



سازمان ملی هفتاد و پنج ساله پژوهش و فناوری



دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

تأثیر میزان خروج از مرکزی و نسبت ابعاد لوله‌های جدار نازک متداخل با مقطع مربع بر ویژگی‌های جذب انرژی سازه

گروه آموزشی مکانیک،
دانشکده مهندسی،
دانشگاه بوعلی سینا،
همدان

- محمد محسنی دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی دانشگاه بوعلی سینا
- دکتر علی علوی‌نیا استاد دانشگاه بوعلی سینا



چکیده

طی سال‌های اخیر، سازه‌های جدارنازک به دلیل قابلیت بالای جذب انرژی، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند. این سازه‌ها انرژی جنبشی ناشی از برخورد را به تغییر شکل پلاستیک تبدیل کرده و از وارد شدن خسارت به سازه اصلی، جلوگیری می‌کنند.

در پژوهش حاضر، لوله‌های جدارنازک متداخل با مقطع مربع تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی محوری قرار گرفته‌اند و تاثیر میزان خروج از مرکزی، نسبت ابعاد و شرایط مرزی بر انرژی جذب شده ویژه (SEA)^۱ و بازده نیروی لهیدگی (CFE)^۲ به صورت عددی بررسی شده است. جنس لوله‌ها آلومینیوم است. شبیه‌سازی با نرم افزار المان محدود LS-DYNA انجام شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در برخی از حالت‌ها جذب انرژی ویژه و بازده نیروی لهیدگی در سازه‌های متداخل به ترتیب ۴۴ و ۳۱ درصد بیشتر از لوله مربعی ساده است. همچنین هرچه نسبت ضلع لوله داخلی به لوله بیرونی بیشتر باشد، قابلیت جذب انرژی افزایش می‌یابد.

1. SEA: Specific Energy Absorption
2. CFE: Crash Force Efficiency

کلمات کلیدی: لوله جدارنازک، جذب انرژی، LS-DYNA

مقدمه

با افزایش حوادث ناشی از برخورد وسایل نقلیه، کاهش آسیب‌های جانی و مادی ناشی از تصادفات، بیش از پیش مورد توجه طراحان قرار گرفته است. جاذب‌های انرژی با تلف کردن انرژی جنبشی ناشی از برخورد به صورت تغییر شکل خمیری و گرما، باعث کاهش آسیب و بالا رفتن ایمنی می‌شوند.

لوله‌های جدارنازک یکی از انواع جاذب‌های انرژی با کارایی بالا محسوب می‌شوند. به همین خاطر، پژوهشگران همواره به دنبال هندسه‌ها و مواد جدیدی هستند که ظرفیت جذب انرژی سازه را افزایش دهند. هندسه و ابعاد مقطع، جنس سازه و... از جمله موارد مهم و اثرگذار در میزان جذب انرژی و چگونگی لهیدگی سازه هستند [۱].

آبراموویچ و جونز [۲] به بررسی لهیدگی لوله‌های جدارنازک مربعی، تحت بار محوری دینامیکی پرداختند و رابطه‌ای برای نیروی لهیدگی میانگین در لوله‌ها به دست آوردند که با نتایج تجربی مطابقت خوبی داشت.

علوی‌نیا و حدادهمدانی [۳] نحوه‌ی تغییر شکل و ظرفیت جذب انرژی لوله‌های جدارنازک با هندسه مقطع مختلف را به صورت تجربی و عددی، تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی محوری مطالعه کردند. بین مقاطع مورد آزمایش، مقطع دایره‌ای دارای بیشترین میزان جذب انرژی و نیروی متوسط لهیدگی بود.

آذرخش و پورکمالی‌انارکی [۴] نحوه‌ی لهیدگی و مقدار جذب انرژی لوله‌های دوجداره مربعی هم‌مرکز تحت اثر بارگذاری محوری را به دو روش تجربی و عددی بررسی کردند. انرژی جذب شده در لوله دوجداره حدود ۱۶٪ بیشتر از حالت تک‌جداره بود.

روش انجام تحقیق



- ۱- گردآوری اطلاعات مرتبط با پروژه
- ۲- راستی آزمایی شبیه‌سازی‌ها
- ۳- تعیین جنس، ابعاد هندسی و نحوه قرارگیری لوله‌ها
- ۴- تعیین شرایط و نوع بارگذاری
- ۵- انجام شبیه‌سازی‌های تکمیلی
- ۶- مقایسه و ارزیابی نتایج
- ۷- نتیجه‌گیری



فرضیه‌ها

- ۱- لوله‌ها از جنس آلومینیوم بودند.
- ۲- مقطع هندسی لوله‌ها، مربع در نظر گرفته شد.
- ۳- لوله‌ها به صورت متداخل قرار گرفتند.
- ۴- بارگذاری به صورت فشار محوری بود.
- ۵- لوله‌ها با نسبت اضلاع و خروج از مرکزی‌های متفاوت قرار گرفتند.
- ۶- بارگذاری به صورت شبه‌استاتیکی بود.
- ۷- شبیه‌سازی با نرم‌افزار اجزا محدود LS-DYNA انجام شد.



شبیه سازی

معرفی نرم افزار LS-DYNA

یکی از حلگرهای اجزاء محدود بسیار قدرتمند که برای شبیه سازی پدیده های دینامیکی پیچیده مورد استفاده قرار می گیرد، حلگر LS-DYNA است. شیوه اصلی حل مسائل در آن بر پایه روش صریح می باشد. اگرچه توانایی حل ضمنی نیز در آن در دسترس می باشد [۵].

صحت سنجی

با بررسی منابع مرتبط، یکی از حالت های مربوط به آزمایش علوی نیا و خدابخش [۶] با نرم افزار LS-DYNA شبیه سازی و صحت سنجی شد. که نتایج آن در جدول ۱- نمایش داده شده است. شبیه سازی در نظر گرفته شده در مرجع [۶] مربوط به یک لوله با مقطع دایره با قطر ۱۵۰، ارتفاع ۱۰۰ و ضخامت ۱.۵ میلی متر تحت بارگذاری شبه استاتیکی محوری بود. نتایج به دست آمده نشانگر اختلاف بسیار کمی در شبیه سازی ها بود.

جدول ۱- ارزیابی شبیه سازی های انجام شده با شبیه سازی های مرجع [۶].

کد نمونه	نحوه بارگذاری	جرم کل سازه (kg)	نیروی پیشینه اولیه (kN)	انرژی جذب شده (kJ)	انرژی جذب شده ویژه (kJ/kg)	بازده نیروی فروریزش (درصد)	محل شروع چین خوردگی	شیوه لهیدگی
نمونه مرجع [۶]	شبه استاتیکی	0.12	84.86	2.81	21.76	45.47	پایین	مقارن
پژوهش حاضر	شبه استاتیکی	0.12	82.37	2.87	22.28	49.8	پایین	مقارن
درصد اختلاف	-	0	2.9	1.9	4.4	9.5	-	-

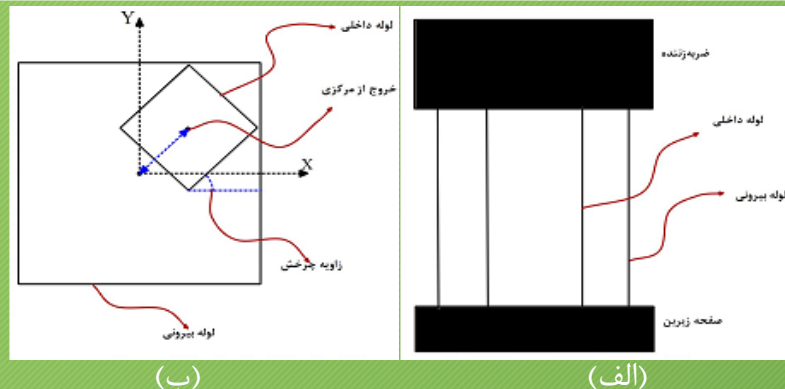
شبه سازی

جدول ۲- ابعاد هندسی و موقعیت مکانی لوله داخلی.

کد نمونه	تعداد لوله	طول ضلع لوله داخلی (mm)	جرم (kg)	زاویه چرخش	خروج از مرکزی (x,y) (mm)
Sa100	1	0	0.16	-	-
Ta25-45-0.75-1	2	25	0.17	45	(23.11,30.82)
Ta50-0-0.5-1	2	50	0.24	0	(11.75,23.5)
Ta50-45-0-0	2	50	0.24	45	(0,0)
Ta80-7.01-0.5-0.75	2	80	0.29	7.01	(1.95,2.93)

هندسه و خواص مکانیکی نمونه‌ها

سازه‌های مورد بررسی، مانند آنچه در شکل ۱- آمده از دو لوله جدارنازک با مقطع مربع تشکیل شدند. ابعاد جسم ضربه‌زننده و صفحه زیرین طبق ابعاد مرجع [۶] در نظر گرفته شد. در جدول ۲- هندسه و نحوه قرارگیری پنج حالت مختلف از لوله‌های متداخل مشخص شده‌است. کدگذاری به گونه‌ای انتخاب شد که حرف S برای تک لوله و حرف T برای سازه دو لوله‌ای استفاده شد. اعداد بعد از حرف a به ترتیب برای طول ضلع لوله داخلی، زاویه چرخش، جابجایی در جهت محور X و جابجایی در جهت محور Y استفاده شده است. کد مربوط به جابجایی‌ها، از نسبت میزان جابجایی مرکز لوله داخلی بر حداکثر جابجایی ممکن، به دست آمده است. ارتفاع، طول ضلع لوله بیرونی و ضخامت در تمام نمونه‌ها به ترتیب برابر ۱۰۰، ۱۰۰ و ۱.۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

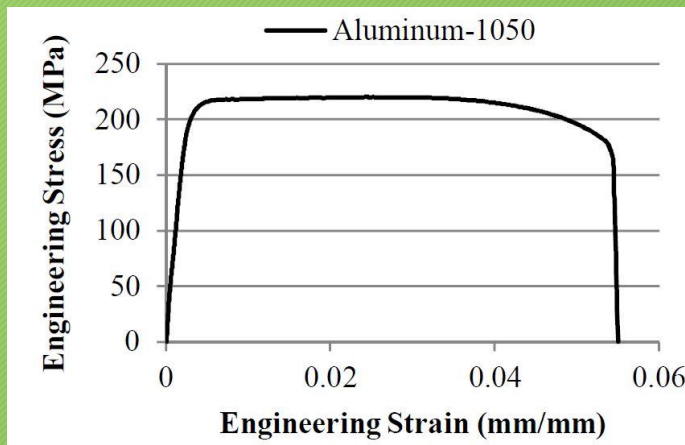


شکل ۱- الف) هندسه لوله‌های متداخل و ضربه‌زننده ب) مقطع لوله‌ها.

شبیه سازی

خواص مکانیکی برای شبیه سازی های اصلی نیز طبق مرجع [۶] بود. جنس لوله ها آلومینیوم-۱۰۵۰ و جنس ضربه زننده فولاد-۴۳۴۰ بود. در جدول-۳ خواص مکانیکی و در شکل-۲ نمودار تنش- کرنش مهندسی آلومینیوم-۱۰۵۰ نمایش داده شده است. برای شبیه سازی از منحنی تنش-کرنش واقعی استفاده شد.

جدول-۳ خواص مکانیکی استفاده شده در مرجع [۶].



شکل-۲ نمودار تنش-کرنش مهندسی آلومینیوم-۱۰۵۰.

ضریب پواسون	تنش تسلیم (Mpa)	مدول یانگ (Mpa)	چگالی (ton/mm ³)	ماده
0.3	710	2.1E5	9.37E-9	Steel-4340
0.33	217.6	7E4	2.7E-9	Aluminium-1050

شبیه سازی

مدل سازی اجزا محدود

برای شبیه سازی لوله ها، ضربه زننده و تکیه گاه با ابعاد مورد نظر طراحی شده و در موقعیت مد نظر قرار گرفتند. پس از آن مش با اندازه 2×2 میلی متر به لوله ها اختصاص داده شد. مدل ماده صلب به صفحات بالایی و پایینی و مدل ماده تکه تکه خطی به لوله ها اختصاص داده شد. تماس هر لوله با خودش از نوع منفرد و تماس با صفحات بالایی و پایینی، سطح به سطح در نظر گرفته شد. شرایط مرزی تکیه گاه پایینی در تمام جهات مقید، ضربه زننده فقط در جهت Z آزاد و انتهای پایینی تمام لوله ها نیز گیردار در نظر گرفته شد. نمونه های جدارنازک به اندازه ۷۰ درصد طول اولیه و با سرعت ۷۰۰۰ متر بر ثانیه تحت فشار محوری قرار گرفتند.

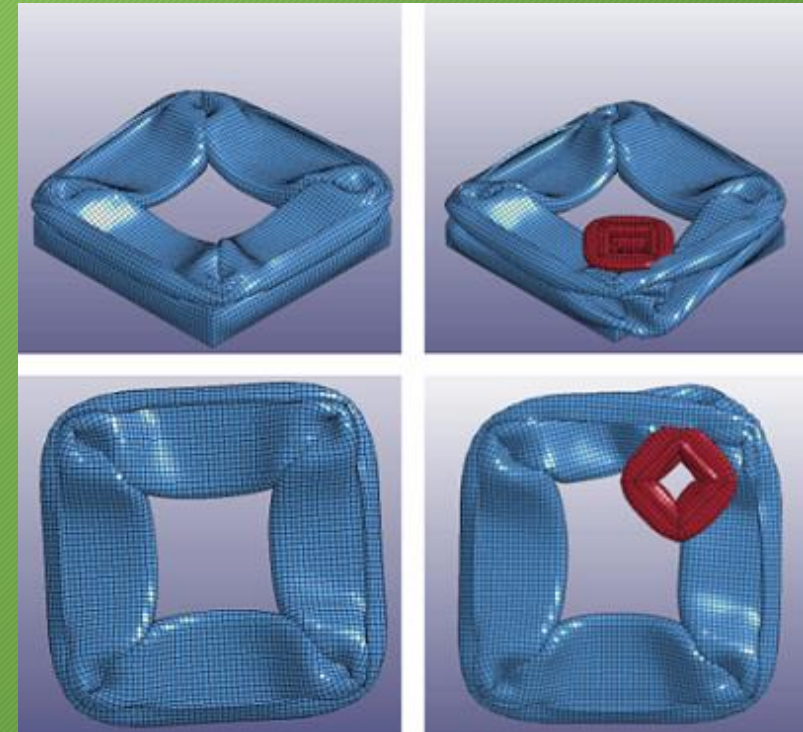
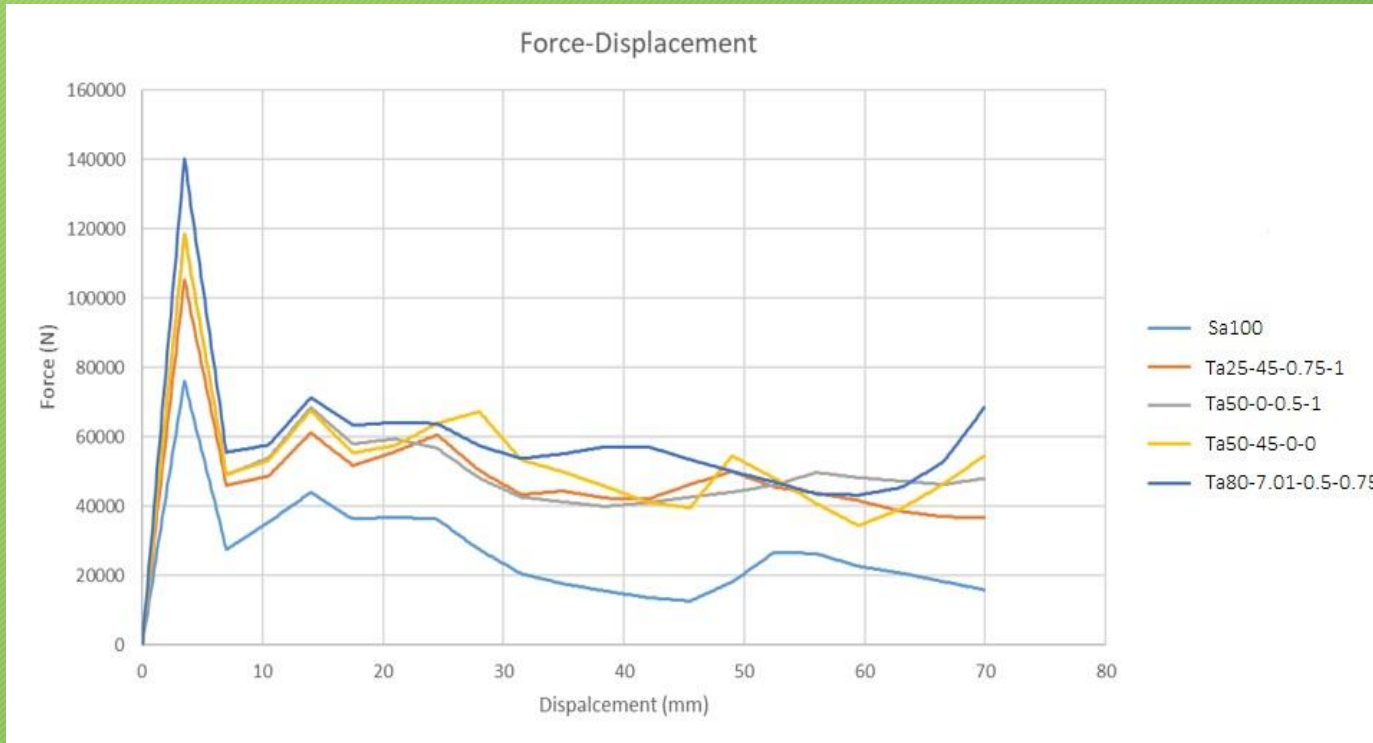
شبیه سازی

نتایج مربوط به شبیه سازی ها و تاثیر پارامترهای مورد نظر روی انرژی جذب شده ویژه، بازده نیروی لهیدگی و بیشینه نیرو در جدول ۴- نمایش داده شده اند. نحوه لهیدگی برخی از نمونه ها و نمودار نیرو-جابجایی شبیه سازی های انجام شده به ترتیب در شکل-۴ و شکل-۵، نمایش داده شده است.

جدول ۴- نتایج به دست آمده از شبیه سازی.

کد نمونه	بیشینه نیرو (kN)	نیروی میانگین (kN)	انرژی جذب شده (kJ)	انرژی جذب شده ویژه (kJ/kg)	درصد اختلاف نسبت به Sa100	بازده نیروی لهیدگی	درصد اختلاف نسبت به Sa100
Sa100	76.15	26.95	1.88	16.57	-	0.35	-
Ta25-45-0.75-1	105.35	48.54	3.39	23.88	44.11	0.46	31.42
Ta50-0-0.5-1	118.35	51.14	3.58	20.97	26.55	0.43	22.85
Ta50-45-0-0	118.35	52.51	3.67	21.53	29.93	0.44	25.71
Ta80-7.01-0.5-0.75	140.23	58.14	4.07	19.87	19.91	0.41	17.14

شبیه سازی



(ب)

(الف)

شکل-۵ نمودار نیرو-جابجایی تمام نمونه‌ها.

شکل-۴ نحوه لپیدگی نمونه‌های الف) Sa100 و
ب) Ta25-45-0.75-1

نتیجه گیری

در این مطالعه، نحوه قرارگیری لوله‌های جدارنازک متداخل با مقطع مربع تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی محوری و تاثیر آن بر قابلیت جذب انرژی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که:

- ۱- سازه‌های دولوله ای نسبت به حالت تکی، جذب انرژی و نیروی بیشینه بالاتری دارند.
- ۲- افزایش نسبت ضلع لوله داخلی به خارجی باعث بالا رفتن انرژی جذب شده و نیز بیشینه نیرو می‌شود.
- ۳- جذب انرژی ویژه و بازده نیروی لهیدگی در حالت Ta25-45-0.75-1 از تمام حالت‌ها بالاتر است. به این معنا که برای نسبت‌های مختلف طول ضلع، حالت بهینه‌ای وجود دارد که با بهینه‌سازی می‌توان این نسبت را مشخص نمود.
- ۴- هرچه نسبت طول ضلع دو لوله متداخل بیشتر باشد، محدودیت بیشتری در میزان خروج از مرکزی سازه به وجود می‌آید و در نتیجه تغییرات چشم‌گیری در میزان SAE و CFE دیده نمی‌شود.

- [۱] تاجداری، مهدی، مختارنژاد، فرزاد، صالح غفاری، شهاب، ۱۳۹۰، مقدمه‌ای بر طراحی ضربه‌گیرهای استوانه‌ای، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
- [2] Abramowicz, W. and Jones, N., 1984. Dynamic axial crushing of square tubes. *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 2, pp. 179-208.
- [3] Alavinia, A. and Hamedani, J.H., 2010. Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walled tubes with various section geometries. *Thin-Walled Structures*, Vol. 48, pp. 946-954.
- [4] آذرخش، سجاد، پورکمالی‌انارکی، علی، ۱۳۹۷، تحلیل تجربی و عددی کمانش و کنترل میزان جذب انرژی ضربه‌گیرهای دوجداره مربعی تحت بار محوری شبه‌استاتیکی و دینامیکی، مهندسی زیرساخت‌های حمل و نقل، جلد ۴، پیاپی ۱۶، صفحه ۱۵-۳۷.
- [۵] شهروی، مجید، رحمتی‌علایی، احمد، ۱۳۹۶، آنالیز دینامیک غیرخطی به کمک نرم‌افزار LS-DYNA، فدک ایساتیس.
- [۶] علوی‌نیا، علی، خدابخش، حامد، ۱۳۹۵، بررسی عددی تاثیرفاصله‌ی لوله‌های جدارنازک متداخل بر رفتار مکانیکی و جذب انرژی آن‌ها، مدل سازی در مهندسی، جلد ۴۵، صفحه ۳۳-۴۷.