



سازمان ملی پژوهش‌های پیشرفته و فناوری



دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

بررسی خواص جذب انرژی مجموعه‌های جدار نازک چندتایی یک، دو و سه طبقه تحت بارهای فشاری محوری

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

- عبدالصمد قلی وند دانشجو کارشناسی ارشد طراحی کاربردی دانشگاه بوعلی سینا
- دکتر علی علوی‌نیا استاد دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

جاذب‌های انرژی جدارنازک سازه‌های هستند که کل انرژی جنبشی یا بخشی از آن را به‌صورت تغییر شکل پلاستیک تلف می‌کنند و از رسیدن صدمه به قسمت‌های دیگر جلوگیری می‌کنند یکی از متداول‌ترین جاذب‌های انرژی، پوسته‌های استوانه‌ای جدارنازک هستند.

هدف از این پژوهش بررسی اثر تعداد لوله، طبقه و نحوه قرار گیری آن‌ها تحت بارگذاری محوری فشاری به‌صورت شبه‌استاتیکی و دینامیکی بر روی میزان جذب انرژی ویژه^۱ (SEA) و بازده نیروی لهیدگی^۲ (CFE) می‌باشد. لوله‌ها از جنس آلومینیوم و با تعداد ۷-۵-۴-۳-۱ عددی و به‌صورت یک، دو و سه طبقه به شیوه مماس و بافاصله از هم، توسط نرم‌افزار المان محدود LS-DYNA شبه‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با قرار گرفتن لوله‌ها به‌صورت مماس برهم و افزایش تعداد لوله، جذب انرژی و SEA افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد طبقه مقدار نیروی بیشینه اولیه^۳ تقریباً ثابت می‌ماند ولی با افزایش تعداد لوله نیروی بیشینه اولیه افزایش می‌یابد.

1 Specific Absorption Energy

2 Crush Force Efficiency

3 Initial peak crushing force

مقدمه

تقاضا برای سازه‌های سبک با ظرفیت جذب انرژی بالا در کاربردهای مهندسی در حال افزایش است. سازه‌های جدارنازک دارای خاصیت استحکام به وزن بالا و قابلیت جذب انرژی زیادی هستند. میزان انرژی جذب شده توسط آن‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد از جمله می‌توان به نوع بار اعمالی، نرخ بارگذاری، مشخصات ماده، دما و ... اشاره کرد.

علوی‌نیا و همدانی [۱] تغییرشکل‌ها و ظرفیت‌های جذب انرژی لوله‌های جدار نازک با سطح مقطع‌های دایره، مربع، مستطیل، مثلث، شش ضلعی و مخروطی را با استفاده از شبیه‌سازی عددی و آزمایش‌های تجربی، تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی محوری مورد بررسی و مقایسه قرار دادند.

زیونگ ژانگ و هو ژانگ [۲] به بررسی ستون‌های چندسلولی جدار نازک با مقطع‌های مختلف تحت بار محوری شبه‌استاتیکی پرداختند. نتایج تجربی، شبیه‌سازی و تئوری مطابقت خوبی باهم داشت و نشان داد که مقاطع چندسلولی نسبت به تک‌سلول بازده جذب انرژی بالاتری دارند.

لی و همکاران [۳] روی سازه‌های جدار نازک چندلایه به شکل هرم ناقص با سطح مقطع مربع و مثلث تحت بارگذاری ضربه‌ای به صورت تجربی مطالعه کردند. آن‌ها بین لایه‌ها از صفحه‌ای به ضخامت ۳ میلی‌متر استفاده کردند. نتایج نشان داد که ساختارهای چندلایه هرم ناقص در شرایط بارگذاری دینامیکی، رفتارهای بهتری را به عنوان جاذب انرژی در مقایسه با ساختارهای معمولی دارد.

پانگ و همکاران [۴] به بررسی ستون‌های چند سلولی جدار نازک با ضخامت متغییر محوری به صورت تجربی، عددی و نظری تحت بار شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ستون‌های چند سلولی جدار نازک با ضخامت متغییر محوری نسبت به ستون‌های معمولی قابلیت جذب انرژی بیشتری دارند.

علوی‌نیا و پارساپور [۵] در پژوهشی به مطالعه لوله‌های جدارنازک تک سلولی و چندسلولی با سطح مقطع‌های مثلث، مربع، شش ضلعی و هشت ضلعی ساخته شده از آلومینیوم، تحت بار شبه‌استاتیکی به صورت تجربی و شبیه‌سازی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که **SAE** لوله‌های چندسلولی نسبت به تک‌سلولی بیشتر است.

روش انجام تحقیق

در این پژوهش به بررسی شبیه‌سازی بارگذاری شبه‌استاتیکی و دینامیکی محوری سازه‌های جدارنازک چندتایی پرداخته شده‌است.

ابتدا برای اطمینان و صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی یک تک‌لوله با سطح مقطع دایره، به ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر، شعاع ۳۰ میلی‌متر و ضخامت ۱/۵ با نتایج تجربی مرجع [۶] مقایسه شد جدول (۱) که اختلاف کم این نتایج با یک‌دیگر، صحت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد و پس از آن به‌انجام شبیه‌سازی حالت‌های مختلف چندعددی و چندطبقه پرداخته و در آخر نتایج به‌دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول (۱): مقایسه نتایج شبیه‌سازی با تست تجربی [۶]

نمونه	نیروی بیشینه اولیه (KN)	جذب انرژی	تغییر طول (mm)
لوله استوانه [۶]	35.15	1168	79.3
شبیه‌سازی انجام شده	35	1210	79
درصد اختلاف	0.5	3.4	0.3

فرضیه‌ها

- ۱- لوله‌ها به شکل استوانه‌ای با شعاع ۳۰ میلی‌متر، ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌است.
- ۲- جنس لوله‌ها آلومینیوم ۳۰۰۳ در نظر گرفته شده‌است.
- ۳- مجموعه‌ها ۷-۵-۴-۳-۱ عددی و تعداد طبقه یک، دو و سه در نظر گرفته شده‌است.
- ۴- بارگذاری محوری شبه‌استاتیکی با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است.
- ۵- بارگذاری محوری دینامیکی با سرعت ۹۳۲۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است.

شبیه سازی

شبیه سازی ها توسط دو نرم افزار Solidworks برای مدل سازی و نرم افزار LS-DYNA برای تحلیل المان محدود بارگذاری و تغییر شکل نمونه ها انجام گرفته است. مدل ماده و تعداد قطعه ها و نوع المان استفاده شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): مشخصات مدل ماده شبیه سازی شده

قید	اندازه شبکه بندی	مدل ماده	نوع المان	قطعه
یک درجه آزادی	10*10	Rigid	Solid	فک بالایی
کاملاً گیردار	10*10	Rigid	Solid	فک پایینی
آزاد	1.5*1.5	Mat24 ⁷	Shell	لوله ها
آزاد	10*10	Rigid	Solid	ورق بین طبقه ها

➤ مشخصات نوع تماس بین قطعه ها، تماس سه بعدی سطح با سطح^۵ و سطح تنه^۶ است، ضرایب استاتیکی و دینامیکی میان لوله ها و دیواره های صلب به ترتیب 0.2 و 0.15 تعریف شده است.

➤ شرایط برای شبیه سازی شبه استاتیکی و دینامیکی مشابه هم هستند با این تفاوت که در شبه استاتیکی فک بالایی با سرعت ثابت 100mm/s به سمت پایین حرکت می کند ولی در حالت دینامیکی فک بالایی با سرعت اولیه 9320mm/s به نمونه ها برخورد می کند.

5 Contact_Automatic_Surface_To_Surface

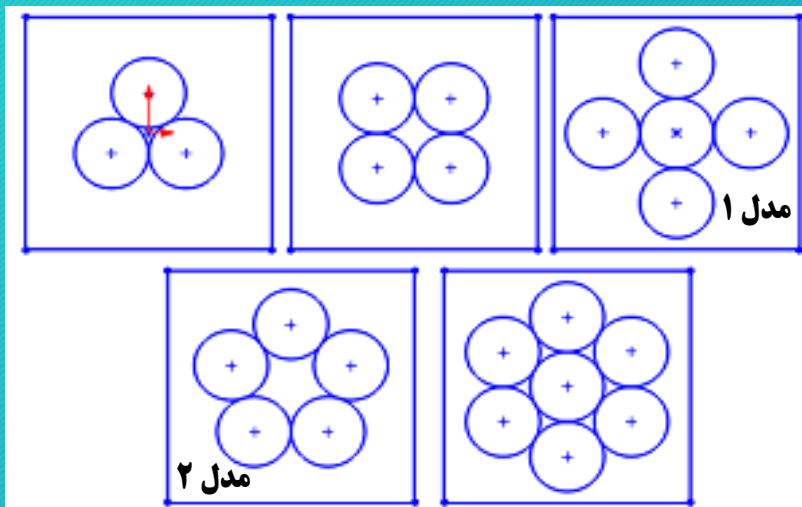
6 Contact_Automatic_Single_Surface

7 Piecewise linear plasticity

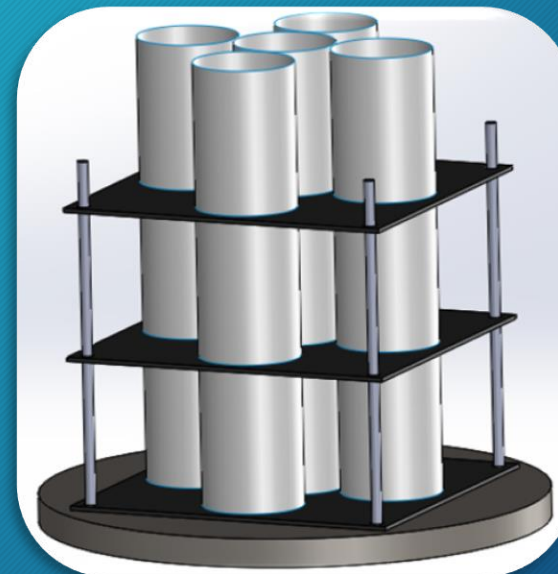
شبه سازی

❖ در سازه چندتایی ابتدا لوله ها هر کدام به صورت تکی، سپس با تعریف **Set Part**، چندتا لوله به صورت یک پارت تعریف شدند که به دلیل اختلاف خیلی جزئی در نتایج برای کاهش در زمان از **Set Part** استفاده شده است.

❖ جرم ضربه زننده برای حالت تکی ۲۰ کیلوگرم و برای دیگر حالت ها ۶۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی برای تمام نمونه ها یکسان به صورت کاملاً آزاد است. برای حالت پنج عددی دو طرح متفاوت، مدل ۱ و مدل ۲ شکل (۱) بررسی شده است.



شکل (۱): نمای کلی تعداد و نحوه قرار گیری استوانه ها



شکل (۲): نمای کلی، چند عددی و چند طبقه

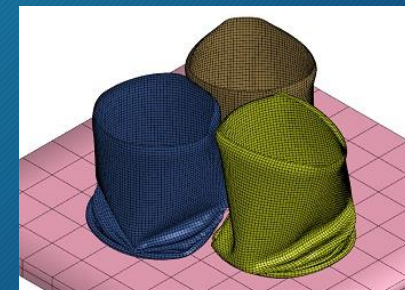
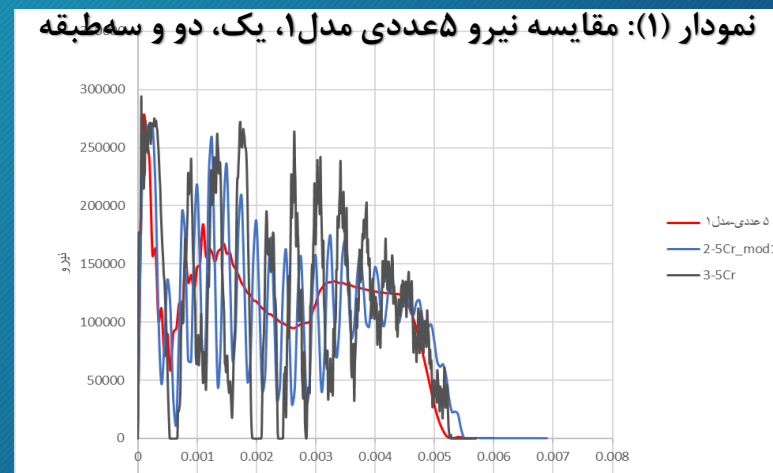
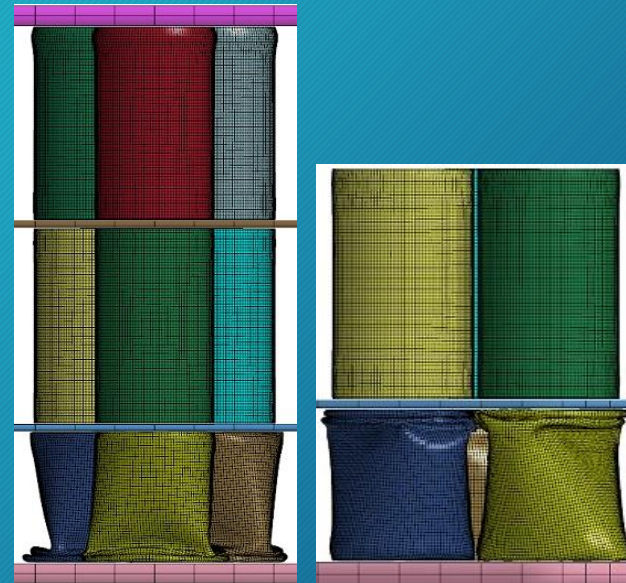
شبیه سازی

بخشی از نتایج بارگذاری دینامیکی سازه‌ها در جدول (۲) نشان داده شده‌اند. نحوه لهیدگی مجموعه ۳ تایی، در چند طبقه تحت بار محوری دینامیکی در شکل (۳) نمایش داده شده‌است.

❖ در کد نمونه، عدد اول تعداد طبقه و عدد دوم (کنار Cr) تعداد استوانه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۲): نتایج بارگذاری دینامیکی

کد نمونه	SEA	CFE	لهیدگی (mm)	اختلاف SEA با حالت 1-1Cr
2-7Cr	42.83	0.56	11.47	% 36.89
1-7Cr	42.64	0.52	11.53	% 36.26
مدل 1-3Cr	35.77	0.48	19.23	% 14.33
مدل 1-5Cr	35.41	0.49	19.44	% 13.16
با فاصله از هم 1-7Cr	34.24	0.47	14.35	% 9.43
مدل 2-5Cr	33.06	0.46	20.82	% 5.66
2-3Cr	32.63	0.46	35.16	% 4.28
1-3Cr	31.9	0.44	35.91	% 2.09
1-1Cr	31.29	0.43	36.66	



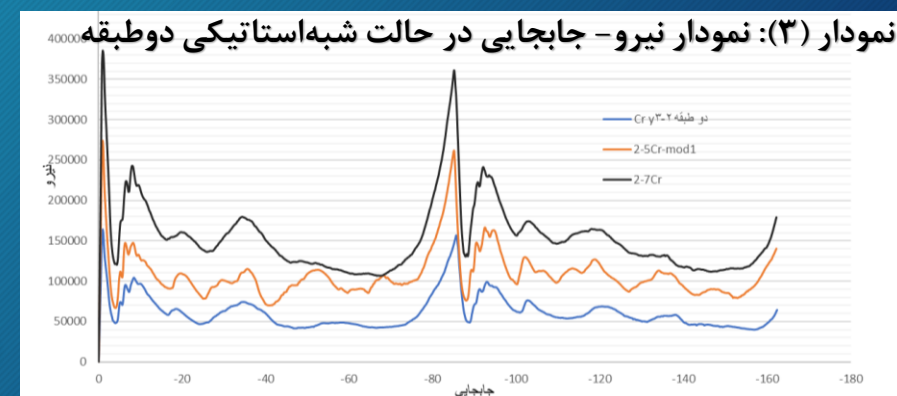
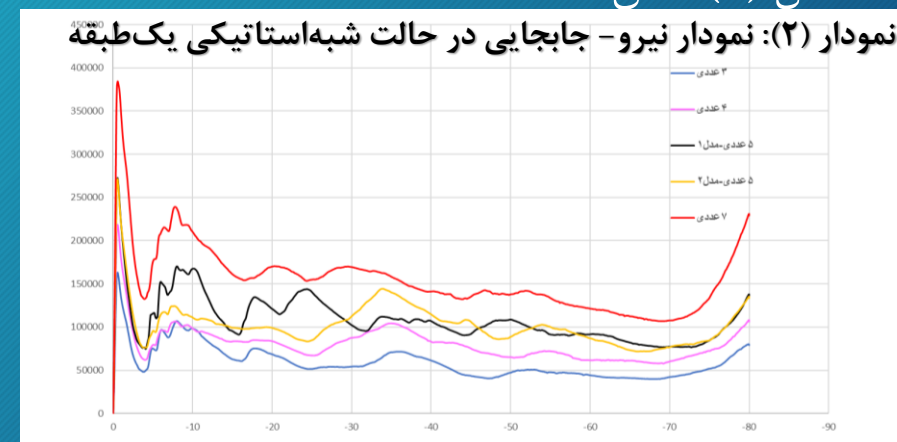
شکل (۳): مجموعه ۳ عددی یک، دو و سه طبقه تحت بار دینامیکی

شبیه سازی

نتایج بارگذاری شبه‌استاتیکی تعدادی از سازه‌ها در جدول (۲) ارائه شده‌اند. نحوه‌ی لهیدگی مجموعه ۷ تایی یک‌طبقه تحت بار محوری شبه‌استاتیکی در شکل (۴) نشان داده شده‌است.

جدول (۲) : نتایج بارگذاری شبه‌استاتیکی

کد نمونه	SEA	CFE	Fmax(KN)	اختلاف SEA با حالت 1-1Cr
2-7Cr	23.26	0.39	385.71	% 14.3
1-7Cr	23.07	0.40	385.65	% 13.4
مدل ۱ 2-5Cr	22.93	0.39	274.46	% 12.7
مدل ۱ 1-5Cr	22.5	0.93	274.28	% 11.0
2-3Cr	21.65	0.37	164.58	% 6.4
مدل ۲ 1-5Cr	21.33	0.37	274.46	% 4.8
با فاصله از هم 1-7Cr	20.6	0.36	382.00	% 1.3
1-1Cr	20.34	0.35	54.65	



شکل (۴): سازه ۷ عددی یک طبقه تحت بار شبه‌استاتیکی A مماس - B با فاصله از هم

نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر افزایش تعداد طبقه و تعداد لوله در هر طبقه تحت بار دینامیکی و شبه‌استاتیکی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر نوع چینش لوله‌ها بر روی جذب انرژی و نحوه تغییر شکل آن‌ها مطالعه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد:

- ❖ با افزایش تعداد لوله‌ها و طبقات مقدار SEA و CFE افزایش می‌یابد.
- ❖ لوله‌ها در حالت مماس نسبت به حالت بافاصله از هم شکل (۴) تحت بار شبه‌استاتیکی و دینامیکی جذب انرژی و SEA بیشتری دارند که با توجه به شکل (۴) این افزایش جذب انرژی، به علت برخورد جداره آن‌ها با یکدیگر که باعث تغییر در نحوه و شروع محل لهیدگی و جذب انرژی می‌شود.
- ❖ اثر نوع چیدمان در حالت ۵ عددی با شبیه‌سازی ۲ حالت (مدل ۱ و مدل ۲ شکل (۱)) مورد بررسی قرار گرفت نشان داد که در تعداد برابر لوله‌ها نوع چیدمان آن‌ها در جذب انرژی و SEA تاثیر مستقیم دارد.
- ❖ با افزایش تعداد طبقه مقدار نیروی بیشینه اولیه تغییر آنچنانی نمی‌کند و تقریباً ثابت می‌ماند ولی با افزایش تعداد لوله نیروی بیشینه افزایش می‌یابد.
- ❖ با افزایش تعداد لوله‌ها تحت بارگذاری دینامیکی طبق جدول (۲) مقدار لهیدگی کاهش می‌یابد زیرا انرژی جنبشی وارد شده ثابت است و با افزایش تعداد این انرژی بین لوله‌ها تقسیم و باعث لهیدگی کمتر آن‌ها می‌شود.

- [1] A. Alavi Nia, J. H. Hamedani, 2010, Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walled tubes with various section geometries, Thin-Walled Structures, Vol. 48, pp. 946-954.
- [2] X. Zhang, H. Zhang, 2013, Energy absorption of multi-cell stub columns under axial compression, Thin-Walled Structures. Vol. 68, pp. 156-163.
- [3] Z. Li, W. Chen, H. Hao, J. Cui and Y. Shi, 2019, Experimental study of multi-layer folded truncated structures under dynamic crushing, International Journal of Impact Engineering, Vol. 131, pp. 111-122.
- [4] T. Pang, G. Zheng, J. Fang, D. Ruan, G. Sun, 2019, Energy absorption mechanism of axially-varying thickness (AVT) multicell thin-walled structures under out-of-plane loading, Engineering Structures, Vol. 196, 109130.
- [5] A. Alavi Nia, M. Parsapour, 2014, Comparative analysis of energy absorption capacity of simple and multi-cell thin-walled tubes with triangular, square, hexagonal and octagonal sections, Thin-Walled Structures, Vol. 74, pp. 155-165.

[6] حداد همدانی، ج.، بررسی تجربی و عددی جذب انرژی و تغییر شکل‌های خمیری مقاطع جدارنازک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۸۷.