بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان پایان نامه

بررسی عملکرد لرزه ای سازه های قاب خمشی بتن آرمه مجهز به آرماتورهای از جنس آلیاژهای حافظه دار شکلی سوپرالاستیک در طبقه همکف

استاد راهنما:

دکتر مجتبی فتحی

نگارش:

محمد هادی رای

مهر ماه ۱۳۹۳

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

محمد هادی رای

تحت عنوان

بررسی عملکرد لرزه ای سازه های قاب خمشی بتن آرمه مجهز به آرماتورهای از جنس آلیاژهای حافظه دار شکلی سوپرالاستیک در طبقه همکف

در تاریخ **۹۳/۰۷/۲۹** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر مجتبی فتحی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه: دکتر حمید توپچی نژاد با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه: دکتر حمید رضا اشرفی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که همواره مشوق من در تمام مراحل زندگی هستند

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود واجب می دانم که مراتب سپاس و قدردانی خود را تقدیم عزیزانی نمایم که مرا در انجام این کار تحقیقاتی یاری نموده اند.

از جناب آقای دکتر مجتبی فتحی به عنوان استاد راهنما که در طول تحقیق مرا از راهنمایی های حکیمانه خویش بهره مند ساخته اند و نیز از اساتید محترم آقایان دکتر حمید رضا اشرفی و دکتر حمید توپچی نژاد به واسطه قبول داوری این تحقیق سپاسگزاری می نمایم.

در نهایت از همه اعضای خانواده ام که در این مدت طولانی همواره و در همه جوانب مشوق و پشتیبانم بودند تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

در سال های اخیر ایده طراحی و ساخت سازه های هوشمند به واقعیت نزدیکتر شده است. مهندسین عمران به کمک علم متالوزی به مصالح سازه‌ای نوینی دست یافته اند که می‌توانند در شرایط مختلف از خود خواص فیزیکی از پیش تعیین شده ای نشان دهند.

مواد سازه ای مورد استفاده در این پایان نامه، آلیاژهای حافظه دار شکلی[1] با خصوصیتهای رفتار فوق ارتجاعی، عبارتند از ترکیبی از آلیاژهای نیکل و تیتانیوم که تحت سیکل های بارگذاری و بار برداری حتی پس ازگذشتن از ناحیه تسلیم از خود کرنش پسماند ناچیزی نشان می‌دهند. بطور کلی قابلیت یک ماده در برگشت به شکل اولیه، با وجودی که تغییر شکل پلاستیک یافته باشد را پدیده حافظه داری گویند. این گونه مصالح می‌توانند پس از تغیر شکل پلاستیک و گذشتن از حد تسلیم با گذشت زمان به کرنش صفر برسند و در واقع در سازه نیروهای بازسازی کننده ای ایجاد کنند که می‌تواند سبب بسته شدن ترکهای عرضی بتن درناحیه کششی شود و یا باعث از بین رفتن خروج از مرکزیت ایجاد شده در ستون های بتنی بر اثر تغییر مکان ناشی از زلزله شود. این قابلیت می‌تواند در بعضی از سازه‌های مهم مثل پل های ارتباطی و برج های مخابراتی سبب شود که این سازه ها بعد از زلزله هم کاربری خود را حفظ کنند.

در این پایان نامه، یک قاب بتنی یک طبقه دو بعدی توسط نرم افزار المان محدود ABAQUS مدل سازی شده است. به منظور بررسی رفتار لرزه‌ای، قاب مورد نظر در محل مفصل پلاستیک ستون‌ها در حالت بدون و با آلیاژ حافظه دار شکلی تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی شتابنگاشت قرار گرفته است. تحلیلهای دینامیکی تحت سه شتابنگاشت انجام شده و برای بررسی دقیقتر رفتار قاب، شتابنگاشت ها به تدریج در طی سه مرحله افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی به عنوان آرماتور بجای‌آرماتورهای فولادی معمولی در منطقه مفصل پلاستیک ستون، با کاهش تغییر مکان باقی‌مانده قاب، عملکرد لرزه ای سازه را از طریق بازگردانندگی قابل توجه در تغییرشکل‌های نهایی بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: ۱: آلیاژ حافظه دار شکلی ۲: قاب بتنی ۳: آرماتور هوشمند ۴: رفتار فوق ارتجاعی

[1] Shape Memory Alloys

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه. ۲

۱-۲- تحقیق اهمیت. ۳

۱-۳- انواع مواد هوشمند. ۳

۱-۴- تاریخچه کشف و زمینه های کاربرد آلیاژ هوشمند. ۴

۱-۵- تاریخچه مدل سازی رفتار آلیاژهای حافظه دار. ۵

۱ -۵-۱- مدل سازی از طریق خواص ماکروسکوپیک. ۶

۱ -۵-۲- مدل سازی از طریق خواص میکروسکوپیک. ۷

فصل دوم: اصول کلی آلیاژهای حافظه دار

۲-۱- مقدمه. ۹

۲-۲- ارتباط تنش- کرنش- دما در آلیاژهای حافظه دار. ۱۰

۲-۳- معرفی خواص حافظه در آلیاژهای حافظه دار. ۱۴

۲-۳-۱- خاصیت حافظه یک طرفه. ۱۵

۲-۳-۲- دوطرفه حافظه خاصیت. ۱۶

۲-۳-۳- سوپرالاستیسیته خاصیت. ۱۷

۲-۴- خواص فیزیکی آلیاژهای حافظه دار ۱۹

۲-۴-۱- آلیاژهای نیکل-تیتانیوم ۱۹

۲-۴-۲- آلیاژهای بر پایه مس ۲۱

۲-۵ پیچیدگی های رفتاری ۲۲

۲-۵-۱- اثر دما ۲۲

۲-۵-۲- اثر ابعاد نمونه‌ها. ۲۲

۲-۵-۳- اثر تعداد چرخه‌های بارگذاری ۲۴

۲-۵-۴- اثر سرعت بارگذاری ۲۴

فصل سوم: مروری بر کارهای پیشینیان

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد آلیاژهای حافظه دار در مهندسی عمران. ۲۶

۳-۲-۱- ترمیم و مقاوم سازی ۲۶

۳-۲-۲- کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی درسیستم مهاربندی ۲۹

۳-۲-۳- اتصالات سازه های فولادی ۳۳

۳-۲-۴- جداسازهای لرزه ای. ۳۶

۳-۲-۵ کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی درسازه های بتن آرمه ۳۷

فصل چهارم- معرفی نرم افزار اجزا محدود و صحت سنجی

۴-۱- مقدمه..... ۴۹
۴-۲- معرفی ABAQUS..... ۵۰
۴-۳- نحوه مدلسازی بتن در ABAQUS..... ۵۰
۴-۳-۱- مدل پلاستیک آسیب دیده..... ۵۰
۴-۳-۲- کاهش سختی الاستیک در هنگام نرم شوندگی کرنش..... ۵۳
۴-۳-۳- مسلح کردن بتن..... ۵۳
۴-۳-۴- سخت شدگی کششی..... ۵۴
۴-۳-۴-۱- رفتار تنش کرنش پس از شکست..... ۵۴
۴-۳-۵- معیار انرژی شکست ترک..... ۵۵
۴-۳-۶- کاربرد..... ۵۶
۴-۳-۷- تعریف رفتار فشاری..... ۵۶
۴-۳-۸- تعریف رفتار کششی..... ۵۷
۴-۳-۸-۱- مدل ارائه شده توسط سروِنکا و همکاران..... ۵۹
۴-۳-۹- مشخصات مصالح معرفی شده به نرم افزار..... ۶۲
۴-۳-۹-۱- بتن..... ۶۲
۴-۳-۹-۱-۱- المان سازه ای بتن..... ۶۲
۴-۳-۹-۱-۲- خصوصیات سازه ای بتن..... ۶۲
۴-۳-۹-۲- آرماتورها..... ۶۵
۴-۳-۹-۲-۱- المان سازه ای آرماتور..... ۶۵
۴-۳-۹-۲-۲- خصوصیات سازه ای آرماتور..... ۶۶
۴-۴- مشکلات همگرایی..... ۶۶
۴-۵-صحت سنجی..... ۶۷
۴-۵-۱-مشخصات مصالح..... ۶۸
۴-۵-۱-۱- بتن و فولاد. ۶۸
۴-۵-۱-۲- آلیاژحافظه دار شکلیSMA. ۶۹
۴-۵-۱-۳- الگوریتم رفتاری فوق ارتجاعی آلیاژحافظه دار شکلی ارایه شده توسط کاربر..... ۷۰
۴-۵-۱-۴- هندسه اتصال تیر به ستون مورد آزمایش..... ۷۱
۴-۵-۲- بررسی نتایج ومقایسه..... ۷۴

فصل پنجم: تحلیل مدل و بررسی نتایج

۵-۱- مدل سازی قاب مورد مطالعه..... ۷۶
۵-۱-۱- شرایط تکیه گاهی..... ۷۷
۵-۲- زلزله حوزه نزدیک..... ۷۷
۵-۳- مشخصه های زلزله حوزه نزدیک..... ۷۸
۵-۴- تحلیل لرزه ای تاریخچه زمانی..... ۸۳

۵-۵- نتایج تحلیل لرزه ای مربوط به زلزله coyote lake بر قاب مورد بررسی.....۸۶
۵-۵-۱- نمودارهای تغییرمکان- زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۸۷
۵-۵-۲- مقایسه نمودارهای تغییر مکان –زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۸۸
۵-۵-۳- نمودارهای برش پایه- زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۹۱
۵-۶- نتایج تحلیل لرزه ای مربوط به زلزله Loma Prieta بر قاب مورد بررسی.....۹۴
۵-۶-۱- نمودارهای تغییرمکان- زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۹۵
۵-۶-۲- مقایسه نمودارهای تغییر مکان –زمان قاب مسلح شده با فولاد معمولی و SMA.....۹۶
۵-۶-۳- نمودارهای برش پایه- زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۹۹
۵-۷- نتایج تحلیل لرزه ای مربوط به زلزله Northridge بر قاب مورد بررسی.....۱۰۱
۵-۷-۱- نمودارهای تغییرمکان- زمان قاب مسلح شده با و بدونSMA ۱۰۲
۵-۷-۲- مقایسه نمودارهای تغییر مکان –زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA. ۱۰۳
۵-۷-۳- نمودارهای برش پایه- زمان قاب مسلح شده با و بدون SMA.....۱۰۶
۵-۸- استهلاک انرژی قاب. ۱۰۸
۵-۹- بررسی موقعیت خرابی قاب در دو حالت مسلح شده با و بدون SMA.....۱۰۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه.....۱۱۳
۶-۲- نتایج.....۱۱۳
۶-۳- پیشنهادات.....۱۱۴

منابع.....۱۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱– منحنی نمونه تنش – کرنش دمای آلیاژهای حافظه دار. ۱۰
شکل ۲-۲– نمودار شماتیک کرنش- دمای آلیاژهای حافظه دار..... ۱۲
شکل ۲-۳– نمودار شماتیک تنش- کرنش آلیاژهای حافظه دار..... ۱۳
شکل ۲-۴– طرح تغییر فاز آلیاژهای حافظه دار بر حسب سطح تنش و دما در حالت تک محوره..... ۱۳
شکل ۲-۵– منحنی تبدیل فازهای آستنیت و مارتنزیت به یکدیگر با تغییر دما. ۱۴
شکل ۲-۶– الف- رفتار شماتیک جسم در حالت حافظه یک طرفه- ب- نمودار تنش- کرنش- دما در حالت حافظه یک طرفه..... ۱۵
شکل ۲-۷– الف-رفتار شماتیک جسم در حالت حافظه دو طرفه- ب- نمودار تنش- کرنش- دما در حالت حافظه دو طرفه. ۱۶
شکل ۲-۸– الف-رفتار شماتیک جسم در حالت سوپرالاستیک - ب- نمودار تنش- کرنش- دما در حالت سوپرالاستیک. ۱۷
شکل ۲-۹- رفتار فوق ارتجاعی SMA ها در دماهای مختلف. ۲۲
شکل ۲-۱۰- اثر ابعاد SMA بر روی رفتار فوق ارتجاعی..... ۲۳
شکل ۲-۱۱- اثر تعداد چرخه های بارگذاری بر روی رفتار فوق ارتجاعی SMA. ۲۳
شکل ۲-۱۲- اثر سرعت بارگذاری بر روی رفتار فوق ارتجاعی SMA. ۲۴
شکل ۳-۱ مقاوم سازی کلیسای San Giogio در Trignano ایتالیا. ۲۷
شکل ۳-۲- مقاوم سازی کلیسای San Franncesco در Assissi ایتالیا. ۲۸
شکل ۳-۳- هندسه پل مقاوم سازی شده و محل نصب نگهدارنده ها. ۲۹
شکل۳-۴- الف میراگر SMA بازگرداننده ب چیدمان مهاربندها در داخل قاب. ۳۰
شکل ۳-۵-الف) میله جذب کننده انرژی ب)مفتول های SMA درون ابزار ترکیبی برای پیکربندی ۲ پ) نمای کلی ابزار ترکیبی با پین هایی برای پیکربندی ۱. ..... ۳۱
شکل ۳-۶- آرایش ابزارهای ترکیبی a) پیکربندی ۱ b) پیکربندی ۲. ..... ۳۲
شکل ۳-۷- سیستم مهاربندی در مورد A و B. ۳۳
شکل ۳-۸- اتصال فولادی تیر به ستون با استفاده از تاندون های از جنس SMA و منحنی هیسترزیس آن.... ۳۴
شکل ۳-۹– اتصال SMA و مدل فیبری در Opensees. ۳۵
شکل ۳-۱۰– شکل شماتیک میلگرد مهار SMA برای یک ستون..... ۳۶
شکل ۳-۱۱- شکل شماتیک جداساز لرزه ای دارای SMA. ۳۷
شکل ۳-۱۲– الف- ترک بزرگ در هنگام آزمایشتیر مسلح به آرماتور هوشمند- ب- ترک بعد از بازبرداری بسته می شود..... ۳۸
شکل ۳-۱۳- خرابی در نسبت تغییر مکان نسبی 2% - a) RSC و b) RNC و c) RNE.. ..... ۳۹
شکل ۳-۱۴- خرابی در نسبت تغییر مکان نسبی 5% - a) RSC و b) RNC و c) RNE..... ۳۹
شکل ۳-۱۵- نمونه های باربرداری شده پس از بارگذاری تا نسبت تغییر مکان نسبی 5% a) RSC و b) RNC و c)RNE. ۳۹

شکل۳ -۱۶– اتصال نمونه JBC-2، جزئیات اتصال دارای SMA. ۴۱
شکل ۳-۱۷– نمونه JBC-1، جزئیات اتصال فولاد معمولی..... ۴۱
شکل ۳-۱۸- جزئیات آرماتور ستون بتنی مسلح شده با SMA نمونه SMA C-1. ..... ۴۲
شکل ۳-۱۹– قطرها و چیدمان آرماتورها ی نمونه ها برحسب mm. ۴۳
شکل ۳-۲۰- منحنی های بار – تغییر مکان نمونه ها. ۴۴
شکل ۳-۲۱- رابطه بین عرض ترک پسماند و تعداد چرخه های بارگذاری..... ۴۴
شکل ۳-۲۲– پلان سازه..... ۴۵
شکل ۳-۲۳- هندسه ستون بتن آرمه ترکیبی..... ۴۶
شکل ۴-۱- نمودار تنش کرنش a) کششی بتن و b) فشاری بتن. ۵۲
شکل ۴-۲- نمودار تنش کرنش کششی بتن و کرنش‌های پلاستیک و غیرالاستیک..... ۵۴
شکل ۴-۳- منحنی تنش کششی – تغییرمکان بتن. ۵۵
شکل ۴-۴- منحنی تنش کششی – تغییرمکان..... ۵۵
شکل ۴-۵- منحنی تنش کرنش فشاری بتن و کرنش های پلاستیک و غیرالاستیک. ۵۷
شکل ۴-۶- توابع سخت شدگی کششی متفاوت. ۵۸
شکل ۴-۷- منحنی بار تغییرمکان نشان دهنده مفهوم سخت شدگی کششی عضو بتن مسلح. ۵۹
شکل ۴-۸- سهم پذیری ناحیه اندرکنشی از تنش طبق. ۶۰
شکل ۴-۹ - منحنی شماتیک تنش – کرنش کششی بتن. ۶۱
شکل ۴-۱۰- تابع جریان پلاستیک هذلولوی. ۶۳
شکل ۴-۱۱- سطح تسلیم در صفحه تنش. ۶۴
شکل ۴-۱۲- a) سطح تسلیم در صفحه تنش انحرافی، b) سطح تسلیم در صفحه سه بعدی. ۶۴
شکل ۴-۱۳- مدل سوپر الاستیک SMA. ۶۹
شکل ۴-۱۴- نمودار تنش – کرنش رفتار فوق ارتجاعی آلیاژ حافظه دار شکلی مدل شده. ۷۰
شکل۴-۱۵- تغییر شکل ایجاد شده در نمونه تحت بار اعمالی و تغییر مکان چرخه ای اعمالی به انتهای تیر. ... ۷۱
شکل ۴-۱۶- جزئیات اتصال نمونه دارای SMA. ۷۱
شکل۴-۱۷- جزئیات طراحی اجرایی نمونه مورد نظر. ۷۲
شکل۴-۱۸- مدل اجزا محدود تیر ستون ساخته شده. ۷۲
شکل۴-۱۹ - رابطه نیرو – لغزش اتصال دهنده مکانیکی. ۷۳
شکل۴-۲۰- تاریخچه تغییر مکان جانبی نسبی بر حسب زمان وارد شده به نمونه. ۷۳
شکل ۴-۲۱- الف) نحوه مدل سازی و ب) مش بندی اتصال تیر به ستون مورد آزمایش..... ۷۴
شکل ۴-۲۲- صحت سنجی نمودار هیسترزیس اتصال تیر به ستون دارای SMA در حالت عددی و آزمایشگاهی..... ۷۴
شکل ۵-۱- جزئیات و ابعاد مدل مورد مطالعه..... ۷۶
شکل ۵-۲- اثر جهت پذیری پیش رونده و پس رونده..... ۷۸
شکل ۵-۳- تاریخچه شتاب زلزله نورثریج در ایستگاه رینالدی. ۸۰
شکل ۵-۴- تاریخچه سرعت زلزله نورثریج در ایستگاه رینالدی..... ۸۰
شکل ۵-۵- تاریخچه تغییرمکان زلزله نورثریج در ایستگاه رینالدی..... ۸۱

شکل ۵-۶- تاریخچه شتاب زلزله امپریال ولی در ایستگاه ال سنترو. ۸۲
شکل ۵-۷- تاریخچه سرعت زلزله امپریال ولی در ایستگاه ال سنترو. ۸۲
شکل ۵-۸- تاریخچه تغییرمکان زلزله امپریال ولی در ایستگاه ال سنترو. ۸۳
شکل ۵-۹- طیف پاسخ الاستیک زلزله های مورد مطالعه و آیین نامه ۲۸۰۰..... ۸۴
شکل ۵-۱۰- نمودار شتابنگاشت های مورد مطالعه همپایه شده به 0.35g..... ۸۵
شکل ۵-۱۱- نمودار شتابنگاشت Coyote lake همپایه شده به 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به نرم افزار..... ۸۷
شکل ۵-۱۲- مقایسه نمودارهای تغییرمکان –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای حافظه دار شکلی مربوط به زلزله coyote lake..... ۸۸
شکل ۵-۱۳- مقایسه حداکثر تغییرمکان قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Coyote Lake..... ۸۹
شکل ۵-۱۴- مقایسه تغییرمکان پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Coyote Lake..... ۹۰
شکل ۵-۱۵- مقایسه دریفت پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Coyote Lake..... ۹۰
شکل ۵-۱۶- مقایسه نمودارهای برش پایه –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای حافظه دار شکلی مربوط به زلزله coyote lake. ۹۲
شکل ۵-۱۷- مقایسه حداکثر برش پایه قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Coyote Lake..... ۹۳
شکل ۵-۱۸- نمودار شتابنگاشت Loma Prieta همپایه شده به 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به نرم افزار..... ۹۴
شکل ۵-۱۹- مقایسه نمودارهای تغییرمکان –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای حافظه دار شکلی مربوط به زلزله Loma Prieta. ۹۶
شکل ۵-۲۰- مقایسه حداکثر تغییرمکان قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Loma Prieta..... ۹۷
شکل ۵-۲۱- مقایسه تغییرمکان پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب‌های متفاوت زلزله Loma Prieta..... ۹۷
شکل ۵-۲۲- مقایسه دریفت پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Loma Prieta..... ۹۸
شکل ۵-۲۳- مقایسه نمودارهای برش پایه –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای حافظه دار شکلی مربوط به زلزله Loma Prieta..... ۹۹
شکل ۵-۲۴- مقایسه حداکثر برش پایه قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Loma Prieta..... ۱۰۰
شکل ۵-۲۵- نمودار شتابنگاشت Northridge همپایه شده به 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به نرم افزار..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۶- مقایسه نمودارهای تغییر مکان –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای

حافظه دار شکلی مربوط به زلزله Northridg ۱۰۳
شکل ۵-۲۷- مقایسه حداکثر تغییر مکان قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Northridge ۱۰۴
شکل ۵-۲۸- مقایسه تغییرمکان پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Northridge ۱۰۴
شکل ۵-۲۹- مقایسه دریفت پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Northridge ۱۰۵
شکل ۵-۳۰ - مقایسه نمودارهای برش پایه –زمان قاب در دو حالت مسلح شده با فولاد معمولی و آلیاژهای حافظه دار شکلی در حالت اعمال شتاب 1.475g ۱۰۶
شکل ۵-۳۱- مقایسه حداکثر برش پایه قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله Northridge ۱۰۷
شکل ۵-۳۲- مقایسه دریفت پسماند قاب در دو حالت وجود آلیاژ حافظه دار شکلی و عدم وجود آلیاژ حافظه دار شکلی تحت شتاب های متفاوت زلزله. ۱۰۸
شکل ۵-۳۳- اتلاف انرژی تجمعی قاب در دو حالت تقویت شده بدون و با SMA تحت شتاب بیشینه 1.475g ۱۰۹
شکل ۵-۳۴- خرابی قاب مسلح شده با الف- فولاد معمولی و با ب- آلیاژ حافظه دار شکلی حاصل از زلزله Coyote Lake تحت شتاب های مختلف ۱۱۱

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ - مشخصات ترمودینامیکی آلیاژهای دارای خاصیت حافظه دار شکلی..... ۱۹
جدول ۲-۲- مشخصات مکانیکی آلیاژهای نیکل-تیتانیوم..... ۲۰
جدول ۲-۳ - مقایسه مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه دار شکلی و فولاد ساختمانی..... ۲۰
جدول ۲-۴- مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه دار شکلی بر پایه مس..... ۲۱
جدول ۳-۱- تغییر مکان نسبی پسماند درمقابل تغییر مکان نسبی بیشینه..... ۴۰
جدول ۴-۱- انرژی شکست برای انواع مختلف بتن و اندازه سنگدانه. ۲۸
جدول ۴-۲- مشخصات مصالح بتن به کار رفته برای نمونه. ۶۸
جدول ۴-۳- آرماتور طولی وعرضی به کار رفته برای نمونه. ۶۸
جدول ۴-۴- مشخصات آرماتور حافظه دار شکلی به کار رفته در نمونه..... ۶۹
جدول ۵-۱- مشخصات مکانیکی آلیاژ حافظه‌دار شکلی با رفتار فوق ارتجاعی..... ۷۷
جدول ۵-۲- مشخصات زلزله های حوزه نزدیک مورد مطالعه..... ۸۴
جدول ۵-۳ - تغییرمکان حداکثر، تغییرمکان پسماند در شتاب‌های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۸۷
جدول ۵-۴ - حداکثر برش پایه در شتاب های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۹۲
جدول ۵-۵- تغییرمکان حداکثر، تغییرمکان پسماند در شتاب های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۹۵
جدول ۵-۶- حداکثر برش پایه در شتاب‌های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۱۰۰
جدول ۵-۷ - تغییرمکان حداکثر، تغییر مکان پسماند در شتاب های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۱۰۲
جدول ۵-۸- حداکثر برش پایه در شتاب های 0.35g و 0.7g و 1.475g اعمالی به قاب بتنی مسلح شده با فولاد معمولی و SMA..... ۱۰۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱ – مقدمه

ساختمان ها و پل ها در نواحی با خطر لرزه ای زیاد مستعد خرابی های شدید و فروپاشی به دلیل تغییر شکل های جانبی زیاد در حین زلزله می‌باشند. به ویژه، المان های تیر–ستون در سازه های بتنی مسلح (RC) به شدت آسیب پذیر هستند و به عنوان ضعیف ترین اتصال در چنین سیستم های سازه‌ای به حساب می‌آیند[۱].

آئین نامه های طراحی لرزه ای حاضر، تاکید دارند که سازه های مقاوم در برابر زلزله به اندازه کافی به وسیله جزئیات آرماتور گذاری مناسب در نواحی بحرانی شکل پذیر باشند تا از رفتار الاستیک سازه تحت زلزله های متوسط مطمئن شوند. هرچند که ساخت سازه هایی که بتوانند تحت حرکت های شدید زمین بصورت الاستیک عمل کنند بسیار دشوار و پرهزینه است. در طراحی لرزه‌ای مرسوم سازه‌های RC، انتظار می‌رود که آرماتور ها به حد تسلیم برسند تا با تغییر شکل های دائمی آرماتورهای فولادی پس از تسلیم و خرابی بتن غیر محصور، انرژی مستهلک گردد. متعاقباً، در طی زمین لرزه های با مقیاس بزرگ، خرابی های شدید زیر سازه، فروپاشی ساختمان ها، بسته شدن پل ها، اخلال در عملکرد گروه های امداد و نجات و در نهایت آسیب های جدی اقتصادی را نتیجه می‌دهد. در حالی که اگر سازه ها بعد از چنین زمین لرزه هایی قابل سرویس دهی باشند، از بسیاری از این فجایع جلوگیری می‌شود. سیستم های هوشمند برای سازه های عمرانی، سیستم هایی هستند که به طور خودکار می توانند مشخصات سازه ای را در پاسخ به اختلالات خارجی و یا بارهای شدید غیر منتظره بر ضد ایمنی سازه، افزایش عمر سازه و خدمت پذیری آن تعدیل کنند. یک تکنولوژی کلیدی در تحقق این هدف، توسعه و بکارگیری مصالح هوشمند است که می‌توانند در سازه ها بکار گرفته شوند.

آلیاژ حافظه دار سوپر الاستیک (SMA) ماده ی ویژه‌ای است که قادر به تحمل تغییر شکل های غیر الاستیک بزرگ می باشد که شکل اصلی خود را با برداشت تنش باز می‌یابد، بنابراین می‌تواند نقطه ی روشنی برای مشکل تغییر شکل های دائمی باشد[۱].

۱-۲- اهمیت تحقیق

طراحی لرزه‌ای حاضر، به سمت روش‌های بر اساس کارآیی پیش می رود که در آن سیستم ها و اعضای سازه ای جدید می‌بایست دارای ظرفیت تغییر شکل و شکل پذیری بهبود یافته، تحمل خرابی بیشتر، اندازه ترک های کاهش یافته و تغییر شکل های دائمی کاهش یافته یا بازیافته باشند. استفاده از آلیاژ حافظه دار سوپر الاستیک به عنوان آرماتور به جای فولاد در محل های مفصل تیر ها و ستون ها نه تنها استهلاک کافی انرژی زمین لرزه را ثابت کرده، بلکه همچنین می‌تواند شکل اولیه ی چنین اعضایی را پس از فعالیت های لرزه ای باز یابد. چنین المان های تیر-ستون مسلح شده با آلیاژ حافظه دار به مهندسان سازه اجازه می‌دهند تا اتصالات RC را طراحی کنند که خرابی کم و کاهش تعمیرات پس از زمین لرزه را دارا باشند. آلیاژ حافظه دار مدول الاستیسیته و حلقه های هیسترتیک نسبتاً کوچکتری در مقایسه با فولاد دارد، بنابراین استفاده از آلیاژ حافظه دار در مقاطع RC ممکن است تغییرات قابل توجهی در رفتار سازه های RC را نتیجه دهد. از این رو اهمیت کاربردی در طراحی آن ها دارد. این پژوهش خصوصیات طراحی لازم و بحرانی سازه های RC با آلیاژ هوشمند را از نقطه نظر تحلیلی بحث و بررسی می کند[۲].

۱-۳- انواع مواد هوشمند

مواد هوشمند، موادی هستند که یک یا چند ویژگی متفاوت دارند که می تواند با روشی کنترل شده بطور قابل توجهی بوسیله محرک های خارجی چون تنش، دما، رطوبت، PH و میدان مغناطیسی یا الکتریکی تغییر داده شوند. انواع مختلفی از مواد هوشمند وجود دارند که برخی از آن ها بسیار رایج می‌باشد. برخی از انواع آن عبارتند از:

۱- مواد پیزوالکتریک[1]: موادی هستند که هنگامی که تنش به آن ها وارد می‌شود، تولید ولتاژ می کنند. همچنین این اثر به صورت معکوس هم بکار می‌رود، اعمال یک ولتاژ بر نمونه باعث ایجاد تنش در آن نمونه می شود. سازه های مناسب طراحی شده و ساخته شده از این مواد می توانند همراه با بکار گیری ولتاژ خم شوند، منبسط و یا منقبض شوند.

۲- آلیاژهای حافظه شکل دار و پلیمر های حافظه شکل دار[2]: موادی هستند که در آن‌ها تغییر شکل‌های بزرگ می‌تواند ایجاد شود و به وسیله دما و یا تغییر تنش (سودو الاستیسیتی[3]) به شکل ابتدایی بازگردند. تغییر شکل های بزرگ به دلیل تغییر فاز مارتنزیتی نتیجه می‌شود.

---
[1] Piezoelectric
[2] Shape Memory Alloys and Shape Memory Polymers
[3] Pseudoelasticity

۳- آلیاژهای حافظه شکل مغناطیسی[1]: موادی هستند که شکلشان با تغییر قابل توجه در میدان مغناطیسی تغییر می‌کند.

٤ - پلیمر های حساس به PH [2]: موادی هستند که با تغییر PH محیط اطراف متورم می شوند ویا فرو می پاشند.

٥- مواد هالوکرومیک[3]: مواد پرکاربردی هستند که رنگشان با تغییر میزان اسیدی، تغییر می‌کند. یک کاربرد آن در رنگ هایی است که با تغییر رنگشان خوردگی و زنگ زدگی فلز زیرشان می‌دهند.

٦ - مواد فوتومکانیکال[4]: موادی هستند که شکلشان با قرار گرفتن در معرض نور تغییر می کند [۳]. همانطور که در مقدمه ذکر شد، ماده هوشمند مورد استفاده در این مطالعه، نوع دوم یعنی آلیاژ حافظه شکل می باشد که خواص و ویژگی های مکانیکی آن بطور کامل در فصل دوم شرح داده خواهد شد.

۱-٤- تاریخچه کشف و زمینه های کاربرد آلیاژ هوشمند

در سال ۱۹۳۲ مشاهدات ثبت شده درباره پدیده حافظه داری شکلی توسط آقایان چانگ و رید[5] انجام شد. آنها وارون پذیری حافظه شکلی را در آلیاژ طلا-کادمیوم(Au-Cd) از طریق مطالعات فلز شناسی و تغییرات مقاومت آلیاژ، بررسی کردند. در سال ۱۹۵۶ مشاهدات و نتایج تحقیقات مربوط به پروژه دکترای آقای هوروبوجن[6] در موضوع اثر حافظه دار در آلیاژ مس-روی(Cu-Zn) منتشر شد. در سال ۱۹۶۲ بولر[7] و همکارانش، به بررسی پدیده حافظه داری شکلی در آلیاژ تیتانیم و نیکل(Ti-Ni) که دارای اتمهای برابر می باشند پرداختند. در این هنگام تحقیق درباره متالورژی و کاربردهای عملی اولیه آن به طور جدی آغاز شد[۴].

در سال ۱۹۶۷ در آزمایشگاه نل[8]، بولر و همکارانش تحقیقات گسترده خود را بر روی نیتینول و کاربردهای تجاری فراوان در صنایع ارائه دادند. از جمله کاربردهای مطرح شده ساخت کوپلینگ توسط شرکت رایچم[9] برای اتصال لوله های هیدرولیکی می باشد. که در صنایع هوایی و نیروی دریایی ایالات متحده و همچنین در حوزه های نفتی دریای شمال مورد استفاده قرار گرفت.

---

[1] Magnetic Shape Memory
[2] PH-Sensitive Polymers
[3] Halochromic materials
[4] Photomechanical materials
[5] Chang and Read
[6] Horobojen
[7] Buhler
[8] Naval Ordnance Laboratory (NOL)
[9] Raychem

در سال ۱۹۸۰ میلادی مایکل و هاوت[1]، با انتشار مقاله ای از نتایج تحقیقات خودشان بر روی آلیاژ برنج آن را به عنوان ماده جدید حافظه دار معرفی کردند[۵].

آلیاژ های حافظه دار با داشتن رفتار های سوپر الاستیک و حافظه داری، که به طور کلی در مصالح معمولی و مرسوم قابل مشاهده نیست، توانسته اند جای خود را به خوبی در سطح وسیعی از کاربرد های پیشرفته باز کنند[۶]. امروزه آلیاژهای حافظه دار کاربرد های متنوعی اعم از پزشکی، مهندسی هوا فضا و صنایع الکترونیک و همچنین رباتیک یافته اند. کاربرد آلیاژهای حافظه دار به عنوان سیستم تحریک روز به روز بیشتر می شود[۷]. از جمله استفاده آلیاژهای حافظه دار در پزشکی را می توان در ساخت پلاکها و ایمپلنت های پزشکی نام برد. از خاصیت سوپر الاستیسیته آن ها در سیم های ارتودنسی دندانپزشکی و همچنین در قاب عینک ها، در فیلتر سیمون برای جلوگیری از انسداد جریان خون و بسیاری موارد متعدد دیگر استفاده می گردد که خاصیت ارتجاعی جالب توجهی از خود نشان می دهند[۸]. مثال هایی از کاربرد وسایل سوپر الاستیک شامل آنتن تلفن های همراه سلولار، وسایل ضربه گیر، سیم های ماهیگیری و فایل های کانال ریشه در دندانپزشکی می باشد[۹]. مثال دیگری از به کار گرفتن پدیده حافظه داری، استفاده از تجهیزات ساخت و کنترل سازه های فضایی مانند ماهواره ها و آنتن ها می باشد. همچنین با توجه به تحریک پذیری این آلیاژها بر اثر دما از آن ها در ربات هایی که دارای ابعاد کوچک هستند استفاده می شود. علاوه بر این از آنجا که این آلیاژها در سیکل بارگذاری و باربرداری مقدار قابل توجهی از انرژی را مستهلک می کنند، تحقیقات وسیعی به منظور استفاده از آن ها در مستهلک کردن انرژی ارتعاشات ناشی از زلزله انجام می گردد[۱۰].

۱-۵- تاریخچه مدل سازی رفتار آلیاژهای حافظه دار

از زمان کشف آلیاژهای حافظه دار، یکی از تلاش های عمده محققین تحلیل و مدل سازی رفتار آلیاژهای حافظه دار بوده است. با توجه به اینکه رفتار ویژه آلیاژهای حافظه دار در اثر فرآیند استحاله مارتنزیتی است، لذا تحلیل و مدل سازی رفتار ترمومکانیکی این آلیاژها با تکامل دیدگاه متالورژی پیشرفت چشمگیری یافته است.

مدل های ارائه شده به منظور تحلیل رفتار آلیاژهای حافظه دار را می توان در دو شاخه عمده تقسیم بندی نمود:

۱- مدل هایی که رفتار آلیاژ را از دیدگاه ماکروسکوپیک و پارامترهایی که ماکروسکوپیک هستند بررسی می کند.

[1] Micheal and Hawt