

مطالعه‌ی رفتار ضربه‌گیرهای مکانیکی دولوله‌ای -

موازی

در این مقاله به بررسی تجربی و عددی نوع جدیدی از ضربه‌گیرهای مکانیکی، با عنوان ضربه‌گیرهای دولوله‌ای موازی پرداخته می‌شود که در آن دو لوله با قطرهای متفاوت از جنس AL-6063-O به صورت هم‌محور، تحت بار شبه‌استاتیک محوری قرار می‌گیرند. ابتدا به روش المان محدود و با استفاده از نرم افزار ABAQUS ترکیب مناسبی از لوله‌ها انتخاب شده و سپس تاثیر اختلاف قطر آن‌ها مطالعه می‌شود. مقایسه‌ای میان پارامترهای ضربه‌پذیری در مدل دولوله‌ای با هر یک از لوله‌های داخلی و خارجی و نیز مجموع آن‌ها انجام شده و اثر برهم‌کنش میان لوله‌ها مطالعه می‌شود. در انتها پارامترهای ضربه‌پذیری در ضربه‌گیر دولوله‌ای با نمونه‌ی تک‌لوله‌ای معادل مقایسه می‌شود. نتایج حاصل از مدل المان محدود نشان می‌دهد نرم افزار ABAQUS به خوبی می‌تواند فروریزش ضربه‌گیرهای موازی را پیش‌بینی کند.

سعید شریفی^۱

کارشناسی ارشد

محمود شاکری^۲

استاد

هادی ابراهیمی فخاری^۳

کارشناسی ارشد

رضا معصومی آسیابی^۴

کارشناسی ارشد

واژه‌های راهنما: جاذب انرژی، ضربه‌گیر موازی، فروریزش محوری، مدل المان محدود

۱- مقدمه

با گذشت زمان و پیشرفت علم و تکنولوژی، شرکت‌های سازنده‌ی خودرو محصولات جدیدی را به بازار ارائه می‌دهند که توجه بیشتر به ایمنی و مقاومت وسایل نقلیه را می‌طلبد و منجر به تحقیقات جامع و فراگیری در زمینه‌ی جاذب‌های انرژی شده است. این جاذب‌ها، انرژی را به روش‌های مختلفی تلف می‌کنند و کاربردشان تنها به صنایع خوردروسازی محدود نمی‌شود. از موارد دیگر استفاده از آن‌ها می‌توان به صنایع نظامی، سازه‌های دریایی، راکتورهای هسته‌ای، موانع نگهدارنده و ... اشاره کرد. لوله‌های جدار نازک با مقاطع دایره، مربع و چند ضلعی منتظم، لوله‌هایی به صورت مخروط ناقص و لوله‌های کامپوزیتی از انواع این جاذب‌ها هستند. اولین مطالعه‌ی اساسی روی ضربه‌گیرهای لوله‌ای در سال (۱۹۶۰) توسط Alexander انجام شد، [۱]. او بر

^۱ نویسنده مسئول، کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Sa.sharifi@aut.ac.ir

^۲ استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Shakeri@aut.ac.ir

^۳ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Hadi63@aut.ac.ir

^۴ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Reza89126051@aut.ac.ir

اساس مشاهداتی که از آزمایش روی لوله‌های فلزی به دست آورد، مدل ساده‌ای را برای شیوه‌ی چین‌دار شدن ارائه کرد و بر اساس آن طول هر چین، بار متوسط لهیدگی و انرژی جذب شده به ازای تشکیل هر چین را محاسبه کرد. پس از آن Abramowicz و Jones [۲] و نیز Wierzbicki و همکاران [۳] با انجام اصلاحاتی روی مدل الکساندر مدل‌های دیگری را ارائه دادند که نتایج آن به مقادیر واقعی نزدیک‌تر بود. Thornton [۴] به مطالعه‌ی لوله‌های کامپوزیتی از جنس GFRE پرداخت و لوله‌هایی با مقطع مربع، مستطیل و دایره با لایه چینی‌های متفاوت را مورد آزمایش قرار داد.

Reddy و Wall [۵] آزمایش‌های دینامیکی و شبه‌استاتیکی مختلفی روی لوله‌های استوانه‌ای فلزی نازک، که با فوم پلی‌یورتان پر شده بودند، انجام دادند و دریافتند که وجود ماده‌ی پرکننده الگوی کمانش نامنظم لوله‌های خالی را پایدارتر کرده و منجر به بهبود راندمان جذب انرژی آن‌ها می‌شود. در سال (۲۰۰۱) Chen و Wierzbicki [۶] له‌شدن محوری لوله‌های مربعی دو سلولی و سه سلولی با جرم یکسان را به روش‌های تحلیلی و عددی مطالعه کردند و دریافتند بار متوسط لهیدگی در چند سلولی‌ها در مقایسه با لوله‌های تک-سلولی بیشتر است. Guillo و همکاران [۷] در همین سال لوله‌های جدار نازکی از جنس آلومینیوم را به صورت شبه‌استاتیک تحت بارگذاری محوری قرار دادند و با در نظر گرفتن شیوه‌ی فروریزش نمونه‌ها، نمودار کاملی را ارائه دادند که در آن نواحی ایجاد شیوه‌های مختلف فروریزش از یکدیگر تفکیک شده‌اند. شاکری و صالح‌غفاری [۸] مسئله‌ی انبساط لوله‌ی تغییر شکل‌پذیر به وسیله‌ی لوله‌ی صلب را به روش‌های تحلیلی، عددی و تجربی بررسی و این مکانیزم را به عنوان ترکیبی موثر جهت جذب انرژی معرفی کردند.

Ahmad و Thambiratnam [۹،۱۰] در سال (۲۰۰۹) چگونگی فروریزش و جذب انرژی لوله‌های مخروطی تحت بار ضربه‌ای محوری و مایل را به روش‌های عددی و تجربی بررسی کردند و تاثیر فوم و پارامترهای هندسی را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند در لوله‌های مخروطی احتمال کمانش کمتر از لوله‌های استوانه‌ای است. روش‌های متعددی جهت بهبود پارامترهای ضربه‌پذیری در ضربه‌گیرهای مکانیکی توسط محققین ارائه شده است. عیوضیان و شاکری [۱۱] لوله‌های اعوجاج‌دار تحت بار شبه‌استاتیک را به عنوان نوع جدیدی از ضربه‌گیرهای لوله‌ای مورد مطالعه قرار دادند و اثر ایجاد اعوجاج‌های طولی، محیطی و ترکیبی در لوله را بر ویژگی‌های جذب انرژی لوله‌های آلومینیومی بررسی کردند.

نجفی و روحانی [۱۲] در سال (۲۰۱۱) به بررسی عددی لوله‌های چند سلولی پرداختند و پس از مقایسه با لوله‌های مربعی با ضخامت معادل دریافتند راندمان جذب انرژی در لوله‌های چند سلولی بیشتر بوده و نوسانات نیرو، شیب منحنی نیرو-جابجایی و نیز طول لهیدگی کمتر است. میرزایی و همکاران [۱۳] لوله‌های هیبریدی را به عنوان ابزاری مناسب جهت جذب انرژی معرفی کرده و فروریزش محوری لوله‌های دایره-ای از جنس آلومینیوم-GFRE را به صورت تئوری و آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد لوله‌های هیبریدی ظرفیت جذب انرژی بیشتری در مقایسه با لوله‌های فلزی دارند و ترتیب لایه‌چینی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی خواص ضربه‌پذیری دارد. جهت مقایسه‌ی عملکرد ضربه‌گیرها معیارهایی وجود دارد که در انتخاب و طراحی آن‌ها حائز اهمیت هستند.

۱-۱- معیارهای مقایسه‌ی ضربه‌گیرها

جذب انرژی ویژه (SEA): معیار رایج جهت مقایسه‌ی عملکرد ضربه‌گیرها است که به‌صورت انرژی جذب شده^۱ بر واحد جرم ضربه‌گیر تعریف می‌شود. راندمان لهیدگی: این راندمان به‌صورت نسبت طول قسمت له شده^۲ به طول اولیه‌ی ضربه‌گیر تعریف می‌شود. بیشینه نیرو: بیشترین مقدار نیرو در نمودار نیرو-جابجایی یک ضربه‌گیر لوله‌ای معمولاً مربوط به تشکیل اولین چین است. بهتر است این نیرو تا حد ممکن کم بوده و به نیروی متوسط لهیدگی نزدیک باشد. نیروی متوسط لهیدگی: عبارتست از نسبت انرژی جذب شده به طول قسمت له شده. یک ضربه‌گیر لوله‌ای در حالت ایده‌آل بایستی نیروی متوسط لهیدگی ثابت و بدون نوسان داشته باشد. با در نظر داشتن پارامترهای طراحی، می‌توان ضربه‌گیرهای دولوله‌ای موازی را ساختار مناسبی از ضربه-گیرها دانست. در مقایسه با ساختار تک‌لوله‌ای، برهم‌کنش میان دو لوله می‌تواند عامل تاثیرگذاری در جذب انرژی و نحوه‌ی فروریزش آن‌ها باشد. همچنین در مواردی که نیاز به استفاده از چند ضربه‌گیر کنار هم و به صورت سری است، استفاده از ضربه‌گیرهای موازی موجب اشغال فضای کمتری می‌شود. به همین دلیل و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ی جامعی بر روی این نوع از جاذب‌ها انجام نشده است، در این مقاله به بررسی چگونگی جذب انرژی و مطالعه‌ی پارامترهای ضربه‌پذیری در ضربه‌گیرهای مکانیکی موازی پرداخته می‌شود. ابتدا به روش عددی و به کمک نرم افزار المان محدود ABAQUS 6.10 هندسه‌ی مناسبی از این ضربه‌گیر انتخاب شده و سپس تاثیر پارامترهایی همچون اختلاف قطر لوله‌ها و برهم‌کنش میان آن‌ها بررسی می‌شود. در ادامه نیز جهت صحت سنجی نتایج تعدادی تست به صورت شبه‌استاتیک بر روی نمونه‌های آلومینیومی انجام می‌شود و نتایجی ارائه می‌گردد.

۲- مدل المان محدود

تحلیل فروریزش لوله‌ها تحت بار محوری به روش تجربی مستلزم انجام آزمایش‌های زیادی است که بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است. به همین منظور پیش از شروع تست و جهت بدست آوردن ابعاد مناسبی برای لوله‌ها در ساختار دولوله‌ای، مسئله به صورت عددی بررسی می‌گردد. شبیه‌سازی مسئله‌ی فروریزش ضربه-گیرهای موازی تحت بار محوری به صورت شبه‌استاتیکی با استفاده از نسخه‌ی ABAQUS/Explicit 6.10 انجام می‌شود.

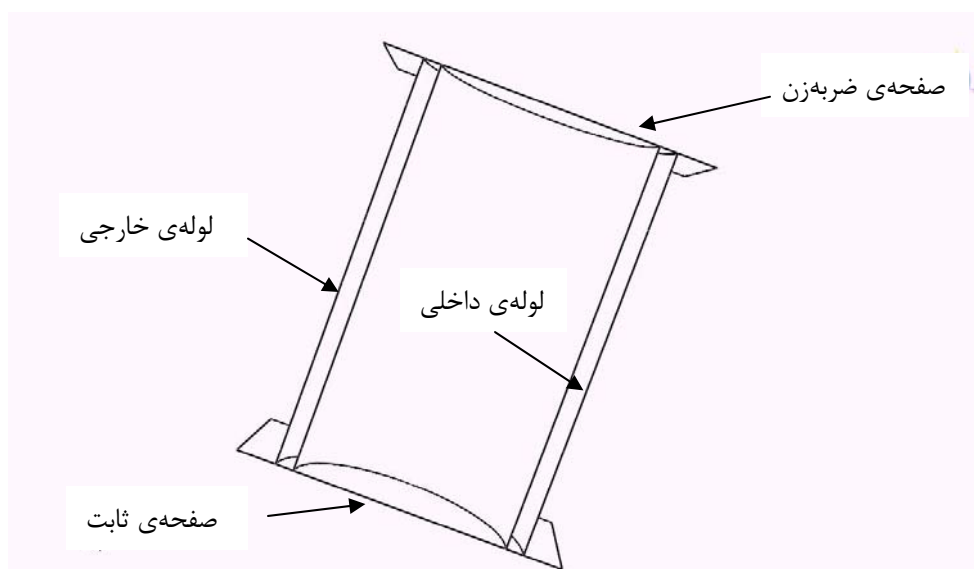
هر یک از لوله‌ها در فضای ترسیم سه‌بعدی به‌وسیله‌ی دستور ایجاد پوسته^۳ مدل شده که قابلیت تغییر شکل را دارند. صفحات بالا و پایین به‌وسیله‌ی دستور ایجاد پوسته و به‌صورت صلب مدل شده و در دو انتهای لوله‌ها قرار می‌گیرند؛ یکی به‌عنوان زمین عمل می‌کند و دیگری به‌عنوان جسم ضربه‌زن. شکل (۱) مدل برش خورده‌ای از ضربه‌گیر دولوله‌ای را نشان می‌دهد. لوله‌ها از جنس AL-6063-O با چگالی 2750 kg/m^3 ، مدول

^۱ انرژی جذب شده برابر است با سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی

^۲ طول متناظر با افزایش شدید نیرو در نمودار نیرو-جابجایی

^۳ Shell

الاستیسیته 72 GPa و ضریب پواسون 0.34 هستند. جهت وارد کردن خواص پلاستیک، مدل پلاستیک غیرحساس به نرخ کرنش و حالت کرنش سختی ایزوتروپیک به کار می‌رود. جهت تعریف منحنی تنش-کرنش، از مدل چندخطی استفاده شده که در آن ناحیه‌ی پلاستیک به کمک چند خط شکسته مدل می‌شود. نمودار تنش-کرنش بدست آمده از آزمایش تست کشش تک محوره مربوط به ماده‌ی مورد استفاده در شکل (۲) آورده شده است. همچنین روش سیمپسون به عنوان روش انتگرال‌گیری در راستای ضخامت و تعداد نقاط انتگرال‌گیری در آن راستا در تمام موارد ۷ انتخاب می‌شود. ۹ وضعیت تماس در مدل مربوط به ساختار دولوله‌ای تعریف می‌گردد.



شکل ۱- مدل برش خورده از یک ضربه‌گیر دو لوله‌ای

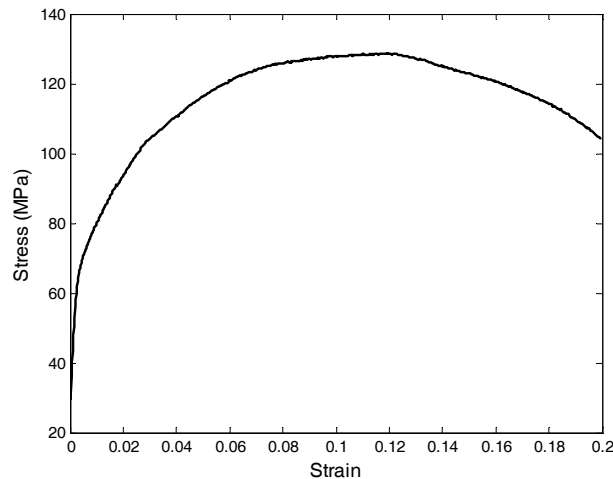
تماس صفحات صلب با لبه‌ی هر یک از لوله‌ها از نوع تماس گره با سطح^۱ است. تماس صفحات صلب با دیواره‌های هر دو لوله و همچنین تماس لوله‌ی داخلی با لوله‌ی خارجی از نوع تماس سطح با سطح^۲ و تماس هر یک از لوله‌ها با خودش از نوع تماس با خود^۳ تعریف می‌گردند. ضریب اصطکاک بین تمام سطوح ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود. شرایط مرزی مسئله به گونه‌ای است که تمام درجات آزادی صفحه‌ی ضربه‌زن، به جز راستای محور لوله‌ها بسته شده و صفحه‌ی پایینی در تمام جهات مقید شده است. دو طرف لوله‌ها آزاد بوده و قابلیت جابجایی روی صفحات را دارند. همچنین سرعت صفحه‌ی ضربه‌زن در ثابت و برابر ۲۰ mm/min است. در شبکه‌بندی مدل‌ها، صفحات صلب فقط از یک المان پوسته با ۴ گره (S4R) و از نوع صریح تشکیل شده است. لوله‌ها نیز با المان‌های پوسته با ۴ گره (S4R) و از نوع صریح شبکه‌بندی شده‌اند. روش انتگرال-گیری مورد استفاده روش انتگرال‌گیری عددی کاهش یافته است.

¹ Node to surface

² Surface to surface

³ Self-Contact

در این تحقیق ابتدا حالات هندسی مختلفی از تک‌لوله‌ای‌ها بررسی شد که مهم‌ترین معیار انتخاب از میان لوله‌ها، شیوه‌ی فروریزش متقارن محوری بود. چند حالت از تک‌لوله‌ای‌ها که به شیوه‌ی چین‌دار شدن فروریزش می‌کردند شناسایی شدند. این لوله به عنوان لوله‌ی خارجی در ساختار دولوله‌ای قرار گرفت. سپس لوله‌ی دیگری را به صورت موازی و هم محور با لوله‌ی اولی مونتاژ کرده و پس از آن مسئله‌ی دولوله‌ای بررسی شد. در واقع در این قسمت ضخامت لوله‌ها ثابت گرفته شد و قطرهای مختلفی از لوله‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. ترکیبات مختلفی از دولوله‌ای‌ها شناسایی شدند که در جدول (۱) آورده شده است.



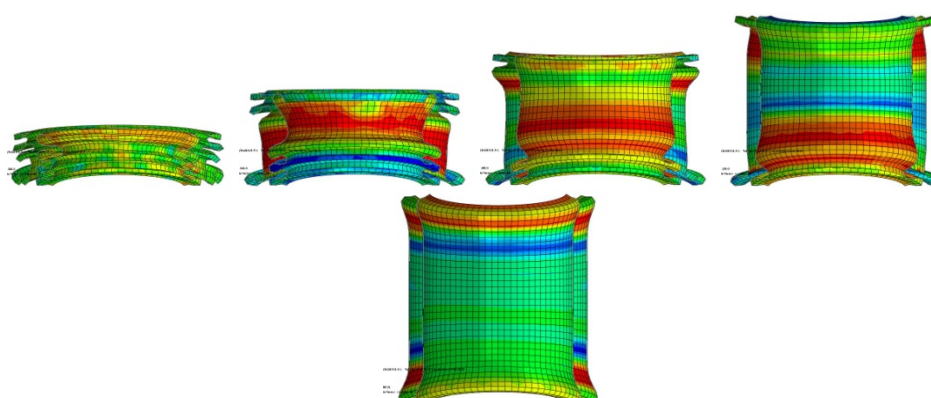
شکل ۲- منحنی تنش-کرنش مربوط AL-6063-O

جدول ۱- ترکیب‌های دولوله‌ای مناسب

No.	D _{out}	D _{in}	t _{out}	t _{in}	L _{out}	L _{in}
1	100	86	2.5	2.5	160	160
2	94	79	2.5	2.5	130	130
3	76	60	2	2	100	100

در طول این مقاله منظور از قطر، قطر خارجی لوله است و تمام ابعاد بر حسب میلی‌متر بیان می‌شوند. عبارت "out" مربوط به لوله‌ای خارجی و "in" معرف لوله‌ی داخلی است. جهت انتخاب یکی از این سه ترکیب، لوله‌های موجود در بازار بررسی شدند و ردیف دوم از جدول فوق به عنوان ترکیب اصلی انتخاب شده و تغییرات مربوطه جهت بررسی خواص ضربه‌پذیری، بر روی این ترکیب اعمال می‌شود. در شکل (۳) مراحل فروریزش ترکیب اصلی دیده می‌شود. مشاهده می‌شود لوله‌ی داخلی از پایین و لوله‌ی خارجی از بالا شروع به چین خوردن می‌کنند. لوله‌ی خارجی به بیرون چین می‌خورد و لوله‌ی داخلی به داخل. این در حالیست که اگر هر یک لوله‌ها به صورت جداگانه لهیده شوند، هر دو از بالا و به سمت خارج فروریزش می‌کنند. این

مطلب اثر برهم کنش میان لوله‌ها در فروریزش ضربه‌گیرهای موازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمای برشی از مراحل فروریزش ترکیب اصلی

۳- صحت‌سنجی نتایج المان محدود

جهت اطمینان از نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در مورد نحوه‌ی فروریزش و پارامترهای ضربه‌پذیری در این نوع جاذب‌ها، به کمک آزمایش‌های گوناگون، به مطالعه‌ی تجربی آن‌ها پرداخته شد. تمام آزمایش‌ها به وسیله‌ی دستگاه تست کشش و فشار یونیورسال با ظرفیت ۶۰ تن و ساخت شرکت Zwick انجام شد. در شکل (۴) دستگاه مورد استفاده نشان داده شده است. در جدول (۲) نیز مشخصات نمونه‌های مورد نظر آورده شده است. جهت هم‌محور قرار دادن لوله‌های داخلی و خارجی، از لوله‌های تفلونی استفاده شد. این لوله‌ها به گونه‌ای ساخته می‌شوند که با کمی لقی بتوانند میان دو لوله قرار گیرند. در شکل (۵) نمونه‌ی B1-1 و نحوه‌ی هم‌محور کردن لوله‌ها در آن مشاهده می‌شود. پس از هم‌محور قرار دادن لوله‌های داخلی و خارجی، آزمایش بر روی نمونه‌ها شروع می‌شود. جهت اطمینان از نتایج به‌دست آمده، از هر مورد دو نمونه ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت.



شکل ۴- دستگاه تست فشار مورد استفاده در آزمایش

جدول ۲- نام‌گذاری و ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش

No.	Name	D_{out}	D_{in}	t_{out}	t_{in}	L_{out}	L_{in}
1	B1	94	79	2.5	2.5	130	130
2	B2	94	76	2.5	2.5	130	130
3	B3	97	76	2.5	2.5	130	130
4	M1	94		2.5		130	130
5	M3	76		2.5		130	130
6	M4	98		4.5		130	130



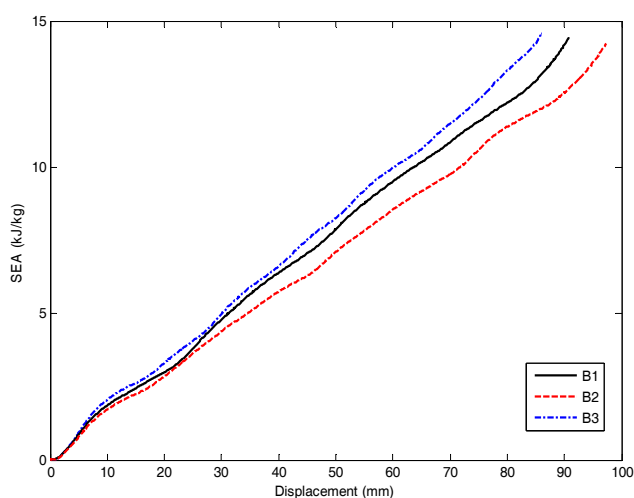
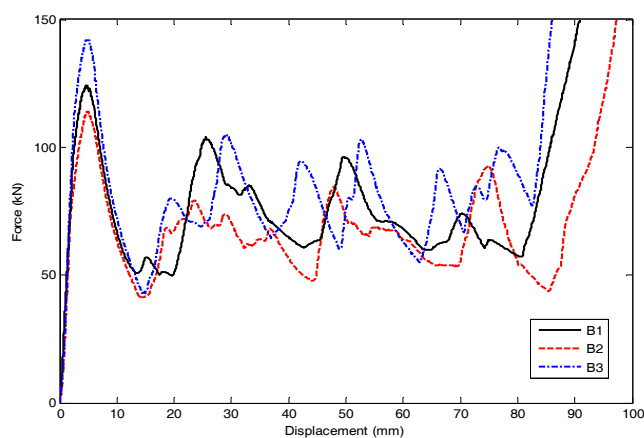
شکل ۵- ترکیب اصلی و نحوه‌ی هم‌محور قرار دادن لوله‌ها

۳-۱- اثر اختلاف قطرها

در این قسمت به مقایسه‌ی تاثیر اختلاف قطر پرداخته و سه نمونه‌ی B1، B2 و B3 بررسی می‌شود. در شکل (۶) مراحل فروریزش نمونه‌ی B2-1 در آزمایشگاه نشان داده شده است. همچنین شکل (۷) به مقایسه‌ی نمودارهای نیرو-جابجایی و انرژی ویژه-جابجایی مربوط به این نمونه‌ها می‌پردازد. با توجه به این شکل نمونه‌ی B1، در مقایسه با نمونه‌ی B2 بار بیشینه‌ی بیشتری داشته و انرژی جذب شده ویژه‌ی بالاتری دارد و در مقایسه با B3 با وجود انرژی ویژه‌ی تقریباً برابر، بار بیشینه‌ی کمتری دارد و این‌ها بیان‌کننده‌ی انتخاب مناسب قطرها در ترکیب اصلی جهت اهداف ضربه‌پذیری است.



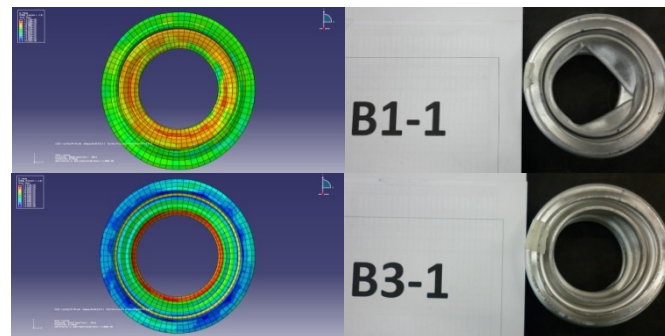
شکل ۶- مراحل فروریزش نمونه‌ی B2-1 در آزمایشگاه



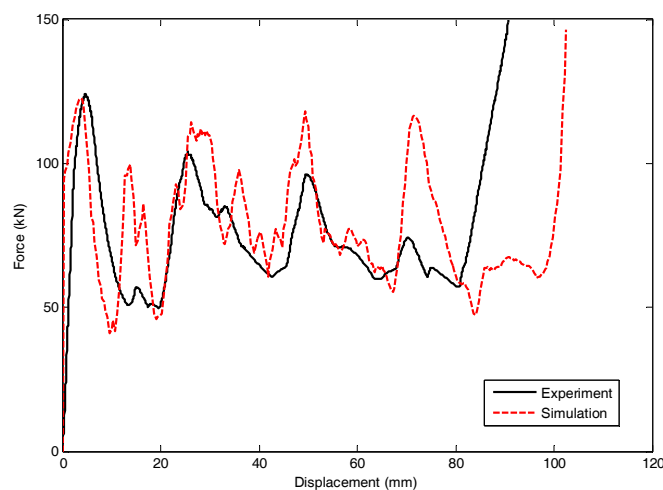
شکل ۷- نمودارهای مربوط به نمونه‌هایی با ضخامت یکسان

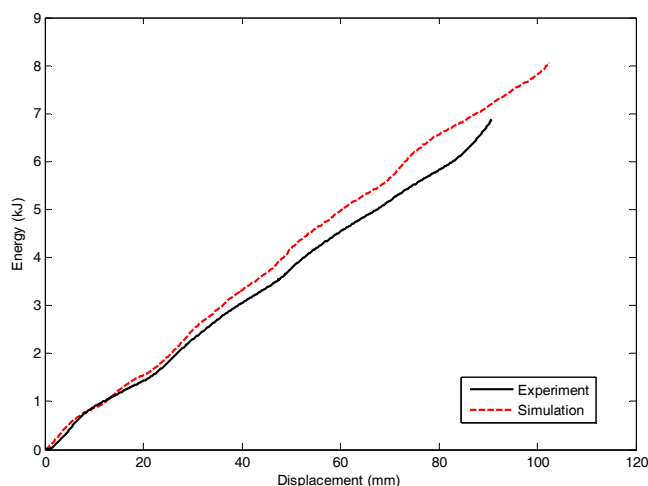
شکل (۸) نمایی از نمونه‌ها پس از آزمایش را نشان داده و در کنار شکل حاصل از شبیه‌سازی، به اعتبار سنجی نتایج حاصل از آن می‌پردازد. از این شکل و شکل (۷) نتیجه می‌شود در صورتی که اختلاف قطرها افزایش یابد، تماس کمتری میان لوله‌ها برقرار شده، نوسانات نمودار نیرو-جابجایی کمتر و فروریزش منظم‌تر می‌شود. در مقایسه با نتایج شبیه‌سازی بی‌نظمی بیشتری در شیوه‌ی فروریزش نمونه‌ی آزمایشگاهی مشاهده می‌شود. اعتبار سنجی مذکور در شکل (۹) و در قالب نمودار نیرو-جابجایی و انرژی-جابجایی مربوط به نمونه‌ی B1 بررسی می‌شود.

مشاهده می‌شود ABAQUS با دقت خوبی فروریزش این ضربه‌گیرها را شبیه‌سازی می‌کند. اختلاف موجود میان نتایج حاصل از حل عددی و تجربی را می‌توان به عدم یکنواختی سطح نمونه، موازی نبودن صفحات ضربه‌زننده بالا و پایین، هم‌محور نبودن کامل لوله‌ها و ... نسبت داد. جهت مشاهده‌ی نحوه‌ی تماس لوله‌ها با هم و فرورفتن آن‌ها در یکدیگر نمونه‌ی B1-2 برش داده شد و مقطع آن در شکل (۱۰) آورده شده است. در این شکل برهم‌کنش میان دولوله و فرو رفتن لبه‌ها در یکدیگر مشاهده می‌شود.

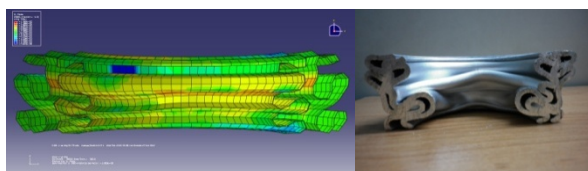


شکل ۸- نمونه‌های B1 و B3 پس از فروریزش، روش تجربی و عددی





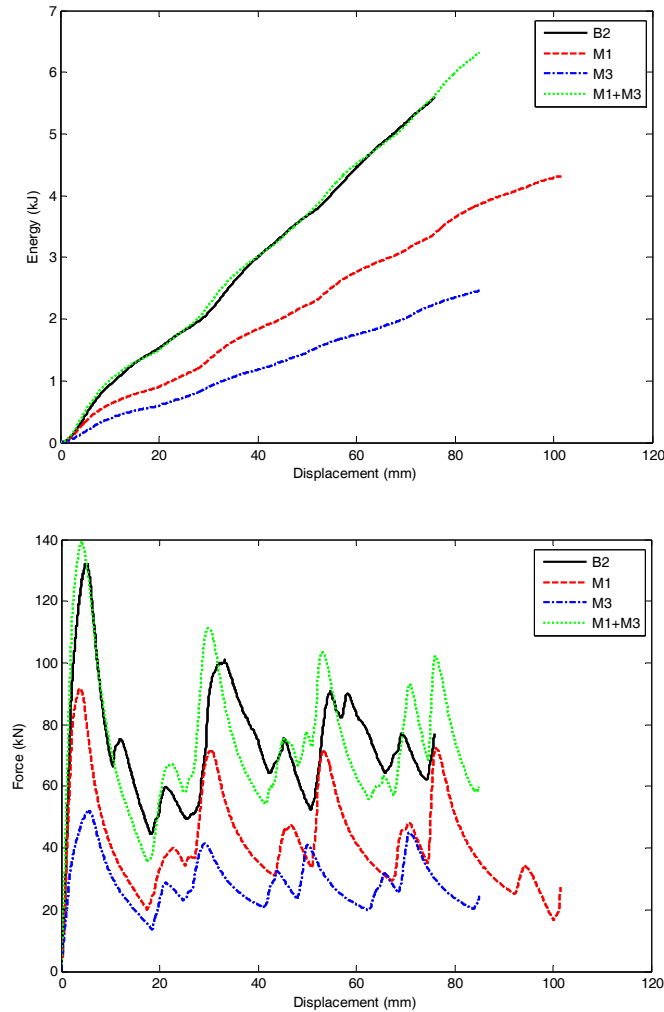
شکل ۹- مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی و تجربی در نمونه‌ی B1



شکل ۱۰- مقطع برش خورده از نمونه‌ی B1-2

۳-۲- اثر برهم‌کنش

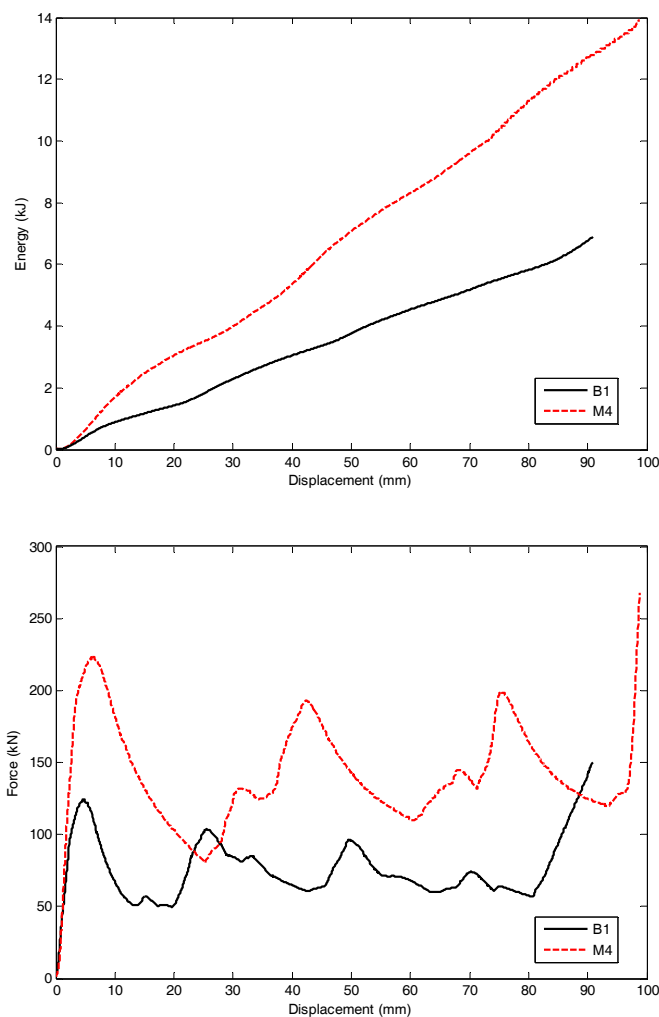
جهت درک اثر برهم‌کنش میان دو لوله در ضربه‌گیرهای موازی، هر یک از لوله‌ها به صورت مجزا تحت بارگذاری قرار گرفته و نتایج حاصل از مجموع آن‌ها با نتیجه‌ی نمونه‌ی دولوله‌ای مقایسه می‌شود. نمونه‌های M1 و M3 نمونه‌های تک‌لوله‌ای و نمونه‌ی B2 نمونه‌ی دولوله‌ای هستند. در شکل (۱۱) نمودارهای مربوطه آورده شده است. مشاهده می‌شود طول لهیدگی در حالت دولوله‌ای از طول لهیدگی مربوط به هر یک از لوله‌های داخلی و خارجی کمتر است، که این به دلیل فرو رفتن چین‌های لوله‌ها در یکدیگر، در ساختار دولوله‌ای است. لازم به توضیح است که تماس میان لوله‌ها و لغزش آن‌ها روی یکدیگر سبب افزایش نیرو و انرژی جذب شده می‌شود. از طرفی پس از تشکیل چین در لوله‌ی داخلی، فشاری از طرف آن بر لوله‌ی خارجی وارد می‌شود که به عنوان محرک در ایجاد چین در لوله‌ی خارجی عمل کرده و باعث می‌شود نیروی کمتری جهت فروریزش لوله‌ی خارجی لازم شود؛ در مجموع این دو عامل سبب می‌شود نیرو و انرژی جذب شده در نمونه‌ی دولوله‌ای تقریباً برابر با مجموع اثرات لوله‌های داخلی و خارجی باشد. این برهم‌کنش سبب شده نمودار نیرو-جابجایی مربوط به نمونه‌ی دولوله‌ای نوسانات بیشتری داشته باشد. همچنین بیشینه نیروی اولیه مربوط به ساختار دولوله‌ای با مجموع بیشینه نیروی اولیه مربوط به هر یک از لوله‌ای‌ها برابر است، زیرا این نیرو به آغاز تشکیل چین مربوط می‌شود و هنوز هیچ تماسی میان دو لوله برقرار نشده و پیش از آن هر یک از لوله‌ها به صورت مجزا عمل می‌کنند.



شکل ۱۱- بررسی اثر برهم‌کنش میان لوله‌ها در نمونه‌ی B2

۳-۳- مقایسه‌ی نمونه‌ی دولوله‌ای با تک‌لوله‌ای معادل

جهت مقایسه‌ی عملکرد ضربه‌گیرهای دولوله‌ای با تک‌لوله‌ای، یک نمونه‌ی تک‌لوله‌ای معادل (M4) با جرمی برابر با جرم نمونه‌ی دولوله‌ای (B1) ساخته شد و تحت بارگذاری مشابه با آن قرار گرفت که نمودارهای مربوط به آن در شکل (۱۲) آورده شده است. با توجه به شکل، بیشینه نیروی اولیه و دامنه‌ی نوسان نیرو در نمونه‌ی دو لوله‌ای به مراتب کمتر از تک‌لوله‌ای معادل است، هر چند انرژی جذب شده و طول لهیدگی آن کمتر است. با این توضیحات به نظر می‌آید نمونه‌ی دولوله‌ای ویژگی‌های ضربه‌پذیری بهتری نسبت به نمونه‌ی تک‌لوله‌ای معادل دارد.



شکل ۱۲- مقایسه‌ی نمونه‌ی دولوله‌ای B1 با نمونه‌ی تک‌لوله‌ای معادل M4

۴- نتایج

در این تحقیق به مطالعه‌ی فروریزش ضربه‌گیرهای دولوله‌ای موازی پرداخته شد و نتایج زیر بدست آمد:

- با انتخاب هر لوله به عنوان لوله‌ی خارجی در ساختار دولوله‌ای، می‌توان ابعاد هندسی مناسبی را برای لوله‌ی داخلی انتخاب کرد به‌گونه‌ای که پس از قرار گرفتن دو لوله به صورت موازی، ترکیب مناسبی از نظر شیوه‌ی فروریزش، انرژی جذب شده و بار بیشینه‌ی اولیه ایجاد شود. با توجه به قطرهای تعیین شده، اگر اختلاف قطرها کاهش یابد و تماس بیشتری میان لوله‌ها برقرار باشد، نوسانات نیروی بیشتر و نیز فروریزش نامنظم‌تری مشاهده می‌شود. همچنین در صورتی که اختلاف قطرها افزایش یابد، برهم‌کنش کمتری میان لوله‌ها ایجاد می‌شود و ممکن در مواردی هر یک از لوله‌ها به صورت جداگانه فروریزش کنند.
- تماس میان لوله‌ها در ضربه‌گیرهای موازی از یک جهت سبب افزایش انرژی جذب شده می‌شود، از جهتی دیگر سبب کاهش آن. لغزش میان دو لوله در حین چین‌خوردن عامل مناسبی در ضربه‌گیری محسوب می‌شود؛ از طرفی دیگر فشاری که از جانب یکی از لوله‌ها در جهت شعاعی بر لوله‌ی دیگر وارد می‌شود، باعث کاهش نیروی لازم جهت چین‌خوردن لوله‌ی دوم می‌شود. با این توضیحات نیروی بیشینه‌ی اولیه

و نیز انرژی جذب شده در نمونه‌ی دولوله‌ای تقریباً برابر با مجموع اثرات لوله‌های داخلی و خارجی است، در حالی که طول لهیدگی در نمونه‌ی دولوله‌ای کمتر و نوسانات نیرو در آن بیشتر از مقادیر متناظر در هر یک از لوله‌های داخلی و خارجی است.

- ضربه‌گیر دو لوله‌ای در مقایسه با نمونه‌ی تک‌لوله‌ای معادل با جرم یکسان، بار بیشینه و دامنه‌ی نوسانات نیروی بسیار کمتر و نیروی متوسط یکنواخت‌تری داشته ولی انرژی جذب شده‌ی کمتری دارد. لذا این نوع ضربه‌گیر گزینه‌ی مناسبی جهت اهداف ضربه‌پذیری محسوب می‌شود.

مراجع

- [1] Alexander, J. M., "An Approximate Analysis of the Collapse of Thin Cylindrical Shells under Axial Loading", *J. Mechanical Applied Mathematics*, Vol. 13, No. 1, pp. 10-15, (1960).
- [2] Abramowicz, W., and Jones, N., "Dynamic Axial Crushing of Circular Tubes", *Int. J. Impact Engng.* Vol. 2, No. 3, pp. 263-281, (1984).
- [3] Wierzbicki, T., Bhat, S.U., Abramowicz, W., and Brodtkin, D., "Alexander Revisited - A Two Folding Elements Model of Progressive Crushing", *Int. J. Solids Structures*, Vol. 29, No. 24, pp. 3269-3288, (1992).
- [4] Thornton, P.H., "The Crush Behavior of Glass Fiber Reinforced Plastic Section", *Composite Science and Technology*, Vol. 27, pp. 199-223, (1986).
- [5] Reddy, T.Y., and Wall, R.J., "Axial Compression of Foam-filled Thin-walled Circular Tubes", *Int. J. Impact Engng.*, Vol. 7, No. 2, pp. 151-166, (1988).
- [6] Chen, W., and Wierzbicki, T., "Relative Merits of Single-cell, Multi-cell and Foam-filled Thin-walled Structures in Energy Absorption", *Thin-Walled Structures*, Vol. 39, No. 4, pp. 287-306, (2001).
- [7] Guillow, S.R., Lu, G., and Grzebieta, R.H., "Quasi-static Axial Compression of Thin-walled Circular Aluminium Tubes", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 43, pp. 2103-2123, (2001).
- [8] Shakeri, M., Salehghaffari, S., and Mirzaeifar, R., "Expansion of Circular Tubes by Rigid Tubes as Impact Energy Absorbers: Experimental and Theoretical Investigation", *Int. J. Crashworthiness*, Vol. 12, No. 5, pp. 493-501, (2007).
- [9] Ahmad, Z., and Thambiratnam, D.P., "Crushing Response of Foam-filled Conical Tubes under Quasi-static Axial Loading", *Materials & Design*, Vol. 30, No. 7, pp. 2393-2403, (2009).
- [10] Ahmad, Z., Thambiratnam, D.P., and Tan, A.C.C., "Dynamic Energy Absorption Characteristics of Foam-filled Conical Tubes under Oblique Impact Loading", *Int. J. Impact Engng.*, Vol. 37, No. 5, pp. 475-488, (2010).

- [11] Eyvazian, A., Akbarzadeh, I., and Shakeri, M., "Experimental Study of Corrugated Tubes under Lateral Loading", *J. Materials Design and Applications*, Vol. 226, No. 2, pp. 109-118, (2012).
- [12] Najafi, A., and Rais-Rohani, M., "Mechanics of Axial Plastic Collapse in Multi-corner Crush Tubes", *Thin-Walled Structures*, Vol. 49, No. 1, pp. 1-12, (2011).
- [13] Mirzaei, M., Shakeri, M., Sedighi, M., and Akbarshahi, H., "Experimental and Analytical Assessment of Axial Crushing of Circular Hybrid Tubes under Quasi-static Load", *Composite Structures*, Vol. 94, No. 6, pp. 1959-1966, (2012).

فهرست نمادهای انگلیسی

D: قطر خارجی لوله

L: طول لوله

T: ضخامت لوله

Abstract

Nowadays, increased interest in vehicle safety and crashworthiness has led to comprehensive research on the crush response of energy absorbers from analytical, numerical and experimental points of view. Numerous established works have been published in studying the crushing response of tubes. In this way, this paper deals with numerical and experimental study on a new kind of energy absorber, named “bitubal parallel energy absorber”. In this absorber two tubes with different diameters are subjected to quasi-static axial loading. In addition to energy needed to crushing the inner tube and the outer tube, the interaction between two tubes is an affecting factor in energy absorbing. First, FE simulations were performed using ABAQUS/Explicit to explore an appropriate dimension for tubes, then effect of tube diameters and interaction effect in energy absorption capacity and collapse mode of parallel tubes studied. At the end bitubal energy absorber and equivalent monotubal were compared and it was observed that maximum crushing load and fluctuations in load-displacement curve are lower in bitubal specimen. FE simulation techniques validated by experimental testing on circular AL-6063-O extrusions and showed that ABAQUS can predict crushing response of parallel tubes high accuracy.