دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بررسی تجربی و عددی (**FEM**) سازه های جدار نازک تقویت شده با فوم تحت بارگذاری دینامیکی

از

سید یحیی بادوام

استادان راهنما

دکتر رضا فلاحتگر

دکتر هاشم بابائی

اسفند ۱۳۹۲

دانشکده فنی

گروه مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

بررسی تجربی و عددی (**FEM**) سازه های جدار نازک تقویت شده با فوم تحت بارگذاری دینامیکی

از

سید یحیی بادوام

استادان راهنما

دکتر سیدرضا فلاحتگر

دکتر هاشم بابائی

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم به

روح آسمانی شهدا

و پدر و مادر عزیزم به خاطر همه حمایت ها و زحمات بی دریغشان

با نهایت سپاسگذاری از اساتید ارجمندم

دکتر رضا فلاحتگر و دکتر هاشم بابائی

و با تشکر از همه دوستان و عزیزانی که مرا یاری نمودند

فهرست مطالب

چکیده فارسی ..... ژ

چکیده انگلیسی ..... س

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۶

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- اشکال مختلف جاذب های انرژی ۷

۲-۲-۱- استوانه های جدار نازک ۷

۲-۲-۲- ستون های مربعی ۸

۲-۲-۳- سازه های لانه زنبوری ۱۰

۲-۲-۴- مخروط ناقص ۱۱

۲-۳- نحوه های تغییر شکل استوانه های جداره نازک ۱۲

۲-۳-۱ وارونگی ۱۳

۲-۳-۲- شکافتگی ۱۵

۲-۳-۳- فرو رفتگی عرضی ۱۶

۲-۳-۴- پهن شدگی عرضی ۱۷

۲-۳-۵- مچالگی محوری ۱۸

۲-۴- نحوه های تغییر شکل مختلف در مچالگی محوری استوانه های جداره نازک ۱۹

۲-۵- روش‌های تست ۲۲

۲-۵-۱- تست شبه استاتیک ۲۳
۲-۵-۲- تست‌های ضربه ۲۳
۲-۶- مشخصات جذب انرژی ۲۴
۲-۶-۱- تعریف انرژی جذب شده مخصوص ۲۴
۲-۷- مروری گذرا و اجمالی بر تحقیقات پیشین ۲۶
۲-۸- اهداف تحقیق ۲۹
فصل سوم: نحوه مدلسازی المان محدود و طرح مساله ۳۰
۳-۱- مدل المان محدود ۳۱
۳-۱-۱- توصیف مدل المان محدود ۳۲
۳-۱-۲- خواص مادی ۳۳
۳-۱-۳- مدل سازی سطوح تماس ۳۷
۳-۱-۴- شرایط مرزی ۳۷
۳-۱-۵- مش بندی بهینه ۳۸
۳-۲- تایید نتایج عددی: ۳۸
۳-۲-۱- مقایسه نتایج مدل با نتایج مرجع [40]: ۳۹
۳-۲-۲- مقایسه نتایج مدل با نتایج مرجع [61]: ۴۰
۳-۳- طرح مساله: ۴۲
فصل چهارم: نتایج و حل و بحث ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- نتایج به دست آمده برای لوله های استوانه ای خالی ۴۷
۴-۳- نتایج به دست آمده برای لوله های استوانه ای پر شده با فوم ۶۱

۴-۴- نتایج به دست آمده برای لوله های های با مقطع مدور با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مربعی ۶۵

۴-۵- نتایج به دست آمده برای لوله های های با مقطع مدور با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مربعی هنگام تقویت شدن با فوم آلومینیومی ۸۲

۴-۶- نتایج به دست آمده برای لوله های استوانه ای توخالی از دو جنس فولاد نرم و آلومینیوم ۸۵

۴-۷- نتایج به دست آمده برای لوله های استوانه ای از دو جنس فولاد نرم و آلومینیوم هنگام تقویت شدن با فوم آلومینیومی۹۳

فصل پنجم: پیشنهادات..... .....۹۸

۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۹

۵-۲ پیشنهادات ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

فهرست جداول

جدول ۳-۱: خواص مکانیکی فولاد نرم ۳۳

جدول ۳-۲: خواص مکانیکی فوم آلومینیومی[58] ۳۴

جدول ۳-۲: خواص مکانیکی آلومینیوم [40] ۳۵

جدول ۳-۴: مقایسه نتایج مدلسازی با مرجع [40] ۴۰

جدول ۳-۵: مقایسه نتایج مدلسازی با مرجع [61] ۴۱

جدول ۳-۶: مشخصات هندسی لوله های استوانه ای از جنس فولاد نرم ۴۳

جدول ۳-۷: مشخصات هندسی لوله های استوانه ای پر شده با فوم ۴۳

جدول ۳-۸: مشخصات هندسی نمونه لوله های با مقطع مدور با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مربعی ۴۴

جدول ۳-۹: مشخصات هندسی نمونه لوله های با مقطع مربعی با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مدور ۴۴

جدول ۴-۱ : نتایج عددی برای لوله های استوانه ای خالی ۵۲

جدول ۴-۲: نتایج عددی انرژی جذب شده مخصوص به ازای $\boldsymbol{L/D}$ های مختلف برای لوله های استوانه ای تو خالی ۵۳

جدول ۴-۳: نتایج تجربی و عددی برای لوله های توخالی ۵۷

جدول ۴-۴: محاسبه خطای مقدار انرژی جذب شده نتایج تجربی و عددی برای لوله های توخالی ۵۸

جدول ۴-۵: نتایج عددی و تجربی انرژی جذب شده مخصوص به ازای $\boldsymbol{L/D}$ های مختلف برای لوله های استوانه ای تو خالی ۵۹

جدول ۴-۶: نتایج عددی برای لوله های استوانه ای پر شده با فوم در حالت دینامیکی ۶۱

جدول ۴-۷: نتایج عددی نمونه لوله های با مقطع مدور با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مربعی ۶۶

جدول ۴-۸: نتایج عددی نمونه لوله های با مقطع مربعی با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مدور ۶۶

جدول ۴-۹: نتایج عددی و تجربی نمونه لوله های با مقطع مربعی با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مدور ۶۸

جدول ۴-۱۰: محاسبه خطای مقدار انرژی جذب شده بین نتایج تجربی و عددی ۶۸

جدول ۴-۱۱: مقایسه ی کارایی ساختاری لوله های پر شده با فوم و خالی در تست های دینامیکی ۷۳

جدول ۴-۱۲: نتایج آزمایشات تجربی ۸۱

جدول ۴-۱۳: نتایج عددی نمونه لوله های با مقطع مربعی با نسبت وزنی برابر با لوله های با مقطع مدور بعد از تقویت شدن با فوم ۸۴
جدول ۴-۱۴: مقایسه ی کارایی ساختاری نمونه لوله های استوانه ای و مربعی تقویت شده با فوم و توخالی در تست های دینامیکی ۸۴
جدول ۴-۱۵: نتایج بدست آمده برای لوله های استوانه ای از جنس فولاد نرم ۹۱
جدول ۴-۱۶: نتایج بدست آمده برای لوله های استوانه ای از جنس آلومینیوم ۹۲
جدول ۴-۱۷: نتایج عددی نمونه لوله های استوانه ای فولادی و آلومینیومی بعد از تقویت شدن با فوم ۹۶
جدول ۴-۱۸: مقایسه ی کارایی ساختاری نمونه لوله های استوانه ای فولادی و آلومینیومی تقویت شده با فوم و توخالی ۹۶

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱: مدل استفاده شده توسط الکساندر [1] ۸

شکل ۲-۲: نحوه تغییر شکل (برگرفته از [14]) ۹

شکل ۲-۳: نحوه تغییر شکل نامتقارن (برگرفته از [4]) ۱۰

شکل ۲-۴: سلول لانه زنبوری خالی و پر شده از فوم بعد از مچالگی محوری (برگرفته از [8]) ۱۱

شکل ۲-۵: مخروط ناقص در حال مچالگی (برگرفته از [11]) ۱۲

شکل ۲-۶: طرح شماتیک وارونگی لوله به خارج (برگرفته از [12]) ۱۴

شکل ۲-۷: وارونگی به خارج برای مقادیر b برابر ۱۰و ۶ و ۴ از چپ راست در شکل (برگرفته از [14]) ۱۴

شکل ۲-۸: طرح شماتیک شکافتگی لوله (برگرفته از [14]) ۱۵

شکل ۲-۹: شکافتگی لوله ها(لوله های بالایی بدون و لوله های پایینی با صفحه ی متوقف کننده [14]) ۱۶

شکل ۲-۱۰: مراحل مختلف فرورفتگی عرضی (برگرفته از [12]) ۱۷

شکل ۲-۱۱: طرح شماتیک پهن شدگی عرضی (برگرفته از [12]) ۱۸

شکل ۲-۱۲: نحوه تغییر شکل متقارن آکاردئونی (برگرفته از [2]) ۲۰

شکل ۲-۱۳: نحوه تغییر شکل نا متقارن الماسی (برگرفته از [24]) ۲۰

شکل ۲-۱۴: نحوه تغییر شکل ترکیبی در چپ وکمانش کلی در راست (برگرفته از [24]) ۲۱

شکل ۲-۱۵: دسته بندی نحوه تغییر شکل برای استوانه های آلومینیومی (برگرفته از [24]) ۲۲

شکل ۲-۱۶: دیاگرام شماتیک یک دستگاه تست ضربه پرتابه‌ای[27] ۲۴

شکل ۲-۱۷: دیاگرام شماتیک یک دستگاه تست ضربه پرتابه‌ای [28] ۲۵

شکل ۳-۱: مدل لوله با سطح مقطع مربعی تحت ضربه محوری ۳۲

شکل ۳-۲: مدل المان محدود لوله با سطح مقطع مربعی ۳۳

شکل ۳-۳: نمودار تنش-کرنش فولاد نرم ۳۴

شکل ۳-۴: نمودار تنش-کرنش حقیقی فوم آلومینیومی برگرفته از مرجع [59] ۳۵

شکل ۳-۵: نمودار تنش-کرنش آلومینیوم[40] ۳۶

شکل ۳-۶: مدل لوله با سطح مقطع دایره‌ای معادل تحت ضربه محوری ۳۸
شکل ۳-۷: نمودار نیرو- جابجایی برای لوله با سطح مقطع دایروی [40] ۳۹
شکل ۳-۸: مقایسه تغییر شکل لوله تحت بار ضربه ای محوری با مرجع [40] ۴۰
شکل ۳-۹: ابعاد و نحوه بارگذاری نمونه تایید شده [61] ۴۱
شکل ۳-۱۰: مقایسه تغییر شکل قوطی مربعی پس از بارگذاری با مرجع[61] ۴۲
شکل ۳-۱۱: طرح شماتیک دستگاه چکش ثقلی ۴۵
شکل ۴-۱: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی برای نمونه های $\boldsymbol{DS9, DS5, DS1}$ ۴۸
شکل ۴-۲: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی برای نمونه های $\boldsymbol{DS10, DS6, DS2}$ ۴۸
شکل ۴-۳: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی برای نمونه های $\boldsymbol{DS11, DS7, DS3}$ ۴۹
شکل ۴-۴: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی برای نمونه های $\boldsymbol{DS12, DS8, DS4}$ ۴۹
شکل ۴-۵: تغییر شکل نمونه های $\boldsymbol{DS1, DS2, DS3, DS4}$ ۵۰
شکل ۴-۶: نمای بالای نمونه های $\boldsymbol{DS1, DS2, DS3, DS4}$ بعد از تغییر شکل ۵۰
شکل ۴-۷: تغییر شکل نمونه های $\boldsymbol{DS5, DS6, DS7, DS8}$ ۵۱
شکل ۴-۸: نمای بالای نمونه های $\boldsymbol{DS5, DS6, DS7, DS8}$ بعد از تغییر شکل ۵۱
شکل ۴-۹: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه تجربی و عددی $\boldsymbol{DS10}$ ۵۴
شکل ۴-۱۰: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه تجربی و عددی $\boldsymbol{DS11}$ ۵۴
شکل ۴-۱۱: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه تجربی و عددی $\boldsymbol{DS12}$ ۵۵
شکل ۴-۱۲: نمونه تو خالی تجربی و عددی $\boldsymbol{DS10}$ بعد از لهیدگی ۵۶
شکل ۴-۱۳: نمونه تو خالی تجربی و عددی $\boldsymbol{DS11}$ بعد از لهیدگی ۵۷
شکل ۴-۱۴: نمونه تو خالی تجربی و عددی $\boldsymbol{DS12}$ بعد از لهیدگی ۵۸
شکل ۴-۱۵: تغییرات انرژی جذب شده مخصوص به ازای $\boldsymbol{L/D}$ های مختلف برای لوله های استوانه ای تو خالی ۶۰

شکل ۴-۱۶: مقایسه تغییرات انرژی جذب شده مخصوص به L/D از لحاظ عددی و تجربی برای لوله های استوانه ای تو خالی ۶۰
شکل ۴-۱۷: مقایسه تغییر شکل تیوب های استوانه ای توخالی و پر شده با فوم آلومینیومی بعد از اعمال ضربه ۶۲
شکل ۴-۱۸: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه لوله توخالی و پر شده با فوم $DS5$ ۶۳
شکل ۴-۱۹: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه لوله توخالی و پر شده با فوم $DS6$ ۶۳
شکل ۴-۲۰: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه لوله توخالی و پر شده با فوم $DS7$ ۶۴
شکل ۴-۲۱: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه لوله توخالی و پر شده با فوم $DS8$ ۶۴
شکل ۴-۲۲: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های $DS13, DS16$ ۶۷
شکل ۴-۲۳: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های $DS14, DS17$ ۶۷
شکل ۴-۲۴: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های $DS15, DS18$ ۶۸
شکل ۴-۲۵: نمونه تجربی و عددی $DS13$ بعد از لهیدگی ۶۹
شکل ۴-۲۶: نمونه تجربی و عددی $DS14$ بعد از لهیدگی ۷۰
شکل ۴-۲۷: نمونه تجربی و عددی $DS16$ بعد از لهیدگی ۷۱
شکل ۴-۲۸: نمونه تجربی و عددی $DS17$ بعد از لهیدگی ۷۲
شکل ۴-۲۹: مقایسه ی کارایی ساختاری برای لوله های پر شده با فوم و خالی نسبت به L/D در تست دینامیکی ۷۳
شکل ۴-۳۰: مقایسه ی کارایی ساختاری برای لوله های پر شده با فوم و خالی برای هشت نمونه در تست دینامیکی ۷۴
شکل ۴-۳۱: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP1 و مقایسه با DS10 ..... ۷۵
شکل ۴-۳۲: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP2 و مقایسه با DS11 ..... ۷۵
شکل ۴-۳۳: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP3 و مقایسه با DS12 ..... ۷۶
شکل ۴-۳۴: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP4 و مقایسه با DS13 ..... ۷۶
شکل ۴-۳۵: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP5 و مقایسه با DS14 ..... ۷۷
شکل ۴-۳۶: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP6 و مقایسه با DS16 ..... ۷۷
شکل ۴-۳۷: نمودار شتاب- زمان آزمایش تجربی اول EXP7 و مقایسه با DS17 ..... ۷۸

شکل ۴-۳۸: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS16, EXP6 ..... ۷۹
شکل ۴-۳۹: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS17, EXP7 ..... ۸۱
شکل ۴-۴۰: مقایسه تغییر شکل تیوب های استوانه ای و مربعی با وزن یکسان و تقویت شده با فوم آلومینیومی بعد از اعمال ضربه ۸۳
شکل ۴-۴۱: مقایسه کارایی ساختاری برای لوله های استوانه ای و مربعی تقویت شده با فوم و توخالی در حالت دینامیکی ۸۵
شکل ۴-۴۲: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS30,DS46,DS34 ..... ۸۶
شکل ۴-۴۳: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS50,DS32,DS28 ..... ۸۷
شکل ۴-۴۴: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS62,DS78,DS66 ..... ۸۷
شکل ۴-۴۵: نمودار نیروی لهیدگی- جابجایی نمونه های DS82,DS64,DS60 ..... ۸۸
شکل ۴-۴۶: مقایسه نمودار انرژی جذب شده بر حسب ضخامت لوله برای دو فلز فولاد نرم و آلومینیوم ۸۸
شکل ۴-۴۷: تغییر شکل نمونه های DS60,DS82,DS64,DS28,DS32,DS50 ..... ۸۹
شکل ۴-۴۸: تغییر شکل نمونه های DS66,DS78,DS62,DS34,DS46,DS30 ..... ۹۰
شکل ۴-۴۹: مقایسه ی تغییر شکل لوله های فولادی توخالی با لوله های فولادی تقویت شده با فوم آلومینیومی ۹۴
شکل ۴-۵۰: مقایسه ی تغییر شکل لوله های آلومینیومی توخالی با لوله های آلومینیومی تقویت شده با فوم آلومینیومی ۹۵
شکل ۴-۵۱: مقایسه کارایی ساختاری برای لوله های فولادی و آلومینیومی تقویت شده با فوم و توخالی در حالت دینامیکی .. ۹۷

فهرست علائم اختصاری

طول لوله	l
قطر لوله	D
شعاع لوله	R
ضخامت لوله	t
ممان خمشی پلاستیک بر واحد طول	M
نسبت پواسون	ν
نیروی متوسط لهیدگی	P_m
مدول الاستسیته	E
جرم کل تیوب	M_t
انرژی جذب شده کل توسط لوله	E_t
ضریب اصطکاک	μ
چگالی	ρ
چگالی فوم	ρ_f
طول لهیدگی موثر	δ
طول یک چین کامل	λ
انرژی جذب شده مخصوص	SEA
تنش نهایی	σ_u
کرنش	ε
سرعت	V
تنش تسلیم	σ_y

چکیده

بررسی تجربی و عددی سازه های جدار نازک توخالی و تقویت شده با فوم تحت بارگذاری دینامیکی

سید یحیی بادوام

با توجه به کاربرد های وسیع جاذب های انرژی در صنایع مختلف مانند خودرو، هوافضا و نظامی این اجزا از اهمیت بسزائی برخوردار می باشند. در رساله ی حاضر به مطالعه ی عددی با Ansys Ls-Dyna و مطالعه ی تجربی مقاطع جدار نازک توخالی و تقویت شده با فوم به عنوان جاذب انرژی پرداخته شده است. آزمایشات تحت بارگذاری دینامیکی انجام شده است. لوله های تو خالی و پر شده با فوم تحت بارگذاری محوری مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین به بررسی تیوب های با مقطع مربعی و مدور با نسبت وزنی برابر پرداخته شده است. در انتها نتایج عددی به دست آمده و نتایج تجربی با هم مقایسه شده تا قابلیت بکارگیری و دقت مدلسازی عددی در پیش بینی رفتار لوله های مختلف با سطوح مقطع متفاوت به عنوان جاذب انرژی تحت بارهای دینامیکی مشخص شود.

کلید واژه: جاذب انرژی، نیروی لهیدگی، لوله های جدار نازک، المان محدود، فوم

Abstract

Exprimental and numerical investigation into response of thin wall structures reinforced foam and empty tubes under dynamic loads

Seyed Yahya Badavam

The widespread use of energy absorbers in various application fields such as transportation vehicles, aerospace, led them to be of great importance. In this work, the energy absorption of thin wall structures reinforced foam and empty tubes will be investigated exprimentally and numerically with ANSYS LS-DYNA. The empty tube and reinforced foam investigated under the axial load and tested dynamically. Then, the energy absorption investigated for the circular and square cross sections with equal mass. In the end, the numerical results and will be compared with the exprimental ones to evaluate the validity and precision of the numerical model in predicting the energy absorption capacity of thin-walled structures.

Key words: Energy absorption, Crush loads, Thin-walled structures, Finite element, Foam

فصل اول

مقـــدمه

فصل اول

۱-۱- مقدمه

با گسترش و توسعه ی روز افزون زمینه های مختلف مهندسی، نیاز به کاهش خسارات وارده و افزایش امنیت توجه محققین را به سازه هایی جلب نمود که توان جذب انرژی داشته باشند. ساختار این سازه ها باید به گونه ای می بود تا به حداکثر تغییر شکل ممکن می رسید و در نتیجه نیروی وارده ی مخرب کمتری به سازه ی اصلی وارد می شد. نظر به گستره ی وسیع نیاز به استفاده از چنین سازه هایی در صنایع خودرو سازی، کشتی سازی و هوافضا تحقیقات گسترده ای برای شناخت و آنالیز سازه های مختلف با قدرت جذب انرژی بالا آغاز شد. نوع مقطع، ابعاد هندسی، جنس سازه از جمله موارد مهم و اثرگذار در میزان جذب انرژی بودند. از طرفی وزن سازه پارامتر بسیار مهمی بود که باید در کنار سایر عوامل اثرگذار در نظر گرفته می شد. اشکال مختلف دایروی، مربعی، مخروطی، هرمی، ساندویچی و حتی مثلثی و منشوری در ابعاد گوناگون مورد بررسی های تجربی و تحلیلی و عددی قرار گرفتند. استفاده از مقاطع مختلف در ابعاد مختلف، پارامتر ها و نسبت های جدید و مهمی را معرفی نمود که بر جذب انرژی و چگونگی مچالگی بسیار اثرگذارند. نسبت هایی چون نسبت قطر به ضخامت، طول به قطر و طول به ضخامت از جمله عوامل موثر در انتخاب جاذب انرژی مورد نظر می باشند. اما با توجه به عوامل موثر ذکر شده، استوانه های جدار نازک کاربرد بسیاری پیدا کرده و تحقیقات گسترده ای بر روی آن ها انجام شده است. دلیل این امر را باید در توانایی جذب انرژی مطلوب، نحوه تغییر شکل مناسب و وزن پایین تر در مقایسه با مقاطع جداره ضخیم جستجو نمود. هر چند نتیجه تحقیقات نشان داده است که افزایش ضخامت بر جذب انرژی اثر مطلوب دارد، اما فاکتور سبکی و وزن نیز عامل تعیین کننده ای در صنایع خودرو سازی و کشتی سازی و هوافضا می باشد که در نهایت منجر به بکارگیری گسترده سازه های جداره نازک گردید. نحوه های تغییر شکل متفاوت موجود که در فصل های آتی به آن ها اشاره خواهد شد منجر به تغییراتی در رفتار سازه و میزان جذب انرژی آن شدند. در نتیجه تلاش هایی جهت کنترل نحوه تغییر شکل به عمل آمد تا بیشترین جذب انرژی و پایدار ترین نحوه تغییر شکل محقق گردد. این تلاش ها به طور عمده به تغییراتی در هندسه سازه انجامید. به عنوان مثال کنترل بر روی نسبت های ذکر شده ی بالا چون نسبت قطر به ضخامت، طول به قطر و طول به ضخامت موثر می افتد. اما در بعضی از شرایط خاص که محدودیت های فیزیکی اجازه ی تغییر در طول، قطر و یا ضخامت سازه را نمی دهد محققین ناگزیر به یافتن راهی دیگر جهت دستیابی به نتیجه ی مطلوب شدند. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می دهد که در بعضی مواقع ایجاد شیار های طولی و عرضی، بعضی مواقع حلقه

های تقویت کننده [1] و گاهی نیز انواع مختلف فوم ها اعم از فلزی و غیر فلزی مورد استفاده قرار می گرفتند. استفاده از مقاطع دو سلولی [2] و نیز سلول دوبل های پر شده با فوم و یا ساندویچ پنل ها همه و همه از گزینه های متفاوتی بودند که در شرایط خاص و بنا به نیاز موجود، قابل استفاده بوده اند و تحقیقات گوناگونی نیز بر روی آن ها صورت گرفته که در فصل آتی به مروری اجمالی بر این مطالعات پرداخته خواهد شد. نتیجه این مطالعات آشکار نمود که ایجاد شیار و نیز استفاده از فوم از گزینه های رضایت بخش می باشند که در کنترل نحوه تغییر شکل و نیز در قابلیت جذب انرژی اثر مطلوب دارند.

رفتار سازه های فلزی جداره نازک تحت بار فشار محوری و به عنوان جاذب انرژی سال های متمادی مورد بررسی قرار گرفته است. وزن و حجم کم، در دسترس بودن و صرفه اقتصادی مزیت هایی است که سبب گشته تحقیقات برای استفاده از این لوله ها و در جهت بهینه کردن ویژگی های جذب انرژی همچنان مستمر باشد. شایان ذکر است لوله فلزی استوانه ای جداره نازک یکی از متداول ترین انواع سازه های جدار نازک می باشد که کاربرد وسیعی در سیستم های جذب انرژی دارد. به طور کلی بررسی نمودار های نیرو بر حسب جابجایی در بار گذاری شبه استاتیکی این لوله ها نشان می دهد که بار محوری تا تشکیل اولین چین افزایش می یابد (نیروی بیشینه) و سپس بسته به پارامتر های هندسی مانند نسبت های قطر به ضخامت و طول به قطر و همچنینخواص مواد، حالت های فروریزش متفاوتی قابل تصور است. در نگاه کلی فروریزش، کمانش پلاستیکی و تشکیل چین های پیش رونده متقارن و نامتقارن را در بر دارد. تشکیل این چین خوردگی ها سبب بالا و پایین رفتن نمودار نیرو می گردد. لهیدگی پیش رونده لوله ها تحت بار محوری را می توان با صرفنظر کردن از نیرو های لختی (بار گذاری شبه استاتیکی) و با در نظر گرفتن بار گزاری دینامیکی به دو دسته مجزا تقسیم نمود. از ویژگی های این نوع ضربه گیر ها می توان ارزان بودن، در دسترس قرار داشتن و سهولت نصب آن ها را نام برد. از طرف دیگر مسائل ناخواسته ای که در ارتباط با این نوع ضربه گیر ها پیش می آید، دشواری پیش بینی شیوه فروریزش آن ها می باشد و همانطور که مشخص می باشد میزان جذب انرژی لوله ها، به مقدار زیادی بستگی به شیوه فروریزش (کمانش) آن ها دارد و در نتیجه اگر شیوه فروریزش را نتوان به طور دقیق پیش بینی کرد، میزان جذب دقیق انرژی غیر ممکن خواهد بود. در ضمن طول لهیدگی این لوله ها نیز همواره درصدی از طول اولیه آن ها بوده و امکان دستیابی به طول لهیدگی برابر با طول لوله میسر نخواهد بود.

در برخی از رویدادهای علمی هنگامی که نیاز به جذب انرژی است، از ضربه‌گیرها و یا دستگاه‌های جاذب انرژی استفاده می‌شود. کاربرد دستگاه‌های جاذب انرژی به میزان انرژی جذب شده و نوع رویداد بستگی دارد. یکی از این رویدادها برخورد وسایل نقلیه

[1] Stiffeners
[2] Double cell

(خودروها، کشتی‌ها، قطارها و هواپیماها) با موانع یا وسایل نقلیه دیگر می‌باشد. در این تحقیق گروه خاصی از دستگاه‌های جاذب انرژی تحت عنوان ضربه‌گیرهای مکانیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به طور کلی ضربه‌گیر مکانیکی دستگاهی است که بتواند یک نوع انرژی (مثلاً در اینجا انرژی جنبشی) را به نوع دیگری از انرژی (انرژی پلاستیکی) تبدیل کند. نصب جاذب‌های انرژی در وسایل نقلیه و سایر زمینه‌های دیگر (کف آسانسور کف قسمت‌هایی از هواپیما و...) برای جذب انرژی برخورد بدین منظور است که کمترین خسارت به دستگاه و سرنشینان وارد آید.

یکی از انواع ضربه‌گیرهای مکانیکی ریل‌های جلوی و کناری [1] خودروها می‌باشند که به شکل لوله با مقاطع مختلف هستند، این لوله‌ها عمدتاً تحت بار محوری قرار دارند، از ویژگی‌های عمدهٔ این جاذب‌ها می‌توان به ارزان بودن، در دسترس بودن و سهولت نصب و طراحی آنها اشاره کرد. مواد بکار رفته در ساخت این ضربه‌گیرها متنوع می‌باشد، تحقیقات نشان می‌دهد استفاده از سازه های جداره نازک در ساخت این نوع جاذب‌ها باعث می‌شود جذب انرژی بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد.

۱-۲-ساختار پایان نامه

نتایج تحقیق در پنج فصل به شرح زیر ارائه می گردد:

در فصل اول مقدمه ای بر موضوع نقش سازه های جداره نازک به عنوان جاذب های انرژی و اهمیت آن ها و کاربرد شان در انواع ضربه گیر ها پرداخته شده است.

در فصل دوم ابتدا اشکال مختلف جذب انرژی و نحوه تغییر شکل استوانه های جدار نازک و همچنین انواع روش های تست ضربه بیان شده و سپس مروری بر تحقیقات گذشته صورت گرفته و در انتها به بیان اهداف این تحقیق و راه کار های انجام آن پرداخته شده است.

در فصل سوم نحوه مدلسازی المان محدود برای لوله های استوانه ای و مربعی و چگونگی استفاده از ماده فوم بیان شده است و در انتها به طرح مساله و ابعاد انتخاب شده پرداخته می شود

در فصل چهارم به بررسی نتایج به دست آمده از لوله های استوانه ای و مربعی توخالی و تقویت شده با فوم آلومینیومی و همچنین نتایج به دست آمده از لوله های مربعی با نسبت وزنی برابر با لوله های استوانه ای تحت بار گزاری دینامیکی پرداخته می شوند.

در فصل پنجم از این پایان نامه دستاورد ها و نتایج این تحقیق بیان گردیده و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه می گردد.

[1]- Side and Front Rails