دانشکده فنی و مهندسی
گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش سازه

عنوان:

کاربرد آلیاژ حافظه دار شکلی (SMA) در مهار بند جانبی سازه ها جهت بهبود عملکرد لرزه ای قاب مهاربندی شده فولادی با باد بند شورون

استاد راهنما:
دکتر محمد شوشتری

نگارش:
علی غلامی مؤدب

۱ مهر ۱۳۹۲

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمـان شـد و بـه همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشـه چینـی از علـم و معرفـت را روزیمـان سـاخت. سپاسگذار کسانی هستم که سرآغاز تولد من هستند.از یکی زاده می‌شوم و از دیگری جاودانه. تقـدیم بـا بوسه بر دستان پدرم:

به او که نمی‌دانم از بزرگی‌اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و .....

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دلخوشی همیشگیست...

و با تقدیر و تشکر از استاد فرزانه‌ام جناب آقای دکتر محمد شوشتری که با رهنمودهای خـویش همـواره مرا مورد لطف و محبت قرار داده‌اند.

از اساتید عزیز و محترم، جناب دکتر نیلی و جناب دکتر رضایی که در طول این دوره مرا راهنمایی نمودنـد کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم، مهندس عباس یادگاری فرزانه، مهندس محمد یلفانی و مهندس آرش بریری کـه انجـام این پایان نامه و به سرانجام رساندن آنرا مدیون کمک‌های ایشان می‌باشم، نهایت قدردانی را دارم.

و این پایان نامه را تقدیم می‌نمایم به ایرانیانی پاک‌نهاد و نیکوسرشت که به پشتوانه‌ی دانایی و توانایی توشه گرفته از عرق ملی و میهنی در سودای تامین آبادانی و ارتقای ایران کهنسال مجدانه تلاش می‌ورزند.

علی غلامی مودب
شهریور ماه ۱۳۹۲

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

کاربرد آلیاژ حافظه‌دار شکلی (SMA) در مهار بند جانبی سازه‌ها جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب مهاربندی شده فولادی با بادبند شورون

نام نویسنده: علی غلامی مودب

نام استاد راهنما: دکتر محمد شوشتری

نام استاد/اساتیدمشاور:

دانشکده : فنی و مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی عمران**	
رشته تحصیلی: عمران	**گرایش تحصیلی: سازه**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب پروپوزال: ۹۰/۰۹/۲۱	**تاریخ دفاع: ۹۲/۰۷/۰۱**	**تعداد صفحات: ۱۴۵**

چکیده:

رفتارهای منحصربفرد آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، منجر به استفاده روزافزون آنها در سال‌های اخیر در جنبه‌های گوناگون زندگی بشر گردیده است، که رشته مهندسی عمران (پایه پل‌ها، اعضای بتنی، اتصالات پیچ و مهره‌ای، مهاربندها و...) از این قاعده مستثنی نبوده است.دو خاصیت ویژه، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی را موادی منحصربفرد و محبوب ساخته است:۱) خاصیت فراارتجاعی و ۲) خاصیت حافظه شکلی. این آلیاژها قادر به تحمل تبدیل فازهای معکوس میکرومکانیکی با تغییر ساختار کریستالی شان می‌باشند. همچنین مقاومت بالای خستگی و خوردگی، قابلیت استهلاک انرژی بالا، قابلیت خود بازگشتیو پایداری رفتار تنش- کرنش از دیگر ویژگی‌های این مواد می‌باشند.

در این پایان نامه ابتدا تحقیقات قبلی بررسی و مطالعه شده و با خواص آلیاژهای حافظه‌دار شکلی آشنایی به عمل آمده است و سپس رفتار مدلی بررسی گشته که در آن سازه‌ای خمشی بطور ساده مدل‌سازی و طراحی می‌شود. سپس به مهاربند شورون معکوسمجهز شده و رفتار سازه جدید بررسی می‌گردد، و نهایتا سازه مهاربندی شده با ترکیب موازی فولاد و آلیاژ حافظه‌دار شکلی تقویت گردیده، سپس تحلیل، و نتایج بررسی می‌شوند. هدف ساخت مدلی است که رفتار بهتری در برابر نیرو های جانبی نسبت به سازه‌های رایج داشته باشد. این رفتار بهتر که در تعدادی سازه با تعداد طبقات مختلف بررسی شده مربوط به تغییرشکل‌ها و برش پایه ساختمان‌ها می‌باشد. همچنین در این تحقیق از سه نوع رکورد زلزله استفاده شده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که پاسخ سیستم پیشنهادی در این پایان نامه نسبت به سازه‌های رایج به دلیل استفاده از آلیاژ حافظه-دار شکلی کاهش‌های مناسب و در بعضی موارد چشم‌گیری داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی:آلیاژ حافظه‌دار شکلی، خاصیت فراارتجاعی، خاصیت حافظه شکلی، تغییر شکل جانبی، مهاربند شورون

فهرست مطالب:

فصل اول: کلیات پایان نامه

۱-۱- مقدمه..... ۳

۱-۲- اهداف تحقیق..... ۵

۱-۳- بخش‌های مختلف پایان نامه ۵

فصل دوم: آلیاژهای حافظه‌دار شکلی Shape Memory Alloys (SMAs)

۲-۱- مقدمه و تاریخچه..... ۹

۲-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه عمران..... ۱۱

۲-۳- مدل‌های رفتاری..... ۱۲

۲-۴- مهمترین خواص آلیاژهای حافظه‌دار شکلی..... ۱۳

۲-۴-۱- اثر حافظه شکلی (SME) ۱۳

۲-۴-۲- خاصیت فراارتجاعی (یا شبه ارتجاعی) ۱۴

۲-۵- تعدادی از رفتارهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی..... ۱۵

۲ -۵-۱- تبدیل فازهای کریستالی..... ۱۷

۲-۵-۲- تنش‌ها و دماهای تبدیلات فازی..... ۲۳

۲-۵-۳- خواص فیزیکی- مکانیکی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی..... ۲۴

۲-۵-۴- خواص میرایی SMAها..... ۲۴

۲-۵-۵- مقاومت خستگی SMAها..... ۲۶

۲-۶- نتایج برخی مطالعات پارامتریک روی رفتار دینامیکی Ni-Ti..... ۲۷

۲-۶-۱- اثر دما..... ۲۷

۲-۶-۲- اثر ترکیب آلیاژها..... ۳۰

۲-۶-۳- اثر بارگذاری چرخه‌ای بر رفتار SMA..... ۳۱

۲-۶-۴- اثر ابعاد نمونه..... ۳۴

۲-۶-۵- اثر نرخ کرنش..... ۳۷

۲-۶-۶- اثر فرآیند ساخت..... ۳۸

۲-۶-۷- مقاومت در برابر خوردگی..... ۳۸

۲-۷- هزینه..... ۳۸

فصل سوم: کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سازه ها

۳-۱- مقدمه..... ۴۲

۳-۲- کاربردهای SMA در زمینه‌های مختلف در ساخت و سازهای عمرانی..... ۴۲

۳-۲-۱- ساختمان باسیلیکا-آسیسی- ایتالیا..... ۴۳

۳-۲-۲- برج کلیسای سان‌جورجیو-تریگنانو..... ۴۴

۳-۲-۳- ساختمان تاریخی در فولیگنو..... ۴۵

۳-۳- کاربرد آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در مهاربندها..... ۴۶

۳-۳-۱- کار عسگریان و مرادی..... ۴۶

۳-۳-۱-۱- مدل‌سازی..... ۴۷

۳-۳-۱-۲- تحلیل تاریخچه زمانی..... ۴۹

۳-۳-۱-۳- نتیجه گیری..... ۵۰

فصل چهارم: کاربرد آلیاژ حافظه‌دار شکلی در استهلاک انرژی لرزه‌ای

۴-۱- مقدمه..... ۵۴

۴-۲- منحنی رفتاری فولاد نرمه ساختمانی..... ۵۴

۴-۳- منحنی رفتاری آلیاژ حافظه‌دار شکلی.....۵۵

۴-۳-۱- اثر حافظه شکلی (Shape memory effect).....۵۵

۴-۳-۲- خاصیت فراارتجاعی (Super-Elasticity).....۵۶

۴-۴- ترکیب فولاد و SMA جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه.....۵۸

۴-۵- نحوه مدل‌سازی.....۵۹

۴-۶- انواع روش‌های تحلیل سازه‌ها (در برابر بارهای جانبی).....۶۰

۴-۷- روش‌های کنترل سازه‌ها.....۶۱

فصل پنجم: مدل‌سازی

۵-۱- مدل‌های سازه‌ای.....۶۵

۵-۱-۱- بارگذاری ثقلی.....۶۵

۵-۱-۲- بارگذاری لرزه‌ای (جانبی).....۶۶

۵-۱-۳- ترکیب بارهای طراحی.....۶۷

۵-۱-۴- طراحی سازه.....۶۸

۵-۱-۵- مشخصات لرزه‌ای سازه‌ها.....۶۸

۵-۲- مدل‌سازی در OpenSees.....۷۰

۵-۲-۱- طراحی میراگرها.....۷۱

۵-۲-۲- تحلیل دینامیکی غیر خطی.....۷۳

فصل ششم: مطالعات پارامتریک

۶-۱- مقدمه.....۷۸

۶-۲- مقایسه بیشینه جابجایی جانبی..... ۷۸

۶-۲-۱- بررسی نتایج بیشینه جابجایی سازه‌ها..... ۹۱

۶-۳- جابجایی ماندگار..... ۹۱

۶-۳-۱- بررسی نتایج مربوط به جابجایی ماندگار..... ۱۰۲

۶-۴- جابجایی جانبی نسبی طبقات Drift..... ۱۰۳

۶-۴-۱- بررسی نتایج مربوط به جابجایی نسبی..... ۱۱۷

۶-۵- برش پایه..... ۱۱۷

۶-۵-۱- بررسی نتایج مربوط به برش پایه..... ۱۲۲

۶-۶- نحوه بدست آوردن خروجی‌ها..... ۱۲۳

فصل هفتم: نتایج و پیشنهادها

۷-۱- مقدمه..... ۱۲۷

۷-۲- نتایج..... ۱۲۷

۷-۳- پیشنهادها..... ۱۲۹

پیوست: معرفی نرم‌افزار OpenSees

پ-۱- معرفی نرم‌افزار OpenSees..... ۱۳۳

پ-۱-۱- تعریف هندسه مدل..... ۱۳۴

پ-۱-۲- تعریف مصالح..... ۱۳۶

پ-۱-۳- مدل رفتاری SMA در فاز مارتنزایت..... ۱۴۰

پ-۱-۴- مدل رفتاری SMA در فاز آستنایت..... ۱۴۰

فهرست جدول‌ها:

جدول (۲-۱) درصد عناصر آلیاژ و دماهای تبدیل فازی ۲۳

جدول (۲-۲) مشخصات سه نوع مفتول SMA در مدل‌سازی..... ۲۴

جدول (۲-۳) خصوصیات آلیاژ Ni-Ti و فولاد ساختمانی..... ۲۵

جدول (۲-۴) دماهای تبدیل فازی دو آلیاژ نیکل-تیتانیوم با درصد عناصر متفاوت..... ۳۱

جدول (۵-۱) خلاصه خصوصیات مصالح مصرفی..... ۶۷

جدول (۵-۲) خلاصه بارهای ثقلی اعمال شده..... ۶۷

جدول (۵-۳) ترکیب بارهای تخصیص داده شده به نرم افزار SAP..... ۶۸

جدول (۵-۴) دوره تناوب سازه ۴ طبقه طبق نتایج SAP..... ۶۹

جدول (۵-۵) دوره تناوب سازه ۶ طبقه طبق نتایج SAP..... ۶۹

جدول (۵-۶) دوره تناوب سازه ۹ طبقه طبق نتایج SAP..... ۶۹

جدول (۵-۷) دوره تناوب سازه ۱۵ طبقه طبق نتایج SAP..... ۷۰

جدول (۵-۸) مشخصات نایتینول مورد استفاده در اتصالات..... ۷۲

جدول (۵-۹) مشخصات رکوردهای مقیاس نشده..... ۷۴

جدول (۵-۱۰) مقایسه پریود غالب سازه‌ها..... ۷۴

فهرست شکل ها:

فصل اول: کلیات پایان نامه

شکل (۱-۱) نمودار نیرو- تغییر شکل برای مصالح شکل‌پذیر و غیرشکل‌پذیر.....۴

فصل دوم: آلیاژهای حافظه‌دار شکلی

شکل (۲-۱) اثر حافظه شکلی.....۱۴

شکل (۲-۲) خاصیت فراارتجاعی.....۱۵

شکل (۲-۳) منحنی‌های تنش و کرنش اصلی برای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی.....۱۶

شکل (۲-۴) توصیفی از شکل‌گیری و تغییرشکل مارتنزایت در یک SMA دماارتجاعی.....۱۸

شکل (۲-۵) منحنی‌های رفتاری آلیاژهای حافظه‌دار شکلی.....۱۹

شکل (۲-۶) منحنی‌های تنش- کرنش برای بارگذاری چرخه‌ای در شرایط.....۱۹

شکل (۲-۷) دیاگرام تنش-کرنش-دما، نشانگر رفتار فراارتجاعی و حافظه شکلی یک SMA.....۲۱

شکل (۲-۸) تفاوت‌های ساختار کریستالی فازهای آستنایت و مارتنزایت.....۲۲

شکل (۲-۹) ساختار کریستالی سه بعدی نایتینول.....۲۳

شکل (۲-۱۰) منحنی انحنا-دما در آزمایش A_f فعال.....۲۸

شکل (۲-۱۱) چرخه تغییر شکل-دما در آزمایش A_f فعال ۲۸

شکل (۲-۱۲) تغییرات طول بر حسب دمای نمونه در آزمایش بار ثابت.....۲۹

شکل (۲-۱۳) نتیجه آزمایش DSC روی نمونه Ni-Ti.....۲۹

شکل (۲-۱۴) اثر دما بر خصوصیات مکانیکی نایتینول در چرخه ها و نرخ کرنش متفاوت.....۳۰

شکل (۲-۱۵) اثر درصد عناصر بر رفتار آلیاژ نایتینول.....۳۲

شکل (۲-۱۶) تاثیر تعداد چرخه بارگذاری بر کرنش پسماند در دماهای مختلف.....۳۲

شکل (۲-۱۷) تاثیر افزایش تعداد چرخه بارگذاری بر رفتار نایتینول فوق ارتجاعی ۳۲

شکل (۲-۱۸) رفتار تنش-کرنش برای نایتینول تحت بارگذاری چرخه‌ای شبه ۳۵

شکل (۲-۱۹) مقایسه مفتول و میله نایتینول تحت بارگذاری چرخه‌ای شبه ۳۶

شکل (۲-۲۰) اثر نرخ کرنش بر خصوصیات مکانیکی نایتینول فراارتجاعی ۳۷

شکل (۲-۲۱) لوله و مفتول نایتینول.....۳۹

فصل سوم: کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سازه‌ها

شکل (۳-۱) بهسازی لرزه‌ای کلیسای باسیلیکا سان فرانسیسکو: جزئیات قطعات SMA.....۴۳

شکل (۳-۲) بهسازی لرزه‌ای برج ناقوس کلیسای سن جورجیو در تریگنانو.....۴۴

شکل (۳-۳) بهسازی ساختمان فولیگنو.....۴۵

شکل (۳-۴) ساختار مدل‌های عسکریان و مرادی.....۴۸

شکل (۳-۵) نمایش رفتار سوپر الاستیک توسط عسگریان و مرادی.....۴۸

شکل (۳-۶) مقایسه جابجایی جانبی بام سازه ۱۰ طبقه توسط عسگریان و مرادی.....۵۰

شکل (۳-۷) برش پایه طبقه اول برای سازه با مهاربند شورون معکوس عسگریان و مرادی.....۵۱

فصل چهارم: کاربرد آلیاژ حافظه‌دار شکلی در استهلاک انرژی لرزه‌ای

شکل (۴-۱) منحنی تنش کرنش فولاد کم کربن ساختمانی.....۵۴

شکل (۴-۲) اثر حافظه شکلی- پروسه سرد کردن و گرم کردن و جهت‌گیری مارتنزایتی.....۵۶

شکل (۴-۳) (a) منحنی فراارتجاعی در کشش (ـــــــ) و فشار (.....).....۵۷

شکل (۴-۴) منحنی‌های ساده تنش-کرنش در دماهای مختلف تبدیل.....۵۸

فصل پنجم: مدل‌سازی

شکل (۵-۱) نمای سازه‌های ۴ طبقه در نظر گرفته شده.....۶۶

شکل (۵-۲) نمونه‌ای از قاب مهاربندی شده مجهز به میراگر ترکیبی فولاد و SMA.....۷۱

شکل (۵-۳) رفتار صرفا کششی SMA پیش تنیده.....۷۲

فصل ششم: مطالعات پارامتریک

شکل (۶-۱) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.4g ۷۹

شکل (۶-۲) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.6g ۷۹

شکل (۶-۳) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.75g ۷۹

شکل (۶-۴) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۸۰

شکل (۶-۵) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g ۸۰

شکل (۶-۶) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g ۸۰

شکل (۶-۷) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۸۱

شکل (۶-۸) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۸۱

شکل (۶-۹) بیشینه جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۸۱

شکل (۶-۱۰) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.4g.....۸۲

شکل (۶-۱۱) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.6g.....۸۲

شکل (۶-۱۲) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley با ضریب 0.75g.....۸۲

شکل (۶-۱۳) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۸۳

شکل (۶-۱۴) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۸۳

شکل (۶-۱۵) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۸۳

شکل (۶-۱۶) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۸۴

شکل (۶-۱۷) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۸۴

شکل (۶-۱۸) بیشینه جابجایی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۸۴

شکل (۶-۱۹) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۸۵

شکل (۶-۲۰) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۸۵

شکل (۶-۲۱) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۸۵

شکل (۶-۲۲) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۸۶

شکل (۶-۲۳) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۸۶

شکل (۶-۲۴) بیشینه جابجایی بام برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۸۶

شکل (۶-۲۵) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۸۷

شکل (۶-۲۶) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۸۷

شکل (۶-۲۷) بیشینه جابجایی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino -0.75g.....۸۷

شکل (۶-۲۸) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۸۸

شکل (۶-۲۹) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۸۸

شکل (۶-۳۰) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۸۸

شکل (۶-۳۱) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۸۹

شکل (۶-۳۲) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۸۹

شکل (۶-۳۳) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۸۹

شکل (۶-۳۴) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۹۰

شکل (۶-۳۵) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۹۰

شکل (۶-۳۶) بیشینه جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۹۰

شکل (۶-۳۷) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۹۲

شکل (۶-۳۸) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۹۲

شکل (۶-۳۹) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۹۲

شکل (۶-۴۰) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۹۳

شکل (۶-۴۱) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۹۳

شکل (۶-۴۲) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۹۳

شکل (۶-۴۳) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۹۴

شکل (۶-۴۴) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۹۴

شکل (۶-۴۵) جابجایی ماندگار سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۹۴

شکل (۶-۴۶) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۹۵

شکل (۶-۴۷) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۹۵

شکل (۶-۴۸) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۹۵

شکل (۶-۴۹) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۹۶

شکل (۶-۵۰) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۹۶

شکل (۶-۵۱) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۹۶

شکل (۶-۵۲) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۹۷

شکل (۶-۵۳) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۹۷

شکل (۶-۵۴) جابجایی ماندگار سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۹۷

شکل (۶-۵۵) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۹۸

شکل (۶-۵۶) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۹۸

شکل (۶-۵۷) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۹۸

شکل (۶-۵۸) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۹۹

شکل (۶-۵۹) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۹۹

شکل (۶-۶۰) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۹۹

شکل (۶-۶۱) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۱۰۰

شکل (۶-۶۲) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۰۰

شکل (۶-۶۳) جابجایی ماندگار سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۰۰

شکل (۶-۶۴) جابجایی ماندگار سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۱۰۱

شکل (۶-۶۵) جابجایی ماندگار سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۱۰۱

شکل (۶-۶۶) جابجایی ماندگار سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۱۰۱

شکل (۶-۶۷) جابجایی ماندگار سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۰۲

شکل (۶-۶۸) جابجایی ماندگار سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۰۲

شکل (۶-۶۹) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۱۰۳

شکل (۶-۷۰) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۱۰۴

شکل (۶-۷۱) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۱۰۴

شکل (۶-۷۲) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۱۰۴

شکل (۶-۷۳) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۱۰۵

شکل (۶-۷۴) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۱۰۵

شکل (۶-۷۵) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۱۰۵

شکل (۶-۷۶) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۰۶

شکل (۶-۷۷) جابجایی نسبی سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۰۶

شکل (۶-۷۸) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۱۰۷

شکل (۶-۷۹) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۱۰۷

شکل (۶-۸۰) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۱۰۷

شکل (۶-۸۱) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۱۰۸

شکل (۶-۸۲) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۱۰۸

شکل (۶-۸۳) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۱۰۸

شکل (۶-۸۴) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۱۰۹

شکل (۶-۸۵) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۰۹

شکل (۶-۸۶) جابجایی نسبی سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۰۹

شکل (۶-۸۷) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۱۱۰

شکل (۶-۸۸) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۱۱۰

شکل (۶-۸۹) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۱۱۱

شکل (۶-۹۰) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۱۱۱

شکل (۶-۹۱) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۱۱۱

شکل (۶-۹۲) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۱۱۲

شکل (۶-۹۳) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.4g.....۱۱۲

شکل (۶-۹۴) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۱۲

شکل (۶-۹۵) جابجایی نسبی سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۱۳

شکل (۶-۹۶) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.4g.....۱۱۳

شکل (۶-۹۷) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.6g.....۱۱۴

شکل (۶-۹۸) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley - 0.75g.....۱۱۴

شکل (۶-۹۹) جابجایی برای سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.4g.....۱۱۴

شکل (۶-۱۰۰) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.6g.....۱۱۵

شکل (۶-۱۰۱) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce با ضریب 0.75g.....۱۱۵

شکل (۶-۱۰۲) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino -0.4g.....۱۱۵

شکل (۶-۱۰۳) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.6g.....۱۱۶

شکل (۶-۱۰۴) جابجایی نسبی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino - 0.75g.....۱۱۶

شکل (۶-۱۰۵) بیشینه برش پایه برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Imperialvalley.....۱۱۷

شکل (۶-۱۰۶) بیشینه برش پایه برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino.....۱۱۸

شکل (۶-۱۰۷) بیشینه برش پایه برای سازه ۴ طبقه تحت رکورد Duzce.....۱۱۸

شکل (۶-۱۰۸) بیشینه برش پایه برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Imperialvalley.....۱۱۹

شکل (۶-۱۰۹) بیشینه برش پایه برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Duzce.....۱۱۹

شکل (۶-۱۱۰) بیشینه برش پایه برای سازه ۶ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino.....۱۲۰

شکل (۶-۱۱۱) بیشینه برش پایه برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Imperialvalley.....۱۲۰

شکل (۶-۱۱۲) بیشینه برش پایه برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Duzce.....۱۲۱

شکل (۶-۱۱۳) بیشینه برش پایه برای سازه ۹ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino.....۱۲۱

شکل (۶-۱۱۴) بیشینه برش پایه برای سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley.....۱۲۲

شکل (۶-۱۱۵) بیشینه برش پایه برای سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Duzce.....۱۲۲

شکل (۶-۱۱۶) بیشینه برش پایه برای سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Cape Mendocino.....۱۲۳

شکل (۶-۱۱۷) نمودار زمان-جابجایی سازه ۱۵ طبقه تحت رکورد Imperialvalley.....۱۲۴

شکل (۶-۱۱۸) نمودار برش پایه سازه ۱۵ طبقه تحت رکوردDuzce.....۱۲۴

پیوست: آشنایی با نرم افزار OpenSees

شکل (پ-۱) مقاطع رشته‌ای دایروی و چهار گوش در نرم افزار OpenSees.....۱۳۵

شکل (پ-۲) تشکیل مقطع کامل دوبعدی.....۱۳۶

شکل (پ-۳) ماده با وجود یک وقفه در شروع مقاومت.....۱۳۷

شکل (پ-۴) منحنی رفتاری مواد (a) Steel01 (b) Steel02.....۱۳۸

شکل (پ-۵) ماده الاستیک صرفا فشاری.....۱۳۸

شکل (پ-۶) مدل رفتاری ماده Pinching4.....۱۳۹

شکل (پ-۷) مدل ماده Hysteretic قابل استفاده برای SMA در فاز مارتنزیت.....۱۴۰

شکل (پ-۸) مدل رفتاری SMA فوق ارتجاعی در OpenSees.....۱۴۱

فصل اول

کلیات پایان نامه