فصلنامه علمي يژوهشي

فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک جامدات

http://www.jsme.iaukhsh.ac.ir

مهندسی مکانیک جامدات

مدلسازی و مقایسه رفتار مکانیکی سازههای جدار نازک آلومینیومی با و بدون فوم پلی یورتان در نرم افزار LS-DYNA و ارائه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی

ميثم رستمي ' ، مجتبي حسنلو ''*و مصطفى سياوشي "

* نویسنده مسئول: m.hasanlou@aol.com

چکیدہ

واژههای کلیدی

سازه جىدارنازك، فوم پلى يورتىان، جذب انرژى، رفتار مكانيكى، شبكه عصبي، LS-DYNA

| 1398/08/10 | تاريخ ارسال: |
|------------|----------------|
| 1846/•9/22 | تاريخ بازنگري: |
| 1394/1./19 | تاريخ پذيرش: |

قابلیت جذب انرژی سازههای جدار نازک با مقاطع مختلف همواره مورد توجه محققان بوده است. این سازهها بعنوان جاذبهای انرژی در صنایع مختلف از جمله اتومبیلسازی و هوافضا مورد استفاده وسيعي قرار مي گيرند و سبب حفاظت از سرنشينان و محولهها در حين برخورد مي-شوند. در این مقاله رفتار مکانیکی سازههای جدار نازک از جنس آلومینیوم با فوم پرکننده پلی یورتان و بدون فوم تحت بارگذاری محوری ضربهای بررسی شده است. سازهها از نوع خیلی نازک میباشند بطوریکه برای نمونه استوانهای رابطه 550 pprox (D/t) برقرار است. تحلیل اجزا محدود و شبیهسازی توسط نرم افزار LS-DYNA انجام شده است. سازههای جدار نازک دارای مقاطع دایروی، شش ضلعی و چهار ضلعی با طول، ضخامت و اندازه محیط مقطع یکسان میباشند. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر آن است که سازه با مقطع دایروی از مقاطع چهار گوش و شش گوش انرژی بیشتری جذب مینماید در حالیکه تغییر طول کمتری را تجربه میکند. بعلاوه می توان اثرات تمرکز تنش را در کنجهای مقاطع مربع و شش ضلعی بر روی جداره سازهها مشاهده کرد. همچنین سازه با مقطع دایروی به صورت متقارن تر تحت بارگذاری دینامیکی فشرده می گردد در حالیکه سازههای جدار ناز ک با مقاطع شش و چهار ضلعی تمایل به کمانش دارند. در پایان نیز معماری از یک شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است تا با کمک آن و بهره گیری از دادههای LS-DYNA بتوان رفتار جذب انرژی و نیروی این سازهها را در قالب مدلی در شبکه عصبی بیان نمود. نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با نتایج تحلیلی نرمافزار LS-DYNAدقت قابل قبولي داشتند.

> ۱-مربی، دانشکده فنی، دانشگاه پیامنور قزوین، قزوین. ۲- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت. ۳- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت.

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://www.jsme.iaukhsh.ac.ir



Modeling & Comparison of Mechanical Behavior of Foam Filled & Hollow Aluminum Tubes by LS-DYNA & Introducing a Neural Network Model

M. Rostami¹, M. Hasanlou² and M. Siavashi³

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

* Corresponding Author: m.hasanlou@aol.com

| Abstract: | Key words: |
|---|-------------------------|
| Energy absorption capability of thin-walled structures with | Thin Walled Structures, |
| various cross sections has been considered by researchers up to | Polyurethane Foam, |
| now. These structures as energy absorbers are used widely in | Energy Absorption, |
| different industries such as automotive and aerospace and protect | Mechanical Behavior, |
| passengers and goods against impact. In this paper, mechanical | Neural Network, |
| behavior of thin-walled aluminum tubes with and without | LS-DYNA. |
| polyurethane foam filler subjected to axial impact has been | |
| investigated. The tubes are very thin so that $(D/t) \approx 550$ governs | |
| for cylindrical specimen. Structure behavior was analyzed | |
| through finite element analysis by LS-DYNA. Circular, | |
| hexagonal, and square cross sections with the same length, | |
| thickness, and circumference of sections were studied. The results | |
| show that circular cross section has the highest energy absorption | |
| while experiences the lowest change in length compared to | |
| hexagonal and square cross sections. Besides, the effects of stress | |
| concentration in hexagonal and square sections can be observed | |
| on the corners of walls. Also under the dynamic loading circular | |
| structure was crushed more symmetric, while hexagonal and | |
| square structures tended to the buckling. Also an Artificial Neural | |
| Network is introduced to predict load & energy Absorption | |
| behavior. The Neural Network's data obtained from LS-DYNA. | |
| The introduced model could present acceptable results in | |
| comparison with analysis of LS-DYNA. | |

¹⁻ Lecturer, Mechanical Engineering, Payame Noor University of Qazvin, Qazvin, Iran.

²⁻ M.Sc., Mechanical Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

³⁻ M.Sc., Mechanical Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

۱- مقدمه

پلی یورتان یک پلیمر ترموست میباشد که از ترکیب متیلن دی ایزوسیانات^۱ با پلیول^۲ و برخی افزودنی های شیمیای دیگر پدید میآید. با انتخاب این افزودنی ها و تغییر شرایط شیمیایی و فیزیکی فرایند واکنش، میتوان خواص گوناگونی را برای کاربردهای متنوعی به وجود آورد. در صنایع اتومبیل سازی از نوع فوم نرم پلی یورتان در ساخت قطعات تریم داخلی خودرو نظیر صندلی ها، قربیلک فرمان، دستگیره ها و غیره استفاده می شود. همچنین پلی یورتان به صورت فوم ساختاری^۳ در ساخت قطعاتی نظیر سپر خودرو استفاده می گردد.

جاذب انرژی، جذب کننده نوعی از انرژی و مبدل آن به انرژی یا انرژیهای دیگر است. جاذبهای انرژی همیشه مورد توجه بشر قرار داشتهاند، از جاذبهای انرژی خورشید گرفته تا انواع جاذبهای شوک مکانیکی از قبیل میراگرهای زلزله در ساختمانها و جاذبهای ضربه در اتومبیلها. اولین نوع جاذبهای بکار رفته در اتومبیل از قبیل تایر و تعبیه فنر در زیر شاسی بیشتر جنبه آسودگی و راحتی برای مسافرین را در بر میگرفت. با افزایش آمار تصادفات و مرگ و میر ناشی از استهلاک ناگهان انرژی جنبشی و توقف خودرو از طریق یک برخورد شدید مهندسین به فکر طراحی سپرهایی با جذب انرژی بالا در پرکننده فوم آلومینیوم طراحی نمودند و آنرا بصورت آزمایشگاهی تحت بارگذاری دینامیکی قرار دادند. همچنین از نرم افزار LS-DYNA برای شبیهسازی فرآیند برخورد

استفاده نمودند که پیش بینی رفتار سپر در حین برخورد توسط شبیهسازی نرم افزاری در مقایسه با نمونههای آزمایشگاهی با دقت قابل قبولی بدست آمد. در [۲] بررسی سازه لانه زنبوری آلومینیومی^۴ تحت برخورد محوری با سرعت زیاد صورت پذیرفته است. آزمایشات نشان دادند که قابلیت جذب انرژی سازههای لانه زنبوری با افزایش سرعت برخورد بهبود می یابد.

در بسیاری از سیستمهای مهندسی جذب انرژی هنگام برخورد یکی از ضروریات میباشد. سازوکارهای متنوعی برای جذب و مستهلک کردن انرژی ضربه استفاده می شود که در میان آنها می توان به اصطکاک، شکست، خمش یا ییچش یلاستیک و له شدن اشاره کرد. سازههای جدار نازک پرشده با فوم دارای وزنی سبک هستند و قابلیت جذب انرژی بالایی دارند. همچنین خواص مکانیکی و توانایی جذب انرژی این سازهها به خواص مواد بکار گرفته شده و شکل هندسی آنها بستگی دارد. سازههای جدار نازک از متداولترین سیستمهای حفاظت از ضربه هستند که انرژی جنبشی را به انرژی بازگشتناپذیر تغییر شکل پلاستیک تبدیل میکنند. نتایج آزمایشگاهی در [۳] نشان دادند که تغییر شکل در طول بارگذاری محوری سازههای جدار نازک استوانهای ممکن است به سه طریق صورت پذيرد: متقارن شش ضلعي ، نامتقارن الماسي و تركيبي. كه نوع تغيير شكل در سازهها به نسبت قطر به ضخامت و قطر به طول سازه بستگی دارد. سیتزبر گر و همکاران [۴] آزمایشات خود را بر روی سازههای جدار نازک با مقاطع دایروی و مربع شکل انجام دادند. سازههای مورد بررسی از جنس

¹ Methyl Di Isocyanate

² Polyol ³ Structural Foam

⁴ Aluminum Honeycomb

⁵ Axisymmetric Concertina

⁶ Non-axisymmetric Diamond

فولاد نرم پر شده با فوم آلومینیوم بودند. آنها نشان دادند که برهم کنش بین فوم و جداره سازه فاصله چین خوردگی ها را کاهش میدهد، بنابراین نیروی جذب شده توسط سازه افزایش پیدا میکند. در [۵] از الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای بدست آوردن شکل بهینه یک سازه آلومینیومی تو پر مقطع مربع استفاده شده است. همچنین زارعی و کراگر [۶ و ۷] از تکنیک طراحی بهینه چند هدفی برای به حداکثر رساندن جذب انرژی و به حداقل رساندن وزن سازههای جدار نازک آلومینیومی استفاده کردهاند.

جذب انرژی در برخورد شبه استاتیک سازههای جدار نازک استوانهای و مخروطی با فوم پلی یورتان و بدون آن در [۸و۹] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشگاهی و عددی اثر گذاری فوم پرکننده را در افزایش جذب انرژی در این سازهها نشان دادند.

گوپتا و ولمورگان [۱۰] روی سازههای جدار نازک مخروطى كامپوزيتى مطالعه كردند. نتايج آزمايشات آنها نشان داد که جذب انرژی در سازههای مخروطی پرشده با فوم نسبت به سازههای توخالی به شکل قابل ملاحظهای افزایش پیدا می کند. در [۱۱] سازه هایی با مقاطع شش گوش، هشت گوش و ستارهای تحت بار شبه استاتیکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که افزایش تعداد گوشههای داخلی در مقاطع ستارهای، بهبود جذب انرژی سازه را در پی دارد. یاماشیتا و همکاران [۱۵] بررسی بارگذاری ضربهای محوری روی سازههای جدار نازک توخالی با مقطع دایروی و مقاطع چند ضلعی ۴، ۵ و ۱۲ ضلع از جنس آلومینیوم آلیاژی ۶۰۶۳ اکستروژن شده انجام دادند. نتایج بدست آمده نشان دادند که افزایش تعداد اضلاع سبب افزایش مقاومت در برابر لهیدگی و افزایش جذب انرژی می گردد. ردی و وال [۱۲] استوانههای جدار نازک با فوم پلی یورتان را در شرایط بارگذاری دینامیکی و

شبه استاتیکی مورد بررسی قرار دادند. رید و همکاران [۱۳] بارگذاری محوری دینامیکی و استاتیکی سازههای جدار نازک با مقاطع مستطیل و مربع را به صورت خالی و پر شده با فوم پلی یورتان مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از آزمایشات آنها نشان داد که جذب انرژی با افزایش چگالی فوم افزایش مییابد. همچنین در نمونههای پر شده با فوم نوم افزایش مییابد. همچنین در نمونههای پر شده با فوم بودند. گامیرو و سیرن [۱۴] نیز رفتار استوانههای جدار نازک آلومینیومی با پرکننده چوب پنبه را تحت بارگذاری دینامیکی بررسی کردند.

در این مقاله شبیهسازی و تحلیل اجزا محدود برخورد محوری سازه های جدار نازک توسط نرمافزار LS-DYNA انجام شده است. سازههای جدار نازک از جنس آلومینیوم با مقاطع دایروی، شش گوش و چهار گوش هستند که در حالت خالی و پرشده با فوم پلی یورتان مورد بررسی قرار گرفتهاند. سازهها از نوع خیلی نازک هستند بطوریکه برای نمونه استوانهای رابطه 550 pprox (D/t) برقرار است که D قطر و t ضخامت جداره نمونه استوانهای است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر مقاطع مختلف در رفتار مکانیکی پس از برخورد سازهها میباشد. تغییر شکل دائمی، نحوه توزیع تنش در جداره و قابلیت جذب انرژی سازهها در این پژوهش نشان داده شده است. همچنین در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی و بکارگیری دادههای استخراجی از LS-DYNA توانستهایم مدلی نزدیک به داده های تحلیلی ارائه نمائیم. در بخش بعدی مقاله مدل-سازی اجزا محدود مسئله توصيف شده است. بخش سوم نيز تغییر شکل دائم سازهها پس از برخورد را نشان داده است. بخش چهارم مربوط به مدل شبکه عصبی مصنوعی میباشد. بخشهای پنجم و ششم نیز به بررسی نتایج بدست آمده از



1-1- جنس و خواص

برای سازه جدار نازک آلومینیومی از جنس MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY* استفاده شده است. همچنین برای جنس فوم پلی یورتان شبیهسازیها توسط نرمافزار و نتیجه گیری و بحث پیرامون آنها اختصاص دارند.

۲- مدلسازی

نحوه مدلسازی و خواص سازهها در شبیهسازی عددی همانند خواص مواد بکار گرفته شده در آزمایش ردی و وال [۱۲] می باشند. در آزمایش مذکور رفتار یک استوانه جدار نازک با ضخامت ۱۲/۰ میلی متر، طول اولیه ۱۴۸ میلی متر و قطر ۶۵ میلی متر از جنس آلومینیوم آلیاژی با چگالی ۲۹۰۰Kg/m³، تنش تسلیم ۵۵۰ MPa، مدول یانگ ۷۸/۵ GPa و ضریب پواسان ۰/۳۳ (رفتاری شبیه به آلومینیوم ۲۰۹۰–۸۶T) و همچنین فوم پلی یورتان با چگالی ۸۰Kg/m³ مدول یانگ ۲۵ MPa و ضریب پواسان صفر که داخل استوانه جدار نازک قرار می گیرد، مورد بررسی میباشد. منحنی تنش-کرنش سازه آلومینیومی و فوم یرکننده به ترتیب در شکل های (۱ و ۲) نشان داده شده است. توسط یک وزنه ۵۲ کیلوگرمی از فاصله ۱/۷۵ متری بالای استوانه توپر و با سرعتی معادل ۵/۲ متر بر ثانیه به نمونه استوانه تو پر ضربه زده می شود. بر اساس مرجع [۱۲] سرعت واقعی وزنه ۸۸ درصد سرعت به دست آمده از رابطه (۱) می باشد. در شبیه سازی عددی بدلیل دستیابی به تغییر طول یکسان در مقاطع توپر و توخالی یکسان، مدت زمان شبیه-سازی از لحظه رهایی وزنه تا اتمام بارگذاری برای سازههای توپر ۰/۰۳ ثانیه و برای سازههای توخالی ۰/۰۲۴ ثانیه درنظر گرفته شده است.

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

که m جرم وزنه، g شتاب گرانش، h فاصله وزنه از استوانه و v سرعت وزنه می باشد.

MAT_CRUSHABLE_FOAM* مناسب می باشد [۱۶]. برای وزنه ضربه زننده، MAT_RIGID*با خواصی شبیه به خواص فولاد در نظر گرفته شده است. در جدول (۱) خواص مواد مورد استفاده درج شده است.

جدول (۱) خواص مواد استفاده شده در شبیهسازی.

| مادہ | چگالی | مدول يانگ | ضريب اران |
|-------------|------------------------|-----------------------------|--------------|
| | (ton/mm [*]) | (MPa) | پواسان |
| فوم پلى | ۸×۱۰ ^{-۱۱} | ۲۵ | |
| يو رتان | | | |
| آلومينيوم | 4/9×19 | ν/λδ×۱・ ^۴ | • /٣٣ |
| فولاد (بلوك | ۸×۱۰ ^{-۹} | T ••×1• [#] | • /٣ |
| ضربه زننده) | | | , ' |

تعریف و تشخیص سطوح تماس اهمیت ویژهای در حل مسئله دارند. برای سطح تماس سازه ی آلومینیومی با جرم ضربه زننده و همینطور برای سطح تماس سازهی آلومینیومی ى_____ا ص____فحە ز س__ CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SUR FACE استفاده می شود. سطح تماس چین خوردگی های ــازه آلومینیــــومی روی هـــــم از نــــوع CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE ـت. بــــرای ســــطوح تمــــاس فــــوم نيــــز CONTACT_ERODING مناسب مىباشد. سطح تماس فوم با سازه ی جدار ناز ک به همراه سطح تماس فوم با صفحه زيرين و جرم ضربه زننده از نوع SURFACE _CONTACT_ERODING_SURFACE_TO در نظـــر گرفته شده است. همچنین برای سطح تماس فوم روی ـــــودش نيــــــ ;_____

CONTACT_ERODING_SINGLE_SURFACE مناسب میباشد. هر کدام از سازه های توپر مورد نظر با میانگین حداکثر تعداد ۷۵۵۰۰ المان تحت سیستم ویندوز Intel® Pentium® Dual CPU E2200 @ 2/20 ب وجهل دقیقه به GHz, 2GB of RAM

طور کامل حل شدند. برای انتخاب تعداد المان بهینه، تعداد المان های سازه توپر مقطع مربع نسبت به انرژی جذب شده در شکل (۳) نشان داده شده است.



تو پر).

انتخاب المان بهینه علاوه بر افزایش دقت حل مسئله در کاهش زمان حل مسئله نیز موثر است.

۳- تغییر شکل سازهها

تغییر شکل و توزیع تنش در سازهی توپر مقطع دایروی ۰/۰۱۸ ثانیه پس از بارگذاری در شکل ۴ نشان داده شده است. در تصویر ۵ نیز تغییر شکل و توزیع تنش مقطع توپر شش ضلعی ۰/۰۱۸ ثانیه پس از بارگذاری قابل مشاهده است. این مقطع در طول بارگذاری تمایلی کمی به کمانش دارد و می توان حداکثر تنش را روی کنجهای جداره سازه مشاهده کرد که در مقطع دایروی بدلیل نداشتن کنج، این پدیده رویت نمیشود. مقطع مربع از بین سه مقطع توپر مورد بررسی کمترین جذب انرژی را داراست، همچنین این مقطع در حین بارگذاری دچار کمانش می گردد که در شکل ۶ می توان این موضوع را مشاهده کرد. در مقطع توپر مربع مانند مقطع شش ضلعی می توان حداکثر تنش را روی کنج-های مقطع مشاهده کرد. قابل ذکر است که منظور از کمانش در این متن همان تمایل فیزیکی و آشکار سازهها در محور اصلبشان است. از انحراف



شکل (۴) مقطع دایروی توپر ۱۸ ۰/۰ ثانیه پس از بارگذاری.



شکل (۵) مقطع شش ضلعی توپر ۱۸ ۰/۰ ثانیه پس از بار گذاری.



شکل (۴) مقطع مربعی توپر ۰/۰۱۸ ثانیه پس از بار گذاری.

در تغییر شکل دائم سازه های توپر با افزایش تعداد اضلاع برای مقطع مورد نظر تمایل به کمانش کمتر می شود. در شکل های (۷ تا ۹) نمای برش خورده پس از اتمام بارگذاری سه مقطع توپر را می توان مشاهده کرد. تغییر شکل و توزیع تنش سازه های توخالی ۰/۰۱۲ ثانیه پس از بارگذاری نیز در شکل های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شدهاند.

www.SID.ir



شکل (۷) نمای برش خورده مقطع دایروی توپر پس از بارگذاری.



شکل (۸) نمای برش خورده مقطع شش ضلعی توپر پس از بار گذاری.



شکل (۱۰) مقطع دایروی توخالی ۰/۰۱۲ ثانیه پس از بار گذاری.



شکل (۱۱) مقطع شش ضلعی توخالی ۰٬۰۱۲ ثانیه پس از بارگذاری.



شکل (۱۲) مقطع مربعی توخالی ۰/۰۱۲ ثانیه پس از بارگذاری.

در شکلهای (۱۳ تا ۱۵) تغییر شکل سازههای توخالی پس از اتمام بارگذاری نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۲ می توان حداکثر تنش فون میسز رخ داده در المان بحرانی سازهها را مشاهده کرد. در مرحله آخر بارگذاری یعنی زمانیکه سازهها بیشترین تغییرطول را تجربه کردهاند و کاملا پرس شدند تنشها به حداکثر مقدار خود میرسند.



شکل (۱۴) تغییر شکل مقطع شش ضلعی توخالی پس از بارگذاری.



۴- شبکهی عصبی مصنوعی

Artificial Neural (یک شبکه عصبی مصنوعی (Network) ایدهای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می پردازد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی بهم پیوسته تشکیل شده (neurons) که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می کنند. بنابراین مدل شبکههای عصبی بین داده ها یک رابطه غیر خطی ایجاد می کند و ورودی سیستم را بصورت غیر خطی به خروجی نگاشت می کند. لذا می تواند کارهایی را انجام دهد که یک برنامه خطی قادر به انجام آن نیست. شبکه عصبی بکار برده شده در این پژوهش از نوع پر سپترون چند لایه پیشرو (LMP) با الگوریتم خطایابی انتشار برگشتی که دارای دو

لایه پنهان و لایه ورودی و خروجی می باشد. تعداد نرونها در هر لایه پنهان ۱۰ نرون و تابع وزن دهی آنها سیگموئید در نظر گرفته شده است. شبکه مورد نظر با دو نوع ورودی آموزش می بیند یکی ورودی زمان-نیرو و دیگری ورودی زمان-انرژی جذب شده می باشد. این دادهها برای ۶ سازه مورد نظر توسط نرم افزار LS-DYNA بدست آمدهاند. خروجی های شبکه عصبی نیز توابع تخمینی نیرو و جذب انرژی هستند. منحنی های بدست آمده از توابع تخمینی در شکل های ۱۸ تا ۲۱ به همراه نتایج LS-DYNA تر سیم شده-اند. در نهایت با آموزش شبکه، مدلی غیر خطی ارائه شده است که می تواند انرژی و نیروی جذب شده برای سازه را بصورت غیر خطی پیش بینی نماید. مشخصات و ساختار

| جدول (۳) مشخصات و پارامترهای شبکه عصبی. | | |
|---|------------------------------|--|
| مشخصات | پارامتر | |
| (MLP)پرسپترون چند لايه | نوع شبكه | |
| TRAINLM | الگوريتم آموزش | |
| Back Propagation | الگوريتم خطايابي | |
| ۲ | تعداد لای 0 های پنهان | |
| ۱۰ و ۱۰ | تعداد نرونهای لایههای پنهان | |
| سيگموئيد | تابع تحريك لايەھاي پنھان | |
| خطى | تابع تحريك لايه خروجي | |
| ۱۲۰ نمونه (۷۵ درصد) | تعداد دادههای آموزش | |
| ۳۰ نمونه (۲۵ درصد) | تعداد دادههای آزمایش | |
| | | |

۵- نتایج شبیهسازی

از میان سازههای توپر، سازه جدار نازی با مقطع دایروی بیشترین جذب انرژی را با ۲/۱ درصد خطا نسبت به عدد ذکر شده در مرجع [۱۲] دارد، بطوریکه جذب انرژی در [۱۲] ۶۲۵ ژول است و جذب انرژی نمونه بررسی شده در شبیه سازی عددی ۶۱۲ ژول می باشد. پس از مقطع دایروی، بتر تیب سازه های جدار نازک با مقطع شش ضلعی

$$E_A = \int P d\delta \tag{(Y)}$$

که $P \ e \ \delta$ بترتیب نیرو و جابجایی هستند. نیرو توسط نودهای موجود در سطح زیرین (تکیه گاه) استوانهها توسط Reaction Force اندازه گیری می شود که بخشی از این نودها با نودهای زیرین سازه های جدارناز ک و فوم پر کننده دارای سطح تماس از نوع ERODING هستند. در ادامه نمودارهای مربوط به تغییرات نیروی یاد شده در سرتاسر لحظات برخورد را می توان مشاهده کرد. تغییر شکل سازه جدار ناز ک با سطح مقطع دایروی حین بارگذاری محوری توسط پاگسلی و مکالای در [۱۷] بررسی شده است که در Ti نیروی اعمال شده به سازه ها بوسیله رابطه ۳ بیان می شود. P = 228.5 M_P

که در رابطه بالا $\frac{\sigma_0 t^2}{4}$ عنوان گشتاور خمشی که در رابطه بالا $\frac{\sigma_0 t^2}{4}$ عنوان گشتاور خمشی کاملا مومسان است. همچنین t و σ_0 ضخامت و تنش تسلیم سازه مورد نظر هستند. در شکل (۱۷) نیز ردی یک نمونه ایده آل از تغییر شکل این سازه را ارائه کرده است.



در شکل (۱۸) نمودار زمان به انرژی جذب شده سازه-های توپر مشاهده میشود. سازهی جدار نازک با سطح مقطع شش ضلعی ۵۸۰ ژول انرژی را در ۱۲۲ میلی متر کاهش طول جذب می کند که از مقطع دایروی ۳۲ ژول کمتر و از مقطع مربع ۲۶ ژول بیشتر انرژی جذب می کند. سازهی جدار نازک با مقطع مربع علیرغم جذب انرژی

www.SID.ir





www.SID.ir

از مقایسه بین مقاطع دایروی توپر و توخالی می توان مشاهده کرد که این مقاطع در حالت توپر ۶۱۲ ژول انرژی جذب می کنند و در حالت توخالی ۱۲۳ ژول انرژی جذب می نمایند، در نتیجه جذب انرژی در حالت توپر ۴/۹ برابر افزایش می یابد. در حالت توپر مقاطع شش ضلعی ۵۸۰ ژول انرژی جذب می شود و در حالت توخالی ۸۴ ژول انرژی جذب می گردد. همچنین در میان سازههایی با مقطع مربع در حالت توپر ۵۵۴ ژول انرژی جذب می شود و در حالت توخالی ۷۰ ژول انرژی جذب می گردد. سازههای توپر علاوه بر جذب انرژی بیشتر، قادر به مستهلک کردن انرژی در مدت زمان بیشتری نسبت به سازههای توخالی در مقدار جابجایی یکسان هستند. همچنین منحنی تغییرات نیروی جذب شده در سازههای توپر نرم تر و ملایم تر از سازههای توخالی است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله رفتار مکانیکی سازه هایی با جداره خیلی نازک در حالت توپر و توخالی تحت بررسی قرار گرفت. در این سازِهها هر چه تعداد اضلاع مقطع مورد بررسی بیشتر می-شود، جذب انرژی و نیروی مستهلک شده در سازه افزایش مییابد و در نهایت نیز جذب انرژی در مقطع دایروی شکل به حداکثر مقدار خود میرسد. همچنین هر چه تعداد اضلاع مقطع مورد بررسی کمتر باشد، میل به کمانش در طول بارگذاری بیشتر می شود. بعلاوه اثرات تمرکز تنش در کنج-های مقاطع مربع و شش ضلعی در حین بارگذاری مشهود است، موضوعی که در مقطع دایروی مشاهده نشد. سازه توپر مقطع دایروی دارای بیشترین جذب انرژی است، درحالیکه کمترین تغییر طول را تجربه میکند. همچنین منظمترین چین خوردگیها مربوط به سازه جدار نازک توپر با مقطع دایروی هستند. از مقایسه جذب انرژی در سازههای جدار نازک توپر با سازههای توخالی میتوان دریافت که جذب انرژی در حالت توپر حداقل تا پنج برابر نسبت به حالت توخالي افزایش می یابد. در حالیکه تعداد







شکل (۲۵) خطای جذب نیرو در سازههای توخالی.

- [6] Zarei H.R., Kroger M., Optimization of the Foam-Filled Aluminum Tubes for Crush Box Application, *Thin-Walled Structures*, vol. 46, No. 2, 2008, pp. 214–221.
- [7] Zarei H.R., Kroger M., Crashworthiness Optimization of Empty and Filled Aluminum Crash Boxes, *International Journal of Crashworthiness*, vol. 12, No. 3, 2007, pp. 255– 264.
- [8] Zarei H.R., Ghamarian A., Experimental and Numerical Crashworthiness Investigation of Empty and Foam-Filled Thin-Walled Tubes with Shallow Spherical Caps, *Experimental Mechanics*, vol. 54, 2014, pp. 115–126.
- [9] Ghamarian A., Zarei H.R., Abadi M.T., Experimental and Numerical Crashworthiness Investigation of Empty and Foam-Filled End-Capped Conical Tubes, *Thin-Walled Structures*, vol. 49, 2011, pp. 1312–1319.
- [10] Gupta N.K., Velmurugan R., Axial Compression of Empty and Foam Filled Composite Conical Shells, *Journal of Composite Material*, vol. 33, No. 6, 1999, pp. 567–591.
- [11] Fan Z., Lu G., Liu K., Quasi-Static Axial Compression of Thin-Walled Tubes with Different Cross-Sectional Shapes, *Engineering Structures*, vol. 55, 2013, pp. 80–89.
- [12] Reddy T.Y., Wall R.J., Axial Compression of Foam-Filled Thin-Walled Circular Tubes, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 7, No. 2, 1988, pp. 151–166.
- [13] Reid S.R., Reddy T.Y., Gray M.D., Static and Dynamic Axial Crushing of Foam-Filled Sheet Metal Tubes, *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 28, 1986, pp. 295– 322.
- [14] Gameiro C.P., Cirne J., Dynamic Axial Crushing of Short to Long Circular Aluminium Tubes with Agglomerate Cork Filler, *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 49, 2007, pp. 1029–1037.

اضلاع مقاطع کمتر باشد این اثر بیشتر نمایان میشود بطوریکه در مقطع مربع افزایش جذب انرژی تقریبا تا هشت برابر میرسد. علاوه بر جذب انرژی بیشتر توسط سازههای توپر، سازههای توپر قادر به مستهلک کردن انرژی در مدت زمان بیشتری نسبت به سازههای توخالی در همان مقدار جابجایی هستند. در این مقاله همچنین معماری از یک شبکه جابجایی هستند. در این مقاله همچنین معماری از یک شبکه عصبی مصنوعی ارائه شد تا با کمک آن و بهره گیری از دادههای عصبی مصنوعی ارائه شد تا با کمک آن و بهره گیری از دادههای قالب مدلی در شبکه عصبی بیان نمود. نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با نتایج تحلیلی نرمافزار دقت قابل قبولی داشتند.

مراجع:

- Hanssen A.G., [1] Lorenzi L., Berger K.K., Hopperstad, O.S., Langseth, M. Α demonstrator bumper system based on aluminium foam filled crash boxes. International Journal of Crashworthiness, vol. 5, No. 4, 2000, pp. 381-392.
- Wang Z., Tian H., Lu Z., Zhou W., "High-Speed Axial Impact of Aluminum Honeycomb

 Experiments and Simulations, *Composites Part B: Engineering*, vol. 56, 2014, pp. 1–8.
- [3] Algalib D., Limam A., Experimental and Numerical Investigation of Static and Dynamic Axial Crushing of Circular Aluminum Tubes, *Thin-Walled Structures*, vol. 42, 2004, pp. 1103–1137.
- [4] Seitzberger M., Rammerstorfer F.G., Degischer, H.P., Gradinger, R., Crushing of Axially Compressed Steel Tubes Filled with Aluminium Foam, *Acta Mechanica*, vol. 125, No. (1–4), 1997, pp. 93–105.
- [5] Nariman-Zadeh N., Darvizeh A., Jamali A., Pareto Optimization of Energy Absorption of Square Aluminium Columns Using Multi-Objective Genetic Algorithms, *Proc. IME BJ Engineering Manufacturing*, vol. 220, Issue 2, 2006, pp. 213–224.

- [15] Yamashita M., Gotoh M., Sawairi Y., Axial Crush of Hollow Cylindrical Structures with Various Polygonal Cross-Sections Numerical Simulation and Experiment, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 140, 2003, pp. 59–64.
- [16] .LS-DYNA 971 Keyword User's Manual.
- [17] Pugsley A., Macaulay M.A., The large scale crumpling of thin cylindrical columns, *Quarterly Journal of Mechanics & Applied Mathematics*, vol. 13, 1960, pp. 1-9.