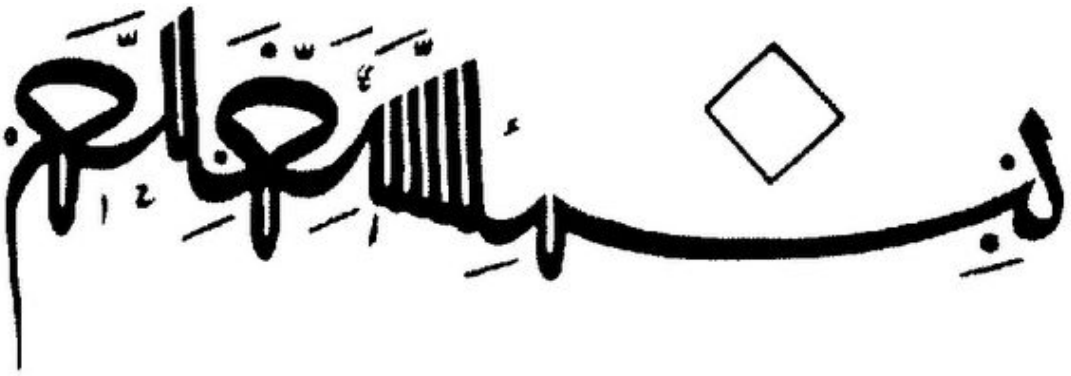

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه تحلیلی و پارامتریک میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه

استاد راهنما:

دکتر فریبرز ناطقی الهی

دانشجو:

مهدی تربت اصفهانی

۱۳۹۰

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه تحلیلی و پارامتریک میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه

استاد راهنما:

دکتر فریبرز ناطقی الهی

دانشجو:

مهدی تربت اصفهانی

۱۳۹۰

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، از سخاوت اش بگویم یا مهربانی

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم

دریای بی کران فداکاری که وجودم برایش همه رنج بوده است و وجودش برایم همه مهر

تقدیم با عشق به همسر عزیزم

مظهر عنایت خداوند که وجود نازنینش شوق زیستن و عشق ورزیدن را در من می پروراند

و تقدیم به برادر مهربانم

مهندس محمد جواد تربت اصفهانی

به پاس محبت های بی دریغش که هرگز فراموش نمی کنم

تقدیر و سپاس از بهترین استاد دوران تحصیلم، یاوری مهربان، همیشه همراه و افتخار همیشگی زندگی ام جناب آقای پروفسور ناطقی الهی که بنده را با ارزش های انسانی و علمی، مهرورزیدن و دقت مثال زدنی مورد لطف و مرحمت خویش قرار دادند. بی شک شاگردی ایشان یکی از افتخارات بزرگ زندگی ام بوده و راهنمایی های ایشان راهنمای آینده فکری و علمی بنده خواهد بود. هیچگاه فرصتی که ایشان برای کسب علم و بجا آوردن رسم شاگردی به بنده دادند، از یاد نخواهم برد.

و تقدیر و تشکر از استاد و سرور گرامی آقای دکتر مهرتاش معتمدی که این تحقیق ادامه راه پر منزلت ایشان بوده و امیدوارم تلاش های بنده مورد قبول و رضایت این استاد بزرگوار قرار گرفته باشد.

و سپاس فراوان از همه راهنمایی ها، رنج ها و همدلی های استاد عزیز و وارسته آقای مهندس اسماعیل ایزدی که بدون یاری های ایشان سرانجامی برای این تحقیق حاصل نبود. همراهی ایشان همیشه در ذهن من خواهد ماند و ارزش بالای این همراهی بنده را بر این می دارد که اینچنین رسم یاری را در تمام مراحل زندگی بجا آورم.

چکیده

در طول سه دهه گذشته سیستم‌های کنترل سازه در قالب سیستم‌های کنترل فعال، غیرفعال و نیمه فعال توسعه یافته‌اند. سیستم‌های کنترل غیرفعال شامل سیستم‌های جداساز لرزه ای و قطعات الحاقی استهلاک انرژی می‌باشند. در میان میراگرهای متنوع توسعه یافته، میراگرهای فلزی جاری شونده بدلیل ملاحظات اقتصادی، عملکرد مطمئن و پایدار و همچنین سهولت ساخت و نصب از محبوب‌ترین میراگرها بشمار می‌آیند. در سالیان اخیر ایده استفاده از لوله‌های جدار نازک آکاردئونی تحت مکانیسم تغییرشکل محوری رفت و برگشت منجر به توسعه میراگر فلزی آکاردئونی گردیده است. میراگر مذکور از رفتار پایدار و مطلوب برخوردار بوده و مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی کارایی این میراگر را در کنترل و کاهش پاسخ سازه تحت بارهای لرزه ای به اثبات رسانده است.

در این تحقیق با هدف بهبود رفتار میراگر فلزی آکاردئونی، تأثیر افزایش تعداد لایه‌های جداره میراگر مورد مطالعه تحلیلی و پارامتریک قرار گرفته است. به این منظور مدلهای تحلیلی میراگر تک لایه، دو لایه و سه لایه بر پایه روش اجزا محدود و آنالیز دینامیکی غیرخطی توسعه یافته و با استفاده از نتایج مطالعات آزمایشگاهی موجود مورد صحت سنجی قرار گرفته است. در ادامه مطالعات پارامتریک بمنظور شناسایی عملکرد رفتاری میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه و ارزیابی تأثیر پارامترهای هندسی مختلف مانند ضخامت لایه‌ها، شعاع لوله، طول لوله و شعاع پلیسه های موج آکاردئونی جداره بر شاخصه های مهم میراگر مانند سختی الاستیک محوری، ظرفیت باربری پلاستیک کشش و فشار، میزان استهلاک انرژی و میرایی ویسکوز معادل در دستور کار قرار گرفته است.

پدیده خستگی کم چرخه بعنوان یک پارامتر تأثیرگذار بر تعداد سیکلهای قابل تحمل توسط میراگر فلزی آکاردئونی، از دیگر شاخصه‌هایی است که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور مدلهای تحلیلی اجزاء محدود بر پایه شاخص آسیب مدل جانسون-کوک برای میراگرهای تک لایه، دو لایه توسعه یافته و تأثیر افزایش تعداد لایه‌ها بر تعداد سیکلهای قابل تحمل توسط میراگر به کمک شاخص مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج بدست آمده از مطالعات نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه‌های میراگر به دلیل ایجاد پایداری بیشتر رفتاری، اصلاح مودهای کمانشی، جلوگیری از مودهای کمانشی مخرب و همچنین تأثیرات مطلوب اندرکنش بین لایه‌ها، تأثیر بسزایی بر میزان جذب انرژی، ظرفیت باربری، سختی الاستیک و دیگر مشخصات رفتاری میراگر فلزی آکاردئونی دارد. به طوری که میزان جذب انرژی نمونه‌ای از مدل دو لایه ۶۳ درصد بیشتر از نمونه مشابه تک لایه می‌باشد. همچنین مطالعات پارامتریک تأثیر مستقیم پارامترهای هندسی ضخامت جداره و شعاع لوله و تأثیر معکوس پارامترهای شعاع پلیسه و طول لوله را بر شاخصه‌های مهم میراگر نشان می‌دهد. در این میان پارامتر ضخامت جداره نسبت به دیگر پارامترها دارای بیشترین و ملموس‌ترین تأثیر می‌باشد. نتایج مطالعات تحلیلی با رهیافت مکانیک آسیب نیز تأثیر افزایش لایه در به تعویق افتادن زمان رسیدن به ماکزیمم میزان آسیب و افزایش تعداد سیکل‌های قابل تحمل تا قبل از آسیب نهایی یا شکست را نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مکانیسم جذب انرژی و انواع میراگرهای فلزی جاری شونده

۱-۱ مفهوم پلاستیسیته مواد به عنوان اصل پایه جذب انرژی در فلزات..... ۲

۱-۲ اتلاف انرژی در میراگرهای فلزی جاری شونده..... ۷

۱-۲-۱ میراگر های فلزی ADAS وTADAS..... ۷

۱-۲-۲ مفصل میراگر..... ۸

۱-۲-۳ میراگر طره ای فلزی..... ۹

۱-۲-۴ میراگر LED..... ۹

۱-۲-۵ میراگرهای نوسانی..... ۱۰

۱-۲-۶ میراگر ترکیبی فلزی-اصطکاکی..... ۱۱

۱-۲-۷ بادبندهای جاری شونده به عنوان یک میراگر فلزی..... ۱۱

۱-۲-۸ استفاده از فولاد کم مقاومت بجای فولاد A۳۶ و یک شکل و اتصال جدید برای میراگر..... ۱۲

صفحه ای

۱-۲-۹ استفاده از حلقه فولادی در انتهای بادبند به عنوان المان جاذب انرژی..... ۱۳

۱-۲-۱۰ میراگر MADAS..... ۱۴

۱-۲-۱۱ استفاده از مصالح ویسکو-الاستیک بین دو ورق فلزی..... ۱۴

۱-۲-۱۲ استفاده از ایده میراگرهای ADAS و رسیدن به شکل ایده آلی از ورق X شکل..... ۱۵

۱-۲-۱۳ تغییر شکل جانبی یک نوار فولادی..... ۱۶

۱-۲-۱۴ استفاده از سیستم مستهلک کننده انرژی وارون ساز لوله..... ۱۷

۱-۲-۱۵ استفاده از یک حلقه (دو لوله تودرتو) با سطح مقطع قوطی شکل از ۱۸

ورقهای فولادی و قراردادن آن در محل تقاطع بادبند

۱-۲-۱۶ استفاده از صفحه فولادی دارای شق کننده باحالت تسلیم شوندگی برشی.....۱۸
۱-۲-۱۷ استفاده از ورقهای شکاف دار بعنوان میراگر زیر انتهای تیر و محل اتصال آن به ستون.....۱۹
۱-۲-۱۸ استفاده از ترکیب لوله و ورق شکاف دار درون لوله.....۱۹
۱-۲-۱۹ استفاده از مقاطع باجان ورق پهن و یا مقاطع I شکل بعنوان یک میراگر.....۲۰
هیسترتیک بر مبنای عملکرد مهاربندی
۱-۲-۲۰ استفاده از لوله جدارنازک آکاردئونی جهت استهلاک انرژی تحت بارگذاری چرخه ای.....۲۱

فصل دوم: میراگر فلزی آکاردئونی، مکانیسم جذب انرژی و مطالعات پیشین

۲-۱ سیستم های جذب کننده انرژی ضربه.....۲۳
۲-۲ مودهای تغییر شکل مربوط به لوله های دایره ای جدار نازک.....۲۴
۲-۲-۱وارونش لوله.....۲۵
۲-۲-۲ پارگی محوری.....۲۶
۲-۲-۳ تو رفتگی جانبی ۲۶
۲-۲-۴ فشردگی جانبی.....۲۷
۲-۲-۵ کمانش محوری لوله های جدار نازک دایره ای.....۲۸
۲-۳ بررسی مرحله به مرحله کمانش آکاردئونی.....۳۰
۲-۴ بهینه سازی جذب انرژی با انتخاب ترکیب مناسب از پارامترهای هندسی لوله.....۳۱
۲-۴-۱ ایجاد شیار در طول لوله جدار نازک صاف (لوله های جدار نازک شیادار).....۳۲
۲-۴-۲ ایجاد موج در طول لوله‌های جدار نازک صاف (لوله های جدار نازک موجدار).....۳۴
۲-۵ آکاردئونی نمونه لوله ها(لوله های جدارنازک آکاردئونی).....۳۶
۲-۶ میراگر فلزی آکاردئونی.....۳۶
۲-۶-۱ ایده اولیه.....۳۶
۲-۶-۲ طرح مسئله.....۳۸
۲-۶-۳ مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته.....۳۸
۲-۶-۴ مطالعات تحلیلی و پارامتریک صورت گرفته.....۴۰
۲-۶-۵ پر نمودن لوله ها با استفاده از پرکننده های مختلف(لوله های شامل مواد پرکننده).....۴۱
۲-۶-۶ کاربرد میراگر فلزی آکاردئونی.....۴۲
۲-۶-۷ نتیجه گیری از مطالعات صورت گرفته.....۴۳
۲-۷ تبیین مطالعات موردنیاز تکمیلی.....۴۴

فصل سوم: مدلسازی تحلیلی و صحت سنجی میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه

۳-۱ خلاصه ای از روش المان محدود و نرم افزار ABAQUS.....۴۵

۳-۲ مدلسازی نمونه اولیه با نرم افزار ABAQUS ۴۷
۳-۲-۱ مدلسازی هندسی ۴۷
۳-۲-۲ مدلسازی مصالح ۴۸
۳-۲-۳ معرفی آنالیزگر و جزئیات آن ۵۰
۳-۲-۴ مدلسازی اصطکاک در نمونه های چند لایه ۵۲
۳-۲-۵ مدلسازی بارگذاری و شرایط تکیه گاهی و مرزی ۵۴
۳-۲-۶ مش بندی نمونه ۵۵
۳-۳ نتایج و جمع بندی ۵۷

فصل چهارم: مدلسازی تحلیلی و صحت سنجی میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه

۴-۱ تاثیر ضخامت لایه بر مشخصات رفتاری میراگر ۶۶
۴-۱-۱ تاثیر ضخامت لایه بر انرژی جذب شده میراگر ۶۷
۴-۱-۲ تاثیر ضخامت لایه بر ظرفیت باربری میراگر ۶۸
۴-۱-۳ تاثیر ضخامت لایه بر سختی الاستیک میراگر ۷۰
۴-۱-۴ تاثیر ضخامت لایه بر میرایی ویسکوز معادل میراگر ۷۱
۴-۱-۵ ارزیابی نتایج حاصل از تاثیر ضخامت لایه بر مشخصه جذب انرژی میراگر ۷۲
۴-۲ تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی بر مشخصات رفتاری میراگر ۷۴
۴-۲-۱ تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی انرژی جذب شده میراگر ۷۴
۴-۲-۲ تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی بر ظرفیت باربری میراگر ۷۶
۴-۲-۳ تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی بر سختی الاستیک میراگر ۷۷
۴-۲-۴ تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی بر میرایی ویسکوز معادل میراگر ۷۸
۴-۲-۵ ارزیابی نتایج حاصل از تاثیر شعاع پلیسه های موج آکاردئونی بر مشخصه جذب انرژی میراگر ۷۹
۴-۳ تاثیر شعاع لوله بر مشخصات رفتاری میراگر ۸۰
۴-۳-۱ تاثیر شعاع لوله بر انرژی جذب شده میراگر ۸۱
۴-۳-۲ تاثیر شعاع لوله بر ظرفیت باربری میراگر ۸۲
۴-۳-۳ تاثیر شعاع لوله بر سختی الاستیک میراگر ۸۳
۴-۳-۴ تاثیر شعاع لوله بر میرایی ویسکوز معادل میراگر ۸۴
۴-۳-۵ ارزیابی نتایج حاصل از تاثیر شعاع لوله بر مشخصه جذب انرژی میراگر ۸۵
۴-۴ تاثیر طول لوله بر مشخصات رفتاری میراگر ۸۶
۴-۴-۱ تاثیر طول لوله بر انرژی جذب شده میراگر ۸۶
۴-۴-۲ تاثیر طول لوله بر ظرفیت باربری میراگر ۸۷
۴-۴-۳ تاثیر طول لوله بر سختی الاستیک میراگر ۸۸
۴-۴-۴ تاثیر طول لوله بر میرایی ویسکوز معادل میراگر ۸۹
۴-۴-۵ ارزیابی نتایج حاصل از تاثیر طول لوله بر مشخصه جذب انرژی میراگر ۹۰
۴-۵ تاثیر افزایش تعداد سیکل قابل تحمل بر مشخصات رفتاری میراگر از نمونه تک لایه به دو لایه ۹۱

۴-۶ تاثیر تعداد سیکل بارگذاری بر مشخصات رفتاری میراگر از نمونه تک لایه به دو لایه و سه لایه.....۹۵
۴-۷ ارزیابی نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک و ارائه مدل ایده آل.....۹۷
۴-۸ تفسیر و نتیجه گیری از مشاهدات پارامتریک.....۹۸

فصل پنجم: مطالعه تاثیر خستگی بر رفتار میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه

۵-۱ مکانیک پیوستگی.....۱۰۰
۵-۲ مکانیک شکست.....۱۰۱
۵-۲-۱ آشنایی با شکست خستگی.....۱۰۲
۵-۲-۱-۱ خصوصیات ساختاری شکست خستگی.....۱۰۳
۵-۲-۱-۲ جنبه های ریز ساختاری و ظاهری در خستگی.....۱۰۳
۵-۲-۱-۳ اثر سطح و شکست خستگی.....۱۰۴
۵-۲-۱-۴ اثر متغیرهای متالورژیکی بر شکست خستگی.....۱۰۴
۵-۲-۱-۵ اثر دما بر شکست خستگی.....۱۰۵
۵-۲-۱-۶ آزمونهای شکست خستگی.....۱۰۵
۵-۲-۲ روش های جلوگیری از رشد ترک و افزایش عمر خستگی.....۱۰۶
۵-۲-۳ روشهای محاسبه رشد ترک خستگی بر پایه مکانیک شکست.....۱۰۶
۵-۲-۴ طراحی خستگی.....۱۰۸
۵-۲-۴-۱ روش های طراحی خستگی.....۱۰۸
۵-۲-۴-۲ معیار های طراحی خستگی.....۱۰۹
۵-۲-۵ نتیجه گیری و رهیافت روند مطالعه شکست خستگی در میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه.....۱۰۹
۵-۳ مکانیک آسیب.....۱۱۰
۵-۳-۱ ضرورت مکانیک آسیب.....۱۱۰
۵-۳-۲ الاستیسیته و آسیب.....۱۱۱
۵-۳-۳ لغزش، پلاستیسیته و کرنش های برگشت پذیر.....۱۱۱
۵-۳-۴ مفهوم مقیاس ها در مکانیک آسیب.....۱۱۲
۵-۳-۵ صورت های مختلف آسیب.....۱۱۲
۵-۳-۶ تعریف متغیر آسیب.....۱۱۳
۵-۳-۶-۱ اصل تنش معادل.....۱۱۳
۵-۳-۶-۲ اصل کرنش معادل.....۱۱۳
۵-۳-۷ روشهای عملی اندازه گیری آسیب.....۱۱۴
۵-۳-۸ جمع بندی و نتیجه گیری از فلسفه مکانیک آسیب.....۱۱۵
۵-۳-۹ مدلهای آسیب بر پایه دیدگاه شکست نرم.....۱۱۵
۵-۳-۹-۱ مدل آسیب ویکلنز.....۱۱۶
۵-۳-۹-۲ مدل آسیب تنش برش ماکزیمم.....۱۱۶

۵-۳-۹-۳ مدل آسیب اصلاح شده کوک کرافت و لاتهام.....۱۱۶
۵-۳-۹-۴ مدل آسیب کرنش شکست ثابت.....۱۱۶
۵-۳-۹-۵ مدل آسیب جانسون_ کوک.....۱۱۷
۵-۳-۹-۶ مدل پلاستیسیته جانسون_ کوک.....۱۱۹
۵-۳-۹-۷ مدل آسیب بائو ووایرزبکی.....۱۲۰
۵-۴ مطالعه خستگی میراگر فلزی آکاردئونی چند لایه.....۱۲۰
۵-۵ جمع آوری و نتیجه گیری.....۱۲۵

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات.....۱۲۶
۶-۱- نتایج.....۱۲۶
۶-۲- پیشنهادات.....۱۲۷
منابع و مراجع
فهرست شکل ها
فهرست جداول

فهرست اشکال

فصل اول

شکل(۱-۱) : هندسهٔ میراگر های فلزی..... ۱

شکل (۱-۲) : میله استوانه ای تحت اثر کشش تک محوری..... ۳

شکل (۱-۳) : تنش اسمی – کرنش قراردادی فلزات..... ۴

شکل (۱-۴) : نمودار تنش واقعی – کرنش طبیعی..... ۵

شکل (۱-۵) : مدل های ریاضی تنش – کرنش..... ۶

الف – الاستیک – پلاستیک کامل، ب – الاستیک خطی با کرنش سخت شدگی، پ – رامبرگ – اوزگود

شکل (۱-۶) : پاسخ سیکلی تنش – کرنش..... ۶

شکل (۱-۷) : نمایی از میراگر **ADAS**..... ۷

شکل (۱-۸) : نمایی از میراگر **TADAS** و چرخه هیسترزیس مربوط به آن..... ۸

شکل (۱-۹) : سیستم ترکیبی از میراگر **ADAS** و مهاربندی مدار بسته..... ۸

شکل (۱-۱۰) : مقطعی از مفصل میراگر و چرخه هیسترزیس مربوط به آن..... ۹

شکل (۱-۱۱) : نمای میراگر طره ای فلزی همراه با چرخه هیسترزیس مربوط به آن..... ۹

شکل (۱-۱۲) : نمای میراگر **LED** همراه با چرخه هیسترزیس مربوط به آن..... ۱۰

شکل (۱-۱۳) : مقاوم سازی یک پل در کره جنوبی بوسیله میراگر نوسانی **PVD**..... ۱۰

شکل (۱-۱۴) : میراگر نوسانی از نمونه **RVD** قابل استفاده در پلهای با کابلهای نگهدارنده..... ۱۱

شکل (۱-۱۵) :نمای میراگر فلزی-اصطکاکی و چرخه هیسترزیس مربوط به آن..... ۱۱

شکل (۱-۱۶) : جزئیات ساخت بادبند جاری شونده همراه با منحنی هیسترزیس مربوط به آن..... ۱۱

شکل (۱-۱۷) : نمونه امروزی از یک بادبند جاری شونده..... ۱۲

شکل (۱-۱۸): نمای تغییر شکل یافته میراگر **TADAS** با استفاده از فولاد کم مقاومت..... ۱۲

شکل (۱-۱۹): نمای میراگر حلقه ای بکاربرده شده در بادبند **X** شکل..... ۱۳

شکل (۱-۲۰): نمای اتصال صلب میراگر MADAS داخل دستگاه بارگذاری.....۱۴

شکل (۱-۲۱): نمای ورق های فولادی متصل به مصالح ویسکو-الاستیک.....۱۵

شکل (۱-۲۲) : نمای صفحه میراگرADAS و چرخه های جذب انرژی آن.....۱۵

شکل (۱-۲۳): نمای انواع صفحات میراگر به همراه چرخه های جذب انرژی مربوط به آن.....۱۶

شکل (۱-۲۴): نمای نوار فولادی کمانش کننده میراگر.....۱۷

شکل (۱-۲۵): نمای بادبند کمانش تاب.....۱۷

شکل (۱-۲۶): نمای میراگر وارون ساز و اتصال آن در بادبند X شکل.....۱۷

شکل (۱-۲۷): نمای میراگر حلقوی داخل بادبند هم محور.....۱۸

شکل (۱-۲۸): نمای میراگر صفحه ای جاری شونده به همراه انواع شق کننده ها.....۱۸

شکل (۱-۲۹): جانمایی ورقهای شکاف دار در محل اتصال تیر به ستون در قاب.....۱۹

شکل (۱-۳۰): نمای صفحات شکاف دار عمل کننده به عنوان جاذب انرژی در بادبند.....۲۰

شکل (۱-۳۱): نمای استفاده از تیرآهن I به عنوان المان جاذب انرژی.....۲۰

شکل (۱-۳۲): نمای میراگر فلزی آکاردئونی و جانمایی آن در قاب با مهاربند چورن.....۲۱

شکل (۱-۳۳): چرخه های جذب قاب ساختمانی و تغییر حاصل شده در آن بعد از بکارگیری میراگر آکاردئونی.....۲۲

فصل دوم

شکل (۲-۱) . تورفتگی جانبی مربوط به لوله جدار نازک با تکیه گاه ساده.....۲۷

شکل (۲-۲): مدلهای تئوریک لهیدگی جانبی.....۲۸

شکل (۲-۳- الف): منحنی نیرو – جابجائی برای کمانش آکاردئونی.....۲۸

شکل (۲-۳- ب): منحنی نیرو – جابجائی برای کمانش الماسی.....۲۹

شکل (۲-۳- ج): منحنی نیرو- جابجایی برای کمانش اولری.....۲۹

شکل (۲-۴): مدل *Andrews* برای طبقه بندی انواع کمانش براساس پارامترهای هندسی.....۲۹

شکل (۲-۵): مراحل کمانش محوری الگوی آکاردئونی بر روی منحنی رفتار لوله جدار نازک صاف.....۳۰

شکل (۲-۶): مدلسازی اجزاء محدود فشردگی تحت ضربه محوری لوله جدار نازک صاف..... ۳۱
شکل (۲-۷): الگوی کمانش پیش رونده آکاردئونی ، الماسی و کمانش اولری ستونها..... ۳۱
شکل (۲-۸): پارامترهای هندسی مربوط به لوله های جدارنازک شیاردار..... ۳۲
شکل (۲-۹): منحنی بار – تغییر مکان نمونه های جدار نازک شیاردار و نمونه جدار نازک صاف..... ۳۳
شکل (۲-۱۰): مراحل ایجاد چین خوردگی یکی از نمونه های جدار نازک موجدار..... ۳۵
شکل (۲-۱۱): منحنی رفتاری دو لوله جدارنازک صاف در مقایسه با لوله موجدار..... ۳۵
شکل (۲-۱۲): اشکال مختلف لوله های جدار نازک آکاردئونی و پارامترهای هندسی مربوط به آنها..... ۳۶
شکل (۲-۱۳): تصویر شماتیک نمونه‌های مورد مطالعه..... ۳۸
شکل(۲-۱۴): چرخه های هیسترزیس مربوط به مدلهای آزمایشگاهی..... ۳۹
شکل(۲-۱۵): چرخه های هیسترزیس مربوط به مدلهای تحلیلی..... ۴۰
شکل(۲-۱۶): تنش جداره نمونه های تحلیلی بر اساس تئوری VON MISS ۴۱
شکل(۲-۱۷): نمای میراگر آکاردئونی پرشده و الگوهای مختلف پرشوندگی..... ۴۲
شکل(۲-۱۸): کاربردهای مختلف میراگر فلزی آکاردئونی در سازه..... ۴۳

فصل سوم

شکل(۳-۱): تصویر شماتیک نمونه‌های مورد مطالعه..... ۴۷
شکل(۳-۲): تصویر شماتیک نمونه مدل تحلیلی در نرم افزار ABAQUS..... ۴۸
شکل (۳-۳): منحنی تنش - کرنش فولاد۳۰۴ A در نمونه های آزمایش شده..... ۴۹
شکل (۳-۴): منحنی تنش - کرنش فولاد مدل شده در نمونه تحلیلی..... ۵۰
شکل (۳-۵): منحنی های انرژی داخلی و انرژی جنبشی مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک تک لایه..... ۵۳
شکل (۳-۶): شکل الگوی بارگذاری در گونه‌های مختلف..... ۵۵
شکل (۳-۷): انواع المانهای موجود در نرم افزار ABAQUS ۵۵
شکل (۳-۸): شکل های مختلف المان موجود در نرم افزارABAQUS ۵۶

شکل (۳-۹): منحنی های هیسترزیس مربوط به لوله تک جداره با اندازه های مختلف مش بندی.....۵۷

شکل (۳-۱۰): نمونه مش بندی شده در نرم افزار.....۵۷

شکل (۳-۱۱) : منحنی هیسترزیس نمونه های تحلیلی متقارن و ۳ بعدی در یک سیکل بارگذاری با دامنه ۳۵ میلیمتر.....۵۸

شکل (۳-۱۲) : تصویر شماتیک نمونه مدل تحلیلی ۳ بعدی و متقارن محوری در نرم افزار ABAQUS.....۵۸

شکل (۳-۱۴) : تصویر شماتیک نمونه تغییر شکل یافته مدل تحلیلی ۳ بعدی و متقارن محوری در نرم افزار ۵۹
ABAQUS بر اساس تئوری VON MISSES

شکل (۳-۱۵): منحنی هیسترزیس در لوله های جدارنازک تک لایه.....۵۹

شکل (۳-۱۶): منحنی هیسترزیس در لوله های جدارنازک دو لایه.....۶۰

شکل (۳-۱۷): سختی الاستیک محوری در لوله های جدارنازک یک و دو لایه : الف) نمونه آزمایشگاهی (یک لایه).....۶۰
ب) نمونه آزمایشگاهی (دو لایه)

شکل (۳-۱۸): منحنی های هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک یک لایه در ۳۱ سیکل بارگذاری.....۶۱

شکل (۳-۱۹): منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک یک لایه در سیکل سی و یکم.....۶۱

شکل (۳-۲۰):تطابق منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی و آزمایشگاهی در لوله های جدارنازک یک لایه.....۶۲
در سیکل سی و یکم

شکل (۳-۲۱): منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک دو لایه در ۵۵ سیکل بارگذاری.....۶۲

شکل (۳-۲۲): منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک دو لایه در سیکل پنجاه و پنجم.....۶۳

شکل (۳-۲۳):تطابق منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی و آزمایشگاهی در لوله های جدارنازک دو لایه.....۶۳
در سیکل پنجاه و پنجم

شکل (۳-۲۴): منحنی های هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک یک لایه و دو لایه.....۶۴
در سیکل سی و یکم و ناحیه هاشور زده شده مربوط به افزایش از تک لایه به دو لایه

شکل (۳-۲۵): منحنی هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک دو لایه در ۳۱ سیکل بارگذاری.....۶۵

شکل (۳-۲۶): منحنی های هیسترزیس مدل تحلیلی در لوله های جدارنازک یک لایه و سه لایه.....۶۵
در سیکل سی و یکم و ناحیه هاشور زده شده مربوط به افزایش از تک لایه به سه لایه

فصل چهارم

شکل (۴-۱): تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها.....۶۸
شکل (۴-۲): تغییرات ظرفیت باربری در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها.....۶۹
شکل (۴-۳): تغییرات سختی الاستیک در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها.....۷۰
شکل (۴-۴): تغییرات میرایی ویسکوز معادل در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر.....۷۲
تغییر ضخامت لایه ها
شکل (۴-۵): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و دو لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به افزایش بیش از دو برابر.....۷۳
شکل (۴-۶): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و سه لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به افزایش بیش از سه برابر.....۷۳
شکل (۴-۷): تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر.....۷۵
تغییر شعاع پلیسه ها
شکل (۴-۸): تغییرات میزان ظرفیت باربری در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر.....۷۶
تغییر شعاع پلیسه ها
شکل (۴-۹): تغییرات میزان سختی الاستیک در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر.....۷۷
تغییر شعاع پلیسه ها
شکل (۴-۱۰): تغییرات میزان میرایی ویسکوز معادل در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر ۷۸
تغییر شعاع پلیسه ها
شکل (۴-۱۱): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و دو لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به.....۷۹
افزایش بیش از دو برابر
شکل (۴-۱۲): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و سه لایه و ناحیه هاشور خورده ۸۰
مربوط به افزایش بیش از سه برابر

شکل (۴-۱۳): تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۱
تغییر شعاع لوله
شکل (۴-۱۴): تغییرات میزان ظرفیت باربری در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۲
تغییر شعاع لوله
شکل (۴-۱۵): تغییرات میزان سختی الاستیک در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۳
تغییر شعاع لوله
شکل (۴-۱۶): تغییرات میزان میرایی ویسکوز معادل در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۴
تغییر شعاع لوله
شکل (۴-۱۷): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و دو لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به..... ۸۵
افزایش بیش از دو برابر
شکل (۴-۱۸): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و سه لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به..... ۸۵
افزایش بیش از سه برابر
شکل (۴-۱۹): تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۷
تغییر طول لوله
شکل (۴-۲۰): تغییرات میزان ظرفیت باربری در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۸
تغییر طول لوله
شکل (۴-۲۱): تغییرات میزان سختی الاستیک در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۸۹
تغییر طول لوله
شکل (۴-۲۲): تغییرات میزان میرایی ویسکوز معادل در نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه تحت تاثیر..... ۹۰
تغییر طول لوله
شکل (۴-۱۷): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و دو لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به..... ۹۱
افزایش بیش از دو برابر

شکل (۴-۱۷): منحنی جذب انرژی نمونه های تک و سه لایه و ناحیه هاشور خورده مربوط به..... ۹۱
افزایش بیش از سه برابر
شکل (۴-۲۵): منحنی تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه تحت تاثیر..... ۹۴
تغییر ضخامت لایه
شکل (۴-۲۶): منحنی تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه تحت تاثیر..... ۹۴
تغییر شعاع پلیسه
شکل (۴-۲۷): منحنی تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه تحت تاثیر..... ۹۵
تغییر شعاع لوله
شکل (۴-۲۸): منحنی تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه تحت تاثیر..... ۹۵
تغییر طول لوله
شکل (۴-۲۹): منحنی تغییرات میزان جذب انرژی در نمونه های تک لایه، دو لایه وسه لایه..... ۹۶
در تعداد سیکل های مختلف بارگذاری
شکل (۴-۳۰): منحنی تغییرات میزان ظرفیت باربری در نمونه های تک لایه، دو لایه وسه لایه..... ۹۶
در تعداد سیکل های مختلف بارگذاری
شکل (۴-۳۱): منحنی تغییرات میزان انرژی جذب شده در نمونه های تک لایه و دو لایه..... ۹۷
تحت تاثیر پارامتر بی بعد
شکل (۴-۳۲) : منحنی تغییرات میزان انرژی جذب شده در نمونه‌های تک لایه و دو لایه تحت تأثیر پارامتر بی بعد..... ۹۸

فصل پنجم

شکل (۵-۱): نمای شما تیک از سطح یک شکست نرم و لبه آن..... ۱۰۲
شکل (۵-۲): نمای شما تیک از سطح یک شکست خستگی..... ۱۰۲
شکل (۵-۳): تغییرات پارامتر آسیب در مدل تک لایه و دو لایه در رأس پلیسه پنجم..... ۱۲۲
شکل (۵-۴): تغییرات پارامتر آسیب در مدل دو لایه برای لایه اول و دوم در رأس پلیسه نهم..... ۱۲۲

شکل (۵-۵): تغییرات پارامتر آسیب در مدل دو لایه دوم در رأس پلیسه نهم تا مرحله شکست.....۱۲۳

شکل (۵-۶): تغییرات پارامتر آسیب در مدل تک لایه و دو لایه در رأس پلیسه دوازدهم برای فولاد۴۳۴۰.....۱۲۴

شکل (۵-۷): تغییرات پارامتر آسیب در مدل دو لایه برای لایه اول و دوم در رأس پلیسه دهم برای فولاد ۴۳۴۰.....۱۲۴

فهرست جداول

فصل اول

فصل دوم

جدول (۲-۱): میزان انرژی جذب شده متوسط نیروی لهیدگی نمونه های جدار نازک شیاردار.....۳۳

جدول (۲-۲): مشخصات هندسی مدلهای آزمایشگاهی.....۳۹

جدول(۲-۳): مقایسه نتایج مدلهای آزمایشگاهی و تحلیلی میراگر فلزی آکاردئونی.....۴۰

فصل سوم

جدول (۳-۱): خواص مکانیکی فولاد در نظر گرفته شده برای لوله های جدارنازک آکاردئونی.....۴۷

جدول (۳-۲): خواص مکانیکی فولاد در نظر گرفته شده برای لوله های جدارنازک آکاردئونی.....۴۸

جدول (۳-۳): خواص مکانیکی ورق فولادی $A۳۰۴$.....۴۹

جدول (۳-۴):خواص مکانیکی مصالح نهایی مدل شده در نرم افزار.....۴۹

جدول (۳-۵): جزئیات الگوی بارگذاری در گونه‌های مختلف مدل تحلیلی.....۵۵

فصل چهارم

جدول (۴-۱): مشخصات هندسی نمونه های تک لایه، دو لایه و سه لایه جهت بررسی تاثیر پارامتر ضخامت لایه.....۶۷

جدول (۴-۲): درصد افزایش جذب انرژی میراگر از نمونه دو لایه نسبت به تک لایه و سه لایه نسبت به تک لایه.....۶۸

تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها

جدول (۴-۳): درصد افزایش ظرفیت باربری میراگر از نمونه دو لایه نسبت به تک لایه و سه لایه.....۶۹

نسبت به تک لایه تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها

جدول (۴-۴): درصد افزایش سختی الاستیک میراگر از نمونه دو لایه نسبت به تک لایه و سه لایه.....۷۱

نسبت به تک لایه تحت تاثیر تغییر ضخامت لایه ها