دانشکده مهندسی عمران

بررسی آزمایشگاهی و عددی المان محوری ساخته شده از فولاد نرم (ST14) در مهاربندهای محوری

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران گرایش سازه

دانشجو:

هادی خدام عباسی

استاد راهنما:

دکتر محمد علی کافی

بهمن ماه ۱۳۹۰

دانشکده مهندسی عمران

بررسی آزمایشگاهی و عددی المان محوری ساخته شده از فولاد نرم (ST14) در مهاربندهای هم محور

پایان‌نامه درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران گرایش سازه

دانشجو:

هادی خدام عباسی

استاد راهنما:

دکتر محمد علی کافی

استاد مشاور:

مهندس سیف الله همتی

بهمن ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه ی آقای هادی خدام عباسی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه تحت عنوان" **بررسی آزمایشگاهی و عددی المان محوری ساخته شده از فولاد نرم (ST14) در مهاربندهای هم محور** " در جلسه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول: **دکتر محمد علی کافی** امضاء:

استاد مشاور اول: **مهندس سیف الله همتی** امضاء:

استاد داور: **دکتر محسن گرامی** امضاء:

استاد داور: **دکتر مجید قلهکی** امضاء:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده: ..... امضاء .....

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب هادی خدام عباسی متعهد میشوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " **بررسی آزمایشگاهی و عددی المان محوری ساخته شده از فولاد نرم (ST14) در مهاربندهای هم محور** " که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: هادی خدام عباسی

شماره دانشجویی: ۸۸۱۲۱۴۹۰۱۰

امضاء

پایان نامه های تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران دانشگاه سمنان

این پاین نامه تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین نوین مهندسی عمران و در قالب گروه پژوهشی:

☐ روش های اجرایی نوین مهندسی عمران

☐ مصالح نوین مهندسی عمران

☐ سیستم های نوین ساخت

☐ روشهای تحلیل نوین در مهندسی عمران

ارائه شده است.

امضای مدیر گروه پژوهشی　　امضای رئیس پژوهشکده

این صفحه در صورتی تکمیل می گردد که فعالیت پژوهشی مورد نظر در راستای اهداف پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و با حمایت یکی از گروه های پژوهشی صورت پذیرد.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر محمد علی کافی

تاریخ:

امضاء:

با درود فراوان به روح پر فتوح پدر بزرگوارم

و سپاس بیکران بر همدلی، همراهی و همگامی

مادر دلسوز و مهربانم

که سجده ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان

گهربارش لحظه های مهربانی را به من آموخت.

تشکر و قدردانی:

پس از سپاس و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطوفت رخصت اتمام این پایان نامه را به بنده عطا فرموده است، لازم است از کلیه اساتیدی که در تمامی دوران تحصیل وزن بودن، شوق آموختن، شور زندگی، درک هستی، تدبیر کار و بالاخره سپیدی کمال را به من آموختند سپاسگذاری نمایم و با تقدیر و تشکر فراوان از استاد فرهیخته و فرزانه **جناب آقای دکتر کافی** که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راه گشای اینجانب در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است. همچنین بر خود واجب می دانم از زحمات بی دریغ دوستان و همکاران خود در آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان، جناب آقای مهندس بخشایی کارشناس محترم آزمایشگاه سازه، مهندس علیرضا ستاری فرد، مهندس نعمت الله حیدریان، مهندس مرتضی مقیمی و مهندس مهدی سعدالدین، که در تمامی مراحل انجام پایان نامه یاری گر اینجانب بوده اند، تقدیر و تشکر نمایم.

در پایان، این پایان نامه را که حاصل ماهها تلاش و کوشش مستمر بنده و زحمات بی دریغ استاد همیشه همراهم جناب آقای دکتر کافی بوده است، تقدیم می نمایم به ایرانیانی پاک نهاد و نیکو سرشت که به پشتوانه ی دانایی و توانایی توشه گرفته از عرق ملی، میهنی در سودای تامین آبادانی و ارتقای ایران کهنسال مجدانه تلاش می ورزند.

عشق جاویدان من، ایران من

چکیده

سیستم مهاربندی هم محور یکی از سیستمهای کلاسیک مقاوم در برابر زلزله می‌باشد که اغلب در قابهای با اتصالات مفصلی استفاده می شود. سهولت اجرا، امکان بازسازی و تعمیر آسان و صرفه اقتصادی آنها نسبت به سازه های خمشی باعث شده تا همواره طراحان را به استفاده از این سیستم هدایت کند. با این وجود از مهمترین معایب این نوع مهاربندها می‌توان به ضعف کمانش عضو فشاری و شکل پذیری پایین این سیستم اشاره نمود.در دو دهه گذشته تحقیقاتی برای افزایش شکل‌پذیری مهاربندهای هم محور انجام شده است که هر یک از این روشها در نوع خود ارزشمند می باشد. اغلب این راهکارها به نوعی خاص از مهاربندهای هم محور محدود می شود، همچنین به مصالح خاص و یا تکنولوژی ویژه‌ای نیازمند است .

دراین تحقیق با انجام مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی انجام شده بر روی المان ساخته شده از فولاد نرم مشخص شد که این المان با عملکرد محوری غیر الاستیک علاوه بر افزایش شکل پذیری، به عنوان فیوز کنترل کمانش مهاربندهای رفتار بسیار خوبی داشته و از قابلیت نصب در انواع مهاربندها برخوردار است. همچنین بدلیل سهولت دسترسی به این نوع از فولاد که در کارخانجات ایران به صورت ورق تولید می شود، روش فوق علاوه بر سهولت اجرا ،کاملا اقتصادی و اجرایی می باشد.

عملکرد محوری غیرالاستیک المان ساخته شده از فولاد نرم موجب افزایش شکل پذیری مهاربند می‌شود و کمتر بودن ظرفیت باربری این المان از بار کمانش مهاربند، موجب عملکرد آن به عنوان فیوز کنترل کمانش مهاربند نیز می‌باشد.بدین منظور این المان باید به نحوی طراحی گردد که قبل از آنکه مهاربند به بار بحرانی کمانش برسد به حد تسلیم رسیده و با وارد شدن به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل پلاستیک موجب جذب و استهلاک انرژی شود و از ورود مهاربندها به مرحله غیرخطی جلوگیری کند و پس از وقوع زلزله می توان تنها با تعویض این المان هزینه های ترمیم و بازسازی را کاهش داد.

انجام این مطالعه در مرحله تحلیلی با استفاده از نرم افزار آباکوس[1] روی دو مدل انجام شده است. همچنین بررسی های آزمایشگاهی روی سه المان با فواصل آزاد مختلف انجام شده است. سپس با استفاده از تحلیل و مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی قابلیت جذب انرژی و شکل پذیری این المان نشان داده شده است.

واژه‌های کلیدی: مهاربند هم محور، شکل پذیری، فیوز کنترل کمانش، المان ساخته شده از فولاد نرم

[1] Abaqus 6.10-1

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲-بیان مسئله تحقیق ۳

۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق ۴

۱-۴- نوآوری تحقیق ۴

۱-۵- اهداف تحقیق ۴

۱-۶- فرضیات تحقیق و محدودیتها ۵

۱-۷- روش شناسی تحقیق (methodology) ۵

۱-۸- معرفی ساختار فصول پایان نامه ۶

فصل ۲: مروری بر منابع ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- خصوصیات مکانیکی فولادها ۱۰

۲-۳- انواع سیستم های مقاوم در برابر زلزله ۱۲

۲-۳-۱- کنترل سیستم های فعال و نیمه فعال(Active & Semi Active System) ۱۲

۲-۳-۲- سیستم های کنترلی غیر فعال(Passive System) ۱۲

۲-۳-۳- سیستم های جداساز لرزه ای (Base Isolation System) ۱۳

۲-۳-۴- سیستم های مستهلک کننده انرژی (میراگرها) ۱۵

۲-۴- انواع سیستم های مستهلک کننده انرژی ۱۷

۲-۵- معایب و مزایای مهاربندهای هم محور ۱۹

۲-۶- المان های اصطکاکی، فیوزها (المان های شکل پذیر) ۲۱

۲-۷- مهاربندهای هم محور دارای اتصالات اصطکاکی ۲۹

۲-۷-۱- معرفی المان اصطکاکی SBC ۳۰

۲-۷-۲- معرفی المان اصطکاکی Pall ۳۳

۲-۷-۳- معرفی المان اصطکاکی FDD ۳۷

۲-۷-۴- معرفی میراگر SBJ ۳۹

۲-۷-۵- تحقیقات انجام شده در ایران ۴۰

۲-۸- مهاربندهای هم محور غلاف دار ۴۰

۲-۸-۱- معرفی مهاربندهای BIB ۴۰

۲-۸-۲- بررسی کمانش مهاربند های BIB ۴۵
۲-۸-۳- مهاربندهای غلاف دار UBF ۴۹
۲-۸-۴- بررسی تاثیر مواد پر کننده درون غلاف فولادی ۵۴
۲-۹- مهاربندهای هم محور با المان شکل پذیر ۵۶
۲-۹-۱- معرفی مهاربندهای زانوئی KBF ۵۷
۲-۹-۱-۱- بررسی آزمایش لرزه ای قاب مهاربندی شده زانویی KNEE ۵۸
۲-۹-۱-۲- بررسی رفتارسیستم مهاربندی شده زانویی شکل پذیر ۶۲
۲-۹-۲- المان صفحه فولادی ADAS ۶۳
۲-۹-۲-۱- طراحی صفحه مثلثی فلزی جاذب انرژی برای مقاوم سازی ۶۵
۲-۹-۳- المان خمشی شکل پذیر ۶۹
۲-۹-۳-۱- بررسی میراگر خمشی قوطی شکل ۶۹
۲-۹-۳-۲- بررسی میراگر حلقوی ۷۴
۲-۹-۳-۳- بررسی حلقه فولادی شکل پذیر ۷۸
۲-۱۰- نتیجه گیری ۸۲
۲-۱۰-۱- مهاربندهای دارای المان اصطکاکی ۸۲
۲-۱۰-۲- مهاربندهای دارای غلاف فلزی ۸۴
۲-۱۰-۳- مهاربندهای دارای المان شکل پذیر ۸۵
۲-۱۰-۳-۱-المان های زانویی ۸۵
۲-۱۰-۳-۲- المان TADAS ۸۵
۲-۱۰-۳-۳- المان خمشی ۸۶

فصل ۳: مطالعات آزمایشگاهی **۸۷**

۳-۱- مقدمه ۸۸
۳-۲- معرفی Set-up آزمایش و نحوه طراحی آن ۸۸
۳-۲-۱- طراحی اعضای قائم قاب انتقال نیرو ۹۰
۳-۳- انجام تست کشش نمونه استاندارد ورق های مورد مطالعه ۹۳
۳-۴- انجام تست کششی نمونه در آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان ۹۵
۳-۵- نصب و آماده سازی نمونه ها ۹۶
۳-۵-۱- طراحی پیچ های مورد استفاده ۹۶
۳-۵-۲- آماده سازی و نصب ناودانی ۹۸
۳-۵-۳- کرنش سنج ۹۹

۳-۵-۴- نصب تغییر مکان سنج ها ۱۰۱
۳-۶- معرفی نمونه های آزمایشگاهی ۱۰۳
۳-۷- شرح آزمایش نمونه اول 4U10 ..... ۱۰۴
۳-۷-۱- نمودارهای آزمایش نمونه اول 4U10 ..... ۱۰۸
۳-۷-۲- نتایج عددی آزمایش نمونه اول 4U10 ..... ۱۰۹
۳-۸- شرح آزمایش نمونه دوم 4U10P ۱۱۲
۳-۸-۱- نمودارهای آزمایش نمونه دوم 4U10P ۱۱۵
۳-۸-۲- نتایج عددی آزمایش نمونه دوم 4U10P ۱۱۶
۳-۹- شرح آزمایش نمونه سوم 2U2 ..... ۱۱۹
۳-۹-۱- نمودارهای آزمایش نمونه سوم 2U2 ..... ۱۲۰
۳-۹-۲- محاسبات عددی آزمایش نمونه سوم 2U2 ..... ۱۲۱
۳-۱۰- شرح آزمایش نمونه چهارم 4U10S ۱۲۷
۳-۱۰-۱- مراحل انجام آزمایش نمونه چهارم 4U10S ۱۲۸
۳-۱۰-۲- نمودارهای آزمایش نمونه چهارم 4U10S ۱۲۹
۳-۱۰-۳- محاسبات عددی آزمایش نمونه چهارم 4U10S ۱۳۰
۳-۱۱- مقایسه رفتاری نمونه های فولاد نرم ۱۳۱

فصل ٤: مطالعات عددی و کالیبراسیون ۱۳۳

۴-۱- مقدمه ۱۳۴
۴-۲- موقعیت قرارگیری المان ساخته شده از فولاد نرم در قاب مهاربندی شده ۱۳۶
۴-۳- محیط Abaqus/CAE ۱۳۸
۴-۴- معرفی فولاد نرم ST 14 ..... ۱۴۰
۴-۵- المان مورد استفاده در Abaqus ۱۴۰
۴-۶- معرفی المان مستهلک کننده انرژی ۱۴۲
۴-۷- روابط تحلیلی نیروی تسلیم و گسیختگی ۱۴۳
۴-۸- مش بندی مدل ۱۴۴
۴-۹- بارگذاری چرخه ای (Cyclic Load) ۱۴۵
۴-۱۰- داده های خواص مصالح ۱۴۷
۴-۱۱- تحلیل مدل ۱۴۸
۴-۱۲- بررسی نتایج اولیه ۱۴۹
۴-۱۳- مدل اجزای محدود ۱ (تحلیل مقدماتی) ۱۵۰

۴-۱۳-۱- بررسی و تحلیل نتایج مدل شماره ۱ (تحلیل مقدماتی)..... ۱۵۱
۴-۱۳-۲- نتایج عددی اجزاء محدود مدل شماره ۱ (تحلیل مقدماتی) ۱۵۲
۴-۱۴- مشخصات نمونه های آزمایشگاهی جهت کالیبره کردن ۱۵۳
۴-۱۵- شرایط مرزی و مش بندی ۱۵۵
۴-۱۶- اعتبار سنجی نمونه های تحلیلی و آزمایشگاهی ۱۵۶
۴-۱۷- مدل اجزای محدود ۲ (تحلیل نهایی- کالیبراسیون) ۱۵۸
۴-۱۷-۱- نمودارهای مدل شماره ۲ (تحلیل نهایی- کالیبراسیون)..... ۱۵۹
۴-۱۷-۲- نتایج عددی مدل شماره ۱ (تحلیل نهایی- کالیبراسیون)..... ۱۶۰
۴-۱۸- جمع بندی و مقایسه رفتاری نمونه های تحلیل و آزمایشگاهی ۱۶۳

فصل ۵: نتایج،تفسیر آنها و پیشنهادها ۱۶۴
۵-۲- نتیجه گیری..... ۱۶۵
۵-۳- پیشنهاد ها..... ۱۶۷

فصل ٦ : مراجع ۱٦۸

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) سازه ی دارای جداساز لرزه ای در پایه ۱۳
شکل (۲-۲) جزئیات اتصال سیستم جداساز لرزه ای به فونداسیون ۱۴
شکل (۲-۳) انواع مهاربندهای هم محور ۱۸
شکل (۲-۴) مسیر بار در سازه های بدون سیستم مقاوم جانبی و تحت بار ثقلی ۲۱
شکل (۲-۵) رفتار قاب مهاربندی شده و بدون مهاربند در هنگام اعمال نیروی جانبی ۲۲
شکل (۲-۶) انواع مهاربندهای بکار رفته در ساختمان ها ۲۳
شکل (۲-۷) مدل کلی المان مستهلک کننده ۲۴
شکل (۲-۸) مهاربندهای زانویی بکاررفته در قاب بتنی ۲۵
شکل (۲-۹) مهاربندهای واگرا با المان شکل پذیر ۲۶
شکل (۲-۱۰)مهاربندهای همگرا با المان شکل پذیر ۲۶
شکل (۲-۱۱) سیستم مهاربندهای دروازه ای (الف-بدون تغییر شکل و ب- با تغییر شکل) ۲۷
شکل (۲-۱۲)تحلیل هندسی قاب های خارج از مرکز ۲۷
شکل (۲-۱۳) تحلیل هندسی قاب های هم مرکز با المان شکل پذیر ۲۸
شکل (۲-۱۴) نمودار نیرو-تغییر مکان، اتصال اصطکاکی ۲۹
شکل (۲-۱۵) محل نصب میراگر اصطکاکی SBJ ۳۰
شکل (۲-۱۶) جزئیات المان اصطکاکی SBJ استفاده شده توسط آقای Popove و همکاران ۳۱
شکل (۲-۱۷) نمودار نیرو- جابجایی فولاد بر روی برنز ۳۲
شکل (۲-۱۸) نمودار نیرو- جابجایی فولاد بر روی فولاد ۳۲
شکل (۲-۱۹) مشخصات نمونه ساخته شده جهت آزمایش المان SBJ ۳۲
شکل (۲-۲۰) نمونه ای از منحنی های هیسترزیس بدست آمده از آزمایش قاب دارای المان SBJ ۳۳
شکل (۲-۲۱) برخی از قابهایی که با استفاده از روش ابتکاری آقای Pall مقاوم سازی شده اند ۳۴
شکل (۲-۲۲) تیپ دهانه های مهاربندی شده با استفاده ار المان اصطکاکی Pall ۳۴
شکل (۲-۲۳) منحنی میراگر هیسترزیس المان ۳۵
شکل (۲-۲۴)طیف تغییر شکل های بالای طبقه سوم ۳۶
شکل (۲-۲۵) خرابی حاصله در اعضاء مختلف سازه در حالات مختلف ۳۷
شکل (۲-۲۶) المان اصطکاکی FDD ۳۷

شکل (۲-۲۷) نحوه اتصال المان FDD به مهاربند ۳۸
شکل (۲-۲۸) نمونه ای از منحنی های دوران بر حسب لنگر برای آزمایشات با فرکانس های مختلف ۳۸
شکل (۲-۲۹) جزئیات میراگر SBJ ۳۹
شکل (۲-۳۰) نمای شماتیک مهاربند غلاف دار ۴۱
شکل (۲-۳۱) منحنی تنش – کرنش LYS,A36 ..... ۴۲
شکل (۲-۳۲) منحنی هیسترزیس آزمایش های L1-L4 ..... ۴۲
شکل (۲-۳۳) مشخصات مقاطع مورد استفاده در آزمایش ۴۳
شکل (۲-۳۴) مشخصات اجزاء مختلف عضو مهاربند ۴۴
شکل (۲-۳۵) منحنی هیسترزیس چند نمونه آزمایشات ۴۵
شکل (۲-۳۶) نمایی از مقطع عنصر مهاربند غلاف دار ۴۶
شکل (۲-۳۷) نمایش مهاربند های غلاف دار در ساختمانی در حال ساخت ۴۶
شکل (۲-۳۸) نمایی از مهاربند بدون غلاف پس از آزمایش ۴۷
شکل (۲-۳۹) نمایی از مهاربند غلاف دار BIB پس از آزمایش ۴۷
شکل (۲-۴۰) منحنی هیسترزیس مهاربند بدون غلاف ۴۷
شکل (۲-۴۱) منحنی هیسترزیس مهاربند غلاف دار ۴۸
شکل (۲-۴۲) نمای از فروشگاه IKEA ۴۹
شکل (۲-۴۳) قاب های مهاربندی شده فروشگاه IKEA ۴۹
شکل (۲-۴۴) نمایی از مهاربندهای غلاف دار UBF ۵۰
شکل (۲-۴۵) مهاربند UBF تحت آزمایش ۵۱
شکل (۲-۴۶) ساختمان OSAKA ۵۱
شکل (۲-۴۷) استفاده از سیستم UBF در ساختمان خدمات علوم گیاهان و محیط زیست کالیفرنیا ۵۲
شکل (۲-۴۸) مقایسه پوش اور DBF,EBF,UBF ۵۳
شکل (۲-۴۹) منحنی هیسترزیس یک نمونه آزمایش بر روی UBF ۵۴
شکل (۲-۵۰) منحنی هیسترزیس نمونه پر شده با چوب ۵۵
شکل (۲-۵۱) منحنی هیسترزیس نمونه پر شده با بتن پر مقاومت ۵۵
شکل (۲-۵۲) منحنی هیسترزیس نمونه پر شده با بتن سبک ۵۵
شکل (۲-۵۳) منحنی هیسترزیس نمونه پر شده با شن ۵۶
شکل (۲-۵۴) انواع حالتهای اجراءمهاربند زانویی ۵۷

شکل (۲-۵۵) قاب با المان KBF تحت آزمایش ۵۹

شکل (۲-۵۶) نمایی از المان زانویی متصل به تیر و ستون ۵۹
شکل (۲-۵۷) ترک های ایجاد شده در جان المان زانویی متصل شده به تیر و ستون..... ۶۰
شکل (۲-۵۸) منحنی هیسترزیس دو طبقه در آزمایش..... ۶۱
شکل (۲-۵۹) منحنی هیسترزیس دو طبقه در آزمایش ۶۱
شکل (۲-۶۰) نمایی از قاب با مهاربند CKBF ۶۲
شکل (۲-۶۱) عملکرد المان های ADAS در مواجهه با بار جانبی..... ۶۴
شکل (۲-۶۲) مزیت استفاده از المان های ADAS مثلثی و X شکل نسبت به مستطیلی ۶۵
شکل (۲-۶۳) شماتیک TADAS ۶۶
شکل (۲-۶۴) شکل شماتیک قرار گیری المان درون قاب جهت آزمایش ۶۶
شکل (۲-۶۵) منحنی هیسترزیس دو تا از نمونه های مورد آزمایش..... ۶۷
شکل (۲-۶۶) شمای کلی قاب و نحوه قرارگرفتن المان TADAS..... ۶۸
شکل (۲-۶۷) پاسخ قاب به زلزله های اعمال شده ۶۸
شکل (۲-۶۸) ابعاد و اندازه و مشخصات المان قوطی ۶۹
شکل (۲-۶۹) المان قوطی تحت آزمایش..... ۷۰
شکل (۲-۷۰) منحنی هیسترزیس المان مورد آزمایش ۷۰
شکل (۲-۷۱) تغییر شکل المان در فشار ۷۱
شکل (۲-۷۲) تغییر شکل المان در کشش ۷۱
شکل (۲-۷۳) منحنی پوش نیرو – جابجایی المان مورد آزمایش..... ۷۲
شکل (۲-۷۴) قاب تحلیل شده در نرم افزار ETABS2000 بدون المان خمشی..... ۷۳
شکل (۲-۷۵) منحنی برش جابجایی طبقات ۷۳
شکل (۲-۷۶) مقطع میراگر حلقوی و نحوه قرارگیری میراگر در داخل قاب ۷۵
شکل (۲-۷۷) مشخصات میراگر TADAS و نحوه المان بندی..... ۷۵
شکل (۲-۷۸) حلقه های پسماند میراگر TADAS و حلقوی ۷۶
شکل (۲-۷۹) تنش فون میسز و برآیند تغییر مکان ها ۷۷
شکل (۲-۸۰) نحوه قرارگیری حلقه در قاب ۷۸
شکل (۲-۸۱) منحنی هیسترزیس نیرو – تغییر قطر قائم حلقه فولادی (آزمایشگاهی) ۷۹

شکل (۲-۸۲) پوش منحنی هیسترزیس نیرو – تغییر قطر قائم حلقه فولادی (آزمایشگاهی) ۷۹
شکل (۲-۸۳) منحنی هیسترزیس نیرو – تغییر قطر قائم حلقه با دو صفحه اتصال و جوش گوشه (تحلیلی) ۸۰
شکل (۲-۸۴) پوش منحنی هیسترزیس نیرو – تغییر قطر قائم حلقه با دو صفحه اتصال و جوش گوشه (تحلیلی) ۸۰
شکل (۳-۱) نمایی از Set-up آزمایشگاهی – مرحله طراحی ۸۹
شکل (۳-۲) نمایی از Set-up آزمایشگاهی – مرحله اجرا ۸۹
شکل (۳-۳) ابعاد قاب صلب آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان ۸۹
شکل (۳-۴) قاب انتقال و تبدیل نیروی جک یکطرفه به دو طرفه ۹۰
شکل (۳-۵) طراحی تیر ورق قاب انتقال نیرو ۹۰
شکل (۳-۶) تیر ورق قاب انتقال نیرو پس از اجرا..... ۹۰
شکل (۳-۷) طراحی اعضای قائم قاب انتقال نیرو ۹۰
شکل (۳-۸) اعضای قائم قاب انتقال نیرو پس از اجرا ۹۰
شکل (۳-۹) سیستم Set-up بهمراه اعضای مهاربندی مورد آزمایش و نحوه انتقال نیرو پیش از اجرا ۹۱
شکل (۳-۱۰) سیستم Set-up بهمراه اعضای مهاربندی مورد آزمایش و نحوه انتقال نیرو پس از اجرا ۹۱
شکل (۳-۱۱) سیستم Set-up جک ها و سلول های بار ۹۲
شکل (۳-۱۲) سیستم Set-up جک ها و سلول های بار پس از اجرا ۹۲
شکل (۳-۱۳) نصب نگهدارنده جانبی روی ستون قاب صلب ۹۲
شکل (۳-۱۴) مراحل ساخت و نصب نگهدارنده جانبی..... ۹۲
شکل (۳-۱۵) مراحل نصب نگهدارنده جانبی..... ۹۳
شکل (۳-۱۶) روغن کاری نگهدارنده جانبی جهت جلوگیری از اتلاف نیروی جک ها در اثر اصطکاک ۹۳
شکل (۳-۱۷) نمونه استاندارد تهیه شده از ورق فولاد نرم جهت تست کشش ۹۴
شکل (۳-۱۸) دستگاه تست کشش – آزمایشگاه خواص مواد دانشگاه سمنان ۹۴
شکل (۳-۱۹) شکست نمونه استاندارد ورق فولاد نرم در آزمایش کشش ۹۴
شکل (۳-۲۰) مانیتورینگ آزمایش کشش ۹۴
شکل (۳-۲۱) نصب نمونه جهت آزمایش کشش ۹۵
شکل (۳-۲۲) شروع آزمایش کشش ناودانی فولاد نرم..... ۹۵
شکل (۳-۲۳) گسیختگی ناودان فولاد نرم..... ۹۶
شکل (۳-۲۴) مقایسه تغییر طول ناودانی فولاد نرم قبل و بعد از آزمایش کشش ۹۶

شکل (۳-۲۵) پیچ های مورد استفاده در آزمایشات ۹۷

شکل (۳-۲۶) صفحه فلزی مورد استفاده در آزمایشات جهت تامین اتصال اصطکاکی ۹۷
شکل (۳-۲۷) مراحل آماده سازی ناودانی ساخته شده از فولاد نرم ۹۸
شکل (۳-۲۸) ساختار کلی سنسور کرنش سنج ۹۹
شکل (۳-۲۹) ساختار کلی سنسور کرنش سنج ۹۹
شکل (۳-۳۰) حذف اثر دما در اندازه گیری ۹۹
شکل (۳-۳۱) نحوه عملکرد سنسور کرنش سنج در هنگام اعمال بار ۹۹
شکل (۳-۳۲) شکل ظاهری و مشخصات کرنش سنج مورد استفاده ۱۰۰
شکل (۳-۳۳) چسب مخصوص پوششی کرنش سنج ها جهت محافظت آن ۱۰۱
شکل (۳-۳۴) کنترل صحت عملکرد کرنش سنج ها توسط اهم متر ۱۰۱
شکل (۳-۳۵) چسباندن کرنش سنج به ناودانی ۱۰۱
شکل (۳-۳۶) چسباندن کرنش سنج به ناودانی ۱۰۱
شکل (۳-۳۷) محل نصب تغییر مکان سنج های ۱۰ سانتی جهت ثبت تغییر مکان قائم ناودانی ۱۰۲
شکل (۳-۳۸) محل نصب تغییر مکان سنج های ۵ سانتی جهت محاسبه حرکت جانبی Set-up ۱۰۲
شکل (۳-۳۹) موقعیت قرار گیری تغییر مکان سنج ها نسبت به ناودانی فولاد نرم ۱۰۲
شکل (۳-۴۰) موقعیت قرار گیری سلول های بار و جک ها در Set-up ۱۰۳
شکل (۳-۴۱) موقعیت جک و سلول بار پس از اجرا ۱۰۳
شکل (۳-۴۲) نامگذاری نمونه ها ۱۰۴
شکل (۳-۴۳) نحوه اعمال بار در آزمایش تعیین مقاومت خمشی ۱۰۵
شکل (۳-۴۴) مراحل انجام تحلیل مقدماتی بر روی مدل آزمایشگاهی شماره ۱ (4U10) ۱۰۵
شکل (۳-۴۵) دستگاه ثبت اطلاعات ۱۰۶
شکل (۳-۴۶) تغییر مکان سنج ها و موقعیت قرار گیری آن ها در سیستم ۱۰۶
شکل (۳-۴۷) مرحله نصب و شروع آزمایش ۱۰۷
شکل (۳-۴۸) مرحله اولین کمانش ایجاد شده در فشار ۱۰۷
شکل (۳-۴۹) شروع گسیختگی فولاد نرم از محل کمانش ۱۰۷
شکل (۳-۵۰) نمای نزدیک از شروع گسیختگی عضو ۱۰۷
شکل (۳-۵۱) شکست ایجاد شده در بال ها ۱۰۷

شکل (۳-۵۲) منحنی هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۱ (4U10) ۱۰۸
شکل (۳-۵۳) منحنی پوش هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۱ (4U10) ۱۰۸
شکل (۳-۵۴) منحنی انرژی- چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۱ (4U10) ۱۰۸
شکل (۳-۵۵) منحنی انرژی تجمعی – چرخه بارگذاری ناودانی فولاد نرم در آزمایش ۱ (4U10) ۱۱۰
شکل (۳-۵۶) ایجاد خط شکست در اولین کمانش فشاری ۱۱۲
شکل (۳-۵۷) شروع گسیختگی از محل خط شکست کمانشی ۱۱۲
شکل (۳-۵۸) گسیختگی کامل نمونه ۱۱۲
شکل (۳-۵۹) قرار دادن صفحه فلزی به ضخامت ۱۰ میلیمتر در جلو و پشت جان ناودانی ۱۱۳
شکل (۳-۶۰) مراحل انجام تحلیل بر روی مدل آزمایشگاهی شماره ۲ (4U10P) ۱۱۴
شکل (۳-۶۱) منحنی هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۲ (4U10P) ۱۱۵
شکل (۳-۶۲) منحنی پوش هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۲ (4U10P) ۱۱۵
شکل (۳-۶۳) منحنی انرژی – چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۲ (4U10P) ۱۱۵
شکل (۳-۶۴) منحنی انرژی تجمعی-چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی ۲ (4U10P) ۱۱۷
شکل (۳-۶۵) مراحل انجام آزمایش المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۳ (2U2) ۱۱۹
شکل (۳-۶۶) منحنی هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۳ (2U2) ۱۲۰
شکل (۳-۶۷) منحنی پوش هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۳ (2U2) ۱۲۰
شکل (۳-۶۸) منحنی انرژی- چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۳ (2U2) ۱۲۰
شکل (۳-۶۹) منحنی انرژی تجمعی- چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی ۳ (2U2) ۱۲۲
شکل (۳-۷۰) اعضای غلاف فلزی ۱۲۷
شکل (۳-۷۱) المان بهمراه ورق تقویتی ۱۲۷
شکل (۳-۷۲) نحوه اتصال المان ۱۲۷
شکل (۳-۷۳) سطح مقطع المان ۱۲۷
شکل (۳-۷۴) مراحل انجام تحلیل بر روی مدل آزمایشگاهی شماره ۴ (4U10S) ۱۲۸
شکل (۳-۷۵) منحنی هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۴ (4U10S) ۱۲۹
شکل (۳-۷۶) منحنی پوش هیسترزیس المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۴ (4U10S) ۱۲۹
شکل (۳-۷۷) منحنی انرژی – چرخه بارگذاری المان ناودانی در مدل آزمایشگاهی شماره ۴ (4U10S) ۱۲۹
شکل (۳-۷۸) معرفی کلی نمونه های آزمایشگاهی ۱۳۱