بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب علی علاء دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۴۴۴۶۳۱۱۷ که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۳ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر آلیاژهای حافظه‌دار شکلی (SMA) دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو: علی علاء

امضاء

تاریخ: ۱۳۹۲/۱۲/۱۳

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله

عنوان:

ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر آلیاژ حافظه‌دار شکلی (SMA)

استاد راهنما:

دکتر کاظم شاکری

پژوهشگر:

علی علاء

اسفند ۱۳۹۲

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله

عنوان:

ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر آلیاژ حافظه‌دار شکلی (SMA)

پژوهشگر:

علی علاء

ارزیابی و تصویب‌شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی **عالی**

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	**امضاء**
دکتر کاظم شاکری	دانشیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر حامد شکرگزار	استادیار	داور	
دکتر امین قلی‌زاد	استادیار	داور	

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

که شمع وجودشان را چراغ راهم کردند.

سپاسگزاری:

با تشکر از استاد گرامی

دکتر کاظم ساکری

که با راهنمایی‌های دلسوزانه خویش مرا در تهیه و تنظیم این نوشتار یاری فرمودند.

نام خانوادگی: علاء نام: علی

عنوان پایان‌نامه: ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مجهز به میراگر آلیاژ حافظه‌دار شکلی (SMA)

استاد راهنما: دکتر کاظم شاکری

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: عمران

گرایش: زلزله دانشگاه: **محقق اردبیلی**

دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۱۲/۱۳ تعداد صفحات: ۱۳۰

چکیده:

در چند دهه اخیر بررسی رفتار مواد از لحاظ شکل‌پذیری و مقاومت به منظور کارآیی بهتر در مسائل لرزه‌ای و مقاوم‌سازی سازه‌ها مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از این مواد، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی می‌باشد. آلیاژ های حافظه‌دار شکلی به خاطر دو ویژگی ذاتی خود تحت عنوان اثر فوق‌ارتجاعی (ترمیم کرنش پسماند با باربرداری) و اثر حافظه‌ی شکلی (ترمیم کرنش پسماند توسط حرارت) توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

در این پژوهش عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی مورد تحقیق قرار گرفته است. بدین منظور قاب‌های ۳، ۹ و ۱۵ طبقه با اشکال مختلف مهاربندی هفتی، هشتی، ضربدری بزرگ (ترکیب هفتی و هشتی در طبقات) و قطری به دو صورت مهاربندهای فولادی کمانش‌پذیر (بدون آلیاژ حافظه‌دار) و مهاربندهای مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی فوق‌ارتجاعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات، حداکثر تغییرمکان و تغییرمکان ماندگار به عنوان معیارهای عملکرد لرزه‌ای در این تحقیق بررسی می‌گردد. جهت انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی از نرم‌افزار Opensees استفاده شده است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد آلیاژ حافظه‌دار شکلی در مهاربند، باعث کاهش در حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات و حداکثر تغییرمکان و حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب در مقایسه با قاب مهاربندی فولادی کمانش‌پذیر شده است و آلیاژهای حافظه‌دار شکلی می‌توانند بطور موثری در طراحی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی سازه‌ها بکار روند.

کلید واژه‌ها: آلیاژ حافظه‌دار شکلی، رفتار فوق‌ارتجاعی، سیستم‌های مهاربندی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، پاسخ دینامیکی

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: کلیات پایان‌نامه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- اهداف و ضرورت تحقیق ۲
۱-۳- روش انجام مطالعه ۳
۱-۴- روند کلی پایان‌نامه ۴

فصل دوم: معرفی مواد هوشمند وتاریخچه تحقیقات

۲-۱- تعریف مواد هوشمند ۶
۲-۲- مبانی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی ۷
۲-۳- تبدیلات فازی و دماهای تبدیل ۷
۲-۴- خصوصیات ویژه آلیاژهای حافظه‌دار شکلی ۱۰
۲-۴-۱- خاصیت حافظه‌ی شکلی ۱۱
۲-۴-۲- خاصیت فوق‌ارتجاعی ۱۲
۲-۵- پیچیدگی های رفتاری ۱۳
۲-۵-۱- اثر دما ۱۳
۲-۵-۲- اثر تعداد چرخه‌های بارگذاری ۱۴
۲-۵-۳- اثر سرعت بارگذاری ۱۵
۲-۵-۴- مقاومت در برابر خوردگی ۱۶
۲-۵-۵- خواص مکانیکی ۱۶
۲-۶- محدودیت‌های آلیاژهای حافظه‌دار شکلی ۱۷
۲-۶-۱- هزینه ۱۷
۲-۶-۲- عوامل دیگر ۱۷
۲-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۸

فصل سوم: ارزیابی رفتار لرزه‌ای بادبندهای همگرای کمانش‌پذیر مجهز به میراگرحافظه‌دار شکلی

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- بررسی رفتار مهاربندهای همگرا ۳۷
۳-۲-۱- تشریح یک سیکل کامل غیرارتجاعی ۳۷
۳-۳- مشخصات سازه‌ها ۴۱
۳-۴- آیین‌نامه‌های مورد استفاده در طراحی سازه‌ها ۴۱
۳-۵- بارگذاری ۴۱
۳-۵-۱- بارگذاری ثقلی ۴۱
۳-۵-۲- بارگذاری جانبی ۴۲

۳-۶- طراحی مقاطع ۴۵
۳-۶-۱- ستون‌ها ۴۵
۳-۶-۲- تیرها ۴۶
۳-۶-۳- مهاربندها ۴۶
۳-۷- اشکال مختلف مهاربندی ۴۶
۳-۸- طراحی مهاربندهای فوق الاستیک حافظه‌دار شکلی ۴۷
۳-۹- معرفی نرم افزار Opensees ۵۷
۳-۱۰- فرضیات مدل‌سازی در نرم‌افزار Opensees ۵۸
۳-۱۰-۱- مدل‌سازی تیر و ستون‌ها ۵۸
۳-۱۰-۲- مدل‌سازی مهاربندها ۵۹
۳-۱۰-۳- مدل رفتاری SMA در فاز آستنیت ۶۱
۳-۱۰-۴- فرضیات لازم جهت مدل‌سازی جرم ۶۲
۳-۱۰-۵- فرضیات لازم جهت مدل‌سازی بار ۶۳
۳-۱۰-۶- مدل‌سازی میرایی سازه ۶۳
۳-۱۰-۷- انتگرال‌گیری عددی ۶۴
۳-۱۱- انتخاب شتابنگاشت‌ها ۶۴
۳-۱۱-۱- مقیاس کردن شتابنگاشت‌ها ۶۶
۳-۱۲- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی ۶۷
۳-۱۲-۱- نسبت تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه ۶۷
۳-۱۲-۲- بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات ۸۰
۳-۱۲-۳- تغییرمکان ماندگار سازه ۹۳
۳-۱۲-۴- حداکثر تغییرمکان سازه ۱۰۵

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۸
۴-۲- پیشنهادات جهت تحقیقات آتی ۱۱۹
مراجع ۱۲۱
پیوست الف: معرفی نرم‌افزار Opensees ۱۲۵

فهرست جداول

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱: ترکیب شیمیایی، فرآیند ساخت و دماهای تبدیل آلیاژهای حافظه‌دار در حالت بدون اعمال تنش..... ۹
جدول ۲-۲: خواص فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی نایتینول در مقایسه با فولاد ساختمانی..... ۱۶
جدول ۳-۱: مقایسه مشخصات مکانیکی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی و فولاد ساختمانی..... ۴۱
جدول ۳-۲: مقادیر پریود و ضریب زلزله و برش پایه برای سازه‌های مختلف..... ۴۴
جدول ۳-۳: توزیع نیرو در طبقات مختلف سازه ۳ طبقه..... ۴۴
جدول ۳-۴: توزیع نیرو در طبقات مختلف سازه ۹ طبقه..... ۴۴
جدول ۳-۵: توزیع نیرو در طبقات مختلف سازه ۱۵ طبقه..... ۴۵
جدول ۳-۶: مشخصات مکانیکی فولاد و آلیاژ حافظه‌دار شکلی انتخابی در این تحقیق..... ۴۸
جدول ۳-۷: مقاطع قاب ۳ طبقه با مهاربند V شکل..... ۴۹
جدول ۳-۸: مقاطع قاب۹ طبقه با مهاربند V شکل..... ۴۹
جدول ۳-۹: مقاطع قاب ۱۵ طبقه با مهاربند V شکل..... ۵۰
جدول ۳-۱۰: مقاطع قاب ۳ طبقه با مهاربند IV شکل..... ۵۱
جدول ۳-۱۱: مقاطع قاب ۹ طبقه با مهاربند IV شکل..... ۵۱
جدول ۳-۱۲: مقاطع قاب ۱۵ طبقه با مهاربند IV شکل..... ۵۲
جدول ۳-۱۳: مقاطع قاب ۳ طبقه با مهاربند s.X شکل..... ۵۳
جدول ۳-۱۴: مقاطع قاب ۹ طبقه با مهاربند s.X شکل..... ۵۳
جدول ۳-۱۵: مقاطع قاب ۱۵ طبقه با مهاربند s.X شکل..... ۵۴
جدول ۳-۱۶: مقاطع قاب ۳ طبقه با مهاربند D شکل..... ۵۵
جدول ۳-۱۷: مقاطع قاب ۹ طبقه با مهاربند D شکل..... ۵۵
جدول ۳-۱۸: مقاطع قاب ۱۵ طبقه با مهاربند D شکل..... ۵۶
جدول ۳-۱۹: مشخصات مکانیکی فولاد..... ۵۸
جدول ۳-۲۰: پارامترهای مختلف دستور UniaxialMaterial selfcentering..... ۶۲
جدول ۳-۲۱: مشخصات رکوردهای انتخابی..... ۶۴
جدول ۳-۲۲: ضریب مقیاس بدست آمده طبق روش آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای سازه‌های مختلف..... ۶۶
جدول ۳-۲۳: حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌های با مهاربندی V شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۸۱
جدول ۳-۲۴: حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌های با مهاربندی IV شکل شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۸۲
جدول ۳-۲۵: حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌های با مهاربندی S.X شکل شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۸۳
جدول ۳-۲۶: حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌های با مهاربندی D شکل شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۸۴
جدول ۳-۲۷: مقادیر میانگین حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات برای سازه‌های مختلف حاصل از زلزله‌های متفاوت..... ۹۱
جدول ۳-۲۸: حداکثر تغییرمکان ماندگار سازه با مهاربند V شکل برای زلزله‌های مختلف..... ۹۵

جدول ۳-۲۹: حداکثر تغییرمکان ماندگار سازه با مهاربند IV شکل برای زلزله‌های مختلف..... ۹۶
جدول ۳-۳۰: حداکثر تغییرمکان ماندگار سازه با مهاربند s.X شکل برای زلزله‌های مختلف..... ۹۷
جدول ۳-۳۱: حداکثر تغییرمکان ماندگار سازه با مهاربند D شکل برای زلزله‌های مختلف..... ۹۸
جدول ۳-۳۲: حداکثر تغییرمکان سازه با مهاربند V شکل برای زلزله‌های مختلف..... ۱۰۶
جدول ۳-۳۳: حداکثر تغییرمکان سازه با مهاربند IV شکل زلزله‌های مختلف..... ۱۰۷
جدول ۳-۳۴: حداکثر تغییرمکان سازه با مهاربند s.X شکل زلزله‌های مختلف..... ۱۰۸
جدول ۳-۳۵: حداکثر تغییرمکان سازه با مهاربند D شکل زلزله‌های مختلف..... ۱۰۹

فهرست اشکال

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱: رفتار SMAها در حالت بدون تنش و تحت تاثیر دما..... ۸
شکل ۲-۲: نمایش کریستال‌های مختلف SMAها..... ۱۰
شکل ۲-۳: عملکرد ترکیب اعمال تنش و دما بر روی کریستال‌های آستنیت و مارتنزیت..... ۱۰
شکل ۲-۴: رفتار حافظه‌ی شکلی (سانگ و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۱۱
شکل ۲-۵: خاصیت فوق‌ارتجاعی..... ۱۲
شکل ۲-۶: نمودار سه بعدی تنش–کرنش–دما در آلیاژهای حافظه‌دار شکلی..... ۱۳
شکل ۲-۷: رفتار فوق‌ارتجاعی نایتینول در دماهای مختلف (دولسه و همکاران، ۲۰۰۱؛ استرنادل و همکاران، ۱۹۹۵)..... ۱۴
شکل ۲-۸: اثر تعداد چرخه‌های بارگذاری بر روی رفتار فوق‌ارتجاعی..... ۱۵
شکل ۲-۹: اثر سرعت بارگذاری بر روی رفتار فوق‌ارتجاعی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی..... ۱۵
شکل ۲-۱۰: پل مورد مطالعه به همراه مدل دو درجه آزادی..... ۱۹
شکل ۲-۱۱: پاسخ پل تحت زلزله‌ی ضعیف..... ۱۹
شکل ۲-۱۲: پاسخ پل تحت زلزله‌ی متوسط..... ۲۰
شکل ۲-۱۳: پاسخ پل تحت زلزله‌ی شدید..... ۲۰
شکل ۲-۱۴: نمودار تاریخچه زمانی : الف– SMA ب– NZ..... ۲۰
شکل ۲–۱۵: سیستم جداگر لرزه‌ای در سازه..... ۲۱
شکل ۲-۱۶: قاب برشی یک طبقه و پاسخ آن تحت تحریک تکیه‌گاهی با دو نوع مهاربند..... ۲۲
شکل ۲-۱۷: مدل دو طبقه مهاربندی شده با SMA..... ۲۲
شکل ۲-۱۸: میراگر مورد استفاده در توسط هان و همکاران (۲۰۰۳)..... ۲۳
شکل ۲-۱۹: مدل اجزا محدود قاب‌های مورد مطالعه..... ۲۳
شکل ۲-۲۰: پاسخ مدل به ارتعاش آزاد: الف– مدل مهاربندی شده ب– مدل مهاربندی نشده..... ۲۳
شکل ۲-۲۱: پاسخ مدل به تحلیل دینامیکی: الف– مدل مهاربندی شده ب– مدل مهاربندی نشده..... ۲۴
شکل ۲-۲۲: پیکربندی مهاربند SMA و ضدکمانش..... ۲۵
شکل ۲-۲۳: مقایسه نمودار تنش و کرنش فولاد وSMA (نمودار خطچین مربوط به فولاد است)..... ۲۵
شکل ۲-۲۴: نمودار شتاب زلزله LA6..... ۲۶
شکل ۲-۲۵: نمودار زمان– تغییرمکان زلزله LA6..... ۲۶
شکل ۲-۲۶: ماکزیمم دریفت بین طبقات قاب ۳ طبقه..... ۲۷
شکل ۲-۲۷: ماکزیمم دریفت بین طبقات قاب ۶ طبقه..... ۲۸
شکل ۲-۲۸: دریفت پسماند در طبقه آخر قاب ۳ طبقه..... ۲۸
شکل ۲-۲۹: دریفت پسماند طبقات آخر قاب ۶ طبقه..... ۲۹
شکل ۲-۳۰: استفاده از SMA به عنوان بادبند..... ۲۹

شکل ۲-۳۱: استفاده از SMA به عنوان میراگر در پل کابلی..... ۳۰
شکل ۲-۳۲: کاربرد SMA در اتصال ستون به پی..... ۳۰
شکل ۲-۳۳: مقاوم‌سازی کلیسای San Giorgio..... ۳۱
شکل ۲-۳۴: مدهای عملکردی نرم و سخت..... ۳۲
شکل ۲-۳۵: نصب رشته SMA به حلقه..... ۳۲
شکل ۲-۳۶: پیکر بندی مدل‌های ساختمانی..... ۳۲
شکل ۲-۳۷: نحوه قرارگیری قطعه SMA..... ۳۳
شکل ۲-۳۸: نمودار نیرو و تغییرمکان قاب ده طبقه با مهاربند V شکل تحت زلزله السنترو..... ۳۴
شکل ۲-۳۹: تغییرمکان طبقه آخر قاب ده طبقه با مهاربند V شکل تحت زلزله السنترو..... ۳۴
شکل ۳-۱: مدل هندسی مهاربند..... ۳۸
شکل ۳-۲: نمودار چرخه‌ای مهاربند..... ۳۹
شکل ۳-۳: مشخصات و رفتار درنواحی مختلف..... ۳۹
شکل ۳-۴: منحنی‌های مختلف مهاربند: (a) منحنی P-Δ، (b) منحنی P-M، (c) منحنی P-Φ..... ۴۰
شکل ۳-۵: پلان ساختمان و جهت تیرریزی و ابعاد دهانه‌ها و محل قرارگیری مهاربندها..... ۴۲
شکل ۳-۶: اشکال مختلف مهاربندی..... ۴۷
شکل ۳-۷: مدل رفتاری مواد: آلیاژ حافظه‌دار و فولاد..... ۴۸
شکل ۳-۸: نمودار تنش و کرنش ماده Steel02..... ۵۸
شکل ۳-۹: پلان سازه و مفصل‌ها و قاب مورد مطالعه..... ۵۹
شکل ۳-۱۰: رفتار کمانشی و پس کمانشی مهاربندها..... ۵۹
شکل ۳-۱۱: روش مدل‌سازی رفتار کمانشی مهاربندها در نرم‌افزار Opensees..... ۶۰
شکل ۳-۱۲: مدل‌سازی مهاربند SMA بصورت کمانشی..... ۶۱
شکل ۳-۱۳: مدل رفتاری آلیاژ حافظه‌دار شکلی در فاز آستنیت..... ۶۲
شکل ۳-۱۴: تاریخچه زمانی زلزله Tabas-TAB-LN..... ۶۵
شکل ۳-۱۵: تاریخچه زمانی زلزله Tabas-TAB-TR..... ۶۵
شکل ۳-۱۶: تاریخچه زمانی زلزله Kobe- TAZ000..... ۶۵
شکل ۳-۱۷: تاریخچه زمانی زلزله Kobe- TAZ090..... ۶۵
شکل ۳-۱۸: تاریخچه زمانی زلزله Northridge-ARL090..... ۶۵
شکل ۳-۱۹: تاریخچه زمانی زلزله Northridge-ARL360..... ۶۵
شکل ۳-۲۰: شتاب طیفی رکوردها و ۱/۴ طیف طرح استاندارد به همراه طیف متوسط گیری شده..... ۶۷
شکل ۳-۲۱: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۳ طبقه با مهاربند V شکل تحت زلزله‌های مختلف ۶۸
شکل ۳-۲۲: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۹ طبقه با مهاربند V شکل تحت زلزله‌های مختلف ۶۹
شکل ۳-۲۳: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۱۵ طبقه با مهاربند V شکل تحت زلزله‌های مختلف ۷۰

شکل ۳-۲۴: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۳ طبقه با مهاربند IV شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۷۱
شکل ۳-۲۵: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۹ طبقه با مهاربند IV شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۷۲
شکل ۳-۲۶: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۱۵ طبقه با مهاربند IV شکل تحت زلزله‌های مختلف ... ۷۳
شکل ۳-۲۷: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۱۵ طبقه با مهاربند s.X شکل تحت زلزله‌های مختلف.. ۷۴
شکل ۳-۲۸: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۳ طبقه با مهاربند s.X شکل تحت زلزله‌های مختلف ۷۵
شکل ۳-۲۹: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۹ طبقه با مهاربند s.X شکل تحت زلزله‌های مختلف ۷۶
شکل ۳-۳۰: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۳ طبقه با مهاربند D شکل تحت زلزله‌های مختلف ۷۷
شکل ۳-۳۱: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۹ طبقه با مهاربند D شکل تحت زلزله‌های مختلف ۷۸
شکل ۳-۳۲: حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه در قاب ۱۵ طبقه با مهاربند D شکل تحت زلزله‌های مختلف..... ۷۹
شکل ۳-۳۳: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Tabas-LN برای مهاربندهای مختلف..... ۸۵
شکل ۳-۳۴: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Tabas-TR برای مهاربندهای مختلف..... ۸۶
شکل ۳-۳۵: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ000 برای مهاربندهای مختلف ۸۷
شکل ۳-۳۶: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ090 برای مهاربندهای مختلف ۸۸
شکل ۳-۳۷: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Northridge-090 برای مهاربندهای مختلف..... ۸۹
شکل ۳-۳۸: بیشترین تغییرمکان نسبی بین طبقات قاب‌ها تحت زلزله Northridge-360 برای مهاربندهای مختلف..... ۹۰
شکل ۳-۳۹: مقادیر میانگین حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات برای سازه‌های مختلف حاصل از زلزله‌های مختلف برای مهاربندهای گوناگون..... ۹۲
شکل ۳-۴۰: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Tabas-LN برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۹۹
شکل ۳-۴۱: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Tabas-TR برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۰۰
شکل ۳-۴۲: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ000 برای اشکال مختلف مهاربندی ۱۰۱
شکل ۳-۴۳: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ090 برای اشکال مختلف مهاربندی ۱۰۲
شکل ۳-۴۴: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Northridge-090 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۰۳
شکل ۳-۴۵: حداکثر تغییرمکان ماندگار قاب‌ها تحت زلزله Northridge-360 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۰۴
شکل ۳-۴۶: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Tabas-LN برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۰
شکل ۳-۴۷: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Tabas-TR برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۱
شکل ۳-۴۸: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ000 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۲
شکل ۳-۴۹: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Kobe-TAZ090 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۳
شکل ۳-۵۰: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Northridge-090 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۴
شکل ۳-۵۱: حداکثر تغییرمکان قاب‌ها تحت زلزله Northridge-360 برای اشکال مختلف مهاربندی..... ۱۱۵

فصل اول:

کلیات پایان‌نامه

۱-۱- مقدمه

در کشورهای پیشرفته زلزله‌خیز نظیر ایالات متحده و ژاپن، پس از تجربه‌های سخت زلزله‌های اوایل قرن بیستم، آیین‌نامه‌هایی جهت محاسبه، نظارت و اجرای سازه‌ها به ویژه ساختمان‌ها در اختیار مهندسان طراح و ناظر قرار گرفت. به مرور زمان و با آگاهی از چگونگی آسیب‌دیدگی سازه‌ها در اثر زلزله و استفاده از روش‌های نوین ساخت و ساز، میزان تلفات جانی و مالی در این کشورها به مقدار زیادی کاهش یافته است. اما در کشورهای در حال توسعه، زلزله کماکان در سطح وسیعی قربانی می‌گیرد. وقوع زلزله بم در دوم دی ماه ۱۳۸۲ در ایران با بزرگی ۶/۵ ریشتر یکی از نمونه‌های بارز این رویداد بشمار می‌رود. بنابراین نیاز به ارزیابی هر چه دقیق‌تر در ساخت سازه‌های جدید و استفاده از روش‌های نوین ساخت و ساز مانند ایده کنترل سازه‌ها بیش از پیش در کشور ما احساس می‌شود.

۱-۲- اهداف و ضرورت تحقیق

یکی از متداول‌ترین سیستم‌ها برای مقابله با بارهای لرزه‌ای در سازه‌های فولادی، مهاربندی همگرا[1] است که استفاده از آن به دلایل اقتصادی، طراحی و اجرای آسان رواج روز افزونی یافته است. تمایل مهندسان به استفاده از این سیستم پس از زلزله Northridge (1994) که خسارات غیرمنتظره‌ای در جریان آن به قاب‌های خمشی فولادی وارد آمد، بطور چشمگیری در سراسر جهان افزایش یافته است. گرچه پس از تحقیقات گسترده گروه SAC درباره علت‌های این خسارت‌ها راه‌حل‌های مناسبی برای بر طرف ساختن مشکلات قاب‌های خمشی پیشنهاد شده است. اما با این وجود از کاربرد مهاربندهای همگرا کاسته نشده است. از سوی دیگر آسیب‌هایی که در برخی از زمین‌لرزه‌های اخیر مانند زمین‌لرزه‌های Mexico و Loma Prieta به قاب‌های مهاربندی شده همگرای متداول وارد شده، نگرانی‌های زیادی را درباره عملکرد لرزه‌ای این سیستم ایجاد کرده است.

رفتار چرخه‌ای مهاربندهای همگرای متداول به دلیل کمانش مهاربند در فشار بسیار نامنظم و ناپایدار بوده و زوال زیادی را در مقاومت نشان می‌دهد. این نوع مهاربندها اغلب شکل‌پذیری و ظرفیت استهلاک انرژی محدودی در بارگذاری‌های سیکلی دارند. رفتار هیسترزیس مهاربندهای همگرا بسیار پیچیده گزارش شده است. جذب انرژی کم و رفتار نامتقارن در کشش و فشار و کاهش در مقاومت مهاربندها تحت بارهای سیکلی فشاری با ورود به ناحیه غیرالاستیک را می توان مشاهده کرد. به دلیل رفتار چرخه‌ای پیچیده این نوع مهاربندها، توزیع واقعی نیروهای داخلی و تغییرشکل‌ها در قاب‌های

[1] Concentric Braced Frame

مهاربندی شده با آنچه که به وسیله روش‌های متداول طراحی پیش‌بینی می‌شود بسیار متفاوت می‌باشد.

بادبندهای معمولی در مقابل بارهای جانبی زمین‌لرزه دچار تغییرشکل‌های جانبی زیادی می‌شوند و در صورتی که این تغییرشکل‌ها از حد معینی زیادتر شود موجب بروز خرابی سازه‌ای و غیرسازه‌ای شده و ایمنی و یکپارچگی سازه به خطر می‌افتد. همچنین لازم به ذکر است که وقوع کمانش در مهاربندها می‌تواند سبب خرابی عمده‌ای در المان‌های غیرسازه‌ای مجاور نیز بشود و از نظر اقتصادی با توجه به هزینه‌های ترمیم و تعمیرات پس از زلزله و خرابی‌های دیگر، نمی‌توان این سیستم‌ها را به عنوان یک سیستم بهینه مطلوب در نظر گرفت.

در دو دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای ارتقای عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرا انجام شده است، بطوری‌که در مدت زمان وقوع زلزله از پدید آمدن خسارات سازه‌ای ماندگار در این نوع سیستم جلوگیری شود و حتی بهره‌برداری از سازه پس از وقوع زلزله نیز امکان‌پذیر باشد.

یکی از دیدگاه‌های مورد استفاده برای اتلاف و یا کاهش انرژی منتقل شده به سازه بر اثر تحریکات خارجی به منظور کاهش نیروها و پاسخ لرزه‌ای، ایده کنترل سازه‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر به صورت یک روش عملی برای مقابله با نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله مورد کاربرد قرار گرفته است.

یکی از انواع سیستم‌های کنترل سازه، استفاده از آلیاژ حافظه‌دار شکلی(SMA[1]) می‌باشد که به خاطر دو ویژگی ذاتی به نام‌های اثر فوق‌ارتجاعی (ترمیم کرنش پسماند با باربرداری) و اثر حافظه‌ی شکلی (ترمیم کرنش پسماند توسط حرارت) توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

ازاین‌رو استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در قاب‌های مهاربندی شده با توجه به دو ویژگی خاص این آلیاژها، می‌تواند گام موثری در بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها و کاهش خسارات در این سازه‌ها گردد. مساله تعمیر بعد از خرابی سازه در زلزله یا بادهای شدید چیزی است که ویژگی برگشت‌پذیری آلیاژهای حافظه‌دار شکلی می‌تواند در آن موثر باشد و از هزینه‌های آن بکاهد.

در این پژوهش به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده کمانش‌پذیر مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی پرداخته شده و عملکرد این سیستم با عملکرد قاب‌های مهاربندی فولادی کمانش‌پذیر متداول بدون آلیاژ حافظه‌دار شکلی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است.

۱-۳- روش انجام مطالعه

در این مطالعه به منظور مقایسه رفتار مهاربندهای فولادی متداول بدون آلیاژ حافظه‌دار شکلی و مهاربندهای مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی، سه نوع سازه مختلف از نظر ارتفاعی مورد بررسی قرار گرفته

[1] Shape Memory Alloys

است. سازه‌های گروه اول دارای ۳ طبقه و سازه‌های گروه دوم دارای ۹ طبقه و سازه‌های گروه سوم دارای ۱۵ طبقه می‌باشند.

برای انجام تحقیق، ساختمان با پلانی به ابعاد ۱۵m*۱۵m و ارتفاع هر طبقه ۳/۲m و با سه دهانه می‌باشد. هر یک از این گروه‌های ساختمانی با چهار نوع سیستم مهاربندیV، IV، split X (ترکیب V و IV در طبقات) و Diagonal طراحی شده‌اند. سپس هر یک از مدل‌ها با دو نوع مهاربند فولادی کمانش‌پذیر متداول بدون آلیاژ حافظه‌دار و مهاربند مجهز به آلیاژهای حافظه‌دار شکلی کمانش‌پذیر در نرم‌افزار Opensees مدل‌سازی شده‌اند. جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی از دو مولفه افقی سه رکورد زلزله مختلف که طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان مقیاس شده‌اند استفاده گردیده است.

پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی مقایسه‌ای بین حداکثر مقادیر تغییرمکان نسبی بین طبقات و نسبت حداکثر تغییرمکان نسبی هر طبقه به ارتفاع طبقه و حداکثر تغییرمکان سازه و حداکثر تغییرمکان ماندگار سازه انجام گرفته است. نتایج تحلیل حاکی از موثر بودن استفاده از آلیاژ حافظه‌دار شکلی در سیستم‌های مهاربندی به منظور کاهش تغییرمکان نسبی و حداکثر تغییرمکان و تغییرمکان ماندگار در سازه‌ها می‌باشد.

۱-۴- روند کلی پایان‌نامه

این پایان‌نامه از چهار فصل تشکیل گردیده است. در فصل اول اطلاعاتی در مورد کلیات و اهداف پژوهش ارائه شده است. در فصل دوم خواص مکانیکی و رفتاری آلیاژ حافظه‌دار شکلی، فازهای کریستالی و چگونگی تبدیل آنها و عوامل موثر بر رفتار آنها بیان شده است. در ادامه کاربردهای مختلف و بخشی از تحقیقات انجام شده‌ی قبلی مرور شده است. در فصل سوم ابتدا به بررسی رفتار مهاربندهای همگرای متداول و معایب آنها پرداخته و نیز دلایل استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار بیان شده است. در ادامه اطلاعات مربوط به سازه‌های مورد مقایسه، نحوه طراحی، مشخصات، ویژگی، ابعاد، مصالح بکار رفته در سازه‌ها و نتایج طراحی اولیه مقاطع گنجانده شده است. سپس به معرفی نرم‌افزار Opensees و نحوه مدل‌سازی رفتار آلیاژ حافظه‌دار شکلی و کمانش مهاربندها در این نرم‌افزار پرداخته و همچنین به معرفی رکورد زلزله‌های انتخابی و نحوه مقیاس‌سازی آنها می‌پردازد. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه‌زمانی مدل‌ها به همراه جداول و نمودارهای مربوط به آن آورده شده است. در فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات جهت تحقیقات آتی ارائه می‌گردد. درپیوست الف توضیحاتی درباره ویژگی‌ها، دستورات و بخش‌های مختلف نرم‌افزار Opensees بیان می‌کند.

فصل دوم:

معرفی مواد هوشمند

و تاریخچه تحقیقات

۲-۱- تعریف مواد هوشمند

اصولا بایستی قبل از استفاده از یک عبارت، تعریف دقیقی از آنچه که مورد نظرمان است در خصوص آن عبارت ارائه کنیم و عبارت مواد هوشمند نیز از این اصل مستثنی نیست. از طرف دیگر ارائه یک تعریف دقیق به طرز عجیبی دشوار است. استفاده گسترده‌ای از این کلمه می‌شود ولی موافقتی کلی بر روی معنای آن .وجود ندارد. اما ببینیم تعریف ناسا (NASA) از مواد هوشمند چیست:

"مواد هوشمند موادی هستند که موقعیت‌ها را به خاطر می‌سپارند و با محرک‌های مشخص می‌توانند به آن موقعیت باز گردند".

تعریف دایره‌المعارف تکنولوژی‌های هوشمند کمی جامع‌تر به نظر می‌آید:

"مواد و سازه‌های هوشمند، اشیایی هستند که شرایط محیطی را حس کرده و با پردازش این اطلاعات حسی، نسبت به محیط عمل می‌کنند"[1].

سیستم‌های هوشمند در سازه‌های مهندسی، سیستم‌هایی هستند که بطور خودکار قابلیت انطباق رفتار سازه در پاسخ به بارگذاری لرزه‌ای را دارا می‌باشند، تا بدین وسیله ایمنی، افزایش عمر و کارایی سازه تامین گردد. یکی از تکنولوژی‌های جدیدی که امکان دستیابی به این اهداف را میسر می‌سازد، ساخت و توسعه مواد هوشمند است. به عنوان مثال‌هایی از این مواد هوشمند که در مهندسی سازه بکار برده می‌شوند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

پیزوسرامیک‌ها[2]، سیالات مغناطیسی-رئولوژیکی[3] (MR)، سیالات الکتریکی-رئولوژیکی[4] (ER) و آلیاژهای حافظه‌دار شکلی[5] (SMA)

آلیاژهای حافظه‌دار شکلی به علت دارا بودن خصوصیاتی همچون ظرفیت میرایی بالا، دوام، مقاومت در برابر خستگی و خوردگی و .... کاربردهایی در زمینه‌های مختلف علوم و صنعت پیدا کرده‌اند. اگرچه از زمان کشف SMAها چندین دهه می‌گذرد ولی استفاده از آنها در صنعت ساختمان و مهندسی سازه به یک دهه گذشته باز می‌گردد. این مواد در مهندسی سازه در سیستم‌های کنترل فعال، نیمه فعال و غیرفعال بکار برده می‌شوند و بدین وسیله موجب کاهش خرابی سازه‌ها در بارهای لرزه‌ای و افزایش ایمنی آنها می‌گردند.

تاکنون در حدود سی نوع آلیاژ حافظه‌دار شکلی گزارش شده است اما همه آنها قابل استفاده در

[1] www.nanoclub.ir/index.php/articles/show/105
[2] Piezoceramics
[3] Magneto-Rheological
[4] Electro-Rheological
[5] Shape Memory Alloys