دانشکده مهندسی عمران

بررسی تاثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار پس‌کمانشی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

محمد غفاری

استاد راهنما:

دکتر مجید قلهکی

مهرماه ۱۳۹۱

دانشکده مهندسی عمران

بررسی تاثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار پس‌کمانشی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

محمد غفاری

استاد راهنما:

دکتر مجید قلهکی

استاد مشاور:

دکتر امید رضائی‌فر

مهرماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان‌نامه‌ی آقای محمد غفاری برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه تحت عنوان " بررسی تاثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار پس‌کمانشی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده " در جلسه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول:دکتر مجید قلهکی امضاء:

استاد راهنمای دوم: امضاء:

استاد مشاور اول: دکتر امید رضائی‌فر امضاء:

استاد مشاور دوم: امضاء:

استاد داور: امضاء:

استاد داور: امضاء:

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

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب محمد غفاری متعهد می‌شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " بررسی تاثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار پس‌کمانشی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده" که به عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت‌های علمی اینجانب می‌باشد.

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: محمد غفاری

شماره دانشجویی: ۸۹۱۱۱۴۹۰۱۰

امضاء

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 مجید قلهکی

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به روح پاک مادرم

اسطوره محبت و فداکاری

تقدیم به تو که بزرگترین استاد زندگیم بودی و به من آموختی آنچه را که در هیچ کلاسی وهیچ کتابی نمی‌توان یافت...
تقدیم به تو که تصویرگر سرشت پاک آدمی هستی....
با بوسه‌ای بر تربت پرمهرت ایثار بی‌نهایت را ارج می‌نهم وتا ابد قدردان آن خواهم بود.

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر قلهکی :

از زحمات بی‌شائبه و راهنماییهای گرانمایه جنابعالی در گردآوری این مجموعه خالصانه تشکر می‌نمایم.

چکیده

دیوارهای برشی فولادی به دلیل رفتار لرزه‌ای مناسب، چندی است که مورد استقبال طراحان در سرتاسر دنیا قرار گرفته و ساختمان‌های زیادی در مرحله طراحی و تقویت از این سیستم استفاده نموده‌اند. اگر چه دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک بدون سخت‌کننده بیش از نوع دارای سخت‌کننده آن به کار گرفته شده‌اند، اما نصب سخت‌کننده باعث جلوگیری از کمانش دیوار تحت بارهای سرویس نظیر باد و زلزله‌های خفیف گردیده و از این بابت در سازه‌های بلند مورد توجه است. نصب سخت‌کننده باعث افزایش سختی و مقاومت حد الاستیک شده و شکل چرخه‌های هیسترزیس را از حالت S شکل به دوکی شکل تغییر داده و بنابراین باعث جذب انرژی بیشتر می‌گردد.

با توجه به اینکه ایجاد بازشو به دلایل معماری در دهانه‌های دیوار برشی فولادی محتمل می‌باشد، لذا در این تحقیق تاثیر دو نوع از بازشوهای متمرکز و گسترده بر سختی و مقاومت پانل‌های برشی فولادی دارای سخت‌کننده بررسی و مقایسه گردیده و روابط ساده‌ای برای پیش‌بینی سختی و مقاومت حد الاستیک آنها نسبت به پانل مشابه بدون بازشو ارائه گردیده که در طراحی‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، همچنین میزان جذب انرژی، شکل‌پذیری و ضریب رفتار پانل‌های برشی فولادی با سخت‌کننده با بازشوی متمرکز و گسترده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند، که با بررسی و مقایسه رفتار پانل‌های با بازشوی متمرکز و گسترده مشخص گردید که میزان سختی، مقاومت الاستیک، شکل‌پذیری و جذب انرژی در پانل‌های برشی فولادی با بازشوی گسترده نسبت به پانل‌های برشی فولادی با بازشوی متمرکز به طور چشمگیری کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: پانل برشی با سخت کننده، بازشو متمرکز، بازشو گسترده، سختی، مقاومت.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- عنوان تحقیق ۲

۱-۲- مقدمه‌ای بر تحقیق ۲

۱-۳- لزوم انجام تحقیق ۳

۱-۴- نوآوری و اهداف تحقیق ۳

۱-۵- فرضیه‌های تحقیق ۴

۱-۶- فرضیات تحقیق ۵

۱-۷- روش تحقیق ۶

۱-۸- ساختار فصول تحقیق ۷

فصل ۲: مروری بر دیوارهای برشی فولادی ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- تاریخچه ۱۴

۲-۳- استفاده از دیوارهای برشی فولادی در ساختمان‌ها ۱۶

۲ – ۳ – ۱ – استفاده از سیستم در ساختمان‌های نوساز ۱۶

۲ – ۳ – ۲ – استفاده در تقویت ساختمان‌های موجود ۱۸

۲-۴- آزمایشات انجام شده بر روی دیوارهای برشی فولادی ۱۹

۲-۵- تحلیل و طراحی دیوارهای برشی فولادی ۲۳

۲-۶- آنالیز و طراحی دیوارهای برشی فولادی از دیدگاه آیین‌نامه‌های موجود ۲۴

۲ – ۶ – ۱ – ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی در آیین‌نامه کانادا(CAN/CSA S16-01) ۲۵

۲ – ۶ – ۲ – ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی بر اساس آیین‌نامه آمریکا(AISC-341) ۲۷

۲ – ۶ – ۳ – ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی بر اساس آیین‌نامه امریکا (AISC 820) ۲۹

۲-۷- تئوری‌های موجود در تحلیل و طراحی دیوارهای برشی فولادی ۲۹

۲ – ۷ – ۱ – تئوری اندرکنش قاب و ورق فولادی ۲۹

۲ – ۷ – ۲ – تئوری میله‌ای در دیوار برشی فولادی ۲۹

۲ – ۷ – ۳ – تئوری تیرورقی در دیوار برشی فولادی ۳۰

۲-۸- عملکرد دیوارهای برشی فولادی با استفاده از فولاد نرم ۳۰

۲-۹- بهبود پایداری کلی و موضعی دیوارهای برشی فولادی با استفاده از فولاد نرم ۳۴
۲-۱۰- بهبود چرخه‌های هیسترزیس با استفاده از فولاد نرم ۳۵

فصل ۳: بهبود رفتار کمانشی دیوارهای برشی فولادی با استفاده از سخت‌کننده‌ها۳۶

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- معادلات کمانش ورقهای مربع مستطیل تحت اثر تنش‌های برشی ۳۸
۳-۳- نظریه پایداری صفحات ارتوتروپ ۴۱
۳-۴- معادلات کمانش ورقهای مربع مستطیل تقویت شده و تحت تنش‌های برشی ۴۲
۳-۵- تعیین حداقل ممان اینرسی لازم جهت جلوگیری از کمانش کلی ورق فولادی با استفاده از روابط تئوری و کلاسیک ۴۵
۳ – ۵ – ۱ – مود کمانش کلی ۴۵
۳ – ۵ – ۲ – مود کمانش موضعی ۴۶
۳-۶- تعیین شرایط لازم برای سخت‌کننده‌ها ۴۷
۳-۷- مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی تاکاهاشی و همکاران ۴۸
۳-۸- مقایسه منحنی‌های چرخه‌ای بدست آمده از نمونه‌های آزمایشگاهی تاکاهاشی و همکاران۴۹
۳-۹- تعیین ممان اینرسی سخت‌کننده‌ها با استفاده از روش المان محدود توسط صبوری و سجادی ۵۱
۳-۱۰- تاثیر دو سر آزاد و دو سر گیردار بودن سخت‌کننده‌ها در تعیین حداقل ممان اینرسی لازم سخت‌کننده‌ها ۵۴
۳-۱۱- تاثیر یکطرفه یا دوطرفه بودن سخت‌کننده‌ها در تعیین حداقل ممان اینرسی لازم سخت‌کننده‌ها ۵۴
۳-۱۲- تاثیر ضخامت سخت‌کننده‌ها در تعیین حداقل ممان اینرسی لازم سخت‌کننده‌ها ۵۵
۳-۱۳- تعیین ممان اینرسی سخت‌کننده‌ها با استفاده از روش المان محدود توسط صبوری و عزیزی ۵۶

فصل ٤: اثر بازشو و شکل آن بر سختی و مقاومت دیوارهای برشی فولادی تقویت شده ٦٠

۴-۱- مقدمه ۶۱
۴-۲- نتایج بدست آمده از آزمایش انجام شده توسط صبوری و سجادی ۶۲
۴-۳- معرفی نرم‌افزار المان محدود ABAQUS ۶۶
۴ – ۳ – ۱ – مقدمه ۶۶
۴ – ۳ – ۲ – معرفی محصولات ABAQUS ۶۸

۴ – ۳ – ۳ – انواع تحلیل در ABAQUS ۶۸
۴ – ۳ – ۴ – معرفی انواع المان‌های مورد استفاده در ABAQUS ۶۹
۴ – ۳ – ۵ – انواع المان از نظر نوع تحلیل ۶۹
۴ – ۳ – ۶ – انواع المان‌های تنش – کرنش در ABAQUS ۷۰
۴-۴- مدلسازی اجزاء محدود دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده ۷۵
۴ – ۴ – ۱ – نحوه ساخت اجزاء مختلف دیوار برشی فولادی ۷۵
۴ – ۴ – ۲ – تعریف مصالح در نرم‌افزار ۷۵
۴ – ۴ – ۳ – انتخاب نوع المان و اندازه مش‌بندی مناسب برای مدل‌ها ۷۸
۴ – ۴ – ۴ – شرایط مرزی و بارگذاری ۷۸
۴ – ۴ – ۵ – صحت سنجی مدل المان محدود با مدل آزمایشگاهی ۷۹
۴-۵- مدلسازی و معرفی مشخصات هندسی نمونه‌های اجزاء محدود ۸۰
۴-۶- منحنی‌های چرخه‌ای حاصل از آنالیز المان محدود نمونه‌های با بازشو متمرکز ۸۳
۴-۷- شرح نتایج منحنی‌های چرخه‌ای حاصل از آنالیز المان محدود ۸۶
۴-۸- تعیین منحنی‌های پوش حاصل از منحنی‌های چرخه‌ای در نمونه‌های با بازشو متمرکز ... ۸۹
۴ – ۸ – ۲ – مقایسه منحنی‌های پوش حاصل از منحنی‌های چرخه‌ای نمونه‌های با بازشو متمرکز ۹۱
۴-۹- ارائه رابطه‌ای جهت تعیین سختی و مقاومت الاستیک دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با بازشو متمرکز ۹۱
۴-۱۰- مقایسه نتایج المان محدود نمونه‌های با بازشوی واقع در مرکز و پایین پانل ۹۵
۴-۱۱- مدلسازی نمونه‌های المان محدود دارای بازشوهای گسترده ۹۷
۴-۱۲- منحنی‌های چرخه‌ای المان محدود مدل‌های دارای بازشوهای گسترده ۹۹
۴-۱۳- منحنی‌های پوش المان محدود حاصل از آنالیز چرخه‌ای در نمونه‌های با بازشو گسترده۱۰۱
۴-۱۴- مقایسه منحنی‌های پوش المان محدود حاصل از آنالیز چرخه‌ای در نمونه‌های با بازشوی گسترده ۱۰۲
۴-۱۵- ارائه رابطه‌ای جهت تعیین سختی و مقاومت الاستیک در دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با بازشوی گسترده ۱۰۳
۴-۱۶- شرح نتایج و مقایسه منحنی‌های چرخه‌ای نمونه‌های با بازشو گسترده و متمرکز ۱۰۴
۴-۱۷- مقایسه میزان سختی و مقاومت الاستیک پانل‌های با بازشوی متمرکز واقع در مرکز و پانل‌های با بازشوی گسترده ۱۰۹
۴-۱۸- بررسی و مقایسه وضعیت تغییرشکل و کمانش زیرصفحه‌ها و سخت‌کننده‌ها در اطراف بازشوها در نمونه‌های با بازشوی متمرکز و گسترده ۱۱۰

فصل ۵: بررسی اثر بازشوها بر شکل‌پذیری ، ضریب رفتار و جذب انرژی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده ۱۱۳

۵-۱- مقدمه ۱۱۴

۵-۲- روش‌های رایج محاسبه ضریب رفتار..... ۱۱۷

۵ – ۲ – ۲ – روش طیف ظرفیت فریمن..... ۱۱۸

۵ – ۲ – ۳ – روش ضریب شکل پذیری یوانگ..... ۱۱۹

۵-۳- مروری بر ضرایب رفتار بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده بر روی دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده ۱۲۵

۵-۴- رسم منحنی دوخطی یوانگ بر روی منحنی‌های پوش حاصل از آنالیز چرخه‌ای و تعیین ضریب رفتار نمونه‌ها..... ۱۲۶

۵-۵- بررسی میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های با بازشوی متمرکز ۱۳۰

۵-۶- مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های با بازشوی واقع در مرکز پانل و پایین پانل ۱۳۲

۵-۷- بررسی و مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های دارای بازشو گسترده و متمرکز . ۱۳۳

۵-۸- مبانی طراحی دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده با روش اندرکنش قاب و ورق ۱۳۵

۵-۹- طراحی دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده و بدون بازشو با روش اندرکنش قاب و ورق ۱۳۶

۵-۱۰- طراحی دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده و با بازشو..... ۱۳۸

۵-۱۱- طراحی دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده و بدون بازشو..... ۱۳۸

۵-۱۲- طراحی دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده با بازشو..... ۱۳۹

فصل ٦: نتایج و تفسیر آنها ۱٤۱

۶-۱- مقدمه ۱۴۲

۶-۲- مقایسه منحنی‌های پوش حاصل از آنالیز چرخه‌ای در نمونه‌های با بازشوی متمرکز.... ۱۴۳

۶-۳- ارائه رابطه‌ای جهت تعیین سختی و مقاومت الاستیک دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با بازشو متمرکز..... ۱۴۴

۶-۴- مقایسه سختی و مقاومت الاستیک نمونه‌های با بازشوی متمرکز واقع در مرکز و پایین پانل ۱۴۷

۶-۵- مقایسه منحنی‌های پوش حاصل از بارگذاری چرخه‌ای در نمونه‌های دارای بازشوهای گسترده ۱۴۷

۶-۶- ارائه رابطه‌ای جهت تعیین سختی و مقاومت الاستیک در دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با بازشوهای گسترده ۱۴۸

۶-۷- مقایسه منحنی‌های چرخه‌ای نمونه‌های با بازشو گسترده و متمرکز ۱۵۰
۶-۸- مقایسه میزان سختی و مقاومت الاستیک پانل‌های با بازشو متمرکز واقع در مرکز و پانل‌های با بازشو گسترده..... ۱۵۳
۶-۹- بررسی و مقایسه وضعیت تغییرشکل و کمانش زیرصفحه‌ها و سخت کننده‌ها در اطراف بازشوها در نمونه‌های با بازشوی متمرکز و گسترده..... ۱۵۴
۶-۱۰- تعیین ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده با بازشو متمرکز ۱۵۶
۶-۱۱- مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های با بازشو واقع در مرکز پانل و پایین پانل . ۱۵۸
۶-۱۲- بررسی میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های دارای بازشوی متمرکز..... ۱۵۹
۶-۱۳- بررسی میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های دارای بازشو گسترده تحت بارگذاری چرخه‌ای ۱۶۰
۶-۱۴- مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های با بازشوی متمرکز و گسترده..... ۱۶۱

فصل ۷: جمع‌بندی و پیشنهادها **۱۶۳**

۷-۱- مقدمه ۱۶۴
۷-۲- جمع‌بندی ۱۶۴
۷-۳- پیشنهادات..... ۱۶۸

فصل ۸: مراجع **۱۶۹**

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) دیوارهای برشی فولادی دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده ۲
شکل (۱-۲) منحنی هیسترزیس پانل برشی بدون سخت‌کننده ۲
شکل (۱-۳) منحنی هیسترزیس پانل برشی دارای سخت‌کننده ۲
شکل (۱-۴) فلوچارت مراحل انجام تحقیق ۹
شکل (۱-۵) فلوچارت تشریح نتایج تحقیق ۱۰
شکل (۲-۱) مشابهت عملکرد دیوار برشی فولادی و تیرورق طره‌ای ۱۳
شکل (۲-۲) دیوارهای برشی فولادی دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده ۱۴
شکل (۲-۳) منحنی هیسترزیس پانل برشی بدون سخت‌کننده ۱۴
شکل (۲-۴) منحنی هیسترزیس پانل برشی دارای سخت‌کننده ۱۴
شکل (۲-۵) مدل نواری کولاک و همکاران ۱۵
شکل (۲-۶) دیوار برشی فولادی تقویت شده در ساختمان ۲۰ طبقه نیپون استیل در توکیو ژاپن ۱۷
شکل (۲-۷) ساختمان شینجوکونوموورا و هتل هزار اتاقه هایت ریجنسی ۱۷
شکل (۲-۸) بیمارستان آلیوویو ۱۸
شکل (۲-۹) مدل اندرکنش قاب- ورق فولادی ۲۴
شکل (۲-۱۰) مدل نواری کولاک ۲۴
شکل (۲-۱۱) تغییرمکانهای خمشی و برشی و ترکیب آنها در دیوارهای برشی فولادی ۲۴
شکل (۲-۱۲) دیاگرام نیرو – تغییرمکان برشی پانلهای با فولاد نرم و فولاد ساختمانی ۳۲
شکل (۳-۱) مود کمانش کلی و موضعی پانل فولادی ۳۷
شکل (۳-۲) منحنی مربوط به تعیین ضریب K ۴۵
شکل (۳-۳) پانل برشی تقویت شده ۴۶
شکل (۳-۴) نحوه آرایش سخت‌کننده‌ها در آزمایش تاکاهاشی و همکاران ۴۸
شکل (۳-۵) نمونه آزمایشگاهی تاکاهاشی ۴۹
شکل (۳-۶) منحنی چرخه‌ای نمونه بدون سخت‌کننده تاکاهاشی ۵۰
شکل (۳-۷) منحنی چرخه‌ای نمونه PR2.3M2-60 تاکاهاشی ۵۰
شکل (۳-۸) منحنی چرخه‌ای نمونه PR3.2M2-60 تاکاهاشی ۵۰
شکل (۳-۹) ممان اینرسی سخت‌کننده در آرایش M2 در ضخامتهای مختلف ورق ۵۲

شکل (۳-۱۰) ممان اینرسی سخت‌کننده در آرایش M1 در ضخامت‌های مختلف ورق..... ۵۲
شکل (۳-۱۱) ممان اینرسی سخت‌کننده در آرایش G در ضخامت‌های مختلف ورق..... ۵۳
شکل (۳-۱۲) نحوه تعیین ممان اینرسی سخت‌کننده در نمونه PR32.2-M2 به روش المان محدود ۵۳
شکل (۳-۱۳) نمودار ضخامت ورق- ممان اینرسی لازم برای کمانش موضعی براساس آنالیز اجزاء محدود و روابط تئوری در آرایش M2 و آزمایشهای انجام شده..... ۵۸
شکل (۳-۱۴) نمودار ضخامت ورق- ممان اینرسی لازم برای کمانش موضعی بر اساس آنالیز اجزا محدود و روابط تئوری در آرایش M1 و آزمایش‌های انجام شده..... ۵۸
شکل (۳-۱۵) نمودار ضخامت ورق- ممان اینرسی لازم برای کمانش موضعی بر اساس آنالیز اجزا محدود و روابط تئوری در آرایش G و آزمایش‌های انجام شده..... ۵۸
شکل (۴-۱) نمونه آزمایشگاهی ویان و همکاران[۲۷]..... ۶۱
شکل (۴-۲) مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی..... ۶۳
شکل (۴-۳) شمای نمونه دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده- آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن..... ۶۳
شکل (۴-۴) شمای نمونه دیوار برشی فولادی بدون سخت‌کننده- آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن..... ۶۳
شکل (۴-۵) منحنی چرخه‌ای آزمایشگاهی نمونه بدون سخت‌کننده..... ۶۵
شکل (۴-۶) منحنی چرخه‌ای آزمایشگاهی نمونه با سخت کننده..... ۶۵
شکل (۴-۷) مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های آزمایشگاهی..... ۶۶
شکل (۴-۸) قوانین سخت‌شوندگی ایزوتروپیک و سینماتیک فولاد..... ۷۷
شکل (۴-۹) منحنی دو خطی تنش – کرنش فولاد ST52..... ۷۸
شکل (۴-۱۰) منحنی دو خطی تنش – کرنش فولاد ST37..... ۷۸
شکل (۴-۱۱) منحنی دو خطی تنش – کرنش فولادST14..... ۷۸
شکل (۴-۱۲) تاریخچه بارگذاری مدل‌ها مطابق ATC-24..... ۷۹
شکل (۴-۱۳) مقایسه منحنی‌های مربوط به صحت سنجی نتایج اجزاء محدود و آزمایشگاهی..... ۸۰
شکل (۴-۱۴) مدل SSSW-O-0%..... ۸۰
شکل (۴-۱۵) مدل SSSW-O-4%..... ۸۰
شکل (۴-۱۶) مدل SSSW-O-8%..... ۸۱
شکل (۴-۱۷) مدل SSSW-O-12%..... ۸۱

شکل (۴-۱۸) مدل SSSW-O-16% ۸۱
شکل (۴-۱۹) مدل SSSW-O-24% ۸۱
شکل (۴-۲۰) مدل SSSW-O-36% ۸۱
شکل (۴-۲۱) مدل SSSW-O-48% ۸۱
شکل (۴-۲۲) مدل SSSW-O-60% ۸۲
شکل (۴-۲۳) مدل SSSW-O-center-36% ۸۲
شکل (۴-۲۴) مدل SSSW-center-O-4% ۸۲
شکل (۴-۲۵) مدل SSSW-center-O-12% ۸۲
شکل (۴-۲۶) مدل SSSW-center-O-24% ۸۲
شکل (۴-۲۷) مدل FRAM ۸۲
شکل (۴-۲۸) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-0% ۸۳
شکل (۴-۲۹) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-4% ۸۳
شکل (۴-۳۰) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-8% ۸۳
شکل (۴-۳۱) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-12% ۸۴
شکل (۴-۳۲) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-16% ۸۴
شکل (۴-۳۳) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-24% ۸۴
شکل (۴-۳۴) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-36% ۸۴
شکل (۴-۳۵) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-48% ۸۵
شکل (۴-۳۶) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-60% ۸۵
شکل (۴-۳۷) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-center-4% ۸۵
شکل (۴-۳۸) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-center-12% ۸۵
شکل (۴-۳۹) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-center-24% ۸۶
شکل (۴-۴۰) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-O-center-36% ۸۶
شکل (۴-۴۱) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه FRAM ۸۶
شکل (۴-۴۲) آغاز کمانش موضعی زیرصفحه‌ها در مدل SSSW-O-0% در تغییرمکان۳/۱۳میلیمتر ۸۸
شکل (۴-۴۳) ایجاد میدان پس‌کمانش پلاستیک زیرصفحه‌ها در مدل SSSW-O-0% در تغییرمکان ۳۶میلیمتر ۸۸
شکل (۴-۴۴) محل تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون‌ها ۸۸

شکل (۴-۴۵) آغاز کمانش موضعی در زیرصفحه‌های اطراف بازشو در مدل SSSW-O-24% ۸۸
شکل (۴-۴۶) کمانش موضعی سخت‌کننده‌های اطراف بازشو مدل SSSW-O-24% ۸۸
شکل (۴-۴۷) مقایسه منحنی‌های پوش حاصل از آنالیز چرخه‌ای SSSW-O-0% و SSSW-O-24% ۸۹
شکل (۴-۴۸) منحنی پوش مدل SSSW-O-0% ۹۰
شکل (۴-۴۹) منحنی پوش مدل SSSW-O-4% ۹۰
شکل (۴-۵۰) منحنی پوش مدل SSSW-O-8% ۹۰
شکل (۴-۵۱) منحنی پوش مدل SSSW-O-12% ۹۰
شکل (۴-۵۲) منحنی پوش مدل SSSW-O-16% ۹۰
شکل (۴-۵۳) منحنی پوش مدل SSSW-O-24% ۹۰
شکل (۴-۵۴) منحنی پوش مدل SSSW-O-36% ۹۰
شکل (۴-۵۵) منحنی پوش مدل SSSW-O-48% ۹۰
شکل (۴-۵۶) منحنی پوش مدل SSSW-O-60% ۹۱
شکل (۴-۵۷) منحنی پوش مدل fram ۹۱
شکل (۴-۵۸) منحنی‌های پوش المان محدود نمونه‌های با درصد بازشوهای متفاوت ۹۱
شکل (۴-۵۹) نمودار S/S_0 نسبت به A/A_0 و منحنی پیشنهادی ۹۳
شکل (۴-۶۰) نمودار P/P_0 نسبت به A/A_0 و منحنی پیشنهادی ۹۳
شکل (۴-۶۱) نمودار S/S_0 نسبت به d/D و منحنی پیشنهادی ۹۴
شکل (۴-۶۲) نمودار P/P0 نسبت به d/D و منحنی پیشنهادی ۹۴
شکل (۴-۶۳) مقایسه منحنی‌های پوش مدل‌های SSSW-O-36% و SSSW-O-Center-36% ۹۵
شکل (۴-۶۴) مقایسه منحنی‌های پوش مدل‌های SSSW-O-4% و SSSW-O-Center-4% ۹۵
شکل (۴-۶۵) مدل المان محدود SSSW-O-Center-36% ۹۶
شکل (۴-۶۶) مدل المان محدود SSSW-O-36% ۹۶
شکل (۴-۶۷) مدل المان محدود SSSW-O-Center-4% ۹۶
شکل (۴-۶۸) مدل المان محدود SSSW-O-4% ۹۶
شکل (۴-۶۹) مدل المان محدود SSSW-O-Center-12% ۹۶
شکل (۴-۷۰) مدل المان محدود SSSW-O-12% ۹۶
شکل (۴-۷۱) مدل المان محدود SSSW-O-Center-24% ۹۶
شکل (۴-۷۲) مدل المان محدود SSSW-O-24% ۹۶

شکل (۴-۷۳) مقایسه منحنی‌های پوش مدل‌های SSSW-O-12% و SSSW-O-Center-12% ۹۷
شکل (۴-۷۴) مقایسه منحنی‌های پوش مدل‌های SSSW-O-24% و SSSW-O-Center-24% ۹۷
شکل (۴-۷۵) مدل SSSW-eo-4% ۹۸
شکل (۴-۷۶) مدل SSSW-eo-0% ۹۸
شکل (۴-۷۷) مدل SSSW-eo-8% ۹۸
شکل (۴-۷۸) مدل SSSW-eo-12% ۹۸
شکل (۴-۷۹) مدل SSSW-eo-16% ۹۸
شکل (۴-۸۰) مدل SSSW-eo-24% ۹۸
شکل (۴-۸۱) مدل SSSW-eo-36% ۹۸
شکل (۴-۸۲) مدل SSSW-eo-48% ۹۸
شکل (۴-۸۳) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-4% ۹۹
شکل (۴-۸۴) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-8% ۹۹
شکل (۴-۸۵) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-12% ۹۹
شکل (۴-۸۶) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-16% ۱۰۰
شکل (۴-۸۷) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-24% ۱۰۰
شکل (۴-۸۸) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-36% ۱۰۰
شکل (۴-۸۹) منحنی چرخه‌ای المان محدود نمونه SSSW-eo-48% ۱۰۰
شکل (۴-۹۰) منحنی پوش مدل SSSW-eo-0% ۱۰۱
شکل (۴-۹۱) منحنی پوش مدل SSSW-eo-4% ۱۰۱
شکل (۴-۹۲) منحنی پوش مدل SSSW-eo-8% ۱۰۱
شکل (۴-۹۳) منحنی پوش مدل SSSW-eo-12% ۱۰۱
شکل (۴-۹۴) منحنی پوش مدل SSSW-eo-16% ۱۰۱
شکل (۴-۹۵) منحنی پوش مدل SSSW-eo-24% ۱۰۱
شکل (۴-۹۶) منحنی پوش مدل SSSW-eo-36% ۱۰۱
شکل (۴-۹۷) منحنی پوش مدل SSSW-eo-48% ۱۰۱
شکل (۴-۹۸) مقایسه منحنی‌های پوش المان محدود نمونه‌های دارای بازشو گسترده ۱۰۲
شکل (۴-۹۹) نمودار S/S_0 نسبت به A/A_0 و منحنی پیشنهادی ۱۰۳
شکل (۴-۱۰۰) نمودار P/P_0 نسبت به A/A_0 و منحنی پیشنهادی ۱۰۴

شکل (۴-۱۰۱) مقایسه منحنی چرخه‌ای نمونه‌های SSSW-O-36% و SSSW-eo-36%..... ۱۰۵
شکل (۴-۱۰۲) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-4% و SSSW-eo-4%..... ۱۰۵
شکل (۴-۱۰۳) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-8% و SSSW-eo-8%..... ۱۰۵
شکل (۴-۱۰۴) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-12% و SSSW-eo-12%..... ۱۰۶
شکل (۴-۱۰۵) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-16% و SSSW-eo-16%..... ۱۰۶
شکل (۴-۱۰۶) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-24% و SSSW-eo-24%..... ۱۰۶
شکل (۴-۱۰۷) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-36% و SSSW-eo-36%..... ۱۰۶
شکل (۴-۱۰۸) مقایسه منحنی پوش نمونه SSSW-O-48% و SSSW-eo-48%..... ۱۰۶
شکل (۴-۱۰۹) مقایسه مقاومت الاستیک در نمونه‌های با بازشو متمرکز و گسترده..... ۱۰۸
شکل (۴-۱۱۰) مقایسه سختی الاستیک در نمونه‌های با بازشو متمرکز و گسترده..... ۱۰۸
شکل (۴-۱۱۱) مقایسه مقاومت نهایی در نمونه‌های با بازشو متمرکز و گسترده..... ۱۰۸
شکل (۴-۱۱۲) مقایسه منحنی چرخه‌ای پانل با بازشو متمرکز واقع در مرکز و پانل با بازشو گسترده ۱۰۹
شکل (۴-۱۱۳) مقایسه مقاومت الاستیک پانلهای با بازشو متمرکز واقع در مرکز و پانلهای با بازشو گسترده ۱۰۹
شکل (۴-۱۱۴) مقایسه سختی الاستیک پانلهای با بازشو متمرکز واقع در مرکز و پانلهای با بازشو گسترده۱۰۹
شکل (۴-۱۱۵) وضعیت کمانشی سخت‌کننده‌ها در نمونه با بازشوی متمرکز..... ۱۱۱
شکل (۴-۱۱۶) وضعیت کمانشی سخت‌کننده‌ها در نمونه با بازشوی گسترده..... ۱۱۱
شکل (۴-۱۱۷) وضعیت تغییر شکل زیرصفحه‌ها در اطراف بازشو در نمونه SSSW-O-12%..... ۱۱۱
شکل (۴-۱۱۸) وضعیت تغییر شکل زیرصفحه‌ها در اطراف بازشو در نمونه SSSW-eo-12%..... ۱۱۱
شکل (۵-۱) طیف نیروهای وارد بر سازه در دو حالت ارتجاعی و غیرارتجاعی..... ۱۱۹
شکل (۵-۲) منحنی دوخطی یوانگ جهت تعیین ضریب رفتار..... ۱۲۰
شکل (۵-۳) رفتار غیر ارتجاعی سازه سخت (راست) و سازه نرم(چپ)..... ۱۲۱
شکل (۵-۴) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-0%..... ۱۲۷
شکل (۵-۵) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-4%..... ۱۲۷
شکل (۵-۶) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-8%..... ۱۲۷
شکل (۵-۷) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-12%..... ۱۲۷
شکل (۵-۸) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-16%..... ۱۲۷
شکل (۵-۹) منحنی دوخطی یوانگ در نمونه المان محدود SSSW-O-24%..... ۱۲۷