



طرح بهینه بکارگیری مصالح هوشمند در دیوار برشی طبقات مختلف جهت بهسازی لرزه ای ساختمان های بتنی مسلح

پریسا نوری^۱، محمد صافی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، nouriparisa1@gmail.com

۲. استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، m_safi@sbu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: هدف اصلی طراحی لرزه‌ای افزایش شکل پذیری و استهلاک انرژی زلزله با ورود سازه به ناحیه غیرخطی می‌باشد. تعداد بسیاری از سازه‌های بتنی به دلیل تغییر شکل‌های ماندگار فراتر از حد مجاز و هزینه‌های زیاد بازسازی پس از زلزله تخریب و مجدداً احداث می‌شوند. جهت جلوگیری از تخریب این گونه سازه‌ها نیاز به مصالحی با خاصیت ابرکشسانی و توانایی بازیابی تغییر شکل اولیه پس از باربرداری می‌باشد. استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی در دیوار برشی بتنی برای برطرف نمودن این مشکل توسط محققین پیشنهاد شده است. از مهمترین ویژگی‌های آلیاژهای حافظه‌دار شکلی قابلیت حفظ شکل اولیه و فوق ارتجاعی بودنشان می‌باشد. این آلیاژها به علت داشتن رفتار فوق الاستیک می‌توانند تا کرنش‌های حدود ده درصد را بدون برجا گذاشتن کرنش پسماند تحمل نمایند. با این ویژگی‌ها، استفاده از این آلیاژها در سازه می‌تواند رفتار لرزه‌ای آن را بهبود ببخشد. با این وجود به دلیل بالا بودن هزینه و همچنین اجرای پیچیده این نوع آلیاژها استفاده از آن‌ها با محدودیت مواجه است. لذا لازم است با یک طرح بهینه، استفاده مطلوبی از آنها صورت پذیرد.

روش: بررسی رفتار قاب‌های بتنی دارای دیوار برشی بهسازی شده با آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در طبقات مختلف، قاب‌های سه، پنج، هفت و نه طبقه بتنی با حالت‌های مختلف استفاده از مصالح آلیاژهای حافظه دار شکلی تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی توسط نرم افزار اجزا محدود قرار گرفته است. در این پژوهش تلاش شده است تا محل بهینه قرارگیری آلیاژهای حافظه دار شکلی مورد بررسی قرار گیرد.

یافته‌ها: در این مطالعه پارامترهای تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، تغییر مکان جانبی نسبی پسماند طبقات و برش پایه، مورد بررسی قرار گرفته است. از مهمترین مزایای استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی می‌توان به کاهش تغییر مکان پسماند سازه و به تبع آن کاهش هزینه بازسازی پس از زلزله اشاره نمود.

نتیجه گیری: باتوجه به یافته‌های حاصل از این پژوهش نتایج نشان می‌دهد، رفتار سازه‌هایی که در ۳۰٪ نخست ارتفاع سازه از آلیاژ حافظه دار شکلی استفاده شده، اختلاف ناچیزی با سازه‌هایی دارد که در تمامی طبقات آن از آلیاژ حافظه دار استفاده گردیده است. بنابراین در صورت استفاده از مصالح آلیاژ حافظه دار شکلی تنها در ۳۰٪ نخست ارتفاع ساختمان، هزینه استفاده از آرماتورهای هوشمند به یک سوم کاهش می‌یابد و توصیه می‌شود آلیاژهای حافظه‌دار شکلی تنها در ۳۰٪ نخست ارتفاع سازه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلیاژهای حافظه دار شکلی، دیوار برشی بتنی، طرح بهینه، رفتار فوق الاستیک، تغییر شکل پسماند، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی.

◀ **استناد فارسی (شبهه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** نوری، پریسا؛ صافی، محمد (زمستان، ۱۳۹۵). طرح بهینه بکارگیری مصالح هوشمند در دیوار برشی طبقات مختلف جهت بهسازی لرزه ای ساختمان‌های بتنی مسلح. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۶ (۴)، ۳۲۹-۳۴۳.

Optimized layout of using smart materials in the shear wall of different floors for the Seismic rehabilitation of reinforced concrete buildings

Parisa Noori¹, Mohammad Safi²

1. Graduate student, civil engineering, earthquake area, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, nouriparisa1@gmail.com

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, m_safi@sbu.ac.ir

Abstract

Background and purpose: The main purpose of seismic design is to increase ductility and seismic energy dissipation by entering the structures into the non-linear area. Many concrete structures are destroyed and reconstruct after the earthquake due to permanent over-deformations and high cost of re-construction. In order to prevent the destruction of these structures, we need materials with the feature of hyperelasticity and the capacity to recover its original shape after unloading. The use of shape-memory alloys in concrete shear walls to solve this problem has been proposed by researchers. The most important characteristics of shape memory alloy is the capability of maintaining their original shape and ultra-reactivity. These alloys having super-elastic behavior can tolerate up to about ten percent strains without leaving residual strains. With these features, the use of these alloys in the structure can improve its seismic behavior. However, due to the high cost and complex implementation of this type of alloys, their use is limited. So, it is necessary to optimally use of them using an optimal design.

Method: the behavior of concrete frames with the shear walls improved by shape-memory alloys has been investigated in different floors, three, five, seven and nine concrete frames with different modes using shape-memory alloys materials under non-linear dynamic analysis time of the history by finite element software. In this study, we have tried to examine the optimal placement of the shape-memory alloy.

Results: In this study, the parameters of floors relative lateral displacement, floors residual relative lateral displacement, and foundation cutting have been studied. Reducing the structure residual displacement and consequently, reducing the cost of rebuilding after the earthquake can be mentioned as the main advantages of using shape-memory alloys.

Conclusion: according to the findings of this study, the behavior of the structures in which, shape-memory alloy is used in the first thirty percent of the height of the structure, has little difference with the structures in which, shape-memory alloy is used in their all floors. So, in case of using shape-memory alloy materials in only 30% of the height of buildings, the cost of smart armatures is reduced to one-third and it is recommended that shape-memory alloys are only used in 30% of height of the intended structure.

Keywords: shape-memory alloys, concrete shear wall, optimal design, Hyper-elastic behavior, residual deformation, time history dynamic analysis

► **Citation (APA 6th ed.):** Noori P, Safi M. (2017, Winter). Optimized layout of using smart materials in the shear wall of different floors for the Seismic rehabilitation of reinforced concrete buildings. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 6(4), 329-343.

مقدمه

داده اند، دلچپه و کاردونه (۲۰۰۱، ص ۷۷) رفتار مکانیکی مواد حافظه دار شکلی را برای کاربردهای لرزه ای مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعات رشته های متعدد نیکل- تیتانیوم تحت بارگذاری کششی قرار داده شد و رفتار فوق الاستیک آنها بررسی گردید، همچنین وابستگی پاسخ رفتاری به دما، سرعت بارگذاری و تعداد چرخه ها مورد بررسی قرار گرفت. اندریلی و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به بررسی اثر استفاده از مواد حافظه دار شکلی به منظور بازسازی سازه های قدیمی پرداختند. ویلده و همکاران (۲۰۰۰، ص ۲۲۲) به بررسی امکان استفاده از سیستم های جداگر پی متغییر همراه با مواد حافظه دار شکلی برای پل های بلند پرداختند. سیستم جداگر حافظه دار شکلی در زلزله های با شدت کم، به عنوان نگهدارنده صلب مابین پایه و بدنه پل ها عمل می کند. در زلزله های با شدت متوسط، میله های حافظه دار شکلی با ایجاد رفتار هیستریزیس، ظرفیت استهلاک انرژی سازه را بالا می برند و در زلزله های شدید، میله های حافظه دار شکلی علاوه بر میرایی هیستریتیک با سخت شدگی نهایی خود به عنوان کنترل کننده تغییر مکان های بدنه پل عمل می کنند.

برونو و والنته (۲۰۰۲، ص ۱۰۶۷) با روش های تحلیلی و با استفاده از ایده شاخص های خرابی و با استفاده از مدل ساده شده مواد حافظه دار شکلی، امکان استفاده از این مواد را به صورت تحلیلی بررسی کردند. به این منظور یک تحلیل مقایسه ای بین سازه های بتنی مقاوم شده با مصالح سنتی و مصالح مقاوم شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی به عنوان میراگر و همچنین به عنوان مهاربند انجام دادند، که نتایج این تحقیق نمایانگر مناسب بودن استفاده از مواد حافظه دار شکلی به عنوان میراگر بوده است. دسروچ و دلمانن (۲۰۰۲، ص ۳۲۵) آزمایش های متعددی را بر روی سیم ها و میله های مواد حافظه دار شکلی جهت ارزیابی پتانسیل آنها در طراحی و بهسازی لرزه ای سازه ها انجام داده اند. آنها به طور ویژه اثرات بارگذاری متناوب بر روی کرنش پسماند، تنش ها و ظرفیت اتلاف انرژی مربوط به تبدیل فاز مستقیم و معکوس را مورد مطالعه قرار داده اند. کاردونه و همکاران (۲۰۰۴، ص ۳۶۱) به بررسی آزمایشگاهی قاب های بتن مسلح مقاوم سازی شده با میراگرهای مستهلک کننده و بازگرداننده پرداختند. چادرسکی

تجربیات زلزله های اخیر نشان داده که نبود ساز و کارهای جذب انرژی مناسب یکی از دلایل رفتار ضعیف ساختمان ها است. هنگامی که ساختمان ها در معرض زلزله قرار می گیرند، ضروری است بخشی از محتوای انرژی تحمیل شده به سازه از طریق مسیرها و فرایندهای مشخص و دارای ظرفیت جذب انرژی کافی، به شیوه ایمن و با کمترین خسارات ممکن، مستهلک گردد تا از تأثیرات مخرب یک چنین پدیده هایی با الگوهای بارگذاری نامشخص و غیرقابل پیش بینی کاسته شود. در چنین شرایطی استفاده از موادی که بتوانند انرژی وارد به سازه را جذب و مستهلک نمایند حائز اهمیت می باشد (مصطفی زاده و همکاران، ۱۳۸۸).

طبق تعریف سیستم های هوشمند، سیستم هایی هستند که به طور خودکار قابلیت انطباق رفتار سازه در پاسخ به بارگذاری غیر مترقبه نظیر زلزله، انفجار و ... را دارا می باشند، تا بدین وسیله ایمنی، افزایش عمر و کارایی سازه را تأمین نمایند (علم و همکاران، ۲۰۰۹). آلیاژهای حافظه دار شکلی ۱ به علت دارا بودن خصوصیات همچون توانایی حفظ شکل اولیه، تحمل کرنش ارتجاعی قابل توجه، دوام، مقاومت در برابر خستگی و خوردگی و ... کاربردهای فراوانی را در زمینه های مختلف علوم مهندسی و صنعت پیدا کرده اند. اگرچه از زمان کشف آلیاژهای حافظه دار شکلی بیشتر از ۵۰ سال می گذرد، ولی استفاده از آنها در صنعت ساختمان و مهندسی سازه به ده تا پانزده سال گذشته باز می گردد (دسروچ و همکاران، ۲۰۰۴). در میان آلیاژهای حافظه دار شکلی، Ni-Ti یا همان نایتینول ۲ نسبت به بقیه شناخته شده تر می باشد و در کاربردهای مهندسی بیشتری به کار رفته است (اتسوکا و وایمن، ۱۹۹۹). در این تحقیق نیز، با توجه به خواص برتر آلیاژ نیکل- تیتانیوم، از این آلیاژ جهت استفاده در سازه بهره گرفته شده است.

پیشینه تحقیق: در سال های اخیر محققین بسیاری اثر استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی را در کاربردهای لرزه ای مورد بررسی قرار

1. Shape Memory Alloys (SMAs)

2. Nitinol = Ni and Ti are the atomic symbols for Nickel and Titanium. The "NOL" stand for the Naval Ordnance Laboratory where it was discovered.



کرده اند، بسیار مشابه سازه هایی که در تمامی طبقات از آلیاژ حافظه دار شکلی استفاده کرده اند می باشد و از نظر عملکردی رفتار بهتری از خود نشان می دهند. در پژوهش حاضر، به بررسی تاثیر جانمایی آلیاژ حافظه دار شکلی در دیوار برشی قاب های ۳، ۵، ۷ و ۹ طبقه پرداخته می شود. مدلسازی با استفاده از نرم افزار اجزا محدود Seismostruct (سایزموسافت، ۲۰۱۳) در ده شتاب مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش از تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی بهره گرفته شده است.

آلیاژ حافظه دار شکلی: آلیاژهای حافظه دار شکلی نوعی آلیاژ با رفتار ویژه می باشند که قابلیت بازیابی شکل اولیه خود را پس از تغییر شکل در اثر دما و تنش دارا می باشند. در سال ۱۹۳۲، الندر ۲ دانشمند سوئدی برای نخستین بار رفتار فوق ارتجاعی ۳ را در Au-Cd (طلا-کادمیوم) کشف کرد (اتوسکا و وایمن، ۱۹۹۹). در سال ۱۹۵۱، چنگ و رید ۴ در همین آلیاژ تبدیل فاز برگشت پذیر را کشف کردند که اولین تبدیل فاز ثبت شده نیز می باشد، با این وجود اهمیت چنین رفتاری در آن زمان به طور کامل درک نشد. در سال ۱۹۶۳، بویلر ۵ و همکاران در آزمایشگاه تسلیحات نیروی دریایی امریکا اثر حافظه شکلی ۶ را در آلیاژ نیکل - تیتانیوم کشف کرده و این آلیاژ را نایتینول نامیدند (سانگ و همکاران، ۲۰۰۶، ص ۱۲۶۶). امروزه انواع مختلفی از آلیاژهای حافظه دار شکلی توسط محققین شناخته شده و استفاده می گردند و تاکنون در حدود سی نوع آلیاژ حافظه دار شکلی گزارش شده است، با این حال آلیاژ Ni-Ti معروف به نایتینول به دلیل خواص بهتر ترمومکانیکی و ترموالکتریکی رواج بیشتری در مهندسی سازه دارد. دلیل بروز ویژگی های رفتاری منحصر به فرد آلیاژهای حافظه دار شکلی را باید در چند فازی یا چند ساختاری بودنشان جستجو کرد. به بیانی دیگر، چینش اتم های آلیاژهای حافظه دار شکلی در داخل شبکه کریستالی آنها باعث به وجود آمدن دو حالت رفتاری مارتینزیت ۷ و آستینیت ۸ می شود. شایان ذکر است که در مقیاس

و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی رفتار ویژه یک تیر بتن آرمه با سیم های حافظه دار شکلی پرداختند. نتایج بررسی بیانگر امکان استفاده از سیم های حافظه دار شکلی در تیرهای بتن آرمه به منظور بدست آوردن سختی و مقاومت متغییر می باشد. مطهری و همکاران (۲۰۰۷، ص ۱۵۷۰) به بررسی اثر استفاده از مواد حافظه دار شکلی به صورت میراگر پرداخته و نتایج این تحقیق بیانگر کاهش تغییر شکل های ماندگار در سازه در اثر استفاده از این مواد می باشد. قاسمی و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی اثر استفاده از رشته های مواد حافظه دار شکلی به صورت مهاربندی (میراگر) در باز شو دیوارهای برشی بتنی پرداختند و نتایج به دست آمده بیانگر عملکرد مناسب این میراگرها بوده است.

در سال ۲۰۰۹ نیز علم ۱ و همکارانش (۲۰۰۹، ص ۵۶۵) به تحلیل قاب ۸ طبقه خمشی که در مفاصل پلاستیک آنها از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده شده بود، پرداختند. قاب بتنی ۸ طبقه در معرض ۱۰ شتاب نگاشت قرار گرفت و بیشترین تغییر مکان جانبی نسبی، تغییر مکان های جانبی بام و تغییر مکان جانبی پسماند بام ارایه گردید. که مقایسه نتایج به دست آمده با سازه ۸ طبقه مشابه بدون آلیاژهای حافظه دار شکلی، حاکی از افزایش توانایی بازیابی شکل اولیه در سازه و کاهش تغییر مکان جانبی نسبی پسماند تا حدود ۱۳ برابر می باشد. در سال ۲۰۱۲ نیز علم و همکارانش (۲۰۱۲، ص ۸) به بررسی قاب های سه، شش و هشت طبقه با سه نوع متفاوت آرایشی میلگردهای طولی تیرها پرداختند. در آرایش نوع یک سازه تنها با میلگردهای فولادی مسلح شده بود، در نوع دو تمامی تیرها با میلگردهای از جنس آلیاژهای حافظه دار شکلی مسلح شده بودند و در نوع سه تمامی تیرها در نقاط بحرانی به آلیاژهای حافظه دار شکلی و در باقی نقاط به فولادهای مرسوم مسلح شده بودند. برای تمامی مدل ها، میلگرد ستون ها از نوع فولادهای مرسوم در نظر گرفته شده بود. در این تحقیق نشان داده شد که نیاز لرزه ای قاب ها با کاهش ۱۵-۲۰ درصدی در سازه های دارای آلیاژهای حافظه دار شکلی در مقایسه با قاب معمولی، همراه است. بررسی قاب های خمشی نشان داده رفتار سازه هایی که در ۳۰٪ نخست ارتفاع سازه از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده

2. Olander
3. Superelasticity
4. Chang and Read
5. Buehler
6. Shape Memory Effect (SME)
7. Martensite
8. Austenite

دیوار برشی بتنی: دیوارهای برشی را می توان از لحاظ وجود بازشوها در آن‌ها به دو دسته دیوار برشی بدون بازشو و دیوار برشی دارای بازشو، دسته بندی کرد. دیوارهای برشی بدون بازشو را نیز با توجه به ارتفاع و طولشان می توان به سه دسته دیوارهای کوتاه، متوسط و بلند دسته بندی نمود و رفتارشان را مورد بررسی قرار داد.

دیوار برشی بدون بازشو: دیوارهای برشی بدون بازشو با توجه به نسبت ارتفاع مؤثر به طولشان ممکن است رفتارهای متفاوتی از خود نشان بدهند. دیوارهای با نسبت (h_w/l_w) ذکر شده کمتر از دو دیوار کوتاه، دیوارهایی که این نسبت در آن‌ها بیش از دو و کمتر از پنج باشد دیوار متوسط و دیوارهایی که این نسبت در آن‌ها بزرگتر از پنج باشد را دیوار بلند (طره ای) می نامند.

دیوار برشی با بازشو: در اغلب موارد تعبیه بازشوهای منظم برای پنجره‌ها یا درب‌ها در دیوارهای برشی اجتناب ناپذیر است. تعیین محل بازشوها باید به نحوی صورت پذیرد که رفتار سازه ای دیوار برای تحمل بارهای وارده مطلوب باشد. لازم است طراح مطمئن شود که رفتار کلی و خمشی دیوار با کاهش قابل توجه در سطح مقطع آن دچار مشکل نشود، همچنین با تعبیه بازشوها نباید به هیچ وجه از مقاومت برشی و مورد نیاز دیوار کاسته شود، زیرا در این صورت رفتار دیوار ترد شده و قبل از آن که دیوار به حداکثر ظرفیت خمشی خود برسد تحت اثر شکست برشی فرو می ریزد.

روش

انتخاب نگاهت‌های زلزله: یکی از مهم ترین عوامل در تحلیل دینامیکی غیرخطی، تعیین نگاهت‌های وارده بر سازه می باشد، چرا که نتایج به دست آمده از تحلیل، همگی بیانگر اثر نگاهت‌های وارده بر سازه می باشند. انتخاب نوع نگاهت یک موضوع سلیقه‌ای نمی باشد، زیرا این موضوع باید به گونه ای صورت گیرد که نتایج به دست آمده رفتار لرزه ای سازه را به درستی نمایش دهد. نکته دیگری که می‌بایست به آن توجه داشت، تعداد مناسب نگاهت‌ها می باشد، زیرا که تعداد زیاد نگاهت‌ها موجب زمانبر شدن فرآیند آنالیز می شود، این در حالی است که اگر تعداد نگاهت‌های زلزله کم باشد، نتایج حاصل از آن نمی‌تواند بیانگر پاسخ کاملی از سازه باشد. در این تحقیق تنها از نگاهت‌های حوزه نزدیک گسل استفاده شده که

ماکروسکوپی SMA دو نوع رفتار حافظه شکلی و سوپراالاستیک از خود نشان می دهد. حالت آستینیتی در دماهای بالا و تنش پایین پایدار است و مسئول رفتار فوق ارتجاعی می باشد که در واقع حالت مطلوب در کاربرد لرزه ای SMA است و قابلیت بازگشت تمامی تغییر شکل آلیاژ حافظه دار شکلی را تحت یک حداقل دمای مورد نیاز ایجاد می کند. حالت مارتینزیت در دماهای پایین پایدار بوده و مسئول ایجاد رفتار حافظه دار شکلی است، اثر حافظه شکلی در واقع نیازمند حداقل دمای مورد نیاز برای بازگشت به شکل اولیه خود است. اشکال مختلف فاز مارتینزیت نیز می توانند در دماهای پایین به یکدیگر تبدیل شوند و پروسه جهت گیری مجدد یا جفت شدگی و نشدگی را شکل دهند. لذا این دو فاز را می توان به کمک گرما و یا تنش به یکدیگر تبدیل نمود. در شکل ۱ منحنی تنش - کرنش برای رفتار فوق ارتجاعی و خاصیت حافظه دار شکلی نشان داده شده است.



شکل ۱. منحنی تنش-کرنش خاصیت فوق ارتجاعی و حافظه شکلی (شهناز، ۲۰۱۵)



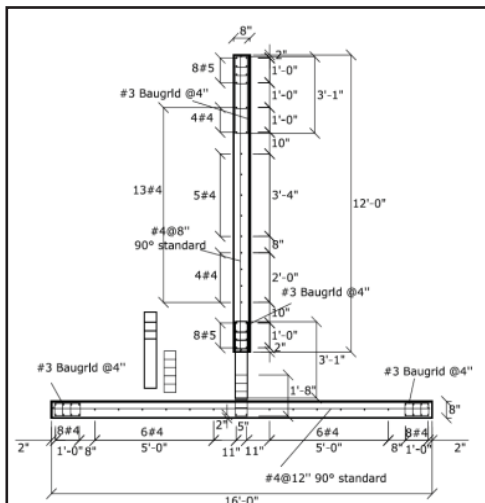
ساز و کار گسل در تمامی نگاشت‌های انتخابی معکوس یا امتداد لغز می باشد. ساختگاه‌های شتاب نگاشت‌ها به لحاظ ویژگی‌های زمین شناسی و مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل پروژه مشابهت داشته و خاک محل وقوع تمامی نگاشت‌های زلزله خاک نوع (II) می باشد که متوسط سرعت موج برشی در آن بین ۷۵۰-۳۷۵ متر بر ثانیه می باشد. مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت‌ها از روش توزیع تجمعی انرژی تعیین گردیده و حداقل برابر با ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. نگاشت‌های زلزله انتخاب شده در جدول ۱ ارائه شده است.

الزام خاصی نداشته و انتخابی دلخواه می باشد. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲) شتاب نگاشت‌های انتخاب شده متعلق به زلزله‌هایی می باشند که شرایط زلزله طرح را ارضا نموده و در آنها اثر: بزرگا، فاصله از گسل، سازوکار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شده است، بدین صورت که فاصله‌ی ایستگاه ثبت رکوردها در شتاب نگاشت‌های انتخاب شده کمتر از ۱۰ کیلومتر می باشد و تمامی زلزله‌ها حوزه نزدیک محسوب می شوند، همچنین شتاب نگاشت‌های انتخابی بزرگایی بین ۶ تا ۷ را دارا می باشند و

جدول ۱. مشخصات شتاب نگاشت‌های مورد استفاده در این تحقیق

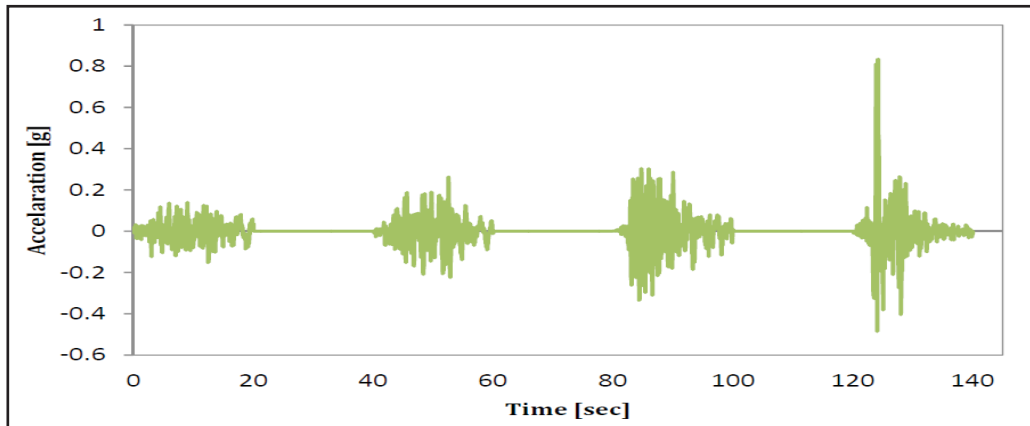
شماره	زلزله	ایستگاه	سال وقوع	Mw	نوع گسل	فاصله (km)	متوسط سرعت موج برشی (m/s)/Vs	بیشینه شتاب سطح زمین (g)	نام گذاری
۱	Helena	Carroll College	۱۹۳۵	۶.۱	امتداد لغز	۳.۵	۵۹۳	۰.۱۶۱	Helena
۲	Loma Prieta	Saratoga-Aloha	۱۹۸۹	۶.۹	معکوس	۷.۶	۳۸۰	۰.۵۱۴	Loma Prieta
۳	Nahanni	Site 1	۱۹۸۵	۶.۸	معکوس	۲.۵	۶۰۵	۱.۲۰۱	Nahanni-1
۴	Nahanni	Site 3	۱۹۸۵	۶.۸	معکوس	۵	۶۰۵	۰.۱۸۲	Nahanni-2
۵	Northridge-01	LA-chalon Rd	۱۹۹۴	۶.۷	معکوس	۹.۹	۷۴۰	۰.۲۱۵	Northridge-1
۶	Northridge-01	Sylmar-Olive View	۱۹۹۴	۶.۷	معکوس	۱.۷	۴۴۱	۰.۸۴۳	Northridge-2
۷	N.Palm Springs	Morongo Valley	۱۹۸۶	۶.۱	معکوس	۳.۷	۳۹۶	۰.۲۲۳	N.Palm-1
۸	N.Palm Springs	Cabazon	۱۹۸۶	۶.۱	معکوس	۶.۹	۳۷۷	۰.۲۲۱	N.Palm-2
۹	Parkfield-02 CA	Upsar 02	۲۰۰۴	۶	امتداد لغز	۹.۵	۴۱۷	۰.۳۰۶	Parkfield 02 CA-1
۱۰	Parkfield-02 CA	Gold Hill 4W	۲۰۰۴	۶	امتداد لغز	۷.۸	۴۲۱	۰.۴۰۹	Parkfield 02 CA-2

تحلیل ۰.۰۲ ثانیه در نظر گرفته شده است.



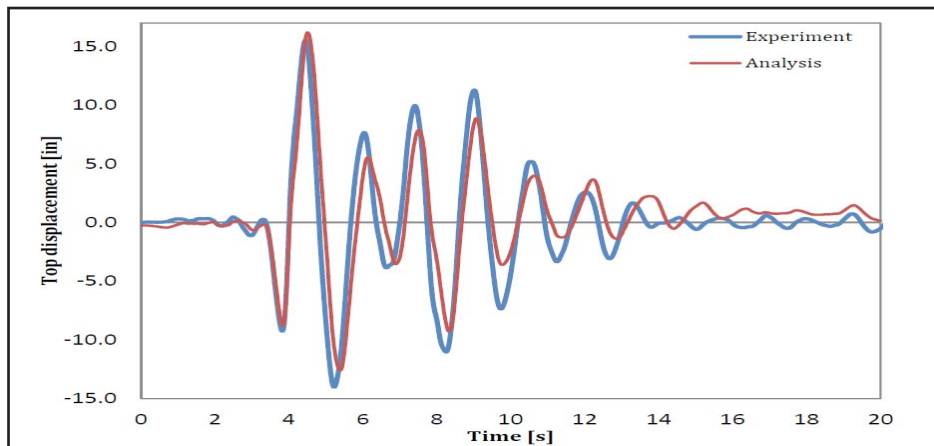
شکل ۲. مشخصات دیوار آزمایش شده در مرجع (پاناگیوتو، ۲۰۰۶)

بررسی صحت عملکرد نرم افزار: برای صحت سنجی نرم افزار از یک تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده می شود که به بررسی مدل سازی یک قاب دارای دیوار برشی با ابعاد واقعی، هفت طبقه و سه بعدی که با توجه به بار ثقلی و بار جانبی طراحی شده است، پرداخته می شود. در این بررسی از نتایج آزمایشگاهی مربوط به مدل پاناگیوتو (۲۰۰۶) استفاده گردید. مدل ساخته شده این قاب بر روی میز لرزه واقع گشته و مورد آزمایش قرار گرفته است. که در ادامه به مقایسه نتایج حاصل از سازه بر روی میز لرزه و مدل سازی عددی صورت پذیرفته در نرم افزار اجزا محدود پرداخته می شود. مشخصات دیوار مورد آزمایش قرار گرفته شده و نحوه بارگذاری لرزه ای آن در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. گام زمانی



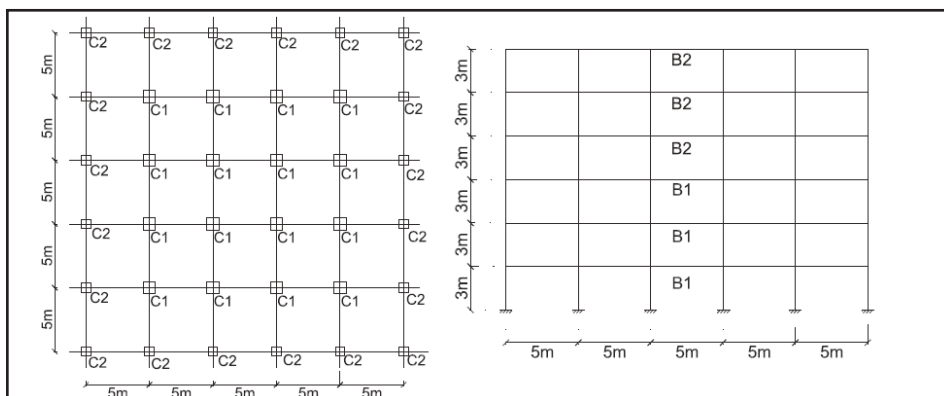
شکل ۳. بارگذاری لرزه ای مورد استفاده

در شکل ۴ مقایسه پاسخ تغییر مکان قاب مدل شده با نمونه ساخته شده که مورد آزمایش قرار گرفته بر روی میز لرزه، آورده شده است. همانطور که در این نمودار مشخص است، نتایج اختلاف ناپیزی باهم داشته و این بیانگر دقت نرم افزار است.



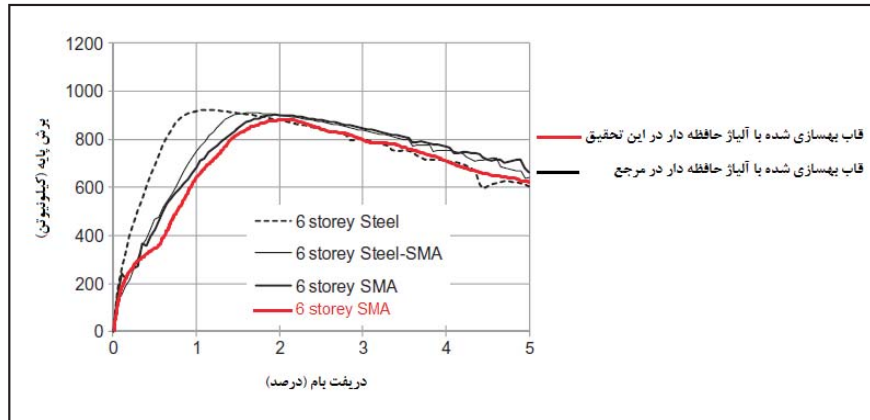
شکل ۴. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل نرم افزاری

صحت سنجی مدل سازی آلیاژ حافظه دار شکلی در نرم افزار به منظور ارزیابی قاب‌های بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی، قاب بتنی شش طبقه ای که توسط علم و همکاران (۲۰۱۲) برای به دست آوردن ضریب رفتار قاب‌های بتنی بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی مورد استفاده قرار گرفت، مدل سازی گردیده است. در شکل ۵ ابعاد و مشخصات هندسی قاب مدل شده، قابل مشاهده می باشد. برای جزئیات بیشتر می توان به مرجع مراجعه نمود.



شکل ۵. مشخصات هندسی قاب مدل شده در مرجع (علم، ۲۰۱۲)

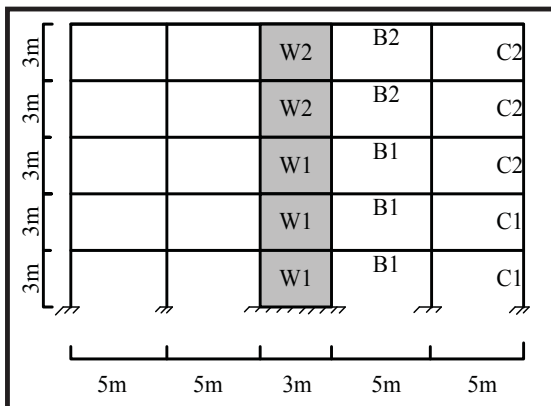
در شکل ۶، منحنی عملکرد قاب بتنی تحت تحلیل بار افزون به همراه منحنی عملکرد مرجع آورده شده است. همان طور که ملاحظه می گردد. رفتار منحنی های عملکردی قاب های بهسازی شده به یکدیگر نزدیک می باشد. مقدار برش پایه حداکثر در قاب مرجع برابر ۹۰۳ کیلو نیوتن و در قاب مدل سازی شده برابر با ۸۴۸ کیلو نیوتن می باشد. که در حدود ۶ درصد اختلاف دارند.



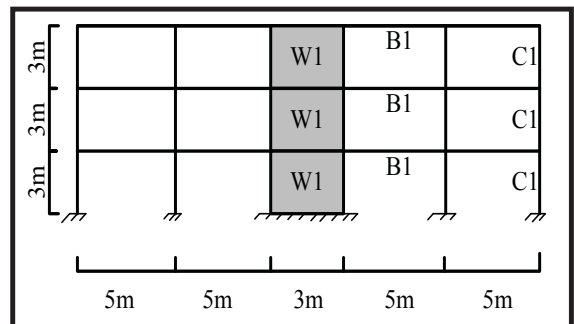
شکل ۶. مقایسه منحنی های عملکرد قاب شش طبقه مدل شده و قاب شش طبقه مرجع

بام ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. طراحی قاب ها با فرض این که در یک منطقه بارزده خیزی خیلی زیاد مانند شهر تهران ($A=0.35g$) واقع شده اند، صورت پذیرفته است. به دلیل کمتر کردن اندرکنش خاک و سازه، خاک مورد استفاده در محاسبات و طراحی از نوع (II) در نظر گرفته شده است. قاب ها دارای دیوار برشی متوسط بوده و دارای ضریب رفتار برابر با ۵ می باشند. ساختمان ها همگی دارای کاربری مسکونی بوده و دارای ضریب اهمیت یک می باشند. جرم کف در تمامی طبقات یکسان بوده و به صورت متمرکز بر محل های اتصال تیر و ستون ها وارد شده است. قاب ها در پلان و نیز ارتفاع منظم بوده و از هرگونه ایجاد نامنظمی در آن خودداری شده است. در سازه ها میرایی به مقدار ۵ درصد در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ مشخصات هندسی قاب های مورد مطالعه ارائه شده است.

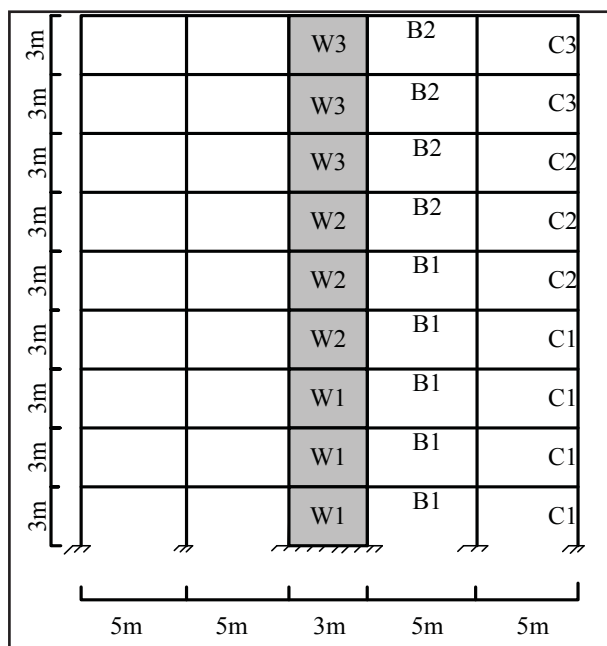
مشخصات و نحوه پیاده سازی مدل ها: برای سهولت کار قاب های ۵ دهانه با چهار ارتفاع سه، پنج، هفت و نه طبقه استفاده شده است. دلیل استفاده از ارتفاع های مختلف نیز این است که ارتفاع سازه می تواند مولفه بسیار خوبی برای مقایسه رفتار انواع سازه ها در برابر زلزله های گوناگون باشد. قاب ها، طبق آیین نامه بتن ایران (مبحث نهم، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) طراحی شده و همچنین بارگذاری آن ها طبق آیین نامه بارگذاری ایران (مبحث ششم، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) و بارگذاری لرزه ای آن ها نیز، بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) انجام پذیرفته است. طول دهانه تمامی تیرها، ۵ متر دهانه دیوار برشی ۳ متر و ارتفاع همه طبقات قاب ها ۳ متر می باشد. بار مرده در نظر گرفته شده برای طبقات ۶۶۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار زنده برای طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و برای



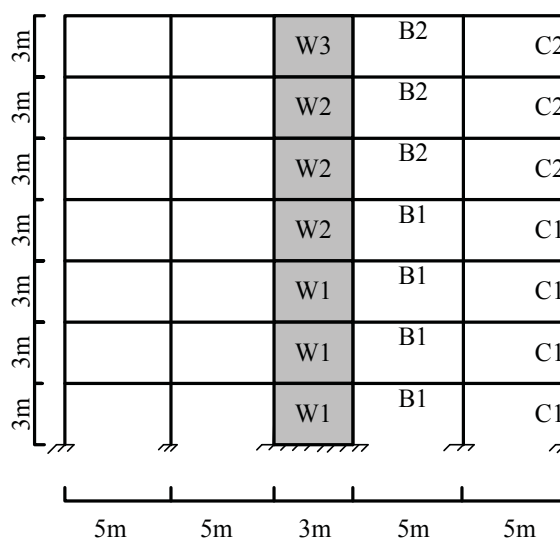
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۷. مشخصات هندسی قاب‌ها (الف) قاب سه طبقه، (ب) قاب پنج طبقه، (پ) قاب هفت طبقه، (ت) قاب نه طبقه

جدول ۲. پارامترهای مدل سازی رفتار مصالح

مقدار	واحد	مشخصات مکانیکی	مصالح
۳۵	مگاپاسکال ^۲	مقاومت فشاری	بتن
۰	مگاپاسکال	مقاومت کششی	
۰,۲	درصد	کرنش فشاری در بیشترین تنش	
۲۰۰۰۰۰	مگاپاسکال	مدول الاستیسیته	فولاد
۴۰۰	مگاپاسکال	مقاومت جاری شدن	
۰,۵	درصد	پارامتر سخت شوندگی کرنشی	
۶۰۰۰۰	مگاپاسکال	مدول الاستیسیته	آلیاژهای حافظه دار شکلی
۴۰۰	مگاپاسکال	تنش تبدیل فاز آستینیت به شروع مارتینزیت	
۵۰۰	مگاپاسکال	تنش تبدیل فاز آستینیت به پایان مارتینزیت	
۳۰۰	مگاپاسکال	تنش تبدیل فاز مارتینزیت به شروع آستینیت	
۱۰۰	مگاپاسکال	تنش تبدیل فاز مارتینزیت به پایان آستینیت	
۶	درصد	طول کرنش سوپر الاستیک	

برای مدلسازی عددی قاب‌ها از نرم افزار اجزا محدود Seismostruct استفاده شده است که قابلیت در نظر گرفتن رفتار غیر خطی هندسی و رفتار غیر خطی مصالح را دارا می باشد. در تحلیل‌های صورت گرفته از مدل فیزیکی برای در نظر گرفتن توزیع غیر خطی مصالح و به تعداد ۲۰۰ در مقاطع تیر و ستون و ۱۰۰۰ در مقاطع دیوار برشی که نیاز به پاسخ‌های لرزه ای دقیق تر می باشند، استفاده شده است. وضعیت تنش- کرنش هر مقطع توسط جمع رفتار غیر خطی محوری هر کدام از فیبرها که در طول و مقطع اعضا قرار دارند تعیین می گردد. تمامی مصالحی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند به صورت از پیش نوشته شده و قابل دسترس می باشند. در جدول ۲ پارامترهای مورد نیاز برای مدل سازی رفتار مصالح آورده شده است. مدل رفتاری مصالح بتنی در این تحقیق، مدل ارائه شده توسط مندر و همکاران است که توسط مارتینز، روادو و الناشای (۱۹۹۷، ص ۱۳۹) اصلاح گردیده است. برای شبیه سازی رفتار میلگردها از مدل رفتاری دوخطی استفاده شده است. مدل سازی رفتاری آلیاژ حافظه دار شکلی نیز مطابق مدل محوری آریو و ساکوا (۱۹۹۷، ص ۴۸۹) صورت گرفته است.

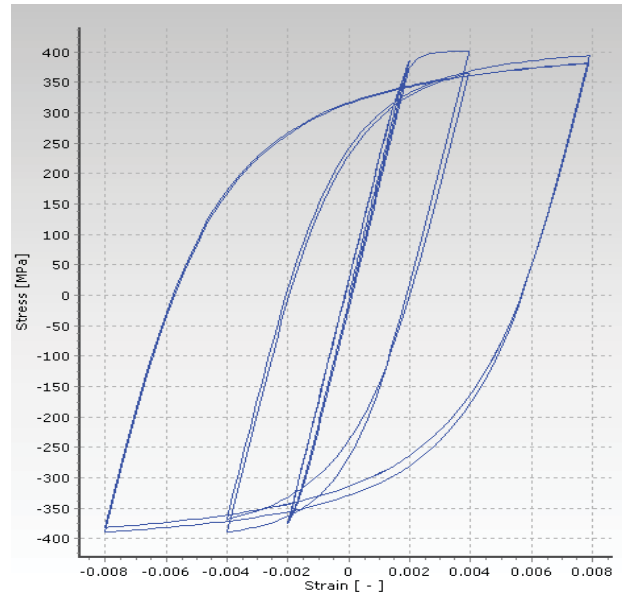
۳۰٪ مشخص شده است. به صورتی که برای قاب سه طبقه تنها در طبقه ۱ دیوار برشی و برای قاب پنج طبقه تنها در طبقه ۱ و ۲ و برای قاب هفت طبقه نیز در طبقه ۱ و ۲ و برای قاب نه طبقه در طبقه ۱، ۲ و ۳ از آلیاژ حافظه دار شکلی استفاده شده است. علت استفاده از SMA تنها در سی درصد ارتفاع ابتدایی سازه این است که به علت هزینه بالای مواد آلیاژ حافظه دار شکلی ما به دنبال طرح بهینه برای استفاده از این مواد می باشیم و با توجه به تحقیقات گذشته مربوط به سی درصد میانی و انتهایی ارتفاع سازه و بررسی مقالات ارائه شده در این زمینه (علم، ۲۰۱۲) و همچنین علم بر این موضوع که دیوار برشی در طبقات پایین عملکرد بهتری داشته و از اهمیت بیشتری برخوردار است، به انتخاب سی درصد ابتدایی ارتفاع سازه پرداخته ایم.

یافته ها

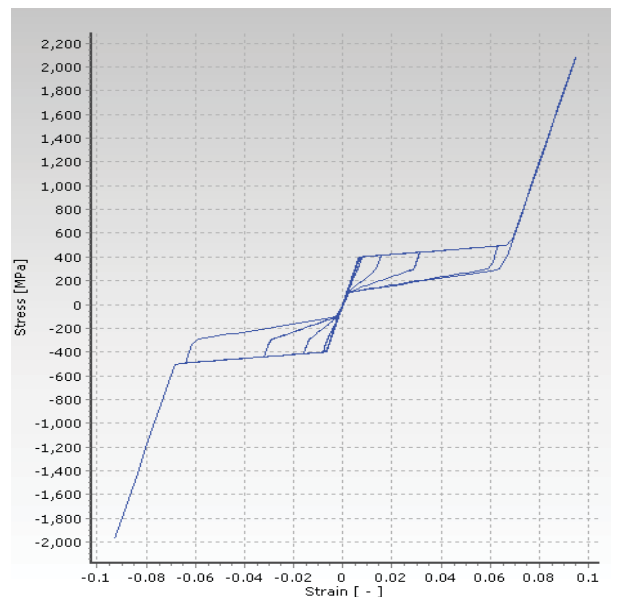
دوره تناوب اصلی سازه‌ها: تحلیل مقادیر ویژه به منظور پیدا نمودن زمان تناوب اصلی قاب صورت پذیرفته است. در سازه‌های مدل شده، مد اول تعیین کننده رفتار قاب می باشد و در جدول ۳ به مقایسه زمان تناوب‌های اصلی قاب‌ها پرداخته شده است.

در قاب هایی که آلیاژهای حافظه دار شکلی جایگزین فولاد شده اند، زمان تناوب اصلی قاب‌ها نیز افزایش پیدا نموده است که دلیل این امر را می توان کم بودن مدول الاستیسیته میلگردهای آلیاژهای حافظه دار شکلی در مقایسه با نوع فولادی اظهار داشت. همانطور که در جدول زیر مشاهده می شود پریود در قاب‌های سه، پنج، هفت و نه طبقه که آلیاژ حافظه دار شکلی در طبقات ابتدایی دیوار برشی آنها استفاده شده است، بسیار نزدیک به قاب هایی است که در تمامی طبقات دیوار برشی از آلیاژ حافظه دار شکلی استفاده شده است.

میانگین تغییر مکان جانبی نسبی طبقات: برای مقایسه ساده تر اثر آلیاژهای حافظه دار شکلی قاب‌ها تحت شتاب نگاشت زلزله‌های مختلف، در شکل‌های ۹ تا ۱۲ میانگین دریفت طبقات برای سازه‌های سه، پنج، هفت و نه طبقه ارائه شده است. همان طور که در این اشکال مشاهده می گردد، در اکثر قاب‌ها صرفنظر از ارتفاع آن‌ها تغییر مکان



(الف)



(ب)

شکل ۸. مدل رفتاری تنش- کرنش (الف) فولاد (ب) آلیاژ حافظه دار شکلی مورد استفاده

در این پژوهش سه نوع قاب مورد بررسی قرار گرفته است، قاب بتنی نوع اول که تمام آرماتورهای دیوار برشی از نوع فولاد می باشند که با Steel مشخص شده است، قاب نوع دوم که تمام آرماتورهای دیوار برشی آن از نوع آلیاژ حافظه دار شکلی می باشد و با SMA-۱۰۰٪ مشخص شده است و قاب نوع سوم که تنها ۳۰ درصد طبقات ابتدایی دیوار برشی آن از آرماتورهای آلیاژ حافظه دار شکلی و مابقی آن از آرماتورهای فولادی می باشد و با SMA-

جدول ۳. مقایسه زمان تناوب (پریود) قاب‌های بتنی تحلیل شده (برحسب ثانیه)

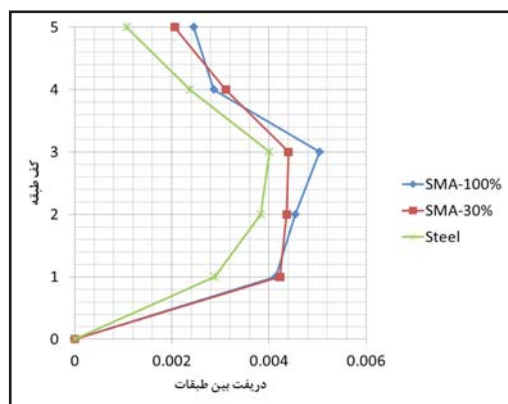
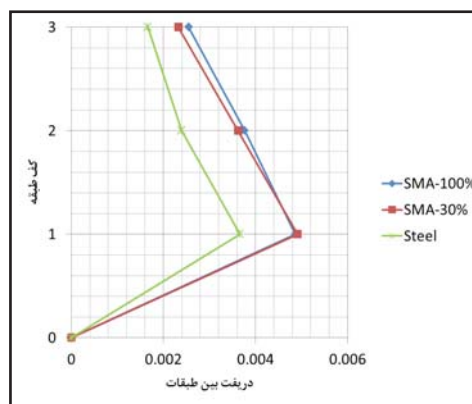
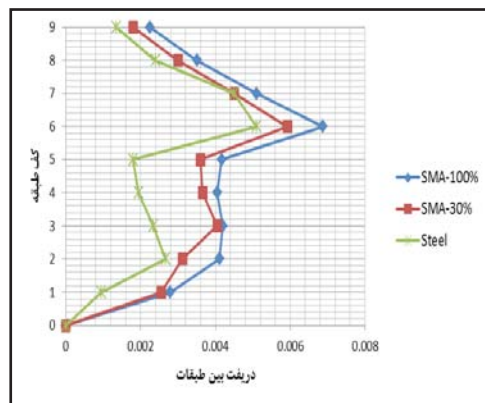
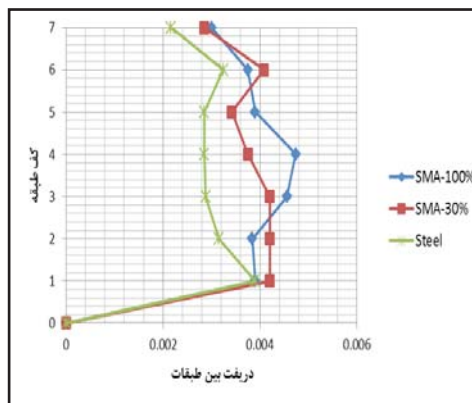
قاب	پریود قاب بتنی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ (s)	پریود قاب بتنی با آرماتور فولادی (s) Steel	پریود قاب بتنی با SMA در طبقات ابتدایی SMA (s) ۳۰٪	پریود قاب بتنی با SMA در تمام طبقات SMA (s) ۱۰۰٪
سه طبقه	۰,۲۵۹۸	۰,۲۸۱۸	۰,۲۸۴۹	۰,۲۸۵۷
پنج طبقه	۰,۳۸۱۱	۰,۵۷۱۹	۰,۵۷۸۶	۰,۵۷۹۰
هفت طبقه	۰,۴۹۰۵	۰,۸۷۴۶	۰,۸۸۱۲	۰,۸۸۲۲
نه طبقه	۰,۵۹۲۲	۱,۲۷۲۸	۱,۲۸۴۴	۱,۲۸۴۹

دریافت در تمامی مدل‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. میانگین تغییرات تغییرمکان جانبی نسبی قاب‌ها نسبت به قاب بتنی با آرماتور فولادی (برحسب درصد)

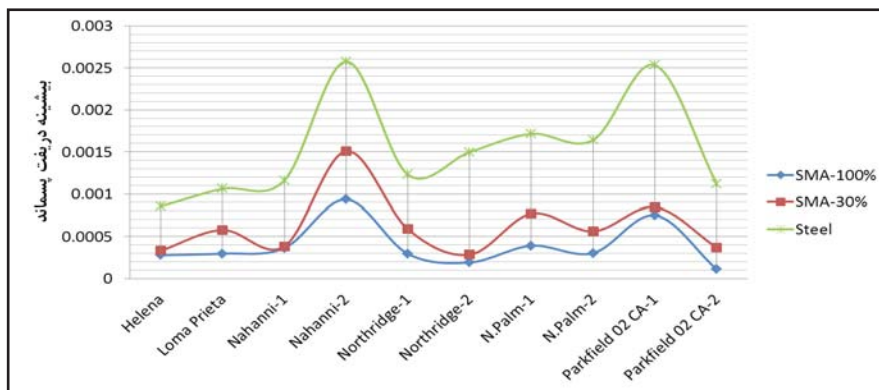
تعداد طبقات قاب	SMA-۳۰٪	SMA-۱۰۰٪
قاب سه طبقه	۴۰,۸۵+	۴۴,۹۰+
قاب پنج طبقه	۲۸,۰۶+	۳۴,۲۹+
قاب هفت طبقه	۲۳,۳۹+	۳۲,۸۱+
قاب نه طبقه	۳۲,۱۷+	۵۰,۳۱+

جانبی نسبی طبقات افزایش پیدا کرده است. آلیاژهای حافظه دار شکلی، به دلیل کمتر بودن مدول الاستیسته آنها نسبت به فولاد (تقریباً یک سوم) باعث کاهش سختی سازه و افزایش شکل پذیری و دوره تناوب قاب‌ها می‌شوند و این افزایش شکل پذیری و دوره تناوب، نیز باعث افزایش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در قاب‌های مورد مطالعه شده است. همانطور که در اشکال ۹ تا ۱۲ مشاهده می‌شود در قاب‌های بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی هنگامی که این آلیاژها در تراز طبقات پایینی سازه قرار گیرند رفتاری نزدیک نسبت به حالتی که این آلیاژها در تراز تمام طبقات قرار گیرند از خود نشان می‌دهند. میانگین تغییرات

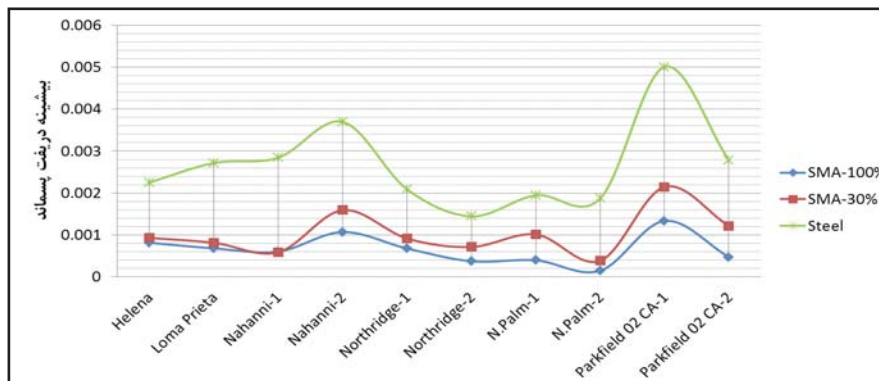

شکل ۱۰. میانگین دریفت طبقات قاب‌های پنج طبقه

شکل ۹. میانگین دریفت طبقات قاب‌های سه طبقه

شکل ۱۲. میانگین دریفت طبقات قاب‌های نه طبقه

شکل ۱۱. میانگین دریفت طبقات قاب‌های هفت طبقه

همان طور که در تمامی این اشکال نیز قابل ملاحظه می باشد، تغییر مکان جانبی پسماند قاب‌های بتنی مورد مطالعه، پرداخته شده است. تاکنون تحقیقات بسیار کمی پیرامون ارزیابی تغییر مکان جانبی نسبی پسماند طبقات صورت پذیرفته است. در این مطالعه نیز به دلیل اینکه یکی از پارامترهای مورد بررسی توانایی بازیابی شکل اولیه در قاب‌ها پس از زلزله می باشد، به آن پرداخته شده است. در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ به ترتیب ماکزیمم تغییر مکان پسماند قاب‌های سه، پنج، هفت و نه طبقه که ناشی از تحریک شتاب نگاشت‌های زلزله‌ها می باشد نشان داده شده است.

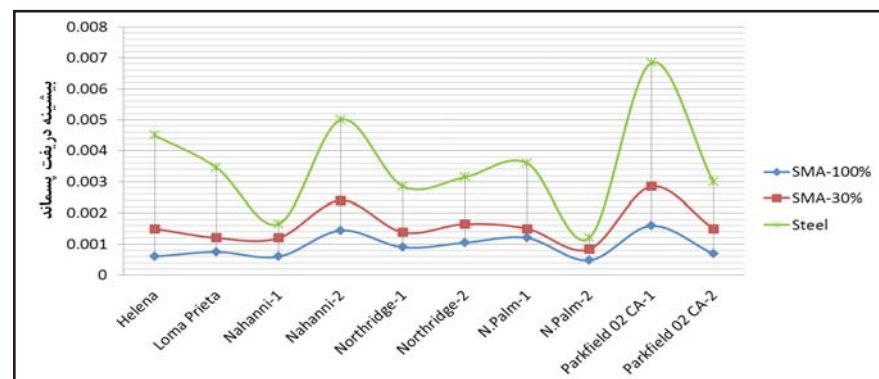
تغییر مکان نسبی پسماند طبقات: در این بخش به بررسی تغییر مکان جانبی پسماند قاب‌های بتنی مورد مطالعه، پرداخته شده است. تاکنون تحقیقات بسیار کمی پیرامون ارزیابی تغییر مکان جانبی نسبی پسماند طبقات صورت پذیرفته است. در این مطالعه نیز به دلیل اینکه یکی از پارامترهای مورد بررسی توانایی بازیابی شکل اولیه در قاب‌ها پس از زلزله می باشد، به آن پرداخته شده است. در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ به ترتیب ماکزیمم تغییر مکان پسماند قاب‌های سه، پنج، هفت و نه طبقه که ناشی از تحریک شتاب نگاشت‌های زلزله‌ها می باشد نشان داده شده است.



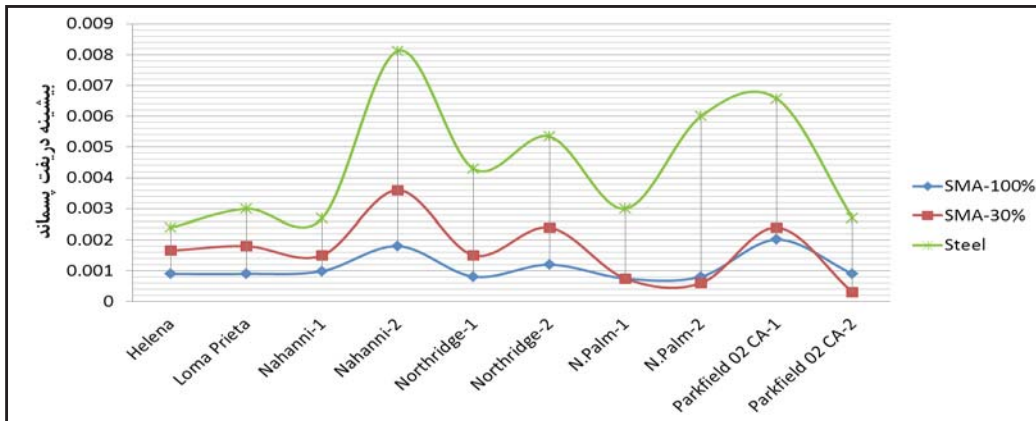
شکل ۱۳. ماکزیمم دررفت پسماند طبقات قاب‌های سه طبقه



شکل ۱۴. ماکزیمم دررفت پسماند طبقات قاب‌های پنج طبقه



شکل ۱۵. ماکزیمم دررفت پسماند طبقات قاب‌های هفت طبقه



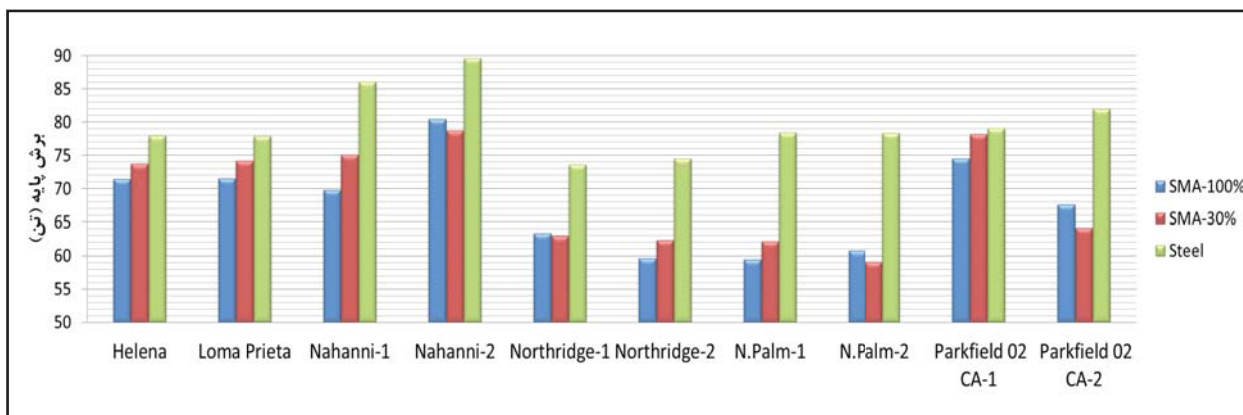
شکل ۱۶. ماکزیمم دررفت پسماند طبقات قاب‌های نه طبقه

تغییرات برش پایه؛ حداکثر برش پایه ایجاد شده در قاب‌های بتنی با فولاد مرسوم و قاب‌های بتنی بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی در اشکال ۱۷ تا ۲۰ مقایسه شده است. بیشینه برش پایه ایجاد شده در قاب‌های مدل سازی شده تحت اثر نگاشت‌های زلزله‌های انتخابی ارائه گردیده است. مشاهده می شود در اکثر نگاشت ها، حداکثر برش پایه ایجاد شده در قاب‌های بتنی بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار شکلی در تمام طبقات نسبت به قاب‌های بتنی مرسوم کاهش پیدا نموده‌اند. همچنین با افزایش تعداد طبقات میزان کاهش برش پایه در قاب هایی که طبقات نخستین آن‌ها و قاب هایی که تمامی طبقات با این آلیاژ بهسازی شده است، نسبت به قاب‌های بتنی متعارف با آرماتور فولادی افزایش می یابد.

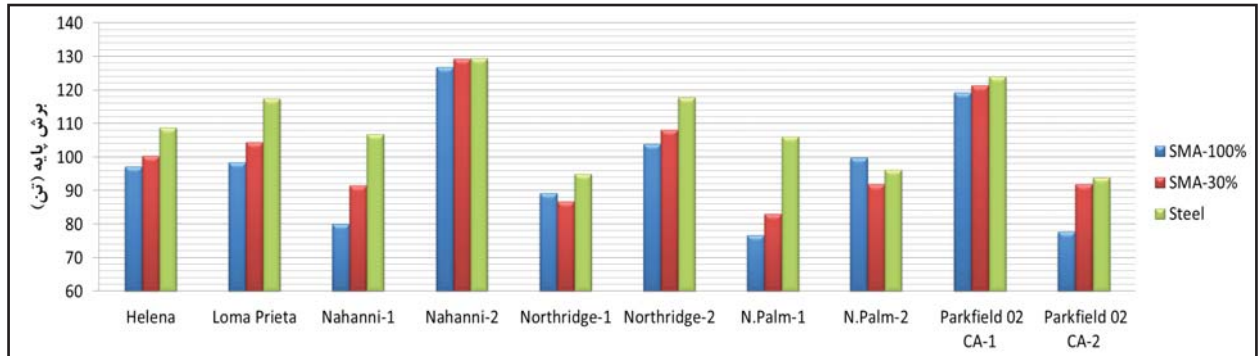
تغییرات برش پایه سایر قاب‌ها نسبت به قاب بتنی متعارف با آرماتور فولادی (برحسب درصد)

تعداد طبقات قاب	SMA-30%	SMA-100%
قاب سه طبقه	-۱۳,۴۱	-۱۴,۹۱
قاب پنج طبقه	-۷,۹۷	-۱۱,۶۲
قاب هفت طبقه	-۱۴,۳۵	-۲۴,۰۵
قاب نه طبقه	-۲۱,۴۸	-۲۸,۳۵

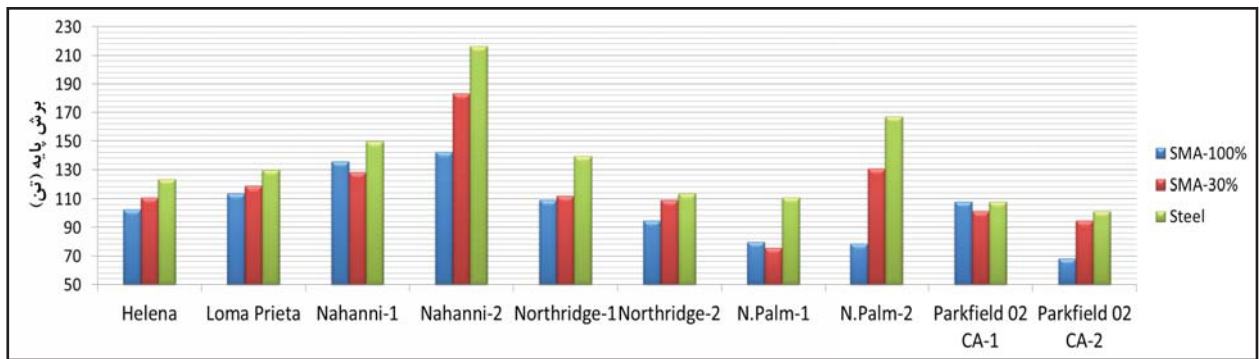
جدول ۵. تغییرات برش پایه قاب‌ها نسبت به قاب بتنی متعارف با آرماتور فولادی (برحسب درصد)



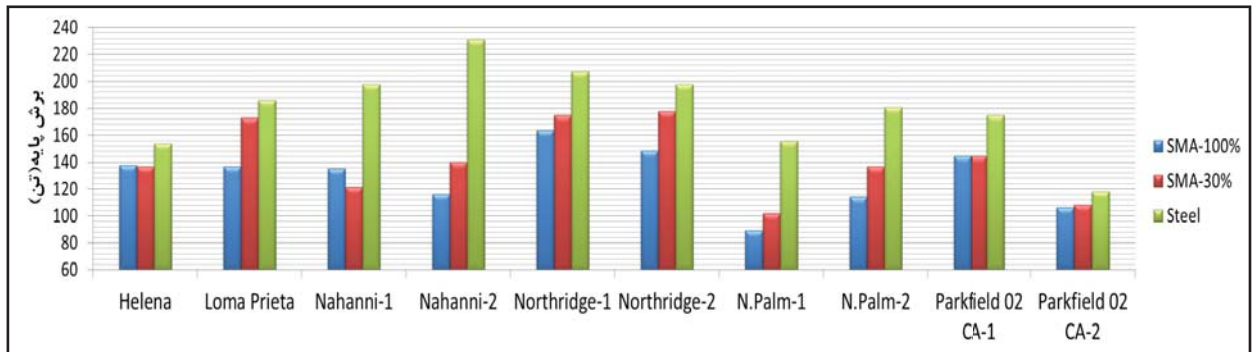
شکل ۱۷. ماکزیمم برش پایه قاب‌های سه طبقه



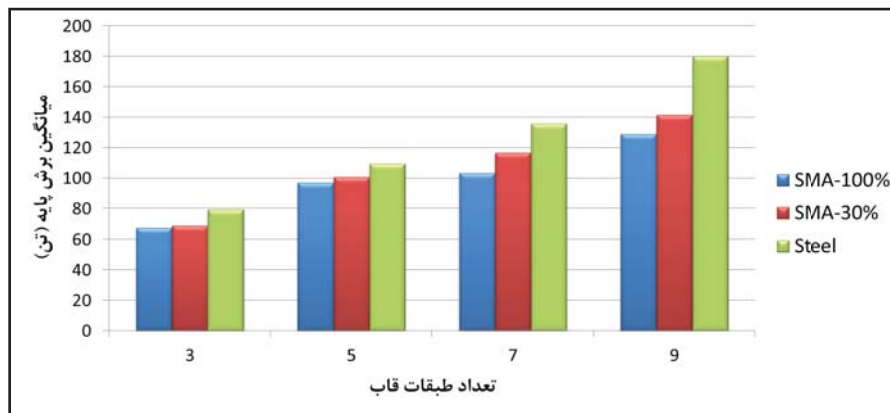
شکل ۱۸. ماکزیمم برش پایه قاب‌های پنج طبقه



شکل ۱۹. ماکزیمم برش پایه قاب‌های هفت طبقه



شکل ۲۰. ماکزیمم برش پایه قاب‌های نه طبقه



شکل ۲۱. میانگین برش پایه (تن)

نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی طرح بهینه بکارگیری مصالح هوشمند در دیوار برشی طبقات مختلف جهت بهسازی لرزه ای ساختمان‌های بتنی مسلح پرداخته شده و مقایسه از طریق تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی صورت پذیرفت. با توجه به نتایج این تحلیل ها، به طور خلاصه می توان نتیجه گرفت که:

استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی باعث افزایش پارامتر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب‌ها می گردد.

استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی تنها در ۳۰٪ ارتفاع نخست دیوار برشی، تغییر مکان جانبی نسبی نزدیک به سازه ای که در تمام طبقات دیوار برشی از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده شده است را به وجود می آورد.

با افزایش ارتفاع سازه، اختلاف بین تغییر مکان جانبی نسبی در سازه ای که تنها در ۳۰٪ ارتفاع نخست سازه از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده شده است، نسبت به سازه ای که در تمام طبقات از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده شده است، کاهش می یابد.

قاب هایی که تمام طبقات دیوار برشی خود یا ۳۰٪ طبقات نخستین ارتفاع سازه آنها با SMA بهسازی شده است، تغییر مکان جانبی پسماند بسیار ناچیزی در مقابل با تغییر مکان جانبی پسماند ناشی از قاب‌های بتنی با فولاد مرسوم به جای می گذارند.

قاب هایی که تمامی طبقات دیوار برشی با SMA بهسازی شده تغییر مکان جانبی پسماند کمتری نسبت به قاب هایی که ۳۰٪ طبقات نخستین ارتفاع دیوار برشی با این نوع آلیاژ بهسازی شده از خود بروز می‌دهند.

برش پایه ایجاد شده در قاب‌های بهسازی شده با آلیاژهای حافظه دار نسبت به قاب‌های بتنی مشابه با فولاد مرسوم کاهش پیدا کرده است.

استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی تنها در ۳۰٪ ارتفاع نخستین طبقات دیوار برشی، برش پایه ای نزدیک به سازه ای که در تمام طبقات دیوار برشی آن از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده شده است را به وجود می آورد.

از آنجایی که رفتار سازه هایی که در ۳۰٪ نخست ارتفاع دیوار برشی سازه از آلیاژهای حافظه دار شکلی استفاده کرده اند

بسیار مشابه سازه هایی که در تمامی طبقات دیوار برشی از آلیاژ حافظه دار شکلی استفاده کرده اند می - باشد و هزینه استفاده از این گونه آلیاژها به یک سوم کاهش می یابد، بنابراین توصیه می شود آلیاژهای حافظه دار شکلی تنها در ۳۰٪ ابتدایی ارتفاع سازه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

منابع فارسی:

- "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان"، (طرح و اجرای ساختمان‌های بتنی)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲. بازیابی از: <http://www.bhrc.ac.ir/tabid/1222/Default.aspx>
- "مبحث ششم مقررات ملی ساختمان"، (بارهای وارده بر ساختمان)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲. بازیابی از: <http://www.bhrc.ac.ir/tabid/1219/Default.aspx>
- «آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله»، ویرایش چهارم، کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۹۲)، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان. بازیابی از: <http://std2800.ir/tabid/2027/Default.aspx>
- مصطفی زاده، مهناز؛ مریم صابردل ساده و مهدی قاسمی، ۱۳۸۸، بهبود پاسخ لرزه ای دیوارهای برشی بتنی مجهز به آلیاژهای حافظه دار شکلی، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، تهران، دانشگاه تهران. بازیابی از: http://www.civilica.com/Paper-NCEMI01-NCEMI01_007.html

منابع انگلیسی

- Alam, M.S., M. Youssef, and M. Nehdi. (2009). Seismic performance of concrete frame structures reinforced with superelastic shape memory alloys. *Smart Struct Syst*, 5(5), 565-585. http://www.eng.uwo.ca/civil/faculty/nehdi_m/docs/memory_alloys.pdf
- Alam, M.S., M. Moni, and S. Tesfamariam. (2012). Seismic overstrength and ductility of concrete buildings reinforced with superelastic shape memory alloy rebar. *Engineering Structures*, 34, 8-20. doi:10.1016/j.engstruct.2011.08.030. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.08.030>
- Auricchio, F. and E. Sacco. (1997). A superelastic shape-memory-alloy beam model. *Journal of intelligent material systems and structures*, 8(6), 489-501. DOI: 10.1177/1045389X9700800602. https://www.researchgate.net/publication/258125222_A_Superelastic_Shape-Memory-Alloy_Beam_Model
- Bruno S, Valente C. Comparative Response Analysis of Conventional and innovative seismic protection strategies. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, VOL. 31, 2002, pp.1067-1092. DOI: 10.1002/eqe.138. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.138>
- Cardone D, Dolce M, Ponzo FC. Experimental behavior of R/C Frames retrofitted with dissipating and re-centering braces.



- Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Paper no. 201. <http://nheri.ucsd.edu/projects/2006-seven-story/>
- SeismoSoft (2013). SeismoStruct – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, (online): Available from URL: www.seismosoft.com
- Shahnewaz Md. and Shahria Alam M. Seismic Performance of Reinforced Concrete Wall with Superelastic Shape Memory Alloy Rebar, Structures Congress 2015. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784479117.193>
- Song, G., N. Ma, and H.-N. Li. (2006). Applications of shape memory alloys in civil structures. *Engineering Structures*, 28(9), 1266-1274. DOI:10.1016/j.engstruct.2005.12.010 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029606000344>
- Wilde K, Gardoni P, Fujino Y. Base isolation system with shape memory alloy device for elevated highway bridges. *Engineering Structures*, VOL. 22, 2000, pp.222-229. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296\(98\)00097-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296(98)00097-2)
- Journal of Earthquake Engineering, 2004, 8(3), pp.361-396. DOI: 10.1080/13632460409350493. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1080%2F13632460409350493>
- Czaderski C, Hahnebach B, Motavalli M, RC beam with variable stiffness and strength. *Construction and building materials*, 2005. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2005.01.038. https://www.researchgate.net/publication/238381297_RC_beam_with_variable_stiffness_and_strength
- DesRoches, R., J. McCormick, and M. Delemont. (2004). Cyclic properties of superelastic shape memory alloy wires and bars. *Journal of Structural Engineering*, 130(1), 38-46. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:1(38). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:1\(38\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:1(38))
- DesRoches R, Delemont M. Seismic retrofit of simply supported bridges using shape memory alloys. *Engineering Structures*, VOL.24,2002: pp.325-32. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296\(01\)00098-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296(01)00098-0)
- Dolce M, Cardone D. Mechanical behavior of Shape Memory alloys for seismic applications—Austenite NiTi wires subjected to tension, *International Journal of Mechanical Sciences*, VOL. 43,2001, pp.2657-77. http://www2.dec.fct.unl.pt/projectos/SMA_2008/Bib/DC01b.pdf
- Ghassemieh M, Nojourni S.A, Kari A, Bahaari M.R. Upgrading of concrete shear wall system using shape memory alloys. 11th international conference on inspection, appraisal, repairs & maintenance of Structures, north Cyprus, 2007. https://www.researchgate.net/publication/306099460_UPGRADING_OF_CONCRETE_SHEAR_WALL_SYSTEM_USING_SHAPE_MEMORY_ALLOYS
- Indiril M, Carpani B, Martelli A, Castellano M.G, Infanti S, Crosi G, Biritognolo M, Bonci A, Viscovici A, Viani S. Experimental test on masonry structures provided with shape memory alloy antiseismic devices. 12th World Conferences of Earthquake Engineering (12WCEE), 2000. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/1773.pdf
- Martinez-Rueda, J.E. and A. Elnashai. Confined concrete model under cyclic load. *Materials and Structures*, 30(3), 139-147 (1997). DOI: 10.1007/BF02486385. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02486385>
- Motahari S.A, Ghassemieh M. and Abolmaali A.A. Implementation of shape memory alloy dampers for passive control of structures subjected to seismic excitations. *Journal of Constructional Steel Research*, VOL. 63, 2007, pp.1570-1579. DOI:10.1016/j.jcsr.2007.02.001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2007.02.001>
- Otsuka, K. and C.M. Wayman. (1999). *Shape memory materials*: Cambridge University Press. <https://books.google.com/books?id=DvltE9XUIN8C>
- Panagiotou M., Restrepo J.I. and Englekirk R.E. [2006] "Experimental seismic response of a full scale reinforced concrete wall building", *Proceedings of the First European*