elcentro و Kobe با ماکزیمم شتاب $0.38g$ و $0.51g$ مطابق شکل‌های (۷) و (۸) می‌باشند.

جدول (۱): فرضیات مورد استفاده جهت طراحی جداساز الاستومری

| | |
|------|---|
| ۱۵۰٪ | ۷: حداکثر تغییرشکل نسبی برشی |
| ۱/۵ | E: مدول یانگ (Mpa) |
| ۰/۴ | G: مدول برشی (Mpa) |
| ۱ | K: ضریب اصلاح مدول |
| ۵۰۰٪ | ϵ_b : حداکثر تغییرشکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی |

جدول (۲): مشخصات مکانیکی جداساز الاستومری

| سختی مؤثر (MN/m) | Elastomeric Bearing (EB) |
|------------------|---|
| ۱/۹۴ | جداساز با میرایی ۵٪ در سازه ۳ طبقه زیر ستون‌های کناری |
| ۳/۸۹ | جداساز با میرایی ۵٪ در سازه ۳ طبقه زیر ستون‌های میانی |



شکل (۷): رکورد زلزله Elcentro با $PGA=0.38g$

۱- نیروی لرزه‌ای جانبی سازه با پایه ثابت تحت جرم لرزه‌ای W و تناوبی برابر T_D سازه جداساز شده مطابق رابطه (۷):

$$V = C_S W = \frac{SDI}{T_D(R/I)} W \quad (7)$$

که در آن SDI مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله طرح، R ضریب رفتار و I ضریب اهمیت سازه با پایه ثابت می‌باشد [۱۶].

۲- برش پایه مساوی با نیروی طراحی باد [۱۴]؛ که مقدار آن از رابطه ساده شده (۸) و (۹) محاسبه می‌گردد [۱۶]:

$$F = P.A = (q . G.C_p).A \quad (8)$$

$$q = 0.613K_z . K_{zt} . K_d . V^2 . I (N/m^2) \quad (9)$$

۳- $1/5$ برابر نیروی جانبی لرزه‌ای لازم برای فعال نمودن کامل سیستم جداساز [۱۴]، $(Q=(\pi/2)K_{eff}D_D\beta)$ که با فرض رفتار غیرخطی (دوخطی) جداسازها حاصل می‌شود [۱۱].

۵-۱- توزیع نیرو در ارتفاع ساختمان

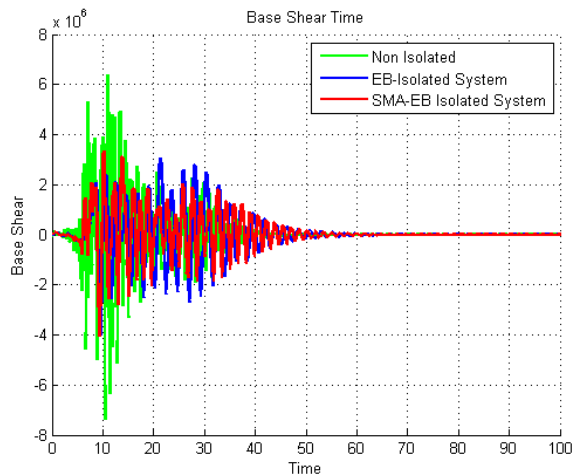
نیروی V_s در ارتفاع سازه‌ی فوقانی سیستم جداساز طبق رابطه‌ی (۱۰) توزیع شده و سپس تنش‌های موجود با معیارهای پذیرش کنترل گردیده است. فرضیات طراحی و مشخصات جداساز مورد استفاده در جدول (۱) و (۲) آمده است.

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (10)$$

۶- نتایج تحلیل

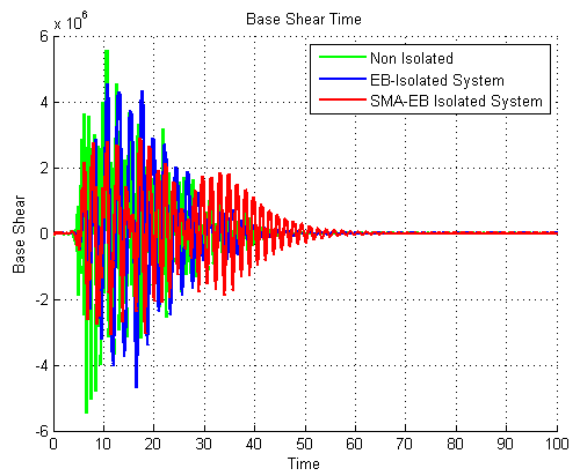
جهت بررسی و ارزیابی تأثیر ساز و کار سیستم پیشنهادی جدید سازه مورد نظر یک بار تحت اثر جداساز بدون





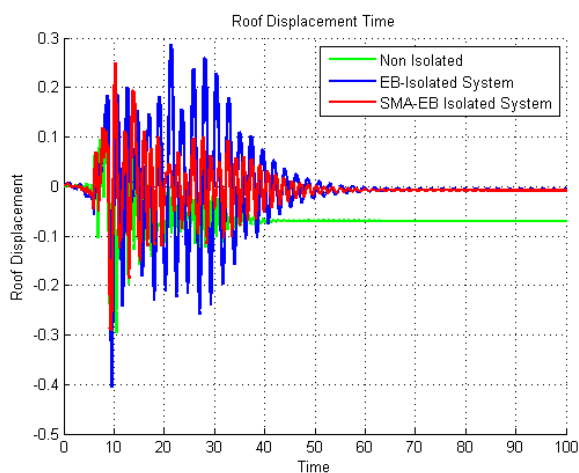
شکل (۹): نمودار برش پایه-زمان مربوط به رکورد

PGA=۰/۳۸g با Elcentro



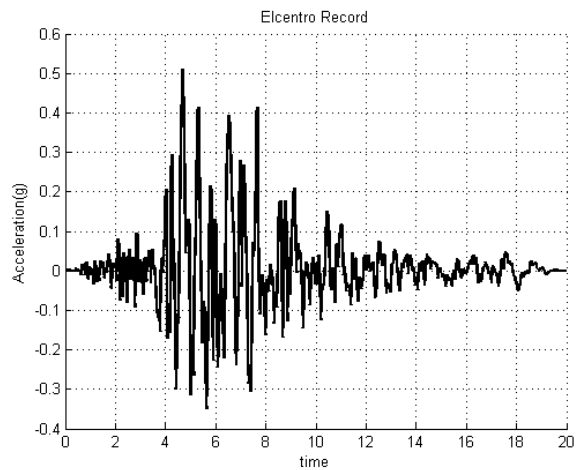
شکل (۱۰): نمودار برش پایه-زمان مربوط به رکورد

PGA=۰/۵۱g با Kobe



شکل (۱۱): نمودار جابجایی-زمان تراز بام مربوط به رکورد

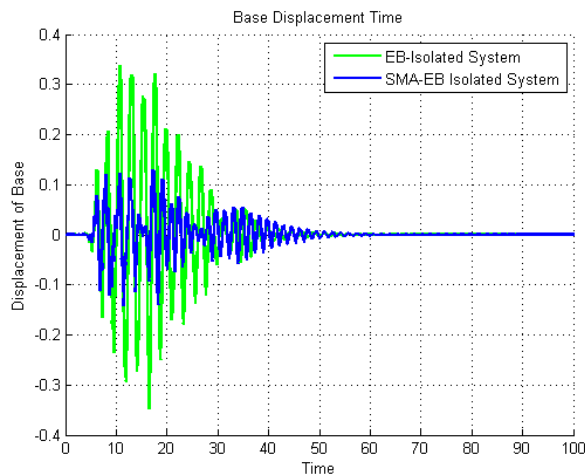
PGA=۰/۳۸g با Elcentro



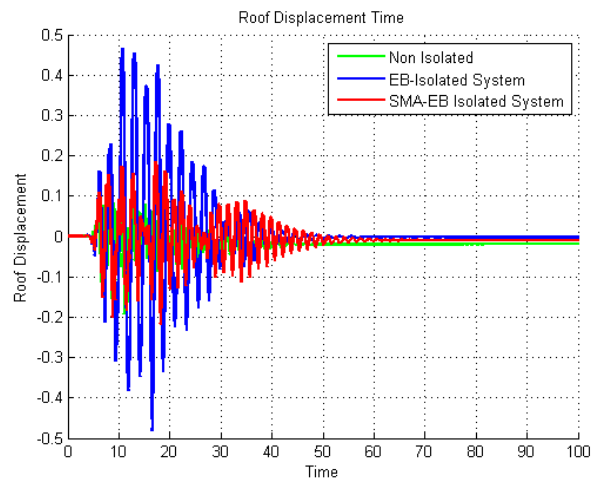
شکل (۸): رکورد زلزله Kobe با PGA=۰/۵۱g

در شکل‌های (۹) و (۱۰) نمودار برش پایه با زمان سازه در دو حالت گیردار و جداشده با تکنولوژی آلیاژ حافظه‌دار به نمایش در آمده است. با توجه به سختی کم جداساز الاستومری در سازه طبیعتاً مقدار برش پایه کمتر است. برش پایه حداکثر در دو حالت سازه گیردار و سازه جداشده با تکنولوژی آلیاژ حافظه‌دار مقایسه شده که نتایج بیانگر کاهش ۴۵ درصدی مقدار برش پایه حداکثر سازه در رکورد مربوط به زلزله Elcentro و کاهش ۴۴ درصدی در رکورد مربوط به زلزله Kobe می‌باشد. جهت ارزیابی سیستم جداساز مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی، جابجایی تراز پایه نیز کنترل گردیده است که نتایج آن نیز ارائه گردیده است.

در شکل (۱۱) و شکل (۱۲) جابجایی بام در رکورد مربوط به زلزله Elcentro و Kobe در طول زمان زلزله ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد سیستم معرفی شده به نحو مؤثری موجب کاهش جابجایی سازه شده و همچنین هیچ تغییرشکل پسماندی در جداساز مجهز به آلیاژ رخ نداده است و تقریباً صفر می‌باشد.



شکل (۱۴): نمودار جابجایی-زمان تراز پایه مربوط به رکورد
Kobe با $PGA=0.51g$

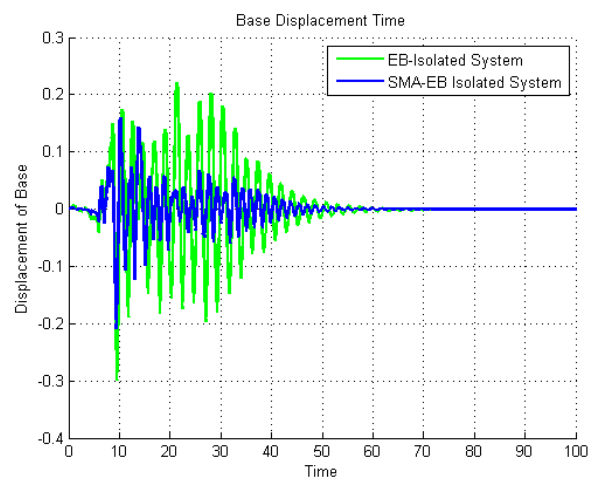


شکل (۱۲): نمودار جابجایی-زمان تراز بام مربوط به رکورد
Kobe با $PGA=0.51g$

جابجایی‌های سازه مخصوصاً در تراز پایه می‌باشد. به دلیل رفتار فوق الاستیک آلیاژهای حافظه‌دار شکلی که سبب تحمل کرنش‌های بالا بدون برجا گذاشتن کرنش پسماند و همراه با رفتار هیسترتیک می‌شود، کاهش قابل ملاحظه‌ای در جابجایی تراز پی به وقوع می‌پیوندد. به طور کلی می‌توان گفت ظرفیت دینامیکی سازه در حالت بکارگیری آلیاژ حافظه‌دار در مقایسه با سازه معمولی به طور مؤثری بهبود می‌یابد، که به دلیل توانایی بازگشت‌پذیری آن‌ها و توانایی در کاهش پاسخ می‌باشد.

خواص منحصر به فرد SMA، شامل امکان رسیدن به رفتار هیستریزس مطلوب با ترکیب بازگشت‌پذیری و استهلاك انرژی موجب کنترل جابجایی پایه سیستم شده و همچنین سطح نیروها را نیز کنترل می‌کند. این سیستم هوشمند با کنترل مناسب جابجایی موقعیت اولیه سازه را حفظ کرده و با قرار دادن آستانه‌ای برای نیروی منتقل شده به سازه فوقانی، نیروها را نیز به خوبی کنترل می‌کند. سیستم پیشنهادی تقاضای لرزه‌ای سازه را به مقدار کمی افزایش می‌دهد، ولی به دلیل خاصیت فوق ارتجاعی و بازگشت‌پذیری آلیاژ حافظه‌دار شکلی، هیچ نوع تغییر شکل

در شکل (۱۳) و شکل (۱۴) مقایسه‌ای در جابجایی تراز پایه سازه انجام شده است که نتایج نمایانگر کنترل موثر جابجایی پایه در سیستم هوشمند پیشنهادی می‌باشد.



شکل (۱۳): نمودار جابجایی-زمان تراز پایه مربوط به رکورد
Elcentro با $PGA=0.38g$

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله رفتار آلیاژ حافظه‌دار با خصوصیت فوق الاستیک در جداساز الاستومری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیانگر افزایش میرایی سیستم و کاهش



the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 50, No. 5, pp. 1051-1077.

[14] Mayes, R.L. (2000) "Design of Structures with Seismic Isolation", In Naeim, F. (Ed), The Seismic Design Handbook, Springer.

[15] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Report FEMA 356, Washington, DC.

[16] American Society of Civil Engineers (ASCE). (2006). Minimum design loads for buildings and other structures, Structural Engineering Institute, ASCE Standard 7-05.

ماندگار در سازه باقی نمی‌گذارد. به همین دلیل احتمال

ناپایداری این نوع جداسازها در حین زلزله و لزوم تعویض

آن‌ها بعد از زلزله وجود ندارد.

۹- مراجع

[1] Dolce, M., Cardone, D. and Nigro, D. (2000), "Experimental Tests on Seismic Deceives based on Shape Memory Alloys", 12th World Conference of Earthquake Engineering (12WCEE).

[2] Corbi, O. (2003), "Shape Memory Alloys and their Application in Structural Oscillations Attenuation", Simulation Modeling Practice and Theory, Vol. 11, pp. 387-402.

[3] Khan, M.M. and Lagoudas, D. (2002), "Modeling of Shape Memory Alloy Pseudoelastic Spring Elements using Preisach Model for Passive Vibration Isolation", Proceedings of SPIE, Vol. 4693, pp. 336-347.

[4] Casciati, F., Faravelli, L. and Hamdaoui, K. (2007), "Performance of a base Isolator", Earthquake Engineering and Engineering Vibration, pp. 1671-3664.

[5] Wilde, K., Gardoni, P. and Fujino, Y. (2000), "Base Isolation System with Shape Memory Alloy Device for Elevated Highway Bridges", Engineering Structures, Vol. 22, pp. 222-229.

[6] Dolce, M., Cardone, D. and Marnetto, R. (2000). "Implementation and Testing of Passive Control Devices based on Shape Memory Alloys", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, No. 7, pp. 945-968.

[7] Xue, S. D., Zhuang, P. and Li, B.S. (2005). "Seismic Isolation of Lattice Shells using a New Type of SMA-Rubber Bearings", Proceedings of IASS Symposium, Bucharest, Romania.

[8] Choi, E., Nam, T.H., Oh, J.T. and Cho, B.S. (2006). "An Isolation Bearing for Highway Bridges using Shape Memory Alloys", Journal of Materials science and Engineering, Vol. 438-440, No. 25, pp. 1081-1084.

[9] Ohtori, Y., Christenson, R.E., Spencer, B.F. and Dyke, S.J. (2004). "Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings", ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 130, No. 4, pp. 366-385.

[10] Datta, T.K. (2002), "Seismic Analysis of Structures", John Wiley&Sons Pte Ltd.

[11] Naeim, F. and Kelly, J. (1999), "Design of Isolated Structures: from Theory to Practice", John Wiley&Sons Inc.

[12] Yang, Y., Chang, K. and Yau, J. (2003) "Base Isolation".

[13] Brocca, M., Brinson, L.C. and Bazant, Z.P. (2002), "Three-Dimensional Constitutive Model for Shape Memory Alloys based on Microplane Model", Journal of